
RKTL:n työraportteja 22/2014

Nelman (*Stenodus leucichthys*) tuotanto-ominaisuudet

Tekijät: Juha Koskela

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki
2014



EU investoi kestävään kalatalouteen



Julkaisija:
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Helsinki 2014

ISBN 978-952-303-145-6 (Verkkojulkaisu)

ISSN 1799-4756 (Verkkojulkaisu)

RKTL 2014

Kuvailulehti

Tekijät Juha Koskela			
Nimeke Nelma tuotanto-ominaisuudet			
Vuosi 2014	Sivumäärä 25	ISBN 978-952-303-145-6	ISSN ISSN 1799-4756 (PDF)
Yksikkö/tutkimusohjelma TUPA			
Hyväksynyt Anssi Ahvonen			
Tiivistelmä <p>Poikasvaiheen nelman (40–200 g) tuotanto-ominaisuuksia verrattiin vastaavan kokoisien siian ominaisuuksiin kahdella eri rasvapitoisuuden (19,1 % ja 29,0 %) omaavalla rehulla. Tulosten perusteella siika ja nelma erosivat usean ominaisuuden osalta toisistaan. Siika kasvoi nopeammin (siika 1,55 % vrk⁻¹, nelma 1,4 % vrk⁻¹), sen kuntokerroin oli suurempi (siika 1,1, nelma 0,85) ja yksilöiden väliset erot kasvussa olivat pienemmät (siika 21,7 %, nelma 38,8 %) kuin nelmalla. Lisäksi rehukerroin oli siialla pienempi (siika 0,82, nelma 0,95) ja se hyödynsi nelmaa tehokkaammin rehun sisältämän energiaa ja valkuaisaineen kasvuunsa (siika 55,4 % ja 51,8 %, nelma 48,1 % ja 42,7 %). Myös siian valkuaisainepitoisuus oli kokeen päättyessä suurempi kuin nelman pitoisuus. Tulosten perusteella korkeamman rasvapitoisuuden omaava rehu soveltuisi 50 - 200 g painoiselle siialle paremmin kuin vähemmän rasvaa sisältävä rehu. Selkeät myönteiset vaikutukset oli kuitenkin havaittavissa vain muutamassa tuotanto-ominaisuudessa (valkuaisen ja energian muuntotehokkuus) ja rehuvaikutus muihin ominaisuuksiin jäi pieneksi. Rehun korkeammalla rasvapitoisuudella oli haitallinen vaikutus 40 - 150 grammaisen nelman kasvuun ja lievä myönteinen vaikutus valkuaisen muuntotehokkuuteen. Tulosten perusteella poikasvaiheen nelma rehussa tulee olla enemmän valkuaista kuin siian rehussa. Nämä lajien väliset erot selittyvät todennäköisesti suurelta osin lajien erilaisella viljelyhistorialla. Siikaa on valintajalostettu usean sukupolven ajan ja sen avulla on voitu vaikuttaa lajin kasvuun, kasvu hajontaan ja rehun hyödyntämisen tehokkuuteen. Nelma taas on ollut lyhyemmän aikaa viljelyssä eikä sen ominaisuuksia ole tiittävästi vielä kehitetty valintajalostuksen avulla.</p> <p>Kokeiden avulla selvitettiin nelman korkeiden lämpötilojen sietorajat ja ruokailun sekä kasvun optimaalalueet. Nelman lämpötilaominaisuudet osoittautuivat samankaltaisiksi mitä on havaittu muilla viljelyssä olevilla lohikaloilla. Nelma voi sietää lyhytaikaisesti (minuutteja) hyvinkin korkeita aina 30 asteeseen nousevia lämpötilapiikkejä ja pidemmän ajan (7 vrk) 26 asteen lämpötilaa. Nämä lämpötilat ovat viljelyn kannalta kuitenkin ääriolosuhteita ja kalojen eloonjääminen ja kasvu heikentyy jo näitä alemmissa lämpötiloissa. Kasvatuskokeessa kaloja kuoli jo 22 asteen lämpötilassa, mikä viittaa kohonneeseen lämpötilariskiini. Tämän vuoksi nelman kasvatuksessa tulisi välttää yli 22 asteen lämpötiloja. Paras kasvu saavutettiin 18,5 asteen lämpötilassa ja 15 asteessa kasvu oli vielä 90 % maksimikasvusta. Nelmalle optimaalinen lämpötilaympäristö on 15 - 18 astetta. Tämä on vastaava lämpötila-alue, mitä pidetään hyvänä myös siian kasvatuksessa.</p> <p>Kasvatustiheyden vaikutuksia selvittävässä kokeessa käytettiin viittä eri kalatiheyttä (kokeen aikainen keskitiheys 14,2 - 60,1 kg m⁻³). Kasvatustiheyksillä oli vaikutus nelman tuotanto-ominaisuuksiin ja ominaisuudet heikkenivät suoraviivaisesti tiheyden kasvaessa. Kalatiheys, jolloin tuotanto-ominaisuus oli heikentynyt 10 % maksimiarvosta (arvo keskitiheydellä 14,2 kg m⁻³) oli rehunkulutukselle 65 kg m⁻³. Kalojen kasvu heikkeni 10 % jo tätä alemmassa tiheydessä (34 kg m⁻³) kuten myös rehukerroin (33 kg m⁻³), rehun valkuaisen muuntotehokkuus (31 kg m⁻³) ja rehun energian muuntotehokkuus (40 kg m⁻³). Nelman näyttäisi sietävän kirjolohta huonommin korkeita kasvatustiheyksiä. Kirjoloheen allaskasvatukseen suositellut ja eri tutkimuksissa saadut tiheysraja-arvot vaihtelevat 40 kg m³ aina yli 200 kg m³.</p> <p>Pitkäkestoisessa (touko - lokakuu) kiertovedessä tehdyssä kasvatuskokeessa selvitettiin teuraskokoiseksi kasvatetun</p>			

nelman tuotanto-ominaisuuksia. Kokeessa käytettiin kahta eri kokoluokkaa olevia nelmoja (alkupaino 430 g ja 920 g). Nelmat söivät ja kasvoivat hyvin kokeen alkuvaiheessa, mutta kasvatuksen edetessä kalojen rehunkulutus, kasvu ja rehukerroin heikkenivät. Kasvatuksen viimeisellä jaksolla kasvu ja rehunkulutus olivat enään 20 - 40 % siitä mitä ne olivat kasvatuksen alussa, vaikka kasvatusolosuhteet (veden lämpötila, *ad libitum* ruokinta ja altaiden valaistus) olivat vakioituneet. Kalojen loppupainot olivat 1 050 g ja 1 750 g, perkaussaanto 90,1 % ja fileiden saannot 51,1 % (pyöreästä kalasta) sekä 55,5 % (peratusta kalasta). Todennäköisesti nelman tuotanto-ominaisuuksiin vaikutti useampi tekijä ja syynä niiden heikkenemiseen on voinut olla sukukypsyminen, kasvanut kasvatustiheys ja kalojen rasvoittuminen. Todennäköisesti ennen kaikkea sukukypsytymiseen valmistautuminen ja sukukypsyminen on heikentänyt koiraskalojen ruokahalua ja sen myötä parven kasvua.

Asiasanat

Nelma, (*Stenodus leucichthys*), kasvatus, tuotanto-ominaisuudet

Julkaisun verkko-osoite

http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/nelman_tuotanto-ominaisuudet

Yhteydenotot

juha.koskela@rktl.fi

Muita tietoja

Sisällys

Kuvailulehti	3
1. Johdanto	6
2. Toteutus	7
2.1. Toimenpiteet ja aikataulu	7
3. Tulokset	8
3.1. Nelman ja siian kasvuvertailu kahdella eri rasvapitoisuuden omaavalla rehulla	8
3.1.1. Toteutus	8
3.1.2. Ruokailu ja kasvu	9
3.1.3. Koostumus, rehukerroin ja energian sekä ravintoaineiden muuntotehokkuus	10
3.1.4. Yhteenveto	11
3.2. Nelman lämpötilaominaisuudet	12
3.2.1. Toteutus	12
3.2.2. Korkeiden lämpötilojen sieto	13
3.2.3. Lämpötilan vaikutus ruokailuun ja kasvuun	15
3.2.4. Yhteenveto	16
3.3. Kasvatustiheyden vaikutus Nelman tuotanto-ominaisuuksiin	16
3.3.1. Toteutus	16
3.3.2. Tuotanto-ominaisuudet	17
3.3.3. Yhteenveto	18
3.4. Kalan koon vaikutus teuraskokoisen nelman viljelytulokseen kiertovedessä	19
3.4.1. Toteutus	19
3.4.2. Ruokailu, kasvu ja rehutehokkuus	20
3.4.3. Sukukypsyminen ja saannot	22
3.4.4. Yhteenveto	23
Kiitokset	24
Viitteet	25

1. Johdanto

Suomen kalanviljelyn perustuminen lähes yksinomaan kirjoloheen tekee toimialasta suhdanneherkän. Punalihaisen lohikalan suurten tuottajamaiden jatkuvasti kasvava hintakilpailu heikentää alan kannattavuutta, kun vastaavia mahdollisuuksia volyymituotantoon ei ole. Pienten tuotantoyksiköiden Suomi tarvitsee korkeahintaisia lajeja, joiden tuotannossa kansainvälinen kilpailu on vähäistä eikä voi kasvaa lohikalojen tasolle.

Suomen kansallisessa vesiviljelyohjelmassa 2015 on yhdeksi ohjelman tavoitteeksi asetettu edellytysten luominen tuotannon kestäväälle kasvulle ja monipuolistamiselle sekä nykyistä suuremmalle omavaraisuudelle viljelyissä lohikaloissa. Kirjolohti on edelleen säilyttänyt valta-asemansa samalla kun siian tuotanto on kasvanut kohtuulliseksi. Muiden lajien tuotanto ei ole laajentunut muutamaa yritystä laajemmaksi tuotannoksi ainakaan vielä. Vuonna 2012 Suomessa tuotettiin 12 659 tn ruokakalaa, josta pääosa oli kirjolohta (89,1 %) ja siikaa (9,8 %), joiden lisäksi tuotettiin muita lajeja yhteensä 1,1 %.

Nelma (*Stenodus leucichthys*) on *Coregoninae*-alaheimoon kuuluva siikojen muistuttava suku, josta on kaksi alalajia, *Stenodus leucichthys l.* ja *Stenodus leucichthys nelma*. Levinneisyydeltään pohjoisempi *S. l. nelma* esiintyy Viananmerestä itään Venäjän pohjoisrannikolla, Beringin merellä ja Pohjois-Amerikassa Alaskan ja Kanadan arktisilla rannikkovesillä ja -joissa. Euraasiassa esiintyvä eteläinen *S. l. leucichthys* on uhanalaisempi vedenlaadun heikentymisen ja kalastuksen vuoksi (Urho ym. 1995). Nelmaa on viljelty 1960-luvulta alkaen aluksi istutuksia varten. Nelman ruokakalanviljely on yhä suuremman mielenkiinnon kohteena luonnonsaaliiden heikentymisen ja nelmasta maksettavan korkean hinnan vuoksi.

