



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 28/2019

Kirjoloheen yhdistetty kiertovesi- ja merikasvatus

Juha Koskela, Jouni Vielma, Harri Vehviläinen, Jari Riihimäki,
Maija Pellinen, Jukka Bomberg & Leena Kytömaa

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2019

Kirjoloheen yhdistetty kiertovesi- ja merikasvatus

Juha Koskela, Jouni Vielma, Harri Vehviläinen, Jari Riihimäki, Maija Pellinen,
Jukka Bomberg & Leena Kytömaa

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2019



Viittausohje:

Koskela, J., Vielma, J., Vehviläinen, H., Riihimäki, J., Pellinen, M., Bomberg, J. & Kytömaa, L. 2019. Kirjolohen yhdistetty kiertovesi- ja merikasvatus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 18 s.



ISBN 978-952-326-750-3 (Painettu)

ISBN 978-952-326-751-0 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-751-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Juha Koskela, Jouni Vielma, Harri Vehviläinen, Jari Riihimäki, Maija Pellinen, Jukka Bomberg & Leena Kytömaa

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2018

Julkaisuvuosi: 2018

Kannen kuva: Markus Kankainen

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Juha Koskela, Jouni Vielma, Harri Vehviläinen, Jari Riihimäki, Maija Pellinen, Jukka Bomberg & Leena Kytömaa

Kalojen kiertovesikasvatus tarjoaa uusia mahdollisuuksia tuotantokierron tehostamiseen ja yhdistetyn kiertovesi- ja merikasvatuksen avulla voidaan lyhentää perinteisen tuotannon kestoa. Yhdistetyn tuotannon avulla avomerikasvatukseen voitaisiin tuottaa kalaa, jolle riittää yksi kasvukausi meressä. Kasvututkimuksessa selvitimme sitä miten läpi talven kiertovedessä kasvatetut täysnaarasparvea olevat kirjolohet menestyivät seuraavan kasvukauden aikana merikasvatuksessa ja voidaanko merikasvatuksen tulokseen vaikuttaa talvikasvatuksen aikana annettujen käsittelyjen avulla. Kiertovesivaiheessa alkupainoltaan 62 grammaiset kesän vanhat yksilömerkityt kirjolohet (täysnaarasparvi LUKEn jalostusohjelman kasvulinja), pidettiin kiertovedessä joulukuusta 2016 huhtikuuhun 2017 12–14 asteen lämpötilassa ja altaat valaistiin ympäri vuorokauden. Kalat jaettiin kolmeen ryhmää, joista yhtä ruokittiin ruokahalun mukaan (Ad lib.), yhtä 75 % ruokahalun mukaisesta tasosta (Ad lib. 75 %) ja yhtä ruokahalun mukaisesti ja ennen mereen siirtoa tämä ryhmä pidettiin 23 vrk luonnon lämpötilassa ja valaistuksessa (Ad lib talvi). Merikasvatusvaiheessa kaikki ryhmät pidettiin ensin samassa sisäaltaassa, sitten verkkoaltaassa. Molemmista kalat ruokittiin kylläiseksi.

Kiertovesivaiheessa parhaiten kasvoi odotetusti Ad lib. ruokittu kalaryhmä ja sen loppupaino mereensiirtovaiheessa oli 420 g ja muiden ryhmien painot olivat tätä pienemmät (Ad lib talvi, 315 g ja Ad lib 75 %, 280 g). Myös Ad lib. ryhmän kalojen kuntokerroin (1,5) oli suurin ja muissa ryhmissä tätä pienempi (1,4). Kiertovesikasvatuksen aikaisessa rehukertoimessa ei ollut eroja ryhmien välillä (0,88–0,93).

Merivaiheessa alkupainoltaan suurimmat Ad lib ryhmän kalat olivat keskipainoltaan isoimpia myös kasvatuksen päättyessä (Ad lib. 1 727 g, Ad lib talvi 1 540 g ja Ad lib 75 % 1 621 g). Kalojen suhteellinen kasvukertoimen (Thermal growth coefficient TGC \times 1 000) perusteella nopeinta kasvu oli kiertovesivaiheessa rajoitetusti ruokitulla ja tätä hitaampaa ruokahalun mukaan ruokitulla ryhmällä. Ero suhteellisessa kasvussa johtui kalojen kompensoivasta kasvusta. Kuitenkaan, ennen mereen siirtoa rajoitetusti ruokittujen tai talvijakson saaneiden kalojen kompensoiva kasvu ei ollut riittävän voimakasta, jotta mereensiirtovaiheen painoerot olisivat tasoittuneet kasvatuksen aikana. Kiertovesikasvatusta seuranneen merikasvatuksen alkuvaiheessa (huhti-toukokuu) kalojen kasvu ei ollut erityisen hidasta vaan samalla tasolla kuin mitä kirjolohelle laadittu kasvumalli ennusti vastaavissa lämpötiloissa. Kuitenkin kasvatuksen edetessä (kesä–marraskuu) kalat kasvoivat hitaammin mitä kasvumallin perusteella oli odotettavissa.

Kiertovesikasvatuksen aikana ruokinnan rajoittaminen tehosti kalojen kasvua merivaiheessa enemmän kuin kiertovesikasvatuksen päätteeksi annettua talvijakso. Tuloksen perusteella kylmän veden ja lyhyen päivän talvijakso ei ole välttämätön. Tässä kokeessa kalat olivat vain osan kasvatuskierrosta (4 kk) kiertovedessä ja sitä ennen ne kasvatettiin luonnonolosuhteissa aina marraskuuhun asti, joten kalat olivat saaneet signaalin alenevasta veden lämpötilasta ja lyhenevästä päivän pituudesta ennen kiertovesivaihetta. Tämän vuoksi on mahdollista, että kalat, jotka kasvatetaan pelkästään kiertovedessä ennen mereen siirtoa voivat hyötyä siirtoa edeltävästä talvijaksosta.

Merikasvatuksen päättyessä kalat eivät olleet sukukypsiä vaikkakin suurimmat yksilöt olivat noin 3 kg painoisia. Tämä johtui todennäköisesti kalojen nuoresta iästä (18 kk) kasvatuksen päättyessä. Tulosten perusteella yhdistetty kiertovesi ja merikasvatus avulla voidaan tuottaa nopealla tuotantokierrolla isokokoista ja sukukypsytöntä kirjolohta ruokakalamarkkinoille.

Asiasanat: Kirjolohti, ruokakalakasvatus, kiertovesikasvatus, merikasvatus, kasvu

Sisällys

1. Tausta	5
2. Aineisto ja menetelmät	6
2.1. Kalat ja koeasetelma	6
2.2. Kasvatusolosuhteet.....	7
2.2.1. Kiertovesivaihe	7
2.2.2. Merivaihe Parainen	8
2.3. Kalojen mittaukset ja tulosten laskenta.....	9
3. Tulokset	10
3.1. Kiertovesikasvatusvaihe.....	10
3.1.1. Ruokahalu ja kasvu	10
3.2. Merikasvatusvaihe	11
3.2.1. Kasvu	11
3.2.2. Suhteellinen kasvu	12
3.2.3. Mereensiirtokoon vaikutus kalojen loppupainoon	13
3.2.4. Teurasominaisuudet ja sukukypsyminen	14
4. Yhteenveto.....	16

1. Tausta

Lohikalojen merikasvatukseen haetaan parempaa tuotantotehokkuutta kasvattamalla kalat maalla aikaisempaa suuremmiksi ennen kun ne siirretään meressä tapahtuvaan jatkokasvatukseen. Norjassa, Färösaarilla ja Skotlannissa osa kasvattajista tuottaa, kiertovesikasvatuksen avulla, kooltaan 400–650 gramman painoisia lohen smoltteja merikasvatusta varten. Tämän vielä kokeiluvaiheessa olevan ”combined land and sea cage farming” avulla pyritään lyhentämään ja jopa puolittamaan normaalisti 16–27 kuukautta kestävä merikasvatusvaihe. Taloudellista hyötyä odotetaan saatavan siitä, että toiminnalla nopeutetaan tuotantoon sidottujen pääomien kiertoa ja vähennetään merivaiheeseen liittyviä biologisia riskejä, kuten lohitaäin, kalakarkulaisten ja kalatautien aiheuttamia ongelmia (Fish-Farmingexpert 2018, Undercurrentnews 2018, CtrlAQUA 2018).

