
Salaatin hybridivalotus



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Puutarhatalouden koulutusohjelma

Lepaa, kevät 2015

Arsi Kujala



LEPAA
Puutarhatalouden koulutusohjelma
Kasvihuone- ja taimitarhatuotanto

| | | |
|------------------|-------------------------|-------------------|
| Tekijä | Arsi Kujala | Vuosi 2015 |
| Työn nimi | Salaatin hybridivalotus | |

TIIVISTELMÄ

LED-tekniikka ei ole vielä korvannut perinteisiä kaasunpurkauslamppuja kasvihuoneviljelyssä. Suurpainenatriumlampun valon aiheuttamat ongelmat kasvinvalotuksessa ovat hyvin tunnettuja, mutta niiden ratkaisuun ei ole aikaisemmin löytynyt teknisesti käytännöllistä ratkaisua. Työn tilaaja oli Netled Oy. Opinnäytetyön aiheena oli selvittää salaatin (*Lactuca sativa 'Frillice'*) kasvihuoneviljelyssä hybridivalotusta, jossa suurpainenatriumlamppujen ohella käytettiin Netled Oy:n kehittämiä sinistä valoa tuottavia LED-valaisimia. Tavoitteena oli kerätä tutkimustietoa sinisen valon vaikutuksista salaattien kasvuun ja viljelykokeen avulla tutkia hybridivalotusta käytännössä. Viljelykokeessa tutkittiin taimivaiheen hybridivalotusta sekä hybridivalotusta koko salaatin kasvuajan. Tuloksista kävi ilmi, että pelkkä salaatin taimivalotus lisäsi ravinteiden määrää salaateissa ja vähensi nitraattipitoisuutta. Vaikutukset olivat suurempia, kun hybridivalotusta käytettiin koko kasvuajan. Tulosten pohjalta voidaan todeta hybridivalotuksen tuovan parannusta salaatin laatuun.

Avainsanat booster, valo, led, sininen, salaatti

Sivut 22 s. + liitteet 3 s.



LEPAA
Degree programme in Horticulture

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Author | Arsi Kujala | Year 2015 |
| Subject of Bachelor's thesis | Hybrid lighting of lettuce | |

ABSTRACT

LED-lighting has not yet replaced the conventional gas-discharge lamps in greenhouse production. Although the problematic effects of high-pressure sodium lamps in plant lighting are well known, there has not been a technically satisfying solution to solve them. The client of this thesis is Netled Oy. The aim of the thesis was to find out the benefits of hybrid lighting in the greenhouse cultivation of lettuce *Lactuca sativa* 'Frillice'. The hybrid lighting consisted of Netled Booster LED-lights and high-pressure sodium lamps. Netled Booster emits only blue light and is specifically designed to be used together with HPS-lamps. The effects of the hybrid lighting were tested with two lighting methods; during the seedling phase only and during the entire growth cycle. Desk study was carried out to find out the effects of blue light on plant growth and morphology. The key findings were that the plants illuminated with hybrid lighting gained more nutrients and had lower nitrate concentration. The conclusion based on the results was that the quality of lettuce can be improved with hybrid lighting.

Keywords booster, led, light, blue, lettuce

Pages 22 p. + appendices 3 p.



KÄSITTEET

| | |
|--------------|---|
| DLI | Daily light integral |
| LED | Light-Emitting diode |
| NFT | Nutrient film technique |
| nm | Nanometri |
| PAR | Photosynthetically active radiation (W/m^2 @ 400 – 700 nm) |
| Pfr | Fytokromin aktiivinen muoto |
| Pr | Fytokromin passiivinen muoto |
| Spektriviiva | Alkuaineelle ominainen absorptio tai emissio taajuusalue |
| SPN-lamppu | Suurpainenatriumlamppu |
| PPFD | Photosynthetic photon flux density ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) |
| UV-säteily | Ultraviolettisäteily |



SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 1 |
| 2 | VALON MITTAAMINEN..... | 2 |
| 3 | VALON VAIKUTUS KASVIIN..... | 4 |
| 3.1 | Pigmentit ja fotoreseptorit..... | 4 |
| 3.2 | Punainen valo..... | 5 |
| 3.3 | Sinisen valon vaikutusmekanismit..... | 5 |
| 3.3.1 | Sininen valo taimikasvatuksessa..... | 6 |
| 3.3.2 | Sininen valon vaikutus ilmarakojen avautumiseen..... | 7 |
| 3.3.3 | Sinisen valon vaikutus valoon suuntautumiseen..... | 7 |
| 3.3.4 | Sinisen valon vaikutus nitraattipitoisuuteen..... | 7 |
| 4 | VALAISIMET..... | 9 |
| 4.1 | Suurpainenatriumlamppu..... | 9 |
| 4.2 | LED-valaisin..... | 11 |
| 5 | KOEJÄRJESTELYT..... | 12 |
| 6 | TULOKSET..... | 14 |
| 6.1 | Kasvianalyysi..... | 15 |
| 6.2 | Antoliuosanalyytit..... | 17 |
| 7 | JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 19 |
| | LÄHTEET..... | 23 |

| | |
|---------|--|
| Liite 1 | ANTOLIUOSANALYYSIN TULOKSET 11.12.2013 |
| Liite 2 | ANTOLIUOSANALYYSIN TULOKSET 19.2.2014 |
| Liite 3 | KASVIANALYYSIN TULOKSET 19.2.2014 |



1 JOHDANTO

Suomessa luonnonvalon vähäinen määrä rajoittaa viljelykasvien yhteyttämistä loka- ja maaliskuun välisenä aikana. Keinovaloja käyttämällä voidaan kasvukautta jatkaa ympäri vuoden. Nykyään yleisimmin kasvihuoneviljelyssä käytetty lampputyypä on suurpainenatriumlamppu (SPN). Sen tuottaman valon spektri ei kuitenkaan ole kasvin kannalta parhaiten hyödynnettävissä. (Taulavuori & Murman 1999, 181-183.) Sinisen valon osuus auringon valosta on 27 – 33 % ja SPN-lampun valosta vain 6 % (Dougher & Bugbee 2004, 471).

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Netled Oy. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Netled Oy:n kehittämän Booster-valaisimen vaikutuksia salaatin kasvuun ympärivuotisessa kasvihuoneviljelyssä. Booster-valaisin on suunniteltu käytettäväksi samanaikaisesti SPN-valaisimen rinnalla. Valaisimilla pyritään täydentämään SPN-valaisimen tuottaman valon spektriä sinisillä aallonpituuksilla. LED-tekniikkaan perustuva kokonaisvalotus kasvihuoneviljelyssä on tekniikan puolesta jo mahdollista, mutta korkea investointihinta rajoittaa vielä tekniikan käyttöönottoa. Booster -valaisin mahdollistaa SPN-valaisimen ja LED-tekniikan yhdistämisen tällä siirtymäkauden ajalla. Booster-valaisimen vaikutuksia pyritään selvittämään varsinkin keskitalvella, jolloin auringon säteilymäärät ovat matalia ja viljelykasvit ovat eniten keinotekoisien valon varassa.

Booster-valaisimien vaikutusten todentamista varten perustettiin viljelykoe. Koe haluttiin toteuttaa kaupallisella salaattiviljelmällä, jossa olosuhteet vastaavat valaisimen suunniteltua käyttökohdetta. Valaisinmäärä mitoitettiin tarkoituksella korkeaksi, jotta valaisimia himmentämällä voitaisiin määrittää erilaisia valotasoja. Lisäarvoksi kokeen järjestämisestä viljelmällä nähtiin viljelijän omat kokemukset ja kommentit. Opinnäytetyössä verrataan kokeesta saatuja tuloksia muihin saman aihepiirin tutkimustuloksiin. Kirjallisuustutkimuksen perusteella pyritään selvittämään keskeiset sinisen valon vaikutukset salaatin fysiologisiin ominaisuuksiin.

2 VALON MITTAAMINEN

Valoa voidaan mitata ja sen määrä voidaan ilmaista monella erilaisella tavalla. Mittaustapojen erilaisuus johtuu lähinnä eri tieteenalojen kiinnostuksesta valon eri ominaisuuksiin. Valoa mitattaessa on otettava huomioon seuraavat asiat. Valo koostuu useista aallonpituuksista. Jos halutaan antaa tarkka kuvaus valosta, pitäisi valon määrä ilmoittaa jokaiselle aallonpituudelle. Valolla on myös tietty suunta ja hajonta. Valo voi olla kohdistettu samaan pisteeseen tai se voi olla joka suuntaan tasaisesti säteilevä tai jotain tältä väliltä. Lisäksi ajan vaikutus jätetään myös usein huomioimatta. Eli puhutaanko hetkellisestä valon voimakkuudesta, ajanjaksoon sidotusta valon määrästä, tehosta vai energiasta. (Björn & Vogelmann 1994, 17 – 18.)

Energiaa käytetään suurena yleensä silloin, kun valonlähteen, kuten auringon, valoteho vaihtelee paljon lyhyen ajan sisällä. Energian mittayksikkö on joule (J), joka sekuntia kohden vastaa teholtaan yhtä wattia (Björn & Vogelmann 1994, 18.). Tehoa käytetään yleensä silloin, kun valonlähteen teho pysyy vakiona, kuten lamputilla. Kasvihuonevalaistuksessa käytetään usein termiä säteilysumma, jonka yksikkö on Wh/m^2 (Jaakkonen & Vuollet 1999, 37 – 38.).

