
LED-valaistuksen kustannustehokas käyttö salaatinviljelyssä



Hämeen ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Puutarhatalouden koulutusohjelma

Lepaa, 14.4.2011

Minna Kallinen

Puutarhatalous
Lepaa

Työn nimi LED-valaistuksen kustannustehokas käyttö salaatinviljelyssä

Tekijä Minna Kallinen

Ohjaava opettaja Mona-Anitta Riihimäki

Hyväksytty _____ . _____ . 20 _____

Hyväksyjä

LEPAA
Puutarhatalouden koulutusohjelma
Kasvihuone- ja taimitarhatuotanto

Tekijä	Minna Kallinen	Vuosi 2011
Työn nimi	LED-valaistuksen kustannustehokas käyttö salaatinviljelyssä	

TIIVISTELMÄ

Kasvihuoneiden energiankulutus on kasvanut koko ajan. Suurin osa energiankulutuksesta muodostuu sähköstä. Sähköstä suurin osa ympärivuotisessa kasvihuoneviljelyssä kuluu valotukseen, mikä onkin johtanut kehittämään sähköä mahdollisesti säästäviä valotusvaihtoehtoja, kuten LED-valaisimia.

Opinnäytetyö on osa nelivuotista ruukkuvihannesten kehittämishanketta, joka on alkanut vuonna 2008. Työn toimeksiantaja on Hämeen ammattikorkeakoulu, Lepaan yksikkö. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan LED-valaisimien soveltuvuutta ja kustannustehokasta käyttöä ruukkuvihannestuotannossa. Työ sisälsi kaksi osakoetta, joista toisessa kokeessa LED-valaisimien valotusteho vastaa HPS-valaisimien valotustehoa ja toisessa kokeessa LED-valaisimien valotusteho puolitetaan.

Työn tavoitteena on selvittää, voiko LED-valaisimien käyttö olla kustannustehokasta ruukkuvihannestuotannossa optimoimalla LED-valaisimien valotustehoa ja valotusajankohtaa. Työssä havainnoidaan myös LED-valaisimien sinisen- ja punaisenvalon aallonpituuksien vaikutusta Lollo Rosso-tyyppisen punaisen salaattilajikkeen punertumiseen.

Kokeiden perusteella voidaan sanoa, että hyvänlaatuisen salaatin kasvataminen on mahdollista LED-valaistuksella. Kasvattaminen onnistuu ainakin valotusteholla, jossa PAR-valon määrä vastaa HPS-valaisimien asennusteholla 120 W/m² mitattuja arvoja. Tällainen määrä LED-valaisimia on kuitenkin vielä tällä hetkellä liian kallis investointi tuottajalle. Kokeista kävi myös ilmi, että valon laadulla ja intensiteetillä on vaikutusta punaisen salaattilajikkeen värin muodostukseen. Kokeet osoittivat myös sen, että salaattien viljeleminen on mahdollista ilman luonnonvaloa. Seuraavaksi olisi mielenkiintoista yrittää selvittää punaisen värin muodostumisen ajankohtaa sekä muiden valon aallonpituuksien vaikutuksia salaatin kasvuun. Mielenkiintoista olisi myös tutkia, mikä on se pienin mahdollinen määrä LED-valaisimia, joilla olisi mahdollista kasvattaa kauppakelpoista salaattia.

Avainsanat Ruukkusalaatti, Ravinneliuosviljely, LED-valaistus

Sivut 39 s.

LEPAA
Degree Programme in Horticulture
Greenhouse and Nursery production

Author	Minna Kallinen	Year 2011
Subject of Bachelor's thesis	LED lighting in a cost-effective use of lettuce crops	

ABSTRACT

Energy consumption of the greenhouses has increased all the time. The largest part of the energy consumption in all year round greenhouse cultivation consist of electricity, because of the exposure. That has led to develop potentially energy-saving exposure options, such as LED lights.

This thesis is part of a four-year development project of potted vegetables, which began in 2008. The experiments were performed in the HAMK University of Applied Sciences, Lepaa unit. This thesis examines the suitability of LED lights and cost effective use of potted vegetable production. The work consisted two experiments. In first experiment the exposure efficiency of the LED lights is the same as exposure efficiency of the HPS lights. In second experiment the exposure efficiency of the LED lights is half of the first experiments exposure efficiency.

The aim is to determine can the use of LED lights be cost effective in production of potted vegetables optimizing the exposure efficiency and time of the LED lights. The thesis observed the impact of the blue and red wavelengths of the LED lights to Lollo Rosso-type lettuce variety turning red.

By the experiments can be said that cultivating good quality lettuce is possible with LED lighting. Cultivation is possible at least exposure efficiency where PAR light levels are equivalent to HPS lights installation power of 120 W/m² measured values. Such amount of LED lights is currently too expensive an investment to the grower. Experiments also showed that the light quality and intensity has an effect in the color formation of the red lettuce variety. The trial also showed that cultivating lettuces is possible without natural light. It would be interesting to try figure out the time of the red color formation and effects of other light wavelengths on lettuce growth. It also would be interesting examine what is the minimum amount of LED lights which could be possible to grow good quality lettuce.

Keywords Lettuce, Hydroponic culture, LED lighting

Pages 39 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	RUUKKUSALAATIN VILJELY KASVIHUONEESSA.....	2
2.1	Ruukkusalaattituotanto Suomessa.....	2
2.2	Ruukkusalaatin ravinneliuosviljely.....	2
3	VALON VAIKUTUKSET KASVEIHIN	5
3.1	Kasvien reagoiminen valoon.....	5
3.1.1	Fotosynteesi.....	5
3.1.2	Valon vaikutus kasvin kehitykseen	6
3.1.3	Kasvien värittyminen.....	7
3.2	Valon laadun vaikutus kasvuun.....	8
4	LED-VALAISTUS	11
4.1	Toiminta ja käyttö	11
4.2	Käyttö kasvihuoneissa.....	12
4.3	Kustannukset.....	14
5	AINEISTO JA MENETELMÄT.....	15
5.1	Koejärjestelyt ja käytetyt lajikkeet.....	15
5.2	Taimikasvatus.....	16
5.3	Kasvatusolosuhteet.....	17
5.4	Mittaukset.....	18
6	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	19
6.1	Valon laadun vaikutus ruukkuvihanneslajikkeisiin.....	19
6.2	Tuorepaino ja kuivapaino.....	22
6.3	Korkeus	27
6.4	Tiiviys.....	29
6.5	Juurten kunto.....	30
6.6	Värittyminen.....	32
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	33
	LÄHTEET	36

1 JOHDANTO

Kasvihuoneyrityksiä vuonna 2009 Suomessa oli 1722 kappaletta, joista vihanneksia viljeli 896 yritystä. Kasvihuoneyritysten tuotantoala oli yhteensä 441 hehtaaria, joista 266 hehtaaria käytettiin kasvihuonevihannesten tuotantoon. Kasvihuonevihanneksia tuotettiin noin 72 miljoonaa kiloa vuonna 2009, joista tomaattia oli noin 38 miljoonaa kiloa ja kurkkua noin 29 miljoonaa kiloa. Ruukkuvihanneksia tuotettiin noin 72 miljoonaa ruukkua. (Matilda maataloustilastot 2009.)

Kasvihuoneiden energiankulutus on kasvanut koko ajan vuoteen 2008 saakka (Kasvihuoneiden energiankulutus 2008). Kasvihuoneyrityksissä on useimmiten käytössä monta eri energiamuotoa: valotukseen käytetään sähköä, lämmitykseen haketta, turvetta sekä öljyä. Kevyt polttoöljy on yksittäisistä energiamuodoista yleisimmin käytössä, mutta harvoin se on pääasiallinen energiamuoto korkean hinnan vuoksi. Raskaspolttoöljy, kivihiili sekä antrasiitti ovat perinteisesti olleet isojen kasvihuoneyritysten energianlähteitä. Rajusti noussut energian hinta on kannustanut etsimään perinteisille energianlähteille kotimaisia vaihtoehtoja. Suurin osa kasvihuoneiden energiankulutuksesta ympärivuotisessa tuotannossa muodostuu kuitenkin sähköstä. Sähkön kulutuksen lisääntyminen johtuu ympärivuotiseen tuotantoon siirtymisestä, valotetun-alan kasvusta, sekä valotustehojen lisääntymisestä. Valotus on yleisesti käytössä tomaatin ja kurkun tuotannossa sekä lähes kaikilla ruukkuvihanneksia tuottavilla tarhoilla. (Kasvihuoneiden energiankulutus 2008.) Sähkön hinta on melkein kaksinkertaistunut viimeisen kymmenen vuoden aikana (Energiamarkkinavirasto), joka rohkaisee kehittämään sähköä mahdollisesti säästäviä valotusvaihtoehtoja, kuten LED-valaisimien käyttöä (Leino 2005).

Suomessa vihannesviljelyssä LED-valaistus otetaan mahdollisesti ensimmäisenä käyttöön salaatin viljelyssä (Jenkins 2010, 14). LED-valaistuksen käyttö korkeille kasvustoille voi olla hankalaa perinteisellä tavalla niiden teknisistä ominaisuuksista johtuen. Tomaatilla, kurkulla ja paprikalla LED-valaistuksen käyttö voisi olla mahdollista välivalotus-tekniikkaa hyödyntämällä. (Tuominen 2006, 15.) Salaatin viljelyssä valotustasot ovat kohtuullisia (jopa puolet pienemmät verrattuna korkeisiin kasvustoihin) ja valojen tuominen kasvien lähelle on mahdollista lämpösäteilyn puuttumisen myötä. Myös viljelytekniikka salaatilla on sellainen, että se mahdollistaa LED-valaisimien käytön. (Jenkins 2010, 14–15.)

Opinnäytetyöni on osa Hämeen ammattikorkeakoulussa Lepaalla tapahtuvaa nelivuotista ruukkuvihannestuotannon kehittämishanketta, joka on alkanut vuonna 2008 ja jatkuu vuoteen 2011. Työn tavoitteena oli selvittää kahden valaistuskokeen avulla, voiko LED valaisimien käyttö olla kustannustehokasta ruukkuvihannestuotannossa optimoimalla LED-valaisimien asennustehoa ja valotusajankohtaa. Ensimmäisessä kokeessa LED-valaisimien valotusteho vastasi HPS-valaisimien valotustehoa ja toisessa kokeessa LED-valaisimien valotusteho puolitettiin. Koe saa jatkoa talvella 2011, jolloin LED-valaisimien valotusteho on 2/3 HPS-valaisimien valotustehosta.

2 RUUKKUSALAATIN VILJELY KASVIHUONEESSA

Kasvihuonevihannesten kasvattaminen on yksi vaativimmista tehtävistä koko maatalousyrittäjien keskuudessa, koska se on suurilta osin tekniikka painotteista. Lehtivihannesten ja yrttien kasvattaminen kaupallisesti kiertävässä ravinneliuoksessa on yleistä. Jonkin verran myös tomaattia, kurkua, munakoisoa, paprikaa, meloneja ja mansikoita viljellään kaupallisesti vesiviljelyssä. Vesiviljely on maata ja vettä säästävää, hyvin tuottoisa, tehokas ja ympäristöä säästävää viljelymenetelmä. (Jensen 1999, 719–725.)

2.1 Ruukkusalaattituotanto Suomessa

Ruukkuvihannokset ovat kolmanneksi suosituin kasvihuoneessa tuotetuista vihanneksista kuluttajien keskuudessa tomaatin ja kurkun jälkeen kun tarkastellaan myyntiä kiloissa. Ruukkusalaatteja vuonna 2008 ostettiin 2 323 000 kg ja kaikkia kasvihuoneessa tuotettuja salaatteja yhteensä 12 640 000 kg, joka on noin 9 % vihannesten kokonaiskulutuksesta. (Kasvistase 2008.)

Ruukkuvihannesten tuotantopinta-ala on kasvanut tasaisesti vuodesta 1987 vuoteen 2008. Myös ruukkuvihannesten kokonaismäärä ja ruukkusalaatin tuotantomäärät ovat kasvaneet tasaisesti viimeisen 20 vuoden ajan. Vuonna 2008 ruukkuvihannetta tuotettiin ennätysmäärä. Ruukkusalaattia tuotettiin 59,6 miljoonaa kappaletta, joka on 79 % ruukkuvihannesten määrästä. (Puutarhayritysrekisteri 2008.) Ruukkuvihannetta tuottavien yritysten määrä Suomessa vuonna 2009 oli 76 kappaletta, joista ruukkusalaatteja tuotti 57 kappaletta. Yritysten määrä on kasvanut edelliseen vuoteen verrattuna, kun taas muita vihanneksia tuottavien kasvihuoneyritysten määrä on laskenut. Vain avomaankurkkua ja paprikaa kasvihuoneessa tuottavien yritysten määrä oli hieman kasvanut ruukkuvihannetta tuottavien yritysten tavoin. (Matilda maataloustilastot 2009.)

2.2 Ruukkusalaatin ravinneliuosviljely

Vesiviljely eli ravinneliuosviljely on kasvien kasvattamista ravinnevedessä ilman väliainetta tai väliaineen kanssa. Väliaineena käytetään eri kasvu- alustoja, jotka voivat olla muun muassa hiekkaa, soraa, vermikuliittia, kivivillaa, turvetta tai kookoskuitua. Väliaineen tehtävänä on antaa kasville tukea ja suojata juuria sekä sitoa ravinneliuosta itseensä. Vesiviljelyssä on kahta eri menetelmää, se voi olla avointa tai suljettua. Avoimessa viljelyssä ravinneliuos kiertää vain kerran kasvin juurten läpi, eikä sitä käytetä enää uudestaan, vaan ravinneliuos ohjataan pois. Suljetussa viljelyssä kerran kiertänyt ylijäämäliuos suodatetaan, ravinteet täydennetään ja se palautetaan kierto. (Jensen 1999, 724.)

Vesiviljelyssä käytetään monia eri menetelmiä, joista NFT (Nutrient Film Technique) on suosituin järjestelmä lehtivihannesten ja yrttien kasvatuksessa. NFT-menetelmässä ravinneliuos virtaa muovisten kasvatuskourujen läpi, joissa kasvien juuret sijaitsevat. Kourussa on reikiä, joihin salaattiruokku laitetaan taimikasvatuksen jälkeen. Kourut voivat olla myös päältä

kokonaan avonaisia. Avonaiset kourut eivät ole yhtä hyvä vaihtoehto, koska ne eivät suojaa juuria valolta. Valon pääsy kouruun edistää haitallisten levien kasvuja. Kourut asetetaan linjastoon n. 1 %:n kaltevuuteen. Ravinneliuos pumpataan kourun korkeammalla olevaan päähän, josta se virtaa painovoiman avulla koko kourun läpi toiseen päähän. Kun ravinneliuos on mennyt kerran juurten läpi, se menee putkia pitkin vedenkeruualtaaseen ja uudelleen kiertoon suodatuksen ja ravinnetäydennyksen kautta. (Bartosik 1990, 239–240; Jensen 1999, 726; Maloupa 2002, 150–151.)

Vesiviljelyllä on monia hyötyjä verrattuna muihin tavallisiin vihannestuoannon menetelmiin verrattuna. Siinä on paremmat mahdollisuudet hallita juuristo-olosuhteita apuna käyttäen kasvihuoneautomaatiikkaa. Yhdenmukaisuus kasvin ravinteiden saannissa voidaan varmistaa ja eri ravinnepitoisuudet voidaan sovittaa erilaisiin tarpeisiin koko kasvin kasvun ajan. (Maloupa 2002, 153.) Kaikki ravinteet ovat koko ajan kasvin käytettävissä ja ravinneliuoksen pH on helposti valvottavissa, jotta se on juuri sopiva kasvin ravinteiden ottoon. Pienempiä ravinnepitoisuuksia voidaan käyttää, eikä ravinteiden huuhtoutumista tapahdu. (Jones & Benton 2005, 5.) Suurin etu vesiviljelyssä verrattuna muihin menetelmiin on kuitenkin se, että tarvittavan ravintoliuoksen määrä on vähäinen. Liuos on helppo lämmittää talviaikaan, viilentää kesäaikaan sekä käsitellä tarvittaessa kasvinsuojelua-aineilla (Jensen 1999, 726; Maloupa 2002, 153).

Ravinneliuosviljelyllä on myös haittapuolensa. Laitteistojen ja tilojen rakentaminen on kallista, jolloin investointikustannukset kasvavat korkeiksi. Ravinneliuoksen kierrättäminen suljetussa järjestelmässä voi johtaa taudinaiheuttajien nopeaan lisääntymiseen ja leviämiseen. (Maloupa 2002, 153.) Esimerkiksi sienitauti *Pythium* on hyvin epätoivottu salaatin juuristotauti. *Pythium* on varsinkin kesäisin ongelma, jolloin ilma ja kasteluvesi lämpenevät sille suotuisaksi (Bartosik 1990, 240; Soini 2002, 4). Liian korkea ravinneliuoksen lämpötila johtaa myös juurten vaurioitumiseen ja epäedulliseen happitilaan. Hyvä ravinneliuoksen lämpötila on 15–16 °C. Toinen suuri ongelma ravinneliuosviljelyssä *Pythiumin* lisäksi on salaatin lehdenreunapolte, joka johtuu kalsiumin puutteesta. Salaatti ottaa ravinneliuksesta runsaasti kaliumia, jolloin kalium/kalsium-suhde häiriintyy ja tästä johtuen syntyy lehdenreunapoltetta. Myös kasvuolot vaikuttavat merkittävästi salaatin kalsiumin ottoon. (Bartosik 1990, 238–242.) Esimerkiksi liian korkeassa lämpötilassa kasvi haihduttaa paljon ja kasvin vedenotto ei pysy haihdutuksen tahdissa. Ottamastaan vedestä kasvi saa myös tarvitsemansa kalsiumin. (Jones & Benton 2005, 246.) Ravinneliuosviljelyn haittana voi olla myös kasvin nopea reagoiminen liian hyvään tai liian huonoon ravinnetilaan. Viljelijän tulisikin tarkkailla kasveja joka päivä. (Jones & Benton 2005, 5.)

