



Lokaskýrsla til AVS-rannsóknarsjóðs.
Verkefni *nr*: R031-08

Plöntumjöl í stað fiskimjöls í fóðri fyrir bleikju af matfiskstærð.

(Effect of replacing fish meal in Arctic charr diet
on growth, and feed utilization)

Ólafur Ingi Sigurgeirsson. Hólaskóla

Jón Árnason. Matís ohf.

Helgi Thorarensen. Hólaskóla.

Aðalheiður Ólafsdóttir. Matís ohf.

Samantekt

Bleikja af matfiskstærð var alin í 4 mánuði á 6 mismunandi samsettum en jafn orkuríkum fódurgerðum sem innihéldu prótein af ólíkum uppruna. Fiskimjöl í viðmiðunarfóðri var annarsvegar síldarmjöl og hinsvegar síldar-beinamjöl en því var skipt út með mismunandi hætti og í mismunandi hlutföllum fyrir plöntuprótein frá repjumjöli, sojamjöli, mais-glúteinjöli og hveiti-glúteinjöli. Vöxtur fisksins og fódurnýting var metin yfir 4 mánaða tímabil. Meltanleiki proteins, fitu og þurrefnis var metinn sem og próteinnýtingin. Jafnframt voru áhrif fódurgerðanna á bragð, áferð og útlitseiginleika afurðanna metin.

Niðurstöður sýndu að hægt er að minnka hlutfall fiskimjöls í fóðri fyrir bleikju af matfiskstærð (500-1100g) um 2/3 án þess það hafi áhrif á vöxt og fódurnýtingu fisksins. Ekki kom fram munur á meltanleika próteins eftir uppruna hráefna en hráefnasamsetningin hafði áhrif á fitu og þurrefnismeltanleika. Próteinnýtingin var sambærileg milli meðferða og óháð uppruna próteinhráefnis í fóðrinu.

Útskipting á fiskimjöli með ódýrari próteinríku plöntuhráefni getur leitt til 25-30% lækkunar á hráefniskostnaði í bleikjufóðri miðað við núverandi hráefnisverð, og ætti því að geta leitt til a.m.k. 15% lækkunar á framleiðslukostnaði í bleikjueldi. Með minnkaðri notkun fiskimjöls í fóðrinu er bleikjueldið orðið nettó framleiðandi af fiskapróteinum með umbreytingu á ódýrari plöntupróteinum og stefnir því í átt að aukinni sjálfbærni.

Misnunandi próteingjafar í fóðrinu höfðu ekki teljandi áhrif á gæði afurðanna.

Abstract

Arctic charr close to market size (500-1100g) was fed for four months on six isoenergetic feed formulations containing protein from different sources. The control diet contained both herring meal and herring bone meal that were replaced in test diets with plant protein from rape seed meal, soy meal, maize gluten meal and wheat gluten meal in different proportions. The growth, feed conversion, digestibility of protein, lipids and ash and the protein efficiency was compared in fish fed different diets. Furthermore, the effect of different feed types on taste, texture and appearance was compared.

The results suggest that the proportion of fish meal in feed can be reduced by 2/3 without compromising growth rate and feed conversion of Arctic charr. There was no significant difference in the digestibility of protein from different sources. However, the feed composition affected the digestibility of lipids and ash. The protein efficiency ratio was similar and unaffected of protein sources in the feed.

Substitution of fish meal with less expensive raw material from plant origin can reduce the price of feed by 25-30% compared with the present the price of feed for Arctic charr and, as a result, could reduce the cost of production by 15%. By using less fish meal in feed, Arctic charr farming can become a net producer of fish protein and thus improve the sustainability of the industry.

The quality of the production was not affected by the use of different protein sources.

Efnisyfirlit.

Inngangur	3
Efni og aðferðir	6
Fóður	6
Fiskur og uppsetning tilraunar	6
Fóðrun	8
Lengdar og þyngdarmælingar	8
Efnagreiningar	9
Efnagreining fóðurs	9
Mælingar á vatnsinnihaldi	9
Próteinmælingar	9
Mælingar á fitu	9
Öskumæling	10
Mæling á fitusýrum	10
Fóðurstuðull og fóðurtap	10
Vöxtur og vaxtarútreikningar	11
Mælingar á meltanleika	11
Skynmat og gæðaeiginleikar	13
Litmælingar	15
Mælingar á losi	15
Úrvinnsla skynmats	15
Önnur tölfræðiúrvinnsla:	16
Niðurstöður	16
Fóður	16
Vöxtur	16
Fóðurstuðull, próteinnýting og meltanleiki	18
Fitusýrusamsetning bleikjuflaka	24
Niðurstöður skynmats	24
Litmælingar	28
Mælingar á losi	29
Sýrustig í flökum	29
Ummræður og ályktanir	30
Vöxtur	30
Fóðurstuðull og próteinnýting	34
Meltanleiki	35
Áhrif hráefnasamsetningar á fóðurverð	36
Samantekt skynmats	38
Lokaorð	39
Þakkir	39
Heimildaskrá	40

Inngangur

Fóðurkostnaður í fiskeldi er jafnan umtalsverður hluti framleiðslukostnaðar. Í bleikjueldi er hann alla jafna á bilinu 35-60%, (breytilegt eftir aðstæðum, fiskstærð, sláturstærð o.fl.). Því er mikilvægt að leita leiða til að lækka þann kostnað og eftir talsverðu er að slægjast.

Ein megin uppistaðan í fóðri fyrir kjötætufiska eins og laxfiska er prótein. Fram til þessa hefur próteinþörfum slíkra fiska að lang mestu leyti verið fullnægt með fiskimjöli úr uppsjávarfiski. Framboð á fiskimjöl er sveiflukennt og takmarkað en eftirspurn vaxandi sem endurspeglast í gríðarlegri verðhækkun á síðustu misserum. Í því ljósi er mikilvægt að finna aðrar gerðir hráefna sem geta fullnægt próteinþörfum fisksins (Tacon, 2000).

Margar rannsóknir hafa verið gerðar á notkun plöntupróteina í stað fiskimjöls sem próteingjafa fyrir laxfiska, einkum Atlantshafslax og regnbogasilung. Margskonar próteingjafar hafa verið reyndir, svo sem sojamjöl, maisgluten-mjöl, lupína, repjumjöl, ýmiskonar baunamjöl og hveitiglutenmjöl. Við skipti á fiskipróteini með plöntupróteini þarf að taka tillit til amínósýrusamsetningar í hráefninu, einkum þeirra 10 amínósýra sem teljast lífsnauðsynlegar. Engin einstök plöntumjölstegund virðist geta uppfyllt amínósýruþörfina hjá fiskinum með sama hætti og gott fiskimjöl, en með blöndun nokkurra tegunda hráefnis má komast nær takmarkinu.

Niðurstöður rannsókna á skiptingu fiskipróteina með plöntupróteinum eru nokkuð breytilegar og velta oft á hvernig til hefur tekist með rétta hráefnablöndun og íblöndun viðbótarefna. Þó má almennt segja að hægt er skipta einhverju hlutfalli fiskimjöls út fyrir plöntuprótein hjá laxi og regnbogasilungi. Svo virðist sem nokkur munur sé á þessum tveimur fisktegundum og að þær nýti fóður með ólíkum hætti, en sú síðarnefnda virðist þola plöntuhráefnið betur (sjá t.d.: Opstvet, J. et al. 2003; Mundheim, H. et al. 2004., Mente, E. et al. 2003; Thiessen, D.L. et al. 2004; Refstie, S. et al. 2001; Refstie, S. et al. 2000; Berg & Bremset, 1998; Rasmussen & Ostfeld, 2000).

Fleiri rannsóknir hafa verið gerðar á hráefnanotkun og nýtingu í fóðri fyrir laxi og regnboga og eru þær flestar gerðar á síðustu árum. Á milli þeirra tegunda (regnbogi/lax) virðist vera um nokkuð ólíka notkun og nýtingu á próteinum og fitu að ræða (Azevedo P.A., et al. 2004) og því ekki ósennilegt að bleikja geti haft sinn háttinn á. Sennilegt er að hitastig umhverfis hafi einhver áhrif á meltanleika hráefnis í fóðri og fóðurnýtingu (hægari magatæming og efnaskiptahraði) og einnig að hlutfallsleg næringarefnasamsetning skipti máli m.t.t. hitastigs (Olsen og Ringö; 1998). Einnig er mögulegt að selta hafi áhrif á meltanleika og fóðurnýtingu.

Ringö (1991) fann til dæmis vísbendingar um minnkaðan meltanleika fæðuefnanna (próteins, fitu og einstakra fitusýra) hjá bleikju sem var sett sjó samanborið við bleikju í ferskvatni.

Að auki fundu Krogdahl, et. al. (2004) áhrif seltu á meltanleika og meltingu sterkju hjá laxi og regnbogasilungi en þau voru þó í mörgum tilfellum ólík milli tegunda.

Af þessu sést að um flókið samspil fódursamsetningar, fóðurinnihalds og umhverfisþátta er að ræða og þar við bætist að munur virðist vera milli ólíkra tegunda laxfiska.

Fáar rannsóknir hafa verið gerðar á útskiptingu fiskapróteins með plöntupróteini í fóðri fyrir bleikju sérstaklega og fremur fátæklegar rannsóknir á próteinkröfum (hlutfalli og gæði próteina) bleikjunnar yfirleitt. Bleikja hefur jafnan verið fóðruð með fóðri sem þróað er fyrir aðra laxfiska, enda bleikjueldi lítið á heimsvísu í þeim samanburði. Þó væntanlega sé margt líkt með skyldum er vert að hafa í huga að verulegur lífssögulegur /líffræðilegur munur er á þessum tegundum. Bleikja lifir og vex oft á mun kaldari og snauðari búsvæðum í ferskvatni en laxinn og í mörgum tilfellum dvelur hún alla ævina í ferskvatninu. Aðrir bleikjustofnar ganga til sjávar yfir sumartímam til fæðuöflunar og því hefur hún væntanlega þurft að aðlagst margvíslegum búsvæðum með ólíkri gerð fæðu. Bleikjan virðist hafa lægri kjörhita en aðrir laxfiskar, sem t.d. kemur glöggst fram í samanburði á vext bleikju- og laxaseiða í ferskvatni við sama eldshitastig. Því er ekki sjálfgefið að kröfur um próteinþörf og nýting næringarefnanna almennt í fæðunni sé sambærileg milli þessara tegunda. Því er þörf á að skilgreina það nánar.

Annað vandamál tengt próteinmjöli úr plöntuhráefni fyrir fiskafóður er innihald margvíslegra andnæringarefna sem finnast í þeim en þó í mis miklum mæli. Áhrif þeirra geta komið fram í minni meltanleika fódurs, minni próteinnýtni, skemmdum í þramabekjunni, skortseinkennum á söltum og snefilefnum og minnkuðum vexti. Meðal annars innihalda margar plöntumjölstegundir umtalsvert af fytin-sýru sem hindrar meltingu og uppsog salta/steinefna, svo sem fosfórs (P), magnesíums (Mg) og sinks (Zn) úr þarminum, þrátt fyrir að þau séu ríkuleg í fóðrinu. Til dæmis fundu Denstadli, V. et al. 2006 að þolmörkin fyrir fytinsýru í fóðri fyrir lax gætu legið nálægt 4,7g/kg. Við styrk umfram það færi hún m.a. að draga úr upptöku á fosfór. Uppruni og samsetning hráefnis getur einnig haft áhrif á hversu aðgengileg mikilvæg sölt og snefilefni eru hjá fiskinum. Það á meðal annars við um fosfór, en upptöku hans og nýtingu má meta með ýmsum hætti (sjá t.d. Nordrum, S. et al. 1997). Verulegt neikvætt samband virðist vera milli fosfórstyrks í fóðri og meltanleika hans, auk þess sem samspil getur verið milli fosfórs og kalsíums. Hár kalsíumstrkur hindrar upptöku fosfórs því þar virðist verða einskonar samkeppninshindrun (Hua, K & Bureau, D.P. 2006).

Út frá umhverfissjónarmiði er mikilvægt að íblandaður fosfór í fóðri sé í jafnvægi og nýtist vel en tapist ekki út í umhverfið með saur. Því skiptir miklu máli að finna heppilega samsetningu hráefnis og í hve miklum mæli ný hráefni úr plönturíkinu geta komið í stað hráefnis úr uppsjávarfiski, nýtast vel og fullnægja þörfum fisksins.

Þetta verkefni er rökrétt framhald fyrri verkefna sem umsækjendur hafa unnið og hafa haft sama markmið, þ.e. að skipta út hráefni af sjávarfiskauppruna (fiskimjöli og lýsi) í eldisfóðri með hráefni af plöntuuppruna (mjöl og olíur), sem alla jafna er ódýrara: Plöntuhráefni í bleikjufóðri í stað fiskimjöls og lýsis. (Árnason, J., et al, 2007. Lokaskýrsla til AVS-rannsóknarsjóðs. Verkefni nr: R013-05) og Próteinþarfir bleikju (Protein requirements of Arctic charr), (Sigurgeirsson, Ó.I., et al. 2009. Lokaskýrsla til AVS-rannsóknarsjóðs. Verkefni nr: R040-07-08)

Heimsmarkaður fyrir hráefni sem hugsanlega geta nýst til fiskafóðurframleiðslu er kvikur og sífellt koma fram nýjar framleiðsluafurðir sem ásæða er til að skoða nánar. Þau tengjast m.a. þeirri auknu áherslu sem nú er lögð á framleiðslu bio-diesel víða um heim. Við þá framleiðslu fellur próteinríkt hráefni frá sem aukaafurð, enda einkum sóst eftir olíunni eða kolvetninu við bio-diesel framleiðsluna. Gera má ráð fyrir aukinni eftirspurn eftir hrápróteinum til matvælaframleiðslu á heimsvísu. Því er mikilvægt að átta sig á hvaða próteingjafar geta verið heppilegir í fiskafóðri og hvernig hentar að blanda þeim saman. Finna þarf heppileg hlutföll álitlegra hráefnistegunda í fóðri fyrir bleikju og hvaða áhrif þau hafa á fiskinn, bæði heilsufar og vöxt en einnig á bragð og efnasamsetningu afurða. Til að hámarks sparnaður náist þarf að kortleggja betur að hve miklu leyti má skipta út fiskimjöli fyrir ódýrari próteingjafa áður en það kemur niður á vexti fiskanna. Vegna mjög mismunandi verðs á hráefnistegundum getur verið verjandi út frá hagkvæmnis- og kostnaðarsjónarmiðum að setta sig við lítillaga lakari vöxt ef fóðrið er umtalsvert ódýrara. Þá þarf að veita saman framleiðslutímamann að sláturstærð og fóðurkostnaðinn og einnig getur fóðurnýtingin skipt talsverðu máli, m.a. út frá umhverfissjónarmiðum.

Efni og aðferðir

Fóður

Fóðrið var framleitt í framleiðslulínu fóðruverksmiðjunnar Laxár h/f. Framleiddir voru þandir 6 mm kögglar, sex gerðir fóðurs með mismunandi gerðum próteinhraefna. Í fóðrið var blandað merkiefninu Yttrium Oxid til þess að geta ákvarðað meltanleika fóðurgerðanna. Hlutföll hraefna og efnasamsetning fóðurgerðanna er sýnd í töflu 1

Fiskur og uppsetning tilraunar

Í tilraunina voru notaðar bleikjur (*Salvelinus Alpinus*) frá Hólalaxi h/f í Hjaltadal. Fiskurinn var á þriðja ári (2+), upphafsmeðalþyngd var $630\text{g} \pm 7,1$ gr. og meðallengd $36,0 \pm 0,6$ cm. Tilraunin var framkvæmd í fiskeldisstöð Hólalax h/f í Hjaltadal.

Samtals var 900 fiskum dreift tilviljanakennt í 18 trefjaplastker, stærð $1,6\text{m}^3$ (2x2x0,4m), 50 fiskar í hvert ker. Allur fiskurinn var lengdar- og þyngdarmældur við upphaf tilraunarinnar. Hver meðferð (fóðurgerð) var í þrítekningu (samtals 150 fiskar/meðferð). Fiskurinn var aðlagður að nýju umhverfi í 4 vikur áður en tilraunin hófst og upphafsþyngd metin.

