

**Timotein (*Phleum pratense* ssp. *pratense* L.) alkuperän vaikutus kylmänkestävyyteen, vernalisaatiovaatimukseen sekä kasvuun ja kehitykseen**

Juha Luhtanen  
Maisterintutkielma  
Helsingin yliopisto  
Maataloustieteiden laitos  
Kasvinviljelytiede  
2011

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Juha Luhtanen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Timotein ( <i>Phleum pratense</i> ssp. <i>pratense</i> L.) alkuperän vaikutus kylmänkestävyyteen, vernalisaatiovaatimukseen sekä kasvuun ja kehitykseen			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kasvinviljelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Lokakuu 2011	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 76
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Nurmiheinien merkitys maailmanlaajuisesti on merkittävä, sillä noin 69 % maapallon peltopinta-alasta on pysyvää laidunmaata tai niittyä. Suomessa nurmien osuus on noin 29 %, ja tuotanto perustuu pääosin intensiiviseen säilörehuntuotantoon. Yleisin nurmiheinälaji Suomessa on timotei (<i>Phleum pratense</i> ssp. <i>pratense</i> L.). Timotei on talvenkestävä ja soveltuu siksi pohjoisiin kasvuoloihin. Timoteilajikkeita jalostettaessa pohjoista alkuperää olevia vanhempaislinjoja käytetään hyvän talvenkestävyyden varmistamiseksi, eteläisiä tavoiteltaessa nopeaa kasvurytmiä.</p> <p>Ilmaston muutoksen ennustetaan lisäävän erilaisia äärioloja kuten myrskyjä ja sateita. Vuorokauden keskilämpötila nousee ja kasvukausi pidentyy. Lisäksi talvet muuttuvat sateisemmiksi. Muutokset näkyvät erityisesti pohjoisissa kasvuympäristöissä. Tutkimuksessa haluttiinkin selvittää eri alkuperää edustavien timoteilajikkeiden ja linjojen kylmänkestävyyttä, kasvu-, ja kehitysnopeutta sekä vernalisaation vaikutusta. Lisäksi tutkittiin syysviljojen vernalisaatiovasteen mittaamiseen käytettyjen menetelmien soveltuvuutta nurmille. Tutkimukseen kuului kaksivuotinen peltokoe sekä kasvatuskaappikoe.</p> <p>Vernalisaatio nopeutti timotein kasvua ja kehitystä. Tutkimuksen perusteella eteläistä alkuperää olevilla lajikkeilla kasvu- ja kukintavalmius oli olemassa ilman vernalisaatiota. Pohjoisilla lajikkeilla oli suurempi vernalisaatiovaste ja niiden kukkiminen ja kasvu nopeutui vernalisaation myötä. Vernalisaatiolla oli vaikutusta myös kasvuston rakenteeseen. Generatiivisten versojen määrä lisääntyi vernalisaation myötä, kun taas vegetatiivisten versojen määrä väheni. Kylmänkestävyys oli tutkimuksen perusteella riippuvainen syksyn karaistumisjakson pituudesta sekä jakson lämpösummasta (FH-COLD). Korkea keskilämpötila ja lyhyt karaistumisjakso heikensivät kylmänkestävyyttä. Vastaavasti karaistumiskauden lämpötilan ollessa välillä 0 °C:ta ja + 5 °C:ta ja jakson pituuden kasvaessa kylmänkestävyys lisääntyi.</p> <p>Tutkimuksen perusteella vernalisaatiolla oli selvä vaikutus timotein kasvuun ja kehitykseen. Pohjoista alkuperää olevat timoteit reagoivat vernalisaatioon eteläisiä enemmän. Osa pohjoisista linjoista vaati vernalisaation generatiivisten versojen muodostumiseen. Syysviljojen vernalisaatiovasteen mittaamenetelmät soveltuvat osin myös puhtaiden timoteilajikkeiden vernalisaation seurantaan.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords vernalisaatio, kylmänkestävyys, LT <sub>50</sub> , timotei, <i>Phleum pratense</i> , kasvu, kehitys, lehtien lukumäärä			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työn ohjaajat MMT Mervi Seppänen, MMM Venla Jokela			

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 Juha Luhtanen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Cold tolerance, vernalisation requirement, growth and development of timothy ( <i>Phleum pratense</i> ssp. <i>pratense</i> L.) and the effect of the species origin on these factors.			
Oppiaine — Läroämne — Subject Crop science			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year October 2011	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 76
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Forage crops are an important part of agriculture in worldwide since about 69 % of the agricultural area is covered with permanent meadows and pastures. In Finland forages cover up to 29 % of the agricultural area and production is based on intensive cultivation. The most cultivated species in Finland is timothy grass (<i>Phleum pratense</i> ssp. <i>pratense</i> L.). It is very frost resistant and that is why it is suited for northern growth environment. Timothy cultivars can be divided based on their genotypic origin to southern, northern and intermediate types. Cultivars differ in their growth and development habit.</p> <p>Along climate change extreme weather conditions become more frequent, mean temperature will rise and winters will be rainier. This research tries to find out how the different cultivars from different origins differ in their cold tolerance, growth and development speed and how vernalisation affects. Besides these it was researched if different methods for evaluating the vernalisation response in winter crops were useful methods to evaluate vernalisation response in forage grasses. Research composed two years long field trial and growth chamber trial.</p> <p>Vernalisation accelerated the growth and development of timothy. Based on this research the southern cultivars already had readiness for growth and development despite of the vernalisation if environmental conditions were favourable. Northern cultivars attained this readiness along the vernalisation. Vernalisation affected also to the architecture of the grasses. The number of generative tillers, that produce the inflorescence, increased due to vernalisation response. The number of vegetative tiller, not inflorescence tiller, became less due to vernalisation. The research revealed that cold tolerance was dependent on the temperature of the autumn hardening period (FH-COLD). High mean temperature during the hardening period decreased the cold tolerance. If the temperature was between 0 °C and + 5 °C cold tolerance increased.</p> <p>According to this research vernalisation had a clear effect on timothy growth and development for example. Northern cultivars do not necessarily need such a long vernalisation as Finnish winter is. Also methods for evaluating the vernalisation response in winter crops are partly useful in pure timothy cultivars too.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords vernalisation, , cold tolerance, LT <sub>50</sub> , timothy, phleum pratense, growth, development, leaf number, FLN			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisor PhD Mervi Seppänen, MSc Venla Jokela			

# SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>6</b>
<b>2 TIMOTEI SEN KYLMÄNKESTÄVYYS JA VERNALISAATIO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Timotei nurmikasvina</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 Timotein versotyypit .....	7
2.1.2 Timotein sadon laatutekijät .....	8
<b>2.2 Timotein sadonmuodostus</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3 Kylmyys ja sen vaikutus kasveihin</b> .....	<b>11</b>
2.3.1 Jäätyminen kasvissa .....	12
2.3.2 Jäätymisen aiheuttamat vauriot kasvissa.....	13
<b>2.4 Kasvien suojamekanismit kylmyyttä vastaan</b> .....	<b>14</b>
2.4.1 Kasvien kasvukauden aikaiset suojamekanismit .....	14
2.4.2 Kasvien kasvukauden ulkopuoliset suojamekanismit .....	14
<b>2.5 Ilmastonmuutoksen vaikutus timotein kasvuun</b> .....	<b>19</b>
2.5.1 Ilmastonmuutoksen suunnat .....	19
2.5.2 Ilmaston muuttumisen vaikutus nurmikasvien viljelyyn .....	19
<b>3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET</b> .....	<b>21</b>
<b>4 AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1 Tutkimuksissa käytettävä kasvimateriaali, koejäsenet ja koejärjestelyt</b> .....	<b>21</b>
<b>4.2 Peltokoe</b> .....	<b>24</b>
4.2.1 Peltokokeen perustaminen ja hoito .....	24
4.2.2 Näytteiden keräys, kylmätestit ja suoritettut mittaukset .....	24
4.2.3 Kylmänkestävyysarvon $LT_{50}$ laskeminen .....	25
4.2.4 Vuoden lämpötilaolojen kuvaus .....	26
4.2.5 Sää tiedot.....	27
<b>4.3 Kasvatustaappikoe</b> .....	<b>29</b>
4.3.1 Kasvatustaappikokeen perustaminen .....	29
4.3.2 Suoritettut mittaukset .....	29
<b>4.4 Tilastolliset analyysit ja menetelmät</b> .....	<b>29</b>
<b>5 TULOKSET</b> .....	<b>30</b>
<b>5.1 Peltokoe</b> .....	<b>30</b>
5.1.1 Kylmänkestävyys ( $LT_{50}$ ).....	30
5.1.2 Kukinnan alkua (days to heading).....	35
5.1.3 Pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN) .....	37
5.1.4 Kasvuston rakenne .....	37
5.1.5 Kasvien korkeus .....	41
<b>5.2 Kasvatustaappikoe</b> .....	<b>43</b>
5.2.1 Kukinnan alkua (days to heading).....	43
5.2.2 Pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN) .....	44
5.2.3 Kasvuston rakenne .....	45
5.2.4 Kasvien korkeus .....	48

<b>6 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>49</b>
<b>6.1 Peltokoe .....</b>	<b>49</b>
6.1.1 Kylmänkestävyys (LT <sub>50</sub> ).....	49
6.1.2 Kukinnan alku (days to heading).....	50
6.1.3 Pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN) .....	52
6.1.4 Kasvuston rakenne .....	53
6.1.5 Kasvien korkeus .....	54
<b>6.2 Kasvatustaappikoe .....</b>	<b>56</b>
6.2.1 Kukinnan alku (days to heading).....	56
6.2.2 Pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN) .....	57
6.2.3 Kasvuston rakenne .....	58
6.2.4 Kasvien korkeus .....	59
<b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>60</b>
<b>8 KIITOKSET .....</b>	<b>62</b>
<b>9 LÄHTEET .....</b>	<b>63</b>
<b>LIITE 1 .....</b>	<b>73</b>
<b>LIITE 2 .....</b>	<b>74</b>
<b>LIITE 3 .....</b>	<b>75</b>
<b>LIITE 4 .....</b>	<b>76</b>

# 1 JOHDANTO

Nurmikasvien merkitys maailmanlaajuisesti on erittäin tärkeä. Maapallon maatalousalasta noin 69 % on pysyvää laidunmaata tai niittyä (FAOSTAT 2011). Pohjois-Euroopassa nurmia viljellään 51 %:lla peltopinta-alasta. Suomessa merkittävin nurmiheinä on timotei (*Phleum pratense* ssp. *pratense* L.), jota viljellään pääosin erilaisissa nurmiseoksissa (Peltonen ym. 2010). Timotein lajikevalikoima on myös laajin. Timotei on talvenkestävyydeltään erittäin hyvä laji, mutta sen jälkikasvu on hidasta. Jalostuksessa pohjoista alkuperää olevia lajikkeita käytetään lisäämään talvenkestävyyttä ja eteläistä alkuperää olevia lajikkeita käytetään nopean kasvurytmin saavuttamiseksi. Nurmien merkityksellisyys korostuu erityisesti tilatasolla. Nurmiheinien muodostaessa suurimman osan märehtijöiden energian saannista, vaikuttavat ne tuotantokustannuksiin, ja ovat siten tärkeitä tilan kokonaiskannattavuudelle.

Nurmet ovat monivuotisia ja siksi niiden hyvä talvehtiminen on tärkeää. Talvehtiminen varmistaa nopean kasvuunlähdon keväällä ja mahdollistaa siten hyvän sadontuoton (Peltonen ym. 2010). Syksyllä karaistumisen aikana saavutettu kylmänkestävyys on erittäin tärkeä osa talvehtimisen onnistumista. Timotei on hyvin talvenkestävä ja se kestää hyvin abioottisia stressejä kuten kylmää, tulvia sekä jääpoltetta (McElroy & Kunelius 1995). Muuttuva ilmasto luo kuitenkin haasteita viljelykasvien selviytymiselle. Ilmakehän lämpeneminen ja ilmaston erilaisten ääriolosuhteiden lisääntyminen lisäävät riskiä talvehtimisen epäonnistumiselle (Houghton 2001). Tästä syystä talvehtimiseen liittyvät tutkimukset ovat tärkeässä roolissa sopeutettaessa syyskylvöisten ja monivuotisten kasvien viljelyä muuttuviin oloihin.

Kylmän jakson ja sen aikana tapahtuvan vernalisaation tiedetään aiheuttavan syysviljoilla erilaisia kasvifysiologisia vasteita kuten kukintavalmiuden nopeutumisen ja lehtien lukumäärän vähenemisen (Wang ym. 1995). Timoteilla ei ole vernalisaatiovaatimusta, mutta kukinnan kehittyminen vaatii pitkän päivän olosuhteet (Heide 1994). Viimeaikaisten tutkimusten perusteella timotei voidaan luokitella niin kutsuttuihin fakultatiivisiin kasveihin, joiden kukinta ja kehitys nopeutuu vernalisaation seurauksena (Seppänen ym. 2010). Tutkimuksessa haluttiin selvittää miten talvi ja kylmä kausi eli vernalisaatioaika vaikuttavat eri timoteigenotyyppien kylmänkestävyyteen, kasvuun ja kehitykseen. Samalla tutkittiin myös syysviljojen

kukintavalmiutta indikoivien mittarien, kuten lopullinen lehtien lukumäärä (FLN = Final Leaf Number), soveltuvuutta timotein kukintavalmiuden seurannassa.

## 2 TIMOTEI SEN KYLMÄNKESTÄVYYS JA VERNALISAATIO

### 2.1 Timotei nurmikasvina

Nurmitähkiö eli timotei on hyvin yleinen heinälaji sekä Suomessa että maailmalla. Sitä kasvaa sekä luonnonvaraisena että viljeltynä (Mossberg ym. 2005). Kasvupaikasta, lämpötilasta ja kosteusoloista riippuen se kasvaa noin 30 – 120 senttimetriä korkeaksi. Timotein korsi muodostuu kolmesta kuuteen solmusta sekä solmuvälistä ja varsinainen korren tyvi on usein sipulimainen. Timotein lehdet ovat kolmesta kymmeneen millimetriä leveät.

Timoteilla on heksaploidinen (kuusinkertainen) kromosomisto (AAAABB) (Cai & Bullen 1991). Timotein kromosomiston oletetaan olevan peräisin vähintään kahdelta eri *Phleum*-suvun lajilta, pohjantähkiö (*Phleum alpinum* L.) sekä ketotähkiö (*Phleum nodosum*). Toisaalta tutkittaessa timotein perimää on siinä havaittu myös autopolyploidiaa, jossa kromosomistojen määrän lisääntyminen johtuu kasvin alkuperäisen kromosomiston kopioitumisesta (Cai ym. 2003).

