

Áhrifaþættir á gæði lambakjöts

Guðjón Þorkelsson
Emma Eypórsdóttir
Eypór Einarsson



Áhrifapættir á gæði lambakjöts

Guðjón Þorkelsson¹
Emma Eypórsdóttir²
Eypór Einarsson³

¹Matís, ²Landbúnaðarháskóla Íslands, ³Ráðgjafarmiðstöð landbúnaðarins

Verkefnið var styrkt af Markaðsráði kindakjöts og Þróunarsjóði sauðfjárræktar

September 2019
Landbúnaðarháskóli Íslands

Efnisyfirlit

Ágrip	3
Inngangur	5
Meyrni. Áhrif meðferðar fyrir og eftir slátrun	7
Meyrni og fitusprenging	9
Litur á kjöti og sýrustig	11
Meyrni og skurðfesta kjöts. Mæliaðferðir og tengsl á milli þeirra	13
Arfgengi kjötgæðaeiginleika	15
Áhrif stakra gena á kjötgæði og möguleikar erfðamengjaúrvals	17
Markmið	19
Efni og aðferðir	19
Undirbúningur og skipulag	19
Slátrun, mælingar og sýnataka	20
Hitastig, sýrustig og litur	21
Ákvörðun á efnasamsetningu með NIR mælingu	21
Mælingar á skurðkrafti á hituðum hryggvöðvum	22
Gögn og tölfræðigreiningar	22
Niðurstöður	24
Lýsandi tölfræði, meðaltöl og dreifing mælinga	24
Samhengi mælinga	30
Sýrustig, litur og rýrnun	30
Skurðkraftur og fita í hryggvöðva	31
Mat á erfðaáhrifum	35
Umræður og ályktanir	36
Áhrif meðferðar fyrir og eftir slátrun	36
Fita og skurðkraftur	37
Áhrif á ræktunarstarf	39
Erfðamengjaúrval	40
Þakkarorð	40
Heimildir	41
Viðauki 1. Skurðkraftur (kg) í íslensku lambakjöti 1983-2008	46

Ágrip

Áhrif samspils kynbóta og meðferðar við og eftir slátrun á gæði íslensks lambkjöts voru könnuð. Bæði til að undirbúa notkun erfðamengjaúrvals við kynbætur fyrir kjötgæðum í íslenskri sauðfjárrækt og til að verkferlar við slátrun og meðferð kjöts tryggja gæði þess.

Markmiðin voru að:

- Meta gæði kjöts af lömbum frá búum sem standa framarlega í ræktun með mælingum á helstu gæðapáttum s.s. sýrustigi (pH24), lit, áferð og fitu í vöðva.
- Meta samspil helstu mælipátta kjötgæða þ.e. pH24, litar á vöðva (L^* , a^* , b^*), skurðkrafti á elduðu kjöti og fitu í vöðva.
- Gera úttekt á verkferlum við slátrun út frá samspili raförvunar og kælingar við að tryggja meyrkt kjöt.
- Meta stöðu íslensks lambkjöts út frá gæðamælingum og gera tillögur um áherslur í kynbótum og meðferð sem og frekari rannsóknir í ljósi niðurstaðna.

Einnig að hefja uppbyggingu sýnasafns fyrir DNA greiningar sem má nýta til frekari rannsókna á kynbótum fyrir bragðgæðum með notkun erfðamengisúrvals (genomic selection). Valin voru 790 lömb úr afkvæmarannsóknnum á fjórum búum, þeim slátrað og mælingar gerðar og kjötsýni tekin til frekari mælinga. Gögn úr skýrsluhaldi búanna, úr sláturhúsum og mælingum á kjöti voru keyrð saman til kanna áhrif ýmissa þátta á kjötgæði og bera niðurstöðurnar saman við eldri rannsóknir á Íslandi og í öðrum löndum. Reiknað var einfalt mat á arfgengi út frá mun milli afkvæmahópa innan búa án tillits til annars skyldleika. Fjöldi mælinga var þó tæplega fullnægjandi fyrir flóknari reikninga og líta má á niðurstöður sem vísbendingu varðandi erfðaáhrif.

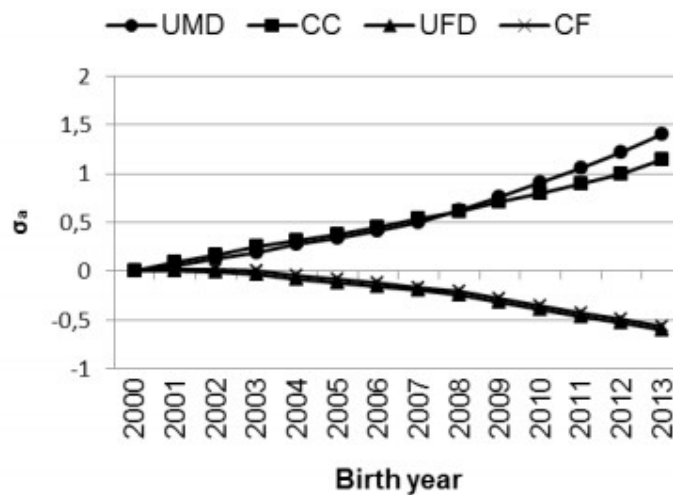
Helstu niðurstöður og ályktanir voru:

- Þar sem raförvun er beitt strax eftir slátrun verður að fylgjast með að hún virki og stilla skrokka betur af sem ekki sýna nein viðbrögð við rafstraumnum til að koma í veg fyrir kæliherpingu. Einnig þarf að stilla straum, spennu og tíma raförvunar til að koma í veg fyrir hitaherpingu.
- Um 10% hryggvöðvanna var stresskjöt með sýrustig hærra en 5,8. Þetta er of hátt hlutfall sem þarf að lækka verulega með fræðslu, ráðgjöf og eftirliti.

- Arfgengi fyrir mismunandi litablæ var 0,09-0,17. Hátt sýrustig hafði verulega neikvæð áhrif á lit vöðva. Þetta skiptir miklu máli við sölu á fersku kjöti.
- Hlutfall fitu í hryggvöðva var lágt eða að meðaltali 1,89% en munur var á milli bóa sem skýrist af mismun í aldri og þunga við slátrun. Arfgengi var 0,15. Kanna þarf hvort hægt sé að velja fyrir aukinni innanvöðvafitu án þess að auka yfirborðsfitu skrokkanna. Viðmiðið gæti verið 2,5-3,0%.
- Skurðkraftur eða skurðfesta sem er mælikvarði á seigju, mældist hærri en í fyrri rannsóknum á Íslandi. Hugsanleg skýring er hraðari kæling en áður í sláturhúsum en líklega einnig ræktun fyrir meiri vöðva. Meðalskurðkraftur var 4,92 kg sem samkvæmt viðmiðum frá Nýja Sjálandi telst vera meyrkt kjöt. Skökk dreifing mælinga í átt að hærri skurðkrafti er áhyggjuefni. Henni þarf að eyða sem fyrst. Átak til að minnka stress og rétt stilling á raförvun og kælingu gæti bætt ástandið. Arfgengi skurðkrafts reiknaðist 0,25. Skurðkraftur jókst lítillega við vaxandi þykkt bakvöðva og minnkaði við aukna ómfitu og með hærri fituflokkun skrokka.

Inngangur

Kynbætur í sauðfjárrækt hafa undanfarna áratugi miðað að því að auka vöðvasöfnun og draga úr fitusöfnun. Miklar framfarir hafa orðið í báðum þessum eiginleikum bæði með notkun ómmælinga við mat á ásetningsgripum og með því að nýta niðurstöður kjötmats í kynbótamati. Í rannsókn Jóns Hjalta Eiríkssonar (Jón Hjalti Eiríksson & Ágúst Sigurðsson 2017) kemur skýrt fram að miklar framfarir hafa orðið í skrokkgæðum frá aldamótum þar sem vöðvi hefur aukist og fita minnkað (1. mynd).



1.mynd. Þróun í stöðluðum BLUP einkunnum fyrir ómfitu (UFD), ómvöðva (UMD) sláturlamba og fituflokkun (CF) og holdfyllingu (CC) lambaskrokka 2000-2013 (Jón Hjalti Eiríksson & Ágúst Sigurðsson 2017).

Fullyrða má að vefjahlutföll í íslenskum dilkaskrokkum séu gjörbreytt frá því sem almennt gerðist fyrir 40 árum. Þessi þróun er hliðstæð því sem orðið hefur í sauðfjárrækt víða erlendis þar sem áherslur hafa alls staðar verið mjög áþekkar. Á allra síðustu árum hafa erlendir vísindamenn í sauðfjárrækt beint athyglinni að rannsóknum á bragðgæðum kjötsins m.a. til að kanna hvort ræktun fyrir meiri vöðva og minni fitu hafi áhrif á kjötgæði, þ.e. bragð og meyrni. Niðurstöður rannsókna sýna að eiginleikar sem stýra kjötgæðum stjórna af flóknu samspili erfða og umhverfis. Niðurstöður stórra afkvæmarannsókna á sauðfé og nautgripum í Ástralíu benda þó til að enn sé töluverður hluti breytileikans í meyrni kjöts óútskýrður (Warner o.fl. 2010).

Túlkun á niðurstöðum rannsókna á bragðgæðum getur verið mjög flókin og fylgni á milli mælinga á seigju í tækjum, skynmats með þjálfuðum dómurum og neytendaprófunum oft

mjög breytileg. Í Ástralíu byggja nýjar aðferðir við mat á gæðum og verðmæti kjötskrokka af nautgripum á umfangsmiklum könnunum á viðhorfum og viðbrögðum neytenda við gæðum mismunandi vöðva eftir mismunandi eldunaraðferðir¹. Ástralska gæðakerfið fyrir kindakjöt byggir á að stjórna hverjum hlekk frá bónda að borði neytenda².

Hér á landi hefur ekki verið fylgst reglulega með gæðum lambakjöts síðan unnin var umfangsmikil rannsókn (OVAX) á árunum 1997-2000 þar sem borin voru saman gæði lambakjöts í 6 Evrópulöndum með mismunandi framleiðslukerfi (Guðjón Þorkelsson, Stefán Scheving Thorsteinsson & Þyrí Valdimarsdóttir 2000). Helstu niðurstöður þess verkefnis voru að íslenskt lambakjöt var meyrara en kjöt af öðrum uppruna en jafnframt fremur þurr (Sanudo o.fl. 2007; Sanudo o.fl. 2003; Þyrí Valdimarsdóttir o.fl. 2000). Full ástæða er til að meta gæði íslensks lambakjöts aftur nú þar sem langur tími er liðinn og úrvalsáhrif eru veruleg á þeim tíma. Gæðamælingar eru mikilvægar fyrir markaðssetningu lambakjöts bæði innanlands þar sem mikil samkeppni ríkir milli kjöttegunda og ekki síður á útflutningsmörkuðum þar sem samkeppni er við lambakjöt frá Nýja Sjálandi og fleiri löndum. Með stöðluðum mælingum er hægt að sýna fram á gæði vörunnar og ekki síður er ástæða til að fylgjast með hvort einhvers staðar séu merki um óæskilega þróun sem þarf að bregðast við.

Nýjar aðferðir í kynbótum, svo kallað erfðamengjaúrval (genomic selection), ryðja sér hratt til rúms í ræktunarstarfi erlendis, sérstaklega í nautgriparækt þar sem ávinningur er talinn mestur (Gao o.fl. 2007). Í sauðfjárrækt er ávinnings helst að vænta varðandi eiginleika sem dýrt og erfitt er að mæla og á ekki síst við um þætti eins og fitu í vöðva, meyrni og magn omega-3 fitusýra sem hafa áhrif á bragðgæði og viðbrögð neytenda og sem ekki er möguleiki á að mæla reglulega á öllum sláturgripum (White o.fl. 2012). Með þessum aðferðum er leitast við að tengja saman breytileika í erfðamengi og mælingar á eiginleikum kjötsins. Út frá þessum upplýsingum er útbúið líkan sem metur samhengi á milli erfðapátta og gæðaeiginleika kjötsins. Í næstu kynslóðum er þá hægt að spá fyrir um eiginleika út frá greiningum erfðamarkaða eingöngu. Til að undirbúa mögulega notkun þessara aðferða er nauðsynlegt að byggja upp gögn þar sem DNA greiningar og mælingar á eiginleikum eru gerðar á sömu gripunum. Fyrsta

¹ <https://www.mla.com.au/marketing-beef-and-lamb/meat-standards-australia/>

² https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/marketing-beef-and-lamb/documents/meat-standards-australia/msa-tt-sheepmeat-sep15-complete_web.pdf

skref í þá átt er að safna sýnum til DNA greininga samhliða mælingum eins og gert var í þessu verkefni.

Aukin tæknivæðing og sjálfvirkni á undanförunum árum hefur breytt vinnulagi við slátrun. Í flestum sláturhúsum er mikil áhersla á hraða og afköst á þeim stutta tíma sem sauðfjárslátrun stendur yfir. Raförvun er notuð til að flýta fyrir dauðastirðnun og koma í veg fyrir kæliherpingu. Haustið 2008 var gerð úttekt á aflífun lamba og kælingu lambaskrokka í sex sláturhúsum á Íslandi. Tilgangur hennar var bæði að benda á það sem vel var gert og það sem betur mátti fara og koma með tillögur til úrbóta. Kynning og samvinna við sláturleyfishafa var mikilvægasti hluti verkefnisins. Þannig var unnið að því að ná fram sem mestum gæðum íslensks lambakjöts traustum neytendum þess til góða (Guðjón Þorkelsson, Óli Þór Hilmarsson, Ásbjörn Jónsson, & Valur N. Gunnlaugsson. 2009). Æskilegt er að endurtaka slíka úttekt og að fara yfir vinnuferla í slátrun og meðferð kjöts í sláturhúsum þannig að kjötgæði séu tryggð sem best og bæta úr ef þörf er á.

Meyrni. Áhrif meðferðar fyrir og eftir slátrun

Meyrni ákvarðast af magni og leysanleika bandvefs, styttingu vöðvaliða við dauðastirðnun og niðurbroti próteina í vöðva eftir slátrun (Koohmaraie & Geesink 2006).

Umhverfisáhrif gera allar kynbætur fyrir kjötgæðum mjög erfiðar og flókna. Framfarir sem byggja á erfðamengjaúrvali munu verða mjög hægar nema tekið sé tillit til meðferðar og vinnsluáferða fyrir og eftir slátrun. Meðal helstu atriða sem bent er á í erlendum rannsóknum eru:

- Munur er á meyrni á milli sláturhúsa og sláturdaga (Warner o.fl. 2010).
- Aldur við slátrun er helsti umhverfisþátturinn sem hefur áhrif á meyrni (Hopkins o.fl. 2006; Warner o.fl. 2007);).
- Hraði og umfang orkuefnaskipta í vöðvum eftir slátrun hefur áhrif á meyrni (Hopkins o.fl. 2007a).
- Of hröð kæling og hæg orkuefnaskipti (glykolýsa) eftir slátrun leiða til kæliherpingar og mikillar seigju kjöts.
- Of hæg kæling og of hröð orkuefnaskipti geta leitt til hitaherpingar sem einnig veldur seigju og að kjötið meyrnar ekki við geymslu.

Niðurbrot vöðvapróteina stjórnast af magni próteinkljúfandi ensíma (próteasa) við slátrun, hita og tíma. Aukna meyrni er að mestu leyti hægt að skýra út með hraða og umfangi niðurbrots próteina í calpain kerfinu þ. e. af styrk calpain I, calpain II og calpastatin, sem óvirkjar calpain, við slátrun (Koochmarai 1994). Virkni þessara ensíma stjórnast þannig af hraða sýrustigslækkunar og kælingar við dauðastirðnun (Dransfeld 1994), jónastyrk (Quali 1984), oxun calpain eftir slátrun og fleiri þáttum (Rowe o. fl. 2004). Afmyndun ensímanna er hröðust þegar lágt sýrustig og hátt hitastig fara saman eins og við hitaherpingu. Bæði kæli- og hitaherping vöðva hafa þannig áhrif á hvernig stytting vöðvaþráða og ensím hafa áhrif á meyrni. Stjórn á orkuefnaskiptum fyrir og eftir slátrun er því mjög mikilvæg ef framleiða á meyrnt kjöt. Þættir sem hafa áhrif á orkuefnaskipti eru:

- Næringarástand sláturgripa sem hefur áhrif á magn glykogens í vöðvum.
- Stress fyrir slátrun sem hefur áhrif á efnaferla í vöðvum við slátrun.
- Gerð vöðvaþráða.
- Raförvun kjötskrokka eftir aflífun.
- Kælihraði.
- Erfðaáhrif.
- Óútskýrðar ástæður.