Valon määrää voidaan ilmaista myös fotonien määrällä. Fotonien määrää mitataan mooleina. Yhdessä moolissa on fotoneita $6.02217 \cdot 10^{23}$. Kasvifysiologiassa on yleisesti käytetty mittayksikköä mikromooli (μmol), joka vastaa $6.02217 \cdot 10^{17}$ fotonia. (Björn & Vogelmann 1994, 17 – 18.) Fotonien määrää voidaan mitata esimerkiksi fotonimittarilla. Fotonimittarin mittapää, jolla mitataan fotosynteesistä aktiivista säteilyä sisältää suodattimia, jotka päästävät lävitseen vain 400 – 700 nm aallonpituusalueen valon. Fotonimittari ilmoittaa siis fotonien määrän vain kyseisellä aallonpituusalueella. Jos halutaan mitata UV-aallonpituuksia tai kaukopunaista valoa pitää niiden aallonpituuksille olla omat sensorit. (Hart, 1988, 27.)

Fotonimittarin tarkoitus on siis mitata vain kasvin fotosynteesiin hyödyntämän valon määrää. Tästä syystä se antaa yksityiskohtaisempaa tietoa valosta kuin esimerkiksi pelkän säteilyenergian mittaaminen. Useampien PAR-alueita mittaavien sensorien ongelmana on, että ne näyttävät oikeaa lukemaa vain jos niiden sensoriin osuvan valon koostumus on samankaltainen kuin auringonvalon koostumus. Yksiväristä valoa mitattaessa mittari voi antaa vääränlaisen lukeman. Valon yksityiskohtaiseen mittaamiseen on hyvä käyttää spektrometriä, jolla

voidaan jokainen aallonpituus mitata erikseen. (Björn & Vogelmann 1994, 24.) Kasvitutkimuksessa yleisesti käytetty valon määrä kuvaava suure on PPFD eli fotonivuontiheys. Suure kuvaa neliömetrin alueelle saapuvien fotonien määrää sekunnissa PAR-aallonpituusalueella. Koska suure kuvaa vain hetkittäistä valon määrää, se ei yksin anna hyvää kuvaa valon määrästä tietyn ajanjakson, kuten vuorokauden aikana. Kun halutaan ilmaista valon kertymää voidaan käyttää DLI-arvoa (Daily light integral). DLI ilmoitetaan $\text{mol/m}^2/\text{d}^{-1}$ eli moolia neliömetrille päivässä. (Measuring Daily Light Integral in a Greenhouse 2010.)

Valon intensiteetin mittayksiköt kuten lumen, kandela ja luksi ovat huonoja kasvitutkimuksessa. Nämä mittayksiköt perustuvat enemmän ihmissilmän herkkyyteen kuin kasvien pigmentteihin ja fotoreseptoreihin. Näillä mittayksiköillä sama luminositeetti eri aallonpituuksilla voi tarkoittaa hyvin suurta eroa energian määrässä. (Hart 1988, 25 – 26.)

3 VALON VAIKUTUS KASVIIN

Valo on kasvin energian lähde. Kasvi muuttaa fotosynteesin avulla säteilyenergiaa kemialliseksi energiaksi. Kasvi vastaanottaa valoa erilaisilla pigmenteillä, kuten klorofylleillä ja karotinoideilla. Jokaisella pigmentillä on oma kapea absorptiokykynsä. Erilaisia pigmenttejä tarvitaan, jotta laaja osa valon spektristä saadaan hyödynnettyä kasvin käyttöön. Kasvi saa valon avulla myös runsaasti tietoa mm. vuodenajan vaihtelusta verrattuna muihin ympäristön vaikuttaviin tekijöihin. Valo on esimerkiksi tarkempi muuttuja luonnossa kuin lämpötila. (Hart 1988, 4 – 6.)

3.1 Pigmentit ja fotoreseptorit

Kasvin viherhiukkaset sisältävät fotosynteettisiä pigmenttejä, jotka imevät tehokkaasti näkyvää valoa. Kasvien pigmentit ovat orgaanisia pigmenttejä. Orgaanisten pigmenttien absorptiokyky on epäorgaanisia pigmenttejä, kuten erilaisia ioniyhdisteitä paljon suurempi. (Rabinowitch & Govindjee 1969, 102 – 103.) Kasvin sisältämien pigmenttien absorptiokyky on tietyillä aallonpituuksilla suurempi kuin toisilla. Aallonpituudet, jotka heijastuvat näkyvät ihmissilmälle väreinä. Molekyylejä, joilla on kyky absorboida valoa kutsutaan pigmenteiksi vaikka valoa absorboi vain osa molekyylistä, jota kutsutaan kromoforiksi. (Rüdiger & Thümmler 1994, 51.) Kaikki absorboitu valo ei muutu kemialliseksi energiaksi, vaan muuttuu lämmöksi.

Pigmentit voidaan jakaa kahteen eri tehtävään erikoistuneeseen ryhmään. Toinen ryhmä vastaa energian vastaanottamisesta fotosynteesiin. Toinen ryhmä taas vastaa kasvin fotomorfoogeenisistä. Pääasialliset fotosynteesiin osallistuvat pigmentit ovat klorofyllit ja avustaviksi pigmenteiksi kutsutut karotenoidit ja fykobiliinit. (Hart 1988, 52.) Näistä pigmenteistä klorofyllit ja karotenoidit ovat rasvaliukoisia ja fykobiliinit vesiliukoisia. Klorofyllejä on useita, mutta toisin kuin levillä, korkeammilla kasveilla esiintyy vain klorofylli a ja b muotoa. Karotenoideja on kasveissa kahta pääryhmää. Toiseen lukeutuvat karoteenit ja toiseen ksantofyllit. Karoteenit ovat hiilivetyjä ja ksantofyllit eivät sisällä happiatomia. (Rabinowitch & Govindjee 1969, 105 – 10.) Fotomorfoogeenisistä vastaavia pigmenttejä kutsutaan fotoreseptoreiksi tai sensoripigmenteiksi (Mohr 1994, 353.). Tunnettuja fotoreseptoreita ovat fytokromit, kryptokromit ja fototropiinit. Kaikkia mahdollisia fotoreseptoreita ei luultavasti vielä tunneta. (Briggs & Olney 2001, 85 – 87.)

3.2 Punainen valo

Fytokromi on punaista valoa vastaanottava fotoreseptorimolekyylä. Fytokromilla on kaksi muotoa, Pr ja Pfr, joista Pr on passiivinen ja Pfr aktiivinen muoto. Pr muoto absorboi tehokkaimmin valoa punaisen valon aallonpituusalueella. Pfr absorboi tehokkaimmin kaukopunaisen valon alueella. Pfr muoto palautuu Pr muotoon absorboidessaan kaukopunaista valoa. Pr muoto taas muuttuu Pfr muotoon absorboidessaan punaista valoa. Fytokromin avulla kasvit mittaavat valojakson pituutta. Valojakson pituus vaikuttaa kasvin elinkaaren vaiheisiin. Kukinnan ajankohtaan, pituuskasvuun ja lepovaiheeseen siirtymiseen. Myös antosyaanin tuotanto, varjostuksen aistiminen ja pimeässä kasvaneiden vaaleiden taimien muuttuminen vihreäksi valossa tapahtuvat fytokromin vaikutuksesta. (Fagerstedt, Linden, Santanen & Väinölä 2008, 95 – 96.)

3.3 Sinisen valon vaikutusmekanismit

Sinisen valon fotoreseptoreiden löytyminen on ollut vaikeaa, vaikka sinisen valon vasteita on havaittu jo pitkään. Nykyään tiedetään, että sinisellä valolla on kahden tyyppisiä fotoreseptoreita, kryptokromeja ja fototropiineja. Monet kasvit sisältävät useita kryptokromeja. Esimerkiksi tomaatilla on kolme kryptokromia, CRY1a, CRY1b ja CRY2. Kryptokromeja on löydetty sekä yksi- ja kaksisirkkaisista kasveista, saniaisista, sammalista ja leivistä. Kryptokromien tiedetään myös toimivan yhdessä fytokromien kanssa etioloitumisen ehkäisyssä ja fotoperiodismin ohjauksessa. Fototropiinien tiedetään säätelevän huulisolujen avautumista, viherhiukkasten liikettä ja fototropismia. (Lin 2002, 207 – 217.)

Vaikka fytokromin Pr muodon absorptiohuippu on punaisen valon alueella ja Pfr muodon kaukopunaisen valon alueella. Kummankin muodon absorptiokyky ulottuu kuitenkin myös UV-valon aallonpituuksille asti. (Rüdiger & Thümmler 1994, 51.) Vaste siniseen valoon voi tulla kryptokromien ja fototropiinien sijaan tai lisäksi myös fytokromilta. (Mancinelli 1994, 255).

3.3.1 Sininen valo taimikasvatuksessa

Hoenecke, Bula & Tibbitts (1992, 429) tutkimuksessa havaittiin, että sinisen valon määrä on salaatin taimelle tärkeämpi kuin sinisen valon suhde kokonaissäteilymäärään. Eri kokonaisvalonintensiteeteillä ei havaittu vaikutusta sirkkavarren pituuteen sinisen valon intensiteetin pysyessä samana. Normaaleissa viljelyolosuhteissa avomaalla ja kasvihuoneessa salaatin sirkkavarren pituus vaihtelee 5 ja 15 mm välillä. Vastaavat sirkkavarren pituudet on saatu aikaan sinisen valon säteilyintensiteettitasoilla ~ 30 ja $10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$. Sininen valo säätelee myös sirkkalehden pituutta. Sirkkalehden pituus lyheni 20 millimetristä 13 millimetriin kun sinisen valon intensiteetti nostettiin nolosta $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$. Yli $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ tasot eivät vaikuttaneet enää sirkkalehtien kehittymiseen. Kokonaisvalon intensiteettitasolla ei havaittu eroa sirkkalehden pituuteen.

