

*Susanna Airaksinen
Antti Forsman
Olli Norrdahl
Jari Riihimäki
Markku Vaajala
Kari Ruohonen*

Kirjolohen kutukypsyyden säätö
ruokakalatuotannossa (KutuSää)

Kolmas osakoe

Helsinki 2006



Susanna Airaksinen, Antti Forsman, Olli Norrdahl, Jari Riihimäki, Markku Vaajala ja Kari Ruohonen

Kirjoloheen kutukypsyiden säätö ruokakalatuotannossa (KutuSää). Kolmas osakoe

Tutkimusraportti

KutuSää (319 123)

Tutkimus oli kolmas osakoe Suomen kalankasvattajaliitto ry:n tilaamasta ja Varsinais-Suomen TE-keskuksen sekä Ahvenanmaan maakuntahallituksen rahoittamasta (Euroopan yhteisön kalatalouden ohjauksen rahoitusväline – KOR) hankkeesta. Kolmannessa osakoeksessa tutkittiin lisääntymiskierron alkupuolella annetun valokäsittelyn vaikutusta sukukypsyiden kehittymiseen, kalojen kasvuun sekä kalan lihan laatu- ja tuotanto-ominaisuuksiin. Oikein ajoitetulla valokäsittelyllä voidaan potentiaalisesti siirtää kalan sukukypsytystä vuodella.

Kokeessa valokäsittelyt toteutettiin vedenalaisin lampuin verkkoallasviljelyssä. Valokäsittelyjaksot olivat kestoltaan 1, 2, 3 ja 4 kuukautta vuodenvaihteesta alkaen. Tutkittavina muuttujina kutukypsyiden kehityksessä olivat gonadosomaattinen indeksi (GSI) sekä kutuajankohta. Laatu- ja tuotanto-ominaisuuksista tutkittiin fileesaantoa ja kyljen paksuutta sekä lihaksen väriä, kiinteyttä, rasvapitoisuutta ja vedensidontakykyä. Mädin osalta tutkittiin sen väri.

Kaloista suurin osa noin 70% jäi kasvukauden aikana marroiksi eikä osuudessa ollut eroja valokäsittelyjen suhteen. Valokäsittelyjen vaikutusta kutukypsytymisen siirtäjänä ei tästä syystä havaittu tai pystytty arvioimaan. Todennäköisesti kalaparven kutukypsytystä rajoitti jokin muun kuin valokäsittelystä riippuva tekijä. Valokäsittelyissä olleet kalat kasvoivat kuitenkin noin 10 % paremmin kuin kalat luonnonvalossa. Havaituista kasvuerosta huolimatta tuotannolliset ja laadulliset vaikutukset jäivät vähäisiksi.

kirjolohi, kutukypsyys, säätely, valo, GSI, väri, rakenne, lihas, mäti, laatu

Kala- ja riistaraportteja 388

951-776-536-3

1238-3325

18 s. + 1 liite

suomi

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Turun riistan- ja kalantutkimus
Itäinen Pitkätu
20520 Turku
Puhelin 0205 7511
<http://www.rktl.fi/julkaisut/> (pdf)

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Viikinkaari 4, PL 2,
00791 Helsinki
Puh. 0205 7511 Faksi 0205 751 201

Susanna Airaksinen, Antti Forsman, Olli Norrdahl, Jari Riihimäki, Markku Vaajala och Kari Ruohonen

Reglering av lekmognaden i regnbågslax produktionen. Tredje delundersökningen

Rapporten presenterar resultaten från den tredje delen av ett större forskningsprojekt som beställts av Finlands Fiskodljarförbund rf. Projektet har finansierats av Egentliga Finlands TE-central och Ålands landskapsregering (EU:s fond för fiskets utveckling, FFU). I den tredje delen av projektet undersöktes hur ljusbehandling, som gavs i början av reproduktionscykeln påverkar könsmognaden, fiskarnas tillväxt samt fiskköttets kvalitets- och produktionsegenskaper. En tidsmässigt synkroniserad ljusbehandling har visat sig potentiellt kunna förskjuta fiskens könsmognad med ett år.

Ljusbehandlingarna i försöket genomfördes med undervattenslampor i en nätkassodling. Ljusbehandlingarna startade vid årsskiftet och varade respektive 1, 2, 3 och 4 månader. De könsmognadsvariabler som undersöktes var gonadosomatiskt index (GSI) och tidpunkten för lek. Av kvalitets- och produktionsegenskaper undersöktes fileutbytet samt sidomuskeln tjocklek, färg, fasthet, fetthalt och förmåga att kvarhålla vatten. Rommen undersökes beträffande färg.

Största delen av fiskarna, ca. 70%, förblev omogna under tillväxtperioden och skillnader kunde inte konstateras av olika ljusbehandling. Någon förskjutning av lekmognaden p.g.a. ljusbehandlingarna kunde därför inte noteras eller beräknas. Fiskstimmets lekmognad begränsades sannolikt av någon faktor oberoende av ljusbehandlingen. De fiskar, som utsatts för ljusbehandling växte däremot 10 % bättre än fiskarna i naturligt ljus. Trots att det konstaterades skillnader i tillväxt hade dessa liten inverkan på produktionsegenskaper och kvalitet.

regnbågslax, lekmognad, reglering, ljus, ljusbehandling, GSI, färg, struktur, muskel, rom, kvalitet

Kala- ja riistaraportteja 388

951-776-536-3

1238-3325

18 s. + 1 bilag

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet
Åbo vilt- och fiskeriforskning
Österlånggatan 3
20520 Åbo
Tel. 0205 7511
<http://www.rktl.fi/julkaisut/> (pdf)

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet
Viksången 4
PB 2
00791 Helsingfors

Tel. 0205 7511 Fax 0205 751 201

Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
2. MATERIAALIT JA MENETELMÄT.....	2
2.1 Koetilat	2
2.2 Koejärjestelyt.....	2
2.2.1 Koekalat ja ruokinta.....	2
2.2.2 Koeasetelma.....	3
2.3 Punnitukset ja näytteenotot.....	3
2.3.1 Punnitukset ja ultraäänimääritykset (UÄ).....	4
2.3.2 Näytteenotto loka- ja joulukuussa	4
2.3.3. Näytteenotto joulukuussa.....	4
2.4 Tilastolliset menetelmät.....	5
3. TULOKSET	6
3.1 Kalojen kasvu	6
3.2 Kalojen sukukypsyys.....	7
3.3 Valokäsittelyn vaikutus kalan lihan laatu- ja tuotanto-ominaisuuksiin	8
3.3.1 Fileesaanto, kylkilihaksen suhteellinen paksuus sekä fileen rasvapitoisuus.....	8
3.3.2 Lihaksen kiinteys, vedensidontakyky ja väriominaisuudet	9
3.4 Mädin ominaisuudet	11
4. TULOSTEN TARKASTELU	12
4.1 Valokäsittelyn vaikutus kasvuun	12
4.2 Valokäsittelyn vaikutus sukukypsyiden kehittymiseen	12
4.3 Valokäsittelyn vaikutus kalojen laatu- ja tuotanto-ominaisuuksiin	13
4.4 Valojakso kirjolohen elintoimintojen säätelijänä	13
5. YHTEENVETO	15
LIITTEET.....	16
LÄHTEET	16

1. Johdanto

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos on tutkinut kolmevuotisessa hankkeessa valokäsittelyjen merkitystä kirjolohen kutukypsyyden säätelyssä. Hanke toteutettiin Suomen Kalankasvattajaliitto ry:n tilaamana ja Varsinais-Suomen TE-keskuksen sekä Ahvenanmaan maakuntahallituksen rahoittamana (Euroopan yhteisön kalatalouden ohjauksen rahoitusväline - KOR). Tutkimuksen tarkoituksena on ollut etsiä ratkaisuja, joilla voitaisiin helpottaa kutukypsymiseen liittyviä elintarviketuotannollisia ongelmia, kuten kalaraaka-aineen kausittaista ylitarjontaa sekä kutuun valmistautuvan kalan tuotelaadun heikkenemistä, yksinkertaisesti toteutettavien valokäsittelyjen avulla.

