



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 40/2020

## Värimorsingon ympärivuotinen viljely kasvihuoneessa

Liisa Särkkä, Päivi Tuomola, Juha Hyvönen, Jaana Sarlin ja  
Marjo Keskitalo

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2020

# Värimorsingon ympärivuotinen viljely kasvihuoneessa

Liisa Särkkä, Päivi Tuomola, Juha Hyvönen,  
Jaana Sarlin ja Marjo Keskitalo

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2020

Viittausohje:

Särkkä, L., Tuomola, P., Hyvönen, J., Sarlin, J. & Keskitalo, M. 2020. Värimorsingon ympärivuotinen viljely kasvihuoneessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 41 s.

Liisa Särkkä, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-0308-0178>



ISBN 978-952-326-984-2 (Painettu)

ISBN 978-952-326-985-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-985-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Liisa Särkkä, Päivi Tuomola, Juha Hyvönen, Jaana Sarlin ja Marjo Keskitalo

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2020

Julkaisuvuosi: 2020

Kannen kuva: Morsinko HPS+LED-valossa Liisa Särkkä

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

# Tiivistelmä

Liisa Särkkä<sup>1)</sup>, Päivi Tuomola<sup>2)</sup>, Juha Hyvönen<sup>3)</sup>, Jaana Sarlin<sup>2)</sup> & Marjo Keskitalo<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Luonnonvarakeskus, Itäinen Pitkäkatu 4A, 20520 Turku

<sup>2)</sup>Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö

<sup>3)</sup>Luonnonvarakeskus, Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi

<sup>4)</sup>Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

Morsinko *Isatis tinctoria* L. oli jo antiikin aikana tärkeä sinisen väriaineen indigon takia viljelty kasvi. Synteettisen indigon valmistaminen lopetti kaupallisen morsingon viljelyn 1800-luvun lopussa. Teollisessa värjäyksessä käytettävät synteettiset väriaineet aiheuttavat haitallisia päästöjä ja kiinnostus luonnonmukaisiin väriaineisiin on herännyt uudelleen. Suomessa morsingon viljely avomaalla on myös alkanut kiinnostaa viljelijöitä, mutta kasvukauden lyhyden takia satoa ehditään kerätä vain 1–3 kertaa. Suomessa on vanhoja ja matalia kasvihuoneita, joiden käyttö modernissa viljelytekniikassa on vähentynyt. Niille haetaan uusia käyttökohteita. Morsinko voisi olla uusi kasvi tällaisiin tiloihin. Morsingon viljely kasvihuoneessa ei ole tutkittu Suomen olosuhteissa.

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia morsingon ympärivuotisen kasvihuoneviljelyn mahdollisuutta eri valo-olosuhteissa sekä eri lannoitusvoimakkuuksissa. Viljelyolosuhteiden vaikutusta sadon määrään, puhtaan indigon ja raakaindigon määriin tutkittiin.

Morsingon viljelyaika oli 20.6.2017–7.5.2018, 11,5 kk. Viljelyajan aikana saatiin 10 satoa. Satokertojen 3–5 aikana oli valotuskoe (2.10.2017–2.1.2018) ja satokertojen 6–10 aikana valotus\*lannoituskoe (4.1.–7.5.2018). Istutustiheys oli 8,4 kasvia neliometrille. Kasvualustoina olivat kivivillalevyt pöydillä. Jokaiselle kasville asennettiin oma kastelutippu automaattista tippukastelua varten. CO<sub>2</sub> annostelupi-toisuus oli 800 ppm. Lämpötila-asetukset olivat 20–17–22,5 °C (päivä–yö–tuuletus).

Valokäsittelyt olivat HPS (suurpainenatrium), HPS+LED ja LED 20 h d<sup>-1</sup> sekä valotuskokeen aikana viimeinen viikko ennen sadonkorjuuta 23 h d<sup>-1</sup>. HPS lamput olivat Philipsin Master Green Power 400 W ja Master Pia Plus 250 W. Led valaisimet olivat Netledin Overhead High Output 200 W (punainen:sininen 80:20 %). PAR-valon intensiteetti oli syksyn kokeessa 310 ja kevään kokeessa 332 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> lehdistön tasolla. Laimea lannoitus oli 0,8–2,0 mS cm<sup>-1</sup> ja voimakas lannoitus 1,8–3,0 mS cm<sup>-1</sup> siten, että lannoitusten ero oli 1 mS cm<sup>-1</sup>.

Syksyllä valotuskokeessa lehtien tuorepainot olivat suurimmat HPS-valotuksessa kasvaneissa kasveissa ja kevyimmät LED valossa. Tekovalotuksen hyötysuhde tuorepainosatoon pimeimpänä vuodenaikana satokerroissa 4–7 oli paras HPS-valossa, 81,5 %, HPS+LED valossa se oli 75 % ja LED valossa 69 %. Kasvien koko kasvoi niiden ikääntyessä ja pidemmässä viljelyjaksossa ennen sadonkorjuuta. Voimakkaassa lannoituksessa lehtisadon painot olivat selvästi suuremmat kuin laimeassa lannoituksessa. Laskennallinen koko vuoden satomäärä oli parhaimmillaan 52,5 kg m<sup>-2</sup>.

Lehtien lukumäärissä kokojakaumat olivat A>25 cm 10 %, B 15–25 cm 20–30 % ja C <15 cm 60–70%. Valotuksella ei ollut vaikutusta kokoluokkien osuuksiin. B-kokoluokan lehdet olivat painavimmat kaikissa sadoissa. Voimakkaassa lannoituksessa B-luokassa oli lehtiä enemmän kuin laimeassa. Voimakkaassa lannoituksessa kokoluokkien A ja B lehtien tuore- ja kuivapainot olivat painavimmat kuin laimeassa lannoituksessa.

Puhtaan indigon spektrofotometrimäärityksissä määrä vaihteli paljon eri satokerroissa, koejäsenissä ja eri vuodenaikoina. Se oli 3,4–14,7 mg g<sup>-1</sup> kuivapainossa ja 0,7–1,8 mg g<sup>-1</sup> tuorepainoa kohden lasketuna. Talvella LED valossa pitoisuudet olivat suuremmat lehden kuivapainoa kohden kuin runsaan luonnonvalon aikaan. Tulokset antoivat myös viitteitä siitä, että voimakkaassa lannoituksessa muodostui enemmän indigoa kuin laimeassa. Kun indigomääriä arvioitiin suhteessa satokerran kokonaissatoon, niin suurimmista lehtisadoista saatiin myös eniten indigoa.

Raakaindigoa saatiin 45–69 g tuorepainokiloa kohti. Raakaindigon pesun jälkeen jäljelle jäi pestyä raakaindigoa noin 30 % alkuperäisestä määrästä ja sen indigopitoisuudeksi arvioitiin 0,2–0,5 mg g<sup>-1</sup>, mikä oli kuitenkin edelleen epäpuhdasta verrattuna spektrofotometrimäärityksiin. Yhden kasvin pestyn raakaindigon indigopitoisuudeksi arvioitiin 1,5–5 mg riippuen viljelyajankohdasta, valotuksesta ja lannoituksesta.

Tutkimuksen johtopäätös oli, että morsinko on potentiaalinen uusi viljelykasvi kasvihuoneessa. Edellytyksenä on riittävä kasvihuonetekniikka ja hyvä valotuskalusto sekä aktiivinen ravinnetilan seuranta kasvualustassa. Tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollisuutta laskea viljelyn taloudellista kannattavuutta. Se pitäisi selvittää seuraavaksi. On kuitenkin muistettava, että laboratoriomittakaavan antamat indigomäärät ovat selvästi suuremmat kuin teollisuusmitassa saavutettavat indigon määrät.

Asiasanat: *Isatis tinctoria*, HPS, LED, valotus, lannoitus, sato, indigo

# Year-round cultivation of woad (*Isatis tinctoria* L.) in a greenhouse

Liisa Särkkä<sup>1)</sup>, Päivi Tuomola<sup>2)</sup>, Juha Hyvönen<sup>3)</sup>, Jaana Sarlin<sup>2)</sup> and Marjo Keskitalo<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Natural Resources Institute Finland (Luke), Itäinen Pitkätatu 4A, 20520 Turku, Finland

<sup>2)</sup> Natural Resources Institute Finland (Luke), Toivonlinnantie 518, 21500 Finland

<sup>3)</sup> Natural Resources Institute Finland (Luke), Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi, Finland

<sup>4)</sup> Natural Resources Institute Finland (Luke), Tietotie 4, 31600 Jokioinen, Finland

## Summary

Woad (*Isatis tinctoria* L.) was already an important plant in ancient times, cultivated for its blue dye – indigo. The production of synthetic indigo led to the end of the cultivation of woad in the late 19th century. Synthetic dyes used in industrial dyeing cause harmful emissions, and interest in natural dyes has revived. In Finland, the cultivation of woad in fields has also begun to attract farmers, but due to the short outdoor growing season, the crop can only be harvested 1–3 times. There are old, low greenhouses in Finland, the use of which in modern farming techniques has decreased. New uses are being sought for them. Woad could be a new plant for such facilities. Woad cultivation in a greenhouse has not been studied in Finnish conditions.

The purpose of the study was to investigate the possibility of year-round greenhouse cultivation of woad in different supplemental light conditions and at different fertilization intensities. The effect of growing conditions on yield and on the amount of both pure and raw indigo was studied.

The cultivation period of the woad was 20 June 2017–7 May 2018, i.e. 11.5 months. During the cultivation period, ten harvests were obtained. A supplemental lighting experiment was performed during harvest numbers 3–5 (2 October 2017–2 January 2018). A fertilization experiment was added during harvests 6–10 (4 January–7 May 2018). The planting density was 8.4 plants per square metre. The growing media were stone wool boards on greenhouse tables. Each plant had its own drip for automatic drip irrigation. The CO<sub>2</sub> concentration was 800 ppm. The temperature settings were 20–17–22.5 °C (day–night ventilation).

The supplemental light treatments were HPS (high–pressure sodium), HPS + LED, and LED 20 h d<sup>-1</sup>, and, during the last week of the lighting experiment before harvest, 23 h d<sup>-1</sup>. The HPS lamps were Philips Master Green Power 400W and Philips Master Pia Plus 250W. The LED fixtures were NETLED Overhead High Output 200W (red:blue 80:20%). The PPF at leaf level was 310 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in the lighting experiment, and 332 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in the lighting\*fertilization experiment. The low fertilization level was 0.8–2.0 mS cm<sup>-1</sup>, and the high fertilization level was 1.8–3.0 mS cm<sup>-1</sup>, so that the difference in fertilization between the treatments was 1 mS cm<sup>-1</sup>.

In the autumn during the lighting experiment, the fresh weights of the leaves were heaviest in plants grown under HPS lamps and lightest for those grown under LED light. The efficiency of supplemental lighting to fresh weight yield during the darkest season in yields 4–7 was best in HPS light: 81.5%. In HPS + LED light, it was 75%, and in LED light it was 69%. The size of the plants increased as they aged and in a longer cultivation period before harvest. In high fertilization, the foliage yield weights were clearly heavier than in low fertilization. The highest whole-year yield was 52.5 kg m<sup>-2</sup> FW.

In leaf numbers, size distributions were A >25 cm 10%, B 15–25 cm 20–30%, and C <15 cm 60–70%. Different light treatments had no effect on the proportions of the size classes. Class B leaves were the

heaviest in every harvest. In high fertilization, class B included more leaves than in low fertilization. In high fertilization, the fresh and dry weights of size A and B leaves were heavier than in low fertilization.

In pure indigo spectrophotometer assays of the leaf pieces, the amount of indigo varied widely in different yields, treatments, and different seasons. It was 3.4–14.7 mg g<sup>-1</sup> DW and 0.7–1.8 mg g<sup>-1</sup> FW. In winter, the concentrations under LED light were higher per leaf DW than during the period of abundant natural light. The results also indicated that more indigo was formed in the high-fertilization environment than in the low-fertilization one. When indigo yields were evaluated in relation to the total leaf harvest, the largest leaf yields also yielded the most indigo.

Raw indigo was obtained at 45–69 kg<sup>-1</sup> FW. After washing the raw indigo material, about 30% of the original amount of raw indigo remained and was estimated to have an indigo content of 0.2–0.5 mg g<sup>-1</sup>, which was still impure compared to spectrophotometer analysis. The indigo content of the washed raw indigo per plant was estimated to be 1.5–5 mg depending on the time of cultivation, lighting and fertilization.

The conclusion of the study was that woad is a potential new crop in the greenhouse. Adequate greenhouse technology and good lighting equipment, as well as active monitoring of the nutrient status in the growing medium, are prerequisites. In this study, it was not possible to calculate the economic viability of farming woad, which should be clarified next. However, it is good to keep in mind that the amounts of indigo provided at laboratory scale are clearly greater than the amounts of indigo achievable at industrial scale.

Keywords: *Isatis tinctoria*, HPS, LED, supplemental light, fertilization, yield, indigo

# Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Aineisto ja menetelmät .....</b>	<b>13</b>
2.1. Valotuskoe syksy 2017 .....	13
2.2. Valotus- ja lannoituskoe kevät 2018 .....	14
2.3. Kasvihuoneen olosuhteiden mittaukset ja tuholais/tautitorjunta .....	14
2.4. Kasvustomittaukset.....	14
2.4.1. Indigon spektrofotometrianalyysi .....	15
2.4.2. Raakaindigon uutokset.....	15
2.5. Tilastolliset analyysit .....	16
<b>3. Tulokset .....</b>	<b>17</b>
3.1. Kokonaistuorepainot ja valotus .....	17
3.2. Lehtien koot .....	20
3.3. Indigon spektrofotometrimittaukset .....	22
3.4. Raakaindigon määrä .....	23
3.5. Lämpötilamittaukset lehdiltä ja kasvuston korkeudelta .....	28
3.6. Kasvualustan ravinnemittaukset.....	28
<b>4. Tulosten tarkastelu.....</b>	<b>32</b>
<b>Viitteet .....</b>	<b>34</b>
<b>Liite 1. Olosuhteet viljelyn aikana .....</b>	<b>36</b>
<b>Liite 2. Valokuvat.....</b>	<b>37</b>

## Alkusanat

Morsinko on ikivanha sinistä väriä, indigoa, tuottava kasvi. Kun synteettistä indigoa alettiin valmistaa, loppui vähitellen luonnonindigon tuotanto myös Euroopassa. Nykyään luonnonmukaisten tuotteiden käyttö on alkanut uudelleen kiinnostaa, ja siten myös morsingosta saatavan väriaineen tuotanto on elpymässä. Suomen ilmastossa avomaalla kasvavasta morsingosta ehditään kerätä 1–3 lehtisatoa vuodessa, kun se Etelä-Euroopassa on jopa 5. Maassamme on runsaasti vanhoja, matalia kasvihuoneita, joita ei enää käytetä modernissa puutarhatuotannossa. Niille olisi hienoa löytää uutta käyttöä. Morsinko voisi olla yksi potentiaalinen vaihtoehto, jos sen viljely osoittautuu kannattavaksi. Suomessa morsingon kasvihuoneviljelyä ympärivuotisesti ei ole tutkittu aikaisemmin, joten mielenkiinnolla tartuimme haasteeseen.

Erikoistutkija Marjo Keskitalo (Luke) on tutkinut useita vuosia erikoiskasvien viljelyä avomaalla, myös morsinkoa. Marjolta saimme Saksasta peräisin olevat siemenet kokeeseemme sekä hyviä neuvoja morsingon viljelystä ja indigon uuttamisesta. Tutkimuksen onnistumisessa, kasvien hyvinvoinnin takaamisessa, sadonkorjuussa, raakaindigon uuttamisessa ja tulosten kokoamisessa ensiarvoisen tärkeänä henkilönä oli tutkimusmestari Päivi Tuomola. Hänen kanssaan keskustelimme ja suunnittelimme hankettamme ja sen etenemistä usein. Tutkimusmestari Jaana Sarlin teki morsingon lehdistä indigon laboratorioanalyysit ja laski saadut puhtaat indigomäärät. Tutkija Juha Hyvönen käsitteli tulokset tilastollisesti. Lisäksi useat Luke Piikkiön henkilökunnasta avustivat tutkimuksen eri vaiheissa. Allekirjoittanut oli hankkeen vastuullinen johtaja ja tutkija.

Haluan erityisesti kiittää Nikolai ja Ljudmila Borisoffin Puutarhasäätiötä saamastamme apurahasta, jonka ansiosta tutkimuksemme mahdollistui. Kiitän myös Luonnonvarakeskusta osallistumisesta hankkeeseen.

