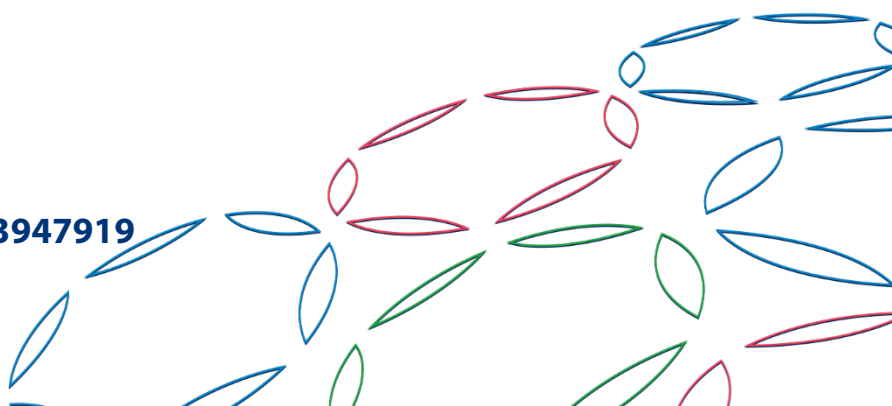




Litur á ofurkældum tálknum

Gunnar Þórðarson
Margrét Geirsdóttir
Sigurjón Arason

Skýrsla Matís 14-20
Júlí 2020
ISSN 1670-7192
DOI 10.5281/zenodo.3947919



Report summary

<i>Titill / Title</i>	Litur á ofurkældum tálknum		
<i>Höfundar / Authors</i>	Gunnar Þórðarson, Margrét Geirsdóttir og Sigurjón Arason		
<i>Skýrsla / Report no.</i>	14-20	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	15. júlí 2020
<i>Verknr. / Project no.</i>	62546		
<i>Styrktaraðilar /Funding:</i>	AVS Rannsóknasjóður í sjávarútvegi (R 19 16-19)		
<i>Ágríp á íslensku:</i>	<p>Litur á tálknum hefur um langan tíma verið notaður til að meta ferskleika á fiski, en þekkt er að við geymslu breytist litur og þau dökkna. Þegar ofurklæling á laxi var tekin upp sem bætti gæði framleiðslu, fylgdi böggull skammrifi aðferðinni þar sem tálknin dökknuðu við kælinguna; en litabreytingin getur valdið erfileikum á markaði og gefið ranglega til kynna að ferskleiki sé ekki nægilega góður.</p> <p>Það var því mikilvægt að fá svör við því hvers vegna þessi litabreyting á sér stað við ofurkælingu, sem er skilgreind sem kæling undir 0 °C og minna eða jafnt og en 20% af vatnsinnihaldi vöðvans sé frosið. Rannsóknarspurningin var því hvort það væri saltið eða kuldinn í kælimiðli sem orsökuðu litabreytingu.</p> <p>Niðurstaða verkefnisins er ótvírætt að kælingin er orsakavaldur og litur tálkna breytist við að frjósa við kælingu sem er miðuð við að kælimiðill sé -2,5 °C og kælitími um 80 mínútur.</p>		
<i>Lykilorð á íslensku:</i>	<i>Dauðastirðnun; litur, samdráttur; slátrun; ofurkæling; hefðbundin kæling.</i>		
<i>Summary in English:</i>	<p>The colour of the gills has long been used to evaluate the freshness of fish, but it is known that during storage, the colour changes and they darken. When super chilling of salmon was introduced which improved the quality of production, a problem followed by the gills darkening during chilling; but the colour change can cause difficulties in the market and incorrectly indicate that freshness is not satisfactory.</p> <p>It was therefore important to obtain answers as to why this discoloration occurs during supercooling, which is defined as cooling below 0 °C and less or equal to 20% of the water content of the muscle being frozen. The research question was whether it was the salt or the cold in the refrigerant that caused the colour change.</p> <p>The result of the project is unequivocally that the cooling is the cause and the colour of the gills changes when it freezes during cooling, which is based on a refrigerant of -2.5 °C and a cooling time of about 80 minutes.</p>		
<i>English keywords:</i>	<i>Rigor Mortis; colour, contraction; slaughtering; super chilling; traditional chilling.</i>		