Myös Suomessa maalla tapahtuvan kiertovesikasvatuksen käyttö isokokoisten mereen siirrettävien lohikalojen tuotannossa nopeuttaisi tuotantosykliä nykyisestä. Erityisesti menetelmä voisi olla hyödyllinen kalojen avomerikasvatuksessa, jos sen avulla kalat saadaan kasvamaan meressä yhden kasvukauden aikana kauppakokoon. Toiminnan avulla voidaan välttää kalojen talvehtimiseen liittyvät riskit ja nopeuttaa tuotannon reagointia markkinatilanteiden muutoksiin, kun tuotantokierto startista kauppakokoon voisi kestää vain noin puolitoista vuotta.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kalat pidetään mereen siirtoa edeltävän talvijakson ajan kiertovesikasvatuksessa kasvun kannalta sopivissa lämpötiloissa ja vuodenaikoihin liittyvä vaihtelu kasvatusoloissa on vähäistä. Kasvatustavan vaikutuksista kalojen merikasvatukseen tuotantobiologiaan on julkaistu niukasti tuloksia (Nofima 2018). Suomalaisien kasvattajien kokemusten perusteella kiertovedessä tuotetut kalat eivät välttämättä kasva merivaiheessa yhtä hyvin kuin vastaavan kokoinen luonnonlämpötilarytmisessä kasvatettu kala. Keskeiset kysymykset liittyvän muun muassa siihen minkä kokoinen mereen siirrettävän kalan tulee olla jotta saavutetaan haluttu kasvatuksen loppukoko, voidaanko kalojen merivaiheen kasvuun vaikuttaa mereen siirtoa edeltävän kiertovesikasvatuksen aikana ja sukukypsyvätkö kalat merikasvatuksen aikana.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten talvijakson ajan kiertovedessä kasvatetut kirjo-lohet menestyvät merikasvatusvaiheessa. Lisäksi selvitimme miten kiertovesivaiheessa toteutettu kalojen rajoitettu ruokinta ja sen seurauksena rajoitettu kasvu sekä kaloille ennen mereen siirtoa annettu talvijakso vaikuttavat merivaiheen kasvuun ja kalojen sukukypsymiseen.

Tämä tutkimus on osa SmartSea hanketta joka on rahoitettu Strategisen tutkimusneuvoston varoista (rahoituspäätös 292985).

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Kalat ja koeasetelma

Tutkimuksessa käytetyt kirjoloheet olivat täysnaaraskaloja ja peräisin LUKE:n valintajalostusohjelman KASVU- valintalinjasta. Kesän vanhat kalat tuotiin Laukaan kalalaitokselle lokakuussa 2016 ja ne rokotettiin furunkuloosia ja vibrioosia vastaan (Alpha ject[®] 3000, Pharmaq, Norja) sekä merkittiin PIT-merkillä (Biomark, Inc., Idaho, USA) yksilöllistä tunnistamista varten. Tämän jälkeen kalat pidettiin läpivirtausaltaassa luonnon lämpötilassa kuukauden ajan. Kaksi viikkoa ennen kokeen aloittamista parvesta valittiin 600 kalaa joiden paino oli 40–110 g välillä ja ne siirrettiin kiertoovesisysteemiin 16 pyöreään lasikuitualtaaseen (vesitilavuus 450 l), 50 kalaa per allas. Kasvatuksen aikana menetettiin teknisen ongelman takia yhden altaan (ryhmä Ad lib. 75 %) kalat.

Kasvatuksen kiertoovesivaiheessa (joulukuu 2016–maaliskuu 2017) kalat jaettiin kolmeen ruokintaryhmään. Kaikilla ryhmillä oli neljä allastaistoa.

1 Ad lib.; Kalat ruokittiin ruokahalun mukaan

2 Ad lib. talvi; Kalat ruokittiin ruokahalun mukaan ja keväällä ennen mereen siirtoa kalat pidettiin paastolla 23 vrk ajan läpivirtauksessa luonnon lämpötilassa (2,4 °C) sekä päivänpituudessa (12:12)

3 Ad lib. 75 %; Kalat ruokittiin 75 % ruokahalun mukaisen ryhmän ruokinnasta

Kalojen siirto lämpimästä kiertovedestä luonnonlämpötilaiseen veteen tehtiin asteittain kahden vuorokauden aikana.

Kasvatuksen merivaiheessa (huhti-marraskuu) kalat siirrettiin merikasvatukseen Paraisille (Livian ammattiopisto), aluksi hallitiloihin yhteen isoon merivesiläpivirtauksessa olevaan lasikuitualtaaseen (huhti- toukokuu) ja sen jälkeen mereen verkkoaltaaseen (kesä- marraskuu). Merivaiheessa kaikki ryhmät ruokittiin samalla tavalla.

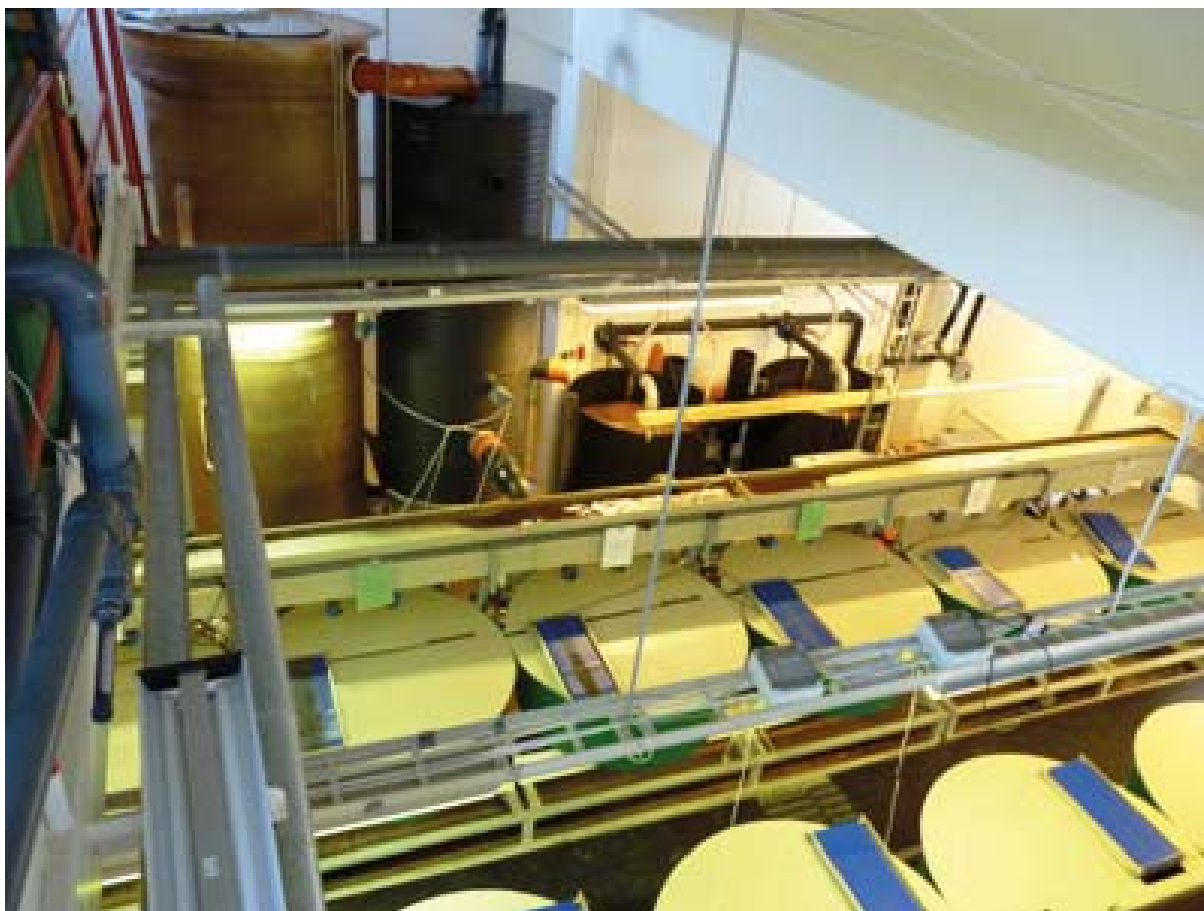
Sisävesikasvatus	Kiertoovesikasvatus	Merikasvatus
Taulukkoruokinta	1. Ad lib ruokinta 2. Ad lib Talvi ruokinta 3. Ad lib 75% ruokinta	Kaikille ryhmille Ad lib ruokinta
Kesä-marraskuu 2016	0 vrk 8.12.2016	116 vrk 3.4.2017
		335 vrk 28.11.2017

Kuva 1. Kalat kasvatettiin ensimmäisen kesän läpivirtauslaitoksessa ja rokotuksen sekä yksilömerkinnän jälkeen ne siirrettiin kiertoovesikasvatukseen ja jaettiin kolmeen ruokintaryhmään (neljä rinnakkaista allasta per ryhmä). Keväällä kalat siirrettiin merikasvatukseen (Parainen) ensin yhteen isoon altaaseen ja 31.5 alkaen yhteen verkkoaltaaseen.

