

KESKI-SUOMEN KALATALOUSKESKUS RY

LOPPURAPORTTI

## Kuhan luonnonravintolammikkoviljelyn ongelmiin liittyvä esiselvitys Keski-Suomessa

Olli Urpanen



**Suomen elinkeinokalatalouden  
toimintaohjelma  
2007-2013**

*EU investoi kestävään kalatalouteen*

Jyväskylä 2011

# Sisällys

<b>Tiivistelmä</b>	<b>3</b>
<b>1. Tausta ja tavoitteet</b>	<b>4</b>
<b>2. Aineisto ja menetelmät</b>	<b>5</b>
2.1. Hankeaika ja kokonaisbudjetti	5
2.2. Tutkimuskohteet	5
2.3. Näytteenotto ja näytteiden käsittely	5
<b>3. Tulokset</b>	<b>7</b>
3.1. Veden laatu	7
3.2. Eläinplankton	7
3.3. Kalan tuotto	13
3.4. Kalatuotanto suhteessa ravinnonmäärään	14
<b>4. Tulosten tarkastelu</b>	<b>16</b>
4.1. Eri tekijöiden vaikutukset tuotantoon	16
4.2. Lammikon mahdollisten hoitotoimenpiteiden vaikutukset tuotantoon	18
4.3. Suosituksia jatkotoimenpiteistä	19
<b>5. Suositukset kasvattajille</b>	<b>20</b>
<b>Kiitokset</b>	<b>20</b>
<b>Viitteet</b>	<b>20</b>

## Tiivistelmä

Kuhan luonnonravintolammikkokasvatukseen liittyy huomattavan paljon epävarmuustekijöitä, joiden vuoksi lammikoista saatava vuosittainen kalatuotto on hyvin epäennustettavaa. Keski-Suomen Kalatalouskeskus ry järjesti yhteistyössä kolmen kuhan luonnonravintolammikkokasvattajan kanssa hankkeen, jonka tarkoituksena oli selvittää kuhan luonnonravintoviljelyyn liittyviä tekijöitä. Kasvatuskauden 2010 aikana otettiin kasvatuskauden ajalta vesi- ja eläinplanktonnäytteitä yhteensä kuudesta eri lammikosta. Näitä tuloksia tarkasteltiin yhdessä lammikoiden kalatuotannon kanssa. Eläinplanktonlajisto oli tutkituissa lammikoissa lähes samankaltainen. Yksilömäärinä mitattuna eniten oli rataseläimiä (Rotifera) ja biomassana tarkasteltuna suurimman ryhmän muodostivat vesikirput (Cladocera). Korkeampi ravinnepitoisuus lisäsi planktontuotantoa ja sitä kautta myös lammikon kalatuottoa. Kalatuotto kuitenkin vaihteli huomattavasti lammikoiden välillä. Pienemmät lammikot tuottivat kalaa paremmin isoihin lammikoihin verrattuna. Suurempi hehtaarikohtainen istutusmäärä lisäsi hehtaarilta saatua kalamäärää sekä kappaleina että kiloina laskettuna. Samalla kalojen keskipaino kuitenkin jäi alhaisemmaksi. Luonnonravintolammikkokasvatukseen liittyvien epävarmuustekijöiden selvittämiseksi ja toiminnan tehostamiseksi tarvitaan edelleen tutkimuksia, joilla selvitetään mm. kalojen kasvua ja kuolevuutta koko kasvatuskauden aikana. Saatujen tulosten perusteella vastakuoriutuneet poikaset kannattaa istuttaa mahdollisimman pian niiden kuoriutumisen jälkeen lammikoihin. Poikasten kasvattaminen pinta-alaltaan pienemmissä lammikoissa parantaa lammikon hehtaariuottoa suurempiin lammikoihin verrattuna. Lisäksi ainakin osan veden jättäminen lammikoihin kasvatuskauden jälkeen parantaa seuraavana keväänä planktonuotannon käynnistymistä ja tarjoaa sitä kautta vastakuoriutuneille poikasille paremmat mahdollisuudet kasvun käynnistymiseen ja selviytymiseen.

### Asiasanat:

luonnonravintolammikkokasvatus, kuha, eläinplankton

Urpanen, O.: Kuhan luonnonravintolammikkoviljelyn ongelmiin liittyvä esiselvitys Keski-Suomessa. *Keski-Suomen Kalatalouskeskus ry – Loppuraportti 2011*. 22 s.

## 1. Tausta ja tavoitteet

Kesänvanhoja kuhanpoikasia kasvatetaan Suomessa istutettavaksi luonnonvesiin. Kasvatus tapahtuu luonnonravintolammikoissa (Ruuhijärvi & Hyvärinen 1996), mutta riittävän suurien poikasten kasvattaminen on riskialtista ja tuottavuus vaihtelevaa (Ruuhijärvi & Salminen 2004). Keski-Suomessa oli 2000-luvun alussa yhteensä 68 luonnonravintolammikkokasvattajaa, joiden käytössä oli n. 417 ha lammikkopinta-alaa (Honkanen 2001). 2000-luvun aikana viljelyssä olevien lammikoiden pinta-ala on pysynyt lähes samana, mutta viimeisten vuosien aikana useiden merkittävien lammikoiden kuhatuotanto on laskenut merkittävästi, vaikka ne ovat aiemmin tuottaneet hyvin. Esimerkiksi Kallinpuron kala-aseman kautta kulkevien kuhien määrä on laskenut vuosien 2005-2008 aikana keskimäärin n. 30 % (Keski-Suomen kalatalouskeskus ry, julkaisematon). Myös Pohjois-Savossa on kuhan luonnonravintoviljelyn tuotannossa ollut havaittavissa aleneva suunta (Pohjois-Savon Kalatalouskeskus, julkaisematon). Kainuussa vastaavaa ei kuitenkaan ole havaittu, mutta siellä vuosittaiset kuhan tuotantomäärät ovat vähäiset (P. Korhonen, suullinen tiedonanto). Yleisesti on tiedossa, että luonnonravintolammikoiden tuotanto voi vaihdella huomattavasti lammikoiden ominaisuuksien, hoitokäytäntöjen ja luonnonolosuhteiden vuoksi. Joidenkin lammikoiden tuotanto voi säilyä vuosittain samalla tasolla, mutta toisissa voivat peräkkäisten vuosien tuotannot olla hyvinkin poikkeavia (Heinimaa 2001). Lammikoiden tuotantokyky ja luonne muuttuvat lammikon tyyppin ja iän mukana. Lammikon rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat sen täyttymiseen, ylivaluntaan ja tyhjentämiseen, jotka yhdessä vaikuttavat lammikon tuotantomäärään ja hoitotarpeeseen (Heinimaa 2001). Luonnonravintoviljelyssä tärkein tuotannon onnistumisen edellytys on lammikon tekninen toimivuus erilaisissa olosuhteissa (Lovikka 2001). Lovikan (2001) mukaan tärkeimmät säätelymahdollisuudet luonnonravintoviljelyssä ovat vastakuoriutuneiden poikasten istutustiheys sekä lannoitus ja kalkitus. Kuhan ravinnonkäyttöä ja kasvua luonnonravintolammikoissa ovat tutkineet Ruuhijärvi ym. (1995a,b), mutta niissä ei juurikaan selvitetty kasvuun vaikuttavia tekijöitä. Siialla luonnonravintopoikasten kuntokertoimen ja rasvavarastojen määrän on havaittu laskevan elokuun lopulta alkaen ja poikasten tuotantoon liittyvät erot ravitsemustilassa ovat riippuvaisia todennäköisesti enemmän viljelyolosuhteista kuin poikasten koosta (Pasternack 2001). Yhtenä vaikuttavana tekijänä tuotannon onnistumisessa on kasvatuskauden sääolot, mutta myös muut tekijät (mm. vastakuoriutuneiden poikasten laatu, poikasten istutustiheys, lammikoiden köyhtyminen) voivat olla merkittäviä. Kasvattajien mukaan kylmiin sääolosuhteisiin liittyvä lammikon heikko ravintotuotanto ja epätarkat istutusmäärät ovat yleisimmät ongelmakohtat (Honkanen 2001). Poikaset saadaan hautomoista, mutta lammikkoon istutettavien poikasten tarkka määrä ei välttämättä ole aina tiedossa. Poikasten laadusta ei myöskään ole aina varmuutta. Kuhan luonnonravintoviljelyyn liittyviä tutkimuksia on olemassa siis vain vähän eikä niissä juurikaan ole keskitytty tuotantoon ja sen vaihteluun liittyviin tekijöihin.

Luonnonravintoviljelyyn liittyviä kehityshankkeita on Keski-Suomessa ollut 1990-luvulla (Honkanen 1999) ja 2000-luvun alussa (Eskelinen ym. 2001, Honkanen 2001), joissa keskityttiin mm. lammikoiden ravinnepäästöjen selvittämiseen ja luonnonravintoviljelyn laadunhallinnan kehittämiseen. Kuhan luonnonravintolammikkoviljely on hyvin merkittävä osa Keski-Suomen kalataloutta. Kuha on kappalemääräisesti Keski-Suomen suosituin istukaskalalaji. Kuhatuotannon onnistumisen tärkeyttä korostaa se että, kuha muodostaa huomattavan osan velvoiteistutuksista ja kalatalousmaksuista. Lammikkokasvattajien varsin korkea keski-ikä (52 vuotta jo vuonna 2000) viittaa siihen, että kuhan istukastuotannon lisääminen ei tapahdu ainakaan kasvatusta lisäämällä lähi vuosina. Kualan luonnonravintolammikoiden tuotantotehokkuuden ja tuotantovarmuuden takaamiseksi on tärkeää selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat luonnonravintolammikoiden tuotannon onnistumiseen. Erilaisten lammikon ominaisuuksien (mm. vedenlaatu, planktonituotanto) vaikutusta poikastuotantoon erilaisilla istutustiheyksillä on ehdotettu selvitettäväksi kannattavuuden parantamiseksi (Alaja ym. 2004).

Erityisesti kuhan luonnonravintolammikkokasvatuksen ja istukastuotannon turvaamiseksi Keski-Suomen kalatalouskeskus ry halusi selvittää yhdessä lammikkokasvattajien kanssa lammikoiden kuhatuotantoon vaikuttavia tekijät. Hankkeeseen valittiin mukaan luonnonravintolammikkokasvattajia eri puolilta Keski-Suomea, joiden tuotannon laajuus on merkittävää maakunnan kokonaiskuhatuotannon kannalta. Kasvattajilta pyrittiin keräämään tietoja aiemmasta kasvatustoiminnasta, mm. kuhan poikasten istutusajankohdat ja – määrät vuosittain sekä lammikon tuotantotiedot. Lisäksi tiedot haluttiin kerätä muusta kasvatustoiminnasta, mm. mahdollisesta lammikoiden lannoituksesta sekä tyhjennystavasta ja – ajankohdasta. Kasvatuskaudella 2010 seurannassa oli

mukana erilaisia kuhalammikoita. Näillä lammikoilla käynnistettiin seuranta veden laadun ja planktonituotannon osalta.

## 2. Aineisto ja menetelmät

### 2.1. Hankeaika ja kokonaisbudjetti

Hanke toteutettiin 1.5.2010-31.12.2010 välisenä aikana. Kokonaisbudjetti oli yhteensä 15000 euroa, josta n. 90 % rahoitettiin Euroopan kalatalousrahaston (EKTR) tuella ja 10 % omarahoituksella.

### 2.2. Tutkimuskohteet

Ennen kasvatuskauden alkua oltiin yhteydessä postitse/sähköpostin välityksellä yhteensä 46 luonnonravintolammikkokasvattajaan Keski-Suomessa. Lisäksi Keski-Suomen luonnonravintolammikotuottajat ry oli yhteydessä samoihin kasvattajiin asian tiimoilta. Kasvattajilta tiedusteltiin halukkuutta osallistua hankkeen aikana tiedon keräämiseen. Heiltä pyydettiin kasvatustietoja (istutus- ja kasvatustulokset, kalkitustiedot ja lammikon muut hoitotoimenpiteet) myös aiemmilta vuosilta. Kasvattajista kahdeksan (17 %) ilmoitti halukkuutensa osallistua hankkeeseen ja tietoja saatiin yhteensä 20 lammikosta. Näistä kolmen kasvattajan lammikoita (yhteensä 6 kpl) seurattiin tarkemmin kasvatuskaudella 2010. Näiden Uraisilla, Laukaassa ja Hankasalmella sijaitsevien lammikoiden koot vaihtelivat välillä 0,61-3,34 ha ja olivat tilavuudeltaan 4100-34477 m<sup>3</sup> kasvatuskauden keskimääräisen veden korkeuden mukaan laskettuna (Taulukko 1). Kaikissa luonnonravintolammikoissa kasvatettiin kuhaa, kuten aikaisempinakin vuosina. Mukaan otettiin aiemmin hyvin tuottaneita ja huonommin tuottaneita luonnonravintolammikoita kasvattajien aiempien kokemusten perusteella. Pääosin luonnonravintolammikot oli sijoitettu peltoviljelysten läheisyyteen.

Taulukko 1. Kasvatuskaudella 2010 seurannassa olleiden luonnonravintolammikoiden morfologiset perustiedot.

	Lammikko 1	Lammikko 2	Lammikko 3	Lammikko 4	Lammikko 5	Lammikko 6
Pinta-ala (ha)	2,02	2,34	2,01	0,61	0,63	3,34
Keskisyvyys (m)	0,8	0,69	0,83	0,68	0,93	1,06
Tilavuus (m <sup>3</sup> )	16 176	16 028	16 810	4 100	5 870	35 477

### 2.3. Näytteenotto ja näytteiden käsittely

Kuudesta luonnonravintolammikosta otettiin vesi- ja eläinplanktonnäytteet kolme kertaa kasvatuskauden 2010 aikana. Näytteenottoajankohdat olivat 1.6.2010, 12.8.2010 ja 24.8.2010 (lammikot 1 ja 2) sekä 30.8.2010 (lammikot 3-6). Näytteet otettiin Limnos –vedennäytteenottimella, jonka tilavuus oli 7,1 litraa. Vesinäytteet toimitettiin viimeistään näytteenottopäivää seuraavana päivänä analysoitavaksi Jyväskylän Yliopiston Ympäristöntutkimuskeskukseen, missä niistä määritettiin happipitoisuus (mg O<sub>2</sub>/l), pH, väri, kokonaisfosfori (µg/l)- ja kokonaistyypipitoisuus (µg/l).