EFNISYFIRLIT

1	Inngangur	1
2	Umfang rannsóknar	2
3	Rannsókn	6
3.1	Tilraunaskipulag	6
4	Niðurstöður og umræður.....	7
5	Ályktun	10
6	Þakkarorð.....	10
7	Viðaukar	12
7.1	Mynd af tálknum á laxi kældur á ís (sex tímum eftir kælingu)	12
7.2	Myndir af tálknum á ofurkældum laxi (ofurkældur sex tímum eftir kælingu á ís) ...	13



1 INNGANGUR

Mikill ávinningur er með notkun ofurkælingar við laxavinnslu til að bæta afurðargæði, lengja líftíma og draga úr kolefnisspori með lítilli eða engri notkun á í við flutning á slægðum laxi til áframvinnslu. Sá böggull fylgir skammrifi að við ofurkælinguna taka tálknin á sig brúnan lit, sem er bagalegt þar sem kaupendur nota tálknin til að meta ferskleika fisksins, en hann tekur á sig svipaðan lit eftir langa geymslu í kæli. Í verkefninu er leitast við að finna ástæður þess að tálknin taka á sig lit við ofurkælingu, en ekki er um gæðavandamál að ræða heldur eingöngu vandamál við sjónmat á heilum fiski.

Ávinningur er í því að geta útskýrt fyrir kaupendum hvers vegna tálknin taka þennan lit við ofurkælingu sem myndi létta róðurinn við markaðsetningu á þessari afurð. Með vitneskju um hvað veldur litabreytingum er spurning hvort frekari rannsóknir gætu leitt til lausnar á vandamálinu og koma í veg fyrir litabreytinguna. Niðurstaðan gefur tilefni til að útbúa kynningarefni fyrir markaðinn til að útiloka misskilning vegna litabreytinga sem koma gæðum ekkert við.

Það er ótvíræð niðurstaða verkefnisins að orsökina fyrir litabreytingum sé kuldi í kælimiðli, sem er um $-2,5$ °C og tími kælingar um 80 mínútur. Lítil sem engin litabreyting varð á tálknunum með hefðbundnum kæliaðferðum, né þegar saltpækill var notaður við 0 °C.

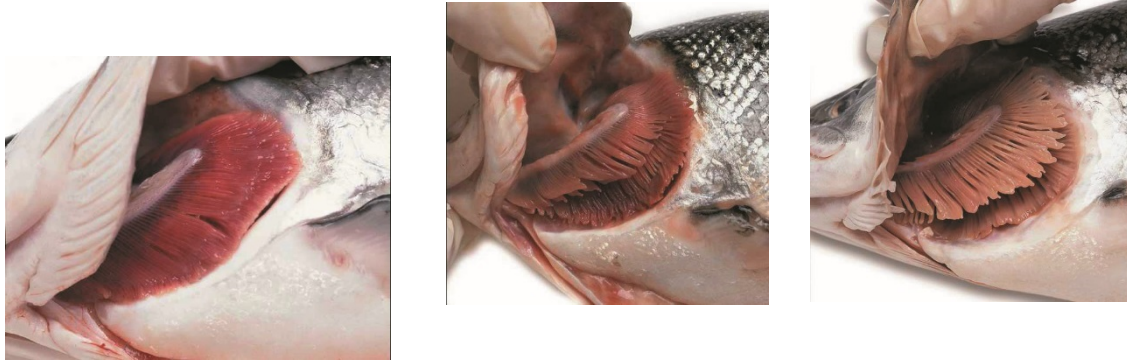
2 UMFANG RANNSÓKNAR

Ofurkæling hefur rutt sér til rúms í íslensku og norsku laxeldi, enda hafa rannsóknir sýnt mun lengri líftíma vöru um umtalsvert meiri gæði miðað við hefðbundna kælingu. (Gunnar, Albert, & Hólmfríður, 2014) (Pedersen, Thordarson, & Hognason, 2015) (Thordarson, Arason, & Karlsdóttir, 2017). Ofurkæling er miðuð við kælingu eftir slátrun á laxi þannig að um 20% af vatni vöðvans sé fryst, sem er um -1 °C. Laxinum er þá pakkað við það hitastig og ekki þarf að nota ís til kælingar við flutning, sem getur munað miklu í kostnaði, sérstaklega ef flutt er með flugi. Með aukinni kælingu, sem tekur rétt rúmlega klukkutíma með ofurkælingu en um 10 – 12 tíma með ís (hefðbundin kæling) er dregið úr áhrifum dauðastirðunar, hún verður minni og ferill hefst seinna. Þetta verður til þess að minna los er í vöðva vegna þess að minna tog verður við samdrátt milli vöðva og beina. Með seinkun ferilsins eru auknar líkur á að hægt verði í framtíðinni að vinna lax „pri-rigor“ þar sem aukið svigrúm myndast fyrir samdrátt, um 10 – 12 tímar, í staðin fyrir 4-5 tíma með hefðbundinni kælingu (Thordarson, Arason, & Karlsdóttir, 2017) (Anton, Hörður, & Sæmundur, 2016).