Nelma on suurikokoiseksi kasvava viileän ja arktisen alueen kalalaji. Lajin arvostus on levinneisyysalueella erittäin korkea. Jos lajia koskeva tietous, eläinaineksen laatu ja viljelyosaaminen saadaan kaupallisen tuotannon mahdollistavalle tasolle, voi nelmasta tulla merkittävä vahvuustekijä Suomen kalanviljelylle. Tässä raportissa esitellään tulokset nelman tuotanto-ominaisuuksia selvittäneistä kohteista.

2. Toteutus

2.1. Toimenpiteet ja aikataulu

Nelman tuotanto-ominaisuuksia tutkittiin neljän kokeen avulla, ja ne toteutettiin Laukaan toimipisteen tutkimustilassa. Tutkimuskohteiksi valittiin sellaiset tuotantotekijät, jotka ovat tärkeitä tuotantotalouden ja lajin kasvatusmahdollisuuksien arvioinnin kannalta. Tutkimusaiheet olivat seuraavat;

1. Nelman ja siian kasvuvertailu kahdella eri rasvapitoisuuden omaavalla rehulla

Kokeessa verrattiin nelman tuotanto-ominaisuuksia valintajalostetun ja ruokakalakasvatuksessa olevan siian tuotanto-ominaisuuksiin (ruokahalu, kasvu, rehutehokkuus, ruhon koostumus). Siika valittiin vertailulajiksi, koska se on tuotannossa ja markkinoilla lähinnä nelmaa vastaava vastaava laji. Vertailussa käytettiin kahta eri rasvapitoisuuden omaavaa siikarehua (19 % versus 29 %). Tämän avulla haluttiin selvittää mahdolliset lajien väliset erot rehuvaatimuksissa.

2. Nelman lämpötilaominaisuudet

Kokeiden avulla haluttiin selvittää lämpötilan kannalta nelmalle optimaaliset ja haitalliset kasvatolosuhteet. Tarkoitusta varten selvitettiin nelman korkeiden lämpötilojen sietorajat sekä lämpötilan vaikutus kalan ruokahaluun ja kasvuun. Tulosten avulla voidaan arvioida lajin kasvatusmahdollisuuksia erilaiset lämpötilaolosuhteet omaavissa viljelylaitoksissa.

3. Kasvatustiheyden vaikutus tuotanto-ominaisuuksiin

Kokeen avulla selvitettiin kasvatustiheyden vaikutukset ruokahaluun, kasvuun ja rehutehokkuuteen. Tulosten avulla voidaan arvioida kasvatustuloksen ja tuotantotalouden kannalta suotuisia viljelytiheyksiä.

4. Kalan koon vaikutus kasvatuksen loppuvaiheen viljelytulokseen kiertovedessä

Kokeen avulla selvitettiin kalan alkukoon (400 g versus 900 g) vaikutus markkinakokoiseksi kasvatetun nelman (loppukoko 1 - 2 kg) tuotanto-ominaisuuksiin. Pitkäkestoinen kasvatuskoe (5 kk) tehtiin vakio-olosuhteissa kiertovedessä. Tulosten avulla saadaan käsitys isokokoisien nelman tuotanto-ominaisuuksista.

Tutkimukset toteutettiin vuosien 2011 - 2013 aikana Laukaan tutkimustilan kiertovesiyksikössä. Ainoastaan lämpötilakokeet tehtiin läpivirtausaltaissa. Kokeissa käytettiin vakiintuneita tutkimusmenetelmiä ja ne toteutettiin Etelä-Suomen aluehallintoviraston eläinlääketieteellisen tutkimuskeskuksen ohjeiden mukaisesti.

Tutkimus	2011				2012				2013			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Nelman ja siian kasvuvertailu	■											
Nelman lämpötilaominaisuudet			■		■							
Kasvatustiheys				■								
Kasvatuksen loppuvaiheen viljelytulos											■	

3. Tulokset

3.1. Nelman ja siian kasvuvvertailu kahdella eri rasvapitoisuuden omaavalla rehulla

3.1.1. Toteutus

Kokeen asetelmana oli 2x2 muuttujan koe, jossa toisena muuttujana oli kasvatusrehun rasvapitoisuus (vähärasvainen rehu low fat L-F tai rasvainen rehu high fat H-F, taulukko 1) ja toisena muuttujana laji (nelma tai siika). Koerहत valmistettiin imeyttämällä Raisio-agron jälkirasvaamattomaan siikarehuun (Royal Silver 2,5 mm ja 3,5 mm) haluttu määrä kalaöljyä. Nelmat ja siikat (jalostettu Kokemäenjoen kanta) olivat yhden kesän vanhoja ja kasvatettu startista alkaen kuivarehuilla Laukaan toimipaikassa.

Taulukko 1. Rasvaisen (H-F) ja vähärasvaisen (L-F) rehun kemiallinen koostumus.

Koostumus	Rehu	
	L-F	H-F
Vesi %	1,5	0,9
Energia kJ/g	22,3	24,4
Rasva %	19,1	29,0
Valkuainen %	44,7	39,3
Valkuainen/energia g/kJ	20	16,1

Tammikuussa 2011 erä kesän vanhoja nelmoja ja siikoja merkittiin yksilöllisen tunnistamisen mahdollistavalla PIT-merkillä. Tämän jälkeen kalat siirrettiin kiertovesiyksikköön ja akklimoitiin koeolosuhteisiin. Allasmassa punnittiin ja laskettiin yksilömäärä kokeen alussa (10. helmikuuta), kokeen aikana (22. maaliskuuta) ja kokeen päättyessä (7. toukokuuta). Kalat ruokittiin hihnaruokkimilla (6h vrk⁻¹, klo 03.00 - 09.00) kylläisiksi. Kalojen syövä rehumäärä mitattiin joka toinen viikko 4 vrk ajan ja mittauspäiviä kokeen aikana oli 24. Tarkoitusta varten poistovedestä kerättiin syömättömät rehupelletit ja laskettiin niiden määrä. Hukkarehun määrän laskettiin kertomalla pellettimäärä ruokintakui- van pelletin painolla ja allaskohtainen syöty rehumäärä vähentämällä ruokitusta määrästä hukkarehun määrä.

Kasvatusaltaat (halkaisija 1,5 m, vesitilavuus 400 l) valaistiin 24h vrk⁻¹ allaskanteen asennetun led valolevyn avulla. Jokaisella käsittelyllä oli kolme rinnakkaista allasta. Kiertoveden keskilämpötila kokeen aikana oli 14,6 °C ja altaasta poistuvan veden happikyllästys > 80 %. Kiertoveden laatua seurattiin viikottain tehtyjen vesianalyyysien avulla ja tyyppiyhdisteiden pitoisuudet ja pH arvo pysyivät lohikalaille hyvällä tasolla (keskiarvo; ammonium (NH₃ - N) <0,001 mg l⁻¹, nitriitti (NO₂) 0,006 mg l⁻¹, nitraatti (NO₃) 6,2 mg l⁻¹, pH 6,7).

3.1.2. Ruokailu ja kasvu

Siiat ja nelmat söivät rehua kokeen aikana keskimäärin 1.0 – 1.2 % kalan painosta vuorokaudessa ja lajien välillä ei ollut merkitsevää eroa ravinnon kulutuksessa. Tästä seurasi se, että lajien välillä ei ollut eroa myöskään siinä, paljonko ne saivat ravinnon mukana energiaa, rasvaa tai valkuaista (taulukko 2).

Taulukko 2. Rasvaisella (H-F) ja vähärasvaisella (L-F) rehulla ruokitun nelman ja siian tuotanto-ominaisuudet. Tulokset on ilmoitettu kolmen rinnakkaisen altaan keskiarvona. VK% on variaatiokerroin (keskihajonta/keskiarvo × 100). P-arvo ns = ei merkitsevää eroa.

Tuotanto-ominaisuus	Siika L-F	Siika H-F	Nelma L-F	Nelma H-F	P-arvo	
					Laji	Rehu
Ruokailu %/vrk	1,1	1,0	1,2	1,0	ns	0,001
Ruokailu kJ/kg/vrk	252,0	252,0	267,9	253,5	ns	ns
Ruokailu rasva g/kg/vrk	2,2	3,0	2,3	3,0	ns	<0,000
Ruokailu proteiini g/kg/vrk	5,0	4,1	5,4	4,1	ns	<0,000
Alkupaino g	53,2	53,9	40,2	41,7	<0,000	ns
Loppupaino g	214,6	201,3	148,7	126,0	<0,000	0,012
Loppupaino VK%	21,2	22,2	39,1	38,6	<0,000	ns
Muutos VKloppu-VKalku	4,0	5,0	16,0	16,2	<0,000	ns
Kasvu %/vrk	1,6	1,5	1,5	1,3	0,002	0,002
Kuntokerroin	1,1	1,1	0,9	0,8	<0,000	ns

Sitä vastoin rehun koostumus vaikutti molempien lajien syömään rehumäärään ja vähemmän rasvaa ja energiaa sisältävää rehua (L-F) syötiin merkitsevästi enemmän (1,13 – 1,20 % vrk⁻¹) kuin enemmän rasvaa ja energiaa sisältävää rehua (1,03 – 1,04 % vrk⁻¹, H-F, taulukko 2). Tämä johti siihen, että käytännössä molempia rehuja syötiin energiaksi laskettuna yhtä paljon vaikkakin rehujen energiasisällöt olivat erilaiset. Rehujen erilaisesta koostumuksesta johtuen H-F rehulla ruokitut kalat saivat syödyn rehun mukana merkitsevästi enemmän rasvaa kun taas L-F rehulla ruokitut kalat saivat merkitsevästi enemmän valkuaista.

Kokeen alussa siiat olivat poikasvaiheen nopeammasta kasvusta johtuen merkitsevästi painavampia kuin nelmat (taulukko 2). Kokoero lajien välillä kasvoi kokeen aikana ja sen päättyessä siiat painoivat 201 – 215 grammaa kun taas nelmojen keskipaino eri rehuryhmissä oli 126 – 149 grammaa. Samoin kokeen aikainen kasvuprosentti (% vrk⁻¹) oli siialla merkitsevästi suurempi kuin nelmalla (taulukko 2). Myös rehun koostumus vaikutti lajien kasvuun ja vähemmän rasvaa sisältävällä L-F rehulla ruokittujen siikojen ja nelmojen loppupainot ja kasvuprosentit olivat merkitsevästi suurempia kuin koeryhmissä, joita oli ruokittu enemmän rasvaa sisältävällä H-F rehulla.

Loppupainon variaatiokerroin (VK%) sekä variaatiokertoimen muutos (VKloppu - VKalku) kiertoveteen siirron ja kokeen lopettamisen välisenä aikana (10. tammikuuta - 7. toukokuuta) olivat nelmalla merkitsevästi suuremmat kuin siialla. Rehulla ei ollut vaikutusta näiden muuttujien arvoihin. Tämän perusteella nelma kasvussa oli suuremmat yksilöiden väliset erot kuin siialla. Kokeen päättyessä

nelmojen kuntokerroin oli merkittävästi pienempi kuin siian kuntokerroin. Tämä kuvastaa kalojen erilaista muotoa ja nelma on muodoltaan solakampi kala kuin siika.

