

Verkefnaskýrsla til
RANNÍS
19- 01



Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins

ÁGÚST 2001

Léttsöltun, stöðugleiki og
nýting frosinna afurða

Áhrif frystingar og léttþæklunar á eðlis-
og efnafræðilegar breytingar í fiskholdi

Kristín Anna Þórarinsdóttir
Sigurjón Arason
Guðjón Þorkelsson



<i>Titill / Title</i> Léttsöltun, stöðugleiki og nýting frosinna afurða - Áhrif frystingar og léttpæklunar á eðlis- og efnafræðilegar breytingar í fiskholdi.			
<i>Höfundar / Authors</i> Kristín Anna Þórarinsdóttir, Sigurjón Arason, Guðjón Þorkelsson			
<i>Skýrsla Rf/IFL report</i>	19 - 01	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	Ágúst 2001
<i>Verknr. / project no.</i>	1483		
<i>Styrktaraðilar / funding:</i>	Rannís		
<i>Ágrip á íslensku:</i> Skýrslan er samantekt af fræðilegum bakgrunni verkefnisins; „Léttsöltun, stöðugleiki og nýting frosinna afurða“ sem nýtist við alla hluta verkefnisins og er því sett upp sem sjálfstæð eining. Rætt er um þær breytur sem áhrif hafa á ástand hráefnis, s.s. árstíðabundnar sveiflur í eiginleikum fisksins og meðhöndlun eftir veiði. Í framhaldi af því er fjallað um frystingu og þíðingu á fiski og hvaða breytingar eigi sér stað í fiskholdi við þau ferli. Einnig eru söltun og áhrifaþættir við pæklun teknir fyrir.			
<i>Lykilorð á íslensku:</i> Þorskur, léttsöltun, pæklun, frysting, nýting			
<i>Summary in English:</i> This report is the literature review in the project “Light salting, stability and yield of frozen cod fillets” which is funded by the Icelandic Research Council. It summarizes the effects of different seasons, fishing methods, treatment and processing (freezing and salting) on cod muscle.			
<i>English keywords:</i> Cod, light salting, freezing, brine salting, freezing, yield			

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	1
2	BREYTILEIKI HRÁEFNIS	2
2.1	EFNASAMSETNING OG ÁSTAND HRÁEFNIS	2
2.2	ÁRSTÍÐABUNÐNAR SVEIFLUR Í EFNASAMSETNINGU	2
2.3	ÁRSTÍÐABUNÐNAR SVEIFLUR Í EIGINLEIKUM PRÓTEINA.....	4
2.4	KYN OG KYNÞROSKI.....	4
2.5	STÆRÐ OG MISMUNANDI HLUTAR FISKISINS	5
2.6	VEIÐISTAÐUR.....	6
2.7	VEIÐARFÆRI	8
2.8	MEDHÖNDLUN HRÁEFNIS	8
2.8.1	<i>Blóðgun og slæging</i>	9
2.8.2	<i>Geymsluskilyrði</i>	10
2.8.3	<i>Geymslupól fisks</i>	10
2.9	DAUÐASTIRÐNUN	11
3	FRYSTING	14
3.1	ÍSMYNDUN (KRISTÖLLUN) VIÐ FRYSTINGU	14
3.2	FRYSTIHRÆÐI	15
3.3	ÍSHÚÐUN OG UMBÚÐIR	16
3.4	GEYMSLUPÓL Á FRYSTUM FISKI	17
3.5	HITASTIG Í FROSTGEYMSLU.....	17
4	ÞÍÐING	19
4.1	DRIP VIÐ ÞÍÐINGU	21
5	TVÍFRYSTING	22
6	BREYTINGAR Í FISKHOLDI VEGNA FRYSTINGAR	23
6.1	PRÓTEIN - AFMYNDUN VEGNA FRYSTINGAR	23
6.2	ÁFERÐARBREYTINGAR VIÐ FRYSTINGU	25

7	LÉTTPÆKLUN FYRIR FRYSTINGU.....	26
7.1	VIRKNI SALTS OG FOSFATA Í VÖÐVANUM.....	26
7.2	SALT OG FOSFÖT - ÁHRIF Á NÝTINGU	27
7.3	UPTAKA SALTS Í VÖÐVANUM - ÁHRIFAPÆTTIR.....	28
7.3.1	Ástand hráefnis - áhrif á saltupptöku.....	29
7.3.2	Stærð flaka og mismunandi hlutar þeirra.....	29
7.3.3	Styrkur salts í pækli og pæklunartími	30
7.3.4	Hlutfall fisks á móti pækli.....	32
7.3.5	Hitastig / Ís í pækli.....	32
8	UNNIN PRÓTEIN OG ÖNNUR HJÁLPAREFNI.....	33
9	SPRAUTUN.....	34
10	VATNSHELDNI (WHC) FISKHOLDS	36
10.1	ÁHRIF FRYSTINGAR Á VATNSHELDNI.....	37
10.2	ÁHRIF SÖLTUNAR Á VATNSHELDNI	37
11	BUNDIÐ VATN - FRYSTANLEGT VATN.....	38
11.1	DSC - MÆLINGAR Á FRYSTANLEGU VATNI.....	39
12	HEIMILDIR.....	40

TÖFLUR

Tafla 4.1.	Flokkun aðferða við þiðnun matvæla eftir því hvernig varmaflutningur á sér stað.....	20
Tafla 9.1.	Pæklar ætlaðir til sprautunar á skinku. Samsetning er miðuð við 40% og 30% þyngdaraukningu við sprautun (Desmyter og Wagner, 1979).....	35

1 INNGANGUR

Þessi skýrsla inniheldur fræðilega samantekt verkefnisins „Léttsöltun, stöðugleiki og nýting frosinna afurða“. Niðurstöðum tilrauna eru gerð skil í sér skýrslum. Um er að ræða upplýsingar um áhrif veiðitíma, veiðiaðferða, meðhöndlunar hráefnis og vinnslu á efnasamsetningu þorskholds. Áhrif frystingar og léttsöltunar eru rædd og komið inn á þætti eins og vatnsheldni og frystanlegt vatn. Samantektin mun nýtist við verkefnavinnu til samanburðar og túlkunar á niðurstöðum verkefnisins.

2 BREYTILEIKI HRÁEFNIS

2.1 Efnasamsetning og ástand hráefnis

Ástand og efnasamsetning hráefnis eru mjög mikilvægir þættir m.t.t. gæða frystra afurða. Efnasamsetningu fersks þorsks er þannig háttað að vatn er 78-83% af fiskholdinu, prótein 16,5-21,7% og fita 0,1-0,8% (Sikorski, 1995). Vatnsleysanleg efni eru um 15-16% af þurrvigt vöðvans, þau samanstanda m.a. af fríum amínósýrum, vatnsleysanlegum vítamínum, steinefnum og nitursamböndum (Dambergs, 1964).

Ýmsir líffræðilegir þættir geta valdið sveiflum í efnasamsetningu fisks, m.a. tegund, stofn, aldur, næringarástand sjávar, veiðislóð og árstíð (Dambergs, 1964, Eliassen og Vahl, 1982, Love, 1979). Breytingar í innihaldi vatns, próteina og fitu sem orsakast af hrygningarferlinu og næringarástandi, hafa einnig veruleg áhrif á áferð fisksins. Að sumri loknu er fiskurinn í góðu ásigkomulagi og holdið þétt en meðan á hrygningu stendur eða ef fæðuframboð er ekki nægt, er vöðvinn mjúkur og vatnskenndur og fitumagn lítið (Ravesi og Krzynowek, 1991). Veiðitími getur því haft mjög mikil áhrif á gæði og nýtingu fiskafurða. Þekkt er að nýting í frystihúsum er breytileg eftir árstíma (Sigurjón Arason og Helga R. Eyjólfsdóttir, 1995a). Ástand fisks getur einnig haft áhrif á gæði afurða við vinnslu og hvaða vinnsluaðferðir eru heppilegastar. Möguleikar á stýringu vinnsluaðferða og veiða eftir árstíma væru því mjög æskilegur kostur þar sem leitast væri við að hámarka gæði og stöðugleika í afurðum.

2.2 Árstíðabundnar sveiflur í efnasamsetningu

Efnasamsetning og áferð þorsks getur verið mismunandi eftir árstíðum. Þekkt er að vatnsinnihald í þorskvöðva fylgi bjöllulaga kúrfu yfir árið, þar sem hámarki er náð að vori til eða í byrjun sumars, eftir því hvenær hrygning á sér stað. Breytingar í próteinmagni eru í öfugu hlutfalli við breytingar í vatni, þ.e. a.s. þegar vatnsmagn (%) er í hámarki er próteinmagn (%) í lágmarki (Dambergs, 1964, Eliassen og Vahl, 1982, Love, 1979). Magn próteina og fitu er í lágmarki eftir hrygningu en magn vatns og vatnsleysanlegra efna (annarra en próteina) í hámarki. Yfir sumartímann endurnýjar

fiskurinn fitubirgðir sínar og á haustin (október-nóvember) er hlutfall próteina í hámarki en hlutfall vatnsleysanlegra efna í lágmarki. Hlutfall vatnsleysanlegra efna fer síðan hækkandi þar til að hrygningu er lokið (Dambergs, 1964). Íslenskar rannsóknir á árstíðabundnum sveiflum í efnasamsetningu þorsks hafa skilað svipuðum niðurstöðum. Fiskurinn var veiddur suðvestur af Íslandi og var hlutfall vatns í hámarki í mars en hlutfall próteina í lágmarki á sama tíma (Sólveig Ingólfssdóttir o.fl., 1998).

Sýrustig (pH) í holdi þorskfiska er einnig breytilegt eftir árstíðum, þar sem næringarástand fisksins hefur mikil áhrif á lækkun pH eftir dauða. Eftir dauða lækkar sýrustig holdsins vegna niðurbrots vöðvasterkju (glýkógens) og myndun mjólkursýru. Ef næringarástand fisksins er gott eru orkubirgðir meiri og myndun mjólkursýru meiri. Í því tilfalli er því lækkun sýrustigs í holdi meiri heldur en ef fiskurinn hefur verið í svelt. Meðalgildi sýrustigs í holdi eftir dauðastirðnun er talið vera um 6,7 yfir mestan hluta ársins en fellur yfir skamman tíma á sumrin. Talið er að hröð uppbygging í vöðvanum eftir svelt valdi þessum snöggu breytingum. Þessar breytingar hafa ekki greinst í ýsu, en pH í holdi hennar er að meðaltali lægra en í þorski (Love, 1979). Lækkun sýrustigs að sumri til er venjulega einhvers staðar á tímabilinu maí-ágúst en tímasetningin getur verið breytileg milli ára. Sýrustig getur einnig lækkað seinni hluta hausts (nóv.-des.). Ástæðan er talin vera aukning í fæðuframboði vegna hafróts sem orsakast af hvössum haustveðrum (Love, 1980).

Sýrustig hefur mikil áhrif á bindivef í holdinu og þar með á áferð og los í fiskinum. Bindivefur verður veikari eftir því sem að sýrustig er lægra og hætta á losi verður meiri (Love, 1979). Sýnt hefur verið fram á tengsl á milli árstíðabundinna sveiflna í losi („gaping“) og sýrustigi. Los hefur greinst í hámarki á tímabilinu júní-júlí en er einnig nokkuð mikið í nóvember og desember (Love, 1980). Íslenskar rannsóknir á árstíðabundnum sveiflum í áferð þorsks hafa verið gerðar. Gildi fyrir hörku („hardness“) og samloðun („cohesiveness“) lækkuðu á tímabilinu mars-maí, samanborið við mælingar sem gerðar voru að sumri og vetri til. Sýnt var fram á lækkun pH á sama tíma og gildi úr áferðarmælingum lækkuðu (Sólveig Ingólfssdóttir o.fl., 1998).

Fiskvöðvi sem hefur lágt sýrustig, er mjög þéttur og hætta er á að hann verði mjög seigur við frystingu. Talið er æskilegt að sýrustig sé ekki lægra en 6,6-6,7 eftir dauðastirðnun, ef fiskur fer í frystingu. Fiskur með hátt sýrustig (7) er laus í sér og getur frysting bætt

áferð í þeim tilfellum. Það er einnig talið að sýrustig geti haft áhrif á áferð eftir suðu (Love, 1979).

2.3 Árstíðabundnar sveiflur í eiginleikum próteina

Árstíðabundnar sveiflur í eiginleikum próteina eru þekktar. Rannsóknir á fiski sem veiddur var við strendur Íslands (SV) sýndu að leysni próteina (saltleysanlegra) er breytileg eftir árstíma og leysni er minnst í mars og júlí (Sólveig Ingólfssdóttir o.fl., 1998). Castell og Bishop (1973) höfðu einnig séð að magn leysanlegra próteina í þorskholdi (Kanada), var lægst á hrygningartímanum (mars - maí). Þeir notuðu þennan þátt til að meta stöðugleika við geymslu í frosti (-3,3, -12, og -26°C). Við -3,3 og -12°C jókst magn leysanlegra próteina hraðar í fiski sem veiddur var að vori til heldur en að sumri og hausti (júlí, ág., okt., nóv.). Við -26°C urðu hins vegar engar mælanlegar breytingar í fiski þó að hann væri geymdur allt að 2 árum (Castell og Bishop, 1973).

Þekkt er að gæði surimi séu mismunandi eftir því hvenær ársins fiskurinn er veiddur, vegna árstíðabundinna breytinga á próteinum. Til að skoða breytingar á próteinum hafa mýósín/aktín hlutfall aktómýósíns og stöðugleiki vöðvapróteina verið metin bæði í heilum vöðva og surimi úr lýsingi (*Merluccius hubbsi*). Samanburður var gerður á þessum þáttum fyrir (vor/sumar) og eftir hrygningu (sumarlök/haust). Eftir hrygningu var mýósín/aktín hlutfall aktómýósíns hærra og geljunareiginleikar voru meiri en fyrir hrygningu. „Differential scanning calorimetry“ (DSC) var notað til að meta stöðugleika próteina. Talið var að fyrir hrygningu væri mýósín að hluta til afmyndað og því þyrfti minni orku til að afmynda það. Hins vegar var lítill munur á aktíni fyrir og eftir hrygningu. Á hitastigsbilinu 40-50°C voru bæði hraði afmyndunar og stig afmyndunar mýósíns meiri eftir hrygningu (Beas o.fl., 1991).

2.4 Kyn og kynþroski

Árstíðabundnar sveiflur í efnasamsetningu fiskholds hafa verið skýrðar með breytingum í fæðuframboði og hrygningu. Þegar fæðuframboð minnkar, gengur fiskurinn á

próteinmagn í vöðva en hlutfall vatns eykst í staðinn. Breytingarnar eru mestar í kynþroska fiski og aukast eftir því sem að fiskurinn er stærri (Ironsides og Love, 1958). Niðurstöðum hefur þó ekki alltaf borið saman. Eliassen og Vahl (1982) sýndu fram á, að árstíðabundnar sveiflur í efnasamsetningu ókynþroska og kynþroska fisks sem veiddur var við Norður-Noreg voru svipaðar. Því væri ekki hægt að skýra þær með hrygningarferlinu (Eliassen og Vahl, 1982). Dambergs (1964) taldi að árstíðasveiflur gætu einnig stafað af breytingum í atferli þorsksins á hrygningartímabilinu, þ.e. að fiskurinn nærðist minna en á öðrum tíma (Dambergs, 1964). Hversu miklar breytingar á efnasamsetningu fiskholds verða gæti einnig ráðist af veiðislóð en sýnt hefur verið fram á að sveiflur séu mismunandi eftir veiðistöðum. Árstíðabundnar breytingar í vatnsmagni þorsks sem veiddur var við Norður-Noreg (Eliassen og Vahl, 1982) og við Nova Scotia (Dambergs, 1964) námu aðeins 1% en 3% í fiski sem veiddur var í Norðursjó (Love, 1960).

Lýsingur/kolmúli (Southwest Atlantic hake, *Merluccius hubbsi*) hefur verið rannsakaður m.t.t. þess hvort að kynþroski og/eða kyn hafi áhrif á gæði afurða eftir frystingu. Fiskurinn var veiddur í nóvember og apríl og geymdur í allt að 7 vikur við -7°C . Í ljós kom að fyrrnefndir þættir höfðu áhrif á myndun DMA og FA, magn saltleysanlegra próteina, drip og áferð en ekki á styrk TVB (total volatile base concn.). Kyn virtist geta haft áhrif, þ.e.a.s. eiginleikar frosins vöðva af ókynþroska hrygnum voru frábrugðnir því sem gerðist í öðrum hópum (Fuselli o.fl., 1996).

2.5 Stærð og mismunandi hlutar fisksins

Stærð fiska getur haft áhrif á eiginleika fiskholdsins. Sýrustig í holdi stærri fiska er oft lægra en í minni fiskum. Ef miðað er við ákveðið sýrustigsgildi eru þeir einnig seigari. Frysting getur því haft neikvæðari áhrif á áferðareiginleika eftir því sem fiskar eru stærri. Hins vegar er hætta á losi/holdsprungum („gaping“) meiri í minni fiskum og því er ráðlagt að frysta þá sem fyrst. Breytileiki í sýrustigi eftir stærð getur þó vegið á móti áhrifum vegna stærðar. Hætta á losi er einnig háð árstíðum þar sem næringarástand og efnainnihald fisksins er breytilegt eftir árstíma. Los í stórum fiskum getur aukist mjög

mikið að vetri og vori til. Smærri fiskar geta þornað meira í frysti þar sem yfirborðsflatarmál miðað við þyngd er meira (Love, 1975b).