Vatnshiti á tilraunatímanum var sem næst 8°C ($5,2\text{-}10,2^\circ\text{C}$) (sjá mynd 1) og miðað við að súrefnisstyrkur í frárennsli færi ekki niður fyrir 80% mettun. Um tíma var þó hitinn lækkaður af öryggisástæðum vegna flóða sem höfðu áhrif á vatnstökuna. Fiskurinn var haldinn við náttúrulega ljóslotu. Tilraunin stóð í 121 daga (4. apríl- 5. ágúst) og því var ljóslotan löng á tilraunatímanum. Virkir fóðrunardagar voru 109 en ekki var fóðrað daginn fyrir mældag og meðan á mælingum stóð, en þær tóku tvo daga í hvert sinn.

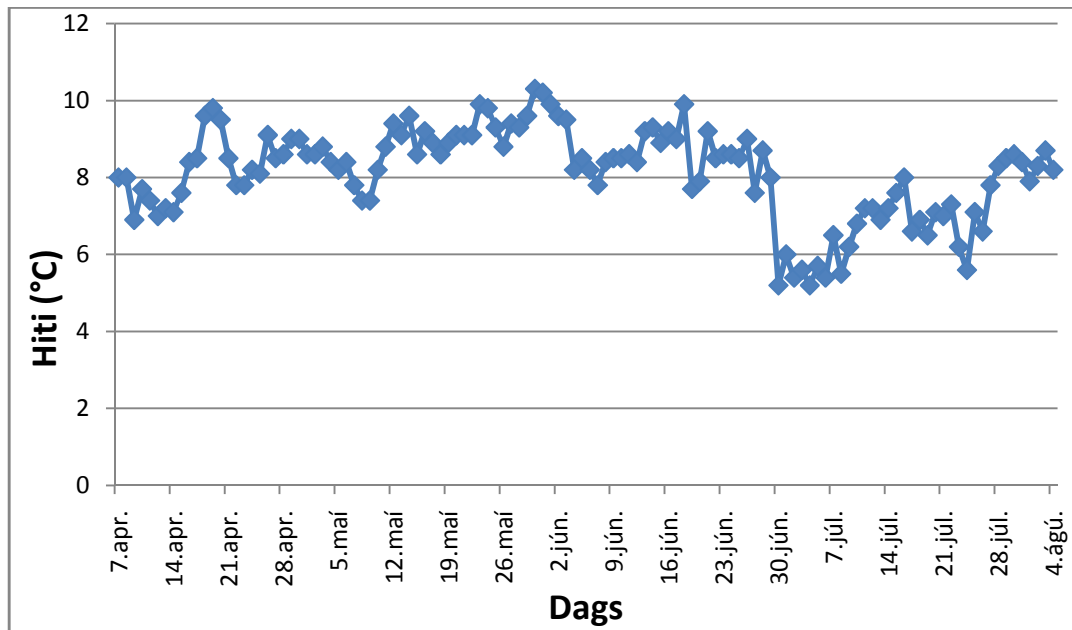
Tafla 1. Hráefna- og efnasamsetning fóðurgerðanna sem notuð voru í verkefninu.

Fóður númer.	2959	2960	2961	2962	2963	2964
Hráefni %:						
Hveiti	27	28	8,6	18,3	8	8
Síldarmjöl		43,5	32,2	37,9	0	9,6
Síldar-beinamjöl	47,8	0	0	0	12,6	1,8
MGM					4,2	5
Hveiti gluten mjöll					15,3	15
Soya mjöl (Hi Pro Soya)					5	5
Repjumjöl (Canola)			33,9	17	27	26,5
Lýsi	24,1	25,65	22,1	23,9	24,6	24,7
Salt		1,7	2	1,8	2	2,4
Monocal		0,048	0,12	0,084	0,679	0,9
Carophyl Red	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Carophyl Pink	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Premix Laxa	1	1	1	1	1	1
Ytrium oxid	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Efnasamsetning as is %						
Vatn	5,6±0,2	5,7±0,2	5,9±0,2	5,6±0,2	5,5±0,2	5,5±0,2
Purrefni	94,4	94,3	94,1	94,4	94,5	94,5
Prótein (CP)	36,0±0,4	35,6±0,4	36,5±0,4	37,8±0,4	36,2±0,4	38,2±0,4
Fita (Sýruhýdrólýsa)	29,5	29,0	27,6	28,1	29,2	29,0
Aska	8,5±0,5	8,2±0,5	8,6±0,5	8,5±0,5	7,6±0,5	8,1±0,5

Efnasamsetning af þurrefni

%DM

Prótein (%)	38,1	37,8	38,8	40,0	38,3	40,4
% Fita	31,3	30,8	29,3	29,8	30,9	30,7
Aska (%)	9,0	8,7	9,1	9,0	8,0	8,6



Mynd 1. Eldishiti á tilraunátímanum sem stóð í 121 dag, frá 7. apríl til 4 ágúst.

Fóðrun

Fiskurinn var fóðraður allan sólarhringinn með sjálfvirkum beltafóðrara og handfóðraður lítillega á morgnana til að fylgjast með fódurtökunni. Dagleg fódurgjöf var metin út frá lífmassa, áætluðum dagvexti og fódurtöku og fóðrað ca 5-10% umfram metnun. Dagleg fódurgjöf var vegin og fódurleyfum safnað með úrgangssafnara við frárennsli hvers kers til að ákvarða raunverulega fódurtöku. Umfram fódurkögglar voru taldir og þyngd þeirra uppreiknuð út frá eðlismassa þurrfódurköggla hvernar fódurgerðar. Afföll voru vigtuð til leiðréttingar á lífmassa, vegna mats á fódurstuðli.

Lengdar og þyngdarmælingar

Lengdar- og þyngdarmælingar voru framkvæmdar í upphafi tilraunar og síðan ca mánaðarlega meðan á vaxtartíma stóð. Fiskur var sveltur í sólarhring fyrir mældidaga. Einstaklingsmæling var ævinlega framkvæmd á öllum fiskunum. Allir fiskar sem drápust á tilraunatíma voru einnig veginir og mældir.

Efnagreiningar

Efnagreining fódurs

Hlutföll próteins, fitu, ösku og þurrefnisinnihald var mælt í öllum fódurblöndunum, til að ganga úr skugga um hvernig til hefði tekist við fódurframleiðsluna. Framkvæmd efnamælinganna er lýst nánar hér að neðan. Við allar mælingar á efnainnihaldi fódurs voru tekin tvísýni af hverri fódurtegund og þrísýni af fiski og saur, til að tryggja aukna nákvæmni.

Mælingar á vatnsinnihaldi

Vatnsinnihald var metið út frá þyngdartapi sýna (fóður, fiskur, saur) frá upphafsþyngd, eftir þurrkun við 104°C í 4 klst. (Ref. ISO 6496 (1983)).

Próteinmælingar

Beitt var hefðbundinni Kjeldahl mælingu við mælingar á próteinmagni í fódri. Sýni eru brotin niður í brennisteinssýru og kopar notaður sem hvati. Síðan eymað og ammoníum títrað í bórsýru (2400 Kjeltex Auto Sampler system) og sýran með veikri brennisteinssýru. Hlutfall köfnunarefnis er margfaldað með stuðlinum 6,25 til að fá út hlutfall próteins þar sem 16% af amínósýrum er köfnunarefni.

(Ref. Iso 5983-1979)

Mælingar á fitu

Fituinnihald sýna var metið með Soxhlet- aðferð, þar sem sýnin eru leyst í petrolíum ether og soðin við 40-60°C (2050 Soxtec Avanti Automatic System) og síðan gerð á þeim sýruhydrolýsa (Ref. AOCS Official method Ba-3-38 með frekari aðlögun skv. Application note Tecator no AN 301)

Öskumæling

Sýni voru vegin nákvæmlega í vagnar postulínsdeiglu og glædd á gasloga. Deiglum var svo komið fyrir í ofni við 550°C og látin standa yfir nótt eða þar til aðeins askan er eftir. Mismunur á þunga deiglu fyrir og eftir öskun gefur öskumagn sem er reiknað sem hlutfall af heildarþunga sýnis í upphafi.

Mæling á fitusýrum.

Fituútdráttur var gerður með klóróform/metanól blöndu samkvæmt aðferð Folch og fleiri (1957). Metýlun var gerð samkvæmt AOCS Official Method Ce 1b-89 með smávægilegri aðlögun. Gasgreining á fitusýrumetýl esterum (FAME) var gerð á Varian 3900 GC gasgreini með *fused silica* hárpípusúlu (HP-88, 100 m x 0.25 mm x 0.20 µm film), skiptu inntaki (e. split injector) og logajónunarnema (e. flame ionisation detector) sem tengdur var við Galaxie Chromatography Data System, Version 1.9.3.2 software. Ofninn var forritaður á eftirfarandi hátt: 100°C í 4 mínútur, þá var hitinn hækkaður upp í 240°C um 3°C/mínútu og þessum hita haldið í 15 mínútur. Hitastig inntaks var 225°C og nemans 285°C. Ferðafasi var helium og flæðihraði 0.8 mL/min; skiptihlutfall inn á súlu, 200:1. Þetta hitaforrit byggist á AOAC 996.06.

Vikmörk (95%) fyrir fitusýrugreiningar eru ±0,05% fyrir fitusýrur á bilinu 0,1 til 1% af heildarfitusýrum og fyrir fitusýrur í meira en 1% magn eru vikmörk ±0,1% með eftirfarandi undantekningum: C14:0=±0,02%; C16:0 = ±0,02%; C18:0 = ±0,04%; C18:1n-9 = ±0,03%.

Fóðurstuðull og fóðurtap

Fiskurinn var fóðraður með 6 mm köggluðu þöndu (extruded) fóðri, sem er nægilega stöðugt til að safna má því saman í frárennsli. Fylgst var með fóðurtöku og fóðurtapi í tilrauninni, afföll fisks vegin í hvert sinn með lokabyngd og fóðurstuðull reiknaður út. Við fóðurleifasöfnunina var beitt svipaðri aðferð og lýst er af Helland et al. (1996). Þeir fóðurkögglar sem ekki voru étnir söfnuðust í fóðurgildrum og voru taldir daglega. Eðlismassi og meðalþyngd köggla var reiknaður fyrir hverja fóðurtegund og þyngd fóðurtaps fundið út frá því. Þyngd étins fóðurs í formúlunni er því mismunur á gefnu fóðri og fóðurleifum í fóðurgildru.

$$FCR = (\text{kg étið fóður}) \times (\text{kg lokapýngd} + \text{kg afföll})^{-1}$$

Út frá upplýsingum um fóðurát er einnig hægt að reikna út próteinnýtingarhlutfall, PER (Protein Efficiency Ratio). PER lýsir sambandinu milli heildar vaxtar og þess próteins sem étið er og gefur þannig upplýsingar um hversu vel próteinið í fóðrinu nýtist til vaxtar og er metið út frá magni fóðurs, próteininnihaldi þess og lífmassabreytingu fisks:

$$\text{Próteinnýtingarhlutfall (PER)} = (\text{Þyngd}_2 - \text{Þyngd}_1 \times \text{étið prótein}^{-1}) \times 100$$

Vöxtur og vaxtarútreikningar

Fiskar voru að jafnaði lengdar og þyngdarmældir mánaðarlega og heildar lífmassi, meðalþyngd og meðallengd fyrir hvert ker reiknað út eftir hverja mælingu. Einnig var holdstuðull (Condition Factor) reiknaður en hann segir til líkamlegt ástand fisksins og metur hlutföll milli lengdar og þyngdar. Holdstuðull var reiknaður út frá formúlunni:

$$CF = (\text{Þyngd}(g) * L^{-3}(cm)) \times 100$$

Góða mynd er hægt að fá af vexti með því að skoða dagvöxt í prósentum (Specific Growth Rate, SGR). SGR var reiknað út milli mælinga og í lok tilraunar eftir formúlunni:

$$\text{Dagvöxtur: } SGR = (\ln \text{þyngd}_2 - \ln \text{þyngd}_1 \times \text{dagafjöldi tilraunar}^{-1}) \times 100$$

Mælingar á meltanleika

Í fóðrið var blandað ómeltanlegu merkiefni (Yttrium Oxíð) og var styrkur þess áætlaður 0,015%. Saur var safnað frá fiskinum, með kreistingu aftast úr götrauf, einu sinni á mælidegi (í lokin) en fiskurinn ekki sveltur fyrir þá sýnatöku. Merkiefnið var síðan magngreint bæði í fóðri og saur og reiknað sem hlutfall af þurrefni fyrir hvoru tveggja.

Notkun merkiefna er heppileg við mælingar á meltanleika hjá fiski. Merkiefni er sett í fóðrið þegar það er framleitt og fiskurinn étur það svo í föstu hlutfalli við fóðrið sem innbyrt er. Saur er kreistur úr fiskunum eða safnað með öðrum hætti og hlutfall merkiefnis í saur gefur hlutfallslegan heildarmeltanleika. Til að aðferðin virki þarf merkiefnið að vera ómeltanlegt og það má ekki frásogast í þörmum fisksins. Einnig þarf merkiefnið að mynda einsleita blöndu með fóðrinu í gegnum meltingarveginn og má ekki hafa áhrif á starfsemi meltingarvegs. Heildar meltanleikastuðul (DC) reiknaður út frá eftirfarandi formúlu.

$$DC = 100 - 100 \times \frac{\% \text{ Merkiefni í fóðri}}{\% \text{ Merkiefni í saur}} \times \frac{\% \text{ Næringarefni í saur}}{\% \text{ Næringarefni í fóðri}}$$

Próteininnihald í saurum var mælt með Kjeldahl- aðferð, til að leggja mat á próteinmeltanleika, sem er reiknaður út eftirfarandi:

$$DC(\text{prótein}) = 100 - 100 \times \left(\frac{\% \text{ Merkiefni í fóðri}}{\% \text{ Merkiefni í saur}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ Prótein í saur}}{\% \text{ Prótein í fóðri}} \right)$$

Fituefni í saur var mælt með sýruhýdrólýsu (sömu aðferð og í fóðrinu) og fitumeltanleikinn reiknaður út með sama hætti og próteinmeltanleikinn eins og sýnt er hér að ofan. Meltanleiki þurrefnis var einnig reiknaður út frá hlutfallslegu þurrefnisinnihaldi í fóðri og saur og hlutfallsbreytingu í styrk merkiefnis þar á milli.

Skynmat og gæðaeiginleikar.

Sex sýnahópar af bleikjuflökum voru metnir með skynmati (MA08SKY089-091). Lýsing meðferða er sýnd í töflu 2. Sýnin voru metin eftir myndrænu prófi, QDA aðferð (quantitative descriptive analysis), þar sem skilgreindir matsþættir voru metnir til að lýsa einkennum í útliti, bragði, lykt og áferð af þjálfuðum skynmatshópi (Hootman, 1992; Stone and Sidel, 1985). Sjö dómara sem allir höfðu reynslu af skynmati (ISO, 1993) og þekktu vel aðferðina tóku þátt í skynmatinu.

Matsþættir höfðu verið skilgreindir af skynmatshópi í fyrri verkefnum og voru þeir lagðir fyrir dómara í þjálfunartíma ásamt sýnum úr hópum 2960 og 2964. Matsþættir voru upphaflega 23 en smávægilegar breytingar voru gerðar á matsþáttum og þremur þáttum bætt við. Skilgreining og lýsing matsþátta er sýnd í töflu 2. Hver matsþáttur var metinn eftir styrk eða einkennum á ókvarðaðri línu sem í úrvinnslu var kvörðuð frá 0-100.

Fyrir skynmat voru sýnin soðin, 30-40g fyrir hvern dómara, í álformi í gufuofni við 98°C í 6 mínútur. Sýnin voru metin heit, fjögur sýni í einu. Öll sýni voru dulkóðuð og hver sýnahópur var metinn í tvísýni. Skynmatsforritið Fizz var notað við uppsetningu og framkvæmd skynmats.

Tafla 2. Skynmatsþættir og skilgreiningar á þeim í QDA greiningu á bleikju.