Vesinäytteiden yhteydessä luonnonravintolammikosta otettiin eläinplanktonnäytteet kolme kertaa kasvatuskauden aikana (näytteenottoajankohdat samat, kuin vesinäytteiden kohdalla). Jokaisella näytteenottokerralla otettiin kolme rinnakkaista näytettä/lammikko. Yksittäinen eläinplanktonnäyte oli tilavuudeltaan 21,3 litraa ja se suodatettiin 50 µm haavin läpi. Myöhempää määrittystä varten eläinplanktonnäytteet säilöttiin maastossa 94 % etanoliin, joka ei aiheuta muutoksia eläinplanktonyksilöiden kokoon (Black & Dodson 2003). Näytteet määritettiin Jyväskylän Yliopiston Ympäristöntutkimuskeskuksessa. Näytteet jaettiin sopivaksi osanäytteeksi (1/8-1/32) Folsomin näytteenjakajalla ja laskeutettiin kyveteissä vähintään kuusi tuntia. Näytteet analysoitiin käänteismikroskoopilla 150-kertaisella suurennuksella. Äyriäiset laskettiin yleensä koko kyvetin alalta ja rataseläimet kahdelta ristikkäiskaistalta. Erittäin runsaana esiintyneet pienikokoiset äyriäiset laskettiin osasta näytteitä samoin ristikkäiskaistoilta. Rataseläimet (*Rotifera*) määritettiin ja laskettiin

*Asplanchnojen* osalta sukutasolle niiden poikkeavan koon vuoksi, muutoin rataseläimet määritettiin ryhmätasolle. Vesikirput (*Cladocera*) ja hankajalkaiset (*Copepoda*) määritettiin pääosin sukutasolle. Mikäli näytteessä esiintyvät suvun yksilöt olivat kaikki samaa lajia, ne ilmoitettiin lajitasolla (esim. *Daphnia pulex*). Eläinplanktonitulokset laskettiin näytteistä yksilömäärinä kokoluokittain. Yksilöt jaettiin seuraaviin kokoluokkiin: 1-99, 100-199, 200-299, 300-399, 400-599, 600-799, 800-999, 1000-1499 sekä yli 1500 µm.

Eri planktonryhmille, -suvuille ja -lajeille laskettiin tiheydet (yksilöä/l) ja biomassat (µg C/l). Yksilömäärät muutettiin biomassoiksi pituus-hiilimassa –yhtälöiden avulla (Rahkola ym. 1998, Telesh ym. 1998, Satapoomin 1999). Osalle taksoneista ei ollut käytettävissä suoraa pituus-hiilimassa –yhtälöä, jolloin niiden pituudet muutettiin ensin kuivapainoksi taksonikohtaisilla yhtälöillä (Bottrell ym. 1976, Rosen 1981, Santos ym. 2006). Kuivapainot muunnettiin edelleen hiilimassaksi kertoimella 0.48 (Andersen & Hessen 1991).

Luonnonravintolammikoista mitattiin pintaveden lämpötila jokaisen näytteenoton yhteydessä. Sen lisäksi osasta lammikoita mitattiin satunnaisesti veden lämpötilaa kasvatuskauden aikana. Veden lämpötilan laskettiin jokaiselle lammikolle koko kasvatuskauden ajalle. Keskimääräisinä ilman lämpötilatietoina käytettiin Jyväskylän Yliopiston Jyväsjärven mitta-aseman tietoja (Lake Päijänne LTER), josta otettiin vuorokauden keskilämpötilatiedot ajalle 1.6.-15.10.2010. Päivittäiset ja lammikkokohtaiset veden lämpötilat estimoitiin mallilla (Kjellman ym. 2003):

$$WT_t = a + WT_{t-1} + b * (AT_{t-1} - WT_{t-1})$$

missä  $WT_t$  = estimoitu veden lämpötila (C°) päivänä t  
 $WT_{t-1}$  = estimoitu veden lämpötila (C°) päivänä t-1  
 $AT_t$  = ilman lämpötila päivänä t  
 $AT_{t-1}$  = ilman lämpötila päivänä t-1

Vakiot a ja b estimoitiin pienimmän neliösumman menetelmällä mitattujen ja ilman lämpötilojen avulla estimoitujen veden lämpötilojen välille. Kasvatuskauden aikainen kalan massan (g) kasvu (%/vuorokausi) (SGR) laskettiin:

$$SGR = 100 * (\ln W_{loppu} - \ln W_{alku}) / \Delta T$$

missä  $W_{loppu}$  = kalan keskipaino kasvatuskauden lopussa  
 $W_{alku}$  = kalan keskipaino kasvatuskauden alussa  
 $\Delta T$  = kasvatuskauden pituus vuorokausina

Kalan keskipainona kasvatuskauden alussa käytettiin kuhan vastakuoriutuneen poikasen pituudesta laskettua keskipainoa 0,41 mg (Demska-Zakes ym. 2003, Ostaszewska 2005, Steinfeldt ym. 2010). Kasvatuskauden aikainen säilyvyys laskettiin prosentteina kevään istutusmäärän (kpl) ja tyhjennyksessä saatujen kalojen määrän (kpl) suhteesta. Kalan pituuden ( $CV_{BW}$ ) ja painon ( $CV_{BW}$ ) vaihtelua kuvaamaan laskettiin allaskohtaisesti variaatiokertoimet:

$$CV_{BW} = 100 * (S.D. / BW) \text{ ja } CV_{TL} = 100 * (S.D. / TL)$$

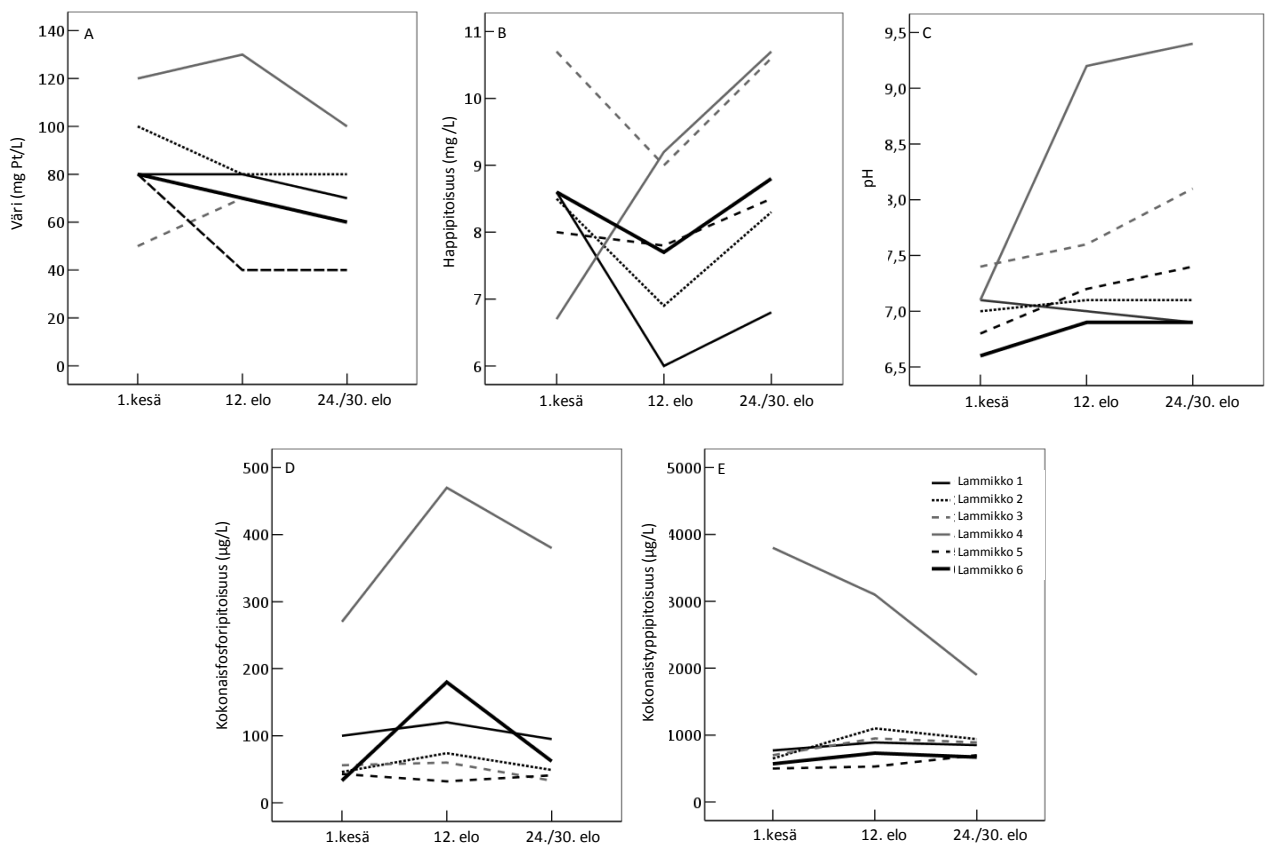
missä S.D. = keskihajonta  
 BW = kalan keskipaino (g) tai TL = kalan keskipituus (mm)

Istutusmäärän vaikutusta lammikon tuottoon tutkittiin myös isommalla aineistolla, joka koostui yhteensä 20 luonnonravintolammikon istutus- ja kasvatustiedoista vuosilta 1998-2010. Aineiston normalisoimiseksi käytettiin  $\log(n+1)$  –ja prosenttiluvuille arcin-neliöjuurimuunnoksia ennen analysointia. Näytteenottoajankohtien välisiä eläinplanktonin tiheys- ja biomassaeroja testattiin varianssianalyysin (ANOVA) ja Tukeyn testin avulla. Eläinplanktonin tiheyden/biomassan ja vedenlaatuparametrien sekä kalojen istutus ja takaisinsaantimäärien välisiä yhteneväisyyksiä tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiotestin avulla. Aineiston käsittely ja tilastolliset testit tehtiin EXCEL- ja SPSS –ohjelmilla.

### 3. Tulokset

#### 3.1. Veden laatu

Tutkittujen luonnonravintolammikoiden veden keskimääräinen väri kasvatuskaudella vaihteli 53-117 mg Pt/l (Kuva 1 A), ja useimmissa lammikoissa vesi kirkastui hieman kesän edetessä. Keskimääräinen happipitoisuus vaihteli 7,1-10,1 mg/l välillä (Kuva 1 B). Happipitoisuus oli keskimmaisella näytteenotokerralla alku- ja loppukesää alhaisempi kaikilla lammikoilla lukuun ottamatta lammikkoa 4, jossa happipitoisuus nousi koko kasvatuskauden ajan yhdessä pH:n kanssa (Kuva 1 C). Happamuus vaihteli lammikoissa keskimäärin 6,8-8,6 välillä. Kokonaisfosforipitoisuus oli yhtä lammikkoa (nro 3) lukuun ottamatta keskimmaisella näytteenotokerralla korkeampi vaihdellen keskimäärin välillä 39-373 µg/l (Kuva 1 D). Typpipitoisuus oli myös useimmissa lammikoissa hieman korkeampi keskellä kasvatuskautta (keskimäärin 577-2933 µg/l) (Kuva 1 E).



Kuva 1. Veden väri (mg Pt/l) (A), happipitoisuus (mg/l) (B), happamuus (C) sekä kokonaisfosfori (D) ja -typpipitoisuus (µg/l) (E) eri luonnonravintolammikoissa kasvatuskaudella 2010. Viimeinen näytteenottoajankohta oli 30.8.2010 lukuun ottamatta lammikoita 1 ja 2, joissa viimeiset näytteet otettiin 24.8.2010.

#### 3.2. Eläinplankton

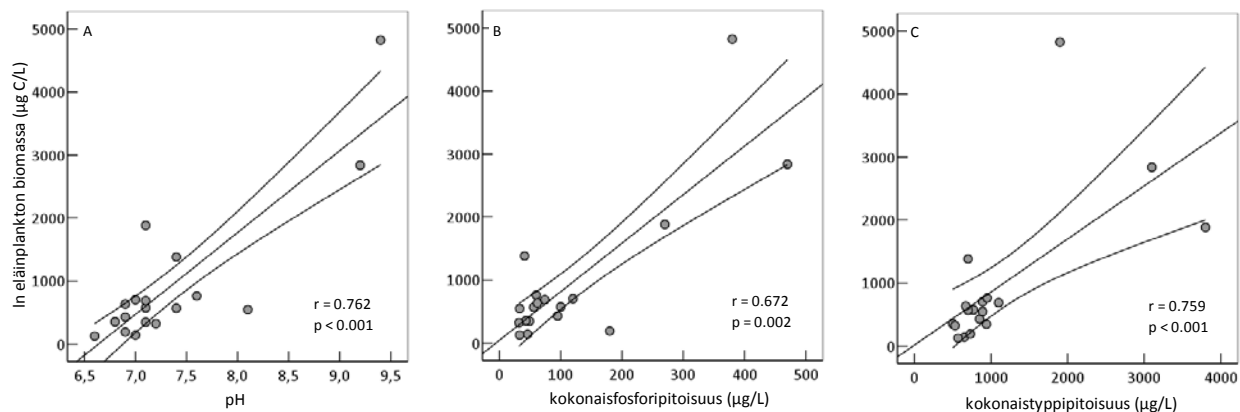
Näytteistä tunnistettiin yhteensä 14 eläinplanktonryhmää, -sukua tai -lajia (Taulukko 2). Useimmat taksonit löytyivät kaikista tutkituista lammikoista, mutta muutamia vain tietyistä lammikoista. Tällaisia olivat *Alona-*, *Alonella-*, *Holopedium gibberum-*, *Polyphemus pediculus-* ja *Scapholeberis mucronata* -vesikirput. Tulosten jatkotarkastelussa eläinplanktonia tarkasteltiin pääosin tasolla: rataseläimet, vesikirput ja hankajalkaiset.