Ruukkusalaatin kasvuaika talvikuukausina on noin 1,5 kuukautta ja kesäkuukausina noin yksi kuukausi. Jatkuvan sadon saamiseksi kylviä on tehtävä joka päivä tai muutaman päivän välein. (Bjelland 1988, 116; Voipio 2001, 174.) Siemenet tulee idättää viileässä (15–20 °C) ja pimeässä. Itäminen salaatilla on hyvin nopeaa ja kestää yleensä vain 2–3 vuorokautta. Heti itämisen jälkeen taimet siirretään valoon kasvamaan ja niitä kasvate-

taan 14–18 asteessa. Taimikasvatuksen jälkeen salaatit siirretään kasvatuskouruihin, joita kasvun edetessä harvennetaan. (Voipio 2001, 174.)

Viljelyn aikana lisävaloa salaatile tulisi antaa yli 18 tuntia vuorokaudessa pimeinä vuodenaikoina. Hiilidioksidipitoisuuden olisi hyvä olla 600–800 ppm ja ilmankosteuden noin 70 %. (Bjelland 1988, 114–117; Voipio 2001, 174.) Kasteluliuoksen johtokyvyn tulisi olla 1,5–2,0 mS/cm kasvatuskaukaudesta riippuen. Talvikuukausina (lokakuu-maaliskuu) sen pitäisi olla hieman korkeampi kuin kesäkuukausina (huhtikuu-syyskuu). Lannoituksen typpi-kalium-suhteen tulisi olla 1:1,6–1:2,0. Talvella salaatti tarvitsee kaliumia suhteessa typpeen hieman enemmän kuin kesällä. (Kekkilä 2009.)

3 VALON VAIKUTUKSET KASVEIHIN

Valo on sähkömagneettista säteilyä, jonka yksikkö on nanometri (nm) (Jaakkonen & Vuollet 1997, 35). Se koostuu pienistä hiukkasista eli fotoneista, joiden energia riippuu valon aallonpituudesta. Eri aallonpituudet voidaan havaita väreinä. (Jenkins 2008, 190). Valo on ihmissilmän havaittavissa aallonpituudella 400–700 nanometriä (Kuva 1). Tällä aallonpituusalueella ovat sininen, vihreä, keltainen, oranssi ja punainen valo. Sininen ja punainen valo ovat kasveille käyttökelpoista valoa. Infrapuna- eli lämpösäteily on pitkäaaltoista säteilyä (730–1000 nm), joka nostaa kasvin lämpötilaa. Lyhytaaltoista säteilyä on ultraviolettisäteily (300–380 nm), joka on niin ihmisen kuin kasvinkin soluille vaarallista. (Jaakkonen & Vuollet 1997, 35–36.)

3.1 Kasvien reagoiminen valoon

Valo on yksi kasvin kasvutekijöistä hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan, ilmankosteuden, veden ja ravinteiden lisäksi (Jaakkonen & Vuollet 1997, 29). Valon välityksellä kasvit saavat informaatiota ympäristöstään ja hyödyntävät säteilyenergiaa fytomassan eli kasvimassan tuotossa. Kasvimassan tuotto perustuu fotosynteesiin eli yhteyttämiseen. (Autio & Voipio 1991, 6). Kasvit käyttävät valon sinistä ja punaista osaa fotosynteesiin, mutta punaista valoa tehokkaammin. Kasvin kasvu riippuu sinisen ja punaisen aallonpituusalueen (400–700 nm) välillä olevista fotoneista ja tämä säteily on kasvin yhteyttämisen kannalta tehokasta säteilyä. (Jenkins 2008, 191). Kasvi vastaanottaa tietoa valosta erilaisten fotoreseptoreidensa avulla. Fotoreseptorit (valon vastaanottajat) voidaan jakaa fotosynteesiin osallistuviin ja niihin, joiden välityksellä kasvi saa informaatiota kasvuun ja kehitykseen. Fotoreseptorit vastaanottavat tietoja alueelta 300–1000 nanometriä. (Autio & Voipio 1991, 6.)

3.1.1 Fotosynteesi

Fotosynteesi on mahdollista kun lehtivihreää on alkanut muodostua valon vaikutuksesta ja viherhiukkaset (kloroplastit) ovat kehittyneet. Fotosynteesissä kasvit sitovat valon energiaa ja muuttavat sen kemialliseksi energiaksi, jolloin hiilidioksidista ja vedestä syntyy sokereita ja happea. Kasvi käyttää sokereita elintoimintoihinsa ja kasvuunsa. (Autio & Voipio 1991, 6; Jaakkonen & Vuollet 1997, 40).

Fotosynteesin valoreaktiot toimivat viherhiukkasissa, joissa tärkeimpinä valon vastaanottajina (fotoreseptoreina) toimivat sinivihreä klorofylli a ja kellanvihreä klorofylli b. Kumpikin klorofylli pyydystää eri aallonpituusalueiden fotoneita. Molemmat lehtivihreätyypit (Klorofyllit) hyödyntävät vihreää ja keltaista aallonpituutta melko heikosti, jolloin ne heijastuvat takaisin kasvin pintaosista ja saavat kasvit näyttämään ihmissilmään eriasteisen vihreiltä (Raukko, 2006a, 4). Klorofyllien lisäksi fotosynteesiin osallistuu keltaisia tai oransseja karotenoideja, joista yleisin on β -karotenoidi, sekä ksantofyllejä, joista yleisin on luteiini. (Attridge 1990, 24; Autio & Voipio 1991, 7; Jaakkonen & Vuollet 1997, 40; Raukko

2006, 4.) Karotenoidien pääasiallinen tehtävä on suojata fotosynteesin systeemejä vaurioitumasta, jonka voi saada aikaan valon ylimääräinen energia (Taiz & Zeiger 2002, 141).

Kasvien viherhiukkasissa (kloroplasteissa) toimiva yhteyttäminen koostuu valo- ja pimeäreaktioista, jotka tapahtuvat viherhiukkasen omissa osastoissaan. Valoreaktiot tapahtuvat kloroplastin sisärakenteessa olevissa kalvorakenteissa ja pimeäreaktiot tapahtuvat kloroplastin liukoisessa välitilassa, stroomassa. Pimeä reaktiot eivät tarvitse valoa, vaikka yleensä valossa tapahtuvatkin. (Pennanen 1992, 7.) Valoreaktiot muuntavat keräämänsä valoenergian kemialliseen muotoon ja pimeäreaktiot käyttävät valoreaktioiden tuottamaa energiaa hiilidioksidin sitomiseen ja pelkistämiseen hiilihydraateiksi. Valoreaktio on kaksiosainen, johon kuuluu valoreaktio I ja valoreaktio II. Valoreaktiot toimivat elektroninsiirtoketjussa, jonka käynnistää auringon valoenergia. Fotosynteesin elektroninsiirtoketjussa valoreaktio II toimii ennen valoreaktio I. Valoreaktio I tuottaa voimakkaan pelkistimen ja osallistuu hiilidioksidin pelkistämiseen, kun taas valoreaktio II hajottaa vettä ja tuottaa happea. (Tyystjärvi 1992, 10.)

Viherhiukkas rakenne kasvissa muuttuu lehden kehittyessä kasvukauden aikana. Rakenteeseen vaikuttaa valon lisäksi ekologinen ympäristö, jossa kasvi kasvaa (Pennanen 1992, 8). Valon määrä luonnossa vaihtelee vuorokauden ja vuoden mittaan. Joinakin aikoina kasvi voi saada liikaa valoa, joka vaurioittaa viherhiukasta. Erittäin kirkas valo voi aiheuttaa valoa keräävän klorofyllin hapettumista, mikä ilmenee lehden vaalenemisena ja voi johtaa lehden kuolemaan. Lievempiä vaurioita voi tapahtua jo normaalissa auringonvalossa, ja niitä kutsutaan fotoinhibitioksi. Fotoinhibitiio kohdistuu vain valoreaktio II:een. Se ei voi tappaa kasvia, vaan se vähentää kasvin fotosynteesiä luonnonolosuhteissa. Yhteyttämiskapasiteetti palautuu kuitenkin normaaliksi muutamassa tunnissa, jos valon määrä vähenee kasville siedettävälle tasolle. Kasvin kasvatusvalo määrää, kuinka paljon valoa sen yhteyttämiskoneisto kestää. Kasvi, joka on kasvanut kirkkaassa auringonvalossa sietää enemmän valoa kuin hämärässä valossa kasvanut kasvi. (Tyystjärvi 1992, 10–11.)

3.1.2 Valon vaikutus kasvin kehitykseen

Valolla on myös fotosynteesin lisäksi kasvien ulkonäköä muokkaava vaikutus, jota kutsutaan fotomorfogeneesiksi (Jaakkonen & Vuollet 1997, 41). Fotomorfogeneesissä valo vaikuttaa kasvin kasvuun, muotoon, rakenteeseen ja kehitykseen (Partanen 1992, 32). Esimerkkinä fotomorfogeneesistä ovat lehtilavan laajeneminen, varren pituuskasvu ja juurten kasvu. Oleellista tässä on kasvien saaman valon punaisen ja kaukopunaisen valon suhde. Paljon kaukopunaista valoa saavat kasvit kasvavat pituutta ja saattavat venyä liikaa. Sinisen valon on taas huomattu tekevän kasveista tiiviskasvuisempia. (Autio & Voipio 1991, 6; Jaakkonen & Vuollet 1997, 41.)

Valo vaikuttaa myös kasvin kykyyn reagoida eri vuorokauden aikoihin ja eri vuodenaikoihin. Valo välittää tiedon päivärhythmistä, jonka mukaan muun muassa solujen jakautuminen ja kasvu sekä ilmarakojen aukeaminen

tapahtuvat. Muutokset valon laadussa ja määrässä vuodenaikojen kuluessa säätelevät kukintaa ja lepotilaa. (Autio & Voipio 1991, 6; Jaakkonen & Vuollet 1997, 44.) Valo saa aikaan myös kasvien reagoimisen yöhön eritavalla kuin päivään. Jotkin kasvit reagoivat vuorokauden vaihteluun voimakkaammin kuin toiset. Päivällä kasvin lehdet ovat enemmän tai vähemmän horisontaalisti, mutta yöaikaan lehdet taittuvat kasvin päävarren suuntaisesti ylös tai alaspäin lajista riippuen. Tätä kutsutaan lehtien uniliikkeeksi. (Hart 1988, 15.)

Kasvin kehitykseen liittyviä fotoreseptoreita ovat fytochromi ja sinistä valoa sitovat reseptorit, joita on huomattavasti vähemmän kuin fotosynteesiin osallistuvia klorofyllejä ja karotenoideja. Fytochromi osallistuu muun muassa kukintaan virittymisen säätelyyn ja se absorboi punaista ja kaukopunaista valoa, mutta myös sinistä valoa. (Autio & Voipio 1991, 7–8.) Fytochromi-proteiini sijaitsee solukalvon alla ja aistii punaisen ja pitkäaaltoisen punaisen valon välisiä suhteita. Fytokromilla on eri proteiiniomuodot punaisessa ja pitkäaaltoisessa punaisessa valossa. Fytokromin kokonaismäärä tai proteiiniomuotojen välinen suhde kasvissa säätelee kasvua. Jos kasvi joutuu muiden varjoon ja näin ollen sen lehdet saa suhteellisesti enemmän pitkäaaltoista punaista säteilyä, kuin päivänvalossa ilman varjostusta, se kurkottaa kohti aurinkoa huomatessaan olevansa kasvulle epäedullisessa paikassa. Tästä johtuen kasvi kasvaa pituutta ja samalla sen lehtiala pienenee. Voimakas valo taas yleensä estää kasvien venymistä. (Raukko 2006a, 4–5.) Fytokromin on havaittu olevan mukana myös vuorokausirytmien säätelyssä (kukkien ja lehtien uniliikkeet), kukkien indusoimisessa valoperiodin vaikutuksesta ja joidenkin kasvien siementen itämisessä (Nyberg 1992, 15). Sinistä valoa sitovat reseptorit reagoivat valoon aallonpituudella 370–380 nanometriä ja 400–500 nanometriä. Sinisen valon reaktiot kasvissa aiheuttavat muun muassa varren kasvun estymistä, phototropismia, jossa yleensä nuori taimi kääntyy valoon päin, ilmarakojen aukeamista, lehtien avautumista, viherhiukkasten kehittymistä ja antosyaniini synteesiä (punaisten väriaineiden muodostuminen). (Hart 1988, 71.)

3.1.3 Kasvien värittyminen

Kasvit reagoivat niin pieniin kuin suuriinkin valomääriin. Monet kaksisirkkaiset kasvit tuottavat punaista antosyaanipigmenttiä voimakkaassa valossa. Samaan perustuu se, että punertavan omenan auringonpuoleinen sivu punertuu esimerkiksi lehden varjoon jäänyttä sivua enemmän. (Hart 1988, 90; Raukko 2006a, 5.) Valon laadun on todettu vaikuttavan punaisten väriaineiden, erityisesti antosyanidien muodostumiseen (Autio & Voipio 1994, 37). Terälehtien ja hedelmien keltainen väri taas johtuu niissä sijaitsevasta ksantofyllistä (Attridge 1990, 24). Antosyanidia esiintyy monissa kukissa ja hedelmissä, usein samoissa soluissa karotenoidien kanssa. Niitä on myös lehdissä ja ruohovarsissa ja ne voivat peittää lehtivihreän näkymättömiin. Antosyanidista johtuvaa punaista tai sinertävää väritystä syntyy kasveihin myös häiriöiden seurauksena. Kyseisiä häiriöitä voivat olla fosforin puute, alhainen lämpötila (syysvärät), sienitaudit ja tuholaisvioletukset. (Pankakoski 2006, 15–16.) Antosyanidien tehtävänä on suojata kasvia UV-vaurioilta ja toimia visuaalisena houkuttimena edistääkseen pö-

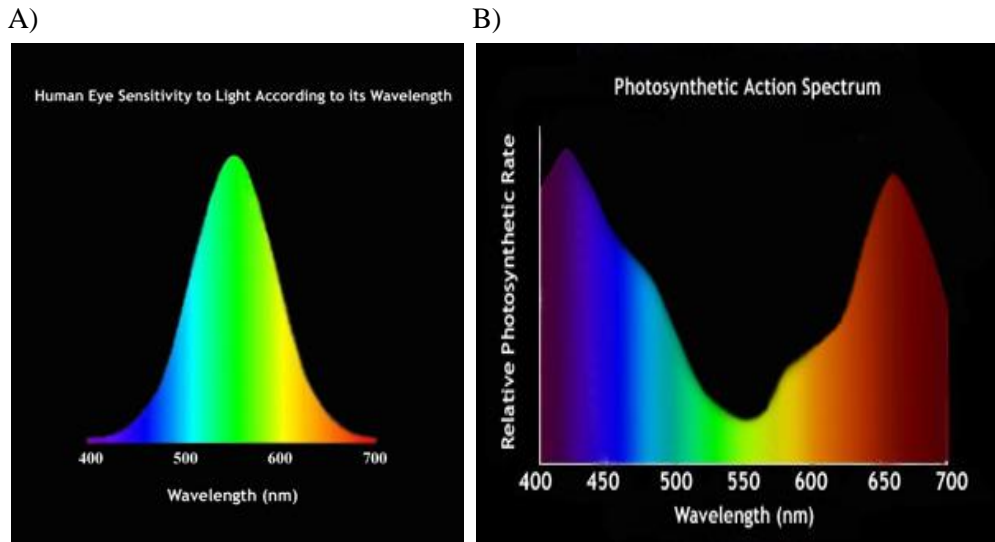
lytystä ja siementen leviämistä eläinten avulla (Hart 1988, 90). Myös säteilyn intensiteetti voi edistää väriaineiden muodostumista. Tehokkaat aaltoalueet väritykselle vaihtelevat lajeittain. Tehokkaita aaltoalueita ovat sininen + UV (290–480 nm), punainen (600–690 nm) ja kaukopunainen (700–760 nm). (Autio & Voipio 1994, 37.) Autio ja Voipio (1994, 37–45) ovat selvittäneet, että punalehtisen lehtisalaatin antosyanidipitoisuutta voidaan nostaa ja punaista väriä saada intensiivisemmäksi lisäämällä säteilyn intensiteettiä, antamalla UV-A-säteilyä (320–400 nm) sekä jäädyttämällä ravinneliuosta.

Li ja Kubota (2009, 59–64) ovat tutkineet lisävalon laadun vaikutusta muun muassa antosyanidien, karotenoidien ja lehtivihreän esiintymiseen salaatilla. Kokeessa käytettiin UV-A, sinistä, vihreää, punaista ja kaukopunaista sisältäviä LED-valoja lisävalona valkoiselle loisteputkivalotukselle. Pelkkä valkoista valoa sisältävä loisteputki valotus toimi verranteena. Eri valotuksilla saatiin aikaiseksi vaihtelua eri väriainepitoisuuksien välille. Kokeissa suurimman antosyanidi pitoisuuden tuotti UV-A-valotus ja toiseksi korkeimman sininen valotus. Sen sijaan kaukopunainen valo laski antosyanidipitoisuutta. Suurin karotenoidipitoisuus (β -karotenoidi ja ksantofylli) saatiin sinisellä valolla kun taas kaukopunainen valo vähensi pitoisuutta verrattuna loisteputkivalotukseen. Karotenoidipitoisuuksien välillä eri valotuksilla ei ollut suuria eroja havaittavissa. Myös klorofyllin osalta erot eri valotuksien välillä olivat hyvin pieniä. Vihreä, sininen ja UV-A-valot näyttäisivät hieman nostavan klorofyllipitoisuutta, kun taas kaukopunainen laskevan. Kokeen perusteella voidaan todeta, että tietyillä lisävalon aallonpituuksilla voidaan vaikuttaa kasvien väritykseen. Eriytisesti sininen ja UV-A-valo nostavat väriaineiden pitoisuutta.