Turussa 5.6.2020

Liisa Särkkä

# 1. Johdanto

Morsinko *Isatis tinctoria* L. on kaksivuotinen *Brassicacea* heimon kuuluva kasvi, jonka lehdistä saadaan sinistä väriainetta indigoa. Ensimmäisenä vuotena kasvi kasvattaa lehtiruusukkeen ja toisena vuotena kukkii keltaisin kukkasin. Kasvi on pääasiassa ristipölytteinen, mutta myös itsepölytystä tapahtuu. Morsinko on diploidi, kromosomiluvultaan 28. Morsinkoa on antiikin ajoista lähtien viljelty lauhkeassa ilmastovyöhykkeessä sinisen väriaineen takia. Erityisesti Pohjois-Euroopassa morsinko on ollut perinteinen indigon lähde (Gilbert & Cooke 2001). Kasvi on oletettavasti kotoisin Kaakkois-Aasiasta (Spataro et al. 2007). Vanhimmat värjätetyt kankaat on löydetty Egyptin muumioista, joten väriaine on tunnettu jo kauan (Campeol et al. 2006). Morsinko ei ole ainoa sinistä väriä tuottava kasvilaji. Synteettisen indigon valmistaminen lopetti kaupallisen tuotannon 1800-luvun lopulla. Synteettinen indigo on petroke-mianteollisuuden tuote, mikä on uudestaan herättänyt kiinnostuksen luonnonmukaisen kasviperäisen väriaineen tuotantoon ja käyttöön. Koostumukseltaan luonnon indigo on samanlainen kuin synteettinen indigo.

Morsingon viljelyä on viime vuosikymmeninä tutkittu Euroopassa mm. Italiassa, Espanjassa, Englannissa ja Suomessa. Kasvia on perinteisesti viljelty avomaalla. Suomessa kasvukauden aikana saadaan 1-3 satoa, kun se Espanjassa voi olla jopa 4-5. Morsingon lehtien uutoksesta on löydetty yli 65 erilaista yhdistettä: alkaloideja, flavonoideja, rasvahappoja, porfyriineja, lignaaneja, karotenoideja, glukosinolaatteja ja sykloheksaaneja, joista lääketeollisuus voi olla kiinnostunut.

Väriainetta indigoa ei saada suoraan kasvien lehdistä, vaan lehdistä uutetaan sen esiasteita indoksyylejä: indikaania (indoxy- $\beta$ -D-glucoside), isatan B:tä (indoxyl-5-ketoglukonate) ja isatan A:ta, jotka ovat morsingon sekundaarisia metaboliitteja (Oberthur et al. 2004). On jopa ehdotettu, että esiasteena olisi isatan C (Maugard et al. 2001). Isatan B on samanaikaisesti biogeneettinen esiaste ja isatan A:n hajoamistuote. Isatanit ovat hyvin epästabiileja ja vaikea analysoida (Oberhür et al. 2004). Isatan B saadaan pysyvään muotoon alhaisessa pH:ssa (Stoker et al. 1998 b).

Kun morsingon lehtiä uutetaan vedessä, värittömät vesiliukoiset esiasteet irtoavat lehdistä hydrolysoituen indoksyleiksi. Kaksi muodostunutta indoksyylimolekyyliä yhdistyy ja hapetus muuttaa sen indigoksi, joka on veteen liukenematon väriaine. Indigo pelkistetään *leuco*-indikoksi, joka on vesiliukoinen ja väritön. Tällä aineella kuidut värjätään ja värjätty tuote hapetetaan uudestaan eli nostetaan ilmaan. Hapen vaikutuksesta leucoindigo muuttuu veteen liukenemattomaksi indigoksi, joka on väriltään sininen ja pysyvä väriaine kuidussa. Jos lehtiä uuttaa liian kuumassa vedessä, voi esiaste indoksyli valita toisen reaktiotien ja muuttua isatan-molekyyliksi. Tämä voi johtaa indirubiini-molekyylin muodostumiseen, joka on valolle herkkä punainen väriaine ja siten pysymätön väri.

Koska indigolla ei pysty värjäämään, vaan se pitää pelkistää sellaiseen muotoon, jossa se tarttuu kuituihin. Sitä varten on kehitetty ja kehitetään edelleen erilaisia menetelmiä, jotka voisivat korvata nykyiset, toksisia aineita käyttävät menetelmät, esim. mikrobin hyödyntäminen, elektrokemialliset ja muut uudet menetelmät (Blackburn et al. 2009, Osimani et al. 2012, Ratnapandian 2020). Teollisessa värjäyksessä käytettävät synteettiset aineet ovat useimmiten toksisia ympäristölle. Värjäyksessä tarvittavat suuret vesimäärät sisältävät värjäysaineiden jäämiä, jotka aiheuttavat ympäristön pilaantumista. Tähän seikkaan on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota (Singh et al. 2020).

Luonnossa indigoa muodostuu, kun esiasteet rikkoutuvat hydrolyysissä lehtisolun vaurioituessa ja ovat kosketuksissa ilman (hapen) kanssa. Keskiajan ihmiset hyödynsivät tätä tekemällä morsingon murska- tuista lehdistä palloja.

Eri vuodenaikoina Isatan A:n ja B:n suhde vaihtelee huomattavasti. Saksan länsiosassa kesäkuussa isatan A:n suhde isatan B:hen oli 1-3:1 ja syyskuussa 5-10:1. Isatan B:n suhde indikaaniin oli 2-3:1 ja sadonkorjuun ajankohdalla oli vain vähän merkitystä tähän. Morsingon indigon esiasteesta suurempi osa on siis isatan B:tä kuin indikaania. Italiassa kasvatetun indigon esiasteiden suhde isatan B:indikaani oli 5:1 (Campeol et al. 2006).

Morsingon lehdissä on vahakerros, joka pitää poistaa ennen kuin indigon esiasteet uuttuvat liemeen. Siksi uutettaessa on käytettävä korkeaa lämpötilaa. Kun morsingon lehdet upotetaan kuumaan veteen, emäksen lisäys vapauttaa vapaan indoksylin, joka muodostaa indigoa tarmokkaassa ilmastuksessa. Veteen liukenematon indigo saostuu ja vaipuu nesteen pohjalle, josta se voidaan kuivata (Garcia-Macias & John 2004).

Uuttoon menevien lehtien pitää olla mahdollisimman puhtaita, koska irronneet indoksylianionit absorboituvat likahiukkasiin, maa-ainekseen ja kasvipohjaisiin yhdisteisiin. Siten indigon saanto vähenee ja puhtaus kärsii (Garcia-Macias & John 2004). Stoker et al. (1998b) sai luonnon indigon puhtausasteeksi 20-40 % kun se synteettisellä indigolla on yli 90 %.

Valon määrällä ja laadulla on vaikutusta väriaineen esiasteiden muodostumiseen. Pelto-oloissa indigon saantoon vaikutti valon määrä. Aurinkoisen jakson jälkeen indigomäärä oli suurimmillaan. Alhaisempi valomäärä kasvihuoneessa vähensi indigon määrää verrattuna pelto-oloihin (Stoker et al. 1998 a).

Morsingon siemenet itävät hyvin pimeässä, punaisessa, valkoisessa ja keltaisessa valossa, mutta heikosti kaukopunaisessa ja sinisessä valossa. Keskimääräinen itämisaika oli laboratorio-oloissa 2,5 vuorokautta (Tozzi et al. 2005). Peltoviljelyssä Saksassa itämisaikaksi annettiin 2–3 viikkoa (Biertümpfel & Wurl 2009).

Valon laadulla on myös vaikutusta indigon esiasteiden muodostumiseen. Indikaania saatiin eniten punaisessa ja valkoisessa valossa (0,118 ja 0,103 g kg<sup>-1</sup> tuorepainoa) (Tozzi et al. 2005). Indikaanin määrät olivat noin puolet pienemmät pimeässä, kaukopunaisessa ja sinisessä valossa. Isatan B käyttäytyi eri tavoin. Sen määrä oli suurin punaisessa valossa, noin 1,08 g kg<sup>-1</sup> tuorepainoa, kun määrät pimeässä, valkoisessa, kaukopunaisessa ja sinisessä valossa olivat noin 0,5 g kg<sup>-1</sup> tuorepainoa (Tozzi et al. 2005). Isatan B:n määrä kasvoi myös lineaarisesti valon intensiteetin kasvaessa.

Isatan B:n muodostumiseen on ilmastolla suurempi vaikutus kuin indikaanin muodostukseen. Kirjallisuudessa ilmoitetaan suuria eroja saadun indigon pitoisuuksissa, mikä viittaa eri ilmasto-olosuhteiden merkittävään vaikutukseen indigon esiasteiden muodostumisessa.

Eri kasviyksilöissä ja eri puolilta maailmaa kerätyissä morsinkokannoissa on havaittu eroja indigopitoisuuksissa, joten indigon muodostus on geneettisesti määrätty (Angelini et al. 2007, Campeol et al. 2006). Lisäksi kasviyksilöiden välillä on havaittu eroja indigon määrässä eri valo-oloissa (Campeol et al. 2006).

Korkeassa ilman lämpötilassa saatiin parempi lehtisato ja tasainen maan kosteus oli myös eduksi (Angelini et al. 2007). Italiassa pelto-oloissa kuivassa kasvaneissa morsingon lehdistö saatiin enemmän indigoa kuin hyvin kastelluiden kasvien lehdissä, mutta hyvässä kastelussa saatu paljon suurempi lehtisato nosti kokonaisindigon saannon suuremmaksi (Campeol et al. 2006). Toisessa kokeessa osoitettiin, että morsinko on kuivuutta hyvin kestävä kasvi, koska se kasvattaa voimakkaan paalujuureen syväälle maahan (Angelini & Bertolacci 2008).

Morsingon biomassa peltoviljelyssä kasvoi lannoitetypen määrän kasvaessa (Sales et al. 2006, Orsini et al. 2012). Typen määrä ei vaikuttanut raakaindigon eikä puhtaan indigon määrään. Koska typen

määrä lisäsi lehtimassaa, niin myös raakaindigon määrä kasvoi. Raakaindigo on puhdistamatonta väriainepulveria, jossa on mukana epäpuhtauksia lehtien pesun jälkeenkin.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia morsingon ympärivuotisen viljelyn mahdollisuutta uutena viljelykasvina Suomen oloissa. Tutkimuksessa käytettiin lisävalona valaisimia, joissa oli eri valon aallonpituuksia ja toisena koejäsenenä eri lannoitusvoimakkuudet. Näiden viljelyolosuhteiden (koejäsenten) vaikutusta sadon määrään ja puhtaan indigon sekä raakaindigon määriin tutkittiin.

## 2. Aineisto ja menetelmät

Värimorsingon viljelyaika Luke Piikkiön kasvihuoneessa oli 20.6.2017–7.5.2018, 11,5 kuukautta. Luke (entinen MTT) sai värimorsingon siemeniä alun perin SPINDIGO-hankkeen saksalaiselta partnerilta (Thuringenin tutkimuslaitos), joita on sen jälkeen lisätty Jokioisten peltokokeissa. Näistä kokeista peräisin olevat siemenet kylvettiin 20.6.2017 kivivillakuutioihin, Grodan (10\*10\*6.5 cm pituus\*leveys\*korkeus). Kuution kylvöreikään laitettiin turvetta. Siemenet itivät neljässä päivässä muovin alla.

Kivivillakuutiot kasveineen siirrettiin 5. heinäkuuta, 15 vrk kylvöstä, kasvualustana käytettyjen kivivilalevyjen päälle lopulliseen kasvupaikkaan, Grodan Classic Forte (120\*19.5\*7.5 cm pituus\*leveys\*korkeus), 7 tainta levyyn. Levyt olivat kasvihuoneen pöydällä kolmessa rivissä rinnakkain. Pöydän leveys oli 140 cm. Pöydän pituus oli 600 cm. Istutustiheydeksi tuli 8,4 tainta pöytä-m<sup>-2</sup>. Pöytiä 50 m<sup>2</sup>:n kasvihuoneosastossa oli 3. Kokeesta otettuja valokuvia löytyy Liitteestä 2.

Jokaisella taimella oli oma kastelutippu. Heinäkuun 10. jokaiseen säkkiin tehtiin 1 viilto ja elokuun 10. kaksi viiltoa lisää ylivalumaveden poistoa varten.

Ensimmäinen sadonkorjuu tehtiin 21. elokuuta, 62 vrk kylvöstä. Satokerrat 1 ja 2 kasvoivat luonnonvalossa ja niiden tulokset olivat referenssinä valotuskokeiden tuloksiin. Samalla todennettiin, että eri lohkoista saatiin samanlaiset tulokset ennen valotuskokeen alkua. Lannoitusresepti oli nuorilla taimilla 1–1,4 mS cm<sup>-1</sup> (vk 30–41). Kastelussa ja lannoituksessa käytettiin Itumic Oy:n (Suomi) kastelu-lannoitusautomaatiikkaa.

Tutkimuksessa oli kaksi eri koejärjestelyä vuoden kierron aikana. Syyskaudella 2.10.2017–2.1.2018 välisenä aikana oli valotuskoe (satokerrat 3–5) ja kevätkaudella 4.1.–7.5.2018 valotus\*lannoituskoe (satokerrat 6–10).

### 2.1. Valotuskoe syksy 2017

Valokäsittelyt olivat HPS, HPS+LED ja LED. LED-valaisimet olivat Overhead High Output 200W (Netled, Suomi), joissa punaisen ja sinisen valon suhde oli 80:20 %. HPS (suurpainenaatrium)-lamput olivat HPS koejäsenessä Philips Master Green Power 400W (Hollanti). HPS+LED koejäsenessä käytettiin HPS-lamppuina Philips Master Pia Plus 250W (Hollanti).

Valon intensiteetin keskiarvo oli syksyllä 24 cm pöydän pinnasta 310 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (LI-COR quantum sensor LI-190 SA, LI-COR Inc., USA). Valotusaika oli 20 h d<sup>-1</sup> (klo 03–23). Satokertojen 3–5 aikana viimeinen viikko ennen sadonkorjuuta valotusaika oli 23 h d<sup>-1</sup>. Lisävalotuksen toivottiin lisäävän indigon määrää lehdistä.

Kukin pöytä oli jaettu kahteen osaan, joihin oli arvottu valokäsittelyt. Kutakin valokäsittelyä oli kaksi. Valokäsittelyt erotettiin toisistaan muovilla. Suojarivit olivat muovien kohdalla. Yhden valokäsittelyalueen sisällä oli 3 lohkoa. Siten yhtä valokäsittelyä oli yhteensä 6 lohkoa. Yhdessä lohossa oli 12 koekasvia.

Lannoitusresepti vaihteli viikosta 43 lähtien 1,7–3,0 mS cm<sup>-1</sup> välillä sen mukaan mitä puristenestemittaus näytti. Suurimmillaan kasvualustan johtokyky oli 2,7 mS cm<sup>-1</sup>. Sadonkorjuun jälkeen johtokykyä alennettiin ja kasvun edetessä sitä nostettiin. Tätä lannoitustapaa kutsuttiin tuloksissa vaihtelevaksi lannoitustavaksi. Lannoitteet ja niiden suhteet ovat kohdassa 2.2.

## 2.2. Valotus- ja lannoituskoe kevät 2018

Valokäsittelyt olivat samat kuin valotuskokeessa, mutta 23 tunnin valotusta ei jatkettu viimeisenä viikona ennen sadonkorjuuta. Valotasot mitattiin uudelleen 34 cm pöydän pinnasta, koska kasvit olivat kasvaneet korkeutta sadonkorjuuden jälkeen. Valon intensiteetin keskiarvo oli lehtien tasolla  $332 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Kevään kokeessa valotuksen sisällä joka toinen viljelysäkki arvottiin laimeaan lannoitukseen ja joka toinen voimakkaaseen lannoitukseen. Siten koetaimien määrä yhdessä lohkoissa oli 6 ja lohkoja oli 6. Väkevää lannoitusta varten asennettiin omat kastelulinjat.

Satokerta 5:n jälkeen laimean koejäsenen viljelysäkkejä kasteltiin yksi vuorokausi  $0,8 \text{ mS cm}^{-1}$  liuoksella, jotta seuraavana päivänä voitiin aloittaa uudella lannoitustavalla.

Laimean koejäsenen lannoitusresepti oli  $0,8\text{--}2,0 \text{ mS cm}^{-1}$  ja voimakkaan  $1,8\text{--}3,0 \text{ mS cm}^{-1}$ . Lannoitustapojen välillä pyrimme pitämään  $1 \text{ mS cm}^{-1}$  eron antoliuoksen väkevyydessä. Kasteluveden johtokyky mitattiin uudelleen kastelutipusta, jonka antamat lukemat olivat jonkin verran erilaiset kuin kastelureseptien johtokyvyt (katso tulokset). Kasvualustan johtokyky pyrittiin pitämään laimeassa lannoituksessa enintään  $1,4 \text{ mS cm}^{-1}$  ja väkevässä vähintään  $2,5 \text{ mS cm}^{-1}$ .