Matsþáttur	Kvarði (0-100%)	Skilgreining
<i>Lykt</i>		
Sæt/einkennandi	engin mikil	Einkennandi sæt lykt af soðinni bleikju
Plástralykt	engin mikil	Minnir á plástur eða sóttþreinsiefni
Málmlykt	engin mikil	Málmlykt
Olíulykt	engin mikil	Fersk óskemmd olía
Moldar/fúkkalykt	engin mikil	Moldar/fúkkalykt/jarðlykt
Sýrulykt	engin mikil	Súr lykt ekki skemmdarsúr
Skemmdarsúr	engin mikil	Skemmdareinkenni
Þráalykt	engin mikil	Skemmdareinkenni
Aukalykt	engin mikil	Aukalykt
<i>Útlit</i>		
Mislitur	ekkert mikið	Hve mislitt er sýnið á yfirborði
Gulur vökvi	litlaus gulur	Hve gulur er vökvinn í boxinu
Fitudropar í vatni	litlir stórir	Hvernig eru fitudroparnir í vökva boxins
Hvítar útfellingar	ekkert mikið	Hvítar útfellingar á eða á milli flaga sýnisins
Litur	hvítur appelsínugulur	Hve hvítt/appelsínugult er yfirborð sýnis
<i>Bragð</i>		
Sætt/einkennandi	ekkert mikið	Sætt einkennandi bragð af soðinni bleikju
Málmbragð	ekkert mikið	Málmbragð
Olíubragð	ekkert mikið	Olíu eða fitubragð
Moldar-/fúkkabragð	ekkert mikið	Moldar-/fúkkabragð
Sýrubragð	ekkert mikið	Súrt bragð ekki skemmdarsúr
Skemmdarsúr	ekkert mikið	Skemmdareinkenni
Þráabragð	ekkert mikið	Skemmdareinkenni
Aukabragð	ekkert mikið	Aukabragð
<i>Áferð</i>		
Mýkt	stinnur mjúkur	Metið í fyrsta bita
Safi	þurr safaríkur	Metið þegar sýnið hefur verið tuggið þrisvar
Meymi	seigur meyr	Metið þegar sýnið er tuggið oftast en fimm sinnum
Viðloðun	engin mikil	Viðloðun, límur saman tennur

Litmælingar

Holdlitur var mældur með Minolta ljósbylgjumæli þar sem L-gildi (ljósleiki) frá 0-100, (0 er svart og 100 er hvítt), segir til um hversu ljóst eða dökkt flakið er, a*-gildi (a+ = rautt, a- = grænt) segir til um hversu rautt eða grænt það er og b*-gildi (b+ = gult, b- =blátt) segir til um hversu gult eða blátt flakið er. Alls voru mæld fimm flök úr hverjum hópi og mælt var á þremur stöðum (sporðstykki, miðja og hnakkastykki) í hverju flaki.

Mælingar á losi

Los var metið sjónrænt samkvæmt töflu 3, eitt flak í einu. Alls voru 6 flök mæld úr hverjum hópi. Lýsing á matinu kemur fram í töflu ##. Sýrustig í holdi var mælt í flökunum strax eftir flökun.

Tafla 3. Lýsing hópa

Einkunn	Lýsing
0	ekkert los
1	fáar litlar rifur (færri en 5)*
2	nokkrar litlar rifur (færri en 10)
3	Margar rifur (fleiri en 10 litlar eða nokkrar stórar)**
4	Mikið los (margar stórar rifur)
5	Feikilegt los (flakið dettur í sundur)
*	litlar rifur < 2 sm.
**	stórar rifur > 2 sm

Úrvinnsla skynmats

ANOVA (GLM) og Duncan's próf var framkvæmt á skynmatsgildum QDA í NCSS 2000 (NCSS, Utah, USA) til að greina hvort tilraunahópar væru mismunandi með tilliti til skynmatsþátta (marktækur munur ef $p < 0,05$). Skynmatseinkenni tilraunahópa voru skoðuð með höfuðþáttgreiningu (Principal Component Analysis-PCA) í tölfræðiforritinu PanelCheck (V.1.3.2, NOFIMA, Norway). Það forrit var einnig notað til að meta frammistöðu dómara. Framkvæmt var ANOVA á litgildum, áferðargildum og losi til að athuga hvort hóparnir væru mismunandi í viðkomandi þáttum.

Önnur tölfræðiúrvinnsla:

Öll tölfræðigreining á vaxtartengdum þáttum var framkvæmd í SPSS tölfræðiforriti og beitt almennu línulegu líkani (General Linear Model). Tvíþátta ferveikagreining var framkvæmd á breytum (Nested two way Anova) og 95% öryggismörk sett til að meta marktækni tilgáta ($p < 0,05$). Tölfræðiúrvinnsla vegna skynmats er lýst sérstaklega í viðkomandi kafla.

Niðurstöður

Fóður

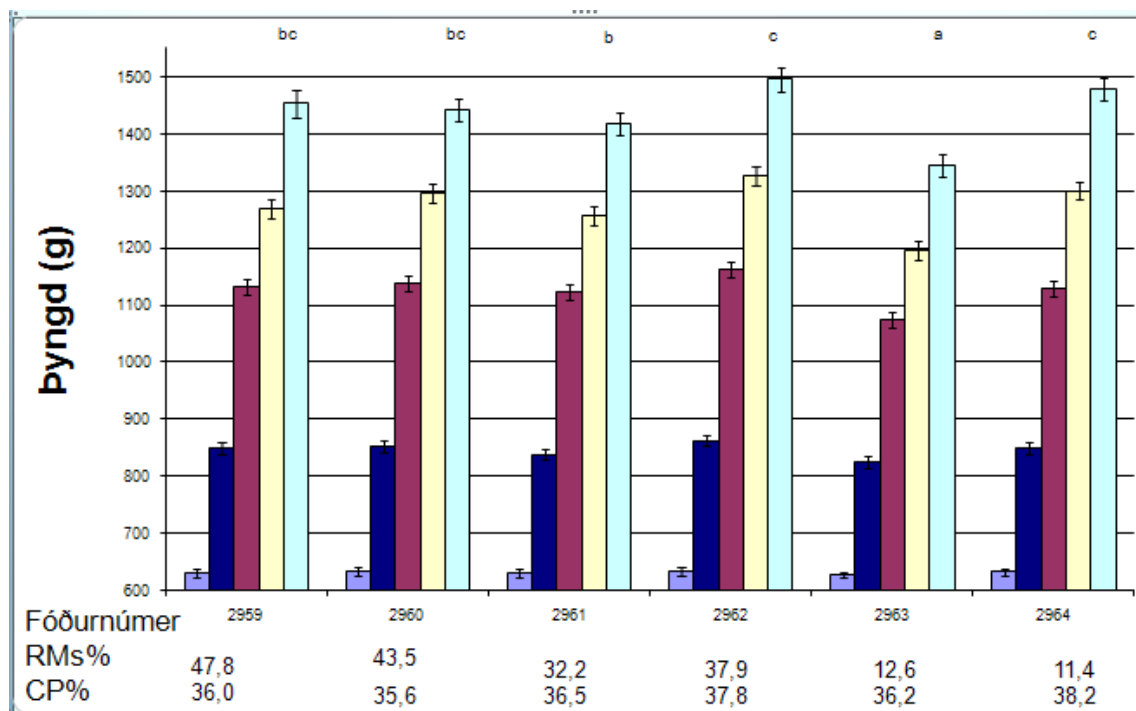
Efnasamsetning fóðursins er sýnd í Töflu 1

Stefnt var að því að efnasamsetningin í fóðurgerðunum væri sem líkust. Eftir efnagreiningu fóðursins kemur fram lítill breytileiki milli fóðurgerðanna. Hlutfall próteins er á bilinu 35,6-38,2 % (%CP) og fituhlutfallið 27,5-29,2% (%CF). Reiknað kolvetni er á bilinu 19,2-21,0%. Brúttó orka reiknast mjög sambærileg í öllum fóðurgerðunum og er á bilinu 23,2- 23,8MJ/kg og því eru fóðurgerðirnar nánast jafn orkur

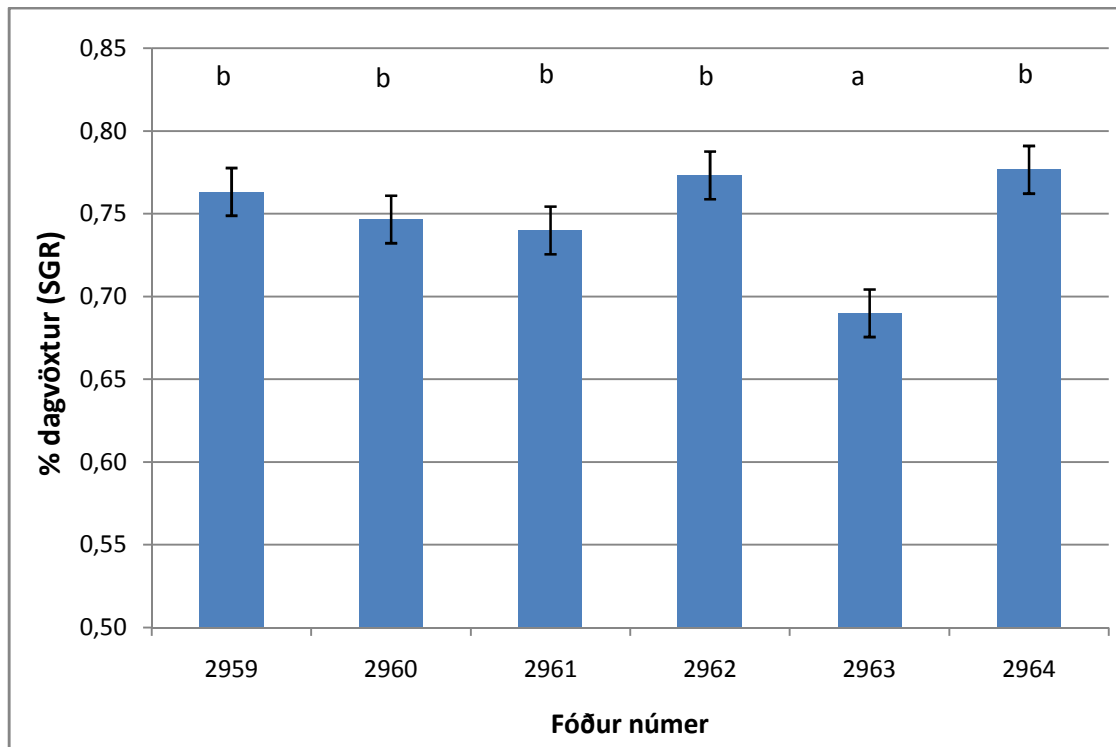
Vöxtur

Þróun lifandi þunga er sýnd á Mynd 2 og hlutfallslegur dagvöxtur (%SGR) er sýndur á mynd 3. Fiskurinn í öllum meðferðarhópum vex mjög vel á tilraunatímanum og rúmlega tvöfaldast í þyngd. Dagvöxturinn í hópunum er á bilinu 0,69-0,78%. Fiskurinn óx frá tæplega 650 grömmum í um 1450 grömm á 121 degi. Engu að síður kemur fram munur í lokþyngd milli meðferða en það er einkum einn meðferðarhópur (fóður2963) sem sker sig úr og er lakari en allir hinir. Aðrir meðferðarhópar eru nokkuð sambærilegir en þó greinist meðferðarhópur sem fékk fóður 2961 marktækt léttari í lokþyngd en þeir sem fengu fóður 2962 og 2964. Fóðrið sem gefur nokkuð afgerandi lakasta útkomu (2963) er blanda nokkurra próteinhráefna, inniheldur 13% síldarbeinamjöl, 4% maísglútenmjöl, 5% hveitiglútenmjöl, 5% soya og 27%

repjumjöl. Fóður nr 2964 gefur hinsvegar góðan vöxt, en það er sambærilegt við fóður 2963 að öðru leyti en því að stuðst er við hreint síldarmjöl í stað síldarbeinmjöls. Þegar fóður nr. 2959 og 2960 eru borin saman virðist ekki skipta máli hvort notað er síldarmjöl eða síldarbeinmjöl sem einasti próteingjafi. Ekki er heldur hægt að sjá sérstök áhrif mismikils próteininnihalds í tilraunafóðurgerðunum á vöxtinn enda er próteinhlutfall fóðurgerðanna býsna líkt. Afföll á tilraunátímanum voru hverfandi (0,4%).



Mynd 2. Þróun lifandi þyngdar ($g \pm se$) hjá fiski sem fékk fóður (nr. 2959-2964) gert úr mismunandi hráefnum (sjá töflu 1). Eldistíminn var 121 dagur. Hver meðferð var í þrítekningu og upphafs fjöldi fiska 150 í kári. RMs% er hlutfall próteinhráefnis af sjávaruppruna. CP% = próteinhlutfall í fóðri. Ólíkir bókstafir milli meðferða tákna tölfræðilega marktækan mun á lokabyngd ($p < 0,05$)



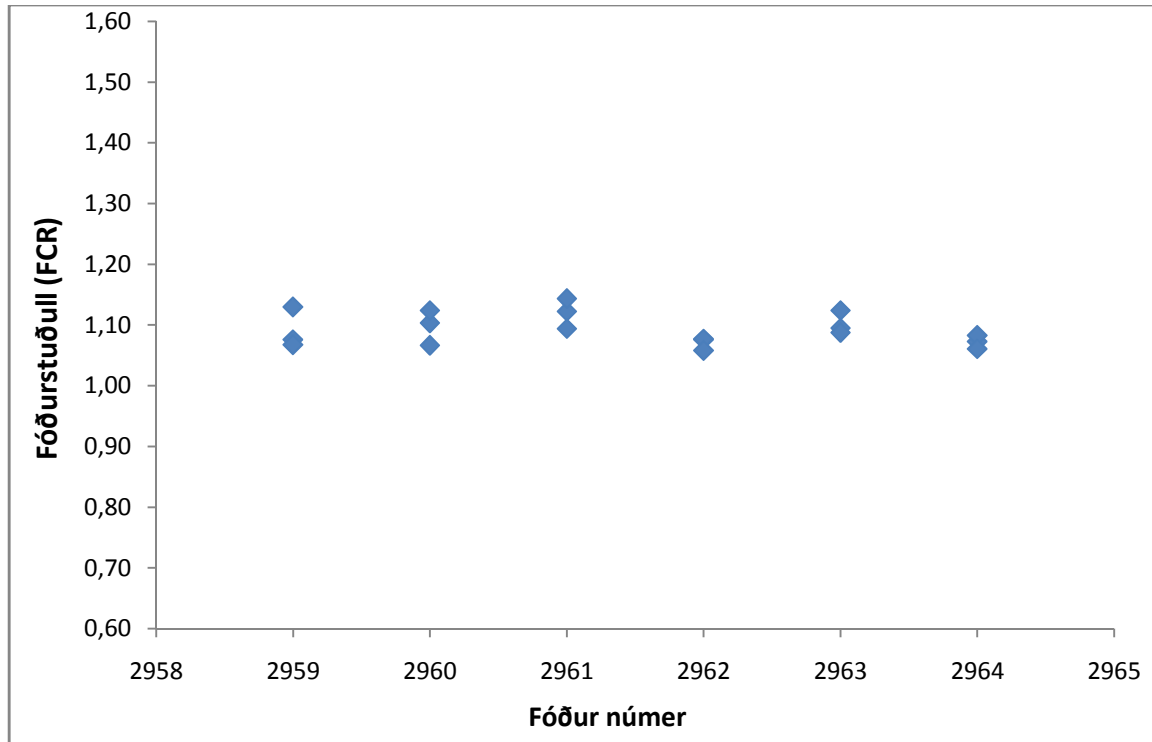
Mynd 3. Dagvöxtur meðferðarhópa yfir tilraunátímann (121 dag) sem fóðraðir voru með ólíku hráefni í fódri. Hver meðferð var í þrítekningu (n=3). Ólíkir bókstafir milli meðferða tákna tölfraðilega marktækan mun á lokabyngd ($p < 0,05$)

Dagvöxturinn á tilraunátímanum (121 dagar) er um og yfir 0,75% á dag í flestum meðferðarhópum. Það verður að teljast mjög góður vöxtur miðað við fiskstærð og hitastig eldisumhverfis. Eldshitinn er lengst af á bilinu 7,5-10°C (mynd 1) en seinnipart júnímánaðar er kælt snögglega niður á fiskinum vegna flóða og vandræða sem sköpuðust í kjölfarið. Það virðist ekki hafa haft langvarandi neikvæð áhrif á vöxtinn. Einn meðferðarhópur (fóður 2963) sýnir mælanlega lakari dagvöxt en aðrir (mynd 3), og virðist vöxturinn vera lakari allt frá byrjun og yfir allt vaxtartímabilið. Ekki mælist marktækur munur á dagvexti milli annara meðferðarhópa.