Eläinplanktonin kokonaisbiomassa korreloi positiivisesti veden happamuuden sekä kokonaisfosfori- ja typpipitoisuuksien kanssa (Kuva 2). Ryhmittäin tarkasteltuna rataseläinten ja vesikirppujen tiheydet ja biomassat

olivat korkeammat suuremmissa ravinnepitoisuuksissa (Taulukko 3). Hankajalkaisten esiintymisrunsauteen veden happamuudella tai ravinnepitoisuudella ei ollut vaikutusta.

Taulukko 2. Luonnonravintolammikoiden eläinplanktonnäytteistä määritetyt taksonit (x = esiintyy lammikossa).

	Lammikko					
	1	2	3	4	5	6
<b>Rataseläimet (Rotifera)</b>						
<i>Asplanchna</i>	x	x	x	x	x	x
<b>Vesikirput (Cladocera)</b>						
<i>Alona</i>					x	
<i>Alonella</i>					x	
<i>Bosmina longirostris</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Ceriodaphnia</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Chydorus</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Daphnia</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Eubosmina</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Holopedium gibberum</i>					x	x
<i>Polyphemus pediculus</i>		x	x			
<i>Scapholeberis mucronata</i>			x			
<b>Hankajalkaiset (Copepoda)</b>						
<i>Eudiaptomus</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Cyclopoida</i>	x	x	x	x	x	x



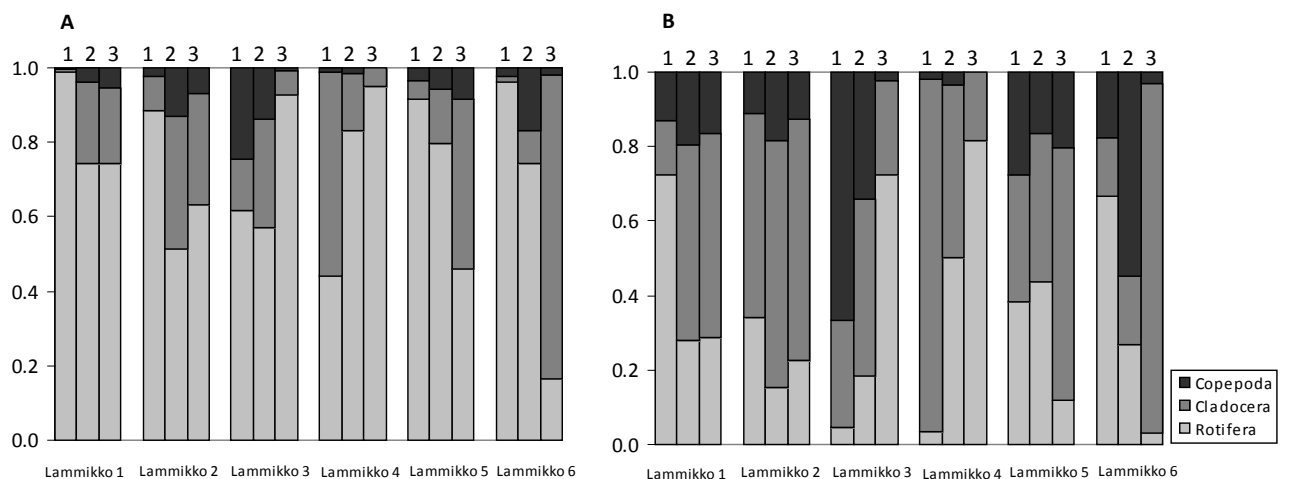
Kuva 2. Eläinplanktonin kokonaisbiomassan ( $\mu\text{g C/l}$ ) ja veden happamuuden (A), kokonaisfosforipitoisuuden ( $\mu\text{g /l}$ ) (B) ja kokonaistyyppipitoisuuden ( $\mu\text{g /l}$ ) (C) välinen yhteys (viivat = 95 % luotettavuusväli) tutkituilla luonnonravintolammikoilla. (Pearsonin korrelaatiokertoimet ja merkitsevyydet  $\ln(x+1)$  -muunnetuille arvoille merkitty näkyviin).



**Taulukko 3.** Eläinplanktonin biomassan ( $\mu\text{g C/l}$ ) ja tiheyden (yks./l) sekä luonnonravintolammikoiden veden värin (VÄRI), happamuuden (pH), happipitoisuuden (HAPPI) (mg/l), kokonaisfosforipitoisuuden (KOKP) ( $\mu\text{g/l}$ ) ja kokonaistyyppipitoisuuden (KOKN) ( $\mu\text{g/l}$ ) välinen yhteys (Pearson-korrelaatio) tutkituissa luonnonravintolammikoissa. Kaikki arvot  $\log(n+1)$ -muunnettuja ennen analysointia. TOT = kaikki eläinplanktonit yhteensä; ROT = rataseläimet (Rotifera); CLA = vesikirput (Cladocera); COP = hankajalkaiset (Copepoda). (<sup>1</sup> =  $p < 0,05$ ; <sup>2</sup> =  $p < 0,01$ ; <sup>3</sup> =  $p < 0,001$ )

	VÄRI	pH	HAPPI	KOKP	KOKN
<i>Eläinplanktonin biomassa (<math>\mu\text{g C/L}</math>)</i>					
TOT	0,265	0,762 <sup>3</sup>	0,191	0,672 <sup>2</sup>	0,759 <sup>3</sup>
ROT	0,337	0,809 <sup>3</sup>	0,289	0,501 <sup>1</sup>	0,456
CLA	0,214	0,514 <sup>1</sup>	-0,068	0,516 <sup>1</sup>	0,715 <sup>2</sup>
COP	-0,356	-0,374	-0,316	-0,223	-0,226
<i>Eläinplanktonin tiheys (yks./L)</i>					
TOT	0,287	0,843 <sup>2</sup>	0,288	0,545 <sup>1</sup>	0,524 <sup>1</sup>
ROT	0,326	0,805 <sup>3</sup>	0,294	0,488 <sup>1</sup>	0,436
CLA	0,102	0,599 <sup>2</sup>	0,033	0,456	0,602 <sup>2</sup>
COP	-0,349	-0,128	-0,278	-0,168	-0,111

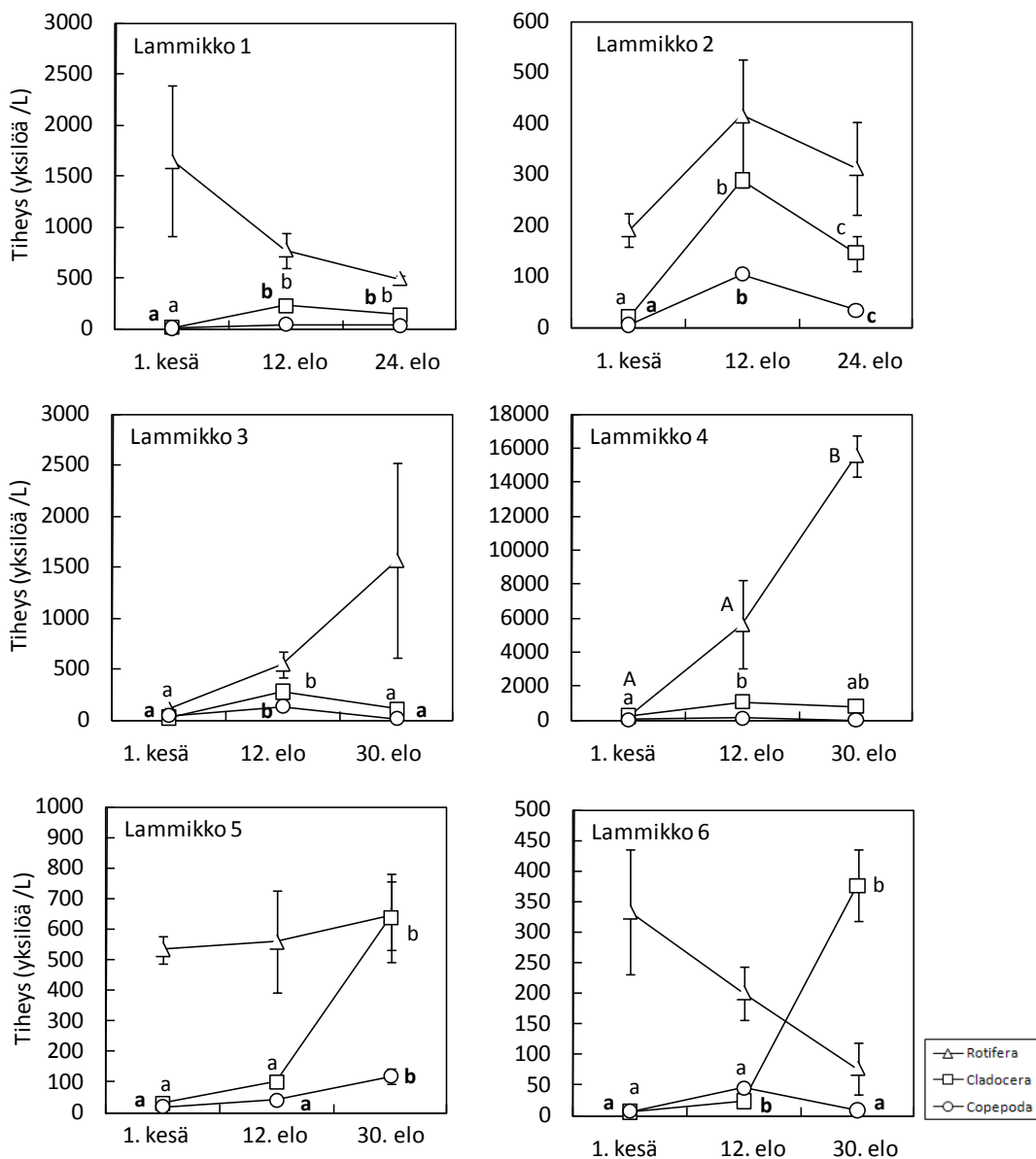
Yksilömäärinä tarkasteltuna rataseläinten keskimääräinen ( $\pm$  S.D.) osuus oli suuri ( $72 \pm 20$  %) kaikissa lammikoissa lähes koko kasvatusjakson ajan (Kuva 2 A). Hankajalkaisten osuus koko eläinplanktonitiheydestä oli yleisesti pienin ( $6 \pm 6$  %). Eläinplanktonin keskimääräinen kokonaistiheys vaihteli lammikoiden ja näytteenotokertojen välillä 133-18348 yksilöä/l. Biomassana ( $\mu\text{g C/l}$ ) tarkasteltuna vesikirput muodostivat keskimäärin suurimman osan ( $47 \pm 23$  %) kokonaiseläinplanktonin määrästä (Kuva 2 B). Hankajalkaisten osuus oli  $19 \pm 15$  %. Eläinplanktonin biomassa vaihteli välillä 43-5219  $\mu\text{g C/l}$ .



**Kuva 3.** Rataseläinten (Rotifera), vesikirppujen (Cladocera) ja hankajalkaisten (Copepoda) suhteelliset osuudet yksilömäärästä (A) ja biomassasta (B) laskettuna eri luonnonravintolammikoissa. Numerot palkkien päällä kuvaavat eri näytteenotokertoja seuraavasti: 1=1.6.2010, 2=12.8.2010 ja 3=24.8.2010 (lammikot 1-2) tai 30.8.2010 (lammikot 3-6).

Eläinplanktonin keskimääräisissä kokonaistiheyksissä ei ollut eroa eri lammikoiden välillä. Keskimääräinen ( $\pm$  S.E.) tiheys oli  $1121 \pm 294$  yks./l lammikossa 1,  $504 \pm 171$  yks./l lammikossa 2,  $937 \pm 438$  yks./l lammikossa 3,  $7882 \pm 4620$  yks./l lammikossa 4,  $895 \pm 255$  yks./l lammikossa 5 ja  $359 \pm 56$  yks./l lammikossa 6. Suurimmat keskimääräiset tiheydet kasvatuskauden aikana oli rataseläimillä. Niiden näytteenottoajankohtien välinen tiheys ei kuitenkaan muuttunut merkittävästi lukuun ottamatta lammikkoa 4, jossa viimeisellä näytteenotokerralla oli enemmän