Timotein viljely ja käyttö nurmirehuntuotannossa on maailmanlaajuisesti keskittynyt pääosin lauhkeaan ja viileään lämpötilavyöhykkeen alueelle ulottuen aina Euroopasta Aasiaan sekä Pohjois-Amerikkaan (Cai ym. 2003). Suomessa timotein ja muiden rehunurmikasvien osuus käytetystä kokonaispeltopinta-alasta on merkittävä. Vuonna 2011 alle viisivuotisten rehunurmien, siennurmien sekä laidunnurmen osuus pellonkäytön kokonaispinta-alasta oli noin 29 %, laskennallisen kokonaispeltopinta-alan ollessa Suomessa noin 2,29 miljoonaa hehtaaria (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2011a). Kokonaispinta-alasta pelkän puhtaan timotein siemenviljelyn osuus oli noin 0,3 % (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2011b). Timotei on nurmiheinälajeistamme tärkein ja sen käyttö nurmiseoksissa esimerkiksi puna-apilan (*Trifolium pratense* L.) kanssa on Suomessa yleistä (Kangas ym. 2008).

#### 2.1.1 Timotein versotyypit

Timotein varsinainen sadoksi kerättävä osa on maanpäällinen kasvusto, joka koostuu erilaisista versoista. Versotyypit voidaan jakaa kolmeen: vegetatiivisiin (VEG), elongoituviin (ELONG) sekä generatiivisiin (GEN) versoihin (Virkajärvi ym. 2010).

Verson ollessa vegetatiivisessa vaiheessa, nivelvälien solukot ovat erilaistuneet, mutta solukko ei kuitenkaan pitene akselinsa suuntaisesti, jolloin verso ei kasva korkeutta (Moore & Moser 1995). Elongoituva verso puolestaan kasvaa pituutta nivelväleistään ja siten eroaa vegetatiivisesta versosta, mutta se ei kuitenkaan koskaan muodosta varsinaista kukintoa. Generatiivinen verso eroaa elongoituvasta versosta siten, että sen kärkikasvupiste siirtyy suvulliseen kukintorakenteen muodostavaan vaiheeseen (Moore ym. 1991). Nurmikasvuston versot eivät kasva yhtäaikaisesti, vaan kasvusto sisältää runsaasti eri-ikäisiä ja erityyppisiä versoja. Nurmikasvusto ajatellaankin versojen muodostamana jatkuvasti muuttavana populaationa (Moore & Moser 1995 ref. Marshall 1987). Pääsato eli keväsato koostuu pääosin generatiivisista versoista, elongoituvien ja vegetatiivisten versojen osuuden ollessa huomattavasti pienempi (Pakarinen ym. 2008). Vastaavasti jälkisadoissa versotyypijakauma painopiste on selvemmin vegetatiivisissa ja elongoituvissa versoissa siten, että generatiivisten versojen osuus on selvästi pienin.

### 2.1.2 Timotein sadon laatutekijät

Nurmirehutuotanto perustuu intensiiviseen säilörehunurmen viljelyyn. Varsinaisten pysyvien nurmien määrä on Suomen peltopinta-alasta hyvin pieni ja esimerkiksi yli viisivuotisten nurmien määrä koko peltopinta-alasta onkin vain 0,014 % (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2011a). Nurmisäilörehun laatu voidaan jakaa säilönnälliseen laatuun ja kasvin varsinaiseen kemialliseen koostumukseen (Artturi verkkopalvelu 2011a). Säilönnällinen laatu muodostuu muun muassa riittävän alhaisesta pH:sta, matalasta haihtuvan ammoniakkitypen osuudesta kokonaistypestä sekä matalasta haihtuvien rasvahappojen osuudesta. Tärkeää on varmistaa säilönnän aikana hapettomat olosuhteet sekä rehun hygienia. Onnistuneen säilönnällisen laadun lisäksi, laatuun vaikuttaa nurmen kemiallinen koostumus josta varsinainen ruokinnallinen arvo muodostuu.

Nurmien kemiallinen koostumus voidaan jakaa solunsisäisiin yhdisteisiin sekä solunseinämäaineisiin (Fales & Fritz 2007). Solunsisäisiä yhdisteitä ovat muun muassa helposti ruuansulatuskanavassa hajotettavat lipidit, orgaaniset hapot, vesiliukoiset vitamiinit, proteiinit ja hiilihdyraatit. Nämä molekyylit ovat helposti eläimen käytettävissä ja sitä kautta aineenvaihdunnan hyödynnettävissä. Solunseinämäaineet puolestaan koostuvat vaikeammin hajotettavista molekyyleistä kuten hemiselluloosasta, selluloosasta ja ligniinistä. Näistä märehitijöiden pötsimikrobisto pystyy hajottamaan ja hyödyntämään selluloosaa ja osin polymeereistä koostunutta hemiselluloosaa, mutta ei



ligniiniä (Thorvaldsson 2006). Lignifikoituminen lisääntyy kasvin vanhetessa, jolloin solunseinämäaineiden sulavuus laskee. Solunseinämäaineiden sulavuus on juuri erilaisen kemiallisen koostumuksen takia alempi kuin solunsisäisten aineiden, ja siksi niiden hyväksikäyttö ruokinnallisesti on myös huonompi (Hatfield ym. 2007). Hyvänä laadun mittarina käytetäänkin yleisesti orgaanisen aineen sulavuutta, D-arvoa (Digestible organic matter in dry matter, DOMD) , joka kuvastaa sitä kemiallista osuutta rehusta, joka on eläimelle hyväksikäytettävissä (Faithfull 2002, Nousiainen ym. 2003).

Kuiva-ainepitoisuus lisääntyy kasvin vanhetessa ja verson koon kasvaessa, mutta samalla sulavuus alenee solunseinämäaineiden pitoisuuden kasvaessa ja sadon laatu heikkenee (Thorvaldsson 1986). Satoon ja sen laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat kaikki kasviin vaikuttavat kasvutekijät kuten ravinteet, kosteus, kasvitaudit ja erilaiset agronomiset tekijät kuten viljelytekniikka (Fales & Fritz 2007). Koska kasvin kemiallinen koostumus muuttuu kasvun edetessä, on tärkein satoon ja laatuun vaikuttava tekijä sadonkorjuun ajoitus.

Jokainen kasvutekijä vaikuttaa omalla tavallaan satoon ja laatuun. Esimerkiksi lämpötilan ollessa kasvin genotyypistä optimilämpötilaa alempana, lisääntyy liukoisten hiilihydraattien osuus kasvissa (Fales & Fritz 2007). Optimilämpötilaa korkeampi lämpötila vaikuttaa päinvastaisesti. Lämpötilan nousu nopeuttaa kehitystä ja lisää solunseinämäaineiden, kuten ligniinin, suhteellista pitoisuutta kasvissa (Ford ym. 1979). Myös valon vaikutus sadon laatuun on merkittävä (Fales & Fritz 2007). Vaikutus näkyy esimerkiksi rakenteellisina muutoksina kasvissa siten, että varjossa olevat lehdet kasvavat pidemmiksi ja kapeammaksi kuin täydessä valaistuksessa kasvavat lehdet. Tiedetään, että valon määrän väheneminen varjostuksesta johtuen laskee myös kuiva-aineen sulavuutta (Wilson & Wong 1982). Oma merkityksensä on myös veden määrällä. Kuivuuden vallitessa kasvi vähentää veden haihtumista sulkemalla lehtien huulisolut. Haihdutuksen vähentyessä kasvin sisäinen nestepaine alenee ja sitä kautta solujen kasvu paineen alentuessa hidastuu (Fales & Fritz 2007). Solujen kasvun vähentyessä solunseinämäaineiden suhteellinen osuus kasvaa, joka aiheuttaa sulavuuden heikentymisen.