Lannoitteina käytettiin VihannesSuperex-moniravinnelannoitetta (Kekkilä, Suomi), kalsiumnitraattia Nks (Dulso, Slovakia) ja magnesiumnitraattia MgN (Haifa, Israel). Sekoitussuhteet prosentteina vaihtelivat kasvun ja vuodenajan mukaan, Nks-Supex-MgN: 27.7.–10.8.: 60–34-6, 10.8.–23.10.: 34-60-6, 23.10.–: 44-50-6.

## 2.3. Kasvihuoneen olosuhteiden mittaukset ja tuholais/tautitorjunta

Kasvihuoneen olosuhteita mitattiin ja säädettiin Itumic CAG MS 100 ilmastonhallintalaitteistolla (Itumic Oy, Suomi). Ilman lämpötilaksi asetettiin  $20\text{--}17\text{--}22,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (päivä-yö-tuuletus). Kasvihuoneeseen asennettiin pystytuuletin Nivolator (Nivola, Hollanti) kierrättämään paremmin ilmaa eri valokäsittelyissä. Tällä ei ollut merkittävää vaikutusta lehtien lämpötilaan. Hiilidioksidilannoitus aloitettiin 17.10. puhtaalla kaasulla (Aga, Suomi) tavoitetasona  $800 \text{ ppm}$  klo 03-23. Tuuletusluukkujen ollessa auki annostelu lopetettiin. Olosuhteet ovat Liitteessä 1.

Heti sadonkorjuun jälkeen kasveille annettiin  $0,5 \%$  Prestop WP-ruiskutus harmaanhomeen torjuntaan. Helmikuussa havaittiin *Fusarium culmorum* tautia, joka on yleinen viljelykasvien ja heinien tyvitauti. Kokeen lopussa tautiin kuolleita oli HPS koejäsenessä  $11 \%$ , HPS+LED koejäsenessä  $15 \%$  ja LED koejäsenessä  $14 \%$ .

Liejukärpäsiä vastaan levitimme ansarisirkeisiä ja harsosääskiä vastaan sukkulamatoja.

Jokaisessa valokäsittelyssä oli lisäksi TinyTag-anturit (Gemini Data Loggers, UK) mittaamassa kasvuston korkeudella ilman lämpötilaa.

## 2.4. Kasvustomittaukset

Satona kerättiin kaikki lehdet kasvikohtaisesti jokaisesta kasvista. Lohkoista otettiin satunnaisesti kasveja, joista laskettiin kolmen eri kokoluokan lehtien lukumäärät ja punnittiin tuore- sekä kuivapainot. Satokerroissa 3-5 (valotuskoe) jokaisesta lohkoista mitattiin kolme kasvia ja satokerroissa 6-10 (valotus\*lannoituskoe) yksi kasvi kolmesta lohkoista. Kokoluokat olivat A > 25 cm, B 15-25 cm ja C < 15 cm pitkät lehtilavat. Lehtilapaan ei siten mitattu koko lehden pituutta. Kasveista, jotka eivät menneet

analyysihin, punnittiin yksilöittäin tuorepaino. Kokeen lopussa laskettiin yhteen kaikkien satojaksojen tuorepainot.

Lehtien lämpötilaa (DIS Microscanner D501, Exergen Co, USA) eri valokäsittelyissä mitattiin lokakuussa viikoilla numero 41, 42 ja 43 sekä marraskuussa viikolla numero 47. Jokaisen lohkon jokaisesta rivistä lämpötila mitattiin 4:tä kasvista. Tuloksissa esitetään kaikkien mittausten keskiarvot.

Kasvualustasta mitattiin viikoittain johtokyky, kosteus ja kasvualustan lämpötila Delta -T WET-2 anturilla (Hollanti). Lisäksi kasvualustoista otettiin puristenestenäytteet viikoittain, joista mitattiin pH anturilla (pH-97 Niewkoop, Hollanti), johtokyky ( $\text{mS cm}^{-1}$ ) EC-93 anturilla (Niewkoop, Hollanti), Ca, K ja  $\text{NO}_3^-$ -N. Ravinteet mitattiin Horiba-antureilla (Compact  $\text{NO}_3^-$  meter B-74X,  $\text{K}^+$  meter B-731,  $\text{Ca}^{2+}$  meter B-751, LAQUAtwin, Japan).

### 2.4.1. Indigon spektrofotometrianalyysi

Satokerroista 3, 4, 5, 6, 8 ja 10 tehtiin indigoväriaineanalyysit spektrofotometrilla. Yhdestä kasvista otettiin kaksi 15–25 cm:n kokoista lehteä. Molemmista lehdistä punnittiin 0,35 g:n painoiset lehdenpalat lehtiruodin toiselta puolelta, jolloin yhteen näytteeseen tuli lehteä  $2 \cdot 0,35 \text{ g} = 0,7 \text{ g}$ . Lehtiruotien toiselta puolelta otettiin samanlaiset lehtinäytteet kuivapainopunnitusta varten.

Indigoväriainenäytteeseen lisättiin 10 ml kylmää ddH<sub>2</sub>O:ta ja inkuboitiin 5 min +96 °C vesihauteessa. Lehdet poistettiin suodattamalla näyte suodatinverkon (355  $\mu\text{m}$ ) läpi. Läpimennyt neste suodatettiin vielä uudelleen ruiskusuodattimella (0,7–1,2  $\mu\text{m}$ ). Näytteeseen lisättiin 50  $\mu\text{l}$  kylläistä  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (50 g/1000 ml) ja ravisteltiin vähintään 30 s kunnes väri muuttui vihreäksi. Mitatun pH:n tuli olla noin 11. Näytettä inkuboitiin pimeässä huoneenlämpötilassa vähintään 20 tuntia.

Inkuboinnin jälkeen näyte laimennettiin 1:4 lisäämällä 1 ml:aan näyteliuosta 3 ml ddH<sub>2</sub>O:ta ja sekoitettiin ravistelemalla. Laimennettuun näytteeseen lisättiin 25  $\mu\text{l}$  HCl:a (1,0 M) ja ravisteltiin, kunnes väri muuttui siniseksi. Lisättiin 4 ml etyyliasettaattia ja sekoitettiin ravistelemalla näytettä voimakkaasti. Annettiin olla 10 min, jonka aikana näytteeseen muodostui kaksi eri faasia; indigoa ja etyyliasettaattia sisältävä yläfaasi ja pohjalle vettä sisältävä alafaasi. Ylempi etyyliasettaattifaasi pipetoitiin varovasti kyvetiin niin, ettei vesifaasia tullut yhtään mukaan. Absorbanssi mitattiin spektrofotometrilla aallonpituudella 600 nm. Blankina käytettiin etyyliasettaattia. Lukemaa verrattiin synteettisestä indigojauheesta tehtyyn standardisuoraan.

Tuloksissa indigomäärä laskettiin kasvista mitattuun tuore- ja kuivapainoon  $\text{mg g}^{-1}$ . Näytteitä otettiin 2 kpl samasta lohkoista ja lohkojen määrä vaihteli satokerrasta toiseen 2–4 lohkoon sen mukaan kuinka monta koejäsentä mitattiin. Koejäsenten keskiarvoja käytettiin tilastoanalyysissä.

### 2.4.2. Raakaindigon uutokset

Satokerroissa 2, 3, 4, 5, 6, 8 ja 10 tehtiin kasvikohtaisia raakaindigouutoksia. Satokerroissa 2-5 kahdesta lohkoista otettiin 3 kasvia koejäsentä kohden uutoksiin. Satokerroissa 6–10 yhdestä lohkoista otettiin uutoksiin kolme kasvia koejäsentä kohden. Lannoituskokeessa nämä kasviyksilöt olivat samoja kuin indigon spektrofotometrimäärytyksissä. Jokaisen kasvin tuorepaino punnittiin ennen uuttamista. Kuivattu raakaindigouutos punnittiin. Muista saman koejäsenen kasveista mitatuista tuore- ja kuivapainoista arvioitiin uutoksessa käytetyn kasvin kuivapaino. Väriaineen saantoa verrattiin todelliseen tuorepainoon ja arvioituun kuivapainoon.

Pieni otos ( $n = 1-6$  koejäsentä kohden sadoissa 6, 8 ja 10) kuivattua raakaindigoa pestiin deionisoidulla vedellä kunnes sen väri oli puhtaan sinistä ja pesuvesi oli kirkasta. Pesun jälkeen aines kuivattiin ja

absorbanssi luettiin 664 nm:ssä Osimani et al. (2012) ohjeiden mukaan. Tulokset olivat suuntaa antavia, koska pesutuloskin oli suuntaa antava.

Uutos tehtiin yhdestä kasvista kerrallaan. Tuorepainopunnituksen jälkeen kasvi laitettiin 80–100 °C:een veteen harsopussissa. Veden määrä laskettiin siten, että yhteen kiloon lehtimassaa laitettiin vettä 3 litraa. Liemi happamoitettiin etikalla pH 2–3:een (1 l vettä, etikkaa noin 20 ml). Lehtiä painettiin ja sekoitettiin vedessä 10 min. Lehdet poistettiin liuksesta ja neste jäähdytettiin nopeasti jäämurska-hauteessa noin 25–28 °C:een. Kaliumhydroksiliuosta lisättiin pH:n nostamiseksi 11–12 (CaOH noin 12 ml litraa kohden). Tämän jälkeen liuosta vatkattiin sähkövatkaimella 10 min, jotta liuos ilmastui hyvin ja syntyi vaahtoa. Liuos kaadettiin astiaan ja säilytettiin kylmiössä. Seuraavana päivänä lisättiin muura-haishappoa pH:n alentamiseksi 4:ään (noin 6,5 ml litraan uutosta). Neste haihdutettiin kylmiössä + 4–8 °C:ssa ja lämpökaapissa + 30 °C:ssa.

## 2.5. Tilastolliset analyysit

Tuorepainoanalyysiin yhdistettiin kaikkien kasvien tuorepainot. Morsingon (*Isatis tinctoria*) lehdistä mitattuja ominaisuuksia mallitettiin koejärjestelyyn perustuen lineaarisilla sekamalleilla, joilla voitiin huomioida mallitettavan ominaisuuden arvojen korreloituneisuus ja vaihtelun erisuuruus.

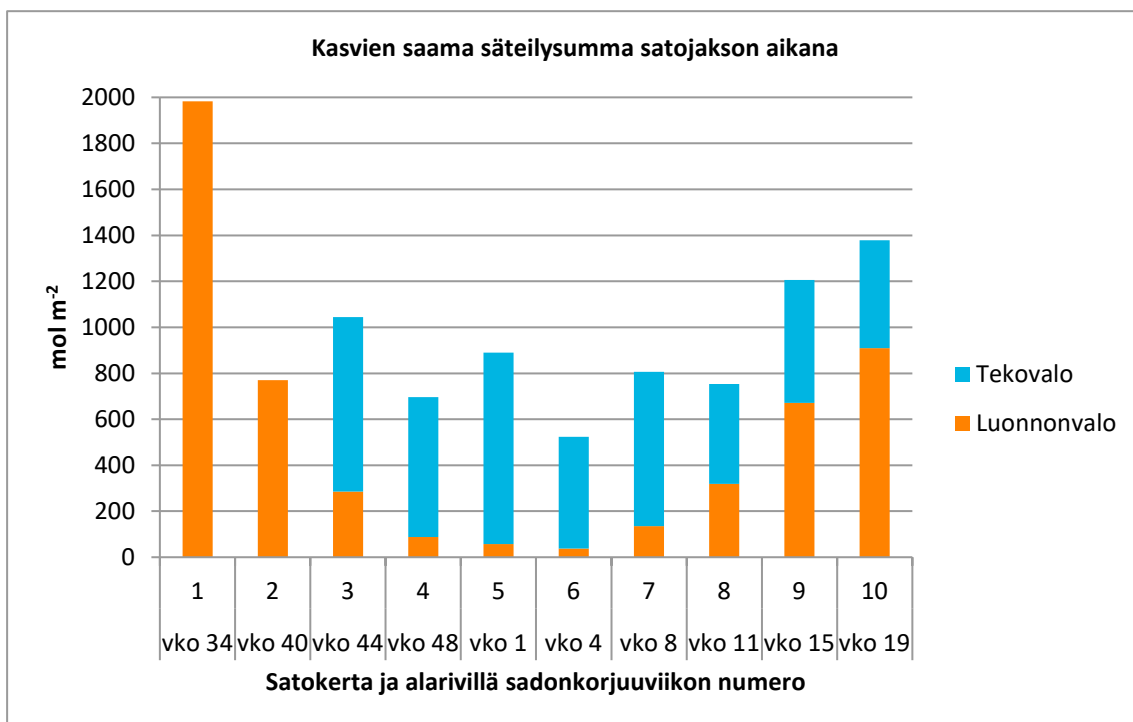
Mitattuja ominaisuuksia olivat lehtien tuorepaino, raakaindigon ja indigon pitoisuus. Lisäksi erikokoisille lehtiryhmille mitattiin tuorepaino, kuivapaino ja lehtien lukumäärä. Ensimmäisessä kokeessa tutkittiin valotuksen vaikutusta ominaisuuksiin, jatkokokeessa puolestaan valotuksen ja lannoituksen vaikutuksia. Morsingon satokerta ja lehden koko (lehtiryhmille) olivat mallien lisäselittäjiä.

Analyysit toteutettiin tilastollisen SAS-ohjelmiston (versio 9.4) MIXED-proseduurilla.

## 3. Tulokset

### 3.1. Kokonaistuorepainot ja valotus

Kahdessa ensimmäisessä sadonkorjuussa luonnonvalossa kasvien tuorepainot olivat keskimäärin 205 g. Erot eri valotuskoejäsenten välillä olivat pienet, joten päättelimme, että valotuskokeessa valon laadulla ja määrällä saadut erot olivat todellisia. Kuvassa 1 on kokeen aikana lasketut valosummat ennen sadonkorjuuta sekä sadonkorjuuviikkojen numerot. Valotuksen hyötysuhde tuorepainsatoon sato kertojen 4–7 aikana, jolloin luonnonvalon määrä oli vähimmillään, oli paras HPS-valotuksella 81,5 %, HPS+LED-valotuksella 75 % ja LED-valotuksella heikoin 69 %. Luonnonvalon suuri määrä satokerroissa 9–10 ei parantanut saadun lehtisadon ja valomäärän hyötysuhdetta kun valosumma nousi yli 1100 mol m<sup>-2</sup> satojakson aikana. Valotus vaikutti syksyllä tuorepainoihin siten, että painavimmat kasvit saatiin HPS-valotuksesta ja kevyimmät LED-valotuksessa. HPS+LED- valotuksen tuorepainot olivat kummankin ääripään välistä (Taulukko 1). Satomäärät vaihtelivat sadonkorjuukerrasta toiseen tekovalokaudella. Tähän vaikutti tekovalon lisäksi kasvien koon kasvu ikääntyessään ja viljelyajan pituus. Kuvassa 4 ovat viljelyajat ennen sadonkorjuuta. Pidemässä viljelyajassa lehtimassaa saatiin enemmän kuin lyhyessä, ja silloin myös valosumma oli korkeampi.

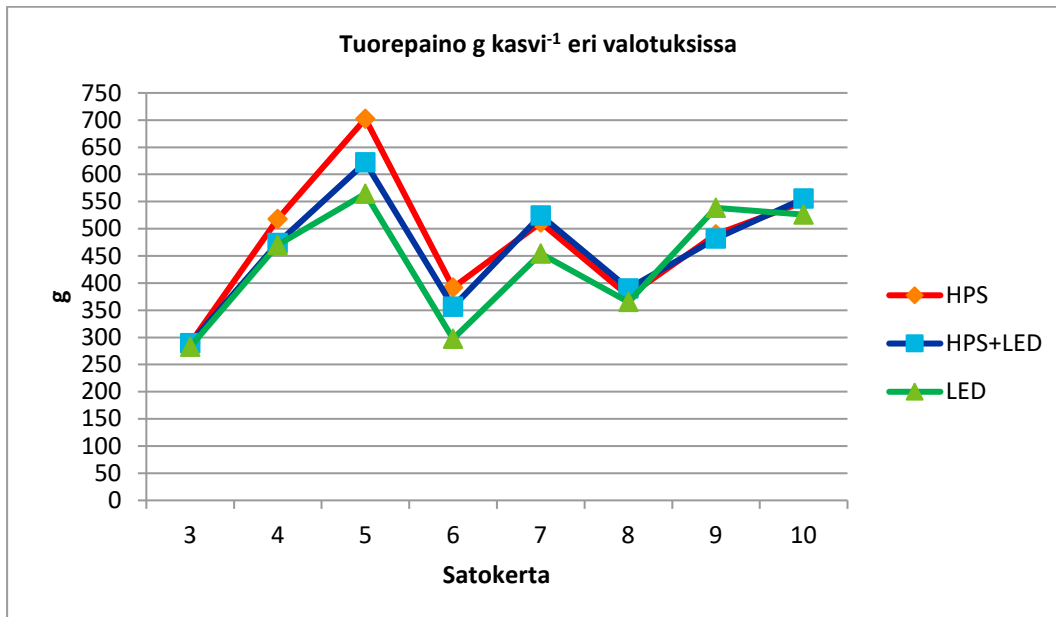


**Kuva 1.** Kokeen aikana kasvien saamat säteilysummat mol m<sup>-2</sup> satokerroittain.

**Taulukko 1.** Sadonkorjuukerroilla 3–5 eri valotuksien vaikutukset kasvien tuorepainoon. Eri aakkoset kuvaavat tilastollista eroa 95 %:n todennäköisyydellä.

