

# Kasvatusolosuhteiden, versojen lukumäärän ja varastointiajan vaikutus vadelman satotaimien satopotentiaaliin

Minna Pohjola  
Maisterintutkielma  
Helsingin yliopisto  
Maataloustieteiden laitos  
Puutarhatiede  
Toukokuu 2013

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Minna Pohjola			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Kasvatusolosuhteiden, versojen lukumäärän ja varastointiajan vaikutus vadelman satotaimien satopotentiaaliin			
Oppiaine — Läroämne — Subject Puutarhatiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Toukokuu 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 75 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Suomessa vadelma (<i>Rubus idaeus</i> L.) on yksi taloudellisesti tärkeimmistä marjakasveista mansikan ja herukoiden jälkeen. Viljelyn kannattavuutta heikentävät kuitenkin vadelman epävarma talvehtiminen ja vaihtelevat satotasot. Euroopassa vadelmaa viljellään nykyään lähes pelkästään tunneleissa tai kausihuoneissa sekä satotason nostamiseksi että marjanlaadun parantamiseksi. Vadelman satotaimi on erityisesti katettua tuotantoa varten kehitetty taimityyppi, jonka satopotentiaali voi olla erittäin suuri. Satotaimet ovat yksivuotiaita, kukkaan viritettyjä ja pakkasvarastoituja taimia, jotka tuottavat sadon jo istutusvuonna. Niiden avulla on myös mahdollista säädellä sadon kypsymisen ajankohtaa.</p> <p>Tämän tutkimuksen ensimmäisessä kokeessa tutkittiin kasvatusolosuhteiden, taimen versojen lukumäärän sekä uusien kasvuserojen vaikutusta satotaimien satoon. Taimet kasvatettiin joko avomaalla tai tunnelissa yksi- tai kaksiversoisina ja pakkasvarastoinnin jälkeen ne hyödettiin tunnelissa sadontuottoa varten. Tunnelissa kasvatetut taimet kasvoivat 26 % pidemmiksi ja ne tuottivat 56 % enemmän satoa kuin avomaalla kasvatetut taimet. Eniten satoa tuotti tunnelissa kasvatetut kaksiversoiset taimet (2900g). Kaksiversoiset taimet tuottivat 39 % enemmän satoa yksiversoisiin taimiin verrattuna mutta niiden marjapaino oli 0,6 g pienempi. Uusien kasvuserojen lukumäärällä ei ollut satoversojen sadontuottoon vaikutusta.</p> <p>Toisessa kokeessa tutkittiin kasvatusolosuhteiden ja varastointiajan vaikutusta vadelman satotaimien satopotentiaaliin ja hiilihydraattipitoisuuksiin. Taimet kasvatettiin joko avomaalla tai tunnelissa ja ne pakkasvarastoitiin kolmessa eripituisessa jaksossa (4, 12 ja 20 vkoa). Varastoinnin jälkeen taimet hyödettiin kasvihuoneessa kukkaan. Kaksikymmentä viikkoa varastoitujen taimien satopotentiaali (977 kukkaa/taimi) oli lähes kolminkertainen 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna (332 kukkaa/taimi). Kaksikymmentä viikkoa varastoitujen taimien silmut puhkesivat keskimäärin 25 vrk aikaisemmin 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna. Ne myös tuottivat 138 % enemmän hankaversoja, jotka olivat 14 % pidempiä 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna.</p> <p>Vadelman hiilihydraattivarannot ovat yhteydessä sen kykyyn tuottaa satoa. Omassa tutkimuksessani vadelman liukoisten hiilihydraattien pitoisuus versoissa ja juurissa suureni ja tärkkelyksen pitoisuus pieneni eri varastointijaksojen aikana. Tunnelissa kasvatettujen taimien hiilihydraattien kokonaismäärä oli varastointiajasta riippuen keskimäärin 12-40 % suurempi kuin avomaalla kasvatetuilla taimilla. Varastoinnin aikana hiilihydraattien kokonaismäärä pieneni.</p> <p>Tämän tutkimuksen perusteella vadelman satotaimien avulla vadelman satotasoa on mahdollista merkittävästi nostaa. Kasvatusolosuhteilla ja varastointiajalla oli tässä tutkimuksessa suurin vaikutus vadelman satotaimien sadontuottoon ja satopotentiaaliin. Tämän tutkimuksen perusteella optimaalisin taimi satotaimien avulla tapahtuvaan tuotantoon on kaksiversoinen, tunnelissa kasvatettu ja vähintään 20 viikkoa pakkasvarastoitu taimi.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Vadelma, satotaimet, sadon ajoittaminen, kausihuonetuotanto, liukoiset hiilihydraatit, tärkkelys			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työn ohjaajat: dosentti Pauliina Palonen, FT Saila Karhu			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Minna Pohjola			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The effect of growing conditions, number of floricanes and cold storage on cropping potential of red raspberry long canes			
Oppiaine — Läroämne — Subject Horticulture			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year May 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 75 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Red raspberry (<i>Rubus idaeus</i> L.) is one of the most important berry crops economically in Finland but the profitability is weakened due to frequent winter injuries and varying yields. Protected berry production has lately become the main cultivation method of raspberries in Europe. Long cane raspberry is a special plant type that has been induced to flower and cold stored to produce a harvest in the year of planting. Specifically designed for protected cropping raspberry long canes have been shown to possess a very high cropping potential.</p> <p>The aim of this study in the first experiment was to examine the effect of growing conditions, primocane and floricanes number and storage time on yield of red raspberry long canes. Raspberries were grown in an open field and in a tunnel with varying cane numbers (1 or 2). After cold storage they were forced in a plastic tunnel and new shoots were allowed to grow alongside the floricanes. The canes grown in a tunnel yielded 56 % more compared to those grown outdoors. The plants with two floricanes yielded 39 % more compared to plants with only one floricanes but their average berry weight was 0,6 g lower. Presence or absence of primocanes didn't have an effect on the yield or other growth parameters of the floricanes.</p> <p>In the second experiment plants were grown in an open field and in a tunnel and cold stored for three different periods of 4, 12 or 20 weeks. After storage the plants were forced to flower in a greenhouse. The cropping potential of the plants stored for 20 weeks (977 flowers/plant) was almost three times as high compared to those stored for only 4 weeks (332 flowers/plant). Plants that had been stored for 20 weeks also produced 138 % more laterals that were 14 % longer than plants stored for 4 weeks. Bud break for plants stored for 20 weeks took place 25 days earlier than for those stored for 4 weeks.</p> <p>Carbohydrate content of raspberry cane is related to its ability to produce a harvest. In this experiment the concentration of soluble carbohydrates increased and the concentration of starch decreased during storage. The total carbohydrate content in the whole plant also decreased during storage and it was 12-40 % higher in plants grown in a tunnel compared to the ones grown in an open field.</p> <p>According to this research it is possible to increase raspberry yields with long cane plants. In the two experiments growing conditions and storage time were found to have the biggest influence on cropping potential. The most optimal long cane plant type based on this research would be a plant with two canes that has been grown in a tunnel and cold-stored 20 weeks at the minimum.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Raspberry, long cane plants, out-of-season production, soluble carbohydrates, starch			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: Docent Pauliina Palonen, Ph.D. Saila Karhu			

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	VADELMAN SATOTAIMET .....	7
2.1	Vadelman vuosikierto .....	7
2.2	Lepotila .....	8
2.3	Kukka-aiheiden erilaistuminen .....	9
2.4	Hiilihydraattitalous .....	10
2.5	Vadelman satotaimet .....	12
3	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET .....	14
4	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	15
4.1	Koe I: Kasvatusolosuhteiden, versomäärän ja uusien versojen vaikutus vadelman satotaimien sadontuottoon .....	15
4.1.1	Kasvimateriaali ja taimikasvatus 2010 .....	15
4.1.2	Hyötö muovihuoneessa 2011 .....	17
4.1.3	Hyötö kasvihuoneessa 2012 .....	21
4.1.4	Kasvu-, kukinta- ja satohavainnot .....	22
4.1.5	Kasvinsuojelu .....	23
4.2	Koe II: Kasvatusolosuhteiden ja varastointiajan vaikutus vadelman satotaimien satopotentiaaliin ja hiilihydraattitalouteen .....	24
4.2.1	Kasvimateriaali ja taimikasvatus 2011 .....	24
4.2.2	Hyötö kasvihuoneessa talvella 2011–2012 .....	28
4.2.3	Kasvu- ja kukintahavainnot .....	30
4.2.4	Kasvinsuojelu .....	31
4.3	Hiilihydraattianalyysit .....	31
4.3.1	Liukoiset hiilihydraatit .....	32
4.3.2	Tärkkelys .....	32
4.4	Tulosten tilastollinen analysointi .....	33
5	TULOKSET .....	34
5.1	Koe I: Kasvatusolosuhteiden, versomäärän ja uusien versojen vaikutus vadelman satotaimien sadontuottoon .....	34
5.1.1	Taimikasvatus 2010 .....	34

5.1.2	Satoversojen generatiivinen ja vegetatiivinen kasvu 2011 .....	35
5.1.3	Kasvuversot 2011 .....	39
5.1.4	Taimien hiilihydraatti- ja tärkkelyspitoisuudet.....	41
5.1.5	Generatiivinen ja vegetatiivinen kasvu hyödyn aikana kasvihuoneessa talvella 2012 .....	42
5.2	Koe II: Kasvatusolosuhteiden ja varastointiajan vaikutus vadelman satotaimien satopotentiaaliin ja hiilihydraattitalouteen .....	46
5.2.1	Taimikasvatus 2011.....	46
5.2.2	Hyötö kasvihuoneessa 2011–2012.....	47
5.2.3	Hiilihydraatti- ja tärkkelyspitoisuudet.....	54
6	TULOSTEN TARKASTELU .....	58
6.1	Kasvatusolosuhteiden vaikutus vegetatiiviseen kasvuun.....	58
6.2	Versomäärän vaikutus vegetatiiviseen kasvuun .....	59
6.3	Kasvatusolosuhteiden vaikutus satopotentiaaliin ja satoon .....	60
6.4	Versomäärän vaikutus satoon .....	64
6.5	Varastointiajan vaikutus kasvuun ja satoon .....	65
6.6	Hiilihydraattipitoisuudet.....	67
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	70
8	KIITOKSET .....	71
9	LÄHTEET.....	72

## 1 JOHDANTO

Ruusukasvien heimoon kuuluva vadelma (*Rubus idaeus* L.) kasvaa pääasiassa lauhkean vyöhykkeen alueella. Vadelma on sopeutunut erittäin hyvin vuodenaikojen muutoksiin, joten sadontuotto edellyttää tiettyjen kasvuvaiheiden läpikäymistä (Hudson 1959). Vadelma reagoi voimakkaasti ympäristöolojen vaihteluihin ja niiden vaikutuksia esimerkiksi vadelman kasvuun, lepotilaan ja kukintaan on tutkittu paljon (Heide ja Sønsteby 2011). Etenkin taimikasvatusvaiheen aikaisia ympäristötekijöitä säätelemällä on mahdollista vaikuttaa vadelman eri kehitysvaiheisiin ja satopotentiaaliin ja siten merkittävästi nostaa vadelman satotasoa (Sønsteby ym. 2009).

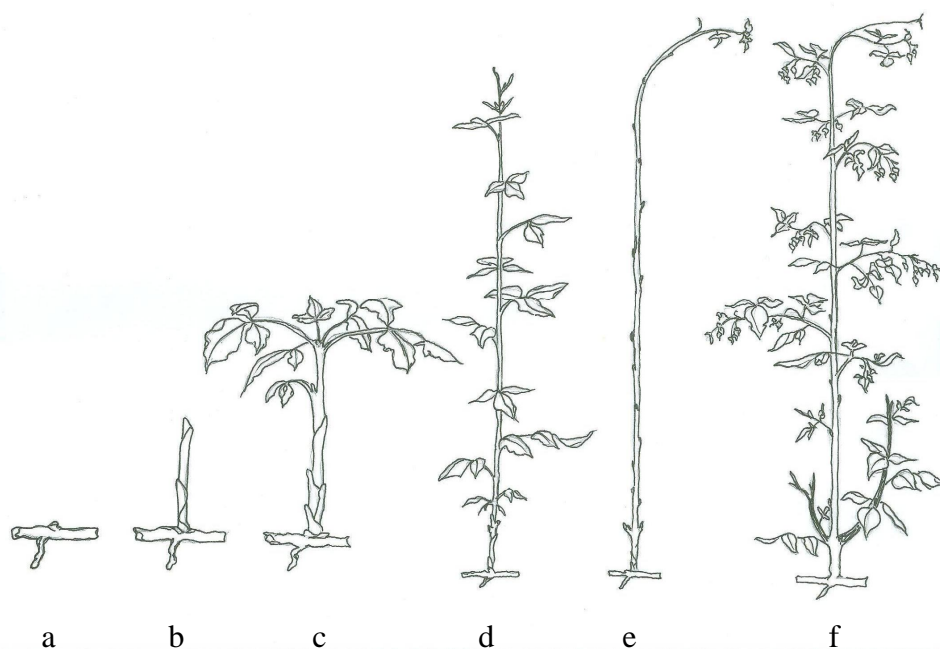
Suomessa vadelman viljelyala on pienentynyt viimeisten viiden vuoden aikana noin 18 % ja tällä hetkellä se on 395 ha. Vadelman satotasot ovat vaihdelleet paljon keskisadon ollessa noin 1200 kg/ha. Vuonna 2012 kokonaissato oli 651 000 kg (Puutarhatilastot 2012). Euroopassa vadelmaa viljellään runsaasti. Suurimpia vadelmantuottajia ovat Puola (118 milj.kg), Serbia (90 milj.kg), Iso-Britannia (17 milj.kg) ja Espanja (10 milj.kg) (FAOSTAT 2011). Koska pääsatokaudella marjoista on ylitarjontaa, kiinnostus sadon tuottamiseen pääsatokauden ulkopuolella on lisääntynyt. Euroopassa on siirrytty lähes kokonaan katettuun viljelyyn, jolloin vadelmien tuotanto tapahtuu joko muovitunneleissa tai kausihuoneissa. Satokauden ajoittamisen lisäksi katetun viljelyn avulla voidaan paitsi parantaa marjojen laatua myös nostaa satotasoa sekä tavoitella parempaa tuottajahintaa.

Vadelman satotaimi on katettua viljelyä varten kehitetty täysin uudenlainen taimityyppi. Satotaimet ovat 1-vuotiaita, kukkaan viritettyjä ja pakkasvarastoituja taimia, joista saadaan satoa jo istutusvuonna. Satotaimia voidaan tuottaa avojuurisina mutta ruukussa kasvatettujen taimien laatu on selvästi parempi. Satotaimet varastoidaan pakkasvarastossa istutukseen asti, joten sadon kypsymisen ajankohtaa voidaan säädellä istutusajankohtaa muuttamalla. Taimituotanto ja sadontuotto voidaan myös täysin eriyttää toisistaan, jolloin viljelijä voi keskittyä pelkästään sadon tuottamiseen. Suomessa vadelman satotaimia käytetään jo katetussa viljelyssä mutta kotimaisia satotaimia ei kuitenkaan vielä ole yleisesti saatavana. Kotimaisten satotaimien tuotanto on kuitenkin mahdollista. Kun koko taimituotantoketjun eri vaiheet on tarkkaan optimoitu, on vadelman satotaimien avulla tapahtuvasta katetusta tuotannosta mahdollista saada erittäin suuria satoja tavanomaiseen avomaaviljelyyn verrattuna.

## 2 VADELMAN SATOTAIMET

### 2.1 Vadelman vuosikierto

Vadelmalla on erityinen kasvutapa, sillä sen monivuotinen juuristo tuottaa lyhytikäisiä puutuvia versoja, jotka talvehtivat, tuottavat sadon seuraavana vuonna ja kuolevat sadontuoton jälkeen (kuva 1). Uudet kasvuversot kehittyvät joko juurisilmuista, maanpinnan alla olevista hankasilmuista tai verson alimmista vegetatiivisista hankasilmuista (Hudson 1959). Tyypillisesti vadelman kasvukierto on kaksivuotinen, jolloin puhutaan kesävadelmasta, kun taas syysvadelma käy eri kasvuvaiheet läpi yhden kasvukauden aikana (Carew ym. 2000a). Kesävadelmien kasvu pysähtyy ja kukintainduktio tapahtuu alhaisessa lämpötilassa, kun taas syysvadelman kukintainduktio voi tapahtua hyvinkin korkeassa lämpötilassa. Kesävadelma vaipuu lepotilaan yhtäaikaaisesti kukintainduktion kanssa, mutta syysvadelman kukintainduktiota seuraa kasvun jatkuminen ja kukkiminen samana vuonna (Heide ja Sønsteby 2011). Tässä tutkimuksessa keskitytään vain kesävadelman kasvufysiologiaan.



Kuva 1. Vadelman kehitysvaiheet: (a) juurisilmu; (b) juuriverson kasvu; (c) lehtiruusuke; (d) ensimmäisen vuoden kasvuverso; (e) talvehtiva kasvuverso, jossa lehtiruusuke sekä lepotilassa olevat hankasilmut; (f) toisen vuoden satoverso, jossa satoa tuottavat hankaversot sekä verson alimmista hankasilmuista muodostuneet vegetatiiviset kasvuversot (muokattu lähteestä Hudson ja Williams 1961).

Vadelma muodostaa lajikkeesta riippuen paljon juuriversoja, joiden avulla se valtaa uusia kasvualueita (Hudson 1959). Voimakas apikaalidominanssi vaikuttaa vadelman pääverson kasvuun, joten ensimmäisenä vuonna hankasilmut pysyvät levossa eikä kasvoverso haaraudu ollenkaan (Måge 1975). Kasvuversot kasvavat koko kasvukauden ajan, kunnes lämpötilan lasku ja päivänpituuden lyheneminen saavat kasvun pysähtymään syksyllä. Nämä indusoivat olosuhteet saavat vadelmalla aikaan myös kukintainduktion ja lepotilaan vaipumisen (Hudson 1959). Lämpötilalla ja päivänpituudella on yhdysvaikutus vadelman kasvuun (Sønsteby ja Heide 2008). Vadelma jatkaa vegetatiivista kasvua korkeassa lämpötilassa (21 °C), kun taas alle 10 °C:ssa kasvu pysähtyy ja kukintainduktio tapahtuu päivänpituudesta huolimatta (Williams 1959a). Vadelma on 15 °C:ssa ehdottomasti lyhyen päivän kasvi, sillä vadelman kukintainduktio ja kasvun pysähtyminen tapahtuvat silloin vain lyhyessä päivässä ( $\leq 15$  h). Vadelman kukintainduktio ja lepotila ovat toisistaan riippumattomia ilmiöitä mutta kuitenkin saman sisäisen mekanismin säätelemiä vasteita, joihin vaikuttavat samat ympäristötekijät eli lämpötila ja päivänpituus (Sønsteby ja Heide 2008).

## 2.2 Lepotila

Lepotila on puuvartisten kasvien keino selviytyä talven yli ja sen syvyys ja kesto vadelmalla vaihtelevat lajikkeittain (Faust 1997, Säkö ja Hiirsalmi 1980). Vadelman lepotilalla tarkoitetaan yleensä kasvin sisäisesti säätelemää lepotilaa eli endodormanssia, jonka purkautumiseen tarvitaan tietyn mittainen kylmä jakso eli vilutustuntien kertyminen (Lang 1987). Ensimmäisen kasvukauden aikana hankasilmut levossa pitävä paradormanssi vaikuttaa myös voimakkaasti endodormanssin syvyyteen. Whiten ym. (1998) tutkimuksen mukaan yksittäisten silmujen lepotila on yhtä syvä mutta kokonaisessa versossa alimpana olevat hankasilmut vaativat huomattavasti pidemmän ajan lepotilan purkautumiseen verson ylimpiin silmuihin verrattuna. Verson voimakas apikaalidominanssi vaikuttaa sitä voimakkaammin silmujen lepotilan syvyyteen mitä kauempana apikaalimeristeemistä yksittäinen silmu sijaitsee. Vaikka lepotila (endodormanssi+paradormanssi) purkautuu jo aikaisin talvella, alhainen lämpötila (ekodormanssi) pitää kasvit levossa kasvukauden alkuun asti (Lang 1987, White ym. 1998).



Silmujen täydellinen lepotilan purkautuminen etenkin katettuna kasvatetuilla vadelman taimilla on tärkeää, jotta taimikasvatusvaiheen aikana muodostunut satopotentiaali pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman hyvin (Sønsteby ym. 2009). Kasvukauden aikaisten olosuhteiden on todettu vaikuttavan vadelman lepotilan keston. Lämpimässä kasvaneiden vadelmantaimien lepotila on pidempi ja syvempi viileämmässä kasvaneisiin taimiin verrattuna, joten myös niiden tarvitsema vilutuskertymä on suurempi. Lepotilan syvyys kuitenkin vaihtelee ja erityisesti siihen näyttäisi vaikuttavan lämpötilanvaihtelut talven aikana (Måge 1975). Vadelman lepotilan purkautumiseen vaadittavien vilutustuntien (chilling unit  $CU = 1 \text{ h} < 6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) määrä vaihtelee myös lajikkeittain (Ruutiainen 2004). Whiten ym. (1998) tutkimuksessa 1500 h ( $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ) oli riittävä Glen Moy -lajikkeen verson kaikkien hankasilmujen puhkeamiseen. Mazzitellin ym. (2007) tutkimuksessa Glen Ample -lajikkeen yksittäisten silmujen puhkeamiseen vaadittiin 1900 h vilutus ja kokonaisen verson alimpien hankasilmujen puhkeamiseen 2500 tunnin kylmä jakso ( $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Etenkin lämpimillä alueilla vilutustuntien määrä lepotilan aikana voi jäädä alhaiseksi ja seurauksena on epätäydellinen silmujen puhkeaminen ja huono sato (Carew ym. 2000a).

Vadelman karaistuminen eli kylmänkestävyyden kehittyminen tapahtuu syksyllä yhdessä lepotilaan vaipumisen kanssa (Zraly 1978). Kylmänkestävällä lajikkeella on pitkä ja syvä lepotila ja aikaisen tuleentumisen on todettu korreloivan positiivisesti kylmänkestävyyden kanssa (Säkö ja Hiirsalmi 1980). Vadelman lepotila kestää yleensä lokakuulta joului-tammikuulle (Carew ym. 2000a). Esimerkiksi Maurin Makea -lajikkeella syvin lepotila ajoittuu loka-marraskuulle ja se purkautuu nopeasti tammikuulle tultaessa. Vadelman selviytymiseen talvesta vaikuttaa merkittävästi myös sen kyky karaistua uudelleen etenkin keväällä lämpimien jaksosten jälkeen (Palonen ja Lindén 1999).

### **2.3 Kukka-aiheiden erilaistuminen**

Taimikasvatusvaiheen aikana muodostuneet satotekijät, kuten kukkien lukumäärä versossa ja kukinnossa, määräävät pitkälti seuraavan vuoden satopotentiaalin (Måge 1975). Kukka-aiheiden erilaistuminen tapahtuu vadelmalla usean viikon aikana alhaisessa lämpötilassa ja lyhyessä päivässä yhdessä lepotilaan vaipumisen kanssa. (Carew 2000a). Kukka-aiheiden erilaistuminen alkaa syksyllä 5–10 silmua kärkisilmun

alapuolelta ja etenee järjestyksessä versossa alaspäin. Kukka-aiheet alkavat erilaistua jo kolmen viikon kuluessa indusoivissa olosuhteissa ja muutoksia meristeemissä on nähtävissä neljän viikon jälkeen. Kukintainduktio on kuitenkin tapahtunut selvästi tätä aikaisemmin. Tässä vaiheessa hyödetessä lepotilan kehittyminen voidaan vielä kumota, jolloin verson ylimmät hankasilmut ja muutama pitkälle erilaistunut kukka saattavat puhjeta. Kukka-aiheiden täydelliseen erilaistumiseen ja samalla lepotilaan vaipumiseen tarvitaan kuitenkin huomattavasti pidempi aika (Sønsteby ja Heide 2008, Williams 1959a).

Kukka-aiheiden erilaistuminen ja lepotilaan vaipuminen liittyvät kesävadelmalla tiiviisti yhteen, sillä kun vadelma halutaan esimerkiksi satotaimituotantoa varten keinotekoisesti virittää kukkaan indusoivissa olosuhteissa (15 °C, ≤15 h), samanaikaisesti se väistämättä vaipuu myös lepotilaan. Lepotilaan vaipuminen ei ole kuitenkaan edellytys kukka-aiheiden erilaistumiselle. Koska nämä kehitysvaiheet ovat kuitenkin samojen ympäristöolosuhteiden säätelemiä tapahtumia, niitä ei voida erottaa toisistaan. Vähintään 5-6 viikon mittainen jakso indusoivissa olosuhteissa on välttämätön täydellisen lepotilan saavuttamiseen ja vielä pidempi aika vaaditaan verson kaikkien hankasilmujen kukintainduktion tapahtumiselle. Vadelman koko vaikuttaa myös kukintainduktion tapahtumiseen, sillä kukintainduktion edellytyksenä on vähintään 15 lehteä käsittävä taimi. Juveniilisiä taimia ei voi virittää kukkaan mutta ne reagoivat kuitenkin alhaiseen lämpötilaan ja päivänpituuden lyhenemiseen vaipumalla lepotilaan (Sønsteby ja Heide 2008).

## **2.4 Hiilihydraattitalous**

Vadelman yhteyttämistuotteiden jakautuminen eroaa useimmista monivuotisista kasveista, sillä kasvukauden aikana sekä satoversot, uudet kasvoversot että juuristo toimivat yhteyttämistuotteiden lähteinä ja kohteina (Fernandez ja Pritts 1994). Vadelman kausittaiset muutokset hiilihydraattitaloudessa liittyvät sen eri kasvuvaiheisiin (Jennings ja Carmichael 1975). Kasvoversot kehittyvät keväällä juuriston hiilihydraattivarastojen turvin, kun taas satoversojen hiilihydraattivarastoja ja myöhemmin lehtien yhteyttämistuotteita käytetään hankaversojen kasvuun ja marjojen tuottamiseen. Sato- ja kasvoversojen kilpailu yhteyttämistuotteista on siten vähäistä niiden erilaisen kasvurytmin takia (Whitney 1982). Satoversojen, kasvoversojen ja juurten kohdevoimakkuus vaihtelee kasvukauden aikana. Juuret toimivat

yhteyttämistuotteiden lähteinä silmujen puhkeamisen ja kasvuersojen kasvuunlähdön aikana mutta myöhemmin niistä muodostuu voimakkaita kohteita. Yhteyttämistuotteiden tarve on suurimmillaan keskikesän aikaan, jolloin juurten ja kasvuersojen kasvu on voimakkainta ja satoversot alkavat kukkia. Vadelman kasvuersojen kasvu pysähtyy kukinnan ajaksi, mutta jatkuu sen jälkeen aina syksyyn asti (Fernandez ja Pritts 1994). Sadontuoton jälkeen uudet kasvuersot täydentävät juuriston menetettyjä hiilihydraattivarastoja pitkälle syksyyn tehokkaasti yhteyttävän lehtialan turvin (Whitney 1982).

Kasvukauden aikana muodostuneet yhteyttämistuotteet varastoidaan vadelmassa tärkkelyksenä, joka talven aikana muutetaan liukoiksi hiilihydraateiksi (Crandall ym. 1974). Alhainen lämpötila saa aikaan tärkkelyksen hajotuksen, mikä tapahtuu yhtä aikaa kylmänkestävyyden lisääntymisen kanssa (Palonen 1999). Samalla liukoisten hiilihydraattien ja etenkin sakkaroosin pitoisuudet suurenevat. Sakkaroosi on merkittävin liukoisten hiilihydraattien kuljetusmuoto vadelmalla (Burley 1961, Palonen 1999). Sakkaroosin ohella myös glukoosin, fruktoosin ja pienemmissä määrin raffinoosin ja stakyoosin pitoisuudet suurenevat. Muutokset hiilihydraattipitoisuuksissa liittyvät ilman lämpötilan mutta myös kasvin karaistumisasteen muutoksiin (Palonen 1999). Hiilihydraattipitoisuuksien määrittämistä voidaan käyttää esimerkiksi vadelman lepotilan asteen muutosten tarkkailuun lepotilan aikana (Brennan 1999).