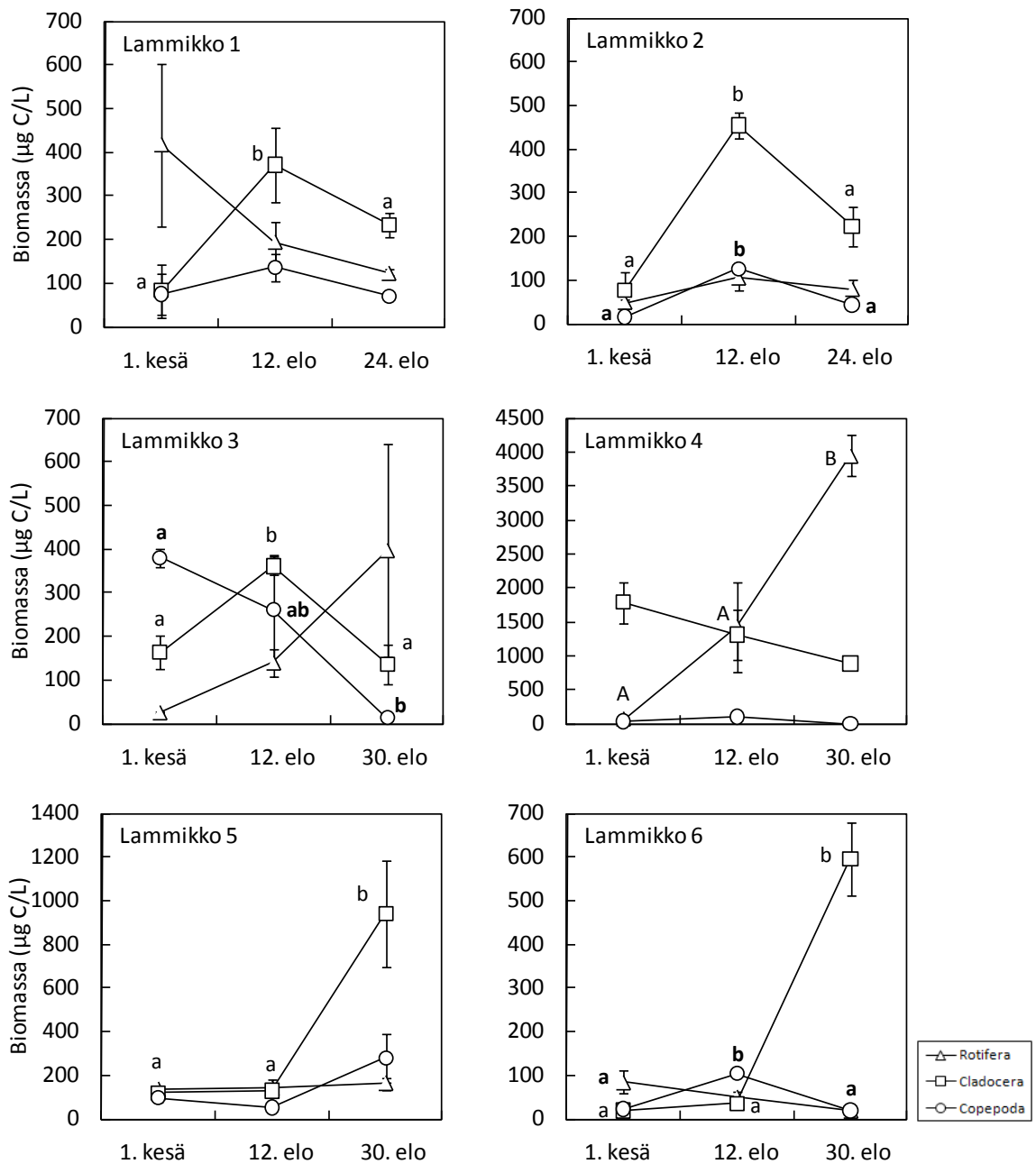
rataseläimiä alkukesään verrattuna (Kuva 4). Vesikirppujen tiheys kasvoi lammikoilla 1-4 ensimmäisen näytteenotokerran jälkeen. Lammikoilla 5 ja 6 vesikirpputiheys pysyi samalla tasolla elokuun loppuun asti, jolloin tiheys oli suurempi, kuin aiemmin kesän aikana. Hankajalkaisten tiheys vaihteli vähemmän eri näytteenotokertojen välillä ollen useimmin korkeimmillaan keskimmaisella näytteenotokerralla.



Kuva 4. Rataseläinten (Rotifera), vesikirppujen (Cladocera) ja hankajalkaisten (Copepoda) keskimääräiset ( $\pm$  S.E.) tiheydet (yksilöä/l) eri luonnonravintolammikoissa kolmena näytteenottoajankohtana. Huomaa eri asteikot y-akseleilla. Näytteenottoajankohtien väliset erot eläinplanktonryhmittäin (SUURET kirjaimet = rataseläimet; pienet kirjaimet = vesikirput; **lihavoidut pienet** kirjaimet = hankajalkaiset) on merkitty näkyviin: sama kirjain = ei eroa; eri kirjain = tilastollisesti merkitsevä ero ( $p > 0,05$ ).

Keskimääräinen ( $\pm$  S.E.) eläinplanktonin kokonaisbiomassa oli  $568 \pm 79 \mu\text{g C/l}$  lammikossa 1,  $391 \pm 159 \mu\text{g C/l}$  lammikossa 2,  $626 \pm 68 \mu\text{g C/l}$  lammikossa 3,  $3183 \pm 867 \mu\text{g C/l}$  lammikossa 4,  $686 \pm 398 \mu\text{g C/l}$  lammikossa 5 ja  $317 \pm 160 \mu\text{g C/l}$  lammikossa 6. Lammikon 4 eläinplanktonbiomassa oli merkitsevästi korkeampi, kuin lammikoissa 2 ja 6 ( $p < 0,05$ ) ja lähes merkitsevästi korkeampi, kuin lammikoissa 1, 3 ja 5 ( $p = 0,079$ ). Biomassana tarkasteltuna runsaimpana esiintyi useimmilla lammikoilla vesikirput (Kuva 5). Vesikirppujen biomassa oli keskimmaisella näytteenotokerralla muita ajankohtia suurempi lammikoilla 1-3. Lammikoilla 5 ja 6 vesikirppujen biomassa nousi

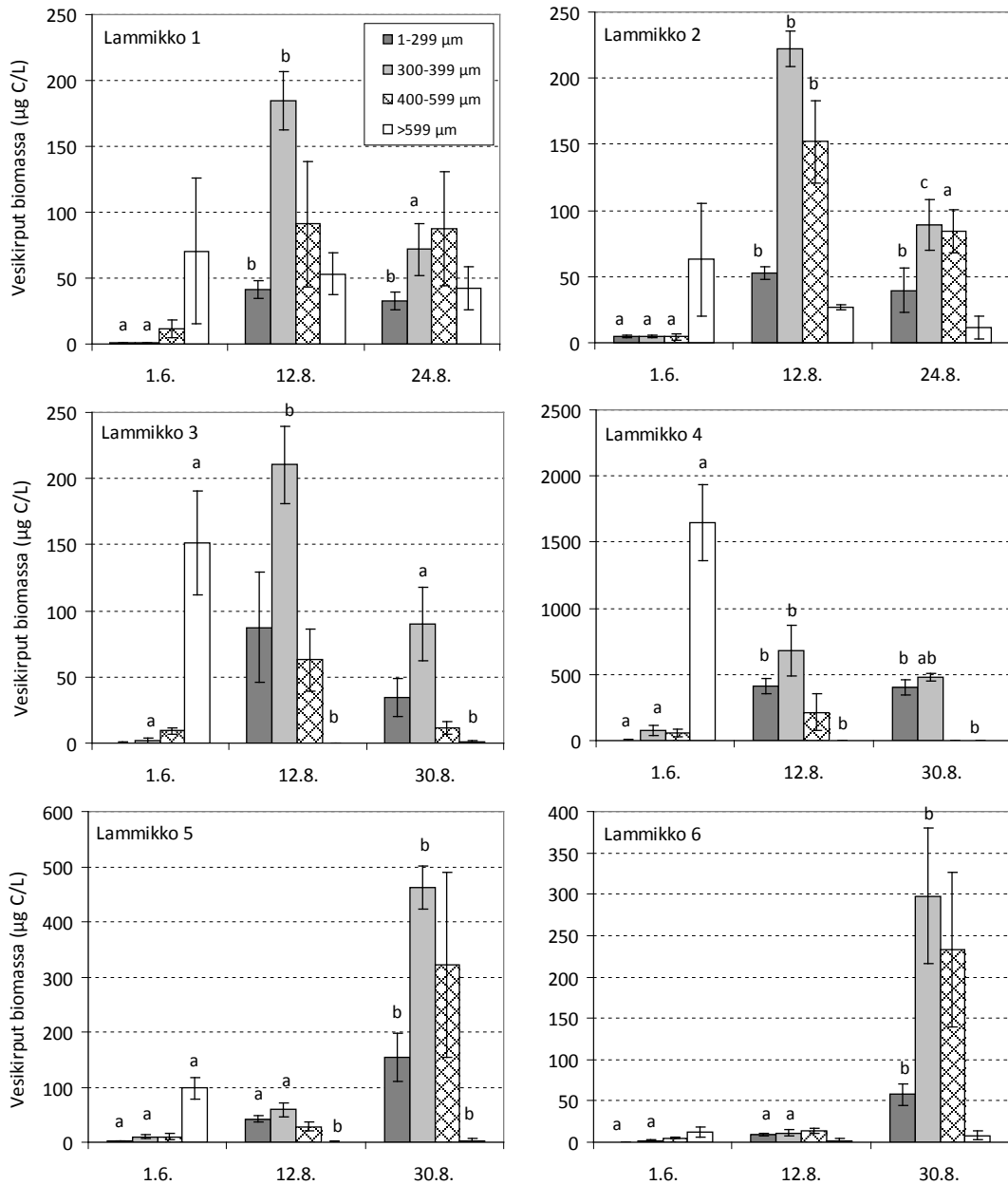
vasta elokuun lopulla pysyen siihen saakka samalla tasolla. Lammikossa 4 vesikirppujen tiheys pysyi samana koko kasvatuskauden ajan. Hankajalkaisten biomassassa vaihteli vähemmän. Lammikossa 3 se väheni kesän mittaan ja lammikoissa 2 ja 6 se oli keskikesällä muita ajankohtia korkeampi.



Kuva 5. Rataseläinten (Rotifera), vesikirppujen (Cladocera) ja hankajalkaisten (Copepoda) keskimääräiset ( $\pm$  S.E.) biomassat ( $\mu\text{g C/L}$ ) eri luonnonravintolammikoissa kolmena näytteenottoajankohtana. Huomaa eri asteikot y-akseleilla. Näytteenottoajankohtien väliset erot eläinplanktonryhmittäin (SUURET kirjaimet = rataseläimet; pienet kirjaimet = vesikirput; **lihavoidut pienet** kirjaimet = hankajalkaiset) on merkitty näkyviin: sama kirjain = ei eroa; eri kirjain = tilastollisesti merkitsevä ero ( $p > 0,05$ ).

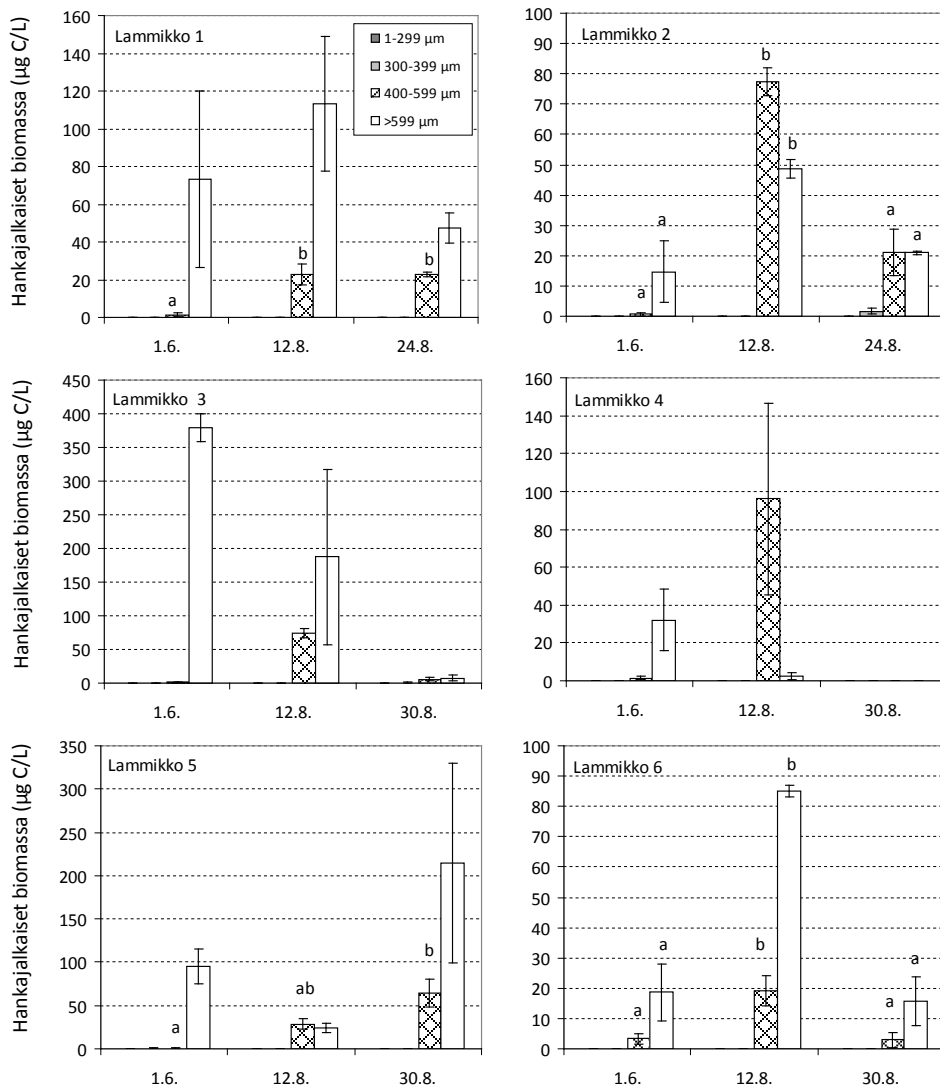
Pienimpien (1-299  $\mu\text{m}$ ) vesikirppujen biomassassa oli ensimmäisellä näytteenottokerralla alempi kahteen muuhun näytteenottokertaan verrattuna (Kuva 6). Toisaalta kokoluokkiin 300-399  $\mu\text{m}$  ja 400-599  $\mu\text{m}$  kuuluvien vesikirppujen biomassassa oli myöhemmin kesän aikana ensimmäistä näytteenottokertaa suurempi lammikoita 5 ja 6 lukuun ottamatta, joissa näiden kokoluokkien biomassassa pysyi alhaisena viimeiseen näytteenottoajankohtaan asti.

Suurikokoisimpien vesikirppujen (>599  $\mu\text{m}$ ) biomassa pysyi tasaisena lammikoilla 1 ja 2, mutta niiden määrä väheni muilla lammikoilla ensimmäisen näytteenotokerran jälkeen.



Kuva 6. Vesikirppujen (Cladocera) keskimääräiset ( $\pm$ keskiarvon keskiarvo) biomassat ( $\mu\text{g C/l}$ ) kokoluokittain (1-299  $\mu\text{m}$ , 300-399  $\mu\text{m}$ , 400-599  $\mu\text{m}$  ja yli 599  $\mu\text{m}$ ) eri luonnonravintolammikoissa kolmena näytteenottoajankohtana. Huomaa eri asteikot y-akseleilla. Näytteenottoajankohtien väliset erot kokoluokittain on merkitty näkyviin: sama kirjain = ei eroa; eri kirjain = tilastollisesti merkitsevä ero ( $p > 0,05$ ).

Hankajalkaisten biomassan vaihteluissa ei ollut kokoluokkien osalta kovin suuria vaihteluita kasvatuskauden aikana (Kuva 7). Biomassa oli keskimmaisella näytteenotokerralla alku- ja loppukesää korkeampi lammikoilla 2 ja 6, muuten varsinkaan suurimpien (>599  $\mu\text{m}$ ) hankajalkaisten biomassassa ei tapahtunut suuria muutoksia.



