

LuK-tutkielma

**Kasvien kasvun ja laadun vertailu hydroponic- ja
aquaponic-systeemeissä**

Roope Lehmonen & Jenni Sireeni



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Akvaattiset tieteet

1.2.2017

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Akvaattiset tieteet

Lehmonen, R. & Sireeni, J.: Kasvien kasvun ja laadun vertailu hydroponic- ja aquaponic-systeemeissä

LuK-tutkielma: 27 s.
Työn ohjaajat: FT Juhani Pirhonen, FT Timo Marjomäki
Tarkastajat: FT Juhani Pirhonen, FT Timo Marjomäki
Helmikuu 2017

Hakusanat: aistinvarainen arviointi, hydroviljely, kalanviljely, *Lactuca sativa*, lannoitus, *Ocimum basilicum*, ruoantuotanto

TIIVISTELMÄ

Yhdistetystä kalanviljelystä ja kasvien vesiviljelystä eli aquaponic-viljelystä lupailaan helpotusta ruoantuotannon globaaleihin ongelmiin sillä se vähentää vesiviljelyyn tarvittavien ravinteiden määrää hyödyntäen kalojen jätösten ravinteet kasvisadon tuottamiseen. Aquaponic-viljelyllä on siis potentiaalia lisätä ruoantuotannon tehokkuutta, mutta sen laajamittaista käyttöönottoa hidastavat viljelyn monimutkaisuus sekä korkeat aloituskustannukset. Kaupallinen tehotuotanto on toistaiseksi ollut vaatimatonta, näin ollen aquaponicsin taloudellisesta tuottavuudesta on vähäisesti tutkimustuloksia. Tutkimuksemme tarkoitus oli tuottaa lisää tietoa kasvien kasvusta ja laadusta aquaponic-systeemeissä ja selvittää, onko veden alkuperällä ja lannoituksella vaikutusta niihin. Mittasimme eri ravintokasvien kasvua aquaponic- ja hydroponic-systeemeissä käyttäen vertailukriteereinä sekä biologisesti tärkeitä tutkimusmuuttujia että kaupalliseen hyödyntämiseen vaikuttavia tekijöitä: kasvien tuoremassaa, juurten pituutta ja tuoremassaa, lehtipinta-alaa sekä kasvien väriä, hajua ja makua. Koeasetelmamme käsitti 12 kasvatusallasta, joissa kasvatimme kahta keräsalaatin (*Lactuca sativa* var. *capitata*) tyyppiä (jäävuorisalaatti ja bataviasalaatti) sekä punalehtistä basilikaa (*Ocimum basilicum*) kuuden viikon ajan seuraamalla niitä viikoittain. Käytimme kasvatusliuoksen osalta kahta käsittelyä: veden alkuperä (tasot: porakaivo/aquaponic-systeemi) ja lannoitus (tasot: lannoitettu/lannoittamaton). Aikaisempiin tutkimuksiin perustuen odotimme, että kasvilannoitetta saaneet kasvit kasvaisivat suuremmiksi kuin lannoittamatonta vettä saaneet. Tuloksemme koko kasvin tuoremassan, juurten tuoremassan, juurten pituuden ja lehtipinta-alan osalta tukivat tätä hypoteesia. Hypoteesimme siitä, että aquaponic-vesi ja lannoitus yhdessä johtaisivat joko yhtä hyvään tai parempaan kasvien kasvuun kuin mihin lannoite tai aquaponic-vesi johtaisivat yksinään, sai tukea koko kasvin ja juurten tuoremassan sekä lehtipinta-alan osalta. Basilikan tuoremassaan tai pinta-alaan käsittelyllä ei ollut merkitsevää vaikutusta, bataviasalaatti puolestaan kasvoi muita lajeja suuremmaksi useamman eri tutkimusmuuttujan osalta. Keskeinen tulos viittaa siihen, ettei minkään kasvin kasvua tai laatua ilmentävän tutkimusmuuttujan eikä minkään kasvilajin kohdalla ole havaittavaa eroa hydroponic- ja aquaponic-viljelyn, eli lannoitetun porakaivoveden ja lannoittamattoman aquaponic-veden välillä.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science

Department of Biological and Environmental Science

Aquatic Sciences

Lehmonen, R. & Sireeni, J.: Comparison of plant growth and quality in hydroponic and aquaponic systems

Bachelor of Science Thesis: 27 p.

Supervisors: PhD Juhani Pirhonen, PhD Timo Marjomäki

Inspectors: PhD Juhani Pirhonen, PhD Timo Marjomäki

February 2017

Key Words: aquaculture, fertilizing, food production, hydroculture, *Lactuca sativa*, *Ocimum basilicum*, sensory assessment

ABSTRACT

Combined aquaculture and cultivation of plants in water, referred to as aquaponics, seems promising in relieving the global problems in food production, because the amount of nutrients needed for hydroculture is lower as in aquaponics the nutrients from fish wastes are used to produce plant crops. Therefore, aquaponics has the potential to maximize food production with fewer resources, but the complexity and high capital costs of aquaponic systems have been hindering their use on a larger scale. Due to moderate commercial production there isn't much scientific literature on profitability of aquaponics. The aim of our study was to yield more science-based information on plant growth and quality in an aquaponic system, and to find out whether the source and fertilization of water affect them. We measured the growth of different edible plants in aquaponic and hydroponic systems, comparing both biologically relevant variables as well as variables related to capitalizing the crops: the fresh mass of the plants, the length and fresh mass of the roots, leaf area and the color, smell and taste of the plants. Our experimental setup included 12 tanks in which we cultivated and monitored two types (iceberg and Batavian) of lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) and red basil (*Ocimum basilicum*) for six weeks. We used two solution treatments in our study: the source of the water (two classes: bore well/aquaponics) and fertilization (added fertilizer/no fertilizer). Based on previous research we expected that the plants that received fertilizer would grow bigger than the plants that did not. Our results on the fresh mass of the whole plant, the fresh mass of the roots, the length of the roots and the leaf area supported this hypothesis. We also hypothesized that together the fertilizer and the water from aquaponic system would result in as good or even better growth than either one of them on their own. This hypothesis was supported by the results on the fresh mass of the whole plant, the fresh mass of the roots and the leaf area. Treatment did not have statistically significant effect on fresh mass or leaf area of basil, whereas comparing various variables Batavian lettuce grew larger than the other species. What can be seen as the most important result of this study is that no significant difference was identified in any of the variables measuring the growth and quality, nor in any of the plant species, between the plants cultivated in hydroponic and aquaponic solutions, i.e. fertilized bore well water and unfertilized water from the aquaponic system.

Sisältö

1. JOHDANTO	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	6
2.1. Tutkimuslajit	6
2.2. Koeasetelma	6
2.3. Vastemuuttujien mittaaminen ja arviointi	7
2.4. Tilastoanalyysit	10
3. TULOKSET	11
3.1. Veden taustamuuttujat.....	11
3.2. Tuoremassa.....	13
3.3. Juuret	14
3.4. Lehtipinta-ala.....	15
3.5. Lehtien väri.....	16
3.6. Kasvin haju.....	17
3.7. Kasvin maku.....	18
4. TULOSTEN TARKASTELU	18
4.1. Veden taustamuuttujat.....	18
4.2. Tuoremassa.....	19
4.3. Juuret	20
4.4. Lehtipinta-ala.....	20
4.5. Lehtien väri.....	21
4.6. Kasvin haju.....	22
4.7. Kasvin maku.....	23
4.8. Päätelmät	24
KIITOKSET	25
KIRJALLISUUS	25
LIITTEET	

1. JOHDANTO

Ruoan tuottamiseen liittyvät haasteet ja uudet teknologiat ovat nykyään vahvasti esillä niin mediassa kuin tutkimusmaailmassakin. Tiedemaailma tuottaa tutkimuksia hyönteisistä ihmisravintona ja laboratorioissa viljeltävästä keinolihasta. Tälle kiinnostukselle on kuitenkin syynsä: arvioidaan, että vuonna 2030 maailman ihmispopulaatio on yli 8 miljardia ja heistä noin 4–8 % tulee kärsimään kroonisesta aliravitsemuksesta riippuen siitä, millä keinoin tätä pyritään ehkäisemään (FAO ym. 2015). Erityisesti uusia proteiinin lähteitä tarvitaan. Kalavarat ovat pitkään turvanneet monien ihmisten proteiinin saannin, mutta nyt merien varannot ovat hiipumassa (Pauly ym. 2000). Ruoantuotannossa povataan vesiviljelyn ”sinistä vallankumousta”, kaikki tähän sektoriin kuuluva kerää nyt tutkijoiden mielenkiintoa (Neori ym. 2007). Aquaponic-tiljely, eli samaan vesikiertoon yhdistetty kalanviljely ja kasvien vesiviljely, on herättänyt myös meidän mielenkiintomme. Kasvien hydroponisessa tiljelyssä eli vesiviljelyssä maanpäällisiä kasveja kasvatetaan maan aineksen sijaan ravinneliuoksessa eli vedessä, johon on liuotettu kasvien tarvitsemia ravinteita (Gericke 1937). Aquaponic-systeemissä viljellään kasvien lisäksi kaloja, joiden ulosteet poistetaan ja jätevesi siirtyy biosuodattimeen, jossa mikrobitoiminta hapettaa kaloista erittyvän ammoniakkin nitraateiksi (Rakocy ym. 2006). Tässä biosuodatetussa vedessä voidaan viljellä erilaisia hyötykasveja. Meidän kiinnostuksemme kohteena oli näiden hydroponisesti viljeltyjen hyötykasvien kasvu ja laatu.

Aquaponic-tiljelyn toimivuutta on tutkittu ja kehitetty paljon. Viime aikoina julkaistujen raporttien ja tutkimusten määrä onkin kasvanut kiihtyvällä vauhdilla. Optimistisimpien haaveiden mukaan tekniikan avulla voitaisiin jopa ratkaista joidenkin alueiden ruoantuotantoa koskevat ongelmat kestävän kehityksen aatetta hylkäämättä (COST 2013, EPRS 2015). Tutkimustyöstä huolimatta tekniikan hyödyntäminen kaupallisessa mittakaavassa on kuitenkin ollut melko vaatimatonta (Love ym. 2015). Varsinkin kasvien hydroponisen tehotuotannon laajuuteen verrattuna aquaponic-tiljelyn hyödyntäminen on ollut vielä suppeaa. Monimutkaisuutensa lisäksi aquaponic-systeemissä on paljon kasvun volyyymiä rajoittavia tekijöitä, jotka tekevät kaupallisesta tehotuotannosta haastavaa (Goddek ym. 2015). Suurimpia kiertovesiviljelyä vaivaavista ongelmista on systeemin mikrobitoiminnan veteen tuottama ja kerryttämä geosmiini ja metyyliisoborneoli, jotka tekevät kasvatettavista kaloista tunkkaisen ja mutaisen makuisia (Tucker 2000, Robertson ym. 2006). Aquaponic-tiljelyn tuottavuutta ja kannattavuutta voitaisiinkin parantaa vaikuttamalla eritoten kasvatettavien elintarvikkeiden kasvuun ja laatuun.

Hydroponic-systeemeissä kasvien kasvuolot ja ravinnevaatimukset on usein optimoitu kasvatettavan kasvilajin vaatimusten mukaan ja sen mukaan, mihin kasvin ominaisuuksiin halutaan vaikuttaa (Raviv ym. 2007). Kalojen rehu sisältää suurimman osan kasvien tarvitsemista ravinteista (Rakocy ym. 2006), mutta aikaisemman tutkimustiedon perusteella (Graber & Junge 2009) näyttää siltä, että aquaponic-systeemin vedessä kasvaneet kasvit ovat heikompileatuisia kuin kasvilannoitetta saaneet. Tästä heräsi kysymys, voisiko aquaponic-systeemissä kasvatettavien kasvien laatua tai kasvua parantaa lisäämällä kasvatusliuokseen ravinteita. Aihetta on tutkinut Licamele (2009), jonka tutkimuksessa vertailtiin keräsalaatin (*Lactuca sativa* cv. Rex) kasvua hydroponisessa liuoksessa ja lisälannoitetussa aquaponic-liuoksessa. Keräsalaatin biomassan kasvu ja lehtivihreän määrä aquaponic-systeemissä, johon oli lisätty ravinteita, osoittautui yhtä suureksi tai suuremmaksi kuin keräsalaatin, joka kasvoi hydroponisessa liuoksessa (Licamele 2009).