Kutukypsyyden ajoittumista säätelemällä pyritään parantamaan kalan tuotanto- ja laatuominaisuuksia siten, että teurastuksen vuotuinen ajankohta ei olisi tiukasti riippuvainen luonnonvalo-oloissa kasvaneiden kirjolohien lisääntymiskierron ajankohdasta. Kahdessa edellisessä osakokeessa tutkittiin kutukypsyyden viivästyttämistä lisääntymiskauden aikana sekä valokäsittelyjen vaikutusta kalan ja mädin tuotelaatuun (Forsman ym., 2004; Forsman ym., 2006). Tulokset osoittivat, että kesäpäivän tasauksesta alkavalla valokäsittelyllä voidaan viivästyttää sekä kirjolohen mätimunnan kasvuvaihetta että mädin lopullisen kypsymisen ajankohtaa meneillään olevan lisääntymiskauden aikana. Nämä lisääntymisfysiologiset tekijät yhdessä valokäsittelyjen kanssa vaikuttivat myönteisesti kalan tuotanto- ja laatuominaisuuksiin joulukuusta alkaen. Valokäsittelyä saaneet kalat arvioitiin keväällä luonnonvalossa kasvaneita kaloja paremmiksi myös aistinvaraisesti.

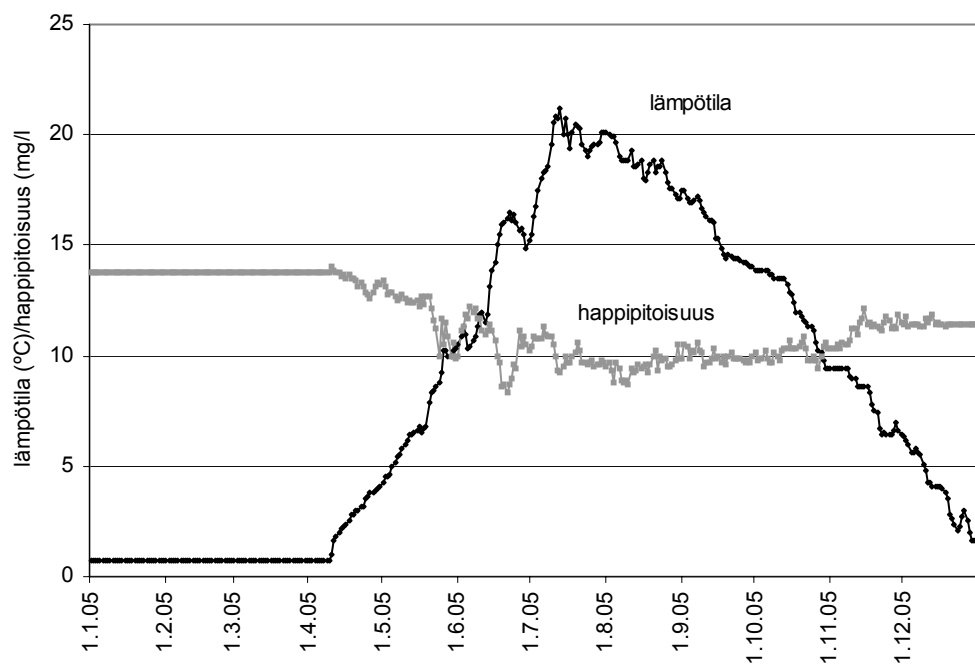
Nyt raportoitavassa kolmannessa osatutkimuksessa selvitettiin lisääntymiskierron alkupuolelle ajoitetun valojaksokäsittelyn merkitystä kutukypsyyden kehittymisessä. Tutkimuksessa selvitettiin voidaanko oikein ajoitetulla valokäsittelyllä kutukypsymistä siirtää osassa parvea kokonaisella vuodella sekä mikä tällöin on tarvittavan valokäsittelyn kesto. Valokäsittelyt pyrittiin ajoittamaan hetkelle, jolloin päätös kypsymisestä ei vielä seuraavan kasvukauden suhteen ole syntynyt. Käsittelyt aloitettiin vuoden vaihteessa ja valot olivat päällä jatkuvasti 1, 2, 3 tai 4 kuukautta. Kaloja seurattiin kasvukauden ajan ja niiden kasvu, sukukypsyyssaste sekä laatuominaisuudet tutkittiin koejakson päättyessä joulukuussa.

2. Materiaalit ja menetelmät

Tutkimuksen kolmas osakoe alkoi 1.1.2005 ja päättyi 31.12.2005.

2.1 Koetilat

Koe toteutettiin Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Rymättylän kalantutkimusasemalla (os. 21150 Röölä). Kalat pidettiin kokeen ajan 10 verkkoaltaassa, joiden tilavuus oli 48 m³. Veden lämpötila sekä happipitoisuus koalueella noudattivat luonnollista vaihtelua (kuva 1).



Kuva 1. Veden lämpötilan ja happipitoisuuden vaihtelut tutkimusasemalla koejakson aikana.

Bild 1. Variation i vattentemperatur och vattnets syrehalt vid forskningsstationen under försöket.

2.2 Koejärjestelyt

2.2.1 Koekalat ja ruokinta

Kokeisiin varattiin 1200 kappaletta yksivuotiaita, kaupalliseen tarkoitukseen kasvatettuja naaraskirjolohia (Savon Taimen Oy). Painon mukaan lajitellut kalat (n. 400 g) siirrettiin tutkimusasemalle lokakuussa 2004 ja 300 kalaa yksilömerkittiin ID-merkein

(Trovan Ltd., Saksa). Kokeen aikana kalat ruokittiin kaupallisella Royal Plus- sekä Royal Herkules rehuilla valmistajan ruokintataulukon mukaisesti (Rehurasio Oy; Liite 1). Kokeen alussa pellettikoko oli 5.0 mm ja astaksantiinipitoisuus 50 mg/kg. Kalojen kasvaessa siirryttiin syyskuussa rehun pellettikokoon 7.0 mm ja astaksantiinipitoisuuteen 80 mg/kg. Kalojen ruokinta tapahtui tietokoneohjatuilla ruokinta-automaateilla (Itu Salmo Micro, T Drum 2000, Arvo-Tec Oy). Ennen jokaista punnitusta tai näytteenottoa kalat olivat paastolla 11 vuorokauden ajan.

2.2.2 Koeasetelma

Kokeessa kartoitettiin lisääntymiskierron alkupuolella annetun valokäsittelyn vaikutusta kutukypsyyden kehittymiseen ja kasvuun neljän eripituisen valokäsittelyn avulla, jotka toteutettiin kahdessa rinnakkaisessa ryhmässä. Valokäsittelyt aloitettiin vuodenvaihteessa ja päivänpituus oli 24 tuntia kaikissa ryhmissä. Vertailuryhmänä oli kaksi luonnonvalo-oloissa pidettyä ryhmää. Yhteensä ryhmiä oli 10 (taulukko 1), joissa kussakin oli kokeen alkaessa 120 kalaa ja näistä yksilömerkittyjä kaloja oli 30. Kokeen alussa kaikki kalat punnittiin ja kalojen kasvua sekä kutukypsyyden kehittymistä seurattiin seuraavan 12 kuukauden ajan punnituksin ja näytteenotoin.

Taulukko 1. Kokeen valokäsittelyryhmät. Valot sytytettiin (ALOITUS) jokaisessa ryhmässä vuoden vaihteessa (0) ja valokäsittelyä jatkettiin 1, 2, 3 tai 4 kuukautta (KESTO, kk). Valot olivat päällä 24 tuntia (h) vuorokaudessa. NL (natural light) tarkoittaa luonnonvalossa kasvatettua ryhmää.

Tabell 1. Försökets ljusbehandlingsgrupper (KÄSITTELY, dygn). Belysningen tändes (ALOITUS) för samtliga grupper vid årsskiftet (0) och ljusbehandlingen fortsatte 1, 2, 3 eller 4 månader (KESTO, mån.). Ljusens var tänd 24 timmar (VALOJAKSO) i dygnet. NL (natural light) avser den fiskgrupp som odlades under naturligt ljus och RYHMIÄ (kpl) avser antal grupper.

KÄSITTELY	ALOITUS	KESTO (kk)	VALOJAKSO (h)	RYHMIÄ (kpl)
31 vrk	0	1	24	2
59 vrk	0	2	24	2
90 vrk	0	3	24	2
120 vrk	0	4	24	2
NL	0	0	NL	2

2.3 Punnitukset ja näytteenotot

Alkupunnituksessa, välipunnituksissa, ultraäänitutkimuksessa (UÄ), näytteenotoissa sekä päätöslopetuksessa seurattiin kalojen sukukypsyyden kehittymistä, kasvua sekä laatua. Kokeen päätyttyä kaikki jäljellä olevat kalat lopetettiin. Niistä mitattiin paino, pituus, paino perattuna, gonadit sekä maksa. Kokeen seurantaan liittyneet toimenpiteet on esitetty tiivistetysti taulukossa 2 ja ne on kuvattu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Taulukko 2. Kaloille kokeen aikana tehdyt toimenpiteet, niiden ajankohdat kalenteri- ja koekuukautena sekä valokäsittelykohtaiset kalamäärät. Toimenpiteet on kuvattu yksityiskohtaisesti tekstissä.