3.2 Valon laadun vaikutus kasvuun

Valon määrä ja laatu vaikuttavat kasvien kehitykseen. Useita aallonpituuksia sisältävä valo takaa kasville tasapuolisen ja sopusuhtaisen kasvun, koska säteilyn eri aallonpituudet vaikuttavat kasvin eri toimintoihin. Auringonsäteily sisältää runsaasti sinistä, keltaista ja punaista valoa. (Partanen 1992, 31.)

Kasveihin vaikuttavaa säteilyä nimitetään PAR-säteilyksi (Photosynthetically Active Radiation), joka on yhteyttämisen kannalta tehokasta säteilyä (Kuva 1). Violetti (390–430 nm) ja sininen (430–485 nm) valo ovat kasveille edullista valoa, jotka mm. tukevoittavat vartta. Sinivihreä (485–505 nm) valo lisää kasvin yhteyttämistä, kun taas kellanvihreä (530–560 nm) ja keltainen (530–560 nm) valo ovat tehottomampia yhteyttämisen kannalta. Vihreä (505–530 nm) valo heijastuu takaisin kasvin vihreistä lehdistä. Oranssi (590–620 nm) ja punainen (620–760 nm) valo absorboituvat eli imeytyvät voimakkaasti lehtiin, edistävät pituuskasvua ja lisäävät huomattavasti yhteyttämistä. (Partanen 1992, 32.)



Kuva 1 Ihmissilmän havaitsemat aallonpituudet (A) ja kasville yhteyttämisen kannalta tehokas säteily (B). (Theorem innovation)

Tärkeitä kasvien kehitykselle ovat punainen ja pitkäaaltoinen punainen valo. Pitkäaaltoista punaista on tavalliseen auringonvaloon verrattuna eniten auringon laskiessa, lehdistön varjossa ja puolen sentin syvyydellä maasta. Pitkäaaltoisen punaisen määrä kertoo jotain vuorokaudenajasta, kasvin itämis- tai kasvuolosuhteista. (Raukko 2006a, 4.) Valo voi edistää tai estää siementen itämistä. Valo saa aikaan siemenen lepotilan tai siemenen lepotilan purkautumisen. Pitkäaaltoisella punaisella valolla on positiivinen vaikutus monien kasvien siementen itämiseen. (Hart 1988, 103–104.)

Valo ja hormonit toimivat vuorovaikutuksessa hallitakseen kasvin kasvua. Entsyymit ja kasvunsäätteet toimivat vahvistavina mekanismeina kasvin kasvun ja kehityksen muutoksissa, jotka johtuvat valosta. Valo voi muuttaa solujen reagoitua hormoneille positiivisesti tai negatiivisesti, mutta sillä ei ole suoraa vaikutusta aineenvaihduntaan. Monet fysiologiset reaktiot valoon liittyvät gibberelliiniin. Gibberelliini vaikuttaa esimerkiksi pimeässä itämiseen joillakin valoherkillä siemenillä (kuten salaatilla) ja kukkimiseen joillakin päivänpituusherkillä kasveilla (lähinnä pitkäpäivän kasveilla). Muita vuorovaikutuksessa valon kanssa toimivia hormoneja ovat auksiinit, etyleeni ja sytokiniini. (Hart 1988, 97–101.)

Kasvin kärkiosat ja lehdet hakeutuvat kohti valoa, kun taas sen juuret pyrkivät pysyttelemään pimeässä maan alla. Tätä valoon ja sen suuntaan liittyvää liikettä sanotaan fototropismiksi. Fototrooppisen reaktion aiheuttaa sininen valo. Valon siniset aallonpituudet edistävät ilmarakojen avautumista. Aamun valo on sinivoittoista, joka valmistaa kasvin yhteyttämiseen liittyvään kaasujen vaihtoon ilmarakojen kautta saamalla ne aukeamaan. Sinisen valon aiheuttamat fototrooppiset reaktiot voivat olla hyvinkin nopeita ja näkyä kasvisoluissa alle minuutissa, kun taas kasvin reagoitua punaisen ja pitkäaaltoisen punaisen valon määrän suhteeseen voi kestää yli tunnin. (Raukko 2006a, 5.)

Eri kasvilajit poikkeavat vaatimuksissaan valon laadun ja määrän suhteen. Salaatin kasvulle hyväksi on todettu olevan runsas punainen ja sininen valo, sekä vähäinen keltainen valo. (Särkkä, Nyrhilä, Rosvall, Tahvonen Halonen, Pinho & Tetri 2007, 20.) Valon laatu vaikuttaa myös kasvin sisäiseen laatuun ulkoisen lisäksi. Salaatilla se vaikuttaa ennen kaikkea monien vitamiinien (A, C, K, B) antioksidanttien ja nitraatin määrään, jota pidetään ihmiselle haitallisena. (Rantanen, Hytönen, Mouhu, Palonen, Elomaa, Pinho & Halonen 2010, 18.)

4 LED-VALAISTUS

LED-valot keksittiin 1900-luvun alkupuolella. Mutta vasta 1900-luvun lopulla tekniikan kehittyminen mahdollisti niiden taloudellisten ratkaisujen hyödyntämisen. Ensimmäiseksi LED-tekniikkaa hyödynnettiin erilaisissa näyttötäuluissa ja kaukosäätimissä. (Piirainen 2010, 174.) Tänä päivänä LED-tekniikkaa näkee jo aivan arkisissa asioissa. LED-tekniikkaa löytyy muun muassa autojen, tietokoneiden ja kodinkoneiden merkkivaloissa, ot-salampuissa, autojen jarru- ja ajovaloissa, erilaisissa sisustusvaloissa kodissa ja puutarhassa, lukuvaloissa ja jopa liikennevaloissa. (Rantanen 2006.)

4.1 Toiminta ja käyttö

LED-kirjainyhdistelmä tarkoittaa englannin kielen termiä Light Emitting Diode. LED on puolijohdekomponentti, joka lähettää valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa (Tuominen 2006, 14). Puolijohdetekniikassa valon aikaansaamiseksi tarvitaan elektronien liikettä, joka syntyy P- ja N-tyypin puolijohteita yhdistämällä. P-tyypissä on valenssielektronien puutetta, joi-ta sanotaan rei'iksi ja N-tyypissä on taas liikaa valenssielektroneja. Kun P- ja N-tyypin puolijohteet sijoitetaan lähekkäin, osa N-alueen ylimääräisistä elektroneista yhdistyy reikien kanssa ja muodostaa pareja, joihin sitoutuu energiaa. Kun järjestelmä on kytketty energialähteeseen, sitoutunut energia vapautuu valoenergiana. Valon väri taas riippuu käytetyistä materiaa-leista ja syötettävän energian määrästä. (Rantanen 2006; Raukko 2006b, 15.)

LED-diodille on ominaista, että se sisältää vain yhden aallonpituuden. Va-lon aallonpituutta voidaan muokata valon kuoren pintaan lisätyillä kalvoil-la ja pinnoitteilla. Hyödyllisten aallonpituuksien määrittämisen monimut-kaiseksi tekevät eri kasvien erilaiset fotoreseptorit. Kokeissa on yleisim-min käytetty yhdistelmiä, joissa suurin osa LED-valoista on punaista, kun taas sinisten valojen osuus on vaihdellut 10–30 prosenttiin. (Tuominen 2006, 14.)

Yksi suuri LED-valojen etu on pitkä käyttöikä. Myös muita etuja löytyy. LED-kalusteet ovat yksinkertaisia, pieniä ja valotus on tehokasta, koska aallonpituusyhdistelmä voidaan räätälöidä eri kasveille ja kasvuvaiheille sopivaksi. Aallonpituutta muuttamalla kasvunsäätö on helppoa, kun tiede-tään eri kasvilajeille sopivat valo-olosuhteet. Niissä on parempi optinen hyötysuhde. LED tuottaa vähän lämpöä, joka luo tasaisemmat viljelyolo-suhteet kasvustoon ja se käyttää vähemmän energiaa suurpainenaatrium-lamppuihin verrattuna. (Jenkins 2010, 14; Tuominen 2006, 15.) LED-tekniikka mahdollistaa valaistuksen viemisen lähemmäs kasvia, jolloin hukkavallo ja valosaaste vähenevät. Valosaaste voikin olla suuri ongelma HPS-valaistusta käytettäessä. (Leino 2005.)

Erilaisia LED-valaisimia käytetään puutarha-alalla jo nyt laboratorioissa, kasvinjalostuslaitoksissa, kasvinmonistuslaitoksissa ja pikkutaimituotan-nossa. Kaikissa näissä viljely tapahtuu pääsääntöisesti ilman luonnonvaloa ja valotustasot ovat alhaisia, sekä monissa kohteissa viljely tapahtuu ker-

roksissa. Aikaisemmin valotus näissä laitoksissa on toteutettu loisteputkilla. Nyt loisteputket on korvattu LED-valaisimilla, jotka sopivat erinomaisesti kerrosviljelyyn. Näissä laitoksissa kasvun ohjaaminen tapahtuu suurelta osin keinovalojen avulla. Tavoitteena on laadun parantaminen sekä tasaisien ja helposti kontrolloitavien olosuhteiden luominen. (Jenkins 2010, 14.)

4.2 Käyttö kasvihuoneissa

Nykyisin kasvihuoneissa käytössä olevien suurpainenatriumlamppujen (HPS-valaisimet) spektri on laajempi kuin LED-valaisimien. Suurpainenatriumvalaisimien spektri painottuu pääasiassa keltaiselle ja punaiselle aallonpituusalueelle. HPS-valaisimet tuottavat myös paljon lämpösäteilyä kun taas LED-valaisimet tuottama lämpösäteilyä on vähäistä. Suuren kokonsa vuoksi HPS-valaisimet varjostavat kasvustoa. LED-valaisimissa voidaan käyttää kasvin kasvua ja sadonmuodostusta tai terveysvaikutteisten yhdisteiden muodostumista edistäviä aallonpituuksia. LED-valaistus voi olla myös kevyt valaisinratkaisu, jonka mahdollistaa jatkuva energiatehokkuuden kasvu ja valonmäärän lisääntyminen niissä. Kevyitä valaisimia voidaan siirtää helposti ja ne varjostavat kasvustoa vähemmän, jolloin ilmaisen luonnonvalon hyödyntäminen on tehokkaampaa. (Rantanen ym. 2010, 18.)

LED-valojen käyttöä kasvihuoneissa tutkitaan ja niille tehdään kehitystyötä koko ajan. Suuret kasvuvalon myyjät, kuten Hortilux, Schröder, Gavita ja Philips pyrkivät saamaan mahdollisimman paljon käytännön kokemuksia LED-valaistuksen käytöstä, jotta he voisivat optimoida juuri oikeat aallonpituudet valoihinsa. (Vale 2010, 24.)

Urbonavičiūtė, Pinho, Samuolienė, Duchovskis, Vitta, Stonkus, Tamulaitis, Žukauskas ja Halonen (2007, 157–165) ovat tutkineet LED-valotuksen vaikutusta salaatin kasvuun ja ravinnepitoisuuksiin. Optimaalisin kasvu saatiin aikaiseksi käyttämällä punaisen ja sinisen spektrin komponentteja. Samalla valolla saatiin myös aikaiseksi suurin hiilihydraattipitoisuus salaattissa. Punaista ja alhaisen aallonpituuden komponentteja sisältävillä LED-valoilla huomattiin olevan nitraattipitoisuutta vähentävä vaikutus verrattuna loisteputkivalotukseen.

Li ja Kubota (2009, 59–64) tutkivat valon laadun vaikutusta kasvien väriainepitoisuuksiin. Samassa kokeessa he tutkivat myös valon laadun vaikutusta kasvin kasvuun. Kokeet osoittivat, että kaukopunainen valo verrattuna pelkkään loisteputki valotukseen lisäsi salaatin tuorepainoa, kuivapainoa varren pituutta, lehtien pituutta ja lehtien leveyttä. Toiseksi parhaan tuloksen antoi punainen valo. Kokeen perusteella voidaankin päätellä, että sopivassa suhteessa annettu sininen, punainen ja kaukopunainen lisävalo voivat lisätä väriaineiden pitoisuuksia ja biomassaa valkoisen valon alla kasvatettavilla kasveilla. Samankaltaisiin tuloksiin pääsivät Urbonavičiūtė, Samuolienė, Brazaitytė, Ulinskaitė, Jankauskienė, Duchovskis ja Žukauskas (2008, 83–92) omissa tutkimuksissaan. He tutkivat pelkän punaisen LED-valon ja neljää aallonpituutta (450 nm, 640 nm, 660 nm ja 735 nm) sisältävän LED-valon vaikutusta aineenvaihduntaan eri vihanneksilla. Ko-

keen tuloksien mukaan salaatti, meirami, vehnänoras ja lehtevä retiisi sopivat viljeltäväksi LED-valoilla, koska niillä todettiin suurempaa hiilihydraattipitoisuutta, nitraattipitoisuuden vähenemistä ja suurempaa C-vitamiinipitoisuutta. Salaatilla sovellettu valotus, jossa oli punaista, sinistä ja kaukopunaista oli paras fotosynteesin kannalta. Fruktoosi pitoisuus oli kolme kertaa suurempi neljää aallonpituutta käytetyllä valotuksella kuin suurpainenatriumvalotuksella.

Aalto-yliopiston ja Helsingin yliopiston yhteisessä LED hankkeessa tutkittiin ensimmäisessä kokeessa neljää valonkoostumukseltaan erilaista LED-valaisinta verrattuna HPS-valaisimeen. Kokeessa oli pelkästään sinistä ja punaista aallonpituutta sisältävien LED-valojen lisäksi lämminvalkoista ja kylmävalkoista valoa tuottavia LED-valoja yhdistettynä värillisiin LED-valoihin. Tarkoituksena oli selvittää valon laadun vaikutusta salaatin kasvuun ja ravitsemuksellisiin ominaisuuksiin. Tuloksista ilmenee, että molemmat lämminvalkoiset LED-valot pärjäsivät HPS-valolle tuorepainossa että lehtialassa. (Rantanen ym. 2010, 18–19.) Parhaiten salaatti kasvoi HPS-valon ohella lämminvalkoisessa LED-valossa, jonka spektri sisälsi myös punaista (57 %), sinistä (6 %), vihreää (37 %) sekä kaukopunaista valoa. Tuloksista käykin ilmi, että pelkkä sini-punainen valo ei tuo parasta kasvutulosta, vaan yhteyttämistä edistävän PAR-säteilyn lisäksi salaatti tarvitsee kaukopunaista valoa lisäämään pituuskasvua ja sen myötä lehtipinta-alaa ja tuorepainoa. Myös vihreä valo saattaa vaikuttaa biomassan kertymiseen. (Elomaa, sähköpostiviesti 6.10.2010; Rantanen ym. 2010, 19.)

Välivalotus LED-valoilla korkeissa kasvustoissa, kuten kurkulla, tomaatilla ja paprikalla voisi olla mahdollista kasvihuonetuotannossa (Murmman 2010, 12). Välivaloina käytetyn 250-wattisen suurpainenatriumlampun voisi mahdollisesti korvata LED-valaisimella hyvinkin pian (Jenkins 2010, 15). Norjalaiset ovat tutkineet LED-valojen käyttöä välivaloina ja niiden vaikutusta säilyvyyteen mm. kurkulla. Kokeiden tuloksista voitiin todeta, että välivaloa saaneet kurkut olivat paremmin säilyneitä verrattuna ainoastaan päältä valotetuissa kasvustoissa kasvaneisiin kurkkuihin. C-vitamiinipitoisuus ja sokeripitoisuus olivat korkeampia sinistä LED-valoa välivalotuksessa saaneissa kurkuissa. (Murmman 2010, 12.)

LED-valaistukseen siirtyminen kasvihuoneissa tuo mukanaan omat haasteensa. Siirtyminen LED-valotukseen aiheuttaa viljelytekniikan muuttamista. LED-valojen pienemmästä lämpösäteilystä johtuen kasvien haihdutus vähenee, mikä johtaa siihen, että kastelua olisi hyvä muuttaa ja kenties miettiä kasvualustan valintaa uudelleen. Kastelun muuttaminen taas johtaa lannoituksen muuttamiseen. Myös lämpötilaa tulee säätää, jotta saadaan optimoitua olosuhteet kasvin kasvulle ja sadontuotolle. (Jenkins 2010, 14–15.)

Viljelijöiden tiedon puute LED-valojen kehittymisestä hidastaa LED-valotukseen siirtymistä. Monet viljelijät muistelevat LED-valojen aikaisempia ongelmia, joista suurimman osan valmistajat ovat jo ratkaisseet. Valmistajien mukaan viljelijät pitäisi saada paremmin mukaan LED-valaistuksen soveltavaan tutkimukseen, koska LED-valaistukseen siirty-

minen voi olla ajankohtaista jo 2–3 vuoden päästä. On viljelijöiden etu, että he ovat olleet mukana tutkimuksissa ja ovat tietoisia niiden tuloksista, ennen kuin LED-valaistus otetaan käyttöön viljelmillä käytännön kasvi-huonetuotantoon. (Vale 2010, 26.)