3.1.3. Koostumus, rehukerroin ja energian sekä ravintoaineiden muuntotehokkuus

Kokeen alussa koko kalan keskimääräinen (siika ja nelma) vesipitoisuus oli 69,7 ja 70,0 %, energiapitoisuus 8,0 ja 8,1 kJ g⁻¹, rasvapitoisuus 11,5 ja 12,4 % ja valkuaisainepitoisuus 15,1 ja 14,6 %. Kokeen päättyessä koko kalan energiapitoisuudessa ja rasvapitoisuudessa ei ollut lajien välillä merkittävä eroa (taulukko 3).

Taulukko 3. Rasvaisella (H-F) ja vähärasvaisella (L-F) rehulla ruokitun nelman ja siian kemiallinen koostumus kasvatuksen päättyessä. Tulokset on ilmoitettu kolmen rinnakkaisen altaan keskiarvona.

Koostumus	Siika L-F	Siika H-F	Nelma L-F	Nelma H-F	P-arvo	
					Laji	Rehu
Vesi %	66	65,1	66,7	65,4	ns	0,001
Energia kJ/g	9,4	10,2	9,5	10,2	ns	0,007
Rasva %	13,8	16,1	14,7	17,2	ns	0,001
Valkuainen %	17,1	16,6	16,5	15,9	0,037	ns

Sitä vastoin siian valkuaisainepitoisuus oli korkeampi kuin nelmalla. Rehu vaikutti merkittävästi kalojen energiapitoisuuteen ja rasvapitoisuuteen. Rasvaisempaa rehua saaneilla kaloilla oli koko kalan energiapitoisuus ja rasvapitoisuus korkeampi kuin L-F rehua saaneilla kaloilla. Rehulla ei ollut vaikutusta lajien valkuaisainepitoisuuteen.

Rehukerroin oli siialla merkittävästi pienempi (0,80 – 0,83) kuin nelmalla (0,93 – 0,97) (taulukko 4). Rehun rasvapitoisuudella ei ollut vaikutusta rehukertoimiin. Energian ja ravintoaineiden muuntotehokkuuteen vaikuttivat sekä laji että rehun koostumus. Siika muunsi rehun sisältämän energia nelmaa tehokkaammin, mutta rehun koostumuksella ei ollut vaikutusta energian muuntotehokkuuteen.

Taulukko 4. Rasvaisella (H-F) ja vähärasvaisella (L-F) rehulla ruokitun nelman ja siian rehun käytön tehokkuus. Tulokset on ilmoitettu kolmen rinnakkaisen altaan keskiarvona.

Muuntotehokkuus	Siika L-F	Siika H-F	Nelma L-F	Nelma H-F	P-arvo	
					Laji	Rehu
Rehukerroin	0,83	0,80	0,93	0,97	<0,000	ns
Energia %	53,6	57,3	48,2	48,1	0,003	ns
Rasva %	92,9	78,2	87,6	71,3	ns	0,002
Valkuainen %	48,3	55,4	41,5	43,8	<0,000	0,016

Rasvan muuntotehokkuudessa ei ollut lajien välillä eroa, mutta se oli merkittävästi suurempi vähemmän rasvaa sisältävällä L-F rehulla (87,6 – 92,3 %) kuin korkearasvaisemmalla H-F rehulla (71,3 – 78,2 %). Valkuaisaineen muuntotehokkuuteen vaikutti sekä laji että rehu. Muuntotehokkuus oli siialla (48,3 – 55,4 %) merkittävästi korkeampi kuin nelmalla (41,5 – 43,8 %) ja enemmän rasvaa sisältävällä H-F rehulla muuntotehokkuus oli korkeampi kuin vähärasvaisemmalla L-F rehulla. Siialla valkuaisen muuntotehokkuus reagoi nelmaa herkemmin rehun koostumuksen muutokseen ja se oli 7 prosent-

tiyksikköä korkeampi H-F rehulla L-F rehuun verrattuna. Nelmalla vastaava muutos oli noin 2 prosenttiyksikköä.

3.1.4. Yhteenveto

Tulosten perusteella poikasvaiheen (40 – 200 g) siika ja nelma erosivat usean ominaisuuden osalta toisistaan. Siika kasvoi nopeammin, sen kuntokerroin oli suurempi ja yksilöiden väliset erot kasvussa olivat pienemmät kuin nelmalla. Lisäksi rehukerroin oli siialla pienempi (parempi) ja se hyödynsi nelmaa tehokkaammin rehun sisältämän energia ja valkuaisaineen kasvuunsa. Myös siian valkuaisainepitoisuus oli kokeen päättyessä suurempi kuin nelman pitoisuus. Nämä lajien väliset erot selittyvät suurelta osin lajien erilaisella viljelyhistorialla. Siikaa on valintajalostettu usean sukupolven ajan ja sen avulla on voitu vaikuttaa lajin kasvuun, kasvu hajontaan ja rehun hyödyntämisen tehokkuuteen. Nelma taas on ollut lyhyemmän aikaa viljelyssä eikä sen ominaisuuksia ole tietyvästi vielä kehitetty valintajalostuksen avulla. Kalojen erilainen muoto (kuntokerroin) on lajityypillinen ominaisuus ja nelma on ruumiinmuodoltaan solakampi kala kuin siika.

Myös rehun koostumus vaikutti moneen siian ja nelman ominaisuuteen ja pääasiallisena vaikuttavana tekijänä oli rehun sisältämän valkuaisen ja energian suhde. L-F rehulla suhde (valkuainen g/kg: energia kJ/g) oli 20,0 ja H-F rehulla 16,1 ja rehujen energiasisältö oli 22,3 - 24,2 kJ g⁻¹. Kalojen energiatarve ja/tai rehun parempi maittavuus ohjasi ravinnonkulutusta ja kalat söivät vähäenergisempää ja enemmän kalajauhoa sisältävää L-F rehua enemmän kuin enemmän energiaa sisältävää H-F rehua (Houlihan ym. 2001). Samalla kalat saivat rehusta runsaammin valkuaista, mikä johti kalojen nopeampaan kasvuun. Rasva muuntotehokkuus parani, kun ylimäärä syödystä valkuaisesta varastoitui kalan kehoon rasvana. Edellä kuvattu rehuvaikutus oli mahdollista, koska kalojen ravinnonottoa ei rajoitettu. Aikaisemmassa siikakokeessa, jossa kaikkia ryhmiä ruokittiin samalla rehumäärällä (Koskela 1995), rehun valkuais-energia suhteen ei havaittu vaikuttavan kalojen kasvuominaisuuksiin. Kokeessa käytetyn kuuden rehun valkuais-energiasuhde oli välillä 13,7 - 26,4 g kJ⁻¹.

H-F rehua saaneiden kalojen rasvapitoisuus oli kokeen päättyessä korkeampi ja rehun sisältämän valkuaisen muuntotehokkuus parempi kuin L-F rehua syöneillä kaloilla. Rehuvaikutus muuntotehokkuuteen selittyy rehujen valkuais- ja rasvapitoisuuksilla. Suurempi H-F rehun rasvapitoisuus/energiapitoisuus vähentää valkuaisen käyttöä energialähteenä ja "säästää" valkuaista kasvuun (Cho 1992, Kaushik ym. 1985, Tibbetts ym. 2005, Yamamoto ym. 2005). Toisaalta L-F rehusta kalat saivat valkuaista enemmän kuin niiden ravitsemuksellinen tarve oli ja ylimäärä valkuaisesta varastoitui rasvana. Tämä heikensi L-F rehulla valkuaisen muuntotehokkuutta.

Tulosten perusteella korkeamman rasvapitoisuuden omaava rehu soveltuisi 50 - 200 g painoiselle siialle paremmin kuin vähemmän rasvaa sisältävä rehu. Selkeä myönteinen vaikutukset oli kuitenkin havaittavissa vain muutamassa tuotanto-ominaisuudessa (valkuaisen ja energian muuntotehokkuus) ja rehuvaikutus muihin ominaisuuksiin jäi pieneksi. Rehun korkeammalla rasvapitoisuudella oli haitallinen vaikutus 40 - 150 grammaisen nelman kasvuun ja lievä myönteinen vaikutus valkuaisen muuntotehokkuuteen. Tulosten perusteella poikasvaiheen nelma rehussa tulee olla enemmän valkuaista kuin siian rehussa.

3.2. Nelman lämpötilaominaisuudet

3.2.1. Toteutus

Nelma korkeiden lämpötilojen sietoa selvittämissä kokeissa käytettiin vuoden vanhoja kaloja (keskipaino 22,9 g ja keskipituus 15,6 cm), jotka oli kasvatettu kuoriutumisesta alkaen Laukaan toimipaikassa. Käytetty vesi lämmitettiin lämpöpumpun avulla ja halutut koelämpötilat tuotettiin sekoittamalla tietokoneohjattujen moottoriventtiilien avulla viileää ja lämmintä vettä. Muoviset koealtaat (vesitilavuus 160 l) valaistiin 16h vrk⁻¹ katossa olevien lamppujen avulla. Jokaisella käsittelyllä oli kolme rinnakkaista allasta ja jokaisessa altaassa 30 kalaa.

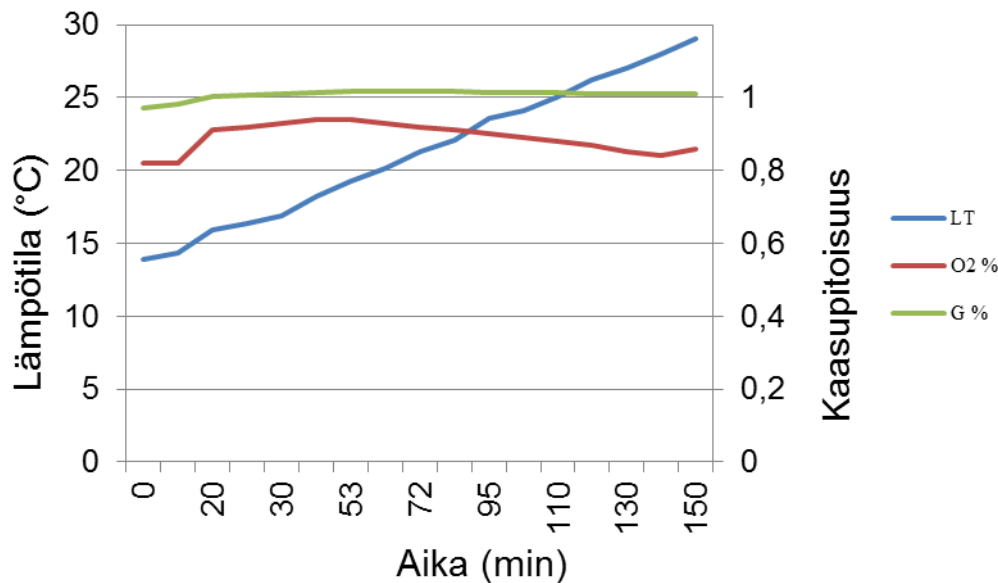
Nelma korkeiden lämpötilojen sietoraja selvitettiin kahden kokeen avulla. Lyhytaikaisen korkeiden lämpötilojen sietorajan (critical thermal maximum, Elliott 1981) mittausta varten kalat akklimoitiin 7 vrk ajan neljään vakiolämpötilaan (14 °C, 18 °C, 22 °C, ja 26 °C). Tämän jälkeen kalat pidettiin paastolla kahden vuorokauden ajan, altaan vedenvaihto suljettiin ja veden lämpötila nostettiin akvaariolämmittimien avulla vakionopeudella (0,1 °C min⁻¹) kunnes kalat menettivät tasapainon. Tasapainon menettämisen katsottiin ilmaisevan lämpötilan sietorajaa ja nämä kalat poistettiin altaasta sekä lopetettiin iskulla päähän. Samalla lämpötila ja lämpötilan nousuun kulunut aika kirjattiin ylös. Allasilmastimen ja –pumpun avulla veden happikyllästys pidettiin yli 70 %:ssa ja varmistettiin se, että koko vesimassa pysyi tasalämpöisenä.