Tutkimuksessamme kasvatimme kolmea eri kasvilajia lauttaviljelymenetelmällä neljässä erilaisessa liuoksessa (lannoittamaton aquaponic-systeemin vesi, lannoitettu aquaponic-systeemin vesi, lannoitettu porakaivovesi, lannoittamaton porakaivovesi). Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako viljelyliuos kasvien kasvuun ja/tai laatuun ja onko käsittelyillä yhdysvaikutusta, eli voimistavatko tai heikentävätkö ne toistensa vaikutusta. Vastemuuttujina käytimme kasvien tuoremassaa, juurten pituutta ja tuoremassaa, lehtien pinta-alaa, kasvin väriä sekä (subjektiivista) hajua ja makua. Aiempiin tutkimustuloksiin perustuen odotimme, että kasvien kasvussa ja laadussa on eroja eri käsittelyiden välillä ja tutkimushypoteesimme olikin, että kasvilannoitetta saaneet kasvit kasvavat suuremmiksi kuin lannoittamatonta vettä saaneet. Aquaponic-veden ja lannoituksen yhteisvaikutuksen odotimme johtavan joko yhtä hyvään tai parempaan kasvien kasvuun kuin pelkässä lannoitetussa porakaivovedessä tai lannoittamattomassa aquaponic-vedessä.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Tutkimuslajit

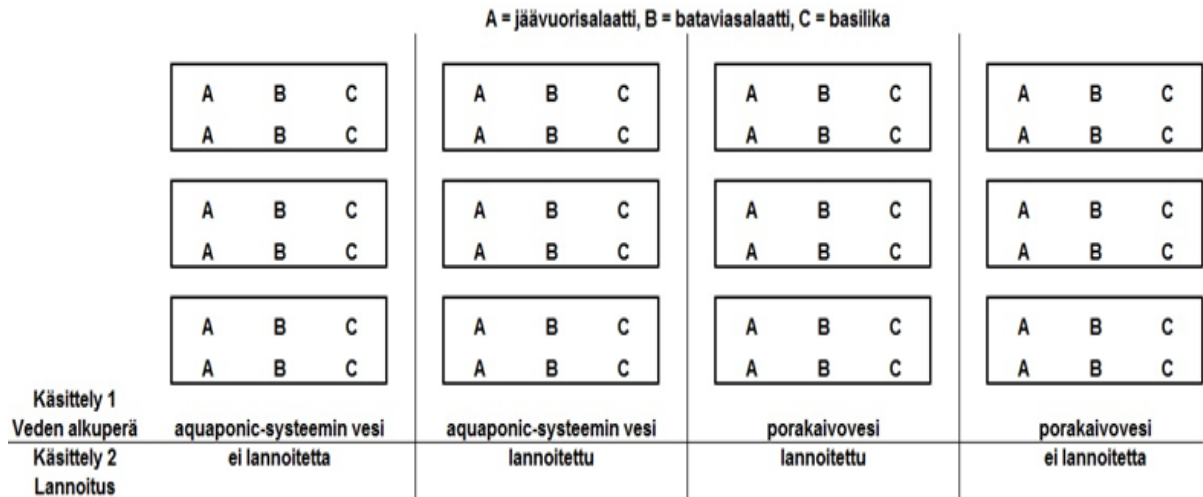
Tutkimuksen aquaponic-systeemin kalalajina käytettiin jättikonnamonnia (*Clarias gariepinus*), joka oli kasvatettu Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen kasvatusaltaissa. Kasvilajeina tutkimuksessa käytettiin kahta keräsalaatin (*L. sativa* var. *capitata*) tyyppiä (jäävuorisalaatti ja bataviasalaatti eli lollo rosso) sekä punalehtistä basilikaa (*Ocimum basilicum*). Kyseisiä kasvilajeja oli onnistuneesti kasvatettu aiemmin bio- ja ympäristötieteiden laitoksen aquaponic-systeemissä, minkä vuoksi ne valittiin tutkimukseen.

2.2. Koeasetelma

Tutkimuksessa käytetyt kasvit idätettiin siemenistä kivivillaisilla kasvatusalustoilla kahden ja puolen viikon ajan Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen kasvihuoneessa. Luonnonvalon lisäksi kasvien valonsaanti taattiin kasvilampuilla, joiden valojakso oli ajastettu vuodenajan luonnollisen valojakson mittaiseksi. Kutakin eri kasvilajiketta kasvatettiin 24 yksilöä. Lämpötila kasvihuoneessa pyrittiin pitämään välillä 18–22 °C koko kokeen keston ajan.

Idätysjakson jälkeen taimet luokiteltiin suuntaa-antavaan suuruusjärjestykseen: suuret, keskikokoiset ja pienet yksilöt. Suuruusjärjestyksen avulla varmistettiin se, ettei yhteen käsittelyyn tai altaaseen osunut sattumalta vain suuria yksilöitä ja toiseen pieniä. Näistä joukoista taimet jaettiin satunnaisesti neljään eri joukkoon, kustakin kolmeen replikaattialtaaseen. Näin ollen kokeessa oli yhteensä 12 allasta, joista kolme sai kokeen aikana lannoittamatonta vettä aquaponic-systeemistä, kolme sai lannoitettua aquaponic-systeemin vettä, kolme sai lannoitettua porakaivovettä ja loput kolme lannoittamatonta porakaivovettä, mikä toimi kontrollina (Kuva 1).

Kokeet tehtiin vajaassa kuudessa viikossa ajanjaksolla 18.4.–27.5.2016. Lannoitteena käytettiin Advanced Hydroponics of Holland -valmistajan Dutch Formula -sarjan Advanced Hydroponics of Finland Grow -lannoitetta pakkauksen ohjeistuksen mukaan. Kuhunkin altaaseen sijoitettiin kuusi taimea, kaksi kutakin kasvilajiketta. Kasvatusaltaina käytettiin läpinäkymättömiä muovisia laatikoita (Bekuplast basicline 11,2 l, 400x300x120 mm), joiden päälle asetettiin koko suuaukon peittävät polystyreenilevyt (ns. ‘floating raft’ eli lauttaviljely). Levyihin oli porattu kunkin taimen kasvatusruukulle (halkaisija 53 mm, korkeus 53 mm) sopivat reiät niin, että kasvatusruukku juuri peitti reiän (Kuva 2). Kukin allas ilmastettiin akvaarioilmastimen avulla.



Kuva 1. Koeasetelman malli. Kokeessa käytettiin 12 kasvatusallasta, kahta eri käsittelyä (joista kummassakin kaksi tasoa) sekä kolmea eri kasvilajia. Varsinaisessa kokeessa kasvien ja altaiden sijainti satunnaistettiin ja altaiden keskinäistä järjestystä muutettiin viikoittain.

Kunkin kasvatusaltaan vesi vaihdettiin kerran viikossa. Aquaponic-systeemin vesi saatiin bio- ja ympäristötieteiden laitoksen aquaponic-systeemistä ja porakaivovesi laitoksen porakaivosta. Vesi kuljetettiin kasvatusaltauksiin erillisissä saaveissa, joihin vesi siirrettiin jo vedenvaihtoa edeltävänä päivänä lämpötilaerojen tasaamiseksi. Ennen veden viikoittaista vaihtamista saaveista kasvatusaltauksiin sekä saaveissa että kasvatusaltauksissa olevan veden pH ja sähkönjohtavuus mitattiin Eutech 450 -anturilla. Nitraatin, fosfaatin ja raudan määrä mitattiin kokeen aloituspäivänä sekä ensimmäisenä mittauspäivänä (22.4.2016) JBL-tippatesteillä taustamuuttujien määrittämiseksi. Toisella mittauskerralla altaista määritettiin JBL-tippatesteillä ammoniakkin ja ammoniumin määrä. Toisesta viikosta eteenpäin kunkin altaan nitraatin määrä määritettiin digitaalisella nitraattianturilla (Vernier LabQuest, Vernier Software & Technology, Beaverton, USA), sillä tippatestit havaittiin epätarkoiksi. Ennen täyttämistä uudella vedellä altaat puhdistettiin vesijohtovedellä ja tiskiharjalla mahdollisten biofilmikasvustojen poistamiseksi. Lannoitekäsittelyn altaisiin lisättiin vedenvaihdon jälkeen lannoitetta valmistajan ohjeen mukaan (2 ml l⁻¹). Altaiden keskinäistä sijaintia vaihdettiin mahdollisten paikallisten kasvuolosuhteiden erojen tasaamiseksi, minkä jälkeen altaat täytettiin vedellä yläreunaan asti ja kasvilautta asetettiin takaisin paikoilleen.

2.3. Vastemuuttujien mittaaminen ja arviointi

Kasvien kasvua ja laatua arvioitiin seitsemän muuttujan avulla: kasvin tuoremassa, juurten pituus, juurten tuoremassa, lehtipinta-ala, lehtien väri sekä kasvin haju ja maku. Hajua ja makua arvioitiin vasta koejakson lopuksi. Muita muuttujia mitattiin viikoittain ennen veden vaihtamista. Jokaisen taimiruukun massa mitattiin kokeen alussa ja sen jälkeen viikoittain tarkkuusvaa'an avulla gramman kymmenyksen tarkkuudella. Viimeisen mittauksen ohessa kasveista mitattiin paitsi niiden tuoremassa kokonaisuudessaan ruukun kanssa, myös juurten tuoremassa ja muun kasvin tuoremassa erikseen, ilman ruukkua. Juurten pituus mitattiin viivaimella yhden millimetrin tarkkuudella asettamalla kasvin juuret mahdollisimman suoraksi viivaimen päälle ja mittaamalla juuren maksimipituus. Lehtipinta-ala arvioitiin ottamalla viikoittain valokuva suoraan kasvatusaltaan yläpuolelta noin 50 cm korkeudelta. Valokuvasta leikattiin erikseen kasvatuslautan alue, jonka korkeus (pisin sivu) skaalattiin 2000 pikseliin ja jonka päälle luotiin GNU Image Manipulation Program -ohjelmiston avulla ruudukko (Kuva 3). Ruudun sivu oli 20, 40 tai 80 pikseliä riippuen kasvien suuruudesta silmämääräisesti arvioituna. Kuvasta laskettiin kunkin yksittäisen kasvin peittävien ruutujen määrä (kasvin laskettiin peittävän ruutu, mikäli sen

peittävyys oli silmämääräisesti arvioituna yli 50 %). Microsoft Office 365 Excel -taulukkolaskentaohjelmiston avulla laskettiin kasvien lehtipinta-ala kertomalla yhden ruudun koko senttimetreinä kasvin peittämien ruutujen lukumäärällä. Tällaista valokuvamääritystä on aiemmin käytetty esimerkiksi levien sekä liikkuvien ja liikkumattomien selkärangattomien runsauden arviointiin (Pech ym. 2004, Kurle ym. 2008).



Kuva 2. Kokeessa käytettiin 12 kasvatusallasta, joista kussakin kasvatettiin kuutta eri taimea, kaksi kutakin lajia (jäävuorisalaatti, basilika ja bataviasalaatti). Altaiden 1 ja 2 kasvit olivat mitattavina kuvaushetkellä, minkä vuoksi lautat ovat tyhjillään. Kuvassa oikealla näkyvät akvaarioilmastimet.

Lehtien väri arvioitiin 11- (jäävuorisalaatti) tai 16-portaisella (bataviasalaatti ja basilika) väriasteikolla (Liite 1). Jäävuorisalaatille luotiin oma asteikkoliuskansa valkoisesta vaaleanvihreän kautta tummanvihreään kasvin luonnollisten värimuotojen mukaisesti. Bataviasalaatille ja basilikalle luotiin yhteinen asteikkoliuska, jonka värisävyt liukuivat haalean punaruskeasta syvään punaviolettiiin kasvien luonnollisten värimuotojen mukaan. Kunkin kasviyksilön lehtiä verrattiin viikoittain näihin väriasteikkoliuskoihin ja niiden väriaste määritettiin. Kumpikin tutkijoista arvioi ensin värin itsenäisesti, jonka jälkeen tuloksia vertailtiin ja niiden poiketessa toisistaan valittiin näiden keskiarvo. Rajallisista aika- ja henkilöstöresursseista johtuen värin arviointi toteutettiin ilman ulkopuolista avustajaa siten, että arvioijat tiesivät, minkä kasvin väriä he kulloinkin arvioivat, sokkouttamisen sijaan. Kolmannella mittausviikolla toisena väriarvioijana oli Roope Lehmosen sijaan Mikko Mäkinen.



Kuva 3. Pinta-alan arviointikuva, allas 1, mittausviikko 4. Kasvit 1.1. ja 1.2. ovat jäävuorisalaatteja, kasvit 1.3. ja 1.4. basilikoja ja kasvit 1.5. ja 1.6. bataviasalaatteja. Valokuvan päälle tehdyn punaisen ruudukon avulla arvioitiin kunkin kasvin lehtipinta-ala kertomalla kasvin peittämien ruutujen määrä (kpl) ruudun pinta-alalla (cm^2).

Kokeen viimeisellä viikolla tehtiin maku- ja hajutestit. Testeihin hankittiin 14 vapaaehtoista koearvioijaa mukaan lukien tutkimuksen suorittajat itse. Samassa käsittelyssä kasvaneet saman kasvilajin edustajat laitettiin samoihin astioihin ja kasvit pilkottiin saksilla pieniksi ja syntynyt silppu sekoitettiin hyvin näytteiden yhtenäistämiseksi. Arviointi tehtiin tarjoamalla sokkotestissä koehenkilöille haistettavaksi ja maistettavaksi lusikallinen näytettä jokaisesta eri käsittelyissä kasvaneesta kasvista, eli yhteensä 12 eri arvioitavaa näytettä, niin kauan kuin näytteitä riitti. Joidenkin lajien ja käsittelyjen kohdalla sato jäi niin pieneksi, ettei niistä riittänyt tarjottavaksi kaikille koehenkilöille. Koehenkilön silmät peitettiin niin, ettei tämä saanut tietää, mistä käsittelystä mikäkin näyte oli peräisin. Koehenkilöä pyydettiin arvioimaan jokaisesta näytteestä neljää asiaa: ensin hajun voimakkuus ja hajun miellyttävyys, tämän jälkeen maun voimakkuus ja maun miellyttävyys asteikolla 1–5 (1 miedoin/epämiellyttävän, 5 voimakkain/miellyttävän).