Tabell 2. De åtgärder (TOIMENPIDE) som fiskarna utsattes för, tidpunkten för åtgärderna under kalendermånad resp. försöksmånads, samt antalet behandlade fiskar. Åtgärderna beskrivs mera detaljerat i texten (på finska).

KALENT. kk	KOE kk	TOIMENPIDE	NL (KPL)	1 kk (KPL)	2 kk (KPL)	3 kk (KPL)	4 kk (KPL)
jouluk 04	0	alkupunnitus	kaikki	kaikki	kaikki	kaikki	kaikki
kesäk 05	6	välipunnitus	90	90	90	90	90
elok 05	8	välipunnitus	kaikki	kaikki	kaikki	kaikki	kaikki
lokak 05	10	välipunnitus ja uä	90	90	90	90	90
jouluk 05	12	loppupunnitus	kaikki	kaikki	kaikki	kaikki	kaikki
lokak 05	10	näytteenotto	30	30	30	30	30
jouluk 05	12	näytteenotto	30	30	30	30	30

2.3.1 Punnitukset ja ultraäänimääritykset (UÄ)

Punnitukset ja UÄ-määritykset toteutettiin kuten aikaisemmissa osakokeissa (Forsman ym., 2004; Forsman ym., 2006). Kalat nukutettiin (MS-222, Finquel, USA), punnittiin ja määritettiin sukukypsyydeltään marroiksi (0) tai kehittyviksi (1) kaloiksi (ultraääni, lineaarianturi 6/8 MHz, 485 ANSER, ESAOTE-Pie Medical, Italia). Ultraäänitutkimus sukukypsytymisen seuraamiseksi toteutettiin ainoastaan lokakuussa.

2.3.2 Näytteenotto loka- ja joulukuussa

Näytteenotot keskitettiin loppusyksyyn. Kustakin valokäsittely- sekä luonnonvalo-ryhmästä tutkittiin loka- ja joulukuussa 15 kalan otos molemmista rinnakkaisista kasseista. Kalat haavittiin kasvatuskasseista, kolkattiin välittömästi ja siirrettiin kuljetusaaveihin verestymään. Verestymisen aikana kalat siirrettiin näytteenottotiloihin. Kalat mitattiin, punnittiin ja perattiin. Perkauksen jälkeen punnittiin kalan perattu paino sekä mätipussit ja maksa. Tämän jälkeen kalat jätettiin styroksilaatikoihin kuolonkankeuden eli *rigorin* ajaksi (4 vrk). Punnitustietojen perusteella laskettiin gonadosomaattinen indeksi eli GSI ($GSI(\%) = \text{gonadien paino (g)} * 100 / \text{perattu paino (g)}$). Verestyneistä kaloista mitattiin lisäksi lokakuussa niiden rasvapitoisuus rasvamittarilla (Malli 692, Distell, Iso-Britannia) kuten on kuvattu aiemmin (Forsman ym., 2004; Forsman ym., 2006). Joulukuussa suoritettavat tarkemmat mittaukset on kuvattu alla.

2.3.3 Näytteenotto joulukuussa

Kuolonkankeuden lauettua kaloista irrotettiin vasen filee, joka punnittiin fileesaannon laskemiseksi ($\text{Fileesaanto (\%)} = \text{fileiden paino (g)} * 100 / \text{kalan pyöreä paino (g)}$). Punnituksen jälkeen vakioidusta kohtaa fileetä leikattiin pala vaaleaa lihasta vedensidontakyvyn mittausta varten. Mittaus suoritettiin välittömästi palan irrottamisen jälkeen. Vedensidontakyvyn (VSK) määrittämiseksi kromatografiapaperista (3MM, Whatman) leikattiin 2/3-ympyrän muotoisia paloja, jotka esikuivattiin (105°C, yli yön), punnittiin ja asetettiin kartioiksi 50 ml koeputkien pohjalle. Noin 2,5 g pala valkoista lihasta punnittiin analyysivaa'alla kolmen desimaalin tarkkuudella ja pilkottiin putkeen välittömästi. Koeputket sentrifugoitiin (500g, 10 min), lihasnäyte poistettiin ja paperit punnittiin uudelleen kolmen desimaalin tarkkuudella. Tämän jälkeen paperit kuivattiin

(105°C, yli yön) ja punnittiin vielä kerran. Vedensidontakyky ilmoitetaan käänteisesti näytteestä vapautuneen veden määränä ja se laskettiin kaavalla: $[P_{lm} - \{P_{ak} + (P_{lk} - P_{ak})\}] / P_{näyte} * 100\%$, jossa P_{ak} on paperin paino alussa, P_{lm} on paperin paino lopussa märkänä, P_{lk} on paperin paino lopussa kuivauksen jälkeen ja $P_{näyte}$ on näytepalan paino.

Fileen ruodottomalta selkävän alapuoliselta alueelta leikattiin pala vaaleaa lihasta (2 x 2 x 5 cm) rakennemittausta varten. Palat asetettiin jälle odottamaan veitsitestausta, jossa lihaspala leikattiin poikki rakennetestaustilteistolla (TA.XTPlus, Stable Micro Systems) Warner-Bratzler terää käyttäen nopeudella 10 mm/s. Testiä edeltävä ja testin jälkeinen terän liikkumisnopeus oli 2 mm/s ja laukaisuherkkyys 10 g. Mittauksessa rekisteröitiin suurin leikkaamiseen tarvittava voima (newton, N) sekä leikkaamiseen vaadittava työ (Ns). Tarkka leikkauskohdan pinta-ala saatiin skannaamalla poikkileikkauksista syntyneiden näytepalojen päät (Canon, CanoScan3200F, USA) ja määrittämällä pinta-alat kuva-analyysiohjelmalla (Image-Pro PLUS, Version 4.0 for WindowsTM, Media Cybernetics, MD, USA). Lihaksen kiinteys ilmoitetaan työnä suhteessa leikkauspinta-alaan (Ns/mm²).

Jäljelle jääneestä kalan oikeasta puolesta leikattiin n. 2,5 cm poikkileikkauspala selkävän kohdalta. Poikkileikkaus skannattiin (CanoScan3200F) ja kyljen mittasuhteet määritettiin kuva-analyysiohjelmalla (Image-Pro PLUS) kyljen suhteellisen paksuuden mittaamiseksi kuten ensimmäisessä osakokeessa (Forsman ym., 2004). Samoin poikkileikkauksesta mitattiin lisäksi sekä lihaksen väri että rakenteen kiinteys (Forsman ym., 2004). Pistotestissä hyödynnettiin samaa laitteistoa kuin veitsitestissä.

2.4 Tilastolliset menetelmät

Yksilömerkittyjen kalojen kasvua kokeen aikana mallinnettiin semiparametrisen regression avulla, jossa vasteen mahdollista epälineaarisuutta suhteessa selittäviin muuttujiin tarkasteltiin rajoitetun kuutio splinein avulla. Analyysit tehtiin R-kielen (R Development Core Team, 2005) Design-kirjaston avulla (Alzola ja Harrell, 2004).