Til að ná kælimiðli (saltþækili) niður í -4 °C sem þarf til kælingar þarf að blanda hann með salti um 4%. Við ofurkælinguna taka tálknin á sig brúnan lit sem getur valdið vandræðum þar sem litur á tálknum er oft notaður sem gæðaviðmið hjá kaupendum.

Gæðavandamál hafa komið upp við vinnslu á eldislaxi hér á landi, þar sem tálkn eru brún og dökk þrátt fyrir að fiskurinn sé nýslátraður. Ef kaupandi sér brún tálkn, þá er hættan á því að gæði fisks séu vanmetin og fram hafa komið kvartanir vegna þessa til seljenda. Ekki er vitað til þess að þetta útlit tálkna hafi bein áhrif á afurðagæði/laxaflök, en hefð er fyrir því að nota þau sem gæðaviðmið um ferskleika fisksins, og því hefur litabreytingin neikvæð áhrif á upplifun kaupenda af slægðum laxi. Með vitneskju um ástæður litabreytinga á tálknum væri einfaldara að útskýra það fyrir kaupendum og sannfæra markaðinn um að fiskurinn væri ferskur, þrátt fyrir lit á tálknum. Einnig væru þá forsendur fyrir að koma í veg fyrir vandamálið, en frekari rannsóknir eru nauðsynlegar til þess.

Í þessu verkefni var leitast við að greina ítarlega hvað veldur litabreytingum á tálknum við ofurkælingu, en þetta vandamál hefur fylgt ofurkælingu á laxi. Helstu vísbendingar eru að vandamálið tengist kæliferlum í landvinnslu og þá ofurkælingu við lágt hitastig þar sem hætta er á að frysta tálknin. Þó flest tilfelli megi rekja til kæliferlanna þá hafa framleiðendur einnig séð þennan dökka lit á tálknum framar í ferlinu og grunar þá að það gæti tengst þéttleika fiska í kvíum eða blæðingarferlinu. Erfitt er að meta beint aukið verðmæti þess að koma í veg fyrir þetta vandamál því hingað til hefur ekki orðið verulegt fjárhagslegt tjón af þessu sem vitað er til. Hins vegar hafa þegar komið kvartanir frá kaupendum vegna lits á tálknum og því viðbúið að framleiðendur geti lent í verðryrnun eða kvörtunum, eða að aðrir seljendur nái forskoti á bestu markaðina. Ljóst má því vera að það er mjög mikilvægt fyrir iðnaðinn að þekkja og geta haft stjórn á þessum „gæðapætti“ til að tryggja besta aðkomu fyrir Íslenskar vörur á mörkuðum.



Mynd 1 – tálkn laxs eftir 1 dag, 10 daga og 20 daga kæligeymslu. (Martinsdottir, K., J., & Hylidig, 2001)

Á undanförunum árum hefur ofurkæling (e. Super chilling) sannað sig í laxeldi þegar er kælt niður að frostmarki holdsins (-1,5 °C) og reynst hafa góð áhrif á gæði eldislax (Þórðarson o.fl. 2017). Ofurkæling bætir flakagæði og eykur geymsluþol en sá böggull fylgir skammrifi að dæmi eru til um að tálknin hafi fengið föl-brúnan lit. Hefð er fyrir að meta gæði laxins út frá lit á tálknum eins og áður segir, þar sem rauð tálkn benda til góðra gæða meðan brún tálkn benda til þess að fiskurinn sé eldri og gæði minni. Þessi neikvæðu áhrif á lit hafa því dregið úr jákvæðum áhrifum ofurkælingar.