Hiilihydraattivarastojen kertyminen kasvukauden aikana vaikuttaa vadelman sadontuottokykyyn seuraavana vuonna, joten taimikasvatuskauden aikaisten viljelymenetelmien hallinta on tärkeää (Crandall ym. 1974). Esimerkiksi kasvukauden aikainen kuivuusstressi tai vihannespunkkien aiheuttama ennenaikainen tuleentuminen vähentävät taimiin kertyviä hiilihydraattivarastoja (Crandall 1980, Doughty 1972). Kasvit käyttävät hiilihydraattivarastoja elintoimintoihinsa lepotilan aikana ja kasvukauden alkaessa jäljellä olevien hiilihydraattivarastojen suuruus on yhteydessä kasvin sadontuottokykyyn (Lieten ym. 1995). Koska hiilihydraattivarastot vaikuttavat suoraan silmujen puhkeamiseen keväällä, elinvoimaisten ja paljon hiilihydraattivarantoja sisältävien taimien kasvatus on tärkeää (Crandall ym. 1974, Sønsteby ja Heide 2008 ). Uusien kasvuersojen poiston on todettu parantavan satoversojen sadontuottoa, mutta sen vaikutus perustuu etenkin kasvuston parantuneisiin valo-olosuhteisiin mutta myös yhteyttämistuotteista kilpailun vähenemiseen (Fernandez ja Pritts 1994).

## 2.5 Vadelman satotaimet

Vadelma on erittäin herkkä marja pilaantumaan, joten marjan laadun parantamiseksi mutta myös satotasojen nostamiseksi vadelman viljelyssä on siirrytty yhä enemmän katettuun tuotantoon. Vadelmaa viljellään Euroopassa lähes poikkeuksetta tunneleissa tai kausihuoneissa ja Suomessakin tunneleiden käyttö vadelman viljelyssä on lisääntymässä, joskin korkeat perustamiskustannukset hidastavat katetun tuotannon yleistymistä (Dale 2012, Kajalo 2012).

Vadelman satotaimitekniikka on kehitetty nimenomaan katettua tuotantoa ja sadon ajoittamista varten. Satotaimet ovat 1-vuotiaita, pakkasvarastoituja ja kukkaan viritettyjä taimia, jotka tuottavat sadon jo istutusvuonna. Satotaimet siirretään pakkasvarastoon lepotilaisina syksyllä, jossa ne varastoidaan aina istutusajankohtaan asti. Lepotilan purkauduttua satotaimet hyödetään muovitunnelissa tai kausihuoneessa haluttuna ajankohtana seuraavana keväänä tai kesänä (Gillespie 1999). Satokautta voidaan pidentää joko aikaistamalla tai myöhäistämällä istutusajankohtaa, jolloin vadelman sato kypsyy pääsatokauden ulkopuolella ja sadosta saatava hinta on todennäköisesti parempi (Kempner 2004). Ohjailemalla vadelman kasvua sekä optimoimalla kasvatusolosuhteet niin taimikasvatukseen, pakkasvarastoinnin kuin hyödon aikana vadelman satotasoja voidaan merkittävästi nostaa ja viljelyn kannattavuutta parantaa (Carew ym. 2000b).

Taimikasvatusvaiheen kasvuolosuhteilla voidaan suuresti vaikuttaa vadelman satotaimien satopotentiaaliin. Mitä paremmin ensimmäisen vuoden kasvatusolot pystytään optimoimaan etenkin kukka-aiheiden erilaistumisen aikaan, sitä paremmat edellytykset luodaan seuraavan vuoden sadontuottoa varten (Sønsteby ym. 2009). Taimien kasvatustiheys vaikuttaa vadelman verson paksuuteen ja paksummilla versoilla on todettu olevan suurempi sadontuottokyky (Crandall ym. 1974). Crandall ja Chamberlainin (1972) mukaan ohuempien versojen kukka-aiheiden erilaistuminen alkaa kuitenkin paksuversoisia taimia aikaisemmin, mikä toisaalta mahdollistaa pidemmän ajan kukka-aiheiden kehittymiselle (Sønsteby ym. 2009). Crandallin ym. (1974) tutkimuksessa verson paksuus vaikutti positiivisesti liukoisten hiilihydraattien määrään silmua kohti, vaikka liukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli ohuemmissa versoissa suurempi. Verson hiilihydraattivarastojen todettiin siten vaikuttavan merkittävästi vadelman sadontuottokykyyn. Myös kasvuston valo-olosuhteet vaikuttavat vadelman

satoon, sillä esimerkiksi uusien kasvuverson poiston on todettu parantavan alimpien hankaverson sadontuottoa nimenomaan niiden parantuneen valonsaannin takia (Wright ja Waister 1986). Sønstebyn ym. (2009) tutkimuksessa elinvoimaisten, katettuna kasvatettujen versojen todettiin soveltuvan parhaiten satotaimituotantoon, sillä niiden satopotentiaali on suuri myös latvomisen jälkeen. Myös Heibergin ym. (2008) tutkimuksessa kasvatuspaikalla oli ratkaiseva merkitys satotaimien satopotentiaaliin, sillä tunnelissa kasvatetut taimet kasvoivat pidemmiksi ja niiden kukkien lukumäärä oli selvästi suurempi avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna.

Satotaimet siirretään pakkasvarastoon syksyllä vasta niiden tuleennuttua. Liian aikaisin tai myöhään tehty siirto voi vaikuttaa versojen selviytymiseen varastoinnin aikana (Gillespie 1999). Riippuen lajikkeesta, kasvatuskauden olosuhteista sekä lepotilan asteesta taimet tarvitsevat tietyn pituisen kylmän jakson lepotilan purkautumiseen (Kempler 2004). Varastoinnin aikana lämpötilan täytyy olla alle 4 °C, jolloin vadelman lepotila purkautuu mutta samalla estetään kuitenkin silmujen liian aikainen puhkeaminen ja sienitautien leviäminen (Gillespie 1999). Taimia voidaan varastoida hyvinkin pitkiä aikoja halutusta hyötöajankohdasta riippuen (Gillespie 1999). Pitkä varastointiaika varmistaa myös riittävän vilutustuntien kertymisen (White ym. 1998). Toisaalta esimerkiksi Lietenin (1995) tutkimuksessa varastointiajan piteneminen heikensi mansikan satotaimien laatua ja pienensi niiden sadontuottokykyä.

Satotaimitekniikan kehittymisen ja vadelman satofysiologiaan vaikuttavien tekijöiden selvittämisen myötä vadelman satotaimista saatavat sadot ovat nousseet merkittävästi. Fabyn (1993) ja Pitsioudisin ym. (2002) tutkimuksissa sato taimea kohti oli alhainen (0,9 ja 1,0 kg/taimi) ja Heibergin ym. (2008) tutkimuksessa vain hieman parempi (1,2 kg/taimi), kun taas Sønsteby ym. (2009) raportoivat erittäin suurista satotasoista (4 kg/taimi). Satotaimitekniikalla ja optimoimalla viljelyn eri vaiheet aina taimikasvatuksesta varastointiin ja hyötöön asti voidaan vadelman satopotentiaalia kasvattaa huomattavasti. Optimointi edellyttää kuitenkin vadelman kasvufysiologian ymmärtämistä sekä soveltamista viljelyn eri vaiheissa (Gillespie 1999).

### 3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tämä tutkimus oli osa ”Suomalaisen marjantuotannon kilpailukyvyyn parantaminen ja kestävä kehittäminen muuttuvassa ilmastossa” –hanketta, jonka päämääränä oli lisätä suomalaisen marjantuotannon kannattavuutta muun muassa parantamalla marjojen tuotantovarmuutta, pidentämällä satokautta sekä sopeuttamalla marjantuotanto muuttuvaan ilmastoon (Timo Hytönen, HY, henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2009). Hankkeessa olivat mukana Helsingin yliopisto, Itä-Suomen yliopisto, MTT, ProAgria sekä Marjaosaamiskeskus. Satokauden pidentämiseksi hankkeessa tutkittiin vadelman katettua tuotantoa ja tarkoituksena oli kehittää menetelmiä vadelman satotaimien satopotentiaalin maksimoimiseksi. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan siten jatkossa hyödyntää vadelman kotimaisten satotaimien tuotantomenetelmien kehittämisessä.

Kokeessa I tarkoituksena oli tutkia, miten kasvatusolosuhteet, versojen lukumäärä ja uusien versojen kasvattaminen vaikuttavat vadelman satotaimien kasvuun ja sadontuottoon. Oletuksena oli, että taimivaiheen tunnelikasvatus parantaa seuraavan vuoden satoa ja että kaksiversoisesta taimesta saadaan parempi sato yksiversoiseen taimeseen verrattuna. Oletuksena oli myös, että uusien kasvoversojen kasvattaminen satoversojen ohella pienentää vadelman satoa, sillä sato- ja kasvoversot kilpailevat osittain samoista yhteyttämistuotteista kehittyvien hankaversojen ja marjojen kanssa. Tutkimuksen tavoitteena oli myös selvittää, miten uusien kasvoversojen lukumäärä vaikuttaa niiden kasvuun ja satopotentiaaliin.

Kokeessa II tarkoituksena oli tutkia kasvatusolosuhteiden ja varastointiajan vaikutusta satotaimien satopotentiaaliin ja hiilihydraattitalouteen. Varastointiajan pidentämisen on todettu parantavan vadelman silmujen puhkeamista. Sen on myös todettu lyhentävän aikaa silmujen puhkeamisen ja kukkimisen välillä. Oletuksena oli, että tunnelissa kasvatetut satotaimet tuottavat enemmän marjoja ja että varastointiajan pidentäminen parantaa vadelman satopotentiaalia sekä nopeuttaa silmujen puhkeamisesta. Tässä kokeessa tutkittiin myös vadelman hiilihydraattitaloutta varastoinnin aikana mittaamalla liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuus juurissa ja versoissa sekä hiilihydraattien kokonaismäärä versoissa ennen varastointia ja eripituisten varastointijaksojen jälkeen.

## 4 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 4.1 Koe I: Kasvatusolosuhteiden, versomäärän ja uusien versojen vaikutus vadelman satotaimien sadontuottoon

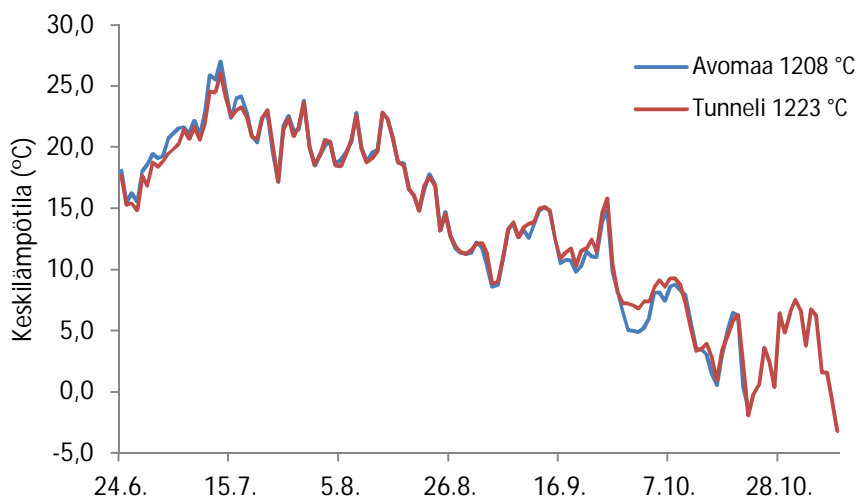
Koe alkoi kesällä 2010 Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen puutarhatuotannon tutkimusyksikössä Piikkiössä (60°23' N; 22°32' E) vadelmien taimikasvatuksella. Oma osuuteni tässä tutkimuksessa alkoi taimien pakkasvarastoinnin jälkeen keväällä 2011 hyötämällä taimet ja mittaamalla sadon määrä kesän 2011 aikana. Satoa tuottaviin taimiin annettiin kasvaa uusia kasvoversoja joko 1, 2 tai 4 kpl ja nämä uudet kasvoversot varastoitiin uudestaan pakkasvarastossa Piikkiössä syksyllä 2011. Hiilihydraattianalyysit ja pakkasvarastoitujen uusien kasvoversojen hyötö tehtiin kevättalven 2012 aikana Helsingin yliopistolla Maataloustieteiden laitoksella Viikissä (60°13' N; 25°1' E).

#### 4.1.1 Kasvimateriaali ja taimikasvatus 2010

Tutkimuksessa koemateriaalina käytettiin suomalaista Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen Hämeen tutkimusasemalla syntynyttä vadelmalajiketta 'Maurin makea' (Aaltonen ym. 1996). Kokeessa käytettävät 1-vuotiaat taimet tulivat Piikkiöön Puutarha Tahvosilta 25.5.2010. Taimet ruukutettiin 5 l:n ruukkuihin (keskikarkea kasvaturve B2, Kekkilä Oyj, Tuusula) ja kaikki kasvusto leikattiin alas. Taimet siirrettiin kasvatuspaikoilleen 22.6.2010. Taimet kasvatettiin ruukuissa joko avomaalla tai tunnelissa yksi- tai kaksiversoisina mypex-kankaan päällä. Avomaalla käytettiin mustaa ja tunnelissa valkeaa kangasta. Taimet sijoitettiin neljään riviin (riviväli 150 cm, taimiväli 50 cm) siten, että joka toinen rivi oli samassa kokeessa mukana ollutta Glen Ample -lajiketta. Yksi- ja kaksiversoiset taimet oli sijoitettu vuorotellen riviin ja ne tuettiin rivin keskellä kulkeneisiin tukilankoihin. Taimikasvatuksessa ei käytetty suojataimia. Yksiversoisia taimia kasvatettiin avomaalla 60 kpl ja tunnelissa 30 kpl. Kaksiversoisia taimia kasvatettiin avomaalla 60 kpl ja tunnelissa 60 kpl. Avomaalla taimet kasvoivat kaakkois-luoteis- ja tunnelissa koillis-lounaissauntaisissa riveissä.

Taimet kasvatettiin 6,7 x 19,5 m:n kokoisessa tunnelissa, jonka korkeus oli 2,5 m. Tunnelissa käytettiin 0,16 mm:n paksuista UV-suojattua muovikalvoa. Tunnelin reunat pidettiin auki elokuun lopulle ja päädyt syyskuun lopulle asti. Lokakuun puolivälistä

kasvatuksen loppuun asti tunneli pidettiin kokonaan suljettuna. Tunnelin kattoon asennettiin tuuletin kierrättämään ilmaa klo 6.00-20.00 ja avomaan ja tunnelin kasvatusolosuhteita seurattiin 150 cm:n korkeudelle sijoitetun Tiny-tag dataloggerin avulla (Gemini Data Loggers, Iso-Britannia) (kuva 2). Kokeen aikana kasvaneet uudet juuriversot poistettiin 3-4 viikon välein. Myös verson alimmat sivuhaarat poistettiin 20 cm korkeudelle saakka.



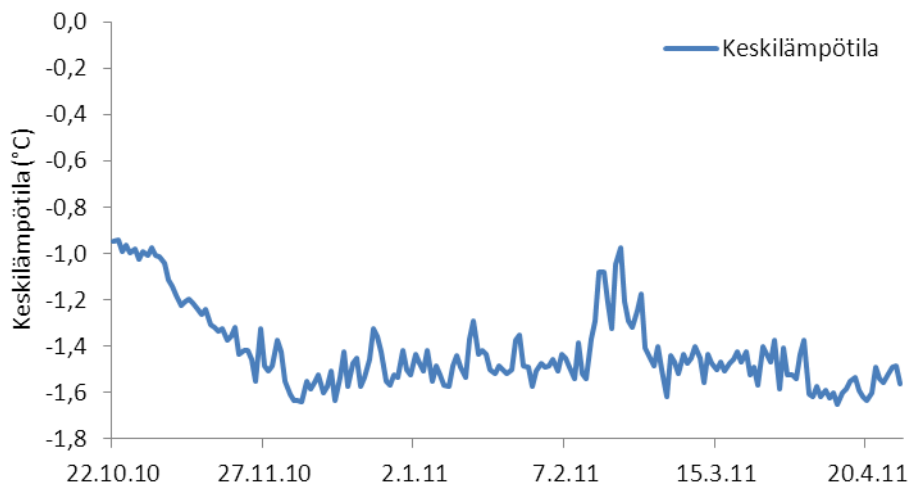
Kuva 2. Keskilämpötila ja tehoisa lämpösumma avomaalla ja tunnelissa kesän 2010 taimikasvatuksen aikana. Arvot ovat puolen tunnin välein mitattujen lämpötilojen päivittäisiä keskiarvoja.

Taimien kastelu ja lannoitus hoidettiin tippukasteluna tensiometrin ohjauksessa. Automaattinen kastelulannoitus aloitettiin 13.7.2010 ja lannoitteena käytettiin 15 % Kemiran Puutarhan Täyslannos 2 -kastelulannosta (NPK 18-5-20). Kasvualustan kasteluraja vaihteli kokeen aikana -70– -100 mbar ja tavoitteena oli noin 20-30 % ylikastelu. Sekä avomaalla että tunnelissa kastelun määrää seurattiin päivittäin yhdestä tipusta ja ylivaluntaa kahdesta koetaimien alle asetetusta mitta-astiasta. Myös kastelu- ja ylivaluntaveden johtolukua seurattiin päivittäin (johtolukumittari EC meter, Midwest, Growmaster) ja tavoite kasteluv veden johtoluvuksi oli 1,0 mS/cm. Lannoite vaihdettiin 10.9.2010 Kemiran 10 % PK-lannokseen (NPK 1-8-31) ja kastelulannoitus lopetettiin 8.10.2010 sekä avomaalla että tunnelissa lannoitesekoittajien jäätymisvaaran takia.



Avomaalla kasvatetut taimet saivat vettä yhteensä 64,3 l ja tunnelissa kasvatetut 81,6 l ruukkua kohti. Avomaalla kasvatetut taimet saivat kasvatuskauden aikana ravinteita 10,5 g N, 3,3 g P ja 13,4 g K ja tunnelissa kasvatetut taimet 13,9 g N, 5,0 g P ja 20,0 g K ruukkua kohti.

Taimikasvatus lopetettiin avomaalla 21.10.2010, jolloin taimet pakattiin noin 1 m<sup>3</sup>:n kokoisiin muovilaatikoihin ja siirrettiin pakkasvarastoon. Tunnelissa kasvatetut taimet siirrettiin varastoon 8.11.2010. Ruukut kasteltiin ennen varastoon laittoa ja niiden päälle laitettiin muovihuppu estämään kuivumista. Taimia ei latvottu kokeen aikana. Pakkasvaraston lämpötilan asetusarvo oli -2 °C ja se vaihteli varastoinnin aikana -0,6–(-2,7) °C ja oli keskimäärin noin -1,4 °C (kuva 3).



Kuva 3. Lämpötila vuonna 2010 kasvatettujen vadelmantaimien pakkasvarastoinnin aikana. Arvot ovat puolen tunnin välein mitattujen lämpötilojen päivittäisiä keskiarvoja.

#### 4.1.2 Hyötö muovihuoneessa 2011

Noin kuusi kuukautta varastoidut taimet otettiin pakkasvarastosta 29.4.2011 ja niiden annettiin sulaa noin +15 °C:n lämpötilassa kaksi viikkoa, jona aikana niitä kasteltiin ja sumutettiin vedellä. Taimet ruukutettiin uudelleen 10 l:n ruukkuihin (Keskikarkea kasvaturve B2, Kekkilä Oyj, Tuusula) ja ne siirrettiin hyötöön tunneliin 13.5.2011.

Kokeeseen valittiin edustavimmat ja tasalaatuisimmat taimet vuoden 2010 taimimateriaalista. Tunneli oli kooltaan 6,7 x 19,5 m ja se sijaitsi koillislounaissaunassa. Tunnelissa käytetty muovikalvo oli 0,9 mm:n vahvuista UV-suojattua 4 % EVA-kalvoa. Taimet sijoitettiin neljään riviin valkoisen mypex-kankaan päälle lohkoittain satunnaistettuna (riviväli 150 cm, taimiväli 40 cm). Rivien molempiin päihin sijoitettiin Piikkiössä pakkasvarastoidut Glen Ample -lajikkeen taimet suojataimiksi. Muita suojataimia ei kokeessa käytetty. Pölytyksen varmistamiseksi tunneliin tuotiin kimalaispesä 31.5.2011. Kokeessa tutkittiin samanaikaisesti myös pakkasvarastoituja Glen Ample -lajikkeen taimia, jotka satunnaistettiin samoihin lohkoihin Maurin Makea -lajikkeen taimien kanssa.

Koe toteutettiin faktorikokeena, jossa ensimmäisenä tekijänä oli taimityyppi (taulukko 1). Taimet oli kasvatettu vuonna 2010 joko yksi- tai kaksiversoisina ja joko avomaalla tai tunnelissa. Toisen tekijän muodosti toisena vuonna eli vuonna 2011 satoversojen kanssa samaan aikaan kasvavien uusien kasvoversojen lukumäärä. Kaikkiin kaksiversoisiin annettiin kasvaa kaksi tai ei yhtään uutta kasvoversoa. Avomaalla kasvatettuihin yksiversoisiin annettiin kasvaa 0, 1 tai 4 uutta kasvoversoa ja tunnelissa kasvatettuihin yksiversoisiin 0 tai 1 uutta kasvoversoa. Kokeessa oli yhteensä 9 eri koejäsentä.

Taulukko 1. Kokeen I koejäsenet.

Kasvatuspaikka v. 2010	Versojen lukumäärä (kpl)	Taimia kokeessa (kpl)	Uusien versojen lukumäärä (kpl)
avomaa	1	36	0, 1 tai 4
	2	24	0 tai 2
tunneli	1	24	0 tai 1
	2	24	0 tai 2

Koe järjestettiin vuonna 2011 lohkoittain satunnaistettuna. Hyötö tapahtui tunnelissa neljässä rivissä ja kukin neljästä rivistä oli jaettu kolmeen lohkoon, joten kokeessa oli yhteensä 12 lohkoa (kuva 4). Jokaiseen lohkoon satunnaistettiin yksi kutakin koejäsentä. Samassa kokeessa tutkittiin myös Glen Ample -lajikkeen satotaimia, jotka oli satunnaistettu Maurin Makea -lajikkeen taimien kanssa samoihin lohkoihin. Yhdessä

lohkossa oli yhteensä 9 kpl Maurin Makea - ja 6 kpl Glen Ample -lajikkeen taimia, joten yhteen lohkoon oli sijoitettu 15 koejäsentä ja yhdessä rivissä taimia oli 45 kpl. Kokeessa oli yhteensä 36 kpl avomaalla ja 24 kpl tunnelissa kasvatettuja yksiversoisia taimia ja 24 kpl avomaalla ja 24 kpl tunnelissa kasvatettuja kaksiversoisia taimia.



Kuva 4. Koejärjestely hyödön aikana tunnelissa kasvukaudella 2011

Hyödön aikana kastelu ja lannoitus hoidettiin tensiometrin ohjauksessa. Jokaiseen ruukkuun sijoitettiin yksi tippusuutin ja automaattinen kastelu aloitettiin 25.5.2011 ja kastelulannoitus 1.6.2011. Lannoitteena käytettiin 10 % Yaran Ferticare Combi 2 kastelulannosta (NPK 18-5-20). Lannoite vaihdettiin 8.8.2011 vähätyppisempään 10 % Yaran Ferticare Combi 1 kastelulannokseen (NPK 14-5-21). Kasvualustan kasteluraja hyödön aikana oli -70 – -100 mbar. Kastelun määrää seurattiin päivittäin kahdesta tipusta ja ylivaluman määrää kahdesta ruukun alle sijoitetusta mitta-astiasta. Tavoitteena oli noin 20-30 % ylikastelu. Myös kastelu- ja ylivalumaveden johtolukua seurattiin päivittäin (EC meter, Midwest, Growmaster). Hyödön alussa tavoite kasteluveden johtoluvuksi oli 1,0 mS/cm ja 12.8.2011 alkaen lannoituksen loppuun asti 0,3 mS/cm.

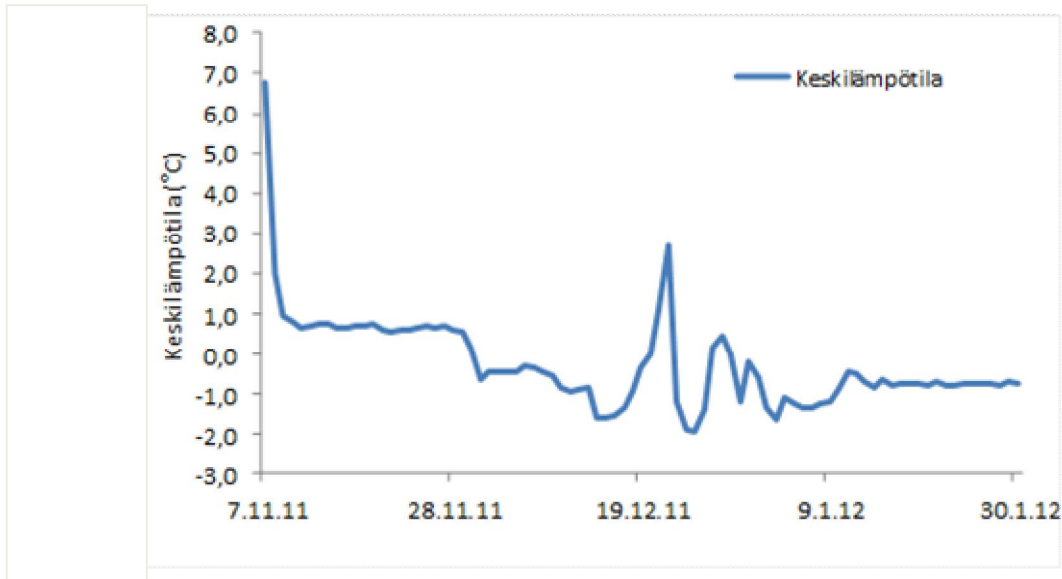
Automaattista kastelulannoitusta ohjattiin sijoittamalla tensiometri kaksiversoiseen vadelmaan, johon annettiin kasvaa kaksi uutta kasvuversona. Tippusuuttimien määrää ei pystytty lisäämään kokeen aikana taimien vedenkulutuksen mukaan, joten kaikkien taimien saama kastelu määräytyi tämän yhden koejäsenen mukaan, jonka vedentarpeen oletettiin olevan kokeen suurimmasta päästä. Kasvualustan johtoluku mitattiin

26.7.2011 kuudesta heikkokasvuisesta ja kuudesta vahvakasvuisesta taimesta ja se oli molemmilla ryhmillä keskimäärin 3,8 mS/cm. Kasvualustan väkevoitymisen takia taimia kasteltiin 27.7.2011 pelkällä vedellä. Hyödön aikana kaikki taimet saivat vettä 240 l ruukkua kohti, josta ylikastelun osuus oli noin 20-30 %. Taimet saivat ravinteita hyödön aikana kasteluveden mukana 21,6 g N; 6,2 g P ja 24,9 g K ruukkua kohti.

Kokeessa kasvatettavien uusien kasvuersojen (1, 2 tai 4 kpl) annettiin kasvaa koko kasvukauden ajan. Muut juuriversot poistettiin kahden viikon välein ja kasvuersojen alimmista hankasilmuista puhjenneet sivuersot poistettiin 1.9.2011 sekä kokeen lopussa 16.9.2011. Taimet tuettiin keskellä riviä kulkeneisiin kolmeen tukilankaan ja tukilankojen määrää lisättiin hankaversojen kasvaessa. Muovihuoneen päälle laitettiin lintuverkko estämään lintujen aiheuttamaa tuhoa ja huoneen kattoon sijoitettiin tuuletin lisäämään ilman kiertoa. Tuuletin oli ajastettu toimimaan klo 6.00-20.00 ja tuuletus lopetettiin 14.9.2011, jolloin myös muovihuoneen helmat laskettiin alas.