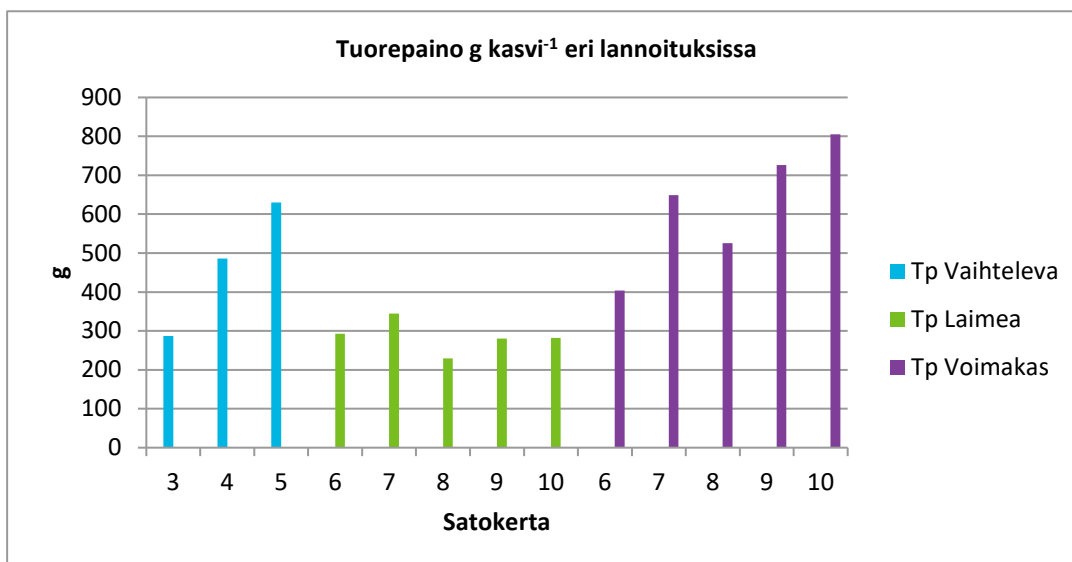
Valotus	Satokerta	Tuorepaino, g
HPS	3–5	502 a
HPS+LED	3–5	462 ab
LED	3–5	439 b

Kuvasta 2 näkee, että talvella LED-valossa satotasot ovat alhaisemmat kuin muissa valotuksissa.



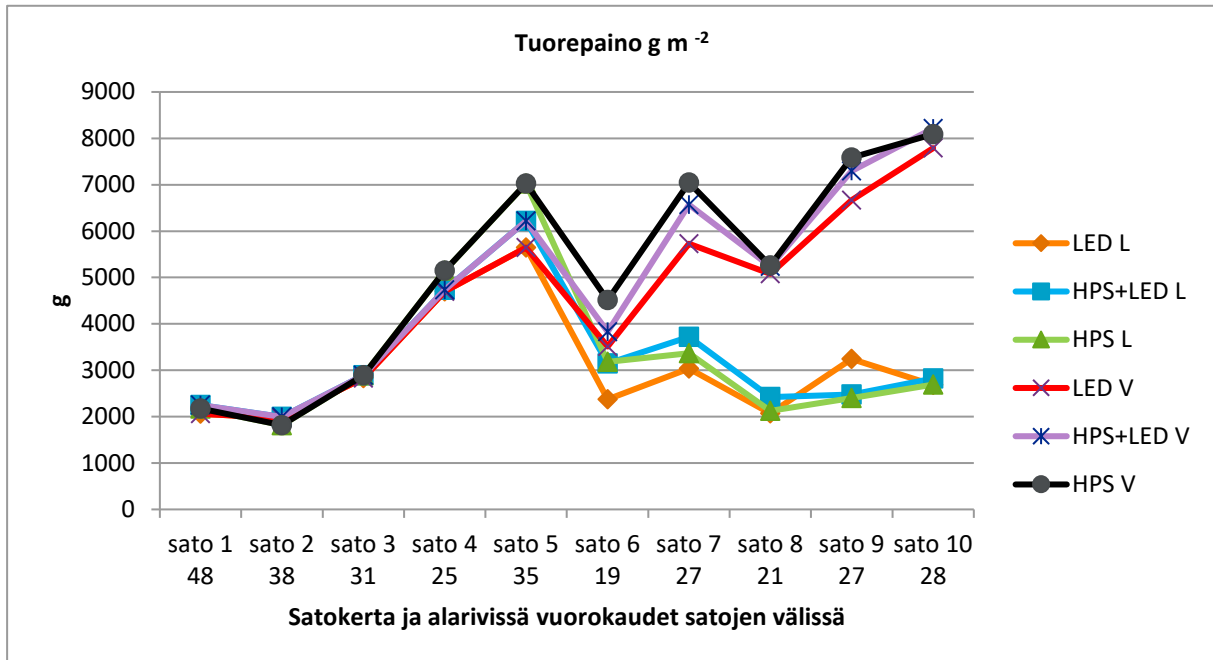
**Kuva 2.** Eri valotuksissa saadut kasvien tuorepainot. Satokerroissa 3–5 erot olivat tilastollisesti merkitsevät (taulukko 1), mutta korjuissa 6–10 eri valotuksilla ei ollut toisistaan tilastollisesti merkisevästi poikkeavaa vaikutusta kun eri lannoitustavat on yhdistetty.

Lannoitustavalla oli merkittävä vaikutus morsingon tuorepainoon (Kuva 3). Laimeassa lannoituksessa kasvien lehtimassa jäi selvästi pienemmäksi kuin voimakkaassa lannoituksessa. Hyväksi osoittautui myös satokertojen 3–5 aikana käytetty vaihteleva lannoitustapa kasvien tarpeen mukaan. Morsinko hyötyy voimakkaasta lannoituksesta.

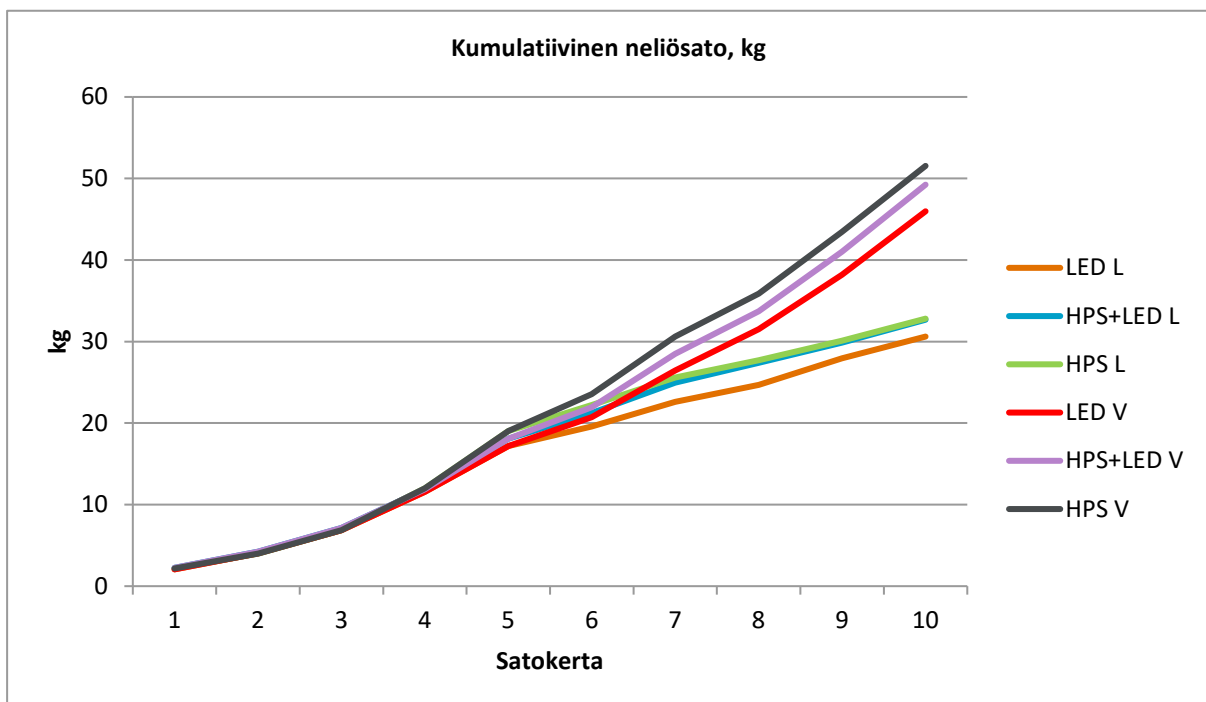


**Kuva 3.** Kasvien tuorepainot eri lannoituksissa sadonkorjuukerroittain. Satokertojen 3–5 välillä oli merkitsevät erot eri satokertojen välillä, satokerta  $p < 0,001$ . Laimean ja väkevän lannoituksen välillä oli satokerroissa 6–10 merkitsevät erot, sato\*lannoitus  $p < 0,001$ .

Viljelijää kiinnostaa neliösato tuotto. Saaduista sadoista laskettiin neliösadot ottaen huomioon myös kaksi ensimmäistä satokertaa. Siten koko viljelyajaksi tuli 11,5 kk ja satokertoja 10. Kuvassa 4 on sato-kerroittain lasketut neliösadot. Kuvassa 5 on kumulatiiviset sadot neliömetriä kohden. Parhaimmillaan 11,5 viljelykuukauden aikana saatiin tuoreita morsingon lehtiä yhteensä 52,5 kg m<sup>-2</sup>.



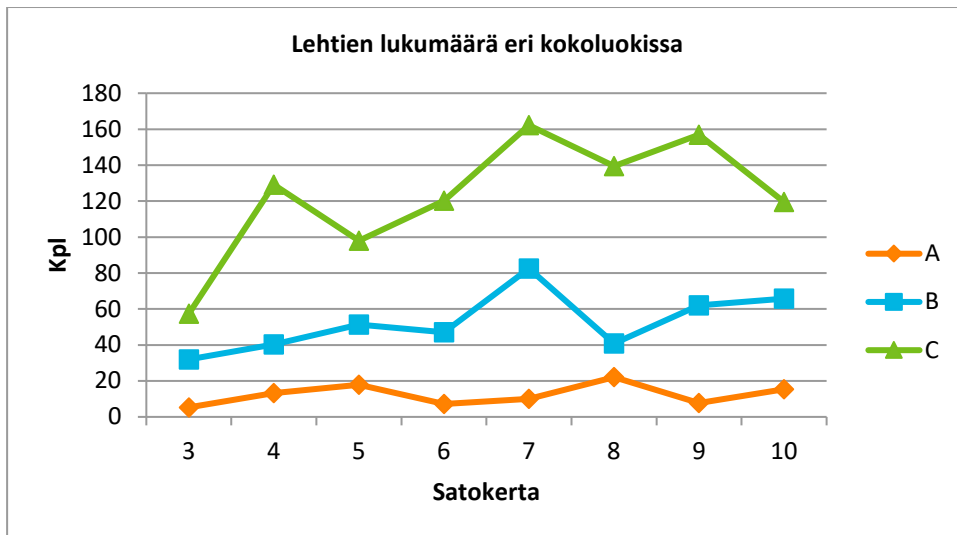
**Kuva 4.** Morsingon neliösato koko viljelyn ajalta eri valotuksissa ja lannoituksissa. L = laimea, V = väkevä lannoitus. Satojen 1–5 aikana ei ollut lannoituskoetta.



**Kuva 5.** Morsingon neliösato kiloissa 11,5 kuukauden viljelyn aikana eri valotus- ja lannoituskäsittelyissä. L = laimea, V = väkevä. Satojen 1–5 aikana ei ollut lannoituskoetta.

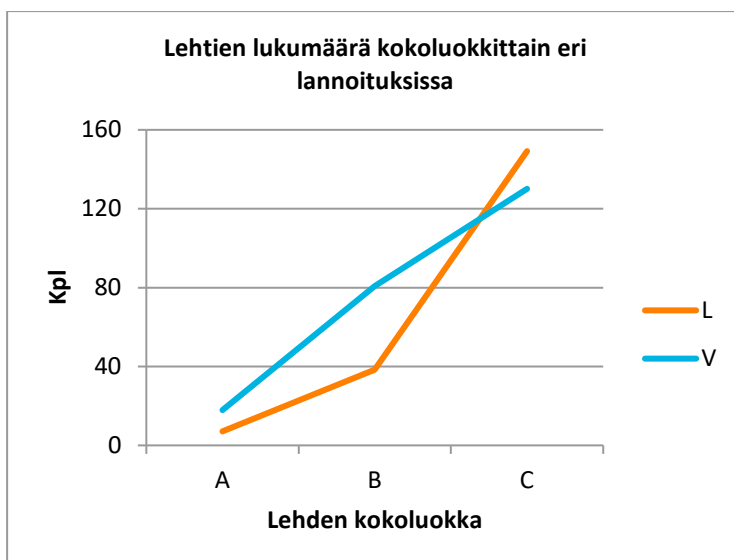
### 3.2. Lehtien koot

Kokeen toisessa sadossa nuorten kasvien lehtien lukumäärien kokojakaumat olivat: A 10 %, B 45 % ja C 46 %. Muissa satokerroissa lehtien lukumäärät eri kokoluokissa olivat  $A \leq 10 \%$ , B 20–30 % ja C 60–70 %. Kokoluokassa C oli selvästi eniten lehtiä. Kokoluokassa A oli yleensä vähiten lehtiä. Lehtien lukumäärät eri kokoluokissa poikkesivat toisistaan kaikissa satokerroissa (satokerta\*lehden koko,  $p < 0,001$ ), paitsi satokerrassa 8, jossa A ja B eivät poikenneet toisistaan (Kuva 6). Vaikka yhden kasvin kokonaislehtimäärä kasvoi keväällä, se ei vaikuttanut kokoluokajakautaan. Tekoalotuksella ei ollut merkitystä lehtien kokojakaumaan.



**Kuva 6.** Yhden kasvin lehtien lukumäärä eri kokoluokissa eri satokerroissa. Lehtilavan pituus: A >25 cm, B 15–25 cm ja C < 15 cm.

Lannoituksella oli vaikutusta kasvien lehtien kokoon. Voimakkaassa lannoituksessa kasvilla oli enemmän keskikokoisia lehtiä, luokka B, kuin laimeassa lannoituksessa (lehden koko\*lannoitus,  $p < 0,001$ ) (Kuva 7). Muissa kokoluokissa ei ollut eroja lannoitusten välillä.



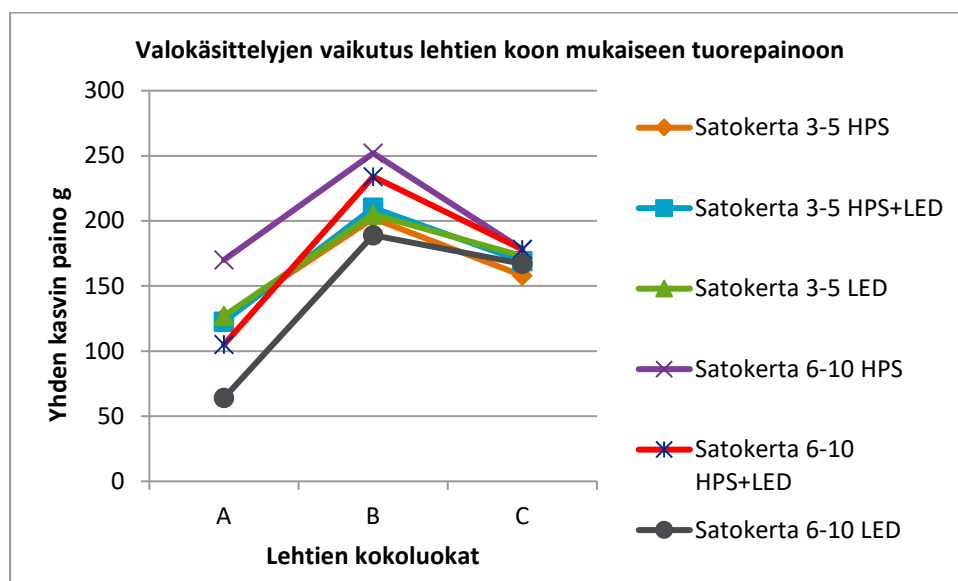
**Kuva 7.** Kasvin lehtien lukumäärät eri kokoluokissa laimeassa (L) ja väkevässä (V) lannoituksessa. Lehtilavan pituus: A >25 cm, B 15–25 cm, C < 15 cm.