4.3 Kustannukset

Suurpainenatrium-lamppujen ja LED-lamppujen investointikustannuksien välillä vielä tällä hetkellä on suuri ero. LED-valaistuksen hankkiminen tulee huomattavasti suurpainenatriumvalaistusta kalliimmaksi. (Jenkins 2010, 15.) Esimerkiksi Lepaalla käytössä olevat Philipsin GreenPower DR/B 150 LED-moduulit maksavat noin 100 € kappale (Jenkins, sähköpostiviesti 17.11.2010), kun taas HPS-valaisimen saa jopa kolme kertaa halvemmalla (Vale 2010, 25). Toisaalta hyötysuhteen erot eivät ole enää suuret. 400 watin suurpainenatriumlampulla hyötysuhde on noin 1,65 mikromoolia wattia kohti, kun uusimmilla LED-valaisimilla se on yli 1,55 mikromoolia wattia kohti. LED-teknologia tulee entisestään kehittymään ja hyötysuhde yhä kasvamaan, mistä johtuen hintakin tulee tulevaisuudessa putoamaan. (Jenkins 2010, 15.) Kun yksittäisten diodien tehot nousevat 10–20 wattiin ja tuotetun valon ja käytetyn energian suhde nousee lähelle nykyisiä HPS-lamppuja, LED-kaluston hankkiminen viljelmille saattaa tulla kannattavaksi. Tällöin valaisimien tehot ovat sellaiset, että kaluston investointikustannukset eivät ole liian suuret, kalusto ei varjosta liikaa ja lamput ovat energiatehokkaita. (Särkkä ym. 2007, 21.)

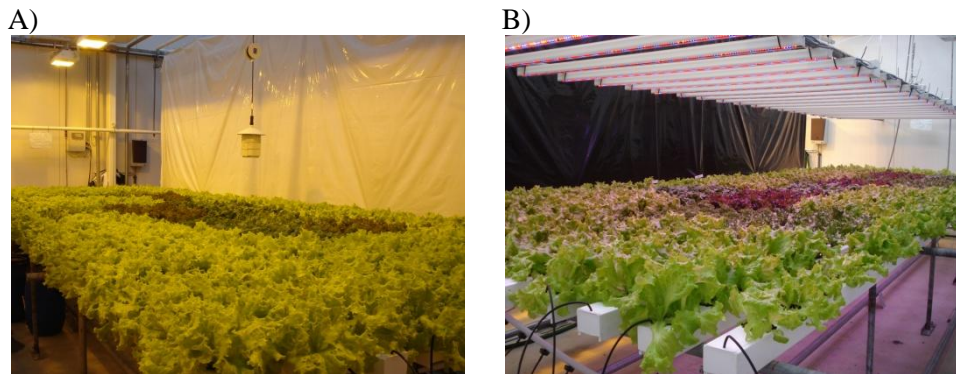
LED-valotus ei itsessään välttämättä tuo säästöä niinkään sähköön, mutta välillisesti se voi auttaa saavuttamaan säästöjä sähkössä ja muilla osaluilla. Jos osa valotuksesta tai koko valotus muutetaan LED-valotukseksi, lämpösäteily pienenee ja tästä johtuen tuuletuksen tarve vähenee. Tuuletuksen tarpeen pieneminen mahdollistaa hiilidioksiditasojen nostamisen, joka vaikuttaa positiivisesti kasvin kasvunopeuteen ja satotasoon. (Jenkins 2010, 15.) Tuuletuksen vähentyminen voi myös vaikuttaa lämmityskulujen pienemiseen, kun luukkuja ei tarvitse pitää auki. LED-valaistuksen on huomattu vaikuttavan positiivisesti tuotteiden varastointikestävyys, joka voi myös auttaa saavuttamaan säästöjä. LED-valaistus mahdollistaa valaistuksen avulla tapahtuvan kasvunsäätelyn, varsinkin kun luonnonvalo suljetaan kokonaan pois. Kun kasvunsäätely tapahtuu valoilla, voidaan kemiallisista kasvunsäätelystä luopua. (Jenkins 2010, 15.)

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

Ruukkuvihannesten valotuskokeet tehtiin Hämeen ammattikorkeakoulun Lepaan yksikössä. Kokeet suoritettiin kasvihuoneen koehuoneessa 2 keväällä 2010. Tämä työ sisälsi kaksi osakoetta. Ensimmäisessä kokeessa HPS- ja LED-valaisimien valotustehot mikromoleina vastasivat toisiaan. Toisessa kokeessa LED-valaisimien valotusteho puolitettiin ja HPS-valaisimien valotusteho pidettiin samana kuin ensimmäisessä kokeessa.

5.1 Koejärjestelyt ja käytetyt lajikkeet

Koehuone jaettiin kahteen osaan, HPS- ja LED-valotuspuoleen. Puolet erotettiin muovilla toisistaan (Kuva 2). Käytetyissä LED-valaisimissa oli 80 % punaista valoa (620–700 nm) ja 20 % sinistä valoa (430–485 nm). Ensimmäisessä kokeessa HPS-valojen asennusteho oli noin 120 wattia neliömetrille. LED-valot asennettiin siten, että niiden tuottama PAR-säteily vastasi HPS-valojen tuottamaa PAR-säteilyä. Toisessa kokeessa LED-valaisimista puolet otettiin pois ja HPS-valotus pysyi samana kuin ensimmäisessä kokeessa. Molemmat valotuskäsittelyt jaettiin kolmeen kerranteeseen, joiden sisällä koelajikkeiden paikat arvottiin. Koelajikkeet istutettiin koeruutuihin, joista kukin koostui 15 kasvista (Kuva 3). Kokeen lopussa mitattiin viisi satunnaista kasvia kustakin koeruudusta. Muovin puolella oli kaksi suojariviä, joka käsittää kaksi kourua ja seinän puolella oli yksi suojarivi. Jokaisen kourun alussa oli viisi suojakasvia ennen koekasvien alkua.



Kuva 2 Koejärjestelyt. A) HPS-valotus ja B) LED-valotus.

Ensimmäinen koe aloitettiin 21.1.2010 ja se lopetettiin 10.3.2010. Kuvan 3 numerot kuvaavat lajikkeita, joita kokeessa oli 6. Kokeessa oli kaksi Grand rapids-tyyppistä lehtisalaatti lajiketta: Hugin ja Vertente. Lollo Rosso-tyyppinen punainen salaattilajike oli Carmoli ja jääsalaattilajike oli Frillice. Salaattien lisäksi kokeessa tutkittiin persiljaa ja rucolaa. Hugin-lajike on tiiviskasvuinen lehtisalaattilajike, joka kestää hyvin kuumuutta ja ei ole altis lehdenreunapoltteelle (Schetelig-uutiset 2009). Vertente-lajike on Batavia-tyyppinen lehtisalaattilajike, joka on salaattikirvaresistenssi. Carmoli-lajike on elinvoimainen ja väriltään voimakkaan punainen. (Rijk Zwaan 2009.) Frillice-lajike on rapea, kerää tekemätön jääsalaatti, joka soveltuu ruukkuviljelyyn (HL-vihannes 2010).

HPS			LED		
2	1	4	1	3	5
6	5	3	2	6	4
1	2	6	6	3	4
4	3	5	1	5	2
1	6	4	5	3	1
2	5	3	2	6	4

Kuva 3 Ensimmäisen 1/1 LED kokeen koejärjestelyt. Kuvassa näkyy kaksi valotuspuolta, jotka ovat erotettu muovilla toisistaan. Kummallakin puolella on kolme kerrannetta. Kuvan numerot kuvaavat kokeessa olleita lajikkeita: 1=Hugin, 2=Vertente, 3=Carmoli, 4=Frillice, 5=Rucola, 6=Persilja.

Toinen koe aloitettiin 16.3.2010 ja se päättyi 4.5.2010. Toisessa kokeessa valotuskäsittelyt jaettiin kolmeen kerranteeseen, joiden sisällä koelajikkeiden paikat arvottiin (Kuva 4). Koelajikkeet istutettiin koeruutuihin, joissa kussakin oli 12 kasvia. Kokeen lopussa mitattiin kustakin koeruudusta viisi satunnaista kasvia. Muovin puolella oli kaksi suojariviä ja seinän puolella oli yksi suojarivi. Jokaisen kourun alussa oli viisi suojakasvia ennen koekasvien alkua. Kokeessa oli Lollo Rosson, jääsalaatin, rucolan ja persiljan (Kuvan 4 numerot 4–7) lisäksi vain yksi lehtisalaattilajike, jolla oli kolme erilaista taimikasvatusta (Kuvan 4 numerot 1–3). Lehtisalaatti oli Grand rapids-tyyppinen lajike Hugin, Lollo Rosso-tyyppinen lajike oli Carmoli ja jääsalaattilajike oli Frillice.

HPS			LED		
1	3	2	6	3	7
5	6	7	2	5	4
5	2	4	1	1	2
7	6	3	7	6	3
4	4	1	4	5	6
5	2	7	1	4	3
1	3	6	2	7	5

Kuva 4 Toisen ½ LED kokeen koejärjestelyt. Kuvassa näkyy kaksi valotuspuolta, jotka ovat erotettu muovilla toisistaan ja kummallakin puolella on kolme kerrannetta. Kuvan numerot kuvaavat kokeessa olleita lajikkeita: 1=Hugin, normaali taimikasvatus, 2=Hugin, LED taimikasvatus, 3=Hugin, LED taimikasvatus+infrapuna, 4=Carmoli, 5=Frillice, 6=Rucola, 7=Persilja.

5.2 Taimikasvatus

Ensimmäisen kokeen kylvö suoritettiin 21.1.2010, jolloin kylvettiin salaattiruukkuihin kolme pilleröityä siementä lehtisalaattilajikkeita ja kaksi siementä jääsalaattilajikkeita. Persiljaa ja rucolaa kylvettiin 20–30 siementä. Taimet kylvettiin VEFI-salaattiruukkuihin, joissa käytettiin kasvualustana Kekkilän lannoitettua ja kalkittua vaaleaa kasvuturvetta (White 620), joka

soveltuu salaatile ja taimikasvatukseen. Idätys tapahtui koehuoneessa aluksi valkoisenmuovin alla. Kun siemenet itivät, muovit poistettiin ja aloitettiin sumutus. Ensimmäisen vuorokauden aikana sumutettiin 3 sekuntia kerrallaan 15 minuutin välein. Ensimmäisen vuorokauden jälkeen sumutus vaihdettiin 30 minuutin välein tapahtuvaksi. Taimia sumutettiin yhteensä 3 päivää. Taimikasvatuksen aikana koehuoneen lämpötila pidettiin 15 °C ja valotusaika oli 20 tuntia vuorokaudessa. Reilun kahden viikon kuluttua kylvöstä taimet siirrettiin ravinneliuosviljelyyn. Kourut harvennettiin ensimmäisen kerran 17.2.2010 ja viikko tämän jälkeen kourut harvennettiin toisen kerran eli 24.2.2010.

Toisen kokeen kylvö tehtiin 16.3.2010. Toisen kokeen kylvö ja idätys tapahtuivat samalla tavalla kuin ensimmäisen kokeen. Hugin-lajikkeella oli kolme erilaista taimikasvatusta: kasvatus HPS-lamppujen alla (normaali taimikasvatus), kasvatus LED-valojen alla ja kasvatus LED-valojen ja infrapunalämmittimen alla. Neljä päivää kylvön jälkeen 20.3.2010 osa Hugin-lajikkeen taimista siirrettiin LED-puolelle taimikasvatukseen. Puolet LED-valotuksen alla olevista taimista saivat lämpöä infrapunalämmittimestä, koska LED-valot eivät tuota lämpöä kuten suurpainenatriumlamput. Infrapunalämmittimien alla kasvaneilla salaateilla lämpötila oli noin 2 astetta korkeampi kuin pelkkien LED-valaisimien alla kasvaneilla. Jääsalaatilla, Lollo Rosso-lajikkeella, persiljalla ja rucolalla oli normaali taimikasvatus. 29.3.2010 yötä lyhennettiin neljästä tunnista kahteen tuntiin, koska jääsalaatti alkoi venyä. Kouruihin siirto tapahtui 7.4.2010 ja ensimmäinen harvennus tehtiin 13.4.2010. Toinen harvennus tapahtui viikko ensimmäisen harvennuksen jälkeen 20.4.2010.

5.3 Kasvatusolosuhteet

Ensimmäisessä kokeessa ravinneliuosviljelyyn siirryttyä päivälämpötila nostettiin 17 °C:een, kun se taimikasvatuksen aikana oli 15 °C. Yölämpötilana pidettiin 15 °C. Tuuletuslämpötilana pidettiin 18 °C. LED-puolella lämpötila oli 1,5–2 °C viileämpää kuin HPS-puolella. Valotusjakso oli 20 tuntia ja yö oli neljä tuntia, joka oli kello 20.00–24.00 välisenä aikana. Ensimmäisessä kokeessa kasvit saivat myös luonnonvaloa. Valoisana aikana ilmankosteus oli noin 70 %.

Toisessa kokeessa taimikasvatuksen jälkeen ravinneliuosviljelyn päivälämpötilaksi asetettiin 17 °C ja tuuletuslämpötilaksi 18 °C. Yölämpötilana pidettiin 15 °C ja tuuletuslämpötilana 16 °C. Edellisestä kokeesta poiketen valotusaika oli kello 02.00–22.00 ja yö oli 22.00–02.00 välisenä aikana. Pimennysverhot olivat 80 % kiinni ja varjostusverhot 25 % kiinni. Luonnon valon määrä pyrittiin minimoimaan toisen kokeen aikana. Tuuletuksen vuoksi verhoja ei pystytty pitämään täysin kiinni. Ilmankosteus oli päiväsaikaan 70 % ja yöaikaan 50 %. Molemmissa kokeissa hiilidioksidilannoitusta annettiin 600 ppm, joka aloitettiin taimien siirryttyä ravinneliuosviljelyyn. Hiilidioksidi lannoitus saatiin pidettyä melko tasaisena molempien kokeiden ajan.

Lannoitus ensimmäisessä ja toisessa kokeessa annettiin Kekkilän kuukausittaiten lannoitusuosituksien mukaan (Kekkilä 2009). Lannoitus tapahtui

kahdesta emoliuossäiliöstä. Toisessa emoliuoksessa oli Vihannes-Superex-lannoitetta (NPK 9-5-31) ja toisessa liuoksessa oli kalkkisalpietaria (CaN-jauhe) ja magnesiumnitraattijauhetta (MgN-jauhe). Ensimmäisessä kokeessa Vihannes-Superexiä oli 1120 g/1000 litraa, kalkkisalpietaria oli 492 g/1000 litraa ja magnesiumnitraattijauhetta 97g/1000 litraa. Lannoituksen typpi-kalium suhde oli 1:1,82 ja ravinneliuoksen johtokyky oli 1,9 mS/cm. Toisessa kokeessa Vihannes-Superexia oli 890 g/1000 litraa, Kalkkisalpietaria 540 g/1000 litraa ja magnesiumnitraattijauhetta 86 g/1000 litraa. Lannoituksen typpi-kaliumsuhde oli 1:57 ja ravinneliuoksen johtokyky oli 1,7 mS/cm.

5.4 Mittaukset

Viljelyn aikana kasvuston kehitystä arvioitiin silmämääräisesti ja eri valotuspuolilla kasvaneiden yksilöiden erot tallennettiin valokuvaamalla. Kokeen lopussa jokaisesta koeruodusta mitattiin ennalta arvotut viisi koekasvia. Ensimmäisessä kokeessa tutkittiin yhteensä 180 kasvia ja toisessa kokeessa 210 kasvia. Kasveista tutkittiin tuorepaino, kuivapaino, korkeus, rakenne (tiiviskasvuisuus) ja juurten kunto.

Rakenne ja juurten kunto arvioitiin silmämääräisesti asteikolla 1–5. Rakenteessa 1 tarkoitti hyvin löysää rakennetta ja 5 tarkoitti hyvin tiivistä rakennetta. Juurten kunnossa 1 tarkoitti erittäin huonoja juuria ja 5 tarkoitti erittäin hyviä ja terveennäköisiä juuria. Tuorepaino ja kuivapaino mitattiin kasvin lehtiosista ilman pottia. Lehdet leikattiin tyvestä poikki, jotta saatiin lehdet punnittua. Punnituksen jälkeen lehtimassa laitettiin paperipussiin, johon merkittiin valotuskäsittely, lajike, kerranne ja kasvin numero. Lehtimassa kuivattiin ensimmäisessä kokeessa kuivatusuunissa ja toisessa kokeessa kuivatuskaapissa. Korkeus mitattiin ilman pottia pöytään teipillä kiinnitetyn viivoittimen avulla.

Ensimmäisessä kokeessa otettiin lehtinäytteet jokaisesta lajikkeesta ja lähetettiin kasvianalyysiin. Toisessa kokeessa kasvianalyysiin lähetettiin näytteet lehtisalaatista ja persiljasta. Kasvianalyysit suoritettiin viljavuuspalvelu Oy:ssä Mikkelissä. Kasveille tehtiin laaja kasvianalyysi joka sisältää typen (N), fosforin (P), kalsiumin (Ca), kaliumin (K), magnesiumin (Mg), boorin (B), rikin (S), raudan (Fe), kuparin (Cu), mangaanin (Mn) ja sinkin (Zn) pitoisuuksien mittaukset. Kasvianalyysin tuloksia ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

Ensimmäisen kokeen loppumittaukset aloitettiin HPS-puolen kasveilla 9.3.2010 ja LED-puolen mittaukset tehtiin seuraavana päivänä 10.3.2010. Kuivapainot mitattiin salaattien ollessa täysin kuivia. Kasvit pääsivät ensimmäisessä kokeessa hieman ylikasvamaan ja sen vuoksi saadut kokoa kuvaavat mitat ovat normaalia kauppaluokitusta korkeammat. Toisen kokeen loppumittaukset tehtiin 3.5.2010 HPS-puolelle ja 4.5.2010 LED-puolelle. Rucola on jätetty tuloksista pois, koska siitä on tehty erillinen opinnäytetyö.