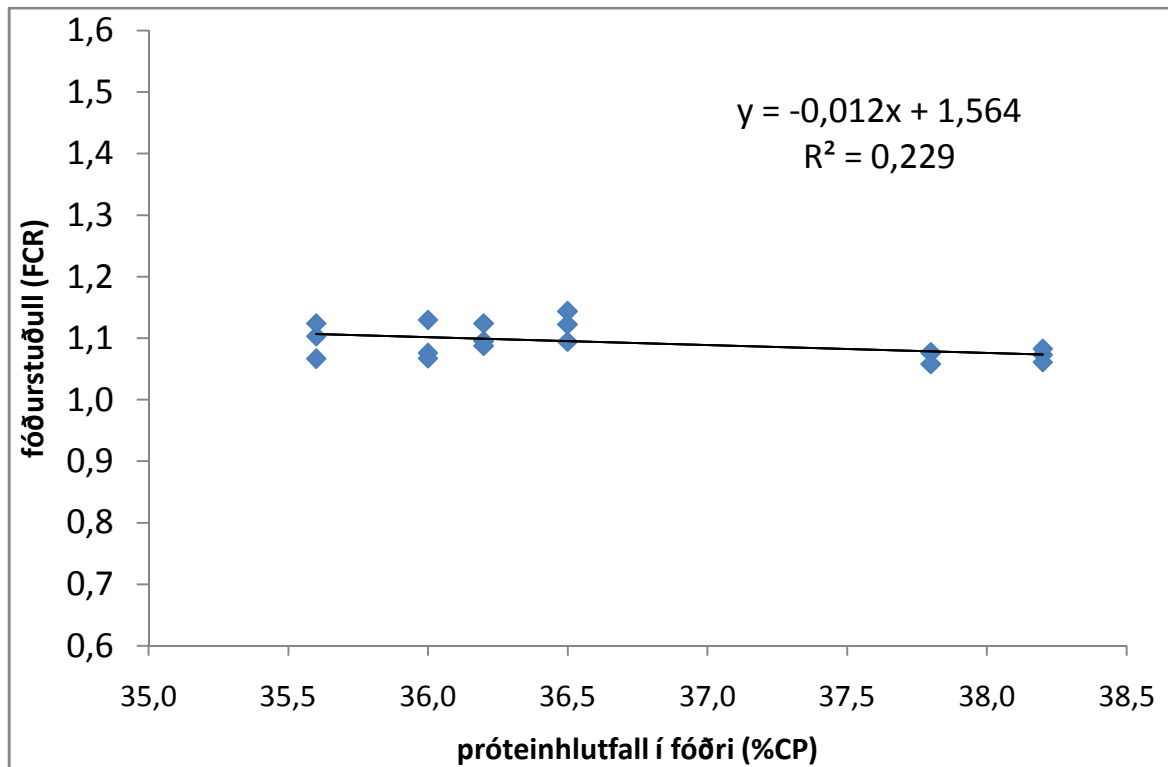
Fóðurstuðull, próteinnýting og meltanleiki.

Fóðurstuðull er mælikvarði á hversu mikið fóður þarf til að þyngja fiskinn. Í öllum meðferðarlotum er fóðurstuðullinn nálægt 1,1 sem segir að um 1,1 kg af fódri hefur verið notað til að þyngja fiskinn um hvert kíló. Hér er um raunfóðurstuðul að ræða og því má segja

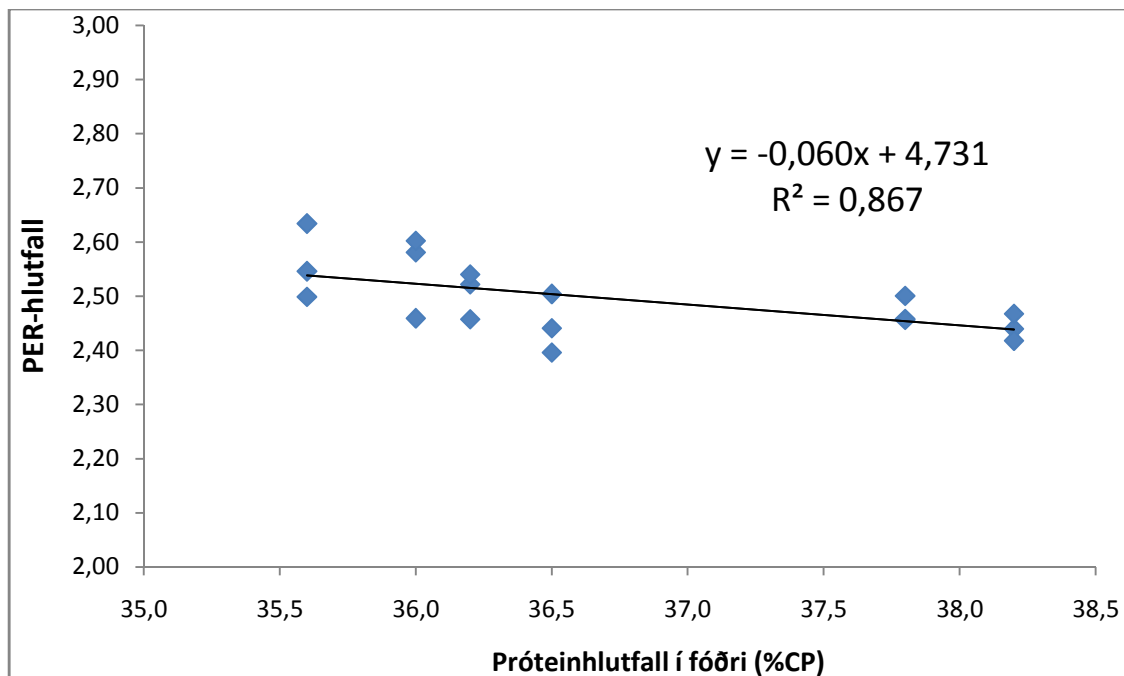
með nokkurri nákvæmni að fiskurinn hafi étið þetta fóðurmagn því fóðurleifarnar eru dregnar frá. Ekki kemur fram munur á fóðurstuðli milli meðferða þrátt fyrir mismunandi próteinhraefni (mynd 4 & tafla 1) og hlutfallslegt próteininnihald (mynd 5) í fóðri.



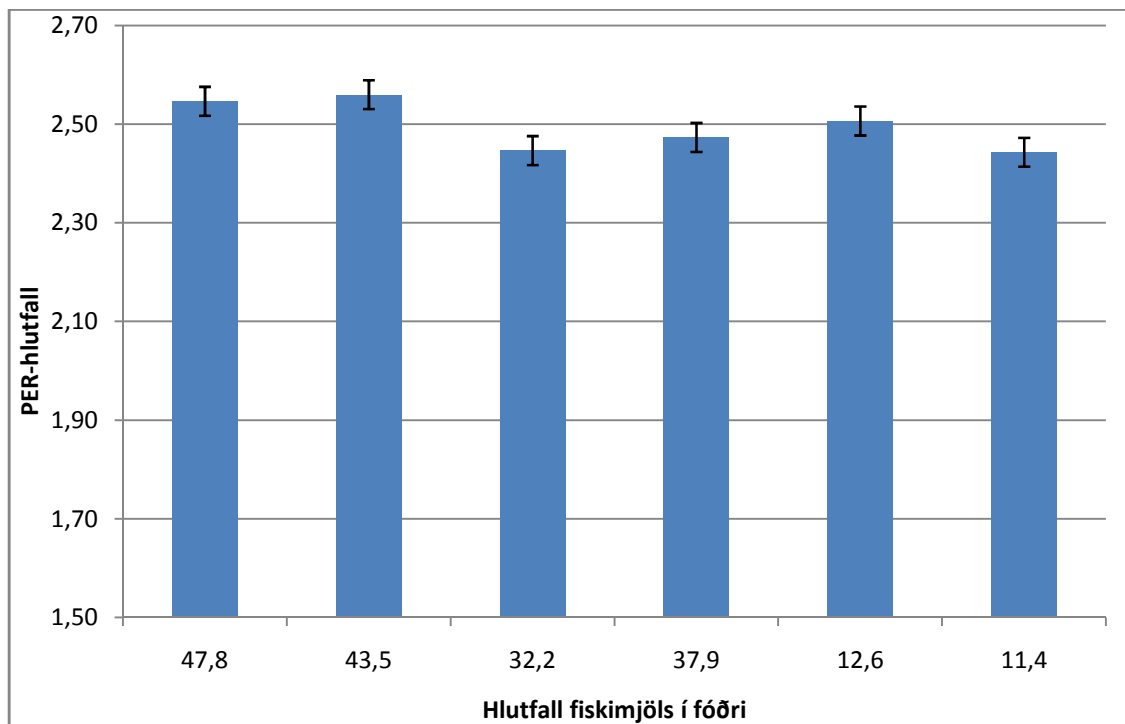
Mynd 4. Fóðurstuðull meðferðarhópa eftir fóðrun á ólíkum fóðurgerðum í 109 fóðurdaga og 121 daga vaxtartíma. Hver meðferðarhópur var í þrítækningu (n=3).



Mynd 5. Samband fóðurstuðuls og hlutfalls próteins í fóðri í fódurgerðunum eftir 121 daga tilraunátíma. Hver meðferðarhópur var í þrítekningu (n=3).



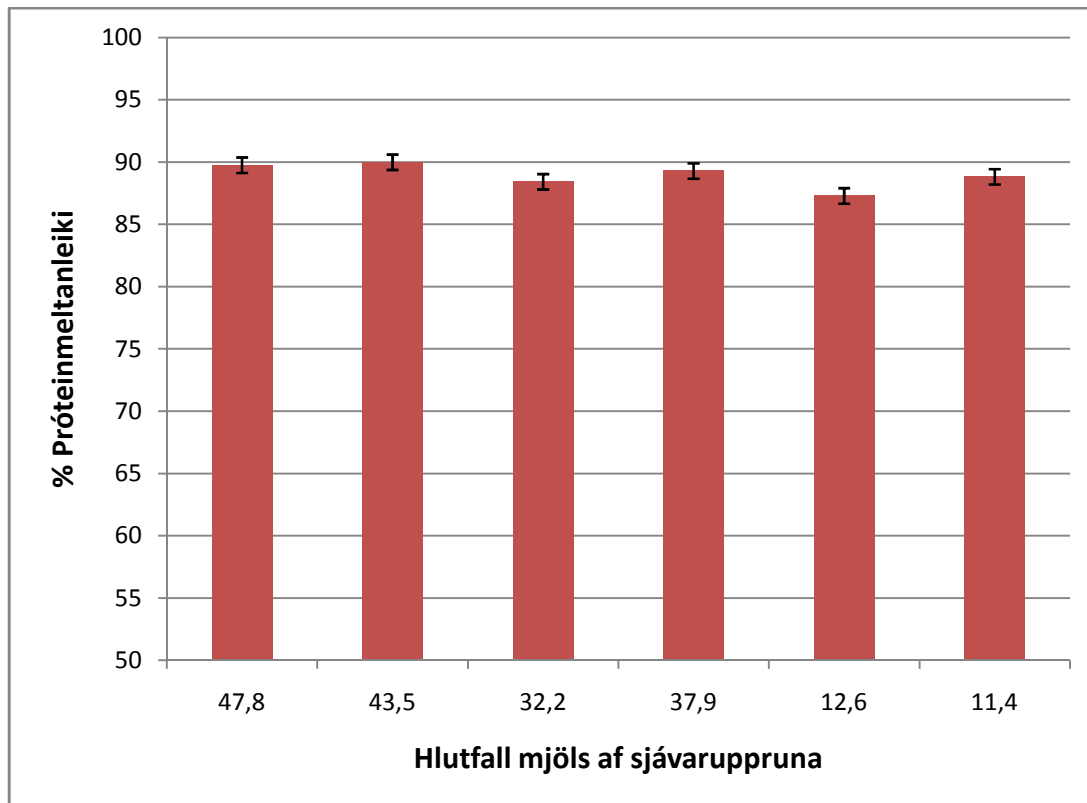
Mynd 6. Próteinnýtingarhlutfall (PER) sem fall af próteininnihaldi fóðurs sem notað var í tilrauninni. Hver meðferðarhópur var í þrítekningu (n=3).



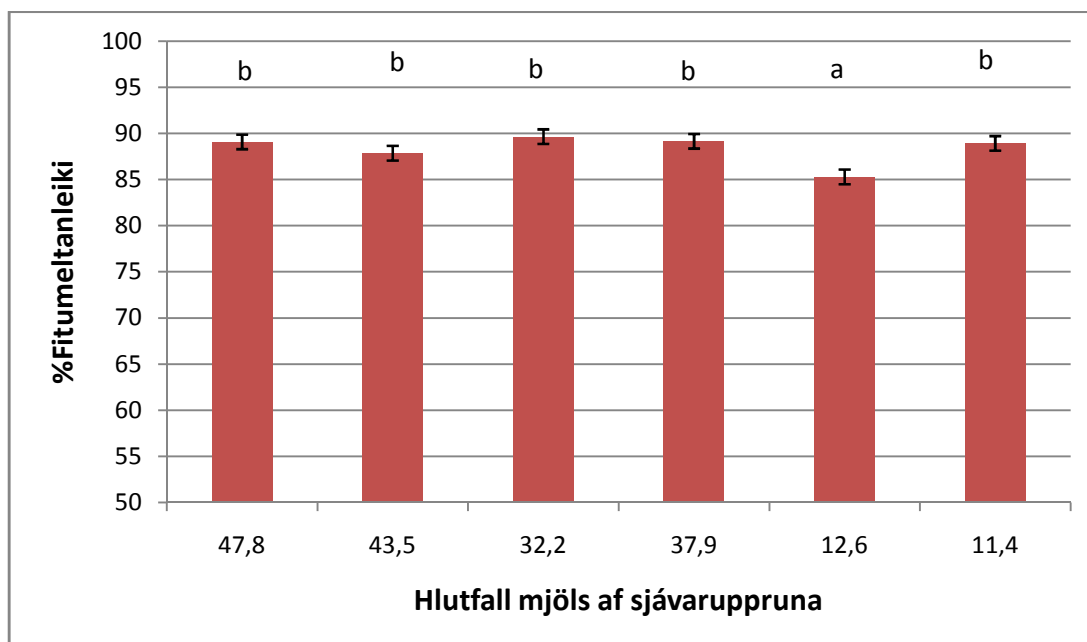
Mynd 7. Próteinnýtingarhlutfall (PER) í fóðurgerðunum sem notaðar voru í tilrauninni, með ólíku hlutfalli próteingjafa af sjávaruppruna (sjá hlutfallslega samsetningu hráefna í töflu 1). Hver meðferð var í þrítækningu (n=3).

Samband próteinnýtingar (PER) og próteininnihalds í fóðrinu er sýnt á mynd 6. PER-hlutfallið er á bilinu 2,4-2,6 og fór lítillega lækkandi eftir því sem próteinhlutfallið í fóðrinu lækkar. Það mælist fylgni milli hlutfallslegs próteins í fóðri og nýtingar þess. Eftir því sem próteininnihald fóðurs hækkar minnkar nýting þess til vaxtar, en munurinn mælist ekki marktækur milli fóðurgerðanna enda próteininnihaldið býsna svipað. Próteinnýtingin virðist því ekki háð próteinhráefninu í fóðurgerðunum (mynd 7).

Próteinmeltanleiki fóðurgerðanna er sýndur á mynd 8. Þar er meltanleikinn dreginn fram eftir hlutfalli sjávarpróteins í fóðrinu. Próteinmeltanleikinn mælist á bilinu 87,3-90,0% en ekki mælist marktækur munur milli meðferðarhópanna.