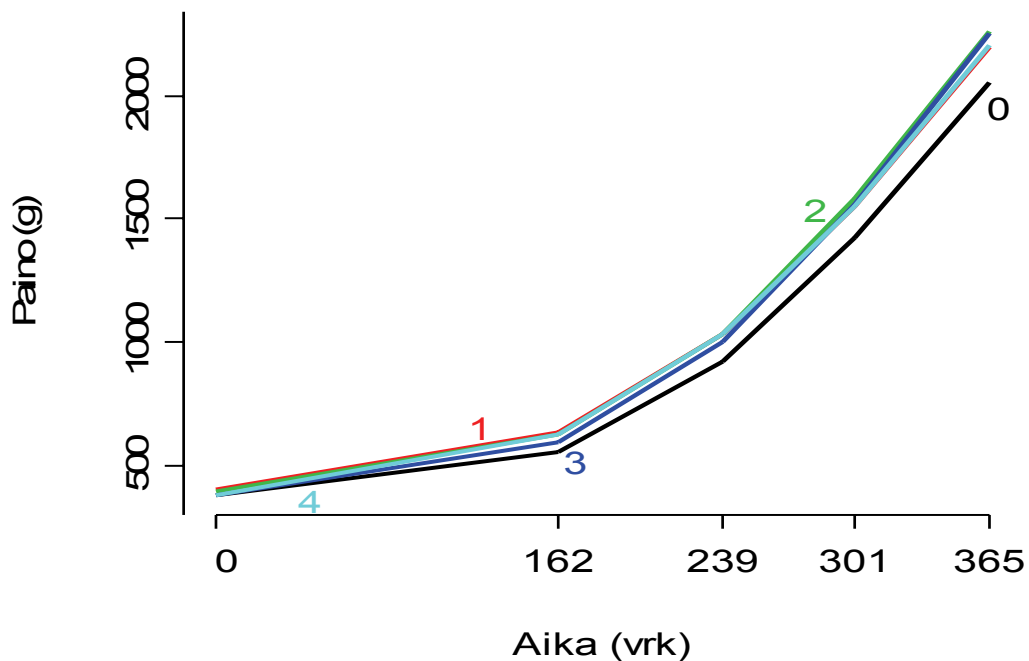
GSI:n, peratun painon sekä pituuden riippuvuus valokäsittelyistä arvioitiin ns. sekamallien avulla. Valokäsittelyn lisäksi mallin selittäjänä käytettiin sukukypsyyttä (marjo, jos $GSI < 2\%$, muuten sukukypsä) sekä satunnaisvaikutuksena koekassia. Sekamallit estimoitiiin R-kielen (R Development Core Team, 2005) NLME-kirjaston avulla (Pinheiro ja Bates, 2000).

Muiden mitattujen vastemuuttujien riippuvuutta valokäsittelyistä kokeen lopussa (joulukuu) tutkittiin lineaarisella mallinnuksella. Tilastollisen mallin selittäjinä käytettiin valokäsittelyä (luonnonvalo sekä 1 kk, 2 kk, 3 kk ja 4 kk valoa), sukukypsyyttä (kuten edellä) sekä edellisten yhdysvaikutusta. Tilastolliset mallit estimoitiiin R-kielen (R Development Core Team, 2005) Design-kirjaston avulla (Alzola ja Harrell, 2004). Tulokset on esitetty kuvaajina, joissa x-akselina on valokäsittely ja y-akselina kyseisen vastemuuttujan mallinnettu arvo. Kuvaajat on piirretty erilaisin viivoin marroille (yhtenäinen viiva) ja sukukypsille (pisteviiva) kaloille.

3. Tulokset

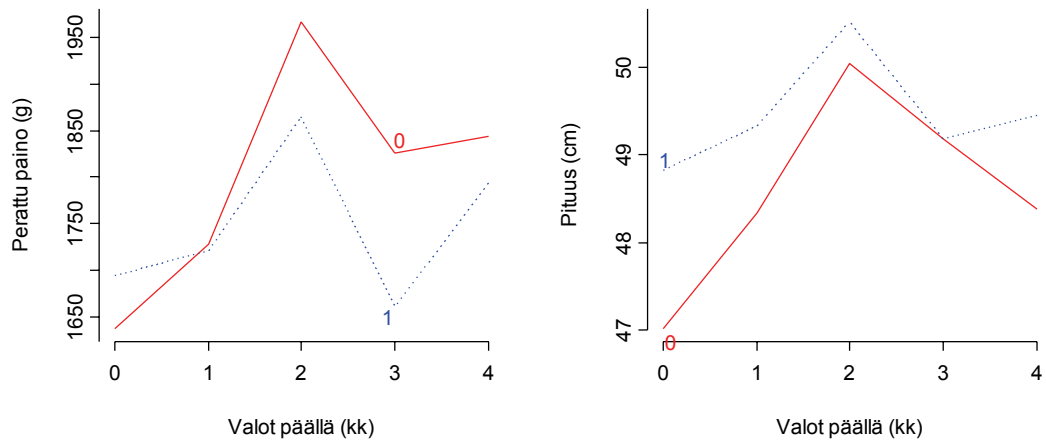
3.1 Kalojen kasvu

Kalat lajiteltiin koon perusteella ennen kalojen siirtämistä tutkimusasemalle sopivan kokoisen kalamateriaalin varmistamiseksi. Kalojen kasvua seurattiin viitenä eri ajankohtana kokeen aikana. Ajankohdat olivat vuodenvaihteesta lukien 0, 162, 239, 301 ja 365 vuorokautta. Ennusteet kasvukäyrille eri valokäsittelyissä on esitetty kuvassa 2. Valokäsittelyt paransivat kasvua kaikissa valokäsittelyryhmissä (1, 2, 3 ja 4) suhteessa luonnonvalokaloihin (0). Kuvassa 3 on esitetty valokäsittelyjen vaikutus kypsyvien (1) ja martojen (0) kalojen painoon ja pituuteen kokeen lopussa (joulukuu 2005). Valokäsittelyt paransivat martojen kalojen painon ja pituuden kehittymistä. Kypsyvillä kaloilla tätä vaikutusta ei havaittu.



Kuva 2. Valokäsittelyn vaikutus kalojen kasvuun koejakson aikana. Valokäsittelyn pituus oli 1, 2, 3 tai 4 kuukautta. Luonnonvalokalat (0) olivat ilman valokäsittelyä.

Bild 2. Ljusbehandlingens inverkan på fiskarnas tillväxt under försöket. Ljusbehandlingen fortsatte 1,2,3 eller 4 månader. Naturljusfiskarna (0) fick ingen ljusbehandling.

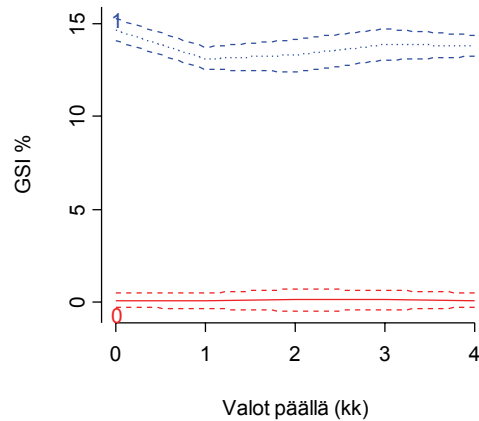


Kuva 3. Kalojen paino ja pituus kokeen lopussa (joulukuun 2005) eri valokäsittelyryhmissä (Valot päällä 1, 2, 3 tai 4 kuukautta). Luonnonvalokalat eivät saaneet valokäsittelyä (Valot päällä 0 kuukautta). Kypsyvät (1) ja marrot (0) kalat esitetään erikseen.

Bild 3. Fiskarnas vikt och längd vid försökets slut (december 2005) enligt ljusbehandlingsgrupp (Valot päällä 1, 2, 3 eller 4 mån.). De fiskar som visades i naturligt ljus fick ingen ljusbehandling (Valot päällä 0 kk). Könsmogna (1) och omogna (0) fiskar presenteras separat.

3.2 Kalojen sukukypsyys

Kalojen sukukypsyysaste määritettiin joulukuussa kokeen lopetuksen yhteydessä. Sukukypsyysasteen mittarina käytettiin gonadosomaattista indeksiä (GSI). Valokäsittelyillä ei ollut vaikutusta GSI:n kehitykseen (kuva 4). Kaloja, jotka eivät saavuttaneet sukukypsyyttä kokeen aikana oli kaikista lopettavista kaloista noin 70% eikä valokäsittelyt vaikuttaneet tähän osuuteen. Martojen osuudet koekaloista olivat 70.2% (NL), 69.2% (1 kk), 68.4% (2 kk), 73.7% (3 kk) ja 69.7% (4 kk) valokäsittelyn pituuden mukaan järjestettynä.



Kuva 4. Kalojen gonadosomaattinen indeksi (GSI %) kokeen lopussa eri valokäsittelyryhmissä. Kypsien (1) ja martojen (0) kalojen GSI:t esitetään erikseen. Katkoviivat rajaavat ennusteen 95%:n luottamusvälin.