Virkt eftirlit með sýrustigslækkun og kælingu ætti að get tryggt örugg kjötgæði. Hins vegar er erfitt að ná því við raunveruleg skilyrði sem er oftast vegna breytileika í uppruna og meðferð dýranna en vegna vinnsluskilyrða (Simmons o.fl. 2006). Umfang orkuefnaskipta í vöðva, sem er hægt að mæla með endanlegu sýrustigi (pHu), hefur einnig áhrif á meyrni. Sambandi pHu og meyrni er hægt að lýsa með 2. gráðu jöfnu. Kjötið er seigast við pH 6,1 (Purchas & Aungsupakorn 1993). Aukin meyrni við hærra sýrustig er aðallega vegna meiri vatnsheldni, minni suðurýrnun og meiri ensímvirkni. Erfitt er að staðla áhrif raförvunar og kælingar á sýrustigs- og hitastigslækkun í kjöti eftir slátrun vegna breytileika á milli sláturdýra, sláturhúsa og sláturdaga sem gæti skýrst af (Thompson o.fl. 2005):

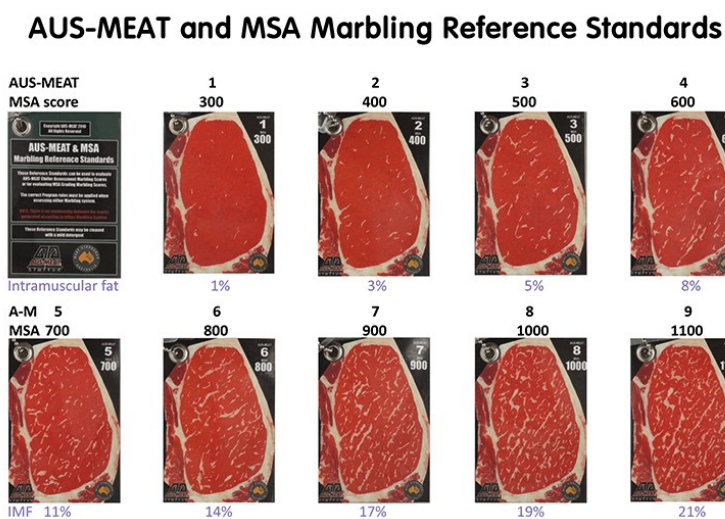
- Mismun í snertingu lambanna/skrokkanna við raförvunarbúnað.
- Mismunandi viðnámi innan skrokkanna fyrir rafstraumnum .
- Mismun í púlsum, straumiog tíðni rafmagnsins.
- Rafstraumi frá öðrum búnaði og tækjum, t.d. við aflífun og fláningu.

Auk þess skiptir næringarástand dýrsins við slátrun máli. Sýnt hefur verið fram á að mikið stress og áreynsla fyrir slátrun gerir nautakjöt og lambakjöt seigt gegnum lítt þekkt ferli (Warner o.fl. 2005; Warner o.fl. 2007). Ástæðurnar fyrir áhrifum sláturdags, sláturhúsa og sláturdýra eru ekki að fullu þekktar. Þættir sem gætu haft áhrif eru munur á (Warner o.fl. 2010):

- Stressþoli dýra.
- Meðhöndlun og á þeim sem vinna við hana.
- Stressi við flutning, hleðslu og losun.
- Raförvun og viðbrögðum skrokka við raförvun.

Meyrni og fitusprenging

Fitusprenging (marbling) er fita eða fituvefur á milli vöðvaþráðabúnta sem er sýnilegur sem fitublettir eða flekkir inn í vöðva. Fitusprenging er dæmd með sjónmati en innanvöðvafita (intramuscular fat) með efnagreiningum og þá fylgir fita í frumuhimnum með. Oft er ekki gerður munur á þessu tvennu. Á 2. mynd er sýndur kvarði sem notaður er við að meta fitusprengingu í nautakjöti í Ástralíu og hvernig sjónmatið tengist mældri % fitu í vöðva (innanvöðvafitu):



2. mynd. Viðmiðunarkvarði fyrir fitusprengingu í nautakjöti í Ástralíu í samhengi við mælda innanvöðvafitu³ AUS-MEAT 1-9 lýsir fitusprengingu skv. sjónmati (oftast gert í kæli eftir slátrun). MSA Score 300 -1100 eru stigin sem viðkomandi flokkur fær í matskerfi Meat Standards Australia.

³ https://www.ausmeat.com.au/WebDocuments/Chiller_Assessment_Language.pdf

Innanvöðvafita er háð erfðum, fóðrun, beit og aldri við slátrun. Rannsóknir í Bandaríkjunum hafa sýnt að aukinni fitusprengingu í nautakjöti fylgja aukin bragðgæði. Niðurstöður úr skynmati hafa sýnt að almennt skýrir fitusprenging aðeins 3–10% af breytileika í meyrni nautakjöts (Nishimura, Hattori & Takahashi 1999). Talið er að fitusprenging hafi bein áhrif á bragð og safu en óbein áhrif á meyrni. Úrval gegn fitusöfnun getur haft neikvæð áhrif á bragðgæði vegna minni innanvöðvafitu í kjötinu (Hopkins o.fl. 2006). Minnst 5% fitu í vöðva þarf til að tryggja örugga meyrni lambakjöts með 90% nákvæmni samkvæmt niðurstöðum neytendaprófa í Ástralíu. Kjöt af lömbum undan hrútum með hátt kynbótamat (breeding value) fyrir fitusöfnun fékk hærri einkunn fyrir meyrni í skynmati en kjöt af lömbum undan hrútum með lágt kynbótamat fyrir fitu (Hopkins o.fl. 2007b). Niðurstöðum ber þó ekki alltaf saman og ekki víst að það sama gildi fyrir alla fjárstofna eða öll framleiðslukerfi (Fisher o.fl. 2000).

Fitusprenging í íslensku lambakjöti er lítil en upplýsingar um innanvöðvafitu eru takmarkaðar.

- Árið 1978 var fita í hryggvöðvum 24 lamba úr haustbeitartilraun á Skriðuklaustri að meðaltali 3,2% (Guðjón Þorkelsson, Stefán Aðalsteinsson, Jón Óttar Ragnarsson og Hannes Hafsteinsson 1979).
- Árið 1996 mældist meðalfita í hryggvöðva 40 haustlamba um 2,0% í hrútlömbum og 2,6% í gimbralömbum. Fita í hryggvöðvum var að meðaltali 1,9% í 20 hrútlömbum og 2,0% í 20 gimbralömbum sem slátrað var í lok júlí og 2,0% í hryggvöðva 20 hrútlamba sem slátrað var í byrjun desember sama ár. Mæld gildi voru frá 0,9-4,3% (Berge o.fl. 2003). Innanvöðvafita útskýrði einungis 0,5% af breytileikanum í mælingum á skurðfestu vöðvanna frá Íslandi (Berge 1998, óbirtar upplýsingar).
- Fita í hryggvöðva lamba í beitartilraun 2002 var að meðaltali 2,13 til 2,71% og marktækt meiri í kollóttum en hyrndum lömbum (Guðjón Þorkelsson 2003, óbirtar upplýsingar).

Síðustu mælingar á fitu í hryggvöðva lamba eru 15 ára gamlar eða frá árinu 2004. Þær eru úr rannsókn á áhrifum ýmissa þátta á gerð vöðvaþráða (Guðjón Þorkelsson o.fl. 2004). Helstu niðurstöður voru:

- Fita í hryggvöðva lamba fór vaxandi með aldri sláturlamba eða frá 1,78% í 5,5 mánaða lömbum til 3,6% í 10,5 mánaða lömbum. (2-4 sýni á bak við hvert meðaltal).
- Fita í hryggvöðva lambaskrokka í fituflokkum 1 til 3+ var frá 2,0% til 3,35% (4 sýni mæld í hverjum flokki).

- Fita í hryggvöðvum lamba frá búi þar sem valið var fyrir minni fitusöfnun var 2,0% að meðaltali en 4,0% í kjöti frá búi þar sem úrvali gegn fitu var ekki beitt. Kjötið af búi þar sem úrvali gegn fitu var ekki beitt var með hærri meyrni. Í uppgjöri var ekki leiðrétt fyrir fallþunga og gæðaflokkun (12 sýni mæld í hvorum hóp).

Í niðurlagi skýrslunnar segir:

“Sláandi og afgerandi munur var á hópunum í tilrauninni. Óræktaði hópurinn var með meiri fitu í vöðva, hafði tilhneigingu til meira af leysanlegu kollageni, hann hafði minni seigju og meiri meyrni og vöðvaþráðþættir áferðarinnar voru meiri. Hann var með meira af hröðum oxitatífum þráðum og þeir voru fingerðari en í hópnum með mikinn og hraðan vöðvavöxt. Þ.e. óræktaði hópurinn var með marktækt meiri kjötgæði eins og þau voru mæld í verkefninu en ræktaði hópurinn. Samt sem áður hefur það kjöt komið mjög vel út úr alls konar tilraunum og alþjóðlegum samanburði. Það er því alls ekki verið að dæma það sem lélegt kjöts. Rannsóknin bendir til að við kynbætur fyrir miklum vaxtarhraða og vöðvavexti tapist ákveðnir eiginleikar sem meta þarf hvort ekki eigi að reyna að halda í. Þ.e. annað hvort með því að taka suma þeirra inn í kynbótamarkmið eða hreinlega með því að benda á þennan mun í eiginleikum og markaðssetja hann” (Guðjón Þorkelsson o.fl., 2004, bls. 39-40)002E

Litur á kjöti og sýrustig

Neytendur dæma gæði fersks kjöts út frá lit. Hann skiptir miklu máli við val neytenda og breytingar á lit við geymslu á kjöti takmarka geymsluþol. Hvernig kjöt er á litinn snýst að mestu um magn goástand á myoglóbíni, sem er litarefnið í vöðva. Í miðju þess er hlaðin járnfrumeind. Ástand hennar (oxuð/afoxuð) og binding annarra efna, eins og súrefnis, kolsýru og brennisteinstvívetnis við hana stjórnar því hvort vöðvinn er rauður, brúnn eða grænn. Litstyrkur kjöts ræðst af magni myoglóbíns í vöðvunum. Magn þess ræðst af hlutfalli hvítra og rauðra vöðvaþráða. Þar hafa kjöttegund, aldur við slátrun, hreyfing og fóðrun áhrif. Einnig samspil hita og sýrustigs eftir slátrun, pökkunar aðferða og hita við geymslu og lýsingar í kjötbörði.

Litur á kjöti er mældur með tækjum eða metinn sjónrænt til að leysa vandamál sem upp geta komið. Mörg tæki og margar aðferðir eru notaðar erlendis til að mæla lit (Honikel 1998). Þær eru misflóknar og tímafrekar. Svokallað CIELAB eða L*, a*, b*-útfærsla er oft notuð til að mæla lit í kjöti en það er lýsing á ákveðnu litarými. Bilið milli hnita í rýminu er nátengt sýnilegum mun í litablæbrigðum. L* mælir ljóst/dökkt, a* mælir grænt til rautt og b* mælir blátt til gult. L*, a* og b* eru oft notuð til að lýsa litum, og litabreytingum er oft lýst sem breytingum í a* og b*. Liturinn er oftast mældur með Minolta Chroma Meter.

Einingarnar eru eftirfarandi:

- L * Dökkt – ljóst (0-100)
- a* Grænt – rautt (+ er rautt, – grænt, -60 - +60)
- b* Blátt – gult (+ er gult, – blátt, -60 - +60)

Í Evrópuverkefni, þar sem gæði lambakjöts voru borin saman milli margra landa, voru L* gildi fyrir hryggvöðva íslensku lambanna frá 36,3 til 39,9 að meðaltali. Kyn, aldur við slátrun og bú höfðu áhrif. a* gildið var 15,5 til 16,1 að meðaltali eftir aldri við slátrun. b* gildið var 7,64 – 7,89. Þar var munur eftir kynjum og aldri við slátrun (Guðjón Þorkelsson, Þyrí Valdimarsdóttir & Magnús Guðmundsson 2000).

Sýrustig í vöðva daginn eftir slátrun er óbeinn mælikvarði á ástand lambanna við slátrun. Við slátrun breytist orkuvinnsla í vöðva úr loftháðri í loftfirrða, þ.e. mjólkursýra myndast og safnast upp. Í vöðva vel fóðraðra, hvíldra og óstressaðra lamba lækkar sýrustigið úr 7,2 í 5,5 á innan við sólarhring eftir slátrun. Ef lömbin eru örmagna, stressuð eða illa fóðruð er lítið af glykogeni við slátrun og lítið myndast af mjólkursýru í vöðvunum. Endanlegt sýrustig er þá oft yfir 6,0. Kjötið verður dökkt, þétt og þurrt. Æskilegasta sýrustigið er 5,5–5,8. Kjötið verður seigara við 5,8 – 6,2 og þar fyrir ofan er það meyr en dökkt, þétt, þurrt, bragðlaust og geymist illa.

Það er misjafnt við hvaða sýrustigsgildi er miðað við að dæma kjöt sem streitukjöt. Sýrustigið 6,0 24 tímum eftir slátrun er notað fyrir nautakjöt á Íslandi og í fleiri löndum. Í rannsóknum hefur oftast verið miðað við 5,8. Ástralir hafa gengið ennþá lengra og í gæðastýringarkerfi MSA fær kjöt með sýrustig 5,71 eða hærra ekki stjörnumerkingu vegna minni og breytilegra bragðgæða (Ponnampalam o.fl. 2017). Verðfelling til bænda fyrir nautakjöt með of hátt sýrustig er um 40 kr./kg í Ástralíu og um 5% á Íslandi sem gerir um 35 kr./kg.

Vatnsheldni lýsir þeim eiginleika kjöts að halda í það vatn sem er í vöðvum við slátrun. Hluti þess losnar eftir slátrun og við geymslu. Hlutfall rýrnunar í kjöti eftir slátrun er flókið samspil byggingar kjötsins, sýru- og hitastigs. Þar geta erfðir, gerð vöðvaþráða og meðferð fyrir og eftir slátrun haft áhrif. Við mikla rýrnun geta tapast næringarefni. Margar aðferðir hafa verið notaðar til að mæla vatnsheldni, t.d. vökvatap í hráu kjöti eða létting við eldun og/eða þíðingu. Einnig eru til aðferðir sem byggja á skilvindutækni (Font I Fuols o.fl. 2015).

Meyrni og skurðfesta kjöts. - Mæliaðferðir og tengsl á milli þeirra

Við kynbætur og gæðastjórnun til að bæta og viðhalda meyrni kjöts þarf að vera hægt að mæla hana með beinum og óbeinum hætti. Meyrni er hægt að mæla með sérstökum áferðarmælum, með því að nota þjálfaða dómara í skynmati eða með neytendaprófunum. Aðferðir við mælingar í sláturhúsum þurfa að vera hraðvirkar og hægt að nota þær á vinnslulínum án þess að það þurfi að taka sýni eða skemma kjöt. Einnig þarf að vera auðvelt að túlka niðurstöðurnar (Valous o.fl. 2016).

Við gæðaeftirlit í sláturhúsum og í stórum kjötgæða- og kynbótaverkefnum er oftast stuðst við búnað sem mælir áferð eða skurðkraft annað hvort á hráu eða elduðu kjöti. Þessar mælingar krefjast sérstakrar sýnatöku. Við túlkun á niðurstöðum er skynmat með þjálfuðum dómurum eða neytendapróf haft til viðmiðunar. Til að flækja málið meira þá er bæði munur á mælitækjum og þáttum í framkvæmd mælinganna sem hafa áhrif niðurstöðurnar (Hopkins o.fl. 2010). Algengast er að nota WarnerBratzler aðferðina sem mælir áferðareiginleika á hráu og elduðu kjöti m.a. kraftinn sem þarf til að skera í gegnum vöðvann. Krafturinn er ýmist mældur í Newtonum (N) eða kílógrömmum (kg) þar sem eitt kg jafngildir 9,81 N.

Fylgni milli Warner Bratzler skurðkrafts (WB) og meyrni mældri með skynmati er breytileg. WB gildum fyrir skurðkraft fyrir nautakjöt hefur verið skipt í tvo meyrniflokka út frá skynmati og neytendaprófun (Destefanis o.fl. 2008):

- > 52,7 N = 5,36 kg Seigt kjöt
- < 42,9 N = 4,37 kg Meyrt kjöt

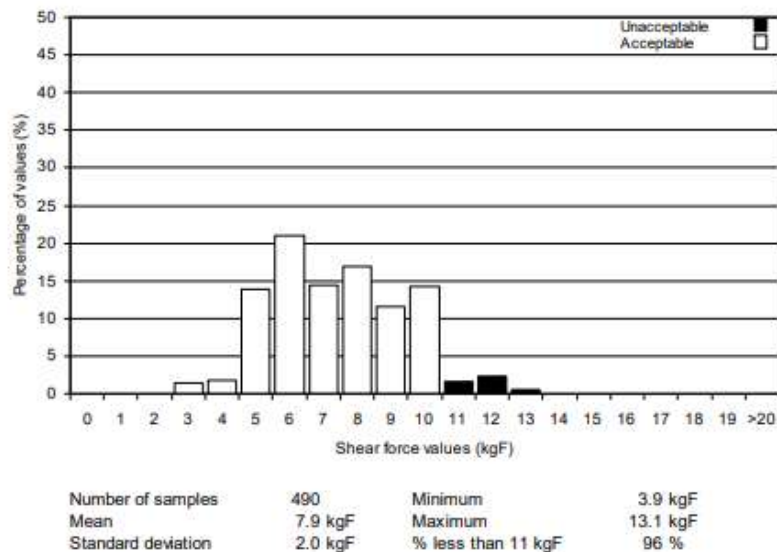
Við þessi gildi gátu 55% neytenda greint á milli meyrns og seigs kjöts. Niðurstöður fyrri mælinga á skurðkrafti með Warner Bratzler aðferð á elduðum hryggvöðvum úr íslensku lambakjöti eru í töflu í viðauka 1. Á Nýja Sjálandi er skurðkraftur mældur á elduðu kjöti í kílóum (kgF, kilogram force) með mæli sem kallast G1 Tenderometer. KgF er skilgreint sem aflið sem 1 kg massi verður fyrir í venjulegu þyngdarsviði, ($9,81\text{m/s}^2$) (Bickerstaffe o.fl. 2001). KgF er því sama eining og í Warner Bratzler mælingunni en það er munur á milli tækja. Tengslin milli gilda sem fást úr G1 Tenderometer og með aðferð Warner Bratzler hafa verið reiknuð (Devine og Graafhuis 1995):

$$\text{Warner Bratzler kg} = 0,63 * \text{MIRINZ kgF} + 0,61$$

Þetta þarf að hafa í huga þegar niðurstöður mælinga eru bornar saman. Neytendarannsóknir hafa sýnt að það er samhengi mæligilda úr G1 Tenderometer við dóm neytenda á lambakjöti (Bickerstaffe o.fl.2001) :

Mirinz	Warner Bratzler	Lýsing
>11 kgF	>7,40 kg	Mjög seigt kjöt
8-11 kgF	5,55-7,40 kg	Ásættanlegt kjöt
< 8 kgF	< 5,55 kg	Meyrt kjöt

Almennu viðmiðin í gæðatryggingu í Nýja Sjálandi voru áður sett á að 95% allra sýna væru undir 11 kgF og að meðalgildið ætti að vera 8 kgF. Síðan hafa viðmiðin verið lækkuð. Dæmigerðar niðurstöður úr sláturhúsi á Nýja Sjálandi eru sýndar á 3. mynd.⁴



3. mynd. Skurðkraftur á elduðum hryggvöðva lamba frá Nýja Sjálandi í kgF.