Rannsókir hafa verið gerðar á árstíðasveiflum áferðar og efnasamsetningar í þremur stærðarflokkum þorsks (2-3, 3-5 og 6-9 kg) sem veiddur var suðvestur af Íslandi. Breytingar virtust að mestu vera óháðar stærð fiskanna (Sólveig Ingólfssdóttir o.fl., 1998). Þetta var í samræmi við niðurstöður úr rannsóknum á fiski við N-Ameríku (Dambergs, 1964) og Norður-Noreg, (Eliassen og Vahl, 1982). Aftur á móti hafði Love (1960) birt niðurstöður þar sem sveiflur í vatnsinnihaldi fisks úr Norðursjó, voru meiri eftir því sem fiskurinn var stærri (Love, 1960).

Fuselli, o.fl (1996) mátu áhrif stærðar og fleiri þátta á gæði lýsings/kolmúla (Southwest Atlantic hake, *Merluccius hubbsi*) eftir frystingu (-7°C í allt að 7 vikur). Áferð reyndist vera breytileg eftir stærð fiska sem var í samræmi við niðurstöður úr rannsóknum á þorski (Love, 1975b). Eins virtust vera tengsl á milli stærðar fiska annars vegar og myndunar á DMA og FA, magns saltleysanlegra próteina og drips hins vegar. Áhrif á styrk TVB (total volatile base conc.) voru ekki sýnileg.

Þorskur er breytilegur að efnasamsetningu, eftir því um hvaða hluta hans er að ræða (Dambergs, 1963). Mest er af próteinum í holdi næst höfði en mest af vatnsleysanlegum efnum í miðju fisksins. Vatnsleysanleg efni eru í þessu tilfalli skilgreind sem vatnsleysanleg efni önnur en prótein og efni sem myndast hafa við niðurbrot próteina. Undir þennan flokk falla „non-protein nitrogen“, og önnur vatnsleysanleg efni s.s. sykrur, vítamín, fosföt og steinefni. Sporðurinn er feitari en aðrir hlutar fisksins og inniheldur einnig meira vatn. Magn próteina er minnst í sporði en minnkar stigvaxandi frá sporði að haus. Magn vatns er í öfugu hlutfalli við magn próteina, þ.e. fer minnkandi frá sporði að haus. Gerð próteina er einnig breytileg eftir staðsetningu, næst haus eru þau hvítari og trefjar fíngerðari en annars staðar, þó sérstaklega miðað við sporðinn (Dambergs, 1963).

2.6 Veidistaður

Eiginleikar og efnasamsetning fiskholds geta verið mismunandi eftir því hvar hann er veiddur. Sem dæmi má nefna að fylgni hefur fundist á milli loss og lengdar þorsks sem veiddur var við Færeyjar. Á sama tíma greindist þessi fylgni ekki í þorski sem veiddur

var við strendur Íslands. Einnig hefur komið fram munur á áferð og skemmdarferlum í fiski eftir veiðislóð (Love, 1975b).

Samanburður hefur verið gerður á efnasamsetningu þorsks sem veiddur var á Færeyjabanka annars vegar og á miðunum frá Aberdeen til Vestur-Grænlands hins vegar. Í síðarnefnda tilvikinu var hlutfall vatns í fiskholdi venjulega á bilinu 80-81% en hækkaði við sveltí fiskisins. Fiskur af Færeyjabanka innihélt hins vegar minna en 80% af vatni hvort sem hann var veiddur að vori eða hausti. Magn nitrogens sem bundið var í próteinum var herra. Einnig var magn kolvetna herra en það skilaði sér í lægra pH eftir dauðstirðnun. Fiskurinn var gildari miðað við lengd og holdið mjög ljóst (Love o.fl., 1974b). Sýnt hefur verið fram á mun á fitu eftir árstíma og miðum, sem hefur t.d. mælst meiri í þroski sem veiddist á Færeyjabanka heldur en Aberdeen banka og reyndist munurinn fyrst og fremst. liggja í magni fosfólípíða (Love, 1980).

Breytileiki í næringarástandi fisks eftir veiðistöðum getur haft áhrif á þætti eins og áferð. Við sveltí verður vöðvinn mykri og vatnskenndari, vatnsinnihald eykst og próteininnihald minnkar. Öfugt við breytingar í mykt verður bindivefur sterkari og mikil fylgni er á milli togþols („breaking strength“) og vatnsinnihalds í vöðvanum (Lavéty og Love, 1972). Fylgni á milli áferðar og stærðar fiska af mismunandi veiðisvæðum hefur verið metin. Greinilegur munur var á milli veiðisvæða, fylgni var á milli breytinga í áferð eftir suðu og stærð fisks sem veiddist við Ísland og á milli Aberdeen og Grænlands. Aftur á móti var þetta ekki sjáanlegt hjá fiski sem veiddist á milli Aberdeen og Spitzbergen (Love o.fl., 1974c).

Stöðugleiki fisks í frostgeymslu hefur reynst mismunandi eftir veiðistöðum. Rannsóknir á „cell fragility“ þorsks sem geymdur var í frosti (-15°C), sýndu að gildi voru mismunandi eftir því hvar fiskurinn var veiddur (Love o.fl., 1974a).

Bragðgæði geta verið mismunandi eftir því hvar fiskurinn er veiddur og ákveðin einkenni hafa reynst mismikil eftir miðum. Samanburður á þorskum sem veiddir voru í Norður-Atlantshafi og geymdir í stuttan tíma í frysti, leiddi í ljós að bragðgæði þorsks af Færeyjabanka reyndust lakari en af öðrum miðum. Það var skýrt með því að fituinnihald var herra í þeim fiski og þránun því meiri (Love, 1975a).

2.7 Veifarfæri

Veifarfæri hafa áhrif á gæði hráefnis og því þarf að gæta að því að þau fari sem best með hráefnið. Gerð veifarfæra geta einnig haft áhrif á efnasamsetningu. Sérstaklega er þar átt við orkubirgðir en ef fiskur brýst mikið um í veifarfærum, gengur hann á orkuforða sinn fyrir dauða. Því myndast minna af mjólkursýru í vöðvanum eftir dauða og sýrustig í holdinu eftir dauðastirðnun verður þar af leiðandi hærra. Einnig hefur verið sýnt fram á tengsl milli veifarfæra og magns próteina og vatns í holdinu (Botta o.fl., 1987a, Botta o.fl., 1987b).

Við veifar í botnvörpu (eða aðrar vörpur) er hætta á því að fiskurinn merjist og að blóðgallar komi fram ef að afli er mikill. Eftir því sem hreyfing fyrir dauða og lækun orkubirgða er meiri, því fyrr fer fiskurinn í dauðastirðnun sem tekur einnig styttri tíma við þessar aðstæður. Slíkt minnkar líkur á því að hægt sé að frysta fiskinn áður en hann fer í gegnum dauðastirðnun. Þorskur sem er veiddur í botnvörpu og geymdur við 0°C, er 2-8 klst að fara í dauðastirðnun og fer í gegnum hana á 18-57 tímum en þorskur veiddur úr fiskabúri og geymdur við 3°C fer í dauðastirðnun eftir 22 klst og fer í gegnum hana á 72-96 klst. Nauðsynlegt er að stilla togtíma í hóf og fylgjast vel með magni í poka eða nota veifarfæri sem fara sérstaklega vel með fiskinn eins og línur eða gildirur (Sigurjón Arason og Helga R. Eyjólfsdóttir, 1995a).

2.8 Meðhöndlun hráefnis

Meðhöndlun hráefnis fyrst eftir veiði er mjög veigamikill þáttur m.t.t. gæða í vinnslu. Mikilvægt er að kæling sé góð og fiskurinn sé blóðgaður innan við klukkustund frá veiði. Slægja þarf fisk sem fyrst eftir veiði þar sem innfyli innihalda ensím og örverur sem valda mjög fljótt skemmdum á holdi. Einnig er mikilvægt að fiskur sé geymdur við lágt hitastig (0°C) til að lágmarka hættu á skemmdum. Hnjask og pressa við geymslu og/eða flutning, s.s. goggstungur, fall og sturtun við flutning geta valdið umtalsverðri gæðarýrnun og haft áhrif á nýtingu (Páll Ólafsson, 1975). Ástands hráefnis hefur áhrif á geymsluþol í frysti, sem getur minnkað eftir því sem gæði eru lakari eða geymslutími fyrir frystingu lengri (Slavin, 1968).

2.8.1 Blóðgun og slæging

Meðal þeirra þátta sem hafa áhrif á gæði og nýtingu fisks við vinnslu, er hvenær og hvernig staðið er að blóðgun og slægingu fisksins eftir veiði. Athuganir á mismunandi blóðgun og slægingu á fiski fyrir dauðastirðnun, í dauðastirðnun og eftir dauðastirðnun hafa sýnt að best er að blóðga og slægja fiskinn sem fyrst. Bestur blær var á flökum af fiski sem var blóðgaður lifandi en fiskur sem var blóðgaður í dauðastirðnun kom verst út. Betra var að láta fiskinum blæða út í vatni en lofti (Huss og Asenjo, 1977). Þetta er í samræmi við niðurstöður úr kanadískum rannsóknum sem sýndu að mestu máli skipti hversu langur tími leið frá veiði þar til að fiskurinn var blóðgaður, m.t.t. heildargæða fisksins. Miklu máli skipti hvernig staðið var að blóðgun og slægingu (Botta o.fl., 1986). Áhrif biðtíma í móttöku og blæðingartíma á gæði ferskfisks hafa einnig verið metin í íslenskum rannsóknum. Til að meta áhrif biðtíma var fiskurinn látinn liggja í 1/2, 1, 2, 3, og 4 klst, því næst var honum látið blæða í 15 mín. í rennandi sjó. Áhrif af blæðingartíma voru metin með því að blóðga fiskinn eftir 1/2 klst bið í móttöku og láta honum blæða í rennandi sjó í 1, 5, 10, 15 og 20 mínútur. Eftir blóðgun var fiskurinn slægður, þveginn og síðan kafísaður. Þannig var hann geymdur í 4 sólarhringa og síðan metinn. Niðurstöður voru þær að eftir því sem að biðtími í móttöku var lengri, því verri urðu gæði og versnuðu jafnt og þétt, þó mest á fyrsta klukkutímanum. Til að hámarka gæði fisksins þurfti blæðingartími að vera að lágmarki 10 mínútur en ef hann var lengri en 15 mínútur urðu gæði lakari (Ásgeir Matthíasson, 1986). Dauðblóðgaður eða illa blóðgaður fiskur verður dökkur eða rauðleitur í vöðvanum og fellur af þeim sökum í lægri gæðaflokka (Grímur Valdimarsson o.fl., 1984). Aukning í blóðgöllum getur leitt til meiri afskurðar við snyrtingu og þar með verri nýtingar.

Gerðar hafa verið rannsóknir á áhrifum þess að slægja fiskinn um leið og hann er blóðgaður eða láta honum blæða út áður en hann er slægður. Ástæður þessara tilrauna voru kenningar um að ekki mætti skadda hjartað, því að það hjálpaði til við að tæma æðakerfi fisksins. Aðrir töldu að vöðvasamdráttur eða dauðakippir hefðu mest að segja. Ef fiskinum var látið blæða út í sjó í a.m.k. 15 mín. virtist litlu máli skipta hvort var blóðgað eða slægt í einni eða tveimur aðgerðum. Hins vegar var betra að blóðga og slægja í tveimur aðgerðum ef fiskinum var látið blæða út í lofti (Grímur Valdimarsson o.fl., 1984).

2.8.2 Geymsluskilyrði

Eftir dauða hækkar líkamshiti fisksins og fer upp fyrir það sem gerist í lifandi fiski. Ástæðan er sú að eftir dauða myndast orka við niðurbrot orkubirgða í vöðvanum. Orkan nýtist ekki lengur til líkamsstarfsemi og losnar því sem varmi. Mikilvægt er að fjarlægja varmann með því að kæla fiskinn og einnig hægir það á niðurbrotsferlum. Kælitími fisks ræðst af hvernig kæling á sér stað og undir hvaða kringumstæðum. Þættir sem skipta miklu máli eru m.a. yfirborðsflatarmál fisksins, hitastig kælimiðils, hreyfing á kælimiðli, rakastig og varmaflutningstuðull á milli fisks og kælimiðils. Kæling er hraðari ef fiskur er kældur í vökva heldur en í ís eða lofti. Við kælingu í vökva er fiskurinn umkringdur nokkuð einsleitu umhverfi og kæling á sér stað á öllu yfirborði hans. Í vissum tilfellum hefur sjór verið notaður til kælingar því að frostmark hans er lægra en frostmark vatns (Afolabi o.fl., 1982).

Við ísun á fiski þarf að gæta þess að fiskurinn liggi sem minnst saman og nóg sé af ísnum (Páll Ólafsson, 1975). Hætta er á þyngdartapi ef ísaður fiskur er geymdur undir miklu fargi. Fiskur sem er ísaður í kössum, þar sem þrýstingur er lítill, léttist hins vegar lítið eða getur jafnvel þyngst (Bramsnaes, 1962). Rannsókn á áhrifum geymsluskilyrða og geymslutíma kolmunna fyrir frystingu sýndi, að betra var að geyma fiskinn í kældum sjó heldur en í ís. Los eftir frystingu var minna og einnig var los af völdum árstíðabundinna sveiflna í fiskholdinu minna (Afolabi o.fl., 1982).

2.8.3 Geymsluþol fisks

Geymsluþol fisks hefur verið skilgreint sem sá tími sem fiskur telst neysluhæfur að mati neytenda. Það sem fyrst og fremst takmarkar geymsluþol eru skemmdir af völdum gerla. Hold í nýveiddum fiski inniheldur enga gerla. Hins vegar er töluverður fjöldi gerla í innnyflum, tálknum og á roði. Almennt má segja að lítið sé af gerlum í þroskhaldi fyrstu 4-6 daga geymslutíma (í ís) en eftir þann tíma fer gerlum mjög fjölgandi. Þeir nærast þar á ýmsum efnum með þeim afleiðingum að fjölmörg illa þefjandi og bragðvond efni myndast, s.s. trímetylamín (TMA). Magn TMA eykst eftir því sem líður á

geymslutímamann og er víða notað sem mælikvarði á skemmdarstig fiskis (Emilía Martinsdóttir og Hannes Magnússon, 1990).

Eftir flökun skemmist fiskur mun hraðar en slægður fiskur. Yfirborð fisksins stækkar við flökunina, örverur eiga greiðari aðgang inn í holdið og einnig verður ákveðin krossmengun við flökunina. Ef geyma á fisk í kæli, er því betra að geyma hann slægðan heldur en flakaðan (Shaw o.fl., 1984). Samkvæmt niðurstöðum úr geðjunarprófum og ferskleikamati er talið að þorskflök geti geymst í 10-12 daga í ís en heill þorskur allt að 16 dögum, ýsuflök allt að 11-13 dögum og karfaflök 9-12 daga (Emilía Martinsdóttir o.fl., 1991).

Áhrif geymslutíma (6, 8, 10 og 11 daga) á nýtingu og samsetningu afurða við vinnslu, hafa einnig verið metin. Geymslutími virtist hafa afgerandi áhrif á verðmætasköpun vinnslunar, þar sem verðmæti aflans rýrnaði allt frá 6. degi. Flökunarnýting var best eftir 6 daga geymslu en þó var ekki hægt að sjá beint samband á milli flökunarnýtingar og geymslutíma (Jón Heiðar Ríkharðsson og Rúnar Birgisson, 1995).

2.9 Dauðastirðnun

Dauðastirðnun (*rigor mortis*) á sér stað fljótlega eftir dauða vegna efnabreytinga sem að orsaka samdrátt í vöðvanum, sem leiðir til þess að fiskur verður stífur. Hún getur varað í nokkrar klukkustundir eða nokkra daga eftir aðstæðum. Þegar fiskur deyr eru ákveðnar orkubirgðir í vöðvum hans, blóðstreymi hættir og súrefni hættir að streyma út í vöðvana. Eftir dauða lækkar sýrustig holdsins vegna niðurbrots vöðvasterkju (glýkógens) og myndun mjókursýru. Vöðvar dragast saman og fiskurinn stífnar. Smám saman slaknar aftur á vöðvanum og hann verður mjúkur á ný (Jónas Bjarnason og Sigurjón Arason, 1998).

Ýmsir þættir hafa áhrif á hraða, styrkleika og endingartíma dauðastirðnunar, s.s. tegund, stærð, næringarástand fisksins við veiði, veiðitími og veiðiaðferð (stress fyrir dauða), meðhöndlun eftir veiði og geymsluhitastig (Huss, 1983). Dauðastirðnun er mismunandi eftir tegundum fiska, m.a. vegna mismunandi vöðvabyggingar, byggingarlags, stærðar og mismikils hraða í efnaskiptum og blóðstreymi. Litlir fiskar fara fyrr í dauðastirðnun

heldur en stórir og tími stjarfa er einnig styttri. Munur getur einnig verið á milli tegunda og einstaklinga innan sömu tegundar (Jónas Bjarnason og Sigurjón Arason, 1998).