Mynd 2 Litur á tálknum á ný slægður laxi (til vinstri) fyrir ofurkælingu, sami lax eftir ofurkælingu til hægri

Litur á hemóglóbíni er tengt áhrifum í umhverfi svo sem sýrustigi og magni á upp leystum jónum (Ingrid, Hordur, & Herbert, 2004). Þar sem sölt eru notuð í kælimiðil við ofurkælingu, er ekki ólíklegt að þar sé skýringar að leita. Einnig gætu þættir eins og röðun í kör, meðhöndlun fyrir slátrun haft áhrif. Hins vegar er mikilvægt að þær aðferðir sem þróaðar verða til að bregðast við vandamálinu, hafi ekki neikvæð áhrif á kælingu eða aðra eiginleika afurðanna. Við vitum ekki til þess að rannsóknir hafi farið fram á því hvernig draga megi úr neikvæðum áhrifum ofurkælingar á tálkn laxfiska.

Í laxeldi hér á landi hefur verið tekin upp ofurkæling í sláturhúsum. Einn kostur við ofurkælingu er að í stað þess að nota 5 kg af ís í hvern 30 ltr frauð-plastkassa er aðeins um einu kíló af ís dreift yfir laxinn, sem sparar bæði flutningskostnað og sótspor við framleiðsluna. Ávinningur aðferðarinnar er því ótvíræður en litur tálkna gefur til kynna gæðavandamál sem ekki eru raunverulega fyrir hendi. Í dag er ofurkæling notuð um borð í mörgum nýjum ferskfisktogurum Íslendinga og hefur borið á misjöfnum lit á tálknum þorsks (**Error! Reference source not found.**) og karfa. Vandamál hafa hins vegar ekki komið upp þar sem kaupandi þorsksins sér yfirleitt ekki tálknin heldur fær afurð sem eru fersk flök/hnakkar og metur því aðra gæðapætti þeirra afurða. Laxinn er hins vegar fluttur út slægður með haus, og hefð fyrir að nota tálknin sem gæðaviðmið, eins og áður segir.

Á undanförunum árum hefur ofurkæling verið að ryðja sér til rúms við kælingu á fiskafurðum. Með ofurkælingu þá er laxinn kældur niður í um $-1,5^{\circ}\text{C}$ og hefur þessi aðferð sýnt fram á aukin líftíma og gæði vörunnar (Þórðarson o.fl., 2017). Fiskurinn er kældur niður undir það hitastig sem fyrstu ískristallar eru að myndast (initial freezing point). Þá er ákveðið hlutfall vatns í fisknum frosið (5-30%) án þess að neikvæð áhrif frystingar verði vart (s.s. drip) (Kaale, Eikevik, Rustad, & Kolsaker, 2011). Til þess að ná lægra hitastigi en initial freezing point þarf að fara lægra en $-0,91^{\circ}\text{C}$ fyrir þorsk og lægra en $-1,3^{\circ}\text{C}$ fyrir lax. Þá er notaður saltpækill sem kælimiðill en kældur sjór verður lægst um $-1,7^{\circ}\text{C}$. Sum kerfin um borð nota kældan sjó við $-1,2^{\circ}\text{C}$ og láta þorskinn þá liggja lengur í kælingu, kosturinn við það er að þá er ekki hætt á að frysta stýrtlu og þunnildi þótt kæliferlið sé of lengi. Önnur kerfi blanda salti og nota pækil við -3 til -4°C , þá er hraðari kæling en meiri áhætta að frysta yfirborð þorskins. Fyrir lax er yfirleitt notaður saltpækill til að ná kælimiðlinum vel niður fyrir -2°C . Þau tvö sláturhús sem slátra fyrir allt sjókvíaelði á Íslandi, Arnarlax á Bíldudal og Búlandstindur á Djúpavogi nota ofurkælingarþúnað frá fyrirtækinu Skaginn 3X við kælingu á afurð. Fyrirtækin slátra fyrir Arctic Fish (Arnarlax) og Fiskeldi Austurlands og Laxa (Búlandstindur). Með ofurkælingu er kæliorkan flutt inn í fiskholdið í stað þess að nota ís til kælingar og viðflutning. Sýnt hefur verið fram á að með ofurkælingu hefur lax verið fluttur án íss á fjarlægga markaði með flugi og með bílum með góðum árangri. Slíkt sparar flutningskostnað og sótspor afurða (Þórðarson o.fl., 2017). Neikvæður fylgifyrkur ofurkælingar er að litur á tálknum hefur í sumum tilfellum verið brúnn og/eða dökkur. Gæðastuðull fyrir lax (Martinsdóttir, K., J., & Hylidig, 2001) byggir á lit á tálknum (mynd 1). Brúnn litur á tálknum er því metinn sem neikvæður gæðastuðull. Einnig hefur orðið vart við þetta vandamál við aðrar kæliaðferðir.