Með auknum kröfum neytenda og vinnslu á frosnu kjöti til Bretlands voru kröfurnar hertar í 95% undir 8 og meðalgildið 6 kgF (4,32 kg WB).

Niðurstöður rannsóknar á kæliherpingu 1984-1985 á Íslandi voru notaðar við gerð reglugerðar um slátrun, mat og meðferð sláturafurða (188/1988). Sett voru inn ákvæði með það að

⁴ http://www.beeflambnz.co.nz/resources/PROCESSOR_MANUAL_6thEdition.pdf

markmiði að koma í veg fyrir kæliherpingu (Elín Hilmarsdóttir og Guðjón Þorkelsson 1985). Í 13. grein segir:

“Þegar gengið hefur verið frá kjötinu skv. 12. gr., skal því komið fyrir í kjötsal sláturhússins til kælingar, og skulu skrokkarnir hanga þannig að þeir snerti ekki hver annan. Í kjötsal skal vera fullkomin loftræsting og þar viðhaft strangasta hreinlæti. Engum skal leyfður þar umgangur nema til nauðsynlegra starfa.

Hitastig í kjötsal skal vera á bilinu 8-15° C.

Kindakjöt, sem frysta á, skal hanga í kjötsal minnst 10 klst. sé hiti 10°C eða lægri, en minnst 6 klst. nái hiti 14-15°C og aldrei lengur en 24 klst. Miðað er við meðalhita þann tíma sem kjötið hangir. Allt kjöt sem frysta á í sláturtíð, skal komið í frystiklefa að þeim tíma liðnum. Kjöt sem salta á eða selja ófryst, skal innan sömu tímamarka flutt í sérstakan klefa með stillanlegum hita og raka og geymt þar, þó að hámarki í 7 daga. Kindakjöt sem hlotið hefur rafmagnsörvun skal hanga minnst 4 klst. í kjötsal fyrir frystingu, við 5-15°C hita⁵.

Árið 2003 var sett ný reglugerð um slátrun og meðferð sláturafurða Í 64. grein í viðauka 1 segir⁶:

„Ferskt kjöt skal kæla strax að lokinni skoðun eftir slátrun. Kjarnahiti í kjötskrokkum og skrokkhlutum skal vera minna en 4°C í kindakjöti og svínakjöti 24 klst. eftir slátrun og 48 klst. eftir slátrun í stórgripakjöti eigi að dreifa og selja kjötið kælt“.

Arfgengi kjötgæðaeiginleika

Fjöldi rannsókna hafa sýnt mun í meyrni lambakjöts á milli framleiðslukerfa, stofna og afkvæmahópa (Fisher o.fl. 2000; Sanudo o.fl. 2007; Warner o.fl. 2010). Rannsóknir á þessu sviði eru einkum umfangsmiklar í Ástralíu. Hér er ekki tilefni til að gefa ítarlegt yfirlit um þessar rannsóknir og verður einungis stiklað á stóru.

Arfgengi kjötgæða var metið á hreinræktuðum Merinó lömbum og Merinó blendingum í stórrí ástralskri rannsókn og reyndist arfgengi 0,48 fyrir innanvöðvafitu, 0,27 fyrir skurðkraft (seigju), 0,08 fyrir endanlegt sýrustig, 0,18 fyrir ljósan lit (L*), 0,08 fyrir rauðan lit (a*) og 0,10 fyrir gulan lit (b*). Erfðafylgni innanvöðvafitu og skurðkrafts var há (-0.62) þannig að meyrara kjöt tengdist aukinni innanvöðvafitu. Einnig kom fram marktækt arfgengi á efnamælingum s.s. innihaldi járn (0,21) og myoglobin (0,25) sem hafa áhrif á kjötlit (Mortimer o.fl. 2014). Metið var samhengi við skrokkgæðaeiginleika hreinræktaðra Merinó lamba úr þessu gagnasafni þar

⁵ Reglugerð 188/1988 um slátrun, mat og meðferð sláturafurða

⁶ 'Reglugerð 461/2003 um slátrun og meðferð sláturafurða'

sem fram kom að úrval fyrir auknu hlutfalli af mögru kjöti (lean meat yield, LMY) var talið leiða til óæskilegra breytinga á kjötgæðaeiginleikum. Mat á erfðafylgni LMY við eftirfarandi eiginleika var óhagstætt: innanvöðvafita (-0.27 ± 0.18), skurðfesta ($+0.53 \pm 0.26$), rauður litur (-0.69 ± 0.40) og járn magn (-0.25 ± 0.22) (Mortimer o.fl. 2017). Há skekkja er á þessum fylgnitölum og matið því ónákvæmt.

Þrátt fyrir að á síðustu tíu árum hafi gæði kindakjöts í Ástralíu orðið jafnara er breytileikinn ennþá mjög mikill. Stefnan í kjötiðnaðinum í Ástralíu er að breyta gæðamati í kindakjöti og taka inn í það mælingar á hlutfalli magurs kjöts (LMY) og innanvöðvafitu til að bæta bragðgæði. Það myndi byggja á spálíkani sem byggir á hlutfalli mismunandi kjöthluta og mati neytenda á bragðgæðum þeirra (Pannier o.fl. 2018).

Niðurstöður úr stórri rannsókn á nýsjálenskum lömbum af blönduðum uppruna þar sem valið var fyrir skrokkgæði sýndu m.a. arfgengi helstu kjötgæðaeiginleika. Arfgengi litamælinga sólarhring eftir slátrun var á bilinu 0,13 til 0,19. Fitusprengring var með arfgengi 0,30-0,31 og arfgengi skurðfestu var metið 0,24-0,29. Í þessum rannsóknum komu einnig fram neikvæð erfðatengsl litamælinga og skurðfestu þannig að seigara kjöti fylgdu lægri gildi litamælinga. Erfðafylgni skurðfestu og einkunnar fyrir innanvöðvafitu var neikvæð eða $-0,17 \pm 0,08$ (Brito o.fl. 2017a).

Í Skotlandi hafa rannsóknir á skosku svarthöfðafé sýnt fram á marktækt arfgengi á skurðfestu ($0,39 \pm 0,16$) og innanvöðvafitu ($0,32 \pm 0,09$) ásamt litamælingum ($0,15-0,45$). Þar kom einnig fram óhagstæð erfðafylgni ($-0,54$) milli skurðfestu og innanvöðvafitu (Karamichou o.fl. 2006). Arfgengi innanvöðvafitu í norskum lömbum úr ræktunarhóp af blönduðum uppruna mældist 0,48 og arfgengi litamælinga var á bilinu 0,17 til 0,53. Mikil óvissa var á mati á erfðafylgni litamælinga og fitu í þessari rannsókn vegna fárra mælinga (Lorentzen & Vangen 2012). Almennt ber rannsóknum saman um að erfðaáhrif kjötgæðaeiginleika eru mælanleg í flestum tilfellum og að lítil innanvöðvafita tengist yfirleitt seigara kjöti.

Arfgengi sýrustigs í lambaskrokkum sólarhring eftir slátrun hefur mælst 0,18-0,27 hér á landi (Emma Eyþórsdóttir, Jóhannes Sveinbjörnsson, og Guðjón Þorkelsson 2007). Svipað arfgengi hefur mælst í mörgum erlendum rannsóknum (Karamichou o.fl. 2006; Lorentzen & Vangen 2012; Brito o.fl. 2017a; Mortimer o.fl. 2017). Tengsl sýrustigs við aðra eiginleika eru misskýr í erlendum rannsóknum. Nýsjálenskar og ástralskar niðurstöður sýna neikvæða fylgni sýrustigs

við litamælingar en fremur lága jákvæða fylgni við bæði skurðfestu og einkunn fyrir innanvöðvafitu (Brito o.fl. 2017a; Mortimer o.fl. 2014).

Stofnaáhrif eru fyrir hendi í stjórnun glykogen efnaskipta. Þannig eru Merinólömb viðkvæmari fyrir stressi en lömb af kjötkynjum (Hopkins o.fl. 2011). Þar virðist ganga hraðar á glýkógenbirgðirnar við flutning í sláturhús. Aðrar rannsóknir hafa leitt í ljós að val fyrir stórum vöðvum eykur þol fyrir stressi. Auknum vöðvamassa fylgir meira magn glykogens í vöðva sem minnkar líkurnar á stressi og hefur þá um leið jákvæð áhrif á meyrni (Warner o.fl. 2010).

Áhrif stakra gena á kjötgæði og möguleikar erfðamengjaúrvals

Í hefðbundnum kynbótum er gjarnan valið fyrir þáttum sem hafa jákvæð áhrif á svipgerð gripanna. Erfitt er að bæta bragðgæði með þeim aðferðum þar sem mælingar er eingöngu hægt að gera eftir slátrun. Kjötgæði geta stjórnast af mörgum genum og genasætum og rannsóknir hafa beinst að því að skilgreina og finna genasæti sem hafa áhrif á gæði. Þannig gætu kynbætur til að bæta gæði kjöts orðið töluvert skjótvirkari með notkun sameindaerfðafræðilegra aðferða. Þó er ljóst að framfarir við kynbætur á kjötgæðum í sauðfé og nautgripum munu ganga afar hægt nema athyglinni sé jafnframt beint að vinnsluáðferðum. Meyrni er samspil erfða- og umhverfisþátta og óútskýrðra þátta (Warner o.fl. 2010).

Rannsóknir hafa sýnt fram á tilvist allmargra erfðavísa sem hafa bein áhrif á vöðvasöfnun sauðfjár og í sumum tilfellum koma einnig fram áhrif á bragðgæði (Warner o.fl. 2010). Meðal þeirra eru erfðavísar sem tengjast meiri vexti eða jafnvel ofvexti vöðva sem flestir eiga það sameiginlegt að hafa neikvæð en mismikil áhrif á meyrni kjöts. Einnig hafa fundist genasæti sem tengjast mikilli fitusprengringu og meyrni í langa hryggvöðva í fjárstofnum í Kína og Mongólíu ásamt geni sem tengist aukinni fitusöfnum (Knapik o.fl. 2017).

Callipyge svipgerðin er þekktust þessara erfðaáhrifa og er vegna stökkbreytingar í 18. litningi í ákveðnum fjárstofnum (Freking o.fl.1998). Dýrin eru með ýktan vöðvavöxt sérstaklega á afturparti og hrygg, litla fitu og bættu fóðurnýtingu en einnig sérstaklega seigt kjöt. Stærri vöðva *Callipyge* lamba má skýra með hærra hlutfalli og stærri 2X/2B vöðvaþráðum (hraðir glýcolítískir) og lægra hlutfall 2A þráða (hraðir oxitativir/glýcolítískir og 1 þráða (hægir oxtitativir) (Carpender o.fl. 1996; Koohmaraie 1995; Lorenzen o.fl. 2000). Vöðvar kinda sem sýna svipgerð *Callipyge* eru með meira calpastatin (Duckett o.fl. 1998; Geesink & Koohmaraie 1999; Duckett o.fl. 2000) borið saman við vöðva kinda með eðlilega svipgerð. Til samanburðar

má nefna að hliðstæður munur var á gerð vöðvaþráða í kjöti af mikið ræktuðu fé og lítið ræktuðu fé á Íslandi árið 2004. Lítið ræktaði hópurn var með meiri fitu í vöðva og hærri meyrni. Hann var með meira af hröðum oxitatífum þráðum og þeir voru fíngerðari en í hópnum með mikinn og hraðan vöðvavöxt (Guðjón Þorkelsson o.fl. 2004).

Tiltekinn breytileiki í *myostatin geninu (GDF8)* veldur auknum vöðvavexti í Texel og fleiri fjárkynjum. Áhrif á vöðvavöxt eru mismikil en önnur áhrif þessara stökkbreytinga eru ekki fullrannsökuð (Kijas o.fl. 2007; Boman o.fl. 2010; Lambe o.fl. 2010). Ljóst er að við notkun þessara, og annarra genasamsæta sem tengjast aukningu í vöðvamassa, í kynbótum þarf að tryggja að henni fylgi ekki minni kjötgæði (Brito o.fl. 2017a).

Úrval byggt á erfðamengjum er að umbylta kynbótum í búfjarrækt um allan heim. Aðferðin nýtir greiningar á tugþúsundum erfðamarka sem síðan má tengja við mælingar á eiginleikum gripanna. Með því að greina svo mörg erfðamörk er hægt reikna út fylgni erfðabreytileika við flesta ræktunareiginleika ef nógu margir gripir eru rannsakaðir í upphafi. Þegar fylgnilíkan hefur verið þróað má nota tiltölulega einfalda greiningu á erfðaefninu til kynbóta í stað umfangsmikilla mælinga á ræktunareiginleikum. Sérstaklega er horft til þess að bæta eiginleika sem erfitt eða ómögulegt er að mæla á lifandi gripum. Á Nýja Sjálandi er þegar hafinn undirbúningur að úrvali fyrir kjötgæðaeiginleikum með þessum aðferðum og niðurstöður benda til þess að ná megi góðum árangri (Brito o.fl. 2017b).

Markmið

Markmið þessarar rannsóknar var að kanna samspil kynbóta og meðferðar við og eftir slátrun á gæði íslensks lambakjöts. Verkefnið var hugsað sem undirbúningur á notkun erfðamengjaúrvals við kynbætur fyrir kjötgæðum í íslenskri sauðfjárrækt og til að bæta verkferla við slátrun þannig að meðferð tryggi gæði lambakjöts.

Markmið rannsóknarinnar voru eftirfarandi:

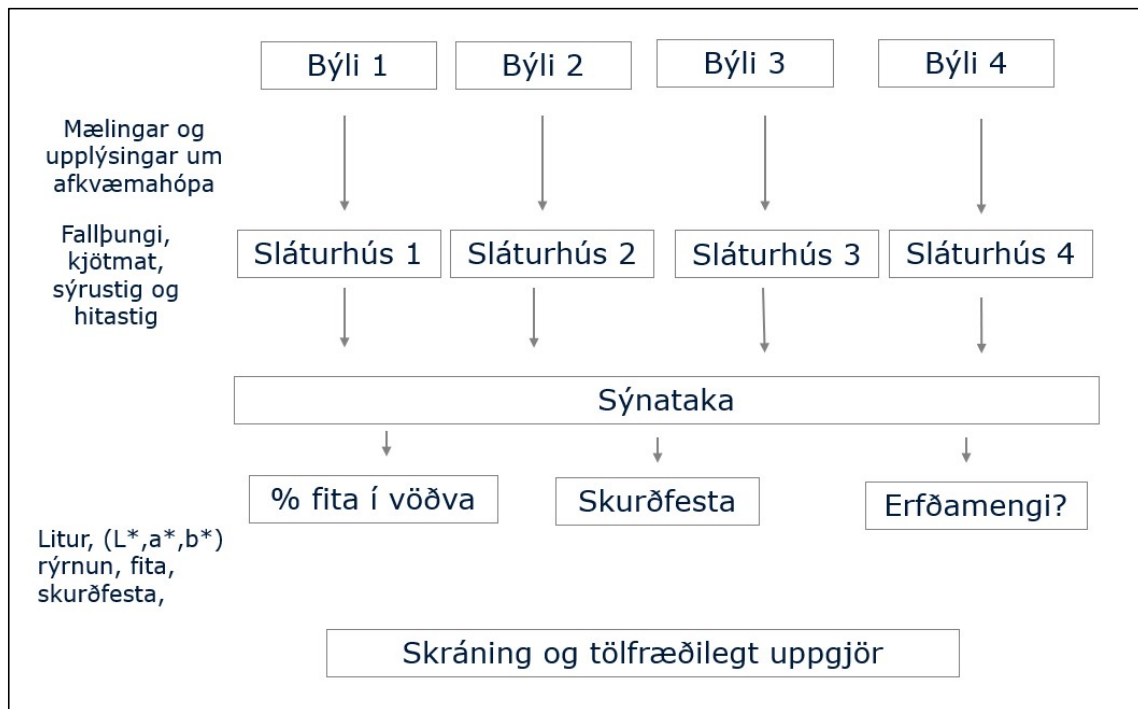
- Að meta gæði kjöts af lömbum frá búum sem standa framarlega í ræktun með stöðluðum mælingum á helstu gæðapáttum s.s. stressi, lit, áferð og fitu í vöðva.
- Að meta samspil helstu mælipátta kjötgæða þ.e. pH24, litar á vöðva (L^* , a^* , b^*), skurðfestu á elduðu kjöti og fitu í vöðva.
- Að gera úttekt á verkferlum við slátrun út frá samspili raförvunar og kælingar við að tryggja meyrkt kjöt.
- Að meta stöðu íslensks lambakjöts út frá gæðamælingum og gera tillögur um áherslur í kynbótum og meðferð sem og frekari rannsóknir í ljósi niðurstaðna.