2.2. Kasvatusolosuhteet

2.2.1. Kiertovesivaihe

Kiertoveden käsittelyä varten kiertoovesisysteemissä oli kaikille altaille yhteinen vedenkäsittelytekniikka. Kiintoaineen poisto tapahtui rumpusiivilän avulla (viiran koko 60 μm), typpiyhdisteiden muokaus vähemmän haitalliseen muotoon ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$) kolmen biosuodattimen avulla (moving bed, kantoaineena muoviraksut tai hiekka), veden hiilidioksidipitoisuuden vähentäminen ja happipitoisuuden lisääminen valutustustornin avulla ja veden desinfiointi UV- valon avulla. Systeemiin tulevan korvausveden määrä säädettiin annostelupumpulla (1–1,2 m^3 vettä per ruokittu rehu kg).

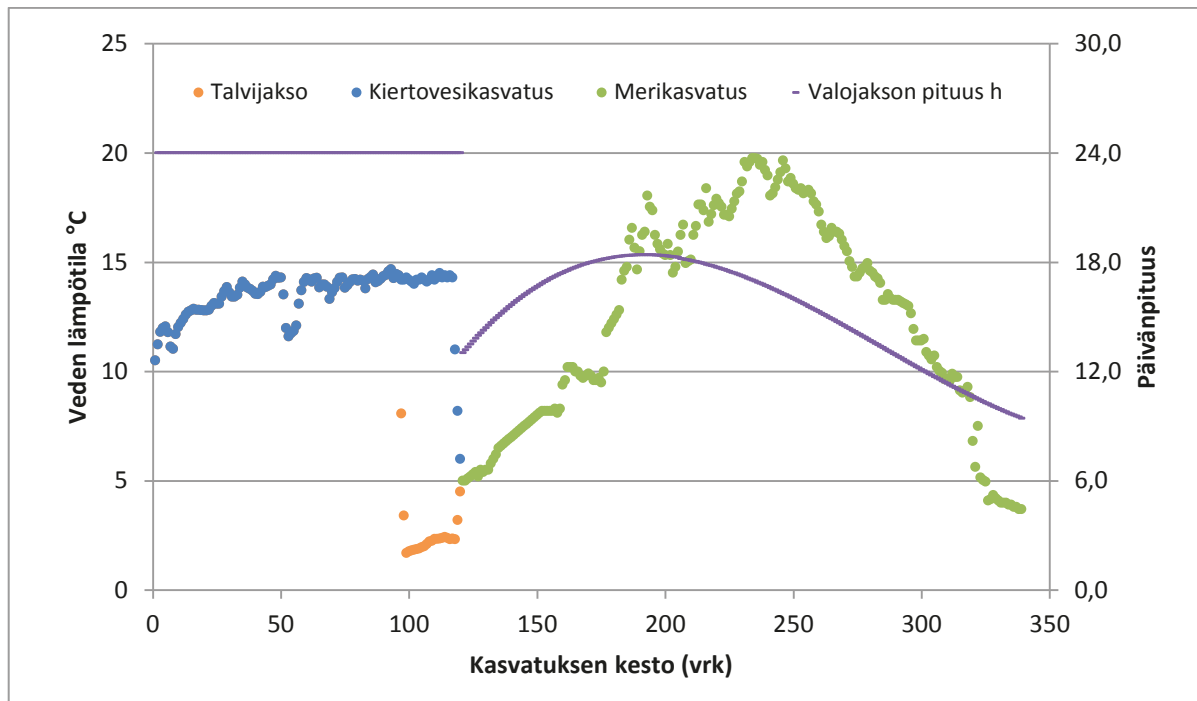


Kuva 2. Kesän vanhat kierjohohet kasvatettiin Laukaan kiertoovesiyksikössä talven ajan ja keväällä kalat siirrettiin merikasvatukseen Paraisille.

Kalat ruokittiin 6 h ajan vuorokaudessa (06:00–12:00) aluksi 2,5/3 mm ja myöhemmin 4,5/5 mm kaupallisilla kiertoovesikasvatukseen tarkoitetuilla rehuilla (1:1 seos Raisioaqua Circuit ja Biomar Orbit rehut). Kalojen kylläisyysruokinnan varmistamiseksi ruokintamäärä säädettiin viikottain siten, että jokaisen altaan poistovesityksen alle sijoitettuun hukkaherun keräimeen jäi enintään muutama kymmenen rehu pellettiä vuorokaudessa. Kasvatusaltaat valaistiin valkoisella valolla altaiden kansiin sijoitettujen led- valopaneelien avulla 24 h vrk^{-1} ja valointensiteetti veden pinnan tasossa säädettiin 100–150 lx:in. Kasvatusveden pH säädettiin natriumbikarbonaatin (NaHCO_3 , Solvay Chemicals International SA) ja Microdol jauheen (kalsium–magnesium karbonaatti $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, Talc As, Norja) seoksen (2:1) avulla. Seosta lisättiin kierto- veteen 28 % ruokitun rehun määrästä vuorokaudessa.

Kasvatusveden laatua seurattiin anturien (pH, happi ja lämpötila) avulla sekä analysoimalla vesinäytteitä (Hach Lange DS 3900). Kasvatuksen aikana veden pH oli (keskiarvo \pm kh.) 7,1 +0,2, hapen kylläi-

syysaste $101,9 \% \pm 2,7$ (altaaseen tuleva vesi), $77,3 \% \pm 9,1$ – $86,5 \% \pm 4,2$ (altaasta poistuva vesi), kokonaisammonium ($\text{NH}_3 \pm \text{NH}_4$) $0,27 \pm 0,03$, ammonium (NH_3) $0,001 \pm 0,0004$, nitriitti (NO_2) $0,04 \pm 0,009$ ja nitraatti (NO_3) $22,3 \pm 6,2$.



Kuva 3. Kasvatusveden lämpötila ja valojakson pituus kiertovesikasvatuksen (8.12.2016–3.4.2017), talvijakso (14.3.–5.4.2017) ja merikasvatuksen (6.4.–28.11.2017) aikana. Talvijakson aikana ryhmä (Ad lib. talvi) pidettiin luonnonvalojaksossa ja muut ryhmät 24 tunnin valossa.

2.2.2. Merivaihe Parainen

Kiertovesikasvatuksesta kalat siirrettiin aluksi Livian kalahallissa olevaan pyöreään 28 m^3 lasikuituisen läpivirtausaltaaseen, joka oli vesitetty murtovedellä ja valaistu luonnonvalolla, ja ruokittiin ITU ruokintajärjestelmän (Arvo-Tec, Joroinen) avulla kertajakson päivässä (klo 09.00–12.00) kirjolohirehulla (Hercules 5 mm rae, Raisioaqua). Kalat ruokittiin kylläiseksi (altaan pohjalla jäi syömätöntä rehua), koska eri taustaa oleville kaloille haluttiin antaa mahdollisuus kasvaa mahdollisimman hyvin.

Kesäkuun alussa kalat siirrettiin yhteen verkkoaltaaseen (tilavuus 400 m^3) ja ruokittiin ITU ruokintajärjestelmän avulla kaksi kertaa päivässä (klo 05.00–06.00 ja 11.00–12.00) aluksi 5 mm rehurakeella (Hercules) ja 7–17. heinäkuuta 5 ja 7 mm (Hercules) rakeella (1:1) ja sen jälkeen pelkästään 7 mm rakeella kokeen loppun asti. Myös verkkokassivaiheessa kalat ruokittiin kylläiseksi perustuen kalojen vähäiseen ruokailuaktiivisuuteen päivän viimeisen ruokintakerran aikana. Kasvatusveden lämpötila ja päivän pituus noudattivat luonnonrytmiä (kuva 3).