Sirtautas, Virsile, Samuoliene, Brazaityte, Miliauskiene, Sakalauskiene & Duchovskis (2014, 76 – 77) tutkivat sinisten ledien käyttöä yhdessä SPN-valaisimien kanssa baby leaf salaatin kasvatuksessa. Tutkimuksessa annettiin SPN-lampun valon $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ ja auringon valon $80 - 120 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ ohella erikseen 455 nm ja 470 nm sinistä valoa, 505 nm syaanin sekä 535 nm vihreää LED-valoa $15 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$. 455 nm sininen valo lisäsi baby leaf salaatin sokeripitoisuutta huomattavasti. Sakkaroosipitoisuus oli 6 kertaa korkeampi kuin pelkän SPN-lampun alla kasvaneella salaatilla. Myös glukoosin, mannoosin ja fruktoosin pitoisuudet olivat 2,9, 3,5 ja 1,5 kertaa korkeammat. 470 nm sinisellä valolla vaikutukset sokeripitoisuuksiin olivat pienemmät kuin 455 nm valolla. 505 nm syaanilla valolla oli heikoin vaikutus sokereiden kertymiseen, mutta klorofyllien ja karotenoidien määrään sillä oli suurin vaikutus. 535 nm vihreällä valolla ei ollut vaikutusta sakkaroosin ja fruktoosin pitoisuuksiin, mutta glukoosin määrä oli kolme kertaa ja mannoosin 5 kertaa korkeampi, kuin pelkän SPN-lampun valossa kasvaneilla salaateilla. Vihreällä valolla oli myös heikoin vaikutus klorofyllien ja karotenoidien määrään.

Johkan, Shoji, Goto, Hashida & Yoshira (2010, 1809 – 1813) vertasivat sinisen (470 nm), punaisen (660 nm) ja sinisen ja punaisen led-valon yhdistelmää punalehtisen salaatin taimikasvatuksessa ja istutuksen jälkeisessä kasvatuksessa. Tulokset osoittivat, että sininen valo taimikasvatuksessa lisäsi taimen fotosynteesin pigmenttien määrää, antioksidanttipitoisuutta ja biomassaa. Sininen valo myös teki taimista kompaktimpia ja juuristosta suuremman. Näiden ominaisuuksien todettiin edistävän salaatin kasvua istutuksen jälkeen.

Myös kurkun taimikasvatuksessa sinisellä valolla on saatu parannettua taimien laatua. Sinisillä loisteputkivalaisimilla kasvatetut taimet olivat pidempiä, varret paksumpia ja niiden kuiva-ainepitoisuus oli suurempi, kuin taimilla, jotka kasvoivat valkoista valoa tuottavien loisteputkivalaisimien valossa. (Piszczek & Glowacka 2008, 73 – 75.)

3.3.2 Sininen valon vaikutus ilmarakojen avautumiseen

Kim, Goins, Wheeler & Sager (2004, 691 – 697) tutkimuksessa havaittiin, että salaatin ilmarakojen avautumiseen voitiin vaikuttaa sinisellä ja vihreällä valolla. Ilmaraot avautuivat tehokkaimmin valossa, jonka sinisen valon määrä oli suurin. Tutkimuksessa havaittiin myös, että vihreällä valolla voidaan saada aikaan käänteinen vaikutus ilmarakojen avautumiseen sinisellä valolla käsitellyissä kasveissa.

Useilla kasveilla on havaittu, että sinisen valon aikaansaama ilmarakojen avautuminen kumoutuu kun vihreän valon suhde sinisen valon määrään on 2:1. Jos sinisen ja vihreän suhde on 1:1, ilmarakojen avautuminen on noin 50 % matalampi kuin vain sinisessä valossa. Ilmiön takana oleva fotoreseptori on todennäköisesti karotenoidi zeaksantiini. Samalla tavalla kuin fytochromilla on aktiivinen ja passiivinen muoto, voi zeaksantiini sinistä valoa absorboidessaan muuttua inaktiiviseen muotoon ja vihreää valoa absorboidessaan muuttua aktiiviseen muotoon. (Talbot, Nikolova, Ortiz, Shmayevich & Zeiger 2002, 366 – 368.)

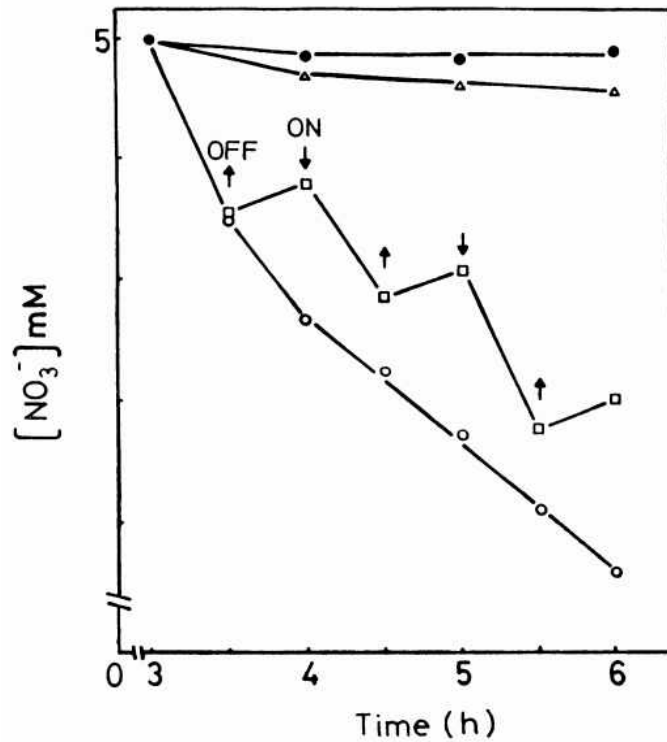
3.3.3 Sinisen valon vaikutus valoon suuntautumiseen

Johkan ym. (2010, 1812) havaitsivat, että punaisessa valossa kasvaneilla salaatin taimilla oli suurempi lehtipinta-ala, kuin sinisessä valossa kasvaneilla salaatin taimilla. Sinisessä valossa kasvaneiden salaatin taimien lehdet olivat kuitenkin kääntyneet valon suuntaan. Punaisessa valossa salaatin lehdet eivät kääntyneet kohti valon lähdettä.

3.3.4 Sinisen valon vaikutus nitraattipitoisuuteen

Nitraattireduktaasientsyymi toimii typen välittäjänä useissa kasveissa. Sen synteesiin vaikuttavat kasvualustan nitraattityypipitoisuus sekä aktiivisuuteen valo. (Hart 1988, 92.) Leväsolususpensiolla (*M. braunii*) tehdyssä kokeessa havaittiin, että sinistä valoa tarvitaan aktivoimaan nitraatin pelkistyminen nitriitti- ja ammoniumtypeksi. (Aparicio & Quiñones 1990, 375.) Miguel G. Guerreron (1981) mukaan nitraattiassimilaatio on olennainen aineenvaihdunnallinen prosessi viherlevillä ja kasveilla, sillä se käyttää 20 prosenttia fotosynteesin tuottamasta energiasta (Azuara & Aparicio 1983, 286).

Kuviossa 1. havainnoidaan sinisen valon vaikutusta nitraattitypen ottoon. Näytteiksi valmisteltiin tyypivapaa leväsolususpensio (*M. braunii*), jota oli valotettu kolme tuntia punaisella valolla. Nitraattityppeä lisättiin suspensioon ja se jaettiin neljään osaan. Kuva osoittaa sinisen valon vaikutuksen nitraattitypen vähenemisen suspensiossa. (Aparicio & Quiñones 1991, 375.)



Kuvio 1. Näyte pimeässä (●), punaisessa valossa (Δ), punaisessa + sinisessä valossa koko ajan (○) ja punaisessa valossa + 30 minuutin sinisen valon jaksoissa (□). (Aparicio & Quiñones 1991, 375.)

4 VALAISIMET

Ihminen on kehittänyt erilaisia keinotekoisia valon lähteitä. Nämä valonlähteet ovat kuitenkin kehitetty ihmisen silmiä varten. Ihmissilmälle hyvin valaistu tila ei välttämättä tarkoita hyvin valaistua tilaa kasville. (Hart 1988, 44.) Jo vuonna 1853 aloitettiin kokeilla kasvien keinovalotusta hiilielektrodisilla kaarilampuilla. 1800-luvulla tulivat mukaan myös hehkulamput. 1920-luvulla hehkulampuilla alettiin säädellä kasvien kukintaa. Erilaiset lampputyypit tulivat kehityksen myötä kokeiluun myös kasvin valotuksessa. Valon laadun aiheuttamat vaikutukset kasveihin eri lampputyypeillä huomattiin jo varhain. Hehkulamput aiheuttivat kasveissa venymistä. Kun loisteputkia alettiin käyttää kasvihuoneissa, huomattiin, että pitkän päivän kasveilla kukinta ei onnistunut tai se viivästyi. Tämä johtui loisteputkien vähäisestä kaukopunaisen valon osuudesta. Eri valasintyyppejä alettiin käyttää yhdessä täydentämään toisiinsa valon laatua. (Downs 1994)

4.1 Suurpainenatriumlamppu

SPN-lamppu kuuluu kaasupurkauslamppujen ryhmään. Kaasupurkauslampussa sähkö johdetaan ionisoidun kaasun läpi. Valon spektri riippuu käytetystä kaasusta ja sen paineesta. (Hart 1988, 46.) Kaasunpurkauslamput käynnistyvät hitaasti, noin 5 – 10 minuutissa (Campbell & Thimijan 1981, 5 – 6).