Yhden kasvin kaikista lehdistä B kokoluokan lehdet muodostivat painavimman ja A kokoluokan lehdet useimmiten kevyimmän ryhmän (Taulukko 2). Yhden lehden tuorepaino oli eri kokoluokissa keskimäärin A 9–11 g, B 4–5 g ja C 1–2 g.

**Taulukko 2.** Eri satokerroissa punnitut yhden kasvin lehtien tuore- ja kuivapainot kokoluokittain sekä tilastollinen merkitsevyys, \*\*\*  $p < 0,001$ . Eri aakkoset kertovat tilastollisen eroavuuden satokerran tuore- ja kuivapainoissa.

Lehden koko	Satokerrat 3–5		Satokerrat 6–10	
	Tuorepaino g	Kuivapaino g	Tuorepaino g	Kuivapaino g
A	125 a	12 a	113 a	11 a
B	205 b	18 b	225 b	20 b
C	167 c	14 a	174 c	15 c
p-arvo	***	***	***	***

Syyskaudella valon laadulla ei ollut merkitystä (satokerrat 3–5) lehtien eri kokoluokkien tuorepainoihin. Vuoden vaihteen jälkeen (satokerrat 6–10) A kokoluokassa LED-valossa saatiin kevyimmät ja HPS-valossa painavimmat lehdet (Kuva 8).



**Kuva 8.** Valokäsittelyjen vaikutukset yhden kasvin lehtien kokoon ja niistä saatuihin tuorepainoihin eri satokerroissa.

Luonnonvalomäärän ollessa alhaisimmillaan lehtien kuiva-ainepitoisuudet laskivat jonkin verran. Ne olivat muulloin keskimäärin 8–11 %.

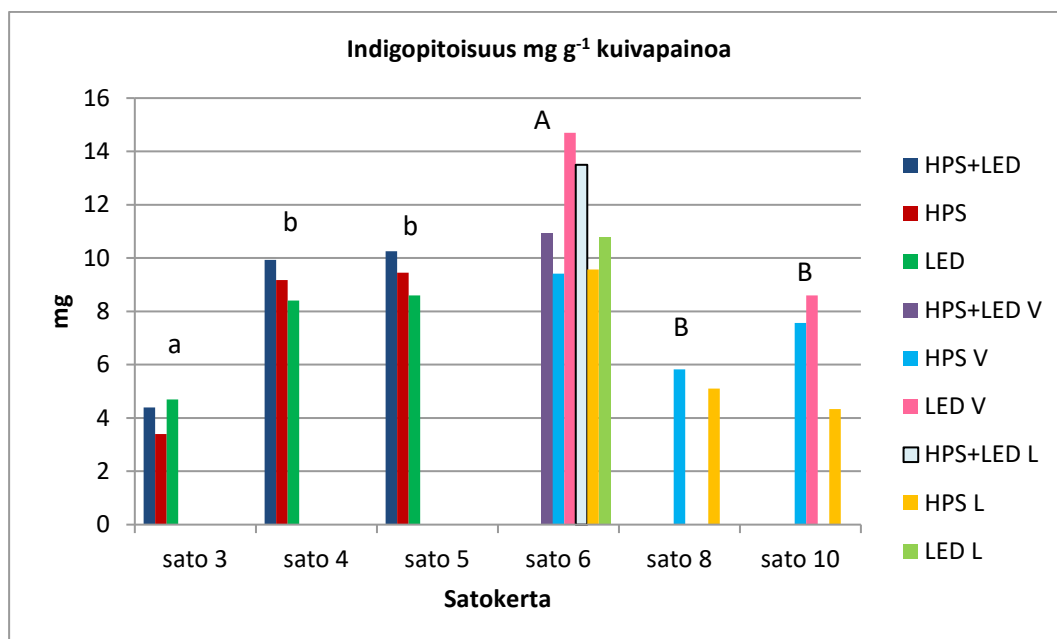
Lannoituksella oli merkittävä vaikutus lehtien kokoluokkien tuorepainoihin yhdessä kasvissa. Voimakkaassa lannoituksessa kokoluokkien A ja B lehtien tuore- ja kuivapainot olivat painavimmat kuin laimeassa lannoituksessa. Kokoluokassa C ei ollut eroja lannoituksien välillä (Taulukko 3).

**Taulukko 3.** Lannoituksen vaikutus yhden kasvin lehtien eri kokojen tuore- ja kuivapainoihin. Tilastollinen merkitsevyys p-arvona eri lannoitusväkevyksissä kokoluokittain, \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ , ns = ei eroja. Lehtilapa A > 25 cm, B 15–25 cm, C < 15 cm.

Lannoitustaso	A		B		C	
	Tuorepaino g	Kuivapaino g	Tuorepaino g	Kuivapaino g	Tuorepaino g	Kuivapaino g
Laimea	65	7	138	14	165	16
Väkevä	161	15	312	26	184	15
p-arvo	**	**	***	***	ns	ns

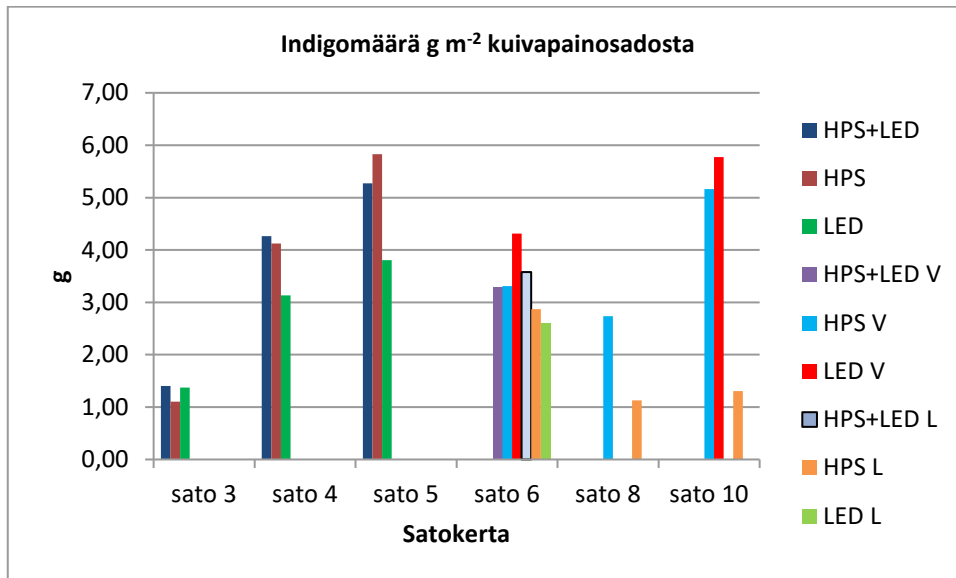
### 3.3. Indigon spektrofotometrimitaukset

Spektrofotometrimääritysten mukaan puhtaan indigon määrä vaihteli paljon koejäsenten, satokertojen ja vuodenaikojen välillä (3,4–14,7 mg g<sup>-1</sup> kuivapainoa). Tuorepainoa kohden indigon määrät olivat 0,7–1,8 mg g<sup>-1</sup> välillä viljelyn aikana. Satokerroissa 4–6 luonnonvalon määrä oli hyvin vähäinen suhteessa tekovaloon ja indigon määrät olivat kokeen mittauksissa korkeimmillaan lehden kuivapainoa kohden (Kuva 9). Sadoissa 3, 8 ja 10 indigopitoisuudet olivat suuresta kokonaissäteilymäärästä huolimatta alhaisemmat kuin alle 900 mol m<sup>-2</sup> kokonaissäteilyssä (sadot 4–6), jossa tekovalon osuus oli merkittävin. Satokerrat 8 ja 10 antoivat viitteitä siitä, että voimakkaassa lannoituksessa muodostuisi enemmän indigoa kuin laimeassa lannoituksessa luonnonvalomäärän lisääntyessä. Satokerran 6 lehdet olivat kokeen nuorimmat, koska viljelyaika oli vain 19 vuorokautta edellisestä korjuusta ja säteilysumma alhaisin (alle 600 mol m<sup>-2</sup>). Kuitenkin näissä nuorissa lehdissä oli LED-valoa saaneissa käsittelyissä enemmän indigoa kuivapainoa kohden kuin HPS-valossa. Myös satokerroissa 3–5 oli viitteitä siitä, että LED valon lisäys HPS valoon lisäsi indigon määrää kuivapainossa. Tekovalon laadun merkitystä ei kokeen tuloksista voitu kuitenkaan yksiselitteisesti erottaa, koska erot koejäsenten välillä olivat pienet ja vaihtelevat sekä kaikissa satokerroissa ei ollut kaikkia analysikombinaatioita.



**Kuva 9.** Indigopitoisuudet eri sadonkorjuukerroissa, valotuksissa (sato 3–5) ja lannoituksissa (sato 6–10) mg g<sup>-1</sup> lehden kuivapainoa kohti. Eri aakoset kuvaavat tilastollista eroa satokertojen välillä 95 %:n todennäköisyydellä: pienet aakokset sadoissa 3–5 ja isot aakokset sadoissa 6–10.

Analyseistä saatuja indigomääriä käytettiin arvioitaessa kuinka paljon koko satokerran kuivasadosta neliometriä kohden olisi saatu indigoa grammoissa neliometriä kohden (Kuva 10). Kasvien kokoerot eri käsittelyissä vaikuttivat indigon laskennalliseen saantoon merkittävästi. Satokerran indigosaannot olisivat olleet enimmillään HPS ja HPS+LED valotuksista satokerroissa 4 ja 5. Voimakkaassa lannoituksessa kevätkauden sadoissa LED valo antoi parhaat saannot. Laskuissa oli mukana kaikki lehtikoot, vaikka indigoanalyysit tehtiin yhdestä kokoluokasta (B 15–25 cm lehtilapa).

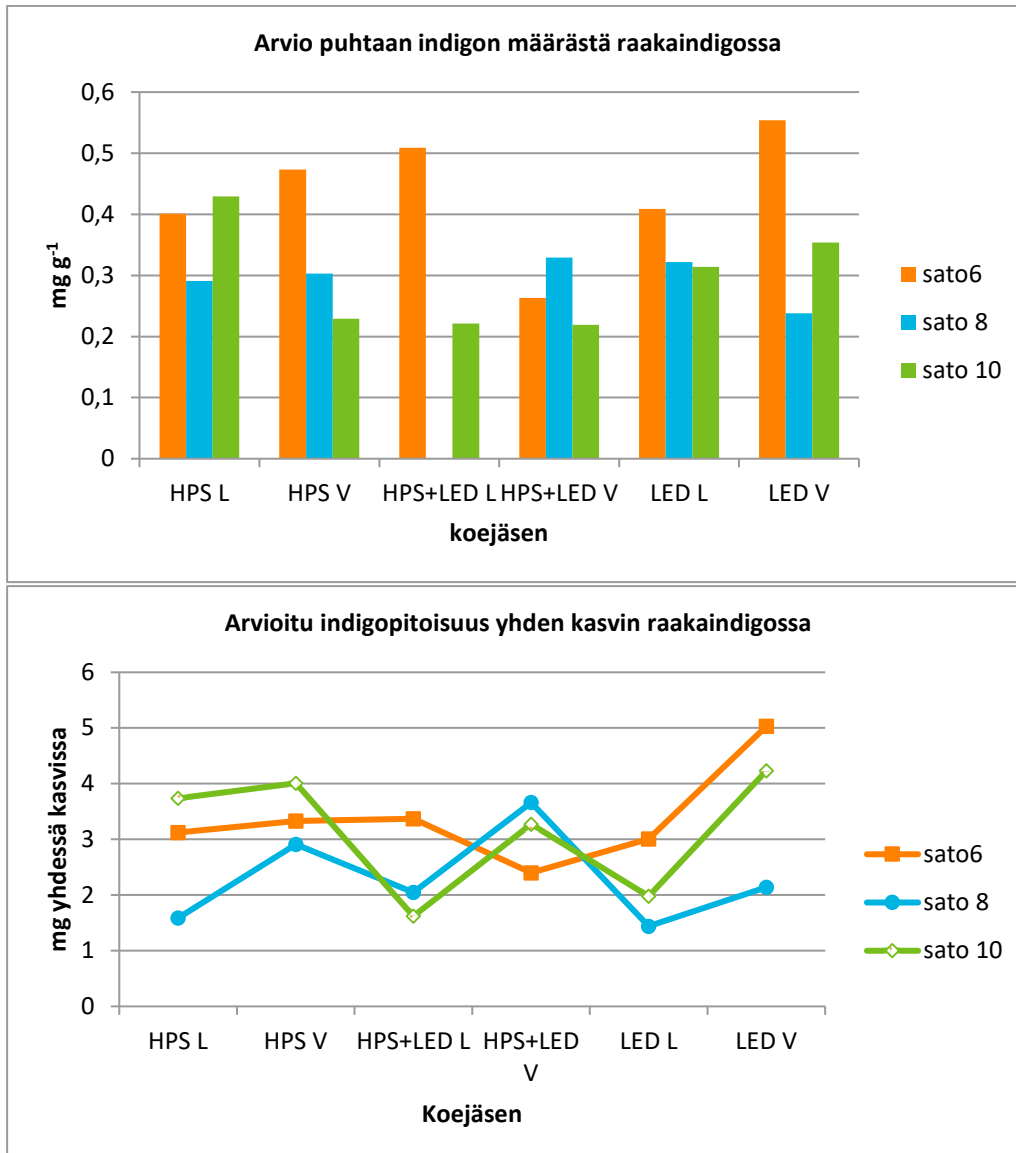


**Kuva 10.** Satokerroissa saatuja kokonaiskuivapainomääriä kohden lasketut arviot indigomääristä g m<sup>-2</sup>.

### 3.4. Raakaindigon määrä

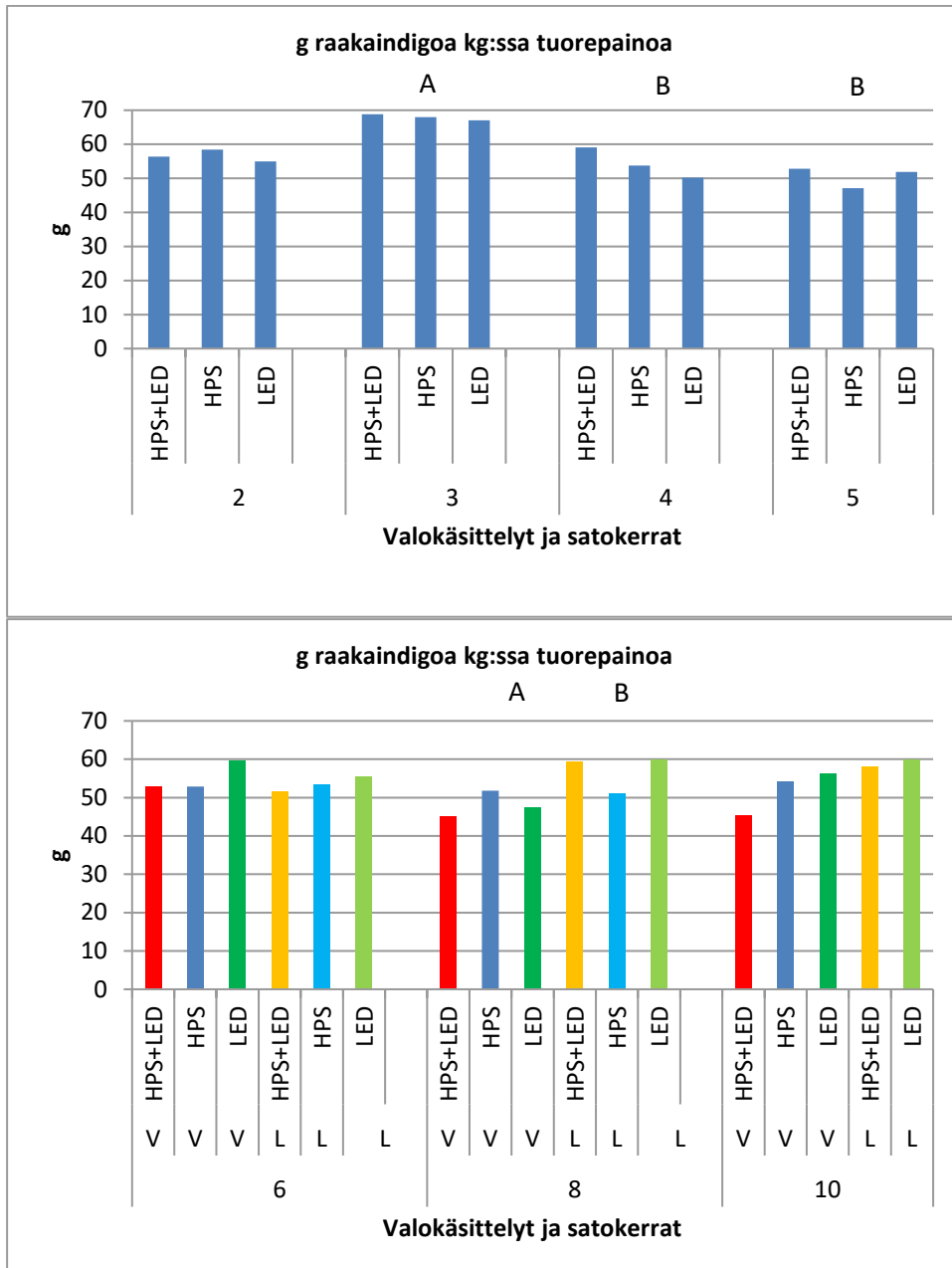
Väriaineen eli raakaindigon uutokset eivät ole puhdasta indigoa vaan sisältävät myös epäpuhtauksia. Kuivatut väriainesaannot olivat hyvin tummansinisiä. Tällä uutoksen menetelmällä saatua väriainetta käytimme lankojen värjäykseen, joista tuli kauniin sinisiä (Liite 2 valokuvat). Raakaindigon määrästä lähti pesussa pois noin 70 % alkuperäisestä painosta, joten puhtausaste oli keskimäärin 30 %. Kuvassa 11 on arvio puhdistetun raakaindigon pesun jälkeen mitatusta indigopitoisuudesta ja määrä laskettuna kyseisen sadon yhden kasvin puhdistettua raakaindigosaantoa kohden. Satokerta 6 antoi korkeimmat indigopitoisuudet mg g<sup>-1</sup> puhdasta raakaindigoa. Kun kasvin koko huomioidaan ja siitä saatu raakaindigomäärä, niin voimakkaassa lannoituksessa yhdestä kasvista näyttäisi saatavan enemmän indigoa kuin laimeassa lannoituksessa. LED valotuskin on pärjännyt varsin hyvin.