Einnig að hefja uppbyggingu sýnasafns fyrir DNA greiningar sem má nýta til frekari rannsókna á kynbótum fyrir bragðgæði með notkun erfðamengisúrvals.

Efni og aðferðir

Undirbúningur og skipulag

Yfirlit um skipulag og framkvæmd verkefnisins er sýnt á 4. mynd. Sérfræðingar Lbhí og RML sáu um að velja bú og lömb í rannsóknina. Valin voru lömb úr skipulögðum afkvæmarannsóknum á öllum stöðum og miðað við 200 lömb frá hverju búi. Nær öll lömb voru vigtuð á fæti fyrir slátrun og langflest voru ómmæld og stiguð.



4. mynd. Skipulag verkefnisins.

Slátrun, mælingar og sýnataka

Í töflu 1 er yfirlit um tímaskipulag helstu verkþátta verkefnisins.

1. tafla. Dagsetningar slátrunar og sýnatöku haustið 2016

Slátruhús	Fjöldi lamba	Slátrun	Sýnataka	Keyrt með sýni á Matís	Eftirvinnsla	Skráning
1	200	23.9	24.9	24.9	27.9	28.9
2	200	30.9	1.10	1.10	4.10	5.10
3	190	12.10	13.10	13.10	16.10	17.10
4	200	14.10	15.10	15.10	18.10	19.10

Verkefni slátrudagsins voru:

- Könnun og mælingar á aðstæðum í slátruhúsi.
- Vefjasýni tekin úr eyrum af hausum sláturlamba (eftir afhausun) og gengið frá þeim til DNA rannsókna síðar (ekki hluti af þessu verkefni).
- Merkingar á lambaskrokkum
- Mælingar á sýrustigi og hita í hryggvöðva við komu í kjötsal (pH1 og T°C 1).

Verkefni daginn eftir slátrun voru:

- Mælingar á sýrustigi og hita sólarhring eftir slátrun (pH24 og T°C 24).
- Aftari hluti hryggvöðva vinstra megin á hverjum skrokki (ca. ½ kg) var skorinn burt, snyrtur, vigtaður, pakkaður, merktur á öruggan hátt og kældur niður fyrir flutning.

- Eftir sýnatöku í kjötsal var farið í vinnslurými þar sem hver heill vöðvi var vigtaður og niðurstöður skráðar og poka lokað og kjötið kælt.
- Öllum sýnum var safnað saman í einangrunarkassa og hann geymdur á kæli fram að brottför og við komu á Matís.

Sýnin voru geymd í kæli á Matís og síðan skipt niður til mismunandi mælinga og fryst í blástursfrysti við -25°C (2. tafla).

2. tafla. Meðferð hryggvöðva hjá Matís.

Dagar frá slátrun	Meðferð
1	Mælt pH og hitastig, þökkun, merking. Flutt í 2-4°C kæli á Matís
2-5	Í kæli við 2°C
6	Rýrnun mæld, sýni tekin til mælinga. Hryggvöðvi skorinn í sýni til mælinga á skurðfestu, NIR mælinga og varasýni. 20 sýni voru tekin úr varabita úr lömbum úr mismunandi fituflokkum og af mismunandi fallþunga til hefðbundinna efnamælinga til að fínstilla og reikna út aðhvarfslíkingar fyrir NIR mælingu. Sýni merkt og hraðfryst í blásturskáp Matís við -35°C yfir nótt. Gengið frá sýnum í frauðkassa og þau geymd við -25°C fram að mælingum.

Hitastig, sýrustig og litur

Hiti var mældur með stungumæli dýpst í hryggvöðva kjötskrokka við komuna í kæli um það bil 60 mínútum eftir aflífun og eftir kælingu 20-24 tímum eftir slátrun. Sýrustig var mælt samtímis í hryggvöðva við næstaftasta rif með Knick Portamess mæli með stunguelektroðu.

Liturinn var mældur með Minolta Chroma Meter II. Við sýnatöku á Matís voru sneiðar af hryggvöðvum lagðar á bakka sem var látinn vera úti í vinnslusal við 15°C í 1 klukkustund til að taka lit. Litagildin voru meðaltal þriggja mælinga á hverri sneið.

Ákvörðun á efnasamsetningu með NIR mælingu

Efnarannsóknastofa Matís mældi vatn, þurrefni, prótein, fitu, ösku og kollagen í 20 sýnum af hryggvöðvum úr skrokkum af mismunandi fituflokkum með hefðbundnum aðferðum.

Prótein var reiknað út frá heildarmagni köfnunarefnis (köfnunarefni * 6,25) sem var mælt með aðferð Kjeldahls⁷. Aska var mæld með glæðingu og hitun í ofni við 550°C samkvæmt lýsingu í

⁷ ISO, 2005. Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content. ISO Standard 5983. Geneva, Switzerland: The International Organization for Standardization

ISO aðferð 5984⁸. Fita var ákvörðuð með fituútdrætti eftir sýruhýdrólýsu⁹. Niðurstöðurnar voru notaðar til að gera aðhvarfslíkingar, sem notaðar voru við NIR mælingar, sem gerðar voru á öllum kjötsýnum í verkefninu til að mæla fitu.

Mælingar á skurðkrafti á hituðum hryggvöðvum

Skurðkraftur var mældur með Warner Bratzler aðferð. Beitt var sömu aðferðum við undirbúning sýna og framkvæmd mælinga og í Evrópuverkefni um lambakjöt (Sanudo o.fl. 2003). *Texture Analyser* frá SMS Englandi var notaður við mælingarnar. Vöðvarnir voru látnir þiðna yfir nótt í kæli við 2-4°C. Síðan voru vöðvarnir hitaðir í vatnsbaði við 75°C þar til kjarnhita 71°C var náð. Sýnin voru síðan kæld í ísbaði þar til herbergishita var náð og geymd í kæli við 4°C þar til að áferð var mæld. Sýni 1x1 cm í þvermál voru útbúin, reynt var að ná sem flestum sýnum úr hverjum bita en þau voru á bilinu þrjú til fimm. Skorið var þvert á vöðvaþræði sýnanna með hníf með þríhyrndri rauf í blaðinu og hámarkskraftur (kg), sem þurfti til að skera sýnið í sundur, var mælikvarði á skurðkraft vöðvans. Gildi fyrir skurðkraft voru reiknuð út frá meðaltali fjórum til fimm mælingum á hverri sneið. Mælihraði í tækinu var 2,5 mm/sek og tíðni mælipunkta var 20 punktar/sek.

Gögn og tölfræðigreiningar

Gögn úr skýrsluhaldi búanna sem lömbin komu frá voru tengd við niðurstöður mælinga á kjötinu með einstaklingsnúmerum. Þau gögn voru notuð til að reikna aldur lamba út frá fæðingardegi og sláturdegi, skrá kyn lamba og faðerni. Einnig fengust upplýsingar um ómmælingar og dóma á lömbunum fyrir slátrun. Fallþungi og flokkun skrokka var skráð eftir vigtarseðlum sláturhúsanna. Flokkun fyrir holdfyllingu og fitu var umreiknuð í stig á bilinu 1-15 í tölfræðireikningum.

Tölfræðivinnsla var unnin í tölfræðiforritapakkanum SAS 9.4 og beitt aðferðum lýsandi tölfræði til að skoða meðaltöl og dreifingu mælinga. Fervikagreining fyrir ójafnan fjölda í flokkum (GLM) var notuð til að meta áhrif fastra þátta á mæliniðurstöður, þ.e. bú/sláturhús (féll saman), kyn og aldur lamba. Einnig voru skoðuð áhrif fallþunga og kjötmatsflokka á

⁸ ISO, 2002. Animal feeding stuffs – Determination of crude ash. ISO Standard 5984. Geneva, Switzerland: The International Organization for Standardization.

⁹ NMKL aðferð nr. 160,1998.

niðurstöður mælinga. Í sumum tilfellum var einnig kannað samhengi mælinga á kjöti við ómmælingar á lifandi lömbum.

Loks voru metin áhrif feðra lamba með blönduðu líkani (mixed model) innan búa þar sem feður lamba voru skilgreindir sem slembihrif (random) og föst hrif skilgreind samkvæmt niðurstöðum úr GLM. Í þeim greiningum var lambafeðrum sem áttu færri en fjögur afkvæmi sleppt og við það fækkaði mælingum í 735 úr 790. Reiknað var mat á arfgengi eiginleika (h^2) út frá hlutfalli dreifniþáttar feðra (σ^2_s) á móti dreifniþætti leiðrétts svipfars (σ^2_p).

$$h^2 = 4\sigma^2_s / \sigma^2_p$$

Ekki var tekið tillit til annars skyldleika gripanna en hálf systkina í föðurætt þannig að matið er ekki nákvæmt en gögnin standa tæplega undir flóknari greiningum. Skekkjumat á arfgengi fæst ekki út úr þessum útreikningum.

Myndir voru unnar í SAS og Excel.

Niðurstöður

Lýsandi tölfræði, meðaltöl og dreifing mælinga

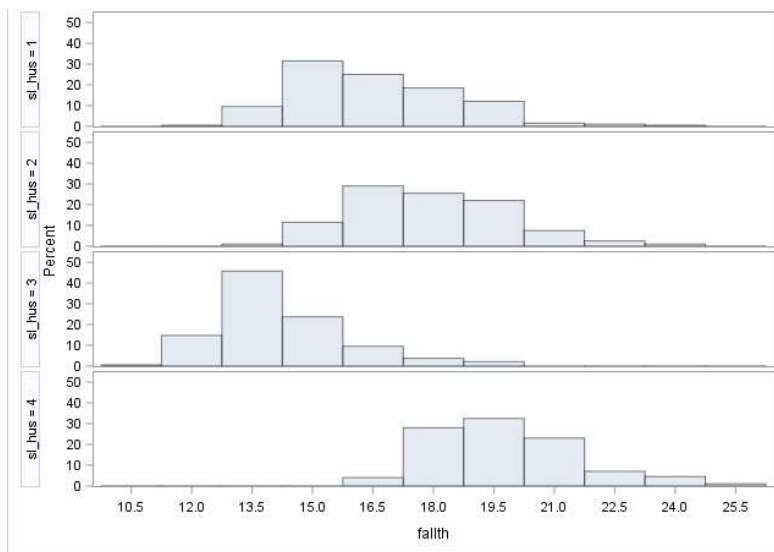
Í 3. Töflu er yfirlit um meðaltöl upplýsinga um lömbin ásamt fallþunga og flokkun skrokka í sláturhúsi.

3. tafla. Meðaltöl mælinga á lifandi lömbum og almennra sláturupplýsinga.

Sláturhús/Bú	1	2	3	4	Meðaltal	Meðalfrávik	Lægsta gildi	Hæsta gildi
Fjöldi	200	200	190	200				
hlutfall hrúta (%)	93,5	87,0	8,4	75,5				
Aldur, dagar	133	143	145	159	145			
Ómvöðvi,* mm	29,1	30,1	26,6	28,7	28,7	2,75	21	37
Ómfita,* mm	2,58	2,54	2,00	3,47	2,67	0,95	1	6,8
Lærastig*	17,2	17,5	17,2	17,3	17,3	0,50	15,5	19,0
Fallþungi, kg	16,5	17,9	14,2	19,8	17,2	2,76	11,1	26,1
Kjöt %	42,6	42,7	41,8	42,3	42,4	2,42	34,2	52,9
Stig holdfylling	9,13	10,0	8,98	9,80	9,49	1,75	5	14
Stig fita	5,00	6,74	5,24	6,96	5,99	1,73	2	11

*Fjöldi ekki full tala

Lömbin voru nokkuð misjöfn milli búa eins og fram kemur í 3. töflu. Slátrað var frá búi 1 þann 23. september en síðasta slátrun var 14. október frá búi 4. Töluverður munur var á meðalaldri lamba frá hverju búi við slátrun (3. tafla) en munur á fallþunga var þó ekki alfarið í samræmi við aldursmun (mynd 5). Nokkur munur var einnig á kjötmati, ekki síst m.t.t. fitu sem rekja má að hluta til mismunandi kynjahlutfalls. Munur milli búa/sláturhúsa var hámarktækur í öllum tilfellum.

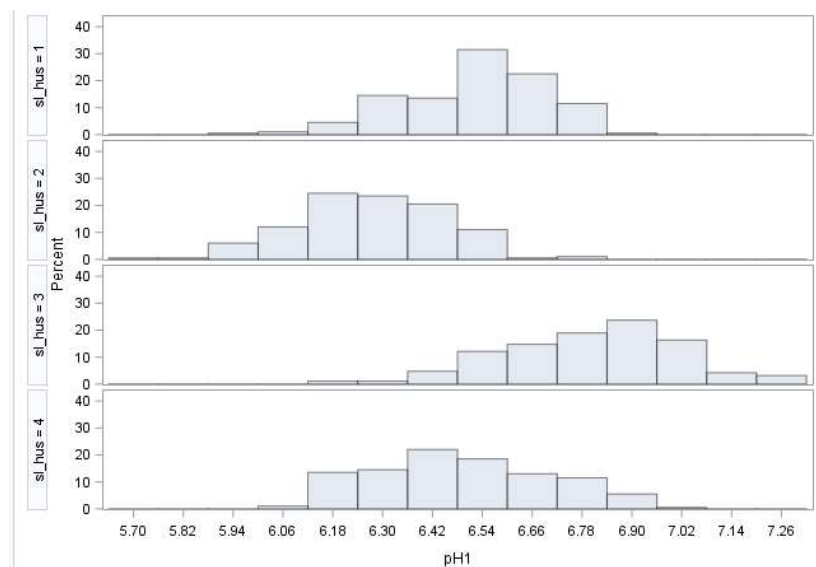


5. mynd. Dreifing fallþunga eftir sláturhúsum/búum.

Í 4. töflu er yfirlit yfir meðaltöl mælinga á hitastigi og sýrustigi skrokkanna, annars vegar strax eftir slátrun og hins vegar sólarhring eftir slátrun. Marktækur munur var milli sláturhúsa í öllum tilfellum og munaði töluverðu, sérstaklega á kælingu sem var áberandi misjöfn (6. mynd). Sýrustig eftir sólarhring var einnig marktækt misjafnt milli húsa sem skýrist af misjöfnu hlutfalli skrokka með sýrustig yfir 5,8 sem eru viðmiðunarmörk fyrir streituskrokka. Gildið 5,71 er viðmiðið sem Meat Standards Australia (MSA) notað við að tryggja gæði lambakjöts. Ef sýrustig í vöðva er yfir 5,7 daginn eftir slátrun fær kjötið ekki stjörnumerkingu (Bonny o.fl. 2018). Neðsta línan sýnir hlutfall skrokka þar sem sýrustig í hryggvöðva var komið undir 6,0 og hitinn var enn yfir 35°C, en þessi mörk hafa verið notuð sem mælikvarði á hitaherpingu sem getur verið fylgifiskur of mikillar raförvunar og of lítillar kælingar (Thompson o.fl. 2005). Dreifing sýrustigs- og hitastigsmælinga kemur fram á myndum 6-8.

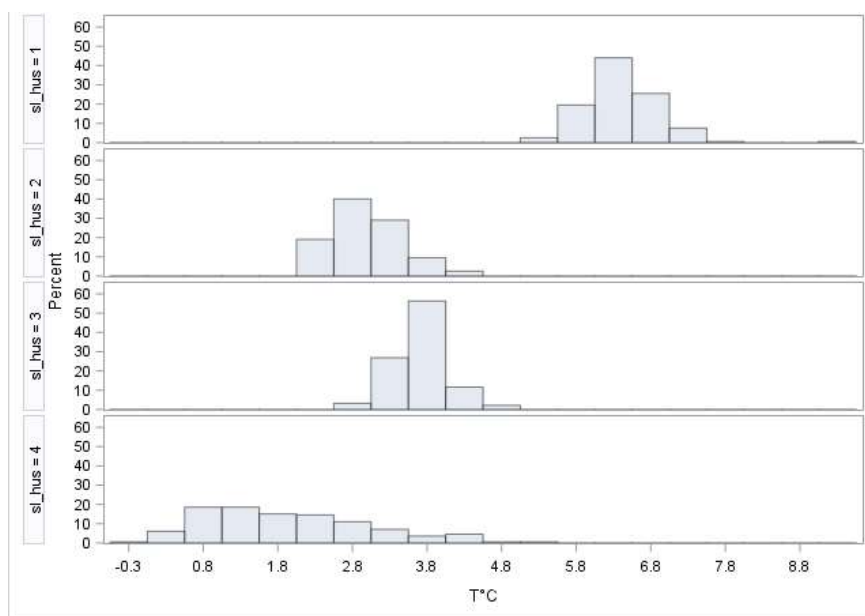
4. tafla Meðaltöl hita- og sýrustigsmælinga eftir sláturhúsum.