Ef næringarástand fiskins er gott eru orkubirgðir meiri og myndun mjólkursýru og þar af leiðandi lækkun sýrustigs, meiri (Love, 1979). Árstíð ásamt æti hefur því áhrif á stirðnun fiska. Fiskur sem er í miklu æti fer seint í stirðnun og tími stjarfa er langur. Styrkleiki stirðnunar og lækkun á sýrustigi verður meiri sem eykur hættu á losi. Fiskur sem hefur orðið fyrir miklu álagi fyrir dauða eða er átulíttill fer snemma í dauðastirðnun og losnar einnig fyrr úr stirðnun (Jónas Bjarnason og Sigurjón Arason, 1998).

Áhrif veiðarfæra, botnvörpu og gildru, á ferli dauðstirðnunar í þorski hafa verið metin. Magn ATP og vöðvasterkju (glykógens) var lægra í fiski sem veiddur var í botnvörpu, dauðstirðnun stóð ekki eins lengi yfir, lækkun á pH varð minni og vatnsheldni hærri (Wagenknecht og Tuelsner, 1975).

Geymsluhitastig hefur mikil áhrif á það hvenær stirðnun hefst og hversu lengi hún stendur. Sem dæmi má nefna að við 0°C hófst dauðastirðnun þorsks (veiddur í botnvörpu) eftir 2-8 klst og lauk eftir 20-65 klst. Ef fiskurinn var geymdur við 10-12°C, hófst dauðastirðnun eftir 1 klst og lauk eftir 20-30 klst. Við 30°C hófst dauðastirðnun eftir 0,5 klst og lauk eftir 1-2 klst (Huss, 1983). Þegar dauðastirðnun á sér stað við mjög hátt hitastig, verður vöðvasamdráttur mjög mikill. Bindivefur brestur sem leiðir til þess að los og vökvatap getur orðið mjög mikið (Björn Guðmundsson, 1991).

Dauðastirðnun hefur mikil áhrif á gæði og nýtingu fisksins. Ef fiskur er hausaður, slægður og flakaður á meðan á dauðastirðnun stendur, verður nýting mjög slæm. Samdráttur í vöðva verður minnstur í heilum fiski þar sem vöðvar eru festir við beinagrindina. Aftur á móti leiðir flökun fyrir dauðastirðnun til þess að flök styttest mikið (Björn Guðmundsson, 1991). Þorsflök geta stytst um allt að 7% af heildarlengd við geymslu á ís. Frysting og þíðing getur leitt til þess að flökin styttist um allt að 10% (Karl o.fl., 1997). Fiskur í stirðnun er einnig viðkvæmur fyrir hnjaski og hætta er á að vöðvar „rifni“ (Jónas Bjarnason og Sigurjón Arason, 1998).

Best er að frysta fisk sem fyrst eftir að hann er veiddur og fyrir dauðastirðnun (Sigurjón Arason, 1995b). Meiri hætta er á losi ef fiskur er frystur eftir dauðastirðnun og/eða eftir langan geymslutíma (Love og Haq, 1970). Stirðnunin hefur áhrif á vatnslosun og þar með á myndun ískristalla. Við frystingu í dauðastirðnun er hætta á að ískristallar í fiskinum verði stærri. Það veldur lélegri vatnsbindingu og aukinni vatnslosun við

þíðingu (Sigurjón Arason, 1995b). Einnig verða áhrif á gæði þorskflaka eftir þíðingu mjög neikvæð, s.s. á blæ og áferð. Því er ekki ráðlegt að frysta fisk sem er í dauðastirðnun (Slavin, 1968).

Rannsóknnum ber þó ekki alltaf saman um æskilegan tímapunkt frystingar. Samkvæmt rannsóknum Kalinova (1976) á Alaska ufsa (*Theragra chalcogramma*) þótti best að frysta fiskinn fyrir dauðastirðnun (Kalinova, 1976) sem er í samræmi við umræðu hér á undan en samkvæmt Tanaka (1969) var ástand ufsavöðva (eftir 1-3 mán. geymslu við -20°C) hins vegar best hjá fiski sem frystur var eftir eða í lok dauðstirðnunar. Lagt var mat á stærð og dreifingu ískristalla í vöðvanum. Ef fiskur var frystur fyrir eða í byrjun dauðastirðnunar mynduðust stórir kristallar innan fruma. Kristallar mynduðust utan fruma þegar fiskur var frystur eftir dauðastirðnun en ef hann var frystur í lok stirðnunar mynduðust kristallar bæði innan og utan fruma (Tanaka, 1969).

Ef hráefnið hefur verið fryst fyrir dauðastirðnun gengur það í gegnum hana við frystigeymslu. Það ferli gerist mjög hægt en fer þó eftir hitastigi í geymslu og ástandi fisks. Við -24°C tekur það um 40 daga. Dauðastirðnunin veldur í því tilfelli mjög litlu gæðatapi en mikilvægt er að geyma hráefnið nógu lengi áður en það er þíðið upp. Ef vöðvinn er frystur fyrir dauðastirðnun, hefur hæg þíðing reynst betri. Ef fiskur er hins vegar frystur eftir dauðastirðnun virðist hæg þíðing á fiski orsaka meira drip en hröð (Dyer og Dingle, 1961, Sigurjón Arason, 1995b). Ef fiskur er komin nálægt stirðnun við frystingu og er þíddur upp fljótlega eftir það í volgu vatni eða lofti, getur hann dregist kröftuglega saman og misst vökva á kostnað nýtingar og bragðgæða (Jónas Bjarnason og Sigurjón Arason, 1998).

Í vissum tilfellum getur frysting á fiski fyrir dauðastirðnun aukið hættu á dripi og þurri seigri áferð, t.d. ef fiskur er flakaður og frystur áður en dauðastirðnun hefst. Flökin geta styst verulega og eftir suðu geta þau orðið um 50% af upprunalegri lengd. Hætta er á að flakið tapi þá miklum vökva og hafi gúmmíkennda seiga áferð. Ef fiskflökin eru fryst hratt fyrir dauðastirðnun, halda þau lengd sinni við frystinguna. Við geymslu í frosti brotna orkuefnin niður en breytingar eru hægfara. Ef flökin innihalda ennþá eitthvað af orkuefnum við þíðingu er hætta á samdrætti við það ferli eða þíðustirðnun. Því er betra að þíða flakið hægt, við það heldur ísinn flakinu stífu, orkuefnin ná að brotna niður á meðan og samdráttur verður vægari. Þar af leiðandi tapast minna af vatni og flakið verður ekki seigt (Guðmundur Stefánsson, 1996). Þíðustirðnun virðist ekki skipta máli í

heilum fiski. Í heilum fiski heldur beinagrind fisksins aftur af áhrifum stirðunar og varnar herpingi fiskholdsins. Fiskflökum einum sér hættir til að herpast saman og stytast verulega við stirðun (Sigurjón Arason og Helga R. Eyjólfsdóttir, 1995a).

3 FRYSTING

Kæling og frysting hafa það meginmarkmið að draga úr virkni ensíma og örvera í matvælum. Við lágt hitastig hægir mjög á vexti allra örvera sem kynnu að vera í matvælunum. Eftir því sem að hitastig er lægra en kjörhitastig örverunnar því minni er virkni hennar. Eyðilegging matvöru af völdum örvera er ekki alltaf eitrun heldur miklu oftast skemmdir eins og t.d. bragðskemmdir, próteinniðurbrot o.fl. sem gera matvöru mjög ólystuga. Ensím geta valdið skemmdum í fiski. Virkni ensíma minnkar til muna við kælingu og frystingu. Venjulega hefur frystingin mest áhrif á eðliseiginleika afurða, s.s. áferð en minni áhrif á þætti eins og bragð, lykt og útlit.

3.1 Ísmyndun (kristöllun) við frystingu

Frystingu má skipta skipta í þrjú stig; forkælingu vöru, frystingu og eftirkælingu. Forkæling er kæling vörunnar frá því hitastigi sem hún er við og niður að frostmarki. Frostmark vatns er við 0°C en í vöðva er það lægra (-0,9°C) (Chen, 1985) vegna uppleystra efna (jóna og salta) sem í vatninu eru (Nilsson, 1994). Kæling vöru að frostmarki er hröð og hitastig lækkar niður fyrir frostmark (ofurkæling) áður en myndun kristalla hefst. Þegar hitastig er lækkað niður fyrir -1,5°C, byrjar vatn að frjósa (Mackie, 1993). Þegar því stigi er náð hækkar hitastig aftur að frostmarki vegna þess varma losnar við kristöllunina. Við ísmyndunina eykst styrkur uppleystra efna í því vatni sem ófrosið er og frostmark lækkar. Stærstur hluti vatnsins er frosinn við -5°C (Sigurjón Arason, 1996). Hlutfall ís í vöðva er háð efnasamsetningu og hitastigi en að mestu leyti óháð frystihraða (Chen, 1985). Um 76,5% af vatni í þorskvöðva er frosið við -5°C en um 89% við -20°C (Sikorski o.fl., 1976).

Þegar hitastig er komið niður fyrir -10°C frýs mjög lítið af því vatni sem enn er ófrosið. Erfitt er að segja um hvenær eiginlegri frystingu lýkur og eftirkæling hefst þ.e. kæling frosinnar vöru niður að geymsluhitastigi (Sigurjón Arason, 1996). Ákveðið magn helst ófrosið við það hitastig sem algengt er að nota í frostgeymslum (-24°C). Þessi hluti vatns í vöðvanum er skilgreindur sem bundið vatn og er tengt próteinum (Nilsson, 1994).

Við ísmyndunina verður styrkur uppleystra efna í því vatni sem ófrosið er hærri og getur það flýtt fyrir niðurbroti ýmissa efna. Uppleystu efnin virka sem hvatar þar til að þau storkna sjálf, t.d. er storknunarhitastig NaCl $-21,6^{\circ}\text{C}$ og örvar uppleysta saltið niðurbrot próteina niður að þessu hitastigi (Sigurjón Arason, 1996).

3.2 Frystihraði

Frystihraði segir til um það hversu hratt frysting gengur og hve langan tíma tekur að frysta ákveðna vöru við gefin ytri skilyrði. Frystihraði er venjulega tilgreindur í cm/klst og gefur til kynna mörk þess vatns sem frosið er eða hvað ísbrúnin í vörunni færist langt inn í vöruna á klukkustund. Athuganir á áhrifum frystihraða á gæði og næringargildi vöru hafa leitt í ljós að í fæstum tilfellum verða neikvæðar breytingar á vörunni ef fryst er með hraða sem er meiri en 0,3 cm/klst. Í frystiðnaði er nú almennt fryst með hraða sem er meiri en 1 cm/klst, vegna hagkvæmni og vinnuhraða. Frysting í loft- eða plötufrysti með frystinhraðinum 0,5-3,0 cm/klst er skilgreind sem hraðfrysting (Sigurjón Arason og Lárus Ásgeirsson, 1984). Í loftfrysti er lofthraði mjög mikilvægur, þar sem frystihraði er meiri eftir því sem lofthraði er meiri. Hins vegar er mælt með því að lofthraði sé ekki meiri en 3-4m/s því annars er hætt á því að varan þorni (Nilsson, 1994).

Frystihraði er mjög mikilvægur þar sem hann hefur áhrif á stærð ískristalla sem myndast við frystinguna. Við hæga frystingu er ísmyndun utan fruma hraðari, sem veldur því að saltstyrkur verður mun hærri heldur en innan þeirra. Við það streymir hluti af vatni fruma út á milli frumanna vegna osmótísks þrýstings. Við það eykst hlutfall uppleystra efna í frumunum sem tefur fyrir frystingu í þeim. Hætta er á því að ískristallarnir verði stórir og valdi skemmdum á frumunum. Meira drip kemur úr fiski sem hefur verið hægfrystur. Við hraða frystingu nær vatn hins vegar ekki að streyma úr frumunum áður en það frýs og hefst ísmyndun í frumunum sjálfum. Lögum fiskvöðvans helst þá næstum

óbreytt og verður þá um mjög litla eyðileggingu að ræða. Ástand fiskvöðvans fyrir frystingu, þ.e. hvar í dauðastirðnunarferlinu hann er, hefur þó einnig áhrif á kristallastærð eða staðsetningu þeirra (Love og Robertson, 1968, Sigurjón Arason og Lárus Ásgeirsson, 1984).

Helstu þættir sem að hafa áhrif á frystihraða eru: stærð og lögun þakningar, varmaleiðni fiskholdsins, upphafs- og lokahitastig fiskholdsins, varmaflutningur frá fiskholdinu yfir í kælimiðilinn og hitastig kælimiðilsins. Til að frystihraði sé sem mestur þarf þakning að vera sem köntuðust, varmaleiðnin sem mest, upphafshitastig sem næst frostmarki, góð varmaskipti við kælimiðil og sem mestur hitastigsmunur milli fiskholds og kælimiðils. Hitastigsmunur milli holds og miðils má þó ekki vera of mikill miðað við varmaleiðni og varmaflutning því að þá kemst varminn ekki nógu hratt frá fiskinum og ysta lagið þornar (Sigurjón Arason, 1995b).

3.3 Íshúðun og umbúðir

Við geymslu í frosti er hætta á þornun ef fiskur er geymdur við lélegt eða óstöðugt frost, umbúðir eru lélegar og rakastig lágt. Íshúðun sem myndar einangrandi lag eða filmu utan um afurðir hindrar rakatap og dregur úr þránun. Við íshúðun er frosnum afurðum dýft í vatn eða vatni úðað yfir þær. Þykkt íshúðar ræðst m.a. af stærð, lögun og hitastigi afurðar og hitastigi vatnsins og tímalengd í vatni. Við húðunina hækkar hitastig upp í allt að -10°C og þarf því að kæla vöruna aftur niður í geymsluhitastig. Tíminn sem líður þar til geymsluhitastigi er náð er háður þeim búnaði sem notaður er til kælingar. Hitastigssveiflur eru almennt óæskilegar við geymslu frystra afurða. Hröð kæling er betri m.t.t. drips við þíðingu, þar sem sá tími sem afurðin er við herra hitastig er stytur. Við hæga kælingu verður endurkristöllun sem hefur áhrif á vöðvaprótein og getur skemmt frumuhimnur (Nilsson, 1994). Ef hitastig í frostgeymslu er lélegt og sveiflukennt fellur íshúðin af og myndar lausan snjó í umbúðunum.

Þornun frosinna afurða veldur því varan léttist en einnig á ákveðin gæðarýrnun sér stað. Aðgengi súrefnis verður auðveldara og þránun verður hraðari. Þetta á sérstaklega við um feita fiska en þránun á sér einnig stað í mögnum fiski eins og þorski. Ýmis óæskileg bragð- og lyktarefni myndast en auk þess getur þornun orðið sýnileg, þ.e. hvítir blettir

eða frostbruni myndast á yfirborði afurðarinnar (Slavin, 1968, Storey og Graham, 1980/1981).

Umbúðir sem eru notaðar fyrir frosnar fiskafurðir verða að hindra flæði raka og súrefnis og mega ekki taka upp fitu eða vatn. Þær eiga að falla þétt að vörunni til þess að draga úr rými fyrir loft sem gæti hraðað oxun eða tekið til sín raka úr vörunni. Best er að nota plastumbúðir eða vaxbornar umbúðir til að draga úr þornun (Guðmundur Stefánsson, 1996).

3.4 Geymsluþol á frystum fiski

Með geymsluþoli er átt við þann tíma sem varan er neysluhæf, þ.e. sá tími sem varan heldur enn helstu gæðaeinkennum sínum, s.s. bragði, lykt, útliti, áferð, eða lágum fjölda örvera. Geymsluþol er mikilvægur þáttur við vinnslu og markaðssetningu sem segir til um hversu lengi vara geymist áður en gæðarýrnun er orðin það mikil að varan sé orðin óhæf eða lítt kræsileg til neyslu. Hún þarf hins vegar ekki að vera komin á það stig að vera hættuleg til neyslu þó að sá möguleiki sé fyrir hendi.

Helstu þættir sem takmarka geymsluþol eru örverur, efnabreytingar og starfsemi ensíma. Í ferskum afurðum eru það einkum örverur sem takmarka geymsluþol. Í frystum afurðum er örverum haldið í skefjum þannig að aðrir þættir s.s. þránun, þornun, áferðar- og litabreytingar eru takmarkandi fyrir geymsluþol. Til að meta geymsluþol frystra afurða eru einkum beitt skynmati en einnig má beita efnafræðilegum aðferðum, t.d. mælingum á myndefnum þránunar og eðlisfræðilegum aðferðum til að fylgjast með áferðarbreytingum (Guðmundur Stefánsson, 1996).