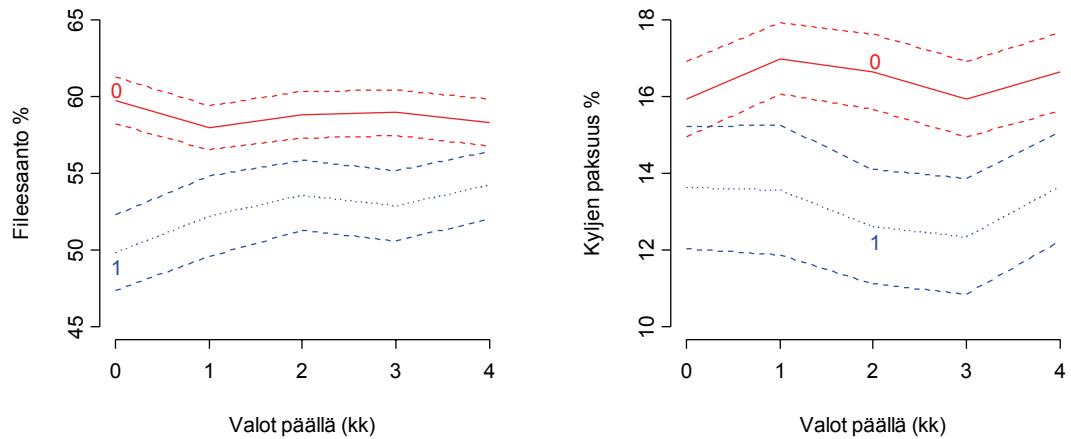
Bild 4. Gonadosomatiskt index (GSI %) i de olika ljusbehandlingsgrupperna vid försökets slut. Könsmogna (1) och omogna (0) fiskars GSI presenteras separat. De streckade linjerna anger prognosen med 95 %:s konfidensintervall.

3.3 Valokäsittelyn vaikutus kalan lihan laatu- ja tuotanto-ominaisuuksiin

Laatu- ja tuotanto-ominaisuuksia tarkasteltiin sekä sukukypsyillä (1) että marroilla kaloilla (0) suhteessa valokäsittelyn keston (kk).

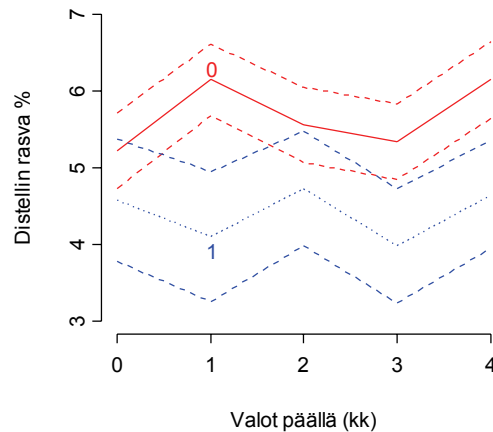
3.3.1 Fileesaanto, kylkilihaksen suhteellinen paksuus sekä fileen rasvapitoisuus

Fileesaannot ja kyljen suhteelliset paksuudet olivat marroilla kaloilla sukukypsyviä kaloja suuremmat, mutta eivät riippuneet merkittävästi valokäsittelystä (kuva 5). Myös fileen rasvapitoisuus (Distell) oli marroilla kaloilla hieman korkeampi kuin sukukypsyillä kaloilla kahden kuukauden valokäsittelyä ja luonnonvaloryhmää lukuunottamatta (kuva 6).



Kuva 5. Fileesaanto ja kyljen suhteellinen paksuus kokeen lopussa eri valokäsittelyryhmissä. Kypsien (1) ja martojen (0) kalojen arvot esitetään erikseen. Katkoviivat rajaavat ennusteen 95%:n luottamusvälin.

Bild 5. Fileutbytet och sidomuskelnens relativa tjocklek i de olika ljusbehandlingsgrupperna vid försökets slut. Könsmogna (1) och omogna (0) fiskars värden presenteras separat. De streckade linjerna anger prognosen med 95 %:s konfidensintervall.



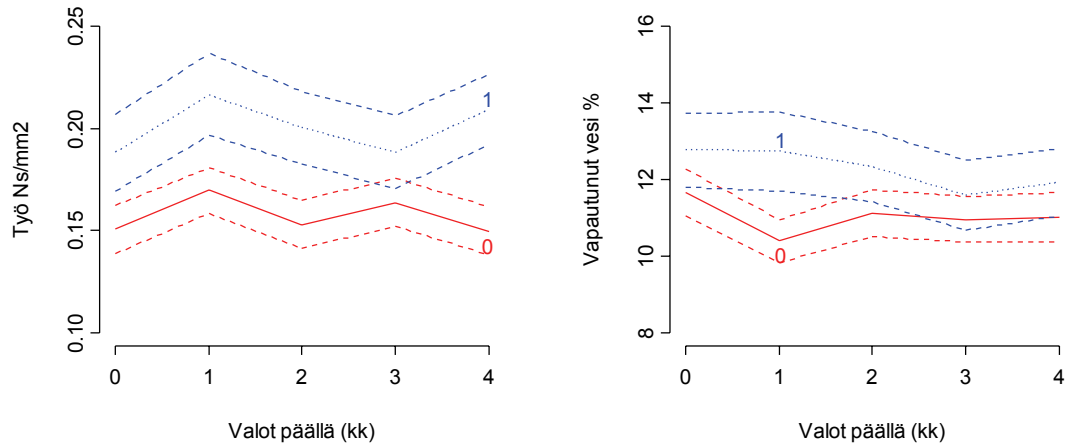
Kuva 6. Fileen rasvapitoisuus kokeen lopussa eri valokäsittelyryhmissä. Kypsien (1) ja martojen (0) kalojen arvot esitetään erikseen. Katkoviivat rajaavat ennusteen 95%:n luottamusvälin.

Bild 6. Muskelns fetthalt (distell) i de olika ljusbehandlingsgrupperna vid försökets slut. Könsmogna (1) och omogna (0) fiskars värden presenteras separat. De streckade linjerna anger prognosen med 95 %:s konfidensintervall.

3.3.2 Lihaksen kiinteytys, vedensidontakyky ja väriominaisuudet

Valokäsittelyt eivät vaikuttaneet kalan lihaksen kiinteyteen eivätkä vedensidontakykyyn (kuva 7). Sukukypsyvien kalojen lihaksen leikkaamiseen tarvittava voima oli

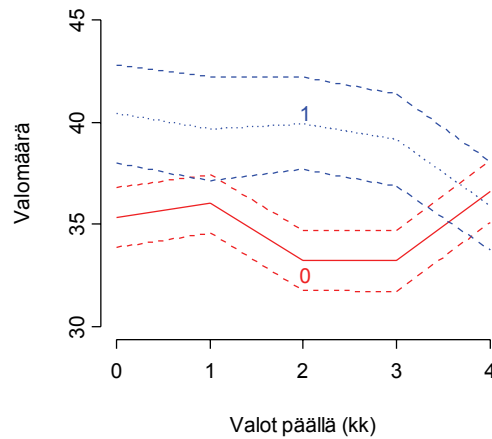
kuitenkin suurempi kuin marroilla kaloilla, joiden lihaksen kyky sitoa vettä vaikutti sukukypsä kaloja paremmalta.



Kuva 7. Lihaksen kiinteys ja vedensidontakyky kokeen lopussa eri valokäsittelyryhmissä. Kypsien (1) ja martojen (0) kalojen arvot esitetään erikseen. Katkoviivat rajaavat ennusteen 95%:n luottamusvälin.

Bild 7. Muskelns fasthet och förmåga att kvarhålla vatten i de olika ljusbehandlingsgrupperna vid försökes slut. Könsmogna (1) och omogna (0) fiskars värden presenteras separat. De streckade linjerna anger prognosen med 95 %:s konfidensintervall.

Koejakson aikana mitattiin lisäksi lihaksen väriä valomäärän (0 = musta, 100 = valkoinen), värikylläisyyden (0 – 100 %) ja värisävyn (esim. 0 = punainen ja 90 = keltainen; luvut vastaavat värimallin kehäkulman asteita) avulla. Valokäsittelyt eivät vaikuttaneet merkittävästi mitattuihin väriominaisuuksiin, mutta marrot ja sukukypsät kalat poikkesivat toisistaan luonnonvalossa sekä kahden ja kolmen kuukauden valokäsittelyissä. Edellä mainituissa tapauksissa sukukypsien kalojen lihas oli vaaleampaa (kuva 8) ja kellertävämpää (kuva ei ole esitetty) kuin martojen kalojen lihas.



Kuva 8. Väri (valomäärä) kokeen lopussa eri valokäsittelyryhmissä. Kypsien (1) ja martojen (0) kalojen arvot esitetään erikseen. Katkoviivat rajaavat ennusteen 95%:n luottamusvälin.

Bild 8. Muskelns färg (ljushet) i de olika ljusbehandlingsgrupperna vid försökes slut. Könsmogna (1) och omogna (0) fiskars värden presenteras separat. De streckade linjerna anger prognosen med 95 %:s konfidensintervall.