Kuva 4. Merikasvatuksen päättyessä kaikki kalat punnittiin yksilöllisesti ja tunnistettiin lukemalla niiden PIT-merkki.

2.3. Kalojen mittaukset ja tulosten laskenta

Kiertovesivaiheessa kalat punnittiin yksilöllisesti, mitattiin kokonaispituus ja luettiin PIT-merkki kasvatuksen alussa (8.12.2016) ja ennen siirtoa merikasvatukseen (3.4.2017). Lisäksi kiertovesikasvatuksen aikanaan altaiden kalat punnittiin ryhmänä ja yksilömäärä laskettiin neljä kertaa (4. ja 26.1., 16.2. ja 9.3.2017) kasvatuksen aikana. Ennen punnituksia kalat pidettiin paastolla kahden vuorokauden ajan. Kasvatuksen päättyessä otettiin näytteet (5 kalaa per allas) lihaksen vesi- ja rasvapitoisuuden määrittämistä varten.

Merikasvatusvaiheessa kalat punnittiin yksilöllisesti, mitattiin kokonaispituus ja luettiin PIT-merkki allaskasvatusvaiheen (31.5.2017) ja kassikasvatusvaiheen päättyessä (28.11.2017). Ennen punnituksia kalat pidettiin paastolla 5 vrk ajan ja lisäksi kasvatuksen aikana kalat pidettiin paastolla kolmen (vko 33) ja viiden (vko 36) vuorokauden ajan. Loppupunnituksen yhteydessä kaikki kalat perattiin ja mitattiin niiden perattu ja maksan paino. Samalla arvioitiin mätipussien suhteellisen koon perusteella kalojen sukukypsymisvalmius. Kalojen yksilöllisen PIT-merkin avulla kalan merivaiheen kasvuominaisuudet voitiin yhdistää niiden kiertovesivaiheessa saamaan käsittelyyn ja kasvatusaltaaseen. Kalanäytteet otettiin kiertovesivaiheen ja meriallasvaiheen jälkeen koostumusanalyysijä varten. Näytteet menetettiin pakastimen sulamisen takia ja vain osasta saatiin määritettyä kalan lihaksen vesipitoisuus.

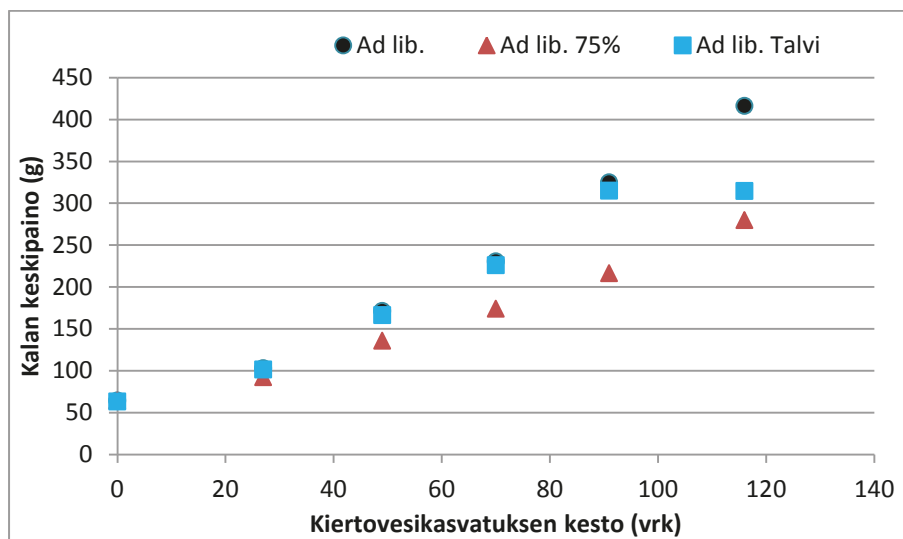
Rehukerroin laskettiin seuraavasti; $Rehuk = Rehu / (Loppum - Alkum)$, jossa Rehu on kasvatusjakson aikana altaaseen ruokittu rehumäärä (kg) ja Alkum sekä Loppum ovat kalaparven alku- ja loppumassa (kg) tarkastelujakson aikana. Kasvukerroin (thermal growth coefficient) laskettiin seuraavasti; $TGC = 1000 \times (K2^{1/3} - K1^{1/3}) / Lämpösuum$, jossa K1 ja K2 ovat kalan (yksilömittaus) alku- ja loppupaino ja Lämpösuum on jakson vuorokausilämpötilojen summa (Iwama ja Tautz, 1981). Perkausanto laskettiin yksilöllisesti seuraavasti; $P\text{-saanto} = 100 \times P\text{-paino} / K\text{-paino}$, jossa P-paino ja K-paino ovat kalan perattu ja pyöreä paino ja hepatosomaattinen indeksi laskettiin seuraavasti; $HSI = 100 \times M\text{-paino} / K\text{-paino}$, jossa M-paino on kalan maksan paino. Tilastolliset testit tehtiin SYSTAT-tilasto-ohjelmalla (SYSTAT 2009).

3. Tulokset

3.1. Kiertovesikasvatusvaihe

3.1.1. Ruokahalu ja kasvu

Kiertovesikasvatuksen aikana ruokahalun mukaan ruokitun kalaryhmän (Ad lib.) ruokahalu (% allas-massasta vuorokaudessa) vaihteli eri kasvatusjaksojen (kuva 5) aikana 1,3–2,1 % välillä. Ruokahalu oli suurimmillaan joulutammikuun aikana (1,7–2,1 % vrk⁻¹) ja aleni sen jälkeen asteittain ja oli viimeisen kasvatusjakson aikana maaliskuussa 1,3 % vrk⁻¹. Verrattuna samankokoiselle kalalle ja samalle lämpötilalle annettuun kaupallisen rehun ruokintasuositukseen, Ad lib ryhmän ruokahalu oli joulutammikuun aikana noin 100 % suosituksen arvosta ja helmikuusta aina kasvatuksen loppuun asti ruokahalu oli laskenut noin 80 %:in suosituksen arvosta. Kalojen keskipaino eri koeryhmissä kasvoi alkutilanteen 64 grammasta lopputilanteen 280–421 grammaan (kuva 5 ja taulukko 1). Rajoitettu ruokinta- sekä talvijaksoryhmän kasvu jäi odotetusti jälkeen ad lib. ruokitun ryhmän kasvusta. Ero rajoitetun ruokinnan ryhmään muodostui tasaisesti kasvatuksen aikana ja kevätpaastoryhmään maaliskuussa paastojakson aikana (kuva 5).



Kuva 5. Käsittelyjen vaikutus kalojen keskipainon kehitykseen kierto-vesikasvatusvaiheessa. Kasvatus alkoi 8. joulukuuta 2016 ja päättyi 3. huhtikuuta 2017. Kuvassa pisteet esittävät käsittelykeskiarvoja (Ad lib. 75% 3 rinnakkaista allasta, muut ryhmät 4 rinnakkaista allasta).

Kasvatuksen alussa kalojen keskipainot olivat kaikissa koeryhmissä samansuuruiset (taulukko 1). Kiertovesikasvatuksen päättyessä ruokintakäsittelyjen välillä oli merkitsevät erot painossa, pituudessa ja kuntokertoimessa. Ruokahalun mukaan ruokitut kalat olivat painavampia ja pidempiä kuin rajoitetusti ruokitut tai kevät paaston saaneet kalat, jotka taas eivät eronneet toisistaan merkittävästi (taulukko 1). Kuntokerroin oli suurin (1,5) ruokahalun mukaan ruokituilla kaloilla ja tätä pienempi (1,4) rajoitetusti ruokituilla ja talvijakson saaneilla kaloilla. Kalan lihaksen vesipitoisuus oli pienin (67,7 %) Ad lib ruokituilla kaloilla ja tätä suurempi Ad lib 75 % (70,7 %) ja Ad lib talvi (69,5 %) ryhmissä. Kalojen kasvua kuvaava ja kasvatuslämpötilan huomioon ottava TGC-kerroin oli samansuuruisen ad lib. ja talvijaksoryhmässä ja rajoitetun ruokinnan ryhmässä odotetusti näitä kahta ryhmää merkitsevästi pienempi. Kiertovesivaiheen aikana kalojen rehukerroin oli eri ryhmissä 0,88–0,93 välillä eikä ruokintakäsittelyillä ollut vaikutusta rehukertoimeen.