3.5 Hitastig í frostgeymslu

Hitastig við geymslu fisks í frosti skiptir miklu máli fyrir stöðugleika hráefnisins. Eins er mikilvægt að varan hafi náð geymsluhitastiginu áður en hún er sett í geymslu þar sem hitastig afurðarinnar lækkar mjög hægt við þær aðstæður. Breytingar í afurðinni af völdum örvera eru engar við hitastig undir -15°C en eðlis- og efnabreytingar í afurð eiga

sér stað við mjög lágt hitastig. Í flestum tilfellum hægir á öllum breytingum við lækkun á hitastigi, en virkni sumra ensíma er mjög mikil á ákveðnu hitastigsbili, t.d. er það ensím sem veldur niðurbroti á trimetylamínnoxíð (TMAO) mjög virkt niður að storknunarhitastigi salts (NaCl) sem er $-21,6^{\circ}\text{C}$. Styrkur salts í upplausn eykst með lækkandi hitastigi og vegur að einhverju leyti upp minnkandi virkni vegna lækkandi hitastigs. Sé verið að hugsa um sem besta geymslu á fiski, ætti að miða við -25°C sem hámarkshitastig (Sigurjón Arason og Lárus Ásgeirsson, 1984).

Við niðurbrot á TMAO myndast dímetýlamín (DMA) og formaldehýð (FA). Formaldehýð tengist við prótein og skemmir þau, þ.e. veldur því að þau tengjast og áferð fisksins verður seig eða gúmmíkennd. DMA myndast hægt í frystum fiski og er magn þess stundum notað sem mælikvarði á skemmdir í frystum fiski. Til að hægja á þessari breytingu er best að geyma fiskinn við jafnt og mikið frost. Hins vegar stöðvast þessi breyting ekki að fullu þó að hitastigið sé komið niður í -30°C . Hitastigsveiflur s.s. við flutning á frystum fiski geta leitt til þess að niðurbrot TMAO gerist hratt og seigjumyndun verði ör. Rannsóknir sýna að í þorskfiskum myndast DMA hraðast við -5°C (Guðmundur Stefánsson, 1996).

Hitastig í frostgeymslu skiptir m.a. máli fyrir afmyndun próteina og oxun á fitu. Afmyndun próteina við tvö geymsluhitastig (-20°C og -30°C) hefur verið skoðuð og tengsl við breytingar í áferð og virkni metin. Seigja reyndist vera svipuð fyrir bæði hitastigin en leysni í 0,6M NaCl var heldur lægri eftir geymslu við -20°C . Samkvæmt afmyndun á leysni próteina eftir frostgeymsluna, virtust brennisteinsbrýr hafa meira að segja eftir geymslu við -30°C . Aftur á móti skiptu samgild tengi (sem ekki voru tvísúlfíðtengi) meira máli eftir geymslu við -20°C (Careche o.fl., 1998).

Rannsóknir hafa verið gerðar á áhrifum tíma og hitastigs (-7 , -12 , -15 , -21 , -29 , -62°C) við geymslu á frosnum lýsingsblokkum („red hake“). Seigja og breytingar á áferð (trefjakenndari) voru takmarkandi þættir fyrir geymsluþol. Breytingarnar voru mun hraðari ef hitastig var yfir -15°C , má þar t.d. nefna hlutfallslegar breytingar í áferð voru mjög litlar við hitastig undir -29°C . Línuleg fylgni á milli geymsluþols og geymsluhitastigs var mikil á hitastigsbilinu -7 til -15°C . Við lægra hitastig voru áhrif á geymsluþol ekki eins mikil (Licciardello o.fl., 1982).

Hitastig í geymslu hefur áhrif á virkni ensíma sem brjóta niður fitu. Virknin er mest í upphafi geymslu en minnkar eftir því sem líður á geymslutímann vegna afmyndunar á

ensímunum. Fosfólípasi virðist þó hafa mjög gott þol í frosti. Aukin fósfólípasavirkni hefur greinst í þroski sem geymdur var við -30°C fyrstu 8 vikurnar en við lengri geymslu (12 vikur) minnkaði virknin aftur (Chawla o.fl., 1988). Hitastigssveiflur geta haft áhrif á myndun frírra fitusýra og oxun fitu en máli skiptir hvað þær eru miklar. Rannsóknir á frosinni síld hafa sýnt að sveiflur í hitastigi á bilinu -28°C til -18°C höfðu ekki áhrif við geymslu, en ef hitastig fór upp í -10°C varð marktæk aukning í magni peroxíðs og frírra fitusýra (Bilinski o.fl., 1981). Hröð frysting og geymsla við lágt hitastig (-14°C til -29°C) er talin draga til muna úr myndun frírra fitusýra í þorskvöðva (Lovern, 1962).

4 ÞÍÐING

Þíðing er andhverfa frystingar en mun viðkvæmara ferli og tekur lengri tíma. Það er vegna þess að varmaleiðni ófrosins fiskholds er $1/4$ - $1/3$ af varmaleiðni frosins fiskholds. Auk þess má hitastigsmunur milli fiskholds og varmamiðils ekki vera of mikill vegna hættu á að ysta lagið ofhitni eða sjóði. Ysti hluti fiskholdsins er einnig viðkvæmari fyrir skemmdarferlum eftir að hiti hefur hækkað (Sigurjón Arason, 1995b).

Þiðnun má skipta í tvö skref, þ.e. hálfþiðnun (temprun) og þiðnun. Eftir hálfþiðnun er lægsta hitastig í fiskinum á bilinu -2 til -7°C og hluti vatnsins því enn frosinn. Eftir þiðnun er ekkert vatn frosið og getur lægsta hitastig verið um -1°C (Sigurjón Arason, 1994). Eins og áður hefur komið fram er frostmark vatns í vöðva lægra en þegar um hreint vatn er að ræða. Við þiðnun geta efnahvörf verið mjög hröð og því getur þíðingaraðferð verið mjög mikilvæg m.t.t. gæða afurðarinnar (Nilsson, 1994). Margar mismunandi aðferðir hafa verið notaðar en val á aðferð er m.a. háð stærð og tegund fiska (Vyncke, 1978) og hvort um flök eða blokk er að ræða. Tíminn sem það tekur afurðina að þiðna er einnig mjög mikilvægur. Við þíðingu á sér stað endurkristöllun og kristallar stækka. Þetta á sérstaklega við þegar fiskur er látinn þiðna við lágt hitastig, þá er bráðnun mjög hæg og fiskurinn er lengi við frostmark. Meiri hætta er á því að kristallar skemmi himnur og röskun á ósmótísku jafnvægi meiri. Ástæða þess að fiskur hefur verið þíddur í kæli, er að hætta á örveruvexti er meiri eftir því sem að hitastig í fiskinum er hærra. Ef tekið er tillit til þeirra breytinga sem eiga sér stað í vöðvanum sjálfum hefur verið mælt með því að þíðing sjálf gangi hratt fyrir sig en fiskurinn sé síðan kældur strax eftir

þíðingu (Nilsson, 1994). Þetta á við um fisk sem er búinn að fara í gegnum dauðastirðnun en ef fiskurinn er enn í dauðastirðnun er betra að þíða fiskinn hægt (sjá umfjöllun um dauðastirðnun bls 10).

Hægt er að flokka aðferðir við þiðnun matvæla eftir því hvernig varmaflutningur á sér stað á milli hitagjafa og matvæla (Tafla 4.1.). Hægt er að þíða fisk með ýmsum aðferðum, s.s. með kyrru lofti, með loftblæstri, í vatni, við undirþrýsting og raka, með rafmagni og með örbylgjum. Þrjár síðastnefndu aðferðirnar eru nokkuð flóknar og dýrar (Alda Möller, 1986). Mikilvægt er að nota aðferð sem að gefur hagstæðar hitastigsbreytingar fyrir gæði fisksins. Erfitt er að finna þessa aðferð nema að þekkja allan vinnsluferilinn og forsögu hráefnisins. Hagkvæmast hefur þótt að þíða fisk í rökum loftblæstri, með vatnsúða eða í vatnskari (Sigurjón Arason, 1995b).

Tafla 4.1. Flokkun aðferða við þiðnun matvæla eftir því hvernig varmaflutningur á sér stað.

I	Leiðni	Logn	Náttúruleg þiðnun
		Blástur	Rakt eða rakamettað loft við hámarkt 20°C
		Vatnsbað	Volgt vatn við 20°C hámark
		Vatnsúði	Volgt vatn við 20°C hámark
		Plötur	Blokk milli platna með hitamiðli
		Gufuhitun	Hitun við undirþrýsting, mettuð gufa
II	Geislun	IR geislar	
III	Torleiðni	Hátíðni	
		Örbylgjur	
IV	Viðnám		Rafstraumur 50 Hz, stillanleg spennan
V	Samsett		Samsett úr einhverjum ofangreindum aðferðum

Tekið úr samantekt um tvífrystingu hráefnis (Sigurjón Arason, 1995b)

Þíðing í kyrru lofti fer fram við 15-20°C, þarf mikið rými og hætta er á að yfirborð fisksins geti þornað. Hún tekur mun lengri tíma en þíðing með loftblæstri þar sem bæði er hægt að stýra lofthraða og raka til að örva þiðnun (Alda Möller, 1986). Þíðing með loftblæstri er aðferð sem er heppileg fyrir fiskverkendur, kerfið þarf lítið pláss, er hagkvæmt í rekstri og hentar sérstaklega vel fyrir verkendur sem vinna frosin flök.

Nauðsynlegt er að hita loftið (20°C) sem kólnar þegar því er blásið (2-8m/s) yfir kalt yfirborð fisksins. Mikilvægt er að fylgjast vel með hitanum og forðast það að þíðingin gangi mishratt fyrir sig, þannig að hluti fisksins sé löngu þíddur áður en allur fiskurinn er tilbúinn. Þessi aðferð er þó auðveld í stjórnun og hægt er að stjórna bæði tíma og yfirborðshita og fá þannig jafna þíðingu sem er jákvæð bæði fyrir nýtingu og gæði afurða. Best er að loftið sé sem næst rakamettað til að auðvelda varmaflutning og flýta fyrir þíðnun. Vatni er úðað í hlýtt loftið áður en það berst að fiskinum (Sigurjón Arason, 1995b).

Vatnsþíðing er mikið notuð og ein útgáfan er sú að setja rétt hlutfall af vatni og fiski í ker þannig að vatnið hiti fiskinn það mikið að lokahiti sé nálægt 0°C. Kosturinn við þessa aðferð er að auðvelt er að stjórna hitanum í fiskinum og blóð skolast úr fiskholdinu sem verður ljósara. Ókosturinn er sá að gerlar dreifast auðveldlega um fiskinn (Sigurjón Arason, 1995b). Hægt er að þíða heilan fisk eða blokkir með þessari aðferð en ekki flök. Þau tapa verulega bragði og verða vatnssósa. Í stað þess að dýfa fiski í vatn við þíðingu er einnig hægt að úða hann með volgu vatni. Aðferðin er ódýr og auðveld ef nóg vatn er á staðnum (Alda Möller, 1986).

4.1 Drip við þíðingu

Afmyndun próteina við frystingu leiðir til drips við þíðingu, þ.e. vatn lekur út úr vöðvanum við þíðingu. Um leið hækkar styrkur uppleystra efna (salta) í því vatni sem eftir er lítillega (Deng, 1977). Drip hefur áhrif á nýtingu þar sem það getur verið allt að 15% (Cormier og Leger, 1987), þó að lægri tölur séu algengari eða 3-5% (Jul, 1984).

Drip hefur verið tengt þremur þáttum; innri þrýstingi í afurðinni, áhrifum af myndun ískristalla og óafturkræfu vatnstapi úr frumum. Innri þrýstingur sem myndast við frystingu er talin geta valdið óæskilegum breytingum á vöðvanum, sérstaklega þegar um stærri vöðvastykki er að ræða. Tilgátan er sú að ysta lag matvælisins sem frýs fyrst myndi harða skel sem hindri þrýsting þess innri hluta. Þessi þáttur er þó ekki talinn hafa mikil áhrif á drip (Jul, 1984). Stærð ískristalla er mikilvæg m.t.t. drips, eins og komið er inn á í umfjöllun um frystihraða (bls. 14-15). Stórir kristallar geta valdið skemmdum á frumum og auknu vatnstapi við þíðingu. Þættir sem hafa mikil áhrif á stærð ískristalla

eru frystihraði og geymsluhitastig. Stórir kristallar sem myndast við frystingu valda meiri skemmdum í vöðvanum og þar með meira dripi. Við sveiflur í geymsluhitastigi stækka kristallar hraðar og hitastigið sjálf skiptir einnig miklu máli þar sem hátt hitastig (0 til -10°C) leiðir til aukins drips. Þegar um -20°C er náð, eru breytingar í dripi vs. frekari hitastigslækkun orðnar hægar (Jul, 1984). Óafturkræft vatnstap úr frumum orsakast af óafturkræfum breytingum í vöðvanum s.s. afmyndun próteina sem leiðir til þess að vatnsbindigeta þeirra minnkar. Einnig verður vatnstapið vegna osmótíks þrýstings sem skapast við frystingu (sjá umfjöllun um frystingu bls.13), sem leiðir til þess að vatn flyst til í vöðvanum. Við þíðingu bindst vatn að ákveðnu marki aftur í vöðvanum á sama hátt og fyrir frystingu en hluti þess er lausar bundin og getur auðveldlega lekið úr vöðvanum.

5 TVÍFRYSTING

Tvífrysting hefur verið stunduð frá miðjum sjöunda áratugnum í Kanada, Noregi, Danmörku, Bretlandi og víðar. Megintilgangur tvífrystingar er að jafna út sveiflur sem eru í fiskveiðum og ná þannig betri nýtingu á vinnslubúnaði og vinnuafli. Hráefni sem er fryst á meðan það heldur sem mestum gæðum og er síðan unnið og fryst aftur, gefur betri afurð en einfryst vara ef hráefnið hefur beðið í nokkra daga fyrir vinnslu. Helst er um að ræða bolfisk sem er frystur heill eða flakaður um borð í frysti- eða verksmiðjutogurum. Þíðing og frekari vinnsla fer fram í landi. Lítil gæðaryrnun verður á góðu hráefni við tvífrystinu samanborið við einfrystingu. Hráefni af takmörkuðum gæðum ætti ekki að nota til tvífrystingar. Mikilvægt er að standa vel að frystingu og þíðingu, annars getur drip aukist og geymsluþol styst allverulega. Best er að þíða heilan fisk í vatnsbaði en flök í rakamettuðu lofti. Ef vandað er til verka má reikna með nýtingu sem er 0,5-1,5% lakari en ef unnið væri úr fersku hráefni (Sigurjón Arason, 1995b).

Alda Möller (1985) tók saman niðurstöður úr rannsóknum á einfrystingu og tvífrystingu þorsks við Nýfundnaland 1964-68. Ástand fisks við veiði og meðferð fyrir fyrri frystingu hafði meiri áhrif á áferð uppþídda fisksins og nýtingu en það hvort að fiskurinn var ein- eða tvífrystur. Best var að frysta fiskinn heilan fyrir dauðastirðnun, m.t.t. þyngdartaps við þíðingu. Ekki kom fram marktækur munur á skynmati á einfrystum og tvífrystum

fiski fljótlega eftir seinni frystingu. Hins vegar virtist gæðum tvífrysta fiskisins hraka örar í frostgeymslu þó að hann væri enn vel neysluhæfur eftir árs geymslu í frysti. Rannsóknir á Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins á áhrifum tvífrystingar á gæði þorsks leiddu í ljós að einfrystur þorskur (slægður án hauss) tapaði um 2% af þyngd sinni við þiðnun en flök úr tvífrystu hráefni töpuðu 5-7,5% við seinni þiðingu. Í eldri rannsóknum hafði komið í ljós að venjuleg einfryst flök úr góðu hráefni töpuðu um 5-10% af þyngd sinni við þiðnun. Því var vatnstap við þiðingu tvífrysta fiskisins talið síst meira en við þiðingu venjulegra afurða. Við mat á vatnstapi við þiðingu á heilum fiski varð einnig að taka tillit til þess að þyngdarrýrnun við geymslu í ís var áætluð um 0,17% á dag þannig að tvífrysting var ekki talin lakari kostur. Niðurstöður úr skynmati bentu til þess að tvífrysting hefði ekki afgerandi áhrif á áferð, þó ekki væri hægt að fullyrða um áhrif af löngum geymslutíma (Alda Möller, 1985).

Hurling og McArthur (1996) skoðuðu áhrif af þiðingu, tvífrystingu og geymslu á virkni próteina og skynræna eiginleika þorsks. Tvenns konar þiðing var notuð fyrir endurfrystingu, annars vegar voru flökin þídd upp í lofti við 5°C í 30 klst, hins vegar í vatni við 18°C í 45 mín. Hitastig í frostgeymslu var -22°C. Niðurstöður úr skynmati eftir 9 mánaða geymslu í frosti sýndu að ekki var munur á tvífrystum fiski þíddum í vatni og einfrystum fiski. Fiskur sem var þíddur í lofti var með gráleitari blæ og verri bragðgæði. Eftir viku geymslu kom fram munur á leysni próteina í ein- og tvífrystum fiski, hins vegar var lítill munur á hópunum eftir 9 mánuði. Samkvæmt niðurstöðum úr NMR-greiningum (NMR = nuclear magnetic resonance) var ekki munur á staðsetningu vatns í vöðvanum eftir því hvort hann var einfrystur eða tvífrystur. Aftur á móti var vatnsheldni minni í tvífrystum fiski (Hurling og McArthur, 1996).