Pitkäaikainen korkeiden lämpötilojen sietoraja selvitettiin kokeella, jossa 22 asteen vakiolämpötilaan akklimoituja kaloja pidettiin neljässä vakiolämpötilassa (25 °C, 26 °C, 27 °C ja 28 °C) 7 vuorokauden ajan. Valittu akklimaatiolämpötila oli korkea, joten saatu tulos todennäköisesti kuvaa lajin ylintä pitkäkestoista sietolämpötilaa (ultimate incipient lethal temperature, Elliott 1981). Kalat siirrettiin akklimaatiolämpötilasta suoraan testilämpötiloihin ja niiden vointia seurattiin työpäivän aikana. Tasapainon menettäneet kalat poistettiin altaasta ja tapettiin iskulla päähän. Samalla kulunut aika kirjattiin ylös.

Kasvun optimilämpötilaa selvittävässä kokeessa käytettiin myös vuoden vanhoja kaloja (keskipaino 33,7 g ja keskipituus 17,7 cm), jotka oli kasvatettu kuoriutumisesta alkaen Laukaan toimipaikassa. Osalla tämän kasvatusparven kaloista havaittiin selkärangan epämuodostumia. Kaikki kokeeseen valitut kalat röntgenkuvattiin etukäteen ja kuvien perusteella kokeeseen valittiin luustoltaan normaaleja yksilöitä. Kokeessa käytetyt lämpötilat (keskilämpötila 9,9, 14,0, 18,0, 22,0 ja 26,1 °C) tuotettiin sekoittamalla tietokoneohjattujen moottoriventtiilien avulla lämpöpumpulla lämmitettyä ja viilennettyä vettä. Koealtaat oli valaistu (20 – 100 lux) ympäri vuorokauden altaan päällä olevien lamppujen avulla. Kokeen alussa jokaiseen altaaseen laitettiin 18 yksilöpunnittua kalaa, jonka jälkeen veden lämpötila muutettiin vuorokauden kuluessa 18 asteesta käsittelyjen mukaisesti koelämpötiloihin. Kalat ruokittiin hihnaruokkimien avulla 8,5 h vrk⁻¹ (klo 02.00 – 08.00) Raisioagron Royal Response (2,5 mm, analysoitu koostumus; rasva 25,5 %, proteiini 47,2 %, energia 24,2 kJ g⁻¹) rehulla. Kalat punnittiin kokeen alussa ja lopussa. Rehunkulutuksen mittauspäivinä altaan pohjalta kerättiin syömättömät rehu pelletit lappoletkun avulla ja niiden määrä laskettiin. Kalaparven syövä rehumäärä saatiin vähentämällä hukkahun määrä ruokitusta rehumäärästä.

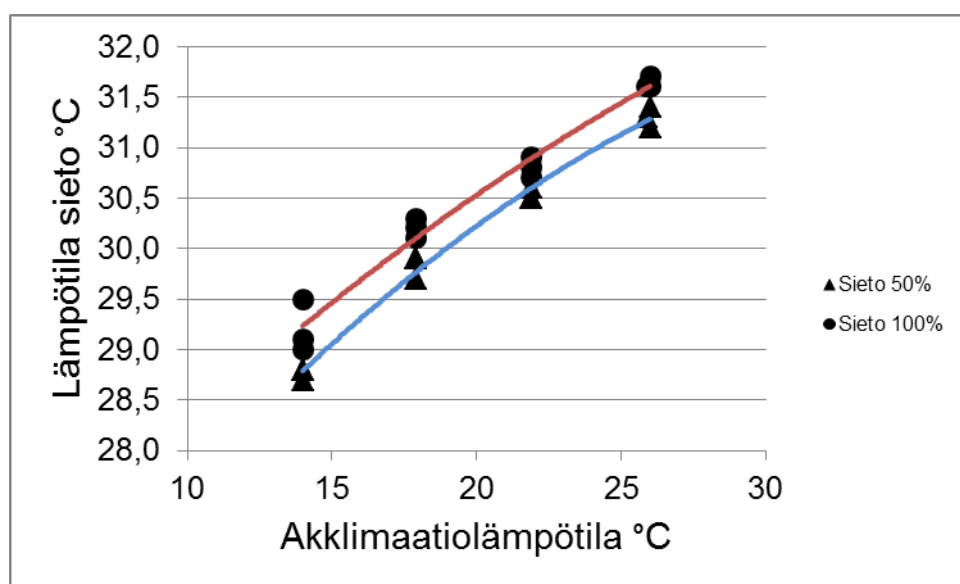
3.2.2. Korkeiden lämpötilojen sieto

Korkeiden lämpötilojen sietotestien aikana seurattiin veden laatuparametrejä ja ne säilyivät koealtaissa halutuissa rajoissa (kuva 1). Veden lämpötila nousi vakionopeudella ja veden happikyllästyminen säilyi yli 80 % tasolla. Samalla veden kaasujen kokonaisyllästyminen pysyi alle 100 %:ssa, joten veden ilmastuksen avulla voitiin ylläpitää veden hyvä happipitoisuus ja poistaa lämpötilan nousun aiheuttama kaasujen ylikyllästyminen.



Kuva 1. Esimerkki koealtaan olosuhteista kokeessa, jossa määritettiin nelman lyhytkestoinen korkeiden lämpötilojen sietoraja. LT = veden lämpötila (nousunopeus $0,1 \text{ } ^\circ\text{C min}^{-1}$), O₂ % = veden happikyllästyksen prosentti ja G % = veden kaasujen kyllästyksen prosentti.

Akkliimaatiolämpötila vaikutti kalojen lyhytkestoiseen korkeiden lämpötilojen sietoon (critical thermal maximum, kuva 2). Puolet 14 asteen lämpötilaan akklimoiduista kaloista menetti tasapainonsa kun lämpötila oli nostettu $28,8 \text{ } ^\circ\text{C}$:en. Suurempi akkliimaatiolämpötila nosti kalojen sietolämpötilaa ja se oli 26 asteen lämpötilaan akklimoiduilla kaloilla $31,3$ astetta. Tulosten perusteella akkliimaatiolämpötilan nosto 12 asteella nosti sietolämpötilaa $2,5$ astetta.



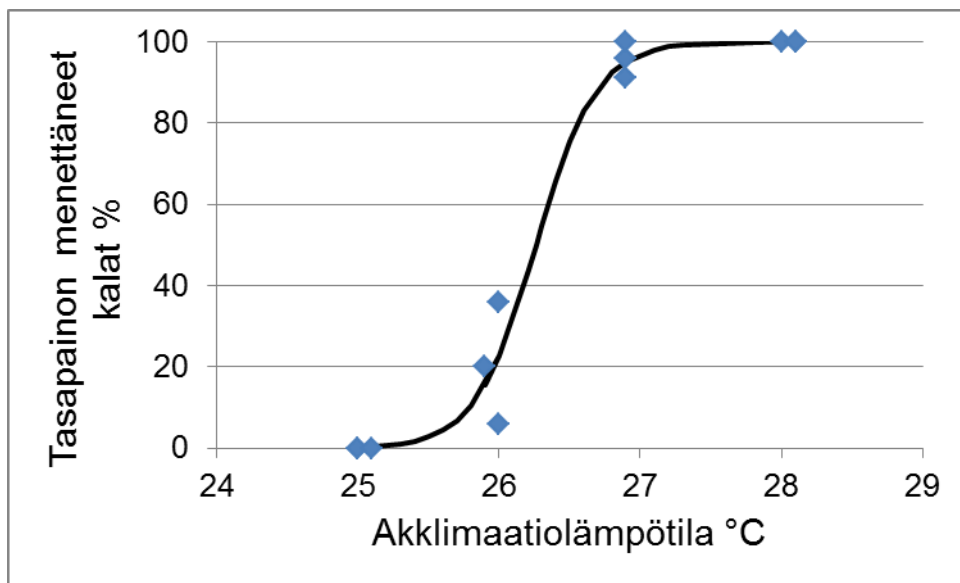
Kuva 2. Akklimaatiolämpötilan vaikutus nelman lyhytkestoiseen korkeiden lämpötilojen sietoon (critical thermal maximum). Alempi sietolämpötila (kolmiot) kuvaa tilannetta, jossa 50 % kaloista ja ylempi (pallot) lämpötilaa, jossa kaikki kalat ovat menettäneet tasapainon. Pisteet kuvaavat yhden altaan tulosta ja käyrä pisteiden avulla laskettua akklimaatio- ja sietolämpötilan suhdetta.

Parven kalat menettivät tasapainon hyvin kapealla lämpötila-alueella, joten sietolämpötilan fenotyyppinen vaihtelu oli pientä. Tätä kuvaa se, että eri akklimaatiolämpötiloille lasketut sietolämpötilojen variaatiokerroimet olivat pieniä (taulukko 5).

Taulukko 5. Akklimaatiolämpötilan vaikutus sietolämpötilaan, jossa 100 % kaloista menettää tasapainon ja kalayksilöiden sietolämpötilan variaatiokerroimeen (keskihajonta/keskiarvo × 100). Arvot on laskettu allaskohtaisista yksilöhavainnoista ja ilmoitettu kolmen rinnakkaisen altaan keskiarvona.