6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

Kokeiden tuloksissa tarkastellaan kuinka eri salaattilajikkeet ja persilja reagoivat valon laatuun ja määrään. Tuloksissa tarkastellaan valon laadun vaikutusta tuorepainoon, kuivapainoon, korkeuteen, tiiviyteen, juurten kuntoon ja punaisen salaattilajikkeen väritymiseen. Molempien kokeiden tulokset käsiteltiin SPSS-tilasto-ohjelman varianssianalyysillä, josta saatiin selville olivatko tulokset tilastollisesti merkitseviä.

6.1 Valon laadun vaikutus ruukkuvihanneslajikkeisiin

Taulukossa 1 ja taulukossa 2 on esitettyä valotus-käsittelyiden vaikutukset eri lajikkeiden tuorepainoon, kuivapainoon, korkeuteen, tiiviyteen ja juurten kuntoon. Taulukossa 1 on esitettyä ensimmäisen kokeen tulosten keskiarvot, jossa HPS-valotuksen ja LED-valotuksen valotustehot olivat samat. Taulukossa 2 on esitetty toisen kokeen tulosten keskiarvot, jossa LED-valotuksen valotusteho oli puolet ensimmäisen kokeen valotustehosta.

Taulukko 1 Valon laadun vaikutus eri ruukkuvihannes lajikkeiden tuorepainoon, kuivapainoon, korkeuteen, tiiviyteen ja juurten kuntoon ensimmäisessä 1/1 LED kokeessa. Taulukossa esitetyt luvut ovat lajikkeiden keskiarvoja. Tp=tuorepaino ja kp=kuivapaino.

Lajike	Käsittely	Lehtien			Tiiviys	Juurten kunto
		Lehtien tp (g)	Lehtien kp (g)	korkeus (cm)		
Hugin	HPS	218,2	7,6	33,2	2,7	3,4
	LED	183,3	6,9	24,8	3,2	4,1
Vertente	HPS	171,9	6,6	30,5	2,7	4,2
	LED	200,6	7,3	22,8	3,9	2,9
Carmoli	HPS	115,2	4,8	27,1	3,3	4,1
	LED	125,3	5,3	19,7	3,5	2,9
Frillice	HPS	147,7	5,5	24,1	3,3	4,0
	LED	114,1	4,2	16,5	4,3	4,8
Persilja	HPS	56,0	3,9	31,1	2,5	4,6
	LED	58,3	4,5	22,9	4,3	4,8

Taulukko 2 Valon laadun vaikutus eri ruukkuvihannes lajikkeiden tuorepainoon kuivapainoon korkeuteen, tiiviyyteen ja juurten kuntoon toisessa ½ LED kokeessa. Taulukossa esitetyt luvut ovat lajikkeiden keskiarvoja. Tp=tuorepaino ja kp=kuivapaino.

Lajike	Käsittely	Lehtien			Tiiviys	Juurten kunto
		Lehtien tp (g)	Lehtien kp (g)	korkeus (cm)		
Hugin	HPS	164,6	5,9	27,8	3,1	2,7
	LED	103,3	3,9	25,0	2,4	2,7
Hugin, LED	HPS	145,3	4,8	25,0	2,3	2,3
	LED	81,5	3,0	23,0	1,9	2,4
Hugin, LED+IR	HPS	173,9	6,3	28,5	2,6	2,7
	LED	102,8	3,7	24,6	2,5	2,6
Carmoli	HPS	75,7	3,9	16,7	2,9	2,6
	LED	70,5	3,2	19,3	2,5	2,6
Frillice	HPS	170,8	6,2	19,3	2,9	2,4
	LED	75,5	2,8	17,1	2,1	1,9
Persilja	HPS	42,2	3,5	24,5	2,9	3,5
	LED	26,3	2,0	21,1	2,9	2,8

Ensimmäisen kokeen varianssianalyysit on esitetty taulukossa 3 ja toisen kokeen taulukossa 4. Analyyseissä tarkasteltiin eroja lajikkeiden ja valotuskäsittelyiden välillä sekä niiden yhteisvaikutusta tuorepainon, kuivapainon ja korkeuden suhteen. Tiiviyttä ja juurten kuntoa ei ole analysoitu SPSS tilasto-ohjelmalla, koska tulokset ovat silmämääräisiä arvioita ja kummassakin kokeessa arvioija on ollut eri henkilö. Tiiviyyden ja juurten kunnan tuloksissa voi olla vaihtelua eri kokeiden välillä, mutta se ei ole merkitsevää, koska kokeita ei verrata keskenään. Ensimmäisen kokeen varianssianalyysi sisältää lajikkeet Hugin, Vertente, Carmoli ja Frillice. Toisen kokeen varianssianalyysin tulokset koostuvat lajikkeiden Hugin, Carmoli ja Frillice tuloksista. Persiljan tulokset on analysoitu erikseen molemmista kokeista.

Taulukko 3 Ensimmäisen 1/1 LED kokeen varianssianalyysin tulokset. Taulukossa on salaattilajikkeiden tuorepainon, kuivapainon ja korkeuden vapausasteet (df), testisuureet (F-arvo) ja tilastollinen merkitsevyys (p-arvo). Tilastollinen merkitsevyys: Ei tilastollisesti merkitsevä ($p > 0,05$), merkitsevät erot ($p = 0,05-0,01$), hyvin merkitsevät erot ($p = 0,01-0,001$), erittäin merkitsevät erot ($p < 0,001$).

Muuttuja		Lajike	Käsittely	Kerranne	Lajikkeen ja käsittelyn yhteisvaikutus
	Vapausasteet (df)	3	1	2	3
Tuorepaino	F-arvo	18,165	0,651	0,245	6,170
	p-arvo	0,002	0,504	0,796	0,029
	Vapausasteet (df)	3	1	2	3
Kuivapaino	F-arvo	8,854	0,053	0,058	4,719
	p-arvo	0,013	0,839	0,945	0,051
	Vapausasteet (df)	3	1	2	3
Korkeus	F-arvo	82,660	19,129	0,334	0,354
	p-arvo	0,000	0,049	0,743	0,788

Taulukosta 3 voidaan nähdä, että ensimmäisessä kokeessa salaatti lajikkeiden korkeuksissa lajikkeiden välillä oli havaittavissa tilastollisesti erittäin merkitseviä eroja. Tuorepainossa ja kuivapainossa erot olivat taas merkitseviä lajikkeiden välillä. Valotuskäsittelyllä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta salaattien tuorepainoon ja kuivapainoon. Valotuskäsittelyllä oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus salaattien korkeuteen. Kaikki salaattilajikkeet olivat pidempiä HPS-valotuksessa kuin LED-valotuksessa (Kuva 9). Kerranteella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta varianssianalyysin tuloksiin. Lajikkeen ja valotuskäsittelyn yhdysvaikutus tuorepainon osalta oli tilastollisesti merkitsevä eli lajikkeiden reaktiot olivat HPS-valotukseen ja LED-valotukseen erilaiset. Kuivapainon ja korkeuden osalta lajikkeen ja valotuskäsittelyn yhdysvaikutuksella ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, vaikka kuivapainon erot ovatkin lähellä merkitseviä.

Taulukko 4 Toisen ½ LED kokeen varianssianalyysin tulokset. Taulukossa on salaattilajikkeiden tuorepainon, kuivapainon ja korkeuden vapausasteet (df), testisuureet (F-arvo) ja tilastollinen merkitsevyys (p-arvo). Tilastollinen merkitsevyys: Ei tilastollisesti merkitsevä ($p > 0,05$), merkitsevät erot ($p = 0,05-0,01$), hyvin merkitsevät erot ($p = 0,01-0,001$), erittäin merkitsevät erot ($p < 0,001$).

Muuttuja	Lajike	Käsittely	Kerranne	Lajikkeen ja käsittelyn yhteisvaikutus	
	Vapausasteet (df)	4	1	2	4
Tuorepaino	F-arvo	4,825	52,542	0,242	2,356
	p-arvo	0,028	0,019	0,818	0,141
	Vapausasteet (df)	4	1	2	4
Kuivapaino	F-arvo	7,262	227,221	0,221	3,989
	p-arvo	0,009	0,004	0,861	0,046
	Vapausasteet (df)	4	1	2	4
Korkeus	F-arvo	55,903	18,311	0,494	4,519
	p-arvo	0,000	0,051	0,733	0,033

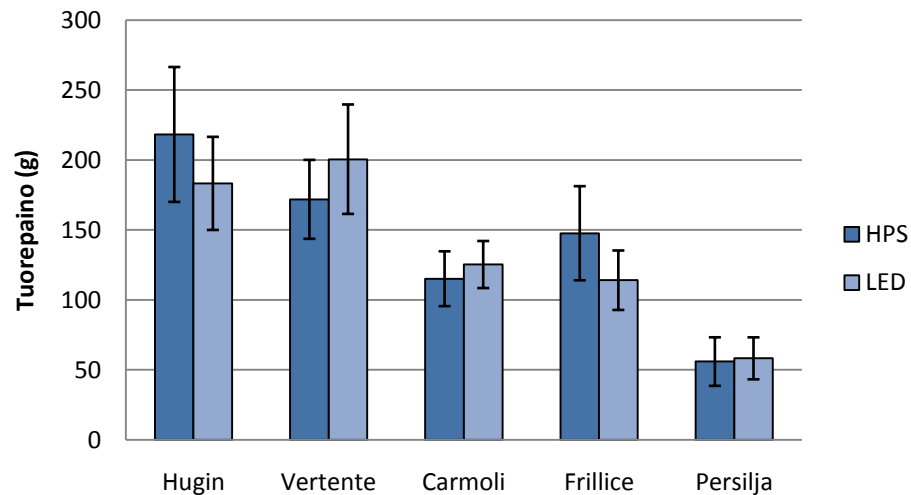
Taulukosta 4 voidaan nähdä, että toisessa kokeessa lajikkeiden korkeudet erosivat erittäin merkitsevästi toisistaan. Kuivapainossa lajikkeiden välillä oli hyvin merkitsevät erot ja tuorepainoissa erot lajikkeiden välillä olivat merkitseviä. Valotuskäsittelyiden välillä erot olivat merkitseviä tai hyvin merkitseviä tuorepainon ja kuivapainon osalta. Kaikki lajikkeet olivat painavampia HPS-valotuksella kuin LED-valotuksella (Kuva 7 ja Kuva 8). Valotuskäsittelyllä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kasvien korkeuteen. Kerranteella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta varianssianalyysin tuloksiin. Lajikkeen ja käsittelyn yhdysvaikutus kuivapainon ja korkeuden osalta oli tilastollisesti merkitsevä eli valon laatu aiheutti kuivapainoon ja korkeuteen tilastollisesti merkitseviä eroja eri lajikkeiden välillä. Lajikkeen ja valotuskäsittelyn yhdysvaikutuksella ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja tuorepainon osalta. Kuivapainoon ja korkeuteen lajikkeen ja valotuskäsittelyn yhteisvaikutuksella oli tilastollisesti merkitsevät erot.

6.2 Tuorepaino ja kuivapaino

Lehdet punnittiin kokeen päättyessä tuoreina, jonka jälkeen ne kuivattiin ja punnittiin kuivina. Tulokset analysoitiin varianssianalyysillä, josta selviää valon laadun vaikutus tuorepainoon ja kuivapainoon kunkin lajikkeen sisällä. Tulokset kertovat, onko lajikkeen reaktio ollut samanlainen molemmissa valokäsittelyissä.

Ensimmäisessä kokeessa kaikkien lajikkeiden lehtien tuorepainot ylittivät laatuvaatimusten määrittämät minimipainot molemmilla valotuspuolilla myöhästyneen sadonkorjuun vuoksi. Minimipainot laatuvaatimusohjeiden mukaan ovat lehtisalaatilla 115 g, jääsalaatilla 100 g, Lollo rossolla 80 g ja persiljalla 30 g (Kauppapuutarhaliitto ry). Taulukon 1 mukaan lehtisalaateista 'Hugin' kasvatti suurimman lehtimassan HPS-puolella. Lajikkeiden

väliset erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä (Taulukko 3). Hugin-lajikkeen lehtien tuorepainon keskiarvo HPS-valotuksessa oli 218,2 g. 'Vertente' kasvoi suurimmaksi LED-puolella. Vertente-lajikkeen lehtien tuorepainon keskiarvo oli 200,6 g. 'Carmoli' kasvatti suuremman lehtimassan LED-puolella, kun taas 'Frillicen' lehtimassa oli suurempi HPS-puolella (Kuva 5). Persilja kasvoi tasaisesti molemmilla valotuspuolilla, HPS-puolella tuorepainojen keskiarvo oli 56,0 g ja LED-puolella 58,3 g (Taulukko 1).

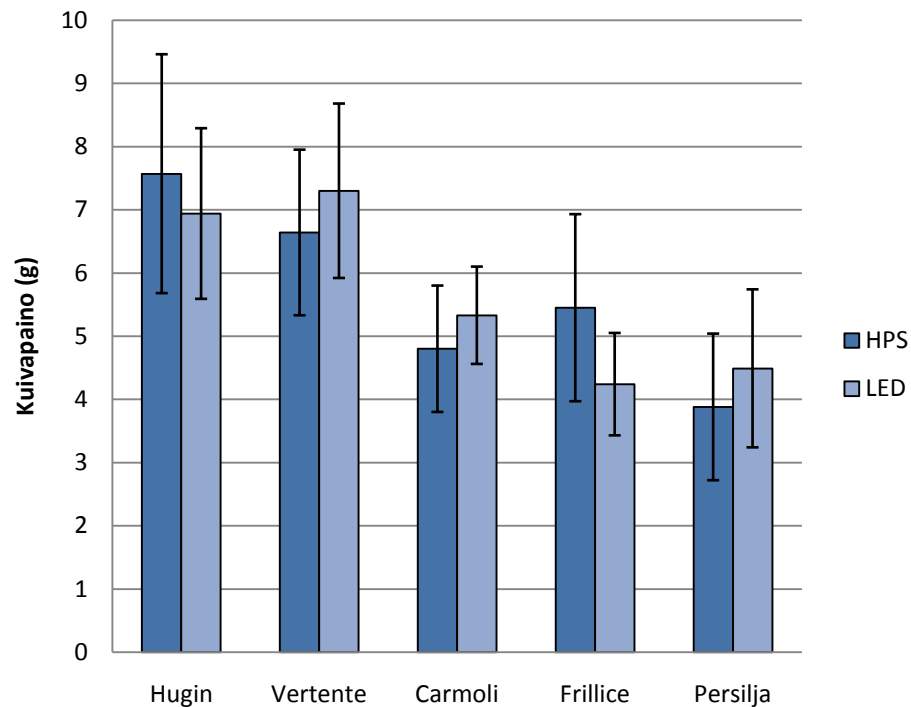


Kuva 5 Valon laadun vaikutus lajikkeiden tuorepainoon ensimmäisessä 1/1 LED koeksessa. Kuvassa on esitetty valotuskäsittelyiden vaikutus eri lajikkeiden tuorepainoon, kun valotusteho oli molemmissa käsittelyissä sama. Kuvassa on myös esitetty keskihajonta.

Varianssianalyysin mukaan 'Huginin' tuorepainot HPS-valaistuksessa kasvaneilla salaateilla olivat merkitsevästi suuremmat kuin LED-valaistuksessa kasvaneilla salaateilla ($df=1$, F -arvo=24,324, p -arvo=0,039), kun taas 'Vertentellä' valotuskäsittelyiden välillä ei ollut tuorepainossa tilastollisesti merkitseviä eroja ($df=1$, F -arvo=1,616, p -arvo=0,332). Myöskään 'Carmolin' ($df=1$, F -arvo=0,518, p -arvo=0,547) 'Frillicen' ($df=1$, F -arvo=4,548, p -arvo=0,167) ja persiljan ($df=1$, F -arvo=1,422, p -arvo=0,355) tuorepainoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja valotuskäsittelyiden välillä.

Kuivapainoissa erot eri valotuksien välillä noudattivat samaa linjaa kuin tuorepainoissakin: se kumpi valotuspuoli tuotti suuremman lehtimassan, tuotti myös suuremman kuivapainon. 'Huginin' kuivapaino oli HPS-puolella 7,6 g ja LED-puolella 6,9 g, kun taas 'Vertentellä' kuivapaino oli suurempi LED-puolella (7,3 g) kuin HPS-puolella (6,6 g) aivan kuten tuorepainoissakin (Taulukko 1 ja Kuva 6). Kummallakaan lehtisalaatilla erot kuivapainoissa eri valotuksien välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. 'Carmoli'-lajikkeella kuivapainojen keskiarvo oli korkeampi LED-puolella ja pienempi HPS-puolella, kun taas 'Frillice'-lajikkeella tulos oli päinvastainen. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä kummallakaan lajikkeella eri valotuskäsittelyiden välillä. Persiljalla erot

eri valotuksien välillä olivat suuremmat kuivapainossa kuin tuorepainossa, mutta eivät kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä.