6 BREYTINGAR Í FISKHOLDI VEGNA FRYSTINGAR

6.1 Prótein - afmyndun vegna frystingar

Við geymslu í frysti verða breytingar á eiginleikum próteina og þau eðlissviptast að ákveðnu marki. Ýmsir þættir valda þessu en hægt er að skipta þeim í þrjá flokka: a) þættir sem tengjast breytingum á vatni í fiskvöðva, b) þættir sem tengjast breytingum á

fitu í vöðvanum og c) þættir sem tengjast virkni ákveðins ensíms (TMAOasa). Við frystingu á vatni í vöðvanum, gerist þrennt sem stuðlar að afmyndun próteina; myndun kristalla, saltstyrkur í umhverfi próteina eykst og þau tapa vatni að einhverju leyti. Kristallar valda ákveðnum skemmdum í vöðvanum og þrýstingur sem myndast við frystinguna hefur áhrif á byggingu vöðvans. Sýnt hefur verið fram á að fjarlægð á milli mýósínþráðunga minnki við geymslu sem leiðir að krosstenginga á milli þeirra. Próteinin tapa einnig hluta af því vatni sem er bundið þeim og sem tekur þátt í að viðhalda byggingu þeirra. Við það verða svæði á yfirborði þeirra „óvarin“ og tengi á milli vatnssækinnna og vatnsfælinna svæða myndast, bæði innan og á milli próteina. Við frystingu helst ákveðinn hluti vatns ófrosinn og því vex styrkur uppleystra efna í þeim fasa. Aukinn saltstyrkur hefur bæði áhrif á flæði í gegnum frumuhimnur og eiginleika próteina. Mýósín verður fyrir mun meiri áhrifum heldur en aktín sem helst tiltölulega stöðugt í gegnum frystingu (Shenouda, 1980).

Áhrif fitu á prótein við geymslu fisks í frosti, eru mismunandi eftir því á hvaða formi fitan er, sem lipíð; fríar fitusýrur eða myndefni oxunar (Mackie, 1993). Fríar fitusýrur sem losna við ensímatískt og óensímatískt niðurbrot fitu tengjast próteinum, draga úr leysanleika þeirra og hafa neikvæð áhrif á áferð. Oxun fitu leiðir ekki aðeins af sér þránun, myndefni hvarfast einnig við prótein og valda óæskilegum breytingum á næringargildi og eiginleikum próteina (Shenouda, 1980).

Virkni TMAOasa er talin vera mjög mikilvæg í þorski og fiskum af sömu tegund. TMAOasi brýtur niður TMAO (trimethylamine oxide) í FA (formaldehyde) og DMA (dimethylamine) (Krueger og Fennema, 1989). Myndun FA leiðir til krosstenginga á milli próteina sem veldur því að fiskurinn getur orðið seigari eftir frystingu (Owusu-Ansah og Hultin, 1986, Ragnarsson, 1988) og ekki eins safaríkur (Mackie, 1993). Niðurbrot TMAO er háð geymsluhitastigi og geymslutíma en frystihraði og hraði þíðingar virðast ekki hafa áhrif (Sotelo o.fl., 1995).

Ákveðnir þættir eru skoðaðir til að meta áhrif frystingar á prótein, s.s. leysanleiki próteina, drip, vatnsheldni, áferð, eiginleikar útdreginna próteina (-SH hópar, mólþungi, seigja) og ensímvirkni (Shenouda, 1980). Ákvörðun á leysanleika próteina er aðferð sem hefur verið mikið notuð til að meta breytingar á próteinum. Þessi þáttur gefur óbeinar upplýsingar um afmyndun próteina en hins vegar fást litlar upplýsingar um hvaða breytingar eru að eiga sér stað. Minnkandi leysanleiki próteina við geymslu fisks í frosti,

er fyrst og fremst tengdur breytingum á myósíni. Leysanleiki aktíns í þorskvöðva hefur mælst nokkurn veginn sá sami eftir geymslu í frosti og í ferskum þorski. Áhrif á leysanleika umfrymispróteina (sarcoplasmic) próteina eru einnig lítil. Þó að almennt sé talið að leysanleiki þeirra breytist lítið við geymslu í frosti er ekki þar með sagt að þau verði ekki fyrir einhverjum breytingum. Mörg þessara próteina eru ensím sem gjarnan hafa minni virkni eftir geymslu í frosti. Einnig hefur verið sýnt fram á að styrkur ákveðinna sarcoplasmic prótein minnki (Mackie, 1993).

Fylgni hefur fundist á milli minni leysni og aukinnar seigju með geymslutíma í frosti. Eins hefur komið í ljós há fylgni á milli leysni próteina og drips við þíðingu. Breytingar í vatnsfælni eru í öfugu hlutfalli við breytingar í leysanleika. Ýmsar aðferðir hafa verið notaðar til að skoða leysanleika próteina og það gerir samanburð á milli rannsókna erfiðan. Aðrir áhrifavaldar eru þættir eins og ástand fisks, hitastigssveiflur í frostgeymslu, umbúðir og á hvaða vinnslustigi fiskurinn er, t.d.. hvort um heilan fisk, flök eða marning er að ræða (Mackie, 1993).

6.2 Áferðarbreytingar við frystingu

Við frystingu á fiski er hætta á ákveðnum áferðarbreytingum, fyrst og fremst verður fiskurinn seigari. Þeir þættir sem hafa áhrif á seigjumyndun í frosnum fiski eru geymsluhitastig, hitastigssveiflur, breytingar í vatni, geymslutími og niðurbrot ensíma. Eins og kemur fram hér að framan („Prótein - afmyndun vegna frystingar“) skiptir virkni TMAOasa og niðurbrot TMAO í FA (formaldehýð) miklu máli fyrir seigjumyndun í þorski (Krueger og Fennema, 1989). Þrátt fyrir að myndun formaldehýðs sé stór þáttur í seigjumyndun í þorski, hafa rannsóknir sýnt að aðrar tegundir svo sem ýsa verða fyrir álíka gæðarýrnun geymslu í frosti. Myndun seigju og þornun eru því þættir sem koma fram í sambærilegu hlutfalli þó munur sé á milli tegunda í hraða breytinganna (Mackie, 1993).

Afmyndun próteina og tengingar próteina („aggregation“) skipta einnig miklu máli fyrir áferðarbreytingar og þar með fyrir gæðarýrnun á frystum fiski. Sýnt hefur verið fram á aukna seigju í þorski og ýsu sem geymd voru við -20 eða -30°C í 12 mánuði. Seigja varð meiri í fiski sem geymdur var við -20°C. Þau próteinhneppi („aggregates“) sem

mynduðust við fyrra hluta geymslunnar voru fyrst og fremst tengd með vatnsfælnum tengjum, vetnistengjum og elektrískum tengjum. Eftir 8 mánaða geymslu á þroski við -20°C og 12 mánaða geymslu við -30°C höfðu myndast hringlaga hneppi með samgild tengi. Áhrif á áferð voru merkjanleg. Fyrri hluta geymslutímans tók formaldehyð þátt í myndun ósamgildra tengja og samgildra tengja sem voru viðkvæm fyrir síru. Eftir lengri geymslutíma mynduðust tvísúlfíðtengi og síruþolin samgild tengi (Howell, 1996).

Við afmyndun próteina breytast einnig vatnsheldnieiginleikar vöðvans og við þíðingu tapar fiskurinn því vatni. Samkvæmt Kim og Heldman (1985) sem skoðuðu breytingar á áferð þorsks við frystingu, var seigjumyndun fyrst og fremst tengd próteinafmyndun og minni samloðun („cohesiveness“) tengd minni vatnsheldni í vöðvanum (Kim og Heldman, 1985).

7 LÉTTPÆKLUN FYRIR FRYSTINGU

Léttþæklun ein og sér, er talin hafa áhrif á bragð, vatnsheldni, áferð, lit og geymsluþol fisks. Tilgangur léttþæklunar fyrir frystingu er að auka stöðugleika, vatnsheldni og nýtingu við flakavinnslu. Saltið hefur áhrif á það vatn sem ófrosið er í fiskinum og þar með á þær breytingar sem eiga sér stað í fiskholdinu við frystingu. Með þessari aðferð ætti að vera hægt að stjórna betur áferð fiskholdsins, fá jafnari gæði og vökvaríkari afurðir. Þannig væri hægt að mæta betur þeim kröfum sem neytendur gera. Mögulegir ókostir við léttþæklun eru hætta á örverumengun á milli flaka.

7.1 Virkni salts og fosfata í vöðvanum

Við söltun verða breytingar á próteinum, mismiklar eftir styrk og samsetningu saltsins. Við lágan saltstyrk skýla og bindast jónir hleðslum á próteinum sem leiðir til þess að breytingar verða á aðdráttar- og fráhrindikröftum á milli próteinþráða. Við aukna fráhrindikrafta eykst rými á milli próteinþráða, þannig að vöðvinn getur tekið upp meira vatn. Salt (NaCl) getur einnig afmyndað prótein að hluta til og losað mysín mólíkúl í sundur en nær ekki að rjúfa tengingar á milli aktíns og mýósíns. Fosföt geta hins vegar

gert tengi á milli aktíns og mýósíns veikari og jafnvel losað próteinin í sundur (Offer og Knight, 1988).

Ýmsar kenningar eru til um virkni fosfata í vöðva. Hún getur verið fólgin í áhrifum á sýrustig, jónastyrk og víxlverkun (bindingu) við tvígildar jónar og vöðvaprótein. Áhrif á vatnsheldni geta verið mismikil eftir gerð fosfata, styrk og hráefninu (Lindsay o.fl., 1981). Langar fjölfosfatkeðjur eru taldar auka upptöku vatns en styttri keðjur auka vatnsheldni, þ.e. meiri kraft þurfi til að þrýsta vatni úr vöðvanum en ella. Fosföt eru einnig talin geta aukið víxlverkun á milli próteina og vatns (Xiaowen, 1996).

Offer og Knight (1988) nefna sérstæk áhrif pyrofosfats á upptöku vatns og leysni mýósíns. Pyrofosfat og þrífosfat geta bundist haus mýósínsins og geta valdið því að tengi á milli mýósíns og aktíns rofna. Þrífosfat kemur þannig í staðinn fyrir ATP. Fjölfosföt sem bindast við hala mýósíns, valda því að mýósínkeðjur losna í sundur í stök mýósín mólíkúl. Styrkur Mg^{2+} og Ca^{2+} , fosfata, hitastigs og sýrustigs hefur áhrif á þessi ferli (Trout og Schmidt, 1984). Þegar salt og fosfat er notað saman, er fosfat talið lækka styrk salts sem þarf til að ná hámarks þenslu í vöðvanum en ekki geta aukið hana umfram það sem hægt er að ná með salti eingöngu (Paterson o.fl., 1988). Lækkun á salti eða natríum í fæðunni með því að nota fosfat samhliða salti, hefur verið talin jákvæð m.t.t. næringarlegra sjónarmiða (Detienne og Wicke, 1999).

Sölt hafa verið notuð til að auka stöðugleika próteina við frystingu. Karl Ragnarsson (1988) skoðaði áhrif mismunandi salta á eiginleika fiskhakks (þ.á.m. þorsks). Sölt sem juku á stöðugleika próteina s.s. NaCl, NaAc og Na₂SO₄, drógu úr seigjumyndun (Ragnarsson, 1988). Sýnt hefur verið fram á að kalsíum og magnesíum sölt auki á seigjumyndun og dragi úr vatnsheldni (Haq o.fl., 1984, Horner, 1997). Kalsíum og magnesíum jónir bindast próteinum sterkar en natríum jónir og eru taldar draga úr vatnsheldni með því að krosstengja vöðvaþráðunga (Hamm, 1960).

7.2 Salt og fosföt - áhrif á nýtingu

Áhrif léttþekklunar á nýtingu eru fólgin í upptöku þækils fyrir frystingu og minna dripi við þíðingu. Mismunandi niðurstöður hafa þó fengist við rannsóknir á áhrifum salts og fosfata á nýtingu frystra fiskafurða. Fosföt eru talin draga úr dripi (Mahon og Schneider,

1964, Tanikawa o.fl., 1963, Woyewoda og Bligh, 1986) og í sumum tilfellum talin skila betri árangri en salt (Boyd og Southcott, 1965). Aðrir telja notkun fosfats skila óverulegum ábata (Cormier og Leger, 1987, Dyer o.fl., 1964). Einnig hefur verið bent á, að ef hráefni sé gott og vinnubrögð við frystingu vönduð, séu áhrif þæklunar óveruleg (Aitken, 1976). Þæklunin sjálf, geymsluhitastig í frysti og geymslutími eru þættir sem skipta miklu máli (Cormier og Leger, 1987). Fosfat hefur gefið góða raun við frystingu á rækju. Sýnt hefur verið fram á að þæklun fyrir frystingu bæti nýtingu og auki stöðugleika próteina (Ho, 1989).

7.3 Uptaka salts í vöðvanum - áhrifaþættir

Meðal þátta sem skipta máli við létþæklun eru þækilstyrkur, tímalengd þæklunar, hitastig í þækli og hlutfall milli fisks og þækils. Samanburður á létþæklun við mismunandi hitastig, þæklunartíma og saltstyrk hefur leitt í ljós að saltstyrkur og þæklunartími voru þeir þættir sem höfðu mest áhrif á saltupptöku í þorskflökum. Ástand fiskholdsins er einnig mikilvægt, þar sem veiðitími, veiðistaður, stærð og kyn fisks getur haft áhrif á gæði afurða. Yfirborðsflatarmál og lögun fiskins hafa einnig áhrif á upptöku salts.

Saltupptaka verður vegna osmótíks þrýstings sem myndast vegna mismunar á saltinnihaldi í holdi annars vegar og þækli hins vegar. Ef að þæklunartími er nægilega langur kemst á jafnvægi á milli fiskholdisins og þækilsins (Voskresensky, 1965). Akse o. fl. (1993) tóku saman yfirlit yfir þær breytingar sem verða í fiskvöðva við þæklun út frá rannsóknum sem gerðar hafa verið á fiski og kjöti (Akse o.fl., 1993). Í byrjun þenst vöðvinn út og bindur vatn um leið og salt innihald eykst. Ákveðinn fjarlægð er á milli vöðvaþráðunga vegna aðdrátta- og fráhrindikrafta sem skapast vegna hleðslna á próteinunum. Við söltun breytist þetta bil vegna þess að sölt bindast hleðslunum. Við lágan saltstyrk er talið að það séu fyrst og fremst anjónir, sem að valda auknum fráhrindikröftum á milli þráðunganna. Vöðvinn þenst út og rými fyrir vatn eykst. Tenging á milli próteina og vatns verða sterkari en á milli próteina og meira vatn er bundið í vöðvanum. Hámarks vatnsbinding er talin vera við um 5-6% og við hærri saltstyrk (>10%) leiðir afmyndun próteina til þess að vöðvinn dregst saman og

vatnsbindieiginleikar minnka. Við háan saltstyrk eru katjónir taldar bindast próteinum og valda því að fráhrindikraftar á milli próteina minnka og tengi á milli próteina verða sterkari.

7.3.1 Ástand hráefnis - áhrif á saltupptöku

Ástand fisksins við veiði og breytingar sem verða við geymslu, hafa áhrif á upptöku salts í vöðvanum. Rannsóknir á léttpæklun (pækilstyrkur 5, 10 og 15%, pækiltími 30, 60 og 90 sek) þorskflaka hafa sýnt að saltupptaka var meiri þegar fiskurinn var í lélegu næringarástandi og vatnsinnihald sem hæst. Fiskur sem veiddur var að hausti tók t.d. upp minna salt heldur en fiskur sem veiddur var í júní rétt eftir hrygningu. Geymslutími eftir dauðastirðnun (1-5 dagar) virtist ekki hafa áhrif á upptöku natríum, þyngdaraukningu við pæklun né þyngdartap við þíðingu (Ravesi og Krzynowek, 1991). Aftur á móti myndi skipti máli hvort að fiskurinn hefði gengið í gegnum dauðastirðun eða ekki. Eftir dauðastirðnun nær vöðvinn ekki að þenjast eins mikið út og fyrir dauðastirðnun vegna krosstengja á milli aktíns og mýósíns. Hins vegar verða aðrar breytingar í vöðvanum, sem geta stuðlað að því að vöðvinn geti þanist meira út, t.d. verða bandvefur og tengi í Z-diski veikari (Bello o.fl., 1981).