Akklimaatio °C	Keskiarvo °C		Variaatiokerroin
	LT _{100%}	LT _{100%}	LT _{100%}
14	29,2	29,2	0,91
18	30,2	30,2	0,33
22	30,8	30,8	0,32
26	31,6	31,6	0,18

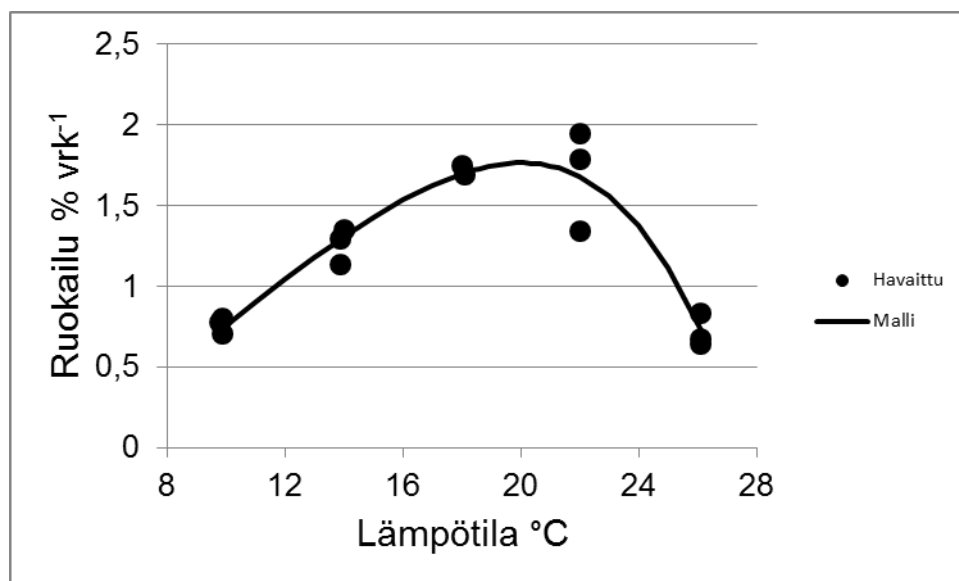
Nelman pitkäkestoinen (7 vrk) korkeiden lämpötilojen sieto mitattiin kaloista, jotka olivat akkli-moitu 22 asteen lämpötilaan (kuvassa 3). Kaikki kalat sietivät 7 vrk ajan 25 asteen lämpötilaa. Tätä korkeammassa lämpötiloissa tasapainon menettäneiden kalojen määrä kasvoi ja yksikään kala ei sie-tänyt 28 asteen lämpötilaa. Aineiston avulla mallitetun sigmoidikäyrän perusteella laskettu sietoraja, jossa 50 % parven kaloista menettää tasapainon 7 vuorokauden lämpötila-altistuksen jälkeen, oli 26,3 astetta.



Kuva 3. Nelman pitkäaikainen korkeiden lämpötilojen sieto (ultimate incipient lethal temperature). Pisteet kuvaavat 7 vuorokauden seurannan aikana tasapainon menettäneiden kalojen määrää koealtaissa ja sigmoidikäyrä pisteiden avulla laskettua altistuslämpötilan vaikutusta.

3.2.3. Lämpötilan vaikutus ruokailuun ja kasvuun

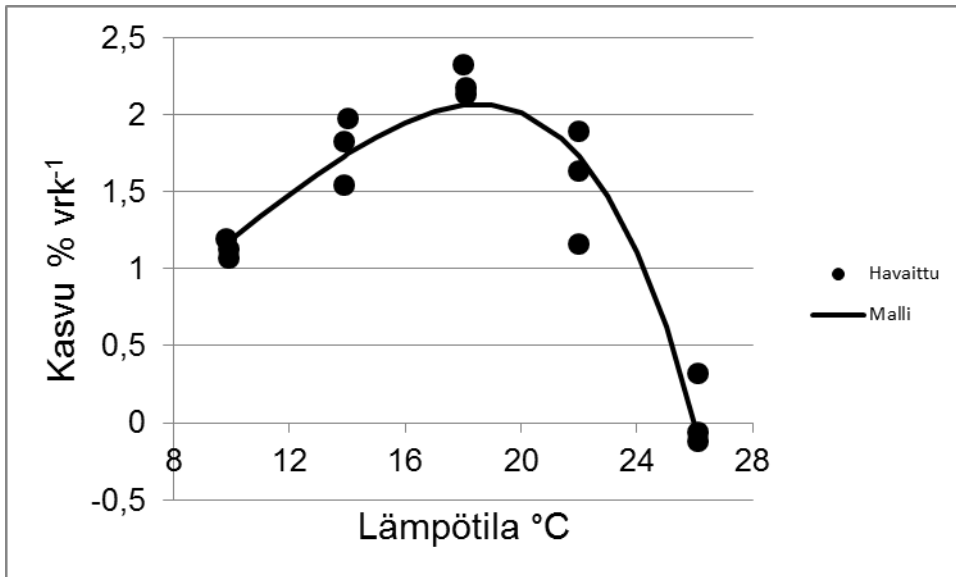
Nelman syömä ravintomäärä (% kalan painosta vrk) oli 10 asteessa $0,75 \text{ % vrk}^{-1}$. Ruokahalu kasvoi lämpötilan noustessa ja saavutti maksimiarvon ($1,76 \text{ % vrk}^{-1}$) $20,1$ asteen lämpötilassa. Tätä korkeammassa lämpötiloissa nelman syömä ravintomäärä pieneni ja oli 26 asteen lämpötilassa vastaavalla tasolla kuin mitä se oli 10 asteessa (kuva 4). Nelman syömä ravintomäärä oli 90 % maksimiravinnonkulutuksesta lämpötila-alueella $16,6 - 22,8$ astetta.



Kuva 4. Lämpötilan vaikutus kalojen (keskipaino $33,7 \text{ g}$) rehunkulutukseen (% kalan painosta). Pisteet kuvaavat yksittäisen altaan tulosta ja käyrä mallin avulla laskettua veden lämpötilan ja ruokahalun välistä suhdetta.

Nelman kasvu oli 10 asteessa $1,2 \text{ % vrk}^{-1}$ ja se kiihtyi lämpötilan noustessa ja saavutti maksimiarvon ($2,1 \text{ % vrk}^{-1}$) $18,5$ asteen lämpötilassa. Tätä korkeammassa lämpötiloissa nelman kasvu alkoi hi-

dastua ja se pysähtyi kun lämpötila oli noussut 26 asteeseen (kuva 5). Nelman kasvu oli 90 % maksimista lämpötila-alueella 15,0 - 21,3 astetta.



Kuva 5. Lämpötilan vaikutus nelman (keskipaino 33,7 g) kasvuun. Pisteet kuvaavat yksittäisen altaan tulosta ja käyrä mallin avulla laskettua veden lämpötilan ja kasvun välistä suhdetta.

3.2.4. Yhteenveto

Nelman lämpötilaominaisuudet osoittautuivat samankaltaisiksi, mitä on havaittu muilla viljelyssä olevilla lohikaloilla (Pickering 1981). Nelma voi sietää lyhytaikaisesti (minutteja) hyvinkin korkeita aina 30 asteeseen nousevia lämpötilapiikkejä ja pidemmän ajan (7 vrk) 26 asteen lämpötilaa. Nämä lämpötilat ovat viljelyn kannalta kuitenkin ääriolosuhteita ja kalojen eloonjääminen ja kasvu heikentyy jo näitä alemmissa lämpötiloissa. Kasvatuskokeessa kaloja kuoli jo 22 asteen lämpötilassa, mikä viittaa kohonneeseen lämpötilarisktiin. Tämän vuoksi nelman kasvatuksessa tulisi välttää yli 22 asteen lämpötiloja.

Kokeiden avulla voitiin selvittää ruokailun ja kasvun kannalta optimaalinen (90 % maksimista) lämpötila-alue. Ruokailun kannalta se oli 16,6 - 22, 8 astetta ja kasvun kannalta 15,0 - 21,3 astetta. Parhaiten kalat kasvoivat 18,5 asteen lämpötilassa. Näiden tulosten valossa nelmalle suotuisa lämpötilaympäristö on 15 - 18 astetta. Tämä on vastaava lämpötila-alue, mitä pidetään hyvänä myös siian kasvatuksessa (Koskela ja Eskelinen 1992, Koskela ym 2002).

3.3. Kasvatustiheyden vaikutus Nelman tuotanto-ominaisuuksiin

3.3.1. Toteutus

Kokeen tarkoituksena oli selvittää kasvatustiheyden mahdollinen vaikutusta nelman tuotanto-ominaisuuksiin ja määrittää mahdollinen haitallinen rajatiheys. Kasvatuskoe alkoi 12.10.2011 ja päättyi 9.1.2012 ja sen kesto oli 89 vrk. Kokeessa käytetyt kalat olivat kahden vuoden vanhoja nelmoja (keskimääräinen alkupaino 180 g), jotka oli kasvatettu kuoriutumisesta alkaen Laukaan laitoksella. Kokeessa käytettiin viittä kalatiheyttä ja kahta rinnakkaista allasta per tiheys. Alkutiheydet olivat 9, 18, 27, 36 ja 43 kg m³ ja ne toteutettiin laittamalla altaisiin eri määrät kaloja. Kasvatusaltaat (halkaisi-

ja 1,5 m, mitattu vesitilavuus 500 - 520 l) valaistiin 24h vrk⁻¹ allaskanteen asennetun led valolevyn avulla.

Kasvatuskoe tehtiin kiertoovesisysteemissä. Veden lämpötila ja pH mitattiin jatkuvasti anturien avulla ja poistoveden happipitoisuus sekä typpiyhdisteet kerran viikossa. Veden keskilämpötila oli 15,1 °C ja muut vedenlaatuparametrit säilyivät lohikaloille hyvällä tasolla (minimi-maksimi; happipitoisuus 88 - 105 %, pH 6,6 - 7,0, NH₃ - N <0,0003 mg l⁻¹, NO₂ 0,013 - 0,098 mg l⁻¹, NO₃ 10,6 - 19,2 mg l⁻¹).

Kalat ruokittiin hihna-automattien avulla 6 h vrk⁻¹ (klo 04.00 - 10.00) kylläiseksi Raisio-agron siikarehulla (Silver 3,5 mm pelletti, analysoitu koostumus; vesi 1,8 %, rasva 23,2 %, proteiini 38,4 % ja energia 23,5 kJ g⁻¹). Kalojen syövä rehumäärä mitattiin joka toinen viikko 3 - 4 vrk ajan ja mittauspäiviä oli kokeen aikana 28. Tarkoitusta varten poistovedestä kerättiin syömättömät rehupelletit ja laskettiin niiden määrä. Hukkarehun määrän laskettiin kertomalla pellettimäärä ruokintakuivan pelletin painolla ja allaskohtainen syöty rehumäärä vähentämällä ruokitusta määrästä hukkarehun määrä.