## **2.2 Timotein sadonmuodostus**

Pohjoismainen nurmirehutuotanto perustuu käytännössä säilörehuntuotantoon ja esimerkiksi Suomessa laidunnurmien osuus alle viisivuotisten nurmien määrästä on vain 11,22 % (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2011a).

Säilörehuntuotantostrategiassa nurmikasvustosta kerätäänkin sato kahdesta kolmeen kertaa vuodessa (Höglind ym. 2005). Tällä tavalla saavutetaan suhteessa määrällisesti hyvä kuiva-ainesato laadun kuitenkaan kärsimättä. Suomessa pääsadon suuruus puhtaassa timoteikasvustossa vaihtelee lajikkeesta riippuen välillä 2873 – 3236 kiloa kuiva-ainetta per hehtaari ( $\text{kg ka ha}^{-1}$ ) (Kangas ym. 2010). Vastaavasti jälkisadon määrä on alempi, vaihdellen välillä 2544 – 2970  $\text{kg ka ha}^{-1}$ . Jälkisadon määrä on pääsatoa pienempi johtuen vegetatiivisten versojen suhteellisesta suuremmasta määrästä (Pakarinen ym. 2008). Jälkisadossa korsifraktion osuus korjattavasta massasta pienenee ja lehtienfraktion osuus kasvaa, jolloin kuiva-ainesato jää pääsatoa pienemmäksi. Korrellisten versojen määrä ja sitä kautta korsifraktion osuus massassa vaikuttaa eniten korjattavan sadon suuruuteen.

Varsinaiseen sadonmuodostukseen vaikuttavat samat kasvutekijät kuin laatutekijöihin. Merkittäviä tekijöitä timotein sadonmuodostuksen kannalta ovat valo ja lämpötila (Höglind ym. 2001). Sen lisäksi, että valo vaikuttaa kasvissa muun muassa fotosynteesin tehokkuuteen on sillä tärkeä osuus kukkimisen indusoitumisen kannalta. Valo yhdessä lämpötilan kanssa on tärkeimpiä kukkimiseen virittäviä tekijöitä (Taiz & Zeiger 2006). Timotei on pitkän päivän kasvi, joka indusoituu kukkimaan päivän pidentyessä (Heide 1994). Lyhyessä päivässä, 12 tuntia, timotei pysyy vegetatiivisessa kasvuvaiheessa eikä tuota kukintoversoja (Heide 1982). Timotein kukkimisen kannalta kriittisenä päivänpituuden rajana pidetään 14 – 16 tuntia, riippuen timoteilajikkeesta ja erityisesti sen alkuperästä. Tiedetään että pohjoista alkuperää olevat lajikkeet, kuten esimerkiksi Pohjois-Norjalainen Engmo, vaativat 16 tunnin pitkän päivän valojakson kukkiakseen. Eteläisempää alkuperää oleva lajike Grindstad puolestaan kukkii jo 14 tunnin päivän pituudessa. Päivän pituudella tiedetään olevan myös vaikutusta timotein satofysiologiaan, sillä kuiva-aineen määrän lisääntyä päivän pituuden kasvaessa (Bertrand ym. 2008). Toisin kuin monet muut heinäkasvit, timotei virittäytyy kukkimaan jo pelkästään riittävän pitkän yhtenäisen valojakson stimuloimana, eikä se tarvitse vernalisaatiota eli kärkikasvupisteen kylmäinduktiota virittyäkseen kukintaan (Gardner & Loomis 1953). Kukkiminen on sadontuotannon kannalta haasteellinen ominaisuus (Humphreys ym. 2006). Jalostajat ja siementuottajat toivovat aikaista kukintaa sekä runsasta kukintojen määrää, jolloin saavutetaan mahdollisimman suuri siemensato. Säilörehuntuotannossa puolestaan myöhäinen kukinta sallii mahdollisimman pitkän vegetatiivisen kasvun jakson, mikä omalta osaltaan voi lisätä hyvälaatuisen sulavan kuiva-aineen määrää.

Timoteistä korjataan kasvukauden aikana useampi sato ja siten sadonkorjuun ajoituksella on merkitystä jälkikasvuun ja sitä kautta toiseen ja kolmanteen satoon. Timotein jälkikasvukyky on nopea jos sadonkorjuu ajoitetaan siten, että kasvusto on vegetatiivisessa kasvuvaiheessa (Höglind ym. 2005). Jälkikasvukyky laskee merkittävästi sadonkorjuun myöhästyessä generatiiviseen vaiheeseen (Bonesmo & Skjelvåg 2000). Koska sadonkorjuun ajoitus vaikuttaa jälkikasvukykyyn, on sen merkitys säilörehuntuotannon kannalta tärkeä. Myöhäinen kukinta yhdistettynä hitaaseen jälkikasvukykyyn laskee jälkisatojen sadon määrää kasvukauden pituuden ollessa rajallinen. Täysin optimaalista sadonkorjuun kasvuvaihetta onkin vaikea muun muassa ympäristöoloista johtuen määrittää, ja säilörehun sadonkorjuun ajoitus perustuu kasvukauden aikaisen laadun seurantaan esimerkiksi Artturi-korjuuaikapalvelun avulla (Artturi verkkopalvelu 2011b).

Timotei ei siirry vegetatiivisesta vaiheesta generatiiviseen kasvuvaiheeseen ennen kuin versossa on vähintään viisi lehteä (Höglind ym. 2001). Lehtien fyllokroniin vaikuttaa lämpötila ja verson rakenne. Fyllokronilla tarkoitetaan aikaa astepäivinä (°C) kahden perättäisen lehden ilmaantumisen välillä (Hay & Porter 2006). Kasvi säätelee kasvuaan siten, että kasvuston ollessa liian tiheä fyllokroni kasvaa ja kehitysnopeus hidastuu. Fyllokronin kertymä on yleensä melko vakio vaihdellen kuitenkin lajikkeittain esimerkiksi välillä 70 – 101 °C päivissä. Korkea lämpötila nopeuttaa kasvin lehtien kehitystä ja vaikuttaa siten muodostuvan sadon kehitysnopeuteen sekä kuiva-aineen määrään. Lehtien määrä puolestaan vaikuttaa suoraan sulavuuteen ja sitä kautta laatuun (McDonald 2002). Korsi on kasvin alkukehityksessä lehtiä sulavampaa, mutta kasvin kehittyessä korren sulavuus laskee merkittävästi lehtien sulavuuden pysyessä lähes vakiona. Korren sulavuuden heikentyessä suurempi lehtien määrä parantaa sulavuutta. Sulavuuden lasku korressa johtuu solunseinämäaineiden ja ligniinin suhteellisesta lisääntymisestä.