Satoversojen ja uusien kasvuersojen kasvuhavainnot tehtiin 16.-30.9.2011, minkä jälkeen satoversot leikattiin ja uudet kasvuersot jätettiin tuleentumaan tunneliin. Lannoitus lopetettiin 12.10.2011 lannoitussekoittajan jäätymisvaaran takia, jonka jälkeen taimia kasteltiin pelkällä vedellä. Koe lopetettiin 24.10.2011 jolloin uudet kasvuersot (1, 2 tai 4 kpl) latvottiin 180 cm:n korkeudelta. Yksi-, kaksi- ja neliversoiset taimet seitsemästä arvotusta lohkoista siirrettiin pakkasvarastoon. Ruukut kasteltiin ja taimet pakattiin noin 1 m<sup>3</sup>:n kokoiisiin muovilaatikoihin pakkausmuoviin käärittynä.

Pakkasvaraston lämpötilan asetusarvo varastoinnin aikana oli -2 °C ja se vaihteli välillä -1,9 – (+2,7) °C lukuun ottamatta ensimmäisen varastointipäivän lämpötilaa (kuva 5). Neljä viikkoa varastoiduille taimille vilutustunteja kertyi 720 h, 12 viikkoa varastoiduille taimille 2016 h ja 20 viikkoa varastoiduille taimille 3384 h. Yhteensä pakkasvarastoitavia taimia oli 32 kpl, joista yksiversoisia oli 14 kpl, kaksiversoisia 12 kpl ja neliversoisia 6 kpl. Hyödön aikana yksi neliversoinen ja kaksi kaksiversoista taimea kuoli kasvualustan väkevoitymisen takia. Taimet lopuista viidestä lohkoista käytettiin ennen pakkasvarastointia tehtäviin hiilihydraattianalyysiin (luku 4.3)



Kuva 5. Lämpötila vuonna 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten vadelmantaimien pakkasvarastoinnin aikana. Arvot ovat puolen tunnin välein mitattujen lämpötilojen päivittäisiä keskiarvoja.

#### 4.1.3 Hyötö kasvihuoneessa 2012

Pakkasvarastoinnin jälkeen taimet siirrettiin 30.1.2012 Helsingin yliopiston Maataloustieteiden laitoksen koekasvihuoneille Viikkiin hyödetäviksi yhdessä kokeen II 12 viikkoa pakkasvarastoitujen satotaimien kanssa. Taimien hoito, kasvihuoneosaston kasvuolosuhteet sekä taimien kastelu ja lannoitus olivat samat kuin kokeessa II ja ne on kuvattu kokeen II yhteydessä (luku 4.2.2). Kokeen I taimet sijoitettiin kasvihuoneosaston kahteen uloimmaiseen riviin (riviväli 1,6 m, taimiväli 40 cm) ja riveissä ei käytetty suojataimia. Taimia ei ruukutettu pakkasvarastoinnin jälkeen uudelleen ja niitä kasteltiin vedellä kaksi viikkoa ennen automaattisen lannoituskastelun aloittamista 15.2.2012. Kasvualustan väkevöitymistä seurattiin kahdesti kokeen aikana (8.2.2012 ja 23.4.2012) mittaamalla kaikkien taimien kasvualustan johtoluku (Grodan water content meter, JG Roermond, Alankomaat). Ensimmäisessä mittauksessa taimien kasvualustan johtoluku oli keskimäärin 0,8 mS/cm ja toisessa mittauksessa keskimäärin 2,0 mS/cm.

#### 4.1.4 Kasvu-, kukinta- ja satohavainnot

Kesän 2010 aikana kasvatetuista kasvoversoista tehtiin kasvuhavainnot kasvukauden lopulla. Taimista laskettiin nivelien lukumäärä sekä mitattiin pääverson pituus, viiden ylimmän nivelen verso-osan pituus, verson läpimitta tyveltä ja puolivälistä versoa. Koska vadelma saattaa muodostaa kasvukauden lopulla verson kärkeen lehtiruusukkeeseen, jonka nivelvälit ovat hyvin lyhyet, verson nivelvälien keskimääräinen pituus laskettiin vähentämällä pääverson pituudesta viiden ylimmän nivelen verso-osan pituus ja jakamalla tulos nivelien lukumäärällä vähennettynä viidellä nivelellä. Taimet olivat kesän aikana haarautuneet muutamien hankasilmujen kohdalta. Haarautuneiden hankaversojen pituus ja läpimitta mitattiin mutta niitä ei otettu tuloksissa huomioon.

Pakkasvarastoiduista ja kesällä 2011 hyödettyistä satoversoista tehtiin kasvuhavainnot ja sekä havainnot kukinnan alkamisesta, kukintamäärästä sekä sadontuotosta kasvukauden aikana. Hyödön aikana kesällä 2011 pääversosta mitattiin elävän ja kuolleen osan pituus. Kukinnan alkua havainnoitiin kolme kertaa viikossa ja kukinnan alkaminen määritettiin päivän tarkkuudella. Kukinta katsottiin alkaneeksi, kun taimen ensimmäinen kukka oli täysin auennut. Kaksiversoisilla taimilla riitti, että toinen pääversoista oli alkanut kukkia. Sato kerättiin jokaisesta taimesta erikseen, kuitenkin niin, että kaksiversoisten taimien molempien versojen sato laskettiin yhteen. Satokausi kesti 14.7.-13.9.2011 ja sato poimittiin kaksi kertaa viikossa kahden ensimmäisen viikon aikana (ma, to), jonka jälkeen siirryttiin kolmeen poimintakertaan viikossa (ma, ke, pe). Taimista mitattiin sadon määrä taimea kohti, marjalukumäärä sekä marjojen keskipaino. Sadosta eroteltiin huonolaatuiset marjat, joiksi laskettiin homeiset, kuivat, epämuodostuneet ja huonosti pölyttyneet marjat. Satopotentiaali määritettiin laskemalla yhteen kauppakelpoisten marjojen lukumäärä, irronneet kukat ja huonolaatuisten marjojen lukumäärä. Satoversoista ja uusista kesällä 2011 kasvatetuista kasvoversoista (1, 2 tai 4 kpl) tehtiin kasvuhavainnot kasvukauden lopulla sadontuoton jälkeen 29.-30.9.2011. Satoversoista mitattiin hankaversojen pituus ja hankaversojen, lehtien ja pääversojen kuivapaino taimea kohti. Uusista kasvoversoista mitattiin verson pituus, viiden ylimmän nivelen verso-osan pituus, nivelien lukumäärä sekä verson läpimitta tyvellä ja verson puolivälissä. Nivelvälin keskimääräinen pituus laskettiin vähentämällä pääverson pituudesta viiden ylimmän nivelen verso-osan pituus ja jakamalla tulos nivelien lukumäärällä vähennettynä viidellä nivelellä.

Pakkasvarastoiduista ja talvella 2012 Helsingin yliopistolla Viikin koekasvihuoneessa hyödetystä yksi-, kaksi- ja neliversoisista taimista havainnot tehtiin hyödyn aikana hankaversokohtaisesti. Silmujen puhkeamista ja kukinnan alkua seurattiin kolme kertaa viikossa. Silmu laskettiin puhjenneeksi, kun ensimmäinen lehti oli kokonaan avautunut. Hankaversojen kukinnan alkamispäivä määritettiin ensimmäisen täysin avautuneen kukan perusteella. Sekä silmujen puhkeaminen että kukinnan alkaminen määritettiin yhden päivän tarkkuudella. Koe päätettiin ja loppuhavainnot aloitettiin 23.4.2012. Hankaversojen pituus mitattiin, kukallisten ja kaikkien nivelien lukumäärä sekä kukkien lukumäärä laskettiin. Satopotentiaali määritettiin laskemalla yhteen kukkien ja kukkanuppujen lukumäärä hankaversoittain. Pääversojen pituus mitattiin ja nivelien lukumäärä laskettiin. Lehtien, hankaversojen ja pääversion kuivapaino taimea kohti määritettiin kuivaamalla näytteitä lämpökaapissa noin kaksi viikkoa (80 °C, Memmert, Saksa). Kukkat poistettiin hankaversoista ennen kuivausta.

#### 4.1.5 Kasvinsuojelu

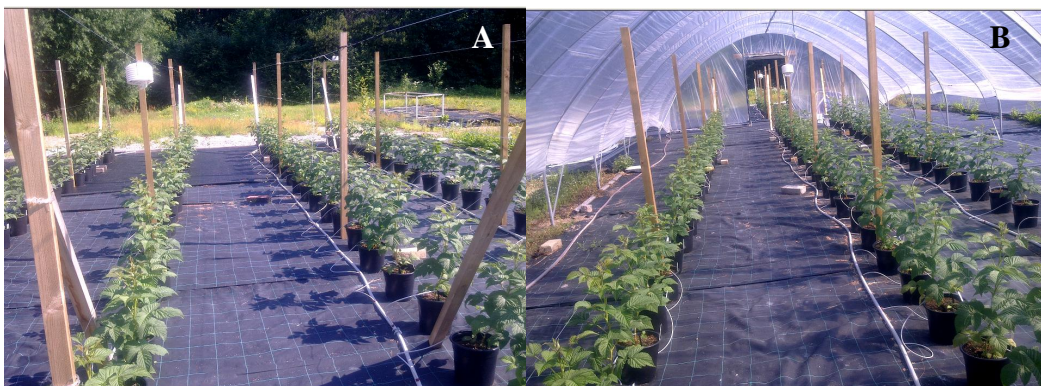
MTT:llä Piikkiössä taimikasvatuksen aikana vuonna 2010 ja hyödyn 2011 aikana vadelman tuholaisten torjuntaan käytettiin pääasiassa biologista torjuntaa. Tuholaisia tarkkailtiin lehtinäytteiden avulla. Kesällä 2010 vihannespunkkeja (*Tetranychus urticae*) vastaan sekä avomaalle että muovihuoneeseen levitettiin kahdesti ansaripetopunkkeja (*Phytoseiulus persimilis*) ja muovihuoneeseen lisäksi kerran petopunkkeja (*Amblyseius barkeri*). Kesällä 2011 hyödyn aikana vihannespunkkeja torjuttiin levittämällä kerran ansaripetopunkkeja (*Phytoseiulus persimilis*) sekä kerran harsokorennon toukkia (*Chrysoperla carnea*). Lehtikirvoja (*Aphididae* sp.) torjuttiin aluksi paikallisesti Puutarha-aerosolilla (Berner, pyretriini, piperonylibutoksidi, Helsinki) ja myöhemmin kirvoja vastaan levitettiin kahdesti isokirvavainokaisia (*Aphidius colemani*). Kesällä 2011 kasvustosta löytyi myös vatunäkämäpunkin (*Eriophyes gracilis*) aiheuttamaa lehtivioitusta ja äkämäpunkin torjumiseksi koko kasvusto ruiskutettiin 15.6. Carbon Kick Booster –valmisteella (1,0 % raffinoitu rypsiöljy, CK Growing Oy, Hyllykallio), johon oli lisätty kiinnite (0,05 % Silwet Gold, Berner, Helsinki). Lisäksi vatunäkämäpunkkia torjuttiin levittämällä kasvustoon *Amblyseius barkeri* -petopunkkeja. Kaikki vatunäkämäpunkin vioittamat versot poistettiin ja hävitettiin lehtioireiden ilmaannuttua.

## 4.2 Koe II: Kasvatusolosuhteiden ja varastointiajan vaikutus vadelman satotaimien satopotentiaaliin ja hiilihydraattitalouteen

Koe aloitettiin kesällä 2011 Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen puutarhatuotannon tutkimusyksikössä Piikkiössä (60° 23' N 22° 33' E) vadelmien taimikasvatuksella ja pakkasvarastoinnilla. Kokeessa tutkittiin kasvatusolosuhteiden ja varastointiajan vaikutusta vadelman satotaimien kasvuun ja satopotentiaaliin sekä hiilihydraattipitoisuuksiin. Kasvihuonehyötö sekä hiilihydraattianalyysit tehtiin Helsingin yliopistolla Maataloustieteiden laitoksella Viikissä (60°13' N; 25°1' E) talven 2011-2012 aikana.

### 4.2.1 Kasvimateriaali ja taimikasvatus 2011

Tutkimuksessa koemateriaalina käytettiin suomalaista Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen Hämeen tutkimusasemalla syntynyttä vadelmalajiketta 'Maurin Makea' (Aaltonen ym. 1996). Juuripistokkaista lisätyt taimet (160 kpl) tulivat Piikkiöön Marjoniemen taimitarhalta 1.6.2011. Taimet istutettiin 5 l:n ruukkuihin (Kekkilä White 420 pH 5,5 Kekkilä Oyj, Tuusula). Taimet siirrettiin varsinaiselle kasvatuspaikalle 9.6.2011 ja ne jaettiin kahteen osaan: 80 kpl avomaalle ja 80 kpl tunneliin (kuva 6). Tunnelissa taimet kasvoivat kolmessa ja avomaalla neljässä luode-kaakkosuuntaisessa rivissä mustan mypex-kankaan päällä (riviväli 150 cm, taimiväli 50 cm). Kasvatuksen aikana ei käytetty suojataimia. Tunnelin korkeus oli 2,5 m ja pinta-ala 104 m<sup>2</sup>. Tunnelin muovikalvo oli 0,9 mm vahvuista UV-suojattua 4 % EVA-kalvoa. Liian korkeiden lämpötilojen välttämiseksi tunnelin helmat pidettiin noin 80 cm:n korkeudella maasta 13.9.2011 asti ja kattoon asennettiin tuuletin kierrättämään ilmaa klo 6.00-22.00.



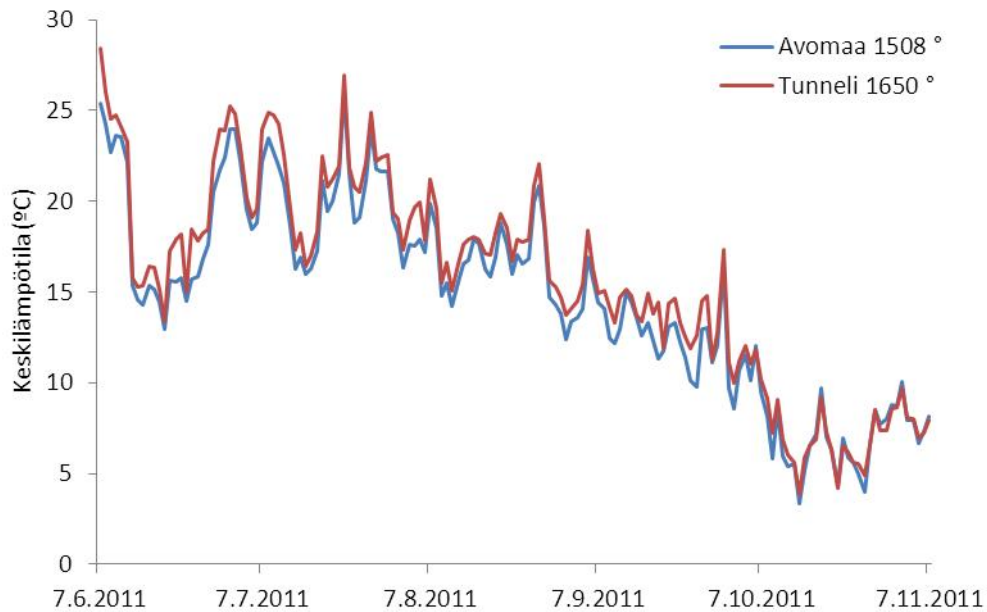
Kuva 6. Vuoden 2010 taimikasvatuksen koejärjestely avomaalla (A) ja tunnelissa (B).



Taimikasvatusvaiheen aikana kesällä 2011 taimien kastelu ja lannoitus hoidettiin tippukasteluna tensiometrien ohjauksessa. Ennen siirtoa kasvatuspaikalle taimet kasteltiin käsin ja 11.6.2011 aloitettiin tensiometriohjattu kastelu vedellä. Jokaiseen ruukkuun sijoitettiin yksi tippusuutin ja tavoitteena oli noin 20 %:n ylikastelu. Lannoitus aloitettiin 20.6.2011 ja lannoitteena käytettiin 10 % Yaran Feticare Combi 2 kastelulannosta (NPK 17,9-5-20). Kastelulannoitteen vaihdettiin 1.8. 10 % Yaran Feticare Combi 1 kastelulannos (NPK 14-5-21). Kastelurajaksi asetettiin sekä avomaalle että tunneliin kokeen aluksi -70 hPa ja 22.6.2011 tunnelin kastelurajaa nostettiin -60 hPa:iin. Kastelulannoitus lopetettiin 12.10.2011 lannoiteseikoittajien jäätymisvaaran takia. Tunnelissa kasvatetut taimet kasteltiin tämän jälkeen kerran vedellä ennen kasvatuksen lopettamista.

Kastelun määrää seurattiin päivittäin sekä avomaalla että tunnelissa kahdesta tipusta ja ylivaluntaa kahdesta ruukun alle sijoitetusta mitta-astiasta. Myös kastelu- ja ylivaluntaveden johtoluvut mitattiin päivittäin (johtolukumittari, Midwest, Gromaster Inc., Illinois, USA). Tavoite kasteluveden johtoluvuksi sekä avomaalla että tunnelissa oli 1,0 mS/cm. Avomaan ja tunnelin kastelulinjat olivat erilliset ja niiden kastelulannosta annostelevien lannoiteseikoittajien toiminnassa oli eroja. Keskimäärin avomaalla kasteluveden johtoluku oli 1,45 mS/cm ja tunnelissa 1,2 mS/cm. Avomaalla kasvatetut taimet saivat kasvatuskauden aikana vettä 61 l ja tunnelissa 76 l ruukkua kohti. Avomaalla kasvatetut taimet saivat ravinteita kasteluveden mukana 8,9 g N, 2,7 g P ja 10,9 g K. Tunnelissa kasvatettujen taimien ravinnemäärät olivat 14,2 g N, 4,3 g P ja 17,4 g K tainta kohti.

Taimet kasvatettiin yksiversoisina ja ne tuettiin kasvun edetessä rivin keskellä kulkeneisiin kolmeen tukilankaan. Juuriversot sekä alle 30 cm:n korkeudelle puhjenneet hankaversot poistettiin kahden viikon välein. Myös tätä ylemmistä silmuista kokeen aikana puhjenneet kasvulliset hankaversot poistettiin. Kasvukauden aikana perhosen toukat vioittivat useiden taimien silmuja etenkin avomaalla, mikä aiheutti pääversojen haarautumisen syödyn hankasilmun kohdalta. Puhjenneet hankaversot poistettiin viikoittain. Kasvatusolosuhteita seurattiin koko kasvatusajan 150 cm:n korkeudelle sijoitetun Tiny tag -dataloggerin (Gemini Data Loggers, Iso-Britannia) avulla sekä avomaalla että tunnelissa (kuva 7). Taimikasvatus lopetettiin 7.11.2011, jolloin taimet latvottiin 180 cm:n korkeudelta ja niistä otettiin näytteet hiilihydraattianalyysyä varten.



Kuva 7. Keskilämpötila ja tehoisa lämpösumma avomaalla ja tunnelissa kesän 2011 taimikasvatuksen aikana. Arvot ovat puolen tunnin välein mitattujen lämpötilojen päivittäisiä keskiarvoja.

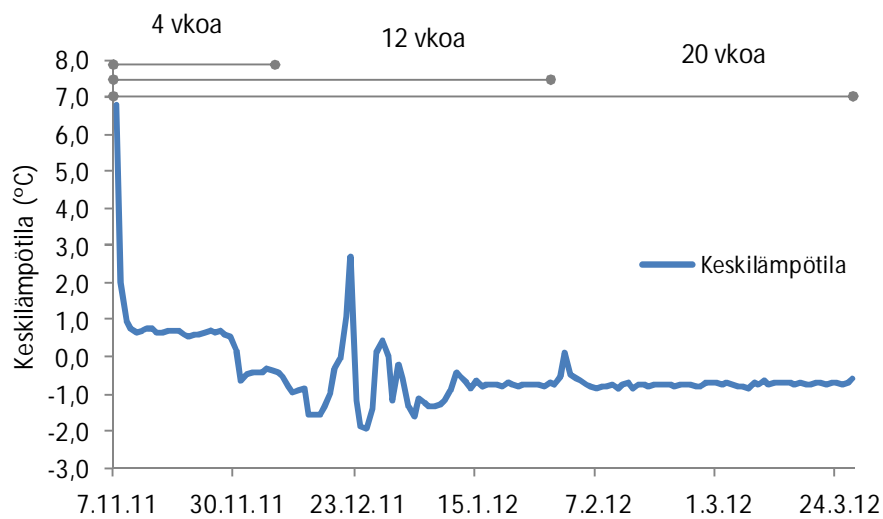
Taimet jaettiin sekä avomaalta että tunnelista pakkasvarastoinnin yhteydessä satunnaisesti kolmeen eri varastointiaikaryhmään. Jokaista hyötöön menevää erää varten taimia varattiin 25 kpl/kasvatuspaikka, joista 20 kpl hyödettiin kasvihuoneessa ja 5 kpl käytettiin hiilihydraattianalyysiin varastoinnin jälkeen. Lisäksi hiilihydraattipitoisuudet määritettiin myös ennen varastointia viidestä avomaalla sekä viidestä tunnelissa kasvatetusta taimesta. Taimia oli kokeessa yhteensä 160 kpl, joista kasvihuoneessa hyödettiin 120 kpl kolmessa eri erässä ja hiilihydraattianalyysiin käytettiin 40 kpl.

Taimet siirrettiin pakkasvarastoon lepotilaisina 7.11.2011 sekä avomaalta että muovihuoneesta ja ne varastoitiin kuudessa pohjastaan umpinaisessa noin 1 m<sup>3</sup>:n kokoisessa muovilaatikossa (kuva 8). Taimet jaettiin siten, että kunkin hyödetävän erän taimet tulivat kahteen laatikkoon ja jokaiseen laatikkoon tuli taimia sekä avomaalta että tunnelista. Silmämääräisesti arvioiden tuleentuminen oli edennyt avomaalla kasvatetuissa taimissa selvästi pitemmälle, sillä versojen lehdistä noin 80 % oli tippunut, kun taas tunnelissa kasvatettujen versojen lehdistä oli tippunut noin 20 %. Ruukut kasteltiin, kaikki lehdet poistettiin ja taimet kiedottiin tiiviisti pakkausmuoviin

ennen pakkasvarastoon laittoa. Pakkasvaraston lämpötilan asetusarvo varastoinnin aikana oli  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja se vaihteli välillä  $-1,9 - (+2,7)\text{ }^{\circ}\text{C}$  lukuun ottamatta ensimmäisen varastointipäivän lämpötilaa (kuva 9).



Kuva 8. Taimien pakkaus ja varastointi pakkasvarastossa



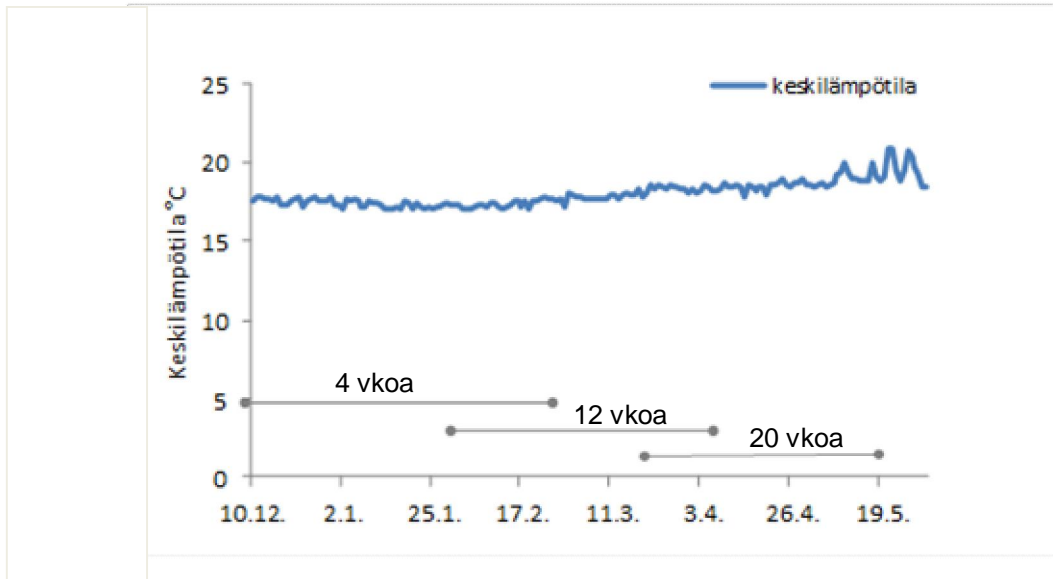
Kuva 9. Pakkasvaraston keskilämpötila kolmen eri varastointijakson aikana talvella 2011-2012. Kuvaan on merkitty kolmen eripituisen pakkasvarastoinnin (4, 12 ja 20 vkoa) ajankohdat. Arvot ovat puolen tunnin välein mitattujen lämpötilojen päivittäisiä keskiarvoja.

#### 4.2.2 Hyötö kasvihuoneessa talvella 2011–2012

Satotaimia varastoitiin pakkasvarastossa kolme eripituista jaksoa. Ensimmäinen erä eli neljä viikkoa pakkasvarastossa olleet taimet otettiin varastosta ja kuljetettiin Helsingin yliopiston Viikin kampuksen koekasvihuoneille 7.12.2011. Toisen erän (12 vkoa) varastointi päättyi 30.1.2012 ja kolmannen erän (20 vkoa) 27.3.2012. Taimien annettiin sulaa kasvihuoneen käytävällä (+14 °C) kaksi päivää, jonka jälkeen ne ruukutettiin 7,5 l:n ruukkuihin (Kekkilä White 420 pH 5,5 Kekkilä Oyj, Tuusula) ja siirrettiin kasvihuoneeseen. Koekasvihuoneena toimi 110 m<sup>2</sup> kasvihuoneosasto tutkimuskasvihuoneiden G-siiven itäpäädyssä, jossa hyödettiin myös kokeen I taimet. Taimet latvottiin 160 cm korkeudelta ja asetettiin metallikourujen päälle noin 15 cm:n korkeudelle maasta kasvihuoneosaston viiteen keskimmäiseen riviin (riviväli 1,6 m, taimiväli 40 cm). Pohjois-eteläsuuntaisesti sijainneiden rivien molempiin päihin suojataimiksi sijoitettiin Viikin kasvihuoneilla pakkasvarastoidut Glen Ample -lajikkeen taimet. Muita suojataimia kokeessa ei käytetty. Kokeelle I varattuun alueeseen mahtui kerralla vain 80 kpl taimia, joten ensimmäisen erän taimet havainnoitiin ja poistettiin osastosta ennen kolmannen erän saapumista. Koekasvit sijoitettiin kasvihuoneeseen täydellisesti satunnaistettuna.

Koe toteutettiin faktorikokeena, jossa faktoreina olivat kasvatuspaikka vuonna 2011 (avomaa, tunneli) ja pakkasvarastointiaika taimikasvatuksen jälkeen (4, 12, 20 vkoa). Kokeessa oli yhteensä 6 eri käsittelyä ja kussakin 20 tainta.

Valojakso kasvihuoneosastossa oli 16 h (klo 6.00-22.00) ja valotus asetettiin sammumaan 22.2.2012, kun ulkoa tulevan säteily teho ylitti 200 W/m<sup>2</sup>. Valon intensiteetiksi mitattiin kokeen alussa 13.12.2012 keskimäärin 188,4 μmol/m<sup>2</sup>/s noin 80 cm:n korkeudella ruukun pinnasta (LICOR säteilymittari, LI-189, USA). Kasvihuoneosastoon oli asennettu 35 kpl suurpainenatriumlamppuja, joiden asennusteho oli noin 127 W/m<sup>2</sup>. Kasvihuoneosaston molempiin pätyihin pohjois-eteläsuunnassa ripustettiin valkoinen muovi (3x10 m) tasaamaan ulkoa sekä viereisestä kasvihuoneosastosta tulevaa säteilyä. Suhteellinen kosteus osastossa oli säädetty 70 %:iin ja se vaihteli kokeen aikana 39-100 %:n välillä. Kasvatuslämpötila oli säädetty päivällä +18 °C:een ja yöllä +15 °C:een (kuva 10). Kasvihuoneen ilmastoa säädeltiin automaattisesti (Priva Integro, Plantech Control Systems, Kanada).