3.3.2. Tuotanto-ominaisuudet

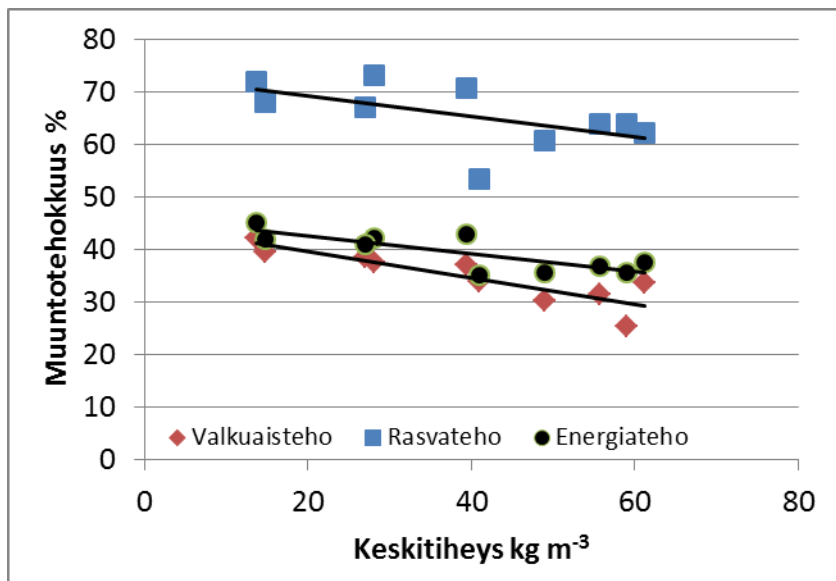
Nelman ruokailu, rehukerroin ja kasvu heikkenivät lineaarisesti kasvatustiheyden noustessa (taulukko 6). Kaikki kasvatustiheyden ja tuotanto-ominaisuuksien suhdetta kuvaavat lineaariset regressiomallit olivat tilastollisesti merkitseviä. Regressiomallien avulla ratkaistiin rajatiheydet, jolloin tuotanto-ominaisuudet olivat heikentyneet 10 % maksimiarvosta (arvo keskitiheydellä 14,2 kg m⁻³). Rajatiheys ruokailulla oli 65 kg m⁻³, kasvulla 34 kg m⁻³ ja rehukertoimella 33 kg m⁻³. Kasvatustiheydellä ei ollut vaikutusta kalojen loppupainon variaatiokertoimeen, vaan se vaihteli satunnaisesti eri koealtaissa 27,1 - 37,1 prosentin välillä. Tämän perusteella kasvatustiehyys ei vaikuttanut kalojen väliseen sosiaaliseen hierarkiaan.

Taulukko 6. Kokeen keskitiheyden vaikutus nelman tuotanto-ominaisuuksiin. Arvot on ilmoitettu kahden rinnakkaisen altaan keskiarvona ja p-arvo kuvaa kasvatustiheyden lineaarisen vaikutuksen tilastollista merkitystä.

Tuotanto-ominaisuus	Keskitiheys kg m ⁻³					Lineaarinen	
	14,2	27,5	40,2	52,3	60,1	trendi	P-arvo
Ruokailu %/vrk	0,94	0,90	0,92	0,90	0,82		0,03
Rehukerroin	1,10	1,26	1,27	1,39	1,38		0,001
Loppupaino g	395,5	389,7	380,5	371,4	323,1		0,026
Kasvu %/vrk	1,01	0,89	0,89	0,85	0,72		0,001
Kuntokerroin	0,93	0,92	0,91	0,87	0,85		0,001

Koko kalan valkuaispitoisuus oli kokeen päättyessä eri tiheyksissä 15,7 - 16,9 %, rasvapitoisuus 15,4 - 16,4 % ja energiapitoisuus 10,1 - 10,5 kJ g⁻¹ välillä. Kasvatustiheyden ja koko kalan valkuaispitoisuuden välinen lineaarinen regressio oli laskeva ja lähes merkitsevä (p = 0,066). Tiheys ei vaikuttanut koko kalan rasva- tai energiapitoisuuteen (tiheys - rasvapitoisuus p = 0,966 ja tiheys - energiapitoisuus p = 0,355).

Kasvatustiheys vaikutti valkuaisen ja energian muuntotehokkuuteen, mutta ei rasvan käytön tehokkuuteen (kuvat 6). Tiheyden noustessa ravinnon sisältämän rasvan muuntotehokkuus aleni 70 prosentista 61:en prosenttiin, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,087$). Sitä vastoin ravinnon sisältämän valkuaisen muuntotehokkuus aleni kasvatustiheyden kasvaessa 41 prosentista 30:en prosenttiin ja muutos oli tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,001$). Ravinnon sisältämän energia muuntotehokkuus aleni 43 prosentista 37:än prosenttiin ja myös tämä muutos oli merkitsevä ($p = 0,005$). Rajatiheys, jossa ominaisuus oli heikentynyt 10 % maksimiarvosta, oli rehun valkuaisen muuntotehokkuudella 31 kg m^{-3} ja rehun energian muuntotehokkuudella 40 kg m^{-3} .



Kuva 6. Keskimääräisen kasvatustiheyden vaikutus ravinnon sisältämän valkuaisen, rasvan ja energia muuntotehokkuuteen. Yksittäiset pisteet kuvaavat yksittäisen altaan arvoa ja suorat niiden avulla laskettua lineaarista regressiota.

3.3.3. Yhteenveto

Kokeessa käytetyillä kasvatustiheyksillä oli vaikutus nelman tuotanto-ominaisuuksiin ja ominaisuudet heikkenivät suoraviivaisesti tiheyden kasvaessa. Regressiomallien avulla ratkaistiin rajatiheydet, jolloin tuotanto-ominaisuus oli heikentynyt 10 % maksimiarvosta (arvo keskitiheydellä $14,2 \text{ kg m}^{-3}$). Rajatiheys oli rehunkulutukselle 65 kg m^{-3} , kasvulla 34 kg m^{-3} , rehukertoimella 33 kg m^{-3} , rehun valkuaisen muuntotehokkuudella 31 kg m^{-3} ja rehun energian muuntotehokkuudella 40 kg m^{-3} . Nelman näyttäisi sietävän kirjolohta huomattavasti korkeita kasvatustiheyksiä. Kirjolohteen allaskasvatukseen suositellut ja eri tutkimuksissa saadut tiheysraja-arvot vaihtelevat 40 kg m^{-3} aina yli 200 kg m^{-3} (Ellis ym. 2002).

Ellis ym. (2002) mukaan hyvin erilaiset tiheysraja-arvot ovat voineet aiheutua tutkimuksien välisistä eroista veden laatuparametreissa tai kalojen välisestä ravintokilpailusta. Tässä kokeessa veden happipitoisuus ja tyyppiyhdisteiden määrät pysyivät kaikissa tiheyksissä lohikalojen vaatimuksiin nähden hyvällä tasolla, eivätkä ne selittäneet havaittuja muutoksia tuotanto-ominaisuuksissa. Kalojen loppupainon variaatiokertoimen perusteella tiheys ei vaikuttanut myöskään kalojen aggressiiviseen käyttäytymiseen. Havaitut tiheysvaikutukset aiheutuivat todennäköisesti kasvaneen tiheyden myötä lisääntyneestä aineenvaihdunnasta ja sen aiheuttamasta energiakulutuksen kasvusta (McKenzie ym.

2012, Larsen ym. 2012). Tämän seurauksena suurempi osa ravinnon sisältämästä valkuaisesta ja energiasta käytettiin aineenvaihduntaan mistä seurasi valkuaisen ja energian muutotehokkuuksien pieneneminen. Tästä seurasi edelleen kasvun sekä rehukertoimen heikkeneminen. McKenzie ym (2012) mukaan aineenvaihdunnan kasvu lohella voi aiheutua siitä, että kalojen ruokailuaktiivisuus kasvaa, kun tiheyden noustessa ravinnon löytäminen vaikeutuu. Heidän mukaan myös tiheyden myötä lisääntyvä stressi voi olla syynä lisääntyneeseen energiakulutukseen. Toisaalta he eivät havainneet eri tiheyksissä pidetyillä lohilla eroja veren kortisolitasoissa.

Kasvatusveden nitraattipitoisuus nousi suurimmassa tiheydessä aina 19 mg l⁻¹. Veden nitraattipitoisuus ei todennäköisesti ole vaikuttanut haitallisesti kalojen tuotanto-ominaisuuksiin. Makean veden kaloilla letaali (96 h LC50) arvo on yli 1 000 mg l⁻¹ (Colt 2006) ja suositeltava pitoisuus yhdestä aina 400 mg l⁻¹ (Wedemeyer 1996 ja Timmons ym. 2001). Kroonisia vaikutuksia (kylkiuintia ja nopeita pyrähdyksiä) on kirjolohella havaittu pitkäaikaisissa (kuukausia) altistuskokeissa jo noin 100 mg l⁻¹ nitraattipitoisuuksilla (Davidson ym 2013). Veden sisältämien tyyppiyhdisteiden vaikutuksista nelman tuotanto-ominaisuuksiin tai sietorajoista ei ole julkaistu tietoja.

3.4. Kalan koon vaikutus teuraskokoisen nelman viljelytulokseen kiertovedessä

3.4.1. Toteutus

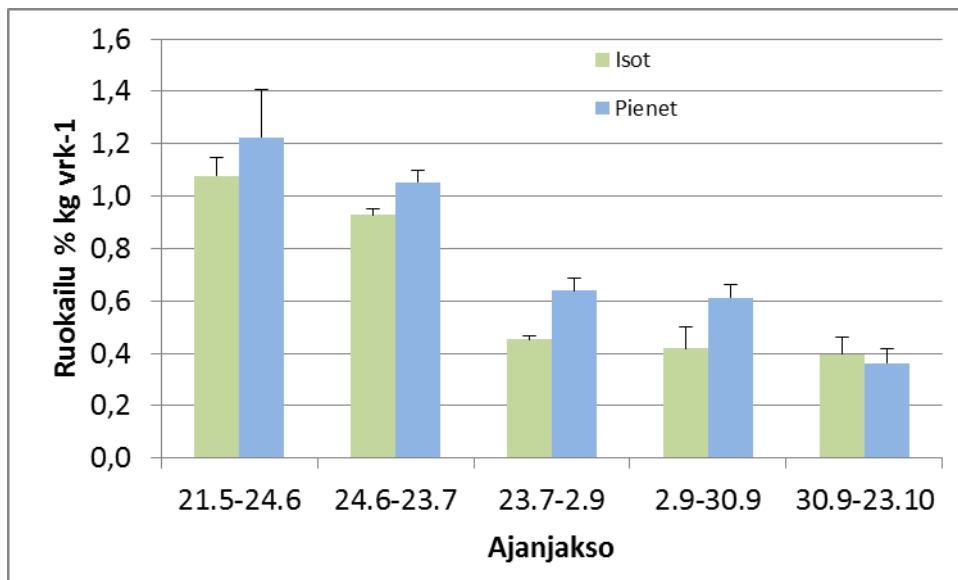
Kokeen tarkoituksena oli selvittää kalan koon vaikutusta tuotanto-ominaisuuksiin, kun niitä kasvatetaan vakio-oloissa kiertovedessä teuraskokoiseksi asti. Kasvatuskoe alkoi 21.5.2013 ja päättyi 23.10.2013 ja sen kesto oli n. 5 kuukautta (155 vrk). Kokeessa käytetyt kalat olivat kolmen vuoden vanhoja nelmoja, jotka oli kasvatettu kuoriutumisesta alkaen Laukaan kalalaitoksessa. Käytetyt kalat olivat saman ikäisiä, mutta erikokoisia johtua erilaisesta viljelyhistoriasta. ”Pienet” kalat (alkupaino 430 g) oli kasvatettu luonnonlämpötilassa poikasvaiheesta alkaen. Suuremmat kalat (alkupaino 920 g) oli kasvatettu osan aikaa (n. 5 kk talvella 2011) kiertovedessä 12 - 15 asteen lämpötilassa. Kokeessa käytettiin kolmea rinnakkaista allasta molemmilla kalan koolla. Pieniä kaloja laitettiin kuhunkin altaaseen 22 kpl ja isoja kaloja 12 kpl. Molemmissa koeryhmissä alkutiheys oli noin 20 kg m⁻³ ja lopputiheys 35 - 48 kg m⁻³. Kasvatusaltaat (halkaisija 1,5 m, mitattu vesitilavuus 500 - 520 l) valaistiin 24h vrk⁻¹ allaskanteen asennetun led -valolevyn avulla.

