

**“Silfur og gull” –
frumrannsókn á eðli og erfðum kolótta og gula litarins
í íslenska sauðfjarkyninu**

Lokaskýrsla (áfangi 1)

4. mars 2026

Umsækjandi:

Karólína Elísabetardóttir, Hvammshlíð

Verkefnisstjórn:

Gesine Lühken próf. (Univ. Giessen, Þýskalandi)

Samstarfsaðilar:

Cord Drögemüller próf. (Univ. Bern, Sviss)

Olusegun Olaniyi Adeniyi (Univ. Giessen, Þýskalandi)

Sigurborg Hanna Sigurðardóttir (LBHÍ)

Teitur Sævarsson (HÍ)

Eyþór Einarsson (RML)

Efnisyfirlit

A.	Inngangur	3
A.1	Kolótt	3
A.2	Gult	4
A.3	Erfðir ekki þekktar	4
B.	Markmið rannsóknarinnar	5
C.	Staða þekkingar	6
D.	Aðferðir og verkáætlun	9
D.1	Úrtak og gagnasöfnun (maí–des 2024)	9
D.2	Litatengdar ættarrannsóknir (maí 2024 til mars 2026)	10
D.3	Greining með SNP chip; nýting SNP-gagna frá 2022 (des. 2024 til maí 2025)	10
D.4	Úrvinnsla (janúar 2025 til febrúar 2026)	11
D.5	Nýr þáttur: Athuganir á erlendum kynjum	11
E.	Helstu niðurstöður	12
E.1	Óvænt vandamál: skilgreining litanna	12
E.1.2	Grátt er ekki kolótt	13
E.1.4	Hvað hjálpar til að greina rétt?	15
E.1.5	Hvernig lítur kolótt út? Fleiri dæmi	18
E.2	Greining með SNP chip, GWAS-rannsókn	21
E.2.1	Gagnagrundvöllur	21
E.2.2	GWAS-úrvinnslan, niðurstöður	22
E.2.2.1	Kolótt	23
E.2.2.2	Gult	24
E.2.3	Vangaveltur á þessum grunni	25
E.2.4	„Arfgerðir“	27
E.2.5	Fleiri niðurstöður	31
E.3	Fleiri leiðir til að afla gagna	32
E.3.1	Erlend sauðfjáarkyn	32
E.3.1.1	Gul kyn: arfhreinir gripir	32
E.3.1.2	Kolótt kyn: arfhreinir gripir, athyglisverðir blendingar	32
E.3.1.3	Önnur stuttrófukyn	37
E.3.1.4	Ályktanir	38
E.3.2	Kolóttir sæðingahrútar: tækifæri til að kanna erfðir	39
E.3.3	Íslensk ættargögn	40
E.3.3.1	Þráinn á Grjóta	40
E.3.3.2	Skræpa frá Flögu 1	42
E.3.3.3	“Kolurnar” á Sölvabakka	43
E.3.3.4	Kola frá Víðivöllum fremri	46
E.3.3.5	“Kolótta línan” í Mavahlíð	47
E.4	Það helsta: Hvers erum við vitrari í dag?	50
E.5	Hvað vitum við hins vegar ekki enn? Ósvaraðar spurningar	51
F.	Framhaldið – næstu skrefin	52
G.	Heimildir	53

A. Inngangur

A.0 “Því meira sem ég læri, því betur geri ég mér grein fyrir því hve lítið ég veit.” (Sókrates)

Því dýpra sem kafið var inn í rannsóknarefnið, því augljósara varð að þetta efni – kolótti og guli liturinn – væri verulega krefjandi: Margur misskilningur er uppi um hvað væri yfirhöfuð kolótt (sama í rauninni hvað gult varðar) sem flækir alla gagnasöfnun talsvert og eykur óvissu um niðurstöður. Að erfðirnar væru ekki eins einfaldar og hjá hinum litunum, vissum við fyrir fram. Verkefnið tók því lengri tíma en áætlað var og auk þess voru farnar ýmsar krókaleiðir; en heilt yfir séð náðist samt að auka þekkingu um þessa sjaldgæfu liti verulega. Ekki síst hjálpa margar áhuga-verðar uppgötvanir til að skilja jafnvel eðli hvítu litaafbrigðanna í heildina betur.

Svo skýrðust einnig næstu spurningarnar og einnig næstu skrefin, því rannsóknin heldur áfram, þótt núverandi styrkupp hæðin sé uppurin: Cord Drögemüller prófessor í Sviss bættist í teymið og með honum verðmætt framlag, nefnilega erfðagreining heildarerfðaefnis nokkurra kolóttra og gulra gripa. Auk þess urðu óvenju heppilegar kringumstæður til þess að Gesine próf. Lühken sá sér fært um að leggja fram flögugreiningu 96 sýna í viðbót. Þetta er ómetanlegt. Hér sannar sig einu sinni enn: “Gott er að eiga góða að.”

A.1 Kolótt

Kolótt er sjaldgæft litarafríð sem kemur eingöngu fram í hvítum kindum, en virðist erfðafræðilega ekki tengt hvíta litnum á beinan hátt, því mislitar kindur geta einnig gefið þennan lit ef makinn er hvítur. (7.) Þetta afbrigði var á tímabili áberandi í Örafum (kom mögulega úr Þingeyjarsýslum þangað og af sumum talið komið með innfluttu fé)(6.) og hefur þaðan dreifst með líflömbum um landið allt. Í Þingeyjarsýslu, á Vestfjörðum og víða finnast auk þess kolóttir gripir sem eru ekki tengdir Örafum. Samt kemur liturinn eingöngu fram í örfáum einstaklingum. Í Örafum er hann einnig á hröðu undanhaldi síðan byrjað var að sæða mikið, þar sem greinilega gefa langfæstir sæðingahrútar kolótt. (4.)

Í rauninni er um a.m.k. þrjú fyrirbæri að ræða, hvað útlitið varðar (lýsingar orðréttar eftir Halldór Pálsson, Náttúrufræðingurinn, 1944)(5.)(9.):

1. “*Blákolótt*: af sumum kallað Íslands-kolótt eða bara hrím-kolótt. Þetta fé er yfirleitt hvítt á belginn, undirlitur á haus og fótum ígulur en allmikið af dökkum hárum á haus og fótum einkum í vöngunum. Mörgum fjármönnum finnst þetta litarafríð mjög fagurt.
2. *Grákolótt*. Ullin hvít, andlit og fætur meira og minna gráflyksu kolótt. *Dröfnu-kolótt*. Það er mjög svipaður litur og grákolótt en þó ákveðnari dröfnur með ljósari flyksum á milli bæði á haus og fótum.
3. *Mókolótt*. Nýfædd eru lömbin mógrásvört að lit en þó dekkri á haus og fótum. Með aldrinum lýsast þau á belginn en dökki liturinn heldur sér á haus og fótum. Fullorðið er þetta fé móblásvart að lit á haus og fótum, oft með meira og minna af dökkum eða sauðgulum hárum í ullinni einkum á hálsi og jöðrum reifisins.”

Áhugavert: Flest útigönguféð féð sem var tekið úr fjallinu Tálkna á milli Patreksfjarðar og Tálknafjarðar í Vestur-Barðastrandarsýslu um liðin aldamót var mokolótt. “Það líktist mjög umhverfinu, sást illa í smalamennskum nema þegar ekki var allt hvítt vegna snjóá, dæmigert mokolótt fé.” Svo var talsvert til af mokolóttu fé í Fjárborg á milli 1960 og 1980, nágrenni Ólafs Dýrmundssonar var bæði með mokolóttar ær og hrúta, lítið mislitt. Áhugavert: Þetta “fór mikið yfir í gult á haus og fótum síðar.” (13.)

A.2 Gult

Halldór Pálsson, Náttúrufræðingurinn, 1944(5.):

“*Gult*. Þá er féð hvítt á ull að mestu eða öllu leyti, stundum eru gulleit eða rauðleit hár í ullinni, einkum á hálsi. Haus og fætur og einkum hnakki, er gult eða vellótt, eins og sagt er í Skaftafellsýslum, eða írautt í Múlasýslum.

Dökkgult eða sauðgult: Þá er ullin oft mikið gul, hnakki rauðgulur, andlit og fætur mjög dökkgult.”

Guli liturinn er sérstaklega áberandi á lömbum og lýsist upp yfir sumarið. (9.) Gular kindur voru algengari áður fyrr, og á sumum bæjum sem voru brautryðjendur í markvissu ræktunarstarfi, var gult meira að segja ræktunarmarkmið (dæmi: Hallgrímur og Jón Þorbergssynir í Þingeyjasýslum). (6.) Á Vestfjörðum og víðar voru til stofnar af dökkgulum kindum sem þóttu sérstaklega mjólkurlagnar. (8.) Þegar ullarverksmiðjur fóru að gera kröfur um sem hvítustu ull, varð þessi litur óvinsæll og markviss ræktun alhvítrar/hreinhvítrar ullar (með arfhreint flekkótt á bak við) tók við á mörgum bæjum. (6.)

Algul lömb voru frekar algeng enn fyrir fáum áratugum, en þau eru mjög sjaldgæf í dag. Óvænt breyting virðist koma með sumum hrútum út af Gimsteini frá Þernunesi (fyrsta hrútnum á Íslandi sem fannst með riðuþolna breytileikann ARR árið 2022) sem gefa gulflekkótt og algul lömb þrátt fyrir að vera hreinhvítir sjálfir.

A.3 Erfðir ekki þekktar

Kolótt og gult eiga það sameiginlegt að erfðir þeirra eru ekki eins augljósar og erfðir hinna þekktu lita á Íslandi og að þær virðast aldrei hafa verið rannsakaðar til þessa, hvorki á Íslandi né erlendis (1., 12.). Þar af leiðandi ...

- er ákveðin hætta að missa þessi afbrigði óvart út úr stofninum (dæmi: kolótt á undanhaldi jafnvel í Örfum)
- er ekki hægt að framkvæma neina markvissa ræktun sem hefur áhrif til beggja átta: ekki er hægt að forðast þessi afbrigði (til að fá betra verð fyrir ullina) og á sama tíma er heldur ekki hægt að viðhalda þau ef maður vill það, ekki síst m.t.t. erfðafræðilegs fjölbreytileika

B. Markmið rannsóknarinnar

Upphaflega markmið rannsókna var að greina genin sem stýra útbreiðslu á gráleitum/móleitum/ gulum lit í hvítum kindum og valda á þennan hátt ofangreindu litaafbrigði. Á þessum grunni ásamt ættargögnum hefði í besta falli verið hægt að skilgreina genin sem stjórna litaafbrigðunum og draga fyrstu ályktanir um hvernig þau erfast.

Þessar upplýsingar eru nauðsynlegar til að geta ræktað afbrigðin á markvissan hátt og varðveitt þau þannig til framtíðar. Hér er um frumrannsókn að ræða og fyrstu tilraun til að viðhalda fjölbreytileikanum öllum í íslenska sauðfjárstofninum þrátt fyrir flóknari erfðafræðilegan bakgrunn.

Á meðan á rannsókninni stóð, kom í ljós að skilgreiningarnar “kolótt” og “gult” eru ekki eins skýrar og það leit út fyrst. Vegna þess varð **aukamarkmið** til sem er í rauninni skilyrði til að ná upphaflega markmiðinu:

- skilgreining “kolótt” – mögulega ásamt flokkun
- skilgreining “gult” – ekki síst miðað við kolótt, mörkin virðast að hluta til óljós

C. Staða þekkingar

Litaerfðir í íslenska sauðfjárstofninum eru vel þekktar – brautryðjandi var Stefán Aðalsteinsson, einn helsti vísindamaður á heimsvísu á þessu sviði. Ítarlega ritið hans “Litaerfðir í íslensku sauðfé” frá 1970 er enn í fullu gildi. Það eru þrír “flokkar” (í rauninni gen) sem skipta máli og eru þeir allir þrír samtímis virkir í sömu kind:

1. grunnlitur (B-sæti): a) mórautt, b) svart¹
2. litamynstur (A-sæti): a) grátt, b) botnótt, c) golsótt, d) ekkert mynstur, e.t.v. e) “eingena-grábotnótt”
1. tvílitur (S-sæti): a) hvítir flekkir = flekkótt í ýmiss konar útfærslum, b) einlitt

Bæði gult og kolótt hafa til þessa flokkast sem afbrigði hvíta litarins; þau eru eingöngu sjáanleg þar. (5., 11.) Samt er augljóst að þau eru ekki órjúfanlegur hluti af hvítu, því til dæmis getur einnig mislitur gripur gefið kolótt. (7.)

Hvitt er einnig mynstur í A-sætinu, en með sérstaka eiginleika. A^{wh}-samsætan sem er ríkjandi veldur því að gripurinn er hvítur (eða gulur eða kolóttur) og hvíta mynstrið felur allt hitt (eins og snjór sem leggst “ofan” á hina eiginleikana, þannig að þeir sjást ekki lengur í hvítum kindum – en þeir eru samt sem áður faldir “undir” hvíta litnum). Eiginleikinn “hvitt” þýðir að hann truflar litafrumur þannig að þær framleiða ekkert eumelanín-litarefni í ullarhárum; en kolóttar kindur hafa að vissu marki viðhaldið eumelanín-framleiðslugetu sinni hvað “slétu” hárin varðar (í andliti, fótum og dindli).

Flekkótt (S^s-samsætan – víkjandi) virkar á svipaðan hátt, þ.e. flekkirnir eru í raun og veru hvítir, það vantar lit í þá á meðan aðrir hlutar kindarinnar halda sínum lit. En ólíkt A^{wh}-samsætunni hefur S^s-samsætan einnig áhrif á feómelanín-litarefnið sem veldur gulum/móleitum lit: Ef hvitt leggst “ofan” á arfhreint flekkótt (S^sS^s), þá verður kindin “hreinhvít” (eða “alhvít”), þ.e. ullin er enn ljósari, klaufirnar og hornin eru ljós og nasirnar og húðin öll er bleik.

“Venjulegt” hvitt toghár inniheldur alltaf að einhverju leyti feómelanín sem gerir hárið gulleitt, á gulum kindum jafnvel meira eða minna gult. “Hreinhvitt” toghár inniheldur ekkert feómelanín. Þessi þekking gæti hjálpað til við fyrirhuguðu rannsóknina á gula litnum og einnig mokolótta litnum (sem er augljóslega einnig tengdur feómelaníni), þótt það virðist vera fleiri en eitt gen sem stýra útbreiðslu á gulum lit. (1., 12.)

Þótt erfðir grunnlitar, litamynstra og tvílitar séu þekktar, eru enn ekki öll genin þekkt sem skipta máli í samhengi við liti og í ljós kom einnig að það getur verið talsverður munur á milli sauðfjárkynja hvað það varðar. Rannsóknir eru í gangi um þessar mundir við LBHÍ. (2.)

En varðandi gult og kolótt eru ekki einu sinni erfðir þekktar. **Frumkönnun** í samhengi við bókina Litadýrð leiddi eftirfarandi atriði í ljós (7.):

- gult og jafnvel algult getur komið undan tveimur hvítum foreldrum

¹ Þótt ég sé yfirleitt mjög fylgjandi kerfi Stefáns, finnst mér ruglandi að skilgreina “hvitt” sem grunnlit eins og hann gerði – hvitt er allt annars eðlis en mórautt og svart því “í bakgrunni” er grunnlitur, mynstur og tvílitur erfðafræðilega til staðar í hvítum kindum þótt það sjáist ekki. Ég fylgi þess vegna hér kerfi Moniku Reißmann (2009) og Irinu Böhme (2017) að hvitt sé ekki grunnlitur, heldur mynstur, og grunnlitir eru því eingöngu tveir hér.

- mislitur gripur getur gefið kolótt með hvítum maka (í þeirri merkingu að eiginleikinn er tengdur honum, ekki hvíta makanum)
- öll kolótt afbrigði geta komið undan gulu og hvítu, einnig undan hreinhvítu
- undan tveimur kolóttum foreldrum kemur yfirleitt a.m.k. eitt kolótt lamb, en alsystkin þess geta verið hvít (þ.e. það erfist ekki eins og víkjandi eiginleikar á borð við mórautt eða flekkótt); þessi regla virðist a.m.k. eiga við þegar annað foreldri foreldranna er hvítt (ekki kolótt)
- kolótt getur komið fram í beinan kvenlegg án þess að það sé kolótt í föðurættinni
- það er til kenning sem tengir kolótt við (dulið) botnótt eða golsótt (10.)
- afbrigðin af kolóttu virðast erfðafræðilega ekki aðskilin heldur ljósgrákolótt ær getur til dæmis eignast dökkblákolótta dóttur; af tveimur alsysturum getur til dæmis önnur verið mókolótt og hin blákolótt



Eru botnótt og kolótt tengd? Táknræn mynd: Botnótt ær með lömbin sín, t.v. kolótt (Mynd: Hildur Ósk Þórsdóttir)

Á óvart kemur að **árstíðabundið litaskipti** er svo gott sem ekkert fjallað um í litalýsingum og fræðiritum um sauðfjárliti (ólíkt hrossalitum þar sem “litförótt” er vel þekkt og rætt afbrigði). En einmitt þessi eiginleiki er mjög áberandi í litunum sem þessi rannsókn snýst um, kolóttu og gulu, og einnig í gráum og golsóttum kindum. Þetta litaskipti varðar sléttu andlitshárin, sem eru dekkst á haustin og veturna, en talsvert ljósari á vorin og sumrin. Gráir og einnig margir kolóttir og gulir gripir mynda auk þess tímabundna hvíta rönd rétt fyrir ofan klaufirnar sem virðist að mestu leyti bundin “ljósa” tímabilinu.