Sláturhús/bú	1	2	3	4	Meðaltal	Meðalfrávik	Lægsta gildi	Hæsta gildi
Fjöldi	200	200	190	200				
T_1 °C	39,1	39,2	39,0	38,5	39,0	1,10	29,9	41,0
T_24 °C	6,29	2,88	3,62	1,82	3,66	1,79	-0,1	9,2
pH1	6,51	6,27	6,80	6,49	6,51	0,27	5,75	7,31
pH24	5,64	5,64	5,66	5,59	5,63	0,17	5,33	6,61
pH24>5,80, %	8,5	16,1	10,0	9,1	10,9	-		
pH24>5,71, %	15,0	27,0	23,2	17,0	20,5	-		
pH1 <6 og T_1 °C>35°C %	0,5	7,0	0	0				



6. mynd. Dreifing sýrustigsmælinga í hryggvöðva strax eftir slátrun í hverju sláturhúsi

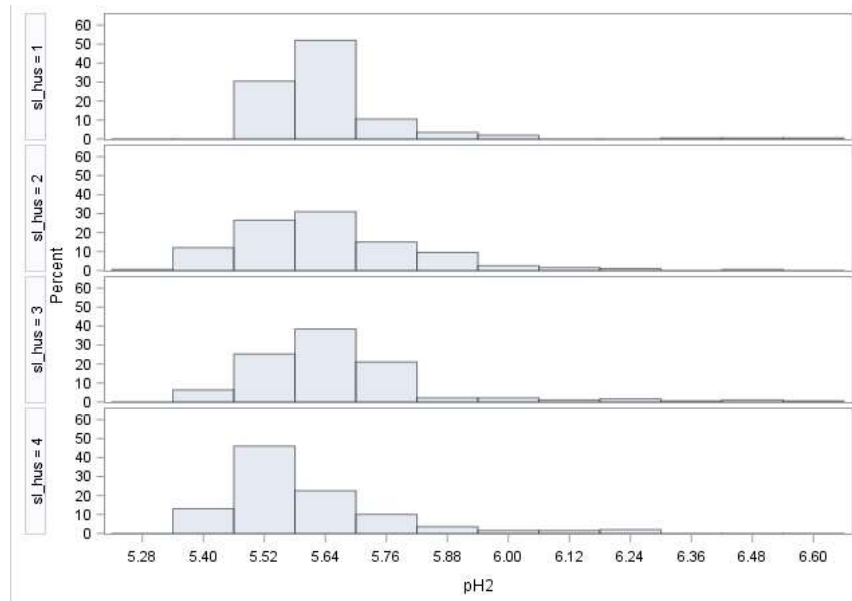
Á 6. mynd kemur fram að sýrustig byrjar að lækka fyrr í húsum sem beita raförvun á skrokkana til að flýta fyrir dauðastirðnun. Raförvun var notuð í öllum húsum nema húsi 3 og þar var lítil lækkun á sýrustigi strax eftir slátrun. Myndin sýnir einnig mikla dreifingu á sýrustigsgildum. Sýrustig í hryggvöðva við komu í kjötsal 30-90 mínútum frá slátrun segir til um hvort raförvunin hafi virkað. Niðurstöðurnar benda til að raförvun á flegna skrokka skili betri árangri en þegar henni er beitt strax eftir deyðingu á óflegna skrokka þar sem gæra og ull geta einangrað.



7. mynd. Dreifing hitastigsmælinga sólarhring eftir slátrun í hverju sláturhúsi.

Gerð er krafa um að kjarnahiti í lambaskrokkum sé kominn undir 4°C 24 tímum eftir slátrun (Reglugerð 461/2003. Viðauki 1. XIV. Kafli. 65.grein). Það er gert til að koma í veg fyrir vöxt heilsuspillandi örvera á borð við *Salmonella*, *Listeria* og *E coli* (VTEC). Til fróðleiks þá er gildið fyrir Evrópusambandið 7°C¹⁰. Þrjú húsa stóðust þessar kröfur en meðalhitinn í húsi 1 var 6,29 °C.

¹⁰ Regulation 853/2004. EFSA Journal 2014;12(3):3601



8. mynd. Dreifing sýrustigsmælinga sólarhring eftir slátrun í hverju sláturhúsi.

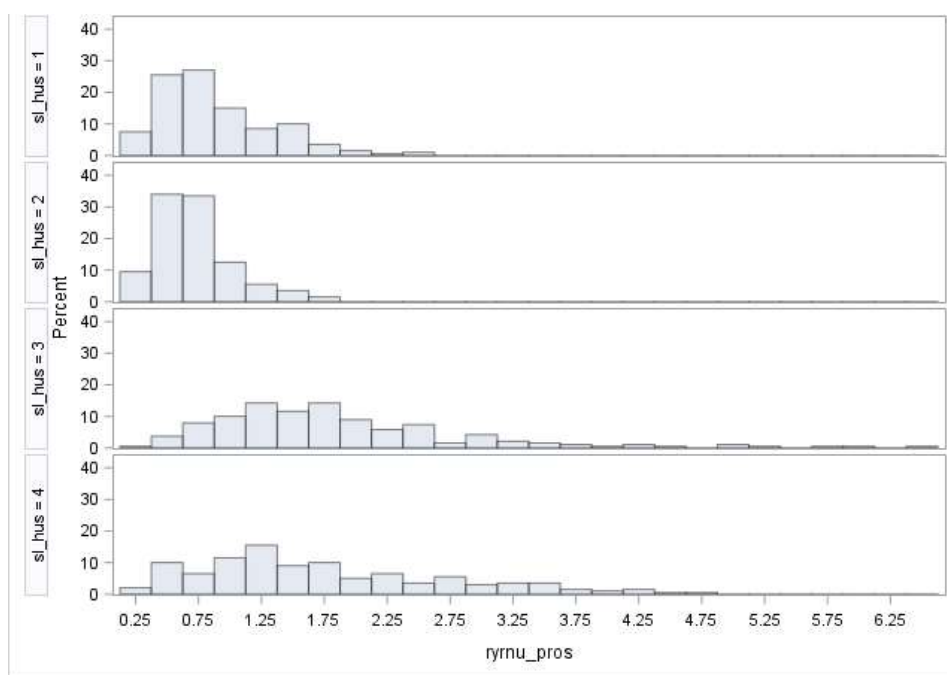
Hlutfall streituskrokka var um 10% sem er of hátt og ástæða er til að huga betur að meðferð og aðbúnaði lamba fyrir slátrun. Hlutfallið var um 20% ef við miðum við kröfur MSA um sýrustig daginn eftir slátrun. Þetta er svipað hlutfall og fyrir lambakjöt í Ástralíu (8-32%) og Nýja Sjálandi (7,3%) (Ponnampalam o.fl. 2017). Í húsi 2 voru 14 skrokkar og einn í húsi 1 sem uppfylltu skilyrði þess að hafa orðið fyrir hitaherpingu. Þessar niðurstöður byggja á einni mælingu í hryggvöðva u.þ.b. 1 klukkustund eftir slátrun þannig að hlutfallið gæti verið hærra. Hættan á hitaherpingu í læri gæti verið meiri því það kólnar hægar en hryggurinn. Fínstilla þarf raförvun og kælingu til að draga úr hættunni á hitaherpingu.

Í töflu 5 eru meðaltöl mælinga á kjötsýnum sem tekin voru úr hryggvöðva skrokkanna. Allir þættir sýndu marktækan mun milli sláturhúsa og er sem fyrr ekki hægt að greina sundur búsaðhrif og áhrif meðferðar við slátrun. Meðaltöl allra litamælinga voru lægst í húsi 3 en þar var fallþungi lægstur og hæst hlutfall gimbra. Niðurstöður mælinga á fituinnihaldi voru almennt lágur eða innan við 2% að meðaltali nema í húsi 4 (10. mynd). Mælingar á skurðkrafti (seigju) voru hins vegar frekar háar alls staðar að meðaltali og dreifðust mikið upp á við (11. mynd).

5. tafla. Meðaltöl mælinga á sýnum af hryggvöðva eftir sláturhúsum.

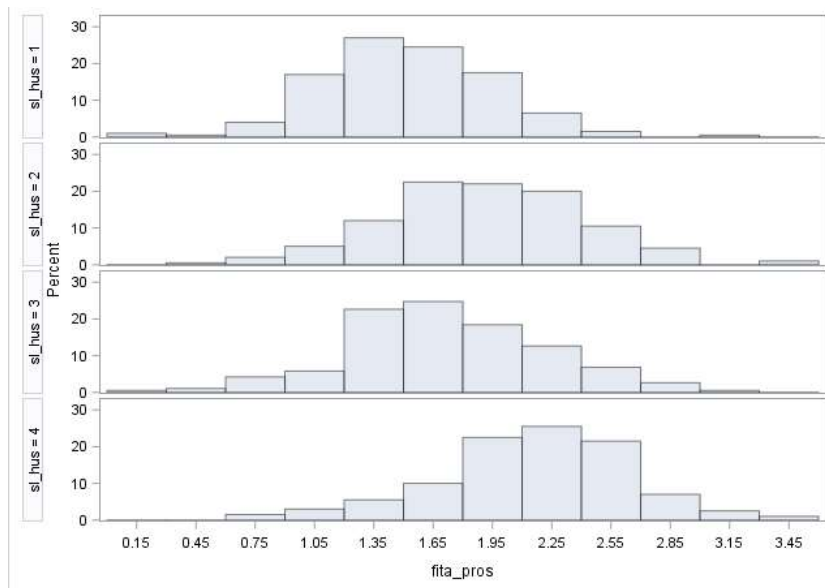
Sláturhús/bú	1	2	3	4	Meðaltal	Meðalfrávik	Lægsta gildi	Hæsta gildi
Fjöldi	200	200	190	200				
L* (ljós litur)	38,9	36,6	36,1	37,0	37,2	2,64	27,0	44,5
a* (rauður litur)	18,9	18,3	17,4	19,2	18,5	1,78	12,9	22,7
b* (gulur litur)	3,69	3,20	2,05	3,13	3,03	1,61	-1,03	7,24
Rýrnun %	0,88	0,71	1,87	1,74	1,29	0,92	0,18	6,61
Fita í hryggvöðva %	1,53	1,91	1,71	2,16	1,83	0,54	0,06	3,54
Skurðkraftur kg/cm ²	4,96	5,57	4,92	4,52	4,92	1,54	1,80	11,77
Skurðkraftur > 5 kg, %	38,0	51,0	38,4	30,5				
Skurðkraftur > 6 kg, %	21,0	31,0	22,1	10,0				

Meðalrýrnun og dreifing rýrnunarhlutfalls var misjafnt milli húsa eins og fram kemur á 9. mynd. Mun meiri breytileiki er í rýrnun skrokka í húsum 3 og 4 og meðalrýrnun meiri en í húsum 1 og 2.



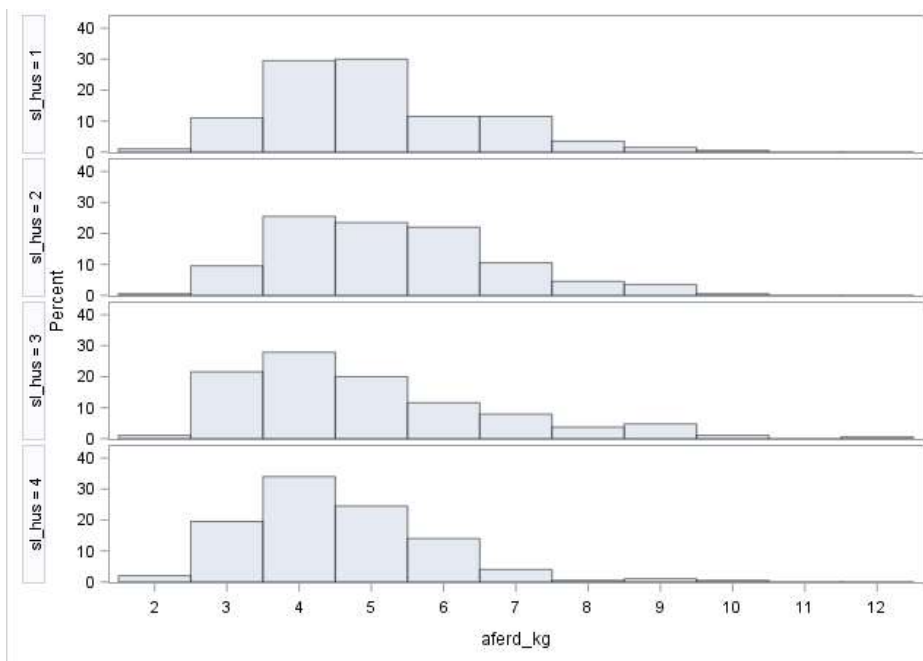
9. mynd. Dreifing mælinga á rýrnun kjötsýna (%) úr hryggvöðva.

Meðalrýrnun var minnst í sláturhúsum 1 og 2 þar sem lömbunum var slátrað fyrst. Hún var mest þar sem ekki var raförvað sem kemur á óvart. Í því sláturhúsi var töluvert um vöðva með mjög mikla rýrnun. Mikil dreifing rýrnunarprósentu í húsum 3 og 4 kemur einnig á óvart (9. mynd).



10. mynd. Dreifing mælinga á fituinnihaldi (%) kjötsýna úr hryggvöðva, flokkað eftir slátruhúsum.

Fituinnihald í vöðva var aðeins lægra eða svipað og mældist fyrir 20 árum. Gildin eru lág, sem ræðst bæði af fjárstofninum, kyni, fallþunga og aldri við slátrun. Heildarmeðaltal var 1,83% en hæst var meðaltalið í húsi 4 (2,16%) en þau lömb voru þyngst og elst við slátrun.



11. mynd. Dreifing mælinga á skurðkrafti (kg/cm^2) sem þurfti til að skera sundur kjötsýni úr hryggvöðva, flokkað eftir slátruhúsum.

Meðalskurðkraftur var $4,92 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Dreifing á gildum var mikil og skekkt upp á við (11. mynd). Samkvæmt rannsóknum í Nýja Sjálandi (Bickerstaffe o.fl. 2001) er kjöt með skurðfestu undir

5,56 kg skilgreint sem meyrnt kjöt og meyrni kjöts með skurðfestu allt að 7,76 kg talin ásættanleg. Nýjasta viðmiðið í Nýja Sjálandi er þó að 95% kjöts hafi skurðkraft undir 5,56 kg daginn eftir slátrun og ekki hærra en 4,32 kg að meðaltali.

Samhengi mælinga

Sýrustig, litur og rýrnun

Í 6. töflu er yfirlit um þætti sem sýna samhengi við sýrustig, rýrnun og litamælingar á kjötsýnum þegar kannaðir voru mögulegir áhrifaþættir meðal mældra stærða.

6. tafla. Þættir sem sýndu marktækt samhengi við sýrustig sólarhring eftir slátrun (pH24), litarmælingar á hryggvöðva og rýrnun kjötsýna ásamt skýringarlutfalli (R^2) hvers líkans.

Líkan nr.	Svarbreyta	Sláturhús /Bú	Kyn lambs	Skýribreytur				R^2 %
				Fallþungi	pH1	T_°C24	pH24	
Líkan 1	Sýrustig pH24	***	*	EM	+***	-*		6,4
Líkan 2	L* ljós litur	***	**	***	EM	EM	***	33,2
Líkan 3	a* rauður litur	***	***	EM	EM	EM	***	31,2
Líkan 4	b* gulur litur	***	EM	EM	EM	EM	***	34,6
Líkan 5	Rýrnun%	***	EM	EM	EM	(+)	***	35,1

*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; (+) $p < 0,10$, EM ekki marktækt. Mínus eða plús framan við stjórnúmerkingar gefur til kynna stefnu línulegs samhengis.

Líkan 1 skýrir einungis 6,4% af breytileika í sýrustiginu pH24 og hver þáttur hefur fremur lítil áhrif eins og fram kemur í 6. töflu. Jákvætt samhengi er milli sýrustigs í vöðva strax eftir slátrun og sýrustigs sólarhring síðar (aðhvarfsstuðull: +0,16) en samhengi við hitastig er veikt. Aukinn fallþungi veldur dekkri lit á kjötinu (aðhvarfsstuðull: -0,15 L*-einingar/kg) og kjöt af hrútum er aðeins ljósara (+0,76 L*-einingar) en af gimbrum. Sterkt samhengi kemur fram milli sýrustigs (pH24) og ljósa litarins þar sem línulegt aðhvarf sýnir lækkun L*-mælinga um 6,3 einingar með hækkun pH24 um heilt stig. Hátt sýrustig hefur því í för með sér dekkra kjöt. Kjöt af gimbrum mælist rauðara en af hrútum en munurinn er lítill. Rauður litur sýnir lægri gildi með herra sýrustigi (pH24), línulegur aðhvarfsstuðull er -4,13 a*-einingar/pH-stig. Sterkt samhengi er einnig milli pH24 og mælinga á gulum lit, línulegur aðhvarfsstuðull er -4,41 b*-einingar/pH-stig sem er verulegt (sjá líkan 4 í töflu 6). Skrokkar með sýrustig yfir 5,8 valda mestu um þetta samhengi. Rýrnun er einnig tengd sýrustigi þar sem kjöt af skrokkum með hátt sýrustig rýrnaði minnst og þar voru greinilega áhrif af skrokkum með pH24 yfir 5,8.