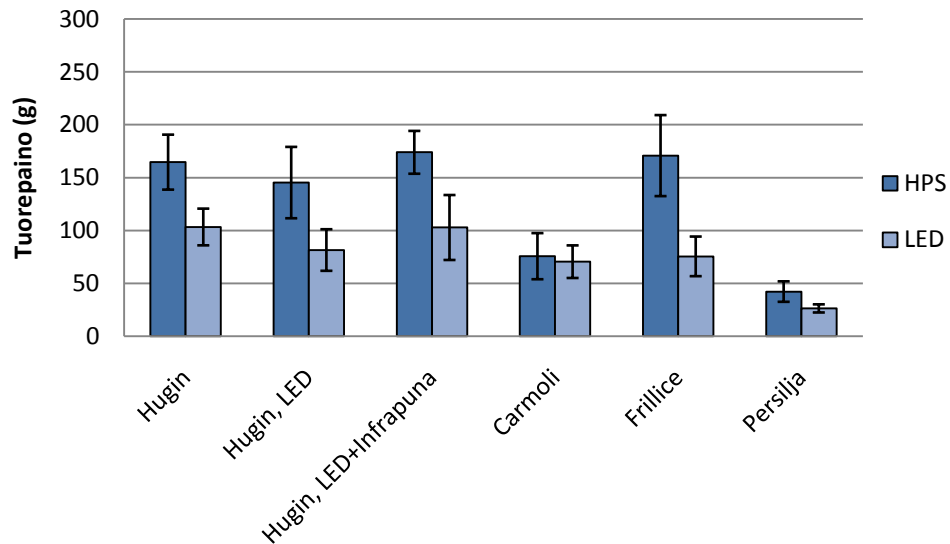


Kuva 6 Valon laadun vaikutus lajikkeiden kuivapainoon ensimmäisessä 1/1 LED kokeessa. Kuvassa on esillä kuivatun lehtimassa keskiarvopainot sekä keskihajonnat.

Toisessa kokeessa oli vain yksi lehtisalaattilaji. Toisessa kokeessa tutkittiin valon laadun vaikutuksen lisäksi kolmen eri taimikasvatuksen vaikutusta lehtisalaattilajikkeella Hugin. Myös LED-valaisimien valotusteho poikkesi ensimmäisestä kokeesta: valaisimien määrä puolitettiin verrattuna ensimmäiseen kokeeseen. 'Huginin' lisäksi kokeessa olivat mukana, kuten ensimmäisessäkin kokeessa, 'Carmoli', 'Frillice' ja persilja.

Toisessa kokeessa lajikkeet Hugin, Frillice ja persilja ylittivät laatuvaatimusten määrittämät minimipainot HPS-valotuksella. LED-valotuksella laatuvaatimusten minimipainot eivät täytyneet millään lajikkeella (Taulukko 2). Carmoli-laji ei saavuttanut minimipainoa kummallakaan valotuksella. Kaikki lajikkeet kasvoivat suuremmiksi HPS-valotuksella (Kuva 7). Carmoli-lajikkeen ja persiljan tuorepainoissa ei ole havaittavissa suuria eroja eri valotuskäsittelyiden välillä. Hugin-lajikkeella ja Frillice lajikkeella erot ovat huomattavammat. Hugin-lajikkeen taimikasvatuksen aikana LED-valotusta saaneet kasvit kasvoivat heikoimmin molemmilla valotuskäsittelyillä verrattuna Hugin-lajikkeen muihin taimikasvatuksiin. Parhaiten HPS-valotuksella kasvoivat taimikasvatuksen aikana LED-valotusta ja infrapunalämmitystä saaneet Hugin-lajikkeen salaattit, joiden tuorepainojen keskiarvo oli 173,9 g (Taulukko 2). LED-valotuksella parhaiten kasvoivat normaalin taimikasvatuksen saaneet Hugin-lajikkeen salaattit, joiden tuorepainojen keskiarvo oli 103,3 g. Taimikasvatuksen aikana LED-

valotusta ja infrapunalämmitystä saaneet 'Huginit' (tuorepainojen keskiarvo 102,8 g) kasvoivat melkein samoihin mittoihin normaalin taimikasvatuksen saaneiden 'Huginien' kanssa LED-valotuksella. Erot tuorepainoissa eivät olleet suuret myöskään HPS-valotuksella.



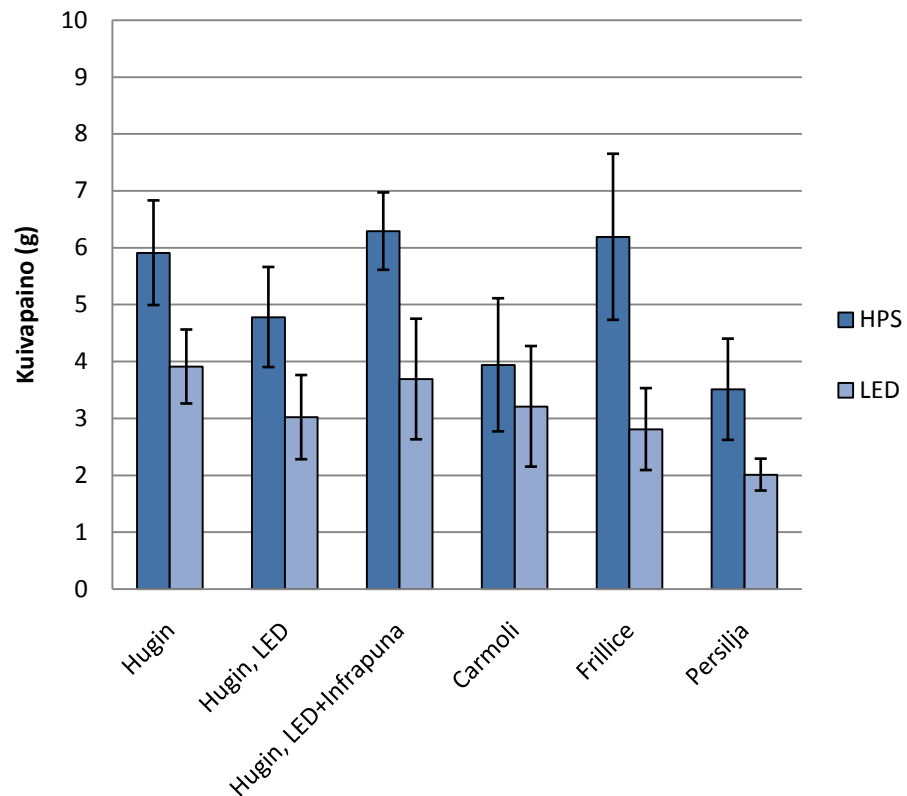
Kuva 7 Valon laadun vaikutus lajikkeiden tuorepainoon toisessa ½ LED kokeessa. Kuvassa on esitettyä valotuskäsittelyiden vaikutus eri lajikkeiden tuorepainoon, kun LED-käsittelyn valotusteho on puolet toisesta käsittelystä. Kuvassa on myös esitetty keskihajonta.

Varianssianalyysin mukaan 'Huginin', jolla oli normaali taimikasvatus, tuorepainojen välillä eri valotuskäsittelyillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ($df=1$, F -arvo=4,926, p -arvo=0,157). LED-valaistuksessa taimikasvatuksen aikana kasvaneella Hugin-lajikkeella tuorepaino oli merkitsevästi suurempi HPS-valaistuksessa kasvaneilla salaateilla kuin LED-valaistuksessa kasvaneilla salaateilla ($df=1$, F -arvo=32,322, p -arvo=0,030). Myös LED-valaistusta ja infrapuna-säteilyä taimikasvatuksen aikana saaneella Hugin-lajikkeella tuorepaino oli merkitsevästi suurempi HPS-valaisimien alla kasvaneilla salaateilla verrattuna LED-valaisimien alla kasvaneisiin salaatteihin ($df=1$, F -arvo=22,681, p -arvo=0,041).

'Carmolin' tuorepainoissa eri valotuskäsittelyiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ($df=1$, F -arvo=0,520, p -arvo=0,546). 'Frillice' ($df=1$, F -arvo=35,121, p -arvo=0,027) ja persilja ($df=1$, F -arvo=24,002, p -arvo=0,039) olivat merkitsevästi painavampia HPS-valotuksella kuin LED-valotuksella.

Myös toisen kokeen kuivapainot noudattavat samaa linjaa tuorepainojen kanssa: se kumpi valotuskäsittely tuotti suuremman tuorepainon, tuotti myös suuremman kuivapainon. Kuivapainot olivat suuremmat kaikilla la-

jikkeilla HPS-valotuksella (Kuva 8). Myös kuivapainoissa pelkkää LED-valotusta taimikasvatuksen aikana saaneet Hugin-lajikkeen salaattit tuottivat huonoimman kuivapainon molemmilla valotuskäsittelyillä. Suurin kuivapaino HPS-valotusta saaneilla 'Hugineilla' oli LED-valo ja infrapuna taimikasvatuksessa olleilla salaateilla, joiden kuivapaino oli 6,3 g (Taulukko 2). LED-valotuksessa kasvaneilla 'Hugineilla' normaalin taimikasvatuksen saaneet salaattit tuottivat suurimman kuivapainon, joka oli 3,9 g. Normaalin taimikasvatuksen 'Huginit' ja LED-valotusta ja infrapunalämpösäteilyä taimikasvatuksen aikana saaneet 'Huginit' olivat tasaisia kuivapainoissa molemmilla valotuskäsittelyillä. Frillice-lajikkeella erot kuivapainoissa olivat suuret eri valotuskäsittelyillä. HPS-valotusta saaneiden Frillice-lajikkeen salaattien kuivapainojen keskiarvo oli 6,2 g, kun taas LED-valotusta saaneilla salaateilla se oli vain 2,8 g (Taulukko 2).



Kuva 8 Valon laadun vaikutus lajikkeiden kuivapainoon toisessa ½ LED kokeessa. Kuvassa on esitetty kuivatun lehtimassan keskiarvopainot sekä keskihajonnat.

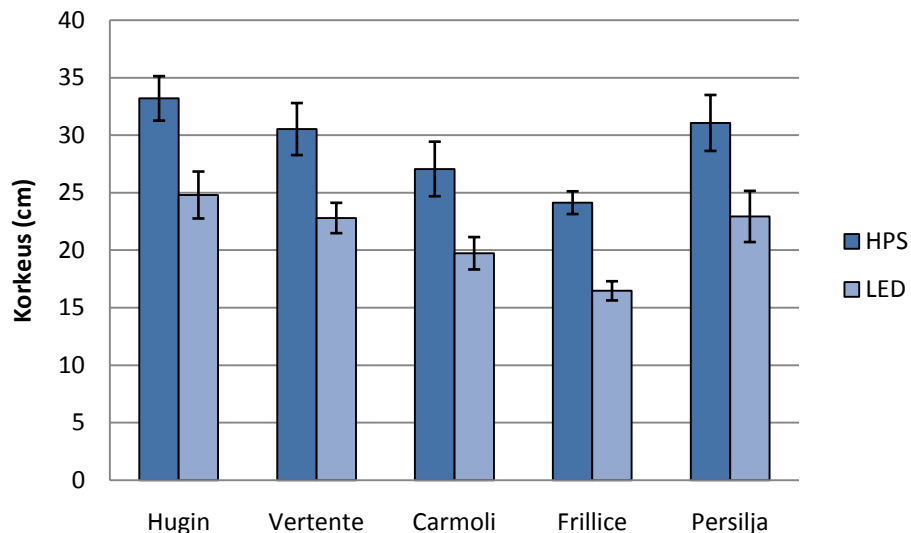
Taimikasvatusolosuhteet aiheuttivat tilastollisesti merkitseviä eroja viljelyn lopussa mitattuihin Hugin-lajikkeen kuivapainoihin. Normaalin, HPS-valaisimien avulla tapahtuneen taimikasvatuksen jälkeen HPS-valaisimien alla ravinneliuosviljelyssä kasvatetut salaattit saavuttivat merkitsevästi korkeamman kuivapainon kuin LED-valaisimien alla kasvatetut salaattit (df=1, F-arvo=208,333, p-arvo=0,005). Samansuuntainen tulos saatiin, kun salaatin taimet kasvatettiin LED-valaisimien alla ja siirrettiin ravinneliuosviljelyyn HPS- tai LED-valaistukseen. HPS-valaisimien alla kasvatetut salaattit olivat merkitsevästi painavampia kuivapainon suhteen kuin LED-valaisimien alla kasvaneet (df=1, F-arvo=41,333, p-arvo=0,023). Sen

sijaan lämpötilan nosto LED-valaistussa taimikasvatuksessa infrapunalämmittimen avulla poisti merkitsevät erot kuivapainoissa HPS- ja LED-jatkokasvatuksissa (df=1, F-arvo=17,586, p-arvo=0,052).

'Frillicen' kuivapainojen erot eri valotuksilla olivat tilastollisesti merkitsevät (df=1, F-arvo=35,121, p-arvo=0,027). 'Carmolin' (df=1, F-arvo=2,316, p-arvo=0,267) ja persiljan (df=1, F-arvo=14,686, p-arvo=0,062) erot kuivapainoissa eri valotuskäsittelyillä, eivät olleet tilastollisesti merkitsevät.

6.3 Korkeus

Korkeus on mitattu salaattien ja persiljan kasvualustan yläpuolisesta osasta ilman pottia. Korkeuden tulokset analysoitiin varianssianalyysin avulla. Persilja analysoitiin erikseen molemmissa kokeissa.

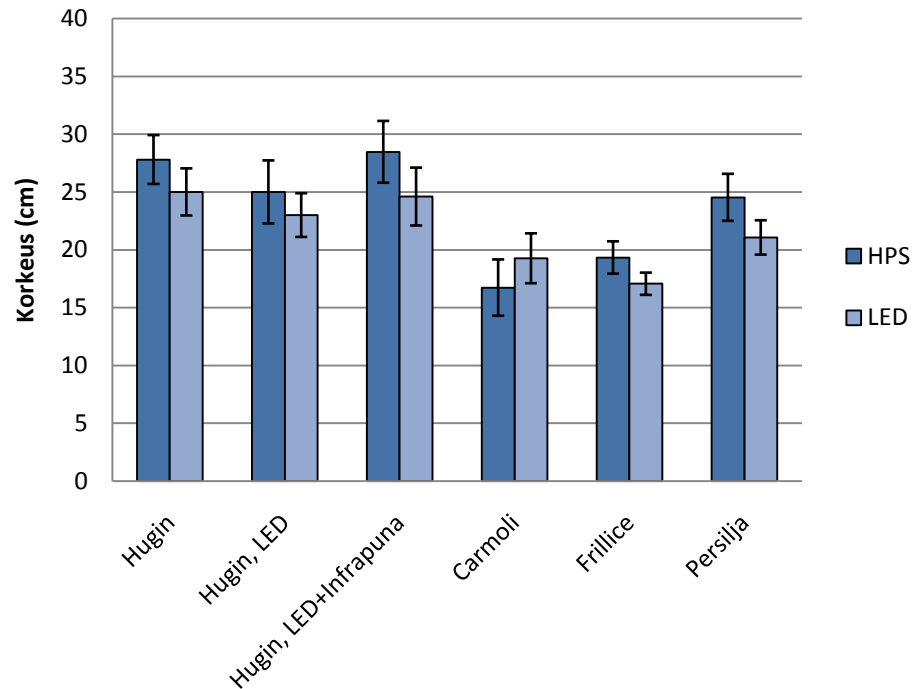


Kuva 9 Valon laadun vaikutus lajikkeiden korkeuteen ensimmäisessä 1/1 LED kokeessa. Kuvassa on esitetty käsittelyiden vaikutus lajikkeiden korkeuteen. Kuvassa on keskiarvokorkeuksien lisäksi esitettynä myös keskihajonta.

Ensimmäisessä kokeessa kaikki lajikkeet olivat korkeampia HPS-valotuksella, kuin LED-valotuksella (Kuva 9). Korkeusero on selvästi nähtävissä myös kuvassa 15, varsinkin Vertente-lajikkeella. 'Hugin' ylitti molemmilla valotuksilla laatuvaatimusten määrittelemän korkeuden lehtisalaatille, joka on 20–24 cm (Kauppapuutarhaliitto ry). 'Vertenten' korkeus taas oli laatuvaatimusten mukainen LED-valotuksella, mutta ei HPS-valotuksella. Kauppapuutarhaliitto ry:n laatuvaatimusten mukaan korkeus Lollo Rosso-salaateilla tulisi olla 14–18 cm, jääsalaateilla 13–18 cm ja persiljalla vähintään 13 cm. 'Carmoli' oli liian korkea molemmilla valotuksilla, kun taas 'Frillice' täyttää laatuvaatimukset LED-valotusta saaneilla kasveilla. Persiljan korkeus oli yli 13 cm.

HPS-valotuksessa kasvaneet Hugin-lajikkeen salaattit olivat merkitsevästi korkeampia kuin LED-valotuksessa kasvaneet salaattit (df=1, F-

arvo=21,774, p-arvo=0,043). 'Vertenten' erot HPS- ja LED-valotuksien välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (df=1, F-arvo=2,397, p-arvo=0,262). Erot valotuskäsittelyiden välillä olivat tilastollisesti merkitsevät myös 'Carmolin' (df=1, F-arvo=27,129, p-arvo=0,035), 'Frillicen' (df=1, F-arvo=88,923, p-arvo=0,011) ja persiljan (df=1, F-arvo=21,278, p-arvo=0,044) korkeuksissa.



Kuva 10 Valon laadun vaikutus lajikkeiden korkeuteen toisessa ½ LED kokeessa. Kuvassa on esitetty käsittelyiden vaikutus eri lajikkeiden korkeuteen. Kuvassa on keskiarvokorkeuksien lisäksi esitettynä myös keskihajonta.