Blóð í laxi er um 1,5-7% af vigt fisksins og fer það hlutfall eftir tegundum og hvort hann er villtur eða alinn. Meirihluti blóðsins er í innri líffærum fisksins, og aðeins um 20% í vöðvavefjum, en staðsetning blóðs er einnig háð stressi fisksins. Blóð er fyrirtaks næring fyrir skemmdarörverur og getur flýtt efnahvörfum, ásamt því að hafa neikvæð sjónræn áhrif á afurðir. Í laxavinnslum Arnarlax og Búlandstinds eru notaðir blæðingartankar frá Skaganum 3X. Laxinum er dælt úr brunnbáti inn í vinnsluna þar sem hann fer í rotara sem drepur laxinn áður en hann fer í sjálfvirka blæðingarvél þar sem skorið er á slagæð fisksins. Laxinn fer síðan

í blæðingartank (Rotex™) þar sem hlutfall af vatni og fiski er jafnt eða u.þ.b. 1:1. Tankurinn er keyrður á -1 °C og hefst því kæling á fiski þegar á þessum stað í vinnslunni. Laxinn er í um 15 – 30 mínútur í tankinum, sem er útbúin með skrúfu sem tryggir að allur fiskur fái sömu meðhöndlun (FIFO kerfi). Ekki er hægt að sýna fram á mun á gæði blæðingar eftir því hvort fiskur er blæddur lifandi með skurði í tálkn eða blæddur og slægður um leið. Tíminn frá dauða til blæðingar hefur mest áhrif á gæði blóðtæmingar. Skurður á slagæðum og bláæðum tryggja góða blæðingu. Eftir slægingu fer fiskurinn í kælitank (Rotex™) sem er keyrður á -2,5 °C í 60-70 mínútur þar sem fiskurinn er kældur niður í -1°C í kjarnahita.

Reynsla í verkefnum sem Matís hefur tekið þátt í, hefur leitt í ljós að litavandamál er einnig að finna í þorski og kemur fyrir stundum og stundum ekki. Ekki er því vitað nákvæmlega hvað veldur þessu en þó eru ýmsar vísbendingar út frá tíðni tilfella sem gefa til kynna að ofurkælingin sé sterkur áhrifavaldur. Brún tálkn hafa ekki sömu áhrif á sölu á þorski vegna þess að Íslendingar eru yfirleitt ekki að afhenta þorskinn heilann heldur unnar afurðir, ólíkt slægðum eldislaxi sem er afhentur heill með haus og tálknum. Mikilvægt er því að kanna hvað veldur þessum litabreytingum hjá laxi og hvernig hægt er að koma í veg fyrir það.

3 RANNSÓKN

3.1 Tilraunaskipulag

Ofurkæling er notuð í báðum sláturhúsum á laxi á Íslandi, Arnarlaxi á Bíldudal og Búlandstindi á Djúpavogi. Við ofur-kælinguna verða tálknin ljósari, jafnvel brúnleit.

Rannsóknarspurningar:

1. Hvað veldur litabreytingum á tálknum við kælingu?
2. Er það hitastigið (-2,5 °C) eða er það saltpækillinn?

Tilgáta rannsóknar er að lágt hitastig (-2,5 °C) frysti tálknin og valdi litabreytingu.

Tilraunir verða gerðar í júlí 2020 hjá Arnarlaxi á Bíldudal.

Eftir hverja tilraun er litur á tálknum metin og teknar myndir:

Litur á tálknum var metin eftir blæðingu og síðan eftir kælingu (og slægingu). Miðað við fyrri athuganir voru tálkn rauð eftir blæðingatank en orðin brún eftir ofurkælingu.

Eftirtaldir hópar voru skoðaðir og bornir saman.