Kuva 10. Keskilämpötila koekasvihuoneessa hyödon aikana talvella 2011-2012. Kuvaan on merkitty kolmen eripituisen pakkasvarastoinnin (4, 12 ja 20 vkoa) jälkeinen hyödon ajankohta. Arvot ovat 15 minuutin välein mitattujen lämpötilojen päivittäisiä keskiarvoja.

Taimet kasteltiin tippukastelun avulla, jonka yhteydessä annettiin myös lannoitus. Kunkin erän taimia kasteltiin kaksi viikkoa pelkällä vedellä kasvihuoneeseen siirtämisen jälkeen. Kastelulannoksena käytettiin Kemira Growhow'n Mansikan täyslannosta (NPK 7-4-27) ja kasteluveden johtoluku oli koko kokeen ajan 1,5 mS/cm. Ensimmäisen erän lannoitus aloitettiin 16.12.2011. Lannoituksessa pidettiin viikon tauko toisen erän hyödon alussa 8.-15.2.2012. Taimet kasteltiin kerran päivässä ja kastelun määrää seurattiin sormituntumalta. Kastelu säädettiin toimimaan kahdesti päivässä 7.3.2012 alkaen. Tippuja lisättiin tai poistettiin taimen vedentarpeen mukaan siten, että ruukut tuntuivat painavilta mutta eivät kuitenkaan olleet märkiä. Kasvualustan väkevöitymistä seurattiin kahdesti (8.2.2012 ja 23.4.2012) kokeen aikana mittaamalla kaikkien sinä hetkellä hyödoässä olevien taimien kasvualustan johtoluku (Grodan water content meter, JG Roermond, Alankomaat). Ensimmäisessä mittauksessa 4 viikkoa varastoitujen taimien kasvualustan johtoluku oli keskimäärin 2,5 mS/cm ja 12 viikkoa varastoitujen 1,5 mS/cm. Toisessa mittauksessa 12 viikkoa varastoitujen taimien kasvualustan johtoluku oli keskimäärin 2,2 mS/cm ja 20 viikkoa varastoitujen taimien 1,6 mS/cm.

Juuriversot poistettiin taimien tyveltä kahden viikon välein. Samalla poistettiin myös hankaversoista puhjenneet kasvulliset sivuversot sekä pääverson kaikki hankasilmut 20 cm:n korkeudelle saakka.

#### 4.2.3 Kasvu- ja kukintahavainnot

Taimikasvatuksen aikana kesällä 2011 pääversojen pituus mitattiin kolme kertaa kasvukauden aikana 7.7., 26.8. ja 30.9.2011. Kasvun päätyttyä 30.9.2011 pääversoista laskettiin nivelien lukumäärä ja mitattiin viiden ylimmän nivelen verso-osan pituus. Nivelvälin keskimääräinen pituus laskettiin vähentämällä pääverson pituudesta viiden ylimmän nivelen verso-osan pituus ja jakamalla tulos nivelien lukumäärällä vähennettynä viidellä nivelellä. Lisäksi pääversojen läpimitta tyvellä ja verson puolivälissä mitattiin työntömitalla 0,1 mm tarkkuudella. Ennen varastoinnin alkua 4.11.2011 arvioitiin itsestään pudonneiden lehtien osuus kaikista lehdistä 10 % tarkkuudella.

Kasvihuonehyödyn aikana talvella 2011-2012 taimien kasvuhavainnot tehtiin hankaversokohtaisesti. Hankasilmujen puhkeamista sekä kukinnan alkua seurattiin kolme kertaa viikossa. Silmu laskettiin puhjenneeksi, kun ensimmäinen lehti oli kokonaan avautunut. Taimien kukinnan alkamispäivä määritettiin ensimmäisen kokonaan avautuneen kukan perusteella. Sekä silmujen puhkeaminen että kukinnan alkaminen määritettiin yhden päivän tarkkuudella. Ensimmäisen erän (4 vkoa) loppuhavainnot aloitettiin 5.3.2012, toisen erän (12 vkoa) 17.4.2012 ja kolmannen erän (20 vkoa) 31.5.2012. Jokaisen hankaverson pituus mitattiin ja kukallisten ja kaikkien nivelien lukumäärä laskettiin. Myös kukkien lukumäärä laskettiin hankaversoittain. Pääversojen tarkka pituus mitattiin ja nivelien lukumäärä laskettiin. Jokaisen taimen lehdet, hankaversot ja pääverso kuivattiin erikseen kuivapainon määritystä varten 80 °C:een lämpötilassa (lämpökaappi, Memmert, Saksa). Kukut poistettiin hankaversoista ennen kuivausta. Näytteitä kuivattiin noin kaksi viikkoa, jonka jälkeen ne punnittiin heti lämpökaapista ottamisen jälkeen.

#### 4.2.4 Kasvinsuojelu

Taimikasvatuksen aikana Piikkiössä kesällä 2011 vadelman tuholaisia tarkkailtiin lehtinäytteiden avulla. Vihannespunkkeja (*Tetranychus urticae*) torjuttiin levittämällä sekä avomaalle että tunneliin kerran ripsiäispetopunkkeja (*Amblyseius cucumeris*) sekä kerran harsokorennon toukkia (*Chrysoperla carnea*), joilla torjuttiin myös lehtikirvoja (*Aphididae* sp.) Kasvihuonehyödnön aikana talvella 2011-2012 ennen kasvihuoneeseen siirtoa toisen (12 vkoa) ja kolmannen erän (20 vkoa) taimet käsiteltiin harmaanhomeen torjunta-aineella (Candit, kresoksiimi-metyyli, BASF). Pakkasvarastoinnin aikana ruukkujen pinnalle oli ilmaantunut homekasvustoa, jonka leviämistä pyrittiin ruiskutuksella ehkäisemään. Kaikkien kolmen erän taimet käsiteltiin myös vihannespunkkeja vastaan noin kaksi viikkoa kunkin erän hyödnön aloituksen jälkeen (Vertimec, abamektiini, Syngenta Oy). Huhtikuun puolivälissä taimissa havaittiin uurrekorvakärsäkkäitä (*Otiorhyncus sulcatus*), joiden leviämistä muihin osastoihin torjuttiin levittämällä kärsäkässukkulavalmistetta (*Heterorhabdites* spp., Nemasys, Becker Underwood Ltd, Englanti) jokaiseen ruukkuun.

#### 4.3 Hiilihydraattianalyysit

Kokeessa I versojen ja juurten hiilihydraattipitoisuudet määritettiin yksi-, kaksi- ja neliversoisista taimista. Näytteet hiilihydraattianalyysejä varten otettiin ennen pakkasvarastointia. Analyyseihin käytettiin 10 kpl yksiversoisia, 10 kpl kaksiversoisia ja 5 kpl neliversoisia taimia. Kokeen II näytteet liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen määrittämistä varten otettiin sekä ennen varastointia että jokaisen varastointijakson jälkeen viidestä sekä avomaalla että tunnelissa kasvatetusta taimesta. Taimista otettiin 2 tai 3 silmua sisältävä noin 10 cm:n pala puolivälistä pääversoa. Juuret pestiin puhtaiksi turpeesta ja kaikki paitsi hienoitujuuret otettiin analyyseihin mukaan. Piikkiössä otetut näytteet pakattiin kylmälaukkuun ja kuljetettiin seuraavana päivänä Helsingin yliopistoon Viikkiin analysointia varten. Näytteet upotettiin nestetyypeen, jonka jälkeen ne pakkaskuivattiin (Gamma 2-16 LSC, Christ, Saksa). Näytteet jauhettiin kahdesti keskipakoismyllyllä (Retsch ZM 200, Haan, Saksa). Juurinäytteisiin käytettiin 2 mm ja 0,5 mm:n seulaa ja versonäytteisiin 1 mm ja 0,5 mm:n seulaa. Näytteet jauhettiin joko nopeudella 10 000 rpm (juuret) tai 16 000 rpm (versot).

#### 4.3.1 Liukoiset hiilihydraatit

Liukoiset hiilihydraatit uutettiin 50 mg:sta jauhattua verso- tai juurinäytettä 5 ml:aan 80 % etanolia ja sentrifugoitiin 1600×g 10 minuutin ajan. Uuttaminen tehtiin kolmesti, joista ensimmäinen +80 °C:n vesihauteessa (Julabo SW22, Allentown, USA) ja seuraavat huoneenlämmössä. Liukoiset hiilihydraatit kertyivät supernatanttiin. Liukoiset hiilihydraatit määritettiin kvantitatiivisesti antroni-rikkihappomenetelmällä (Yemm & Willis 1954). Supernatantista otettiin kaksi 0,1 ml:n rinnakkaisnäytettä, jotka laimennettiin 80 % etanolilla 1:1,5. Näytteisiin lisättiin 1,25 ml antroni-reagenssia. Antroni-reagenssi valmistettiin lisäämällä 0,2 g antronia (C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>O) 100 ml:aan kylmää 72 % rikkihappoa ja se valmistettiin joka päivä uudestaan. Näytteitä pidettiin kiehuvasa vesihauteessa tasan 10 minuuttia, jonka jälkeen ne jäähdytettiin jäähauteessa. Absorbanssi (630 nm) mitattiin tunnin kuluessa keittämisestä (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Kiina). Näytteiden sisältämä liukoisten hiilihydraattien pitoisuus määritettiin standardisarjan avulla, joka tehtiin glukoosikantaliuoksesta (50 mg D-glukoosia/100 ml 80 % EtOH). Jokaisesta näytteestä tehtiin kaksi rinnakkaismääritystä.

#### 4.3.2 Tärkkelys

Tärkkelys määritettiin verso- ja juurinäytteistä entsyymaattisesti Total starch-määrittyskitin avulla (Total starch assay procedure, amyloglucosidase/ $\alpha$ -amylase method, Megazyme International Ltd. Irlanti). Jauhattua kasvinäytettä punnittiin noin 50 mg, johon lisättiin 5 ml 80 % etanolia. Näytteitä inkuboitiin lämpöhauteessa +80 °C:ssa 5 minuuttia (Julabo SW22, USA), jonka jälkeen näytteisiin lisättiin 5 ml 80 % etanolia. Näytteet sekoitettiin ja sentrifugoitiin 1800×g 10 minuuttia (Heraeus Multifuge 1S-R, Kendro, Saksa). Supernatantti kaadettiin pois ja pelletti suspendoitiin 10 ml:aan 80 % etanolia. Näytteitä sentrifugoitiin 1800×g 10 minuuttia ja supernatantti kaadettiin pois, jolloin tärkkelys jäi pellettiin.

Tärkkelys hydrolysoitiin maltodekstriineiksi lisäämällä pelletin päälle 1,5 ml  $\alpha$ -amylaasia (150 U). Näytteitä inkuboitiin kiehuvasa vesihauteessa 12 minuuttia välillä sekoittaen. Näytteisiin lisättiin 0,05 ml amyloglukosidaasia (165 U) maltodekstriinien hydrolysoimiseksi glukoosiksi, jonka jälkeen näytteitä inkuboitiin + 50 °C:ssa 30 minuuttia (Julabo SW22, USA). Näytteet laimennettiin 25 ml:ksi deionisoidulla vedellä ja 5 ml:n osaliuosta sentrifugoitiin 1800×g 10 minuuttia.



Sentrifugoidusta osaliuksesta otettiin kaksi 0,05 ml:n rinnakkaisnäytettä, joihin lisättiin 1,5 ml glukoosinmääritysreagenssia (GOPOD). Näytteiden ja tunnetun glukoosistandardin absorbanssit mitattiin 510 nm:n aallonpituudella (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Kiina). Näytteiden absorbanssia verrattiin tunnetun glukoosistandardin absorbanssiin ja näytteen sisältämän tärkkelyksen pitoisuus laskettiin määrityskitin valmistajan ohjeen mukaan.

Versojen sisältämän kokonaishiilihydraattimäärän selvittämiseksi tärkkelys muutettiin glukoosiekvivalenteiksi jakamalla kertoimella 0,9 (Crandall ym. 1974) ja tulos lisättiin liukoisten hiilihydraattien kokonaismäärään, joka oli saatu kertomalla hiilihydraattinäytteisiin käytettyjen versojen paino niiden liukoisten hiilihydraattien pitoisuudella. Näin voitiin vertailla versojen sisältämää hiilihydraattien kokonaismäärää kasvatustaikojen ja varastointiaikojen välillä. Juurten kokonaishiilihydraattimäärää ei laskettu, sillä juuria ei punnittu kokeen aikana.

#### **4.4 Tulosten tilastollinen analysointi**

Kokeessa I kasvatusolosuhteiden, satoversojen ja uusien versojen lukumäärän vaikutusta kasvuhavaintoihin ja satokomponentteihin analysoitiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä (PASW Statistics 18). Uusien versojen lukumäärällä ei ollut vaikutusta analysoituihin tuloksiin, joten parivertailut kasvatusolosuhteiden ja satoversojen välillä tehtiin yksisuuntaisen varianssianalyysin avulla. Tuloksista laskettiin keskiarvot ja keskiarvojen keskivirheet. Vuonna 2011 kasvatettujen yksikaksi- ja neliversoisten taimien tulokset analysoitiin yksisuuntaisen varianssianalyysin avulla ja parivertailut tehtiin Tukey'n testillä merkitsevyystasolla 0,05. Kokeessa II kasvatuspaikan ja varastointiajan vaikutusta vadelman kasvuun ja satopotentiaaliin analysoitiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Tuloksissa ei havaittu yhdysvaikutusta. Varastointiajan vaikutusta vadelman kasvuun ja satopotentiaaliin kasvatuspaikoittain testattiin Tukey'n testillä merkitsevyystasolla 0,05.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Koe I: Kasvatusolosuhteiden, versomäärän ja uusien versojen vaikutus vadelman satotaimien sadontuottoon

#### 5.1.1 Taimikasvatus 2010

Tunnelissa kesällä 2010 kasvatetut vadelmantaimet kasvoivat selvästi avomaalla kasvatettuja taimia pidemmiksi ( $p<0,001$ ) (kuva 11). Kasvukauden 2010 lopussa tunnelissa kasvatetut yksiversoiset taimet olivat keskimäärin 38 cm ja kaksiversoiset taimet 32 cm vastaavia avomaalla kasvatettuja taimia pidempiä. Taimen versojen lukumäärällä ei ollut vaikutusta versojen pituuteen.

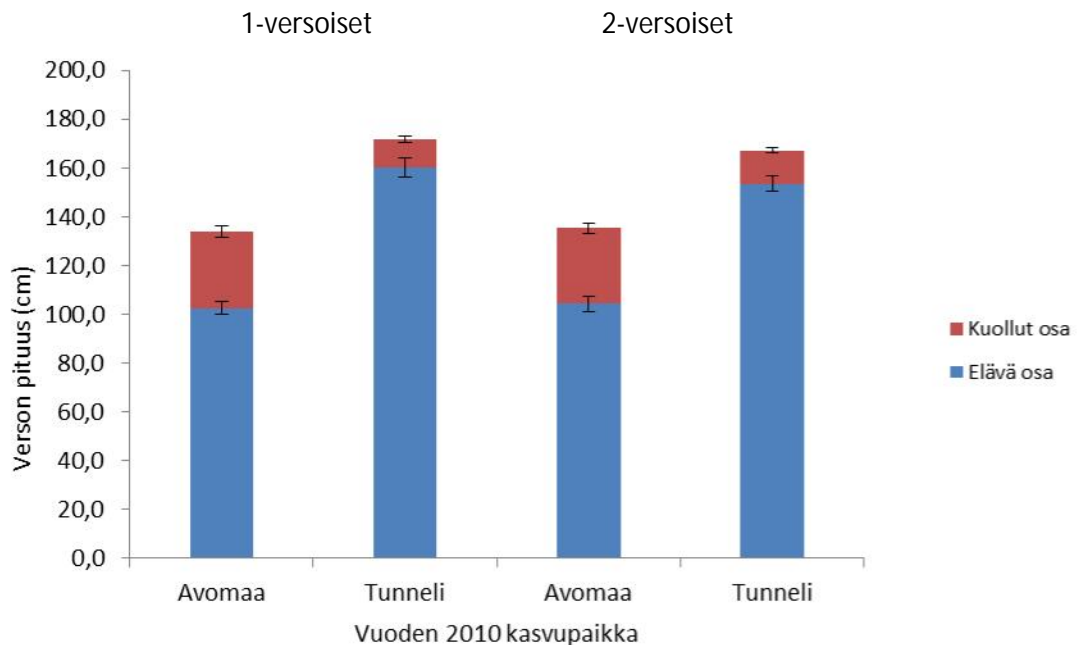
Tunnelissa kasvatetuissa yksiversoisissa taimissa oli keskimäärin 6,4 ja kaksiversoisissa 3,6 niveltä enemmän pääversossa vastaaviin avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Tunnelissa kasvatettujen yksiversoisten taimien nivelvälit olivat 8 % ja kaksiversoisten 13 % vastaavia avomaalla kasvatettuja taimien nivelvälisiä pidempiä (taulukko 2). Nivelien lukumäärässä ei ollut eroa avomaalla kasvatetuissa yksi- ja kaksiversoisissa taimissa mutta tunnelissa kasvatetuissa yksiversoisissa taimissa oli keskimäärin 2,9 niveltä kaksiversoisia taimia enemmän ( $p=0,006$ ). Kaksiversoisten taimien nivelvälit olivat avomaalla kasvatetuilla taimilla 3 % ja tunnelissa kasvatetuilla 8 % pidemmät yksiversoisiin taimiin verrattuna. Avomaalla kasvatettujen taimien pääverson läpimitta tyvellä oli 13-23 % suurempi kuin tunnelissa kasvatetuilla taimilla mutta verson puolivälissä läpimitta oli tunnelissa kasvatetuilla taimilla 7-8 % suurempi.

Taulukko 2. Vuonna 2010 avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen yksi- ja kaksiversoisten vadelmantaimien pääverson kasvuhavainnot. Tulokset ovat 30-60 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Saman kasvatuspaikan eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p<0,05$ ).

Kasvatuspaikka	Taimen versojen lukumäärä (kpl)	Pääverson nivelien lukumäärä (kpl)	Pääverson nivelvälien pituus (cm)	Pääverson läpimitta tyvellä (mm)	Pääverson läpimitta puolivälissä (mm)
Avomaa	1	39 $\pm$ 2,4 a	3,7 $\pm$ 0,0 a	12,4 $\pm$ 0,2 a	7,5 $\pm$ 0,1 a
	2	39 $\pm$ 2,0 A	3,8 $\pm$ 0,0 b	10,7 $\pm$ 0,2 b	7,1 $\pm$ 0,1 b
Tunneli	1	45 $\pm$ 3,2 A	4,0 $\pm$ 0,1 A	10,1 $\pm$ 0,3 A	8,1 $\pm$ 0,2 A
	2	42 $\pm$ 2,2 B	4,3 $\pm$ 0,0 B	9,5 $\pm$ 0,2 A	7,6 $\pm$ 0,1 B
<i>p</i> -arvo	Kasvatuspaikka	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Versojen lukumäärä	0,036	<0,001	<0,001	0,001
	Yhdysvaikutus	ns.	ns.	0,029	ns.

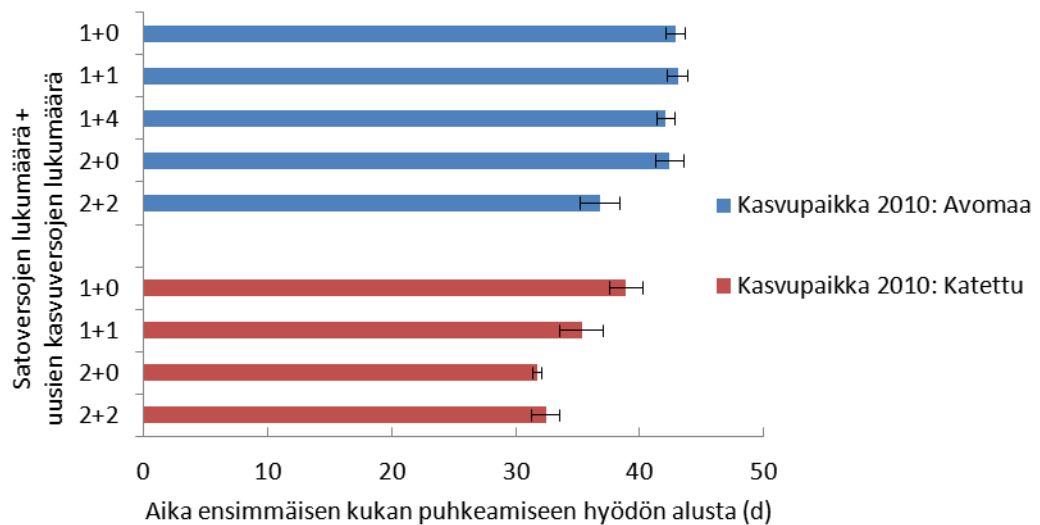
### 5.1.2 Satoversojen generatiivinen ja vegetatiivinen kasvu 2011

Avomaalla vuonna 2010 kasvatetut taimet kärsivät selvästi enemmän vaurioita pakkasvarastoinnin aikana kuolleen versonosan pituudella mitattuna tunnelissa kasvatettuihin taimiin verrattuna ( $p < 0,001$ ) (kuva 11). Taimen versojen lukumäärällä ei kuitenkaan ollut vaurioiden suuruuteen vaikutusta. Hyödön alussa kasvukaudella 2011 tehtyjen havaintojen perusteella avomaalla kasvatettujen yksi- ja kaksiversoisten taimien kuolleen latvanosan pituus oli keskimäärin 31 cm (23 % taimen koko pituudesta) ja tunnelissa kasvatettujen taimien 13 cm (8 % taimen koko pituudesta).



Kuva 11. Vuonna 2010 avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen ja talvella 2010-2011 pakkasvarastoitujen yksi- ja kaksiversoisten vadelmantaimien pääverson keskimääräinen pituus erotellen elävä ja kuollut osuus hyödön aikana 2011. Tulokset ovat 23-35 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe.

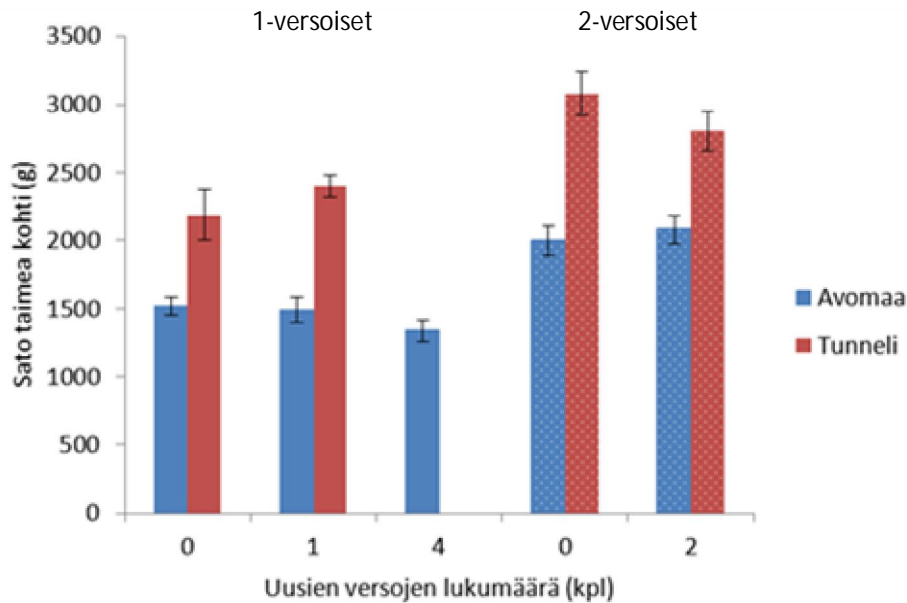
Tunnelissa vuonna 2010 kasvatetut taimet alkoivat kesällä 2011 hyödetessä kukkia 6-8 vrk avomaalla kasvatettuja taimia aikaisemmin ( $p < 0,001$ ) (kuva 12). Taimen satoversojen lukumäärällä ei ollut vaikutusta avomaalla kasvatettujen taimien kukinnan alkamiseen mutta tunnelissa kasvatetut kaksiversoiset taimet aloittivat kukinnan keskimäärin viisi vrk yksiversoisia taimia aikaisemmin ( $p < 0,001$ ).



Kuva 12. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen yksi- ja kaksiversoisten vadelmantaimien ensimmäisen kukan puhkeamiseen kulunut aika hyödön alusta. Tulokset ovat 9-12 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe.

Tunnelissa kasvatetut taimet tuottivat selvästi suuremman sadon avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna kasvukaudella 2011 ( $p < 0,001$ ) (kuva 13). Uusien versojen lukumäärällä ei ollut sadontuottoon merkitsevää vaikutusta. Eniten satoa tuottivat vuonna 2010 tunnelissa kasvatetut kaksiversoiset taimet (2940 g/taimi). Pienin sato oli yksiversoisilla avomaalla kasvatetuilla taimilla (1430 g/taimi). Keskimäärin sadonlisäys tunnelissa kasvatetuilla yksiversoisilla taimilla oli 45 % ja kaksiversoisilla taimilla 58 % vastaaviin avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna.

Kasvatuspaikoittain tarkasteltuna kaksiversoiset taimet tuottivat suuremman sadon yksiversoisiin taimiin verrattuna riippumatta uusien versojen lukumäärästä ( $p < 0,001$ ) (kuva 13). Avomaalla kasvatetut kaksiversoiset taimet tuottivat 28 % ja tunnelissa kasvatetut kaksiversoiset taimet 40 % suuremman kauppakelpoisen sadon vastaaviin yksiversoisiin taimiin verrattuna. Tunnelissa kasvatettujen taimien kauppakelvottomien marjojen osuus koko sadosta oli 2,2 % ja avomaalla kasvatettujen taimien 3,9 %.



Kuva 13. Vuonna 2010 avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen yksi- ja kaksiversoisten vadelmantaimien kauppakelpoinen sato taimetta kohti kasvukaudella 2011. Yksiversoisiin taimiin kasvatettiin joko 0, 1 tai 4 ja kaksiversoisiin taimiin 0 tai 2 uutta kasvuversoa. Kaksiversoisten taimien molempien versojen sato laskettiin yhteen. Tulokset ovat 9-12 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe.

Sekä taimen satoversojen lukumäärä että kasvatuspaikka vuonna 2010 vaikuttivat merkitsevästi taimien marjalukumäärään, marjakokoon ja satopotentiaaliin mutta uusien versojen lukumäärällä ei ollut näihin vaikutusta (taulukko 3). Avomaalla kasvatetut kaksiversoiset taimet tuottivat keskimäärin 63 % ja tunnelissa kasvatetut kaksiversoiset taimet keskimäärin 44 % enemmän marjoja vastaaviin yksiversoisiin taimiin verrattuna. Tunnelissa kasvatetut yksiversoiset taimet tuottivat keskimäärin 68 % ja tunnelissa kasvatetut kaksiversoiset taimet 44 % enemmän marjoja vastaaviin avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Eniten marjoja tuottivat tunnelissa vuonna 2010 kasvatetut kaksiversoiset taimet (keskimäärin 802 kpl/taimi).

Keskimarjapaino suureni vadelman satoversojen lukumäärän vähentyessä (taulukko 3). Tunnelissa kasvatettujen yksiversoisten taimien keskimarjapaino oli keskimäärin 13 % ja avomaalla kasvatettujen yksiversoisten taimien keskimäärin 16 % vastaavien kaksiversoisten taimien marjapainoa suurempi. Avomaalla kasvatettujen yksiversoisten taimien keskimarjapaino oli 4,8 % tunnelissa kasvatettujen taimien keskimarjapainoa

suurempi ( $p=0,017$ ). Kaksiversoisten taimien keskimarjapainoon kasvatuspaikalla ei ollut vaikutusta. Suurin satopotentiaali oli kaksiversoisilla tunnelissa kasvatetuilla taimilla (keskimäärin 969 kukkaa/taimi).