### **2.3 Kylmyys ja sen vaikutus kasveihin**

Kylmä fysiologisena määritelmänä on termodynaaminen tila, jossa molekyyileillä on matala liike-energian taso (Sakai & Larcher 1987). Pakkanen puolestaan on tila, jossa lämpötila laskee alle 0 °C. Kasvien karaistuminen ja sen aikana saavutettu kylmänkestävyys on hyvin tärkeää viljelykasvien talvehtimiselle ja sitä kautta syyskylvöisten ja monivuotisten viljelyn onnistumiselle. Suurimmassa osassa maapalloa lämpötila laskee jossakin vaiheessa vuotta pakkasen puolelle. Vain noin

kolmellakymmenellä prosentilla maapallon maa-alasta lämpötila pysyy jatkuvasti nollan yläpuolella. Se, miten kylmyys ja pakkasen vaikuttavat kasviin, riippuu lämpötilan laskun nopeudesta ja suuruudesta sekä pakkasjakson pituudesta. Kasvilaji, sen morfologia ja kehitysvaihe vaikuttavat kylmän aiheuttamien vaurioiden suuruuteen. Esimerkiksi ajoittaiset kylmät jaksot saattavat kestää vain muutamista tunneista päiviin, mutta ajoittuessaan kasvukaudelle esimerkiksi kukinnan kehittymisen aikaan, ne voivat aiheuttaa merkittäviä vaurioita ja alentaa satoa. Vuosittain syklisesti tapahtuvat lämpötilan laskut ovat ennustettavissa, koska ne liittyvät säteilyn määrän vaihteluun ja muun muassa sitä kautta syntyneeseen lämpötilan laskuun. Koska syksyllä kasvin kasvuympäristö muuttuu esimerkiksi lämpötilan laskiessa, muuttuu kasvin fysiologia myös siten, että se valmistautuu sietämään ja kestäämään kylmää jaksoa eli karaistuu.

Kylmään karaistuminen kasveilla on kaksivaiheinen tapahtuma (Sakai & Larcher 1987). Ensimmäinen vaihe käynnistyy, kun lämpötila on välillä + 10 °C ja + 20 °C ja kasvu on loppunut. Kasvi varastoi erilaisia hiiliyhdisteitä kuten tärkkelystä ja lipidejä varastosolukoihinsa. Toinen vaihe käynnistyy lämpötilan laskiessa alle + 5 °C:n, jolloin tapahtuu lopullinen karaistuminen. Tällöin muutoksia tapahtuu solutasolla muun muassa solukalvojen proteiini ja lipidikoostumuksessa siten, että kasvi sietää kylmiä lämpötiloja.

### 2.3.1 Jäätyminen kasvissa

Jäätyminen solutasolla tapahtuu kasvissa joko solun ulkopuolella tai solun sisällä (Sakai & Larcher 1987). Solun ulkopuolisessa jäätymisessä jäätymiskeskus muodostuu solukalvon ja soluseinän väliin. Koska jäätyminen liuoksessa tapahtuu ensin puhtaassa sekoittumattomassa faasissa aiheuttaa tämä sen, että jäätyvätön nestefaasi konsentroituu. Solutasolla solun sisältä vesi siirtyy konsentraatioerojen myötä solun ulkopuolelle, mikä osaltaan laskee solun sisäisen liuoksen jäätympistettä. Veden siirtyminen myös kuivattaa solua ja aiheuttaa siten jäätyksen pitkittyessä ongelmia solun aineenvaihdunnassa.

Solun sisäinen jäätyminen puolestaan voi tapahtua hyvin nopeasti, jolloin koko solu sisältö muuttuu tasaiseksi jääksi (Sakai & Larcher 1987). Jäätyminen voi olla myös hidasta, jolloin solun sisällöstä on selvästi erotettavissa jäätymiskiteitä. Solunsisäinen jäätyminen luonnonoloissa on yleensä liian nopeaa, mikä aiheuttaa solun vahingoittumisen. Muodostuneet jääkiteet rikkovat solukalvoja, jolloin ne eivät enää

toimi ja solun aineenvaihdunta häiriintyy. Jäätyminen on riippuvainen myös kasvinosien rakenteesta, solunesteen konsentraatiosta ja kasvuasteesta. Yhtenäinen homogeeninen solukko takaa sen, että jäätyminen tapahtuu myös nopeasti. Kun taas solukoiden heterogeenisuus, esimerkiksi johtojänteiden ja mesofyllisolukon mosaiikki hidastaa jäätymistä. Nurmikasveilla korren solmujen tiedetään hidastavan jäätymistä eri tasoisesti, riippuen solmujen koosta ja iästä (Andrews 1987).

### 2.3.2 Jäätymisen aiheuttamat vauriot kasvissa

Jäätymisen aiheuttamat vauriot kasvissa voidaan jakaa kahteen osaan (Sakai & Larcher 1987). Ensimmäisenä on nopea jäätyminen, jolloin koko solun jäätymisestä aiheutuvat vauriot solukalvoissa sekä muissa rakenteissa usein tuhoavat sen lopullisesti. Tällaisia vaurioita tapahtuu kasvukauden aikana soluissa, jotka eivät kestä kylmää tai eivät lämpötilan laskun nopeudesta johtuen ehdi valmistautua kylmyyteen. Toisena on hitaasta jäätymisestä aiheutuvat vauriot soluissa sekä solukoissa, jotka sietävät kylmyyttä. Jäätymisen aiheuttamasta konsentraatioerosta johtuen, solun sisällön ja solun ulkopuolen välillä alkaa gradientin mukaisesti siirtyä vettä kohti pienempää pitoisuutta solukalvon ulkopuolelle. Veden väheneminen solussa kuivattaa sitä, ja aiheuttaa siten ongelmia solun normaaliin toimintaan. Liiallinen kuivuminen tuhoaa solun lopullisesti.

Jäätymisen aiheuttamat vauriot voivat näkyä myös silmin havaittavina oireina kasvissa (Sakai & Larcher 1987). Värimuutokset ovat yleisiä. Solukalvojen tuhouduttua solun sisältö altistuu hapelle ( $O_2$ ), mikä aiheuttaa värimuutoksia. Lisäksi väri usein vaalenee. Usein vauriot näkyvät kasvin kuihtumisena ja erilaisina mekaanisina vaurioina kuten esimerkiksi reikinä lehdissä. Reiät johtuvat jääkiteiden kasvamisesta ja solukoiden repeilemisestä. Jäätyminen voi aiheuttaa kasvissa myös epämuodostumia ja viivytyksiä kehityksessä. Pakkasvaurioina voidaan välillisesti pitää myös hapenpuutteen aiheuttamia soluvauriota (Bertrand ym. 2003). Tämä johtuu sään vaihteluiden aiheuttamasta jääpoltteesta, jonka seurauksena jääkerroksia syntyy maan pinnalle ja hapensaanti estyy. Joissakin tapauksissa hapenpuutteesta johtuen maaperän elektronien hapetuspotentiaali muuttuu siinä määrin, että kasville muuten käyttökelpoiset mineraalit saattavat konsentroitua, jolloin ne muuttuvat myrkylliseksi (Drew 1997). Tällaisia mineraaleja ovat esimerkiksi mangaani ( $Mn^{2+}$ ) sekä rauta ( $Fe^{2+}$ ). Nurmikasveilla on kuitenkin erittäin hyvä kyky palautua jäätymisen aiheuttamista vaurioista, sillä esimerkiksi lehtien vahingoituttua, nurmet pystyvät kompensoimaan vaurioita tuottamalla uusia lehtiä (Sakai & Larcher 1987).