2.4. Tilastoanalyysit

Kasvien kasvua ja laatua mittaavia vastemuuttujia ja käsittelyjen välillä ilmeneviä eroja analysoitiin IBM SPSS Statistics 22 -ohjelmistolla. Taustatekijöinä selvitettiin, oliko kasvien kuolleisuudessa eroa eri käsittelyjen välillä. Kuolleisuus kokeen aikana oli suurehkoa ja 72 idätetystä kasvista vain 31 selvisi koejakson loppuun asti. Kuolleisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa eri käsittelyissä (khiin neliö -testi, $\chi^2 = 2,436$, $df = 3$, $p = 0,487$), joten kuolleet kasvit voitiin jättää huomioimatta ja lopuissa analyyseissä käytettiin vain selvinneiden 31 kasvin mittaustuloksia. Havaintoaineiston ollessa näin pieni, etenkin sen jakaantuessa useisiin eri käsittelyihin ja kasvilajeihin, tilastollisten testien voimakkuus on niin pieni, ettei niiden avulla ole mahdollista havaita täyttääkö aineisto tilastoanalyysien oletukset normaalisuudesta tai varianssien yhtäsuuruudesta. Oletukset kuitenkin testattiin rutiininomaisesti kunkin analyysin yhteydessä, mutta merkitseviä poikkeamia ei pystytty havaitsemaan. Useassa analyysissä oletukset jouduttiin jättämään huomioimatta vähäisten havaintojen vuoksi. Koska replikaatteja ei ollut riittävästi, eivät normaalisuus- ja varianssitestit juurikaan tarjoa tietoa perusjoukosta ja niiden avulla on epätodennäköistä havaita poikkeamia. Jos otos ei ole peräisin normaalijakautuneesta perusjoukosta, riski hylätä nollahypoteesi ja tehdä 1. tyyppin päättelyvirhe on suurempi, kuin silloin kun normaalisuusoletus täyttyy, sillä analyyseillä on tällöin taipumusta liioitella p-arvoa pienempään suuntaan. Tämä otettiin tuloksissa huomioon tulkitsemalla niitä varovaisesti.

Allasefektit eli eri altaiden välillä oleva mahdollinen vaihtelu pyrittiin ennaltaehkäisemään satunnaistamalla sekä kasvien sijoittelu, että altaiden sijainti. Allasefektin merkitsevyys arvioitiin vertaamalla kunkin käsittelyn replikaattialtaiden tuloksia eri muuttujien osalta toisiinsa yksisuuntaisella varianssianalyysillä, jolloin havaittiin, ettei eri käsittelyjen replikaattialtaiden välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa kasvien mittaustuloksissa. Vedestä mitattujen taustamuuttujien (pH, lämpötila, sähkönjohtavuus ja nitraattipitoisuus) eroa käsittelyjen välillä tarkasteltiin varianssianalyysien avulla.

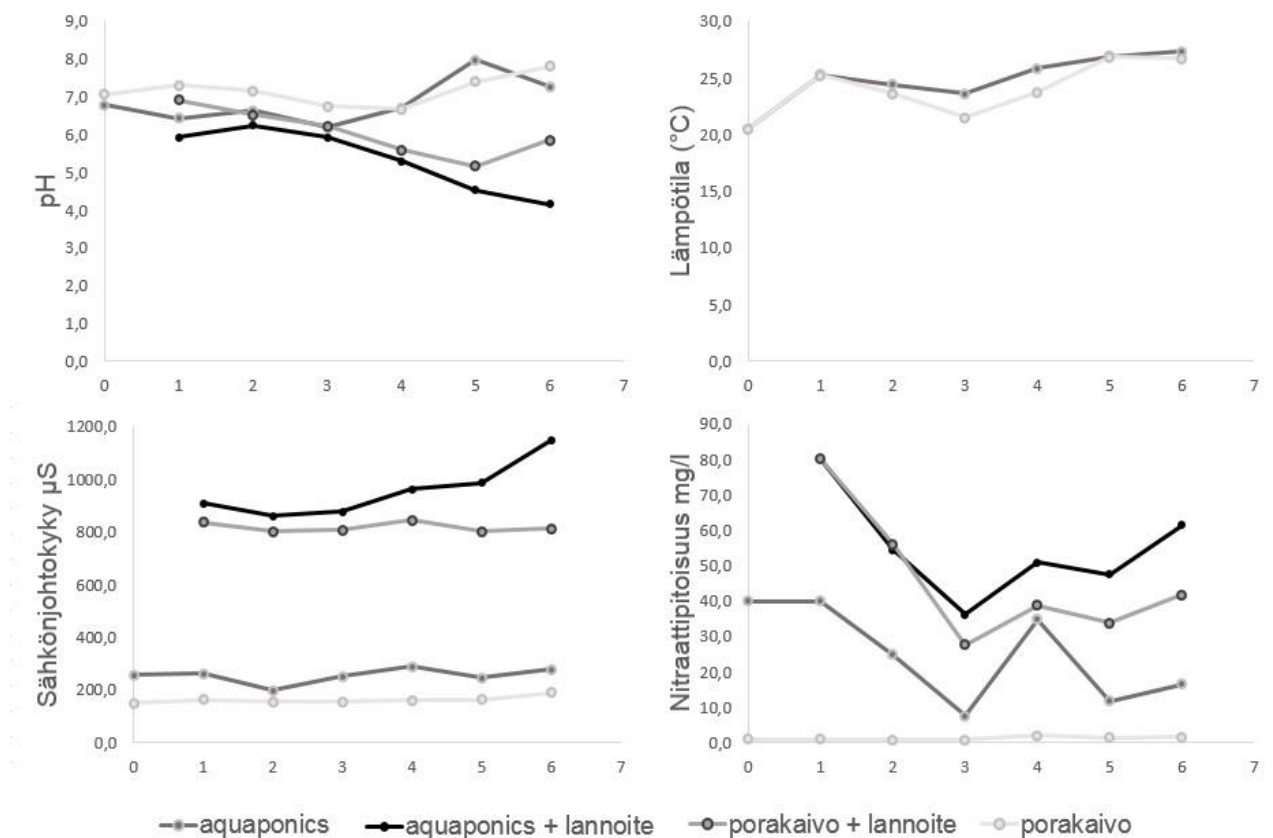
Kasvin tuoremassan, juurten pituuden, juurten tuoremassan (viimeisen viikon mittaus) ja lehtipinta-alan muutosta alku- ja loppumittauksen välillä ja muutosten suhdetta selittäviin tekijöihin (käsittelyt eli veden alkuperä ja lannoitus sekä kasvilaji) tutkittiin kolmisuuntaisen varianssianalyysin avulla. Kolmisuuntainen varianssianalyysi tehtiin kunkin vastemuuttujan kohdalla sekä muuntamattomalle että logaritimuunnetulle aineistolle. Kasvien lehtien värin eroa käsittelyjen välillä ei voitu laskea muuntamattomalla aineistolla, sillä käytetty väriasteikko oli järjestysasteikollinen (ts. ei voida sanoa, että väriluokkien 1 ja 2 sekä 4 ja 5 välinen ero on yhtä suuri), joten värin osalta muuttujana analyyseissä käytettiin viimeisen mittauksen rank-muunnettuja tuloksia. Tällöin mitatut värit muunnettiin SPSS-ohjelmistolla järjestyslukuiksi, jolloin ANOVAn oletus siitä, että mitta-asteikon tulisi olla vähintään välimatka-asteikollinen, täyttyi. Tuloksia tulkittaessa otettiin huomioon, että analyysin perusteella voidaan sanoa, minkä ryhmien välillä värissä oli eroa ja mihin suuntaan ero oli, mutta keskiarvojen erotukset eivät edusta todellisten värien vaan niiden järjestyslukujen erotusta.

Maku- ja hajutesteistä saadut tulokset analysoitiin Friedmanin testillä, joka soveltuu mielipideasteikolle. Kaksisuuntaisen testin käsittelyinä ovat itse kasvien käsittely eli vesi, jossa kasvit ovat kasvaneet (4 tasoa), sekä makua ja hajua arvioiva henkilö (14 tasoa). Friedmanin testin havaitessa tilastollisesti merkitseviä eroja tehtiin Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testi sen selvittämiseksi, minkä ryhmien välillä eroja esiintyi.

3. TULOKSET

3.1. Veden taustamuuttujat

Veden lämpötilassa ei ollut merkitseviä eroja käsittelyjen välillä (ANOVA, $F = 0,225$, $df = 3$, $p = 0,876$). Veden pH:n (ANOVA, $F = 142,793$, $df = 3$, $p < 0,001$), sähkönjohtavuus (ANOVA, $F = 1905,814$, $df = 3$, $p < 0,001$) ja nitraatin (ANOVA, $F = 1020,216$, $df = 3$, $p < 0,001$). Sähkönjohtavuuden ja nitraattipitoisuuden kohdalla käsittelyjen järjestys korkeimmasta matalimpaan oli 1. lannoitettu aquaponic-vesi, 2. lannoitettu porakaivovesi, 3. lannoittamaton aquaponic-vesi ja 4. lannoittamaton porakaivovesi (Fisherin LSD post hoc -testi) (Kuva 4). Veden pH:n osalta järjestys korkeimmasta matalimpaan oli päinvastainen. Aquaponic-veden tai porakaivoveden pH ei muuttunut merkitsevästi kasvatusviikon aikana (viikon altaassa olleen veden ja uuden veden välinen riippuvien otosten t -testi, aquaponic-vesi $t = -0,964$, $df = 5$, $p = 0,379$, porakaivovesi $t = -2,263$, $df = 5$, $p = 0,073$).



Kuva 4. Veden taustamuuttujat pH, lämpötila, sähkönjohtavuus ja nitraattipitoisuus kunkin koeviikon lopussa (vaaka-akselilla aika viikkoina).

Taulukko 1. Kasvien kasvua mittaavien muuttujien keskiarvot koejakson lopussa lajeittain ja käsittelyittäin. Yksikään lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvaneista basilikoista ei selvinnyt koko koejakson kuutta viikkoa, minkä vuoksi käsittelyn basilikojen kasvua ei voitu mitata.

	Tuoremassa (g)	Juurten pituus (cm)	Juurten tuoremassa (g)	Lehtipinta-ala (cm ²)
Jäävuorisalaatti				
Aquaponics	18,65	22,87	2,90	48,16
Aquaponics + lannoite	47,40	17,37	5,40	100,83
Porakaivo + lannoite	21,50	22,73	3,15	33,55
Porakaivo	0,68	22,73	0,63	1,85
Basilika				
Aquaponics	1,35	18,20	1,00	5,94
Aquaponics + lannoite	-	-	-	-
Porakaivo + lannoite	0,10	0,00	0,00	0,49
Porakaivo	0,10	1,60	0,00	0,20
Bataviasalaatti				
Aquaponics	11,40	19,23	0,60	8,16
Aquaponics + lannoite	161,20	24,20	23,35	186,36
Porakaivo + lannoite	39,67	18,22	10,17	45,53
Porakaivo	0,73	23,07	1,15	2,79

Taulukko 2. Kasvien laatua mittaavien muuttujien keskiarvot koejakson lopussa lajeittain ja käsittelyittäin. Väriskaalan pisteet olivat jäävuorisalaatille 1–11 ja basilikalle ja bataviasalaatille 1–16. Haju- ja makutesteissä arvosteluasteikko oli 1–5 (1 miedoin/epämiellyttävän, 5 voimakkain/miellyttävän). Yksikään lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvaneista basilikoista ei selvinnyt koko koejakson kuutta viikkoa, minkä vuoksi käsittelyn basilikojen väriä ei voitu mitata. Haju- ja makutesteissä käytettiin lyhyemmän ajan (1–5 viikkoa) kasvaneita kasviyksilöitä.

	Lehtien väri (väriskaalan piste)	Hajun voimakkuus (arvosana)	Hajun miellyttävyys (arvosana)	Maun voimakkuus (arvosana)	Maun miellyttävyys (arvosana)
Jäävuorisalaatti					
Aquaponics	6	1,9	2,9	2,9	3,6
Aquaponics + lannoite	8	2,3	3,1	2,3	3,3
Porakaivo + lannoite	8	1,8	3,1	2,6	3,6
Porakaivo	7	1,3	3,0	2,9	2,7
Basilika					
Aquaponics	11	3,9	4,6	4,4	3,6
Aquaponics + lannoite	-	3,1	3,8	3,8	3,7
Porakaivo + lannoite	9	1,0	2,0	4,0	3,0
Porakaivo	8	2,2	3,8	4,2	4,0
Bataviasalaatti					
Aquaponics	6	1,8	3,3	2,8	3,0
Aquaponics + lannoite	8	1,8	3,1	3,0	3,1
Porakaivo + lannoite	6	1,8	2,9	3,7	2,7
Porakaivo	8	1,3	3,0	3,5	2,2

3.2. Tuoremassa

Kaikilla yksittäisillä selittävillä muuttujilla, eli veden alkuperällä, veden lannoituksella ja kasvilajilla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus tuoremassaan (Taulukko 3). Myös kaikki mahdolliset yhdysvaikutukset, eli veden alkuperän ja lannoituksen yhdysvaikutus, veden alkuperän ja kasvilajin yhdysvaikutus sekä veden alkuperän ja kasvilajin yhdysvaikutus olivat tilastollisesti merkitseviä. Veden lannoituksen ja kasvilajin yhdysvaikutus sekä veden alkuperän, lannoituksen ja kasvilajin kolmesuuntainen yhdysvaikutus olivat tilastollisesti merkitseviä. Logaritmimuunnetussa aineistossa merkitsevä vaikutus oli enää vain veden alkuperällä (ANOVA, $F = 8,695$, $df = 1$, $p = 0,008$) sekä lannoituksella (ANOVA, $F = 9,053$ $df = 1$, $p = 0,007$).