3.4 Mädin ominaisuudet

Sukukypsyvien kalojen mädin väriominaisuudet mitattiin ja niitä verrattiin toisiinsa eri valokäsittelyjen välillä. Eroja ei juurikaan havaittu (kuvia ei ole esitetty). Ainoastaan kaksi ja kolme kuukautta valokäsittelyä saaneiden kalojen mädit olivat sävyiltään hieman muiden ryhmien kalojen mätiä kellertävämpiä.

4. Tulosten tarkastelu

4.1 Valokäsittelyn vaikutus kasvuun

Kalan kasvunopeus vaihtelee vuodenajoin ja on valojaksosta riippuvaa. Tämä on osoitettu lukuisissa tutkimuksissa lohella, jonka kasvu paranee pidennetyn valojakson vaikutuksesta (Kråkenes ym., 1991; Hansen ym., 1992; Forsberg, 1995; Endal ym., 2000; Oppedal ym., 2003; Nordgarden ym., 2003a). Ensimmäiset kirjolohella toteutetut tutkimukset jatkuvan valon vaikutuksesta kirjolohen poikasten ja annoskokaisen kirjolohen kasvuun on julkaistu äskettäin (Taylor ym., 2005; Taylor ym., 2006) ja tulokset ovat yhtäpitäviä nyt raportoitavien tuloksien kanssa. Kuten tämän tutkimuksen kaikki käytetyt valokäsittelyt paransivat kalojen kasvua tutkitun kasvukauden aikana, myös Skotlannissa toteutetuissa kokeissa pimeimpään vuodenaikaan ajoittuvalla valokäsittelyllä pystyttiin parantamaan annoskokaisen kirjolohen kasvua sekä rehukerrointa (Taylor ym., 2006).

Kasvun tehostumisen valon vaikutuksesta on ehdotettu olevan joko suoraa tai välillistä (Boeuf ja Le Bail, 1999). Edellisessä tapauksessa valo toimisi suorana signaalina kasvua edistävien hormonien, kuten kasvuhormoni, insuliinin kaltainen kasvutekijä tai tyroksiini, tuotannolle. Toisaalta vaikutus voi olla välillistä, jolloin valo tehostaisi jotain muuta elintoimintaa, kuten ravinnonhankintaa, ruokahalua, aktiivisuutta tai suvullista kypsymistä, jonka myötä myös kalan kasvu paranisi. Nykyisten tutkimusten valossa jälkimmäinen vaihtoehto lienee todennäköisin, sillä mm. valojaksolla ei ole havaittu olevan vaikutusta kasvuun, kun ruokinta vakioidaan (Reddy ja Leatherland, 2003) ja kasvun paraneminen on usein yhteydessä kalojen aikaistuneeseen sukukypsymiseen (Kråkenes ym., 1991; Hansen ym., 1992; Taranger ym., 1998). Sukukypsytymisen yhteydessä lisääntynyt steroidihormonien tuotanto kiihdyttää myös somaattista kasvua, mikä havaittiin selkeästi myös ensimmäisessä KutuSää-osatutkimuksessa sukukypsytymisen kalojen parempana kasvuna (Forsman ym., 2004).

4.2 Valokäsittelyn vaikutus sukukypsyyden kehittymiseen

Kalan lisääntymiskierto noudattaa vuodenaikaista sykliä, joka on sisäisen kellon määräämä. Valojaksolla on keskeinen rooli sisäisen kellon ajastamisessa ja tähän perustuvat valokäsittelyn mahdollisuudet lisääntymiskierron säätelyssä (Bromage ym., 1993; Randall ym., 1998). 80-luvun lopulla ns. aikaikkuna-teoriaa tarkasteltiin ensimmäisen kerran kalan kutukypsyyden säätelyssä (Duston ja Bromage, 1987; Duston ja Bromage, 1988). Teorian mukaan vuosittaisen lisääntymiskierron aikana on olemassa ajanjakso eli aikaikkuna, jolloin päätös tulevasta kutuajankohdasta syntyy mm. senhetkiseen kehitystasoon pohjautuen. Äkillinen valojakson muutos vaikuttaa aikaikkunan keston ja sijoittumiseen lisääntymiskierron aikana, jolloin kalaparvella on valokäsittelystä riippuen joko vähemmän tai enemmän aikaa saavuttaa tila, jota sukukypsytymisen käynnistyminen edellyttää.

Tässä osakokeessa pyrittiin pimeään vuodenaikaan sijoitetulla valokäsittelyllä aikaistamaan tätä aikaikkunaa, jolloin myös sukukypsytymisen aikaistuisi osassa parvea kasvavan osan parvea jäädessä marroiksi. Tässä ei kuitenkaan onnistuttu ja martojen kalojen osuus sekä luonnonvaloryhmässä että valokäsittelyryhmissä pysyi suurena (noin 70%). Tähän kokeeseen valitut kalat olivat tulossa ensimmäistä kertaa sukukypsiksi ja ilmeisesti sukukypsytymisen edellytykset eivät suurimmalla osalla kaloista vielä valojaksosta riippumatta täyttyneet. Sukukypsytymistä edeltäviä hormonaalisia muutoksia havaitaan kirjolohella jo vuotta ennen kutuaikaa ja todennäköisesti myös muut tekijät kuten ikä, koko, kasvunopeus ja/tai energiavarastot aikaikkunan aikana vaikuttavat päätökseen lisääntyä tulevan kasvukauden päättyessä (Sumpter ym., 1984; Taranger

ym., 1999). Aiemmin Englannissa toteutetuissa kokeissa valokäsittelyillä on voitu tarkasti ajoittaa kirjolohen toinen lisääntymiskierto, mutta myös ensimmäinen sukukypsytymisen silloin, kun pitkän valojakson jälkeen kalat altistettiin lisäksi lyhyelle päivänpituudelle (Duston ja Bromage, 1987; Duston ja Bromage, 1988; Randall ym., 1998; Bon ym., 1999). Valokäsittelyt johtivat lisäksi kutuajan parempaan synkroniaan, jolloin kutu ajoittui kapeammalle ajanjaksolle kuin ilman valokäsittelyä (Duston ja Bromage, 1987).

4.3 Valokäsittelyn vaikutus kalojen laatu- ja tuotanto-ominaisuuksiin

Valon vaikutukset tuotelaatuun tapahtuvat todennäköisimmin välillisesti joko sukukypsytymisen tai kasvun muutoksien seurauksena. Kutusää-hankkeen kahdessa edellisessä osatutkimuksessa sukukypsytymisen myötä ilmeneviä tuotelaadullisia ongelmia pystyttiin vähentämään valokäsittelyjen avulla (Forsman ym., 2004; Forsman ym., 2006). Sukukypsytymisen viivästyttäminen hidasti samanaikaisesti tapahtuvaa tuotelaadun heikkenemistä, mutta osittain laatuominaisuuksien muutokset olivat sukukypsytysasteesta riippumattomia, mikä viittaa valon merkitykseen myös muutoin kuin lisääntymisbiologian säätelijänä. Valokäsittelyt vaikuttivat sukukypsytymisestä riippumattomasti kutukypsyvien kalojen lihaksen väriominaisuuksiin ja kiinteyteen sekä mätimunän väriominaisuuksiin, koostumukseen ja rakenteeseen (Forsman ym., 2004; Forsman ym., 2006).

Lohella kasvua tehostetaan valokäsittelyillä ja tiedetään, että tällöin lihassäikeiden määrä, lihassolujen kantamuotojen määrä sekä lihassolun tumien määrää lisääntyy (Johnston ym., 2000; Johnston ym., 2003). Korkeampi säietiheys johtaa puolestaan kiinteämpään lihaksen rakenteeseen, jota kalan lihaksella pidetään hyvänä laadullisena ominaisuutena (Johnston ym., 2004). Nopealla kasvulla voi olla myös laadullisia ominaisuuksia heikentävä vaikutus. Erillisessä tutkimuksessa lohella havaittiin päinvastoin kuin edellä, että nopea kasvu oli yhteydessä lihaksen pehmenemiseen (Morkore ja Rorvik, 2001). Lisäksi nopean kasvun on havaittu alentavan lihaksen E-vitamiini-, askantantiini-, rasva- ja proteiinipitoisuutta sekä altistavan lopputuotetta hapettumiselle, mikä tulisi huomioida teurastamalla kala hitaamman kasvun aikana (Nordgarden ym., 2003b). Myös jatkuvassa valossa kasvatettu turska on arvioitu aistinvaraisesti luonnonvalossa kasvatettua kalaa pehmeämmäksi (Hemre ym., 2004).