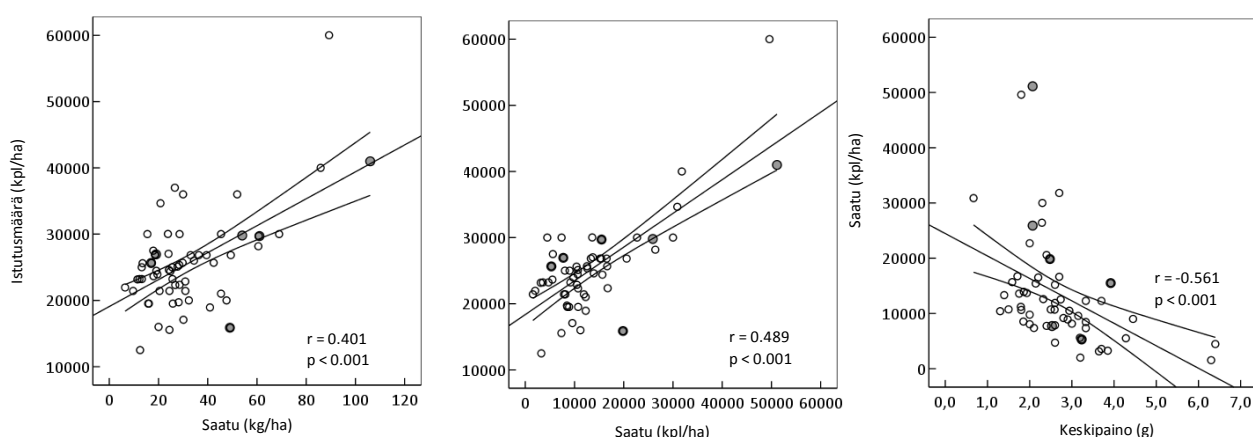
Kuva 7. Hankajalkaisten (Copepoda) keskimääräiset ( $\pm$ keskiarvon keskivirhe) biomassat ( $\mu\text{g C/l}$ ) kokoluokittain (1-299  $\mu\text{m}$ , 300-399  $\mu\text{m}$ , 400-599  $\mu\text{m}$  ja yli 599  $\mu\text{m}$ ) eri luonnonravintolammikoissa kolmena näytteenottoajankohtana. Huomaa eri asteikot y-akseleilla. Näytteenottoajankohtien väliset erot kokoluokittain on merkitty näkyviin: sama kirjain = ei eroa; eri kirjain = tilastollisesti merkitsevä ero ( $p > 0,05$ ).

### 3.3. Kalan tuotto

Vastakuoriutuneiden kuhien istutusmäärät tarkemmassa seurannassa oleviin lammikoihin ( $n=6$ ) vaihtelivat välillä 15873-40984 kpl/ha (1,7-6,1 kpl/ $\text{m}^3$ ) (Taulukko 4). Enimmillään takaisin saatiin lammikon tyhjennyksen yhteydessä 51123 kpl/ha ja vähimmillään 5290 kpl/ha. Hehtaarikohtainen kilomääräinen kalatuotto vaihteli lammikoittain 19-106 kg välillä. Saantoprosentti vaihteli n. 20 %:sta 100 %:iin (kahdessa lammikossa vk-poikasten istutusmäärän arvioiminen ollut epätarkkaa). Istutusmäärä vaikutti (tilastollisesti lähes merkitsevästi:  $p = 0,072$ ) lammikosta saatuun kilomääräiseen tuottoon seurannassa olleissa lammikoissa (Kuva 8 A). Suuremmalla aineistolla istutusmäärällä oli selvä positiivinen yhteys lammikon kappale- ( $r = 0.401$ ,  $p < 0,001$ ,  $n = 66$ ) ja kilomääräiseen ( $r = 0.489$ ,  $p < 0,001$ ,  $n = 60$ ) hehtaariuottoon (Kuva 8 A, B). Samalla kuhan poikasten keskipaino (g) kuitenkin jäi sitä pienemmäksi, mitä suurempi oli lammikon kappalemääräinen hehtaariuotto ( $r = -0.561$ ,  $p < 0,001$ ,  $n = 60$ ) (Kuva 8 C).

Taulukko 4. Kuhan istutusmäärät (kpl/ha, kpl/m<sup>3</sup>), tyhjennyksessä saatujen kuhien määrä (kpl/ha, kpl/m<sup>3</sup>, kg/ha, g/m<sup>3</sup>), kalojen alku- ja loppupaino (mg, g), kalojen alku- ja loppupituus (mm), loppupituuden (TL) ja -painon (BW) vaihtelu (variaatiokerroin CV), massan kasvu (SGR % /vrk) ja saantoprosentti tutkituissa luonnonravintolammikoissa. (<sup>1</sup> = laskettu vastakuoriutuneen kukan pituudesta yhtälöllä:  $y = 0,000002 * TL^{3,32}$ ; <sup>2</sup> = keskiarvo vastakuoriutuneelle kuhalle (Demaska-Zakes ym. 2003, Ostaszweska 2005, Steinfeldt ym. 2010); \* = istutusmäärä arvioitu epätarkasti).

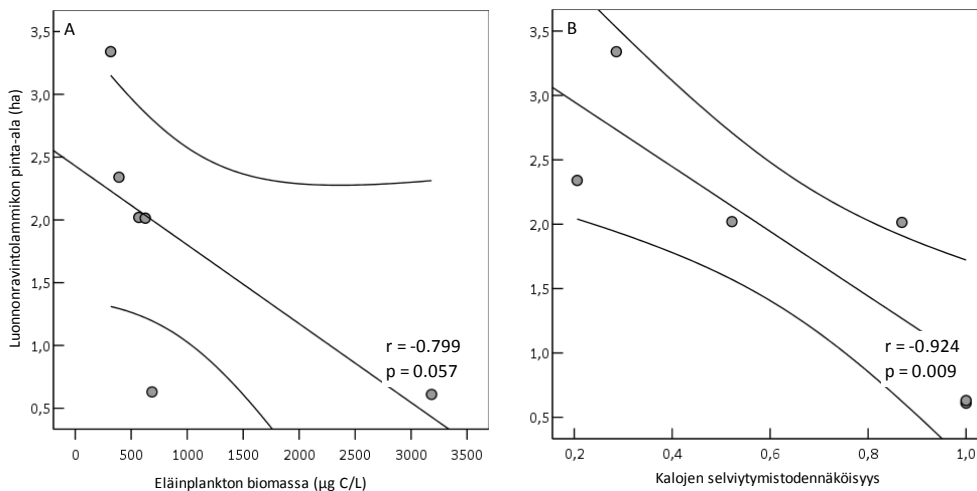
	Lammikko 1	Lammikko 2	Lammikko 3	Lammikko 4	Lammikko 5	Lammikko 6
Istutusmäärä (kpl/ha)	29 703	25 641	29 791	40 984	15 873	26 946
Istutusmäärä (kpl/m <sup>3</sup> )	3,7	3,7	3,6	6,1	1,7	2,54
Saatu (kpl/ha)	15 495	5 290	25 902	51 123	19 841	7 719
Saatu(kpl/ m <sup>3</sup> )	1,9	0,8	3,1	7,6	2,1	0,7
Saatu (kg/ha)	61	17	54	106	49	19
Saatu (g/m <sup>3</sup> )	7,6	2,5	6,4	15,8	5,3	1,8
Kalan alkupaino (mg)	0,41 <sup>1</sup>	0,41 <sup>1</sup>	0,41 <sup>1</sup>	0,41 <sup>1</sup>	0,41 <sup>1</sup>	0,41 <sup>1</sup>
Kalan loppupaino (g)	3,92	3,23	2,07	2,07	2,48	2,53
Kalan alkupituus (mm)	4,96 <sup>2</sup>	4,96 <sup>2</sup>	4,96 <sup>2</sup>	4,96 <sup>2</sup>	4,96 <sup>2</sup>	4,96 <sup>2</sup>
Kalan loppupituus (mm)	83	78	-	-	76	76
CV <sub>TL</sub>	7,5	8,5	7,7	7,4	4,4	7,8
CV <sub>BW</sub>	20,6	24,9	21,3	19,5	9,2	22,5
Massan kasvu (%/vrk)	7,11	8,09	7,83	7,83	8,80	8,91
Saanto (%)	52,2	20,6	86,9	100 (124,7)*	100 (125,0)*	28,6



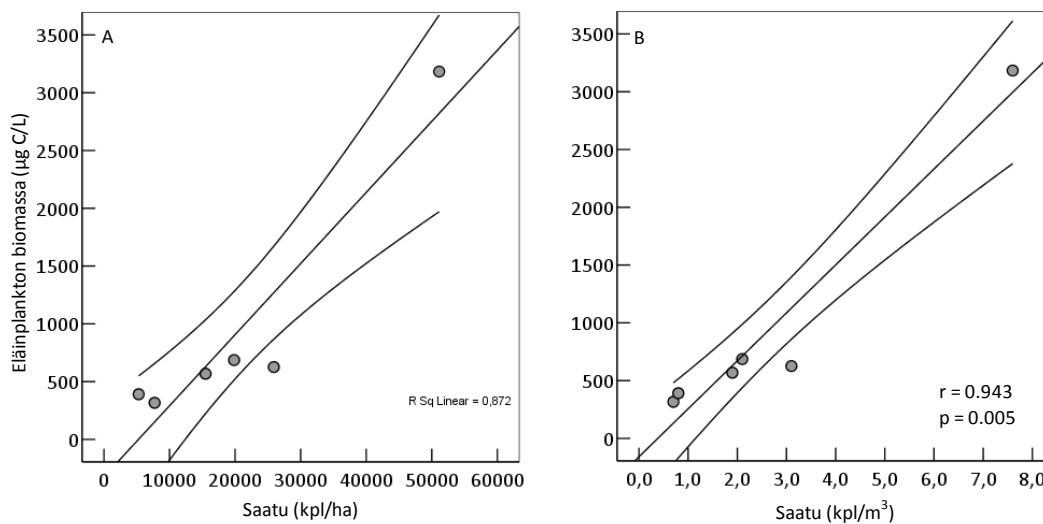
Kuva 8. Keväällä luonnonravintolammikoihin istutettujen kukan poikasten istutusmäärien (kpl/ha) ja syksyllä lammikoista saatujen kalamäärien (kg/ha, kpl/ha) (A, B) (sekä saatujen kalojen (kpl/ha) ja kalojen keskipainon (g) (C) välinen yhteys (viivat = 95 % luotettavuusväli) (harmaa ympyrä = vuonna 2010 tarkemmassa seurannassa olleet lammikot; valkoinen ympyrä = muu aineisto). (Koko aineiston  $\ln(x+1)$  -muunnetuille arvoille lasketut Pearsonin korrelaatiokerroimet ja merkitsevyydet merkitty näkyviin).

### 3.4. Kalatuotanto suhteessa ravinnonmäärään

Luonnonravintolammikon koko vaikutti eläinplanktonin keskimääräiseen biomassaansa ( $\mu\text{g C/l}$ ) siten, että eläinplanktonituotanto oli sekä pinta-alaltaan, että tilavuudeltaan pienemmissä lammikossa suurempaa isoihin lammikoihin verrattuna (pinta-alalle: Pearson  $r = -0,799$ ,  $p = 0,057$  (Kuva 9 A); tilavuudelle: Pearson  $r = -0,850$ ,  $p = 0,032$ ). Pienemmissä lammikoissa kalat selvisivät paremmin kuin isoissa ( $p = 0,009$ ) (Kuva 9 B). Suurempi eläinplanktonin kokonaisbiomassa ( $\mu\text{g C/l}$ ) lammikossa paransi kappalemääräistä kalatuottoa (Kuva 10). Kalatuotto oli parempi myös tarkasteltaessa eläinplanktoniryhmiä erikseen. Suurempi rataseläinten tai vesikirppujen tiheys ja biomassa lisäsivät lammikon kalatuottoa (Taulukko 5). Pelkästään hankajalkaisten määrällä ei ollut vaikutusta. Lammikon pinta-ala korreloi negatiivisesti kalatuoton kanssa (kpl/ha: Pearson  $r = -0,287$ ,  $p = 0,031$ ,  $n = 57$  ja kg/ha:  $r = -0,417$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 57$ ).



Kuva 9. Luonnonravintolammikoiden pinta-alan (ha) ja eläinplanktonin keskimääräisen kasvukauden aikaisen biomassin ( $\mu\text{g C/l}$ ) (A) sekä kalojen selviytymistodennäköisyyden (B) välinen yhteys (viivat = 95 % luotettavuusväli). (Pearsonin korrelaatiokertoimet ja merkitsevyystasot  $\ln(x+1)$  –muunnetuille arvoille merkitty näkyviin).



Kuva 10. Eläinplanktonin kokonaisbiomassin ( $\mu\text{g C/l}$ ) ja syksyllä lammikoista saatujen kalamäärien (kpl/ha, kpl/m<sup>3</sup>) välinen yhteys (viivat = 95 % luotettavuusväli) tutkituilla luonnonravintolammikoilla. (Pearsonin korrelaatiokertoimet ja merkitsevyystasot  $\ln(x+1)$  –muunnetuille arvoille merkitty näkyviin).