Taulukko 3. Vuonna 2010 avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen yksi- ja kaksiversoisten vadelmantaimien marjalukumäärä, keskimarjapaino ja satopotentiaali taimea kohti kasvukaudella 2011. Tulokset ovat 9-12 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe.

Kasvatuspaikka v. 2010	Satoversojen lukumäärä (kpl)	Uudet versot v. 2011 (kpl)	Marjalukumäärä taimea kohti (kpl)	Keskimarjapaino (g)	Satopotentiaali (kpl kukkia/taimi)
Avomaa	1	0	344 $\pm$ 18,1	4,5 $\pm$ 0,1	456 $\pm$ 27,9
		1	344 $\pm$ 21,8	4,3 $\pm$ 0,1	444 $\pm$ 29,2
		4	308 $\pm$ 19,5	4,4 $\pm$ 0,1	403 $\pm$ 19,8
	2	0	523 $\pm$ 28,2	3,8 $\pm$ 0,1	695 $\pm$ 35,5
		2	559 $\pm$ 27,3	3,7 $\pm$ 0,1	719 $\pm$ 34,0
Tunneli	1	0	538 $\pm$ 51,3	4,2 $\pm$ 0,1	647 $\pm$ 62,2
		1	579 $\pm$ 22,6	4,2 $\pm$ 0,1	702 $\pm$ 29,0
		0	820 $\pm$ 39,4	3,8 $\pm$ 0,1	983 $\pm$ 39,8
	2	2	783 $\pm$ 47,8	3,6 $\pm$ 0,1	955 $\pm$ 49,3
<i>p</i> -arvo					
	Satoversojen lukumäärä		<0,001	<0,001	<0,001
	Kasvatuspaikka		<0,001	0,021	<0,001
	Uusien versojen lukumäärä		ns.	ns.	ns.
	Yhdysvaikutus		ns.	ns.	ns.

Uusien versojen lukumäärällä (0, 1, 2 tai 4 kpl) ei ollut vaikutusta satoversojen hankaversojen pituuteen tai lukumäärään pääversossa (taulukko 4). Satoversojen lukumäärä vaikutti kuitenkin merkitsevästi taimen hankaversojen pituuteen. Avomaalla kasvatettujen yksiversoisten taimien hankaversot olivat 9 % ( $p=0,026$ ) vastaavien kaksiversoisten taimien hankaversoja pidempiä. Tunnelissa kasvatettujen yksiversoisten taimien hankaversot olivat vastaavasti 10 % kaksiversoisten taimien hankaversoja pidempiä ( $p=0,002$ ). Kasvatuspaikalla ei ollut vaikutusta hankaversojen pituuteen.

Avomaalla kasvatettujen taimien satoversojen lukumäärällä ei ollut vaikutusta hankaversojen lukumäärään ja tunnelissa kasvatettujen taimien kohdalla vaikutus oli suuntaa-antava ( $p=0,073$ ) (taulukko 4). Kasvatuspaikkojen välillä ero hankaversojen

lukumäärässä oli sekä yksi- että kaksiversoisilla merkitsevä ( $p < 0,001$ ). Tunnelissa kasvatetut yksiversoiset taimet tuottivat 56 % ja kaksiversoiset 34 % enemmän hankaversoja pääversoa kohti vastaaviin avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna.

Taulukko 4. Vuonna 2010 avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen yksi- ja kaksiversoisten vadelmantaimien satoa tuottavien hankaversojen pituus ja lukumäärä pääversoa kohti kasvukaudella 2011. Tulokset ovat 9-12 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe.

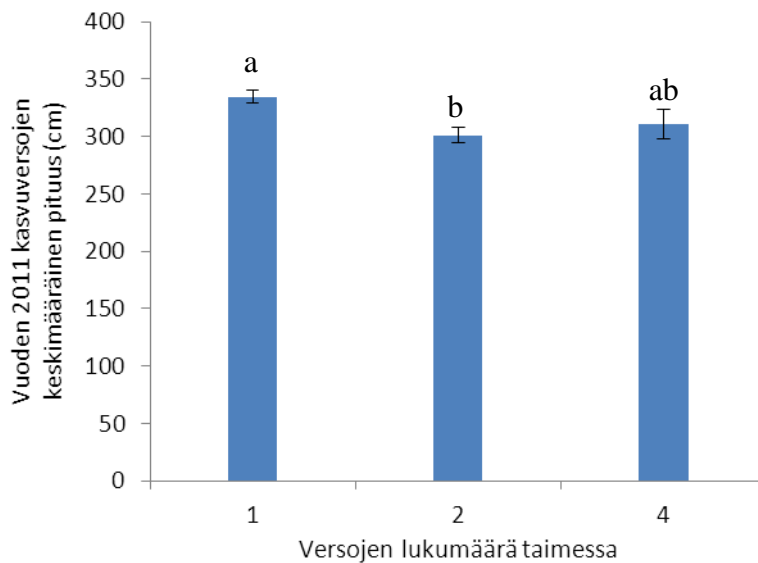
Kasvatuspaikka v. 2010	Satoversojen lukumäärä (lkm)	Uudet versot v. 2011	Hankaversojen pituus (cm)	Hankaversojen lukumäärä pääversoa kohti (kpl)
		0	70 $\pm$ 2,0	16 $\pm$ 0,9
Avomaa	1	1	69 $\pm$ 3,2	15 $\pm$ 1,2
		4	63 $\pm$ 1,8	16 $\pm$ 1,0
	2	0	64 $\pm$ 3,0	16 $\pm$ 0,8
		2	60 $\pm$ 1,9	17 $\pm$ 0,6
Tunneli	1	0	64 $\pm$ 1,9	24 $\pm$ 1,2
		1	66 $\pm$ 1,8	25 $\pm$ 1,3
	2	0	60 $\pm$ 1,5	22 $\pm$ 0,8
		2	59 $\pm$ 1,9	23 $\pm$ 1,0
<i>p</i> -arvo				
	Satoversojen lukumäärä		0,010	ns.
	Kasvatuspaikka		0,029	<0,001
	Uusien versojen lukumäärä		ns.	ns.
	Yhdysvaikutus		ns.	ns.

### 5.1.3 Kasvuversot 2011

Kasvukaudella 2011 osaan yksi- ja kaksiversoisista taimista kasvatettiin uusia kasvaversoja. Yksiversoisiin taimiin kasvatettiin 0, 1 tai 4 uutta versoa ja kaksiversoisiin 0, tai 2 uutta versoa. Taimista, joihin annettiin kasvaa joko yksi tai kaksi uutta kasvaversoa, puolet oli kasvatettu vuonna 2010 avomaalla ja puolet tunnelissa. Neljä uutta kasvaversoa kasvatettiin vain avomaalla vuonna 2010 kasvatettuihin yksiversoisiin taimiin (taulukko 1). Tilastollisten analyysien perusteella vuoden 2010 kasvatuspaikalla ei kuitenkaan ollut merkitsevää vaikutusta vuonna 2011 kasvatettujen kasvaversojen kasvuun eikä talven 2011–2012 kasvihuonehyödyn aikana mitattuihin

kasvu- ja satotuloksiin. Kasvukauden 2011 aikana kasvatetuista uusista kasvuversoista tästä eteenpäin käytetään nimityksiä yksi-, kaksi- ja neliversoinen taimi.

Yksiversoiset taimet kasvoivat kolmesta eri taimityypistä pisimmiksi ( $p=0,004$ ) (kuva 14). Yksiversoiset taimet olivat keskimäärin 33 cm kaksiversoisia taimia pidempiä. Yksi- ja neliversoisten taimien pituudessa ei ollut tilastollista eroa.



Kuva 14. Kesällä 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten taimien keskimääräinen pituus. Tulokset ovat 11-24 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti toisistaan ( $p<0,05$ ).

Yksiversoisilla taimilla oli keskimäärin 7 kpl enemmän niveliä pääversoa kohtia kaksi- ja neliversoisiin taimiin verrattuna (taulukko 5). Pääversion läpimitta oli yksiversoisilla taimilla 22 % suurempi pääversion tyvellä ja 9 % suurempi pääversion puolivälissä kuin kaksi- ja neliversoisilla taimilla. Kaksi- ja neliversoisten taimien välillä ei ollut eroa pääversion nivelien lukumäärässä tai verson paksuudessa tyvellä tai verson puolivälissä. Nivelvälien pituudessa ei taimityyppien välillä ollut eroa.

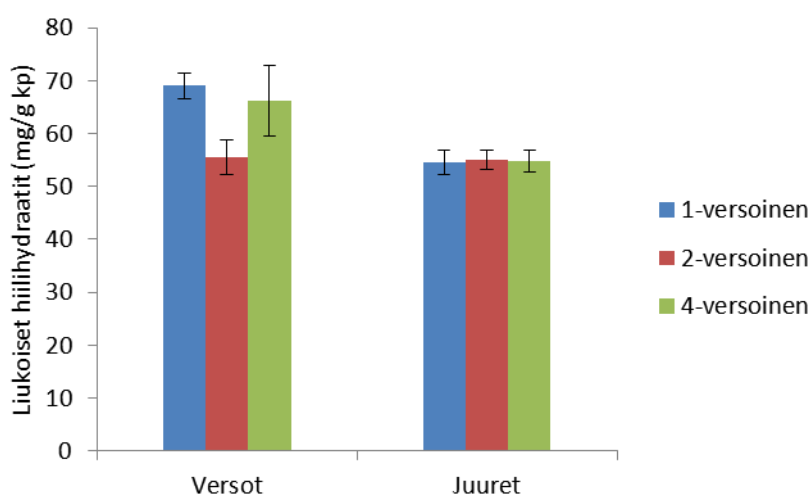


Taulukko 5. Kesällä 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten taimien pääverson nivelien lukumäärä ja pituus sekä pääverson läpimitta tyvellä ja puolivälissä versoa. Tulokset ovat 11–12 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti toisistaan ( $p < 0,05$ ).

Satoversot v. 2011	Uudet kasvoversot v. 2011	Pääverson nivelet (kpl)	Pääverson nivelvälien pituus (cm)	Pääverson läpimitta tyvellä (mm)	Pääverson läpimitta puolivälissä (mm)
1	1	56,0 $\pm$ 1,1 a	6,3 $\pm$ 0,1	10,3 $\pm$ 0,4 a	9,6 $\pm$ 0,3 a
1	4	49,5 $\pm$ 1,1 b	6,7 $\pm$ 0,1	8,6 $\pm$ 0,2 b	8,0 $\pm$ 0,2 b
2	2	48,5 $\pm$ 1,0 b	6,6 $\pm$ 0,1	8,3 $\pm$ 0,2 b	7,8 $\pm$ 0,2 b
<i>p</i> -arvo		<0,001	ns.	<0,001	<0,001

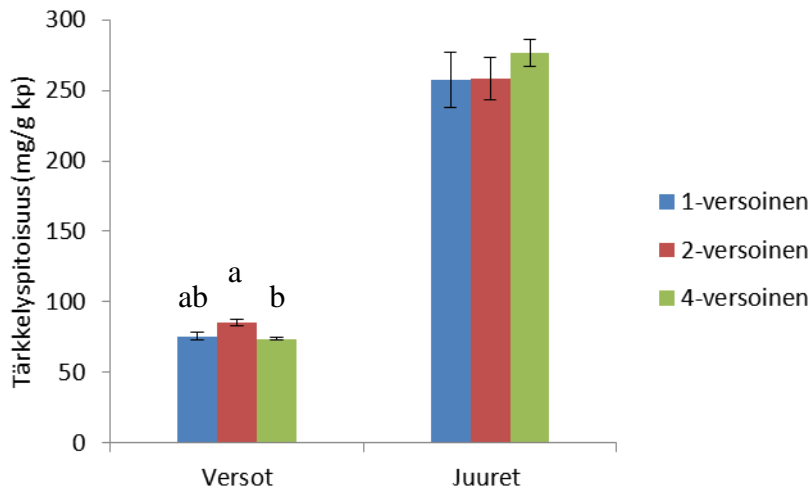
#### 5.1.4 Taimien hiilihydraatti- ja tärkkelyspitoisuudet

Yksi-, kaksi- ja neliversoisten taimien liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuus versoissa ja juurissa määritettiin ennen pakkasvarastointia. Liukoisten hiilihydraattien pitoisuus versoissa oli keskimäärin 64 mg/g kuivap. ja juurissa 55 mg/g kuivap. (kuva 15). Versojen ja juurten liukoisten hiilihydraattien pitoisuuksissa ei ollut eroja eri taimityyppien välillä.



Kuva 15. Vuonna 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten vadelmantaimien versojen ja juurten liukoisten hiilihydraattien pitoisuus ennen pakkasvarastointia. Tulokset ovat yksi- ja kaksiversoisilla 10 kerranteen ja neliversoisilla 5 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe.

Kaksiversoisten taimien versojen tärkkelyspitoisuus oli keskimäärin 85 mg/g kuivap. ja se oli 15 % neliversoisten taimien versojen tärkkelyspitoisuutta suurempi ( $p=0,017$ ). Juurten tärkkelyspitoisuus oli keskimäärin 262 mg/g kuivap. eikä pitoisuuksissa ollut eroja eri taimityyppien välillä (kuva 16).

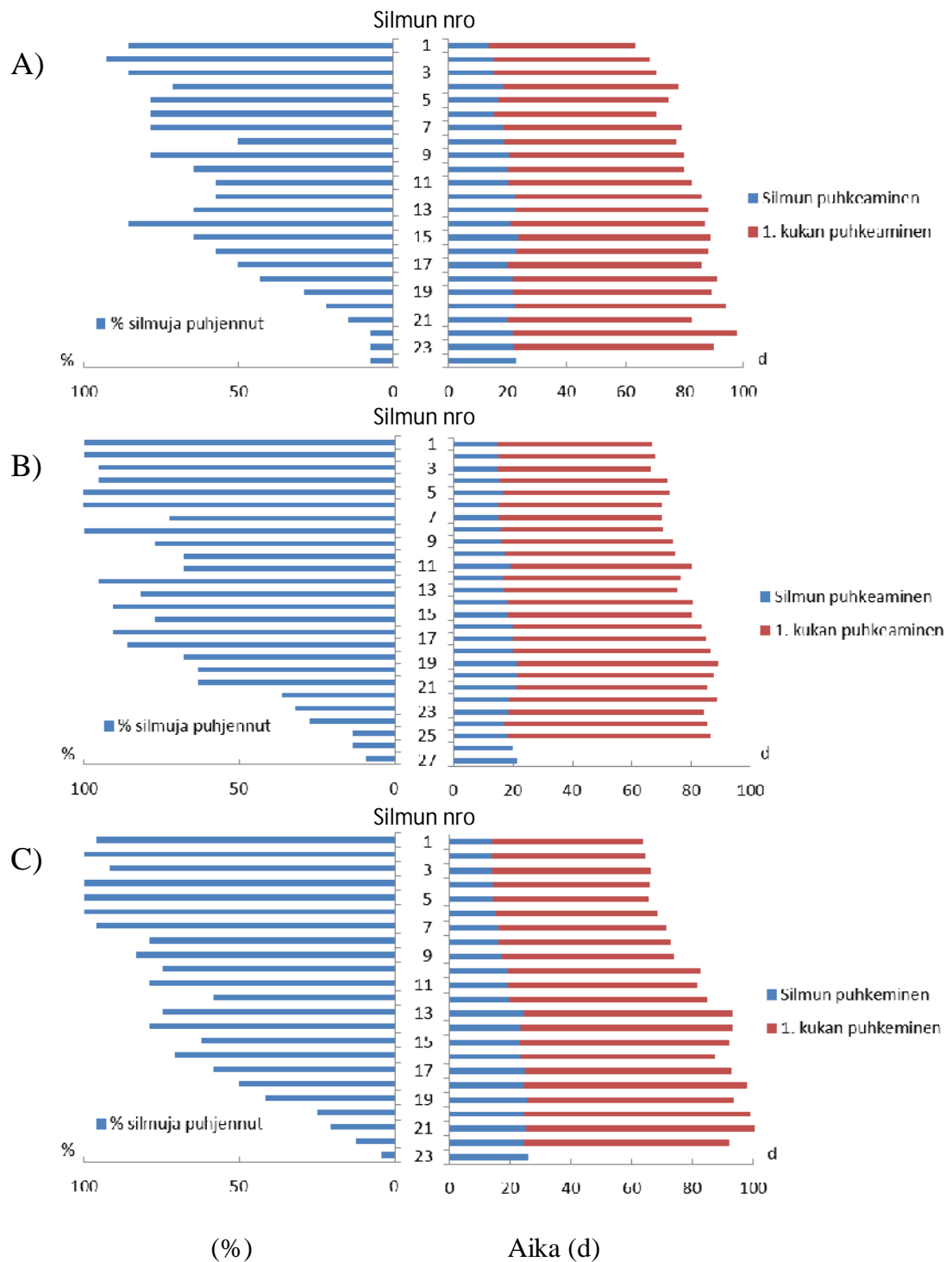


Kuva 16. Vuonna 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten vadelmantaimien versojen ja juurten tärkkelyspitoisuus ennen pakkasvarastointia. Tulokset ovat yksi- ja kaksiversoisilla 10 kerranteen ja neliversoisilla 5 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p<0,05$ ).

#### 5.1.5 Generatiivinen ja vegetatiivinen kasvu hyödön aikana kasvihuoneessa talvella 2012

Suurin osa hyödettävänä talvella 2012 olleiden yksi-, kaksi- ja neliversoisten taimien silmuista puhkesi verson ylimpään kahteen kolmasosaan (kuva 17). Silmujen puhkeamiseen ja ensimmäisen kukan aukeamiseen kulunut aika piteni kaikilla taimilla alaspäin versoja mentäessä. Eri taimityyppien silmut puhkesivat keskimäärin 18-20 vrk kuluessa hyödön alusta ( $p=0,028$ ).

Hankaverson ensimmäisen kukan puhkeamiseen kulunut aika oli kaikilla taimityypeillä sama (kuva 17). Kukinta alkoi kaikissa käsittelyissä keskimäärin 62 vrk kuluttua hyödön alusta. Taimien puhjenneiden silmujen lukumäärässä oli kuitenkin eroja ( $p=0,005$ ). Yksiversoisten taimien havainnoitavana olleista silmuista puhkesi kokeen aikana vähemmän (55 %) kuin neliversoisten taimien silmuista (68 %).



Kuva 17. Kasvukaudella 2011 kasvatettujen A) yksi-, B) kaksi- ja C) neliversoisten ja 14 viikkoa pakkasvarastoitujen vadelmantaimien puhjenneiden silmujen osuus prosentteina sekä silmun ja ensimmäisen kukan puhkeamiseen kulunut aika hyödon alusta hankasilmuittain 6-14 kerranteen keskiarvona. Pystyakselilla silmun numero kärjestä laskettuna.

Yksiversoisten taimien hankaversot olivat neliversoisten taimien hankaversoja keskimäärin 17 % pidempiä (taulukko 6). Kaksiversoiset taimet tuottivat kuitenkin 23 % enemmän hankaversoja pääversoa kohti yksiversoisiin taimiin verrattuna.

Taulukko 6. Vuonna 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten vadelmantaimien hankaversojen keskimääräinen pituus, satoa tuottavien hankaversojen lukumäärä pääversoa kohti sekä pääversion pituus. Tulokset ovat 6-14 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p < 0,05$ ).

Taimityyppi	Hankaversojen pituus (cm)	Satoa tuottavia hankaversoja taimea kohti (kpl)	Pääversion pituus (cm)
1-versoiset	85,7 $\pm$ 2,8 a	11,6 $\pm$ 0,6 a	166 $\pm$ 1,4
2-versoiset	77,4 $\pm$ 2,5 ab	14,3 $\pm$ 0,7 b	167 $\pm$ 0,9
4-versoiset	73,5 $\pm$ 2,1 b	13,1 $\pm$ 0,4 ab	167 $\pm$ 1,1
<i>p</i> -arvo	0,016	0,013	ns.

Hankaversojen kaikkien nivelien lukumäärässä ei ollut eroja eri taimityyppien välillä mutta yksiversoisten taimien hankaversoissa oli 16 % enemmän satoa tuottavia niveliä kuin neliversoissa taimissa ja niiden osuus kaikista nivelistä oli yksiversoissa taimissa suurempi kuin neliversoissa taimissa (66 % ja 58 %) (taulukko 7).

Taulukko 7. Vuonna 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten vadelmantaimien satoa tuottavien ja kaikkien nivelien lukumäärä hankaversoa kohti sekä satoa tuottavien nivelien osuus kaikista nivelistä. Tulokset ovat 6-14 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p < 0,05$ ).

Taimityyppi	Kaikki nivelet hankaversoa kohti (kpl)	Satoa tuottavat nivelet hankaversoa kohti (kpl)	Hankaverson satoa tuottavien nivelien osuus kaikista nivelistä (%)
1-versoiset	20,0 $\pm$ 0,3	13,1 $\pm$ 0,5 a	66 $\pm$ 2,0 a
2-versoiset	19,7 $\pm$ 0,3	12,1 $\pm$ 0,4 ab	61 $\pm$ 1,4 ab
4-versoiset	19,4 $\pm$ 0,3	11,3 $\pm$ 0,3 b	58 $\pm$ 1,3 b
<i>p</i> -arvo	ns.	0,042	0,035

Kaikkien taimityyppien satopotentiaali oli erittäin suuri (taulukko 8). Yksiversoiset taimet tuottivat eniten kukkia pääversoa kohti (988 kpl). Yksiversoisten taimien hankaversoissa oli 47 % enemmän kukkia kuin neliversoissa taimissa. Tilastollisesti kukkien lukumäärässä pääversoa kohti ei kuitenkaan ollut eroja johtuen taimien kukkien lukumäärän suuresta hajonnasta. Neliversoisten taimien satopotentiaali oli yli kolminkertainen yksiversoisiin taimiin verrattuna.

Taulukko 8. Vuonna 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten vadelmantaimien kukkien lukumäärä hankaversoa, pääversoa sekä taimea kohti. Tulokset ovat 6-14 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p < 0,05$ ).

Taimityyppi	Kukkaa hankaversoa kohti (kpl)	Kukkaa pääversoa kohti (kpl)	Kukkaa tainta kohti (kpl)
1-versoiset	88 $\pm$ 7,8 a	988 $\pm$ 74	988 $\pm$ 74 a
2-versoiset	63 $\pm$ 6,0 ab	850 $\pm$ 66	1700 $\pm$ 133 b
4-versoiset	60 $\pm$ 3,7 b	765 $\pm$ 31	3060 $\pm$ 126 c
<i>p</i> -arvo	0,017	ns.	<0,001

Yksiversoisten taimien lehtien, hankaversojen ja pääversion kuivapainot hyödyn päättyessä olivat selvästi vastaavia kaksi- ja neliversoisten taimien kuivapainoja suurempia (taulukko 9). Yksiversoisten taimien lehtien kuivapaino pääversoa kohti oli 39 % ja hankaversojen 49 % suurempi kuin neliversoissa taimilla. Yksiversoisten taimien pääversion kuivapaino oli keskimäärin 61 % suurempi kuin kaksiversoissa ja 41 % suurempi kuin neliversoissa taimilla.

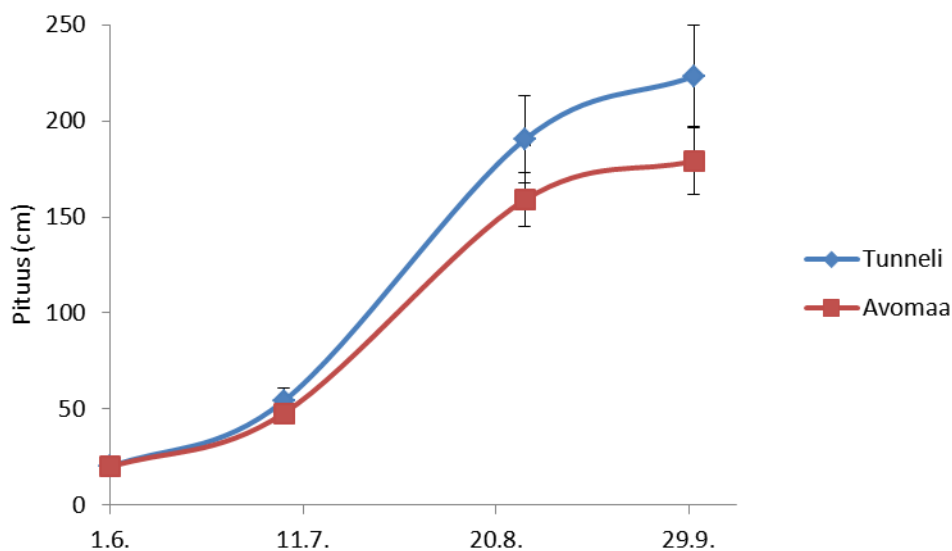
Taulukko 9. Vuonna 2011 kasvatettujen yksi-, kaksi- ja neliversoisten vadelmantaimien lehtien, hankaversojen ja pääversion kuivapaino pääversoa kohti hyödyn lopussa. Tulokset ovat 6-14 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p < 0,05$ ).

Taimityyppi	Kuivapaino pääversoa kohti		
	Lehdet (g)	Hankaversot (g)	Pääverso (g)
1-versoiset	79,2 $\pm$ 5,1 a	44,5 $\pm$ 3,2 a	48,7 $\pm$ 3,6 a
2-versoiset	66,9 $\pm$ 3,5 ab	34,4 $\pm$ 2,8 ab	30,2 $\pm$ 2,1 b
4-versoiset	57,1 $\pm$ 1,9 b	29,9 $\pm$ 1,1 b	34,5 $\pm$ 1,4 b
<i>p</i> -arvo	0,013	0,008	<0,001

## 5.2 Koe II: Kasvatusolosuhteiden ja varastointiajan vaikutus vadelman satotaimien satopotentiaaliin ja hiilihydraattitalouteen

### 5.2.1 Taimikasvatus 2011

Kasvatuspaikalla oli merkitsevä vaikutus taimien pituuskasvuun kasvukaudella 2011 (kuva 18) ( $p < 0,001$ ). Syyskuun lopulla tehdyssä viimeisessä mittauksessa tunnelissa kasvatetut taimet olivat keskimäärin 44 cm avomaalla kasvatettuja taimia pitempiä. Tunnelissa kasvatettujen taimien pääversoon kehittyi keskimäärin 5,7 niveltä enemmän ja niiden pääversoon nivelväli oli keskimäärin 10 % pidempi avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna (taulukko 10). Verson tyven läpimitta oli avomaalla kasvatetuissa taimissa 7 % suurempi kuin tunnelissa kasvatetuissa taimissa, kun taas tunnelissa kasvatettujen taimien läpimitta verson puolivälissä oli 7 % suurempi kuin avomaalla kasvatetuissa taimissa.



Kuva 18. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen vadelmantaimien pituuskasvu kasvukaudella 2011. Tulokset ovat 80 taimen keskiarvoja  $\pm$  keskihajonta.