Tässä tutkimuksessa ei havaittu merkittäviä laadullisia muutoksia valokäsittelyjen vaikutuksesta, vaikka kasvu paranikin valokäsittelyryhmissä. On kuitenkin huomioitavaa, että teurastusajankohta oli vakioitu ja ajoittui alkutalveen, jolloin kirjolohen kasvu tyypillisesti hidastuu. Lisäksi tiedetään, että muun muassa lihaksen rakenteeseen oleellisesti vaikuttavan sidekudoksen kollageenikoostumuksessa tapahtuu vuodenaikaisia muutoksia, joiden taustoja ei vielä tunneta (Bjornevik ym., 2004).

4.4 Valojakso kirjolohen elintoimintojen säätelijänä

Kirjolohen useat fysiologiset toiminnot noudattavat rytmistä vaihtelua. Melatoniini eli pimeähormoni on käpyrauhan erittämä hormoni, jonka erityis on pimeään ajanjaksoon kytkeytynyttä ja sen erityis vähenee valon vaikutuksesta (Porter ym., 1999; Bromage ym., 2001). Tämä ominaisuus tekee siitä potentiaalisen välittäjähormonin valo- ja elintoimintojen rytmisyyden välillä. Kun useimmilla tutkituilla lajeilla melatoniini erittyy sisäsyntyisesti rytmisesti myös valo-olosuhteista riippumatta, niin kirjolohella sen erityis on kuitenkin puhtaasti pimeän jakson säätelijänä (Bolliet et al., 1996). Lisääntymiskierto noudattaa puolestaan syklisyyttä valojaksosta, ja siten myös melatoniinista, riippumatta (Duston ja Bromage, 1986).

Melatoniinin vaikutusmekanismeja kasvun ja lisääntymissyklin säätelyssä ei täten vielä tarkoin ymmärretä. Melatoniinin on osoitettu kuitenkin eri kokeellisissa olosuhteis-

sa vaikuttavan kirjolohen munarauhasten steroidituotantoon (Reddy ym., 1999) sekä aivolisäkkeen kasvuhormonin ja prolaktiinin eritykseen (Falcon ym., 2003). Melatoniinireseptorit sijoittuvat pääasiallisesti aivojen alueille, joilla käsitellään nimenomaan näköaistimukseen liittyvää informaatiota, mutta kytkentä lisääntymistä ja kasvua säätelevään neuroendokriiniseen järjestelmään on vielä selvittämättä (Mazurais ym., 1999). Useilla eliölajeilla nisäkkäistä bakteereihin ns. biologinen kello on paikannettu yksittäisiin soluihin ja niiden rytmittäisesti tuottamiin proteiineihin (Wilsbacher ja Takahashi, 1998). Ensimmäisten vastaavien geenien ilmeneminen on osoitettu hiljattain kirjolohen aivoissa ja tutkimus johtanee pikku hiljaa myös kirjolohen sisäsyntyisten rytmien säätelyn parempaan ymmärtämiseen (Mazurais ym., 2000).

5. Yhteenveto

Kirjolohi lisääntyy luonnonolosuhteissa kausittaisesti sisäisen biologisen kellon säätelynä. Kello on herkkä valojaksolle, jolloin sen kulkua voidaan valokäsittelyin joko edistää tai hidastaa. Sama valokäsittely lisääntymiskierron eri vaiheessa saa aikaan erilaisia vasteita. Kalan elimistö tulkitsee pitkät päivät vuoden alkupuoliskolla merkiksi siitä, että sisäinen kello on jäljessä, kun taas pitkien päivien jatkuminen kesäpäivän tauksen jälkeen (Kutusää I ja II) johtaa tulkintaa, että kello edistää. Korjaavat toimenpiteet johtavat täten ensimmäisessä tapauksessa kutuajan aikaistumiseen ja jälkimmäisessä tapauksessa sen viivästyminen.

Kutusää-hankkeen kolmannen osakokeen tavoitteena oli aikaistaa kutukypsymistä edellä kuvatun teorian mukaisesti altistamalla kalat valolle (24 tuntia vuorokaudessa) pimeän vuodenajan aikana. Lisäksi oletettiin, että vain osa parvesta ehtisi valmistautua kutuun nopeutetulla aikataululla kasvavan osan parvea siirtäessä sukukypsytymistään seuraavaan vuoteen. Kalan kypsyminen marrosta kalasta sukukypsyyteen on kuitenkin prosessi, jonka on arvioitu useiden tutkimusten perusteella kestävän yli vuoden ja edellyttävän joko riittävää kokoa, kehityksen tasoa ja/tai riittäviä energiavarastoja hetkellä, jolloin päätös tulevasta lisääntymisestä tehdään. Täten ensimmäiseen kutuun valmistautumisen voidaan ajatella olevan seuraavia lisääntymiskiertoja monimutkaisempi tapahtumasarja. Tässä tutkimuksessa jokin tai jotkin sukukypsytymisen edellytykset eivät täytyneet, vaan sukukypsyvien kalojen osuudet jäivät hyvin alhaisiksi sekä luonnonvalo- että valokäsittelyryhmissä eikä eroja niiden välillä havaittu.

Huomattavin havainto tehtiin tutkittaessa kalojen kasvua. Kaikki 1-4 kuukautta annetut valokäsittelyt paransivat kalojen kasvua suhteessa luonnonvalokaloihin. Painon ja pituuden kehittyminen parani nimenomaan marroilla kaloilla. Valokäsittelyistä tai kasvun paranemisesta johtuvat laadulliset vaikutukset jäivät vähäisiksi.

Liitteet

Liite 1. Rehuraision ruokintataulukko

Lähteet

Alzola, C.F, Harrell, F.E. 2004. An introduction to S and the Hmisc and Design libraries (<http://biostat.mc.vanderbilt.edu/twiki/pub/Main/RS/sintro.pdf>).

Bjornevik, M., Espe, M., Beattie, C., Nortvedt, R. ja Kiessling, A.(2004). Temporal variation in muscle fibre area, gaping, texture, colour and collagen in triploid and diploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *J. Sci. Food Agric.* 84:530-540.

Boeuf, G. ja Le Bail, P.Y.(1999). Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture* 177:129-152.

Bon, E., Breton, B., Govoroun, M.S. ja Le Menn, F.(1999). Effects of accelerated photoperiod regimes on the reproductive cycle of the female rainbow trout: II Seasonal variations of plasma gonadotropins (GTH I and GTH II) levels correlated with ovarian follicle growth and egg size. *Fish Physiol. Biochem.* 20:143-154.

Bromage, N., Porter, M. ja Randall, C.(2001). The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture* 197:63-98.

Bromage, N., Randall, C., Duston, J., Thrush, M. ja Jones, J.(1993). Environmental control of reproduction in salmonids. *Kirjassa: Recent advances in aquaculture* (ed. Muir, J. ja Roberts, R.J.), 4:55-65. Blackwell.

Duston, J. ja Bromage, N.(1986). Photoperiodic mechanisms and rhythms of reproduction in the female rainbow trout. *Fish Physiol. Biochem.* 2:35-51.

Duston, J. ja Bromage, N.R.(1987). Constant photoperiod regimes and the entrainment of the annual cycle of reproduction in the female rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Gen. Comp. Endocrinol.* 65:373-384.

Duston, J. ja Bromage, N.R.(1988). The entrainment and gating of the endogenous circannual rhythm of reproduction in the female rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Comp. Physiol.* 164 A:259-268.

Endal, H.P., Taranger, G.L., Stefansson, S.O. ja Hansen, T.(2000). Effects of continuous additional light on growth and sexual maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*, reared in sea cages. *Aquaculture* 191:337-349.

Falcon, J., Besseau, L., Fazzari, D., Attia, J., Gaildrat, P., Beauchaud, M. ja Boeuf, G.(2003). Melatonin modulates secretion of growth hormone and prolactin by trout pituitary glands and cells in culture. *Endocrinol.* 144:4648-4658.

Forsberg, O.I.(1995). Empirical investigations on growth of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in land-based farms. Evidence of a photoperiodic influence. *Aquaculture* 133:235-248.

Forsman, A., Airaksinen, S., Aro, T., Norrdahl O., Riihimäki, J., Vaajala, M. ja Ruohonen, K.(2004). Kirjolohen kutukypsyyden säätö ruokakalatuotannossa (KutuSää) - Ensimmäinen osakoe. *Kala- ja riistaraportteja* 344.