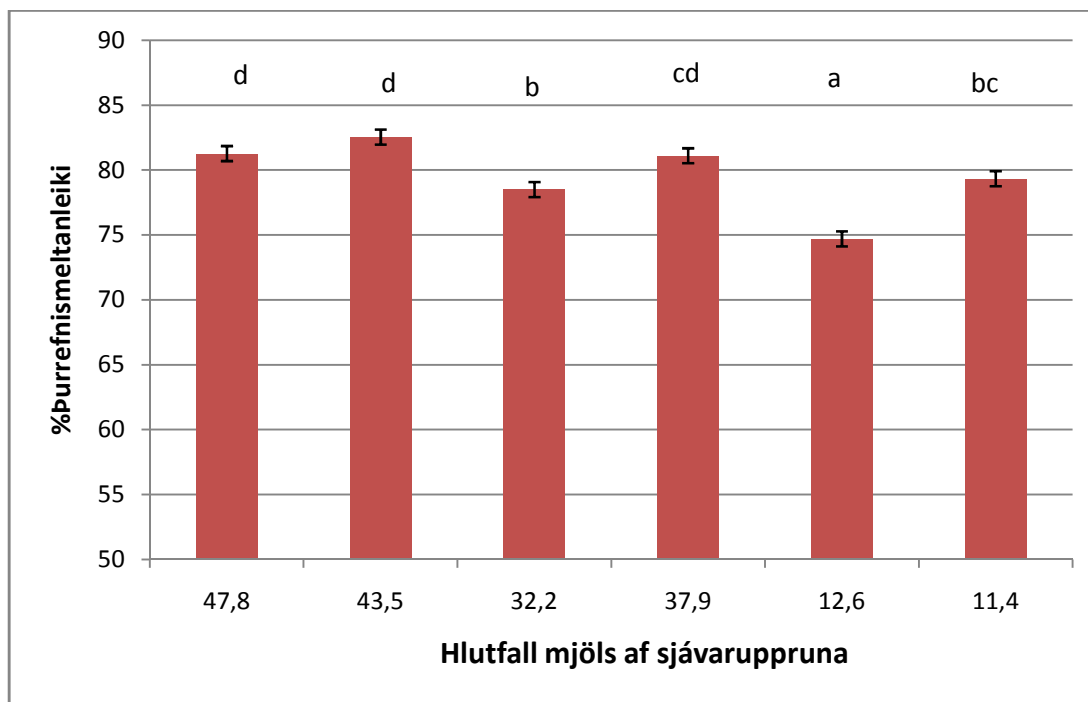


Mynd 8. Hlutfallslegur próteinmeltanleiki (\pm se) í tilraunafóðri með mismunandi háu hlutfalli próteingjafa af sjávaruppruna. Enginn tölfræðilega marktækur munur milli meðferða ($p < 0,05$) $n=3$.



Mynd 9. Hlutfallslegur fitumeltanleiki (\pm se) í tilraunafóðri með mismunandi háu hlutfalli próteingjafa af sjávaruppruna. Ólíkir bókstafir milli meðferða tákna tölfræðilega marktækan mun ($p < 0,05$) $n=3$.

Fitumeltanleikinn í fódurgerðunum mælist á bilinu 85,3-89,7%. Í fódri nr. 2963, sem inniheldur 12,6% prótein af sjávaruppruna og fiskimjölið er síldarbeinamjöl, mælist fitumeltanleiki marktækt lægri en í öðrum fódurgerðum. Ekki er marktækur munur á fitumeltanleika milli hinna fódurgerðanna.



Mynd 10. Hlutfallslegur þurfnismeltanleik (\pm se) í tilraunafóðri með mismunandi háu hlutfalli próteingjafa af sjávaruppruna. Ólíkir bókstafir milli meðferða tákna tölfræðilega marktækan mun ($p < 0,05$) $n=3$.

Þurfnismeltanleikinn mælist á bilinu 74,7-82,5% og er sýndur á mynd 10.

Þurfnismeltanleikinn er lægstur í fódri 2963 þar sem hlutfall próteingjafa úr plöntumjöli er hátt og sjávarpróteingjafinn síldarbeinamjöl. Sambærilegt fóður þar sem notað er síldarmjöl í staðinn mælist með marktækt hærri þurfnismeltanleika. Fódurgerðirnar þar sem próteingjafinn er að mestu eða öllu leyti af sjávaruppruna mælast með hæstan þurfnismeltanleika.

Fitusýrusamsetning bleikjuflaka

Tafla 4. Fituhlutfall og gerðir fitusýra í flökum

Fóður Nr.	2959	2960	2961	2962	2963	2964
Heildar sjávarprótein RMs %	47,8	43,5	32,2	37,9	12,6	11,4
Heildar plöntuprótein RMs %	0	0	33,9	17	51,5	51,5
Fituhlutfall í flökum %	9,3	10	11	9,8	6,8	9
SFA	21,5	20,5	20,0	20,8	20,5	20,6
MUFA	47,2	47,9	48,1	47,1	45,2	45,8
PUFA	25,6	26,3	26,5	26,7	28,9	27,9
TFA	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Sum n-3	21,7	22,2	20,9	21,8	23,0	22,5
Sum n-6	3,4	3,5	5,1	4,3	5,3	4,9
n-3/n-6	6,4	6,4	4,1	5,0	4,3	4,6

Áhrif fóðurgerða á fitusýrusamsetningu flaka eru sýnd í töflu 4. Fiskalýsi var notað sem beinn orkugjafi en einnig er einhver fita í fóðrinu úr mjólhraefninu. Ekki kemur fram umtalsverður munur í flökunum á hlutfalli fitusýrugræða eftir fóðurgerðum. Helst má greina nokkra hækkun á summu n-6 fitusýra eftir því sem hlutfall plöntupróteins í fóðrinu hækkar. Það skýrist væntanlega af því að í plöntumjölinu eru plöntuolíur sem hafa umtalsvert herra hlutfall n-6 fitusýra en fita í fiskimjöli. Hinsvegar virðist það ekki hafa áhrif á innihald fjölmættaðra fitusýra (PUFA) í flökunum því fremur er tilhneiging til hækkunar á innihaldi þeirra eftir því sem minna próteinhraefni af sjávaruppruna er í fóðrinu. Öndvert er fremur tilhneiging til lægra hlutfalls einómættaðra fitusýra í flökunum með herra PUFA hlutfall.

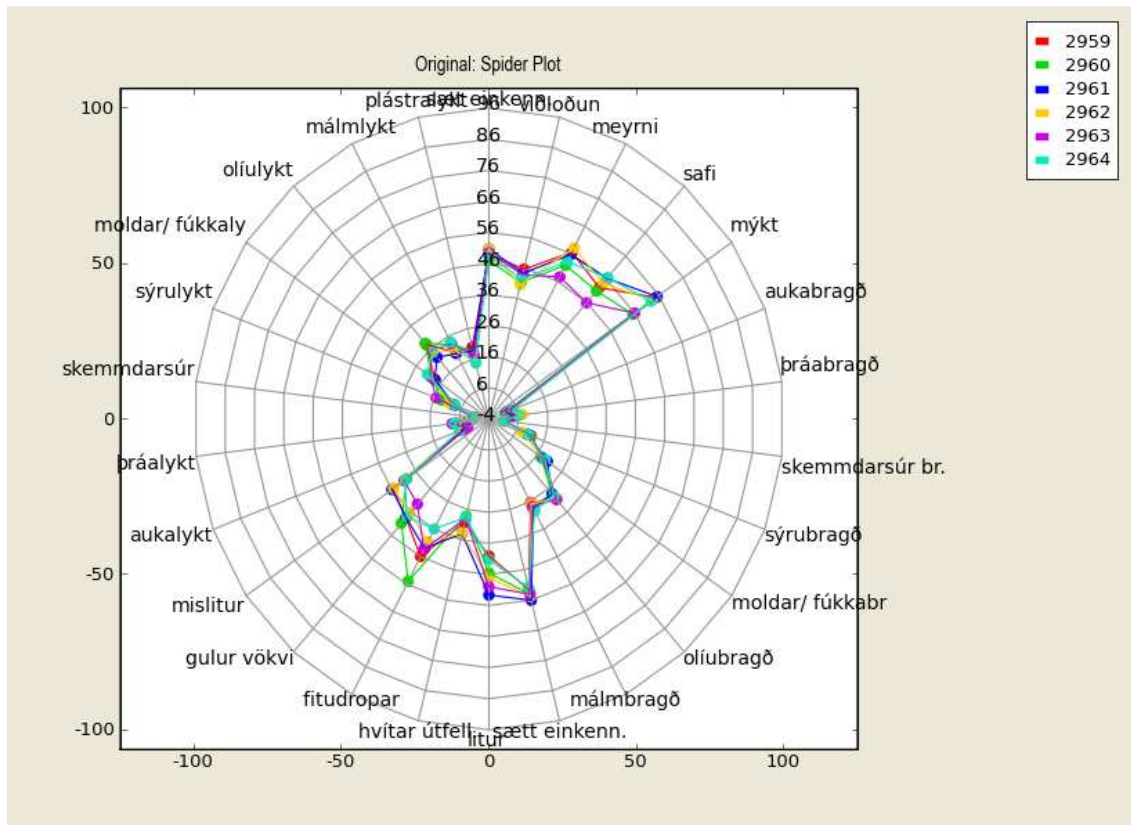
Niðurstöður skynmats.

Meðaltöl skynmatsþátta og p-gildi eru sýnd í töflu 5. Lítil munur var á sýnahópunum. Hópur 2963 hafði meiri sýrulykt en 2959, 2961 og 2964. Enginn munur var á öðrum lyktarþáttum. Allir hóparnir höfðu mikla sæta, einkennandi lykt, greinilega olíulykt og málmlykt og vott af plástralykt og sýrulykt. Lykt sem lýsir skemmdareinkennum var engin.

Hópur 2960 hafði stærra fitudropa en hópar 2962, 2963 og 2964 en allir hópar höfðu nokkuð af fitudropum. Allir hópar voru meðaldökkir en ekki mikið misleitir. Vökvi var frekar litlaus og hvítar útfellingar voru ekki miklar.

Enginn munur var á bragðþáttum milli hópa. Allir hópar höfðu mikið sætt einkennandi bragð, greinilegt olíubragð og málmbragð og vott af moldarbragði og sýrubragði. Engin skemmdareinkenni voru til staðar.

Munur í mýkt var marktækur og voru hópar 2959 og 2961 mýkstir en 2960 stinnastur. Allir hópar voru mjúkir, safaríkir, meyrir og höfðu nokkra viðloðun. Mynd 11 sýnir spiderplot af meðaltölum skynmatsþátta.



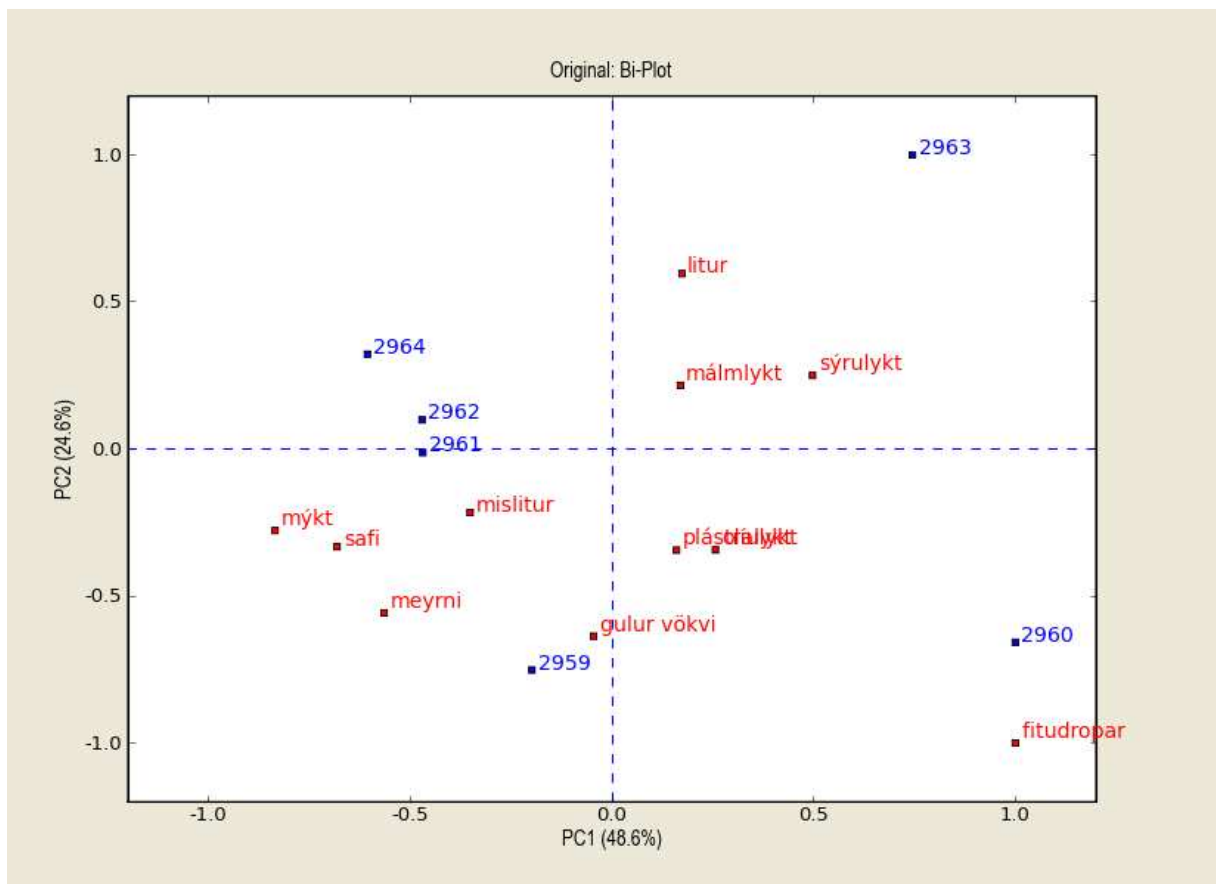
Mynd 11. Spiderplot fyrir meðaltöl skynmatsþátta. Númer eru einkennisnúmer meðferðarhópa og er gefinn sérstakur litur.

Tafla 5. Meðaltöl skynmatsþátta (Skali 0-100), fyrir hópa 9-7; 15-12-9-7; 15-7; 9-12; 15-12-9-12 og 15-12. Númer eru einkennisnúmer meðferðarhópa. Ef bókstafir við hópa innan línu eru ekki eins er marktækur munur á hópum ($p < 0,05$)

Skynmatsþáttur	2959	2960	2961	2962	2963	2964	p-gildi
<i>LYKT</i>							
sæt einkennandi	49	47	51	51	50	49	0,775
plástralykt	20	19	19	15	17	15	0,746
málmlykt	20	23	20	21	24	24	0,286
olíulykt	28	29	23	25	25	25	0,218
moldar/ fúkkalykt	18	20	18	20	20	21	0,886
sýrulykt **	10 b	13	8 b	11	15 a	8 b	0,005
skemmdarsúr	1	1	1	1	1	1	0,361
þráalykt	7	5	5	6	9	8	0,646
aukalykt	6	4	5	7	4	7	0,795
<i>ÚTLIT</i>							
mislitur	36	30	36	35	31	30	0,125
gulur vöki	38	41	38	36	33	38	0,347
fitudropar í vatni **	46	55 a	43	41 b	43 b	36 b	0,007
hvítar útfellingar	30	28	34	34	29	29	0,400
litur	40	46	53	47	50	41	0,331
<i>BRAGÐ</i>							
sætt einkennandi	53	54	56	55	54	52	0,664
málmbragð	26	28	28	27	28	29	0,814
olíu/fitubragð	31	28	28	30	30	29	0,981
moldar/fúkkabragð	18	17	20	19	18	19	0,956
sýrubragð	11	11	10	8	11	10	0,528
skemmdarsúr	1	1	1	1	2	1	0,635
þráabragð	5	4	4	7	5	6	0,702
aukabragð	4	2	2	3	3	5	0,570
<i>ÁFERÐ</i>							
mýkt *	65	55	65	63	56	63	0,021
safi	52	51	56	54	46	57	0,151
meyrni	57	52	56	58	48	53	0,163
viðloðun	46	41	44	41	44	42	0,774

ms (marginal significance, $p = 0,05-0,10$); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$); *** ($p < 0,001$)

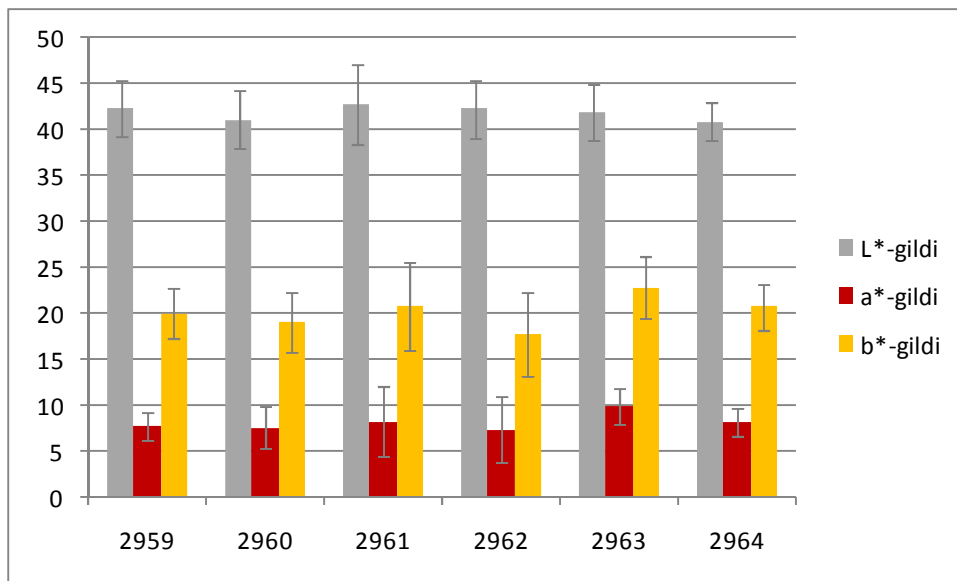
Mynd 12 sýnir samanburð á hópunum með fjölbáttagreiningu á skynmatseinkennum. Fyrsti höfuðþáttur skýrir 48,6% breytileika gagnanna og útskýrist líklega af því að hópar 2963 og 2960 voru metnir degi áður en hinir hóparnir. Slíkur munur er eðlilegur í skynmati en verður greinilegri þegar sýnahópar eru líkir eins og í þessu tilfalli. Annar höfuðþáttur skýrir 24,6% af breytileika gagnanna og útskýrist af mismunandi fóðurgerðum. Þar sem þetta er lítill hluti breytileikans er varhugavert að leggja of mikið upp úr túlkun á þessum niðurstöðum. Þó sést að ef einungis er horft á PC2 (annan höfuðþátt) raða hóparnir sér nokkurn vegin í röð á lóðrétta ásinn eftir fóðurgerðum.