7. tafla. Aðfelld meðaltöl sýrustigs sólarhring eftir slátrun, litamælinga og rýrnunar eftir slátruhúsum/búum.

	Hús 1	Hús 2	Hús 3	Hús 4
pH24	5,68 ^a	5,65 ^a	5,63 ^a	5,55 ^b
L* - ljós litur	38,5 ^a	36,5 ^b	36,1 ^b	37,0 ^c
a* - rauður litur	19,4 ^a	18,6 ^b	17,3 ^c	19,0 ^a
b* - gulur litur	3,71 ^a	3,24 ^b	2,17 ^c	2,95 ^d
Rýrnun%	0,73 ^a	0,81 ^a	1,98 ^b	1,93 ^b

Meðaltölín eru leiðrétt fyrir þáttum sem koma fram í 6. töflu. Marktækur munur ($p < 0,05$) er á meðaltölum með mismunandi stafamerkingum í hverri línu

Samanburður á sýrustigi (7. tafla) sýnir að skrokkar í húsi 4 skáru sig úr með lægra sýrustig að meðaltali, sólarhring eftir slátrun en hin húsin, þar sem voru svipuð og heldur hærri meðaltöl. Fallþungi hefur ekki áhrif á sýrustig og sama gildir um kjötmsstig. Mælingar á ljósum lit sýndu marktækan mun milli húsa þar sem kjöt af skrokkum í húsi 1 er ljósast, dekkst í húsi 4 en hús 2 og 3 liggja þar á milli. Kjöt af skrokkum úr húsi 3 skar sig úr varðandi rauðan lit, með lægsta gildið en þau lömb voru yngst við slátrun. Áhrif af aldri við slátrun voru mjög lítil þegar búið er að taka tillit til munar milli slátruhúsa og þau áhrif falla þannig saman (3. tafla). Gulur litur mældist marktækt misjafn milli allra slátruhúsa en þar skiptir máli að lömbin voru ólík milli slátruhópna. Ef ekki er tekið tillit til slátruhúsa/búa þá kemur í ljós veikt samhengi við aldur við slátrun þar sem gulur litur hækkar lítilla með aldri og við kyn lambanna (hærra gildi í kjöti af hrútum) ásamt veiku jákvæðu samhengi við fitustig skrokkanna. Samanburður á rýrnun milli slátruhúsa sýnir verulegan mun á húsum 1 og 2 annars vegar og 3 og 4 hins vegar.

Skurðkraftur og fita í hryggvöðva

Áhrifaþáttum á fitu og skurðfestu má skipta upp eftir því hvort þeir eru mældir á lifandi lömbum eða skrokkum í slátruhúsi. Því voru notuð tvö reiknilíkon til að meta þessa þætti eins og sýnt er í 8. töflu.

8. tafla. Þættir sem sýna marktækt samhengi við fitu í vöðva og skurðkraft (seigju) hryggvöðva ásamt skýringarhlutfalli líkana sem taka til þátta fyrir og eftir slátrun.

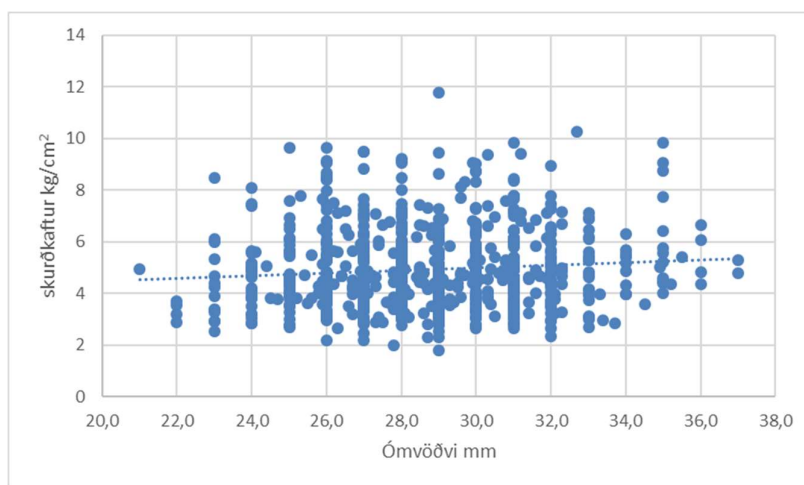
Líkan 1 N = 776	Bú/ slátruhús	Aldur, dagar	Ómfita	Ómvöðvi	Fallþungi	R ² %
Fita í hryggvöðva %	***	+(+)	+**	EM	+(+)	22,3
Skurðkraftur, kg/cm ²	(+)	EM	-*	+*	EM	5,02
Líkan 2 ¹⁾ N=788	Bú/ slátruhús		Stig fita	Stig holdf.	pH24	
Fita í hryggvöðva %	***		+***	EM	EM	22,0
Skurðkraftur, kg/cm ²	***		-***	+***	EM	8,05

1) fitufl. 11 sleppt *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; (+) $p < 0,10$, EM ekki marktækt. Mínus eða plús framan við stjörnumerkingar gefur til kynna stefnu línulegs samhengis.

Í líkani 1 er eingöngu tekið tillit til eiginleika sem mælast fyrir slátrun (að fallþunga undanskildum) en meðferð eftir slátrun hefur ekki áhrif á fituinnihald vöðva. Hins vegar getur meyrni kjöts verið tengd meðferð eftir slátrun, s.s. kælingu og sýrustigsfalli en niðurstöður líkans 2 sýndu engin tengsl við hita- eða sýrustig.

Enginn munur var á fituinnihaldi hryggvöðva milli skrokka af hrútum og gimbrum og mjög veikt jákvætt sambengi var við fallþunga og aldur lamba. Ómmælingar á fitu sýndu jákvætt sambengi við fitu í vöðva en aðhvarfstuðullinn var lágur eða 0,075 prósentustig á mm ómfitu. Sömuleiðis eru tengsl milli fituflokkunnar og fitu í vöðva (ómmælingum sleppt), fyrst og fremst er munur á fituflokkum 2 og 3 (10. tafla) enda langflestir skrokkanna í þessum tveimur fituflokkum. Sambengi er milli litamælinga og fituinnihalds þannig að ljós litur hækkar með aukinni fitu og sömuleiðis eykst rauður litur.

Skurðkraftur (seigja) eykst lítillega með þykkari vöðva samkvæmt ómmælingu en áhrifin eru mjög lítil (+0,058 kg/mm vöðva). Hins vegar lækkar skurðkraftur með aukinni fitu í ómmælingu (-0,15 kg(mm fitu). Ef lærastigum var bætt við líkanið fækkaði skrokkum í 740 en sambengi skurðkrafts við lærastig var ekki marktækt en greina má vísbendingu um jákvætt sambengi. Punktari á 12. mynd skýrir nánar dreifingu ómmælinga á vöðva og skurðkrafti kjötsýna.



12. mynd. Sambengi ómmælinga á hryggvöðva og skurðkraftsmælinga á kjötsýnum af hryggvöðva.

Í 9. töflu er samanburður á fituinnihaldi og skurðkrafti kjötsýna milli búa/sláturhúsa. Töluverður munur er á fitumælingum sem endurspeglar að hluta munur í þunga og aldri lamba milli búa. Sömuleiðis er munur á skurðkrafti þar sem hæsta meðaltalið var í húsi 2. Ekki kom

fram marktækt samhengi milli mælinga á skurðkrafti og sýrustigs sólarhring eftir slátrun fremur en við aðrar mælingar sem gerðar voru eftir slátrun.

9.tafla. Aðfelld meðaltöl fituinnihalds í hryggvöðva og mælinga á skurðkrafti eftir slátruhúsum/búum.

Líkan 1	Bú/slh. 1	Bú/slh. 2	Bú/slh. 3	Bú/slh. 4
Fita í hryggvöðva %	1,61 ^a	1,91 ^{bc}	1,83 ^b	1,99 ^c
Skurðkraftur, kg/cm ²	4,88 ^{ab}	5,19 ^{ac}	4,80 ^b	4,81 ^b

Meðaltölin eru leiðrétt fyrir marktækum þáttum samkvæmt líkani 1 sem koma fram í 8. töflu að ofan. Marktækur munur ($p < 0,05$) er á meðaltölum með mismunandi stafamerkingum í hverri línu.

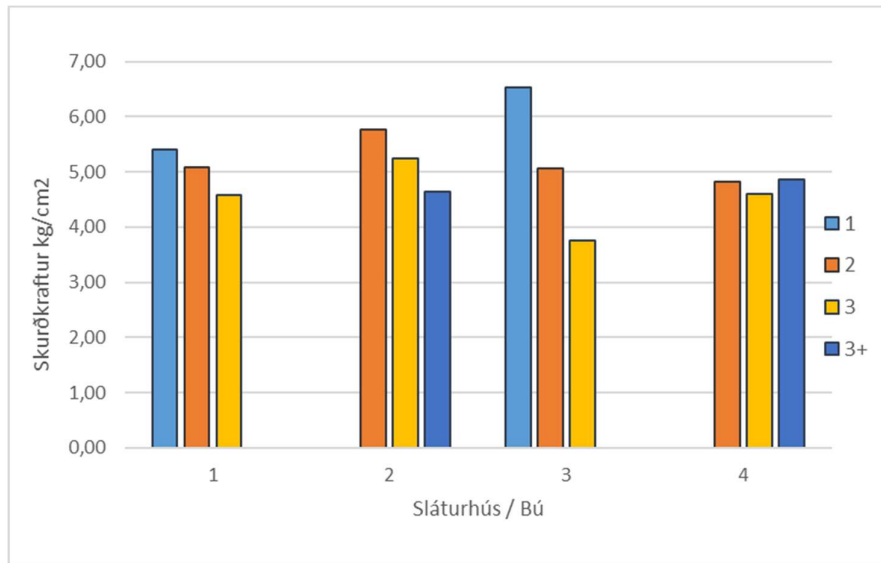
Í líkani 2 var skoðað samhengi við flokkun skrokka og sleppt fituflokki 4 þar sem voru einungis tveir skrokkar í þeim flokki. Þetta líkan skýrir meira af breytileika í skurðkrafti en líkan 1 og meðaltöl eftir flokkum eru sýnd í 10. töflu. Hér kemur fram allskýrt samhengi milli kjötmatsflokka og meyrni þar sem kjötið virðist seigara eftir því sem skrokkarnir flokkast betur, ef gert er ráð fyrir að mikil holdfylling og lítil fita teljist besta flokkunin. Nánari skoðun gagnanna sýndi að þessi tengsl voru ekki marktæk í húsi 4 þar sem lítil munur kom fram eftir flokkum.

10. tafla. Aðfelld meðaltöl mælinga á fitu og á skurðkrafti mælt á hryggvöðva eftir kjötmatsflokkum..

	Holdfyllingarflokkun				Fituflokkun			
	O	R	U	E	1	2	3	3+
Fjöldi skrokka	9	407	347	27	35	471	250	32
Fita í hryggvöðva %	1,64	1,91	1,91	1,83	1,66 ^a	1,67 ^a	1,86 ^b	1,84 ^{ab}
Skurðkraftur, kg/cm ²	4,79 ^{ab}	4,69 ^a	5,24 ^b	5,79 ^b	5,86 ^a	5,25 ^b	4,67 ^c	4,72 ^{bc}

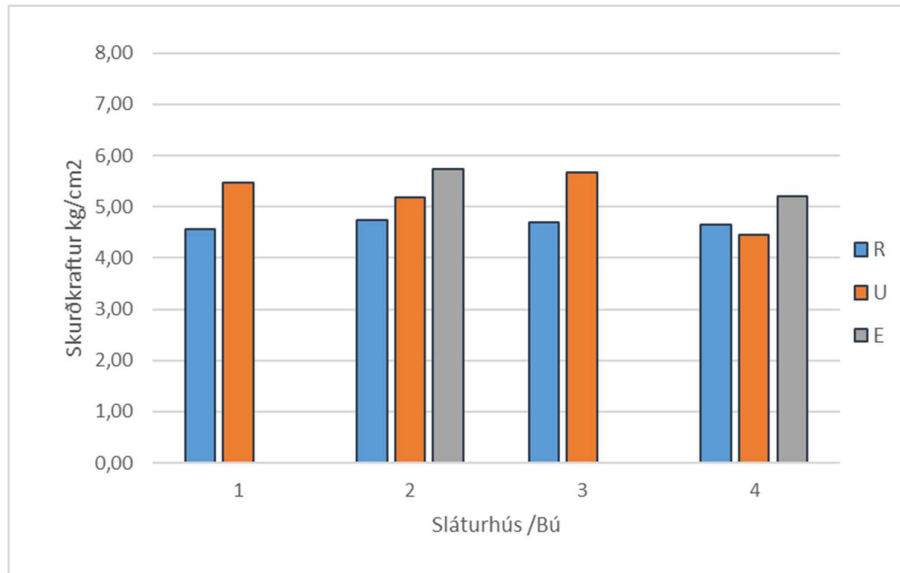
Meðaltölin eru leiðrétt fyrir mun milli bú/slátruhúsa. Marktækur munur ($p < 0,05$) er á meðaltölum með mismunandi stafamerkingum í hverri línu.

Niðurstöður frá hinum þremur húsunum sýndu hins vegar sama mynstur og fram kemur í 10. töflu með enn skýrari hætti. (13. og 14. mynd). Munur er á meðalfallþunga lamba milli húsa eins og kemur fram í 3. töflu og leiðrétting fyrir þunga innan slátruhúsa/búa hefur engin áhrif hér.



13. mynd. Meðaltöl mælinga á skurðkrafti á kjötsýnum úr hrygg eftir sláturhúsum og fituflokkum skrokka. Meðaltöl fyrir flokka með fleiri en fimm skrokka í hverju húsi.

Þrátt fyrir skýrt mynstur í meðaltölum var verulegur breytileiki í áferðarmælingum innan hvers kjötmatsflokks í hverju húsi enda er skýringarhlutfall þessara þátta einungis 11% samtals. Því er ekki tilefni til að draga sterkar ályktanir af þessum vísbendingum.



14. mynd. Meðaltöl mælinga á skurðkrafti á kjötsýnum úr hrygg eftir sláturhúsum og holdfyllingarflokkum skrokka. Meðaltöl fyrir flokka með fleiri en fimm skrokka í hverju húsi.

Mat á erfðaáhrifum

Reiknað var einfalt mat á arfgengi út frá mun milli afkvæmahópa innan bóa án tillits til annars skyldleika. Fjöldi mælinga var tæplega fullnægjandi fyrir flóknari reikninga og líta má á niðurstöður sem vísbendingu varðandi erfðaáhrif sem líklega eru vanmetin. Ekki var tilefni til að meta erfðafylgni eiginleika af sömu ástæðu. Í 11. töflu er yfirlit um niðurstöður.

11. tafla. Mat á arfgengi eiginleika sem mældir voru á kjöti, reiknað út frá mun milli 48 afkvæmahópa innan bóa. Föst hrif sýna þætti sem leiðrétt var fyrir.

Eiginleiki	Fjöldi	Arfgengi	Föst hrif
pH24	735	0,027	Sl.hús, kyn, T°C1, pH24
Ljós litur, L*	735	0,094	Sl.hús, kyn, fallþ., pH24
Rauður litur a*	735	0,17	Sl.hús, kyn, fallþ., pH24
Gulur litur b*	735	0,15	Sl.hús, pH24
Rýrnun %	735	0,01	Sl.hús, T°C1, pH24
Fita í hryggvöðva %	722	0,15	Sl.hús, ómfita, aldur
Skurðkraftur kg/cm ²	722	0,25	Sl.hús, ómfita, ómvöðvi

Arfgengi á sýrustigi í vöðva eftir 24 tíma er tæplega mælanlegt í þessum gögnum og mun lægra en í fyrri rannsóknum á Íslandi og sama gildir um rýrnun skrokka í kjötsal. Aðrir eiginleikar virðast með mælanlegt arfgengi og jafnvel meðalhátt fyrir skurðkraft. Þetta eru svipaðar niðurstöður og í rannsóknum í Ástralíu, Nýja Sjálandi og Skotlandi. Skekkja á arfgengismati var ekki reiknuð en líkur eru á að hún sé fremur há. Ekki er endilega réttmætt að leiðrétt fyrir ómmælingum við mat á arfgengi fituinnihalds og skurðkrafts vegna þess að vefjaþykkt mæld með ómmælingum eru líka arfgengir eiginleikar. Ef leiðréttingum var sleppt kom í ljós að arfgengismatið breyttist sáralítið. Ítrekað skal að gögnin eru tæplega nógu stór eða lýsandi fyrir íslenskt sauðfé til að meta arfgengi með öryggi.

Umræður og ályktanir

Þegar dregnar eru ályktanir út frá niðurstöðum þarf að hafa í huga að um eina afmarkaða rannsókn er að ræða þar sem lömb frá fjórum búum, fjórum sláturhúsum og einum degi í hverju húsi og kjöt af þeim voru rannsökuð. Sumar niðurstöður rannsóknarinnar kalla á frekari tilraunir og líta verður á niðurstöðurnar sem vísbendingar út frá takmörkuðum gögnum og þeim skorðum sem fjármögnum verkefnisins setti.