Þessi litaskipti eru mögulega lykilatriði til að fá vísbendingar um erfðafræðilegan bakgrunn kolótta og gula litarins.

Dæmi um litaskipti: Haki frá Hvammshlíð, grágolsóttur sauður, f. 2017 með sérstaklega áberandi litaskipti eins og flestir grágolsóttir gripir (enda sameinast hér bæði grátt og golsótt)(myndir: Karólína Elísabetardóttir)



Dæmi um áberandi litaskipti í kolóttum gripum: Silfra Silfradóttir í Sandfellshaga 2 og faðir hennar Silfri, bæði blákolótt (myndir: Anna Englund)



D. Aðferðir og verkáætlun

D.1 Úrtak og gagnasöfnun (maí–des 2024)

Tvennt skiptir máli við val einstaklinga í rannsóknina:

1. Að forðast of mikinn skyldleika til að koma í veg fyrir skakka mynd út af ákveðnum fjölskyldueiginleikum (“gervisamhengi” sem er í rauninni fjölskyldutengt). Langflestir þátttakendur ættu að vera óskyldir.
2. Að hafa samt nokkra nána ættingja með, 2 til 3 fjölskyldur á hvern lit, til að fá vísbendingar á erfðir hans (niðurstöður færðar yfir á raunverulega fjölskyldu).

Fjölskyldurnar eru í besta falli móðir, faðir, lamb með litinn, lamb án litarins. Á sama tíma var reynt að velja fjölskyldur, sem eru sem minnst skyldar, og helst úr mismunandi landshlutum.

Mikilvægur þáttur við val einstaklinga, sem kom í ljós ekki fyrr en meðan á rannsókninni stóð, er **útlitið sem lamb og útlitið á mismunandi árstímum**. Af hverjum og einum einstaklingi sem kemur til greina eru annaðhvort nákvæmar lýsingar eða helst ljósmyndir nauðsynlegar til að átta sig á því hvort um viðkomandi lit sé að ræða eða ekki. Hér er oft litanúmerið einstaklingsins samkvæmt Fjávís til gagns því í langflestum tilfellum er númerið skráð stuttu eftir fæðingu og er oftast ekki uppfært, þ.e. númerið endurspeglar lambslitinn. Dæmi: Hvít ær sem er með hvítan haus á vorin, en skráð “grámóflekkótt” eða jafnvel “ljósmórauð” er í rauninni mokolótt.

Eitt mikilvægasta og um leið tímafrekasta atriðið felst þess vegna í því, að skoða **ættir** mögulegra einstaklinga til að átta sig á sameiginlegum ættmæðrum/-feðrum. Auk þess eru skoðaðir **liti forfeðra/-mæðra**. Tilgangurinn með því er að

- auka líkurnar á því að virkilega um viðkomandi lit sé að ræða (þessi þáttur – tíðar misgreiningar – kom í ljós ekki fyrr en við gagnasöfnun)
- útiloka of mikinn skyldleika þátttakandi einstaklinga
- finna áhrifaríka gripi í íslenskri sauðfjárrækt sem heild sem gefa viðkomandi lit (sem er mikilvæg upplýsing við leit eftir hentugum gripum, bæði fyrir rannsóknina og fyrir ræktunarstarfið seinna)

Til gagns eru einstaklingar sem:

- eru sjáanlega með viðkomandi lit sjálfir
- gefa viðkomandi lit án þess að hann sjáist á þeim sjálfum
- eru mjög líklegir til að vera ekki með viðkomandi lit, ekki einu sinni sem “dulinn arfberi”

Samkvæmt áætlun var hægt að nýta DNA sem varð til við riðuarfgerðagreiningu hjá þýsku rannsóknarstofunni Agrobiogen og við erfðatengslarannsókn hjá skosku rannsóknarstofunni Neogen (sjá D.3), jafnvel árin 2021 til 2025.

Kolótt

Öll kolótt afbrigði (grákolótt, blákolótt, mokolótt) virðast byggja á sama grunni og eru nátengd. Samt virðist útlit hvers og eins frábrugðið hinum; til að fá hugmynd um erfðafræðilegar ástæður þess var mikilvægt að skoða hvert afbrigði fyrir sig og velja helst sem skýrustu fulltrúa hvers afbrigðis.

Ef það liggja 3 eða 4 kynslóðir með innblöndun af óskyldu fé að baki, er óhætt að velja þessa einstaklinga samt þótt uppruni litarins sé kominn frá sama ættföður eða sömu ættmóður. En þótt kolótt sé mjög sjaldgæft, gekk vonum frammar að skoða óskylda eða að minnsta kosti fjarskylda gripi. Í ljós kom að ýmsar óskyldar kolóttar “línur” eru til í landinu og alls ekki allar tengdar Örafunum.

Gult

Gult (gulfleckótt sem lamb) og dökkgult (algult sem lamb) virðast einnig nátengt hvort öðru, ekki síst er mjög misjafnt hversu mikið gultir gripir verða sem fullorðnar kindur sem fæddust algular. Líkurnar eru meiri á að fá skýrar niðurstöður ef fulltrúar eru valdir sem sýna sem sterkustu einkennin, þess vegna eru hlutfallslega valdir fleiri einstaklingar sem fæddust algulir.

D.2 Litatengdar ættarrannsóknir (maí 2024 til mars 2026)

Í náinni samvinnu við bændur, sem hafa búið með kolótt eða gult fé í langan tíma og eru með gott skýrsluhald (eða minni) hvað liti varðar, voru ítarlegar ættarrannsóknir framkvæmdar:

1. Ættartré sett upp þar sem viðkomandi litur er sérstaklega merktur, einnig ef gripur gefur litinn án þess að hann sjáist á honum sjálfum og einnig ef gripur er með vissu ekki með þennan lit. Upphaflega markmiðið var að fá a.m.k. 10 ættartré fyrir hvern lit sem sýna a.m.k. 4 kynslóðir (meira um það: sjá E.4.3).
2. Litir sem flestra alsystkina skoðaðir þar sem a.m.k. eitt systkini ber viðkomandi lit.
3. Litir afkvæma valdra hrúta skoðaðir sem gefa augljóslega viðkomandi lit.

Þessar upplýsingar hjálpa til að fá vísbendingar um erfðir litarins – m.a. hvaða reglur eru EKKI í gildi, en þessi niðurstaða er einnig til gagns.

D.3 Greining með SNP chip; nýting SNP-gagna frá 2022 (des. 2024 til maí 2025)

Ekki var vitað hvaða gen skiptir eða skipta máli. Þess vegna var nauðsynlegt að nota greiningaraðferð sem leyfir innsýn í mikinn fjölda eiginleika á sama tíma. Það er hægt við svokallaða flögugreiningu (e. SNP chip genotyping) þar sem nokkur þúsund breytileikar eru greindir í hverjum einstaklingi.

Í samhengi við tengslarannsókn sem var hluti af riðurannsóknunum 2021 til 2023 voru með þessari aðferð (nánar tiltekið með 50K flögu) greind 540 sýni sem voru sérstaklega valin til að endurspeglar íslenska sauðfjárstofninn sem heild. Þessi rannsókn var framkvæmd af Gesinu Lühken og doktorsnemanum hennar Olusegun Olaniyi Adeniyi sem eru einnig aðalsamstarfsaðilar í litarannsókninni sem hér er sótt um.

Þessi gögn skipta miklu máli, sérstaklega til samanburðar. Meðal annars eru margir hreinhvítir einstaklingar þar að finna sem hægt er að nýta sem samanburðarhóp því þeir eru með vissu hvorki gulir né kolóttir. Til að geta notað sem flesta einstaklinga í rannsóknina, þurfti að hluta til að safna fleiri gögnum um þáverandi þátttakandi gripi – í mörgum tilfellum vantaði til dæmis litaskráninguna. Í beinum samskiptum við viðkomandi bændur var í mörgum tilfellum hægt að bæta úr því og útvíkka nothæfa hluta gagnagrunnsins þar með talsvert. Þetta gerðist jafnt og þétt, ekki síst eftir að “litaarfgerðir” lágu fyrir.

Til að geta nýtt sér þessi dýrmætu gögn, var mikilvægt að nota nákvæmlega sömu flögutegund aftur við greiningu kolóttra og gulra einstaklinga (Illumina 50K) og vera einnig með sama greiningarfyrirtækið (Neogen í Skotlandi) til að vera viss um að gögnin séu sambærileg.

D.4 Úrvinnsla (janúar 2025 til febrúar 2026)

Tæknilega úrvinnslu gagnanna úr flögunni tók Olusegun að sér sem vann einnig úr ofangreindum gögnum. Hann notaði sérhæfð forrit til að framkvæma svokölluðu GWAS (genom wide association study). Meðal annars urðu til svokölluð M-plots (Manhattan-plots) sem gefa vísbendingar á litninga/gen sem skipta mögulega máli í viðkomandi lit. Dæmi fyrir þessa nálgun er hægt að sjá í greininni “Identification of genomic regions associated with differences in fleece type in Huacaya and Suri alpacas” sem fylgir í viðaukanum. Gesine, Olusegun og Cord Drögemüller prófessor (Sviss) voru stjórnendur þessarar rannsóknar. (3.)

Karólína Elísabetardóttir notaði þá þessi grunn gögn í samvinnu við Olusegun og Teit Sævarsson til að reyna að finna genasamsætur/breytileika sem eru mögulega tengdir kolótta eða gula litnum; “heildararfgerð” var þróuð og borið saman við liti viðkomandi gripa. Óvæntur umfangsmikill þáttur í þessu var (endur-)greining litanna; til þess var í miklum mæli haft samband við bændur sem áttu viðkomandi gripina. Einnig veitti Eyþór Einarsson ættartengd litagögn úr Fjávís, m.a. af sæðingahrútum.

Cord Drögemüller bættist svo sumarið 2025 einnig í rannsóknarhópinn um kolótta og gula litinn.

D.5 Nýr þáttur: Athuganir á erlendum kynjum

Á meðan á rannsókninni stóð, kom í ljós að einnig gögn úr erlendum sauðfjárkynjum geta verið til gagns. Erlend kyn eru í mörgum tilfellum mjög einsleit og með skilgreindan staðallit, frávik eru þá ekki leyfð. Athuganir þar geta gefið áhugaverðar vísbendingar um tilurð ákveðinna litaafbrigða – til dæmis hjá blendingum eða hjá einstaklingum sem fullnægja ekki staðalkröfum viðkomandi kynsins. Að hluta til gætu jafnvel verið greiningargögn aðgengileg. Meira um þennan þátt í kafla E.4.1.

E. Helstu niðurstöður

E.1 Óvænt vandamál: skilgreining litanna

E.1.1 Hvað er kolótt?

Að öllum líkindum eru engar “staðallýsingar” til eða skilgreiningar á hvað kolótt er (ekki einu sinni í bókinni “Sauðfjárrækt á Íslandi”!) nema það sem **Halldór Pálsson** skrifaði um kolótt **1944** (sjá A.1).

Í fyrstu virðist lýsingin hans mjög nákvæm, en við nánari athugun vantar upplýsingar: til dæmis um útlit lamba annarra en mokolóttra og um ullarlitinn á mokolóttum kindum. **Hann minnst auk þess ekkert á árstímabundna litaskiptið á hausnum sem er svo áberandi á kolóttum kindum.**

Berum kolóttu litina saman **samkvæmt lýsingunum Halldórs** – athugasemdir/ósvaraðar spurningar eru *skáletraðar*:

	lömb	belgur/ullin	haus og fætur
blákolótt/ Íslands- kolótt/ hrím- kolótt	??	yfirleitt hvítt á belginn	undirlitur á haus og fótum ígulur en allmikið af dökkum hárum á haus og fótum einkum í vöngunum
grákolótt	??	ullin hvít	andlit og fætur meira og minna gráflyksu kolótt <i>Hvað þýðir “gráflyksu kolótt” nákvæmlega? Ekki heppilegt að nota orðið sjálft til að útskýra þetta sama orð</i>
mokolótt	mógrásvört, dekkri á haus og fótum	lýsist með aldrinum; oft með meira og minna af dökkum eða sauðgulum hárum í ullinni einkum á hálsi og jöðrum reyfisins <i>Hver er þá litur ullarinnar?</i>	móblásvartir <i>Móblá- – eru það ekki andstæður? Er hægt að rugla mokolóttu og blákolóttu saman?</i>

Mikilvægast er mögulega þessi setning: “Það eru til mörg afbrigði af kolóttu. Þau [fyrir ofan] eru þau helstu.” Fjárvís tekur ekki tillit til þess – að minnsta kosti er enginn litalykill í boði sem hægt er að nota ef þessi þrjú afbrigði eiga ekki við; blákolótt og grákolótt eru auk þess flokkuð saman þótt blákolótt og mokolótt virðast líkara hvort öðru miðað við lýsingu Halldórs en blákolótt og grákolótt.

Óumdeild virðist samt þessi setning hans – hún er lykilatriði hvað skilgreiningu kolóttu lítaafbrigða varðar: “Sumir deila um, hvort kolóttu fêð skuli telja til hvíta fjárins. Ég lít svo á að það beri að telja það afbrigði af hvítu fê og **yfirleitt telja engir bændur kolótt fê með mislitu fê.**”

Eftirfarandi lýsing **Stefáns Aðalsteinssonar** á **arfhreina gráa litnum** er líka áhugaverð þótt hún varði kolóttu litinn (líklega er það það sem hann á við þegar hann nefnir “darkfaced colours”) einungis á óbeinan hátt:

“[... the colour with] birth is very light grey colour, where only a minor proportion of the outer coat fibres are black, the others being either white or tan. These lambs could sometimes mistakenly be classified as showing the birthcoat pattern of some of the darkfaced breeds, where the birthcoat fibres are black at the tip, giving the body a grey appearance. These darkfaced colours are, however, so **rare** in the Icelandic sheep that confusion has been avoided.” (11.)

Alveg eins og grátt fé eru a.m.k. sumir kolóttir gripir a.m.k. tímabundið með **ljósa rönd** fyrir ofan klaufirnar – alveg eins og (mó-)gráir gripir. Áhugavert: gulir gripir líka. Það virðist samt ekki alltaf tilfellið. Því miður eru einmitt klaufirnar oft ekki sjáanlegar á myndum og ekki hefur verið hægt að finna bónda með kolótt eða gult fé sem hefur þælt í þessum eiginleika (hér dæmi frá Grjóta, mokolótt ær, afturfótur – mynd: Ásta Þorbjörnsdóttir):



E.1.2 Grátt er ekki kolótt

Sumir kalla allt kolótt, sem er með ljóst þel og skiptir um andlitslit á vorin og haustin - þá lendir einnig grámórátt og grátt í þessum "potti": Við gagnasöfnun kom í ljós að stundum var í rauninni um arfhreinar gráar ("ljósgráar") eða ljósgrámórauðar kindur að ræða sem bændur töldu vera kolóttar.

Að hluta til bentu nafngiftir forfeðra/-mæðra til þess að þessi misgreining/misskilningur náði aftur í ættina, þannig að í þessum tilfellum gerði bóndinn sér ekki grein fyrir því að kindin væri í rauninni t.d. ljósgrámórauð, heldur flokkaði hann hana sem kolótt og heldur þess vegna að hún sé "hvít". **Dæmigerð nöfn** í þessu samhengi eru Kola, Blökk, Kolgríma, Gríma eða Kríma.

Dæmi Kríma (mynd: Geirprúður Sighvatsdóttir):



Kríma 20-006 er með gráan haus, fætur og dindil að vetri, “hvít” á sumrin (skráður litur 204 gráflikrótt sem lamb) – alveg eins og kolóttar kindur geta verið. En hún er samt ekki kolótt, heldur **arfhrein grá** eins og nöfn foreldranna sýna glögg – undan tveimur mislitum (hér gráum) kindum geta ekki komið hvít lömb:

F: 17-422 Gráni

M: 15-007 Gráhyrna

En það getur líka farið öfugt – t.d. voru 5 lömb undan sæðingahrútnum Fald 23-937 frá Ýtri-Skógum skráð með litanúmerið 21, þ.e. ljósgrátt (sem ætti að vera arfhreint grátt), sjá E.4.2. Þar sem Faldur er arfhreinn hvítur og hvíti liturinn ríkir yfir öllu, verða öll afkvæmin hans hvít og geta þess vegna ekki verið grá. Hér er um misgreiningu að ræða, sem gefur samt góða hugmynd um fæðingalit lambsins og allt bendir til þess að hér hafi í rauninni verið um grá- eða blákolótt lömb að ræða.

Ekki síst: **Haust- og snoðrúningur flækir litagreiningu** enn meira, því kindur virka "hvítar" þrátt fyrir að vera gráar/grámórauðar, þar sem litur þelsins – sem er alltaf meira og minna hvítt á gráum kindum – er svo áberandi.