7.3.2 Stærð flaka og mismunandi hlutar þeirra

Stærð fiska hefur áhrif á saltupptöku, sérstaklega ef heill fiskur er pæklaður, þar sem að hlutfall yfirborðsflatarmáls m.t.t. líkamspunga skiptir miklu máli. Eftir flökun er yfirborðsflatarmál meira, og holdið opnara sem flýtir fyrir saltupptöku en þykkt flakanna er takmarkandi þáttur (Voskresensky, 1965, Zaitsev o.fl., 1969). Ef ná á einsleitum saltstyrk í holdinu er nauðsynlegt að flokka flökin eftir þykkt. Samt sem áður er alltaf einhver munur til staðar þar sem þykkt mismunandi hluta flaks er mismunandi, þar sem sporður er t.d. mun þynnri en hnakkastykki (Ravesi og Krzynowek, 1991). Þar sem ná þarf jöfnum saltstyrk í holdinu, s.s. í léttsöltuðum afurðum, má nota aðferð eins og Kosak

o.fl.,(1981) lýsir. Til að ná jafnari saltstyrk í þykkari og þynnri hlutum fisks var þróuð aðferð þar sem flöttum fiski (fiðrildaflökum) var fyrst dýpt í sterkari pækil (10%) og síðan í daufari (2%). Seinni pæklunin miðaði að því að draga salt út úr þykkari hlutum fisksins (Kosak og Toledo, 1981).

Sýnt hefur verið fram á mismunandi saltupptöku eftir því um hvaða hluta flaksins er að ræða; sporði, miðstykki eða hnakkastykki. Mest var upptakan í sporði, þar á eftir í næstþykkasta bitanum, miðstykkinu og minnst í hnakkastykkinu (Ravesi og Krzynowek, 1991). Mismunandi þykkt bitanna er augljós ástæða fyrir þessum mun en ekki má gleyma því að efnasamsetning og gerð fiskvöðvans er mismunandi eftir því um hvaða hluta fisksins er að ræða (Damberg, 1963).

7.3.3 Styrkur salts í pækli og pæklunartími

Pækilstyrkur og pæklunartími ráðast af hluta til af stærð fisks/flaka og tegund fisks. Þynnsti hluti fisksins, þ.e. næst sporði tekur hlutfallslega upp meira salt heldur en þykkari hlutar þar sem lengri tíma þarf til að salta fiskinn í gegn. Pæklunartími fyrir frystingu er oftast mjög stuttur og þjónar þá þeim tilgangi að ná fram ákveðinni afmyndun á próteinum í yfirborði. Við afmyndunina myndast eins konar lag/hindrun við yfirborðið sem að dregur úr flæði vatns. Fyrir stór flök eins og þorsk- eða ýsuflök er gjarnan notaður 15% pækil og pæklunartími er aðeins 20 sek. Fyrir minni flök eins og kolaflök er notaður sami pæklunartími en mælt með því að styrkur pækils sé að hámarki 7% (Rogers og Binsted, 1972).

Ravesi og Krzynowek, (1991) gerðu athugun á magni natríum í fiskholdi eftir pæklun við mismunandi pækilstyrk (5, 10 og 15% NaCl) og pæklunartíma (30, 60 og 90 sek). Eftir því sem að pækilstyrkur var meiri og pæklunartími lengri því hærra varð magn salts í vöðvanum. Þeir komust líka að því að pæklunartími hafði áhrif á nýtingu, þ.e. upptöku við pæklun og drip við þíðingu. Þegar pæklunartími var 120 sek, var þyngdaraukning við pæklun (10% NaCl), nærri því hin sama og þyngdartap við þíðingu (drip = 7%). Ef pæklunartími var 30 sek, var þyngdartap hins vegar um 12% en þyngdaraukning aðeins 4%. Flök sem hlutu enga meðhöndlun léttust enn meir. Áhrif á saltinnihald voru einnig metin. Eftir 120 sek pæklun í 10% pækli var magn natríum í sporði allt upp í helmingi

hærra miðað við magn eftir 30 sek. Munur var minni á fremri hluta flakanna. Minni munur var á mælingum sem gerðar voru á frosnum fiski heldur en ófrystum. Saltstyrkur pækils hafði einnig marktæk áhrif á prótein. Leysanleiki þeirra var um helmingi minni eftir pæklun í 10% pækli (60 sek) samanborið við pæklun í 5% pækli (Ravesi og Krzynowek, 1991).

Pækilstyrkur hefur áhrif á hversu mikil þyngdaraukning við pæklunina og drip við þíðingu er. Þetta hefur m.a. verið skoðað við pæklun (1 mín) á flökum af Kyrrahafsporski við mismunandi NaCl styrk (0, 4, 8, 10, 12 og 15%). Þyngdaraukning var minnst í vatni en mest í 12% pækli. Flökin voru síðan geymd í 5 daga við -20°C. Drip mældist mest í flökum sem pæklud voru í 4%, hærra heldur en í flökum sem enga meðhöndlun fengu. Drip fór minnkandi með auknum saltstyrk og mældist um 2% í flökum sem pæklud höfðu verið í 15% pækli (Boyd og Southcott, 1965). Samkvæmt niðurstöðum þeirra gæti 12-15% styrkur verið heppilegur m.t.t. nýtingar og miðað við 1 mín pæklun og meðalþyngd flaka uppá 150g. Upplýsingar vantaði um saltmagn í holdinu, en áhrif þess á bragð mega ekki vera of mikil. Boyd og Southcott (1965) vitnuðu einnig í rannsóknir Holston og Pottinger (1955), sem skoðuðu áhrif NaCl á drip ýsuflaka. Saltinnihald í ýsuflökunum mældist 0,67% eftir 1 mín og 0,98% eftir 2 mín í 5% lausn. Þeir höfðu einnig komist að því að þyngdaraukning við pæklun væri mest í 12% pækli (Holston og Pottinger, 1955).

Tarr (1942) hélt því fram að meginskýring á minna dripi úr léttþækludum fiski væri ekki vegna afmyndunar próteina í yfirborði vöðvans heldur vegna auksins saltstyrks í vöðvanum. Módelrannsóknir á lúðu sýndu að þegar saltstyrkur var orðinn um 1% í vöðvanum dró til muna úr dripi. Hann sýndi einnig fram á að lúðubitar (5 x 5 x 2,5 cm) sem settir voru í vatnsbað í 11 daga, juku þyngd sína fyrsta sólarhringinn en léttust síðan. Bitar sem pæklaðir voru í 2% pækli þyngdust mest 1. sólarhringinn en héldu síðan áfram að bæta við sig þyngd allan tímann. Verulega var þó farið að hægja á þyngdaraukningunni eftir 8. daginn (Tarr, 1942).

Pæklunartími skiptir að sjálfsögðu miklu máli fyrir saltstyrk í afurðinni og hversu langt saltið nær inn í vöðvann eftir pæklun. Eftir því sem pæklunartími er lengri tekur vöðvinn því upp mun meira salt og saltstyrkur í holdi kemst nær því að vera í jafnvægi við styrk í pækli. Eftir því sem að saltstyrkur í holdinu eykst verða áhrif salts í vöðvanum s.s. á prótein og vatnsheldni, mun meiri. Við pæklun tapast eitthvað af próteinum út í

pækilinn, tapið er mest við 6-9% pækilstyrk en minna fyrir utan þetta bil, þ.e. í hærri saltstyrk, veikari pækli eða vatni (Callow, 1931, Lawrie, 1998). Rannsóknir á kjöti hafa sýnt að vöðvinn þenst út þegar saltstyrkur er á bilinu 0,2-1M (1 M er um 5,85% NaCl), þ.e. rými fyrir vatn og vatnsheldni er meiri. Við hærri saltstyrk dregur úr þessum áhrifum og þegar saltstyrkur er orðinn hærri en 4,5M dregst vöðvinn saman. Ef kjötbíti er látinn beint í sterkan pækil (5M) tapar hann vatni en ef saltstyrkur er augin stigvaxandi frá 1-5M heldst vatnsbinding mun betur (Offer og Knight, 1988).

Við söltunina krosstengjast vöðvaprótein. Tambo o.fl. (1992) kannaði áhrif af pækilstyrk, NaCl 1-3M (5,85%-17,55% w/w) og tímalengd pæklunar. Við lágan saltstyrk var krosstenging á milli mýósínmólikúla (MHC) hröð í byrjun pæklunar en með tíma hægði á henni. Ferlið var samspil styrks og tímalengdar, sama hver styrkur pækilsins var (Tambo o.fl., 1992).

7.3.4 Hlutfall fisks á móti pækli

Hlutfall fisks á móti pækli getur skipt miklu máli ef pækunartími er langur. Styrkur pækilsins breytist á meðan á pæklun stendur. Vöðvinn tekur upp salt en vatn getur einnig lekið út í pækil ef saltstyrkur í holdi verður mjög hár, þ.e. ef prótein afmyndast og missa vatnsbindieiginleika. Eftir því sem að hlutfall pækils á móti fiski er lægra, því meiri verða áhrif af streymi vatns úr holdi á pækilstyrk.

7.3.5 Hitastig / Ís í pækli

Hitastig hefur áhrif á hversu hratt vöðvinn tekur upp salt en minni áhrif á magn salts í vöðvanum eftir pæklun að því tilskyldu að pæklunartími sé nógu langur til að jafnvægi komist á. Aðrir þættir spila einnig inn í, s.s. pæklunartími og pækilstyrkur. Þegar pæklunartími er mjög stuttur er ekki endilega marktækur munur á magni salts í vöðvanum eins og Ravesi og Krzynowek (1991) komust að en þeir skoðuðu áhrif þriggja hitastiga 6°C, 12°C og 20°C á magn natríum í holdi eftir léttþæklun (30-120sek) (Ravesi og Krzynowek, 1991). Slabyj o.fl. (1987) skoðuðu saltupptöku í síld við tvö hitastig

10°C og 0°C. Upptaka var heldur hraðari við 10°C en munur var þó ekki marktækur (Slabyj o.fl., 1987). Beraquet og Barrera (1983) gerðu samanburð á saltupptöku í maríl við 4°C og 25°C. Þækilstyrkur var 26% og þækiltími 144 klst. Saltupptaka var hraðari við 25°C og fiskurinn innihélt aðeins meira salt eftir þæklun (Beraquet og Barrera, 1983).

8 UNNIN PRÓTEIN OG ÖNNUR HJÁLPAEFNI

Í dag eru framleidd (einangruð) prótein úr jurta- og dýraríkinu sem að leysast auðveldlega upp í vatni og blandast því auðveldlega við bæði hakk og bita. Í framtíðinni er hægt að hugsa sér að prótein séu unnin úr sjávarfangi og/eða aukaafurðum sem skapast við vinnslu og ekki er hagkvæmt að nýta á annan hátt. Þessum próteinum væri þannig aftur hægt að koma inn í vinnslukeðjuna og væntanlegar söluafurðir. Aðrir próteingjafar geta einnig verið nýttir við vinnsluna, svo og önnur efni.

Sojaprótein eru sá flokkur unnina próteina sem mikið hafa verið notuð í matvælaíðnaði. Gæði þeirra næringarlega séð eru mjög góð miðað við mjólkur- og kjötprótein. Þau auka vatns- og fitubindingu í afurðum og bæta áferð og stöðugleika. Mysuprótein eru einnig þekkt fyrir góða vatnsbindieiginleika. Aðrar mjólkurafurðir, s.s. laktósi (mjólkursykur), undanrenna og mjólkurprótein, hafa verið prófuð til að bæta gæði fryst fiskhakkis. Áhrif á efnasamsetningu, lit, sýrustig, vatnsheldni og áferð voru marktæk (Anese og Gormley, 1996). Samanburður hefur verið gerður á áhrifum af íblöndun sojapróteina, kaseinats og mysupróteina á vatnsbindieiginleika ýsuhakks við hitun. Íbót próteinanna bætti vatnsbindieiginleika en áhrif sojapróteina og kaseinats voru meiri en af völdum mysupróteina (Karmas og Turk, 1976).

Rannsóknir hafa leitt í ljós að íblöndun amínósýra, amínósýrusalta og sykra hefur áhrif á afmyndun próteina (Matsumoto og Noguchi, 1971, publ. 1973). Monosodium glutamate (MSG) er salt amínósýrunnar glutamine og hefur einkum verið notað til að auka bragð (Lindsay o.fl., 1981). Það hefur einnig verið sýnt fram á að það hindri afmyndun próteina í frystum fiski (Dondero o.fl., 1989).

Japanir hafa gert rannsóknir á próteinum sem unnin voru úr skelfiski og áhrifum þeirra á eiginleika frosins „lizard“-fisks (*Saurida wanieso*). Í ljós kom að íbót þessara próteina dró úr afmyndun vöðvapróteina og hlutfall þess vatns sem ekki var frystanlegt jókst

(Darmanto o.fl., 1997b). Sömu aðilar skoðuðu einnig hvaða áhrif próteinin hefðu á sama fisk við þurrkun. Vatnsvirkni minnkaði og hlutfall ásogaðs vatns eða þess vatns sem er fast bundið í vöðvanum jókst. Einnig var sýnt fram á minni afmyndun próteina sem var talin skýrast af meiri vatnsbindingu (Darmanto o.fl., 1997a).

9 SPRAUTUN

Þekkt er að nota sprautusöltun til að bæta nýtingu, bæði í kjöt- og fiskiðnaði. Notuð hafa verið efni til sprautunar eins og salt, fosföt og bindiefni. Unnin prótein hafa verið notuð í einhverjum mæli til að auka stöðugleika við frystingu, m.a. með því að sprauta sojapróteinum inn í vöðvann (Anon, 1979, Crapo o.fl., 1999). Sojapróteinin verða að vera saltþolin og hafa ákveðna áferðareiginleika. Til að hægt sé að sprauta próteinunum í vöðva er þeim blandað í pækil. Samsetning pækilisins ræðst m.a. af afurðinni sem sprauta á; hver samsetning hennar á að vera, hve miklum pækli skal sprauta í hana og eftir hvaða áhrifum er sóst með sprautuninni (Desmyter og Wagner, 1979). Sprautun leiðir til ákveðinnar þyngdaraukningar en samsetning pækilsins hefur síðan áhrif hversu vel vöðvinn nær að halda í pækilinn. Saltstyrkur skiptir t.d. miklu máli m.t.t. afmyndunar og vatnsheldni vöðvapróteina.

Til að sýna hugsanlegan ábata í nýtinu má nefna sem dæmi framleiðslu kjötafurðar sem inniheldur eftir sprautun 69% kjöt og 31% pækil. Pækillinn sem er notaður til sprautunar inniheldur sojaprótein, salt, fosfat og efni sem kemur í veg fyrir froðumyndun. Gera má ráð fyrir að bæta megi nýtingu kjötsins um allt að 26% þegar horft er á lokaafurðina (Anon, 1978). Hér verður þó að fara eftir reglum hvers lands um framleiðsluhætti og vöruflokka.

Annað dæmi er sprautun skinku, þar sem þyngd skinkunnar er augin um 40% annars vegar og 30% hins vegar (Tafla 9.1.). Miðað er við að suðunýting sé 94% en hún getur verið breytileg eftir meðhöndlun og búnaði til suðu. Þess þarf að gæta að próteinin nái að vatnast nóg þegar pækillinn er útbúinn til að tryggja stöðugleika og jafna dreifingu í kjötinu. Byrjað er á því að blanda próteinin með vatni og því næst fosfati í þeim tilfellum sem það er notað. Að lokum er salti og öðrum efnum bætt út í. Þegar efnin eru uppleyst er pækillinn tilbúinn til notkunar (Desmyter og Wagner, 1979).

Tafla 9.1. Pæklar ætlaðir til sprautunar á skinku. Samsetning er miðuð við 40% og 30% þyngdaraukningu við sprautun (Desmyter og Wagner, 1979).

	40% auki		30% auki	
	Samsetning (%)	Sams. í loka-afurð (%) ^a	Samsetning (%)	Sams. í loka-afurð (%) ^a
Vatn	79,6	17,8 ^b	80,3	13,2 ^b
Sojaprótein (isolate)	8,0	2,4	6,0	1,5
Salt	9,5	2,9	11,7	2,9
Polyfosfat	1,3	0,4	---	---
Sodium erythorbate	x ^c	x ^c	x ^c	x ^c
Sodium nitrite-nitrate	x ^c	x ^c	x ^c	x ^c
Sykur	1,6	0,5	2,0	0,5
Samtals	100,0	24,0	100,0	18,1

^aMiðað við 94% suðunýtingu

^bViðbætt vatn

^cÍ þeim styrk sem er venjulega notaður

Nú eru menn einnig farnir að þreifa fyrir sér með að nota mikið smækkaðan vöðva til sprautunar. Skráð er einkaleyfi á slíkri aðferð sem felst í því að smækka fisk niður í agnir sem eru <1 mm. Ögnunum er blandað saman við daufan pækil og blöndunni er síðan sprautað inn í fiskvöðva (Jacquier o.fl., 2000, Wheeler o.fl., 1990). Sýnt hefur verið fram á aukna nýtingu í vinnslu kjöts og fisks með því að sprauta afurð með pækli sem inniheldur smækkaðan vöðva (af sömu gerð og afurðin). Hitastig vöðvans var 3 - 9°C en hitastig lausnarinnar (-9) - (-4)°C (Cozzini og Walker, 1991). Hugsanlegt er að ná um 8-50% aukningu í nýtingu við sprautun á smækkuðum vöðva í fiskivöðva (Simon o.fl., 1981).