Mynd 12. Höfuðþáttagreining (biplot); Meðaltöl yfir dómara og endurtekningar. Þeir skynmatsþættir sem útskýrðu lítið af breytileika milli hópa í fyrstu tveimur höfuðþáttunum voru teknir út fyrir greiningu. Númer eru einkennisnúmer meðferðarhópa.

Litmælingar

Ekki var munur í L-gildum milli hópa. Hópur 2963 hafði hærra a-gildi en aðrir hópar fyrir utan hóp 2964. Þó að munur í meðaltölum væri ekki mikill var mjög marktækur munur milli hópa í b-gildum. Þeir hópar sem höfðu fengið plöntufóður, og þá sérstaklega repju, gætu haft tilhneigingu til að hafa hærra b-gildi en aðrir hópar. Sjá töflu 6 fyrir meðaltöl litagilda og marktækni milli þeirra. Meðaltöl og staðalfrávik litagilda eru sýnd á mynd 13.



Mynd 13. Litmælingar á tilraunahópum (númer 2959-2964 eru fóðurnúmer í meðferðarhópum); L-gildi = dökkur/ljós litur; a-gildi = rauður litur; b-gildi = gulur litur.

Tafla 6. Meðaltöl litargilda fyrir tilraunahópa. Ef bókstafir við hópa innan línu eru ekki eins er marktækur munur á hópum ($p < 0,05$)

	2959	2960	2961	2962	2963	2964	p-gildi
L_gildi	42	41	43	42	42	41	0,484
a_gildi	* 8 b	8 b	8 b	7 b	10 a	8	0,048
b_gildi	** 20 bc	19 bc	21 ab	18 c	23 a	21 ab	0,002

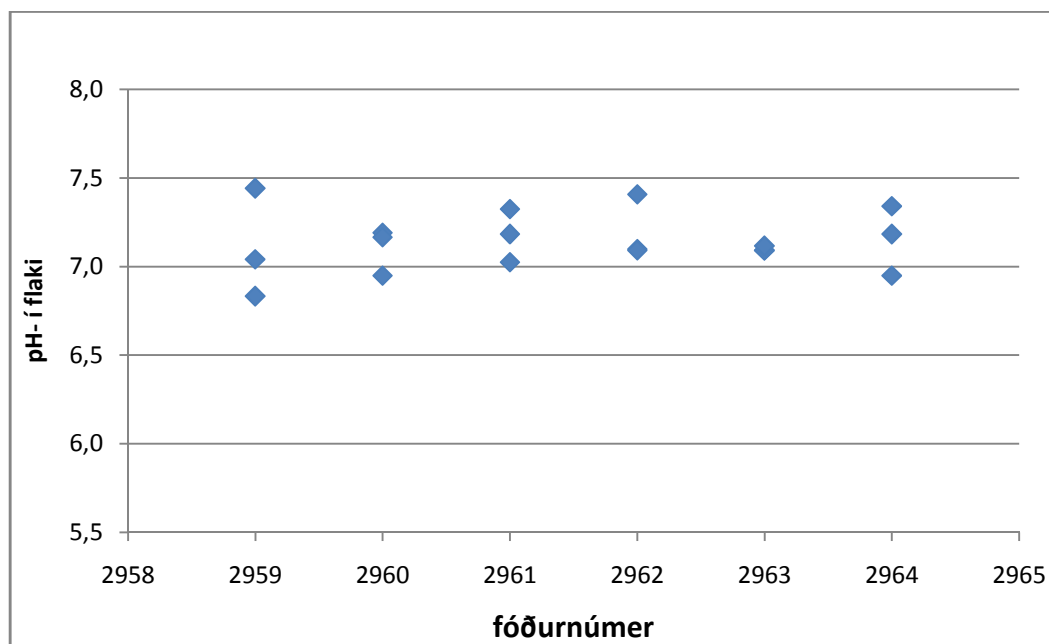
ms (marginal significance, $p = 0,05-0,10$); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$); *** ($p < 0,001$)

Mælingar á losi

Mat á losi sýndi engan marktækan mun milli hópa. Prósentuhlutfall einkunna fyrir los innan hópa er sýnt í töflu 7.

Tafla 7. Prósentuhlutfall einkunna innan tilraunahópa fyrir los. Einnig er meðaltal einkunna og staðalfrávik sýnt.

Hópur	Einkunn						Meðaltal	std.
	0	1	2	3	4	5		
59	100%	0	0	0	0	0	0	0
60	100%	0	0	0	0	0	0	0
61	83%	17%	0	0	0	0	0,2	0,41
62	67%	33%	0	0	0	0	0,3	0,52
63	83%	17%	0	0	0	0	0,2	0,41
64	67%	17%	0	17%	0	0	0,7	1,21



Mynd 14. Meðaltals sýrustig (pH) í flaki pre rigor

Sýrustig í flökum

Sýrustig í flökum fiska úr meðferðarhópunum, fyrir dauðastjarfa, er sýnt á mynd 14.

Sýrustigið virðist vera á svipuðu róli í fiskflökunum óháð fóðurgerðum. Sýrustig var ekki mælt meðan á dauðastjarfa stóð og því sýnir þessi mæling ekki mögulegt lágmarksgildi. Þekkt er að mikil lækun sýrustigs getur aukið hættu á holdlosi. Ekkert bendir til að þau áhrif komi fram hér.

Ummræður og ályktanir.

Vöxtur.

Vöxtur fisksins í öllum meðferðarhópum var býsna góður miðað við vatnshita og fiskstærð, en fiskurinn var af kynbættum eldisstofni frá Hólum. Tilraunin fór fram yfir sumartímamann, þ.e. við langa ljóslotu og á besta náttúrulega vaxtartíma og því má búast við góðum vaxtarviðbrögðum. Fiskurinn hafði verið við eðlileg vaxtarskilyrði en í heldur kaldara vatni fram að upphafi tilraunarinnar og því er ólíklegt að um sérstakan uppbótarvöxt sé að ræða af öðru en hitastigshækkun.

Vaxtarviðbrögð fisksins í þessari tilraun hljóta að teljast verulega athyglisverð vegna jákvæðrar svörunar meðferðarhópa við fóður sem er mjög frábrugðið því sem nú er notað í bleikjueldinu hér á landi. Niðurstöðurnar sýna að umtalsverð útskipting á fiskimjöli með plöntuhráefni, eða allt að 66%, hefur ekki endilega neikvæð áhrif á vöxtinn. Það kann þó að vera háð vissum skilyrðum, til dæmis heildar próteininnihaldi fóðursins, uppruna próteinhraefnanna miðað við próteininnihaldið og hlutfallslegri samsetningu þeirra. Vert er þó að benda á að próteininnihald fóðurgerðanna í þessari tilraun var í öllum tilvikum lægra en algengast er við matfiskeldi á bleikju enn sem komið er. Ekki er þó hægt að greina nein sérstök áhrif af mismunandi próteinhlutfalli í fóðrinu í þessari tilraun, en það greindist á bilinu 35,6-38,2% CP. Ekki er marktækur munur milli hópanna sem fengu hæsta og lægst próteinhlutfallið í fóðri. Það rennir stoðum undir niðurstöður fyrri rannsókna um próteinþarfir bleikju af þessari stærð (Ólafur Sigurgeirsson et al. 2009) og því verður að teljast líklegt að lágmarks próteininnihald fyrir bleikju af þessari stærð sé um eða jafnvel neðan við 35% mörkin. Það er þó væntanlega háð því að próteinið í fóðrinu sé vel meltanlegt og aðgengilegt fyrir fiskinn.

Ekki er vitað um neinar sambærilegar niðurstöður í fódurrannsóknum fyrir bleikju sem fóðruð er með svo háu hlutfalli próteinhraefna af plöntuuppruna í fóðri. Svipaðar niðurstöður hafa verið kynntar fyrir regnbogasilung þar sem fiskimjöli var skipt út með blöndu próteinríks plöntumjöls, en þar virtist þröskuldsgildið liggja við 1/3 próteins af fiskimjölsuppruna og 2/3 plöntuprótein svipað og hér kemur fram fyrir bleikju. Ef öllu fiskimjölinu var skipt út með plöntupróteini dró talsvert úr vexti regnbogans (Gomes et al. 1995). Ekki er kunnugt um að það hafi verið reynt í fóðri fyrir bleikju. Khausik et al.(2004) sýndi fram á að barra (D. labrax) dugði að 5% próteinsins kæmi frá fiskimjöli án þess að drægi úr vexti. Hjá laxi dró úr fóðurtöku og vexti þegar meira en 80% af próteininu í fóðrinu var af plöntuuppruna (Berge et al. 1998; Sveier et al. 2001). Við þennan samanburð verður að hafa í huga að ekki er um

samskonar hráefni í fóðrinu að ræða, hvorki fiskimjölið né plöntuhráefni. Hinsvegar hefur verið sýnt fram á að mögulegt er að ala lax alveg án fiskimjöls í fóðri, en það krefst íblöndunar á kristölluðum amínósýrum og jafnvel öðrum fóðurtöku-örvandi efnum, til að tryggja að innihald fullnægi amínósýruþarfir og gott át (Espe et al. 2006). Hæpið er að slíkar fóðurlöndur séu hagkvæmar eða samkeppnishæfar nú sem stendur. Þegar niðurstöður þessarar tilraunar eru skoðaðar í þessu ljósi má telja líklegt að enn sé hægt að auka útskiptinguna á fiskimjöli í bleikjufóðri með próteinríku plöntuhráefni, sérstaklega ef gætt er að amínósýrusamsetningunni og innihaldi andnæringarefna í hráefninu.

Heilt yfir er vöxtur fiskisins í öllum tilraunahópunum góður þó tveir meðferðarhópar séu mælanlega lægri í lokabyngd en hinir fjórir. Það er einkanlega hópur sem fékk fóður nr. 2963 sem sker sig úr og sýnir nokkuð lakari vöxt (SGR) en aðrir hópar. Næst lakastur er fiskur sem fékk fóður nr. 2961 en hann er þó ekki marktækt lakari en þeir hópar sem eingöngu fengu fiskimjöl sem próteingjafa (fóður nr. 2959 og 2960) en þó mælanlega lakari í lokabyngd en þeir hópar sem sýndu bestan vöxt (fóður nr. 2962 og 2964). Fóður 2961 er blanda af fiskimjöli og repjumjöli þar sem hlutfall þess er komið í um 34%. Það er athyglisvert að lokabyngd þessa meðferðarhóps er ekki marktækt frábrugðin við fiskinn sem fékk eingöngu fiskimjölsprótein þó vissulega sé mæligildið aðeins lægra. Repjumjöl sem notað var inniheldur 31% prótein (as is eða um 35% DM) en einnig er í því allmikið af trefjum og öðrum efnum sem talin eru hindra nýtingu næringarefna hjá fiskum (Mwachireya et al. 1999). Vaxtarniðurstaða þessarar tilraunar bendir til að óhætt er að skipta umtalsverðum hluta fiskimjöls út fyrir repjumjöl án vaxtarletjandi áhrifa og hátt hlutfall repjumjöls í fóðri hindri ekki nýtingu næringarefna frá fiskimjölinu eða að trefjarnar auki flæðihraða um meltingarveginn um of. Alltént hefur hátt repjumjölshlutfall ekki mælanleg áhrif á próteinmeltanleikann. Fyrri tilraunir með fóður sem innihélt hátt hlutfall soja mjöls (30%) sýndu marktækt lakari vöxt en hjá fiski sem eingöngu fékk fiskimjöl sem próteingjafa (Jón Árnason et al. 2007). Þessar niðurstöður renna frekari stoðum undir vísbendingar um að bleikja þoli hærra hlutfall repjumjöls en sojamjöls í fóðri. Það er athyglisvert í ljósi þess að sojamjöl inniheldur jafnan hærra próteinhlutfall en repjumjöl og repjumjölið er einnig ríkara af trefjum. Því kunna ólík þolmörk bleikjunnar að helgast af ólíkum andnæringarefnum í þessum plöntumjölsgerðum.

Þeir fjórir hópar sem bestan vöxt sýndu eru ekki mælanlega ólíkir í lokabyngd, þrátt fyrir að próteinhráefnið sé af talsvert ólíkum uppruna.

Fóður nr 2964 inniheldur aðeins 11,4% próteinhráefni af sjávaruppruna eða sem samsvarar því að þriðjungur próteinsins komi frá fiskimjöli. Í raun má segja að þessi meðferðarhópur

standist væntingar mjög vel, sé litið til hráefnasamsetningar fóðurgerðanna og samanburður gerður á þeim tiltölulega litla mun sem er á lokapýngd hópanna í heild.

Vaxtarniðurstaða þessa meðferðarhóps (á fóðri 2964) þýðir að hlutfallsleg nettó framleiðsla af fiski úr eldi með hráefni sem upprunnið er frá fiski er að nálgast 1,0. Með öðrum orðum erum við að ná þeim þröskuldi í þessari tilraun að framleiða verðmætt fiskiprótein í bleikju úr tiltölulega mun ódýrara plöntuhráefni. Í fóðurgerðunum hér var fitan í fóðrinu af sjávaruppruna (lýsi). Fyrri niðurstöður á útskiptingu fiskalýsis með plöntuolíum í fóðri fyrir bleikju sýndu að vel má fóðra hana lengst af vaxtartímans með blöndu plöntuolíu og litlu eða engu lýsi án vaxtarletjandi áhrifa (Jón Árnason et al. 2007). Það bætir enn nettó framleiðsluútkomuna á fiski framleiddum með litlu hráefni úr fiski en háu hlutfalli plöntuhráefna.