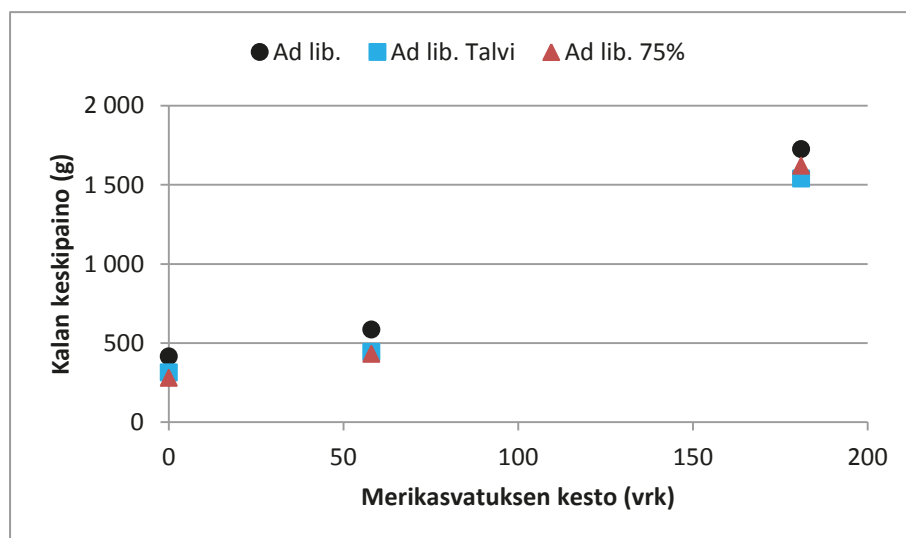
Taulukko 1. Kalojen keskimääräinen alkupaino kiertovesikasvatusvaiheessa sekä käsittelyjen vaikutus kalojen loppupainoon, pituuteen, kunto-, rehu- ja TGC kasvukertoimeen (thermal growth coefficient). Sarakkeessa eri yläindeksillä merkityt arvot eroavat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) toisistaan (ryhmä Ad lib. 75% 3 rinnakkaista allasta, muut ryhmät 4 rinnakkaista allasta).

Käsittely	Alkutiedot		Lopputiedot			
	Paino g	Paino g	Pituus cm	Kunto- kerroin	Rehu- kerroin	TGC x 1 000 kerroin
Ad lib.	64,1	420,6 ^A	30,3 ^A	1,5 ^A	0,93	2,19 ^A
Ad lib. talvi	63,1	314,7 ^B	28,0 ^B	1,4 ^B	0,88	2,08 ^A
Ad lib. 75%	64,3	280,0 ^B	27,2 ^B	1,4 ^B	0,89	1,58 ^B
ANOVA						
p-arvo	0,496	<0,000	<0,000	<0,000	0,345	<0,000

3.2. Merikasvatusvaihe

3.2.1. Kasvu

Merikasvatuksen alkaessa (5. huhtikuuta) kalojen keskipaino oli eri koeryhmissä 280–420 g (taulukko 1) ja sen päättyessä (28. marraskuuta) keskipaino oli 1 500–1 700 g (kuva 6). Kiertovesikasvatusvaiheessa muodostuneet erot kalojen keskipainossa säilyivät ja ad lib. ryhmän kalat olivat kasvatuksen päättyessä merkitsevästi suurempia kuin kahden muun ryhmän kalat (taulukko 2).



Kuva 6. Kiertovesikasvatusvaiheessa tehtyjen käsittelyjen vaikutus kalojen keskipainon kehitykseen merikasvatuksessa. Merikasvatus alkoi 5. huhtikuuta 2017 ja päättyi 28. marraskuuta 2017. Kalojen kiertovesivaiheessa saamat käsittelyt tunnistettiin kalojen yksilömerkin avulla. Kuvassa pisteet esittävät käsittelykeskiarvoja (Ad lib. 75% 3 rinnakkaista allasta, muut ryhmät 4 rinnakkaista allasta).

Sitä vastoin merikasvatuksen alussa olevat erot kalojen pituudessa ja kuntokertoimessa (taulukko 2) tasoittuivat kasvatuksen aikana. Merikasvatuksen allasvaiheen päättyessä Ad lib. ryhmän keskipaino, pituus ja kuntokerroin olivat edelleen suuremmat kuin Ad lib. talvi ja Ad lib. 75% ryhmissä. Merikasvatuksen päättyessä Ad lib. ryhmän kalat olivat edelleenkin painoltaan suurimpia, mutta käsittelyryhmien väliset erot kalojen kokonaispituudessa ja kuntokertoimessa olivat tasoittuneet eikä näissä arvoissa ollut tilastollista eroa ryhmien välillä (taulukko 2). Meri-allasvaiheen päättyessä kalojen li-

haksen vesipitoisuus oli Ad lib. ryhmässä matalin (70,0 %) ja rajoitetusti ruokitussa (72,0 %) sekä talvijakson saaneessa ryhmässä (72,4 %) suurempi.

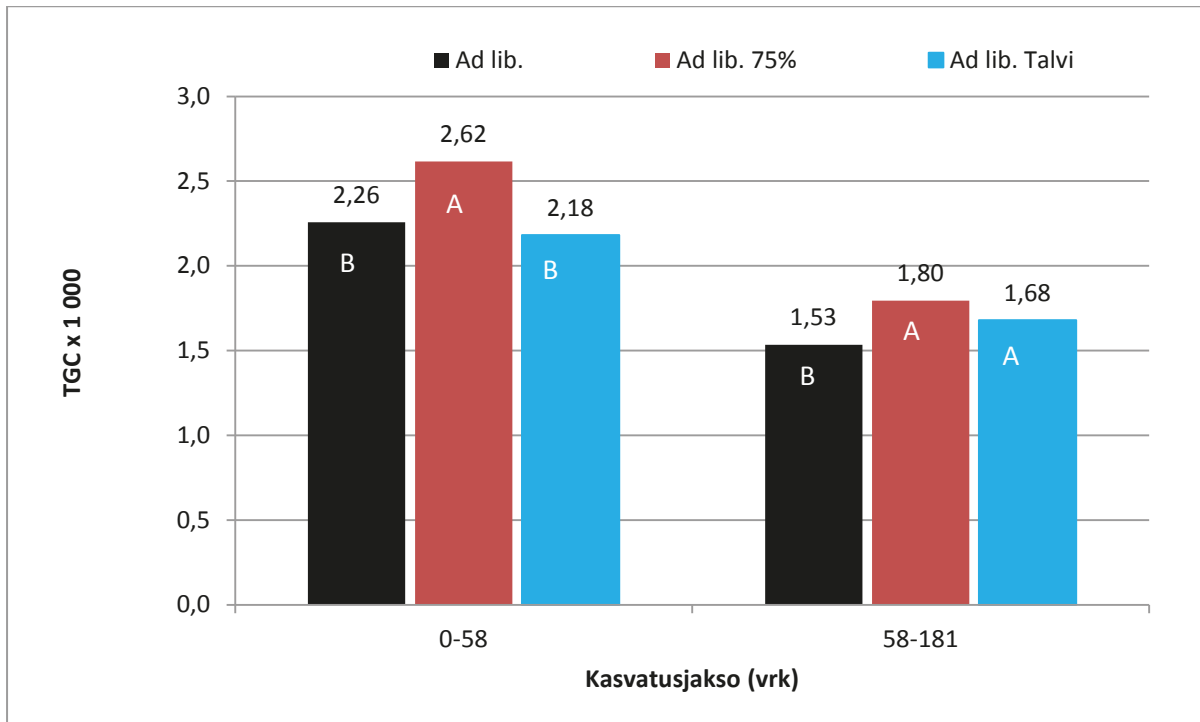
Taulukko 2. Kalojen keskimääräinen paino, kokonaispituus ja kuntokerroin merikasvatuksen allasvaiheen päättyessä (31. toukokuu) ja kassivaiheen päättyessä (28. marraskuu). Sarakkeessa eri yläindeksillä merkityt arvot eroavat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) toisistaan. Kalojen kiertovesivaiheessa saamat käsittelet tunnustettiin kalojen yksilömerkin avulla (ryhmä Ad lib. 75% 3 rinnakkaista allasta, muut ryhmät 4 rinnakkaista allasta).