Veden alkuperä vaikutti siten, että aquaponic-vedessä kasvatettujen kasvien tuoremassa oli keskimäärin suurempi kuin porakaivovedessä kasvatettujen (Fisherin LSD, $MD = 37,539$, $p < 0,001$), lannoitus puolestaan siten, että lannoitetussa vedessä kasvatettujen kasvien tuoremassa oli keskimäärin suurempi kuin lannoittamattomassa vedessä kasvatettujen (Fisherin LSD, $MD = 48,490$, $p < 0,001$). Bataviasalaatit kasvoivat tuoremassaltaan keskimäärin suuremmiksi kuin jäävuorisalaatit (Fisherin LSD, $MD = 19,548$, $p = 0,028$) tai basilikat (Fisherin LSD, $MD = 39,150$, $p = 0,003$). Veden alkuperän ja lannoituksen välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvatettujen kasvien tuoremassa oli suurempi kuin kasvien, jotka kasvoivat joko lannoitetussa porakaivovedessä (Fisherin LSD, $MD = 83,878$ $p < 0,001$) tai lannoittamattomassa aquaponic-vedessä (Fisherin LSD, $MD = 93,833$, $p < 0,001$). Veden alkuperän ja kasvilajin välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että sekä jäävuorisalaatti että bataviasalaatti kasvoivat tuoremassaltaan suuremmiksi aquaponic-vedessä kuin porakaivovedessä: jäävuorisalaatti (Fisherin LSD, $MD = 21,938$, $p = 0,026$) sekä bataviasalaatti (Fisherin LSD, $MD = 66,104$, $p < 0,001$), mutta basilika ei (Fisherin LSD, $MD = 1,250$, $p = 0,944$). Veden lannoituksen ja kasvilajin yhdysvaikutus näkyi merkitsevästi bataviasalaatin (Fisherin LSD, $MD = 94,371$, $p < 0,001$) ja jäävuorisalaatin (Fisherin LSD, $MD = 24,787$, $p = 0,014$) tuoremassassa siten, että lannoitetussa vedessä ne kasvoivat suuremmiksi. Basilikalla tätä eroa tuoremassassa lannoituksen suhteen ei havaittu (Fisherin LSD, $MD = 0,625$ $p = 0,976$).

Taulukko 3. Veden alkuperän (aquaponics, porakaivo), veden lannoituksen (lannoitettu, lannoittamaton) ja kasvilajin (jäävuorisalaatti, basilika, bataviasalaatti) vaikutus kasvin loppumassaan (g) kuuden viikon kasvukauden jälkeen. A = Selityssaste $R^2 = 0,884$.

Vaihtelun lähde	Neliösumma	Vapausaste df	Keskineliö	Testisuure F	p-arvo eli merkitsevyys
Korjattu malli	47094,685 ^A	10	4709,469	15,234	<0,000
Leikkauspiste	18794,436	1	18794,236	60,794	<0,000
Veden alkuperä	7437,689	1	7437,689	24,059	<0,000
Veden lannoitus	10664,290	1	10664,290	34,496	<0,000
Kasvilaji	7011,199	2	3505,599	11,340	0,001
Veden alkuperä *	5643,792	1	5643,792	18,256	<0,000
Veden lannoitus *	3197,164	2	1598,582	5,171	0,015
Kasvilaji *	8081,624	2	4040,812	13,071	<0,000
Veden alkuperä *	4238,108	1	4238,108	13,709	0,001
Veden lannoitus *	6182,977	20	309,149		
Summa	73252,230	31			
Korjattu summa	53277,622	30			

3.3. Juuret

Ainoastaan kasvilajilla oli merkitsevää vaikutusta juurten pituuteen (Taulukko 4), vaikka juurten pituuksien keskiarvo vaihtelikin suuresti käsittelyjen välillä (Taulukko 1). Logaritmimuunnetulla aineistolla havaittiin merkitsevä vaikutus juurten pituuteen kasvilajin (ANOVA, $F = 12,722$, $df = 2$, $p < 0,001$) lisäksi myös veden alkuperällä (ANOVA, $F = 7,457$, $df = 1$, $p = 0,007$) sekä veden alkuperän ja kasvilajin yhdysvaikutuksella (ANOVA, $F = 8,068$, $df = 2$, $p = 0,001$). Selitysaste oli kuitenkin alhainen ($R^2 = 0,126$).

Veden alkuperällä ei havaittu olevan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta juurten pituuteen, mutta lannoitetussa vedessä kasvaneiden kasvien juuret olivat pidempiä kuin lannoittamattomissa (Fisherin LSD, $MD = 4,388$, $p = 0,017$). Kasvien välillä eroa juurten pituudessa oli vain bataviasalaatin ja basilikan välillä. Bataviasalaatin juuret olivat keskimäärin pidemmät kuin basilikalla (Fisherin LSD, $MD = 10,433$, $p = 0,012$). Veden alkuperän ja lannoituksen välinen yhdysvaikutus ilmeni merkitsevästi lannoitetussa porakaivovedessä, jossa juuret olivat keskimäärin pidempiä kuin lannoittamattomassa porakaivovedessä (Fisherin LSD, $MD = 6,145$, $p = 0,025$).

Taulukko 4. Veden alkuperän (aquaponics, porakaivo), veden lannoituksen (lannoitettu, lannoittamaton) ja kasvilajin (jäävuorisalaatti, basilika, bataviasalaatti) vaikutus juurten pituuteen (cm) kuuden viikon kasvukauden jälkeen. A = Selitysaste $R^2 = 0,126$.

Vaihtelun lähde	Neliösumma	Vapausaste df	Keskineliö	Testisuure F	p-arvo eli merkitsevyys
Korjattu malli	1037,098 ^A	9	115,233	1,695	0,099
Leikkauspiste	10004,115	1	10004,115	147,152	<0,000
Veden alkuperä	20,524	1	20,524	,302	0,584
Veden lannoitus	36,437	1	36,437	,536	0,466
Kasvilaji	711,195	2	355,598	5,231	0,007
Veden alkuperä *	,053	1	,053	,001	0,978
Veden lannoitus					
Veden alkuperä *	149,210	2	74,605	1,097	0,338
Kasvilaji					
Veden lannoitus *	1,408	1	1,408	,021	0,886
Kasvilaji					
Veden alkuperä *					
Veden lannoitus *	79,532	1	79,532	1,170	0,282
Kasvilaji					
Virhe	7206,392	106	67,985		
Summa	36548,180	116			
Korjattu summa	8243,490	115			

Kaikilla yksittäisillä selittäväillä muuttujilla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus juurten tuoremassaan: veden alkuperällä, veden lannoituksella, sekä kasvilajilla (Taulukko 5). Yhdysvaikutuksista tilastollisesti merkitseviä oli veden alkuperän ja lannoituksen yhdysvaikutus sekä veden lannoituksen ja kasvilajin yhdysvaikutus. Logaritmimuunnetulla aineistolla merkitsevä vaikutus juurten tuoremassaan havaittiin ainoastaan lannoituksella (ANOVA, $F = 9,521$, $df = 1$, $p = 0,007$).

Veden alkuperä vaikutti juurten tuoremassaan siten, että aquaponic-vedessä kasvatettujen kasvien juurten tuoremassa oli keskimäärin suurempi kuin porakaivovedessä kasvatettujen (Fisherin LSD, $MD = 3,820$, $p = 0,013$). Lannoitus puolestaan vaikutti siten, että lannoitetussa vedessä kasvatettujen kasvien tuoremassa oli keskimäärin suurempi kuin lannoittamattomassa vedessä kasvatettujen (Fisherin LSD, $MD = 9,314$, $p < 0,001$). Bataviasalaatit kasvoivat tuoremassaltaan keskimäärin suuremmiksi kuin jäävuorisalaatit

(Fisherin LSD, MD = 6,421, $p < 0,001$) tai basilikat (Fisherin LSD, MD = 9,058, $p = 0,001$). Veden alkuperän ja lannoituksen välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvatettujen kasvien juurten tuoremassa oli suurempi kuin kasvien, jotka kasvoivat lannoitetussa porakaivovedessä (Fisherin LSD, MD = 7,717 $p = 0,001$) tai lannoittamattomassa aquaponic vedessä (Fisherin LSD, MD = 12,561, $p < 0,001$). Lannoitetussa porakaivovedessä kasvien juuret kasvoivat suuremmiksi kuin lannoittamattomassa porakaivovedessä (Fisherin LSD, MD = 6,067, $p = 0,005$). Veden alkuperän ja kasvilajin välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että sekä jäävuorisalaatti (Fisherin LSD, MD = 21,938, $p = 0,026$) että bataviasalaatti (Fisherin LSD, MD = 66,104, $p < 0,001$) kasvoivat tuoremassaltaan suuremmiksi aquaponic-vedessä kuin porakaivovedessä.

Taulukko 5. Veden alkuperän (aquaponics, porakaivo), veden lannoituksen (lannoitettu, lannoittamaton) ja kasvilajin (jäävuorisalaatti, basilika, bataviasalaatti) vaikutus juurten tuoremassaan (g) kuuden viikon kasvukauden jälkeen. A = Selityssaste $R^2 = 0,805$.

Vaihtelun lähde	Neliösumma	Vapausaste df	Keskineliö	Testisuure F	p-arvo eli merkitsevyys
Korjattu malli	1002,720 ^A	9	111,413	9,160	<0,000
Leikkauspiste	586,573	1	586,573	48,223	<0,000
Veden alkuperä	86,430	1	86,430	7,106	0,015
Veden lannoitus	499,849	1	499,849	41,094	<0,000
Kasvilaji	267,190	2	133,595	10,983	0,001
Veden alkuperä *	60,188	1	60,188	4,948	0,038
Veden lannoitus					
Veden alkuperä *	45,408	2	22,704	1,867	0,181
Kasvilaji					
Veden lannoitus *	235,225	1	235,225	19,338	<0,000
Kasvilaji					
Veden alkuperä *					
Veden lannoitus *	50,775	1	50,775	4,174	0,054
Kasvilaji					
Virhe	243,273	20	12,164		
Summa	1820,650	30			
Korjattu summa	1245,994	29			

3.4 Lehtipinta-ala

Tilastollisesti merkitsevä vaikutus lehtipinta-alaan havaittiin veden alkuperällä ja veden lannoituksella (Taulukko 6). Lisäksi veden alkuperän ja lannoituksen välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus, samoin kuten veden lannoituksen ja kasvilajin välillä. Suuntaa antava vaikutus lehtipinta-alaan todettiin sekä kasvilajilla että veden alkuperän ja lannoituksen sekä kasvilajin kolmisuuntaisella yhdysvaikutuksella. Logaritmimuunnetulla aineistolla merkitsevä vaikutus havaittiin vain veden lannoituksella (ANOVA, $F = 6,250$, $df = 1$, $p = 0,021$) sekä kasvilajilla (ANOVA, $F = 5,131$, $df = 2$, $p = 0,016$).

Veden alkuperä vaikutti siten, että aquaponic-vedessä kasvatettujen kasvien lehtipinta-ala oli keskimäärin suurempi kuin porakaivovedessä kasvatettujen (Fisherin LSD, MD = 48,131, $p < 0,001$). Lannoitus puolestaan vaikutti siten, että lannoitetussa vedessä kasvatettujen kasvien lehtipinta-ala oli keskimäärin suurempi kuin lannoittamattomassa vedessä kasvatettujen (Fisherin LSD, MD = 58,570, $p < 0,001$). Bataviasalaatit kasvoivat lehtipinta-alaltaan keskimäärin suuremmiksi kuin basilikat (Fisherin LSD, MD = 45,907, $p = 0,028$). Veden alkuperän ja lannoituksen välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvatettujen kasvien

lehtipinta-ala oli suurempi kuin kasvien, jotka kasvoivat joko lannoitetussa porakaivovedessä (Fisherin LSD, MD = 117,074, $p < 0,001$) tai lannoittamattomassa aquaponic-vedessä (Fisherin LSD, MD = 120,922, $p < 0,001$). Veden lannoituksen ja kasvilajin välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että sekä jäävuorisalaatti (Fisherin LSD, MD = 46,582, $p = 0,004$) että bataviasalaatti (Fisherin LSD, MD = 103,193, $p < 0,001$) kasvoivat lehtipinta-alaltaan suuremmiksi lannoitetussa kuin lannoittamattomassa vedessä, mutta basilika ei (Fisherin LSD, MD = 2,585, $p = 0,937$). Lannoitetussa vedessä kasvaneet bataviasalaatit kasvoivat lehtipinta-alaltaan keskimäärin suuremmiksi kuin jäävuorisalaatit (Fisherin LSD, MD = 48,751, $p = 0,008$) tai basilikat (Fisherin LSD, MD = 115,456, $p = 0,001$). Kasvilajien välistä suuntaa-antavaa eroa tarkasteltaessa havaittiin, että basilikat olivat käsittelystä riippumatta lehtipinta-alaltaan keskimäärin pienempiä kuin bataviasalaatit (Fisherin LSD, MD = -45,907, $p = 0,028$).