Fóður 2962 inniheldur um 17% repjumjöl auk 38% síldarmjöls. Megnið af próteininu er því af sjávaruppruna og slík útskipting fiskimjöls með repjumjöli virðist vel innan marka. Raunar er mælt meðalþýngdargildi hæst hjá fiskinum sem fékk þetta fóður og marktækt hærra en hjá hópnunum sem fékk 34% repjumjöl í fóðri. Það bendir til þröskuldurinn fyrir útskiptingu fiskimjöls með repjumjöli einu og sér liggja neðanvið 34% hlutfall repjumjöls. Í fóðri 2964 er hlutfall repjumjöls 26,5% en þar eru einnig aðrir próteingjafar af plöntuuppruna, sojamjöl, hveitiglúten-mjöl og maís glútenmjöl. Fiskurinn á þessu fóðri vex jafn vel og fiskur á fóðri 2962 og marktækt betur en fiskurinn á fóðri 2961. Það sýnir að svo hátt hlutfall repjumjöls í fóðri (26,5%) hefur ekki neikvæð áhrif á vöxtinn og þrátt fyrir að mun hærra hlutfall próteinsins sé af plöntuuppruna í þessu fóðri samanborið við fóður 2961 virðist blöndun nokkurra mjölgerða í fóðrinu hafa jákvæð áhrif. Mögulega er betra jafnvægi á innihaldi lífsnauðsynlegra amínósýra í fóðrinu þar sem mörgum hráefnagerðum er blandað saman í stað þess að skipta fiskimjölinu út fyrir hátt hlutfall repjumjöls eitt og sér.

Þegar hóparnir sem fengu fiskimjöl sem eina próteinhráefnið, síldarbeinamjöl (fóður nr. 2959) og síldarmjöl (fóður nr 2960) eru bornir saman sést enginn munur á vexti eða lokapýngd. Það gefur til kynna að fiskimjöl gert úr síldarafskurði er vel nothæft í bleikjufóður, a.m.k. sem hátt hlutfall próteinhráefnis. Heildar próteininnihald þessara fóðurgerða er sambærilegt, annarsvegar 36,0% CP í beinamjölsfóðrinu og hinsvegar 35,6% CP í síldarmjölsfóðrinu. Þegar hóparnir sem fengu minnst af próteinhráefni úr fiskimjöli (fóður nr. 2963 og 2964) eru bornir saman kemur fram munur á lokapýngd, þar sem fiskur sem fékk fóður 2963 sýnir afgerandi lakastan vöxt allra hópa meðan fiskur sem fékk fóður 2964 vex einna best. Fóðurgerðirnar innihalda sambærilegt hlutfall hráefna sömu hráefnisgerða utan að í fóðri 2963 er sjávarpróteinhlutinn úr síldar-beinamjöli en í fóðri 2964 er hann að megninu til

síldarmjöl. Jafnframt munar lítillega á heildar próteininnihaldi fódurgerðanna, þar sem fódur 2963 inniheldur 36,2% CP meðan fódur 2964 inniheldur 38,2% CP. Sambærilegur munur kemur ekki fram þegar allt próteinið var af síldaruppruna, eins og áður sagði (fódur 2959 og 2960). Þarna kemur því fram einkennilegur munur milli hópa sem fá mismunandi síldarmjöl í fódri en fódrið svipað að öðru leyti. Getur verið að samspil próteinhráefna og heildar próteininnihalds í fódri sé svo náð að það dugi til að útskýra þennan vaxtarmun? Það virðist fremur ólíklegt, sérstaklega í ljósi þess að próteinmeltanleikinn er sambærilegur milli allra fódurgerðanna. Fódurstuðull allra fódurgerðanna sem skoðaðar voru í tilrauninni reyndist sambærilegur, FCR um 1,1 og því hefur fiskurinn í öllum meðferðarhópum étið jafn mikið af meltanlegu próteini. Að auki er próteinnýtingarhlutfall fisksins sambærilegt í öllum hópum (myndir 6 & 7) og því skýrir það heldur ekki muninn á vextinum og lokþyngdinni og því ekkert sem gefur tilefni til að ætla að fiskur á fódri 2963 hafi ekki fengið nægilegt prótein til að nýta vaxtargetu sína. Hinsvegar er meltanleiki fitunnar marktækt lakari hjá fiski á fódri 2963 en hjá öðrum hópum og sama er að segja um þurrefnismeltanleika. Það kann að vera a.m.k. hluti skýringarinnar. Þó er ólíklegt að fiskurinn hafi ekki fengið næga orku í fódri til vaxtarins. Bailey og Alanara (2006) hafa ályktað að orkuþörf fyrir bleikju við sambærilegar aðstæður og voru í þessari tilraun og af svipaðri stærð sé um 13-14 MJ/kg af meltanlegri orku til að þyngjast um kílóíð. Það er talsvert neðan við meltanlega orku í fódurgerðum þessarar tilraunar sé miðað við mældan próteinmeltanleika og fitumeltanleika og át upp á fódurstuðul 1,1. Þarna kann einnig að vera ógreinilegt samspil milli fitu, trefja og annarra kolvetna sem hefur áhrif.

Við fódrun með blöndum þessara hráefnisgerða er ekki hægt að útiloka skort á einstökum efnum, svo sem stein- og snefilefnum, sem geta dregið úr eða hamlað eðlilegum vexti (Lall, S.P., 2002). Þekkt er að aðgengilegur fosfór í fiskimjöli er mismunandi milli fiskmjölsgerða, bæði vegna þurrkunaraðferðar og fiskahráefnis (Lall, S.P. & Lewis-McCrea, L.M.; 2007) og í síldarbeinamjöli virðist fosfórinn tiltölulega fast bundinn og illa aðgengilegur fiskinum (Nordrum, S. et al. 1997). Jafnframt er fast bundinn fosfór einkenni margra plöntumjölsgerða og því getur fosfórskortur dregið úr vexti (Storebakken et al. 1998; Francis et al. 2001). Því verður munurinn á lokþyngd þessara hópa (á fódri 2963 og 2964) ekki auðveldlega útskýrður út frá fyrirliggjandi niðurstöðum og gögnum einum og sér en meltanleiki fosfórs var því miður ekki mældur í þessari tilraun. Kanna þarf nánar bæði fosfórþarfir bleikju og nýtingu fosfórs og jafnvel annara stein- og snefilefna við mismunandi fódursamsetningu.

Fóðurstuðull og próteinnýting.

Sambærilegur fóðurstuðull, FCR nálægt 1,1 er hjá öllum meðferðarhópunum (mynd 4 & 5) og verður að teljast ásættanlegt fyrir fisk af þessari stærð. Það segir að fiskarnir voru í öllum tilfellum að éta ámóta mikið fóður til að þyngjast um hverja einingu. Það er athyglisvert að hvorki ólíkt próteinhlutfall í fóðrinu né aukin íblöndun plöntuhráefna hafi markverð áhrif á fóðurstuðulinn, eins og kannski mætti búast við. Samanburður á fóðurstuðli milli ólíkra tilrauna getur verið vafasamur því ekki er víst að allar aðrar umhverfisbreytur en fóðrið eða tilraunaaðferðir séu sambærilegar. Í fyrri tilraun sem gerð var á samskonar fiski í sömu kerjum, og við líkar aðstæður, kom fram tilhneiging til lækkunar í fóðurstuðli við hækkað hlutfall próteins í fóðri (Ólafur Sigurgeirsson et al. 2009). Þar voru lægstu gildi fyrir fóðurstuðul nokkru lægri en hér koma fram, en það var þó einkanlega þegar próteinhlutfallið í fóðrinu var hátt (> 42,6%). Heildar próteinhlutfall í fóðurgerðunum sem hér voru til skoðunar var á bilinu 35,6-38,2% og fóðurstuðullinn á líku róli og hjá fiski í fyrri tilraun, sem fékk sambærilegt próteinmagn í fóðri. Því er nærtækt að álykta að fiskurinn í þessari tilraun hafi náð að fullnægja próteinþörf sinn þrátt fyrir eilítið mismunandi aðgengilegt prótein í fóðrinu. Fóðrið hafi einnig fullnægt orkuþörfinni fyrir þeim ágæta vexti sem varð í flestum hópunum. Eftir stendur hinsvegar óútskýrt hvers vegna meðferðarhópurinn sem fékk fóður 2963 sýnir mun lakari vöxt. Þessi hópur bregst ekki við fóðrinu með því að éta meira, því fóðurstuðullinn er sambærilegur og hjá hinum hópunum. Aukin heldur mælist próteinmeltanleikinn í fóðrinu fyrir þennan hóp sambærilegur öðrum. Því er varla um próteinskort að ræða, sem er undirstrikað með mjög svipuðu próteinnýtingarhlutfalli milli meðferðarhópanna. Próteinnýtingin verður að teljast mjög góð hjá öllum meðferðarhópum, PER hlutfall um 2,6 niður í 2,4 og fer lítillega lækkandi með hækkingu próteininnihaldi fóðursins. Það þýðir að fiskurinn þyngist um 2,4-2,6 g fyrir hvert gramm étið prótein. Þetta er á svipuðum nótum og mælst hefur fyrir smærri lax (100-200g) á fóðri með mismunandi próteinhráefnum (Mundheim et al. 2004; Opstveit et al. 2003), nokkru hærra en mælst hefur fyrir regnbogasilungsseiði (Thiessen et al. 2003) og talsvert mikið hærra en mældist hjá urriðasmáseiðum (Arzel et al. 1995).

Í náttúrunni lifir bleikja oft við mjög rýran kost, einkanlega á köldum ferskvatnbúsvæðum hátt yfir sjávarmáli. Þar er vísast ekki mikið um ætilegt og auðfengið prótein, a.m.k. ekki yfir kaldari árstíma. Því er ekki ólíklegt að aðlögun hennar sé í átt að góðri próteinnýtingu.

Meltanleiki

Meltanleiki próteins úr hráefnum sem notað er í fiskafóður getur verið afar mismunandi. Þar virðast fjölmargir þættir hafa áhrif, bæði tegund og uppruni hráefnis og einnig meðferð og vinnsla þess. Þannig hefur til dæmis þurrkhiti við fiskimjölsframleiðslu áhrif á próteinmeltanleikann. Meltanleiki próteina úr plöntum er breytilegur en fer að verulegu leyti eftir hreinleika hráefnisins, þ.e hversu hátt próteinhlutfall hráefnisins er, hversu mikið það er hreinsað og meðhöndlað. Sumt af því plöntuhráefni sem hefur verið notað í fiskafóður inniheldur umtalsvert magn ólíkra efna (andnæringarefna) sem geta hindrað meltinguna og upptökuna úr þarminum þrátt fyrir að amínósýrusamsetningin sé ekki endilega mjög óheppileg fyrir fiskinn. Margvísleg meðhöndlun hráefna getur dregið úr virkni þessara andnæringarefna. Amínósýrusamsetning margra próteinríkra plöntuhráefna getur einnig verið talsvert frábrugðin amínósýrusamsetningu þeirrar fæðu sem fisktegundin er aðlöguð að. Með blöndu mismunandi hráefnagerða má þó nálgast og uppfylla ætlaðar amínósýruþarfir fisktegundarinnar (við gerð þeirra fódra sem hér voru prófuð var stuðst við amínósýru þarfir fyrir lax af svipaðri stærð).

Niðurstöður þessarar tilraunar sýna ekki marktækan mun á próteinmeltanleika milli fódurgerða og að meltanleiki próteins í fóðrinu varð ekki fyrir mælanlegum áhrifum af lækandi hlutfalli próteins af sjávaruppruna á móti hækkandi hlutfalli próteins af plöntuuppruna. Það verður að teljast afar jákvætt og því má álykta að blöndurnar hafi á margan hátt verið vel heppnaðar og raunar hefur útskipting með háu hlutfalli repjumjöls (34%) einu og sér ekki heldur neikvæð áhrif á próteinmeltanleikann.

Niðurstöður tilrauna með útskiptingu á fiskimjöli með próteinríku plöntuhráefni fyrir fiska sýna ólík áhrif á meltanleika, sem virðist breytilegt milli fisktegunda, hráefnissamsetningar fódursins, meðhöndlun hráefnis og hversu mikil útskiptingin er (t.d. Drew et al. 2007; Mundheim et al. 2004; Thiessen et al. 2003; Refstie et al. 2000; Refstie et al. 2001; Kaushik et al 1995; Glencross et al. 2004; Opstvet et al. 2003; Allan & Booth, 2004; Tibbetts et al. 2006; Kim et al. 2007).

Í fódurgerðunum þar sem eingöngu er notað fiskimjöl sem próteingjafi (fóður 2959 og 2960) mælist próteinmeltanleikinn um 90% en gildi hinna fódurgerðanna lítillaga lægri. Þó samanburður við niðurstöður annarra tilrauna geti verið vafasamur af margvíslegum ástæðum, virðast gildin á meltanleika vera nokkuð sannfærandi.. Margt getur þó haft áhrif á meltanleikann og mat á honum, svo sem söfnunaraðferð á saur, önnur truflandi mæliáhrif (Storebakken, T. et al. 1998) eða þurrkhiti við mjölframleiðsluna. Í þessari tilraun var saur

kreistur úr fiskinum með stroki aftast úr gotrauf. Sú aðferð getur leitt til vanmats á meltanleika ef meltingu hefur ekki verið lokið að fullu í þörmum fisksins. Við kreistinguna er einnig hætt á að slímþekjufrumur og þvag fylgi að einhverju leyti með í sýnið en það leiðir til undirmats á meltanleika.

Magn meltanlegs próteins í fóðrinu er ekki líklegt til að vera takmarkandi fyrir vöxtinn í meðferðarhópum þessarar tilraunar. Því má búast við að þörfum fyrir lífsnauðsynlegar amínósýrur og köfnunarefni sé fullnægt og fiskurinn fái nægilegt byggingarefni til vaxtarins úr fóðrinu. Ekki kemur heldur fram munur á fóðurstuðli eins og kannski mætti búast við ef aðgengilegt prótein og orka væri mjög mismunandi milli fóðurgerðanna. Því verður lélegasta vaxtarniðurstaðan, hjá meðferðarhópi sem fékk fóður 2963 varla rakin til þessara þátta og því þörf á að leita skýringanna annarsstaðar, eins og áður hefur verið nefnt.

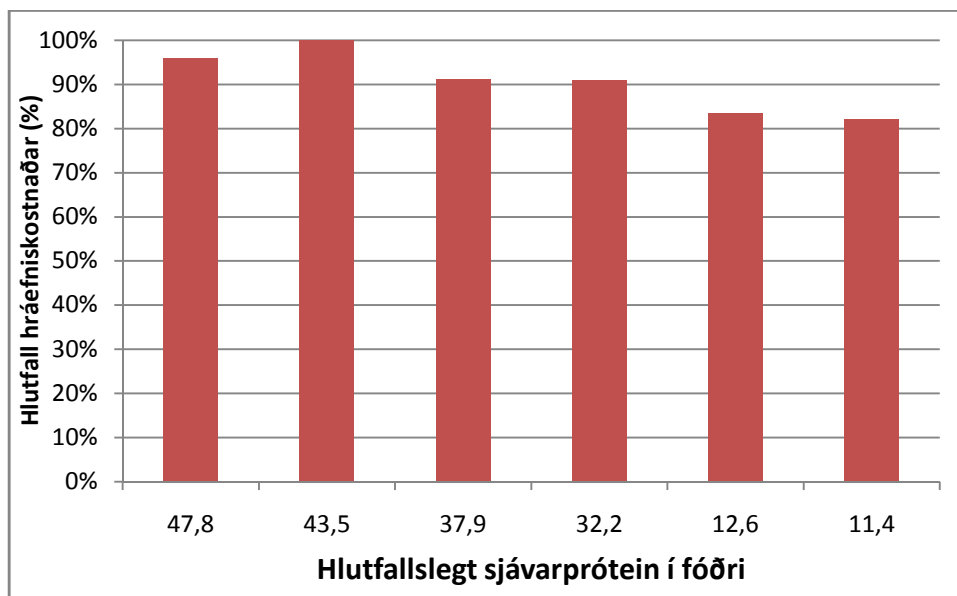
Fitumeltanleikinn í þessum fóðurgerðum mælist einnig í lægri kantinum miðað við það sem algengast er að mælist hjá laxfiskum. (Sigurgísladottir et al. 1992; Olsen, R.E. & Ringo, E. 1997; Mundheim et al. 2004). Það kann að einhverju leyti að vera vegna ólíkra greiningaaðferða. Hinsvegar kemur fram marktækt lakari fitumeltanleiki í einni fóðurgerð (2963) sem inniheldur hlutfallslega mjög lítið fiskiprótein en hátt hlutfall plöntumjöls. Hvort það dugar sem skýring er erfitt um að dæma en ekki er óhugsandi að trefjar og önnur andnæringarefni auk tiltölulega hás kolvetnahlutfalls í fóðurgerðunum geti haft truflandi áhrif á fitumeltanleikann. Grisdale-Helland, B. & Helland, S.J., (1997) fundu samspil milli fituinnihalds í fóðri og meltanleika kolvetna, sem féll hraðar þegar fituhlutfall var hátt við vaxandi kolvetnainnihald. Því er líklegt að flókið samspil milli hráefna og aukaefna í fóðri geti haft áhrif á meltanleika. Niðurstöður þurrefnismeltanleikans í þessari tilraun (mynd 10) styðja það þar sem þurrefnismeltanleikinn viðrist stefna niður eftir því sem meira af fiskimjöli er skipt út fyrir plöntumjöl.