## 2.4 Kasvien suojamekanismit kylmyyttä vastaan

Monivuotisilta ja syyskylvöisiltä kasveilta vaaditaan hyvää talvenkestävyyttä, mikä muodostuu ensisijaisesti kasvin kyvystä sietää kylmää (Baron & Bélanger 2007). Lisäksi kasvien tulisi selviytyä kaikista talven aiheuttamista muutoksista niiden kasvuympäristössä, kuten jääpolteesta sekä lumipeitteestä. Kylmänkestävyyden syntyminen on karaistumista (Thorsen & Höglind 2010). Kylmää kestävä kasvit voidaan luokitella kahteen kategoriaan: ensimmäisenä ovat lajit, jotka sietävät kylmää väliaikaisesti (Sakai & Larcher 1987). Tällaiset kasvit reagoivat lämpötilan laskuun suoraan ilman selvää syklistä. Näiden lajien suojauminen kylmää vastaan voi tapahtua esimerkiksi solukoiden alijäähtymisen kautta. Toisena ovat kasvit jotka sopeutuvat kylmään perimänsä ohjaamana. Kylmää sietävä kasvi reagoi lämpötilan laskuun, mutta se tapahtuu selvästi kausittain vuodenaikojen mukaan ja on sekä ympäristön että perimän ohjaamaa. Syksyllä aineenvaihdunta hidastuu kasvin kylmäkaraistuessa. Kylmäkaraistuminen purkautuu keväällä ja kasvu jatkuu lämpötilan noustessa. Kasvukauden alkamisen myötä tämä kylmänkestävyys menetetään kasvukauden ajaksi.

### 2.4.1 Kasvien kasvukauden aikaiset suojamekanismit

Kasveilla on useita aktiivisia mekanismeja, joilla ne voivat suojautua kylmää ja erityisesti jäätymistä vastaan (Sakai & Larcher 1987). Eräs mekanismi on kasvin eri osien liikuttelu yöaikaan siten, että haihtuminen on mahdollisimman vähäistä. Tällöin myös haihduttaessa menetettävä lämpö säilyy kasvissa. Kasvin rakenteelliset ominaisuudet voivat myös merkittävästi lisätä kylmänsietoa. Esimerkiksi kuolleet kasvinosat, erilaiset vahat lehtien pinnoilla sekä ruusukemainen kasvutapa, jolloin itse kasvupiste on suojassa kylmältä, suojaavat kasvia jäätymiseltä. Lisäksi kasvi voi rakenteesta riippuen hyötyä maaperään varastoituneesta lämmöstä, esimerkiksi erityisesti, jos kasvupiste on lähellä maan pintaa. Myös jään muodostumisen aikana vapautuva lämpöenergia voi hidastaa muiden kasvinosien jäätymistä selvästi. Hetkellisen lämpötilan laskun aiheuttamaa jäätymistä kasvi voi ehkäistä hengityksen avulla. Tällöin hengityksessä vapautuva lämpöenergia estää jääkiteiden muodostumista.

### 2.4.2 Kasvien kasvukauden ulkopuoliset suojamekanismit

Kausittaiseen kylmään jaksoon sopeutuminen alkaa heinäkasveilla, kun lämpötila laskee välille +5 °C - +2 °C (Sakai & Larcher 1987). Karaistuminen käynnistyy lämpötilan

laskun, valon määrän sekä valojakson lyhenemisen yhteisvaikutuksena (Larsen 1994). Tällöin kasvu pysähtyy ja kasvi pyrkii varastoimaan yhteyttämistuotteitaan erityisesti alempiin kasvinosiinsa (Hatfield ym. 2007). Heinäkasveilla merkittävin varastohiilihydraatti on fruktaanit, joiden pitoisuus on korren alaosissa kaikkein korkein (Smith 1968). Fruktaanien pitoisuus kasvissa kasvaa lämpötilan laskiessa (Pollock & Jones 1979, Isolahti & Nissinen 2004). Näitä varastoja hyödynnetään myöhemmin talvella perusaineenvaihdunnassaan sekä aikaisin keväällä kasvukauden alkaessa kevätkasvussa (Sunde 1996).

Hiilihydraattien konsentroituminen lisää selvästi kasvin kylmänkestävyyttä (Sakai & Larcher 1987). Niiden vaikutus kylmänkestävyyteen voi syntyä monella tavalla, esimerkiksi aiheuttamalla solunesteen väkeväytymistä ja siten vähentämällä jääkiteiden muodostumista (Pollock & Jones 1979). Kasvi voi myös ohjata jäätymisen syntymään solukalvon ulkopuolelle, jolloin syntyy konsentraatioero, joka saa aikaan veden siirtymisen solun sisältä ulkopuolelle lisäten samalla solunsisällön väkeväytymisen kautta kylmänkestävyyttä (Bélanger ym. 2002).

Aineenvaihdunnallinen aktiivisuus, kuten hiilihydraattien synteesi ja hajotus, tuottaa lämpöä, joka hidastaa jäätymistä (Pollock & Jones 1979). Hiilihydraatteja hajottamalla kasvi voi lisätä solunsisäistä osmoottista painetta ja sitä kautta estää plasmolyysin, eli solukalvon irtoamisen soluseinästä (Livingston ym. 2009). Merkittävää on myös hiilihydraattien ja erilaisten hiilihydraattien johdannaisten suora solukalvoja suojaava vaikutus solukalvojen rakenteissa (Sakai & Larcher 1987).

Kylmänkestävyys lisääntyy keskitalvea kohden mentäessä, jonka jälkeen se alkaa vähentyä kohti kevättä (Sunde 1996). Kasvi varastoi syksyllä varastohiilihydraatteja, joita se käyttää talven aikana soluhengitykseen. Varastohiilihydraattien avulla kasvi voi säädellä solun konsentraatiota ja siten vaikuttaa kylmänkestävyyteen. Niiden pitoisuuden ollessa korkealla myös kylmänkestävyys on hyvä. Lisäksi tiedetään, että lauhkean vyöhykkeen nurmikasvien varastohiilihydraattien, eli ei rakenteellisten hiilihydraattien kuten fruktaanien ja sakkaroosien, kokonaispitoisuus syksyllä vaikuttaa myös keväällä kasvukauden alkaessa kasvin kasvuun (White 1973, Halling 1988). Kasvuunlähtö on keväällä hyvä, kun fruktaanien pitoisuus syksyllä on korkea.

Kasvissa tapahtuu solutasolla kokonaisvaltaisia muutoksia sen karaistuessa. Tällöin myös muiden yhdisteiden kuin hiilihydraattien metabolia muuttuu (Sakai & Larcher

1987). Esimerkiksi lipidien muuttuminen kasvien solussa on olennaista kylmänkestävyyden saavuttamaksi. Lipidit ovat merkittävä osa solukalvojen rakennetta ja kasvukauden aikaisissa lämpötiloissa ne ovat veden tapaan nestemäisessä faasissa. Ne ovat järjestäytyneet solussa kaksoislipidikalvoksi siten, että solukalvo hylkii vesimolekyylä eli on hydrofobinen. Lämpötilan laskiessa lipidit kuitenkin muuttuvat geelimäiseksi, jolloin solukalvot eivät ole enää joustavia ja ovat siksi herkempiä vaurioille. Tutkimuksissa onkin todettu, että esimerkiksi syysrukiilla (*Secale cereale* L. cv *Puma*) tapahtuu muutoksia solukalvon rasvahappokoostumuksessa, jotka parantavat kylmänkestävyyttä (Uemura & Yoshida 1984). Lisäksi solukalvon proteiinien rakenne muuttuu kylmää kestävämmäksi kasvin karaistuessa. Tiedetään, että erityisesti tyydyttymättömien rasvahappojen osuus on suurempi kasveilla, jotka ovat karaistuneet (Taiz & Zeiger 2006).