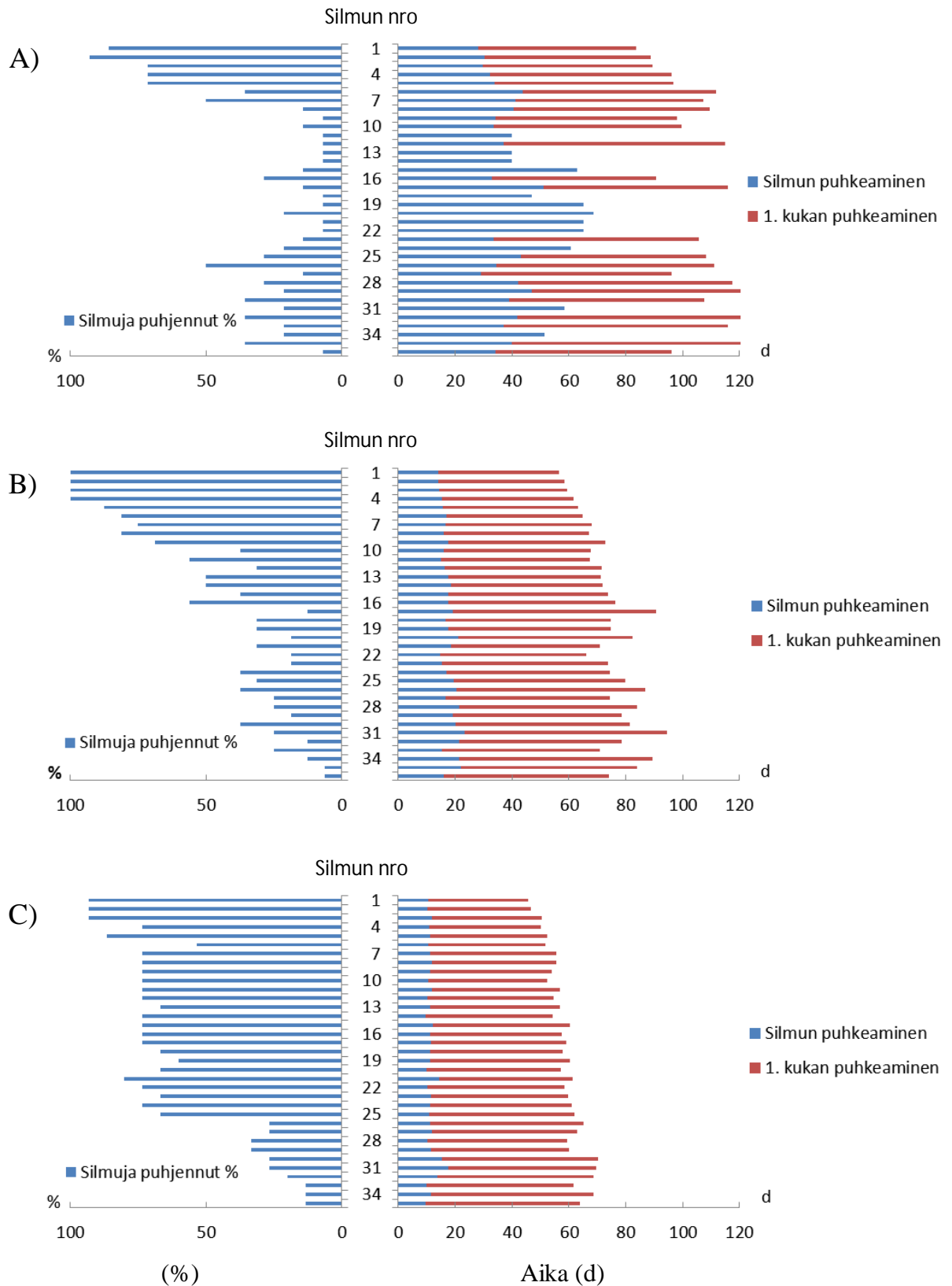
Taulukko 10. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen taimien pääverson nivelien lukumäärä, nivelvälien keskimääräinen pituus ja pääverson läpimitta tyvellä ja verson puolivälissä kasvukauden lopulla 2011. Tulokset ovat 80 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe.

Kasvatus- paikka	Nivelien lukumäärä (kpl)	Nivelvälin pituus (cm)	Läpimitta pääverson tyvellä (mm)	Läpimitta pääverson puolivälissä (mm)
Avomaa	49,0 $\pm$ 0,4	3,9 $\pm$ 0,02	9,0 $\pm$ 0,1	7,7 $\pm$ 0,1
Tunneli	54,7 $\pm$ 0,6	4,3 $\pm$ 0,1	8,4 $\pm$ 0,1	8,2 $\pm$ 0,1
<i>p</i> -arvo	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

### 5.2.2 Hyötö kasvihuoneessa 2011–2012

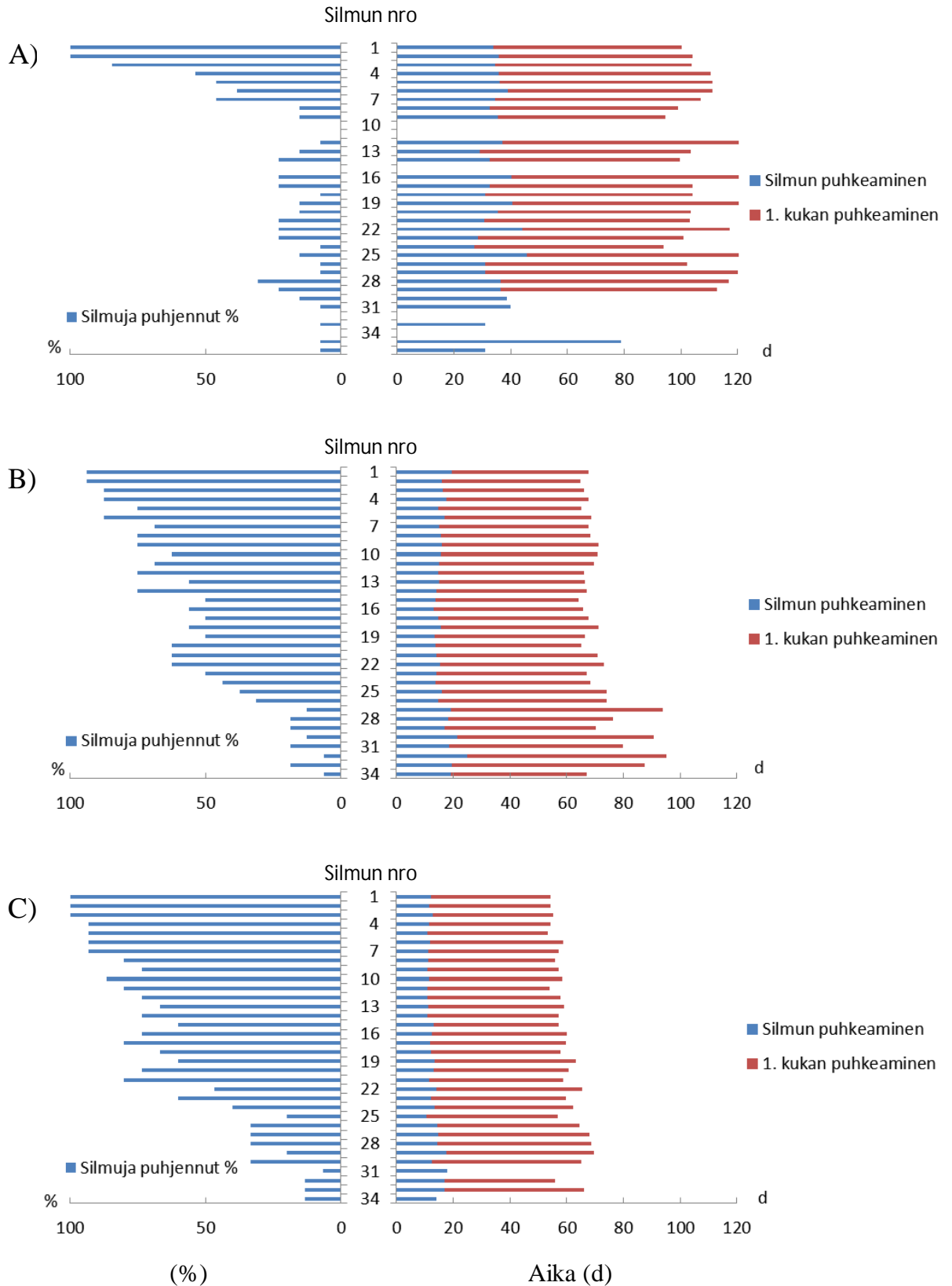
Taimia pakkasvarastoitiin talven 2011-2012 aikana kolme eripituista jaksoa (4, 12 ja 20 vkoa), minkä jälkeen taimet hyödettiin kasvihuoneessa satopotentialin laskemista varten (kuvat 19 ja 20). Varastointiajan pidentäminen lisäsi merkittävästi silmujen puhkeamista ( $p < 0,001$ ) ja nopeutti kukinnan alkamista ( $p < 0,001$ ). Myös ero puhjenneiden silmujen suhteellisessa lukumäärässä eripituisia jaksoja pakkasvarastoitujen taimien välillä oli merkittävä ( $p < 0,001$ ). Kaksikymmentä viikkoa pakkasvarastoitujen taimien silmut puhkesivat nopeimmin ja puhkeaminen oli eri käsittelyistä tasaisinta koko verson matkalla (kuvat 19 ja 20). Kaksikymmentä viikkoa varastoitujen taimien silmut puhkesivat keskimäärin 12 vrk kuluessa hyödyn alusta. Neljä viikkoa varastoitujen taimien silmut puhkesivat keskimäärin 25 vrk ja 12 viikkoa varastoitujen taimien keskimäärin 5 vrk myöhemmin kuin 20 viikkoa varastoitujen taimien. Neljä viikkoa varastoitujen taimien silmujen puhkeaminen oli hyvin epätasaista ja painottui verson ylä- ja avomaalla kasvatetuilla taimilla myös verson alaosiin.

Varastointiajan pidentyessä puhjenneiden silmujen lukumäärä kasvoi. Kaksikymmentä viikkoa varastoiduissa taimissa oli keskimäärin 26 % enemmän puhjenneita silmuja 12 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna ja 124 % enemmän puhjenneita silmuja 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna. Myös kukinnan alkamisessa oli suuri ero eripituisia jaksoja varastoitujen taimien välillä. Kaksikymmentä viikkoa pakkasvarastoidut taimet aloittivat kukinnan keskimäärin 45 vrk kuluessa hyödyn alusta. Neljä viikkoa varastoiduilla taimilla kukinta alkoi keskimäärin 23 vrk myöhemmin ja 12 viikkoa varastoiduilla taimilla keskimäärin 7 vrk myöhemmin 20 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna.



Kuva 19. Avomaalla kasvatettujen ja A) 4, B) 12, ja C) 20 viikkoa pakkasvarastoitujen vadelmantaimien puhjenneiden silmujen osuus prosentteina sekä silmun ja ensimmäisen kukan puhkeamiseen kulunut aika hyödon alusta hankasilmuittain 13-16 kerranteen keskiarvona. Pystyakselilla silmun numero kärjestä laskettuna.





Kuva 20. Tunnelissa kasvatettujen ja A) 4, B) 12, ja C) 20 viikkoa pakkasvarastoitujen vadelmantaimien puhjenneiden silmujen osuus prosentteina sekä silmun ja ensimmäisen kukan puhkeamiseen kulunut aika hyödon alusta hankasilmuittain 13-16 kerranteen keskiarvona. Pystyakselilla silmun numero kärjestä laskettuna.

Kasvatuspaikalla ei ollut vaikutusta hankaversojen lukumäärään mutta varastointiajan pidentyessä hankaversojen lukumäärä taimea kohti kasvoi (taulukko 11). Kaksikymmentä viikkoa pakkasvarastoiduissa taimissa oli satoa tuottavia hankaversoja 138 % enemmän 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna ja 18 % enemmän 12 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna.

Kasvatuspaikalla oli merkitsevä vaikutus taimien hankaversojen pituuteen (taulukko 11). Tunnelissa kasvatettujen taimien hankaversot olivat avomaalla kasvatettujen taimien hankaversoja keskimäärin 7-14 % pidempiä varastointiajasta riippuen. Kaksisuuntaisessa varianssianalyysissä myös varastointiajalla oli merkitsevä vaikutus vadelmantaimien hankaversojen pituuteen mutta parivertailuissa kasvatuspaikoittain eri varastointiaikojen välillä hankaversojen pituudessa ei kuitenkaan ollut eroa.

Taulukko 11. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen vadelmantaimien hankaversojen pituus ja lukumäärä taimea kohti kolmen eri pakkasvarastointijakson (4, 12, 20 vkoa) jälkeen hyödyn päättyessä. Tulokset ovat 13-16 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Saman kasvatuspaikan eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti toisistaan ( $p < 0,05$ ).

Kasvatuspaikka	Varastointiaika	Hankaverson pituus (cm)	Satoa tuottavia hankaversoja taimea kohti (kpl)
Avomaa	4 vko	51,5 $\pm$ 2,9	7,4 $\pm$ 0,7 a
	12 vko	56,5 $\pm$ 2,3	13,9 $\pm$ 0,8 b
	20 vko	59,5 $\pm$ 2,4	16,5 $\pm$ 0,3 b
Tunneli	4 vko	58,8 $\pm$ 3,3	7,5 $\pm$ 0,6 A
	12 vko	62,4 $\pm$ 2,5	15,4 $\pm$ 1,4 B
	20 vko	63,5 $\pm$ 1,2	18,0 $\pm$ 1,0 B
<i>p</i> -arvo			
	Varastointiaika	0,046	<0,001
	Kasvatuspaikka	0,006	ns.
	Yhdysvaikutus	ns.	ns.

Kasvatuspaikka vaikutti merkitsevästi 4 viikkoa ( $p=0,002$ ) ja 12 viikkoa ( $p=0,004$ ) varastoitujen taimien hankaversojen kaikkien nivelien lukumäärään (taulukko 12). Tunnelissa kasvatettujen taimien hankaversoissa oli varastointiajasta riippuen 11-16 % enemmän niveliä avomaalla kasvatettujen taimien hankaversoihin verrattuna.

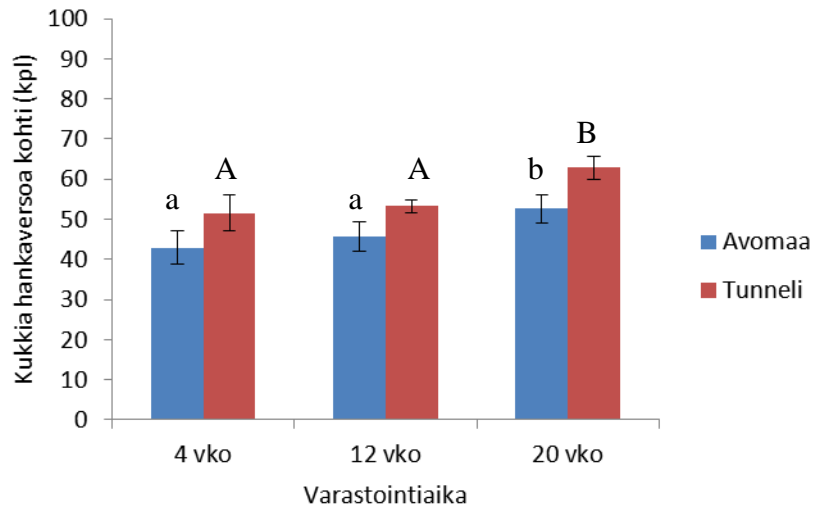
Varastointiajan pidentäminen lisäsi sekä hankaversojen kaikkien nivelien että satoa tuottavien nivelien lukumäärää (taulukko 12). Myös satoa tuottavien nivelien osuus kaikista nivelistä suureni. Kaksikymmentä viikkoa varastoitujen taimien hankaversoissa oli keskimäärin 11 % enemmän kaikkia niveliä ja 31 % enemmän satoa tuottavia niveliä 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna. Satoa tuottavien nivelien osuus oli 20 viikkoa varastoiduilla taimilla keskimäärin 56 % ja 4 viikkoa varastoiduilla keskimäärin 67 %.

Taulukko 12. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen ja kolmen eri pakkasvarastointijakson (4, 12, 20 vkoa) jälkeen hyödettyjen vadelmantaimien hankaversojen kaikkien ja satoa tuottavien nivelien lukumäärä sekä satoa tuottavien nivelien osuus kaikista nivelistä hyödon päättyessä. Tulokset ovat 13-16 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Saman kasvatuspaikan eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti toisistaan ( $p<0,05$ ).

Kasvatuspaikka	Varastointiaika	Hankaverson kaikki nivelet (kpl)	Hankaverson satoa tuottavat nivelet (kpl)	Satoa tuottavien nivelien osuus kaikista nivelistä (%)
Avomaa	4 vko	14,5 $\pm$ 0,5 a	8,7 $\pm$ 0,4 a	57 $\pm$ 2,3 a
	12 vko	15,5 $\pm$ 0,4 a	9,9 $\pm$ 0,5 ab	63 $\pm$ 2,1 ab
	20 vko	17,0 $\pm$ 0,4 b	11,2 $\pm$ 0,5 b	65 $\pm$ 2,2 b
Tunneli	4 vko	16,8 $\pm$ 0,4	9,2 $\pm$ 0,4 A	54 $\pm$ 2,0 A
	12 vko	17,2 $\pm$ 0,4	10,6 $\pm$ 0,4 B	61 $\pm$ 2,5 A
	20 vko	17,7 $\pm$ 0,2	12,3 $\pm$ 0,2 C	69 $\pm$ 0,8 B
<i>p</i> -arvo	Varastointiaika	<0,001	<0,001	<0,001
	Kasvatuspaikka	<0,001	0,029	ns.
	Yhdysvaikutus	ns.	ns.	ns.

Tunnelissa kasvatettujen taimien hankaversoissa oli varastointiajasta riippuen 13-28 % enemmän kukkia avomaalla kasvatettujen taimien hankaversoihin verrattuna ( $p=0,013$ ) (kuva 21). Kukkien lukumäärä hankaversoa kohti suureni myös varastointiajan

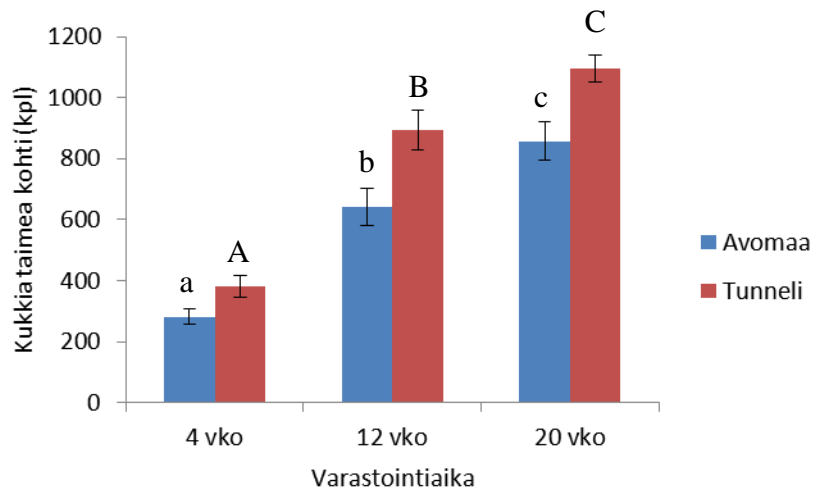
pidentyessä ( $p=0,003$ ). Kaksikymmentä viikkoa varastoitujen taimien hankaversoissa oli keskimäärin 22 % enemmän kukkia 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna ja 17 % enemmän kukkia 12 viikkoa varastoituihin verrattuna.



Kuva 21. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen ja kolmen eri pakkasvarastointijakson (4, 12, 20 vkoa) jälkeen hyödettyjen vadelmantaimien hankaversojen satopotentiaali (kukkia kpl/hankaverso). Tulokset ovat 13-16 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat kasvatuspaikoittain toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p<0,05$ ).

Sekä vuoden 2011 kasvatuspaikalla että varastointiajalla oli merkitsevä vaikutus taimien satopotentiaaliin ( $p<0,001$ ) (kuva 22). Tunnelissa vuonna 2011 kasvatetut taimet tuottivat varastointiajasta riippuen 28-40 % enemmän kukkia avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Neljä viikkoa varastoitujen tunnelissa ja avomaalla kasvatettujen taimien ero satopotentiaalissa oli suuntaa-antava ( $p=0,058$ ) mutta 12 ja 20 viikkoa varastoiduilla taimilla ero kasvatuspaikkojen välillä oli merkitsevä ( $p=0,019$ ;  $p=0,005$ ).

Suurin satopotentiaali oli tunnelissa kasvatetuilla ja 20 viikkoa varastoiduilla taimilla, jotka tuottivat keskimäärin 1097 kukkaa taimea kohti (kuva 22). Kaksikymmentä viikkoa varastoitujen taimien satopotentiaali oli siten lähes kolminkertainen neljä viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna, joiden kukkien lukumäärä hyödyn lopussa oli keskimäärin 332 kpl taimea kohti.



Kuva 22. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen ja kolmen eri pakkasvarastointijakson (4, 12, 20 vkoa) jälkeen hyödettyjen vadelmantaimien satopotentiaali (kukkia kpl/taimi). Tulokset ovat 13-16 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat kasvatuspaikoittain toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ ).

Tunnelissa kasvatettujen taimien lehtien, hankaversojen ja pääverson kuivapainot olivat avomaalla kasvatettujen taimien kuivapainoja suurempia (taulukko 13). Myös varastointiajalla oli merkitsevä vaikutus lehtien ja hankaversojen kuivapainoihin. Kaksikymmentä viikkoa varastoitujen taimien lehtien kuivapaino oli keskimäärin 192 % suurempi 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna ja keskimäärin 34 % suurempi 12 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna. Hankaversojen kuivapaino oli keskimäärin 251 % suurempi 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna ja 33 % suurempi 12 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna.

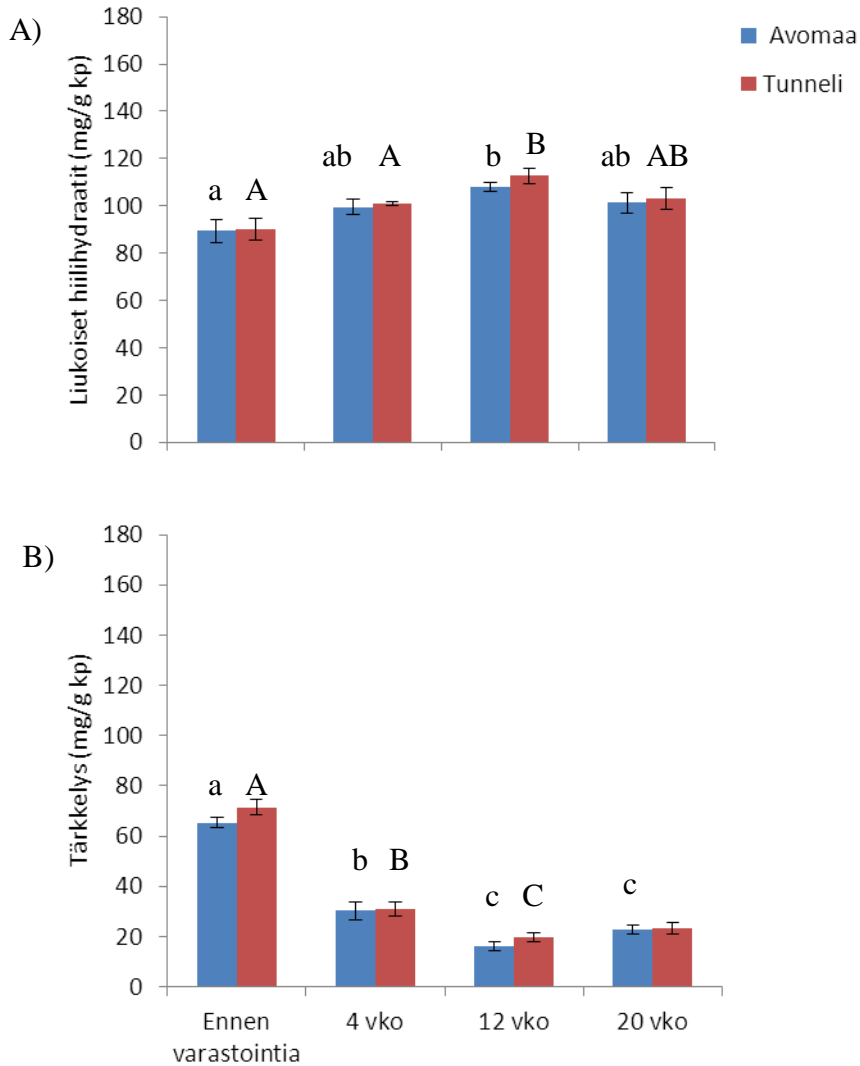
Avomaalla kasvatettujen taimien pääversojen kuivapainot eivät eronneet toisistaan. Tunnelissa kasvatettujen taimien pääversoista 20 viikkoa varastoitujen taimien pääversojen kuivapaino oli 15 % suurempi sekä 4 että 12 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna.

Taulukko 13. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen ja kolmen eri pakkasvarastointijakson (4, 12, 20 vko) jälkeen hyödettyjen vadelmantaimien lehtien, hankaversojen ja pääverson kuivapaino taimea kohti hyödyn päättyessä. Tulokset ovat 13–16 kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Saman kasvatuspaikan eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat kasvatuspaikoittain toisistaan ( $p < 0,05$ ).

Kasvatuspaikka	Varastointiaika	Kuivapaino (g)		
		Lehdet	Hankaversot	Pääverso
Avomaa	4 vko	28,4 $\pm$ 1,5 a	10,6 $\pm$ 0,8 a	28,6 $\pm$ 1,3
	12 vko	59,5 $\pm$ 4,4 b	30,1 $\pm$ 2,0 b	29,5 $\pm$ 1,1
	20 vko	74,2 $\pm$ 5,5 c	39,5 $\pm$ 1,7 c	32,5 $\pm$ 0,9
Tunneli	4 vko	30,1 $\pm$ 2,7 A	14,5 $\pm$ 0,6 A	34,2 $\pm$ 1,2 A
	12 vko	68,5 $\pm$ 6,8 B	36,3 $\pm$ 2,7 B	33,3 $\pm$ 0,7 A
	20 vko	96,7 $\pm$ 3,2 C	48,5 $\pm$ 1,9 C	39,5 $\pm$ 0,4 B
<i>p</i> -arvo				
	Kasvatuspaikka	0,005	<0,001	<0,001
	Varastointiaika	<0,001	<0,001	<0,001
	Yhdysvaikutus	ns.	ns.	ns.

### 5.2.3 Hiilihydraatti- ja tärkkelyspitoisuudet

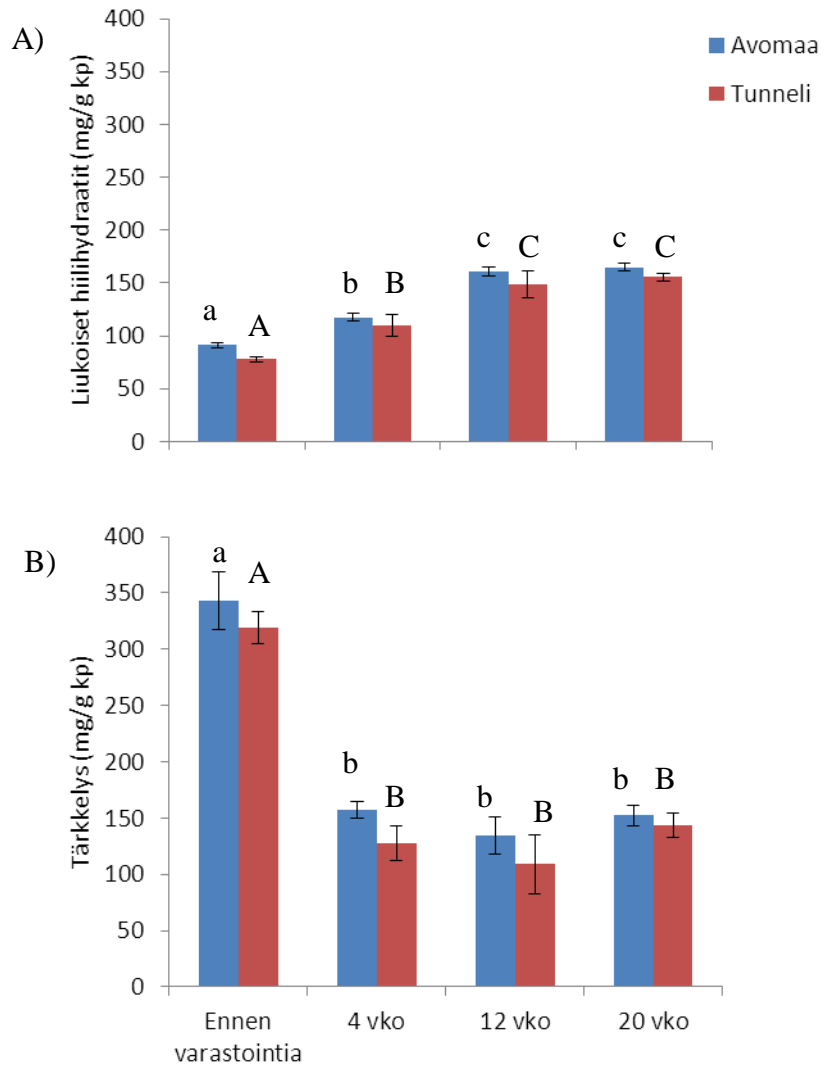
Kasvatuspaikka ei vaikuttanut versojen liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuuksiin. Varastointiajalla sen sijaan oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus sekä versojen liukoisten hiilihydraattien että tärkkelyksen pitoisuuteen ( $p < 0,001$ ) (kuva 23). Varastoimattomien taimien versojen liukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli 90 mg/g kuivap. ja 12 viikkoa varastoiduilla taimilla se oli 23 % suurempi. Versojen tärkkelyspitoisuus ennen varastointia oli 68 mg/g kuivap. (kuva 22). Neljän viikon varastoinnin jälkeen versojen tärkkelyspitoisuus oli 55 % alhaisempi ja 12 ja 20 viikon varastoinnin jälkeen 70 % alhaisempi kuin ennen varastointia.