E.1.3 Helstu greiningarvandamál – yfirlit

meintur litur	raunverulegur litur	mögulegar vísbendingar á raunverulega litinn
mókolótt	(dökk)gult	brúnleitan blæ vantar (augljósara á haustin)
mókolótt	arfhreint grámórauðt	báðir foreldrar mislitir (með grátt)
grákolótt	venjulegt hvítt	eingöngu húðin er grá þegar lambið er 2–3 vikna gamalt (ekki lengur hárin)
blákolótt	arfhreint grátt	báðir foreldrar mislitir; foreldrar hvítir en grátt á bak við föður og móður (ekki öruggt einkenni); afkvæmin á móti einlitum (ekki gráum) maka eru alltaf grá/grámórauð o.s.frv.
blákolótt	venjulegt hvítt eða krímótt	lambið fæddist hvítt eða bara með gulan dindil/hnakka o.s.frv.
dökkugult/algult	ljósgult	lambið fæddist hvítt eða bara með gulan dindil/hnakka o.s.frv.
hrein hvítt	venjulegt hvítt	klaufirnar og nasir dökkna með tímanum; svartar hornarákir; árstíðabundið litaskipti á hausnum

E.1.4 Hvað hjálpar til að greina rétt?

Í stuttu máli: Útlit einstaklings eitt og sér dugar ekki til litagreiningar ef um kolótta gripi er að ræða – það þarf að taka tillit til lita foreldranna líka.

Byrjum samt á útliti og **uppfærum** lýsingu Halldórs Pálssonar í samræmi við upplýsingar sem var hægt að safna í rannsókninni okkar; mikilvægt: Öll kolótt afbrigði hafa það sameiginlegt að hausinn dökkna talsvert á haustin og veturna en getur orðið mjög ljós á vorin og sumrin (“litförótt”).

	lömb eftir 2-3 vikur	belgur/ullin	haus/fætur (haust og vetur)
blákolótt	breytilegt en alltaf talsvert af dökkum hárum á haus og fótum; stundum líka á belgnum	yfirleitt hvítt á belginn	allmikið af dökkum hárum á haus og fótum, einkum í vöngunum – á haustin/veturna samfelldur grábláleitur hauslitur; undirlitur á haus og sérstaklega fótum getur verið ígulur
grákolótt	andlit og fætur meira og minna gráflyksu kolótt – hárin, ekki bara húðin!	ullin hvít	andlit og fætur meira og minna gráflyksu kolótt
mókolótt	breytilegt: a) mógrásvört á öllum líkama, dekkri á haus og fótum; b) andlit og fætur móflyksu kolótt (með brúnan, ekki bara gulan/appelsínugulan blæ!) og allt þar á milli	ullin mjög ljós eða hvít, en getur verið með dökk eða gul hár einkum á hálsi og jöðrum reyfisins	móbrúnir eða móflyksu kolóttir og allt þar á milli, en alltaf með brúnan blæ

Í sumum tilfellum er samt ekki hægt að ganga úr skugga um með vissu, hvort um kolóttan eða arfhreinan gráan/grámórauðan grip er að ræða. En í eftirfarandi tilfellum er hægt að segja **með vissu að viðkomandi gripur sé kolóttur** (ef annars lýsing Halldórs á við og ef auk þess árstíðabundið litaskipti á sér stað):

- ef a.m.k. **annað foreldrið er arfhreint hvítt**² – þá eru öll afkvæmi þess hvít og því viðkomandi gripurinn líka,
- ef **annað foreldrið er mislitt, en ekki grátt** (eða grámórátt eða gráflekkótt o.s.frv.), og **hitt foreldrið hvítt** – þótt það sé mögulega ekki vitað hvort hvíta foreldrið beri gráan erfðavísi, er útilokað að nokkur afkvæmi þeirra sé arfhreint grátt (það getur í mesta falli verið arfblendið grátt) og þar með viðkomandi gripurinn líka,
- ef gripurinn hefur eignast **mislit afkvæmi sem eru ekki grá,**
- ef gripurinn hefur **ignast hvítt afkvæmi með mislitum** maka.

Á hinn bóginn er **víst að EKKI er um kolóttan grip** að ræða,

- ef **báðir foreldrar eru mislitir**, nánar tiltekið gráir (grámóráuðir/gráflekkóttir o.s.frv.), því tveir mislitir gripir geta ekki átt hvítt afkvæmi saman og þar með heldur ekki kolótt afkvæmi.³, sjá næstu blaðs.

Að sjálfsögðu getur kolóttur gripur samt verið arfhreinn grár “undir” hvíta litnum (sem getur flækt greininguna enn meira), en til að vera kolóttur verður hann að vera erfðafræðilega hvítur.

Ósjaldan fæðast hvítir gripir ekki kolóttir, kannski bara með gulan dindil en annars hvítir, en sýna **upp úr öðrum vetri (mögulega stundum líka þegar á fyrsta vetri) öll einkenni kolótta litarins**: andlitið dökknar greinilega á haustin, en lýsist aftur upp á vorin, og fætturnir verða grágulir. Það er umdeilt hvort hægt sé að skilgreina þessa gripi sem kolótta. Sums staðar er þetta fyrirbæri kallað **“ímótt” eða “krímótt”** (mögulega kemur þetta lýsingarorð frá nafnorðinu **“gríma”** – andlitið skiptir um lit og gripurinn verður óþekktanlegur?).

Birta Teitsdóttir er dæmi um slíkt, og einnig Þór Teitsson (sjá myndirnar á næstu blaðsíðunni – fyrst Birta, þá Þór með 6 myndir hvor). Björk, móðir Birtu, er “venjulega hvít” og skiptir ekki um lit; Fjóla, móðir Þórs, er gráflekkótt (mæðurnar sjást á myndunum). Í ættinni Teits eru margar gular kindur, hann er frá Sveinsstöðum í Þingi og það er mikið af gulum kindum í gamla stofninum.

Á hinn bóginn gerist það líka ósjaldan, að gripur fæðist með gráa húð, “gulgrádröfnótta” fætur og andlit, en verður þá venjulega hvítur seinna eða – sem virðist gerast oftar – gulur. Moli Þórsson er gott dæmi (sjá neðstu þrjár myndir).

² Hér er átt við öll hvít afbrigði, þ.e. grip með A^{wh}-samsætu – alveg sama, hvort gripurinn er “venjulega” hvítur, hreinhvítur (ath.: *arfhreinn hvítur* er ekki það sama, sjá kafla C., málsgrein um “fleckótt”), kolóttur eða gulur.

³ Undantekning: Mjög sjaldan kemur það fyrir að stökkbreyting eigi sér stað í öðru foreldri sem veldur því að afkvæmi verða samt hvít. En það er mjög fátítt og ekki ætti að gera ráð fyrir því, nema ef viðkomandi gripurinn á hvít afkvæmi með mislitum maka ár eftir ár, en er ótvírætt mislitur sjálfur (ekki til dæmis kolóttur!). Í þessu tilfelli ætti að hafa samband við Teit Sævarsson.

Birta og Þór: krímótt; Moli (undan Þór): gulur (myndir: Karólína Elísabetardóttir)



Á búum, þar sem fæðingaliturn er ekki skráð nákvæmlega, er í rauninni aldrei hægt að ganga úr skugga um, hvort um “alvöru” kolótta gripi er að ræða (sem fæddust augljóslega kolóttir) eða um “venjulega hvíta” gripi, sem verða kolóttir seinna á ævinni. Gott dæmi er þessi ær t.v. frá Sveinsstöðum, þar sem langflestar kindur eru arfhreinar hvítar (mjög ólíklegt þess vegna að hún sé arfhrein grá):



E.1.5 Hvernig lítur kolótt út? Fleiri dæmi

Eftirfarandi tvær blaðsíður (úr bókinni “Litadýrð”(7.)) gefa betri hugmynd um kolóttu afbrigðin – ath: í sumum tilfellum eru misgreiningar ekki útilokaðar, þessar myndir eru merktar með stóru ?.

17

"Mókolótt. Nýfædd eru lömbin miðgrásvört að lit en þó dekkri á haus og fótum. Með aldrinum lýxast þau á belginn en dökki liturinn heldur sér á haus og fótum. Fullorðið er þetta fé mó-blasvart að lit á haus og fótum, oft með meira og minna af dökkum eða sauðjulum harum í ullinni einkum á halsi og jöðrum reifslins.

16

"Það eru til mörg afbrigði af kolóttu. Þau heitru: **Blákolótt**, af sumum kallað **Íslands-kolótt** eða bara **hrínkolótt**. Þetta fé er yfirleitt hvítt á belginn, undirliturt á haus og fótum ígular en alimiki af dökkum harum á haus og fótum einkum í vöngurum. Mörgum þjórmönnum finnst þetta flarabrigði mjög fagurt. **Grákolótt**: [...] andliti og fætur gráflýksu kolótt.

Blá-/grákolótt

Blæbrigði af hvítu

Blá- og grákolótt er ekki alltaf auðvelt að greina í sundur, en oflást er hægt að sjá mun miðað við mókolótt:

- lömbin fæðast yfirleitt hvít með dökkan/gráleitan haus og fætur
- þau fæðast stundum ljós/alveg hvít og dökkna ekki fyrr en í lok júní (á fótum og andliti); á haustin sést enginn munur á þeim og "venjulegum" blákolóttum lömbum

Ekki er þúið að rannsaka erfðir litarins á visindalegan hátt enn (sjá mókolótt →)



mynd: Ásta Þorbjörnsdóttir

haust (grá-k)

dökkt andliti



maí

blá-kolótt



hvítur belgur

dökkir fætur

Nýfætt – en sjá líka"



8. júl

hvítur belgur

mókolótt



myndir: Ásta Þorbjörnsdóttir

móflýksu kolótt andliti (fæðingarliturinn var eins)

dökkur dindill



dökkir fætur

1.5. sep



mynd: Harpa Baldurs



myndir: Ásta Þorbjörnsdóttir

talsverðir litabreytingar á andliti: ljósara á vorin/sumrin, dekkra á haustin/veturna.



myndir: Vilborg Guðmundsdóttir



Kolótt – fleiri dæmi



mynd: Dórtílea Sigríður



mynd: Þórey Sigríður Jónsdóttir



mynd: Ásta Þorbjörnsdóttir



Litla-Hof, 1971



Litla-Hof um 1970

? = misgreining ekki útilokkuð

Kolótt – fleiri dæmi



Hekla (sep)



Hekla (sep)



Kola eldri frá Svínafelli 3 með dóttur



Kola Heklundóttir (sep)



Kola Heklundóttir (des)

Kola Heklundóttir (apr)



Koludóttir



mynd: Þorgrímur Aðalsteinsson



Íris frá Grobbholfti

haust



haust

mynd: Sigríður Oddsson

myndir: Vilborg Guðmundsdóttir

haust

vor

E.2 Greining með SNP chip, GWAS-rannsókn

E.2.1 Gagnagrundvöllur

Ekki öll DNA, sem lágu fyrir úr eldri riðu-arfgerðagreiningum, reyndust nothæf. Farið var í frekari leit, haft samband við ýmsa bændur og á þeim grunni voru einnig nýlega arfgerðagreindir gripir teknir inn í rannsóknina. Sökum vandamála við ótvíræða skilgreiningu litarins (sjá E.1) var nauðsynlegt að “sía” gripina betur, sem leiddi til þess að ekki alltaf náðist að fylgja upphaflegu áætluninni varðandi gripafjölda í hverjum lit. Samt dugir fjöldinn í öllum tilfellum til að uppfylla tölfræðilegar lágmarkskröfur, þannig að niðurstöðurnar eru haldbærar þrátt fyrir breyttan fjölda.

Eins og lýst var áður varð flögugreining (SNP chip genotyping) fyrir valinu til að nálgast svör; eftirfarandi taflan sýnir yfirlit sýnanna sem voru bæði greind og þar sem niðurstöður úr greiningunni reyndust nothæfar.

algult/dökkgult	37
ljósgult	16
hreinhvítt	48
flekkótt	4
venjulegt hvítt	45
mókolótt	19
blá- eða grákolótt	43
grákolótt með vissu	2
arfhreint grátt	2
aðrir litir (ýmislegt mislitt)	6
	<u>222</u>

Viðkomandi gripir voru frá 63 bæjum víða um land:

Austurhlíð 2	Suðurland
Austvaðsholt 1c	Suðurland
Ásgarður (Dölum)	Vesturland
Ásgarður (Keflavík)	Suðurland
Bakki	Vestfirðir
Bjarg (Miðfirði)	Norðurland vestra
Bjarnanes	Suðausturland
Brakandi	Norðurland eystra
Brekka	Vesturland
Brekkugerði (Fljótssdal)	Austurland
Brjánslækur	Vestfirðir
Fjöll 1	Norðurland eystra
Flaga 1	Suðurland
Flatatunga	Norðurland vestra
Flugumýrarhvamur	Norðurland vestra
Fremri Gufudalur	Vestfirðir
Fremri-Kot (Skagafirði)	Norðurland vestra
Grjótá (Fljótshlíð)	Suðurland
Gýgjarhólskot	Suðurland
Hákonarstaðir	Austurland
Hárlausstaðir 2	Suðurland

Herriðarhóll	Suðurland
Holt (Svínadal)	Norðurland vestra
Hófgerði/Flóa	Suðurland
Hólsbakki	Suðurland
Hólshús (Eyjafirði)	Norðurland eystra
Hreiður	Suðurland
Hríshóll	Vestfirðir
Hvammshlíð	Norðurland eystra
Hvannabrekka	Austurland
Jórvík I	Suðurland
Kappeyri	Austurland
Lágafell	Suðurland
Leifsstaðir (Svartárdal)	Norðurland vestra
Litla-Holt	Vesturland
Lækjavellir	Norðurland eystra
Miðdalsgröf	Vestfirðir
Núpur 2	Suðurland
Oddsstaðir	Vesturland
Raftholt	Suðurland
Sakka	Norðurland eystra
Sandfellshagi 2	Norðurland eystra
Skarð, Landsveit	Suðurland
Skinnaður	Norðurland eystra
Skipagerði	Suðurland
Skjaldfönn	Vestfirðir
Skorrastaður	Austurland
Smáhamrar 2	Vestfirðir
S-Sandhólar	Norðurland eystra
Stafn	Norðurland vestra
Sámsstaðir	Vesturland
Stórhóll (Víðidal)	Norðurland vestra
Sunnuholt (Seyðisfirði)	Austurland
Súluvellir	Norðurland vestra
Sveinsstaðir (Þingi)	Norðurland vestra
Syðri-Hóll (A-Hún.)	Norðurland vestra
Syðri-Völlur	Suðurland
Sölvabakki	Norðurland vestra
Teigur I	Suðurland
Uxahryggur II	Suðurland
Víðivellir fremri	Austurland
Yztu-Garðar	Vesturland
Þernunes	Austurland

E.2.2 GWAS-úrvinnslan, niðurstöður

Svokölluð “Manhattan-plots” eða “M-plots” (út af útliti þeirra – þau minna á háhýsi sem eru algeng í ameríska borgarhverfinu Manhattan) urðu til úr flögugögnunum til að fá vísbendingar á gen sem valda mögulega kolótta – eða gula – litnum. Ef það myndast “háhyýsi” (lóðrétt punktaröð) á ákveðnum stað sem nær yfir ákveðin mörk, er

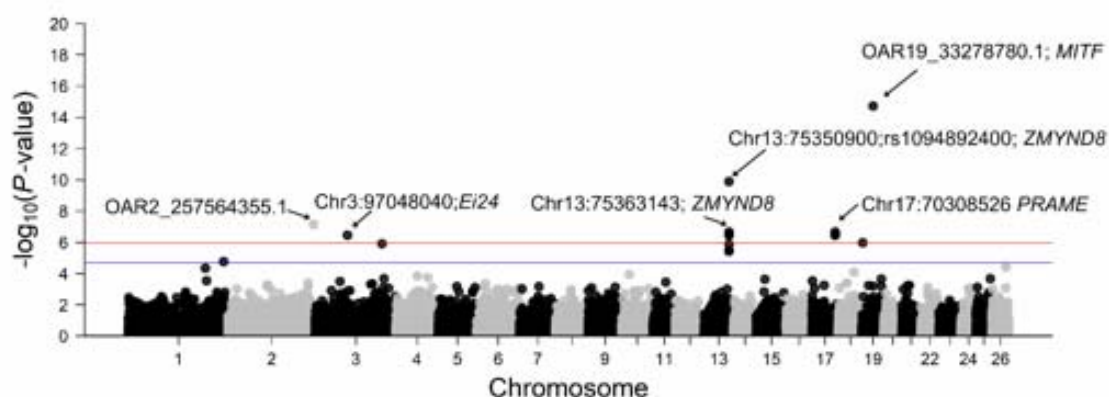
líklegt að viðkomandi litningur skipti máli. Blá lína merkir lágmarkshæð áhugaverðs “háhyásis”, en allt sem fer yfir rauðu línuna í M-plot er marktækt.

Við slíkar athuganir er samanburðarhópur nauðsynlegur sem ber að öllum líkindum ekki eiginleikann sem á að rannsaka. Við notuðum venjulega sem viðmið hreinhvíta gripi – fyrst þeir eru efalaust hvorki kolóttir né gulir hvað útlitið varðar.

E.2.2.1 Kolótt

Ekki reyndist raunhæft – nema í örfáum tilfellum – að greina í sundur *blákolótt* og *grákolótt* (sem bera einnig sama litanúmer í Fjárnís). Þess vegna eru þessir gripir í einum hóp sem nemur samtals 47 einstaklingum (upphaflega 57 en við nánari athugun kom í ljós að a.m.k. 10 þeirra voru misgreindir). *Mókolóttu* gripirnir með nothæf DNA voru einungis 19: Þeir eru sérstaklega sjaldgæfir og svo óheppilega vildi til að DNAið þó nokkurra þeirra reyndist ekki nothæft. Lágmarkshópstærð er yfirleitt 20 til að geta skoðað hóp sér, betra er að hafa 30 til 35 gripir í hópnum (eða fleiri).