- I. Hefðbundin kæling, -2,5° C pækill 4%.
- II. Kæling við 0°C pækill 4%
- III. Kæling við 0° C pækill 0%
- IV. Kæling á ís

4 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐUR

Rannsóknin var gerð hjá Arnarlaxi á Bíldudal fimmtudaginn 9. júlí 2020. Við aðferð I var fiskur tekin úr vinnsluferli sláturhússins, eftir kælingu í ofurkælingartanki. Ef ofurkæling virkar rétt er kjarnahiti í laxi komin niður fyrir 0 °C en yfirborðshiti heldur hærri.

Þegar rannsakendur komu í sláturhúsið um kl. 08:00 að morgni hafði kælikerfi fyrir þækil í kæliskrúfu slegið út og hitastig um 0 °C í kælimiðli. Því var beðið með að taka sýni úr hefðbundinni framleiðslu (I) en 200 ltr settir í 660 ltr ker í móttöku. Til að skoða áhrif saltpækils á lit tálkna var útbúin þækil (4%) og settur ís út í til að setja hann við 0 °C. Einnig voru 200 ltr settir í annað 660 ltr ker þar sem ís var settur í til að ná 0 °C. Fjórir laxar voru teknir eftir slátrun, slægði og komið fyrir í hvoru ker, og aðrir fjórir laxar ísaðir í hefðbundin 30 ltr frauðplast kassa til að skoða áhrif kælingar á ís. Öll þessi sýni voru látin vera í 80 mínútur áður en tálknin voru mynduð. Um það leiti var hitastig í ofurkælingartanki komin í rétt hitastig, -2,5 °C og fjórir laxar teknir eftir kælingu til myndatöku.

Nýlega var þriðju slæginarvélinni bætt við framleiðslulínu sláturhússins og því er kælingin orðin flöskuháls í framleiðslunni. Of mikið magn var í kælitanknum og of skammur tími til kælingar. Laxinn var aðeins um 20 mínútur í kælingu, en þarf um 80 mínútur til að ná kjarnahita sem er um -1 °C (Thordarson, Arason, & Karlsdóttir, 2017). Laxinn var um 12 °C við innmötun en blæðingartankur (15 mín) var í -2 °C. Kjarnahiti í laxi eftir ofurkælingu var um +3 °C og mikið magn í tanknum sem kemur í veg fyrir nægilega hreyfingu á honum til að tryggja flutning á hitaorku úr fiski í kælimiðil. Sérstaklega var áberandi að tálknlokur á fiski héldust lokuð allt kæliferlið og því ljóst að áhrif hans á hitastig tálkna hefur ekki orðið það sem búast hefði mátt við.

Við skoðun virtust tálkn í laxi úr öllum hópum vera vera rauð og laus við brúnan lit, ofurkældur þar meðtalin (Myndir 1-4). Því var ákveðið að taka fisk sem kældur var með ís með til Ísafjarðar þar sem útbúin var ofurkælingar þækil í 660 ltr ker í húsnæði 3X Technology. Sex tímum eftir að kæling með ís lauk voru myndir af tálknum á laxinum, hann ofurkældur í -2,5 °C í 80 mínútur. Þá voru teknar aðrar myndir af tálknum fiskanna.

Á mynd 6 og 7 má sjá samanburð á liti á tálknum á laxi (sömu fiskar) eftir að hann er kældur á ís, geymdur í sex tíma og síðan ofurkældur á hefðbundinn hátt. Í viðauka I eru myndir af tálknum fjögurra fiska úr þessum hópi.

Niðurstaða rannsóknar er að ekki væri munur á hópum eftir fyrstu rannsókn (I-IV). Ályktun rannsakanda er að hópur I hafi ekki fengið þá kólnun sem þurfi til að frysta tálkn og valda litabreytingu. Þó kælimiðill hafi náð réttu hitastigi (-2,5 °C) var tíminn í kælitanki of stuttur og of mikið í honum til að nægilegt streymi kælimiðils um fiskinn til að tálknin næðu að kólna niður fyrir frostmark. Mikil breyting varð hins vegar á lit á tálknum á laxi sem var ofurkældur, sex tímum eftir að fyrri rannsókn lauk. Ljóst er að litur á tálknum á laxi sem kældur var með ís var rauður og upprunalegur, jafnvel sex sjö og hálfum tíma eftir að kæliferill hófst. Breytingin er afgerandi við að ofurkæla fiskinn sem styður þá tilgátu að ofurkæling, þ.e.a.s. frýsting veldur litabreytingum.