Áhrif meðferðar fyrir og eftir slátrun

Mælingar á hita- og sýrustigi vöðva eru bæði gerðar til að kanna hlutfall kjöts af stressuðum lömbum og hvort rétt sé staðið að raförvun og kælingu kjötskrokka. Það er gert til að tryggja góðan lit á fersku kjöti, meyrkt kjöt og eðlilegt geymsluþol. Þannig geta bæði of hröð og of hæg kæling valdið seigju. Það skýrist af niðurbroti orkuefna eftir slátrun, myndun á mjólkursýru og þá um leið lækkun á sýrustigi og hvenær dauðastirðnun verður þegar vöðvi breytist í kjöt.

Sýrustig í hryggvöðva við komu í kjötsal um það bil 60 mínútum frá slátrun segir til um hvort raförvunin hafi virkað. Raförvun á bera skrokka eftir fláningu virðist skila betri árangri en þegar henni er beitt strax eftir deyðingu á óflegna skrokka, þar sem gæra og ull geta einangrað. Hluti skýringar á óvenju hárrí skurðfestu sumra sýna gæti því verið kæliherping í skrokkum þar sem raförvunin virkar ekki. Þar sem raförvun er beitt strax eftir aflífun verður að fylgjast með að hún virki og stilla skrokka betur af sem ekki sýna nein viðbrögð við rafstraumnum. Einnig þarf að stilla og fylgjast með straumstyrk, spennu og tíma raförunar til að koma í veg fyrir hitaherpingu sem gæti verið ákveðið vandamál dýpst í lærum sem eru lengst að kólna.

Erfðaáhrif á sýrustig voru tæplega mælanleg í þessari rannsókn en eldra mat á arfgengi út frá stærri og fjölbreyttari gögnum var meðalhátt (Emma Eypórsdóttir o.fl. 2007). Eins og áður var bent á er arfgengismatið hér ekki nákvæmt en svo virðist sem umhverfisáhrif sem ekki voru mæld í rannsókninni séu yfirgnæfandi áhrifaþættir sem bendir til þess að vanda þurfi alla meðferð sláturlamba og kjöts af þeim.

Stress hefur mikil áhrif á lit, áferð, geymsluþol og skurðfestu/meyrni lambakjöts. Það er því ekki eingöngu dýravelferðarmál heldur líka fjárhagslegt mál að halda því í lágmarki. Sýrustig í vöðva daginn eftir slátrun er einfaldur mælikvarði á stress í kjöti. Mismunandi viðmið fyrir hámarkssýrustig hefur verið notað eftir því hversu hart er tekið á stressi sláturdýra. Í vægustu

tilfellunum var miðað við 6,2 eða 6,0. Síðar hefur 5,8 verið algengasta viðmiðið og Ástralir taka orðið harðast á þessu og miða við 5,71. Í þessari rannsókn voru 20% hryggvöðvanna með sýrustig hærra en 5,71 sólarhring eftir slátrun. Þetta er of hátt hlutfall sem þarf að lækka verulega. Í kjölfar þessarar rannsóknar var því skrifaður og gefinn út bæklingurinn „ Frá fjalli að gæðamatvöru - um meðferð sláturlamba og lambakjöts“¹¹ til að leiðbeina um mikilvægi réttar meðferðar sláturfjár frá smölnun af fjalli, við flutning og meðferð fyrir og eftir slátrun. Bæklingnum þarf að fylgja eftir með fræðslu til bænda, fjárflutningsaðila og slátursleyfishafa. Enn fremur mæla höfundar þessarar skýrslu með að sýrustigsmælingar verði framkvæmdar á kjöti daginn eftir slátrun.

Lítill áhersla hefur verið á lit á kjöti í rannsóknnum á kjötgæðum á Íslandi. Hún er miklu meiri í löndum þar sem kjöt er almennt selt ferskt. En markaður fyrir ferskt lambakjöt á Íslandi er að aukast og töluvert er flutt út af ófrosnu lambakjöti. Því skipta áhrif erfða og meðferðar á skrokkum á kjötlit miklu máli. Arfgengismat fyrir mismunandi litablæ var 0,09-0,17 sem er svipað og mælst hefur í erlendum rannsóknnum (sjá t.d. Hopkins o.fl. 2011) og hátt sýrustig hafði veruleg neikvæð áhrif á kjötlit.

Fita og skurðkraftur

Niðurstöður mælinga á fitu í vöðva þarf að skoða í ljósi umræðunnar um að ræktun á vöðvameiri og fituminni lömbum hafi leitt til minni kjötgæða og um hvort stefna þurfi að ræktun lamba með meiri innanvöðvafitu. Þessi umræða er m.a. tilkomin vegna rannsókna í Ástralíu sem bentu til þess að lambakjöt með 5% innanvöðvafitu væri best með tilliti bragðs og meyrni (Hopkins o.fl. 2006). Aukin áhersla er á rannsóknir á áhrifum fitu í vöðva á bragðgæði kjöts víða erlendis. Árið 2017 var birt skýrsla um innanvöðvafitu í hryggvöðva 1705 lamba úr afkvæmarannsóknnum í mismunandi framleiðslukerfum á Nýja Sjálandi (Craigie o.fl. 2017). Gildin fyrir innanvöðvafitu voru á bilinu 0,91-6,42% og meðaltalið var 2,69%. Aðalhöfundurinn hefur bent á að 2,5-3,0% fita væri æskilegust miðað við aðstæður í Nýja Sjálandi¹². Í skynmati með þjálfaðum dómurum í Skotlandi jókst safi og bragð af lambakjöti línulega með aukinni innanvöðvafitu. Bestu gildin fyrir áferð og heildareinkunn fyrir bragðgæði voru fyrir innanvöðvafitu á milli 3-5% (Lambe o.fl. 2017). Þessi gildi eru ekki langt frá því sem

¹¹ <http://www.matis.is/utgafa-og-midlun/handbaekur/fracjalliadgadamatvoru/fra-fjalli-ad-gaedamatvoru-um-medferd-slaturlamba-og-lambakjots>

¹² <https://meatexportnz.co.nz/mia-focus-chewing-the-intramuscular-fat/>

lagt var til í opinberri skýrslu í Bandaríkjunum fyrir 30 árum sem var að miða við 2% í lambalærum og 3% fitu í lambahryggjum til að tryggja ásættanleg bragðgæði (Savell & Cross 1988).

Fita í hryggvöðva var lág í þessari rannsókn eða að meðaltali 1,83% en munur var á milli bóa sem skýrist m.a. af mismun í aldri og þunga við slátrun. Mat á arfgengi var 0,15 sem er lægra en erlendar rannsóknir gefa til kynna (Mortimer o.fl. 2014; Karamichou o.fl. 2006). Nauðsynlegt er að fá fram öruggt arfgengismat út frá umfangsmeiri rannsókn og kanna hvort hægt sé að velja fyrir aukinni innanvöðvafitu án þess að auka mikið yfirborðsfitu skrokkanna. Viðmiðið gæti verið 2,5-3,0%. Einnig væri áhugavert að rannsaka hvort munur mælist á bragði og meyrni kjöts úr mismunandi fituflokkum til að sjá hvort vaxandi innanvöðvafita hafi áhrif á viðbrögð neytenda eins og tilfellið er í öðrum löndum.

Skurðkraftur mældist hærri en í fyrri rannsóknum á Íslandi. Gallinn er að ekki reyndist unnt að tengja mælingarnar við skynmat eða neytendapróf. Einnig þarf að setja þann fyrirvara að kjötið í fyrri rannsóknum er ekki alltaf sambærilegt hvað varðar aldur við slátrun, fallþunga og kjötmat. Skurðkraftur virðist hafa aukist, hugsanlega vegna hraðari kælingar í sláturhúsum en líklega einnig vegna ræktunar fyrir meiri vöðva ef gengið er út frá svipuðu erfðasamhengi eiginleika og fengist hefur í erlendum rannsóknum (t.d. Hopkins o.fl. 2011; Mortimer o.fl. 2017). Meðalskurðfesta var 4,92 kg sem samkvæmt viðmiðum frá Nýja Sjálandi telst vera meyrkt kjöt (Bickerstaffe o.fl. 2001). Til fróðleiks má nefna að nýjustu gæðaviðið fyrir lambakjöt í Nýja Sjálandi eru að skurðkraftur mælist 4,3 kg eða minna að meðaltali daginn eftir slátrun og að 95% sýna séu undir 5,56 kg¹³. Skökk dreifing mælinga í átt að hærri skurðkrafti er áhyggjuefni og henni þarf að eyða sem fyrst. Svipað ástand var í Ástralíu fyrir um 20 árum og þar hefur átak til að minnka stress hjá sláturlömbum ásamt réttri stillingu á raförvun og kælingu dregið úr tíðni skrokka með háan skurðkraft. Nú er áformað að bæta ástandið enn frekar með því að rækta fyrir meiri fitu í vöðva¹⁴.

Arfgengi á skurðkrafti reiknaðist 0,25. Seigja jókst lítillega við vaxandi þykkt bakvöðva og minnkaði við aukna ómfitu og með hærri fituflokkun skrokka. Betri flokkun þ.e. mikill vöðvi, lítil fita tengist seigara kjöti. Niðurstöður erlendra rannsókna benda til þess að neikvætt sambengi sé milli skurðkrafts og innanvöðvafitu og niðurstöður hér benda í sömu átt þó

¹³ http://www.beeflambnz.co.nz/resources/PROCESSOR_MANUAL_6thEdition.pdf

¹⁴ <https://www.mla.com.au/marketing-beef-and-lamb/meat-standards-australia/msa-sheepmeat/>

samhengið virðist ekki sterkt í þessum gögnum. Hér þarf einnig að afla frekari gagna og meta arfgengi með ásættanlegu öryggi. Niðurstöðurnar benda til þess að meðferðaráhrif sem ekki voru tök á að mæla skipti máli fyrir skurðkraft þar sem mældir þættir skýrðu mjög lítið af breytileika mælinga (8. tafla).

Áhrif á ræktunarstarf

Árangur í kynbótum þarf að meta út frá óskum markaðarins og neytenda. Kröfurnar eru og hafa verið meiri vöðvi og minni fita í lambaskrokkum¹⁵. Hér hefur sauðfjárræktin á Íslandi skilað verulegum árangri og raunar hefur verið ákveðið að minnka áherslu á úrval gegn fitu þar sem markmiðum hefur þegar verið náð að miklu leyti. Rannsóknir og aðgerðir í öðrum löndum miða að því bæta bragðgæði og auka samkeppnishæfni og jafnframt því að draga úr og snúa við neikvæðum áhrifum sem ræktun fyrir meiri vöðva getur haft. Í þessu verkefni var ekki hægt að greina í sundur áhrif ræktunar og meðferðar fyrir og eftir slátrun. Niðurstöður benda til að skurðkraftur hafi aukist á síðustu áratugum. Við vitum líka að íslenska lambakjötið er frekar þurrt miðað við lambakjöt frá öðrum löndum. Fita í vöðva er mjög lítil í samanburði við erlendar niðurstöður og möguleikar eru til að auka hana með kynbótum og stefna að 2,5-3,0% fitu í vöðva til að auka bragðgæði.

Á vegum Meat Standards Australía er í undirbúningi verkefni um ræktun, meðferð, vinnslu, dreifingu og sölu á lambakjöti sem byggir á ítarlegum rannsóknum á viðbrögðum neytenda við mismunandi lambakjöti, bitum lambakjöts, matreiðsluaðferðum o.fl¹¹. Neytendur eru látnir meta safu, meyrni, hvernig þeim líkar bragðið af kjöti og loks eru þeir látnir dæma heildareinkunn. Gæðamat á kjötinu byggir 40% á heildareinkunn, 30% á einkunn fyrir bragð, 20% á meyrni og 10% á safu. Bragðgæði hafa hér hærra vægi en meyrni. Áhugavert væri að gera sambærilega afmarkaða tilraun hér á landi til kanna viðbrögð neytenda á Íslandi og jafnvel bera saman við kjöt frá Nýja Sjálandi.

Einnig er áhugavert að líta til Omega-3 Lamb verkefnisins í Nýja Sjálandi þar sem unnið er að framleiðslu lambakjöts sem sameinar bragðgæði og hollustu með æskilegu innihaldi innanvöðvafitu og háu hlutfalli omega-3 fitusýra¹⁶. Þar er markmiðið að auka innanvöðvafitu

¹⁵ <https://www.rml.is/is/kynbotastarf/saudfjarraekt/blup-kynbotamat>

¹⁶ <https://www.mpi.govt.nz/funding-and-programmes/sustainable-food-and-fibre-futures/primary-growth-partnership/current-pgp-programmes/omega-lamb/>

og innihald omega-3 fitusýra með úrvali ásamt skilgreindri meðferð og beit út frá sömu markmiðum. Hér eru mögulega tækifæri sem nýta má í íslenskri sauðfjárrækt.

Erfðamengjaúrval

Verkefnið er fyrsti áfanginn í að undirbúa möguleika á að nota erfðamengjaúrval í kynbótastarfi í sauðfjárrækt til að velja fyrir flóknum eiginleikum á borð við innanvöðvafitu, meyrni, hlutfalli omega 3 fitusýra o.fl. Mikill kostnaður og vinna fylgir því að breyta/bæta við þessum nýju aðferðum í kynbótastarfi. Slátra þarf mjög mörgum lömbum, taka kjötsýni og mæla með mismunandi aðferðum jafnframt því sem sýnum er safnað til DNA greininga og unnið úr þeim. Síðan tekur við töluverð vinna við að þróa spálíkön þar sem niðurstöður mælinga eru tengdar við erfðagreiningarnar. Þegar þeirri vinnu er hægt að velja kynbótagripi á grundvelli erfðagreininga eingöngu. Þegar er unnið að undirbúningi erfðamengjaúrvals í nautgripærækt hér á landi en þar er ávinnings fyrst og fremst að vænta í styttingu kynslóðabils. Í sauðfjárrækt er kynslóðabilið stutt en aðferðirnar gefa hins vegar möguleika á að beita úrvali fyrir eiginleikum sem krefjast dýrra og vinnufrekra mælinga og ekki er hægt að gera á lifandi gripum. Nýting erfðamengjaúrvals í sauðfjárrækt er þegar hafin í Nýja Sjálandi, Ástralíu og víðar þar sem unnið er með kjötgæðaeiginleika. Veruleg tækifæri fyrir íslenska sauðfjárrækt eru fólgin í þessum nýju aðferðum og til þess að nýta þau er þörf á myndarlegu átaki í rannsóknum. Verkefnið sem hér er sagt frá er einungis fyrsta skrefið.

Þakkarorð

Fagraði í sauðfjárrækt, stjórn LS, Þróunarsjóði sauðfjárræktar og Markaðsráði kindakjöts er þakkaður stuðningur við verkefnið. Stjórnendum og starfsfólki sláturhúsa er þakkað fyrir góð samskipti og aðstoð við framkvæmd mælinga. Sláturhúsum er einnig þakkað fyrir að leggja til kjötsýni og samstarfsbúum sömuleiðis fyrir að leggja til gögn. Öllum við Landbúnaðarháskóla Íslands, á Matís, Ráðgjafarmiðstöð landbúnaðarins og Háskóla Íslands sem komu að framkvæmd verkefnisins er sömuleiðis þakkað.

Heimildir

- Berge, P., C. Sanudo, A. Sanchez, M. Alfonso, C. Stamatari, G. Thorkelsson, E. Piasentier & A. Fisher 2003. 'Comparison of muscle composition and meat quality traits in diverse commercial lamb types', *Journal of Muscle Foods*, 14: 281-300.
- Bickerstaffe, R., A. E. D. Bekhit, L. J. Robertson, N. Roberts & G. H. Geesink 2001. 'Impact of introducing specifications on the tenderness of retail meat', *Meat Science*, 59: 303-15.
- Boman, Inger A., Gunnar Klemetsdal, Ola Nafstad, Thor Blichfeldt & Dag I. Våge 2010. 'Impact of two myostatin (MSTN) mutations on weight gain and lamb carcass classification in Norwegian White Sheep (*Ovis aries*)', *Genetics, selection, evolution: GSE*, 42: 4-4.
- Bonny, S. P. F., R. A. O'Reilly, D. W. Pethick, G. E. Gardner, J. F. Hocquette & L. Pannier 2018. 'Update of Meat Standards Australia and the cuts based grading scheme for beef and sheep meat', *Journal of Integrative Agriculture*, 17: 1641-54.
- Brito, Luiz Fernando, John C. McEwan, Stephen Miller, Wendy Bain, Michael Lee, Ken Dodds, Sheryl-Anne Newman, Natalie Pickering, Flávio S. Schenkel & Shannon Clarke 2017a. 'Genetic parameters for various growth, carcass and meat quality traits in a New Zealand sheep population', *Small Ruminant Research*, 154: 81-91.
- Brito, Luiz F., Shannon M. Clarke, John C. McEwan, Stephen P. Miller, Natalie K. Pickering, Wendy E. Bain, Ken G. Dodds, Mehdi Sargolzaei & Flávio S. Schenkel 2017b. 'Prediction of genomic breeding values for growth, carcass and meat quality traits in a multi-breed sheep population using a HD SNP chip', *BMC Genetics*, 18: 7.
- Carpenter, Charles E., Owen D. Rice, Noelle E. Cockett, & Gary D. Snowden 1996. 'Histology and composition of muscles from normal and callipyge lambs', *Journal of Animal Science*, 74: 388-93.
- Craigie C. R., M. P. Agnew, A. D. Stuart, P. R. Shorten, M. M. Reis, K. R. Taukiri & P. L. Johnson. 2017. "Intramuscular fat content of New Zealand lamb *M. longissimus lumborum*." In *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 2017*, 189-93. Rotorua.
- Destefanis, G., A. Brugiapaglia, M. T. Barge & E. Dal Molin 2008. 'Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force', *Meat Science*, 78: 153-56.
- Devine, C. E. & A. E. Graafhuis 1995. 'The basal toughness of unaged lamb', *Meat Science*, 39: 285-91.
- Dransfeld, Eric 1994. 'Modelling post-mortem tenderisation—V: Inactivation of calpains', *Meat Science*, 37: 391-409.
- Duckett, S. K., T. A. Klein, M. V. Dodson & G. D. Snowden 1998. 'Tenderness of normal and callipyge lamb aged fresh or after freezing', *Meat Science*, 49: 19-26.
- Duckett, S. K., G. D. Snowden & N. E. Cockett. 2000 'Effect of the callipyge gene on muscle growth, calpastatin activity, and tenderness of three muscles across the growth curve', *Journal of Animal Science*, 78: 2836-41.
- Elin Hilmarsdóttir & Guðjón Þorkelsson 1985. 'Athugun á kæliherpingu í lambakjöti', *Fjölrít Rala nr 111*. 25 bls.