Kuva 23. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen vadelmantaimien versojen A) liukoisten hiilihydraattien ja B) tärkkelyksen pitoisuus ennen varastointia sekä kolmen eri pakkasvarastointijakson (4, 12, 20 vkoa) jälkeen. Tulokset ovat viiden kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Saman kasvatuspaikan eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p < 0,05$ ).

Varastointiajan vaikutus juurten liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuuteen oli merkitsevä ( $p < 0,001$ ) (kuva 24). Juurten liukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli korkeimmillaan 12 ja 20 viikkoa varastoiduilla taimilla (keskimäärin 158 mg/g kuivap.). Tämä oli 87 % enemmän kuin varastoimattomissa juurissa ja 39 % enemmän kuin 4 viikkoa varastoiduissa juurissa. Avomaalla kasvatettujen taimien juurten liukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli varastointiajasta riippuen keskimäärin 6-17 % suurempi tunnelissa kasvatettuihin taimiin verrattuna ( $p = 0,026$ ). Kasvatuspaikka ei vaikuttanut

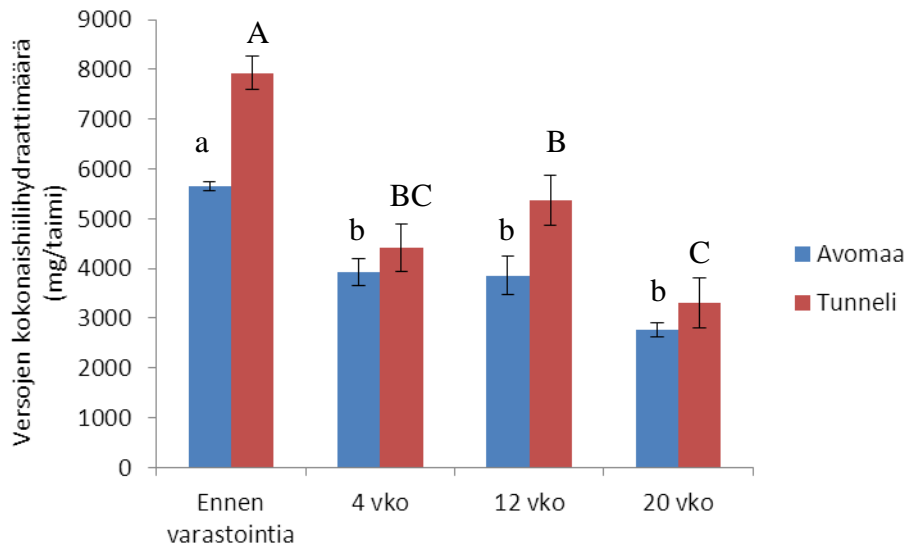
juurten tärkkelyspitoisuuteen. Juurten tärkkelyspitoisuus ennen varastointia oli 331 mg/g kuivap. ja se pieneni 4 viikon varastointijakson aikana keskimäärin 59 % eikä sen jälkeen muuttunut. Neljä, 12 ja 20 viikkoa varastoitujen taimien välillä juurten tärkkelyspitoisuudessa ei ollut tilastollista eroa.



Kuva 24. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen vadelmantaimien juurten A) liukoisten hiilihydraattien ja B) tärkkelyksen pitoisuus ennen varastointia sekä kolmen eri pakkasvarastointijakson (4, 12, 20 vkoa) jälkeen. Tulokset ovat viiden kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Saman kasvatuspaikan eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p < 0,05$ ).



Sekä kasvatuspaikka ( $p < 0,001$ ) että varastointiaika ( $p < 0,001$ ) vaikuttivat versojen liukoisten hiilihydraattien kokonaismäärään taimea kohti (kuva 25). Tunnelissa kasvatettujen taimien versojen hiilihydraattivarannot olivat varastointiajasta riippuen keskimäärin 12-40 % suuremmat kuin avomaalla kasvatetuilla taimilla. Versojen kokonaishiilihydraattimäärä pieneni jokaisen varastointijakson jälkeen. Neljä ja 12 viikkoa varastoitujen taimien kokonaishiilihydraattimäärä oli keskimäärin 35 % alhaisempi ja 20 viikkoa varastoitujen taimien kokonaishiilihydraattimäärä oli keskimäärin 55 % alhaisempi kuin ennen varastointia.



Kuva 25. Avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen vadelmantaimien versojen hiilihydraattien kokonaismäärä taimea kohti ennen varastointia sekä kolmen eri pakkasvarastointijakson (4, 12, 20 vkoa) jälkeen. Tulokset ovat viiden kerranteen keskiarvoja  $\pm$  keskiarvon keskivirhe. Saman kasvatuspaikan eri kirjaimilla merkityt tulokset eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ( $p < 0,05$ ).

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Kasvatusolosuhteiden vaikutus vegetatiiviseen kasvuun

Vadelman vegetatiivinen ja generatiivinen kasvu on voimakkaasti ympäristötekijöiden säätelemää, ja etenkin lämpötila edistää huomattavasti vadelman pituuskasvua (Hoover ym. 1989, Sønsteby ym. 2009). Kokeessa I vuonna 2010 tunnelissa kasvatettujen yksi- ja kaksiversoisten taimien keskimääräinen pituus oli 165 cm ja ne kasvoivat 27 % avomaalla kasvatettuja taimia pidemmiksi. Sama tulos havaittiin myös kokeen II taimikasvatuksen aikana vuonna 2011, kun tunnelissa kasvatettujen taimien keskipituus oli 223 cm ja ne olivat keskimäärin 25 % avomaalla kasvatettuja taimia pitempiä. Ero johtui molemmissa tutkimuksissa sekä tunnelissa kasvatettujen taimien suuremmasta nivelien lukumäärästä että pidemmistä nivelväleistä. Kokeessa I kasvukauden 2010 aikana avomaalla ja tunnelissa kertyneet tehoisat lämpösummat (1208 °C ja 1223 °C) eivät merkittävästi eronneet toisistaan mutta kokeessa II kasvukaudella 2011 taimikasvatusvaiheen aikana avomaalla ja tunnelissa kasvatettujen taimien tehoisan lämpösumman kertymisessä oli kuitenkin merkittävä ero (1508 °C ja 1650 °C). Hooverin ym. (1989) tutkimuksessa lämpösumman kertyminen korreloi voimakkaasti vadelmanverson pituuskasvun kanssa. Kuitenkin Heibergin ym. (2008) tutkimuksessa sadesuojan alla kasvatetut taimet kasvoivat avomaalla kasvatettuja taimia selvästi pidemmiksi, vaikka lämpötiloissa kasvatuspaikkojen välillä ei ollut merkittävää eroa. Omassa tutkimuksessani sekä kokeessa I että II avomaalla kasvatettujen taimien tyven paksuus oli tunnelissa kasvatettuja suurempi mutta verson puolivälissä tilanne oli päinvastainen. Avomaalla kasvatettujen taimien paksumpi tyvi johtui todennäköisesti tuulen verson vankistavasta vaikutuksesta. Tuuli on omassa kokeessani todennäköisesti vaikuttanut myös vadelmantaimien kasvuun, sillä esimerkiksi Privén ja Allainin (2000) tutkimuksessa tuulensuojassa kasvaneet tukemattomat taimet kasvoivat selvästi suojaamattomia taimia pidemmiksi. Tuulensuoja lisäsi erityisesti taimien kuivapainoa ja tutkimuksessa tuulelta suojatut taimet tuottivat myös suuremman sadon.

Kokeessa I avomaalla vuonna 2010 kasvatetut taimet kärsivät merkittävästi enemmän vaurioita pakkasvarastoinnin aikana tunnelissa kasvatettuihin taimiin verrattuna. Avomaalla kasvatettujen taimien verson latvaosasta kuoli keskimäärin 23 %, kun taas tunnelissa kasvatettujen taimien kuolleen versonosan pituus oli vain 7 % taimen koko

pituudesta. Gillespien ym. (1999) mukaan liian aikainen varastointi voi merkittävästi vaikuttaa taimien kasvuunlähtöön varastoinnin jälkeen. Iso-Britanniassa ennen lokakuuta varastoiduista taimista 0–16 % ja lokakuun jälkeen varastoiduista taimista 80 % selvisi varastoinnin yli. Taimien selviytyminen varastoinnin aikana on siis osittain riippuvainen niiden tuleentumisen asteesta (Brennan ym. 1999). Omassa tutkimuksessani kokeessa I tunnelissa kasvatetut taimet olivat lepoon indusoivissa olosuhteissa (15 h, 15 °C) pidempään (yli 10 viikkoa) ennen varastointia kuin avomaalla kasvatetut taimet (lähes 8 viikkoa). Olosuhteet lepotilan saavuttamiseen ovat todennäköisesti molemmilla kasvatuspaikoilla olleet kuitenkin riittävät mutta tunnelissa kasvatetut taimet ovat saattaneet silti olla pidemmälle tuleentuneet. Sønstebyn ja Heiden (2008) mukaan vadelma saavuttaa täyden lepotilan oltuaan 5–6 viikkoa indusoivissa olosuhteissa.

Kokeessa I tunnelissa kasvatetut taimet saivat enemmän lannoitteita kastelulannoituksen yhteydessä kasvukauden aikana. Taimien liukoisten hiilihydraattien pitoisuuksia ei tässä kokeessa mitattu. Kokeen II tulosten perusteella (luku 6.6) on kuitenkin todennäköistä, että myös vuonna 2010 tunnelissa kasvatetut taimet sisälsivät enemmän hiilihydraattivarantoja, koska ne kasvoivat avomaalla kasvatettuja taimia suuremmiksi. Koska kasvit käyttävät hiilihydraattivarantoja lepotilan aikana elintoimintoihinsa, on mahdollista että kasvukauden aikana kertyneet hiilihydraattivarannot vaikuttavat taimien selviytymiseen varastoinnin aikana (Lieten ym. 1995). Todennäköinen syy latvaosan kuolemiseen oli kuitenkin versojen kuivuminen varastoinnin aikana, sillä ilmankierto varastossa oli kohtalaisen voimakasta. Taimet varastoitiin pohjasta auki oleviin kuution kokoisiin laatikoihin ja peitettiin haihduttamisen estämiseksi, mikä ei kuitenkaan ollut riittävää. Kokeessa II kiinnitettiin erityistä huomiota taimien pakkaamiseen, eikä vastaavia vaurioita varastoinnin aikana ilmennyt. Tutkimuksessa jäi kuitenkin selvittämättä, vaikuttivatko taimien tuleentumisasteiden tai mahdollisten hiilihydraattivarantojen erot selviytymiseen varastossa.

## **6.2 Versomäärän vaikutus vegetatiiviseen kasvuun**

Kokeessa I kasvukaudella 2011 yksi- ja kaksiversoisiin taimiin annettiin kasvaa uusia kasvoversoja joko 1, 2 tai 4 kpl. Puolet taimista oli kasvatettu vuonna 2010 avomaalla ja puolet tunnelissa mutta kasvatuspaikalla ei ollut merkitsevää vaikutusta vuoden 2011

uusien kasvoversojen kasvuun tai muihin sato- ja kasvuhavaintoihin. Yksi tai neljä uutta kasvoversoa kasvatettiin yksiversoisiin taimiin ja kaksi uutta kasvoversoa kaksiversoisiin taimiin, joten satoversojen lukumäärän vaikutuksesta uusien kasvoversojen kasvuun ja satopotentiaaliin ei voida tehdä pitäviä päätelmiä. Yksiversoiset kasvoivat näistä kolmesta taimityypistä kuitenkin pisimmiksi (335 cm) ja ne olivat 11 % kaksiversoisia pidempiä. Pituusero johtui yksiversoisten suuremmasta nivelien lukumäärästä. Yksi- ja neliversoisten taimien välillä pituudessa ei kuitenkaan ollut eroja. Samanlainen tulos saatiin myös vuonna 2010, jolloin kasvatettujen yksi- ja kaksiversoisten taimien välillä pituudessa ei ollut eroa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella kasvoversojen lukumäärä taimea kohti ei näyttäisi vaikuttavan niiden pituuteen.

Kokeessa I vuonna 2011 kasvatettujen yksiversoisten taimien läpimitta verson tyvellä ja puolivälissä oli selvästi kaksi- ja neliversoisia suurempi. Brennanin ym. (1999) tutkimuksissa harvemmassa kasvaneet taimet olivat tiheässä kasvaneita paksumpia. Myös Buszardin (1986) tutkimuksessa taimitiheydellä ja verson läpimitalla todettiin olevan käänteinen suhde. Harvemmassa kasvaneet taimet olivat paksumpia ja ne tuottivat myös enemmän marjoja hankaversoa kohti. Koska tässä kokeessa yksi-, kaksi- ja neliversoiset taimet kasvoivat vuonna 2011 lohkoittain satunnaistettuna, taimitiheys oli kutakuinkin samanlainen jokaisessa lohossa. Näin ollen kilpailu ravinteista ja toisaalta juuriston kyky ylläpitää uutta kasvustoa saattoi ennemminkin olla taimien rakenteeseen positiivisesti vaikuttava tekijä kuin kasvuston valo-olosuhteet. Whitneyin (1982) mukaan kasvoversot kehittyvät pitkälti juurten hiilihydraattivarastojen turvin, joten yksiversoisessa taimessa, johon annettiin kasvaa yksi uusi kasvoverso, oli vähemmän kilpailua ravinteista kuin taimilla, joihin annettiin kasvaa kaksi tai neljä uutta versoa.

### **6.3 Kasvatusolosuhteiden vaikutus satopotentiaaliin ja satoon**

Kokeessa I vuonna 2010 kasvatettujen satotaimien satopotentiaali oli erittäin suuri. Tunnelissa kasvatetut yksi- ja kaksiversoiset taimet tuottivat keskimäärin 45-58 % suuremman sadon vastaaviin avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Suurempi sato johtui etenkin siitä, että tunnelissa kasvatetut taimet tuottivat 34-56 % enemmän hankaversoja pääversoa ja 48-68 % enemmän marjoja taimea kohti. Myös marjojen

lukumäärä hankaversoa kohti oli tunnelissa kasvatetuissa taimissa suurempi. Huonojen marjojen osuus koko sadosta oli vain noin 3 % ja marjamäärien perusteella taimet pystyivät käyttämään hyödyksi satopotentiaalista keskimäärin 83 %. Kokeessa I vuonna 2010 kasvatettuja taimia ei latvottu ollenkaan, joten hyödettäessä taimiaines oli jossain määrin epätasaista. Tämän ajateltiin kuitenkin kuvastavan olosuhteita käytännön viljelyssä. Tunnelissa kasvatettujen taimien parempi sadontuottokyky perustui siten osittain tunnelin olosuhteiden positiiviseen vaikutukseen verson pituuskasvuun ja osittain versojen parempaan selviytymiseen varastoinnin aikana.

Myös kokeessa II tunnelissa kasvatetut taimet tuottivat varastointiajasta riippuen keskimäärin 13-28 % enemmän kukkia hankaversoa ja 28-40 % enemmän kukkia pääversoa kohti avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Molempien kokeiden tulokset ovat samansuuntaisia Heibergin ym. (2008) tutkimusten kanssa, jossa sadesuojan alla tai tunnelissa kasvatetut taimet tuottivat 23–33 % suuremman sadon avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Myös marjojen ja hankaversojen lukumäärä oli tunnelissa kasvatetuilla taimilla suurempi.

Suomessa vadelman keskisato on viime vuosina vaihdellut 1000–1500 kg/ha välillä (Puutarhatilastot 2012). Tämän tutkimuksen kaksiversoisia tunnelissa kasvatettuja taimia käyttämällä ja tutkimuksessa käytetyllä taimitiheydellä 10 000 tainta/ha (taimiväli 40 cm, riviväli 150 cm, 2 versoa/m<sup>2</sup>) hehtaarisato olisi lähes 30 000 kg ja yksiversoisillakin taimilla noin 23 000 kg/ha. Tavanomaisessa peltoviljelyssä parilankatuennassa versotiheys on noin 8-10 versoa rivimetriä kohti eli noin 25 000-30 000 versoa/ha (2,5-3 versoa/m<sup>2</sup>). Peltoviljelytiheydellä tämän tutkimuksen kaksiversoisilla taimilla (~4 tainta/rivimetri) hehtaarisato olisi siten noin 40 000 kg. Avomaaviljelyssä tämän kaltaisia satotasoja tuskin on kuitenkaan mahdollista Suomen olosuhteissa saavuttaa. Vadelman satotaimien satopotentiaali taimea kohti on noussut voimakkaasti viime vuosien aikana. Fabyn (1993) tutkimuksessa Glen Prosen –lajikkeen satotaimet tuottivat parhaimmillaan 900 g marjoja taimea kohti ja Heiberg ym. (2008) tutkimuksessa Glen Ample ja Glen Moy –lajikkeen taimet parhaimmillaan 1200 g marjoja taimea kohti. Kun sekä taimikasvatus että sadontuotto tapahtuvat tarkkaan optimoiduissa olosuhteissa, yksiversoisista vadelman satotaimista on mahdollista saada jopa 4 kg:n satoja (Sønsteby ym. 2009).

Tunnelissa kasvatettujen taimien suuri satopotentiali on mahdollisesti ollut seurausta myös pitkästä kukka-aiheiden indusoitumisen mahdollistavasta ajanjaksosta kasvukauden lopulla. Williamsin (1959b) sekä myöhemmin Sønstebyn ja Heiden (2008) tutkimuksissa todettiin että kesävadelman kriittinen lämpötilaraja lyhyessä päivässä (<15h) lepotilaan vaipumiselle sekä kukka-aiheiden indusoitumiselle on 15 °C. Omassa tutkimuksessani kokeessa I vuonna 2010 avomaalla kasvatetut taimet olivat vastaavissa olosuhteissa noin 8 viikkoa ja tunnelissa kasvatetut yli 10 viikkoa ennen varastointia. Kukka-aiheet alkavat erilaistua kolmen viikon kuluttua indusoivissa olosuhteissa (Sønsteby ja Heide 2008). Tunnelissa kasvatettujen taimien kukka-aiheiden voidaan olettaa erilaistuneen pidemmälle kuin avomaalla kasvatetuissa taimissa ennen varastointia. Kokeessa I tunnelissa kasvatettujen taimien kukinta alkoi keskimäärin 6-8 vrk avomaalla kasvatettuja taimia aikaisemmin. Siten pidempi ajanjakso indusoivissa olosuhteissa on voinut aikaistaa tunnelissa kasvatettujen satotaimien kukintaa.

Tunnelissa kasvatettujen taimien kukinnan aikaistuminen saattoi johtua myös niiden suuremmista hiilihydraattivarannoista alkukevällä, sillä esimerkiksi Kirschbaum ym. (2012) totesivat, että syksyllä mansikan juuriin ja juurakkoon kertyneet hiilihydraattivarannot vaikuttivat merkittävästi aikaiseen lehtien ja kukintojen puhkeamiseen. Myös White ym. (1999) raportoivat syksyllä annetun typpilannoituksen edistävän silmuja puhkeamista seuraavana keväänä. Siten erityisesti verson mutta myös juurten suuret hiilihydraattivarannot saattavat edistää kukinnan alkua myös vadelmalla. Vaikka omassa tutkimuksessani vuoden 2010 taimien hiilihydraattipitoisuuksia ei määritetty, kokeen II hiilihydraattianalyysien perusteella voidaan olettaa, että tunnelissa kasvatettuihin taimiin on kertynyt enemmän hiilihydraattivarantoja kasvukauden aikana.

Kokeessa II taimikasvatuksen aikana 2011 kasvukauden keskilämpötila laski alle 15 °C:een syyskuun ensimmäisen viikon aikana sekä avomaalla että tunnelissa, jolloin päivänpituus oli selvästi jo alle 15 tuntia. Taimet olivat siten indusoivissa olosuhteissa suurin piirtein yhtä pitkän ajan (8 vkoa), sillä taimet laitettiin pakkasvarastoon yhtä aikaa. Tunnelissa kasvatettujen taimien satopotentiali oli silti merkittävästi suurempi avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Muilla taimikasvatusvaiheen kasvuolosuhteilla kuin lepotilaan indusoivien olosuhteiden kestolla on siten ollut suuri

merkitys satopotentialin muodostumisessa. Tunnelissa tehoisaa lämpösummaa kertyi noin 140 °C enemmän kuin avomaalla mutta Sønstebyn ja Heiden (2008) tutkimuksessa viileässä (9 ja 12 °C) kasvaneiden taimien kukka-aiheiden erilaistuminen alkoi lyhyessä päivässä selvästi lämpimässä (15 °C) kasvaneita taimia aikaisemmin. Lämpimämmässä kasvaneiden taimien kukkien kehitys oli kuitenkin yhtä pitkällä marraskuun alkuun mennessä kuin viileämmässä kasvaneilla taimilla. Myös omassa tutkimuksessani avomaalla kasvatettujen taimien tuleentuminen oli edennyt selvästi tunnelissa kasvatettuja taimia pidemmälle silmämääräisesti tarkasteltaessa ja voidaan olettaa että myös kukka-aiheiden erilaistuminen oli alkanut avomaalla kasvatetuissa taimissa aikaisemmin. Kokeessa II indusoivien olosuhteiden kestolla kukka-aiheiden erilaistumisen aikaan ei voida kuitenkaan kunnolla selittää eroja satopotentialissa kasvatuspaikkojen välillä.

Sekä kokeen I että II taimikasvatuksen aikana kastelu avomaalla ja tunnelissa toimi erillisten tensiometriä ohjauksessa ja sateisesta kesästä johtuen avomaalla kasvatetut taimet saivat kastelulannoituksen yhteydessä selvästi vähemmän ravinteita. Buskiene ja Uselis (2008) tutkivat lannoituksen vaikutusta vadelman satoon ja kasvuun ja tulosten mukaan pelkkä typpilannoituksen lisäys ei vaikuttanut merkittävästi satoon mutta yhdessä kaliumlannoituksen kanssa sekä verson tuottama sato että verson paksuus kasvoivat. Omassa tutkimuksessani kokeessa I yksittäinen tunnelissa kasvanut taimi sai kasvukauden aikana keskimäärin 32 % enemmän typpeä ja 50 % enemmän kaliumia avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Kokeessa II vastaavat luvut olivat 60 % typpeä ja 61 % kaliumia. White ym. (1999) ovat raportoineet syksyllä annetun typpilannoituksen edistävän silmujen puhkeamista keväällä ja siten parantavan satoa. White ym. (1999) päättelivät ravinteiden kerääntyvän silmuun ja siten suurempi ravinteiden saatavuus silmussa saattoi myös vaikuttaa sen lepotilan purkautumiseen. Omassa tutkimuksessani ravinteiden suuremmalla saatavuudella on voinut olla vaikutus vadelmantaimien sadontuottoon, sillä tunnelissa kasvatetut taimet olivat kaiken kaikkiaan paksumpia avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna molemmissa kokeissa. Kokeessa II ennen varastointia hiilihydraattien analysointiin käytettyjen tunnelissa kasvatettujen taimien kuivapaino latvottuna (180 cm) oli 24 % avomaalla kasvatettujen taimien kuivapainoa korkeampi. Tulokset ovat yhteneviä Crandallin ym. (1974) tutkimuksen kanssa, jossa verson paksuus korreloi positiivisesti pääverson ja hankaversojen kukkien lukumäärän kanssa. Vaikka omassa tutkimuksessani

kasvatuspaikkojen välillä liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuudessa ei ollut eroa, oli tunnelissa kasvatettujen taimien hiilihydraattivarannot kuitenkin suuremmat. Varastohiilihydraattien saatavuuden on todettu vaikuttavan suoraan kehittyvien kukkien lukumäärään ja vaikka ohutversoisten taimien hiilihydraattipitoisuus on suurempi, paksumpiversoisilla on enemmän resursseja käytettävänä silmua kohti (Crandall ym. 1974).

#### **6.4 Versomäärän vaikutus satoon**

Kokeessa I avomaalla kasvatetut kaksiversoiset taimet tuottivat 28 % ja tunnelissa kasvatetut 40 % suuremman sadon vastaaviin yksiversoisiin taimiin verrattuna. Pääversoa kohti laskettuna marjalukumäärä ja sato olivat kaksiversoisilla taimilla kuitenkin pienemmät. Nesin ym. (2008) tutkimuksessa harvemmassa kasvaneet Glen Ample –lajikkeen taimet tuottivat suuremman sadon versoa kohti, vaikka kokonaissato hehtaaria kohti oli tiheässä kasvaneilla suurempi. Marjakokoon taimitiheys ei kuitenkaan vaikuttanut vaan sadonlisäys johtui nimenomaan harvemmassa kasvaneiden taimien suuremmasta marjalukumäärästä. Omassa tutkimuksessani kuitenkin sekä avomaalla että tunnelissa kasvatettujen kaksiversoisten taimien marjat olivat keskimäärin 0,6 g pienempiä yksiversoisiin taimiin verrattuna. Ruutiaisen (2004) mukaan tämän tutkimuksen yksiversoisten taimien marjakokoa voidaan kuitenkin luonnehtia Suomen olosuhteissa keskinkertaista suuremmaksi. Buszardin (1986) tutkimuksessa taimien marjakoko ja marjojen lukumäärä hankaversoa kohti kasvoivat satoversojen kilpailun vähentyessä eli alhainen versomäärä rivimetriä kohti suurensi yksittäisen pääversion satoa.

Vuonna 2011 kasvatettujen uusien kasvoversojen lukumäärällä kokeessa I (1, 2 tai 4 kpl) ei vastoin oletusta ollut vaikutusta satoversojen satoon tai muihin satoparametreihin. Tulos on Whitneyyn (1982) tutkimusten mukainen, sillä erilaisten kasvurytmien takia sato- ja kasvoversot eivät kilpaile samoista yhteyttämistuotteista. Satoversojen yhteyttämistuotteet menevät kehittyvien marjojen tuottamiseen, kun taas uudet kasvoversot kasvavat juuriston hiilihydraattivarantojen turvin. Waisterin (1977) tutkimuksessa kasvoversojen poistaminen paransi kuitenkin satoversojen satoa, mutta tulos johtui todennäköisesti satoversojen paremmista valo-olosuhteista.



Näistä kokeen I uusista taimista yksiversoisten satopotentiaali pääversoa kohti (988 kukkaa/verso) oli suurempi kuin kaksi- ja neliversoisilla (850 ja 765 kukkaa/verso), vaikka yksiversoisten taimien hankasilmuista puhkesi kokeen aikana vähemmän (55 %) neliversoisiin taimiin verrattuna (68 %). Suurempi satopotentiaali johtui yksiversoisten taimien suuremmasta kukkien lukumäärästä hankaversoa kohti sekä hankaversojen suuremmasta satoa tuottavien nivelien lukumäärästä vuonna 2012. Vaikka yksiversoisten taimien hankaversot olivat keskimäärin 17 % kaksi- ja neliversoisia taimien hankaversoja pidempiä, hankaversojen nivelien lukumäärässä taimityyppien välillä ei ollut eroa. Yksiversoiset taimet olivat kuitenkin selvästi kaksi- ja neliversoisia taimia kookkaampia. Yksiversoisten taimien verson läpimitta tyvellä ja verson puolivälissä oli keskimäärin 22 % suurempi kaksi- ja neliversoisiin taimiin verrattuna. Tulokset ovat samansuuntaisia vuoden 2011 tulosten ja Crandallin ym. (1974) tutkimuksen kanssa, jossa verson läpimitta korreloi positiivisesti kukkien lukumäärän ja sadon määrän kanssa. Neliversoisten taimien satopotentiaali oli kuitenkin käsittelyistä ylivoimaisesti suurin (3060 kukkaa/taimi). Vuoden 2011 satotulosten perusteella taimet pystyivät käyttämään hyödyksi keskimäärin 83 % sadosta. Jos marjakooksi oletetaan 3,5 g, yksi neliversoinen taimi tuottaisi siten keskimäärin 8,8 kg marjoja. Kokeen I vuoden 2011 versotiheydellä (2 versoa/m<sup>2</sup>), hehtaarisadoksi saataisiin 44 000 kg. Kokeessa I taimen versojen määrän lisääminen yhdestä kahteen kuitenkin selvästi pienensi marjakokoa, joten neliversoisen taimen keskimarjakoko saattaa jäädä hyvinkin pieneksi.