Þegar fyrir liggur að litabreyting á tálknum verður við frystingu þeirra er spurningin hvort rétt sé að skoða hvort hægt er að koma í veg fyrir að það gerist! Ljóst er að tálknin hafa mikið yfirborð og við kælitíma sem duga til að kæla fiskholdið niður í $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ við $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ er ljóst að þau ná að frjósa.



Mynd 3 Tálkn á fiski kældum með ís



Mynd 4 Tálkn á fiski kældum með ísvatni



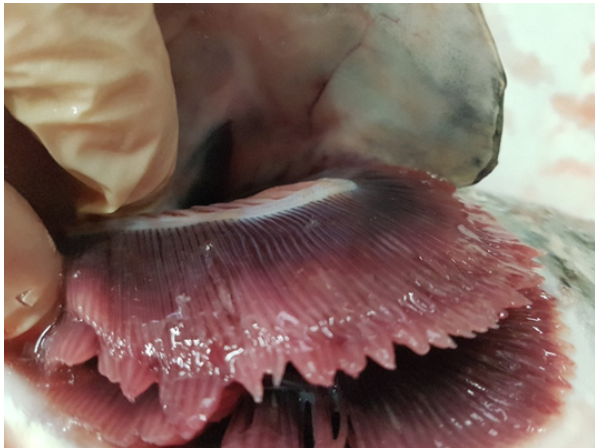
Mynd 5 Tálkn á fiski kældum með saltvatni ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Mynd 6 Tálkn á fiski kældum með ofurkælingu (-2,5 °C)



Mynd 7 Tálkn á laxi kældur á ís, sex tímum eftir kæingu



Mynd 8 Tálkn á laxi ofurkældur eftir kælingu á ís sex tímum fyrr.

5 ÁLYKTUN

Niðurstaða verkefnisins er ótvírætt að kælingin er orsakavaldur og litur tálkna breytist við að frjósa við ofurkælingu. Erfitt er því að koma í veg fyrir litaráhrif þegar ofurkæling er nýtt við slátrun og vinnslu á laxi. Næstu skref gætu því að verið að vinna kynningarefni sem seljendur geta nýtt til að upplýsa kaupendur um ástæður þessa litabreytinga á tálknum.

6 ÞAKKARORÐ

Í verkefninu hafa rannsakendur notið aðstoðar starfsmanna Arnarlax og skal hér þakkað fyrir það. Þáttur starfsmanna 3X Technology var ómetanlegur og afgerandi og er hér þakkað fyrir það. AVS er þakkaður stuðningur við verkefnið.

HEIMILDASKRÁ

- Anton, G. H., Hörður, S., & Sæmundur, E. (2016). *Áhrif mismunandi kælingar og geymsluhitastigs á dauðastirðunarferli þorskflaka*. Akureyri: Háskólinn á Akureyri.
- Gunnar, Þ., Albert, H., & Hólmfríður, S. (2014). *Rannsóknir á ofurkælingu botnfisks*. Reykjavík: Mátis skýrsla nr.
- Undeland, I., Kristinsson, H. G., & Hultin, H. O. (2004). Hemoglobin-Mediated Oxidation of Washed Minced Cod Muscle Phospholipids: Effect of pH and Hemoglobin Source. *Agriculture and Food Chemistry*, 52(14), 4444-4451.
- Kaale, L. D., Eikevik, T. M., Rustad, T., & Kolsaker, K. (2011). Superchilling of food: A review. *Journal of Food Engineering* 107(2), 141-146.
- Martinsdottir, E., Sveinsdottir, K., Lutén, J., Schelvis-Smith, R., & Hyldig, G. (2001). *Sensory Evaluation of Fish Freshness. Reference Manual for the Fish Sector*. Sótt frá <http://www.qim-eurofish.com>
- Pedersen, R., Thordarson, G., & Hognason, A. (2015). *Sub-chilling of salmon*. Isafjordur: Matis skýrsla? .
- Thordarson, G., Arason, S., & Karlsdóttir, M. (2017). *Cub chilling of fish*. Isafjordur: Matis Skýrsla nr. 06-17, 65 bls

7 VIÐAUKAR

7.1 Mynd af tálknum á laxi kældur á ís (sex tímum eftir kælingu)



7.2 Myndir af tálknum á ofurkældum laxi (ofurkældur sex tímum eftir kælingu á ís)