Käsittely	Mittauspäivä		28.11.			
	31.05		Kunto-	Paino	Pituus	Kunto-
	Paino	Pituus	kerroin	g	cm	kerroin
	g	cm				
Ad lib.	588,1 ^A	34,0 ^A	1,47 ^A	1726,7 ^A	46,3	1,66
Ad lib talvi	443,9 ^B	31,4 ^B	1,40 ^B	1540,4 ^B	45,3	1,63
Ad lib. 75%	431,2 ^B	31,1 ^B	1,38 ^B	1620,8 ^B	45,6	1,67
ANOVA						
p-arvo	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	0,118	0,137

3.2.2. Suhteellinen kasvu

Merivaiheessa nopeammin kasvaneet kalaryhmät olivat myös pienempikokoisia merivaiheen alussa ja yleisesti tiedetään että kalan koon kasvaessa kalan suhteellinen kasvu myös hidastuu. Tämän vuoksi testasimme ruokintakäsittelyjen vaikutuksen koko merikasvatustavalle lasketuille TGC-kertoimille poistamalla erisuurien alkupainojen vaikutuksen (kovariaatti) tuloksiin. Testin perusteella kiertovesivaiheessa annetuilla käsittelyillä oli merkitsevä vaikutus koko merivaiheen TGC-kertoimeen ($p = 0,021$) ja kalojen alkupainon vaikutus tulokseen oli vähäinen ($p = 0,111$). Ruokintaryhmien paritaisten vertailujen perusteella Ad lib 75% ryhmän TGC-kerroin (1,94) oli merkitsevästi ($p = 0,027$) suurempi kuin kiertovesivaiheessa ruokahalun mukaan ruokitun ryhmän kerroin (1,67) ja Ad lib talvi ryhmän TGC-kerroin (1,75) ei eronnut edellä mainituista ryhmistä.

Kalojen suhteellisessa kasvussa tapahtui muutoksia merikasvatuksen aikana. Kasvatuksen ensimmäisen 58 vuorokauden aikana kiertovesivaiheessa rajoitetusti ruokittujen kalojen TGC-kerroin oli merkitsevästi suurempi (TGC 2,62) kuin kahdella muulla ryhmällä (TGC 2,26 ja 2,18) ja talvijakson saaneen ryhmän kasvu oli samalla tasolla kuin ruokahalun mukaisessa ryhmässä (kuva 7). Merikasvatuksen kassikasvatustavalla (59–181 vrk) TGC-kerroin oli suurempi kiertovesivaiheessa rajoitetusti ruokittuilla ja talvijakson saaneilla kaloilla (TGC 1,80 ja 1,68) kuin ruokahalun mukaan ruokituilla ryhmällä (TGC 1,53, kuva 7).



Kuva 7. Kiertovesivaiheen käsittelyjen vaikutus kalojen kasvuun (Thermal growth coefficient \times 1 000) merivaiheessa. Kasvatusjakso 0–58 vrk (huhtikuu–toukokuu) kalat pidettiin sisäaltaassa ja kasvatusjakso 59–181 vrk (kesäkuu–marraskuu) kalat pidettiin verkkokassissa. Kuvassa pylväät esittävät käsittelykeskiarvoja ja eri kirjaimilla merkityt pylväät eroavat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) toisistaan. Kalojen kiertovesivaiheessa saamat käsittelyt tunnistettiin kalojen yksilömerkin avulla (Ad lib. 75% 3 allastoistoa, muut ryhmät 4 allastoistoa).

3.2.3. Mereensiirtokoon vaikutus kalojen loppupainoon

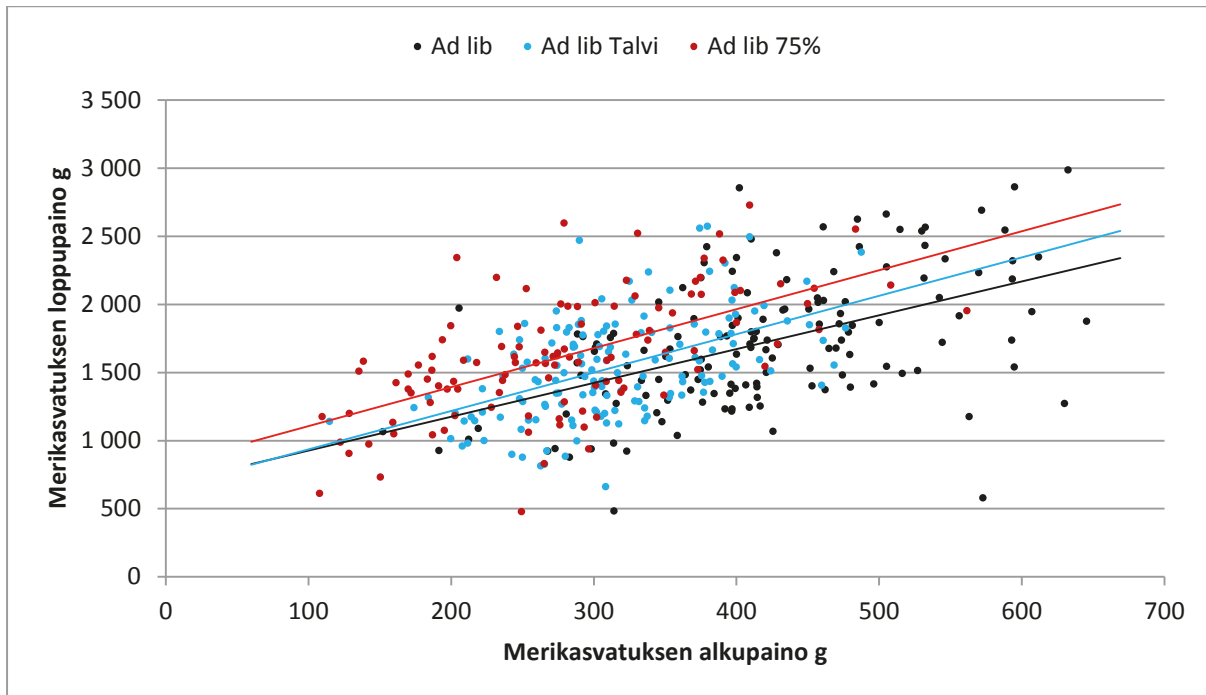
Kiertovesivaiheessa eri ruokintakäsittelyjä saaneiden kalojen yksilöpaino vaihteli mereensiirtovaiheessa 100–650 g:n välillä ja merikasvatuksen päättyessä 600–3 000 g:n välillä (kuva 8). Kalojen kasvukerroin (loppupaino/alkupaino) oli merivaiheessa suurin kiertovesikasvatusvaiheessa rajoitetusti ruokitulla ryhmällä (Ad lib 75 %; 5,8), toiseksi suurin ryhmällä joka oli kiertovesikasvatuksen loppuvaiheessa talvilämpötilassa (Ad lib talvi; 4,9) ja pienin ryhmällä, jota oli ruokittu kiertovesivaiheessa ruokahalun mukaan (Ad lib; 4,2).

Kiertovesivaiheen käsittelyjen vaikutus kalojen alku- ja loppupainon suhteeseen merikasvatuksessa kuvattiin lineaaristen regressiomallien avulla seuraavasti;

$$\text{Ad lib, Loppupaino g} = 2,48 \times \text{alkupaino g} + 679,2$$

$$\text{Ad lib talvi, Loppupaino g} = 2,82 \times \text{alkupaino g} + 654,0$$

$$\text{Ad lib 75\%, Loppupaino g} = 2,86 \times \text{alkupaino g} + 820,9$$



Kuva 8. Kiertovesivaiheessa annettujen käsittelyjen vaikutus kalayksilöiden kasvuun merivaiheessa (huhtikuu–marraskuu). Kuvassa pisteet esittävät kalan painoa ja viivat alku- ja loppupainon välistä lineaarista suhdetta. Kalojen kiertovesivaiheessa saamat käsittelyt tunnistettiin kalojen yksilömerkin avulla (musta = Ad lib ruokinta, sininen = Ad lib talvi ja punainen = Ad lib 75%).