Koko kokeen aikana raakaindigon määrät samojen kasvien tuorepainoon verrattuna olivat 45–69 g:n väliltä lehtikiloa kohden. Puhdistetun raakaindigon pitoisuus olisi laskennallisesti 13–21 g tuorepainokiloa kohti. Satokerrassa 3, jossa luonnonvalon määrä oli suuri, saatiin enemmän raakaindigoa tuorepainokiloissa kuin sadoissa 4 ja 5 (Kuva 12). Satokerrassa 8 saatiin laimeassa lannoituksessa korkeampi raakaindigopitoisuus kuin voimakkaassa lannoituksessa (Kuva 12). Vaikka valokäsittelyiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, nähdään kuvasta 11 trendi, jossa LED valo sisältäneet koejäsenet ovat tuottaneet raakaindigoa kilpailukykyisesti verrattuna pelkkään HPS valoon tuorepainokiloissa.

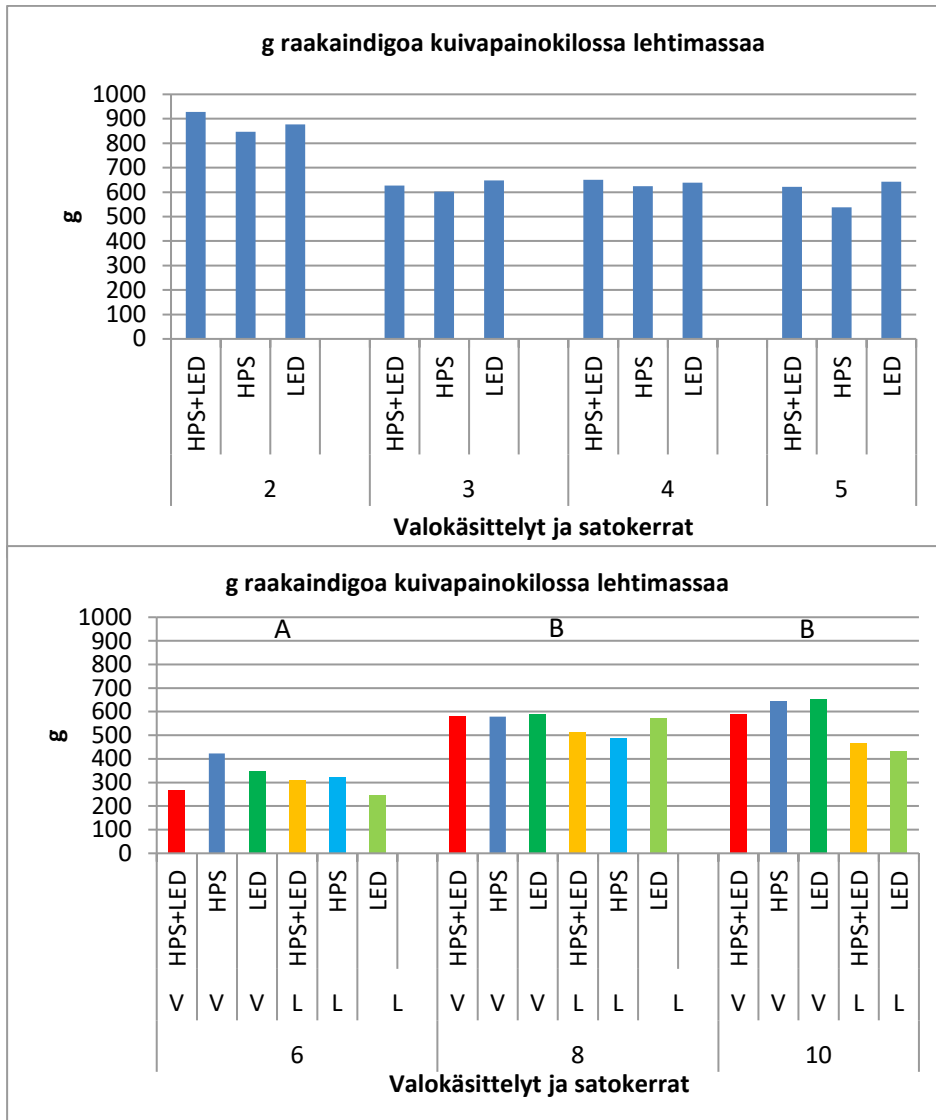


**Kuva 11.** Yläkuvassa puhdistetusta raakaindigosta mitattu indigon määrä  $\text{mg g}^{-1}$ . Alakuvassa yhden kasvin indigon määrä  $\text{mg}$ :ssa puhdistettua raakaindigoa eri satokerroissa, eri valotus- ja lannoituskäsittelyissä. Lukemat ovat suuntaa antavia arvioita.

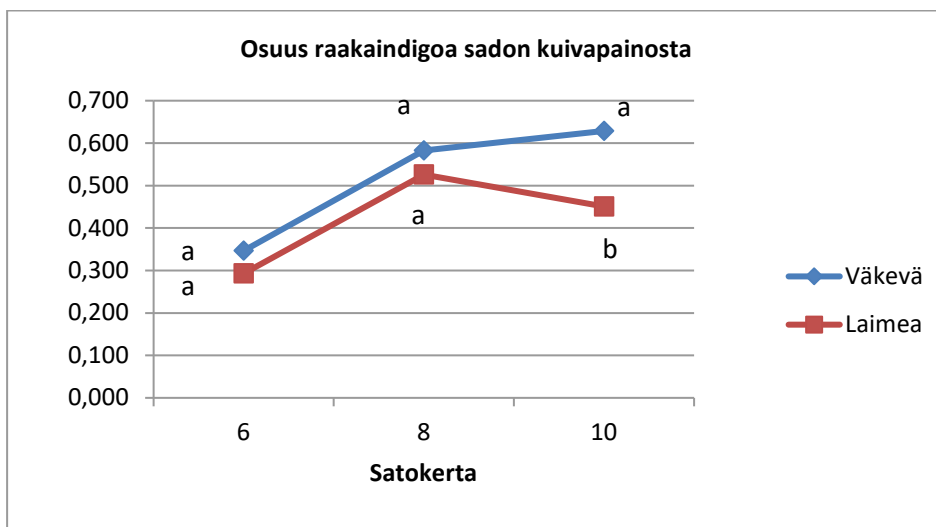
Raakaindigopitoisuuden vertailuissa kuivapainokiloon, satokertojen 3–5 välillä ei ollut eroja eikä myöskään eri valokäsittelyn välillä (Kuva 13). Satokerroissa 6–10, joissa oli mukana sekä valotus että lannoitus, saatiin enemmän raakaindigoa kuivapainokilossa sadoissa 8 ja 10 kuin sadossa 6 (Kuva 13). Kun verrataan eri lannoitustavoissa saatuja todellisia kuivapainosatoja sadoissa 6–10, niin voimakkaassa lannoituksessa raakaindigopitoisuus oli satokerrassa 10 suurempi kuin laimeassa lannoituksessa (Kuva 14).



**Kuva 12.** Raakaindigon määrä g kuivapainoa suhteessa kiloon kasvin tuorepainoa eri satokerroissa, valtuksissa ja lannoituksissa. Eri aakkoset kuvaavat koko satokerran tilastollista eroavuutta satokerroissa 3–5 ja eri lannoituskäsittelyjen välillä satokerrassa 8 95 %:n todennäköisyydellä.

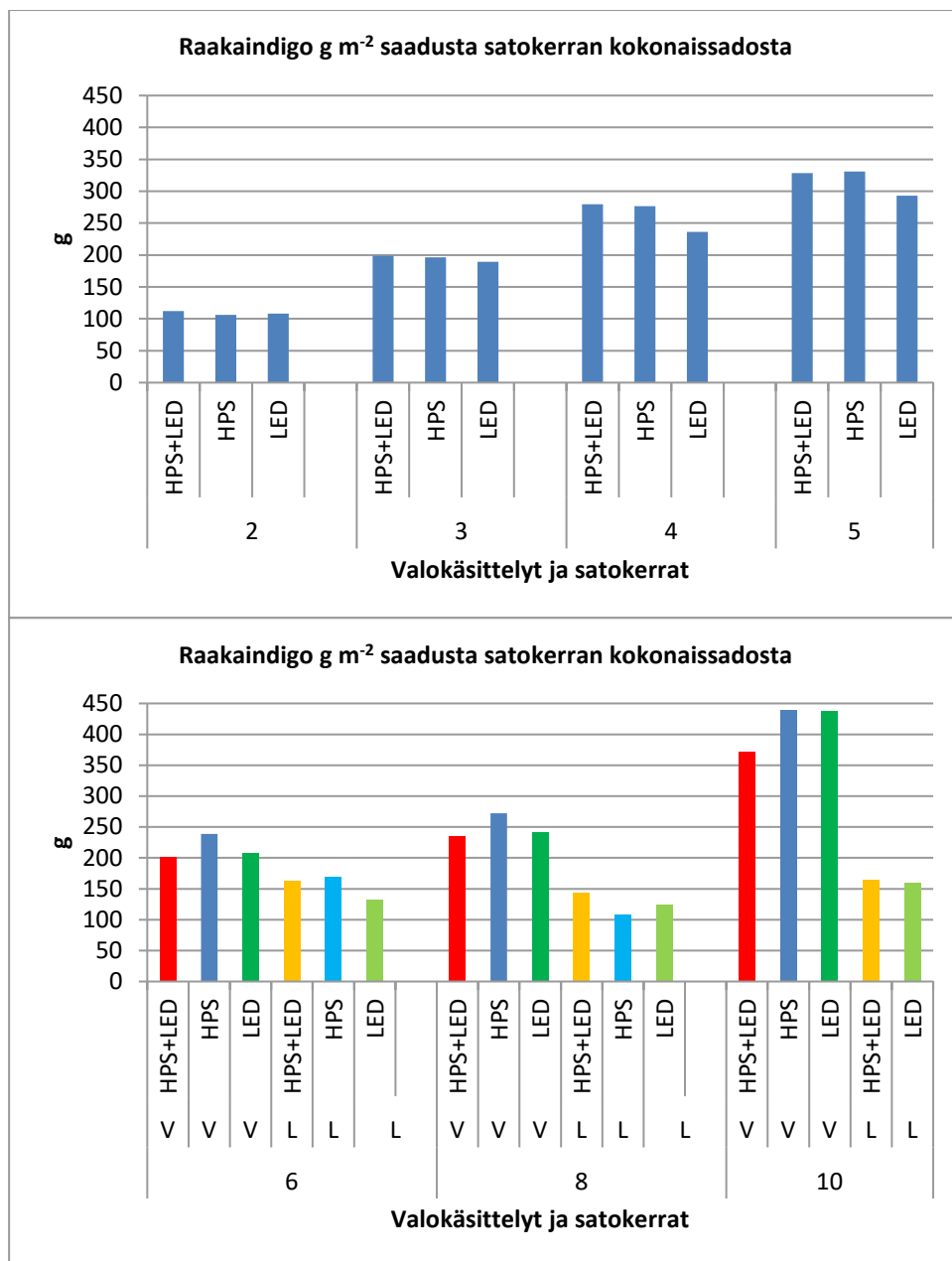


**Kuva 13.** Raakaindigoa g kuivapainoa kilossa kasvin kuivapainoa eri satokerroissa, valotuksissa ja valotus\*lannoituksissa. Eri aakkoset kuvaavat tilastollista eroa satokertojen 6–10 välillä 95 %:n todennäköisyydellä.



**Kuva 14.** Pelkän lannoituksen vaikutus raakaindigon osuuteen sadon kuivapainosta satokerroissa 6–10. Eri aakkoset samassa satokerrassa kuvaavat tilastollista eroa 95 %:n todennäköisyydellä.

Väriainesannot laskettiin myös satokerran kokonaisneliösatomäärää (tuorepaino) kohden. Raakaindigon määrät vaihtelivat satokerrasta ja lannoituksesta riippuen 150:stä lähes 450 g:aan neliometriä kohden (Kuva 15) kun jätettiin pois satokerta 2, jolloin ei ollut valotuskoetta. Ennen valotuskoetta raakaindigopitoisuus oli alhaisin, 100 g m<sup>-2</sup>. Koska väkevästä lannoituksesta saatu kokonaissatomäärä oli paljon suurempi kuin laimeasta lannoituksesta, väriaineen määräkin oli siinä merkittävästi suurempi. Satokerrassa 8, jossa laimeasta lannoituksesta saatiin suurempi raakaindigomäärä kiloa kohden tuoreita lehtiä kuin voimakkaasta lannoituksesta kompensoitui suuremmasta tuoresatomäärästä neliometriä kohden voimakkaassa lannoituksessa. Satokerrassa 10 luonnonvalon merkitys ja voimakas lannoitus osoittautuivat selvästi muita satokertoja paremmaksi raakaindigon tuotossa neliometriä kohden.

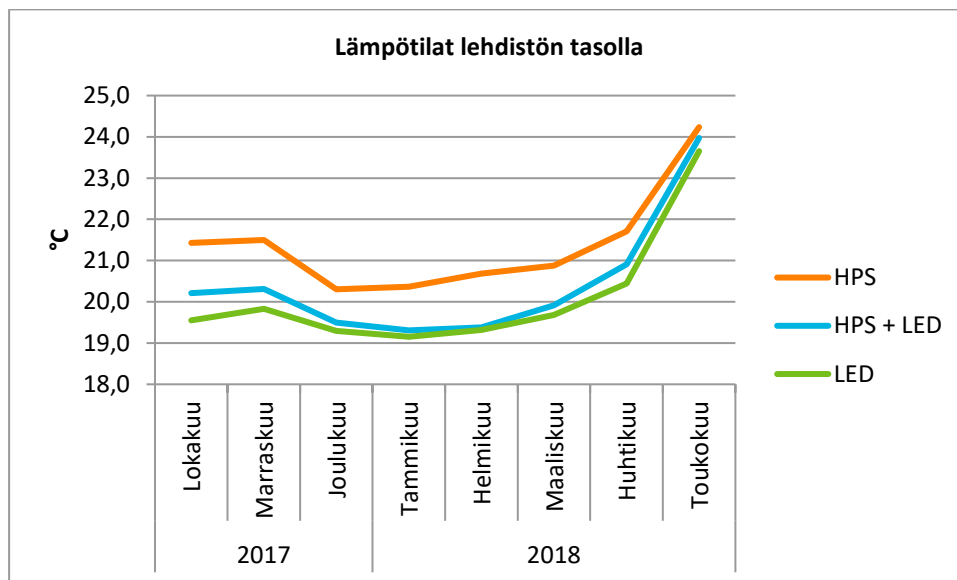


**Kuva 15.** Raakaindigon määrä g laskettu koko satokerralle (tuorepaino) neliometriä kohden.

### 3.5. Lämpötilamittaukset lehdiltä ja kasvuston korkeudelta

Eri valokäsittelyissä lehtien lämpötilat poikkesivat toisistaan loka-marraskuun aikana tehtyjen mittausten perusteella. HPS-valossa lehdet olivat lämpimimmät, 22,2 °C ja LED-valossa viileimmät 19,9 °C. HPS+LED-valossa lehtien lämpötila oli keskimäärin 20,7 °C. Korkeampi kasvuston lämpötila nopeutti kasvien kasvua.