Perimällä on selvä vaikutus heinäkasvien kylmänkestävyyteen. Timoteilla eteläistä alkuperää olevat lajikkeet, kuten Grindstad, eivät ole niin talvenkestäviä kuin pohjoista alkuperää olevat lajikkeet kuten Engmo (Larsen 1994). Tämä on havaittavissa runsaampina talvehtimisvaurioina, jotka johtunevat karaistumisen purkautumisesta lopputalvesta. Pohjoisilla lajikkeilla karaistuminen kestää pidempään, jolloin kasvi selviää paremmin myös lopputalven kylmistä olosuhteista verrattuna eteläisiin lajikkeisiin.

Kylmänkestävyyden syvyyteen ja pysyvyyteen vaikuttavat suuresti syksyn ja talven sääolot. Heinäkasveihin (*Poaceae*) kuuluvan syysvehnän (*Triticum aestivum* L.) (Mossberg ym. 2005) kylmänkestävyys riippuu kasvin karaistumisesta syksyllä (Andrews ym. 1974). Syksyllä karaistumiseen vaikuttaa negatiivisesti erityisesti korkea lämpötila (Andrews 1987). Lisäksi selvä lämpötilan nousu talvella voi aiheuttaa karaistumisen purkautumisen ja sitä kautta olla kasville tuhoisaa (Gusta & Fowler 1976). Toisaalta tiedetään, että syysvehnä voi karaistua talven aikana uudelleen, ja palauttaa osittain menetetyn kylmänkestävyyden. Uudelleen karaistuminen tapahtuu yleensä nopeammin kuin varsinainen syyskaraistuminen (Kalberer ym. 2006). Syksyllä karaistuminen talvea varten kestää viikoista kuukausiin, kun puolestaan karaistuminen esimerkiksi talvella lämpimän jakson jälkeen kestää päivistä korkeintaan viikkoihin.

Nurmikasveilla karaistumisen syvyys on riippuvainen lämpötilan lisäksi viljelytekniikasta ja erityisesti syksyn sadonkorjuun ajoituksesta. Tutkimusten mukaan sinimailasella (*Medicago sativa* L.) liian aikainen sadonkorjuu aiheuttaa tarpeetonta



syyskasvua, mikä puolestaan kuluttaa kasvin varastoravinteita ja siten laskee talvenkestävyyttä (Andrews 1987). Vastaavasti liian myöhäinen sadonkorjuu vähentää varastoravintojen määrää. Talvella esiintyvä jääpeite vähentää kylmänkestävyyttä (Andrews ym. 1974). Syysvehnä voi osittain palautua jääpeitteen aiheuttamasta kylmänkestävyyden heikkenemisestä jää- ja lumipeitteen kokonaan sulaessa kylmän kauden aikana.

Kylmänkestävyyttä voidaan mitata kontrolloiduissa olosuhteissa laskemalla lämpötilaa ja määrittämällä kylmänkestävyydeksi se lämpötila, jossa puolet kasveista kuolee ( $LT_{50}$  = Lethal Temperature for 50 %) (Levitt 1980, Sunde 1996). Yleisesti timotein kylmänkestävyys on nurmikasveista paras, ja se vaihtelee  $-13,8$  °C:sta  $-17$  °C:een (Gudleifsson ym. 1986, Sakai & Larcher 1987). Lajikkeilla ja erityisesti niiden alkuperällä on kuitenkin suuri vaikutus, ja esimerkiksi pohjoista alkuperää olevista lajikkeista Engmo kestää jopa  $-29$  °C lämpötilan (Sunde 1996). Vastaavassa kokeessa eteläistä alkuperää olevan Grindstadin alimmaksi  $LT_{50}$ - arvoksi mitattiin  $-22$  °C:sta. Eräs selitys pohjoisten lajikkeiden parempaan kylmänkestävyyteen on niiden nopeampi reagoiminen alhaiseen lämpötilaan ja pidempi kylmänkaraistuminen (Sunde 1996 ref. Eagles & Fuller 1982).

Vernalisaatio on kasvien keino välttää kylmälle herkkien kasvuvaiheiden ajoittuminen talven ajalle. Vernalisaatiovaatimuksesta johtuen, kasvi ei muodosta kukintiaan väärään aikaan, jolloin lisääntyminen ajoittuu kesään ja jälkeläisten tuotto on mahdollisimman suurta (Kim ym. 2009). Monet vernalisaatiota vaativat tai siitä hyötyvät kasvit ovat pitkän päivän kasveja, jotka kukkivat alkukesästä päivän pituuden ollessa riittävä. Optimaalinen vernalisaatiolämpötila on kasvilajista riippuvainen, mutta yleisesti ottaen lämpötilan tulee olla lähellä jäätymispistettä tai vähän sen yläpuolella. Vernalisaatio on aktiivinen reaktio, joka aikaansaa muutoksia kärkikasvupisteen geenien ilmenemisessä ja proteiinien synteesissä. Siksi lämpötila ei voi olla jäätymispisteen alapuolella, mikä hidastaisi merkittävästi solun aineenvaihduntaa.

Nurmikasvilajit voidaan jakaa kukinnan indusoinnin perusteella lajeihin, jotka vaativat sekä vernalisaation että pitkän päivän kukkiakseen (Ergon ym. 2006 ref. Cooper & Calder 1964, Heide 1994). Tällainen niin kutsutun kaksoisinduktion vaativa laji on esimerkiksi nurminata (*Festuca pratensis* Huds.). Sen sijaan timotei vaatii pelkästään pitkän päivän kukkiakseen. Vaikka timotei ei vaadi vernalisaatiota kukkiakseen, vaikuttaa se silti merkittävästi kasvutapaan. Vernalisoimaton timoteikasvusto

(syysato), kehittyä vernalisoitua kevätsatoa 12 vuorokautta hitaammin (Knievel & Smith 1970). Varsinaiseen kasvuston korkeuteen tai kukintojen määrään sillä ei kuitenkaan ole vaikutusta. Vernalisoimaton timoteikasvusto sisältää kuitenkin enemmän sekundaarisia versoja eli versoja, jotka ovat peräisin primaarisista versoista. Runsaammasta versonnasta sekä hitaammasta kehitysrytmistä johtuen versot ovat vegetatiivisessa tilassa pidempään, jolloin lehtien määrä on vernalisoitunutta timoteikasvustoa suurempi. Koska vernalisaatio käynnistää kärkikasvupisteen solukoiden geenien aktivoitumisen ja siten mahdollistaa kukinnan, vaikuttaa se myös kasvin kylmänkestävyyteen (Fowler ym. 1996, Mahfoozi ym. 2001). Esimerkiksi syysvehnällä kasvin siirtyessä vegetatiivisesta vaiheesta generatiiviseen, laskee kylmänkestävyys merkittävästi. Kasvinjalostuksessa onkin kiinnitettävä huomiota kylmänkestävyyden lisäksi vernalisaatiovaatimukseen ja kukinnan induktion ajoittumiseen. Jos kasvilla on lyhyt kylmänkauden vaatimus, voi sen kehitys käynnistyä liian aikaisin keväällä tai talven lauhana ajanjaksona, jolloin riski kylmän aiheuttamalle tuhoutumiselle on olemassa.