10 VATNSHELDNI (WHC) FISKHOLDS

Þegar talað er um vatnsheldni í matvælum er átt við hversu vel matvæli halda í það vatn sem þau innihalda við ákveðin skilyrði. Vatnsheldni er hægt að mæla á einfaldan hátt, með því að setja ákveðið magn af fiskvöðva í skilvindu. Við það má segja að vöðvinn „vindist“, þ.e. vökvi þrýstist úr vöðvanum vegna þess miðflótttaaflskrafts sem beitt er við mælinguna. Í mögrum fiski eins og þorski er vökvinn að mestu leyti vatn og enginn leiðrétting gerð vegna annarra þátta, s.s. fitu. Einnig er hægt að mæla vatnsheldni með því að pressa vöðvann og athuga hversu mikið hann léttist við það. Fleiri aðferðir hafa verið notaðar til að meta vatnsheldni, s.s. mæling á dripi, þ.e. hversu mikið af vökva lekur út úr vöðvanum við þíðingu eða geymslu við ákveðin skilyrði þar sem þyngdaraflið er eini krafturinn sem verkar á vöðvann (Fennema, 1990, Jacqmain, 1977).

Vatnsheldni ræðst af stærstum hluta af ástandi vöðvapróteina, því rými sem er á milli vöðvaþráða og hversu mikið vatn er bundið í frumum. Á meðan fiskur eða sú lífvera sem um ræðir er lifandi, er mest af vatni vöðvans staðsett innan fruma. Hárpípukraftar halda því milli þykku (myósín) og þunnu (aktín) vöðvaþráðunganna og á milli mýósín mólíkúla. Rými innan fruma er m.a. háð pH, saltstyrk, osmótískum þrýstingi og hvar í dauðastirðunarferlinu fiskurinn er staddur. Við dauðastirðun lækkar stýrustig, orkubirgðir (ATP) eyðast, mýósín og aktín tengjast og vöðvinn dregst saman. Þetta veldur breytingum í staðsetningu vatns í vöðvanum og herra hlutfall þess er lausar bundið í vöðvanum (Fennema, 1990).

Flokka má þá þætti sem hafa áhrif á vatnsheldni vöðva í tvennt, innri og ytri þætti. Með innri þáttum er átt við tegund, aldur, stærð, vöðvagerð, fitumagn í vöðva og ástand vöðva eftir dauðastirðun. Ytri þættir eru lífsskilyrði, s.s. fæðumynstur, veiðitími, veiðisvæði og meðhöndlun eftir dauða. Breytingar á efnasamsetningu sem verða vegna vinnslu eru einnig mikilvægir, sérstaklega við ferla eins og söltun (Fennema, 1990). Wagenknecht o.fl. (1975) skoðaði breytingar á vatnsheldni fisks (*Gadus callarias*) m.t.t. dauðastirðunar. Vatnsheldni var í hámarki á meðan á dauðastirðun stóð. Veiðiaðferð hafði áhrif, fiskur sem veiddur var í troll var fljótari að fara í gegnum dauðastirðun og lækkun sýrustigs í vöðvanum var minni en hjá fiski sem veiddur var í gildrur. Vatnsheldni mældist hærri hjá fiski sem veiddur var í troll af þessum sökum.

Árstíðamunur er á ferli dauðastirðunar, ástandi vöðva, sýrustigslækkun við dauðastirðun og vatnsheldni (Wagenknecht og Tuelsner, 1975).

10.1 Áhrif frystingar á vatnsheldni

Við frystingu verður afmyndun próteina til þess að vatnsheldni vöðva minnkar að einhverju marki. Vatnsheldni getur verið mismunandi eftir því um hvaða hluta fisksins er að ræða. Jarenback (1976) bar saman vatnsheldni þorskmarnings úr flökum, þunnildum, klumbu og hryggjum sem var geymdur við -10°C , -20°C og -40°C í innan við 3 mánuði. Einnig skoðaði hann breytingar í heilum flökum. Breytingar á vatnsheldni marnings voru mestar við -10°C , sömu breytingar sáust við -20°C en gerðust á sexfalt lengri tíma. Í marningi af hryggjum urðu breytingar hraðastar. Breytingar í heilum flökum sem geymd voru við -10°C voru svipaðar og í marningi við -20°C en við -20°C og -40°C voru þær óverulegar (Jarenback, 1976).

10.2 Áhrif söltunar á vatnsheldni

Söltun hefur mikil áhrif á vatnsheldni, mismikil eftir söltunaraðferð og því hvernig samsetningu salts og saltstyrk. Ef hægt er að draga úr vatnstapi við verkun bætti það arðsemi til muna, þar sem vatn er um 80% af fiskvöðvanum (Fennema, 1990, Ofstad o.fl., 1996). Salt (NaCl), fosföt og sítröt hafa jákvæð áhrif á vatnsheldni, miðað við þá styrkleika sem algengt er að nota. Tvígildar jónir, þó einkum kalsíum (Ca^{2+}) og magnesíum (Mg^{2+}) hafa neikvæð áhrif.

Við mjög lágan saltstyrk (0-0,1 M), skýla sölt hleðslum á próteinum þannig að rými á milli vöðvapráða minnkar. Þegar styrkur salts er hærri en 0,1 M, bindast anjónir próteinum og fráhrindikraftar á milli próteina aukast. Rými fyrir vatn í vöðvanum verður meira. Einnig geta prótein afmyndast að hluta til. Hækkun í saltstyrk að ákveðnu marki leiðir því til aukinnar vatnsheldni (Fennema, 1990). Eftir því sem að saltstyrkur hækkar, afmyndast prótein frekar og þegar að ákveðnum hámarksstyrk (4,5 M) er náð, dregst vöðvinn saman (Offer og Knight, 1988). Við frystingu eykst styrkur salts í því vatni sem

ófrosið er. Það hefur mikil áhrif á jónastyrk og pH og getur þannig aukið afmyndun próteina. Sýnt hefur verið fram á að NaCl dragi úr stöðugleika próteina og vatnsheldni í kjöthakki (Park o.fl., 1987).

Við léttisöltun afurða eru fyrst og fremst notaðar aðferðir eins og þæklun og sprautusöltun en við saltfiskverkun er einnig notuð þækilsöltun. Þegar um þæklun er að ræða er fiskurinn lagður í þækil með ákveðinn styrkleika en við þækilsöltun er fiskurinn þurrsaltaður í kör og þækill myndast við flæði vatns úr vöðvanum. Sprautusöltun er nýleg aðferð en þá eru nálar notaðar til að sprauta þækli inn í vöðvann. Fiskurinn er gjarnan þæklaður strax eftir sprautun í mislangan tíma.

Við þæklun skiptir saltstyrkur miklu máli fyrir flæði salts inn í vöðvann og leysanleika og afmyndun próteina. Saltstyrkur og tímallengd í þækli er miðuð við æskilegan lokastyrk í afurðinni. Ef prótein eru í háum saltstyrk (>10%) má búast við afmyndun próteina (Duerr og Dyer, 1952). Þegar um léttisaltaðar afurðir er að ræða og gera má ráð fyrir að meðalsaltstyrkur afurðar sé á bilinu 1,5-3%, verður afmyndun ekki mikil. Það er þó helst í ysta lagi vöðvans þegar hann er settur í sterkan þækil í stuttan tíma.

11 BUNDIÐ VATN - FRYSTANLEGT VATN

Meginhluti matvæla, s.s. kjöts og fisks er vatn og er það skilgreint sem frítt eða laust bundið vatn annars vegar og bundið vatn hins vegar. Sá hluti vatnsins sem er bundinn er einnig flokkaður sem ófrystanlegt vatn (Roos, 1986). Það er gjarnan skilgreint sem sá hluti sem ekki frýs við -40°C (Fennema, 1996). Ófrystanlegt vatn er talið vera bundið vatnssæknum hópum á próteinum eða við önnur vatnsmólikúl sem eru bundin á þann hátt (Parducci og Duckworth, 1972). Það tekur þátt í að viðhalda náttúrulegri byggingu próteina en er yfirleitt ekki aðgengilegt fyrir efnahvörf eða sem leysir (Chou og Morr, 1979). Þetta skerðir hreyfanleika vatnsmólikúlanna. Hitastig hefur þó mikil áhrif á þennan þátt en hreyfanleiki vatnsmólikúlanna er talin aukast eftir því sem hitastig hækkar (Parducci og Duckworth, 1972).

Salt (NaCl) eykur getu próteina til að binda vatn og þar með magn þess vatns sem er fast bundið. Þetta leiðir til þess að vökvatap við hitun verður minna (Parducci og Duckworth,

1972). Hér skiptir saltstyrkur þó miklu máli fyrir vatnsbindingu og ef styrkur verður of hár afmyndast prótein og vöðvinn tapar vatni .

11.1 DSC - mælingar á frystanlegu vatni

Differential Scanning Calorimetry (DSC) greinir breytingar í varmafræðilegum eiginleikum efna. Þessar breytingar koma t.d. fram við fasaskiptingu og eðlisvriptingu próteina (Biliaderis, 1983). Kosturinn við DSC er að hægt er að greina sýni beint (*in situ*) án formeðhöndlunar (Wright o.fl., 1977). Með DSC er hægt að mæla magn frystanlegs vatns í sýni (Schenz o.fl., 1991). Ef heildarvatnsinnihald sýnis er þekkt er hægt að reikna út innihald ófrystanlegs vatns eða svokallað bundið vatn. Mælingar á fiski hafa sýnt gildi sem nemur 39 g vatns / 100 g þurrefni (Riedel, 1956) og fyrir þorsk er gildið 40,1 miðað við 80,3% vatnsinnihald og -40°C (Pham, 1987). Með því að mæla bundið vatn í fiskholdinu er hægt að segja til um það hvaða áhrif aukinn saltstyrkur hefur á vatnsmagnið. Þannig má fá niðurstöður sem segja til um það umhverfi sem fiskpróteinin eru í og hvernig t.d. léttþekklun hefur áhrif á þau.

12 HEIMILDIR

- Afolabi, O.A., O.L. Oke og J. Lavety.** 1982. Gaping studies in blue whiting (*Micromesistius poutassou*) - the effect of pre-freezing treatments. *Food Chemistry*, 8, 299-305.
- Aitken, A.** 1976. Changes in water content of fish during processing. *Chemistry and Industry*, No. 24, 1048-1051.
- Akse, L., B. Gundersen, K. Lauritzen, R. Ofstad og T. Solberg.** 1993. Saltfisk: saltmodning, utproving av analysemetoder, misfarget saltfisk. *Fiskeriforskning*, Tromsø. 61.
- Alda Möller.** 1985. Tvífrysting og áhrif hennar á gæði fisks. *Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins*. 1-15.
- Alda Möller.** 1986. Tvífrysting og áhrif hennar á gæði fisks. *Ugginn*, 7, 49-50.
- Anese, M. og R. Gormley.** 1996. Effects of dairy ingredients on some chemical, physico-chemical and functional properties of minced fish during freezing and frozen storage. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 29, 151-157.
- Anon.** 1978. Isolate increases raw beef yield to 126% in tests - needs approval. *Food Processing*, 39, 34.
- Anon.** 1979. New perspectives for meat and fish. *Food Engineering International*, 4, 22-24.
- Ásgeir Matthíasson.** 1986. Blóðgun á þorski: Áhrif biðtíma í móttöku og blæðingartíma á gæði ferskfisks. *Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins*, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík. *Tæknitíðindi*, 8.
- Beas, V.E., J.R. Wagner, M.C. Anon og M. Crupkin.** 1991. Thermal denaturation in fish muscle proteins during gelling: effect of spawning condition. *Journal of Food Science*, 56, 281-284.
- Bello, R.A., J.H. Luft og G.M. Pigott.** 1981. Improved histological procedure for microscopic demonstration of related changes in fish muscle tissue structure during holding and freezing. *Journal of Food Science*, 46, 733-737.

- Beraquet, N.J. og J.D.E. Barrera.** 1983. Salting of mackerel (*Scomber japonicus*). I. Effect of temperature and method of preparation on salt uptake. *Coletanea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, 13, 131-147.
- Biliaderis, C.G.** 1983. Differential scanning calorimetry in food research - a review. *Food Chemistry*, 10, 239-265.
- Bilinski, E., R.E.E. Jonas og M.D. Peters.** 1981. Treatments affecting the degradation of lipids in frozen Pacific herring, *Clupea harengus pallasii*. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14, 123-127.
- Björn Guðmundsson.** 1991. Dauðastirðnun fiska. *Ægir*, 84, 82-83.
- Botta, J.R., B.E. Squires og J. Johnson.** 1986. Effect of bleeding/gutting procedures on the sensory quality of fresh raw Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 19, 186-190.
- Botta, J.R., G. Bonnell og B.E. Squires.** 1987a. Effect of method of catching and time of season on sensory quality of fresh raw Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Journal of Food Science*, 52, 928-931.
- Botta, J.R., K. Kennedy og B.E. Squires.** 1987b. Effect of method of catching and time of season on the composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Journal of Food Science*, 52, 922-924, 927.
- Boyd, J.W. og B.A. Southcott.** 1965. Effect of polyphosphates and other salts on drip loss and oxidative rancidity of frozen fish. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 22, 53.
- Bramsnaes, F.** 1962. The influence of refrigeration and canning on the nutritive value of fish. Í: E. Heen og R. Kreuzer (ritstjórn). *Fish in nutrition*. Fishing News (Books) LTD, London, 153-160.
- Callow, E.H.** 1931. *Ann. Rept. Fd. Invest. Bd., Lond* (as cited by Lawrie 1998), as cited by, 134.
- Careche, M., M.L.d. Mazo, P. Torrejon og M. Tejada.** 1998. Importance of frozen storage temperature in the type of aggregation of myofibrillar proteins in cod (*Gadus morhua*) fillets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1539-1546.
- Castell, C.H. og D.M. Bishop.** 1973. Effect of season on salt-extractable protein in muscle from trawler-caught cod and on its stability during frozen storage. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30, 157-160.

- Chawla, P., B. MacKeigan, S.P. Gould og R.F. Ablett.** 1988. Influence of frozen storage on microsomal phospholipase activity in myotomal tissue of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 21, 399-402.
- Chen, C.S.** 1985. Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods: enthalpy and apparent specific heat. Journal of Food Science, 50, 1158-1162.
- Chou, D.H. og C.V. Morr.** 1979. Protein-water interactions and functional properties. Journal of the American Oil Chemists' Society, 56, 53A-62A.
- Cormier, A. og L.W. Leger.** 1987. Effect of sodium polyphosphates on frozen cod fillets (*Gadus morhua*). Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 20, 222-228.
- Cozzini, I. og M. Walker.** 1991. Cold particle suspension and injection process for meat. Einkaleyfi nr: EP 0419080.
- Crapo, C., B. Himelbloom, R. Pfitzenreuter og L. Chong.** 1999. Texture modification processes for giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*) fillets. Journal of Aquatic Food Product Technology, 8, 27-40.
- Damberg, N.** 1963. Extractives of fish muscle. 3. Amounts, sectional distribution and variations of fat, water-solubles, protein and moisture in cod (*Gadus morhua* L.) fillets. J. Fish. Res. Bd. Can., 20, 703-709.
- Damberg, N.** 1964. Extractives of fish muscle. 4. Seasonal variations of fat, water solubles, protein and water in cod (*Gadus morhua* L.) fillets. J. Fish. Res. Bd. Can., 21, 703-709.
- Darmanto, H. Ichikawa, M. Iwamoto, N. Abe, S. Nishimura, S. Goto og Y. Nozaki.** 1997a. Effect of protein hydrolysate of pearl oyster meat on the state of water and denaturation of fish myofibrils during dehydration. Nippon Suisan Gakkaishi, 63, 378-385.
- Darmanto, H. Ichikawa, M. Iwamoto, N. Abe, S. Nishimura, S. Goto og Y. Nozaki.** 1997b. Effect of protein hydrolysate of pearl oyster meat on the state of water and denaturation of fish myofibrils during frozen storage. Nippon Suisan Gakkaishi, 63, 386-390.
- Deng, J.C.** 1977. Effect of freezing and frozen storage on salt penetration into fish muscle immersed in brine. Journal of Food Science, 42, 348-351.

- Desmyter, E.A. og T.J. Wagner.** 1979. Utilization of vegetable proteins in meats of large cross sectional area. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56, 334-336.
- Detienne, N.A. og L. Wicke.** 1999. Sodium chloride and tripolyphosphate effects on physical and quality characteristics of injected pork loins. *Journal of Food Science*, 64, 1042-1047.
- Dondero, M., M.A. Santibanez, W. Tarky, E. Curotto og M. Canto.** 1989. Protein denaturation in frozen hake (*Merluccius gayi gayi*). *Revista de Agroquimica y Tecnologia de Alimentos*, 29, 230-238.
- Duerr, J.D. og W.J. Dyer.** 1952. Proteins in fish muscle. IV. Denaturation by salt. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 8, 325-331.
- Dyer, W.J. og J.R. Dingle.** 1961. Fish proteins with special reference to freezing. Í: G. Borgstrom (ritstjórn). *Fish as food. Production, biochemistry, and microbiology.* Academic Press Inc., 275-325.
- Dyer, W.J., H. Brockerhoff, R.J. Hoyle og D.I. Fraser.** 1964. Polyphosphate treatment of frozen cod. I. Protein extractability and lipid hydrolysis. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 21, 101.
- Eliassen, J.E. og O. Vahl.** 1982. Seasonal variations in the gonad size and the protein and water content of cod, *Gadus morhua* (L.), muscle from Northern Norway. *J. Fish. Biol.*, 20, 527-533.
- Emilía Martinsdóttir og Hannes Magnússon.** 1990. Geymsluþol ísaðs fisks. . Morgunblaðið, , Reykjavík, 1.
- Emilía Martinsdóttir, Hannes Magnússon og Páll Steinþórsson.** 1991. Geymsluþol á ófrystum og þíddum flökum í ís. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík. .
- Fennema, O.R.** 1990. Comparative water holding properties of various muscle foods. A critical review relating to definitions, methods of measurement, governing factors, comparative data and mechanistic matters. *Journal of Muscle Foods*, 1, 363-381.
- Fennema, O.R.** 1996. 2. Water and ice. Í: O.R. Fennema (ritstjórn). *Food Chemistry.* Marcel Dekker, Inc., New York, 18-95.
- Fuselli, S.R., M.E. Almandos, A.S. Ciarlo, R. Boeri, L. og D.H. Giannini.** 1996. The influence of sexual maturity, sex and size on quality aspects of frozen Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 5, 81-94.