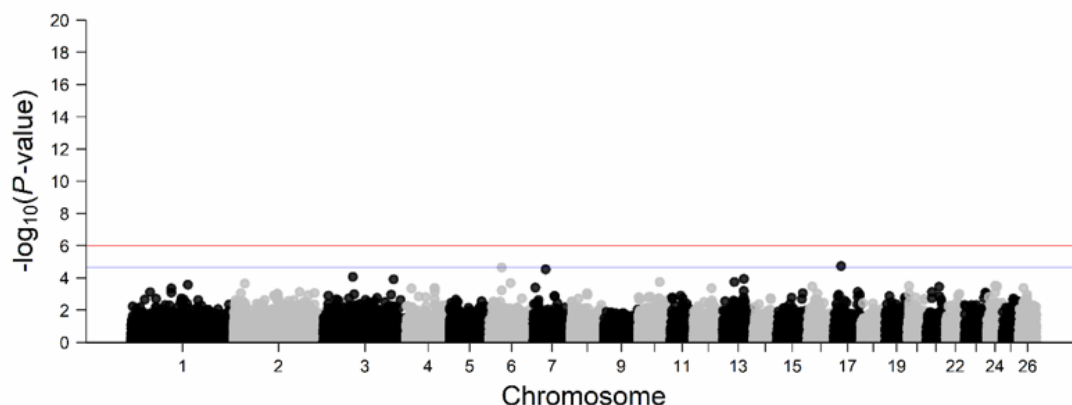
Margt bendir einnig til þess að öll kolótt afbrigði séu nátengd. Þess vegna var ákveðið að búa til eitt sameiginlegt M-Plot fyrir öll kolótt afbrigði. Þetta **M-plot “hreinhvít – kolótt”** sýnir nokkur “háhyási” og gefur þar með fyrstu vísbendingar: Mögulegar staðsetningar stökkbreytinga sem tengjast kolótta litnum eru **OAR2, Chr3, Chr13, Chr 17 og OAR19**:⁴



Staðsetningin við OAR19, gen sem ber heitið *MITF*, er þegar þekkt fyrir tenginguna sína m.a. við (hreinhvít-)litinn, ljósar klaufir og horn og bleika húð (14.).

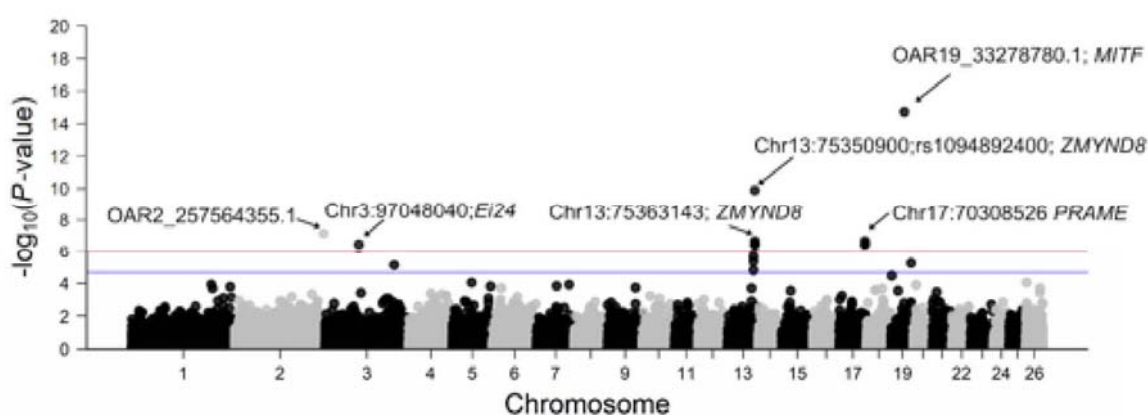
⁴ Gott að hafa í huga: Niðurstöðurnar segja okkur hvaða erfðabreytileikar eru marktækt algengari í einstaklingum með annan litinn umfram hinn. En við getum (enn) ekki slegið því föstu að þessi tiltekni breytileiki orsaki litaafbrigðið. Það sem getur átt við í staðinn er að þessi breytileiki sé staðsettur nærri annarri stökkbreytingu (þeirri sem veldur), og erfist með henni sökum nálægðar í erfðamenginu. Næstu skrefin í rannsókninni (sjá kaflann F.) leiða vonandi meira í ljós.

Til að athuga hvort þetta á einnig við hér, var búið til M-plot “**gult – blákolótt**”, þ.e. enginn hreinhvítur gripur er með:



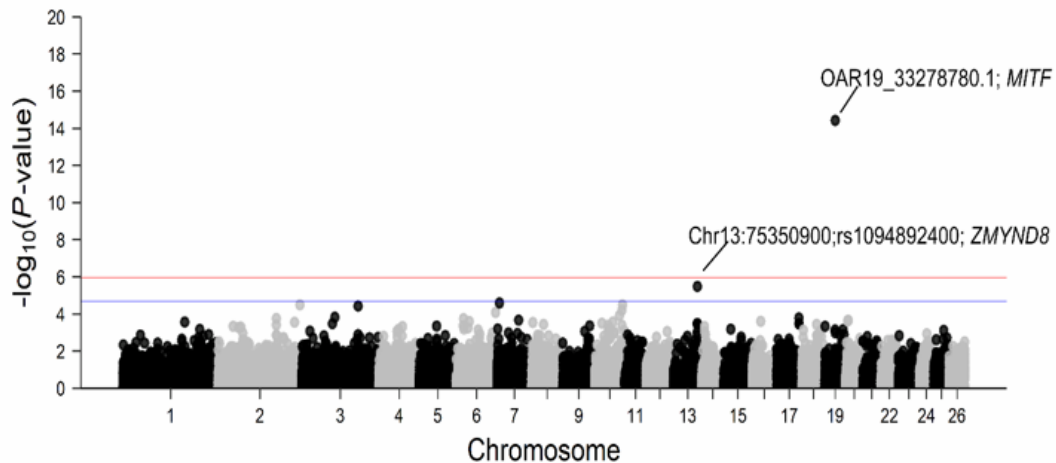
Punkturinn við OAR19 (sem var marktækastur) er horfinn núna – sem þýðir að einnig í íslenska stofninum er *MITF* tengt hreinhvíta litnum og, sem er mikilvægara, að það er **erfðafræðilegur munur á kolóttu og gulu annars vegar og hvítu hins vegar, a.m.k. hreinhvítu**. Helsta einkenni hvíta litarins vantar einmitt þar, þannig að kolóttar og gular kindur eru ekki hvítar í hefðbundinni merkingu. En líka allir hinir marktæku punktarnir eru horfnir – sem bendir væntanlega til þess, að þessir breytileikar tengist allir hreinhvítu/flekkóttu. Á hinn bóginn þýðir það að **gult og kolótt hafa margt sameiginlegt** – seinni niðurstöður, þegar “litaarfgerðir” eru skoðaðar, styðja þessa kenningu á ýmsan hátt (E.2.4).

Til samanburðar við “hreinhvít – kolótt” hins vegar var búið til M-plot þar sem **eingöngu blá-/grákolóttir og hreinhvítir** gripir voru skoðaðir, sjá myndina fyrir neðan. Munurinn er mjög lítill. Það bendir til þess að öll kolótt afbrigði byggi á svipuðum erfðagrunni (burtséð frá því að mókolótti hópurinn sé lítill) og að það sé þar með réttlætjanlegt að skoða öll kolótt afbrigði saman:



E.2.2.2 Gult

M-plot **Hreinhvít – gult** leiðir talsvert minna í ljós – munurinn þar á milli virðist minni. Eingöngu *MITF*-staðsetningin er skýr eins og áður, auk þess gæti litningur 13 verið áhugaverður, en bendingin er ekki sterk:



M-plots af “Kolótt – gult” og “Öll nema gult – gult”, sem voru búin til í tilraunaskyni, sýndu enn minna.

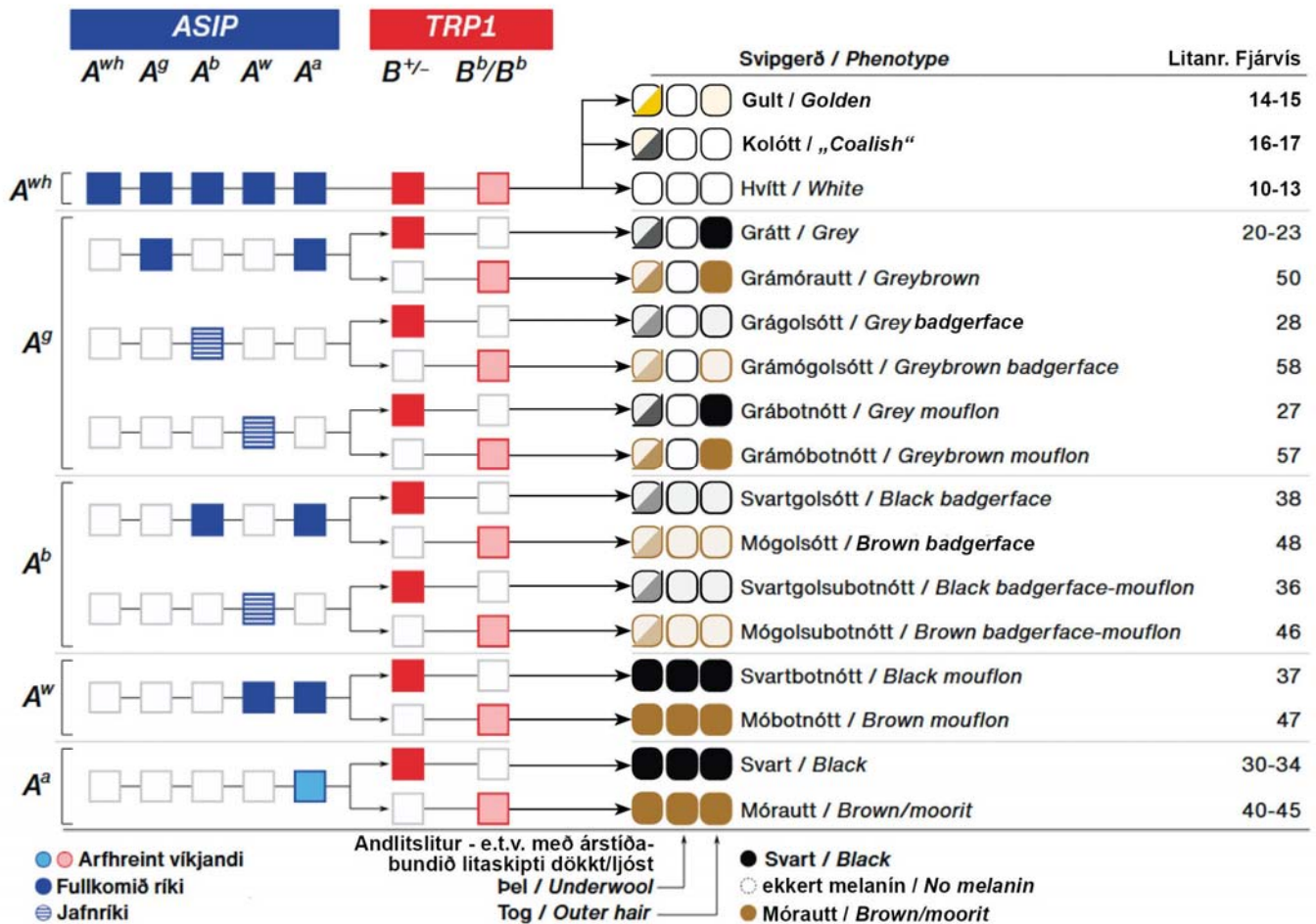
E.2.3 Vangaveltur á þessum grunni

- Grunnlitirnir eru sem sagt **svart** og **mórautt** (eumelanín í tveimur útfærslum). Hvort þeirra er notað, stjórnar TYRP1-genið (TRP1). Það liggur á **litningi 2 (15.) – einmitt í þessum sama litningi fundum við “háhyði”**.
- Þessir litir eru „litförótt“ hvað andlitslitinn varðar (slétt stutt hár – á meðan síðu „bylgjóttu“ ullarhárin taka ekki þátt í þessu árstíðabundna litaskipti):
 a) grátt,
 b) golsótt.
- Þessir tveir litir (eða mynstur) liggja **báðir í A-sætinu** (ASIP-genið stjórnar þeim); reyndar ásamt botnóttu. (15.) En **botnótt er ekki litförótt**: Andlitsliturinn samsvarar alltaf grunnlitnum, sem einkennir jú botnóttu gripinn að mestu leyti – eingöngu kviðurinn og misstór „smekkur“ eru ljósir ásamt litlum „augnabrúnum“, svo eru fæturnir ljósbrúnir/mórauðir. Hins vegar eru einkenni **golsóttu** mynstursins öfug: Eingöngu kviðurinn, fæturnir og andlitsrákir halda grunnlitnum, á meðan allt hitt, ekki síst ullin, er ljóst.
Gráa mynstrið lýsir einnig ullina upp, sérstaklega þelið, og svo andlitshárin á vorin/sumrin; grunnliturinn ber mjög lítið á. Í arfhreinu formi eru þessi áhrif enn meiri og þar eru fæturnir einnig ljósbrúnir/mórauðir.
- **Einnig á kolóttum og gulum** kindum er áberandi að andlitið er **litförótt**. Einnig þar er **grunnliturinn** ekki áberandi, hann er jafnvel alls **ekki sjáanlegur** því þessar kindur eru **hvítar**. Hvítar kindur eru ekki með eumelanín, en geta verið með mismikið feómelanín. Svo vill svo heppilega til að hvítt liggur einnig í **A-sætinu**. (15.)
- Sigurður Narfason, fyrrverandi ullarmatsmaður, hefur rétt fyrir aldamótin þælt mikið í tilurð kolótta litarins. Hann fann út að a.m.k. 80% kolóttra gripa eiga botnóttu/r eða golsóttu/r forfeður eða -mæður. (10.) Jósef Valgarð Þorvaldsson, Viðivöllum fremri, tengdi á áttunda áratugi kolótt frekar við golsótt og arfhreint grátt en við hvítt. (16.)
- **A-sætið er staðsett í litningi 13 (15.)** – og einmitt í þessum litningi fundum við „háhyði“ í M-plottunum.

- **Hreinhvítar** kindur (sem eru alltaf arfhreinar flekkóttar) eru **ekki litföróttar**. Það er rökrétt því í þær vantar litarefnið algjörlega, hvorki eumelanín né feómelanín eru til. Genið sem tengist flekkóttu (og þar með líka ljósum klaufum, ljósum hornum og bleikri húð á hvítum kindum) er einmitt *MITF* sem var nefnt fyrir ofan og liggur á **litningi 19**. (14.)

Þar með eru 3 af 5 litningum, sem samkvæmt GWAS-rannsókninni gætu hýst gen sem tengjast kolótta litnum, með þekkt hlutverk á einmitt þeim sviðum sem virðast skipta máli varðandi viðkomandi fyrirbæri: 2, 13 og 19.

Í þessu samhengi er áhugavert að skoða **yfirlitsmynd** úr greininni „Litafjölbreytni og erfðir lita hjá íslensku sauðfé“ (2.). Hún lýsir mismunandi **útfærslum ASIP- og TRP1-genanna**⁵. Myndinni var breytt í hægri helmingi hennar: Við bættum hér við dálki um andlitslitinn og hvort hann sé „litföróttur“; auk þess bættum við ljósari litblæ við í dálkunum „þel“ og „tog“ til að endurspegla betur svipgerð golsóttar litarins og loks kemur hvíti liturinn fram í þremur útfærslum í samræmi við rannsóknina okkar (hvítt, kolótt, gult).



Á grunni allra þessara niðurstaðna og þælingar voru þróaðar eftirfarandi **þrjár kenningar** – hjá þeim er eiginleikinn „litföróttur“ lykilatriði:

⁵ Reyndar er ekki búið að staðfesta enn að TRP1-genið stjórna grunnlitunum einnig í íslensku fé (sjá kaflann F.1), en í þessari mynd er gert ráð fyrir því.

Kenning 1a: Áhrifavaldurinn fyrir litförott hefur ekki áhrif á hárin sem eru með óbreyttan grunnlit, heldur eingöngu á „upplýstu“ hárin. Þess vegna eru botnóttar kindur ekki litförottar – nema ef þær eru hvítar og þar með einnig „upplýstar“, þá eru þær mögulega einnig litförottar: ef þær eru kolóttar eða gular. Í stuttu máli: Mögulega eru hvítar kindur (þó ekki hreinhvítar), sem eru botnóttar „undir“ hvíta litnum“, gular eða kolóttar.

Kenning 1b: Áhrifavaldurinn fyrir litförott hefur áhrif bæði á eumelanín (ef það er upplýst vegna mynsturs) og feómelanín (ef ekkert eumelanín er til – eins og í kolóttum og gulum kindum).

Kenning 2: Kolótt og gult liggja einnig í A-sætinu (sem er ekki sjálfgefið, þótt þessir gripir séu hvítir og hvíti liturinn liggi í A-sætinu, þar sem vitað er að kolótti eiginleikinn getur komið úr mislitum ættarlegg).