Kaasunpurkauslamppujen historia alkaa 1920-luvulta, jolloin kehitettiin elohopealamppu. 1930-luvulla ensimmäiset pienpainenatriumlamput tulivat käyttöön. Pienpainenatriumlampun valo on hyvin keltainen, koska suurin osa energiasta säteilee natriumin D-spektriviivojen alueella. Kun natriumhyörynpainetta kasvatetaan, jakautuu suuri osa säteilystä molemmiin puolin D-linjaa. Suuri osa jakautuu punaisen valon aallonpituusalueelle. Kaasuksi kuumennettu alkuaine säteilee sille ominaisilla aallonpituuksilla, joita kutsutaan spektriviivoiksi (Letonsaari & Talikka n.d). Natriumin spektriviivat ovat D₁ 589,6 nm ja D₂ 589,0 nm (Larson, 2002). Suurpainelampuilla käytetyistä alkalimetalleista natriumin on todettu antavan parhaan hyötysuhteen ja värintoiston. Natriumin sekaan lisätään elohopeaa, jonka tarkoitus on parantaa lampun hyötysuhdetta. Elohopean vaikutus säteilyn spektriin on vähäinen sillä pääasiassa vain natriumatomit ovat virittyneitä. (Louden & Schmidt 1965, 696 – 698)

SPN-lampun säteilyn intensiteetti on suuri 550 – 620 nm välillä (Hart 1988, 45). Keltaisen valon (580 – 600 nm) on todettu heikentävän salaatin kasvua heikentämällä klorofyllin ja kloroplastien muodostusta (Dougar & Bugbee 2001, 210). Useissa tapauksissa keinovalon on havaittu aiheuttavan kloroosia tomaatin lehdissä useiden päivien jatkuvassa valotuksessa. Silti Suomessa 24 tunnin jatkuvassa luonnonvalossa kasvavalla tomaatilla ei kloroosia havaita. (Heuvelink & Dorais 2005, 92.) Kloroosi johtuu klorofyllin vähäisestä määrästä kasvissa. Kloroosin aiheuttajana on yleensä kasvin ravinteiden oton häiriintyminen. Tavallisemmin kloroosia aiheuttaa raudan tai mangaanin puute. (Schuster n.d.) Simpson (2003) mukaan SPN-lampun punaisen ja kaukopunaisen valon suhde on matala sekä sinisen valon määrä vähäinen, jotka yhdessä aiheuttavat monilla kasveilla varren venymistä (Pinho 2008, 14).

4.2 LED-valaisin

LED on valoa tuottava diodi. Se on puolijohde, jonka tuottama valo määräytyy siihen käytetyistä puolijohdemateriaaleista. Näiden puolijohdemateriaalien erilaisista kideyhdisteistä saadaan aikaan mm. sinistä, vihreää, keltaista ja punaista valoa tuottavia ledejä. Valkoista valoa saadaan ledeillä kahdella tapaa. Päälystämällä sininen ledi fluoresoivalla aineella tai yhdistämällä sininen, vihreä ja punainen ledi. Ledien vahvuuksia muihin valaistusteknologioihin ovat mm. tehokkuus, pitkä elinikä, matala tehonkulutus, pieni koko ja välitön valon tuotto virran kytkemisen jälkeen. (OSRAM n.d.)

Booster-valaisin on LED-valaisin, joka tuottaa ainoastaan sinistä valoa. Valaisimen on kehittänyt Netled Oy. Valaisimen pääasiallinen tarkoitus on toimia yhdessä SPN-lampun kanssa. Valaisin on niin sanottu ylävalaisin ja se asennetaan SPN-valaisimen yhteyteen samalle korkeudelle. Sinisen valon osuus voidaan määrittää halutuksi asentamalla valaisimia jokaisen, joka toisen tai joka kolmannen SPN-lampun yhteyteen. Valaisimesta on kahta eri mallia, LE ja HE. LE-mallin teho on 96W ja se on tarkoitettu toimimaan 400W SPN-valaisimen kanssa. HE-mallin teho on 150W ja se on tarkoitettu käytettäväksi 600W SPN-valaisimen kanssa. Booster-valaisin on passiivisesti jäähdytetty, eli siinä ei ole tuuletinta jäähdyttämässä valaisimen jäähdysovia. Passiivisen jäähdytyksen etu aktiivisesti jäähdytettuihin valaisimiin on se, että siinä ei ole ajan saatossa kuluva tai rikkoutuva tuuletinta. Valaisimen suojausluokka on IP55. Booster-valaisinta voidaan myös himmentää, jolloin sinisen suhdetta voidaan säätää dynaamisesti.

LED-tekniikan etuna on, että LED tuottaa valoa hyvin kapealla aallonpituusalueella. Väliaineen hehkuttamisen sijaan LED toimii elektroluminesenssilla. LED-valaisimella saadaankin tuotettua vain niitä aallonpituuksia joita halutaan eikä energiaa kulu sivutuotteena muodostuvaan lämpösäteilyyn tai aallonpituuksiin joita kasvi ei pysty tehokkaasti hyödyntämään fotosynteesissä. Booster-valaisimen tuottaman valon kapean aallonpituusalueen takia se ei kuitenkaan yksinään sovellu perinteiseen kasvihuoneviljelykseen. Booster-valaisimen tarkoitus on parantaa SPN-valaisimien säteilyn tehokkuutta. Tavoitteena on, että kokonaisvaloteho voidaan pitää samana tai sitä voidaan jopa vähentää kasvusta, nykyisestä valaistuskalustosta ja kasvihuoneen sijainnista riippuen. Valaisimella tavoitellaan sadon laadun parantamista sekä energian säästöä.

5 KOEJÄRJESTELYT

Viljelykoe toteutettiin suomalaisella salaattiviljelmällä. Lajikkeena kokeessa toimi jääsalaatti *'Frillice'*. Salaatit viljeltiin NFT-linjoilla. Booster HE-valaisimia asennettiin 12 kpl SPN-valojen yhteyteen linjalle 1 sekä taimipöydälle 3 kpl. Kuvassa 1 näkyvä linja 1 oli NFT-tekniikalla toimiva siirtopöytä, jossa kasvit pysyivät samassa paikassa koko kasvuajan. Kokeen verranne oli samassa huoneessa sijaitseva linja 2. Linja 2 oli liikkuva NFT-kourulinja. Verrannelinjan valaistus oli sama kuin koelinjan, mutta ilman Booster-valaisimia. SPN-valojen asennustehoa ei vähennetty linjalla 1. Tästä johtuen valoteho oli suurempi linjalla 1 kuin linjalla 2. Valotusaika oli kaikissa linjoissa 24 tuntia vuorokaudessa. Pitkää valotusaikaa käytettiin poikkeuksellisesti keskitalvella korvaamaan riittämätöntä lämpölaitoksen lämmityskapasiteettia.

Valon intensiteetin mittaukseen käytettiin LI-COR LI-191 PAR-mittaria. Valotasot mitattiin kokeen alussa pöydän pinnasta useista eri kohdista linjaa. Luonnonvalotaso mitattiin ennen lamppujen sytytystä. Tämän jälkeen molempien eri valaisimien valotasot mitattiin. Mitatut valotasot olivat linjassa laskettujen arvojen kanssa.



Kuva 1. Edessä linja 1 ja takana taimipöytä

NFT-linjat 1 ja 2 olivat eri kastelujärjestelmässä, joten molemmista linjoista otettiin antoliuosnäytteet. Näin kasteluliuosten ravinnepitoisuuksien yhtäläisyys voitiin todeta. Ravinneliuos linjassa 1 oli kiertävä. Pelkona oli, että linjan 1 kasteluliuoksen ravinnetasot eivät pysy vakaina tai ne poikkeavat liikaa linjan 2 tasoista. Ensimmäiset näytteet otettiin 11.12.2013. Koska linjassa 1 näytteen arvot poikkesivat toivotuista lukemista, päätettiin toinen näyte ottaa 27.2.2014. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi Hortilab Oy:lle.