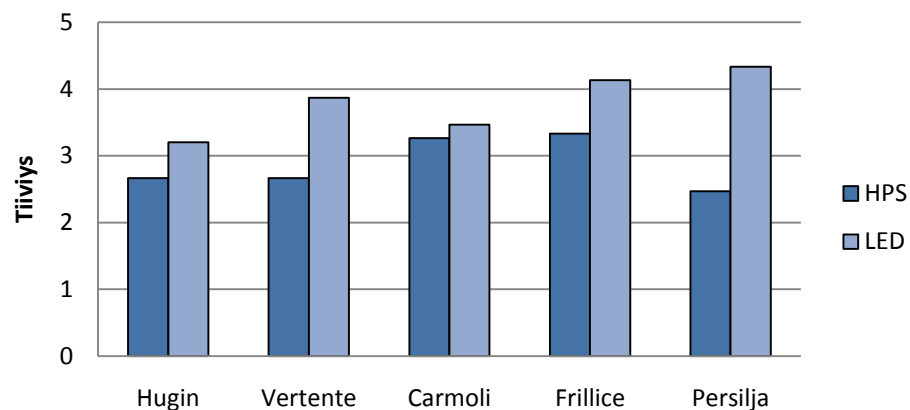
Toisessa kokeessa ainoastaan 'Carmoli' oli korkeampi LED-valotusta saaneilla kasveilla. 'Hugin', 'Frillice' ja persilja olivat korkeampia HPS-valotuksella (Kuva 10). Aivan kuten tuorepainossa ja kuivapainossa, LED-valotusta taimikasvatuksen aikana saaneet Hugin-lajikkeen salaattit olivat myös korkeudessa matalampia molemmilla valotuskäsittelyillä verrattuna 'Huginin' muihin taimikasvatuksiin. Normaalin taimikasvatuksen ja LED-valotusta ja infrapunalämpösäteilyä taimikasvatuksen aikana saaneet Hugin-lajikkeen salaattit kasvoivat hyvin tasaisesti korkeutta molemmilla valotuskäsittelyillä ja erot olivat hyvin pienet. LED-valotuksella kasvanut LED-valotusta taimikasvatuksen aikana saanut Hugin-lajike oli ainoa 'Huginista', joka oli korkeuden osalta laatuvaatimusten mukainen. Lehtisalaatilla korkeuden tulisi olla 20–24 cm (Kauppapuutarhaliitto ry) ja LED-valotusta taimikasvatuksen aikana saaneella 'Huginilla' se oli 23 cm (Taulukko 2). Muut 'Huginit' ylittivät Kauppapuutarhaliitossa määritetyn 24 cm molemmilla valotuksilla. Myös Carmoli-lajike LED-valotuksella ja Frillice-lajike HPS-valotuksella kasvoivat liian korkeaksi. Carmoli-lajike HPS-valotuksella, Frillice-lajike LED-valotuksella ja persilja molemmilla valotuksilla täyttivät laatuvaatimusten määrittämät korkeudet.

Taimikasvatus ei aiheuttanut tilastollisesti merkitseviä eroja viljelyn lopussa mitattuihin Hugin-lajikkeen korkeuksiin. Normaalin, HPS-valaisimien alla taimikasvatuksen saaneilla Hugin-lajikkeen salaateilla ei ollut merkitseviä eroja korkeuksissa ravinneliuosviljelyn aikana HPS-valaistuksessa kasvaneiden salaattien ja LED-valaistuksessa kasvaneiden salaattien välillä ($df=1$, $F\text{-arvo}=15,077$, $p\text{-arvo}=0,060$). Erot korkeuksissa eivät olleet merkitsevät HPS- ja LED-jatkokasvatuksissa LED-taimikasvatuksen saaneilla 'Hugineilla' ($df=1$, $F\text{-arvo}=12,000$, $p\text{-arvo}=0,074$) ja LED-taimikasvatuksen saaneilla 'Hugineilla', joiden lämpötilaa nostettiin infrapunalämmittimen avulla ($df=1$, $F\text{-arvo}=3,129$, $p\text{-arvo}=0,219$).

'Carmolin' korkeuserot eri valotuksien välillä eivät olleet tilastollisesti merkitsevät ($df=1$, $F\text{-arvo}=12,893$, $p\text{-arvo}=0,070$). Frillice-lajikkeen ($df=1$, $F\text{-arvo}=1156,000$, $p\text{-arvo}=0,001$) korkeuserot eri valotuskäsittelyiden välillä olivat tilastollisesti hyvin merkitsevät ja persiljan ($df=1$, $F\text{-arvo}=26,252$, $p\text{-arvo}=0,036$) korkeuserot eri valotuskäsittelyiden välillä olivat tilastollisesti merkitsevät.

6.4 Tiiviys

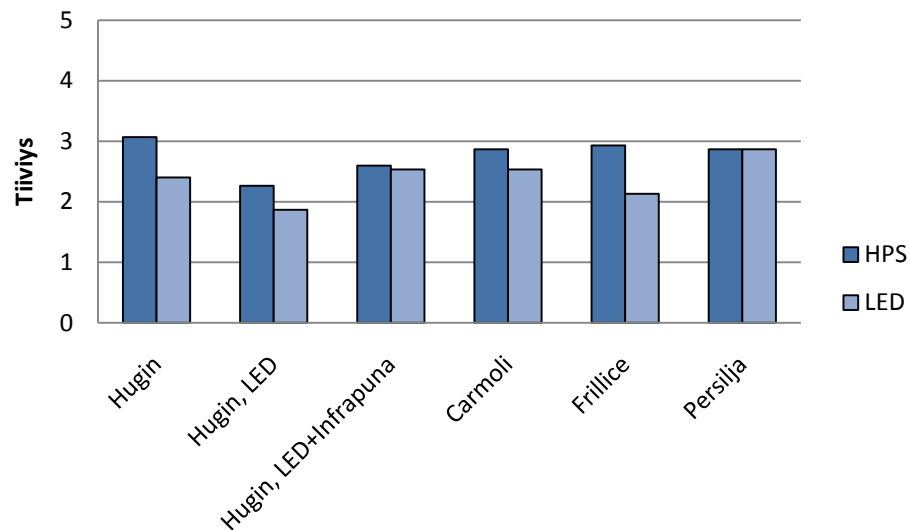
Salaattien ja persiljan tiiviskasvuisuus arvioitiin silmämääräisesti asteikolla yhdestä viiteen. Asteikossa yksi tarkoittaa erittäin löysää rakennetta, jossa lehdet ovat venähtäneitä ja salaatti ei pysy kunnolla koossa. Asteikossa viisi tarkoittaa erittäin tiivistä rakennetta, jossa lehdet ovat tana-koita ja salaatti on hyvin jämäkän näköinen ja pysyy hyvin koossa.



Kuva 11 Valon laadun vaikutus lajikkeiden tiiviskasvuisuuteen ensimmäisessä 1/1 LED kokeessa. Kuvassa on esitetty keskiarvoluku eri lajikkeiden tiiviydelle. Luku 1 on erittäin löysä rakenne ja luku 5 on erittäin tiivis rakenne.

Ensimmäisessä kokeessa kasvien tiiviys oli suoraan verrannollinen kasvien korkeuteen. Matalammat kasvit olivat myös tiiviimpiä kasveja. Kaikki lajikkeet olivat tiiviimpiä LED-valaistuksella kuin HPS-valaistuksella (Kuva 11). Suurin ero tiiviydessä oli huomattavissa persiljalla eri valotuksien välillä. Persiljan tiiviyden tuloksien keskiarvot olivat HPS-valotuksella 2,5 ja LED-valotuksella 4,3 (Taulukko 1). Carmoli-lajikkeella

erot olivat hyvin pienet eri valotuksien välillä. Erot tiiviudessa Carmoli- ja Vertente-lajikkeilla on myös huomattavissa kuvassa 15.

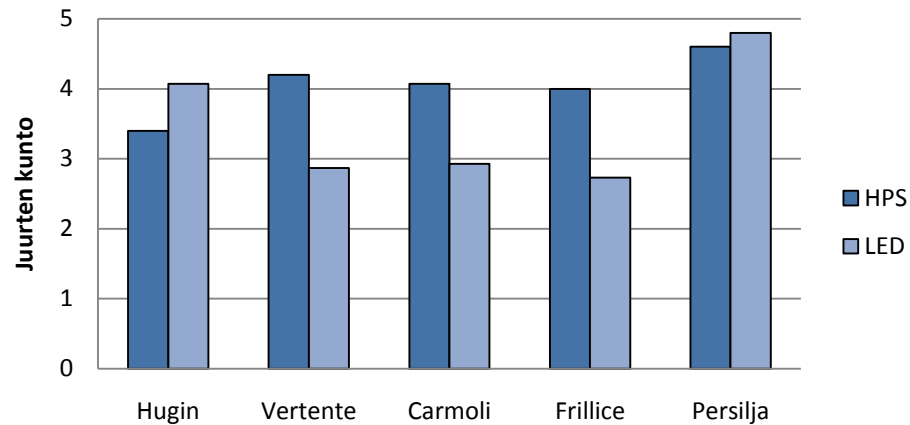


Kuva 12 Valon laadun vaikutus lajikkeiden tiiviyskasvuisuuteen toisessa ½ LED kokeessa. Kuvassa on esitetty keskiarvoluku eri lajikkeiden tiiviydelle. Luku 1 kuvaa erittäin löysää rakennetta, kun taas luku 5 kuvaa erittäin tiivistä rakennetta.

Toisessa kokeessa salaatit olivat tiiviskasvuisempia HPS-valotuksella kuin LED-valotuksella (Kuva 12). Erot rakenteessa eri valotuksella olivat kuitenkin hyvin pienet (Taulukko 2). Persiljan rakenteeseen valon laadulla ei ollut vaikutusta. Persiljan tiiviyys HPS-valotusta saaneilla kasveilla ja LED-valotusta saaneilla kasveilla oli 2,9 taulukon 2 mukaan. Hugin-lajikkeesta LED-taimikasvatuksen saaneet kasvit olivat keskiarvoltaan löysimpiä rakenteeltaan LED-valotuksessa viljeltyinä. Normaalin taimikasvatuksen saaneet Hugin-lajikkeen kasvit olivat tiiviskasvuisimpia HPS-valotuksessa viljeltyinä. LED ja infrapuna taimikasvatuksen saaneilla Hugin-lajikkeen salaateilla ei ollut huomattavissa eroja tiiviudessa eri valotuksilla, vaan ne olivat hyvin tasaisia rakenteeltaan niin LED-valotuksella kuin HPS-valotuksellakin.

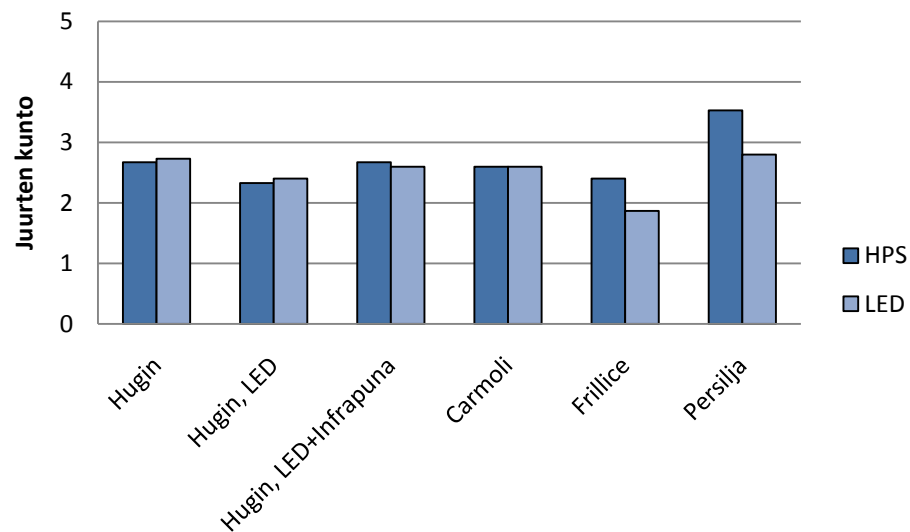
6.5 Juurten kunto

Kasvien juurten kunto arvioitiin silmämääräisesti asteikolla yhdestä viiteen. Asteikossa yksi on erittäin huonot juuret, jossa juuret ovat tummahkot ja niitä on hyvin vähän tai ei ollenkaan. Asteikossa viisi on erittäin hyvät juuret, jossa juuret ovat vaaleita, niitä on paljon ja ne ovat hyväkuntoisen näköisiä.



Kuva 13 Valon laadun vaikutus lajikkeiden juurten kuntoon ensimmäisessä 1/1 LED kokeessa. Kuvassa on esitettyä käsittelyiden vaikutus lajikkeiden juurten kuntoon. Kuvassa 1 on erittäin huonot juuret tai ei juuria ollenkaan ja 5 on erittäin hyväkuntoiset juuret.

Ensimmäisessä kokeessa juurten kunnossa oli vaihtelua eri valotuksien ja eri lajikkeiden välillä. 'Huginin' ja persiljan juuret olivat parempi Kuntoisia LED-valotuksella kuin HPS-valotuksella, joskin erot eivät olleet kovin suuret. Lajikkeilla Vertente, Carmoli ja Frillice juuret olivat taas parempi kuntoiset HPS-valotusta saaneilla kasveilla ja erot olivat selkeämmin nähtävissä (Kuva 13 ja Taulukko 1).



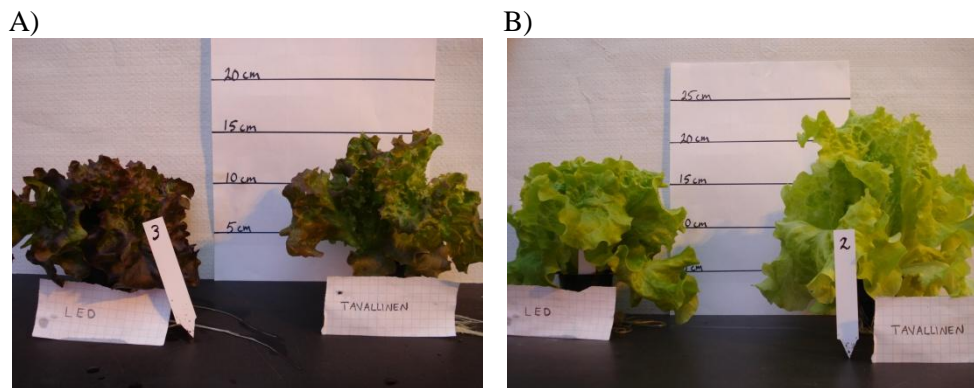
Kuva 14 Valon laadun vaikutus lajikkeiden juurten kuntoon toisessa 1/2 LED kokeessa. Kuvassa on esitettyä käsittelyiden vaikutus lajikkeiden juurten kuntoon. Kuvassa 1 on erittäin huonot juuret tai ei juuria ollenkaan ja 5 on erittäin hyväkuntoiset juuret.

Toisessa kokeessa valon laadulla ei ollut paljon vaikutusta juurten kuntoon (Kuva 14). Ainoastaan Frillice-lajikkeella ja persiljalla oli pieniä eroja huomattavissa. Kummallakin lajikkeella juuret olivat hieman parempi kuntoiset HPS-valotusta saaneilla kasveilla kuin LED-valotusta saaneilla kasveilla. Carmoli-lajikkeella juurten kunnossa eri valotuksilla ei ollut

eroja. Molemmilla valotuksilla juurten kunto oli 2,6 (Taulukko 2). Myös Hugin-lajikkeella eri valotuksilla ja eri taimikasvatuksilla ei näyttänyt olevan paljoakaan vaikutusta juurten kuntoon. Huonoimmat juuret olivat molemmilla valotuksilla LED-valotuksessa taimikasvatetuilla Hugin-lajikkeen salaateilla.

6.6 Värittyminen

Ensimmäisessä kokeessa oli huomattavissa valon laadulla olevan vaikutusta kasvien väritymiseen. Punainen salaattilajike Carmoli oli värittyneempi LED-valotuksella kuin HPS-valotuksella (Kuva 15). Myös vihreissä salaattilajikkeissa salaatin vihreä väri oli tummempi LED-valotusta saaneilla kasveilla kuin HPS-valotusta saaneilla kasveilla. Värierot salaattilajikkeella Vertente on nähtävissä kuvassa 15, jossa vasemman puoleinen salaatti oli LED-valotusta saanut ja oikean puoleinen salaatti oli HPS-valotusta saanut.



Kuva 15 Valon laadun vaikutus Carmoli ja Vertente lajikkeiden väritymiseen ensimmäisessä 1/1 LED kokeessa. A) Carmoli-lajike ja B) Vertente-lajike.

Toisessa kokeessa samankaltaista väritymistä ei ollut havaittavissa eri valotuksien välillä. Toisen kokeen salaatit ja persiljat olivat yhtäläillä värityneitä molemmilla valotuspuolilla. LED-valotusta saaneilla Carmoli-lajikkeen salaateilla värittyminen oli paljon heikompaa toisessa kokeessa kuin ensimmäisessä kokeessa. HPS-valotusta saaneet punaiset salaatit olivat jopa hieman värittyneempiä kuin LED-valotusta saaneet salaatit.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ensimmäisen kokeen perusteella kaikki lajikkeet kasvoivat hyvin LED-valotuksella. 'Vertente', 'Carmoli' ja persilja kasvoivat jopa paremmin LED-valotuksella kuin HPS-valotuksella, kun verrataan tuorepainon ja kuivapainon suhteen. Tästä voidaankin olettaa, että alhaisemmalla lämpötilalla, ei ollut ainakaan näiden lajikkeiden kasvuun kielteistä vaikutusta. Kokeen perusteella voidaan myös sanoa, että nämä kolme lajiketta sopivat paremmin viljelyyn LED-valotuksessa kuin HPS-valotuksessa. Kaikki lajikkeet olivat matalampia ja tiiviimpiä LED-valoilla kasvatettuina, kuin HPS-valoilla kasvatettuina. Kasvien tiiviskasvuisuuteen voisi mahdollisesti vaikuttaa LED-valojen sisältämä sininen valo, jonka on todettu tekevän kasveista tiiviimpiä.