Áhrif hráefnasamsetningar á fóðurverð.

Mikil verðhækkun á fiskimjöli undanfarin misseri hefur knúið fiskafóðurframleiðendur til að leita leiða til að lækka hlutfall þess í fóðri. Í staðinn er reynt að nota annarskonar og ódýrara próteinhráefni. Próteinríkt plöntumjöl er algengast. Þetta er gert til að hindra mikla verðhækkun á fóðri. Hinsvegar mun lækkað fóðurverð vegna ódýrari hráefna ekki lækka framleiðslukostnaðinn nema fiskurinn vaxi sambærilega og nýti fóðrið á móta vel eftir sem áður. Þarna er þó hægt að hugsa sér ákveðinn jafnvægispunkt milli fóðurverðs, fóðurnýtingar og vaxtar hjá fiskinum. Hvað getur framleiðandi sætt sig við mikið lakari vöxt eða lengri framleiðslutíma ef fóðurverðið er lægra? Áhrif af nokkru lengri vaxtartíma á

framleiðslukostnað verða tiltölulega lítil ef fiskurinn þarf eftir sem áður jafn mikið af fóðrinu til að vaxa um hvert kíló. Fóðurkostnaðurinn í matfiskeldi er langstærsti einstaki kostnaðarliðurinn og vegur mun meira en aðrir tímatengdir kostnaðarliðir, bæði fastir og breytilegir.

Á mynd 15 er gerður samanburður á hlutfallslegum hráefniskostnaði til framleiðslu á hvert kíló fisks í þessari tilraun. Miðað er við hráefnisverð eins og það stóð á haustmánuðum 2009 og hlutfall reiknað út frá þeirri fóðurtegund sem hafði hæsta hráefnisverðið (fóður 2960). Af myndinni má sjá að lækkun á innihaldi sjávarpróteins leiðir til umtalsverðrar lækkunar á hráefnisverði. Ódýrasta hráefnasamsetningin (fóður 2964), sem inniheldur aðeins 11,4% prótein af sjávaruppruna, er nærri 20% ódýrari en sú dýrasta, þar sem próteingjafinn var síldarmjöl (2960). Aukinn heldur óx fiskurinn á þessu ódýrasta fóðri mjög vel, jafn vel og fiskurinn sem eingöngu fékk fiskimjöl (raunar hærra meðaltalsgildi lokapýngdar). Þetta verður því að teljast mjög álitleg fóðurblanda fyrir bleikjueldið. Hópurinn sem óx lakast (fóður 2963) fékk 12,6% prótein af sjávaruppruna. Hráefnið í það fóður kostar nánast það sama og í fóður 2964, og því er fóðurkostnaður á hvert kíló framleitt mjög svipað fyrir þessa tvo hópa. Hinsvegar má gera ráð fyrir að framleiðslutíminn við að ná sambærilegri meðalþýngd yrði lítillega lengri við að nota fóður 2963. Fóðurstuðullinn var sambærilegur (FCR= 1,1) milli allra meðferðarhópanna og því eru allir fiskarnir að éta svipað fóðurmagn til að þýngjast um hverja einingu. Af þessu má ráða að unnt er að ná fram umtalsverðri hagræðingu í fóðurkostnaði fyrir bleikju, með því að skipta fiskimjöli út fyrir heppilega blöndu plöntupróteina.



Mynd 15. Hlutfallslegur hráefniskostnaður á hvert kíló vaxtar- reiknað út frá fóðurverði miðað við síldarmjöl sem eina próteingjafa. (hráefnisverð frá okt. 2009)

Samantekt skynmats.

Mjög lítil munur var á tilraunahópunum. Í bragðþáttum fannst enginn munur milli hópa. Munur í lykt var einnig lítil en hópur 2963 skar sig úr með mesta sýrulykt. Munur í sýrulykt virðist þó ekki skýrast af muni í fóðurgerð. Í útliti var ekki munur milli hópa nema í fitudropum þar sem hópur 2960 hafði stærstu fitudropana. Munur var milli hópa í mýkt en hann virðist ekki skýrast af fóðurgerð.

Enginn munur var milli hópa í losi en litmælingar leiddu í ljós mun í a- og b-gildum. Hópur 2963 hafði hærra a-gildi en aðrir hópar að undanskildum hópi 2964. Þeir hópar sem höfðu fengið plöntufóður, og þá sérstaklega repju, gætu haft tilhneigingu til að hafa hærra b-gildi en aðrir hópar.

Mismunur í stærð fitudropa gæti bent til þess að bleikja sem fær fóður með hlutfallslega miklu fiskimjöli sé feitari en bleikja alin á fóðri með miklu á plöntumjöli, það skýrir þó ekki þennan mun að fullu, samanber mælt fituinnihald samkvæmt Töflu 12. Fóðurgerðin gæti einnig haft einhver áhrif á gulan lit (b-gildi) þar sem hópar aldir á plöntufóðri, og þá sérstaklega repju, virtust hafa tilhneigingu til að vera gulari en aðrir hópar. Að öðru leyti virtist hlutfall plöntumjöls í fóðri ekki hafa teljandi áhrif á skynmatseiginleika bleikjunnar.

Lokaorð.

Niðurstöður tilraunarinnar sýna að hægt er að ala bleikju á fóðri sem samanstendur af ólíkum próteinhraefnum án þess að dragi úr vexti og fóðurnýtingu og án þess að samsetning fóðursins hafi teljandi áhrif á gæð, bragð eða útlit afurðanna. Mikilvægast er þó að sýnt hefur verið fram á að óhætt er að minnka hlut fiskimjöls sem próteingjafa um 2/3 eða að nægilegt er að þriðjungur próteinsins í fóðrinu sé af sjávaruppruna. Þar með hefur eldið nálgast þann mikilvæga þröskuld að verða nettó framleiðandi af dýrmætum, auðmeltanlegum, próteinríkum afurðum til manneðis úr hraefnum sem að mestu eru framleidd með ræktun plantna á landi. Það er stórt skref í átt að sjálfbærara og skynsamlegra fiskeldi. Frekari rannsókna er þörf til að leiða í ljós hvort gera má enn betur við að minnka notkun fiskimjöls (og lýsis) í bleikjufóðri.

Þakkir

AVS sjóður Sjávaútvegs- og landbúnaðarráðuneytis styrkti þessa rannsókn og á hann skilið þakkir. Jafnframt eru þeim færðar þakkir sem komu að framkvæmd þessarar tilraunar með einum eða öðrum hætti.

Heimildaskrá

1. Allan, G.L & Booth, M.A., 2004. Effects of extrusion processing on digestibility of peas, lupins, canola meal and soybean meal in silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell)diets. *Aquaculture research*, 35, 981-991.
2. Andersen, U.B., Stromsnes, A.N., Steinsholt, K., and Thomassen, M.S., 1994. Fillet gapping in farmed salmon (*Salmo salar*). *Norwegian J. Agricultural Sci.*, 8:165-179.
3. AOCS Official Method Ce 1b-89 AOAC 996.06.
4. Arzel, J., Robert MCTailler, Christophe Kerleguer, Herd Le Delliou, Jean Guillaume. 1995. The protein requirement of brown trout (*Salmo trutta*) fry. *Aquaculture* 130, 67-78
5. Azevedo, P. A. , S. Leeson , C. Y. Cho and D. P. Bureau 2004. Growth, nitrogen and energy utilization of juveniles from four salmonid species: diet, species and size effects *Aquaculture, Vol. 234, Issues 1-4, 3. 2004, 393-414*
6. Árnason, J., Ólafur Ingi Sigurgeirsson, Bjarni Jónasson, Helgi Thorarensen, Rannveig Björnsdóttir, 2007. Plöntuhráefni í bleikjufóðri í stað fiskimjöls og lýsis. Lokaskýrsla til AVS-rannsóknarsjóðs. Verkefni nr: R013-05
7. Bailey, J. & Alanara, A., 2006. Digestible energy need (DEN) of selected farmed fish species. *Aquaculture* 251, pp 438– 455
8. Berg, O.K. and Bremset, G., 1998. Seasonal changes in the body composition of young riverine Atlantic salmon and brown trout. *J. Fish Biol.* 52, pp. 1272–1288.
9. Berge, G.E., Sveier, H., Lied, E., 1998. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*): the requirement and metabolic effect of lysine. *Comp. Biochem. Physiol.* 120A, 477–485.
10. Denstadli, V., A. Skrede, Å. Krogdahl, S. Sahlström and T. Storebakken, Feed intake, growth, feed conversion, digestibility, enzyme activities and intestinal structure in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed graded levels of phytic acid, *Aquaculture* 256 (2006), pp. 365–376.
11. Drew, M.D., T.L. Borgeson, D.L. Thiessen. 2007. A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Animal Feed Science and Technology.* 138, 118–136
12. Espe. M., Andreas Lemme , Alfred Petri, Adel El-Mowafi 2006. Can Atlantic salmon (*Salmo salar*) grow on diets devoid of fish meal? *Aquaculture* 255. 255–262

13. Folch, J., Lees, M. og Stanley, G.H.S., J. Biol. Chem., 226, 497-509 (1957).
14. Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197-227
15. Glencross, B.D., Chris G. Carter, Neil Duijster, David R. Evans, Ken Dods, Peter McCafferty, Wayne E. Hawkins, Ross Maas, Sofia Sipsas. 2004. A comparison of the digestibility of a range of lupin and soybean protein products when fed to either Atlantic salmon (*Salmo salar*) or rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, Volume 237, Issues 1-4, P. 333-346
16. Gomes, E.F., Paulo Remab, Sadasivam J. Kaushik., 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture* 130., 177-186
17. Grisdale-Helland, B., Helland, S.J., 1997. Replacement of protein by fat and carbohydrate in diets for atlantic salmon (*Salmo salar*) at the end of the freshwater stage. *Aquaculture* 152, 167-180.
18. Helland S. J. B. Grisdale-Helland, S. Nerland., 1996. A simple method for the measurement of daily feed intake of groups of fish in tanks. *Aquaculture* 138, pp 157-163.
19. Hootman RC. 1992. Manual on descriptive analysis testing for sensory evaluation. Philadelphia: ASTM. p 52
20. Hua K. & Bureau D. 2006., Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. *Aquaculture* 254, 455-465.
21. ISO 8586:1993. Sensory analysis general guidance for the selection, training and monitoring of assessors. Part 1: selected assessors. Geneva, Switzerland: The International Organization for Standardization.
22. Kaushik, S.J., J. P. Cravedi, J. P. Lalles, J. Sumpter, B. Fauconneau, M. Laroche. 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* *Aquaculture*, Volume 133, Issues 3-4. P. 257-274

23. Kaushik, S.J., Covès, D., Dutto, G., Blanc, D., 2004. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 230, 391–404.
24. Kim, J-D, Sean M. Tibbetts, Joyce E. Milley, Santosh P. Lall. 2007. Effect of the incorporation level of dehulled soybean meal into test diet on apparent digestibility coefficients for protein and energy by juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. *Aquaculture*, Volume 267, Issues 1-4, P. 308-314
25. Krogdahl, Å., Sundby, A. & Olli, J.J., 2004 Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) digest and metabolize nutrients differently. Effects of water salinity and dietary starch level. *Aquaculture*, 229, 335–360.
26. Lall, S.P., 2002 S.P. The minerals. In: J.E. Halver and R.W. Hardy, Editors, *Fish Nutrition* (3rd edition), Academic Press Inc., San Diego (2002), pp. 259–308.
27. Lall, S.P. & Lewis-McCrea, L.M. 2007 Role of nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish – an overview. *Aquaculture*, 267, 3–19.
28. Mente, E., Degura, S., Santos, M.G. and Houlihan, D., 2003 White muscle free amino acid concentrations following feeding a maize gluten dietary protein in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 225, pp. 133–147.
29. Mundheim, H., Aksnes, A' & Hope, B: 2004. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities
30. MWACHIREYA, S.A, BEAMES, R.M. HIGGS, D.A. & DOSANJH, B.S. 1999. Digestibility of canola protein products derived from the physical, enzymatic and chemical processing of commercial canola meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) held in fresh water. *Aquaculture Nutrition*. Vol. 5 Issue 2, Pages 73 – 82
31. Nordrum, S., Åsgård, T., Shearer, K.D. & Arnessen, P. 1997. Availability of phosphorus in fish bone meal and inorganic salts to Atlantic salmon (*Salmo salar*) as determined by retention. *Aquaculture*, 157 (1997), 51–61.
32. Olsen RE, & Ringø E., 1997 Lipid digestibility in fish: a review. *Recent Research Development in Lipid Research* 1: 199–265.
33. Opstvedt, J., Aksnes, A., Hope, B. and Pike, I.H., 2003. Efficiency of feed utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins. *Aquaculture* 221, pp. 365–379.

34. Rasmussen, R.S. & Ostefeld, T.H., 2000. Effect of growth rate on quality traits and feed utilisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture* 184, pp. 327–337
35. Refstie, S., Storebakken, T., Baeverfjord, G. & Roem, A.J., 2001. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture* 193, pp. 91–106.
36. Refstie, S., Korsøen, Ø.J., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Lein, I. and Roem, A.J., 2000. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 190, pp. 49–63.
37. Ringø E. 1991. Hatchery-reared landlocked Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), from lake Takvatn rears in fresh water and sea water II. The effect of salinity on the digestibility of protein, lipid and individual fatty acids in a capelin roe diet and commercial feed, *Aquaculture* 93 (1991), pp. 135–142.
38. Sigurgeirsson, Ó.I., Jón Árnason, Aðalheiður Ólafsdóttir. 2009. Próeinþarfir bleikju (Protein requirements of Arctic charr). Lokaskýrsla til AVS-rannsóknarsjóðs. Verkefni nr: R040-07-08
39. Sigurgísladóttir, S., Lall SP, Parrish CC, Ackman RG., 1992. Cholestane as a digestability marker in the absorption of polyunsaturated fatty acid ethyl esters in Atlantic salmon. *Lipids* 27: 418–424.
40. Stone H, Sidel JL, 1985. Sensory evaluation practices. Orlando, Fla.: Academic press, Inc. 311p.
41. Storebakken T., Shearer K.D. & Roem A.J., 1998. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytasetreated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 161, 365±379.
42. Storebakken, T., I. S. Kvien, K. D. Shearer, B. Grisdale-Helland, S. J. Helland, G. M. Berge. 1998. The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybean meal or bacterial meal fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*): evaluation of different faecal collection methods
Aquaculture, Volume 169, Issues 3-4, Pages 195-210

43. Sveier, H., Nordas, H., Berge, G.E., Lied, E., 2001. Dietary inclusion of crystalline D- and L-methionine: effects on growth, feed and protein utilization, and digestibility in small and large Atlantic salmon. *Aquacult. Nutr.* 7, 169–181.
44. Tacon, A., 2000. Feed ingredients for carnivorous fish species. Alternatives to Fish Meal and Other Fishery Resources. FAO Fish Circ. No. 881, Rome, 35 pp.
45. Thisessen, D.L., Campell, G.L & Adelizi, P.D., 2003. Digestibility and growth performance of juvenile rainbow trout (*Onchorhynchus mikiss*) fed with pea and canola products. *Aquaculture Nutrition*, 9, 67-75.
46. Thiessen, D.D. Maenz, R.W. Newkirk, H.L. Classen and M.D. Drew, 2004 Replacement of fish meal by canola protein concentrate in diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Aquacult. Nutr.* 10 (2004), pp. 379–388.
47. Thybo A.K., Martens M. 2000. Analysis of sensory assessors in texture profiling of potatoes by multivariate modelling. *Food Quality and Preference* 11(4): 283-288.
48. Tibbetts, S.M, Joyce E. Milley, Santosh P. Lall. 2006. protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture, Volume 261, Issue 4, Pages 1314-1327*