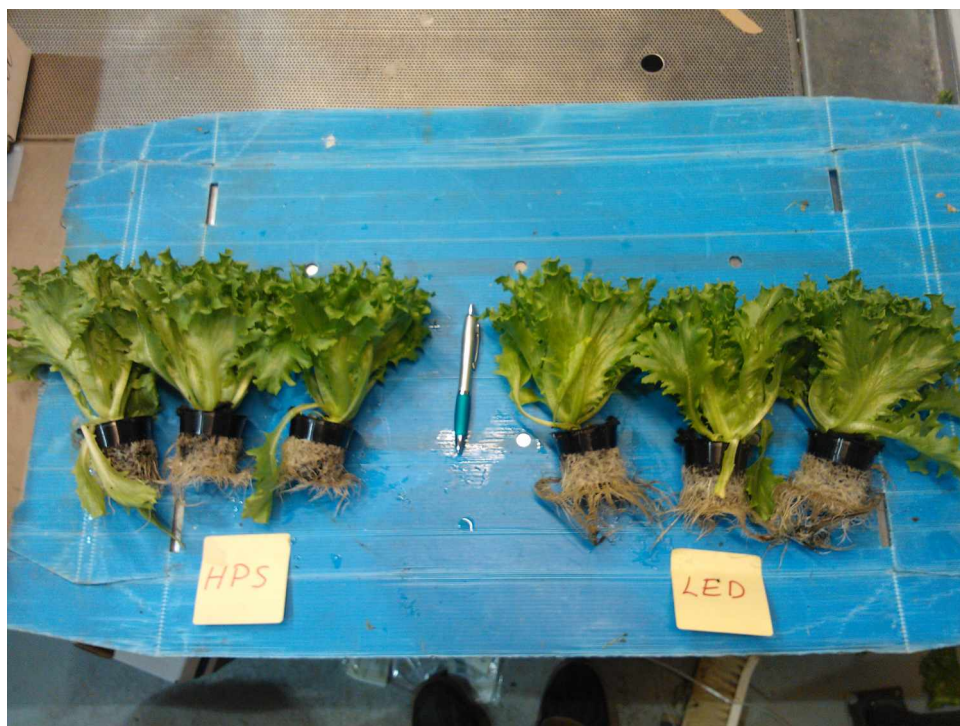
Kuva 2. Edessä taimipöytä ja takana linja 2

Kokeessa oli kolme ryhmää. A-ryhmä, joka sai lisäsinistä valoa taimesta korjuumittaisiksi. B-ryhmä, joka sai lisäsinistä vain taimivaiheen ajan ja loppukasvatettiin pelkän SPN-valon alla linjassa 2. Verrannekasveina toimivat linjan 2 salaattit, jotka oltiin kasvatettu pelkän SPN-valon alla. Verrannesalaattit kasvoivat siis pelkän SPN-valon alla koko kasvuajan.

Taimikasvatuksen kesto oli noin 15 päivää ja kokonaiskasvatusaika noin 40 päivää. Salaattit kylvettiin 9.1.2014 ja taimet istutettiin 23.1.2014. Ryhmät A ja B sisälsivät 70 kasvia per ryhmä. Eli yhteensä 140 kasvia. Verrannekasveja olivat loput NFT-linjan kasvit. Jokaisesta ryhmästä teetettiin laaja ravinne- ja nitraattianalyysi. Jokaisesta ryhmästä otettiin 5 salaattia analyysiä varten.

6 TULOKSET

Tuloksissa vertaillaan kasvianalyysejä eri koeryhmien välillä.

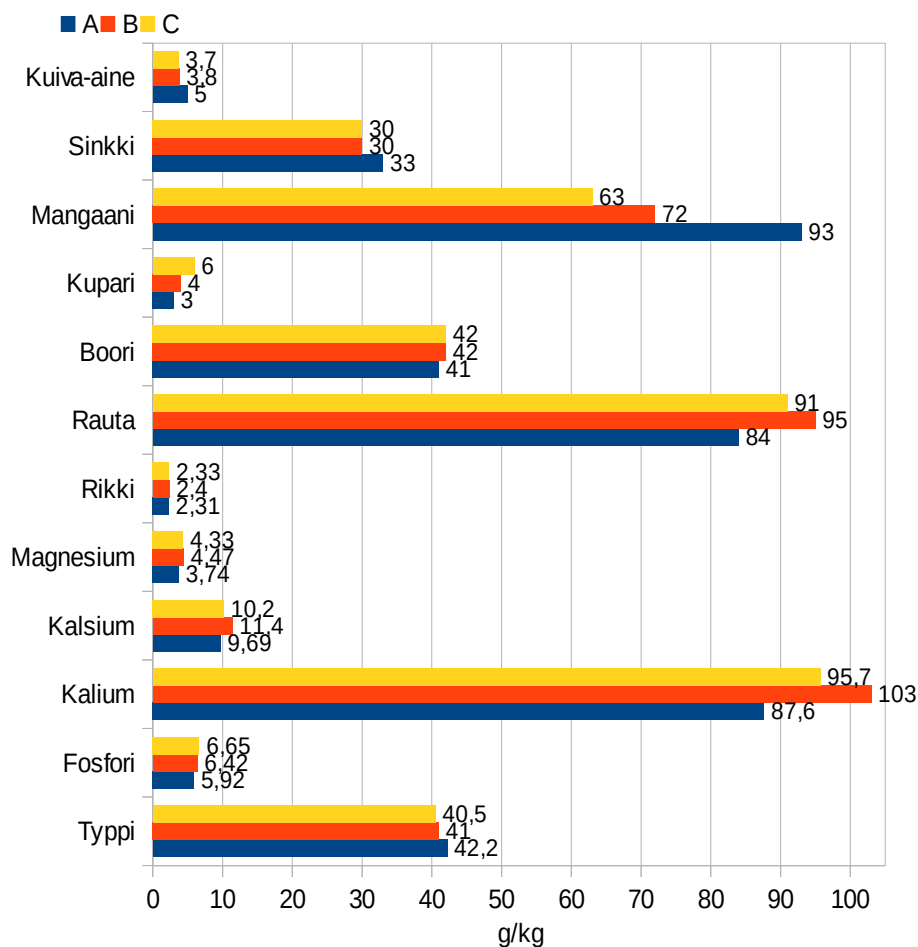


Kuva 3. Vasemmalla ryhmän C ja oikealla ryhmä A salaatteja

A-ryhmän tulokset eivät ole vertailukelpoisia ryhmien B ja C kanssa. A-ryhmä kasvoi linjalla 1, jonka ravinnepitoisuudet olivat erilaiset ja suorastaan epäsuotuisat salaatin kasvatukseen verrattuna linjaan 2. Kiertävän ravinneliuoksen johtokyky tulisi olla salaatin kasvatuksessa tammikuusta maaliskuuhun 1,8 – 2,0 mS/cm (Kekkilä n.d.). Linjassa 1 johtokyky oli jälkimmäisessä analyysituloksessa 2,5 mS/cm. Liuoksen natrium- ja kloriditasot olivat myös korkeat. Lehdenreunapoltetta havaittiin ryhmällä A 11.2.2014.

6.1 Kasvianalyysi

Jokaisesta koeryhmästä teetettiin laaja kasvianalyysi. Näytteen otettiin 19.2.2014. Kasvinäytteet olivat keruukokoisia. Analyysi paljasti, että ravinnepitoisuuksissa oli suuria eroja tiettyjen ravinteiden osalta.



Kuvio 2. Kasvianalyysien tulokset

Ravintetasot ryhmässä A olivat matalammat kaikkien muiden ravinteiden osalta paitsi sinkin, mangaanin ja typen osalta, joiden pitoisuudet olivat korkeammat ryhmiin B ja C verrattuna. Myös kuiva-ainepitoisuus oli korkein ryhmässä A ja B.

Ryhmässä B ravinnepitoisuudet ovat samat tai korkeammat lähes jokaisen ravinteen osalta. Ainoastaan kuparin ja fosforin määrät on pienempiä ryhmässä B. Mangaanin määrä oli verranteeseen nähden suurempi

molemmissa ryhmissä. Ryhmässä B mangaanin määrä oli 12,5 % suurempi kuin verranneryhmässä. Kalsiumin määrä taas oli 10,5 % suurempi ja kaliumin 7 % suurempi kuin verranneryhmässä. Kuiva-ainepitoisuus oli myös 2,6 % suurempi verranteeseen nähden.

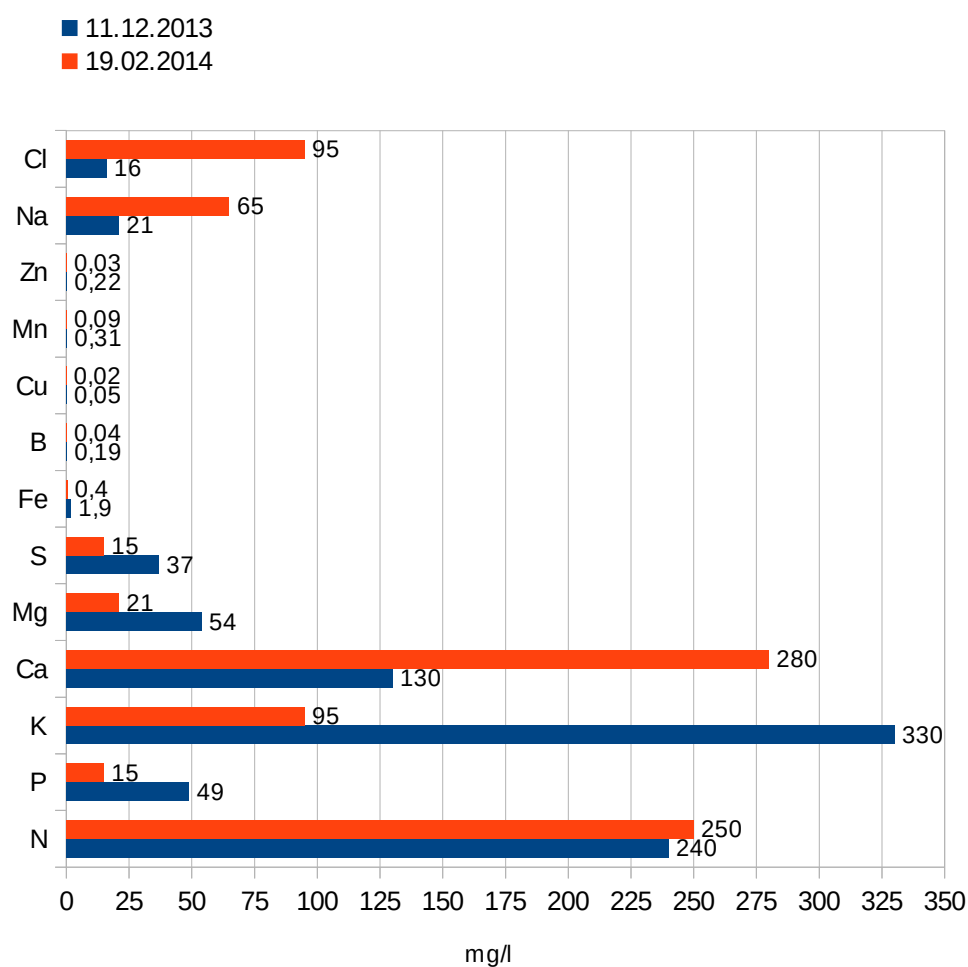
Nitraattipitoisuuksissa oli suuri ero ryhmän A ja C välillä. Ryhmässä A, eli sinistä lisävaloa koko kasvukauden saaneissa salaateissa nitraattitaso oli 17,5 % alhaisempi kuin ryhmällä C. Ero ryhmien B ja C välillä oli odotetusti pienempi. Ryhmän B salaateissa nitraattitaso oli 3600 mg/kg eli 10 % matalampi, kuin verranteella.