Kenning 3: „Flekksætið“, S-sætið, slekkur í arfhreinu formi á litförotta áhrifavaldanum í hvítum kindum. Þess vegna eru hreinhvítir gripir – sem eru jú arfhreinir flekkóttir – ekki litförottir, því í þeim vantar litarefnið algjörlega; hvorki eumelanín né feómelanín er til. Andlitsliturinn þeirra er eins allt árið – skjannahvítur. En S-sætið hefur þessi áhrif ekki í arfblendnu formi og heldur ekki á grátt og golsótt, gráflekkóttar kindur t.d. eru samt litförottar.

En það á eftir að koma í ljós, hvort það sé einhver fótur í þessum pælingum (sjá F.2 Næstu skrefin).

E.2.4 „Arfgerðir“

Álitlegastar staðsetningar eru sem fyrr segir OAR19, Chr13, OAR2, Chr17 og Chr3 (raðaðar eftir „hæð“ þeirra „háhýsa“ sem komu fram í M-plotunum). Flögugreiningin leiddi „arfgerðir“ fyrir þessar staðsetningar/breytileika í ljós sem hægt er að skoða fyrir hvern og einn grip. Eftirfarandi breytileikar/arfgerðir fundust:

Staðsetning	breytileikar	arfgerðir
OAR19	A, G	AA, GG, AG (=GA ⁶)
Chr13	A, G	GG, AG
OAR2	C, G	GG, CG
Chr17	A, T	AA, AT (=TA)
Chr3	A, G	AA, GG, AG

Í fyrsta lagi vekur athygli að eingöngu um tvo mismunandi breytileika er að ræða í hverri staðsetningu sem er ekki sjálfgefið – það hefðu líka getað verið þrír eins og t.d. í sumum sætum í príongeninu (sem ræður næmi fjár fyrir riðuveiki). En á þessum grunni – tveir breytileikar – hefði maður búist við þremur mismunandi „samsetningum“, þ.e. arfgerðum í hverjum litningi:

- breytileiki x arfhreinn (xx),
- breytileiki y arfhreinn (yy),
- breytileiki x + breytileiki y (þ.e. arfblendinn: xy).

⁶ auðveldara að lesa í samsettum arfgerðum, sjá neðar

En svo er ekki:

- Í Chr13 vantar AA,
- í OAR2 vantar CC og
- í Chr17 vantar TT.

Ef eingöngu OAR19 og Chr13 eru skoðaðar sem samsetning (því þær eru sterkastar), kemur ekkert nothæft út – t.d. er arfgerðin AAGG algeng í öllum litaflokkum. Þess vegna voru hinar þrjár bættar við og **samsettu arfgerðirnar skoðaðar.**

Ef allar staðsetningar hefðu verið með 3 mismunandi útfærslur, hefðu 243 mismunandi „heildararfgerðir“ verið hugsanlegar þegar allar 5 staðsetningar eru settar saman í röð:

$$3 \text{ „hlutaarfgerðir“ á hverjum af þessum litningum} \rightarrow 3^5 = 243.$$

En þar sem það eru einungis tvær staðsetningar með allar 3 og hinar þrjár staðsetningar með 2 arfgerðir, eru

$$3^2 \times 2^3 = 72 \text{ „heildararfgerðir“ hugsanlegar.}$$

Ekki var útilokað að „þriðja arfgerðin“ (sem vantar í Chr13, OAR2 og Chr17) fyndist ef um talsvert fleiri gripi væri að ræða; þess vegna var athugað hvort hún væri kannski til staðar í öðrum sauðfjárkynjum þar sem sambærileg gögn lágu fyrir. En svo var ekki. Þess vegna er líklegt að hún sé bara ekki til – hún gæti t.d. einhverra ástæðna vegna verið banvæn á fösturstigi.

Ef ekkert samhengi væri á milli arfgerðanna og litanna, væri gripafjöldinn með hverja arfgerð svipaður og langflestar af þessum 72 hugsanlegu heildararfgerðum myndu koma fyrir. En svo er ekki: Það fundust einungis 14 heildararfgerðir og einungis 6 af þeim finnast í fleiri en 10 gripum.⁷

Það þýðir að gripirnir „þjappast“ saman í tiltölulega fáum arfgerðum, sem bendir sterklega til þess að við séum á réttri leið með þessa fimm litninga og að það sé líklegt að þeir skipti einhverju máli. Við vitum hins vegar ekki hvort viðkomandi breytileikinn innan litningsins orsakar virkilega litinn eða hvort hann er bara stutt frá þessum „orsakabundna breytileika“ (e. causal variant).

Áberandi er meðal annars (ef “arfgerðin” er OAR19-Chr13-OAR2-Chr17-Chr3):

- **Hreinhvít** sýnir mesta sérstöðu; **GAAGCGTAAA** kemur einungis fyrir í hreinhvítum og flekkóttum gripum (hreinhvítir gripir eru í rauninni flekkóttir „undir“ hvíta litnum). Ein önnur arfgerð er áberandi þar, **AAGGGGAAAA**, en hún kemur ekki fyrir í kolóttum gripum og einungis í einum gulum grip.

⁷ Auk þess dreifðust 5% gripanna (12 einstaklingar) á 9 arfgerðir þar sem greiningin gaf ekki skýra niðurstöðu í öllum staðsetningum (það vantaði yfirleitt ein “hlutaarfgerð”, 0 eða 00 kemur í staðinn). Ef eingöngu einn möguleiki kom í rauninni til greina, var viðkomandi gripurinn flokkaður þannig, en það var eingöngu hægt hjá 7 þeirra. Hinir 5 finnast í gulu reitunum neðst í krosstöflunni á næstu blaðsíðu. Bara örfáir þessara gripir eru kolóttir, gulir eða hreinhvítir, þess vegna breytir það samt engu hvað heildarniðurstöðurnar varðar.

- **Venjulegt hvítt** er fjölbreytast og auk þess tilheyra allar óljósu niðurstöðurnar þessum lit – sem kemur ekki á óvart því hér undir flokkast allt sem er hvítt, en ekki gult, kolótt eða hreinhvítt, án þess að gera frekari greinarmun.
- Langflestir **kolóttir** gripir (93% blá-/grákolóttra og 74% mókolóttra) flokkast undir tvær arfgerðir: **AAGGGGAAAG** eða **AAGGGGAAGG**.
- Bara fáir gripir, sem virðast kolóttir, eru með öðruvísi arfgerðir – þær eru með **GA í OAR19**, ekki AA (en eru samt með AG og GG í Chr 3 eins og hinar tvær). Hjá sumum þeirra er ekki 100% víst heldur að um raunverulega kolótta gripi sé að ræða.⁸
- Áberandi margir **gulir** gripir (90%) eru einnig með **sömu tvær arfgerðir** og kolótt: **AAGGGGAAAG** eða **AAGGGGAAGG**.
- Hins vegar ber **enginn hreinhvítur gripur** þessar tvær arfgerðir.
- **OAR2** er alltaf GG í blá-/grákolóttum gripum og í 95% mókolóttra og gulra gripa (en ekki er 100% víst að þessir séu rétt litagreindir).
- **Chr13** er alltaf GG í blá-/grákolóttum gripum, í 80% mókollóttra og í 89% gulra.
- **Chr 17** er alltaf AA í blákolóttum gripum, í 80% mókolóttra og 89% gulra.
- Hins vegar eru allir mókolóttir og gulir gripir, sem eru með **AG í Chr13**, á sama tíma **með TA í Chr17**.

Niðurstöðurnar sjást í smáatriðum í eftirfarandi krosstöflu – í hverjum reit kemur fram hlutfall arfgerðarinnar innan litarins í viðkomandi dálknum, þ.e. hver dálkur er samtals alltaf 100%:

⁸ Hjá þremur gripum kemur líka arfhreint grátt til greina, þótt líkurnar séu ekki miklar þar sem báðir foreldrar og ömmur og afar öll eru hvít, en grátt finnst aftur í ættinni; í tveimur “mókolóttum” tilfellum gæti líka um dökkgula gripi verið að ræða; nema einn gripur með þessa arfgerð ætti að vera örugglega mókolóttur (hann er frá Teigi 1 og upplýsingarnar koma frá Grjótá þar sem umfangsmikil reynsla er á kolótta litnum).

"arfgerðir"		Gult	Ljósult	Ljósult en nátengt kol.	venjulegt hvítt	venj. hvítt en nátengt kol.	hreinhvítt eða flekkótt	blákolótt/grákolótt	mókolótt	arfhreint grátt	aðrir litir
OAR19-Chr13-OAR2-Chr17-Chr3	222	37	15	1	43	2	52	45	19	2	6
AAAGCGTAGG	2				5%						
AAGGGGAAAA	22		13%		5%		35%				
AAGGGGAAAG	75	41%	13%		30%			71%	42%		
AAGGGGAAGG	43	49%	27%		2%			22%	32%		
GAAGCGTAAA	30						58%				
GAAGCGTAAG	14	5%	33%		14%		2%				
GAAGCGTAGG	14		13%		19%				16%		
GAAGGGTAAG	2	3%							5%		
GAAGGGTAGG	1	3%									
GAGGGGAAAA	3				2%		4%				
GAGGGGAAAG	4				5%			4%			
GAGGGGAAGG	3							2%	5%		
GGAGCGTAAA	1						2%				
GGGGGGAAGG	3				7%						
GAAG00TAAG	2				5%						
0AAGCGTAGG	1				2%						
0AGGGGAAAG	1				2%						
0GAGCGTAAG	1				2%						

Það þýðir:

- Hreinhvítt og kolótt eru erfðafræðilegar andstæður – eins og kannski mátti búast við en það var samt ekki víst.
- Margt sameiginlegt er við kolótt og gult – blákolótt jafnvel meira en mókolótt (en kannski stafar það af misgreiningum)
- Blákolótt er einsleitasti liturinn – allir gripir eru með GG GG AA “í miðjunni”, þ.e. í Chr13-OAR2-Chr17.
- Chr3 skiptir greinilega sköpum – arfhreint AA er aldrei kolótt eða gult, hins vegar eru AG og GG⁹ aldrei hveinhvít.

Eftirfarandi tafla sýnir allt þetta glögg:

⁹ Einn gripur – Dagur 20-003 frá Mávahlíð með arfgerðina GAAGCGTAAG – var samt örugglega hreinhvítur. En hann er algjör undantekning. Móðir hans fæddist með gulan haus og móðurmóðir hans var með dökkgulan dröfnóttan haus. Mögulega skiptir það erfðafræðilega máli. Það gæti líka verið vísbending að viðkomandi breytileikinn er í rauninni ekki orsakabundni breytileikinn. Það skýrist vonandi þegar næstu skrefin voru tekin og GWAS-rannsóknin var endurtekinn með nýja litaflokkun.

litur	arfgerð OAR19 Chr13 OAR2 Chr17 Chr3
blákolótt	AA GG GG AA - G
mókolótt	- A - G GG AA - G
gult	- A GG GG AA - G
hreinhvítt	- A - G - G - A AA

- meira en 20% eru ekki með meginbreytileikann (þ.e. genasamsætan er margháttuð)

GA 80–95% eru með þennan breytileika

GA 100% eru með þennan breytileika – en sjá neðanmálsgrein 9

E.2.5 Fleiri niðurstöður

- Líklega eru þessar arfgerðir (þ.e. varðandi þessar staðsetningar) ekki tengdar litaafbrigðum sem eru ekki hvítar – í stuttu máli: Þær skipta ekki máli fyrir þær. A.m.k. kemur sama arfgerð fyrir í báðum grunnlitum og mismunandi mynstrum. Orðað á jákvæðan hátt: **Arfgerðirnar virðast eingöngu skipta máli** fyrir gripi með **hvít litaafbrigði**, en líklega ekki fyrir þá sem eru ekki hvítir. En til að vera viss, þyrfti að taka inn fleiri mislita samanburðargripi.
- Misgreiningar** eru tíðar og eitt helsta vandamál er að greina í sundur arfhreint grátt og kolótt annars vegar og ljósgrámórátt eða dökkgult og mókolótt hins vegar. Því miður voru ekki nógu margir arfhreinir gráir/grámóráuðir gripir með (einungis tveir – enda var það upphaflega ekki markmiðið) til að finna mögulegan mun. Vætanlega liggur munurinn þá á öðrum stað en þessum fimm sem voru skoðaðir hér, því arfhreinu gráu gripirnir í þessari rannsókn voru einmitt með algengustu “kolóttu” arfgerðina. Þar með er ekki hægt að greina í sundur arfhreint grátt og kolótt með hjálp þessara arfgerða. En það er hægt að nota **óbeina aðferð**: Tiltölulega auðvelt er að þróa “hvítt/ekki-hvítt”-erfðapróf. Þar með er hægt að leysa málið: kolótt er alltaf hvítt, en arfhreint grátt/grámórátt er aldrei hvítt.
- Rangar litaskráningar** eru einnig vandamál sem skekkja hlutföllin.¹⁰ Ekki alltaf er hægt að leysa þær.
- Orsakir fyrir ranga litaflokkun geta því verið margfaldar. Því er ekki útilokað að arfgerðir sem “passa” ekki inn í heildarmyndina séu í rauninni tengdar gripum þar sem litagreiningin misheppnaðist eða liturinn var óvart ekki rétt skráður. Þess vegna er **best að einbeita sér að “svörtu” reitunum**, þ.e. þeim arfgerðum sem yfirgnæfandi meirihluti gripanna ber sem eru með þennan lit.
- Ekki var hægt að sjá neinn mun hér á mókolóttum og blá-/grákolóttum gripum. Kenningu sumra bænda, að mókolótt byggji á móráuðum grunnlit og blá-/grákolótt á svörtum grunnlit, var ekki hægt að staðfesta hér: T.d. voru gráu gripirnir (= grunnlitur svart) með sömu arfgerð og grámóráuðir eða móbotnóttir gripir (= grunnlitur mórátt). En það þýðir aðallega að við **náðum ekki í breytileikann sjálfan á litningi 2 sem ræður grunnlitnum**.

¹⁰ Skemmtilegt og lýsandi dæmi: Þegar reynt var að flokka “gallaðar” niðurstöður (þar sem flögugreiningin virkaði ekki fullkomlega, merkt með 0) niður í þekktar arfgerðir. Einn gripur var með arfgerðina GAAG00TAAA. Við vitum að CC kemur á þessum stað ekki fyrir, þannig að hér gat eingöngu um CG eða GG verið að ræða. Arfgerðin GAAGGGTAAA fannst ekki í neinum öðrum grip – ólíkt arfgerðinni GAAGCGTAAA sem er einmitt “einkennisarfgerðin” hreinhvíta litarins. Viðkomandi gripur var hins vegar skráður sem gult (gulflekkóttur)! Þess vegna var haft samband við bóndann. Hann kannaðist strax við hrútinn, hann hét Blámann þar sem hann var merktur blár þegar hann var keyptur og var burtséð frá því hreinhvítur. Líklega var um víxl eða innsláttarvillu að ræða þegar lambaliturinn var skráður. En sem betur fór ruglaði Blámann ekki “kerfinu” og GAAGCGTAAA er áfram eingöngu tengt hreinhvíta litnum!

E.3 Fleiri leiðir til að afla gagna

Á grunni þessarar þekkingu er núna hægt að leita frekari leiða til að fá vísbendingar um eðli og sérstaklega um erfðir kolótta og líka gula litarins.

E.3.1 Erlend sauðfjárkyn

Einkenni margra erlendra sauðfjárkynja er að allir fulltrúar kynsins eru eins að lit, frávik eru ekki leyfð og þar með útrýmt. Samkvæmt eðli málsins verða smám saman allir fulltrúar kynsins arfhreinir fyrir viðkomandi lit – óhætt er að gera ráð fyrir því eftir nokkurra áratuga ræktunarsögu án þess að þurfa að arfgerðagreina gripina. Erfðagögn úr slíkum kynjum til samanburðar geta gefið mikilvægar vísbendingar.

Auk þess er gott að athuga hvort kolótt og gult eru líka til í kynjum sem eru náskyld íslensku sauðkindinni.

E.3.1.1 Gul kyn: arfhreinir gripir

Litir tveggja kynja, bæði með gamlar rætur og lítinn stofn sem er vel aðlagður að viðkomandi staðhættum (e. “landrace”), minna helst á dökkgult íslenskt fé:

- Portland sheep (í Englandi), sjá vinstri myndina (mynd: portlandsheep.com) og
- Coburger Fuchs (í Þýskalandi), sjá hægri myndina (mynd: Posthof Rendsburg).

Hausinn og fætur (með slétt og stutt hár) eru dökkgulir, jafnvel appelsínugulir og lömbin fæðast appelsínugul eða mórauð, á meðan ullin á fullorðnum kindum er talsvert ljósari og svo gott sem hvít.



Það væri áhugavert að bera erfðaeftirfarir þeirra saman við dökkgult íslenskt fé. Að minnsta kosti úr Coburger-Fuchs-kyninu liggja slík gögn fyrir.

E.3.1.2 Kolótt kyn: arfhreinir gripir, athyglisverðir blendingar

Kenningin að mokolótti liturinn sé kominn til landsins með **innfluttum Oxford-Down-kindum** (6.) leiðir að tveimur hugleiðingum: Finnum við þar arfhreint kolótt – og hvernig líta arfblendnir gripir út, sem endurspegla að öllum líkindum þá gripi sem urðu til hér á landi?