Taulukko 6. Veden alkuperän (aquaponics, porakaivo), veden lannoituksen (lannoitettu, lannoittamaton) ja kasvilajin (jäävuorisalaatti, basilika, bataviasalaatti) vaikutus kasvin lehtipinta-alaan (cm^2) kuuden viikon kasvukauden jälkeen. A = Selitysaste $R^2 = 0,824$.

Vaihtelun lähde	Neliösumma	Vapausaste df	Keskineliö	Testisuure F	p-arvo eli merkitsevyys
Korjattu malli	71879,39 ^A	10	7187,940	9,376	<0,000
Leikkauspiste	38967,099	1	38967,099	50,827	<0,000
Veden alkuperä	16781,420	1	16781,420	21,889	<0,000
Veden lannoitus	16920,396	1	16920,396	22,070	<0,000
Kasvilaji	4561,379	2	2280,690	2,975	0,074
Veden alkuperä *	9081,521	1	9081,521	11,846	0,003
Veden lannoitus *	1526,334	2	763,167	0,995	0,387
Kasvilaji *	5668,611	2	2834,306	3,697	0,043
Veden alkuperä *	3323,351	1	3323,351	4,335	0,050
Veden lannoitus *					
Kasvilaji					
Virhe	15333,106	20	766,655		
Summa	133874,662	31			
Korjattu summa	87212,505	30			

3.5. Lehtien väri

Koejakson lopussa kasvien lehtien keskimääräinen väri ei vaihdellut kuin kahdella (jäävuorisalaatti ja bataviasalaatti) tai kolmella (basilika) väriskaalan pisteellä (Taulukko2). Tilastollisesti merkitsevä vaikutus lehtien väriin havaittiin veden lannoituksella ja kasvilajilla (Taulukko 7). Lisäksi veden alkuperän ja lannoituksen välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus ja veden alkuperän ja kasvilajin välillä havaittiin suuntaa antava yhdysvaikutus. Logaritimuunnetulla aineistolla merkitsevä vaikutus havaittiin vain kasvilajilla (ANOVA, $F = 9,798$, $df = 2$, $p = 0,007$) sekä veden alkuperän ja kasvilajin yhdysvaikutuksella (ANOVA, $F = 9,232$, $df = 2$, $p = 0,008$).

Vaikka ANOVAn mukaan veden lannoituksella oli vaikutusta kasvin väriin, parittainen vertailu ei tätä eroa havainnut (Fisherin LSD, MD = 2,511, $p = 0,307$). Kasvilaji vaikutti siten, että basilikan lehdet olivat keskimäärin tummempia kuin jäävuorisalaatin (Fisherin LSD, MD = 9,885, $p = 0,012$) tai bataviasalaatin (Fisherin LSD, MD = 12,260, $p = 0,003$). Veden alkuperän ja lannoituksen välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvatettujen kasvien lehtien väri oli tummempi kuin kasvien, jotka kasvoivat lannoittamattomassa aquaponic-vedessä (Fisherin LSD, MD =

8,389, $p = 0,026$). Veden alkuperän ja kasvilajin välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että aquaponic-vedessä kasvatetut basilikat olivat tummempia kuin jäävuorisalaatit (Fisherin LSD, MD = 15,000, $p = 0,022$) tai bataviasalaatit (Fisherin LSD, MD = 16,333, $p = 0,016$). Porakaivovedessä kasvatetut basilikat puolestaan olivat tummempia kuin bataviasalaatit (Fisherin LSD, MD = 10,354, $p = 0,033$). Jäävuorisalaatin ja basilikan välillä lehtien tummuudessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Veden lannoituksen ja kasvilajin välinen suuntaa antava yhdysvaikutus ilmeni siten, että lannoitetussa vedessä kasvaneet jäävuorisalaatit kasvattivat keskimäärin tummempia lehtiä kuin lannoittamattomassa vedessä kasvaneet (Fisherin LSD, MD = 9,688, $p = 0,004$). Basilikalla tai bataviasalaatilla vastaavaa vaikutusta ei havaittu.

Taulukko 7. Veden alkuperän (aquaponics, porakaivo), veden lannoituksen (lannoitettu, lannoittamaton) ja kasvilajin (jäävuorisalaatti, basilika, bataviasalaatti) vaikutus kasvin lehtien väriin kuuden viikon kasvukauden jälkeen. A = Selitysaste $R^2 = 0,727$.

Vaihtelun lähde	Neliösumma	Vapausaste df	Keskineliö	Testisuure F	p-arvo eli merkitsevyys
Korjattu malli	1586,042 ^A	10	158,604	5,048	0,001
Leikkauspiste	6599,046	1	6599,046	210,035	<0,000
Veden alkuperä	69,896	1	69,896	2,225	0,152
Veden lannoitus	227,754	1	227,754	7,249	0,014
Kasvilaji	644,963	2	322,481	10,264	0,001
Veden alkuperä *	819,025	1	819,025	26,068	<0,000
Veden lannoitus					
Veden alkuperä *	208,729	2	104,364	3,322	0,058
Kasvilaji					
Veden lannoitus *	202,605	2	101,302	3,224	0,062
Kasvilaji					
Veden alkuperä *					
Veden lannoitus *	25,600	1	25,600	0,815	0,378
Kasvilaji					
Virhe	596,958	19	31,419		
Summa	9390,500	30			
Korjattu summa	2183,000	29			

3.6. Kasvin haju

Kasvatusvedellä oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus jäävuorisalaatin hajun voimakkuuteen, joskaan koehenkilöt eivät olleet täysin yksimielisiä arvosteluissaan (Taulukko 8). Tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kasvin hajun miellyttävyyteen ei havaittu millään kasvilajilla. Basilikan osalta Friedmanin testin tulos oli kuitenkin suuntaa antava, joten myös sen osalta suoritettiin ryhmien välinen post hoc -vertailu.

Taulukko 8. Kasvien hajun voimakkuus ja miellyttävyys kasvilajeittain eri käsittelyissä (lannoittamaton aquaponic-vesi, lannoitettu aquaponic-vesi, lannoittamaton porakaivovesi, lannoitettu porakaivovesi).

Hajun voimakkuus	N	χ^2 - testisuure	Vapausaste df	p-arvo eli merkitsevyys	Kendallin konkordanssikerroin W
Jäävuorisalaatti	12	8,196	3	0,042	0,228
Basilika	6	2,545	2	0,280	0,212
Bataviasalaatti	12	3,706	3	0,295	0,103
Hajun miellyttävyys					
Jäävuorisalaatti	12	1,474	3	0,688	0,061
Basilika	6	4,333	2	0,115	0,361
Bataviasalaatti	12	5,000	3	0,172	0,208

Vaikka Friedmanin testi havaitsi kasvatusvesien välillä olevan eroa jäävuorisalaatin hajun voimakkuudessa, ei Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testi havainnut vastaavaa Bonferroni-korjauksen jälkeen (jäävuorisalaatilla ja bataviasalaatilla Bonferroni-korjauksen mukaisesti H_0 hylätään ja tulos on tilastollisesti merkitsevä, mikäli $p < 0,0083$ ja basilikalle $p < 0,0167$). Ainoa Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testin tilastollisesti merkitsevä tulos oli basilikan hajun miellyttävyydessä lannoitetun aquaponic-veden ja lannoittamattoman aquaponic-veden välillä ($Z = -2,64$, $p = 0,008$). Koehenkilöt arvioivat lannoittamattomassa aquaponic-vedessä kasvaneiden basilikojen tuoksun miellyttävämmäksi kuin lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvaneiden.

3.7. Kasvin maku

Tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kasvin maun voimakkuuteen ei havaittu millään kasvilajilla (Taulukko 9). Kasvatusvedellä havaittiin olevan merkitsevä vaikutus kasvin maun miellyttävyyteen jäävuorisalaatin sekä bataviasalaatin kohdalla, joskaan koehenkilöt eivät olleet yksimielisiä arvosteluissaan.

Taulukko 9. Kasvien kasvatusveden (lannoittamaton aquaponic-vesi, lannoitettu aquaponic-vesi, lannoittamaton porakaivovesi, lannoitettu porakaivovesi) vaikutus maun voimakkuuteen ja miellyttävyyteen kasvilajeittain.

Maun voimakkuus	N	χ^2 - testisuure	Vapausaste df	p-arvo eli merkitsevyys	Kendallin konkordanssikerroin W
Jäävuorisalaatti	12	4,792	3	0,188	0,133
Basilika	6	3,875	2	0,144	0,323
Bataviasalaatti	12	4,778	3	0,189	0,133
Maun miellyttävyyys					
Jäävuorisalaatti	12	13,200	3	0,004	0,367
Basilika	6	4,308	2	0,116	0,359
Bataviasalaatti	12	9,545	3	0,023	0,265

Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testin avulla selvitettiin, minkä ryhmien välillä eroja ilmeni. Neljää käsittelyä vertaillaessa keskenään tehtiin kuusi parittaista testiä, jolloin Bonferroni-korjauksen mukaisesti H_0 hylätään ja tulos on tilastollisesti merkitsevä, mikäli $p < 0,0083$. Koehenkilöt arvostelivat lannoittamattomassa porakaivovedessä kasvaneen jäävuorisalaatin keskimäärin vähemmän maukkaaksi kuin lannoitetussa porakaivovedessä kasvaneen ($Z = -2,762$, $p = 0,006$). Muiden käsittelyjen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. Vaikka Friedmanin testi havaitsi kasvatusvesien välillä olevan eroa bataviasalaatin maun miellyttävyydessä, ei Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testi havainnut vastaavaa Bonferroni-korjauksen jälkeen.

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1. Veden taustamuuttujat

Vertaamalla vedestä mitattuja taustamuuttujia eli pH:ta, lämpötilaa, sähkönjohtavuus ja nitraattipitoisuutta käsittelyiden välillä vahvistettiin se, että veden laatu todella oli erilainen eri käsittelyissä. Veden lämpötilassa ei ollut eroa käsittelyiden välillä, mikä oli hyvä tulos, sillä veden lämpötilalla on vaikutusta kasvien kasvuun. Aquaponic-systeemistä tulleen veden ja porakaivoveden annettiin seistä vuorokausi huoneenlämmössä ennen viikoittaista vesien vaihtoa, jotta eri alkuperää olevien vesien lämpötila olisi sama. Sen sijaan veden alkuperä ja lannoitekäsittely vaikuttivat veden sähkönjohtavuuteen, nitraattipitoisuuteen ja pH-arvoon.

Vedessä olevat ravinteet ovat usein ionimuodossa, esimerkiksi sekä aquaponic-systeemistä tulleesta vedessä että tutkimuksessa käytetyssä lannoitteessa osa tyyppistä on nitraatti-ioneina. Korkeampi määrä sähköisesti varautuneita ioneja puolestaan johtaa veden korkeampaan sähkönjohtavuuteen. Täten nitraattipitoisuuden ja sähkönjohtavuuden yhtäpitävä järjestys käsittelyissä korkeimmasta matalimpaan arvoon oli odotettavissa. Käsittelyissä, joissa nitraattipitoisuus ja sähkönjohtavuus olivat suurimmat, pH oli alhaisin eli vesi oli happaminta. Osa kaupallisen lannoitteen tyyppistä oli ammonium-ioneina, jotka tekivät vedestä miedosti happaman. Aquaponic-systeemissä käytetyn biosuodattimen bakteerien nitrifikaatioprosessin seurauksena veden emäksisyys vähenee eli veden pH laskee (Ebeling ym. 2006). Myös kasvien kasvu voi vaikuttaa veden happamuuteen kasvien valikoidessa esimerkiksi typen eri muotoja käyttöönsä, ja kasvueden ammoniumin ja nitraatin keskinäinen suhde vaikuttaakin liuoksen happamuuteen (Tomasi ym. 2015, Dickson ym. 2016). Nämä tekijät vaikuttivat osaltaan siihen, miksi korkeimpien ravinnepitoisuuksien käsittelyissä veden pH oli alhaisin. Vaikka käsittelyjen vaikutus veden taustamuuttujiin ei ollutkaan tutkimuksen pääasiallisena kohteena, selittävät ne eroja kasvien kasvu- ja laatuominaisuuksissa käsittelyjen välillä, sillä ravinteiden määrä ja kemiallinen muoto sekä veden pH ja lämpötila vaikuttavat kasvien kasvuun ja laatuun (Tomasi ym. 2015).