Ilman lämpötilat lehdistön tasolla vaihtelivat kuvan 16 mukaan. Pystytuulettimella ei siten onnistuttu sekoittamaan ilmaa eri koejäsenten kohdalla riittävästi. Ero HPS+LED ja LED valotusten välillä oli pienempi kuin HPS:n ja LED valoa sisältäneiden valotusten välillä. Luonnonvalomäärän lisääntyessä kevään edetessä tekovalot olivat päivisin lyhyemmän ajan päällä kuin talvella. Se tasoitti lämpötilaeroja eri valotuksien välillä.



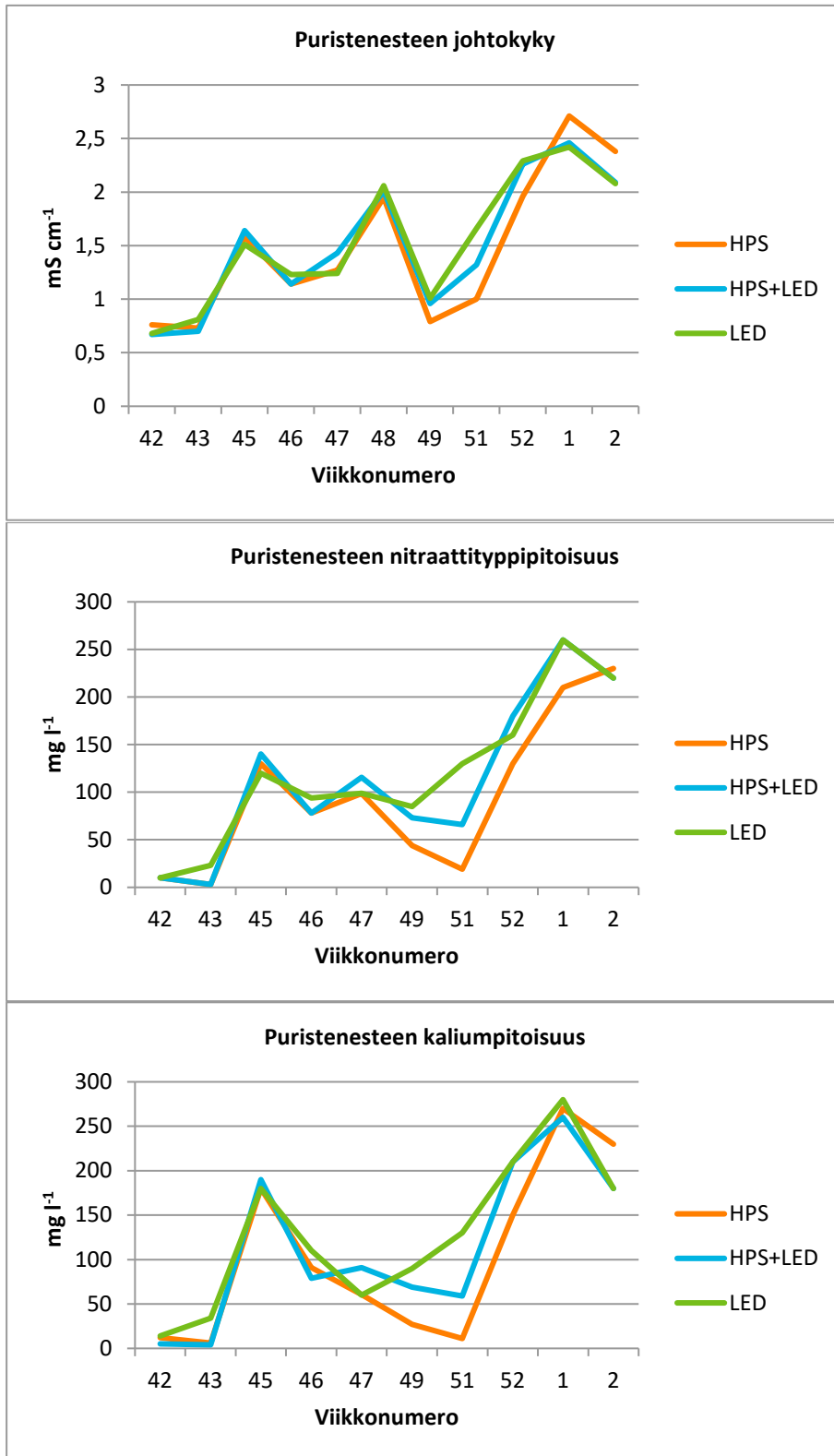
Kuva 16. Kasvuston pinnalta mitatut lämpötilat kokeen aikana.

### 3.6. Kasvualustan ravinnemittaukset

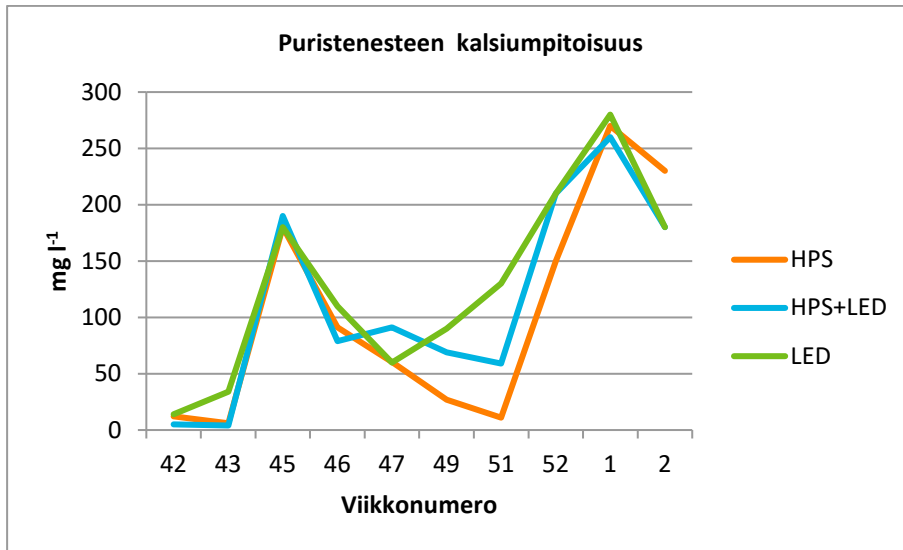
HPS valotuksessa kasvit kasvoivat nopeammin kuin LED valotuksessa luonnonvalomäärän vähetessä ja tekovalon osuuden määrän kasvaessa. Ravinteiden kulutuksen kasvu näkyi viikosta 45 lähtien, jolloin sato 3:n jälkeinen uusi kasvu oli voimakasta. Typen, kaliumin ja kalsiumin kulutus kasvoi nopeammin kuin lannoitusta ehdittiin lisätä erityisesti HPS ja HPS+LED valotuksissa (kuvat 17 ja 18). Viikolla 48 oli sadonkorjuu 4, jolloin johtokyky nousi hetkellisesti kasvualustassa. Lannoituksen lisäys alkoi näkyä ravinteiden mittauksissa kasvualustasta vasta viikkoa ennen vuoden vaihteen sadonkorjuuta.

Lannoituskokeessa kastelussa annetun lannoitteen määrää piti lisätä nopeasti sadonkorjuun jälkeen. Ravinteiden kulutus lisääntyi keväällä voimakkaan kasvun seurauksena, mikä näkyy hyvin voimakkaassa lannoituksessa (Kuva 19 ja 20). Tilannetta havainnollistaa myös kuvan 19 lannoiteveden johtokyvyn vertailu kasvualustan mittaustuloksiin. Tämä osoittaa osaltaan ravinnetilanteen seurannan tärkeyttä kasvualustassa.

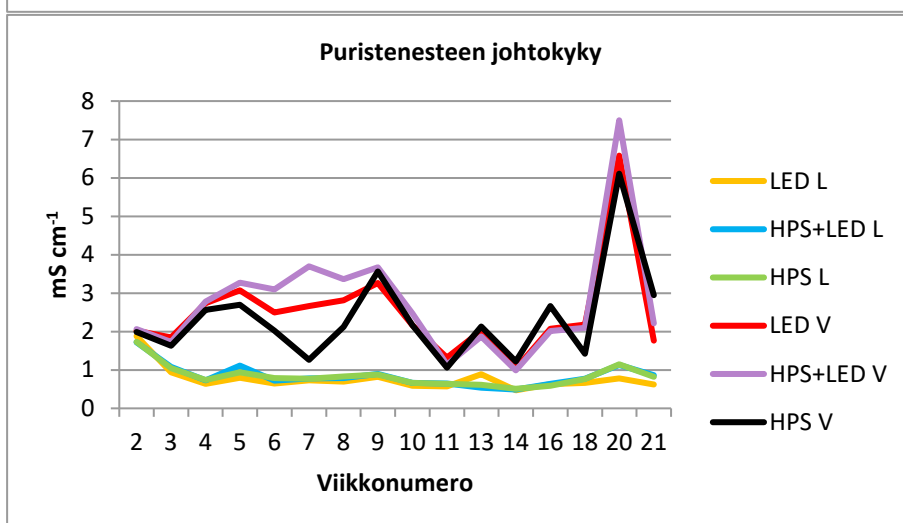
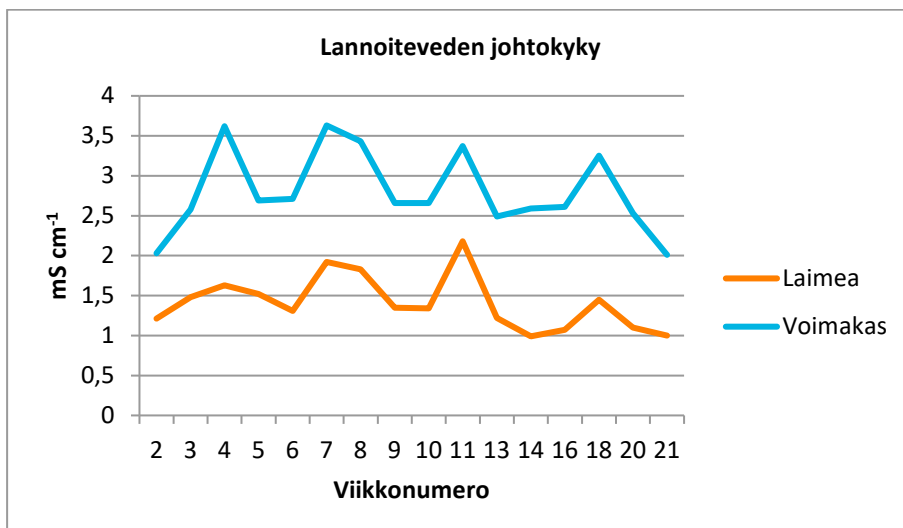
Kasvualustan puristenesteestä mitattu pH:n keskiarvo oli syksyn valotuskokeessa 7,39 ja kevään lannoituskokeessa 7,55.



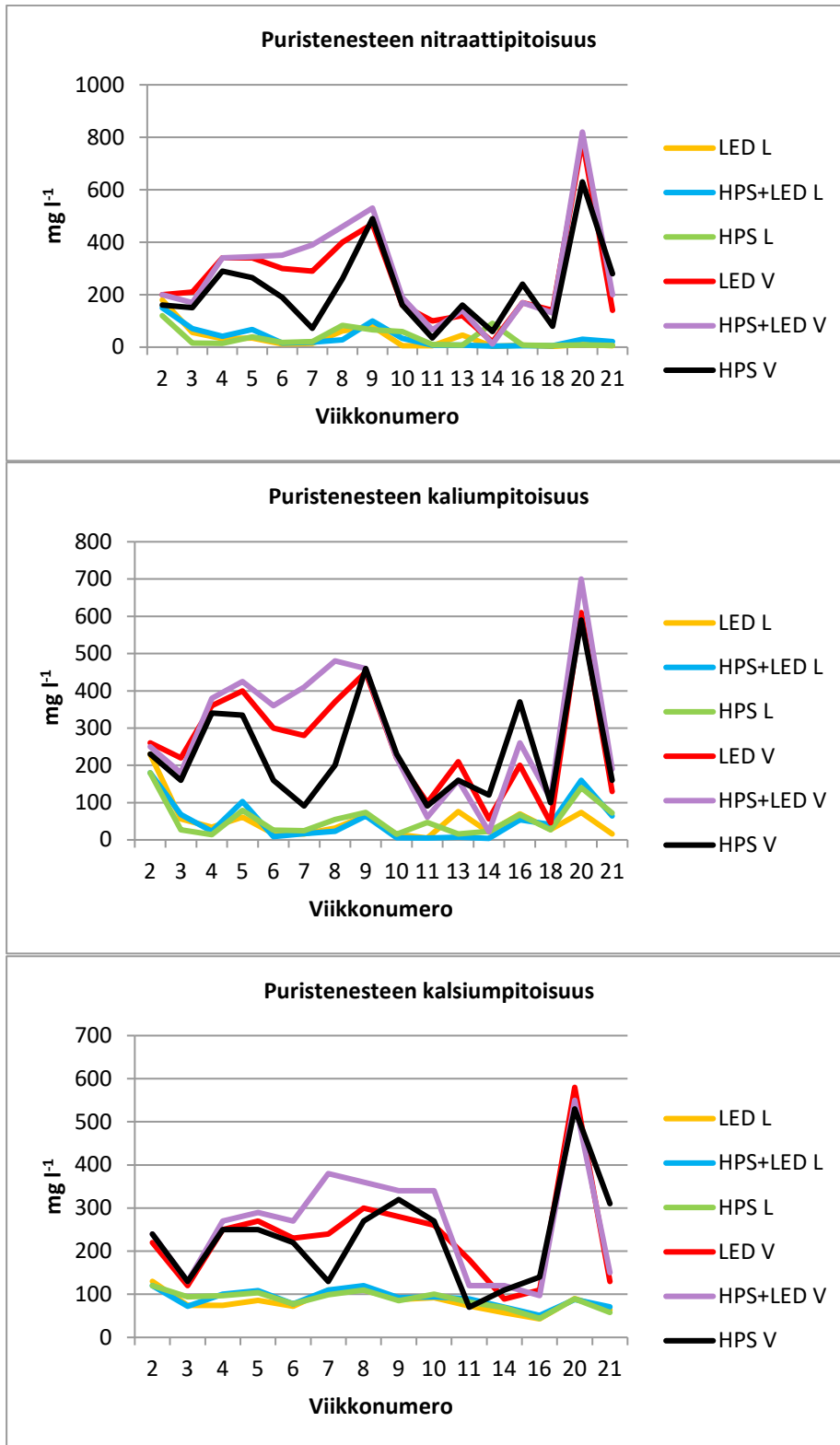
Kuva 17. Kasvialustan puristenesteestä mitatut ravinteet valotuskokeen aikana.



Kuva 18. Kasvialustan puristenesteestä mitatut kalsiumpitoisuudet valotuskokeen aikana.



Kuva 19. Lannoituskokeen lannoiteveden johtokyky (mitattu kastelutipusta) ja kasvialustan puristenesteen johtokyky viikoittain.



**Kuva 20.** Lannoituskokeen aikana kasvualueen puristenesteestä viikoittain mitatut nitraatti-, kalium- ja kalsiumpitoisuudet.

## 4. Tulosten tarkastelu

Morsingon ympärivuotinen viljely tekovalon avulla onnistuu hyvin kasvihuoneessa. Kasvista voidaan leikata lehtisato noin kuukauden välein. Käytetty yli 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  valon intensiteetti ei ollut liian korkea. Morsinko hyötyi runsaasta valosta. Pimeimpään vuodenaikaan saatiin HPS-valotuksesta suurempi lehtisato kuin LED-valosta. Ei voida kuitenkaan sanoa, että tämä johtui ainoastaan valon aallonpituuserosta, koska HPS-valossa kasvien lämpötilat olivat yli kaksi astetta korkeammat kuin pelkässä LED-valossa. Korkea lämpötila yhdessä korkean valon intensiteetin kanssa nopeutti morsingon kasvua ja suurensi lehtikokoa. Voimakas kasvu näkyi myös runsaana ravinteiden kulutuksena. Samaa morsinkokasvustoa voidaan viljellä koko vuoden, jos juuristotauti pystytään torjumaan. Prestop®- sienivalmisteen levitys heti istutuksen yhteydessä ja uusintakäsittelyt ohjeiden mukaan on suositeltavaa.