Í ljós kom að Oxford-Down-kynið er með langa ræktunarsögu, því ættu þessir gripir að henta mjög vel til að athuga eðli og erfðir litarins. Á hinn bóginn er gott að hafa hvítt kyn með sem er ekki kolótt, en einnig langræktað. Þá er hægt að framleiða markvisst blendinga og athuga liti lambanna.

Oxford-Down-fé er með ljósa ull, dökkmóraultt/mósvart andlit og dökkmórauða fætur (sem sést ekki eins vel þar sem fæturnir eru ullaðir að mörgu leyti) – sem minnir í grunninn á mokolótta “mynstrið”:



Mynd: oxforddownsheep.org.uk

Kynið varð til þegar fulltrúum eftirfarandi kynja var blandað saman upp úr 1830:

- Hampshire-Down-fé (sem líkist mjög Oxford-Down-fé hvað liti varðar),
- Southdown-fé (með hvíta eða gula ull og gulgráleitt andlit, fæturnir geta verið eins að lit) og
- Cotswold-fé (sem var í miðöldum frægt fyrir tiltölulega síða, bylgjótta ull með gullinn blæ – fæturnir eru samt hvítir, andlitið líka, með dökkar nasir, en grá andlit koma fyrir, einnig guleit andlit).

Út frá því virðist kolótti liturinn (eins og á Hampshire Down fé) **ríkja yfir ljósari litum** (eins og á hinum tveimur kynjunum) – það er fyrsta vísbendingin um eðli litarins.

Svo eru andlitshárin og að hluta til hárin á fótunum hjá öllum þremur kynjunum dekkri en ullarhárin. Sauðfé er yfirleitt með a.m.k. tvær ólíkar hárttegundir: slétt, tiltölulega stutt hár, sem finnast í andliti, á fótunum og á dindlinum/rófunni annars vegar (svo að segja upprunalega hárttegundin villifjárins) og “bylgjött” tiltölulega löng ullarhár á bolnum annars vegar (og hjá sumum kynjum einnig á hluta andlits, fóta og dindils/rófu). **Á kolóttum kindum taka sléttu hárin dökka litinn, en ekki ullarhárin** – sem er önnur vísbending um eðli litarins.

Skoðum núverandi útlit Oxford-Down-kynsins betur, tæpum 200 árum seinna, þegar líkurnar eru góðar á að allir gripir séu arfhreinir kolóttir. Lömbin eru dökk þegar þau koma í heiminn, virka frekar blásvört í grunninn, en eru samt með hvítar flyksur eða

Það sem er kallað “hélugrátt” í Fjárvísi (og kemur í íslenska stofninum eingöngu fyrir á unglömbum):



Mynd: Anglesey and Paradvys Oxford Down Flocks

Íslensk lömb sem fæðast með þennan lit verða “venjuleg” grá, en oft með tiltölulega ljósa ull. Svo er í íslensku fé oft mjög erfitt að greina í sundur arfhreinar gráar kindur og blá- eða mokolóttar kindur eingöngu út frá útliti. **Skyldi vera eitthvert samhengi á milli gráa litarins og kolótta litarins?** En það getur líka verið tilviljun, þar sem mokolótt íslensk lömb líta oft svona út:



Mynd: Sigurborg Hanna Sigurðardóttir, tekin á Teigi

Athyglisverðir blendingar

En skoðum núna hvað gerist þegar **arfhreinum kolóttum og arfhreinum hvítum** (en ekki kolóttum) gripum er **blandað saman**.

Algenzt er í Bretlandi að framleiða “einblendingslömb” til kjötframleiðslu til að nýta sér annars vegar kosti harðgerðra kynja í móðurætt (fyrst mæðurnar eru að ala lömbin) og hins vegar kjötsöfnunareiginleika þungra kjötkynja í föðurætt. Oxford-Down-fé er þungt láglendiskyn og því hafa Oxford-Down-hrútar verið notaðir á ær annars kyns til einblendingsframleiðslu. Það er mjög heppilegt í okkar tilfalli, því þá

þurfum við ekki að framkvæma þessar blendingstilraunir sjálf, heldur getum við skoðað einblendingslömb í staðinn sem urðu til hjá þeim.

Ær úr kynjunum Lley, Texel og Charollais henta vel hér: Gripirnir eru með hvíta ull, hvítt andlit (en dökkar nasir) og hvíta fætur.

Útkoman er áhugaverð: Eftir því hvaða kyni móðirin tilheyrir, geta blendingslömb verið með **flyksur** og líkjast frekar grákolóttum kindum (t.d. Lley-ær) eða heldur með **einlitt eða grásprengr** andlit sem líkist meira upprunalega kyninu Oxford Down (t.d. Texel-ær). Oxford-Down-kynið var og er enn töluvert þekkt utan Bretlandseyja, til dæmis í Danmörku og Eystrasaltslöndunum, m.a. í Lettlandi. Einnig þar er stunduð blendingsrækt og sama fyrirbæri sést: Blendingar virðast vera eitthvað "kolóttir", þá frekar "mókolóttir" en "blákolóttir". (13.)

Áhrif þessa “kolóttu” mynsturs virðast í öllum tilfellum **mjög sterk** því nærri engin blendingslömb virðast halda hvíta litnum sem móðirin ber yfir.

Til eru ýmis kyn með dökkan haus, þ.e. dökk slétt hár, en ljósan búk, þ.e. ljósa ull – hvort sem þau eru með fætur í sama lit eða með hvíta fætur. Líkust íslenskum kolóttum kindum eru þau kyn sem eru með dökka fætur; auk Oxford Down tilheyra t.d. Hampshire Down og Suffolk þessum hóp. Reynum að skilja betur hvaða fyrirbæri þessi “dökkhöfðakyn” endurspeglar.

Í fljótu bragði mætti halda að hér sé um höttóttar kindur að ræða, þ.e. flekkóttar, sérstaklega ef fætturnir eru ljósir. En við nánari athugun kemur í ljós að hér er um allt annað fyrirbæri að ræða:

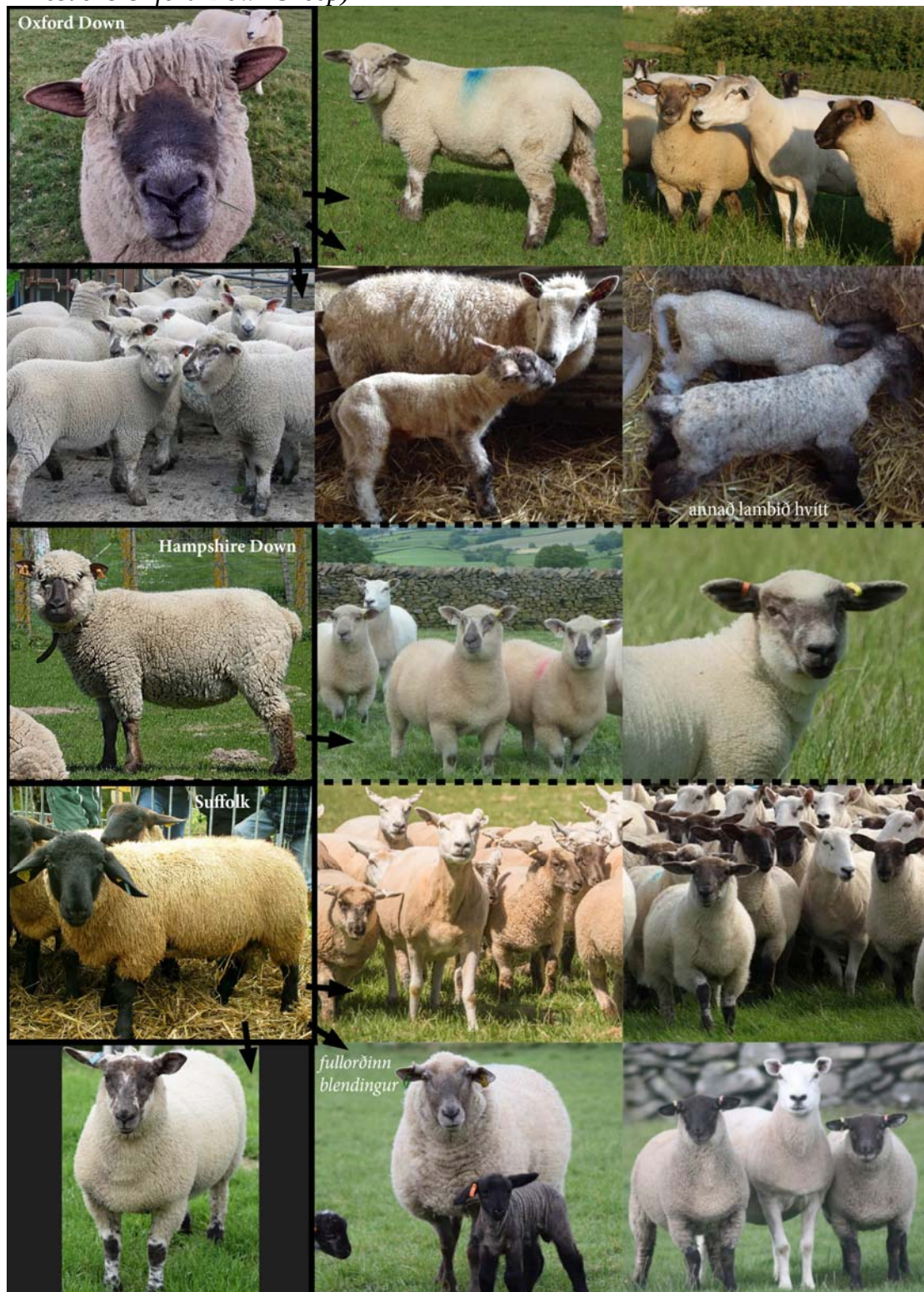
- Fæðingarlitur lambanna hjá mörgum kynjum er dökkur.
- Blendingar með hvítum, en ekki hreinhvítum kynjum (á borð við Texel, Lley eða Charollais) sýna sömu litadreifingu, en með ljósari litblæ (grátt, gulbrúnt eða “fjólublátt”) og/eða með flyksur, svipað og sýnt er fyrir ofan.

Þ.e. í þessu tilfalli er “formúlan” (foreldri 1 + foreldri 2 = lamb):
svartur haus + hvítur haus = grár haus,

á meðan raunverulegt flekkótt/höttótt er með þessa formúlu:
svartur haust + hvítur haus = svartur haus eða hvítur haus (eftir því hvort lambið er hvítt eða einlitt svart eða svarthöttótt)

Yfirlitsmynd á næstu blaðsíðu sýnir nokkur dæmi um blendinga – kynið föðurins er alltaf með dökkan einlitan haus, kynið móðurinnar er hvítt með dökkar nasir, þ.e. ekki hreinhvítt; efst Oxford Down og blendingslömb, í miðjunni Hampshire Down og blendingslömb, neðst Suffolk og blendingslömb ásamt einni fullorðinni blendingsá. Ath.: Ef ull er á fótleggjunum, sést ekki eins vel að þeir (eða betur sagt sléttu hárin þar) eru líka dökkir.

Oxford Down, Hampshire Down og Suffolk ásamt blendingum.
 (Myndir: oxforddownsheep.org.uk, lleynsheep.com, Monkstone Oxford Down Sheep,
 Billesdons Oxford Down Sheep)



E.3.1.3 Önnur stuttrófukyn

Víst er að gult kemur líka fyrir í öðrum stuttrófukynjum – í rauninni er hér um “upprunalega” ástandið hvíta litarins að ræða. Margt bendir til þess að kolótt sé einnig eðlilegur hluti íslenska stofnsins (13.), eins og í öðrum stuttrófukynjum. Meðal annars virðast a.m.k. ljósmókolóttir gripir koma fyrir í norska Spælsau-stofninum (sjá mynd fyrir neðan) og kannski fleiri kolótt afbrigði; þar eru líka krímóttir gripir að finna.



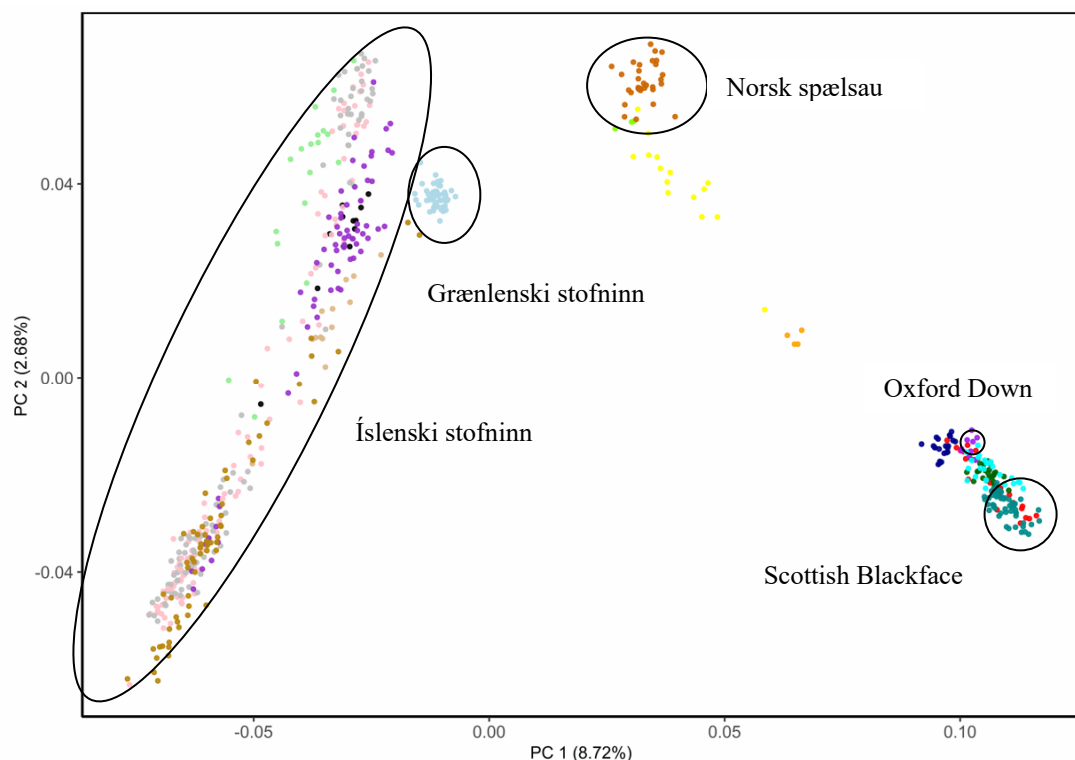
Mynd: Eirin Rauð

Spælsau er fjárkynið sem er erfðafræðilega mest skylt íslensku sauðfé – sjá PCA-punktaritið á næstu blaðsíðu.

Enn sterkara væri að finna kolótta grip í Grænlenka stofninum – hann byggir á íslensku fé sem var flutt út upp úr 1915 og að öllum líkindum kom þetta fé ekki nálægt innfluttum gripum. Athuganir eru yfirstandandi. Stofninn býr í fljótu bragði yfir sömu litum og núverandi íslenski stofninn – en þar með er það eins erfitt þar að greina í sundur t.d. arfhreint grátt og blákolótt.

Þrátt fyrir þetta er ekki útilokað að kolótta genið hafi borist auk þess til landsins með innfluttu Oxford-Down-fé (eða Svarthöfða-fé), þótt þessi kyn eigi annars erfðafræðilega lítið sameiginlegt við íslenska stofninn í dag, eins og ofangreinda punktaritið sýnir. En það dugar í rauninni að fá einn arfhreinan grip sem skilar þessum lit með 100% vissu til afkvæma sinna. Ef bara eitt afkvæmi upphafsgripsins lifir af og eignast afkvæmi sjálft sem bera litinn, er möguleiki að eiginleikinn sé kominn til að vera – alveg óháð því hvort erfðamengið sjálft sé með tímanum að verða gjörólíkt

upphafskyninu. Litur er að flestu leyti ekki bundinn neinum öðrum erfðafræðilegum eiginleikum (nema ef um litarefnaskort = hvítan lit er að ræða sem er banvænn eða veldur öðrum truflunum á borð við heyrnarleysi).



Erfðafræðileg tengsl á milli ýmsa fjárkynja

Mynd: Olusegun Olaniyi Adeniyi/Karólína Elísabetardóttir

E.3.1.4 Ályktanir

Þetta eru helstu niðurstöður sem hægt er að draga af þessum athugunum:

- Í hvítu fé með dökkar nasir geta leynst mismunandi litaeiginleikar (sem koma ekki fram nema í blendingum með kolóttu fé).
- Áhrif kolótta litarins á hvíta litinn eru sterk – mögulega ríkjandi; en útkoman er oftast í daufari litum þá: Þetta þýðir að það virðist vera til “millileið” milli (dökk-)kolótts og hvíts.
- Ef annað foreldrið er arfhreint fyrir kolóttu, eru að minnsta kosti langflest afkvæmi kolótt – kannski öll. Best væri að fá nánari upplýsingar beint frá ræktendum Oxford-Down-blendinga.¹¹
- Áhugavert væri að skoða SNP-gögn Oxford-Down-gripa á sama hátt og við gerðum áðan. Eru gripirnir allir með sömu “heildararfgerð” hvað þessar 5 staðsetningar varðar – og kannski einmitt arfgerð sem við fundum í íslenskum kolóttum gripum?