Mallien perusteella kiertovesivaiheessa rajoitetusti ruokitut kalat (Ad lib 75%) kasvoivat merivaiheessa parhaiten ja alkupainoltaan 200 g painoinen kala saavutti keskimäärin 1 400 g loppupainon ja vastaavasti 500 g alkupaino tuotti keskimäärin 2 200 g loppupainon. Sitä vastoin kiertovesivaiheessa kylläiseksi ruokittujen kalojen (Ad lib) kasvu oli merivaiheessa hitaampaa ja 200 g painoinen kala tuotti keskimäärin 1 200 g loppupainon ja 500 g alkupaino keskimäärin 1 900 g loppupainon. Kiertovesivaiheessa talvijakson saaneen ryhmän (Ad lib talvi) tulokset asettuivat näiden kahden ryhmän välimaastoon (kuva 8).

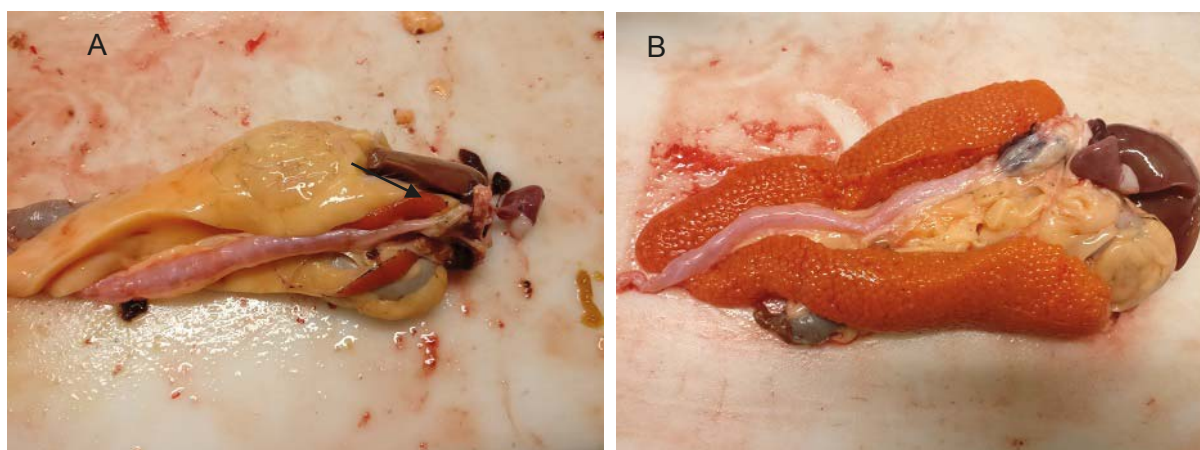
3.2.4. Teurasominaisuudet ja sukukypsyminen

Kalojen keskimääräinen perattu paino vaihteli kiertovesivaiheessa erilaisen ruokintakäsittelyn saaneilla kalaryhmillä 1 339–1 500 g:n välillä ja merkittävästi suurin perattu paino oli kiertovesivaiheessa ruokahalun mukaan ruokituilla kaloilla (taulukko 3). Erot peratuissa painoissa johtuivat kalojen erilaisesta keskipainoista kasvatuksen päätyessä. Sitä vastoin kiertovesivaiheessa annetuilla ruokintakäsittelyillä ei ollut vaikutusta perkaussaantoon (86,7–86,9 %) tai maksan painoon suhteessa kala painoon (HSI-indeksi, 0,92–0,97).

Taulukko 3. Kiertovesivaiheen ruokintakäsittelyjen vaikutus kalojen perattuun painoon, perkaussaantoon ja maksaindeksiin (HSI) merikasvatuksen päättyessä. Sarakkeessa eri yläindeksillä merkityt arvot eroavat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) toisistaan. Kalojen kiertovesivaiheessa saamat käsittelyt tunnistettiin kalojen yksilömerkin avulla (ryhmä Ad lib. 75% 3 rinnakkaista allasta, muut ryhmät 4 rinnakkaista allasta).

Käsittely	Perattu paino g	Perkaus saanto %	HSI - indeksi
Ad lib.	1 500 ^A	86,8	0,96
Ad lib talvi	1 339 ^B	86,9	0,92
Ad lib. 75%	1 406 ^B	86,7	0,97
ANOVA			
p-arvo	0,001	0,704	0,304

Merikasvatuksen päättyessä täysnaarasparvea olevat kalat olivat mätipussien koon sekä HSI indeksin (taulukko 3) perusteella arvioituna immatuureja ja vain yksi kala oli mätipussien painon perusteella sukukypsymässä seuraavan kevättalven aikana (kuva 9).



Kuva 9. Kirjoloihen mätipussin koko merikasvatuksen päättyessä (28. marraskuuta). Valtaosalla kaloista mätipussit olivat heikosti kehittyneitä (kuva A, nuoli) ja ne luokiteltiin sukukypsymättömiksi kaloiksi. Vain yhdellä kalalla (kuva B, ad lib ruokinta kiertovesivaiheessa) mätipussit olivat kehittyneet ja kalaa luokiteltiin sukukypsäksi kalaksi.

4. Yhteenveto

Vaikuttiko kalojen yhdistetty kiertovesi ja merikasvatus kalojen merivaiheen kasvuun? Kokeessa ei ollut mukana tavanomaisen kasvatuskierron läpikäynyttä kalaryhmää, johon kalojen kasvua olisi voinut suoraan verrata. Tämän vuoksi kalojen merivaiheen kasvua verrattiin kirjolohella laaditun kasvumallin antamaan ennusteeseen käyttäen vastaavia lämpötiloja kuin kasvatuskokeessa (Kankaisen ym 2019). Ennusteen perusteella merikasvatuksen alkuvaiheessa (huhti–toukokuu) kalojen kasvu oli vastaavaa mitä kasvumalli ennusti sen olevan. Kasvatuksen loppujaksolla (kesä–marraskuu) kalat kasvoivat kasvumallin ennustetta hitaammin ja niiden loppupaino oli 70–80 % mallin avulla ennustetusta loppupainosta (2 100–2 500 g). Kalojen kasvua on voinut heikentää myös kasvatuspaikan olosuhteet kuten veden sameus.

Ruokinnan rajoittaminen kiertovesikasvatuksen aikana tehosti kalojen kasvu merivaiheessa enemmän kuin kiertovesikasvatuksen päätteeksi annettua talvijakso. Tuloksen perusteella kylmän veden ja lyhyen päivän talvijakso ei ole välttämätön. Tässä kokeessa kalat olivat vain osan kasvatuskierrosta (4 kk) kiertovedessä ja sitä ennen ne kasvatettiin luonnonolosuhteissa aina marraskuuhun asti, joten kalat olivat saaneet signaalin alenevasta veden lämpötilasta ja lyhenevästä päivän pituudesta ennen kiertovesivaihetta. Tämän vuoksi on mahdollista, että kalat, jotka kasvatetaan pelkästään kiertovedessä ennen mereen siirtoa voivat hyötyä siirtoa edeltävästä talvijaksosta.

Merikasvatuksen päättyessä kalat eivät olleet sukukypsiä vaikkakin suurimmat yksilöt olivat noin 3 kg painoisia. Tämä johtui todennäköisesti kalojen nuoresta iästä (18 kk) kasvatuksen päättyessä. Tulosten perusteella yhdistetty kiertovesi ja merikasvatus avulla voidaan tuottaa nopealla tuotantokierrolla isokokoista ja sukukypsytöntä kirjolohta ruokakalamarkkinoille.