Kasvatuskoe tehtiin kiertovesisysteemissä. Veden lämpötila ja pH mitattiin jatkuvasti anturien avulla ja poistoveden happipitoisuus sekä tyyppiyhdisteet kerran viikossa. Veden keskilämpötila oli 16,6 °C ja muut vedenlaatuparametrien säilyivät lohikaloille hyvällä tasolla (minimi-maksimi; tuloveden happipitoisuus 96 - 105 %, allaspoistoveden happipitoisuus min 75 - 84, pH 6,6 - 6,7, NH₃ - N <0,0000 mg l⁻¹, NO₂ 0,018 - 0,036 mg l⁻¹, NO₃ 1,7 - 2,6 mg l⁻¹).

Kalat ruokittiin hihna-automaattien avulla 6 h vrk⁻¹ (klo 04.00 - 10.00) kylläiseksi Raisioagron siikarehulla (Emo Silver 5 mm pelletti, analysoitu koostumus; vesi 1,6 %, rasva 25,6 %, proteiini 37,8 % ja energia 23,2 kJ g⁻¹). Kalojen syövä rehumäärä mitattiin joka toinen viikko 3 - 4 vrk ajan ja mittauspäiviä oli kokeen aikana 39. Tarkoitusta varten poistovedestä kerättiin syömättömät rehupelletit ja laskettiin niiden määrä. Hukkarehun määrän laskettiin kertomalla pellettimäärä ruokintakuivan pelletin painolla ja allaskohtainen syöty rehumäärä vähentämällä ruokitusta määrästä hukkarehun määrä.

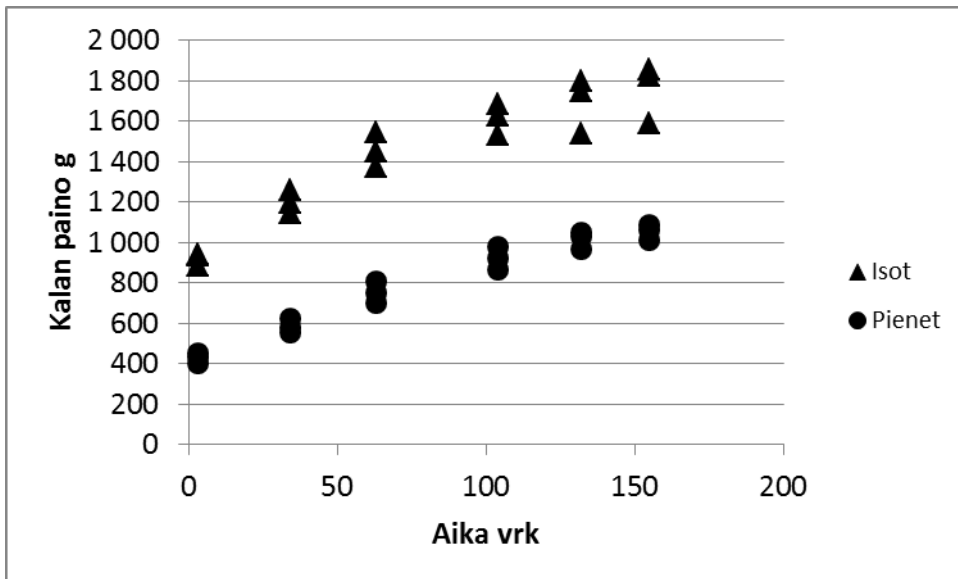
3.4.2. Ruokailu, kasvu ja rehutehokkuus

Nelmat söivät kasvatuksen kahden ensimmäisen kuukauden ajan hyvin rehua ja ruokailumäärä oli 1,0 - 1,2 % vuorokaudessa (kuva 7). Seuraavan kuukauden aikana kalojen ruokahalu aleni aina 0,4 - 0,6 % vrk⁻¹ tasolle ja säilyi matalana aina kasvuseurannan loppuun asti. Koko kasvuseurannan aikainen keskimääräinen ruokailumäärä oli isoilla nelmoilla 0,65 % vrk⁻¹ ja pienillä nelmoilla 0,78 % vrk⁻¹. Ruokahalu oli pienemmillä nelmoilla tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin isoilla kaloilla ($p = 0,003$).



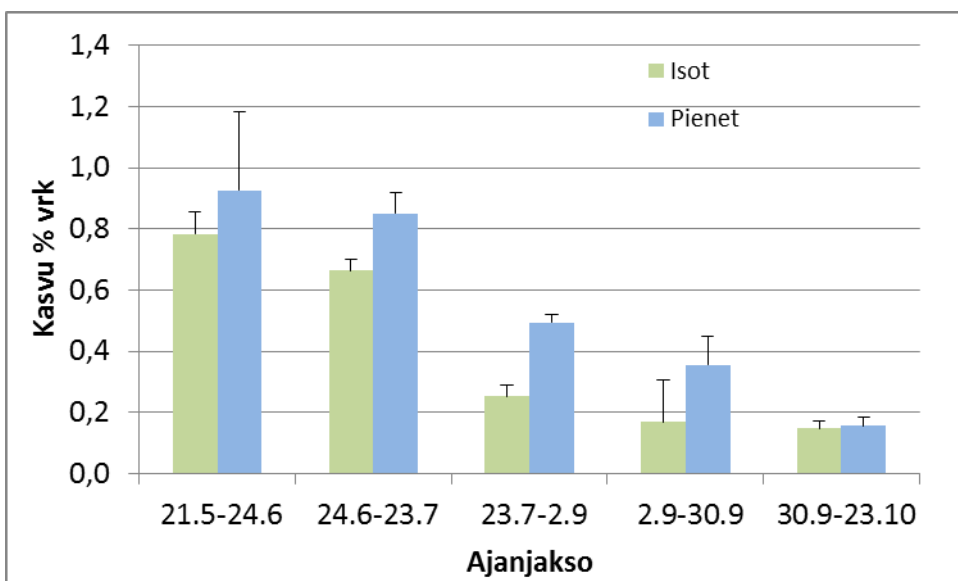
Kuva 7. Isojen ja pienten nelmojen rehunkulutus kasvatuksen aikana. Pylväät kuvaavat jakson keskimääräistä rehunkulutusta ja viivat pylväiden päällä ravinnonoton keskihajontaa ($n = 3$).

Pienten nelmojen keskipaino kasvatuksen alussa oli 430 g ja isojen kalojen 920 g. Kalat kasvoivat nopeasti kokeen alkuvaiheessa 63 vuorokauden ajan (21.5 - 23.7). Tämän jälkeen painon kehitys hidastui ja kasvatuksen päättyessä pienten kalojen keskipaino oli 1 050 g ja isojen kalojen paino 1 750 g (kuva 8).



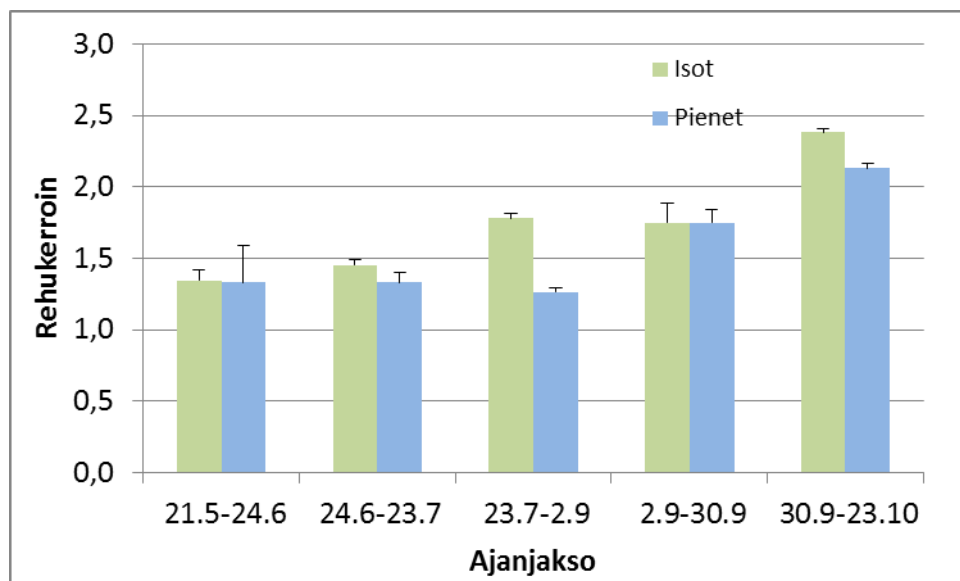
Kuva 8. Isojen ja pienten nelmojen painon kehitys seurannan aikana. Pisteet kuvaavat kalojen keskipainoa mittausaikana kolmessa rinnakkaisessa altaassa.

Kalojen kasvuprosentissa näkyvät vastaavat vaiheet kuin niiden painonkehityksessä. Kahden ensimmäisen kuukauden aikana kasvu on nopeaa (0,65 - 0,9 % vrk), mutta hidastuu kasvatuksen loppuosalla (kuva 9). Koko kasvuseurannan aikainen keskimääräinen kasvuprosentti oli isoilla nelmoilla 0,42 % vrk⁻¹ ja pienillä nelmoilla 0,58 % vrk⁻¹. Kasvuprosentti oli pienemmillä nelmoilla tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin isoilla kaloilla ($p = 0,011$).



Kuva 9. Isojen ja pienten nelmojen kasvunopeus kasvatuksen aikana. Pylväät kuvaavat jakson keskimääräistä kasvua ja viivat pylväiden päällä kasvun keskihajontaa ($n = 3$).

Kalojen rehukerroin oli kasvatuksen kahden ensimmäisen kuukauden aikana 1,3 - 1,5 (kuva 10). Tämän jälkeen isojen nelmojen rehukerroin alkoi kasvaa ja saavutti kasvatuksen viimeisellä jaksolla arvon 2,4. Pienellä nelmalla rehukerroin säilyi samansuuruisena syyskuun alkuun asti jonka jälkeen sen arvo nousi ja saavutti kasvatuksen viimeisellä jaksolla arvon 2,1. Koko kasvuseurannan aikainen keskimääräinen rehukerroin oli isoilla nelmoilla 1,71 ja pienillä nelmoilla 1,40. Rehukertoimessa ei ollut kalaryhmien välillä tilastollisesti merkitsevää eroa ($p = 0,179$).



Kuva 10. Isojen ja pienten nelmojen rehukerroin kasvatuksen aikana. Pylväät kuvaavat jakson keskimääräistä rehukerrointa ja viivat pylväiden päällä rehukertoimen keskihajontaa ($n = 3$).