- Emma Eyþórsdóttir, Jóhannes Sveinbjörnsson & Guðjón Þorkelsson 2007. 'Gæðamælingar á lambakjöt-erfða- og umhverfisáhrif', Málstofa til heiður Hjalta Gestssyni níræðum. Ed. Ólafur Dýrmundsson. *Rit LBHÍ* nr 14: 71-82.
- Fisher, A. V., M. Enser, R. I. Richardson, J. D. Wood, G. R. Nute, E. Kurt, L. A. Sinclair & R. G. Wilkinson 2000. 'Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed x production systems', *Meat Science*, 55: 141-47.
- Font i Furnols, M., M. Čandek-Potokar, C. Maltin & M. Povse 2015. *A handbook of reference methods for meat quality assessment*. ISBN 9780993106323
- Freking, B. A., J. W. Keele, M. K. Nielsen & K. A. Leymaster 1998. 'Evaluation of the ovine callipyge locus: II. Genotypic effects on growth, slaughter, and carcass traits', *Journal of Animal Science*, 76: 2549-59.
- Gao, Yu, Ran Zhang, Xiaoxiang Hu & Ning Li 2007. 'Application of genomic technologies to the improvement of meat quality of farm animals', *Meat Science*, 77: 36-45.
- Geesink, Geert H. & Mohammad Koohmaraie 1999. 'Postmortem proteolysis and calpain/calpastatin activity in callipyge and normal lamb biceps femoris during extended postmortem storage', *Journal of Animal Science*, 77: 1490-1501.
- Guðjón Þorkelsson, Stefán Scheving Thorsteinsson & Þyri Valdimarsdóttir 2000. 'Evrópuverkefni um lambakjöt.I- Framleiðslukerfi, neytendur, sýnataka, mælingar', *Ráðunautafundur 2000*: 221-30.
- Guðjón Þorkelsson, Þyri Valdimarsdóttir & Magnús Guðmundsson 2000. 'Evrópuverkefni um lambakjöt IV. Eðlis- og efnafræðilegir þættir', *Ráðunautafundur 2000*: 247-54.
- Guðjón Þorkelsson, Jónína Ragnarsdóttir, Ásbjörn Jónsson, Ása Þorkelsdóttir, Óli Þór Hilmarsson, Eyjólfur K. Örnólfsson & Emma Eyþórsdóttir 2004. 'Vöðvaþræðir og eiginleikar íslensks kindakjöts', *Project Report to Icelandic Research Council*: 42 bls.
- Guðjón, Þorkelsson, Óli Þór Hilmarsson, Ásbjörn Jónsson & Valur N. Gunnlaugsson 2009. 'Úttekt á aflifun lamba og kælingu lambaskrokka', *Fræðaping landbúnaðarins* 6: 338-45.
- Guðjón, Þorkelsson, Stefán Aðalsteinsson, Jón Óttar Ragnarsson & Hannes Hafsteinsson 1979. 'Áhrif haustbeitar á gæði dilkafalla', *Ráðunautafundur 1979*: 158-66.
- Honikel, Karl O. 1998. 'Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat', *Meat Science* 49: 447-57.
- Hopkins, D. L., N. M. Fogarty & S. I. Mortimer 2011. 'Genetic related effects on sheep meat quality', *Small Ruminant Research*, 101:160-172.
- Hopkins, D. L., R. S. Hegarty, P. J. Walker & D. W. Pethick 2006. 'Relationship between animal age, intramuscular fat, cooking loss, pH, shear force and eating quality of aged meat from sheep', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46: 879-84.
- Hopkins, D. L., D. F. Stanley, L. C. Martin, E. S. Toohey & A. R. Gilmour 2007a. 'Genotype and age effects on sheep meat production 3. Meat quality', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47: 1155-64.

Hopkins, D. L., D. F. Stanley, E. S. Toohey, G. E. Gardner, D. W. Pethick & R. van de Ven 2007b. 'Sire and growth path effects on sheep meat production 2. Meat and eating quality', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47: 1219-28.

Hopkins, D. L., E. S. Toohey, R. D. Warner, M. J. Kerr & R. van de Ven 2010. 'Measuring the shear force of lamb meat cooked from frozen samples: comparison of two laboratories', *Animal Production Science*, 50: 382-85.

Jón Hjalti Eiríksson & Ágúst Sigurðsson 2017. 'Sources of bias, genetic trend and changes in genetic correlation in carcass and ultrasound traits in the Icelandic sheep population', *Icelandic Agricultural Sciences*, 30: 3-12.

Karamichou, E., R. I. Richardson, G. R. Nute, K. P. Gibson & S. C. Bishop 2006. 'Genetic analyses and quantitative trait loci detection, using a partial genome scan, for intramuscular fatty acid composition in Scottish Blackface sheep', *Journal of Animal Science*, 84: 3228-38.

Kijas, James W., Russell McCulloch, Janelle E. Hocking Edwards, V. Hutton Oddy, Sang Hong Lee & Julius van der Werf 2007. 'Evidence for multiple alleles effecting muscling and fatness at the Ovine GDF8 locus', *BMC Genetics*, 8: 80.

Knapik, J., K. Ropka-Molik & M. Pieszka 2017. Genetic and nutritional factors determining the production quality of sheep meat – A review', *Annals of Animal Science*, 17: 23-40.

Koohmaraie, M., & G. H. Geesink 2006 'Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system', *Meat Science*, 74: 34-43.

Koohmaraie, M., S. D. Shackelford, T. L. Wheeler, S. M. Lonergan, & M. E. Doumit 1995 'A muscle hypertrophy condition in lamb (callipyge): Characterization of effects on muscle growth and meat quality traits', *Journal of Animal Science*, 73: 3596-607.

Koohmaraie, Mohammad 1994 'Muscle proteinases and meat aging', *Meat Science*, 36: 93-104.

Lambe, N. R., J. M. Macfarlane, R. I. Richardson, O. Matika, W. Haresign, & L. Bünger 2010. 'The effect of the Texel muscling QTL (TM-QTL) on meat quality traits in crossbred lambs', *Meat Science*, 85: 684-90.

Lambe, N. R., K. A. McLean, A. Gordon, D. Evans, N. Clelland, & L. Bunger 2017 'Prediction of intramuscular fat content using CT scanning of packaged lamb cuts and relationships with meat eating quality', *Meat Science*, 123: 112-19.

Lorentzen, T. K., & O. Vangen 2012. 'Genetic and phenotypic analysis of meat quality traits in lamb and correlations to carcass composition', *Livestock Science*, 143: 201-09.

Lorenzen, C. L., M. Koohmaraie, S. D. Shackelford, F. Jahoor, H. C. Freetly, T. L. Wheeler, J. W. Savell, & M. L. Fiorotto 2000 'Protein kinetics in callipyge lambs', *Journal of Animal Science*, 78: 78-87.

Mortimer, S. I., S. Hatcher, N. M. Fogarty, J. H. J. van der Werf, D. J. Brown, A. A. Swan, R. H. Jacob, G. H. Geesink, D. L. Hopkins, J. E. H. Edwards, E. N. Ponnampalam, R. D. Warner, K. L. Pearce, & D. W. Pethick 2017 'Genetic correlations between wool traits and meat quality traits in Merino sheep', *Journal of Animal Science*, 95: 4260-73.

- Mortimer, S. I., J. H. J. van der Werf, R. H. Jacob, D. L. Hopkins, L. Pannier, K. L. Pearce, G. E. Gardner, R. D. Warner, G. H. Geesink, J. E. H. Edwards, E. N. Ponnampalam, A. J. Ball, A. R. Gilmour, & D. W. Pethick 2014 'Genetic parameters for meat quality traits of Australian lamb meat', *Meat Science*, 96: 1016-24.
- Nishimura, T., A. Hattori, & K. Takahashi 1999 'Structural changes in intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese black cattle: effect of marbling on beef tenderization', *Journal of Animal Science*, 77: 93-104.
- Ouali, A. 1984 'Sensitivity to ionic strength of Mg Ca-enhanced ATPase activity as an index of myofibrillar ageing in beef', *Meat Science*, 11: 79-88.
- Pannier, L., G. E. Gardner, R. A. O'Reilly, & D. W. Pethick 2018 'Factors affecting lamb eating quality and the potential for their integration into an MSA sheepmeat grading model', *Meat Science*, 144: 43-52.
- Ponnampalam, Eric N., David L. Hopkins, Heather Bruce, Duo Li, Gianluca Baldi, & Alaa El-din Bekhit 2017 'Causes and Contributing Factors to "Dark Cutting" Meat: Current Trends and Future Directions: A Review', *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16: 400-30.
- Purchas, R. W., & R. Aungsupakorn 1993 'Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers', *Meat Science*, 34: 163-78.
- Rowe, L. J., K. R. Maddock, S. M. Lonergan, & E. Huff-Lonergan 2004 'Oxidative environments decrease tenderization of beef steaks through inactivation of μ -calpain', *Journal of Animal Science*, 82: 3254-66.
- Sanudo, C., M. Alfonso, R. San Julian, G. Thorkelsson, T. Valdimarsdottir, D. Zygoiannis, C. Stamataris, E. Piasentier, C. Mills, P. Berge, E. Dransfield, G. R. Nute, A. Enser, & A. V. Fisher 2007 'Regional variation in the hedonic evaluation of lamb meat from diverse production systems by consumers in six European countries', *Meat Science*, 75: 610-21.
- Sanudo, C., M. Alfonso, A. Sanchez, P. Berge, E. Dransfield, D. Zygoiannis, C. Stamataris, G. Thorkelsson, T. Valdimarsdottir, E. Piasentier, C. Mills, G. R. Nute, & A. V. Fisher 2003 'Meat texture of lambs from different European production systems', *Australian Journal of Agricultural Research*, 54: 551-60.
- Savell J.W. & Cross H.R 1988 'The Role of Fat in the Palatability of Beef, Pork, and Lamb' *Designing Foods: Animal Product Options in the Marketplace*. National Research Council (US) Committee on Technological Options to Improve the Nutritional Attributes of Animal Products. Washington (DC). National Academies Press(US).
- Simmons, N., Kaye J., & T. Cummings 2006 'Development and use of the G2 Tenderometer. Final report', *Meat and Livestock Australia*. 16 bls.
- Thompson, J. M., D. L. Hopkins, D. N. D'Souza, P. J. Walker, S. R. Baud, & D. W. Pethick 2005 'The impact of processing on sensory and objective measurements of sheep meat eating quality', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45: 561-73.
- Valous, N. A., L. Zheng, D. W. Sun, & J. Tan 2016 'Chapter 7 - Quality Evaluation of Meat Cuts.' In: Da-Wen Sun (ed.), *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation (Second Edition)* Academic Press: San Diego.

Warner, R. D., D. M. Ferguson, J. J. Cottrell, & B. W. Knee 2007 'Acute stress induced by the preslaughter use of electric prodders causes tougher beef meat', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47: 782-88.

Warner, R. D., D. M. Ferguson, M. B. McDonagh, H. A. Channon, J. J. Cottrell, & F. R. Dunshea 2005 'Acute exercise stress and electrical stimulation influence the consumer perception of sheep meat eating quality and objective quality traits', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45: 553-60.

Warner, R. D., P. L. Greenwood, D. W. Pethick, & D. M. Ferguson 2010 'Genetic and environmental effects on meat quality', *Meat Science*, 86: 171-83.

Warner, R. D., D. W. Pethick, P. L. Greenwood, E. N. Ponnampalam, R. G. Banks, & D. L. Hopkins 2007 'Unravelling the complex interactions between genetics, animal age and nutrition as they impact on tissue deposition, muscle characteristics and quality of Australian sheep meat', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47: 1229-38.

White, J. D., P. G. Allingham, C. M. Gorman, D. L. Emery, P. Hynd, J. Owens, A. Bell, J. Siddell, G. Harper, B. J. Hayes, H. D. Daetwyler, J. Usmar, M. E. Goddard, J. M. Henshall, S. Dominik, H. Brewer, J. H. J. van der Werf, F. W. Nicholas, R. Warner, C. Hofmyer, T. Longhurst, T. Fisher, P. Swan, R. Forage, & V. H. Oddy 2012 'Design and phenotyping procedures for recording wool, skin, parasite resistance, growth, carcass yield and quality traits of the SheepGENOMICS mapping flock', *Animal Production Science*, 52: 157-71.

Þyrí Valdimarsdóttir, Sofía Jóhannsdóttir, Óli Þór Hilmarsson, og Guðjón Þorkelsson 2000 'Evrópuverkefni um lambakjöt III - Skynmat og viðhorf neytenda', *Ráðunautafundur 2000*: 237-46.

Viðauki 1. Skurðkraftur (kg) í íslensku lambakjöti 1983-2008

Ár	Meðferð	Slátrun. Mánuður	Fjöldi	Dagar meyrni	Meðaltal Kg/sm ²	St.dev	lægsta gildi	Hæsta gildi	Heimild
Kæliherping 1983-1984	2-24 tímar í kjötsal við 5°C eða 10°C síðan fryst	10	52	0-1	2,2-5,1				Elín Hilmarsdóttir & Guðjón Þorkelsson 1985
OVAX 1996-1997	Sumarlömb, hrútar og gimbrar	7	20	6	2,11	0,54	1,15	3,54	Berge o.fl. 2003
	Haustlömb, hrútar	9	20	6	1,71	0,43	1,14	3,93	
	Haustlömb, gimbrar	9	20	6	1,75	0,47	1,14	4,25	
	Vetrarlömb, hrútar	12		6	2,81	1,05	1,44	7,34	
Sumarbeit 2002	Af fjalli og á heimabeit	9	18	6	2,81	0,78	1,84	4,64	Emma Eyþórsdóttir, Jóhannes Sveinbjörnsson & Guðjón Þorkelsson 2007
Haustbeit 2002	Beint af fjalli	10	6	6	3,32	0,55	2,62	4,2	
	Haustbeit	11-12	30	6	2,25	0,38	1,71	3,37	
Sumarbeit 2003	Beint af fjalli	9	6	6	2,78	1,21	2,01	5,23	
	Heimaafréttur	9	6	6	2,42	0,53	2,07	3,46	
	Kálbeit 4 vikur	10	6	6	2,37	0,84	1,57	3,6	
	Kálbeit 6 vikur	11	6	6	2,99	1,74	1,94	6,44	
	Kálbeit 8 vikur	12	6	6	4,17	2,43	2,21	8,64	
Haustbeit 2003	Beint af fjalli	10	6	6	3,07	1,22	1,81	5,09	
	Haustbeit	11-12	30	6	3,29	1,04	1,82	6,33	
Sumarbeit 2004	Úthagi snemma í maí	8	6	6	2,91	1,11	1,51	4,65	
	Úthagi seint í maí	9	6	6	3,38	1,45	2,17	6,25	
	Ræktað land snemma í maí	10	6	6	2,27	1,45	1,93	5,2	
	Ræktað land seint í maí	11	6	6	3,59	1,29	2,41	5,56	
Vöðvaþræðir 2004	5 mánaða lömb	9	4	6	2,27				Guðjón Þorkelsson, Jónína Ragnarsdóttir, Ásbjörn Jónsson, Ása Þorkelsdóttir, Óli Þór Hilmarsson, Eyjólfur K. Örnólfsson & Emma Eyþórsdóttir
	7,5 mánaða lömb	12	2	6	2,64				
	10,5 mánaða lömb	3	2	6	3,57				
	60 mánaða ær	10	2	6	2,79				
	Fituflokkur 1	10	4	6	3,00				
	Fituflokkur 2	11	4	6	2,51				
	Fituflokkur 3	12	4	6	2,54				
	Fituflokkur 3+	1	4	6	2,15				
	Fituflokkur 4	2	4	6	2,59				
	Mikið kynbætt fyrir vöðva	9-10	12	6	3,45				
	Lítið kynbætt fyrir vöðva	9-10	12	6	2,44				
Úttekt 2008, 15 kg	Sláturhús 1		10	1	5,2				Guðjón, Þorkelsson, Óli Þór Hilmarsson, Ásbjörn Jónsson & Valur N. Gunnlaugsson. 2009
	Sláturhús 2		10	1	5,2				
	Sláturhús 3		10	1	5,1				
	Sláturhús 4		10	1	3,15				
	Sláturhús 5		10	1	6,2				
	Sláturhús 6		10	1	6,2				
	Sláturhús 4		10	4	2,6				
	Sláturhús 6		10	4	2,3				