Kiertovesivaiheessa voitiin erilaisten ruokintakäsittelyjen avulla tuottaa kahta eri kokoluokkaa olevia kaloja merikasvatusta varten. Kookaat kalat (keskipaino 420 g) olivat saaneet syödä koko kiertovesivaiheen ajan ruokahalun mukaan ja voineet kasvaa maksimaalisesti. Pienemmät kalat (keskipaino 280 g ja 315 g) tuotettiin kahdella eri tavalla, joko rajoittamalla ruokintaa koko kasvatuksen ajan (ruokinta 75 % ruokahalun mukaisesta tasosta) tai pitämällä kalat 23 vrk ajan ennen mereen siirtoa talviolosuhteissa (lämpötila 2,4 °C ja valorytmi 12 h valo:12 h pimeä), jolla käsittelyllä saatiin aikaiseksi vastaava kasvutaantuma kuin rajoitetulla ruokinnalla. Kasvun hidastumisen taustalla olevat vaikutustavat oli näissä kahdessa käsittelyssä erilaiset. Ruokintaa rajoittavassa käsittelyssä rajoitettiin kalojen ruokailua ja kasvua siitä mitä ne olisivat voineet olla niiden kasvatuslämpötilan perusteella, kun taas talviolosuhteisiin siirron aikana kalojen ruokahalu ja kasvu alenivat voimakkaasti ja vastasivat ruokahalua ja kasvua kylmässä vedessä. Pienemmän painon lisäksi kalat erosivat ruokahalun mukaan ruokitusta ryhmästä siinä, että niiden kuntokerroin oli pienempi ja lihaksen vesipitoisuus suurempi. Kirjolohella, ja myös usealla muulla kalalajilla, koko kalan ja lihaksen vesipitoisuuden on havaittu olevan voimakkaassa käänteisessä korrelaatiossa niiden rasvapitoisuuden kanssa ja vesipitoisuuden avulla voidaan arvioida kalan rasvapitoisuutta (Jobling 2001). Joten ruokahalun mukaan ruokitut kalat olivat vesipitoisuuden perusteella myös rasvaisempia kuin kahden muun ryhmän kalat. Ruokahalun mukaan ruokitun ryhmän korkeampi rasvapitoisuus selittyy osin kalojen kahta muuta ryhmää suuremmalla koolla koska lohikaloilla rasvapitoisuus kasvaa koon kasvun myötä (Shearer 1994). Toisaalta on myös havaittu, että rajoitetulla ruokinnalla hitaammin kasvatetut kirjolohet ovat vähärasvaisempia (koko kala ja lihasrasva) kuin samaan kokoon nopeasti kasvatetut kalat (Rasmussen ja Ostenfeld 2000). Myös matalien veden lämpötilojen on havaittu vaikuttavan lohien rasvapitoisuuden kasvuun ja rasvan osuus kalojen lisäkasvusta oli sitä pienempää mitä kylmemmässä vedessä kaloja kasvatettiin (Koskela ym 1997). Tämän vuoksi on todennäköistä, että tässä kokeessa käytetty rajoitettu ruokinta ja kaloille annettu talvijakso itsessään vaikutti kalojen rasvapitoisuuteen sitä alentavasti.

Merikasvatusvaiheessa kalaryhmien väliset suhteelliset painoerot pienenevät, mutta alkukooltaan suurimmat kiertovesivaiheessa ruokahalun mukaan ruokitut kalat olivat kasvatuksen päättyessä edelleen merkittävästi suurempia kuin kahden muun ryhmän kalat. Kalojen suhteellisessa kasvunopeudessa oli merivaiheessa eroja eri ryhmien välillä. Kiertovesivaiheessa rajoitetusti ruokittujen kalojen suhteellinen kasvu (TGC arvo) oli nopeampaa kuin kiertovedessä kylläiseksi ruokituilla kaloilla ja talvijakson saaneilla kaloilla suhteellinen kasvu oli näiden kahden ryhmän välillä. Ryhmien väliset erot suhteellisessa kasvussa selittyvät kompensoivan kasvun ilmiöllä. Aikaisemmin rajoitetusti ruokitut tai paastotetut kalat alkavat, kun ravintoa tarjotaan riittävästi, syödä ravintoa enemmän ja kasvaa nopeammin, kuin kalat, jotka ovat saaneet koko ajan haluamansa määrän ravintoa (Jobling 1994). Kompensaatio voi olla osittainen, kuten tässä kokeessa, ja kalat eivät saavuta koko ajan ruokahalun mukaan ruokittuja yksilöiden painoa. Kompensaatio voi olla myös täydellinen, jos ajanjakso on riittävän pitkä, ja kalat saavuttavat jatkuvasti ruokittujen kalojen painon.

Kompensoiva kasvu oli koko merivaihe huomioiden talvijakson saaneessa ryhmässä heikompaa kuin kiertovesivaiheessa rajoitetusti ruokituilla kaloilla. Ryhmien välinen ero muodostui pääasiassa merikasvatuksen alkuvaiheessa (huhti-toukokuu, lämpötila 5–10 °C), kun talvijakson saaneen ryhmä suhteellinen kasvu oli vastaavalla tasolla kuin ruokahalun mukaan ruokituilla kaloilla ja rajoitetusti ruokittu ryhmä kasvoi näitä ryhmiä nopeammin. Talvijakson saaneen ryhmän merikasvatuksen alkuvaiheessa puuttuva kasvukompensaatio on voinut johtua siitä, että ennen mereen siirtoa niiden kylmään veteen (2,4 °C) sopeutunut aineenvaihdunta käynnistyi mereensiirron jälkeen hitaammin kuin kiertovedestä 14 asteen lämpötilasta mereen siirrettyillä rajoitetusti ruokituilla kaloilla. Tulosten perusteella rajoitetun ruokinnan käyttö on kylmän veden jaksoa tehokkaampi tapa tuottaa kaloille kasvukompensaatio.

Tulosten perusteella voitiin tehdä karkea arvio siitä, minkä kokoinen mereen siirrettävän kalan tulisi olla, jotta kasvukauden aikana kalat kasvavat haluttuun loppukokoon. Tähän tulokseen vaikuttaa myös merikasvukauden lämpötilaolot, jotka vaihtelevat eri vuosien ja eri kasvatuspaikkojen välillä. Tämän vuoksi tulos on suuntaa-antava, mutta osoittaa yleisellä tasolla miten kiertovesikasvatuksessa merikasvatusta edeltäneellä talvijaksolla annetut käsittelyt vaikuttavat merikasvatuksessa kalojen alku- ja loppupainon väliseen suhteeseen.

Kasvatuksen päättyessä kalat olivat pääasiassa sukukypsymättömiä ja vain yhdellä yksilöllä oli kehittyneet mätipussit. Ilmeisesti sukukypsymättömyys johtui kalojen nuoresta iästä (18 kk) sillä kalojen painon perusteella (yksilöpaino 600–3 000 g) suurempi osa kaloista olisi voinut olla sukukypsiä. Hie-man suuremmilla (keskipaino 2 kg) ja kolmen kasvukauden ikäisillä kirjolohilla sukukypsyviä kaloja oli kasvukauden päättyessä jo 46 % (Janhunen ym 2019). Tämän perusteella nyt käytetty kasvatuskierto tarjoaa mahdollisuuden tuottaa suurikokoisia immatuureja kaloja ilman sitä että sukukypsyminen vaikuttaisi kalojen laatuun sitä heikentävästi.

Viitteet

- Fishfarmingexpert 2018. www.fishfarmingexpert.com/article/faroese-farmer-thinking-bigger-with-650g-smolts/
- ctrlAQUA 2018. www.ctrlaqua.no/news/2018/03/02/large-smolt-not-always-best/
- Janhunen, M., Vehviläinen, H., Koskela, J., Forsman, A. Kankainen, M. 2019. Added value from an added chromosome: potential of producing large fillet fish from autumn to spring with triploid rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture research 50:818-825.
- Jobling, M. 1994. Fish Bioenergetics. Chapman & Hall, Lontoo 309 s.
- Jobling, M. 2001. Nutrient partitioning and the influence of feed composition on body composition. Kirjassa, Houlihan, D., Boujard, T. & Jobling, M. (toim.) Food intake in fish. Blackwell Science Ltd, Lontoo.
- Kankainen, M., Vielma, J., Koskela, J., Niukko, J. & Niskanen, L. 2019. Olosuhteiden vaikutus kirjolohen kasvatuksen tehokkuuteen Suomen merialueilla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus, Luonnonvarakeskus, käsikirjoitus.
- Koskela, J., Pirhonen, J. & Jobling, M. 1997. Effect of low temperature on feed intake, growth rate and body composition of juvenile Baltic salmon. Aquaculture international 5: 479–487.
- Nofima 2018. <https://nofima.no/en/nyhet/2018/03/large-smolt-not-always-best>.
- Rasmussen, R. & Ostefeld, T. 2000. Effect of growth rate on quality traits and feed utilisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Aquaculture 184: 327–337.
- Shearer, K.D. 1994. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. Aquaculture 119: 63–88.
- Undercurrentnews 2018. www.undercurrentnews.com/2018/04/18/push-towards-larger-salmon-smolts-the-ultimate-race-of-investments/



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000