4.2. Tuoremassa

Molemmat käsittelyt, eli veden alkuperä ja lannoitus, vaikuttivat tilastollisesti merkittävästi kasvien tuoremassaan. Kasvien tuoremassan ja vedestä mitattujen taustamuuttujien välillä pystytään havaitsemaan positiivinen yhteys: tuoremassa oli käsittelyissä sitä suurempi, mitä suuremmat olivat käsittelystä mitatut nitraatin ja sähkönjohtavuuden arvot (suurimmasta pienimpään; 1. lannoitettu aquaponic-vesi, 2. lannoitettu porakaivovesi, 3. lannoittamaton aquaponic-vesi ja 4. lannoittamaton porakaivovesi). Tuoremassalla ja pH:lla oli yhteys siten, että happamammassa käsittelyssä tuoremassa kasvoi suuremmaksi. Happamuus vaikuttaa ravinteiden liukoisuuteen sekä vaikeuttaa kasvien typen saantia (Salonen 2006). Kasvit kuitenkin yleisesti suosivat hieman hapanta kasvatusliuosta (optimi pH 5–6,5), joten tulos on pH:n suhteen looginen (Gericke 1940). Happamuus saattoi johtua juuri ravinteiden suuresta määrästä.

Koerselman & Meuleman (1996) tulivat tutkimuksissaan siihen tulokseen, että typpi ja fosfori ovat yleensä tärkeimmät luonnossa kasvien kasvua rajoittavat ravinteet. Toisaalta myös kalium voi olla kasvua rajoittava ravinne. Mikäli oletetaan, että muut kasvutekijät, kuten valo tai pH, eivät rajoittaneet kasvua kokeessa, johtuivat erot tuoremassassa käytettävissä olevista ravinteista. Mitä enemmän käsittelyssä oli nitraattia, sitä suuremmiksi kasvien tuoremassa käsittelyssä kasvoi. Myös sähkönjohtavuus kuvaa yleisesti vedessä vapaana olevien ravinteiden määrää, koska ravinteet liukenevat veteen ioneina, ja vesissä, joissa sähkönjohtavuus oli suurempi, myös kasvien tuoremassa oli suurempi.

Aikaisempien tutkimustulosten perusteella oli myös odotettua, että ravinteiden määrällä on vaikutusta kasvien tuoremassaan. Licamele (2009) havaitsi, että lehtisalaatti (*L. sativa* cv. Rex) kasvoi tuoremassaltaan yhtä suureksi tai suuremmaksi aquaponic-vedessä, johon oli lisätty rautaa, sinkkiä ja mangaania kuin pelkässä hydroponic-vedessä. Tämä viittaisi siihen, että ainakin lehtisalaatti pystyy hyödyntämään aquaponic-veden ravinteita, kuten typpeä, kasvussaan. Saimme kokeessamme salaateista samansuuntaisia tuloksia: bataviasalaatti ja jäävuorisalaatti kasvoivat tuoremassaltaan suuremmiksi aquaponic-vedessä kuin pelkässä porakaivovedessä. Näin ei kuitenkaan ollut basilikan tuoremassan osalta.

Aquaponic-veden soveltuvuutta basilikan kasvatukseen on tutkinut aiemmin Roosta (2014). Hän vesiviljeli basilikaa siten, että basilikoja kasteltiin kolme kertaa päivässä eri suhteissa aquaponic- ja hydroponic-liuoksilla. Yhtä ryhmää kasteltiin vain aquaponic-liuoksella ja yhtä ryhmää vain hydroponic-liuoksella. Kahta ryhmää kasteltiin vuorotellen aquaponic- ja hydroponic-liuoksilla. Pelkästään aquaponic-liuosta saaneen ryhmän basilikojen versojen ja juurien tuore- ja kuivamassa olivat merkitsevästi pienempiä kuin muilla ryhmillä. Syyksi arvioitiin aquaponic-liuoksen pienempää raudan, mangaanin ja kaliumin pitoisuutta. Tämä ei kuitenkaan selitä samaamme tulosta siitä, miksi basilika ei kasvanut paremmin aquaponic-vedessä kuin porakaivovedessä, sillä porakaivovedessä ei tulisi olla näitä ravinteita aquaponic-vettä enempiä. Toisaalta basilikalla ei havaittu merkitsevää eroa tuoremassassa myöskään lannoituksen tai lannoittamattomuuden välillä. Syy siihen, miksi basilikat kasvoivat kokeessamme niin huonosti, ei selvinnyt. Basilikaa on viljelty vastaavanlaisissa kokeissa hyvällä menestyksellä.

4.3. Juuret

Kolmisuuntaisen varianssianalyysin perusteella veden alkuperällä tai lannoituksella ei havaittu olevan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta juurten pituuteen. Fisherin LSD post hoc -vertailun perusteella kuitenkin havaittiin, että lannoitetussa vedessä juuret olivat tilastollisesti merkitsevästi pidempiä kuin lannoittamattomassa vedessä. Tälle havainnolle ei kuitenkaan annettu painoarvoa, koska varsinaisessa aineiston testissä eroa ei havaittu. Ravinteikkouden vaikutusta juurten pituuteen hydroponisesti kasvatetuilla salaateilla ovat tutkineet myös Slamic & Jug (2016), jotka havaitsivat, että lehtisalaatin juurten pituus ei merkittävästi muutu, vaikka ravinnepitoisuutta muutetaan silloin, kun ravinnepitoisuudet ovat suuria. Erot juurten pituudessa näkyvät kuitenkin voimakkaammin, kun ravinnepitoisuudet ovat pieniä: pienissä pitoisuuksissa kasvit joutuvat kilpailemaan ravinteista enemmän, joten juurten suuremmasta pituudesta koituu etua. Se, miksi tästä muuttujasta ei saatu eroja kovin hyvin esille, johtui todennäköisesti siitä, että kasvien juurista mitattiin ainoastaan pisin juuri. Juuren pituus ei kuitenkaan kerro tarkasti siitä, kuinka paljon kasvi on kohdistanut kasvua juuriinsa. Kasvatusveden ravinnepitoisuus ja juurten pituus eivät juurikaan olleet yhteydessä toisiinsa. Tämän voi havaita myös alhaisesta selitysteestä ($R^2 = 0,126$), joka ilmaisee, että selittävä muuttuja, eli veden käsittely, selittää vain pienen osan riippuvan muuttujan eli juurten pituuden muutoksista.

Ravinnepitoisuuden vaikutusta kasvin juurten biomassaan on tutkinut muun muassa Walter ym. (2003) joiden mukaan kasvatusliuoksen ravinnepitoisuus vaikuttaa moniin juurten ominaisuuksiin, mutta juurten biomassaan se ei vaikuta merkitsevästi. Vastoin tätä tietoa, kokeemme tuloksissa veden alkuperä ja lannoitus vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi juurten tuoremassaan. Juurten tuoremassan erot vastasivat kasvin tuoremassan muutoksia: mitä suuremmat olivat käsittelystä mitatut nitraatin ja sähköjohtavuuden arvot, sitä suurempi oli juurten tuoremassa.

4.4. Lehtipinta-ala

Tulokset olivat lehtipinta-alan osalta odotusten kaltaisia. Kuten kasvin ja juurten tuoremassalla, myös lehtipinta-alalla havaittiin sama yhteys taustatekijöiden kanssa: mitä enemmän kasvin kasvatusliuoksessa oli ravinteita, sitä suuremmaksi lehtipinta-ala kasvoi. Henriques & Marcelis (2000) tutkivat kasvatusliuoksen ravinnepitoisuuden ja erityisesti typen määrän vaikutusta lehtisalaatin (*L. sativa* cv. Vegas) lehtipinta-alaan ja havaitsivat, että typen rajoittunut saanti vaikutti lehtipinta-alaan pienentävästi. Typpi onkin tärkeä ravinne kasveille juuri siksi, että sitä tarvitaan kaikissa proteiinien rakennusaineina toimivissa aminohapoissa ja se on myös tärkeä lehtivihreän eli klorofyllin ainesosa (Salonen 2006). Toisaalta lehtipinta-alan rajoittunut kasvu ja tuoremassa ovat myös

yhteydessä, sillä lehtipinta-alan pienetessä yhteyttämiskykyinen pinta-ala pienenee, mikä hidastaa kasvin kasvua (Henriques & Marcelis 2000).

Lehtipinta-ala kasvoi siis suurimmaksi siellä, missä juurten biomassassa ja tuoremassassa on kasvanut suurimmaksi. Tasapainotetun kasvun hypoteesin (Bloom ym. 1985) perusteella kasvi suuntaa kasvuaan sinne, missä on sen kasvua rajoittava tekijä. Jos ravinteita on niukasti, kasvu keskittyy juuriin, ja jos taas valoa on niukasti, kasvu keskittyy lehtiin ja erityisesti niiden pinta-alaan (Shipley & Meziane 2002). Tämän kokeen tuloksista ei kuitenkaan tätä kasvun suuntausta havaittu. Kasvu oli parasta niissä altaissa, missä oli eniten ravinteita. Tätä edesauttoi se, että valoa oli riittävästi ja kasvuolosuhteet olivat kasvatusliuosta lukuun ottamatta mahdollisimman samankaltaiset kaikissa kasvatusaltaissa. Havaitimmekin että biomassassa kasvoi juurten, varren ja lehtien (juurten ja kasvin tuoremassassa sekä lehtipinta-ala) suhteen samankaltaisesti kaikissa käsittelyissä. Aquaponics-viljelyn jatkokehityksen kannalta rohkaiseva tieto onkin, ettei kasvutavassa havaittu suuria eroja.

4.5. Lehtien väri

Kasvilajilla oli merkitsevä vaikutus kasvin väriin. Tämä ei sinällään ole mikään yllätys eikä varsinaisesti tutkimuksen kohde, sillä eri kasvilajien, kuten jäävuorisalaatin ja punaisen basilikan, välinen ero on havaittavissa paljain silmin. Sen sijaan oli mielekästä tutkia, vaikuttaako kasvatusveden alkuperä tai sen lannoitus kasvin väriin. Paitsi kasvien koolla ja tuoksulla myös väripigmenteillä on merkitystä niin pölyttäjien kuin elintarvikealan kannalta (Stintzing & Carle 2004). Värillä on todettu olevan vaikutusta siihen, kuinka houkuttelevana kuluttaja pitää elintarviketta (esim. Latocha & Jankowski 2011, Migliore ym. 2015). Tutkittaessa koehenkilöiden mieltymyksiä viikunaopuntian (*Opuntia ficus-indica*) hedelmien suhteen väriin havaittiin vaikuttavan eniten siihen, kuinka usein kuluttajat nauttivat näitä hedelmiä (Migliore ym. 2015). Viikunaopuntian hedelmät voivat olla lajikkeesta riippuen joko valkoisia, keltaisia tai punaisia. Kyselytutkimukseen osallistuneet pitivät punaista väriä tärkeänä ominaisuutena ja ostopäätöstä tehdessä hedelmän värillä oli jopa suurempi vaikutus kuin sen maulla tai koolla. Latocha & Jankowski (2011) puolestaan havaitsivat, että japaninlaikkuköynnöksen (*Actinidia arguta*), kuluttajille entuudestaan melko tuntemattoman kasvin, hedelmien kohdalla kuluttajat pitivät punertavaa kuorta keskimäärin miellyttävämpänä kuin vihreää, kellertävää tai ruskean sävyistä.

Veden alkuperällä ja lannoituksella oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus kasvin lehtien väriin siten, että lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvaneet kasvit olivat keskimäärin tummempia kuin lannoittamattomassa aquaponic-vedessä kasvaneet. Ravinnepitoisuuden vaikutusta kasvien väriin on tutkittu aiemmin lähinnä tarkastelemalla lehtien sijaan hedelmiä. Esimerkiksi Cliff ym. (2012) vertailivat tomaatteja (*Solanum lycopersicum*), joiden kasvatuksessa käytettyihin ravinneliuoksiin oli aikaansaatu joko matala, kohtalainen tai korkea sähkönjohtavuus lisäämällä ravinteiden pitoisuutta. Sekä kromametrin että koehenkilöiden arvioiden mukaan tomaatit, jotka kasvoivat korkean sähkönjohtavuus käsittelyssä, olivat merkitsevästi punaisempia ja tummempia kuin matalan tai kohtalaisen sähkönjohtavuus käsittelyiden tomaatit. Tämän tutkimuksen tulos on samansuuntainen, joskaan ravinteiden vaikutusta lehtien ja hedelmien väriin ei voitane suoraan vertailla.

Mielenkiintoisia eroja kasvilajien erilaisten vaatimusten suhteen havaittiin siinä, että basilikan lehdet olivat merkitsevästi tummempia kuin jäävuorisalaatin tai bataviasalaatin, kun ne kasvoivat ravinteikkaammassa aquaponic-vedessä, mutta porakaivovedessä basilikan ja jäävuorisalaatin lehdet eivät eronneet toisistaan tummuudeltaan. Suuntaantavien tulosten mukaan taas jäävuorisalaatin lehdet olivat tummempia silloin, kun kasvi

kasvoi lannoitetussa vedessä. Tämän perusteella voisi olettaa, että basilikan lehdet olisivat tummempia runsasravinteisessa kuin vähäravinteisessä kasvuympäristössä (aquaponic vs. porakaivo tai lannoitettu vs. lannoittamaton), mutta tilastoanalyysit eivät tue tätä oletusta. Sugiyama ym. (1951) havaitsivat, että eri ravinteiden puutteen vaikutukset kasvin väriin olivat erilaisia: typen puutteesta kärsineiden kasvien lehdet jäivät pieniksi ja kellertäviksi, fosforin puutteesta lehdistä tuli pieniä, mutta tummanvihreitä ja kaliumin puutteen vuoksi osa lehdistä muuttui ruskeiksi. Myös magnesiumin, rikin ja raudan puutteella oli vaikutusta lehtien väriin. Basilikan ja jäävuorisalaatin lehtien tummuusero on merkitsevempi ravinteikkaammassa aquaponic-vedessä, vaikka ravinteiden lisäys kaupallisen lannoitteen muodossa saakin jäävuorisalaatin kasvattamaan tummempia lehtiä. Syy tähän lieneekin siinä, ettei aquaponic-veden ja kaupallisen lannoitteen ravinnekoostumus ole sama. Vaikka aquaponic-vedessä esimerkiksi liuenneiden suolojen ja nitraatin määrä oli porakaivovettä suurempi, ei siinä mahdollisesti ole riittävästi ravinteita tai juuri niitä ravinteita, joita esimerkiksi basilika tarvitsee pigmenttinsä muodostamiseen.