## 6.5 Varastointiajan vaikutus kasvuun ja satoon

Vadelman silmujen lepotilan purkautumiseen tarvitaan tietyn mittainen kylmäjakso, joka vaihtelee niin lajikkeen kuin kasvukauden aikaisten olosuhteiden mukaan (White ym. 1998). Omassa tutkimuksessani silmujen puhkeaminen lisääntyi varastointiaikojen pidentyessä ja samalla myös taimien satopotentiaali suureni. Eniten kukkia tuottivat 20 viikkoa varastoidut taimet (keskimäärin 997 kukkaa/taimi). Kaksikymmentä viikkoa varastoiduissa taimissa oli 26 % enemmän puhjenneita silmuja 12 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna ja 124 % enemmän puhjenneita silmuja 4 viikkoa varastoituihin taimiin verrattuna. Neljä viikkoa varastoitujen taimien silmut puhkesivat keskimäärin 37 vrk kuluessa hyödyn alusta kun taas 20 viikkoa varastoitujen taimien silmujen puhkeaminen vei keskimäärin 12 vrk. Varastointijakson pituudella oli samanlainen

vaikutus myös kukinnan alkamiseen. Neljä viikkoa varastoitujen taimien ensimmäinen kukka puhkesi keskimäärin 68 vrk kuluttua hyödyn alusta kun 20 viikkoa varastoiduilla taimilla ensimmäisen kukan puhkeaminen vei 45 vrk. Palosen ja Lindénin (1999) mukaan Maurin Makea –lajikkeen silmuista puhkesi lokakuussa 5-10 % ja silmujen puhkeamiseen kului lähes 40 vrk, kun huhtikuussa silmuista puhkesi 40-80 % keskimäärin alle 10 vrk. Silmujen puhkeamiseen kulunut aika riippuu pitkälti siis silmun saaman vilutuksen pituudesta. Whiten ym. (1998) tutkimuksessa 1500 h vilutusta (<4 °C) oli riittävä kaikkien silmujen lepotilan purkautumiseen, kun taas Mazzitellin ym. (2007) tutkimuksessa tarvittiin 2500 h tuntia vilutusta myös verson alimpien silmujen lepotilan purkautumiseen. Omassa tutkimuksessani 4 viikkoa varastoitujen taimien saama vilutustuntimäärä (720 h) oli selvästi liian alhainen ja se vähensi ja hidasti silmujen puhkeamista.

Neljä viikkoa varastoiduilla taimilla silmujen puhkeaminen painottui verson yläosaan ja avomaalla kasvatetuilla taimilla myös verson alaosaan keskimmäisten silmujen jäädessä lepoon. Jennings ym. (1986) ovat todenneet samanlaisen ilmiön ('blind bud') Australiassa ja syyksi tähän tutkijat totesivat liian vähäisen vilutuksen mutta myös ympäristötekijöiden kuten tuulen aiheuttama stressi saattoi olla yksi osasy. Verson alimmat silmut tarvitsevat huomattavasti pidemmän ajan lepotilan purkautumiseen kuin verson yläosassa olevat silmut. Whiten ym. (1998) tutkimuksessa todettiin apikaalidominanssin (paradormanssi) vaikuttavan voimakkaasti silmujen puhkeamiseen varsinaisen lepotilan (endodormanssi) purkautumisen jälkeen, jolloin silmujen tarvitsemien vilutustuntien määrä kasvaa alaspäin versoa mentäessä. Mazzitellin ym. (2007) tutkimuksessa kaikkien Glen Ample –lajikkeen verson ylimpien silmujen lepotilan purkautumiseen vaadittavien vilutustuntien määrä oli noin 1900 h. Kun vilutustunteja oli kertynyt yli 2500 h, verson alimmista silmuista oli puhjennut vain 40 %. Omassa tutkimuksessani apikaalidominanssin vaikutuksen lepotilan (endodormanssin) purkautumiseen voi havaita etenkin avomaalla mutta myös tunnelissa kasvatettujen taimien silmujen puhkeamisessa. Vaikka 20 viikkoa varastoidut taimet saivat vilutusta yli 3300 tuntia, osa alimmista silmuista jäi silti lepoon, vaikka vilutuskertymän pitäisi olla riittävä. Silmujen lepoon jäämisen taustalla saattoi olla myös muita syitä, jotka eivät tässä tutkimuksessa tulleet esiin. Vadelman satotaimet selviytyvät pitkistä varastointiajoista kuitenkin hyvin, mikä mahdollistaa suurten vilutustuntien kertymisen (Gillespie 1999). Vaikka Heiberg ym. (2008) raportoivat

varastointiajan pidentämisen pienentävän satoa, Sønstebyn ym. (2009) mukaan tämä johtui kuitenkin satokauden sijoittumisesta myöhään syksyyn. Sønstebyn ym. (2009) tutkimuksessa vähintään 6 kuukauden pakkasvarastointi oli merkittävä tekijä erittäin suuren satopotentialin toteutumisessa.

## 6.6 Hiilihydraattipitoisuudet

Talven aikana avomaalla kasvavien vadelman versojen liukoisten hiilihydraattien pitoisuus suurenee ja tärkkelyksen pitoisuus pienenee ja muutosten on todettu tapahtuvan yhtä aikaa kylmäkaraistumisen kanssa (Palonen 1999). Aikaisemmissa tutkimuksissa vadelman versojen liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuuksia on määritetty avomaalla talvehtineista taimista ja satokauden aikana otetuista näytteistä (Crandall ym. 1974, Palonen 1999, Whitney 1982) mutta varastoiduista vadelman satotaimista vastaavia määrittämiä ei ole aiemmin tehty. Siksi tämän tutkimuksen tuloksia on tarkasteltu osittain mansikan satotaimiin liittyvien tutkimusten kannalta.

Kokeessa II kasvatusolosuhteet vaikuttivat merkittävästi taimen hiilihydraattivarantoihin. Tunnelissa kasvatettujen taimien kokonaishiilihydraattivaranto oli varastointiajasta riippuen keskimäärin 12-40 % suurempi kuin avomaalla kasvatetuissa taimissa. Tunnelissa kasvatettujen taimien versoihin oli siten kertynyt enemmän hiilihydraattivarantoja taimikasvatuksen aikana. Koska liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuuksissa eri kasvatuspaikkojen välillä ei ollut eroa, tunnelissa kasvatettujen taimien suuremmat varannot johtuvat nimenomaan taimien suuremmasta koosta. Tunnelissa kasvatetut taimet kasvoivat keskimäärin 25 % pidemmiksi ja niiden kuivapaino latvottuna (180 cm) ennen varastointia oli keskimäärin 23 % suurempi kuin avomaalla kasvatetuilla taimilla. Taimien hiilihydraattivarannoilla oli todennäköisesti positiivinen vaikutus myös satotaimien sadontuottoon, sillä tunnelissa kasvatetut taimet tuottivat keskimäärin 28-40 % enemmän kukkia avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Tulokset ovat yhteneviä Crandallin ym. (1974) tutkimuksen kanssa, jonka mukaan taimen sisältämä varastohiilihydraattien määrä silmua kohti korreloi positiivisesti kukkien lukumäärän kanssa. Kokeessa I vuonna 2011 kasvatettujen taimien yksiversoisten taimien verson läpimitta oli suurempi kaksi- ja neliversoisiin verrattuna ja myös niiden satopotentiali taimea kohti oli selvästi muita taimityyppejä suurempi. Vaikka yksi-, kaksi- ja neliversoisten taimien

hiilihydraattipitoisuuksissa ei taimityyppien välillä ollut eroja, ovat hiilihydraattien kokonaismäärät hankaversoa kohti todennäköisesti olleet kuitenkin yksiversoisilla suuremmat, sillä niiden versot olivat 22 % kaksi- ja neliversoisia paksumpia. Kokeessa I kasvukauden 2011 aikana viljelyteknisistä syistä johtuen jokainen taimi sai yhtä paljon vettä sekä ravinteita, vaikka satoversojen ja uusien kasvuversojen määrä taimessa vaihteli. Siten yksiversoisilla on ollut käytettävinsä enemmän ravinteita versoa kohti kaksi- ja neliversoisiin taimiin verrattuna, mikä on todennäköisesti vaikuttanut niiden kasvuun.

Omassa tutkimuksessani juurten ja versojen liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuus määritettiin ennen varastointia ja kolmen varastointijakson (4, 12, 20 vkoa) jälkeen. Varastointijaksojen jälkeen hiilihydraattien kokonaisvaranto oli varastointiajasta riippuen 35-55 % pienempi kuin ennen varastointia. Koska versoissa varastointijaksojen aikana hajotetun tärkkelyksen määrä oli suurempi kuin versoon kertyneiden liukoisten hiilihydraattien määrä, voidaan olettaa, että liukoisia hiilihydraatteja on kulunut varastoinnin aikana taimien elintoimintoihin. Lietenin ym. (1995) tutkimuksessa mansikan satotaimia varastoitiin seitsemän eripituista jaksoa (42-259 vrk), joiden aikana hiilihydraattien kokonaisvaranto pieneni 32-56 % varastointiajasta riippuen. Vaikka varastointiajan pidentäminen aikaisti mansikan kukintaa, hiilihydraattivarantojen pienenemisen todettiin olevan yhteydessä taimien pienempään sadontuottokykyyn. Menzelin ja Smithin (2012) Australiassa tekemässä tutkimuksessa mansikan avojuuristen taimien hiilihydraattivarannot eivät kuitenkaan täysin korreloineet sadontuoton kanssa. Viileässä kasvaneet taimet sisälsivät vähemmän hiilihydraatteja taimea kohti kuin lämpimässä kasvaneet taimet mutta tuottivat kuitenkin yhtä suuren sadon. Tutkijat päättelivät, että viileässä kasvatettujen taimien kukintainduktio oli parempi, joten hiilihydraattivarannot pelkästään eivät ole taimen satopotentialista. Myös omassa tutkimuksessani pisimpään (20 vkoa) varastoitujen taimien satopotentiali oli suurin, vaikka niiden hiilihydraattivarannot olivat hyödyn alkaessa pienimmät.

Tarkasteltaessa hiilihydraattien pitoisuuksia kuivapainoa kohti, kasvatusolosuhteet vaikuttivat vain juurten liukoisten hiilihydraattien pitoisuuteen. Avomaalla kasvatettujen taimien juurten liukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli varastointiajasta riippuen 6-17 % (keskimäärin 11 mg/g kp.) suurempi tunnelissa kasvatettuihin taimiin verrattuna.

Esimerkiksi Wangin ja Campin (2000) tutkimuksessa todettiin, että viileä kasvulämpötila (12 °C) suosi mansikan juurten kasvua maanpäällisten osien kustannuksella, kun taas lehdet ja lehtiruodit kasvoivat lämpimässä (25 °C) paremmin. Viileässä (12 °C) kasvatettujen mansikoiden juurten kuivapaino oli suurempi ja niihin kertyi enemmän liukoisia hiilihydraatteja ja tärkkelystä lämpimässä (22 °C) kasvatettuihin taimiin verrattuna, kun taas lehdistä ja lehtiruodeissa tilanne oli päinvastainen. Koska omassa tutkimuksessani päivittäinen keskilämpötila tunnelissa oli keskimäärin vain 0,9 °C astetta korkeampi kuin avomaalla, selkeää lämpötilaeroa eri kasvatuspaikkojen välillä ei ollut. Siten myös muut viljelytekniset seikat, kuten tunnelissa kasvatettujen taimien parempi ravinteiden saatavuus saattoivat vaikuttaa juurten liukoisten hiilihydraattien pitoisuuteen. Juurten tärkkelyksen ja versojen liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuuteen kasvatusolosuhteilla ei ollut vaikutusta.

Varastoinnin aikana versojen liukoisten hiilihydraattien pitoisuus suureni keskimäärin 5-21 mg/g kuivap. ja juurten keskimäärin 29-76 mg/g kuivap. varastointijaksosta riippuen. Versojen tärkkelyspitoisuus puolestaan pieneni 38-45 mg/g kuivap. ja juurten 183-209 mg/g kuivap. varastointijaksosta riippuen. Palosen ym. (2000) tutkimuksessa hydrolysoituneen tärkkelyksen määrä korreloi selvästi liukoisten hiilihydraattien pitoisuuden nousuun kolmella neljästä lajikkeesta avomaalla talvehtineissa taimissa mutta omassa tutkimuksessani samanlaista suuntausta ei havaittu. Liukoisten hiilihydraattien pitoisuus suureni jokaisen varastointijakson aikana versoissa keskimäärin 21 mg/g kp. ja juurissa 73 mg/g kp., kun tärkkelyspitoisuudet vastaavasti pienenivät versoissa keskimäärin 48 mg/g kp. ja juurissa 194 mg/g kp. jokaisen varastointijakson aikana. On kuitenkin epävarmaa, liikkuvatko liukoiset hiilihydraatit taimen lepotilan aikana juurten ja versojen välillä. Tätä ei voitu omassa kokeessani selvittää, koska juurten kokonaishiilihydraattivarantoja ei määritetty. Jatkossa olisi kuitenkin mielenkiintoista tutkia, tapahtuuko hiilihydraattien liikkumista versojen ja juurten välillä ja toisaalta, kuinka suuri osa hiilihydraattivarannoista menetetään varastoinnin aikana.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten kasvatusolosuhteet, versojen lukumäärä ja varastointiaika vaikuttavat vadelman satotaimien satopotentiaaliin ja hiilihydraattitalouteen.

Tulosten perusteella satopotentiaalin luomisessa tunnelikasvatuksesta saatava etu avomaakasvatukseen verrattuna on kiistaton. Tunnelissa kasvatetut taimet kasvoivat pidemmiksi, ne tuottivat enemmän marjoja hankaversoa ja pääversoa kohti ja niiden silmut puhkesivat aikaisemmin avomaalla kasvatettuihin taimiin verrattuna. Tunnelissa kasvatettuihin taimiin kertyi myös enemmän hiilihydraattivarantoja, jotka todennäköisesti vaikuttavat satovadelmien mahdollisuuksiin selviytyä varastoinnin aikana ja edistävät myös silmujen puhkeamista seuraavana keväänä. Vaikka hiilihydraattivarantojen määrä selvästi vaikutti vadelman sadontuottokykyyn seuraavana vuonna, se ei kuitenkaan pelkästään ole tae suuresta sadosta, vaan esimerkiksi myös onnistunut kukintainduktio ja sitä seuraava pakkasvarastointi vaikuttavat satotaimien satopotentiaaliin ja sen toteutumiseen.

Vaikka satoversojen lukumäärän lisääminen taimea kohti pienensi yksittäisen versoa satoa, se kuitenkin suurensi koko taimen satopotentiaalia. Vastoin oletusta uusien kasvoversojen kasvattaminen satoversojen ohella ei kuitenkaan vaikuttanut sadontuottoon. Usean verson ylläpitämistä voi kuitenkin rajoittaa juuriston toimintakyky, sillä esimerkiksi tässä tutkimuksessa kaksiversoisten taimien keskimarjapaino oli yksiversoisia pienempi, vaikka marjakoko myös yksiversoisilla taimilla oli Suomen olosuhteisiin nähden hyvä. Intensiivisessä tuotannossa myös kasvualustan väkevöityminen voi muodostua ongelmaksi.

Satotaimien pakkasvarastoinnin tarkoitus on pääasiassa ylläpitää taimikasvatusvaiheessa luotua satopotentiaalia sadontuottoa varten. Pakkasvarastoinnin aikana myös vadelman lepotila purkautuu, joten riittävän pitkällä varastoinnilla varmistetaan, että kasvu on valmis jatkumaan, kun olosuhteet ovat siihen otolliset. Tässä tutkimuksessa varastointiajan pidentäminen sekä lisäsi puhjenneiden hankasilmujen määrää että nopeutti niiden puhkeamista ja kukinnan alkamista. Satotaimien satopotentiaalista pystyttiin hyödyntämään sitä suurempi osuus, mitä pidempään niitä varastoititiin. Tutkimuksessa selvitettiin myös vadelman hiilihydraattitaloutta varastoinnin aikana ja

oletusten mukaisesti versojen ja juurten liukoisten hiilihydraattien pitoisuus suureni ja tärkkelyksen pitoisuus pieneni varastoinnin aikana. Hiilihydraattien kokonaisvaranto kuitenkin pieneni varastoinnin aikana, joten todennäköisesti satotaimet käyttivät osan siitä elintoimintoihinsa. Koska hiilihydraattivarantojen on osin todettu vaikuttavan vadelman sadontuottoon, taimikasvatuksen aikana on viljelyteknisin menetelmin varmistettava riittävien hiilihydraattivarantojen kertyminen taimiin.

Tämän tutkimuksen perusteella optimaalisimpana taimena satotaimien avulla tapahtuvaa sadontuottoa varten voidaan pitää elinvoimaista, kaksiversoista ja tunnelissa kasvatettua taimea, johon on kasvatuskauden aikana kertynyt suuri hiilihydraattivaranto. Vaikka kaksiversoiset taimet tuottivat jonkin verran pienempiä marjoja yksiversoisiin taimiin verrattuna, niiden satopotentiaali oli kuitenkin selvästi suurempi ja marjakoko Suomen oloissa silti erittäin hyvä. Pitkällä varastointiajalla (vähintään 20 vkoa) varmistetaan satotaimien hankasilmujen lepotilan mahdollisimman täydellinen purkautuminen ja nopeutetaan silmujen puhkeamista. Satotaimitekniikan avulla vadelman satotasoa on mahdollista merkittävästi nostaa.

## **8 KIITOKSET**

Tämän tutkielman valmistumiseen ovat vaikuttaneet monet henkilöt ja haluankin yhteisesti kiittää MTT Piikkiön Puutarhatutkimuksen ja Viikin koekasvihuoneiden henkilökuntaa suuresta avusta ja kenttäkokeiden järjestämisestä. Kiitos myös dosentti Timo Hytöselle mahdollisuudesta tehdä tämä tutkielma ”Suomalaisen marjantuotannon kilpailukyvyyn parantaminen ja kestävä kehittäminen muuttuvassa ilmastossa” – hankkeen puitteissa. Erityisesti haluan kiittää ohjaajiani erikoistutkija, FT, Saila Karhua sekä etenkin yliopistonlehtori, dosentti, Pauliina Palosta, erittäin hyvästä ohjauksesta, kriittisistä kommentteista ja kannustuksesta tutkielman valmistumisessa. Suuri kiitos myös perheelleni tuesta ja kannustuksesta.

## 9 LÄHTEET

- Aaltonen, M., Takala, M. & Uosukainen, M. 1996. Maurin Makea -vadelmalajike – herkku tuoremarkkinoilla. Puutarha 99:387.
- Brennan ym. 1999. Factors affecting out-of-season *Rubus* production. Acta Horticulturae 505: 115-120.
- Burley, J.W.A. 1961. Carbohydrate translocation in raspberry and soybean. Plant Physiology 36:820-824.
- Buskiene, L. & Uselis, N. 2008. The influence of nitrogen and potassium fertilizers on the growth and yield of raspberries cv. 'Polana'. Agronomy Research 6:27-35.
- Buszard, D.J.I. 1986. The effect of management system on winter survival and yield of raspberries in Quebec. Acta Horticulturae 183:175-181.
- Carew, J.G., Gillespie, T., White, J., Wainwright, H., Brennan, R. & Battey, N.H. 2000a. The control of the annual growth cycle in raspberry. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 75:495-503.
- Carew, J.G., Gillespie, T., White, J., Wainwright, H., Brennan R. & Battey, N.H. 2000b. Techniques for manipulation of the annual growth cycle in raspberry. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 75:504-509.
- Crandall, P.C. 1980. Twenty years of red raspberry research in southwestern Washington State. Acta Horticulturae 112:53-57.
- Crandall, P.C., Allmendinger, D.F., Chamberlain, J.D. & Biderbost, K.A. 1974. Influence of cane number and diameter, irrigation, and carbohydrate reserves on the fruit number of red raspberries. Journal of the American Society for Horticultural Science 99:524-526.
- Crandall, P.C. & Chamberlain, J.D. 1972. Effects of water stress, cane size, and growth regulators on floral primordia development in red raspberries. Journal of the American Society for Horticultural Science 97:418-419.
- Dale, A. 2012. Protected cultivation of raspberries. Acta Horticulturae 946:349-354.
- Doughty, C.C., Crandall, P.C. & Shanks, Jr. C.H. 1972. Cold injury to red raspberries and the effect of premature defoliation and mite damage. Journal of the American Society for Horticultural Science 97:670-673.
- Faby, R. 1993. Extension of the raspberry season with cold stored plants. Acta Horticulturae 352:55-60.



- FAOSTAT 2011. Food and Agricultural commodities production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Saatavissa Internetistä: <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>. Viitattu 3.5.2013.
- Faust, M. 1997. Bud dormancy in perennial fruit trees: Physiological basis for dormancy induction, maintenance and release. *HortScience* 32:623-629.
- Fernandez, G.E. & Pritts, M.P. 1994. Growth, carbon acquisition and source-sink relationships in 'Titan' red raspberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119:1163-1168.
- Gillespie, T., Brennan, R. & McNicol, R.J. 1999. Cultivar responses to long-cane fruit production in raspberry. *SCRI*. pp. 105-109.
- Heiberg, N., Lunde, R., Nes, A. & Hageberg, B. 2008. Long cane production of red raspberry plants and effect of cold storage. *Acta Horticulturae* 777:225-229.
- Heide, O.M. & Sønsteby, A. 2011. Physiology of flowering and dormancy regulation in annual- and biennial-fruited red raspberry (*Rubus idaeus* L.) – review. *Journal of Horticultural Science* 86:433-442.
- Hoover, E., Luby, J.J., Bedford, D., Pritts, M., Hanson, E., Dale, A. & Daubeny, H.A. 1989. Temperature influence on harvest date and cane development in primocane fruited red raspberries. *Acta Horticulturae* 262:297-303.
- Hudson, J.P. 1959. Effects of environment on *Rubus idaeus* L. I. Morphology and development of the raspberry plant. *Journal of Horticultural Science* 34:163-169.
- Hudson, J.P. & Williams, I.H. 1961. Effects of environment and age on flowering in raspberries. *Proceedings of the Linnean Society of London* 172:101-108.
- Jennings, D.L., McGregor, G.R., Wong, J.A. & Young, C.E. 1986. Bud suppression ('blind bud') in raspberries. *Acta Horticulturae* 183:285-289.
- Kajalo, M., Hoppula, K. & Hoppula, K. 2012. Mansikan ja vadelman kausihuonetuotannon talous Pohjois-Suomessa. Esitelmä. Maataloustieteenpäivät 2012. Saatavilla internetistä: <http://www.smts.fi/mtpjul2012.html>. Viitattu 11.3.2013.
- Kempler, C. 2004. Out of season greenhouse production of raspberry and strawberry. *Acta Horticulturae* 633:459-465.
- Kirschbaum, D.S., Larson, K.D., Weinbaum, S.A. & DeJong, T.M. 2012. Accumulation pattern of total nonstructural carbohydrate in strawberry runner plants and its influence on plants growth and fruit production. *African Journal of Biotechnology* 11:16253-16262.

- Lang, G.A., Early, J.D., Martin, G.C. & Darnell, R.L. 1987. Endo-, para- and eco-dormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *Hortscience* 22:371-378.
- Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. New York. 697 s.
- Lieten, F., Kinet, J.M. & Bernier, G. 1995. Effect of prolonged cold storage on the production capacity of strawberry plants. *Scientia Horticulturae* 60:213-219.
- Mazzitelli, L., Hancock, R.D., Haupt, s., Walker, P.G., Pont, S.D.A., McNicol, J., Cardle, L., Morris, J., Viola, R., Brennan, R., Hedley, P.E. & Taylor, M.A. 2007. Co-ordinated gene expression during phases of dormancy release in raspberry (*Rubus idaeus* L.) buds. *Journal of Experimental Botany* 58:1035-1045.
- Menzel, C.M. & Smith, L. 2012. Relationship between the levels of non-structural carbohydrates, digging date, nursery-growing environment and chilling in strawberry transplants in a subtropical environment. *HortScience* 47:459-464.
- Måge, F. 1975. Dormancy in buds of red raspberry. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 54:1-24.
- Palonen, P. 1999. Relationship of seasonal changes in carbohydrates and cold hardiness in canes and buds of three red raspberry cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124:507-513.
- Palonen, P., Buszard, D. & Donnelly, D. 2000. Changes in carbohydrates and freezing tolerance during cold acclimation of red raspberry cultivars grown in vitro and in vivo. *Physiologia Plantarum* 110:393-401.
- Palonen, P. & Junttila, O. 2002. Carbohydrates and winter hardiness in red raspberry. *Acta Horticulturae* 585:573-577.
- Palonen, P. & Lindén, L. 1999. Dormancy, cold hardiness, dehardening and rehardening in selected red raspberry cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124:341-346.
- Privé, J.P. & Allain, N. 2000. Wind reduces growth and yield but not net leaf photosynthesis of primocane fruiting red raspberries (*Rubus idaeus* L.) in the establishment years. *Canadian Journal of Plant Science* 80:841-847.
- Puutarhatilastot 2012. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Helsinki.
- Ruutiainen, I. 2004. Vadelman viljely. Puutarhaliiton julkaisu nro 330. Helsinki. 363s.
- Sønsteby, A. & Heide, O.M. 2008. Environmental control of growth and flowering of *Rubus idaeus* L. cv. Glen Ample. *Scientia Horticulturae* 117:249-256.

- Sønsteby, A., Myrheim, U., Heiberg, N. & Heide O.M. 2009. Production of high yielding red raspberry long canes in a northern climate. *Scientia Horticulturae* 121:289-297.
- Säkö, J. & Hiirsalmi, H. 1980. Winterhardiness and productivity of the red raspberry in Finland. *Acta Horticulturae* 112:221-227.
- Wang, S.Y & Camp, M.J. 2000. Temperature after bloom affects plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae* 85:183-199.
- White, J.M., Wainwright, H. & Ireland, C.R. 1998. Interaction of endodormancy and paradormancy in raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Annals of Applied Biology* 132:487-495.
- White, J.M., Wainwright, H. & Ireland, C.R. 1999. The effect of autumn fertigation on bud break in raspberry: a preliminary study. *Acta Horticulturae* 505:415-418.
- Whitney, G.G. 1982. The productivity and carbohydrate economy of a developing stand of *Rubus idaeus*. *Canadian Journal of Botany* 60:2697-2703.
- Williams, I.H. 1959a. Effects of environment on *Rubus idaeus* L. IV. Growth and dormancy of young shoots. *Journal of Horticultural Science* 34:210-218.
- Williams, I.H. 1959b. Effects of environment on *Rubus idaeus* L. IV. Flower initiation and development on the inflorescence. *Journal of Horticultural Science* 34:219-228.
- Williams, I.H. 1960. Effects of environment on *Rubus idaeus* L. V. Dormancy and flowering of the mature shoot. *Journal of Horticultural Science* 34:214-220.
- Wright, C.J. & Waister, P.D. 1986. Canopy structure and light interception in the red raspberry. *Acta Horticulturae* 183:273-283.
- Yemm, E.W. & Willis, A.J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal* 57:508-514.
- Zraly, B. 1978. Frost hardiness of raspberry canes. *Acta Horticulturae* 81:129-135.