Juuret olivat kaikilla lajikkeilla hyvät ensimmäisessä kokeessa ja valonlaadulla ei näyttänyt olevan selkeää vaikutusta juurten kuntoon, koska osalla lajikkeista juuret olivat paremman HPS-valotuksella ja osalla lajikkeista LED-valotuksella. Vertente-salaattilajikkeella juuret olivat selkeästi heikommat LED-valotuksella, mutta se ei näyttänyt vaikuttavan millään lailla sen kasvuun, koska sen tuorepaino ja kuivapaino olivat keskimäärin suuremmat LED-valotusta saaneilla kasveilla.

Toisen kokeen perusteella voidaan todeta, että salaatin ja persiljan kasvataminen onnistuu ilman luonnonvaloa. Kaikki lajikkeet kasvoivat paremmin HPS-valotuksella. Kasvit kasvoivat myös LED-valotuksella, vaikka ei ne laatuvaatimusten mittoihin yltäneetkään. Kaikki salaattilajikkeet olivat tiiviimpiä HPS-valotuksella, mutta erot eri valotuksien välillä olivat pienet. Ehkä salaattien löysempään rakenteeseen LED-puolella vaikutti vähäinen sinisen valon määrä. Persiljan tiiviyteen valotuksella ei näyttänyt olevan vaikutusta. Juurten kunto ei ollut erityisen hyvä millään lajikkeella kummallakaan valotuksella. Valon laadulla ei näyttänyt olevan vaikutusta juurten kuntoon, koska erot olivat hyvin pieniä eri valotuksien välillä. Ainoastaan Frillice-lajikkeella ja persiljalla oli havaittavissa hieman parempaa juurten kuntoa HPS-valotuksella.

Toinen koe osoittaa sen, että taimikasvatuksen aikaisella lämpötilalla on vaikutusta salaatin ja persiljan kasvuun. LED-taimikasvatuksen saaneilla Hugin-lajikkeen taimilla oli hieman alhaisempi taimikasvatuslämpötila, kuin muilla Hugin-lajikkeen taimilla. LED-taimikasvatuksen saaneet Hugin-lajikkeen salaattit olivat pienempiä niin painoissa kuin korkeudessaakin. LED-taimikasvatuksen saaneet Hugin-lajikkeen taimet, joiden lämpötilaa nostettiin taimikasvatuksen aikana infrapunalämmittimellä, kasvoivat melkein samoihin mittoihin HPS-valotuksen taimikasvatuksen aikana saaneiden taimien kanssa. Näillä kahdella lämpötila oli melkein sama taimikasvatuksen aikana, eikä suuria eroja ollut huomattavissa korjattujen salaattien painoissa ja korkeudessa.

Ensimmäisestä kokeesta kävi ilmi, että valon laadulla ja intensiteetillä oli vaikutusta punaisen salaattilajikkeen värin muodostukseen. Tasainen ja voimakas PAR säteily LED-puolella edisti salaattien väritymistä. Samankaltaista väritymistä ei ollut huomattavissa HPS-valossa kasvaneissa sa-

laateissa. Toisaalta samankaltaista väritymistä ei myöskään ollut havaittavissa toisessa kokeessa, jossa salaatit olivat yhtä värittyneitä molemmilla valotuspuolilla tai jopa hieman punaisempia HPS-valotuksella. Tämä osoittaaakin sen, että ainoastaan valon laatu ei vaikuta väritymiseen vaan myös sen määrä. Näiden kahden kokeen perusteella on mahdotonta sanoa mikä on se sopiva määrä syventämään punaisen salaattilajikkeen väritystä, vaan asia tarvitsisi jatkotutkimuksia. Kokeiden perusteella voidaan ainoastaan sanoa, että ensimmäisessä kokeessa valoa oli tarpeeksi väritymiseen ja toisessa kokeessa sitä taas oli liian vähän. Kokeiden perusteella on myös hankala sanoa mikä on se ajankohta, kun värittyminen tapahtuu, jos halutaan hyödyntää LED-valoja vain tietyssä kohdassa salaattilinjastoa parantamaan väritystä. Tämä asia vaatisikin lisätutkimuksia.

Kokeiden tulokset eivät suoraan ole vertailukelpoisia keskenään, koska olosuhteet luonnonvalon suhteen olivat erilaiset. Ensimmäisessä kokeessa luonnonvalo oli mukana, kun taas toisessa kokeessa luonnonvalo pyrittiin sulkemaan pois, verhot osittain sulkemalla, mutta jättämällä tuuletusmahdollisuus. Pimennysverhot olivat 80 % kiinni ja varjostusverhot 25 % kiinni. Lannoitus muuttui toiseen kokeeseen, koska käytetty Kekkilän kuukausittainen lannoitus suositus muuttuu vuodenajan mukaan.

Ensimmäisessä kokeessa salaatit pääsivät ylikasvamaan, koska mittauksia ei päästy aloittamaan oikeana ajankohtana. Se ei kuitenkaan vaikuta tulosten vertailuun, koska tilanne oli sama molemmilla valotuspuolilla. Koska salaatit korjattiin liian myöhään, niin on mahdotonta sanoa olisiko LED-puolella kasvatetut kasvit täyttäneet laatuvaatimusten antamia raja-arvoja korkeuden suhteen esimerkiksi viikkoa aikaisemmin, jolloin ne luultavasti olisivat olleet parempi korjata.

Lämpötilaa ei ollut mahdollista säätää optimaaliseksi salaatin kasvuun LED-valotusta saaneilla kasveilla, koska silloin HPS-puolen kasvien lämpötila olisi noussut liian korkeaksi. Lämpötilan säätäminen optimaaliseksi molemmille valotuspuolille olisi ollut mahdollista ainoastaan silloin, kun eri valotukset olisivat olleet eri huoneissa. Koe olisikin mielenkiintoista suorittaa kahdessa eri huoneessa, jolloin olisi mahdollista saada LED-valotukselle ja HPS-valotukselle sama kasvatuslämpötila. Tällöin olisi mahdollista nähdä LED-valotuksen vaikutukset salaatin kasvuun optimiolosuhteissa ja näkisi kasvaisivatko salaatit nopeammin kaupunkuntoisiksi verrattuna HPS-valotukseen.

Kaikista lajikkeista saatiin hyvälaatuisia salaattia ja persiljaa LED-valotuksella ensimmäisessä kokeessa ja sen perusteella voidaankin sanoa, että LED-valotus punaisen- ja sinisenvalon aallonpituuksilla sopii salaatin ja persiljan kasvatukseen ainakin valotusteholla, jossa PAR valon määrä vastaa HPS-valaisimien asennusteholla 120 W/m² mitattuja arvoja. Tällainen määrä LED-valoja on kuitenkin liian kallis investointi tuottajalle, kun yksi tässä kokeessa käytetty LED-valo maksaa tällä hetkellä noin 100 €. Sitä taas ei voi sanoa tämän kokeen perusteella, että ovatko pelkät sinisen ja punaisenvalon aallonpituudet parhaat salaatin kasvatukseen, vai olisiko mahdollista saada vielä parempia tai nopeammin salaatteja muilla aallon-

pituuksilla. Ainakin valkoisen- ja vihreän-valon aallonpituuksien vaikutuksia salaattien kasvuun olisi mielenkiintoista tutkia.

Toinen koe taas osoittaa, että hyvälaatuisia salaatteja voidaan viljellä ilman luonnonvaloa, kunhan vaan on oikea määrä keinovaloa ja oikeat aallonpituudet. Näiden selvittäminen vaatii vielä lisäkokeita, koska tässä koeksessa valoa ei ollut tarpeeksi, jotta salaatit olisivat kasvaneet laatuvaatimusten vaatimiin mittoihin. Luonnonvaloton viljely mahdollistaisi salaatin kasvatuksen esimerkiksi varastorakennuksissa sekä salaatin kerrosviljelyyn, joten tulokset ovat erittäin positiivisia.

LÄHTEET

Attridge, T.H. 1990. Light And Plant Responses. Iso-Britannia: A division of Hodder & Stoughton.

Autio, J. & Voipio, I. 1991. Johdanto; fotoreseptorit, säteilyn mittaaminen ja tekovalonlähteet. Teoksessa tekovalon hyödyntäminen lehtisalaatin ja leikkoperennojen viljelyssä. Helsingin yliopiston puutarhatieteen laitoksen julkaisuja 21. 6–18.

Autio, J. & Voipio, I. 1994. Liikkuvan tekovalon ja UV-A –säteilyn vaikutus ruukkuvihannesten kasvuun ja laatuun. Projektiraportti. Helsingin yliopiston kasvituotantotieteen laitos, puutarhatieteen osasto.

Bartosik, M-L. 1990. Salaatin viljely kasvihuoneessa. Teoksessa puutarhakalenteri 1990. Helsinki: Puutarhaliitto. 233–243.

Bjelland, O. 1988. Grönsaksodling i växthus. Tukholma, Ruotsi: LTs förlag.

Elomaa, P. 6.10.2010. LED ja salaatti. Vastaanottaja Minna Kallinen. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 21.11.2010.

Energiamarkkinavirasto. Sähkön hinnan kehitys 1.10.2010. Pdf-tiedosto. Viitattu 24.11.2010.

<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Kehitys1010.pdf>

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

HL-vihannes. Tuote- ja palvelukuvasto 2010. Pdf-tiedosto. Viitattu 16.1.2011. <http://gnoguil.shop.wosbee.com/materiaali/HL-vihannes2010WEB2.pdf>

Jaakkonen, A-K. & Vuollet, A. 1997. Kasvutekijät ja kasvu. Teoksessa Koivunen, T. (toim.) Tehokkaasti kasvihuoneesta. Helsinki: Opetushallitus. 29–60.

Jenkins, D. 2008. Kasvuvalo. Teoksessa Piirainen, J. (toim.) Puutarhakalenteri 2008. 190–193.

Jenkins, D. 17.11.2010. GreenPower LED productionmodule DR/B 150 LO. Vastaanottaja Daniele Alberoni. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 26.11.2010.

Jenkins, D. 2010. Ledit kasvihuonevalotuksessa - faktaa vai fiktiota. Puutarha&kauppa 6. 14-15.

Jensen, M. 1999. Hydroponics worldwide. Teoksessa Papadopoulos, A.P. (toim.) *Acta Horticulturae* 481, volume 2. Proceedings of the International Symposium on Growing Media and Hydroponics. Belgia: International Society for Horticultural Science. 719–729.

Jones & Benton, J. 2005. *Hydroponics: a practical guide for the soilless grower*. USA: CRC Press.

Kasvihuoneiden energiankulutus 2008. 2009. Kasvihuoneyritykset etsivät korvaajaa polttoöljylle. Matilda maataloustilastot. Viitattu 24.11.2010. <http://www.maataloustilastot.fi/kasvihuoneyritykset-etsivat-korvaajaa-polttoöljylle-0>

Kasvistase 2008. Kasvisten kulutus. Kotimaiset Kasvikset Ry. Viitattu 10.10.2010. http://www.kasvikset.fi/Suomeksi/Asiakkaille/Kasvitieto/Kasvisten_kulutus

Kauppapuutarhaliitto ry. Ruukkusalaatin ja ruukkuyrttien uudet lajitte-
luohjeet 2009. Pdf-tiedosto. Viitattu 14.11.2010. <http://www.puutarhakauppa.fi/>

Kekkilä viljelyohjeet. Ruukkusalaatti. 2009. Pdf-tiedosto. Viitattu 8.10.2010. <http://www.kekkila.fi/ammattilaiset/ammattiviljelijä/ohjeet/viljelyohjeet>

Leino, R. 2005. Salaatti rakastaa led-valoa. *Tekniikka&Talous* 13.10.2005. Talentum lehtiarkisto. Viitattu 24.11.2010. <http://lehtiarkisto.talentum.com.proxy.hamk.fi:2048/lehtiarkisto/search/show?eid=791227>

Li, Q. & Kubota, C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany* 67. 59–64.

Maloupa, E. 2002. *Hydroponic systems*. Teoksessa Passam, H. & Savvas, D. (toim.) *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Athens Greece: Embryo Publications. 143–178.

Matilda maataloustilastot. Puutarhatilastot 2009. Viitattu 10.10.2010. <http://www.maataloustilastot.fi/tilasto/20>

Murmann, T. 2010. Apua vihannesviljelyyn väli- ja LED-valoilla. *Puutarha&kauppa* 3. 12-13.

Nyberg, H. 1992. Fytokromin toiminta kasveissa. Teoksessa Valon merkitys kasvituotannossa: Akateemisen puutarhakerhon ja puutarhatieteen osaston puutarhatieteen päivä 4.12.1991. Helsingin yliopiston kasvintuotantotieteen laitos. 13–15.

Pankakoski, A. 2006. Puutarhurin kasvioppi. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Partanen, J. 1992. Kasvihuonetuotannon yleiset edellytykset. Helsinki: VAPK-kustannus.

Pennanen, A. 1992. Valo-olosuhteiden vaikutus kasvin fotosynteesiin. Teoksessa Valon merkitys kasvituotannossa: Akateemisen puutarhakerhon ja puutarhatieteen osaston puutarhatieteen päivä 4.12.1991. Helsingin yliopiston kasvintuotantotieteen laitos. 7–9.

Piirainen, J. 2010. LED-valoilla parempaa kasvua. Teoksessa Puutarhaka-
lenteri 2011. Helsinki: Puutarha-Sanomat. 174–179.

Puutarhayritysrekisteri 2008. Maataloustilastot. Pdf-tiedosto. Viitattu 10.10.2010.
http://www.maataloustilastot.fi/sites/default/files/puutarhayritysrekisteri_2008_0.pdf

Rantanen, K. 2006. Palkitut ledit syntyivät sisulla ja tuurilla. Tiede 6. Viitattu 20.10.2010.
http://www.tiede.fi/artikkeli/602/palkitut_ledit_syntyivat_sisulla_ja_tuurilla

Rantanen, M., Hytönen, T., Mouhu, K., Palonen, P., Elomaa, P., Pinho, P. & Halonen, L. 2010. Salaatti kasvaa LED-valolla. Puutarha&kauppa 14-15. 18-19.

Raukko, E. 2006a. Elämä on valon varassa. Puutarha&kauppa 44. 4-5.

Raukko, E. 2006b. Valoa puolijohdetekniikalla. Puutarha&kauppa 10. 15.

Rijk Zwaan. Lettuce and outdoor crops 2009. Pdf-tiedosto. Viitattu 16.1.2011.
[http://www.rijkszwaan.dk/rzz/dk/sitedk.nsf/0/476CF62442B55B9BC125752100320B7E/\\$FILE/RZ%20lettuce%20and%20outdoor%20crops%202009.pdf](http://www.rijkszwaan.dk/rzz/dk/sitedk.nsf/0/476CF62442B55B9BC125752100320B7E/$FILE/RZ%20lettuce%20and%20outdoor%20crops%202009.pdf)

Schetelig- uutiset. 2009. Tulevan kauden vihannesuutiset. Pdf-tiedosto. Viitattu 16.1.2011. <http://www.schetelig.com/index.php?23>

Soini, M. 2002. Ruukkusalaattia moneen makuun. Puutarha&kauppa 9. 4-5.

Särkkä, L., Nyrhilä, R., Rosvall, T., Tahvonen, R., Halonen, L., Pinho, P. & Tetri, E. 2007. LED-valot – mahdollisuuksia vai toiveita kasvien valoituksessa. Puutarha&kauppa 5. 20-21.

Taiz, L & Zeiger, E. 2002. Plant Physiology, Third Edition. Massachusetts, USA: Sinauer Associates, Inc.

Theorem innovation. Human Eye Sensitivity to Light According to its Wavelength. Viitattu 18.11.2010.
<http://www.theoremeinnovation.com/images/human%20eye%20sensitivit y%20en.jpg>

Theorem innovation. Photosynthetic Action Spectrum. Viitattu 18.11.2010.
<http://www.theoremeinnovation.com/images/action%20spectrum%20en.jpg>

Tuominen, J. 2006. LED tarjoaa mahdollisuuden täsmävalotukseen. Puutarha&kauppa 10. 14-15.

Tyystjärvi, E. 1992. Fotosynteesin fotoinhibitio. Teoksessa Valon merkitys kasvuotannossa: Akateemisen puutarhakerhon ja puutarhatieteen osaston puutarhatieteen päivä 4.12.1991. Helsingin yliopiston kasvintuotantotieteen laitos. 10–12.

Urbonavičiūtė, A. Pinho, P. Samuolienė, G. Duchovskis, P. Vitta, P. Stonkus, A. Tamulaitis, G. Žukauskas, A. & Halonen, L. 2007. Effect of short-wavelength light on lettuce growth and nutritional quality. Scientific Works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture. Sodininkystė ir Daržininkystė, 26(1). 157–165.

Urbonavičiūtė, A. Samuolienė, G. Brazaitytė, A. Ulinskaitė, R. Jankauskienė, J. Duchovskis & Žukauskas, A. 2008. The possibility to control the metabolism of green vegetables and sprouts using light emitting diode illumination. Scientific Works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture. Sodininkystė ir Daržininkystė, 27(2). 83–92.

Vale, S. 2010. Under the spotlight. The commercial greenhouse grower 8, 24–26.

Voipio, I. 2001. Vihannekset-lajit, viljely ja sato. Puutarhaliiton julkaisuja nro 316. Helsinki: Nordmanin Kirjapaino Oy.