¹¹ Reynt var að ná samband við Oxford Down Sheep Breeders Association, en því miður virðist enginn þar geta svarað spurningunum sem varðar þessa blendinga. Sama var uppi á teningnum varðandi þrjá ræktendur í Bretlandi þrátt fyrir að vera augljóslega í blendingrækt sjálfir. Vonandi verður hægt að fá upplýsingar seinna.

E.3.2 Kolóttir sæðingahrútar: tækifæri til að kanna erfðir

Færum okkur aftur heim til Íslands. Það vill svo heppilega til að mókolótti hrúturinn **Mökkur frá Teigi 1** kom inn á sæðingastöðina veturinn 2025/26 og var vel notaður: 779 sæddar ær eru skráðar, m.a. undan kolóttum ám. Bærinn Teigur 1 hefur lengi verið þekktur fyrir kolótt fê, sem hefur líka dreifst um sveitina; dæmi koma fram hér í rannsókninni. Vonandi verður hægt að fá sem flest gögn um þessi lömb undan honum. Áætlað er að skora sérstaklega á bændur að þeir skrái liti lambanna sem fæðast undan Mekki vorið 2026.

Faldur frá Ytri-Skógum undir Eyjafjöllum var sagður gefa kolótt; hann var einnig á sæðingastöðinni veturinn 2025/26. Reyndar kom hann þegar á stöð árið áður og þá voru 1.163 sæddar ær skráðar. Sérstaklega heppilegt er að hann er **arfhreinn hvítur**, þ.e. það er útilokað að um arfhreina gráa gripi sé að ræða. Í ljós kom hins vegar að eingöngu örfá lömb undan honum voru skráð kolótt eins og eftirfarandi tafla yfir 749 lömb með skráða liti sýnir:

litur	fjöldi lamba
10 (hvít)	210 – hluti þeirra gæti verið kolótt
11 (hreinhvít)	39
12 (aðeins gult)	412
13 (gulfleckótt)	77
14 (mikið gulfl.)	1
16 (grá-/blákolótt)	3
21 (ljósgrátt)	5 – misgreining, líklega grá-/blákolótt (getur ekki verið mislitt)
30 (svart)	2 – innsláttarvilla, rangfeðrað eða stökkbreyting (sjá 21)

Litir mæðranna sem eignuðust lömb með litanúmerin 16 og 21 voru skoðaðir:

lambanúmer	litur lambs	gripanúmer móður	litur móður
680	21	20-847	10 (hvít)
93	16	23-360	13 (gulfleckótt)
543	21	19-011	10 (hvít)
556	21	21-074	20 (grá)
557	21	21-074	20 (grá)
116	16	24-096	39 (svartfleckótt)
222	16	18-637	12 (aðeins gul)
541	21	22-007	10 (hvít)

Þótt ekki sé um umfangsmikil gögn að ræða er hægt að draga eftirfarandi ályktanir:

- Undan flekkóttu getur komið kolótt: kolóttir gripir geta verið arfblendnir flekkóttir.
- Því miður voru þessir gripir ekki með í SNP-rannsókninni, en samkvæmt því að flekkótt/hreinhvít er nærri alltaf með arfgerð -AAA, ættu kolótt lömb undan flekkóttu/hreinhvítu að vera með arfgerðina AAGGGGAAAG eða GAGGGGAAAG, en ekki með AAGGGGAAGG (því flekkótt foreldrið gat ekki lagt til G – það er eingöngu með A í Chr3).
- Eingöngu í einu tilfelli var um tvílembinga að ræða, sem bendir til þess að annað lambið á móti kolóttu hafi ekki verið kolótt.

Vonandi leiða gögnin um lömb undan Mekki skýrari niðurstöður í ljós.

E.3.3 Íslensk ættargögn

Venjulega eru ættartré, þar sem litur hvers og eins grips kemur fram, til mikils gagns til að finna út hvernig ákveðinn litur erfist – auk þess að skoða liti afkvæmanna og annars foreldris, sérstaklega hjá hrútum með 50 eða fleiri afkvæmi. Fjárvís býður upp á alla þessa möguleika.

En því miður kom í ljós að **kolótt og gult er mjög oft skráð sem “hvítt (10)”** (sumir bændur skrá jafnvel alla gripi með 10, líka mislita gripi) og að það er í mörgum tilfellum ekki hægt að fá nákvæmari upplýsingar um lit gripa aftar í ættartrénu þótt talað sé beint við bóndann. Þess vegna varð að hverfa frá því að skoða tíu ættartré fyrir hvern lit sem sýna a.m.k. fjórar kynslóðir.

En eftirfarandi dæmi gefa samt ákveðnar vísbendingar.

E.3.3.1 Þráinn á Grjótá

Þráinn frá Teigi 1 var “bara” ljósgulur sjálfur, en gaf á Grjótá oft mokolótt lömb, samt ekki alltaf. Bæði hann sjálfur og þrjár dæmigerðar dætur hans voru arfgerðagreindar:

Þráinn, ljósgulur: GAAGCGTAGG

- 21-109 Úlfhildur, dökkmokolótt: AAGGGGAAGG (móðir: svört)
- 24-403 Lukka, ljósmokolótt: AAGGGGAAGG (móðir: hvít, en undan misliti)
- 22-206 Skeifa, venjulegt hvít: AAGGGGAAGG (móðir: hvít)
- Svo var til lamb undan honum og svartri á, sem var tiltölulega oft ljósmyndaður og þess vegna áhugaverður: Höskuldur, ljósmokolóttur; hann var ekki arfgerðagreindur.

Þessi fá gögn varpa samt ljós á ýmis grundvallaratriði:

- Þrátt fyrir sömu arfgerð er svipgerð afkvæmanna ólík. Það þýðir: Orsakabundni breytileikinn, sem ræður hvort gripurinn verði hvítur eða kolóttur, liggur greinilega á öðrum stað í erfðamenginu. (Einnig fannst arfgerðin Þráins einnig í tveimur gripum sem voru skráðir mokolóttir – en ekki er víst að þessir tveir séu litagreindir rétt.)
- Mæðurnar voru mögulega með sömu arfgerð og dæturnar því staðsetningarnar eru hjá Þráni allar með öðruvísi “hlutaarfgerðir” en dæturnar nema Chr3 (GG).

Á næstu blaðsíðu sjást Þráinn (ásamt ættartré) og afkvæmin hans. Kölski, afi hans, er einnig afi Skræpu frá Flögu 1, sjá 3.3.2 – og frá Svínafelli hafa eins og fyrr segir komið margir kolóttir gripir.

Bráinn, ljósgulur: GAAGCGTAGG

Allar myndir: Ásta Þorbjörnsdóttir, Grjótá



F: 17-396 Þrjótur frá Teigi 1

FF: 10-920 Kölski frá Svínafelli 2; FFF: 06-807 Þúki, FFM: Renna frá Svínafelli 2 og 4
FM: 11-035 Lukka frá Teigi 2; FMF: 08-848 Laufi frá Bergsst.; FMM: 07-716 frá Teigi 2

M: 17-767 H frá Teigi 1

MF: 16-837 Blossi frá Teigi 1; MFF: 12-911 Bekri frá Hesti; MFM: Fanney frá Lauftúni

MM: 13-325 H (frá Teigi 1?); MMF: 12-151 Húni frá Teigi 1

Sæðingahrútar skáletraðir

Nokkur afkvæmi Bráins á Grjótá, Fljótshlið:



21-109 Úlfhildur, dökkmókolótt:

AAGGGGAAGG

móðir: svört

t.v. á haustin, t.h. 4. apríl



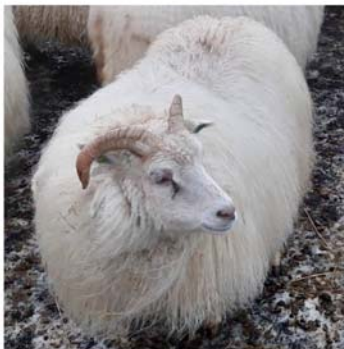
24-403, Lukka, ljósmókolótt:

AAGGGGAAGG

móðir: hvít

amma: svört

langamma: mórauð



22-206, Skeifa, venjuleg hvít:

AAGGGGAAGG

móðir: hvít



Höskuldur, ljósmókolóttur, fæddist með sama lit; móðir: svört

E.3.3.2 Skræpa frá Flögu 1

Skræpa var skráð grámóflekkótt, en í ljós kom að hún væri sennilega mokolótt. Út frá ættargögnum eru líkurnar ekki nema 1,75% á að hún sé arfhrein grá (þótt það sé ekki útilokað þegar eingöngu er tekið tillit til útlits hennar og afkvæmanna). Ættartré hennar kemur fram hér fyrir neðan – Kölski frá Svínafelli, afi Þráins, er einnig afi hennar; hálf systir hennar samfeðra er mjög lík henni.

Arfgerðin hennar er “dæmigerð kolótt”: AAGGGGAAAG.

Hún hefur verið alltaf tvílembd og eignast 12 lömb:

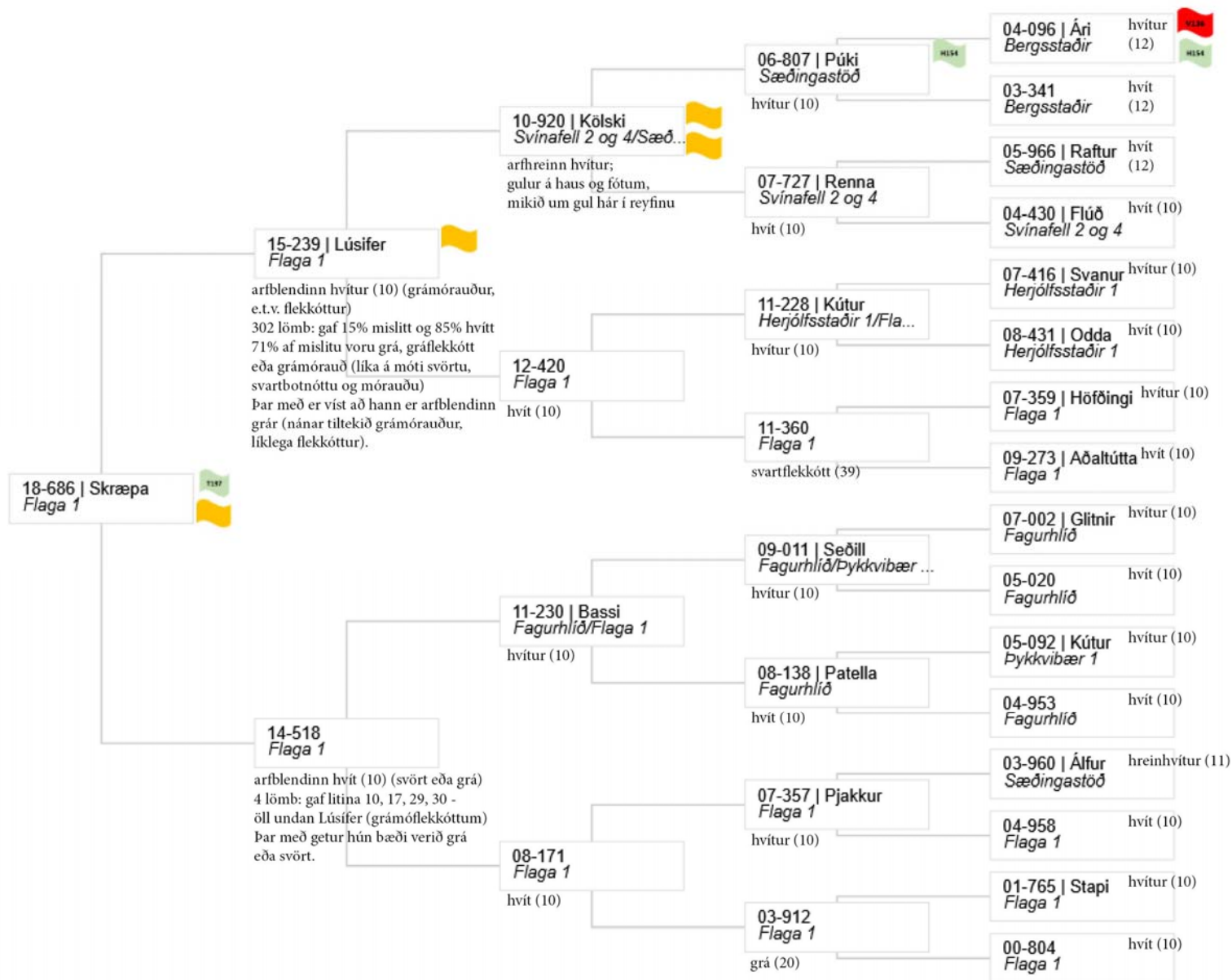
- 7 hvít (öll undan hvítum hrútum, þremur ólíkum)
- 1 baugótt (svart- eða grábaugótt)
- 4 dökkgrá (2 undan svörtum hrút og 2 undan dökkgráum hrút)

Skræpa er gott dæmi fyrir sterkt litaskipti (sjá myndirnar fyrir neðan) og oftast halda ókunnugir að um mismunandi kindur sé að ræða.¹² Myndirnar sýna líka að ljósið hefur mikið að segja og getur skekkt litblæinn talsvert ef t.d. flash er notað eða öfugt, ef ljósið er gulleitt – t.d. inni í fjárhúsum eða í vetrarsólinni.

Á Flögu hafa talsvert fyrr komið kolóttar mæðgur, 01-856 Kola og 09-261 Kolgríma. En því miður er einnig þar ekki hægt að reka tengslin þar sem “hvítt” var bara í undantekningartilfellum greint í sundur hvað litaskráninguna varðar.



¹² Til gamans: Í einu tilfelli gerði viðkomandi maðurinn ráð fyrir að bóndinn sé að grínast; í öðru tilfelli spurði viðkomandi konan af hverju “báðar kindur” séu hornbrotnar.



E.3.3.3 “Kolurnar” á Sölvabakka

Á Sölvabakka hafa verið ýmsar ær sem voru skráðar gráar/ljósgráar þangað til ein þeirra bar hvítu lambi á móti mislitum hrút! Það breytti viðhorfinu og allt í einu var þælt í kolótta litnum, það var tekið til greina að einnig Þúfa Öskubuskudóttir og nokkrar ær í viðbót – allar undan hvítum foreldrum – gætu líka verið kolóttar. Öskubuska Elsa er á bak við þær allar nema 21-163 Kolu – ána sem eignaðist hvíta lambið. 22-271, 23-353 og 24-426 eru allar undan Gretti; Öskubuska Elsa (móðir Þúfu) er amma Grettis, þannig að liturinn er líklega þaðan kominn.

Þessar ær eru mjög gott dæmi um spurninguna “kolótt eða arfhreint grátt” og tilvalið að framkvæma erfðaprófið “hvítt eða ekki hvítt” – ekki síst þar sem arfgerðirnar þriggja þeirra koma einungis einstökum sinnum fyrir í kolóttum gripum, á meðan Kola og Þúfa eru með “dæmigerðar kolóttar” arfgerðir.

Hér fylgja myndir og svo ættartölur ásamt litaarfgerðum:



„Kolurnar“ á Sölvabakka
(myndir: Anna Margrét Jónsdóttir)

21-163 Kola: ótvírætt kolótt (sjá ofar)



14-504 Öskubuska Elsa með Þúfu nýfædda – svo Þúfa sjálf (einnig t.h. með lömbum)



20-011 Dísa Öskubuskudóttir
(ekki arfgerðagreind)



22-271
Grettisdóttir



23-353
Grettisdóttir



24-426 Grettisdóttir

21-163 Kola (ótvírætt kolótt – eignaðist hvítt lamb með mislitum hrút)
AAGGGGAAGG

M: 18-827 hvít (10)

MF: 16-070 hvítur (10) Fiddi

MM: 12-268 hvít (10)

F: 20-079 grár (20) Kári

FF: 16-828 hvítur (12) Mjölnir

FM: 16-719 hvít (10)

21-125 Þúfa (útlitið eins, en gæti verið arfhrein grá miðað við ættargögn)¹³
AAGGGGAAAG

M: 14-504 grá (20)¹⁴ Öskubuska Elsa

MF: 13-091 grár (20) Þröstur

MM: 07-773 hvít (10)

F: 19-093 grár (20) Kommi

FF: 17-079 hvítur (10) Kormákur

FM: 16-655 grá (20) Kexkökugrána

22-271
GAGGGGAAGG

M: 19-958 hvít (10)

MF: 18-090 hvítur (10) Rósberg

MM: 15-528 hvít (10)

F: 20-086 hvítur (10) Grettir

FF: 18-083 hvítur (10) Lykill

FM: 17-795 hvít (10)

23-353
GAGGGGAAAG

M: 20-017 hvít (10)

MF: 17-079 hvítur (10) Kormákur

MM: 15-617 hvít (10)

¹³ Anna Margrét Jónsdóttir: “Mér sýnist frekar langsótt að þær [ærnar nema Kola] gætu verið arfhreinar gráar. Það er eiginlega ekkert grátt í næstu ættliðum Grettis nema þá Öskubuska Elsa sem var náttúrulega skráð grá en ég tel núna að hafi verið kolótt. Hún var undan gráum hrút, Þresti sem gæti reyndar mögulega hafa verið kolóttur, ég get ekki fullyrt það því það er svo langt síðan. Man hins vegar eftir langömmu Öskubusku Elsu sem hét Prinsessa, hún var fædd mjög ljósgrá og við höldum fyrst að hún væri mögulega botnótt en var það ekki. Eftir á að hyggja var hún örugglega kolótt líka. Það er vissulega eitthvað grátt í móðurættum þeirra allra ef grannt er skoðað, 24-426 m.a.s. út af grárri móður, afa og ömmu. En það er frekar strjáltn hjá hinum tveimur. Niðurstaðan er því að það er ekki hægt að útiloka að þær séu arfhreinar gráar en það verður að teljast mjög ólíklegt.”