Taulukko 1. Koeryhmien nitraattipitoisuudet 19.2.2014

| Ryhmä | A | B | C |
|-------|------|------|------|
| mg/kg | 3300 | 3600 | 4000 |

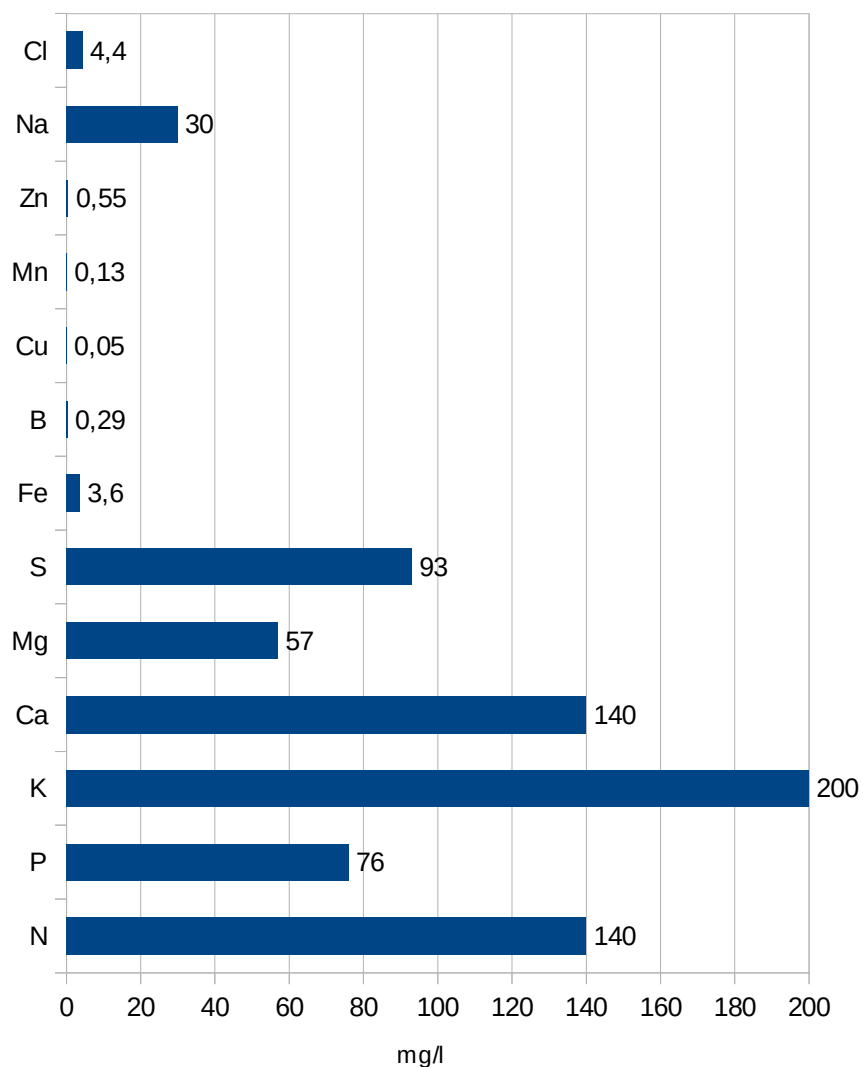
6.2 Antoliuosanalyysit

Linjan 1 antoliuosanalyysi teetettiin kaksi kertaa, koska linjassa oli kiertävä kasteluliuos. Toisella analyysillä haluttiin tietoa siitä oliko liuoksen koostumus pysynyt samana. Toinen analyysi paljasti, että liuoksen koostumus oli muuttunut edellisestä analyysistä. Liuoksen johtokyky oli noussut aikaisemmasta 2,4 mS/cm arvosta 2,5 mS/cm. Kaikkien ravinteiden pitoisuudet paitsi kalsiumin, typen, kloridin ja natriumin määrät olivat laskeneet. Kalsiumin pitoisuus oli noussut 54 %, kun taas kaliumin pitoisuus oli pudonnut 247 %.



Kuvio 3. Antoliuosanalyysi linjasta 1 11.12.2013 ja 19.02.2014

Linjan 2 ravinneliuoksen analyysi tehtiin vain kerran 11.12.2013. Linjassa 2 ravinneliuoksen johtokyky oli 1,9 mS/cm eli suositusten mukainen. Myös typen ja kaliumin suhde oli lähempänä suositeltuja lukemia.



Kuvio 4.

Linjan 2 antoliuosanalyysi 11.12.2013

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Linjan 1 ravinneliuoksessa oli tapahtunut suuria muutoksia. Typen ja kaliumin suhde oli kääntynyt päinvaistaiseksi. Kaliumia pitäisi olla olla salaatin ravinneliuoksessa kyseisinä ajankohtina kaksi kertaa enemmän kuin typpeä (Kekkilä n.d.). Myös kloridin ja natriumin määrä liuoksessa oli noussut korkeaksi. Linjan 1 ravinneliuos poikkesi jo ensimmäisen analyysin jälkeen linjan 2 ravinneliuoksesta. Toisen analyysin jälkeen oli selvää, että liuoksen ravinnepitoisuuksissa oli suuria eroja ja linjan 1 ravinnepitoisuudet eivät vastanneet salaatin kasvatukseen suositeltuja ravinnepitoisuuksia. Kuvassa 2 voidaan nähdä ero juuriston koossa sekä salaatin lehtien tiivimmässä olomuodossa. Juuret ovat ryhmän A salaatilla pidemmät ja hiusjuurien määrä on myös silmämääräisesti suurempi.



Kuva 4. Vasemmalla ryhmän C ja oikealla ryhmän A salaatti

Kasvianalyseissä havaittiin eroja ravinteiden kertymisessä. Syitä ravinteiden erilaiseen kertymiseen ryhmien B ja C välillä voi olla monia. Ehkä taimivaiheen valotus muutti kasvin aineenvaihduntaa lisäämällä fotosynteesin pigmenttien määrää. Voi myös olla, että sinisen valon aikaansaama isompi juuriston koko tehosti veden ja ravinteiden ottoa taimikasvatuksen jälkeen. Korkeamman typpipitoisuuden ryhmässä A ja B voi selittää aktiivisempi nitraattireduktaasi, jolloin ammoniumtypen osuus kasvissa on korkeampi. Korkeamman kuiva-ainepitoisuuden voi selittää

tehokkaampi hiiliyhdisteiden sitoutuminen. Koska Booster -valaisimet lisättiin linjalle 1 eikä SPN-valaisimien asennustehoa vähennetty, oli linjalla 1 suurempi asennusteho kuin linjalla 2. Tästä syystä ei voida suoraan päätellä johtuiko ryhmän A matalammat nitraattitasot sinisestä valosta vai suuremmasta kokonaisvalomäärästä. Lannoiteliuosten erilainen koostumus saattoi myös vaikuttaa nitraattipitoisuuteen kasvilla.

Ryhmän A salaateille ilmaantuneen lehdenreunapolttteen syyksi arveltiin liian suurta valokertymää. Keinovalon asennusteho oli suurempi ryhmällä A ja lisääntyneen luonnonvalon sekä jatkuvan keinovalon yhdistelmä nosti valokertymän liian suureksi. Samassa muovikatteisessa kasvihuoneessa kasvaneissa B ja C ryhmissä ei poltetta havaittu, mutta viereisessä lasikatteisessa kasvihuoneessa, jossa luonnonvalon määrä oli suurempi, poltetta havaittiin. Linjan 1 kasteluliuoksen laatu saattoi myös olla osa syynä lehdenreunapolttteen syntymiseen. On myös vaikea arvioida miten liuoksen laatu on vaihdellut mittausten välisenä aikana. 17 DLI valokertymää ei saisi ylittää salaatin kasvatuksessa tai lehdenreunapolttteen riski kasvaa (Both n.d.). 24 tunnin valotuksessa se tarkoittaa valotasoa 197 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Todennäköisesti luonnonvalon lisääntyessä tämä raja ylittyi ja aiheutti lehdenreunapolttetta ryhmän A salaateille.