Forsman, A., Airaksinen, S., Aro, T., Norrdahl O., Riihimäki, J., Vaajala, M. ja Ruohonen, K.(2006). Kirjolohen kutukypsyyden säätö ruokakalatuotannossa (KutuSää) - Toinen osakoe. *Kala- ja riistaraportteja* 381.

- Hansen, T., Stefansson, S. ja Taranger, G.L.(1992). Growth and sexual maturation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., reared in sea cages at two different light regimes. *Aquacult. Fish. Manage.* 23:275-280.
- Hemre, G., Karlsen, O., Eckhoff, K., Tveit, K., Mangor-Jensen, A. ja Rosenlund, G.(2004). Effect of season, light regime and diet on muscle composition and selected quality parameters in farmed Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture research* 35:683-697.
- Johnston, I.A., Alderson, R., Sandham, C., Mitchell, D., Selkirk, C., Dingwall, A., Nickell, D., Baker, R., Robertson, B., Whyte, D. ja Springate, J.(2000). Patterns of muscle growth in early and late maturing populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 189:307-333.
- Johnston, I.A., Manthri, S., Bickerdike, R., Dingwall, A., Luijckx, R., Campbell, P., Nickell, D. ja Alderson, R.(2004). Growth performance, muscle structure and flesh quality in out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts reared under two different photoperiod regimes. *Aquaculture* 237:281-300.
- Johnston, I.A., Manthri, S., Smart, A., Campbell, P., Nickell, D. ja Alderson, R.(2003). Plasticity of muscle fibre number in seawater stages of Atlantic salmon in response to photoperiod manipulation. *J. Exp. Biol.* 206:3425-3435.
- Kråkenes, R., Hansen, T., Stefansson, S.O. ja Taranger, G.L.(1991). Continuous light increases growth rate of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts in sea cages. *Aquaculture* 95:281-287.
- Mazurais, D., Brierley, I., Anglade, I., Drew, J., Randall, C., Bromage, N., Michel, D., Kah, O. ja Williams, L.M.(1999). Central melatonin receptors in the rainbow trout: Comparative distribution of ligand binding and gene expression. *J. Comp. Neurol.* 409:313-324.
- Mazurais, D., Le Drean, G., Brierley, I., Anglade, I., Bromage, N., Williams, L.M. ja Kah, O.(2000). Expression of clock gene in the brain of rainbow trout: Comparison with the distribution of melatonin receptors. *J. Comp. Neurol.* 422:612-620.
- Morkore, T. ja Rorvik, K.A.(2001). Seasonal variations in growth, feed utilisation and product quality of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred to seawater as 0 + smolts or 1 + smolts. *Aquaculture* 145:145-157.
- Nordgarden, U., Oppedal, F., Taranger, G.L., Hemre, G.I. ja Hansen, T.(2003a). Seasonally changing metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) I - Growth and feed conversion ratio. *Aquaculture Nutrition* 9:287-293.
- Nordgarden, U., Ornsrud, R., Hansen, T. ja Hemre, G.(2003b). Seasonal changes in selected muscle quality parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared under natural and continuous light. *Aquaculture Nutrition* 9:161-168.
- Oppedal, F., Taranger, G.L. ja Hansen, T.(2003). Growth performance and sexual maturation in diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in seawater tanks exposed to continuous light or simulated natural photoperiod. *Aquaculture* 215:145-162.
- Pinheiro, J.C., Bates, D.M. 2000. *Mixed-effects models in S and S-plus*. Springer, New York.
- Porter, M.J.R., Duncan, N.J., Mitchell, D. ja Bromage, N.R.(1999). The use of cage lighting to reduce plasma melatonin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effects on the inhibition of grilising. *Aquaculture* 176:237-244.
- R Development Core Team 2005. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (<http://www.r-project.org>)

- Randall, C.F., Bromage, N., Duston, J. ja Symes, J.(1998). Photoperiod-induced phase-shifts of the endogenous clock controlling reproduction in the rainbow trout: a circannual phase-response curve. *J. Reprod. Fert.* 112:399-405.
- Reddy, P.K., Holloway, A.C., Renaud, R. ja Leatherland, J.F.(1999). Melatonin, but not somatostatin-14 influences in vitro steroidogenesis by ovarian follicles of rainbow trout. *Fish Physiol. Biochem.* 21:211-222.
- Reddy, P.K. ja Leatherland, J.F.(2003). Influence of photoperiod and alternate days of feeding on plasma growth hormone and thyroid hormone levels in juvenile rainbow trout. *J. Fish Biol.* 63:197-212.
- Sumpter, J.P., Scott, A.P., Baynes, S.M. ja Witthames, P.R.(1984). Early stages of the reproductive cycle in virgin female rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Aquaculture* 43:235-242.
- Taranger, G.L., Haux, C., Hansen, T., Stefansson, S.O., Bjornsson, B.T., Walther, B.T. ja Kryvi, H.(1999). Mechanisms underlying photoperiodic effects on age at sexual maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 177:47-60.
- Taranger, G.L., Haux, C., Stefansson, S.O., Bjorn, T.B., Walther ja Hansen(1998). Abrupt changes in photoperiod affect age at maturity, timing of ovulation and plasma testosterone and oestradiol-17 beta profiles in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 162:85-98.
- Taylor, J.F., Migaud, H., Porter, M.J.R. ja Bromage, N.R.(2005). Photoperiod influences growth rate and plasma insulin-like growth factor-I levels in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 142:169-185.
- Taylor, J.F., North, B.P., Porter, M.J.R., Bromage, N.R. ja Migaud, H.(2006). Photoperiod can be used to enhance growth and improve feeding efficiency in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*
- Wilsbacher, L.D. ja Takahashi, J.S.(1998). Circadian rhythms: molecular basis of the clock. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 8:595-602.



Ruokintataulukko/syksy Utfodringstabell/höst

% painosta vrk⁻¹

Etelä- ja Keski-Suomi 15.7. alkaen,
Pohjois-Suomi 1.8. alkaen,
Södra- och mellersta Finland f.o.m 15.7.,
norra Finland f.o.m 1.8.

Kalan paino g Fiskens storlek g	Lämpötila/Temperatur °C						
	8	10	12	14	16	18	20
20	2,4	2,9	3,4	3,8	3,8	2,0	1,3
30	2,2	2,6	3,1	3,6	3,6	2,0	1,3
40	1,9	2,4	2,7	3,2	3,2	1,9	1,3
50	1,7	2,1	2,4	2,7	2,7	1,9	1,3
60	1,4	1,7	2,2	2,6	2,6	1,5	1,2
80	1,3	1,5	2,0	2,2	2,2	1,5	1,2
100	1,2	1,4	2,0	2,2	2,2	1,5	1,2
120	1,2	1,4	2,0	2,2	2,2	1,5	1,2
150	1,1	1,4	1,9	2,2	2,1	1,5	1,2
180	1,0	1,4	1,9	2,2	2,1	1,5	1,2
210	1,0	1,4	1,9	2,1	2,1	1,5	1,2
250	0,9	1,3	1,9	2,0	2,1	1,5	1,1
300	0,9	1,4	1,8	2,1	2,0	1,5	0,9
350	0,8	1,4	1,7	2,1	2,0	1,5	0,9
400	0,9	1,4	1,6	2,0	2,0	1,5	0,8
450	0,9	1,2	1,6	1,9	1,9	1,4	0,8
500	0,9	1,2	1,6	1,9	1,8	1,3	0,8
550	0,8	1,2	1,5	1,9	1,8	1,2	0,8
600	0,8	1,3	1,5	1,8	1,7	1,0	0,8
650	0,8	1,2	1,5	1,8	1,7	1,0	0,8
700	0,8	1,2	1,3	1,6	1,5	0,9	0,8
750	0,8	1,2	1,2	1,5	1,4	0,9	0,7
800	0,8	1,2	1,2	1,4	1,3	0,9	0,7
850	0,8	1,2	1,2	1,4	1,3	0,9	0,7
900	0,7	0,9	1,2	1,3	1,2	0,8	0,7
1000	0,7	0,9	1,2	1,2	1,1	0,8	0,5
1200	0,7	0,9	1,2	1,2	1,1	0,8	0,5
1400	0,7	0,8	1,1	1,1	1,0	0,8	0,5
1600	0,6	0,7	1,0	1,1	1,0	0,6	0,4
2000	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,5	0,3
2500	0,5	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,2

Rehuraasio

Tiedustelut ja tilaukset: Rehuraasio Oy,
PL 101, 21201 Raisio,
puh. (02) 443 2111, telefax (02) 443 2360
www.rehuraasio.com