¹⁴ Anna Margrét Jónsdóttir: “... hefur trúlega verið kolótt en var skráð grá í Fjávísi”

F: 20-086 hvítur (10) Grettir
FF: 18-083 hvítur (10) Lykill
FM: 17-795 hvít (10)

24-426

GAGGGGAAAG

M: 22-241 grá (20)
MF: 19-093 grár (20) Kommi
MM: 19-943 grá (20)

F: 20-086 hvítur (10) Grettir
FF: 18-083 hvítur (10) Lykill
FM: 17-795 hvít (10)

E.3.3.4 Kola frá Víðivöllum fremri

Hún er með “dæmigerða kolóttu” arfgerð:
AAGGGGAAGG. Jósef Valgarð Þorvaldsson sendi mynd, umfangsmiklar upplýsingar um Kolu og einnig um kolótt almennt – ég gef honum orðið: “Það sást strax um vorið að hún yrði kolótt. Mín reynsla er sú að það sést alltaf á þeim nýfæddum hvort þau verða kolótt eða ekki. Þetta eru lömb ýmist hvít eða gulflekkótt á belg (heima í Sveinatungu voru þau nær alltaf hvít á belg) og svona grá eða móslettótt í framan.

Sumir kalla algular eða illagular ær kolóttar (sem eru fæddar algular) en það tel ég ekki rétt vera – þær eru bara gular og dökkar í vöngum. Þess skal hér getið að ég skrái hvítu lömbim ávallt sem lit 10 nema að þau séu hreinhvít, heiðgul eða kolótt. Þess vegna hafa nokkur lömb getað verið gulflekkótt á belg sem koma fram hér fyrir neðan.



Kola var þrílembd sl. vor, minni hrúturinn var kolóttur. Ég skráði hann sem 16 (grákolóttan) en hann var nokkuð ljós. Faðirinn hans er hreinhvítur frá Sigga í Tungu (en Tunga er bærinn sem t.d. Mávahlíðarféð er), hann er undan Mávahlíðarhrút (Bassa 21-001, sagður hreinhvítur) og móðir hans er hreinhvít, var líka undan hrút frá Herdísí Leifsdóttur (Ask 16-001 sem er svartgolsbotnóttur).

Ég skoðaði aðeins ættina Kolu:

Móðirin var gul á hálsi og fótum svolítið gul í framan líka, átti 11 lömb:

- 1 svart
- 1 grákolótt
- 1 hreinhvít
- hin skráð hvít (10).

MM: Var gul á haus (en nokkuð hvít á skrokknum), átti 7 lömb:

- þar af 1 svart
- 1 grátt
- hin hvít.

MMM: Gul á hálsi og fótum, átti 18 lömb:

- 1 hreinhvít
- 5 gul eða gulflekkótt
- hin hvít (10).

MMF: Gulur á hausnum (gulflekkóttur á belgnum að mig minnir), átti 58 lömb

- 5 svört
- 3 grá
- hin hvít

MF: Frá Smáhömrum, skráður alhvítur (var hvítur með lítið af illhærum en ekki þó hreinhvítur), átti hjá mér 128 lömb:

- 1 mórautt
- 1 svart
- 1 hreinhvít
- hin hvít

MFM : Sögð gul á hálsi og fótum.

MFF: *Borkó 11-946*, sagður gulflekkóttur á belg og hálsi.

Illugi, faðirinn, er keyptur frá Máfahlíð (bara hvítur, illhærulaus, en varla hreinhvítur), átti 132 lömb:

- 12 svartbotnótt
- 2 grábotnótt
- 2 gulflekkótt
- 1 hreinhvít
- 1 grákolótt
- hin hvít

FF: Vaskur, sagður alhvítur.

FFF: Askur (líka FMF kolótta sonsins hennar Kolu), svartgolsubotnóttur.

FFFF: *Kaldi 12-950* alhvítur.

FFFM: Svartbotnótt.

FFM: Gul á hálsi og fótum hvít á belg undan hvítum.

FM: Elsa, hvít.

FMF: Bliki, hvítur (kannski hreinhvítur), *FMFF: Gosi frá Ytri-Skógum*

FMM: Alhvít.“

E.3.3.5 “Kolótta línan” í Mávahlíð

Til gamans fylgir hér aðdragandinn sem valdi því að þessi kafli bættist við eftirá: Út af Degi 20-003 frá Mávahlíð, hreinhvítum hrút (sjá neðanmálsgrein 9 um hann) var haft samband við Herðisi Leifsdóttur, Mávahlíðsbóndann. Hún benti á Óðin sem var

“gulkolóttur” hrútur (ekki tengdur Degi). Þegar ættir voru reknar, kom í ljós að hann var bróðir Illuga, föður Kolu frá Víðivöllum fremri, sem er mjög áhugavert. Auk þess er Askur, svartgolsbotnóttur langafi kolótta lambsins undan Kolu í vor, afi þeirra Illuga og Óðins – sem gæti bent til þess að kolótti liturinn sé þaðan kominn.

Nokkrar myndir af nánustu ættingjum Óðins og honum sjálfum – hann var vel gulur, jafnvel grákolóttur í framan þegar hann fæddist (Herdís tók myndirnar):



Og hér fylgja nokkrar ættartölur tengdar Óðni (sæðingahrútar skáletraðir):

M: Bomba, gulkolótt í framan og fótum en samt með flotta hvíta ull

MM: Frenja MMF: Kári frá Ásgarði 10-904

MMM: Frigg

MMMM: Gullbrá, gulkolótt, MMMMF: Dalur, MMMMFF: Raftur 05-966, gulur á haus og fótum)

MMMF: Herkúles, gráflekkóttur

MF: Mávur frá Mávahlíð (sæðingahrútur með C151)

F: Vaskur

FF: Askur, svartgolsubotnóttur,

FFF: Kaldi 12-950

FFM: svartbotnótt ær, FFMF: Bekri

FM: Hrifla, FMF: Hriflon

Dætur Óðins:

- Kaka, venjuleg hvít/dropótt

M: Terta, gráflekkótt

o Dóttir: Dís, gulkolótt (hreinhvítur hrútur á móti), F: Pistill

- Draumadís, svartbotnótt

M: Dorrit frá Knörr, svartflekkótt

E.4 Það helsta: Hvers erum við vitrari í dag?

Þótt við séum ekki komin á leiðarenda (sjá F.), liggja samt ýmsar gagnlegar niðurstöður fyrir miðað við stöðu þekkingar áður en farið var í þessa rannsókn:

- “Kolótt” er alls ekki alltaf virkilega kolótt, heldur oft arfhreint grátt eða grámórault (stundum jafnvel öfugt) – eða “venjulegt hvítt”, krímótt eða gult. **Skýr skilgreining og fræðsla er þörf** til að varðveita “ekta” kolótta litinn í mismunandi útfærslum sínum.
- Tvær staðsetningar virðast tengdar dökkgulum lit (**Chr13, OAR19**), þrjár í viðbót (**OAR2, Chr3 og Chr17**) kolóttum litum.
- Gult og sérstaklega kolótt er að langmestu leyti með tvær “arfgerðir” sem koma hins vegar aldrei fyrir í hreinhvítum gripum: **AAGGGGAAAG** eða **AAGGGGAAGG** (sem eru augljóslega mjög líkar).
- Á hinn bóginn er arfgerðin **GAAGCGTAAA** alveg bundin við hreinhvíta og flekkótta gripi, einnig er þar arfgerðin **AAGGGGAAAA** áberandi sem kemur ekki fyrir í kolóttum gripum og eingöngu í einum gulum grip (sem er mögulega ekki “alvöru” gulur). Hreinhvít annars vegar og kolótt og gult hins vegar eru því líka erfðafraðilega séð **andstæður**.
- **Chr3** skiptir þar sköpum – arfhreint AA virðist vera aldrei kolótt, hins vegar virðist GG vera aldrei hveinhvít (og AG eingöngu í undantekningartilfellum).
- En **venjulegt hvítt** getur líka verið með “**kolótta**” arfgerð. Þess vegna dugur þessi “5-litninga-arfgerð” ein og sér ekki til að flokka gripina. En í mörgum tilfellum hjálpar hún samt til að finna misgreiningar.
- **Kolóttar** (og gular) **arfgerðir** eru einnig til í **mislitum gripum** – því duga þessar arfgerðir heldur **ekki til að greina í sundur arfhreint grátt og kolótt**. En erfðapróf “**hvítt/ekki hvítt**” getur á óbeinan, en ótvíræðan hátt leitt í ljós hvort um kolótt (“hvítt”) eða arfhreint grátt (“ekki hvítt”) sé að ræða.
- Sum **erlend sauðfjárkyn og blendingar** þeirra geta gefið vísbendingar um eðli og erfðir kolóttu afbrigðanna – m.a. Oxford-Down-kynið sem ýmist hefur verið tengt kolótta litnum hér á landi: Arfhreint kolótt virðist **rikjandi** yfir hvítu – en útkoman er oftast í daufari litum þá (sem þýðir að það er að öllum líkindum til “**millileið**” milli (dökk-)kolóttis og hvíts).
- Ef hins vegar um **arfblendið** kolótt er að ræða, **hoppa** liturinn oft yfir kynslóð, jafnvel fleiri en eina.
- Allt bendir til þess að **guli liturinn sé enn margþættari** en kolótti liturinn og í grunninn til í mörgum “venjulegum hvítum” kindum, þótt hann sé missterkur. Auk þess virðist hann koma fljótlega aftur inn í hjörð ef ekki nema einn hrútur, sem gefur algult, sé notaður – eins og hefur verið tilfelli undanfarin ár (hrútar tengda Þernunesi). Hann er því **ekki í útrýmingarhættu** lengur – ólíkt kolótta litnum.

E.5 Hvað vitum við hins vegar ekki enn? Ósvaraðar spurningar

Eftirfarandi spurningum er hins vegar enn ósvarað:

- A. Hvaða breytileikar innan litninganna fimm valda virkilega kolótta (og gula) litnum – hverjir eru þessir „orsakabundnir breytileikar“ (e. causal variants)? Því í dag getum við tengt ákveðinn lit við vissar arfgerðir, en enn ekki öfugt – arfgerðirnar sem við fundum til þessa eru ekki bundnar ótvírætt ákveðnum lit.
- B. Er kolótt e.t.v. “undirlitur” af gulu – sem uppfyllir fleiri “kröfur” en gult? Endurspeglast það í arfgerðunum?
- C. Hvaða kolóttir gripir sem eftir eru, reynast virkilega kolóttir, en ekki arfhreinir gráir/grámórauðir – eftir að hafa framkvæmt “hvítt/ekki-hvítt”-prófið?
- D. Eftir alla “tiltekt” í litaflokkunum sem síaði út misgreinda gripi þarf að endurtaka GWAS-rannsóknina: Hvernig líta arfgerðirnar þá út sem einkenna til þessa hreinhvítt, kolótt og dökkgult? Æskilegt væri að bæta einnig hóp arfhreinna grárar/grámórauðra gripa við.
- E. Fyrst þessar “heildararfgerðir” virðast ekki tengdar litaafbrigðum sem eru ekki hvítar (sama arfgerð kemur fyrir í báðum grunnlitum og mismunandi mynstrum): Er það rétt að þessar arfgerðirnar skipta máli fyrir gripi með hvít litaafbrigði, en ekki fyrir þær sem eru ekki hvítar? Til þess þarf að bæta við marktækum hópum með mismunandi grunnliti og mynstur.
 - Er mokolótt tengt mórauða litnum? Hefur komið mokolótt undan arfhreinum svörtum grip?
 - Er blákolótt tengt svarta litnum? Er munur á arfblendnu og arfhreinu svörtu?
 - Er grákolótt tengt ákveðnum grunnlit eða jafnvel mynstrinu “grátt”?
 - Eða stjórnar einhver allt annar eiginleiki í öðru foreldri því hvort lambið verður mó-, blá- eða grákolótt, þótt þetta foreldri sé venjulegt hvítt sjálft?
- F. Stjórnar TRP1 eins og í öðrum kynjum, hvor grunnliturinn kemur fram? Ef svo er, hvaða arfgerð er það þá í hverju tilfelli – endurspeglast hann þegar E. er svarað?
- G. Hvað þýðir það að vera “arfhreinn blá-/grákolóttur” eða “arfhreinn mokolóttur”, þegar fleiri en eitt gen skipta máli? Stafar útlitsmunurinn kannski af mismunandi fjölda “hlutaarfgerða” (í einum litningi) innan “heildararfgerðarinnar” (í fimm eða fleiri litningum) sem liggja fyrir arfhreinar eða arfblendnar? Geta genagögn úr erlendum kynjum svarað þessari spurningu?
- H. Hvernig erfast þessir litir? Er raunhæft að spá fyrir litum lambanna?

F. Framhaldið – næstu skrefin

Á vegum prófessoranna Gesinu Lühken (Þýskalandi) og Cord Drögemüller (Sviss) er áætlað að framkvæma framhaldsrannsóknir, sem verða að hluta til fjármagnaðar í gegnum háskólana þeirra (merkt með *); auk þess heldur íslenska teymið áfram að vinna í málunum, ef fjármagn fæst (merkt með ⁺):

rannsókn	tímaáætlun	tengdar spurningar
heildarerfðagreining (whole genome sequencing): 2 kolóttir og 1 algulur íslenskur gripur*	jan–maí 2026	A., B., G., H.
“hvítt/ekki-hvítt”-erfðapróf hjá öllum kolóttum og arfhreinum gráum gripum	apr–maí 2026	C., D.
flögugreining 96 gripa í viðbót, ný GWAS á breiðari gagnagrunni (fleiri “öruggir” kolóttir og gulir, arfhreinir gráir, mislitir til samanburðar, e.t.v. erlendir gripir)* ⁺	mrs–ágú 2026	B., C., D., G., H.
úrvinnsla úr lambalitum og mæðralitum undan Mekki sæðingahrút ⁺	júl–ágú 2026	(G.,) H.
raðgreina 15 mórauða og 15 arfhreina svarta gripi m.t.t. TRP1 ⁺	helst jún–ágú 2026	fyrst og fremst F., þá E. o.fl.
lokaskýrsla 2. rannsóknaráfangans	ágú 2026–jan 2027	

G. Heimildir

1. Emma Eyþórsdóttir, rafpóstur, 3.4.2024
2. Emma Eyþórsdóttir, Teitur Sævarsson, Sigurborg Hanna Sigurðardóttir og Jón Hallsteinn Hallsson: Lita fjölbreytni og erfðir lita hjá íslensku sauðfæ. Náttúrufræðingurinn, 2023
3. K. Tan, Cord Drögemüller, Gesine Lühken o.fl.: Identification of genomic regions associated with differences in fleece type in Huacaya and Suri alpacas. Wiley Animal Genetics, 2023
4. Gunnar Sigurjónsson, símtal, 7.4.2024
5. Halldór Pálsson: Fjölbreytni litareinkenna íslenska sauðfjárins. Náttúrufræðingurinn, 1944
6. Jón Viðar Jónmundsson: Litaerfðir tengdar A1 samsætunni. Bændablaðið, 3.4.2023
7. Karólína Elísabetardóttir: Litadýrð. Handbók um liti í íslenska sauðfjárstofninum. 2024
8. Magnús Halldórsson, rafpóstur, 22.3.2024
9. Sigurborg Hanna Sigurðardóttir: Kortlagning lita fjölbreytileika í íslenska sauðfjárstofninum. BS-riðgerð, 2016
10. Sigurður Narfason, símtal, 7.4.2024
11. Stefán Aðalsteinsson: Colour inheritance in Icelandic sheep. Íslenskar landbúnaðarrannsóknir, 1970
12. Teitur Sævarsson, símtal, 29.4.2024
13. Ólafur Dýrmundsson, rafpóstur, 24./25.1.2026, 27.2.2026
14. Peng Su o.fl.: The Hoof Color of Australian White Sheep Is Associated with Genetic Variation of the *MITF* Gene. 2023
15. Irina Böhme, Saskia Dittgen: Bunte Schafe. 2017
16. Jósef Valgarð Þorvaldsson, rafpóstur, 1.3.2026

Ýmis samskipti sem stóð yfir allan rannsóknartímann:

Ásta Þorbjörnsdóttir, Grjóta
Anna Margrét Jónsdóttir, Sölvabakki
Ólafur R. Dýrmundsson, Reykjavík

Bestu þakkir öllum bændum sem lögðu til gögn – sérstaklega:

Dóróthea Sigríður Unnsteinsdóttir, Litla-Holti
Herdís Leifsdóttir, Mávahlíð
Gunnar Sveinsson, Flögu 1
Jósef Valgarð Þorvaldsson, Víðivellir fremri
K. Anna M. Englund, Sandfellshaga 2

Sérstakar þakkir til Jóns Hallsteins Hallsonar, LBHÍ, fyrir tæknilegar vísbendingar og fleira!