Taulukko 5. Eläinplanktonin biomassan ( $\mu\text{g C/l}$ ), tiheyden (yks./l), lammikoista saatujen kalojen määrän (kpl/ha, kpl/m<sup>3</sup>, kg/ha, g/m<sup>3</sup>), kalojen keskipainon (g) ja massan kasvun (SGR %/vrk) välinen yhteys (Pearson-korrelaatio) tutkituissa luonnonravintolammikoissa. Kaikki arvot  $\log(n+1)$  tai arcin neliöjuuri-muunnettuja ennen analysointia. TOT = kaikki eläinplanktonit yhteensä; ROT = rataseläimet (Rotifera); CLA = vesikirput (Cladocera); COP = hankajalkaiset (Cladocera). (<sup>1</sup> =  $p < 0,05$ ; <sup>2</sup> =  $p < 0,01$ ; <sup>3</sup> =  $p < 0,001$ )

	Saatu kpl/ha	Saatu kpl/m <sup>3</sup>	Saatu kg/ha	Saatu g/m <sup>3</sup>	Kalojen keskipaino	SGR (%/vrk)
<i>Eläinplanktonin biomassa (<math>\mu\text{g C/L}</math>)</i>						
TOT	0,875 <sup>1</sup>	0,928 <sup>2</sup>	0,856 <sup>1</sup>	0,891 <sup>1</sup>	-0,491	-0,300
ROT	0,879 <sup>1</sup>	0,941 <sup>2</sup>	0,902 <sup>1</sup>	0,902 <sup>2</sup>	-0,352	-0,499
CLA	0,713	0,765	0,657	0,709	-0,481	-0,047
COP	0,215	0,157	0,212	0,138	-0,128	-0,124
<i>Eläinplanktonin tiheys (yks./L)</i>						
TOT	0,868 <sup>1</sup>	0,930 <sup>2</sup>	0,875 <sup>1</sup>	0,926 <sup>2</sup>	-0,388	-0,428
ROT	0,879 <sup>1</sup>	0,941 <sup>2</sup>	0,902 <sup>1</sup>	0,950 <sup>2</sup>	-0,352	-0,499
CLA	0,703	0,746	0,627	0,670	-0,533	0,039
COP	0,295	0,355	0,225	0,274	-0,356	-0,004

## 4. Tulosten tarkastelu

### 4.1. Eri tekijöiden vaikutukset tuotantoon

Veden väriluvun mukaan kaikki tutkitut luonnonravintolammikot olivat vähintään rehevän veden tasolla, niin kuin luonnonravintolammikon tulee ollakin. Veden väriluku oli lammikossa 4 selvästi muita lammikoita korkeampi. Tummempi vesi pienentää tuottavan kerroksen paksuutta, mutta matalien luonnonravintolammikoiden kohdalla sillä ei ole merkitystä. Veden ravinnepitoisuus oli kaikissa lammikoissa ehkäpä odotetustikin korkea, vaikka esim. lammikossa 3, fosfori- ja typpipitoisuus oli alhaisempi. Veden pH nousi lähes kaikissa lammikoissa kasvukauden aikana, joka viittaa voimakkaaseen levätuotantoon. Lammikossa 4 happamuuden nousu oli hyvin voimakasta ja oli kasvukauden lopulla vähän liiankin korkea. Kyseinen lammikko poikkesi vedenlaadultaan muista lammikoista myös korkeimpien ravinnepitoisuuksien osalta. Toisaalta lammikossa riitti happea kesällä, vaikka kasvatuskauden alussa sen happipitoisuus oli alhaisin.

Eläinplanktonilajisto oli kaikissa lammikoissa pääosin samanlainen. Lammikossa 5 esiintyi myös *Alona* ja *Alonella* –suvun vesikirppuja, joita muista lammikoista ei löytynyt. Ne ovat vesikirpuista pienimpiä eikä niillä sen vuoksi liene suurta merkitystä kalantuotannon kannalta. Lammikoissa 5 ja 6 esiintyi *Holopedium gibberum* –vesikirppua, joka yleisesti suosii karuja oligotrofisia vesiä. Tutkituista lammikosta alhaisimmat ravinnepitoisuudet olivatkin lammikoissa 5 ja 6.

Veden ravinnepitoisuuden, erityisesti kokonaisfosforipitoisuuden sekä valon määrän on todettu vaikuttavan kasviplanktonituotantoon (mm. Hecky & Kilham 1988, Sterner ym. 1997, Friederichs ym. 2010) ja trofiatasojen väliset suhteet järven ravintoverkossa muuttuvat ravinnepitoisuuden muuttuessa (Jeppesen ym. 2003). Typen määrä vedessä on myös tärkeää luonnonravintokalankasvatuksessa, koska se lisää veden perustuotantoa (Kaggwa ym. 2010). Myös tässä tutkimuksessa olleissa lammikoissa eläinplanktonin, sekä tiheytenä että biomassana laskettu kokonaistuotanto, oli sitä suurempi, mitä suurempi oli veden ravinnetaso. Vaikka eläinplanktonin määrä vedessä lisääntyy ravinnepitoisuuden lisääntyessä, eläinplanktonin kokorakenteeseen se ei yleensä vaikuta (Pace 1986). Pienikokoisten hankajalkaisten ja vesikirppujen suhteellinen osuus on kuitenkin usein suurempi rehevissä vesissä (Andronikova 1996). Yksilömääräisesti tarkasteltuna pienikokoisia rataseläimiä oli tutkituissa lammikoissa suhteellisesti eniten ja suurikokoisia hankajalkaisia vähiten. Rataseläinten määrä ei kasvatuskauden aikana juurikaan muuttunut, mikä viittaa niiden pienestä koosta johtuvaan vähäiseen merkitykseen kuhan poikasten ravintona (kts. jäljempänä tässä tutkimuksessa). Keväällä veden lämpötilan nousu ja valon määrän lisääntyminen käynnistävät planktonituotannon. Biomassana tarkasteltuna vesikirput muodostivat suurimman osan luonnonravintolammikoiden eläinplanktonista. Pieni- ja keskikokoisia vesikirppuja oli kasvatuskauden alussa vähän, mutta niiden määrä lisääntyi kesän aikana johtuen lepomunien kuoriutumisen lisääntymisestä lämpötilan



noustaessa (Kankaala 1983, Hansen ym. 2010). Suurimpien vesikirppujen määrä oli alkukaudesta suurimmillaan. Niiden määrä kuitenkin väheni kasvatuskauden aikana mahdollisesti kalojen niihin kohdistaman saalistuksen vuoksi, joka on todettu myös muissa tutkimuksissa (Sarvala ym. 1998, Bramm ym. 2009). Toisaalta suurikokoisen eläinplanktonin ”luonnollinen” väheneminen kesän aikana on myös yleistä järvissä (Williams & Moss 2003, Sommer ym. 1986). Suurikokoisten hankajalkaisten määrässä ei kasvatuskauden aikana tapahtunut suuria muutoksia. Niiden määrä oli melko alhainen koko kesän ajan, joka viitanee myös kalojen niihin kohdistamaan saalistukseen.

Lämpötilan nousulla on havaittu olevan merkittävä vaikutus pienten ja rehevöityneiden järvien kasvi-eläinplanktoniyhteisön rakenteeseen (Dupuis & Hann 2009). Kasviplanktonin kokonaisbiomassa lisääntyy ja sinilevien suhteellinen osuus kasvaa, kun lämpötila nousee. Samalla vesikirppujen osuus eläinplanktonin kokonaismäärästä laskee ja pienempikokoisen planktonin määrä nousee. Toisaalta lämpötilan korkea nousu voi aiheuttaa viherlevien voimakkaan lisääntymisen estäen samalla kasviplanktonituotantoa (Trochine ym. 2010). Tässä tutkimuksessa lämpötila ei näyttänyt vaikuttavan planktonituotantoon, mutta lämpötilasta johtuvien erojen havaitseminen voi olla vaikeaa silloin, kun kesän lämpötilat ovat yleisesti hyvin korkeita.

Luonnossa tapahtuvalla kalan poikasten kuoriutumisasjankohdalla on ratkaiseva merkitys. Kuoriutumisen tulisi tapahtua aikaan, jolloin kasvi-eläinplanktonituotanto on käynnistynyt kunnolla, jolloin pienet poikaset pääsevät hyödyntämään sitä tehokkaasti (James ym. 2003). Kuhan poikaset siirretään tavallisesti luonnonravintolammikoihin muutamia päiviä kuoriutumisen jälkeen (Ruuhijärvi & Hyvärinen 1996), joka ajoittuu tavallisesti toukokuun loppuun tai kesäkuun alkuun. Kuhan poikanen siirtyy ennen ruskuaisravinnon loppumista ns. sekaravinnonottoon, jolloin se aloittaa ulkoisen ravinnonoton. Siihen menee lämpötilasta riippuen muutama päivä (Teletchea ym. 2007). Poikaset voivat elää luonnonravintolammikoissa ensin ruskuaispussiravintonsa turvin, jos siirto hautomosta tehdään melko pian poikasten kuoriutumisen jälkeen. Kuoriutumisen ja poikasten lammikkoon istuttamisen välinen aika ei siis saisi olla liian pitkä, että poikanen voi aloittaa ulkoisen ravinnonoton, kun ruskuaisa on vielä jäljellä. Tämä ulkoiseen ravinnonottoon siirtyminen on kriittinen hetki poikaselle (Summerfelt 1996, Kestemont ym. 2007, Szkudlarek & Zakes 2007) ja tapahtuu poikasen ollessa n. 6 mm pituinen (Kovalev 1976, Ljunggren 2002, Peterka ym. 2003). Poikasen ravinnonetsimis- ja saalistamiskyky on huono, jonka vuoksi sopivaa ravintoa on oltava riittävästi saatavilla (Ljunggren 2002). Ensimmäiset viikot ruskuaisravinnon loppumisen jälkeen ovat ratkaisevia poikasten eloonjäämisen kannalta. Lämpötila vaikuttaa yleisesti kuhan kasvuun (Buijse & Houthuijzen 1992, van Densen ym. 1996), mutta liian korkeasta keväisestä lämpötilasta johtuva voimakas aineenvaihdunnantason nousu yhdessä huonon ravintotilanteen kanssa voi aiheuttaa merkittävää poikaskuolevuutta (Ljunggren 2002). Tämän tutkimuksen aikana ei selvitetty kuhien käyttämää ravintoa mahanäytteistä. Kuhan ravinnonkäytöstä on kuitenkin huomattava määrä kokeellista ja luonnonaineistoihin perustuvaa tutkimustietoa. Kuhan poikaset käyttävät varsinkin alkuvaiheessa ravintonaan eläinplanktonia (Sonesten 1991). Pienten poikasten ravinto koostuu pääosin hankajalkaisten pienistä kehitysasteista (nauplius-toukat). Rataseläinten osuus ravinnosta on lähes merkityksetön, vaikka niiden määrä vedessä olisikin suuri (Kovalev 1976, Peterka ym. 2003). Kuhan poikanen kasvaa nopeasti (Kovalev 1976, Verreth & Kleyn 1987) ja ne siirtyvät nopeasti syömään suurempaa ravintoa (Verreth 1984). Poikasten kasvaessa niiden ravinto koostuu lähes yksinomaan suuremmista vesikirpuista ja hankajalkaisista sekä loppukesällä pohjaeläimistä (van Densen 1985, Peterka ym. 2003). Kovalevin (1976) mukaan 15 mm pituisten kuhan poikasten ravinnosta n. 57 % koostui vesikirpuista ja n. 43 % hankajalkaisista. Perssonin & Brönmarkin (2008) tutkimuksissa kuhien ravinto koostui pääosin suurempikokoisesta eläinplanktonista, kuin mitä ympäristössä oli muuten eniten saatavilla. Se osoittaa optimaalisen ravinnonottoteorian mukaisesti, että saalistus kannattaa kohdistaa sen kokoihin ravintokohteisiin, joista saatava energia on mahdollisimman suuri suhteessa saalistajan kokoon ja energiatalouteen (Stephens & Krebs 1986).

Toimivassa luonnonravintolammikossa kuhalla ei yleensä esiinny kannibalismia, jos lammikon tuotantokyky on riittävä tuottamaan kaikille poikasille ravintoa (Ruuhijärvi & Hyvärinen 1996). Suuri kasvatustiheys voi kuitenkin vähentää sopivan kokoisien eläinplanktonin määrää erityisesti loppukesällä (Steffens ym. 1996), jolloin kuhat voivat alkaa saalistaa lajitovereitaan. Kuhan on todettu saalistavan lajitovereitaan jo 15-20 mm mittaisena (Mehner ym. 1996, Szkudlarek & Zakes 2007), mikäli eläinplanktonin määrä jostain syystä laskee ja samalla veden lämpötila edelleen nousee. Kannibalismi voi lisääntyä myös tilanteessa, jossa yksilöiden väliset kokoerot populaatiossa ovat suuret (Baras & Jobling 2002). Kuhan poikasten kasvatuskokeissa yksilöiden luonnollisen kuolevuuden osuudet ovat vaihdelleet 8-59 % välillä ja kannibalismin aiheuttama kuolevuus on ollut 6-41 % populaatiosta (Szkudlarek & Zakes 2002, Molnár ym. 2004a, Bódis ym. 2007). Tiheyden vaikutus kasvuun voi vaihdella kalojen eri kehitysvaiheissa

(Vandenbos ym. 2006) ja kasvatustiheyden vaikutuksesta kuhan poikasten kuolevuuteen on saatu monenlaisia tuloksia: vastakuoriutuneilla poikasilla (5,6 mm) kasvatustiheys lisäsi kokonaiskuolevuutta (Szkudlarek & Zakes 2007), vastaavasti vanhemmilla kuhilla (40-54 mm) suurempi kasvatustiheys alensi kokonaiskuolevuutta (Molnár ym. 2004a) tai sillä ei ollut vaikutusta (Molnár ym. 2004b). Suurempi kasvatustiheys myös lisäsi kannibalismia vastakuoriutuneilla poikasille, mutta ei välttämättä vanhemmilla kaloilla.