Kasvihuoneessa saatu lehtisadon kokonaismäärä yhden vuoden aikana oli parhaimmillaan 52,5 kg  $\text{m}^{-2}$ , mikä olisi laskennallisesti 525 000 kg  $\text{ha}^{-1}$ . Määrä on valtavan suuri, kun Suomessa vuotuinen lehtisatomäärä avomaalla on kolmen satokerran summana keskimäärin 45 000 kg  $\text{ha}^{-1}$  (Keskitalo, suullinen tieto 2020). Italian olosuhteissa satotasot ovat vaihdelleet vuosien, korjuukertojen ja kastelun mukaan: kahdelta sadonkorjuukerralta yhteensä 19 000 kg  $\text{ha}^{-1}$  (Angelini et al. 2007) ja neljän sadonkorjuun summana, kun peltoa on kasteltu 70 000–100 000 kg  $\text{ha}^{-1}$  (Angelini ja Bertolacci (2008). Realistisempaa olisi esim. 1000  $\text{m}^2$ :n kasvihuone, jolloin vuotuinen satomäärä olisi 52 500 kg tuoresatota. Merkillepantavaa oli myös satomäärän kasvu kasvien ikääntyessä. Satohuiput saatiin vasta sen jälkeen kun kasveista oli kerätty kolme satoa, seikka joka on Suomen oloissa mahdotonta avomaalla.

Indigon määrä kasvin tuorepainoa kohden oli kokeessamme 0,7–1,8 mg  $\text{g}^{-1}$ , joka oli samaa suuruusluokkaa kuin Italiassa saadut määrät avomaalta 0,58–1,36 g  $\text{g}^{-1}$  (Angelini et al. 2007). Kuivapainoa kohti saimme 3,4–14,7 mg  $\text{g}^{-1}$  indigoa. Indigoa saatiin enemmän talvikaudella, jolloin tekovalon merkitys kasvien kasvussa oli merkityksellisin. Vaikka kasvien saama säteilymäärä ja lehtisato olivat tammi-kuussa satokerrassa 6 alhaiset, saadut indigopitoisuudet olivat muita satokertoja korkeammat lehtien kuivapainoa kohden. Tulokset viittaavat siihen, että indigon esiasteet alkavat muodostua nopeasti kasvien nuorissa lehdistä, koska viljelyaika oli vain 3 viikkoa. Alhainen valomäärä on myös saattanut stressata kasveja muiden kasvuolosuhteiden ollessa hyvät. Tozzi et al. (2005) ovat raportoineet, että indigon esiasteita kehittyy monissa eri valon aallonpituuksissa. Heidän kokeissaan valomäärät olivat alhaiset. Aallonpituuksilla, niiden suhteilla ja määrillä on suuri merkitys eri kasvilajien sekundaarimetaboliittien muodostuksessa (Darko et al. 2014). Punaisen valon on todettu lisäävät isatan B:n määrää, joka on merkittävin indigon esiasteista (Tozzi et al. 2005). LED-valossa oli nimenomaan eniten punaista valon aallonpituutta ja siinä valossa indigopitoisuus oli talvella korkea. Viikko ennen sadonkorjuuta käytetyn 23 tunnin valotusjakson merkitys indigopitoisuuteen jäi epäselväksi.

Saadut raakaindigopitoisuudet olivat kokeessamme 45–69 g  $\text{kg}^{-1}$  tuorepainoa. Kun pesimme raakaindigoa, niin keskimäärin jäljelle jäi vain 30 % alkuperäisestä raakaindigomäärästä. Indigon määräksi arvioimme 0,2–0,5 mg  $\text{g}^{-1}$  puhdistettua raakaindigoa. Yhden kasvin kuivatun ja pestyn raakaindigon sisältämän indigon määräksi arvioimme 1,5–5 mg. Raakaindigon pesunkaan jälkeen puhtautta on hankala määrittää, koska indigoa sitoutuu myös mm.  $\text{CA}(\text{OH})_2$ :n ympärille uutovaiheessa (Garcia-Macias & John 2004). Kirjallisuudessa on raportoitu morsingon indigon määräksi raakaindigon uutoksissa 20–40 % kun sitä verrattiin spektrofotometrillä saatuun mittaustulokseen (Stoker et al. 1998b.) Vaikka raakaindigon ja puhtaan indigon mittaustavat olivat erilaiset, niin kokeemme tuloksien erot eri satojen ja koejäsenten välillä olivat samansuuntaiset eri mittaustavoissa. Stoker et al. (1998b) painottavat myös lehtien puhtautta uutoksessa, koska indigon saanto ja puhtaus kärsivät mahdollisesta maa-aineksesta uutoksessa. Kasvihuonekokeessamme lehdet olivat puhtaita. Niitä ei tarvinnut pestä ennen uutosta, joten työläs puhdistusvaihe jäi pois.

Avomaan kokeissa indigoväriaineen määrän kasvun ei ole yksiselitteisesti voitu todentaa johtuvan korkeasta typpilannoituksesta (Sales et al. 2006, Orsini et al. 2012). Kontrolloiduissa olosuhteissa kasvihuoneessa tulokset antoivat kuitenkin viitteitä siitä, että voimakas lannoitus nosti indigopitoisuutta lehdistä. Koska voimakkaassa lannoituksessa kasveista tuli kookkaita, indigon saantomäärä kasvia kohden nousi verrattuna laimeaan lannoitukseen, kuten myös Sales et al.(2006) ja Orsini et al. (2012) raportoivat.

Kasvihuoneviljelyssä pitää säännöllisesti mitata kasvualustan johtokykyä ja lisätä heti lannoitusta jos johtokyky alkaa alentua. Korkeassa lannoituksessa 15–25 cm:n pituisten lehtilapojen lukumäärä kasvoi verrattuna laimeaan lannoitukseen. Keskikokoisten lehtien tuore- ja kuivapanomäärät olivat myös kokuokista suurimmat. Siten niiden merkitys kasvin indigon tuotossa oli merkittävin.

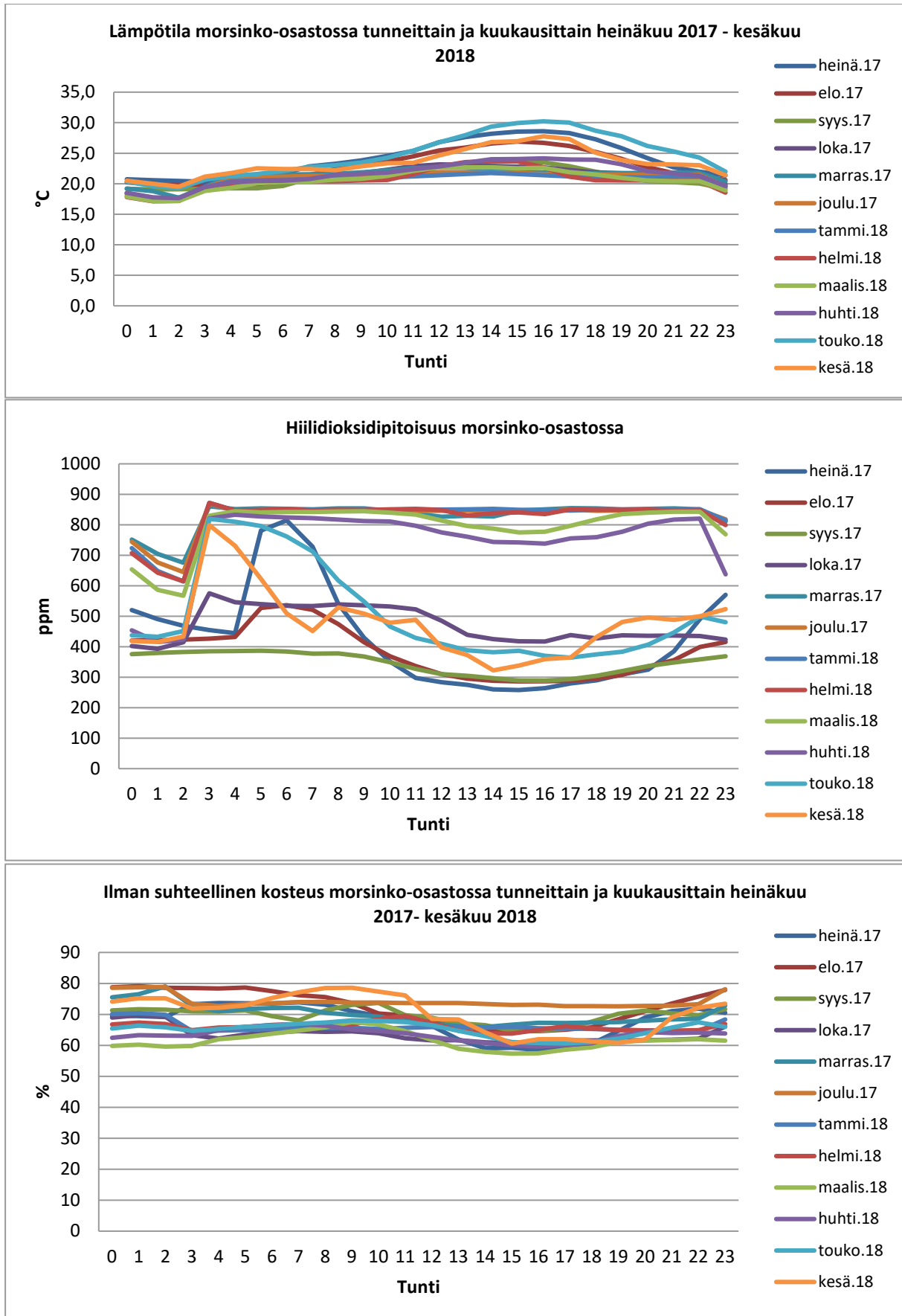
Tutkimuksen johtopäätös on, että morsinko on potentiaalinen uusi viljelykasvi kasvihuoneessa. Edellytyksenä on riittävä kasvihuonetekniikka ja hyvä valotuskalusto. Viljelyssä pitää erityisesti seurata aktiivisesti kasvien ravinteiden saantia. Sadon käsittely pitää myös olla suunniteltu, koska leikatut kasvit täytyy saada nopeasti uuttoprosessiin, jotta indigon esiasteita ei menetetä. Tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollisuutta laskea viljelyn taloudellista kannattavuutta. Se pitäisi selvittää seuraavaksi. On kuitenkin muistettava, että laboratoriomittakaavan antamat indigomäärät ovat selvästi suuremmat kuin teollisuusmitassa saavutettavat indigon määrät.

## Viitteet

- Angelini, L. G. & Bertolacci, M. 2008. Response of woad (*Isatis tinctoria* L.) to different irrigation levels to optimise leaf and indigo production. In Santini, A., Lamaddal, N., Severini, G. & Palladino, M. (eds.). Irrigation in Mediterranean agriculture: challenges and innovation for the next decade. Bari : CIHEAM, 2008. p. 185–192 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 84).
- Angelini, G., Tozzi, S., Nassi, N. & Nasso, D. 2007. Differences in leaf yield and indigo precursors production in woad (*Isatis tinctoria* L.) and Chinese woad (*Isatis indigotina* Fort.) genotypes. *Field Crops Research* 101: 285–295.
- Biertümpfel, A. & Wurl, G. 2009. In Bechtold, T. & Mussak, R. (eds.) Handbook of natural colorants, John Wiley & Sons Ltd. 434 p.
- Blackburn, R. S., Bechtold, T. & John, P. 2009. The development of indigo reduction methods and pre-reduced indigo products. *Coloration Technology* 125: 193–207.
- Campeol, E., Angelini, L. G., Tozzi, S. & Bertolacci, M. 2006. Seasonal variation of indigo precursors in *Isatis tinctoria* L. and *Polygonum tinctorum* Ait. as affected by water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 58: 223–233.
- Garcia-Macias, P. & John, P. 2004. Formation of natural indigo derived from woad (*Isatis tinctoria* L.) in relation to product purity. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 52: 7891–7896.
- Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B. & Sabzalian, M. R. 2014. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 369: 20130243.
- Gilbert, K. & Cooke, D. T. 2001. Dyes from plants: Past usage, present understanding and potential. *Plant Growth Regulation* 34: 57–69.
- Keskitalo, M. & Vuorema, A. 2005. Sininen on väri morsingon. Koetoiminta ja käytäntö 62 (3): 10–13.
- Maugard, T., Enaud, E., Choisy, P. & Legoy, M. D. 2001. Identification of an indigo precursor from leaves of *Isatis tinctoria* (woad). *Phytochemistry* 58: 897–904.
- Oberthür, C., Graf, H. & Hamburger, M. 2004. The content of indigo precursors in *Isatis tinctoria* leaves – a comprehensive study of selected accessions and post-harvest treatments. *Phytochemistry* 65: 3261–3268.
- Orsini, R., Aquilanti, L., Osimani, A., Serrani, L., Baldini, G., Seddaiu, G., De Sanctis, G. & Santilocchi, R. 2012. *Isatis tinctoria* L.: biomass production and indigo dye yield as influenced by mineral or organic nitrogen fertilization. *Agrochimica* 56: 292–308.
- Osimani, A., Aquilanti, L., Baldini, G., Silvestri, G., Butta, A. & Clementi, F. 2012. Implementation of a Biotechnological process for vat dyeing with woad. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 39: 1309–1319.
- Ratnapandian, S. 2020. Natural colorants and its recent developments. Sustainable Technologies for Fashion Textiles. In: Wood Publishing Series Textiles, p. 189–208.
- Sales, E., Kanhonou, R., Baixauli, C., Giner, A., Cooke, D., Gilbert, K., Arrillaga, I., Segura, J. & Ros, R. 2006. Sowing date, transplanting, plant density and nitrogen fertilization affect indigo production from *Isatis* species in a Mediterranean region of Spain. *Industrial Crops and Products* 23: 29–39.
- Singh, K., Kumar, P. & Singh, N. V. 2020. Natural dyes: An emerging ecofriendly solution for textile Industries. *Pollution Research* 39: 87–94.
- Spataro, G., Taviani, P. & Negri, V. 2007. Genetic variation and population structure in a Eurasian collection of *Isatis tinctoria* L. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 573–584.
- Stoker, K. G., Cooke, D. T. & Hill, D. J. 1998 a. Influence of light on natural indigo production from woad (*Isatis tinctoria*). *Plant Growth Regulation* 25: 181–185.
- Stoker, K. G., Cooke, D. T. & Hill, D. J. 1998 b. An improved method for the large-scale processing of woad (*Isatis tinctoria*) for possible commercial production of woad indigo. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71: 315–320.

Tozzi, S., Lercari, B. & Angelini, L. G. 2005. Light quality influences indigo precursors production and seed germination in *Isatis tinctoria* L. and *Isatis indigotica* Fort. *Photochemistry and Photobiology* 81:914–919.

## Liite 1. Olosuhteet viljelyn aikana



## Liite 2. Valokuvat



Kasvit viljelyn alussa 6.7.2017.



Kasvusto 7.8.2017



Kasvusto HPS-valoissa 1.11.2017.



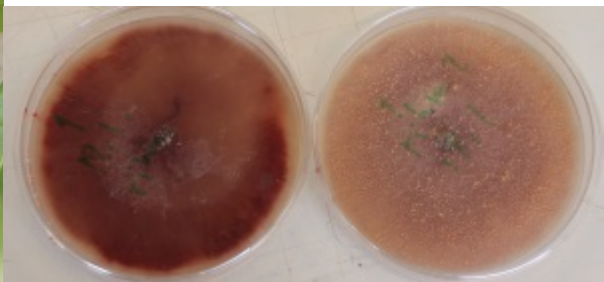
Kasvusto HPS+LED-valossa 1.11.2017.



Kasvusto ennen 10. sadonkorjuuta 7.5.2018.



4. sadonkorjuun jälkeen kasvusto on lähtenyt nopeasti kasvuun 1.12.2017.



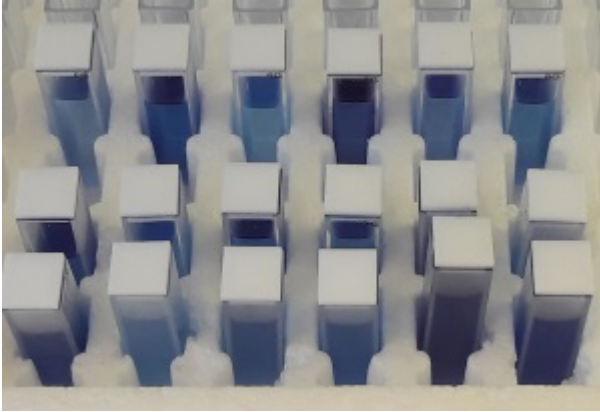
*Fusarium culmorum* kasvissa ja petrialjalla.



Lehtisato punnituksessa.



Lehdet jaoteltu eri kokoluokkiin lehtilavan pituuden mukaan, A >25 cm, B 15–25 cm ja C <15 cm.



Puhdas indigo spektrofotometrimitäukseen.



Indigolla värjättyjä villalankoja.



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000