Kasvien lehtien väriä vertailtaessa havaintojen lukumäärä oli pieni, vain 30 kasvia, johon sisältyy kasveja kolmesta eri lajista ja joiden kasvatusvesi vaihteli niin alkuperänsä kuin lannoituksensakin mukaan. Esimerkiksi basilikoja oli analyysissä mukana vain kolme, joista yksikään ei ollut kasvanut lannoitetussa aquaponic-vedessä. Siten tutkimuksen tulokset tuskin ovat yleistettävissä laajalti. Varmaa kuitenkin on, että kasvien värillä on vaikutusta kuluttajien käyttäytymiseen. Voimakas väri, kuten punainen, voi saada kuluttajan tarttumaan elintarvikkeeseen helpommin, joten esimerkiksi punaisista basilikoista haaleat yksilöt voivat jäädä kaupan hyllylle. Vaikka tutkimuksen tulokset osoittavatkin, että viljeltäessä kasveja aquaponic-vedessä niiden lehdet olivat keskimäärin tummempia käytettäessä lisälannoitetta, tulee asiaa tutkia tarkemmin, jotta tulosten toistettavuudesta saadaan varmuus. Aquaponic-viljelyn lisääntyessä tuottajien on hyvä olla tietoisia viljelymenetelmien vaikutuksesta kasvien väriin ja sitä kautta kuluttajien ostopäätöksiin.

4.6. Kasvin haju

Hajutestien tarkoituksena oli selvittää, onko kasvien hajun voimakkuudessa tai siinä, kuinka miellyttäväksi koehenkilöt kokevat kasvien tuoksun, eroa käsittelyiden välillä. Erityisesti yrttien, kuten basilikan, ominaisuus voi olla yksi merkittävistä syistä sen käyttöön. Esimerkiksi Chang ym. (2007) havaitsivat, että 64 koehenkilöstä 41 piti enemmän voimakkaamman tuoksuista basilikasta kuin miedon tuoksuista. Kasvit tuottavat aineenvaihdunnassaan erilaisia haihtuvia alkoholien, esterien, ketonien ja aldehydien ym. yhdisteitä, joiden yksi tarkoitus on viestiä kilpailijoille, lajitovereille sekä mutualisteille, kuten pölyttäjille (Baldwin 2010). Jotkin näistä yhdisteistä ovat myös ihmisen aistittavissa. Ihminen voi hajuaistinsa perusteella saada vihiä esimerkiksi kasvin ravintopitoisuudesta (Goff & Klee 2006). Valitessaan tuotetta markkinoilta tai kaupan hyllyltä kuluttajalla ei aina ole mahdollisuutta maistaa tuotetta ennen ostopäätöstä, joten kasvin haju voi olla tärkeä päätökseen vaikuttava tekijä.

Friedmanin testin mukaan joidenkin käsittelyjen välillä olisi eroa jäävuorisalaatin hajun voimakkuudessa, mutta Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testi ei Bonferroni-korjauksen jälkeen havainnut eroja ryhmien välillä. Bonferroni-korjaus muuttaa merkitsevyyttä konservatiivisemmaksi, jolloin testin voimakkuus pienenee (Newman 1995, Strassburger & Bretz 2008). Täten merkitsevänkään Friedmanin testin jälkeen Wilcoxonin testi ei välttämättä löydä ryhmien välisiä eroja. Friedmanin testi puolestaan ei havainnut tilastollisesti merkitsevää eroa basilikan hajun miellyttävyydessä eri käsittelyjen välillä, mutta tuloksen ollessa suuntaa antava tehtiin parittaiset vertailut käsittelyjen välillä. Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testi havaitsi lannoittamattomassa aquaponic-vedessä

kasvaneiden basilikojen tuoksun miellyttäneen koehenkilöitä enemmän kuin lannoitetussa aquaponic-vedessä kasvaneiden. Suurempi ravinnepitoisuus kasvatusvedessä aiheutti siis epämiellyttävän vivahteen hajuun.

Olenaisinta oli tieto siitä, ettei aquaponic-vedessä kasvatettujen (lisälannoitteella tai ilman) kasvien haju eronnut voimakkuudeltaan tai miellyttävyydeltään hydroponic-viljeltyjen (lannoitettu porakaivovesi) kasvien hajusta. Esimerkiksi tomaatin tapauksessa miltei kaikki tärkeät haihtuvat yhdisteet muodostuvat keskeisistä ravinteista (Goff & Klee 2006), joten voisi olettaa, että kasvin kärsiessä näiden tärkeiden ravinteiden puutteesta myös sen haju muuttuisi. Kasvit eivät kuitenkaan kärsineet oleellisten ravinteiden puutteesta niissäkään käsittelyissä, joissa ne eivät saaneet kaupallista lannoitetta. On kuitenkin otettava huomioon se, että havaintojen lukumäärä oli pieni, jäävuorisalaatin ja basilikan osalta 12. Basilikan osalta havaintoja oli vain 6, joista yksikään ei edustanut lannoitetun porakaivoveden käsittelyä, sillä sato jäi liian pieneksi. Hajun miellyttävyyttä tutkittaessa pienellä havaintoaineistolla yhden epämiellyttävän hajuisen kasviyksilön vaikutus tulokseen on suuri. Jäävuorisalaatti ja bataviasalaatti puolestaan eivät ole basilikan tapaan tunnettuja tuoksustaan, joten osa koehenkilöistä jätti vastaamatta kysymykseen hajun voimakkuudesta tai miellyttävyydestä vedoten siihen, etteivät haistaneet mitään. Kysymys aquaponic-viljelyn vaikutuksesta kasvien hajuun on kuitenkin mielenkiintoinen, sillä aquaponic-systeemistä peräisin olevassa vedessä ei välttämättä ole kaikkia oleellisia ravinteita yhtä paljon kuin kaupallisella kasvilannoitteella lannoitetussa hydroponic-vedessä. Esimerkiksi Graber & Junge (2009) raportoivat aquaponic-vedessä viljeltyjen tomaattien laadun olevan heikompi kaliumin puutteen vuoksi (joskaan he eivät erittele, millä tavalla heikompi laatu ilmeni). Basilikan ja muiden yrttien ollessa yleisiä lajeja aquaponic-viljelyssä (Love ym. 2014) olisi laajemmilla jatkotutkimuksilla useampia tuoksuvia yrttejä tutkien hyvä vahvistaa tämän tutkimuksen tulokset.

4.7. Kasvin maku

Koska aquaponic-viljelyssä kasveja kasvatetaan kalojen jätevedessä, eräs tutkimuksen tarkoituksista oli pohtia, huomaako tämän kasvien maussa. Yksi kalanviljelyn maailmanlaajuisista ongelmista on kaloihin toisinaan jäävä mutainen, tunkkainen maku. Maku aiheutuu pääosin kasvatusaltaissa esiintyvien mikrobien tuottamista geosmiinista ja 2-metyyli-isoborneolista, jotka päätyvät kalan elimistöön esimerkiksi kidusten kautta (Tucker 2000, Robertson ym. 2006). Vaikka yhdisteet häviävätkin kaloista ajan myötä, ei epämiellyttävän makuksia kaloja voi myydä, joten niiden esiintyminen aiheuttaa viljelijöille taloudellisia tappioita (Tucker 2000). Tutkimuksessa selvitettiin, havaitaanko aquaponic-viljelyissä kasveissa samankaltaista multaista, epämiellyttävää makua.

Kasvatusvedellä ei havaittu olevan vaikutusta kasvien maun voimakkuuteen. Maun miellyttävyydessä sen sijaan havaittiin eroja: lannoitetussa porakaivovedessä kasvaneet jäävuorisalaatit miellyttivät makunsa perusteella koehenkilöitä enemmän kuin lannoittamattomassa porakaivovedessä kasvaneet jäävuorisalaatit. Myös Cliff ym. (2012) raportoivat korkeassa ravinnepitoisuudessa kasvatettujen tomaattien maun miellyttäneen koemaistajia enemmän kuin alhaisessa ravinnepitoisuudessa kasvatettujen. Kuten jäävuorisalaatin hajun voimakkuuden kohdalla, myös bataviasalaatin maun miellyttävyyden kohdalla havaittiin merkittävä tulos Friedmanin testillä, muttei minkään ryhmien välillä Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testillä. Olenaisin uusi tieto on kuitenkin se, ettei lannoitetussa tai lannoittamattomassa aquaponic-vedessä kasvatettujen kasvien maku eronnut lannoitetussa porakaivovedessä eli hydroponic-viljelyssä kasvatetuista kasveista.

Hedelmien ja kasvien maku on yhdistelmä makuaistimuksia, kuten makeutta ja happamuutta, sekä tuoksuaistimuksia (Kader 2008). Kasvien tuottamista haihtuvista

yhdisteistä osan ihmisen hajuaisti aistii tuoksuina (Kader 2008, Baldwin 2010). Maun muodostavien yhdisteiden välillä on monimutkaisia vuorovaikutuksia ja monet eri asiat voivat vaikuttaa kasvin lopulliseen makuun. Coolong ja Randle (2003) havaitsivat, että kasvattaessa sipuleita (*Allium cepa*) hydroponisesti eri ammoniumnitraattipitoisuudet vaikuttivat sipulien S-alk(en)yyli-kysteini-sulfoksidien (ACSO) keskinäisiin suhteisiin. Nämä ACSO:t tuottavat erilaisia makuaistimuksia, joten niiden keskinäisiä osuuksia muuttamalla sipulin tuottama makuelämys on erilainen. Heeb ym. (2006) puolestaan tutkivat, miten erilaisten epäorgaanisten ja orgaanisten lannoitteiden käyttö vaikutti tomaattien laatuun ja havaitsivat, ettei ravinteiden rajoittaminen niinkään vaikuttanut tomaattien makuun, vaan ravinteiden laatu. Testipanelistit arvioivat apilanlehtikatteella ja rikkilisällä lannoitetut (orgaaninen lannoite) tomaatit keskimäärin paremman makuisiksi kuin epäorgaanisella ravinneliuoksella lannoitetut riippumatta typen määrästä (matala/korkea). Epäorgaanisella ravinneliuoksella lannoitetuista tomaateista paremman makuisiksi arvioitiin ne, joiden ravinneliuoksen tyyppi oli pääosin nitraattimuodossa verrattuna niihin, joiden ravinneliuoksen tyyppi oli pääosin ammonium-muodossa. Kasveja viljeltäessä niiden maun suhteen onkin tärkeää keskittyä sekä siihen, kuinka paljon ravinteita tarjoaa, että siihen, minkälaisilla ravinteilla kasvejaan lannoittaa. Vaikka tämä tutkimus ei havainnutkaan eroja kasvien maussa aquaponic-vedestä ravinteensa saaneiden ja kaupallisesta lannoitteesta ravinteensa saaneiden kasvien välillä, ovat laajemmat tutkimukset paikallaan. Esimerkiksi basilikan makua vertailtaessa koemaistajien määrä oli vain 6, eikä havainnoista yksikään koskenut hydroponisesti viljeltyä (lannoitettu porakaivovesi) basilikaa sen sadon jäätyä liian pieneksi.

Makua pidetään yhtenä tärkeimmistä, ellei tärkeimpänä kuluttajan päätöksentekoon vaikuttavana ominaisuutena kasviksissa ja muissa elintarvikkeissa (Tobler ym. 2011, Maehle ym. 2015). Kader (2008) huomauttaa, että paremman makuisten ja säällisen hintaisten hedelmien ja kasvien tuottaminen hyödyttäisi sekä tuottajia että kuluttajia suuremman kulutuksen muodossa, joten niiden makuun ja ravintoarvoihin tulisi kiinnittää huomiota. Paremman makuista satoa tavoitellessa edes mahdollisesti pienempää satoa ei tulisi pelätä, sillä kuluttajat ovat valmiita maksamaan paremman makuisista tuotteista enemmän (Kader 2008). Maehle ym. (2015) tosin havaitsivat tämän pitävän paikkansa erityisesti sellaisten elintarvikkeiden kohdalla, joita ostetaan pääosin nautiskelun vuoksi (esimerkiksi jäätelö). Kasvikset eivät yleisesti ottaen kuulu tähän elintarvikkeiden ryhmään, ja arkisen hyötytuotteen kohdalla tuotteen hinnalla oli huomattavasti suurempi merkitys kuin sen maulla (Maehle ym. 2015). Hyvän maun tulisi kuitenkin olla yhtenä viljelijän tärkeimmistä tavoitteista. Tämä tutkimus osoittaa ainakin alustavasti sen, etteivät kuluttajat havainneet makueroa aquaponic- ja hydroponic-viljeltyjen kasvien välillä, sekä sen, ettei lisälannoitus tuonut merkitsevää eroa aquaponic-vedessä viljeltyjen kasvien makuun.