Kokeellisten tutkimusten perusteella suurempi kasvatustiheys heikentää vastakuoriutuneiden kuhan poikasten kasvunopeutta (Szkudlarek & Zakes 2007), mutta suurempien yksilöiden kasvunopeuteen ei kasvatustiheydellä näytä olevan vaikutusta (Molnár ym. 2004a, b). Luonnonravintolammikoissa kuhan poikasten kasvunopeus on kesäkuussa yleensä parempaa kuin järvissä, mutta myöhemmin kesällä (elokuussa) lammikkokasvatuksessa olevien kuhien kasvunopeus heikkenee niille sopivan kokoisen ravinnon vähentyessä (Ruuhijärvi & Salminen 2004) jääden pienemmäksi, kuin vastaavan kokoisten kuhien kasvu järvissä (Sutela & Hyvärinen 2002). Toisaalta on osoitettu, että planktonravinnolla kasvaneet kuhat saavuttavat ensimmäisen kesän jälkeen n. 60-80 mm pituuden ja kalaravinnolla (sisältäen kannibalismia) kasvaneet n. 100-150 mm pituuden (van Densen ym. 1996). Tässä tutkimuksessa mukana olleessa lammikossa 5 vesikirppujen biomassa oli suurimmillaan kasvatuskauden lopussa, mikä voi viitata siihen, että kalat olivat osin jo lopettaneet planktonravinnon käyttämisen niistä saatavan liian pienen energiamäärän vuoksi. Lammikosta saatujen kalojen keskimääräinen loppupituus oli 76 mm, jonka perusteella kuhat eivät olleet syöneet lajitovereitaan. Tätä tukee myös se, että kyseisen lammikon kalojen loppupituuden ja -painon vaihtelu oli pienintä tutkittujen lammikoiden kaloista. Tässä tutkimuksessa mukana olleissa luonnonravintolammikoissa (n=20) kuhien kasvu vaihteli massan päivittäisenä kasvuna mitattuna (SGR) 7,11-9,69 %/vrk, joka on hieman suurempi kuin muissa tutkimuksissa havaitut 3,7-6,09 %/vrk kasvut (Zákes ym. 2004, Bódis & Bercsényi 2009).

Lammikoiden (n=20) hehtaarituohto vaihteli huomattavasti ja takaisinsaanto vaihteli välillä 21-94 %. Kahdessa altaassa vastakuoriutuneiden poikasten määrä oli arvioitu huomattavan epätarkasti, kun niiden takaisinsaantoprosentiksi tuli laskennallisesti yli 100. Suurempi istutusmäärä (kpl/ha) lisäsi lammikoista saatua tuottoa (kpl/ha). Sen perusteella merkittävää kasvatustiheydestä johtuvaa kuolevuutta ei näissä lammikoissa olisi ollut. Vaikka istutus-kasvatustiheys ei heikentänyt kappalemääräistä kalatuottoa, se vaikutti kalojen loppupainoon: suuremmissa tiheyksissä kalojen keskipaino jäi alhaisemmaksi. Aiemmissä tutkimuksissakin kasvatustiheyden lisäämisen on havaittu pienentävän kuhan keskipituutta kasvatuskauden lopussa (Keskinen ym. 1999).

Lammikon pinta-alalla oli vaikutusta sekä eläinplankton-, että kalatuotantoon. Pienemmissä lammikoissa planktontuotanto oli suurempaa kuin isommissa lammikoissa, jonka vuoksi kalat selviytyivät paremmin pienissä lammikoissa ja niistä saatiin suurempi kappale- ja kilomääräinen hehtaarituohto. Pienempien lammikoiden paremmasta kalantuottokyvystä ovat raportoineet myös mm. Molnár ym. (2004a).

Luonnonravintolammikkokasvatuksen tavoitteena on tuottaa istutuksiin riittävästi sopivan kokoisia kuhia. Siksi tulisi miettiä, halutaanko kaloja tuottaa enemmän kappalemääräisesti, johon suuremmalla vastakuoriutuneiden istutusmäärällä näytetään voivan vaikuttaa vai halutaanko tuottaa hieman vähemmän suurempikokoisia yksilöitä, jotka selviävät luonnonvesissä paremmin antaen istutuksille paremman tuloksen (Buijse & Houthuijzen 1992, Lappalainen ym. 2000, Ruuhijärvi & Salminen 2004).

Yleisesti voidaan todeta, että perusedellytys kuhan tuottavalle ja kannattavalle luonnonravintolammikkokasvatukselle on hyvin hoidettu lammikko, jossa riittää sopivan kokoista eläinplanktonravintoa koko kasvukauden ajalle. Tässä tutkitut lammikot olivat kaikki melko pieniä, jotka tyhjennetään vedestä syksyllä. Talviaikaiseen planktontuotantoon vaikuttavat talven olosuhteet sekä syksyllä veteen jääneen planktonin määrä (Dokuli & Herzig 2009), joka vaikuttaa olennaisesti tuotannon voimistumiseen keväällä (Gerten & Adrian 2000). Ainakin osan veden jättäminen talven ajaksi lammikkoon nopeuttaisi siis seuraavan kevään planktontuotannon käynnistymistä, jota kannattaisi harkita ainakin isompien ja syvempien lammikoiden kohdalla.

#### 4.2. Lammikon mahdollisten hoitotoimenpiteiden vaikutukset tuotantoon

Suomessa luonnonravintolammikoiden hoitotoimenpiteinä käytetään yleisesti kalkitusta ja lannoittamista. Lammikoiden ikääntyessä niiden ravinnontuotantokyky heikkenee vaikuttaen kalatuotantoon. Myös tämän

tutkimuksen perusteella on ilmeistä, että lammikoiden korkeammat ravinnepitoisuudet parantavat eläinplanktonin tuotantomäärä ja siten lammikoista saatavaa kalamäärää. Mahdollisen lannoituksen tarve tulee kuitenkin määrittää lammikkokohtaisesti, jolloin ravinteita ei ole liikaa vaan niiden määrä on sopiva suhteessa keskimääräisesti tuotettuun vuotuiseen kalamäärään. Kalkitustietoja oli käytettävissä vain kuudesta altaasta ja niiden perusteella kalkituksen määrällä ei ollut vaikutuksia tuotettuun kalamäärään. Kalkituksen vaikutusta pH:n säätelyn kannalta voidaan kuitenkin pitää välttämättömänä kaikissa lammikoissa, kun voimakas planktonituotanto nostaa veden pH:ta. Tutkimuksessa mukana olleista lammikoissa yhdessä pH nousi kasvatuskaudella mahdollisesti liiankin korkeaksi, joka viitanee kyseisen altaan liian alhaiseen kalkitusmäärään. Poikasten istutusajankohtaan ei juurikaan pystytty vaikuttamaan, vaan kasvattajat istuttivat poikaset lammikoihin silloin kuin ne poikastoimittajalta tulivat. Sopiva istutusajankohta poikasille on silloin, kun poikasilla on vielä ruskuaisravintoa jäljellä. Tutkittuihin lammikoihin istutetut poikaset olivat pääosin vielä ruskuaisravinnolla istutushetkellä, joten istutusajankohtaa voidaan pitää oikeana. Istutusmäärän paikoin hyvin epätarkka mittaaminen kuitenkin vaikeutti tulosten arviointia ja siihen tulevaisuudessa tulee kiinnittää erityistä huomiota. Lammikoiden tyhjennysajalla voidaan vaikuttaa kalamäärään tai tuotettujen kalojen kokoon, mikäli kalojen kasvu hidastuu merkittävästi kasvatuskauden loppupuolella esim. ravinnon vähäisyyden vuoksi. Tällöin todennäköisyys kannibalismiin lisääntyy, jolloin paras mahdollinen lopputulos saavutetaan ”ennenaikaisella” tyhjennyksellä normaaliin verrattuna. Tässä tutkimuksessa mukana olleissa lammikoissa selviä viitteitä kannibalismista ei havaittu ja siksi voidaan olettaa, että tyhjennysaika oli sopiva kaikissa altaissa eikä aikaistetulla tyhjennyksellä olisi saavutettu merkittävää tuotannon lisäämistä. Toisaalta on huomattava, ettei kalojen kasvunäytteitä ollut koko kasvatuskaudelta käytettävissä, joka vaikeuttaa kalojen kasvunopeuden arvioimista kasvatuskauden eri vaiheissa. Ennakolta kasvatuskauden aikaisen lämpösumman ajateltiin olevan merkittävä kasvatuksen onnistumiseen vaikuttava tekijä. Sillä ei kuitenkaan havaittu olevan vaikutusta tuotettuun kalamäärään, vaikka kesä oli hyvin lämmin. Lämpösumman vaikutuksia pidemmällä aikavälillä ei pystytty tarkastelemaan tässä tutkimuksessa puutteellisten kasvatustietojen vuoksi. Lammikoiden happitilanne pysyi kuitenkin hyvänä koko kasvatuskauden ajan huolimatta paikoin hyvin korkeista veden lämpötiloista. Eri tekijöiden vaikutuksia kasvatustulokseen ei voida laajemmin kuitenkaan arvioida yhden vuoden seurantatietojen perusteella.

### 4.3. Suosituksia jatkotoimenpiteistä

Ravinteiden ratkaiseva merkitys luonnonravintolammikoiden planktonituotantoon ja sitä kautta kalatuotantoon näyttää olevan selvä myös tämän tutkimuksen perusteella. Lammikoiden kalatuotannon suuret vaihtelut kuitenkin jäävät osin ilman vastauksia. Sen vuoksi jatkossa tulisi kerätä järjestelmällisesti lisää aineistoa, että luonnonravintokasvatukseen liittyviä epävarmuustekijöitä voitaisiin selvittää tarkemmin. Tämä vaatisi ainakin seuraavien asioiden selvittämistä:

- mikä merkitys istutustiheydellä todellisuudessa on tuotantoon?
- missä vaiheessa kasvatusta tapahtuu kuolevuutta ja minkä verran?
- mikä on luonnollisen kuolevuuden ja esim. kannibalismin aiheuttaman kuolevuuden taso?
- ravintovarojen ja -käytön tarkempi selvittäminen
- veden perustuotantotaserojen selvittäminen lammikoiden ja vuosien välillä

Näiden tekijöiden selvittämiseksi tarvitaan tutkimuksia, joissa selvitetään kalojen kasvua ja tiheyttä (kuolevuus) luonnonravintolammikoiden koko kasvatuskauden ajalta. Erityishuomiota tulee kiinnittää lammikoihin istutettavien poikasten määrän mittaamiseen, jolloin alkutiheys saadaan mahdollisimman tarkasti tietoon. Kaikkien tietojen keräämiseksi kasvattajien suositellaan ottavan käyttöön liitteessä 1 oleva lomake, johon kasvatukseen liittyvät tiedot kirjataan vuosittain. Lomakkeet kerätään vuosittain yhteen kasvatuskauden päättymisen jälkeen myöhemmin sovittavan tahon toimesta. Lisäksi kalojen mahanäytteitä tulisi kerätä koko kasvatuskaudella, jolla eri ravintokohteiden osuudet ravinnosta saadaan selvitettyksi. Erikokoisten kalojen ravinnontarvetta ja niille tarjolla olevien ravintovarojen riittävyttä voitaisiin tutkia esim. bioenergeettisten mallilaskelmien avulla. Sopivat

vuosittaiset lannoitus- ja kalkitusmäärät tulee selvittää jatkossa lammikkokohtaisesti, jolla saadaan paras mahdollinen lopputulos.

## 5. Suositukset kasvattajille

Poikaset tulisi istuttaa lammikoihin mahdollisimman pian niiden kuoriutumisen jälkeen, jolloin ne oppivat ulkoisen ravinnonkäytön ennen ruskuaispussiravinnon loppumista. Poikasten määrä tulee arvioida mahdollisimman tarkasti. Istutustiheyttä lisäämällä voidaan tuotettua kappalemääräistä kalamäärää lisätä, mutta samalla kalan koko jää pienemmäksi. Poikasten kasvattaminen useassa pienessä altaassa yhden suuren altaan sijaan lisää hehtaarikohtaista kalatuottoa. Lisäksi ainakin osan veden jättäminen altaaseen talveksi parantaa seuraavan kevään planktonituotannon käynnistymistä ja parantaa sitä kautta poikasten selviytymistä. Kalan kasvua lammikoissa kannattaa seurata läpi kasvatuskauden. Mikäli selvää kasvun hidastumista havaitaan, kannattaa harkita lammikoiden aikaisempaa tyhjennystä ns. normaaliin vuoteen verrattuna. Tällä estetään mahdollisen kannibalismien aiheuttama tuotannon pieneneminen. Kaikki istutus-, kasvatus- ja hoitotoimiin liittyvät tiedot kannattaa kirjata muistiin systemaattisesti, jolloin tietoja voidaan hyödyntää toiminnan kehittämiseen pitkällä aikavälillä.

## Kiitokset

Keski-Suomen Kalatalouskeskus ry haluaa kiittää hankkeeseen osallistuneita luonnonravintolammikkoviljelijöitä. Ilman teidän avointa suhtautumista ja yhteistyöhalukkuutta tämä ei olisi onnistunut.