Nitraattipitoisuuksien erot olivat johdonmukaisia. Sinistä valoa vain taimikasvatuksessa saaneiden salaattien nitraattipitoisuus oli suurempi kuin koko ajan sinistä valoa saaneiden, mutta kuitenkin 10% pienempi kuin verranteella. Vähennys oli huomattava, sillä se saatiin aikaan vain taimivaiheen valotuksella. Koska ryhmä B ja C saivat saman valokäsittelyn ja lannoituksen taimivaiheen jälkeen voidaan todeta, että sininen valon vaikutus on näiden tulosten perusteella kauaskantoisempi kuin oli odotettu.

Kokeen tulokset toivat tietoa sinisen valon hyödyistä salaatin kasvihuoneviljelyssä. Useiden tässä opinnäytetyössä käytettyjen lähteiden perusteella voidaan olettaa, että tulokset ovat hyödynnettävissä myös muihin kasveihin. Kokemukset valaisimen vaikutuksista ovat linjassa sinisen valon vaikutuksista kasvien fysiologiaan ja morfologiaan. Sinisen valon lisääminen SPN-valaisimien valon sekaan lisää sinisen valon määrää suhteessa vihreän valon määrään. Tämän pitäisi tutkimusten mukaan lisätä ilmarakojen avautumista. Ilmarakojen avautuminen on tärkeää fotosynteesin toiminnan kannalta. Voidaan olettaa, että Booster-valaisin tehostaa kasvien yhteyttämistä tämän mekanismin kautta. SPN-valaisimien asennustehoa voidaan luultavasti laskea salaatin viljelyssä, jos sinisen valon määrää nostetaan. Asennustehon laskemisessa täytyy kuitenkin huomioda, että vaikka sinisen valon lisääminen aktivoi nitraattipitoisuutta laskevaa entsyymiä, tarvitaan myös riittävästi punaista valoa nitraattipitoisuuden laskemiseen.

Kokeen piti lähtökohtaisesti olla hyvin hallittu vaikka koeolosuhteet arvioitiin heti aluksi vaikeiksi. Kasvianalyysit olivat kokeen tärkein tavoite ja ne saavutettiin. Kasvien ulkoisen laadunarviointi jäi olosuhteiden pakosta niukaksi. Viitteitä kuitenkin saatiin, että sininen valo sai aikaan rapeampia ja tiiviimpiä salaatteja. Korkeampi kuiva-ainepitoisuus voi tehdä lehdistä tukevarakenteisemmän. Koeolosuhteiden tuottamat odottamattomat vaikutukset toivat kuitenkin myös osaltaan tietoa liiallisen valokertymän vaikutuksesta salaatin laatuun.

Vaikutukset taimien laatuun pituuskasvun hallinnassa ja nitraattipitoisuuden vähentämisessä ovat mielestäni tämän teknologian hyödyllisimpiä ominaisuuksia salaatin ympärivuotisessa viljelyssä. Koska taimen venyminen voidaan estää jo suhteellisen pienellä sinisen valon määrällä, ei valaisinmäärän tarvitse olla kohtuuttoman suuri. Nitraattipitoisuuden vähentäminen taimivaiheen valotuksella voidaan myös toteuttaa suuremmalle kasvimäärälle vähemmällä valaisinmäärällä sillä taimikasvatuksessa taimitiheys on suurempi. Lisätutkimusta tarvitaan vielä valon määrän ja jaksotuksen määrittämiseen. Kannattaako sinistä valoa antaa koko kasvukausi samalla intensiteetillä ja valotusajalla? Voiko intensiteetin vaihtelu vuorokauden aikana tuottaa positiivisia vaikutuksia?

Hybridivalotus, jossa käytetään suhteellisen laajalla valon spektrialueella säteilevää valaisinta, kuten SPN-valaisinta ja suhteellisen kapean aallonpituusalueen LED-valaisinta, saadaan todennäköisesti tehokkaammin laskettua nitraattitasoja, kuin käyttämällä vain sinistä ja punaista valoa tuottavaa LED-valaisinta. Lin, Huang, Huang, Hsu, Yang & Yang (2013, 88 – 89) havaitsivat, että vain sinistä ja punaista valoa tuottavan LED-valaisimen valossa kasvaneilla salaateilla nitraattitaso oli korkeampi, kuin sinistä, punaista ja valkoista valoa tuottavan valaisimen valossa kasvaneilla salaateilla. Myös loisteputkivalaisimen valossa kasvaneilla salaateilla nitraattitaso oli matalampi, kuin vain sinistä ja punaista valoa saaneilla salaateilla. Loisteputkivalaisimen valossa kasvaneiden salaattien nitraattitaso oli kuitenkin suurempi kuin sinistä, punaista ja valkoista LED-valoa saaneilla salaateilla. Valotaso oli kaikissa ryhmissä sama.

Lisätutkimusta pitäisi tehdä myös siitä miten sinisen valon lisäys vaikuttaa eri salaattilajikkeiden makuun ja varsinkin punalehtisten lajikkeiden väritymiseen. Erityisesti yrteillä pitäisi tutkia enemmän voidaanko sinisen valon määrällä vahventaa yrttien aromia. Nyt saatujen tulosten perusteella voidaan ainakin sanoa, että sinisen valon lisäyksellä voidaan parantaa jääsalaatin ravinnearvoja ja pienentää nitraattitasoja. Hybridivalotuksen käyttö ainoastaan taimivaiheessa osoittautui myös hyödylliseksi salaatin kehityksessä. Lisätutkimusta tarvitaan voidaanko vastaavia hyötyjä saada myös muilla kasveilla ja miten sininen valo vaikuttaa hedelmiä tuottaviin kasveihin.

LED-valaisimien käyttöön kasvihuoneissa liittyy monia muitakin seikkoja kuin valotehokkuus ja valon vaikutukset kasveihin. Esimerkiksi valaisimien materiaalikestävyys kasvihuoneolosuhteissa on tärkeä asia, sillä LED-valaisimien luvataan yleensä pitkää käyttöikää. Booster-valaisimen käytöllä voidaan mahdollisesti myös pidentää SPN-lampun käyttöikää. SPN-lampun alentunut säteilyteho lyhyimpien aallonpituuksien alueella ei vaikuta suuresti sinisen valo kokonaismäärään Booster-valaisimen ollessa käytössä. Tällöin SPN-lamppu voidaan polttaa loppuun ja lampun vaihtoväli kasvaa.

LÄHTEET

Aparicio, P. & Quiñones, M. 1991. Blue Light, a Positive Switch Signal for Nitrate and Nitrite Uptake by Green Alga *Monoraphidium braunii*. *Plant Physiol.* 95:1991. 374 – 378.

Björn, L. & Vogelmann, T. 1994. Quantification of light. Teoksessa *Photomorphogenesis in plants* 2nd Edition. Kluwer Academic Publishers. ISBN, 17 – 25.

Briggs, W. & Olney, M. 2001. Photoreceptor in plant photomorphogenesis to Date. Five Phytochromes, two cryptochromes, one phototropin, and one superchrome. *Plant Physiology* 3:2001. Waterbury. ASPB.

Both, A.J. n.d. Ten years of hydroponic lettuce research. Viitattu 28.4.2015.

<http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/lab551/vegetable/culturalpractice/ten%20years%20of%20hydroponic%20lettuce%20research.pdf>

Campbell, L.E. & Thimijan, R.W. *Farm lighting*. 1981. Beltsville. United States Department of Agriculture.

Chlorosis. University of Illinois Extension. Viitattu 27.11.2014
<http://urbanext.illinois.edu/focus/index.cfm?problem=chlorosis>

Dougher, T. & Bugbee, B. 2004. Long-term Blue Light Effects on the Histology of Lettuce and Soybean Leaves and Stems. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 129(4). 467-472. ISSN.

Dougher, T. & Bugbee, B. 2001. Evidence for yellow light suppression of lettuce growth. *Photochemistry and Photobiology* 73(2). 210. Viitattu 30.7.2014.

http://cpl.usu.edu/files/publications/publication/pub__4116525.pdf

Downs, J. 1994. *History and applications in controlled environments*. NASA. Viitattu 25.12.2014.

<http://biology.mcgill.ca/Phytotron/LightWkshp1994/2.2%20Downs/Downs%20Text.htm>

Fagerstedt, K., Lindén, L., Santanen, A. & Väinölä, A. 2008. *Kasvioppi siemenestä satoon*. Helsinki: Edita.

Hart, J-W, 1988. Light and plant growth. Lontoo: Academic division of Unwin Hyman Ltd.

Heuvelink, E., Dorais, M. Tomatoes. 2005. Trowbridge. Cromwell Press.

Hoenecke, M., Bula, R. & Tibbitts, T. 1992. Importance of 'Blue' Photon Levels for Lettuce Seedlings Grown under Red-light-emitting Diodes. HortScience 5:1992. Alexandria: ASHS.

Jaakkonen, A-K. & Vuollet, A. 1999. Tekovalon käyttö kasvihuoneissa. Teoksessa Koivunen, T. (toim.) Tehokkaasti kasvihuoneesta. Helsinki: Opetushallitus.

Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. & Yoshihara, T. 2010. Central research institute of electric power industry. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. Viitattu 30.7.2014. <http://hortsci.ashspublications.org/content/45/12/1809.full.pdf>

Kim, H., Goins, G., Wheeler, R. & Sager, J. 2004. Stomatal conductance of lettuce grown or exposed to different light qualities. Annals of botany 94. Viitattu 1.3.2015. <http://aob.oxfordjournals.org/content/94/5/691.full.pdf>

Larson, A. 2002. Identifying Lines in the Solar Spectrum. Viitattu 4.4.2015. <http://www.astro.washington.edu/courses/labs/clearinghouse/labs/Solarspec2/sunspec.html>

Letosaari, M. & Talikka, A. n.d. Absorbti- ja emissiospektrit. Viitattu 4.4.2015. http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy8/1_modernin_fysiikan_alku/102?C:D=i8TC.i6ld&m:selres=i8TC.i6ld

Lin, C. 2002. Blue light receptors and signal transduction. American society of plant biologists. Viitattu 30.7.2014. http://www.plantcell.org/content/14/suppl_1/S207.full.pdf+html

Lin, K., Huang, M., Huang, W., Hsu, M., Yang, Z. & Yang, C. 2013. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Capitata*). Scientia Horticulturae. 150(2013). 86 – 91.

Louden, W. C. & Schmidt, K. 1965. High-Pressure Sodium Discharge Arc Lamps. Viitattu 24.12.2014. <https://www.ies.org/PDF/100Papers/049.pdf>

Measuring Daily Light Integral in a Greenhouse. 2010. Organisaatio. Purdue University. Viitattu 1.8.2014. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-238-W.pdf>

Mohr, H. 1994. Coaction between pigment systems. Teoksessa. Kendrick, R. & Kronenberg, G. Photomorphogenesis in plants 2nd Edition. Kluwer Academic Publishers. ISBN, 353 – 373.

Osram. n.d. Viitattu 2.3.2015. http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/perustietoa/index.jsp

Pinho, P. 2008. Usage and control of solid-state lighting for plant growth. Teknillinen korkeakoulu, Department of Electronics, Lighting Unit, Report 49. Väitöskirja.

Piszczek, P. & Glowacka, B. 2008. Effect of the colour of light on cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. University of Technology and Life Sciences. 68:2008. Bydgoszcz.

Rabinowitch, E. & Govidjee. 1969. Photosynthesis. New York: Wiley.

Ruukkusalaatti. n.d. Organisaatio. Kekkilä. Viitattu 9.7.2014. http://www.kekkila.fi/system/resources/W1siZiIsIjIwMTQvMDQvMDgvMTNfMTZfNDhfNjYzX1JldWtrdXNhbGFhdHRpLnBkZiJdXQ/Ruukku_salaatti.pdf

Sirtautas, R., Virsile, A., Samuoliene, G., Brazaityte, A, Miliauskiene, J., Sakalauskiene, S. & Duchovskis, P. 2014. Growing of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) under high-pressure sodium lamps with supplemental blue, cyan and green LEDs. Zemdirbyste-Agriculture. 101(1). ISSN.

Talbott, L., Nikolova, G., Ortiz, A., Shmayevich, I. & Zeiger, E. 2002. Green light reversal of blue-light-stimulated stomatal opening is found in a diversity of plant species. American Journal of Botany. 89(2). 366 – 368.

Taulavuori, T. & Murman, T. 1999. Tekovalon käyttö kasvihuoneissa. Teoksessa Koivunen, T. (toim.) Tehokkaasti kasvihuoneesta. Helsinki: Opetushallitus, 181 – 196.

ANTOLIUOSANALYYSIN TULOKSET 11.12.2013



PURISTENESTEANALYYSI

Päivämäärä 19/12/13 Asiakasnumero Tutkimusnumero

| Näytteen numero | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|----------|----------|---|---|
| Lähetäjän tunnus | SALAATTI | SALAATTI | SALAATTI | | |
| *Johtokyky mS/cm | 2,4 | 1,9 | 2,4 | | |
| *Happamuus (pH) | 6,3 | 5,8 | 4,0 | | |
| Alkaliteetti (HCO ₃) mg/l | | | | | |
| Permang. (KMnO ₄) mg/l | | | | | |
| *Nitraattityppi (NO ₃ -N)mg/l | 240 | 140 | 210 | | |
| Amm.tyyppi (NH ₄ -N) mg/l | | | | | |
| *Fosfori (P) mg/l | 49 | 76 | 69 | | |
| *Kalium (K) mg/l | 330 | 200 | 380 | | |
| *Kalsium (Ca) mg/l | 130 | 140 | 96 | | |
| *Magnesium (Mg) mg/l | 54 | 57 | 39 | | |
| *Rikki (S) mg/l | 37 | 93 | 52 | | |
| *Rauta (Fe) mg/l | 1,9 | 3,6 | 2,9 | | |
| *Boori (B) mg/l | 0,19 | 0,29 | 0,30 | | |
| *Kupari (Cu) mg/l | 0,05 | 0,05 | 0,06 | | |
| *Mangaani (Mn) mg/l | 0,31 | 0,13 | 0,38 | | |
| *Sinkki (Zn) mg/l | 0,22 | 0,55 | 0,32 | | |
| *Molybdeeni (Mo) mg/l | 0,02 | < 0,02 | 0,02 | | |
| *Natrium (Na) mg/l | 21 | 30 | 22 | | |
| *Kloridi (Cl) mg/l | 16 | 4,4 | 15 | | |
| *Alumiini (Al) mg/l | < 0,08 | 0,08 | 0,08 | | |
| *Pii (Si) mg/l | 8,2 | 12 | 8,6 | | |
| Kasvikoodi | 51462 | 51462 | 51462 | | |

Vain ne määritykset, joissa tässä raportissa on merkintä (*), kuuluvat akkreditoinnin piiriin.
 Tulokset pätevät vain testatuille näytteille.
 Raportin saa kopioida vain kokonaan ilman testauslaboratorion lupaa.
 Akkreditointi ei koske suosituksia.

Oy HORTILAB Ab **FINAS**
 Finnish Accreditation Service
 T187 (EN ISO/IEC 17025)

ANTOLIUOSANALYYSIN TULOKSET 19.2.2014



PURISTENESTEANALYYSI

Päivämäärä 27/02/14 Asiakasnumero Tutkimusnumero

| Näytteen numero | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---------------|---|---|---|---|
| Lähtetjän tunnus | 4 SALAATTI | | | | |
| *Johtokyky mS/cm | 2,5 | | | | |
| *Happamuus (pH) | 5,4 | | | | |
| Alkaliteetti (HCO ₃) mg/l | | | | | |
| Permang. (KMnO ₄) mg/l | | | | | |
| *Nitraattityppi (NO ₃ -N)mg/l | 250 | | | | |
| Amm.tyyppi (NH ₄ -N) mg/l | | | | | |
| *Fosfori (P) mg/l | 15 | | | | |
| *Kalium (K) mg/l | 95 | | | | |
| *Kalsium (Ca) mg/l | 280 | | | | |
| *Magnesium (Mg) mg/l | 21 | | | | |
| *Rikki (S) mg/l | 15 | | | | |
| *Rauta (Fe) mg/l | 0,4 | | | | |
| *Boori (B) mg/l | < 0,04 | | | | |
| *Kupari (Cu) mg/l | < 0,02 | | | | |
| *Mangaani (Mn) mg/l | 0,09 | | | | |
| *Sinkki (Zn) mg/l | 0,03 | | | | |
| *Molybdeeni (Mo) mg/l | < 0,02 | | | | |
| *Natrium (Na) mg/l | 65 | | | | |
| *Kloridi (Cl) mg/l | 95 | | | | |
| *Alumiini (Al) mg/l | < 0,08 | | | | |
| *Pii (Si) mg/l | 7,2 | | | | |
| Kasvikoodi | 51461 | | | | |

Vain ne määritykset, joissa tässä raportissa on merkintä *, kuuluvat akkreditoinnin piiriin.
Tulokset pätevät vain testatuille näytteille.
Raportin saa kopioida vain kokonaan ilman testauslaboratorion lupaa.
Akkreditointi ei koske suosituksia.

Oy HORTILAB Ab **FINAS**
Finnish Accreditation Service
T187 (EN ISO/IEC 17025)

KASVIANALYYSIN TULOKSET 19.2.2014



KASVIANALYYSI

Päivämäärä 28/02/14 Asiakasnumero Tutkimusnumero

| Näytteen numero | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------|----------|----------|----------|---|---|
| Lähtetäjän tunnus | SALAATTI | SALAATTI | SALAATTI | | |
| Typpi (N) g/kg | 42,2 | 41,0 | 40,5 | | |
| Fosfori (P) g/kg | 5,92 | 6,42 | 6,65 | | |
| Kalium (K) g/kg | 87,6 | 103 | 95,7 | | |
| Kalsium (Ca) g/kg | 9,69 | 11,4 | 10,2 | | |
| Magnesium (Mg) g/kg | 3,74 | 4,47 | 4,33 | | |
| Rikki (S) g/kg | 2,31 | 2,40 | 2,33 | | |
| Rauta (Fe) mg/kg | 84 | 95 | 91 | | |
| Boori (B) mg/kg | 41 | 42 | 42 | | |
| Kupari (Cu) mg/kg | 3 | 4 | 6 | | |
| Mangaani (Mn) mg/kg | 93 | 72 | 63 | | |
| Sinkki (Zn) mg/kg | 33 | 30 | 30 | | |
| Kuiva-aine % | 5,0 | 3,8 | 3,7 | | |
| Kasvikoodi | 51461 | 51461 | 51461 | | |
| Nitraatti kasveista mg/kg* | 3300 | 3600 | 4000 | | |

Näytteenotto/vm 19/02/14 Saapunut 21/02/14 Aloitettu 21/02/14 Sivu ja yht 1/1
Merkki

Tulokset on ilmoitettu pitoisuuksina näytteen kuiva-aineessa.

Menetelmänkuvaus saatavana pyynnöstä.

Oy HORTILAB Ab