4.8. Päätelmät

Kokonaisuudessaan voidaan sanoa, että lannoitetut kasvit kasvoivat paremmin kuin lannoittamattomat: lannoitus vaikutti positiivisesti kasvien kasvuun koko kasvin tuoremassan, juurten tuoremassan, juurten pituuden ja lehtipinta-alan osalta. Jäävuorisalaattien lehdet olivat tummempia, kun kasvit olivat kasvaneet lannoitetussa vedessä. Tarkasteltaessa veden alkuperää tuotti aquaponic-vesi koko kasvin tuoremassan, juurten tuoremassan ja lehtipinta-alan osalta paremman kasvun kuin porakaivovesi. Käsittelyjen, eli veden alkuperän ja lannoituksen, havaittiin myös voimistavan toistensa vaikutusta: lannoitettu aquaponic-vesi tuotti koko kasvin ja juurten tuoremassaltaan sekä lehtipinta-alaltaan suurempia kasveja kuin hydroponic- eli lannoitettu porakaivovesi tai lannoittamaton porakaivovesi. Lisäksi lehdet olivat tummempia lannoitetun aquaponic-

veden altaissa kuin lannoittamattoman aquaponic-veden. Lajikohtaisia erojakin havaittiin: basilikan tuoremassaan tai pinta-alaan käsittelyillä ei ollut merkitsevää vaikutusta, kun taas bataviasalaatti kasvoi muita lajeja suuremmaksi useamman eri tutkimusmuuttujan osalta. Kasvien hajuun tai makuun käsittelyillä oli vähäisiä vaikutuksia: vain basilikan hajun miellyttävyydessä ja jäävuorisalaatin maun miellyttävyydessä havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko veden alkuperällä ja lannoituksella vaikutusta kasvien kasvuun ja laatuun. Samalla selvitimme, onko näiden välillä yhdysvaikutusta sekä sitä, miten vaikutukset ilmenevät eri kasvilajeissa ja saman lajin eri tyypeissä. Hypotesimme siitä, että aquaponic-vesi ja lannoitus yhdessä johtaisivat joko yhtä hyvään tai parempaan kasvien kasvuun kuin mihin lannoite tai aquaponic-vesi johtaisivat yksinään, sai tukea useamman eri tutkimusmuuttujan osalta. Ehkä tärkeimpänä tuloksena voidaan kuitenkin pitää sitä, ettei minkään kasvin kasvua tai laatua ilmentävän tutkimusmuuttujan eikä minkään kasvilajin kohdalla havaittu merkitsevää eroa hydroponic- ja aquaponic-viljelyn, eli lannoitetun porakaivoveden ja lannoittamattoman aquaponic-veden välillä. Suljetut hydroponic-systeemit ovat resurssitehokkaita jo sinällään (Raviv ym. 2007), mutta yhdistämällä kalanviljely kasvien vesiviljelyyn saadaan kalanviljelyn ylimääräiset ravinteet hyötykäyttöön ja siten voidaan tuottaa enemmän ruokaa vähemmällä resursseilla. Tutkimuksemme tulosten perusteella sillä, että kasvien vaatimat ravinteet tulevat kalojen jätevedestä kaupallisen ravinneliuoksen sijaan, ei ole merkitystä kasvien kasvuun tai laatuun. Lisälannoituksella systeemistä voidaan saada vieläkin tuottoisampi, joskin silloin on syytä selvittää, onko vesi kasvisadonkorjuun jälkeen ravinteista riittävän puhdasta ohjattavaksi takaisin kaloille. Tutkimusaineistomme oli hyvin suppea, joten suosittelemme laajempia jatkotutkimuksia niin biologisesti tärkeiden tutkimusmuuttujien kuin kaupalliseen hyödyntämiseen vaikuttavien tekijöidenkin osalta. Aquaponic-viljely vaikuttaa kuitenkin lupaavalta ruoantuotantomenetelmältä.

KIITOKSET

Kiitämme Juhani Pirhosta aiheeseen ja alan kirjallisuuteen perehdyttämisestä sekä innostavasta ohjauksesta, Timo Marjomäkeä ensiluokkaisesta tuutoroinnista tilastanalyysien kanssa, Minna-Maarit Kytöviitaa oikeaan suuntaan auttamisesta lähteiden etsinnässä, Anniina Nikalia ja Iia Suomea yhteistyöstä aquaponic-systeemin hoidossa sekä Lauri Anttilaa ja Mikko Mäkistä kokeen mittauksissa auttamisesta. Lisäksi kiitämme kaikkia vapaaehtoisia, jotka osallistuivat tutkimuksemme haju- ja makutesteihin, sekä kaikkia niitä, jotka auttoivat työmme valmistumista tukemalla, neuvomalla ja rohkaisemalla meitä.

KIRJALLISUUS

- Baldwin I.T. 2010. Plant volatiles. *Curr. Biol.* 20: R392–R397.
- Bloom A.J., Chapin F.S. III. & Mooney H.A. 1985. Resource limitation in plants--an economic analogy. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 16: 363–392.
- Chang X., Alderson P.G., Hollowood T.A., Hewson L. & Wright C.J. 2007. Flavour and aroma of fresh basil are affected by temperature. *J. Sci. Food Agric.* 87:1381–1385.
- Cliff M.A., Li J.B., Toivonen P.M.A. & Ehret D.L. 2012. Effects of nutrient solution electrical conductivity on the compositional and sensory characteristics of greenhouse tomato fruit. *Postharvest Biol. Tec.* 74: 132–140.
- COST 2013. Food and Agriculture. European cooperation in science and technology. Action FA1305. *The EU Aquaponics Hub - Realising Sustainable Integrated Fish and Vegetable Production for the EU*. http://www.cost.eu/COST_Actions/fa/FA1305 Luettu 4.4.2016.
- Coolong T.W. & Randle W.M. 2003. Ammonium nitrate fertility levels influence flavour development in hydroponically grown ‘Granex 33’ onion. *J. Sci. Food Agric.* 83: 477–482.

- Dickson R.W., Fisher P.R., Argo W.R., Jacques D.J., Sartain J.B., Trenholm L.E. & Yeager T.H. 2016. Solution Ammonium: Nitrate ratio and cation/anion uptake affect acidity or basicity with floriculture species in hydroponics. *Sci. Hortic.* 200: 36–44.
- Ebeling J.M., Timmons M.B. & Bisogni J.J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257: 346–358.
- EPRS 2015. European Parliamentary Research Service. Scientific Foresight (STOA) Unit. *Ten technologies which could change our lives: Potential impacts and policy implications*. <http://www.ep.europa.eu/stoa/> Luettu 25.10.2016.
- FAO, IFAD & WFP. 2015. *Achieving Zero Hunger: the critical role of investments in social protection and agriculture*. FAO, Rooma.
- Gericke W.F. 1937. Hydroponics—crop production in liquid culture media. *Science* 85:177–178.
- Gericke W.F. 1940. *Soilless Gardening*. Prentice Hall, Inc, Lontoo.
- Goddek S., Delaide B., Mankasingh U., Ragnarsdottir K.V., Jijakli H. & Thorarinsdottir R. 2015. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability* 7:4199–4224.
- Goff S.A. & Klee H.J. 2006. Plant volatile compounds: sensory cues for health and nutritional value? *Science* 311: 815–819.
- Graber A. & Junge R. 2009. Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246:147–156.
- Heeb A., Lundegårdh B., Savage G. & Ericsson T. 2006. Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste, and nutritional quality of tomatoes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169: 535–541.
- Henriques A.R.D.P. & Marcelis L.F.M. 2000. Regulation of growth at steady-state nitrogen nutrition in lettuce (*Lactuca sativa* L.): interactive effects of nitrogen and irradiance. *Ann. Bot.* 86: 1073–1080.
- Kader A.A. 2008. Perspective. Flavor quality of fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 88: 1863–1868.
- Koerselman W. & Meuleman A.F.M. 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *J. Appl. Ecol.* 33: 1441–1450.
- Kurle C.M., Croll D.A., Tershy B.R. 2008. Introduced rats indirectly change marine rocky intertidal communities from algae- to invertebrate-dominated. *Proc Natl Acad Sci USA.* 105:3800–3804.
- Latocha P. & Jankowski P. 2011. Genotypic difference in postharvest characteristics of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* and its hybrids), as a new commercial crop Part II. Consumer acceptability and its main drivers. *Food Res. Int.* 44: 1946–1955.
- Licamele J.D. 2009. *Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system*. Vätöskirja, University of Arizona. <http://hdl.handle.net/10150/193835>. Luettu 1.3.2016.
- Love D.C., Fry J.P., Genello L., Hill E.S., Frederick J.A., Li X. & Semmens K. 2014. An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS ONE* 9: e102662 doi:10.1371/journal.pone.0102662.
- Love D.C., Fry J.P., Li X., Hill E.S., Genello L., Semmens K. & Thompson R.E. 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture* 435: 67–74.
- Maehle N., Iversen N., Hem L. & Otnes C. 2015. Exploring consumer preferences for hedonic and utilitarian food attributes. *Brit. Food J.* 117: 3039–3063.
- Migliore G., Galati A., Romeo P., Crescimanno M. & Schifani G. 2015. Quality attributes of cactus pear fruit and their role in consumer choice. *Brit. Food J.* 117: 1637–1651.
- Neori A., Troell M., Chopin T. & Yarish C. 2007. The need for a balanced ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environment* 49: 37–43.
- Newman M.C. 1995. *Quantitative methods in aquatic toxicology*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Pauly D., Christensen V., Guénette S., Pitcher T.J., Sumaila U.R., Walters C.J., Watson R. & Zeller D. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418: 689–695.
- Pech D., Condal A., Bourget E., Ardisson P-L. 2004. Abundance estimation of rocky shore invertebrates at small spatial scale by high-resolution digital photography and digital image analysis. *J Exp Mar Biol Ecol* 299:185–199.

- Rakocy J.E., Masser M.P. & Losordo T.M. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics - integrating fish and plant culture. *South. Reg. Aquacult. Cent.* 454: 1–16.
- Raviv M. & Lieth J. 2007. *Soilless culture: theory and practice*. Elsevier Science, Burlington.
- Robertson R.F., Hammond A., Jauncey K., Beveridge M.C.M. & Lawton L.A. 2006. An investigation into the occurrence of geosmin responsible for earthy–musty taints in UK farmed rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 259: 153–163.
- Roosta H.R. 2014. Comparison of the vegetative growth, eco-physiological characteristics and mineral nutrient content of basil plants in different irrigation ratios of hydroponic:aquaponic Solutions. *J. Plant Nutr.* 37: 1782–1803.
- Salonen V. 2006. *Kasviekologia*. WSOY Oppimateriaalit Oy, Helsinki.
- ShIPLEY B. & MeZIANE D. 2002. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. *Funct. Ecol.* 16: 326–331.
- Slamic B. & Jug T. 2016. Lettuce growth in extreme conditions. *Emir. J. Food Agric.* 28: 398–401.
- Stintzing F.C. & Carle R. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends Food Sci. Tech.* 15: 19–38.
- Strassburger K. & Bretz F. 2008. Compatible simultaneous lower confidence bounds for the Holm procedure and other Bonferroni-based closed tests. *Statist. Med.* 27: 4914–4927.
- Sugiyama T., Iwata M. & Shichijo T. 1951. Hunger signs in vegetable crops II. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 20: 89–97.
- Tobler C., Visschers V.H.M. & Siegrist M. 2011. Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors. *Appetite* 57: 674–682.
- Tomasi N., Pinton R., Dalla Costa L., Cortella G., Terzano R., Mimmo T., Scampicchio M. & Cesco S. 2015. New 'solutions' for floating cultivation system of ready-to-eat salad: A review. *Trends Food Sci. Tech.* 46: 267–276.
- Tucker C.S. 2000. Off-Flavor Problems in Aquaculture. *Rev. Fish. Sci.* 8: 45–88.
- Walter A., Feil R. & Schurr U. 2003. Expansion dynamics, metabolite composition and substance transfer of the primary root growth zone of *Zea mays* L. grown in different external nutrient availabilities. *Plant, Cell Environ.* 26: 1451–1466.

Värien arvioinnissa käytetyt asteikot

Lollo rosso / basilika															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
917D73	89746B	816A64	7A615D	725756	6B4F50	63484B	5B4247	543C42	4C353D	452F38	3D2A33	35242E	2E1E28	261923	1F141C

Kuva 1. Basilikan ja bataviasalaatin (lollo rosso) lehtien värien arvioinnissa käytetty asteikko.

Jäävuorisalaatti										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DCE2D4	C3D0AF	ACBE8E	97AC71	839A57	718940	61772C	51651C	42530F	344106	263000

Kuva 2. Jäävuorisalaatin lehtien värien arvioinnissa käytetty asteikko.