## Viitteet

- Alaja, H., Keskinen, T. & Marjomäki, T. J. 2004: Kuhan ja siian viljely sekä hoito ja hyödyntäminen Etelä-Savossa. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja 71. 75 s.
- Andersen, T. & Hensen, D. O. 1991: Carbon, nitrogen, and phosphorus content of freshwater zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 36: 807-814.
- Andronikova, I. 1996: Zooplankton characteristics in monitoring of Lake Ladoga. *Hydrobiologia* 322: 173-179.
- Baras, E. & Jobling, M. 2002: Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquac. Res.* 33: 461-479.
- Black, A. R. & Dodson, S. I. 2003: Ethanol: a better preservation technique for Daphnia. *Limnol. Oceanogr. Methods* 1: 45-50.
- Bódis, M., Kucska, B. & Bercsényi, M. 2007: The effect of different diets on the growth and mortality of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca*) in the transition from live food to formulated feed. *Aquac. Int.* 15: 83-90.
- Bódis, M. & Bercsényi, M. 2009: The effect of different daily feed rations on the growth, condition, survival and feed conversion of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca*) reared with dry feed in net cages. *Aquac. Int.* 17: 1-6.
- Bottrell, H. H., Duncan, A., Gliwicz, Z. M., Grygierek, E., Herzig, A., Hillbricht-Ilkowska, A., Kurasawa, H., Larsson, P. & Weglenska, T. 1976: A review of some problems in zooplankton production studies. *Norw. J. Zool.* 24: 419-456.
- Bramm, M. E., Lassen, M. K., Liboriussen, L., Richardson, K., Ventura, M. & Jeppesen, E. 2009: The role of light for fish-zooplankton-phytoplankton interactions during winter in shallow lakes – a climate change perspective. *Freshw. Biol.* 54: 1093-1109.
- Buijse, A. D. & Houthuijzen, R. P. 1992: Piscivory, growth, and size-selective mortality of age 0 pikeperch (*Stizostedion lucioperca*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 894-902.
- Demska-Zakęs K., Kowalska A., Zakęs Z., 2003: The development of the swim bladder of pikeperch *Sander lucioperca* (L.) reared in intensive culture. *Arch. Pol. Fish.* 11, 45-55.
- Dokuli, M. T. & Herzig, A. 2009: An analysis of long-term winter data on phytoplankton and zooplankton in Neusiedler See, a shallow temperate lake, Austria. *Aquat. Ecol.* 43: 715-725.
- Dupuis, A. P. & Hann, B. J. 2009: Warm spring and summer water temperatures in small eutrophic lakes of the Canadian prairies: potential implications for phytoplankton and zooplankton. *J. Plankton Res.* 31: 489-502.
- Eskelinen, U., Louhimo, J., Heinimaa, P., Heinonen, E. & Eskelinen, P. 2001: Kehityshanke Laatus lammikoista. Luonnonravintoviljelyn laadunhallinnan perusteet. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 22 s. + 4 liitettä.
- Friederichs, S. J., Zimmer, K. D., Herwig, B. R., Hanson, M. A. & Fieberg, J. R. 2010: Total phosphorus and piscivore mass as drivers of food web characteristics in shallow lakes. *Oikos*: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0706.2010.19244.x/abstract>

- Gerten, D. & Adrian, R. 2000: Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic oscillation. *Limnol. Oceanogr.* 45: 1058-1066.
- Hansen, B. W., Drillet, G., Kozmer, A., Madsen, K. V., Pedersen, M. F. and Sørensen, T. F. 2010: Temperature effects on copepod egg hatching: does acclimatization matter? *J. Plankton Res.* 32: 305–315.
- Hecky, R. E. & Kilham, P. 1988: Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.* 33: 796-822.
- Heinimaa, P. 2001: Tuotantomäärät ja niiden vaihteluiden syistä RKTL:n Inarin lammikoilla. Teoksessa: Simola, H. (toim.). Veden satoa 2001. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen XXV vesiviljelypäivät. Kala- ja riistaraportteja nro 217.
- Honkanen, V. 1999: Keski-Suomen luonnonravintolammikkoprojekti 1997-1999. 51 s. + 7 liitettä.
- Honkanen, V. 2001: Laatu lammikoista –hanke. Loppuraportti. Keski-Suomen Maaseutukeskus ry. Keski-Suomen Kalatalouskeskus ry. 22 s. + 7 liitettä.
- James, A., Pitchford, J. W. & Brindley, J. 2003: The relationship between plankton blooms, the hatching of fish larvae, and recruitment. *Ecol. Model.* 160: 77-90.
- Jeppesen, E., Jensen, J. P., Jensen, C., Faafeng, B., Hessen, D. O., Søndergaard, M., Lauridsen, T., Brettum, P. & Christoffersen, K. 2003: The impact of nutrient state and lake depth on top-down control in the pelagic zone of lakes: a study of 466 lakes from the temperate zone to the arctic. *Ecosystems* 6: 313-325.
- Kaggwa, R. C., van Dam, A. A., Kipkemboi, J. & Denny, P. 2010: Evaluation of nitrogen cycling and fish production in seasonal ponds (“Fingerponds”) in Lake Victoria wetlands, East Africa using a dynamic simulation model. *Aquac. Res.* 42: 74-90.
- Kankaala, P. 1983: Resting eggs, seasonal dynamics, and production of *Bosmina longispina maritime* (P. E. Müller) (Cladocera) in the northern Baltic proper. *J. Plankton Res.* 5: 53–69.
- Kestemont, P., Xueliang, X., Hamza, N., Maboudou, J. & Toko, I. I. 2007: Effect of weaning age and diet on pikeperch larviculture. *Aquaculture* 264: 197-204.
- Keskinen, T., Marjomäki, T., Valkeajärvi, P., Salonen, S. & Helminen, H. 1999: Kuhakantojen hoito Keski-Suomessa, nykytila ja kehittämissuunnitelma. Keski-Suomen TE-keskus, kalatalousyksikkö. MMM, kala- ja riistaosasto. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja nro 37. 46 s. + 5 liitettä.
- Kjellman, J., Lappalainen, J. & Urho, L. 2003: Early determination of perch and pikeperch recruitment in the northern Baltic Sea. *Hydrobiologia* 495: 181-191.
- Kovalev, P. M. 1976: Larval development of the pike-perch *Lucioperca lucioperca* under natural conditions. *J. Ichthyol.* 16: 606-616.
- Lake Päijänne LTER: [www.paijanne.org](http://www.paijanne.org)
- Lappalainen, J., Erm, V., Kjellman, J. & Lehtonen, H. 2000: Size-dependent winter mortality of age-0 pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) in Pärnu Bay, the Baltic Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 451-458.
- Ljunggren, L. 2002: Growth response of pikeperch larvae in relation to body size and zooplankton abundance. *J. Fish. Biol.* 60: 405-414.
- Lovikka, T. 2001: Luonnonravintolammikoiden tuotannon säätely. Teoksessa: Simola, H. (toim.). Veden satoa 2001. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen XXV vesiviljelypäivät. Kala- ja riistaraportteja nro 217.
- Mehner, T., Schultz, H., Bauer, D., Herbst, R., Voigt, H. & Benndorf, J. 1996: Intraguild predation and cannibalism in age-0 perch (*Perca fluviatilis*) and age-0 zander (*Stizostedion lucioperca*): Interactions with zooplankton succession, prey fish availability and temperature. *Ann. Zool. Fenn.* 33: 353-361.
- Molnár, T., Hancz, Cs., Bodis, M., Müller, T., Bercsényi, M. & Horn, P. 2004a: The effect of initial stocking density on growth and survival of pike-perch fingerlings reared under intensive conditions. *Aquac. Int.* 12: 181-189.
- Molnár, T., Hancz, Cs., Molnár, M. & Horn, P. 2004b: The effects of diet and stocking density on the growth and behaviour of pond pre-reared pikeperch under intensive conditions. *J. App. Ichthyol.* 20: 105-109.
- Ostaszewska, T. 2005: Developmental changes of digestive system structures in pike-perch (*Sander lucioperca* L.). *Elec. J. Ichthyol.* 2: 65-78.
- Pace, M. 1986: An empirical analysis of zooplankton community size structure across lake trophic gradients. *Limnol. Oceanogr.* 31: 45-55.
- Pasternack, M. 2001: Luonnonravintosiian ravitsemustilan muutokset viljelyn eri vaiheissa. Teoksessa: Simola, H. (toim.). Veden satoa 2001. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen XXV vesiviljelypäivät. Kala- ja riistaraportteja nro 217.
- Persson, A. & Brönmark, C. 2008: Pikeperch *Sander lucioperca* trapped between niches: foraging performance and prey selection in a piscivore on a planktivore diet. *J. Fish Biol.* 73: 793-808.
- Peterka, J., Maténa, J. & Lipka, J. 2003: The diet and growth of larval and juvenile pikeperch (*Stizostedion lucioperca* (L.)): A comparative study of fishponds and a reservoir. *Aquac. Int.* 11: 337-348.
- Rahkola, M., Karjalainen, J. & Avinsky, V. A. 1998: Individual weight estimates of zooplankton based on length-weight regressions in Lake Ladoga and Saimaa Lake System. *Nord. J. Freshw. Res.* 74: 110-120.
- Rosen, R. A. 1981: Length-dry weight relationships of some freshwater zooplankton. *J. Freshw. Ecol.* 1: 225-229.
- Ruuhijärvi, J. & Hyvärinen, P. 1996: The status of pike-perch culture in Finland. *J. App. Ichthyol.* 12: 185-188.
- Ruuhijärvi, J. & Salminen, M. 2004. The effect of stocking size on survival of fingerling pikeperch. (*Sander lucioperca*). Teoksessa: Barry, T. P. & Malison, J. A. (toim.), Proceedings of Percis III: The Third International Percid Fish Symposium. s. 123-124. University of Wisconsin Sea Grant Institute, Madison, WI.

- Ruuhijärvi, J., Pennanen, J., Salminen, M. & Forsman, L. 1995a: Effects of joint rearing on diet and growth of zander (*Stizostedion lucioperca* L.) and asp (*Aspius aspius* L.) fry in natural food ponds. Teoksessa: Railo, E. & Julku, T. (toim.). Percis II: Second International Percis Symposium. Symposium program and abstracts. Kala- ja riistaraportteja nro 34.
- Ruuhijärvi, J., Pennanen, J., Salminen, M. & Forsman, L. 1995b: Physiological condition of zander (*Stizostedion lucioperca* L.) during first summer in rearing ponds. Teoksessa: Railo, E. & Julku, T. (toim.). Percis II: Second International Percis Symposium. Symposium program and abstracts. Kala- ja riistaraportteja nro 34.
- Santos, M. A. P. F., Melão, M. G. G. & Lombardi, A. T. 2006: Life history characteristics and production of *Ceriodaphnia silvestrii* Daday (Crustacea, Cladocera) under different experimental conditions. *Acta Limnol. Bras.* 18: 199-212.
- Sarvala, J., Helminen, H., Saarikari, V., Salonen, S. & Vuorio, K. 1998: Relationship between planktivorous fish abundance, zooplankton and phytoplankton in three lakes of differing productivity. *Hydrobiologia* 363: 81-95.
- Satapoomin, S. 1999: Carbon content of some common tropical Andaman Sea copepods. *J. Plankton Res.* 21: 2117-2123.
- Steenfeldt, S., Lund, I. & Höglund, E. 2010: Is batch variability in hatching time related to size heterogeneity and cannibalism in pikeperch (*Sander lucioperca*)? *Aquac. Res.*  
<http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.jyu.fi/doi/10.1111/j.1365-2109.2010.02681.x/abstract>
- Sommer, U., Gliwicz, Z. M., Lambert, W., & Duncan, A. 1986: The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in lakes. *Arch. Hydrobiol.* 106: 433-471.
- Stephens, D. W. & Krebs, J. R. 1986: *Foraging Theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Sterner, R. W., Elser, J. J., Tee, E. J., Guildford, S. J., & Chrzanowski, T. H. 1997: The light:nutrient ratio in lakes: the balance of energy and materials affects ecosystem structure and process. *Am. Nat.* 150: 663-684.
- Summerfelt, R. C. 1996: Intensive culture of walleye fry. In: Summerfelt, R. C. (toim.), *Walleye culture manual*. NCRAC Culture Series, vol. 101. Iowa State University, Ames, s. 161-185.
- Sutela, T. & Hyvärinen, P. 2002: Diet and growth of stocked and wild 0+ pikeperch, *Stizostedion lucioperca* (L.). *Fish. Manag. Ecol.* 9: 57-63.
- Szkudlarek, M. & Zakes, Z. 2002: The effect of stocking density on the effectiveness of rearing pikeperch *Sander lucioperca* (L.) summer fry. *Arch. Pol. Fish.* 10: 115-119.
- Szkudlarek, M. & Zakes, Z. 2007: Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), larvae under controlled conditions. *Aquac. Int.* 15: 67-81.
- Telesh, I. V., Rahkola, M., Viljanen, M. 1998: Carbon content of some freshwater rotifers. *Hydrobiologia* 387/388: 355-360.
- Teletchea, F., Fostier, A., Le Bail, P. Y., Jalabert, B., Gardeur, J.-N. & Fontaine, P. 2007: STOREFISH: a new database dedicated to the reproduction of temperate freshwater teleost fishes. *Cybiurn* 31: 227-235.
- Trochine, C., Guerrieri, M., Liboriussen, L., Meerhoff, M., Lauridsen T. L., Søndergaard, M. & Jeppesen, E. 2010: Filamentous green algae inhibit phytoplankton with enhanced effects when lakes get warmer. *Freshwater Biology*:  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2427.2010.02521.x/abstract>
- Vandenbos, R. E., Tonn, W. N. & Boss, S. M. 2006: Cascading life-history interactions: alternative density-dependent pathways drive recruitment dynamics in a freshwater fish. *Oecologia* 148: 573-582.
- van Densen, W. L. T. 1985: Feeding behaviour of major 0+ fish species in a shallow, eutrophic lake (Tjeukemeer, The Netherlands). *Zeitschrift für Angewandte Ichthyologie* 2: 49-70.
- van Densen, W. L. T., Ligtvoet, W. & Roozen, R. W. M. 1996: Intra-cohort variation in the individual size of juvenile pikeperch, *Stizostedion lucioperca*, and perch, *Perca fluviatilis*, in relation to the size spectrum of their food items. *Ann. Zool. Fenn.* 33: 495-506.
- Verreth, J. 1984: Manipulation of the zooplankton populations in nursing ponds of pike-perch fry (*Stizostedion lucioperca* L.). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 1672-1680.
- Verreth, J. & Kleyn, K. 1987: The effect of biomanipulation of the zooplankton on the growth, feeding and survival of pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) in nursing ponds. *J. Appl. Ichthyol.* 3: 13-23.
- Williams, A. E. & Moss, B. 2003: Effects of different fish species and biomass on plankton interactions in a shallow lake. *Hydrobiologia* 491: 331-346.
- Zakes, Z., Kowalska, A. & Cerniak, S. 2004: Effect of sorting on selected rearing factors of pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *Arch. Pol. Fish.* 12: 71-79.

LAMMIKON NIMI/NRO \_\_\_\_\_ KASVATTAJA \_\_\_\_\_

### PERUSTIEDOT

Pinta-ala (ha)	Keskisyvyys kasvatuskauden aikana (m)	Keskittilavuus kasvatuskauden aikana (m <sup>3</sup> )

### ISTUKKAAT

Laji	Kanta	Kasvattaja	Aika (pvm)	Kesto (klo-klo)	Kuljettaja	Kuljetustapa

### ISTUTUS

Kpl	Kpl/ha	Kpl/m <sup>3</sup>	Aika (klo-klo)	Ilman lämpötila (°C)	Sää	Veden lämpötila (°C)	pH	Lämpötilan taseaus (min/h)	Istukkaiden kunto

### KASVATUSKAUDEN TULOS, SAADUT

Kpl	Kpl/ha	Kpl/m <sup>3</sup>	Kg	Kg/ha	Kg/m <sup>3</sup>