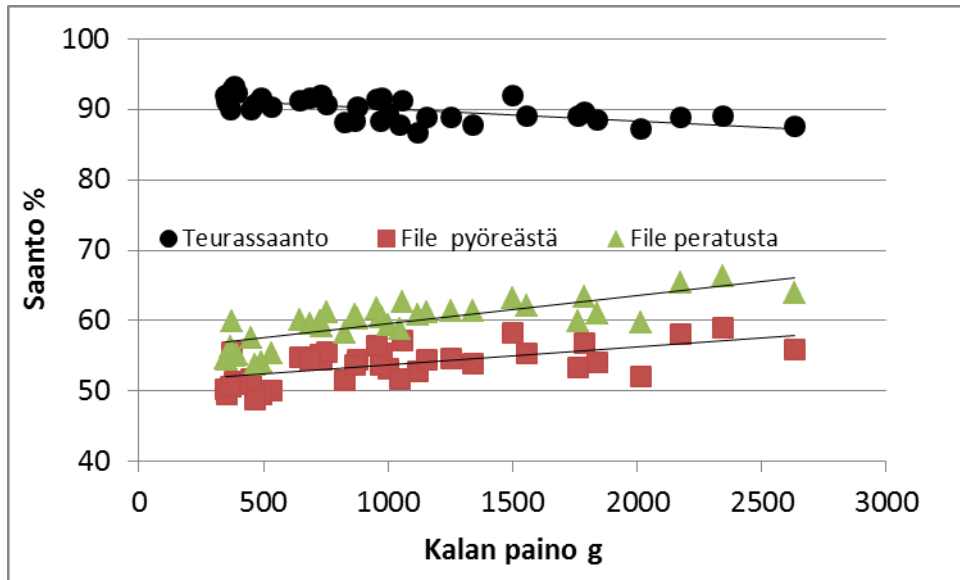
Isot ja pienet nelmat muunsivat yhtä tehokkaasti ravinnon sisältämän energian, valkuaisen ja rasvan vastaavien kudosten kasvuksi eikä kalaryhmien välillä ollut tilastollista eroa muuntotehokkuudessa. Energian muuntotehokkuus oli (isot / pienet, keskiarvo \pm keskihajonta) $37,0 \% \pm 4,9 / 36,3 \pm 2,0$, valkuaisen muuntotehokkuus $37,5 \% \pm 3,8 / 40,1 \% \pm 0,6$ ja rasvan muuntotehokkuus $64,2 \% \pm 8,7 / 59,2 \% \pm 5,0$.

3.4.3. Sukukypsyminen ja saannot

Kasvatuksen päättyessä tutkittiin kolmesta kalasta per allas kalojen sukupuoli ja mitattiin teuras- ja fileiden saannot. Kaikki isojen nelmojen koiraskalat olivat sukukypsiä (gonadosomaattinen indeksi (GSI) keskiarvo 3,8) ja naaraskalat immatuureja (GSI 0,35). Pienten nelmojen näytteessä oli vain naaraskaloja ja ne kaikki olivat immatuureja.

Teurasmittaukset yhdistettiin kasvatuksen alussa mitattuihin tietoihin (10 isoa ja pientä kalaa) ja yhdistetylle aineistolle laskettiin lineaariset regressio kalan koon ja teurasominaisuuksien välille (kuva 11). Keskimääräinen teurassaanto oli 90,1 % ja kalan paino vaikutti merkitsevästi saannon suuruuteen ($p = 0,000$). Kalan koon kasvaessa yhdellä kilolla saanto pieneni 1,7 % yksikköä. Keskimääräinen fileiden saanto oli pyöreästä kalasta laskettuna 51,1 %. Kalan painolla oli merkitsevä vaikutus fileisaantoon ($p = 0,000$). Kun kalan paino kasvoi yhden kilon, niin saanto kasvoi 2,6 % yksikköä. Pera-

tun kalan painosta laskettu keskimääräinen fileiden saanto oli 55,5 %. Vastaavasti kalan painolla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus saannon suuruuteen ($P = 0,000$). Kun kalan paino nousi yhden kilon, niin saanto kasvoi 4,0 prosenttiyksikköä.



Kuva 11. Kalan painon vaikutus teurassaantoon ja fileiden saantoon laskettuna pyöreään ja peratun kalan painosta. Pisteet kuvaavat yksittäistä kalaa ja suorat kalan painon ja saannon välistä lineaarista suhdetta.

3.4.4. Yhteenveto

Kalan paino vaikutti nelmojen suhteellisen kasvuun ja alkupainoltaan pienemmät kalat kasvoivat nopeammin kuin suuremmat kalat. Kalan painon vaikutus kasvuun kuvataan usein yhtälön avulla ($a \times \text{paino}^b$), jossa a on skaalauskerroin ja b on (negatiivinen) luku, joka kuvaa painon vaikutusta kasvuun (Jobling 1995). Mitä suurempi b :n arvo on sitä enemmän kalan kasvu hidastuu koon kasvaessa. Nelmalla kalan koon vaikutusta kuvaavan b arvo oli $-0,55$. Kasvatetuilla lohikalajeilla b :n arvot vaihtelevat $-0,32 - 0,45$ välillä ja poikasvaiheen siialle b arvoksi on saatu $-0,28$ (Jobling 1995, Koskela, 1992). Voimakas kalan koon vaikutus kasvuun on todennäköisesti johtunut siitä, että koiraskalat sukukypsyivät isojen nelmojen ryhmässä. Vaikka kokeessa kasvatusaltaat valaistiin ympäri vuorokauden jatkuvalla valolla, niin tämä ei siirtänyt koiraskalojen sukukypsytymistä. Nelmat sukukypsyivät samaan aikaan kuin kalat, jotka oli kasvatettu luonnon lämpötilassa ja valorytmissä. Pienempien kalojen ryhmästä loppunäytteeseen ei saatu koiraskaloja, joten niiden sukukypsyminen jäi avoimeksi.

Nelmat söivät ja kasvoivat hyvin kokeen alkuvaiheessa, mutta kasvatuksen edetessä kalojen rehunkulutus, kasvu ja rehukerroin heikkenivät. Kasvatuksen viimeisellä jaksolla kasvu ja rehunkulutus olivat enään 20 - 40 % siitä mitä ne olivat kasvatuksen alussa. Tämä tulos oli yllättävä, sillä kasvatusolosuhteet (veden lämpötila, *ad libitum* ruokinta ja altaiden valaistus) olivat vakioituneet. Todennäköisesti nelman tuotanto-ominaisuuksiin vaikutti useampi tekijä ja syynä niiden heikkenemiseen on voinut olla sukukypsyminen, kasvanut kasvatusihteys ja kalojen rasvoittuminen. Todennäköisesti ennen kaikkea sukukypsytymiseen valmistautuminen ja sukukypsyminen on heikentänyt koiraskalojen ruokailua ja sen myötä parven kasvua. Kokeen aikana kasvatusihteys nousi alun 20 kg m^{-3} lopun $45,6 \text{ kg m}^{-3}$

- 41,0 kg m⁻³ (pienet - isot). Tässä raportissa julkaistun tiheysvaikutuskokeen perusteella kasvatustiheyden muutos selittää pienen osan havaitusta muutoksesta. Myös runsas ruokahalun mukainen ruokinta ja sen myötä tapahtunut kalojen rasvapitoisuuden kasvu on voinut vähentää ruokahalua ja kasvua kokeen edetessä. Lohella kalan rasvapitoisuuden on havaittu vaikuttavan kalojen ruokahaluun ja kasvuun. Koostumukseltaan rasvaisemmat kalat söivät vähemmän rehua kun taas vähemmän rasvaa sisältävät kalat söivät ja kasvoivat paremmin (Johansen ym. 2002, 2003).

Kiitokset

Tuotanto-ominaisuuksien tutkimukset toteutettiin osana Keski-Suomen ELY-keskuksen rahoittamaa EKTR-hanketta. Kiitokset Jukka Bombergille, Maija Pelliselle ja Leena Kytömaalle, jotka vastasivat kokeiden hoidosta ja tehdyistä mittauksista.

Viitteet

- Cho, C.Y. 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture* 100:107-123.
- Colt, J., 2006. Water quality requirements for reuse systems. *Aquaculture Engineering*, 34: 143-156.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C. & Sumerfeld, S.T. 2013. Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquaculture engineering*, 59:30-40.
- Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M. & Gadd, D. 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 61:493-531.
- Elliott, J.M. 1981. Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts in (A.D. Pickering ed.) *Stress and Fish*. Academic press, London, 367 s.
- Houlihan, D., Boujard, T. & Jobling, M. 2001. Food intake in fish. Blackwell science, Oxford, 418 s.
- Jobling, M. *Fish bioenergetics*. Chapman and Hall, London, 309s.
- Johansen, S.J.S., Eklin, M. & Jobling, M. 2002. Is there lipostatic regulation of feed intake in Atlantic salmon *Salmo salar* L.? *Aquaculture Research*, 33:515-524.
- Johansen, S.J.S., Sveier, H. & Jobling, M. 2003 Lipostatic regulation of feed intake in Atlantic salmon *Salmo salar* L. defending adiposity at the expense of growth? *Aquaculture Research*, 34:317-331.
- Kaushik, S.J. & Oliva Teles, A. 1985. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. *Aquaculture*, 50:89-101.
- Koskela, J. 1992. Growth rates and feeding levels of European whitefish (*Coregonus lavaretus*) under hatchery conditions. *Polskie Archiwum Hydrobiologi*, 39, 3-4:731-737.
- Koskela, J. & Eskelinen, U. 1992. Growth of larvae European whitefish (*Coregonus lavaretus*) at different temperatures. *Polskie Archiwum Hydrobiologi*, 39, 3-4:677-682.
- Koskela, J. 1995. Influence of dietary protein levels on growth and body composition of whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 46:331-338.
- Koskela, J., Määttä, V., Vielma, J., Rahkonen, R., Forsman, L., Setälä, J. ja Honkanen, A. 2002. Siian kasvatus ruokakalaksi. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki, 46 s.
- Pickering, A.D. 1981. *Stress and Fish*. Academic press, London, 367 s.
- Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 2013. *Vesiviljely 2012*. Riista- ja kalatalous – Tilastoja 5/2010. Suomen Virallinen Tilasto – Maa-, metsä- ja kalatalous 30 s.
- Tibbetts, S.M., Lall, S.P. & Milley, J.E. 2005. Effects of dietary protein and lipids levels and DP DE⁻¹ ration on growth, feed utilization and hepatosomatic index of juvenile haddock. *Aquaculture nutrition*, 11:67-75.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. 2001. *Recirculation Aquaculture Systems*. NRAC Publications, No. 01-002. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, 650.
- Urho, L., Kaukoranta, M., Koljonen, M-L., Lehtonen, H., Leinonen, K., Pasanen, P., Rahkonen, R. ja Tulonen, J. 1995: Uusien kalalajien ja -kantojen tuonnin mahdollisuudet. *Nelma (Stenodus leucichthys)– Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kalatutkimuksia* 90: 45-46.
- Wedemeyer, G.A. 1996. *Physiology of fish in intensive culture systems*. Chapman and Hall, New York.
- Yamamoto, T., Sugita, T. & Furuita, H. 2005. Essential amino acid supplementation to fish meal-based diets with low protein to energy rations improves the protein utilization in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 246:379-391.