- Grímur Valdimarsson, Ásgeir Matthíasson og Gunnar Stefánsson.** 1984. Blóðgun og slæging þorsks. *Ægir*, 77, 548-552.
- Guðmundur Stefánsson.** 1996. Geymsluþol frystra fiskafurða. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 101 Reykjavík. Frysting sjávarafurða - Námskeið á Rf, .
- Hamm, R.** 1960. Biochemistry of meat hydration. *Adv. Food. Res.*, 10, 355-363.
- Haq, I., M.A. Chaudry, M.J. Quereshi og A.M. Hussain.** 1984. Control of driploss in Rahu fish (*Labeo rohita*) during storage. *Archiv fuer Lebensmittelhygiene*, 35, 3-5.
- Ho, M.L.** 1989. Effect of phosphate on the muscle proteins of grass shrimp (*Penaeus monodon*). *Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society*, 27, 385-390.
- Holston, J. og S.R. Pottinger.** 1955. Brine dipping of haddock fillets. *Comm. Fish. Rev.*, 17, 21-30.
- Horner, W.F.A.** 1997. Preservation of fish by curing (drying, salting and smoking). Í: G.M. Hall (ritstjórn). *Fish Processing Technologies*. Blackie Academic & Professional, London, London, 32-37.
- Howell, N.** 1996. Understanding quality changes in frozen fish. *Sch. of Biol. Sci., Univ. of Surrey, Guildford GU2 5XH, UK. Flair Flow Reports, FFE 204/96, 1.*
- Hurling, R. og H. McArthur.** 1996. Thawing, refreezing and frozen storage effects on muscle functionality and sensory attributes of frozen cod (*Gadus morhua*). *Journal of Food Science*, 61, 1289-1296.
- Huss, H.H.** 1983. *Fersk fisk. Kvalitet og holdbarhed*, Fiskeriministeriets Forsogslaboratorium. Lyngby Danmark.
- Huss, H.H. og I. Asenjo.** 1977. Some factors influencing the appearance of fillets from white fish. *Arsberetning, Fiskeriministeriets Forsogslaboratorium, , 33-40.*
- Ironside, J.I.M. og R.M. Love.** 1958. Studies on protein denaturation in frozen fish. I. Biological factors influencing the amounts of soluble and insoluble protein present in the muscle of the North Sea cod. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 9, 597-604.
- Jacqmain, D.** 1977. Limitations on storage time of frozen foods. *Revue des Fermentations et des Industries Alimentaires*, 32, 40-45.
- Jacquier, J.L., D. Vouille og C. Fouillet.** 2000. Method of injection of a suspension of fish meat into fish pieces, particularly tuna. Einkaleyfi nr: EP 0974273.

- Jarenback, L.** 1976. Frozen storage of minced fish. I. Quality changes in minced meat from various parts of cod curing frozen storage. SIK-Svenska Livsmedelsinst., Fack, S-40023 Goeteborg 16, Sweden, Goeteborg 16, Sweden. .
- Jón Heiðar Ríkharrðsson og Rúnar Birgisson.** 1995. AFLABÓT. Rannsóknafærð með Arnari HU-1. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík. Skýrsla Rf, 18.
- Jónas Bjarnason og Sigurjón Arason.** 1998. Dauðastirðnun í fiski. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík. Rf. pistlar, 1-5.
- Jul, M.** 1984. Thawing. Í: . The quality of frozen food. Academic Press Inc., London, 261-270.
- Kalinova, F.M.** 1976. [Effect of condition of Alaska pollack on its quality during frozen storage.]. Issledovaniya po Tekhnologii Rybnukh Produktov; No. 6, 40-45, 150,, .
- Karl, H., W. Muenkner og J. Oehlschlaeger.** 1997. Influence of ice and frozen storage/thawing on the length of marine fish fillets. Informationen fuer die Fischwirtschaft, 44, 38-41.
- Karmas, E. og K. Turk.** 1976. Water binding of cooked fish in combination with various proteins. Journal of Food Science, 41, 977-979.
- Kim, Y.J. og D.R. Heldman.** 1985. Quantitative analysis of texture change in cod muscle during frozen storage. Journal of Food Process Engineering, 7, 265-272.
- Kosak, P.H. og R.T. Toledo.** 1981. Brining procedures to produce uniform salt content in fish. Journal of Food Science, 46, 874-876.
- Krueger, D.J. og O.R. Fennema.** 1989. Effect of chemical additives on toughening of fillets of frozen Alaska pollack (*Theragra chalcogramma*). Journal of Food Science, 54, 1101-1106.
- Lavéty, J. og R.M. Love.** 1972. The strengthening of cod connective tissue during starvation. Comp. Biochem. Physiol., 41A, 39-42.
- Lawrie, R.** 1998. The storage and preservation of meat II. Moisture control. Í: R. Lawrie (ritstjórn). Lawrie's Meat Science. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 178-199.
- Licciardello, J.J., E.M. Ravesi, R.C. Lundstrom, K.A. Wilhelm, F.F. Correia og M.G. Allsup.** 1982. Time-temperature tolerance and physical-chemical quality tests for frozen red hake. Journal of Food Quality, 5, 215-234.

- Lindsay, R.C., D.A. Stuibler, B. Stewart og V.L. Carlson.** 1981. Evaluation of burbot (*Lota lota*) acceptability for processing. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 14, 196-202.
- Love, R.M.** 1960. Water content of cod (*Gadus callarias* L.) muscle. Nature, 185, 692.
- Love, R.M. og I. Robertson.** 1968. The connective tissues of fish. I. The influence of biological condition in cod on gaping in frozen-thawed muscle. Journal of Food Technology, 3, 215-21.
- Love, R.M. og M.A. Haq.** 1970. Connective tissues of fish. IV. Gaping of cod muscle under various conditions of freezing, cold-storage and thawing. Journal of Food Technology, 5, 249-60.
- Love, R.M., M. Muslemuddin, L.K. Ong og G.L. Smith.** 1974a. Protein denaturation in frozen fish. XIV. Cell fragility measurements on frozen and thawed cod caught on different fishing grounds. Journal of the Science of Food and Agriculture, 25, 1563-1569.
- Love, R.M., I. Robertson, J. Lavéty og G.L. Smith.** 1974b. Some biochemical characteristics of cod (*Gadus morhua*, L.) from the Faroe Bank compared with those from other fishing grounds. Comp. Biochem. Physiol., 47B, 149-161.
- Love, R.M., I. Robertson, G.L. Smith og K.J. Whittle.** 1974c. The texture of cod muscle. Journal of Texture Studies, 5, 201-212.
- Love, R.M.** 1975a. The influence of fishing grounds on fish quality. Fishing News International, 14, 16-18.
- Love, R.M.** 1975b. Variability in Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Northeast Atlantic: A review of seasonal and environmental influences on various attributes of the flesh. J. Fish. Res. Bd. Can., 32, 2333-2342.
- Love, R.M.** 1979. The post-mortem pH of cod and haddock muscle and its seasonal variation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 30, 433-438.
- Love, R.M.** 1980. Seasonal variation and some alternative approaches to fish biology. Í: The Chemical Biology of Fishes. Academic Press, London, New York, 350-387.
- Lovern, J.A.** 1962. The lipids of fish and changes occurring in them during processing and storage. Í: E. Heen, Kreuzer, R. (ritstjórn). Fish in nutrition. Fishing News (Books) LTD, London, 86-111.

- Mackie, I.M.** 1993. The effects of freezing on flesh proteins. *Food Reviews International*, 9, 575-610.
- Mahon, J.H. og C.G. Schneider.** 1964. Minimizing freezing damage and thawing drip in fish fillets. *Food Technology*, 18, 1941.
- Matsumoto, J.J. og S. Noguchi.** 1971, publ. 1973. Control of the freezing-denaturation of fish muscle proteins by chemical substances. *Proceedings of the International Congress of Refrigeration (13th-Washington)*, 3.
- Nilsson, K.** 1994. Quality of frozen rainbow trout. Effects of different freezing and thawing treatments. Dep. of Food Sci., Chalmers Univ. of Tech., Goeteborg, Sweden, Goeteborg, Sweden. 104pp.
- Offer, G. og P. Knight.** 1988. The structural basis of water-holding in meat. Í: R. Lawrie (ritstjórn). *Developments in meat science 4*. Elsevier, London, 63-243.
- Ofstad, R., B. Egelanddal, S. Kidman, R. Myklebust, R.L. Olsen og A.M. Hermansson.** 1996. Liquid loss as effected by post mortem ultrastructural changes in fish muscle: cod (*Gadus morhua* L.) and salmon (*Salmo salar*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71, 301-312.
- Owusu-Ansah, Y.J. og H.O. Hultin.** 1986. Chemical and physical changes in red hake fillets during frozen storage. *Journal of Food Science*, 51, 1402-1406.
- Parducci, L.G. og R.B. Duckworth.** 1972. Differential thermal analysis of frozen food systems. II. Micro-scale studies on egg white, cod and celery. *Journal of Food Technology*, 7, 423-430.
- Park, J.W., T.C. Lanier, J.T. Keeton og D.D. Hamann.** 1987. Use of cryoprotectants to stabilize functional properties of prerigor salted beef during frozen storage. *Journal of Food Science*, 52, 537-542.
- Paterson, B.C., F.C. Parrish, J. Stromer og M.H. Stromer.** 1988. Effects of salt and pyrophosphate on the physical and chemical properties of beef muscle. *Journal of Food Science*, 53, 1258-1265.
- Páll Ólafsson.** 1975. Áhrif ísunar og goggskemmda á geymsluþol þorsks skv. TMA-mælingum. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík. *Tæknitíðindi*, 5.
- Pham, Q.T.** 1987. Calculation of bound water in frozen food. *Journal of Food Science*, 52, 210-212.

- Ragnarsson, K.** 1988. The effect of various salts on the chemical and textural changes in frozen gadoid and non-gadoid fish minces. *Dissertation Abstracts International*, B, 48, 2510-2511.
- Ravesi, E.M. og J. Krzynowek.** 1991. Variability of salt absorption by brine dipped fillets of cod (*Gadus morhua*), blackback flounder (*Pseudopleuronectes americanus*), and ocean perch (*Sebastes marinus*). *Journal of Food Science*, 56, 648-652.
- Riedel, L.** 1956. *Kaltetechnik*, 8, 374.
- Rogers, L. og R. Binsted.** 1972. Chapter X. The processing and freezing of fish and shellfish. Í: . Quick frozen foods. The commerce and technology of processing, packaging and distribution. Food Trade Press LTD, London, 274-295.
- Roos, Y.H.** 1986. Phase transitions and unfreezable water content of carrots, reindeer meat and white bread studied using differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science*, 51, 684-686.
- Schenz, T.W., B. Israel og M.A. Roselen.** 1991. Thermal analysis of water-containing systems. Í: H. Levine, Slade, L. (ritstjórn). *Water Relationships in Food*. Plenum Press USA, 199-214.
- Shaw, S.J., E.G. Bligh og A.D. Woyewoda.** 1984. Effect of delayed filleting on quality of cod flesh. *Journal of Food Science*, 49, 979-980.
- Shenouda, S.Y.K.** 1980. Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh. *Advances in Food Research*, 26, 275-311.
- Sigurjón Arason.** 1994. Aðferðir til að þíða fisk. *Fiskvinnslan*, 1/94, 29-31.
- Sigurjón Arason og Helga R. Eyjólfsdóttir.** 1995a. Áhrif dauðastirðunar. *Fiskvinnslan*, 1/95, 7-10.
- Sigurjón Arason.** 1995b. Tvífrysting. Vinnsla á frystu hráefni. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík. .
- Sigurjón Arason.** 1996. Frystihraði. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 101 Reykjavík. Frysting sjávarafurða - Námskeið á Rf, .
- Sigurjón Arason og Lárus Ásgeirsson.** 1984. Um frystingu sjávarafurða. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík. .
- Sikorski, E.Z.** 1995. *Seafood: Resources, Nutritional Composition and Preservation*, CRC Press.

- Sikorski, Z.E., S. Kostuch og J. Olley.** 1976. Protein changes in frozen fish. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 8, 97-129.
- Simon, F.J., W.C. Reinke, H.M. Soo, C.L. Lanning og S.H. Richert.** 1981. Process for producing a fish product. Einkaleyfi nr. US 4 301 180.
- Slabyj, B.M., T. Maloy, W.P. Cook og J.A. Risser.** 1987. Effect of brining and canning on salt uptake and retention by herring (*Clupea harengus*) examined using four analytical methods. *Journal of Food Protection*, 50, 602-607.
- Slavin, J.W.** 1968. Frozen fish: Characteristics and factors affecting quality during freezing and storage. Í: D.K. Tressler, van Arsdel, W.B., Copley, M.J. (ritstjórn). *The freezing preservation of foods. Factors affecting quality in frozen foods.* The AVI publishing company, Inc., 179-196.
- Sotelo, C.G., C. Pineiro og R.I. Perez-Martin.** 1995. Denaturation of fish proteins during frozen storage: role of formaldehyde. *Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 200, 14-23.
- Sólveig Ingólfssdóttir, G. Stefánsson og K. Kristbergsson.** 1998. Seasonal variations in physicochemical and textural properties of North Atlantic cod (*Gadus morhua*) mince. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 7, 39-61.
- Storey, R.M. og J. Graham.** 1980/1981. The mechanism and measurement of weight loss from frozen fish in cold storage. *Proceedings of the Institute of Refrigeration*, 77, 28-35.
- Tambo, T., N. Yamada og N. Kitada.** 1992. Change in myofibrillar protein of fish muscle caused by soaking in NaCl solution. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*-[Nihon Suisan Gakkai shi], 58, 677-683.
- Tanaka, T.** 1969. Relationship between freshness before freezing and cold storage deterioration in the North Pacific Alaska pollack. I. Histological studies on the muscle. *Bulletin of the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory* [Tokai- ku Suisan Kenkyusho Kenkyu Hokoku]; No. 60, 143-168.
- Tanikawa, E., M. Akiba og A. Shitamori.** 1963. Cold storage of cod fillets treated with polyphosphates. *Food Technology*, 17, 1425.
- Tarr, H.L.A.** 1942. Effect of pH and NaCl on swelling and drip in fish muscle. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 5, 411-427.

- Trout, G.R. og G.R. Schmidt.** 1984. Effect of phosphate type and concentration, salt level and method of preparation on binding in restructured beef rolls. *Journal of Food Science*, 49, 687-694.
- Voskresensky, N.A.** 1965. Salting of herring. Í: G. Borgstrom (ritstjórn). *Fish as food*. Academic press, New York, 107-128.
- Vyncke, W.** 1978. Quality aspects of thawed fish. *Revue de l'Agriculture*, 31, 541-547.
- Wagenknecht, W. og M. Tuelsner.** 1975. Studies on technologically determined changes in the water binding capacity of fish muscle. I. Postmortem changes in Baltic cod (*Gadus callarias*).] Untersuchungen ueber technologisch bedingte Veraenderungen der Wasserbindung des Fischmuskels. I. Mitteilung: Postmortale Veraenderungen beim Ostseedorsch (*Gadus callarias*). *Fischerei Forschung*, 13, 57-65.
- Wheeler, T., S. Seideman, T. Rolan og G. Davis.** 1990. Effects of mechanically separated beef with various chloride salts in restructured beef steaks. *Journal of Food Science*, 55, 342-345.
- Woyewoda, A.D. og E.G. Bligh.** 1986. Effect of phosphate blends on the stability of cod fillets in frozen storage. *Journal of Food Science*, 51, 932.
- Wright, D.J., I.B. Leach og P. Wilding.** 1977. Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituent proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28, 557-564.
- Xiaowen, L.** 1996. The impact of polyphosphates on the water retention of fresh fillets and frozen cod minces. *Dissertation Abstracts International*, B, 56, 4078-4079.
- Zaitsev, V., I. Kizevetter, L. Lagunov, T. Makarova, L. Minder og V. Podsevalov.** 1969. Salting and marinading. Í: A.d. Merindol (ritstjórn). *Fish curing and processing*. MIR publishers, Moscow, 198-256.