Optimaalisen vernalisaatioajan seuraamiseksi on kehitetty monia menetelmiä. Aikaa voidaan mitata esimerkiksi kasvukauden aikaisen lämpötilasumman kertymänä tai kalenteripäivien summana (Wang ym. 1995). Ongelmana on kuitenkin perimän ja ympäristön vuorovaikutus toisiinsa, jolloin esimerkiksi lämpötilaa seurattaessa tulokset saattavat vaihdella merkittävästi eri vuosien välillä. Eräs menetelmä vernalisaatiovaatimuksen täyttymisen seurantaan on laskea viimeisen kehitysvaiheen, kukintovaiheen, pääverson lehtien lukumäärä (Final Leaf Number, FLN). Menetelmä on havaittu hyväksi esimerkiksi syysvehnän vernalisaatiovaatimuksen täyttymistä määrittäessä. Vernalisaatiovaatimuksen täytyttyä kasvin kärkikasvupisteessä tapahtuu muutoksia siten, että se indukoituu tuottamaan kukinnon (Hay & Kirby 1991). Tällöin lehtiaiheiden muodostuminen kasvupisteessä loppuu. Koska tiedetään, että uusien lehtien kehitys tapahtuu vakiodulla rytmillä, voidaan vernalisaatiovaatimuksen täyttymistä seurata FLN- arvoina. FLN- arvo kertoo sen, miten pitkälle kasvin vernalisaatio on edennyt ja tällöin pystytään vertaamaan eri lajikkeiden välisiä eroja vernalisaatioaikavaatimusten suhteen.

## 2.5 Ilmastonmuutoksen vaikutus timotein kasvuun

### 2.5.1 Ilmastonmuutoksen suunnat

Maapallon ilmasto muodostuu monesta osasta (Viner ym. 2006). Meri, ilmakehä, jäätiköt, maaperä ja eliökehä muodostavat kokonaisuuden, jossa kaikki vaikuttavat toisiinsa. Ilmasto voi muuttua hyvin monesta eri syystä kuten esimerkiksi mannerlaattojen liikkeiden aiheuttamista tulivuorenpurkauksista, jolloin ilmaston muuttuminen saattaa olla hyvin paikallinen. Lisäksi ilmaston muutosta voidaan tarkastella hyvin erilaisilla aikajaksoilla, jolloin on havaittavissa selviä trendejä esimerkiksi maapallon keskilämpötilassa.

Viimeisin muutos ilmastossa on havaittu alkavan 1800- luvun puolesta välistä ja se on yhdistetty pitkälti ihmisen ja teollistumisen aiheuttamaksi (Houghton 2001). Teollistumisen seurauksena ovat kasvihuonekaasujen, kuten metaanin (CH<sub>4</sub>), hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) ja typpioksidin (N<sub>2</sub>O), pitoisuudet kasvaneet ilmakehässä selvästi. Tämä on seurausta muun muassa fossiilisten polttoaineiden runsaasta käytöstä sekä esimerkiksi hiilidioksidia sitovien metsien määrän vähenemisestä. Kasvihuonekaasujen aiheuttamasta ilmaston muutoksesta, kuten maapallon keskilämpötilan nousun nopeutumisesta, johtuen on pyritty kehittämään erilaisia ennusteita siitä, miten ilmasto tulee muuttumaan. Koska maapallon keskilämpötilan nousu on ollut selvästi nopeampaa kuin keskimääräisesti voidaan olettaa, on tästä syystä odotettavissa muutoksia ilmastossa erityisesti pohjoisemmilla alueilla. Talvien ennustetaan olevan leudompia ja vastaavasti kesät tulevat olemaan lämpimämpiä. Sademäärän odotetaan kasvavan talvisin ja erilaiset ääriolosuhteet tulevat lisääntymään niin lämpötilan kuin sademäärien ja erilaisten myrskyjen osalta.

### 2.5.2 Ilmaston muuttumisen vaikutus nurmikasvien viljelyyn

Muuttuva ilmasto luo erityisen suuria haasteita myös nurmikasveille. Ennusteiden mukaan lämpötila tulee Euroopassa nousemaan 2,5 – 5,5 °C:ta (Parry ym. 2007). Lämpötilan nousun odotetaan olevan entistä suurempi erityisesti pohjoisilla alueilla, joihin kuuluvat muun muassa Norjan sekä Suomen pohjoisosat ja joissa nurmenviljelyllä on alueellisesti erittäin suuri merkitys. Keskilämpötilan nousu, myrskyjen ja kuivien jaksojen sekä jääpeitteisyyden lisääntyminen sekä talven muuttuminen lauhemmaksi ja sateisemmaksi, luovat haasteita niin timotein kuin muidenkin nurmikasvien talvenkestävyydelle. Nurmiheinien epäonnistunut talvehtiminen aiheuttaa merkittäviä satotappioita ja sitä kautta taloudellisia menetyksiä.

Karaistuminen syksyllä on tärkeä osa timotein talvenkestävyyttä. Sademäärän ja lämpötilan nousun yhteisvaikutus on suurin karaistumiseen vaikuttava tekijä. Korkea lämpötila ja maan kosteus ehkäisevät karaistumista (Bélangier ym. 2002). Erityisesti liian kosteuden on havaittu estävän kasvin riittävää karaistumista (Calder ym. 1965). Ilmastonmuutosennusteiden mukaan tulee karaistumisaika lyhenemään 21 vuorokautta, mikä puolestaan vaikuttaa kasvin LT<sub>50</sub>-arvoon, huonontaan kasvin maksimaalista kylmänkestävyyttä lämpötilaa (Thorsen & Höglind 2010). Ennustemallin mukaan LT<sub>50</sub>-arvo tulee nousemaan minimiarvostaan timoteilla 3,9 °C:ta kun vastaava lukema englanninraiheinälle (*Lolium perenne* L.) on 1,9 °C:ta. Vaikka kasvin maksimaalinen kylmänkestävyyttä lämpötila nousee, ennuste kuitenkin olettaa karaistumisjakson olevan riittävä kasvin talvenkestävyyden kannalta.

Kaiken kaikkiaan talven muuttuminen leudommiksi ja sadannan lisääntyminen vetenä aiheuttaa riskitekijöitä talvehtimiselle (Bélangier ym. 2002). Lauhkealla vyöhykkeellä suurimpia riskitekijöitä timotein ja muiden nurmikasvien osalta on suojaavan lumikerroksen väheneminen ja siitä aiheutuvat pakkasvauriot. Talvella esiintyvät lauhat jaksot sekä syksyllä tapahtunut riittämätön kylmänkaraistuminen voivat johtaa kylmänkestävyyden nopeaan purkautumiseen ja pakkasvaurioihin talven leutoina jaksoina. Nurmikasvien sato tulee ennusteiden mukaan laskemaan seuraavan sadan vuoden sisällä (Bertrand ym. 2008). Vaikutus on erityisen merkittävä alueilla, joilla lämpötila on nykyisin päivällä keskimäärin + 22 °C:ta ja yöllä + 10 °C:ta. Sadon määrän ja laadun lasku perustuu optimaalisten kasvuolosuhteiden puuttumiseen. Paras sato kuiva-ainemäärältään sekä sulavuudeltaan saavutetaan alueella, jossa on pitkän päivän olosuhteet, lämpötilan ollessa päivisin keskimäärin + 17 °C:ta ja yöllä + 5 °C:ta. Tämän ylittävät lämpötilat laskevat sadon kuiva-ainemäärää, laskevat sulavuutta ja lisäävät hiilihydraattien pitoisuutta. Nämä ovat merkkejä ympäristöolosuhteiden kasville aiheuttamasta stressistä.

Kasvinjalostuksella voidaan vaikuttaa kasvien talvenkestävyyteen. Esimerkiksi koiranheinän (*Dactylis glomerata* L.) kylmänkestävyyttä on voitu parantaa valinnan avulla jo kolmen sukupolven aikana selvästi (Larsen 1994 ref. Larsen 1985). Timotein kylmän- ja talvenkestävyyden kehittämisen kannalta eräs mahdollisuus olisi jalostuksen keskittyminen enemmän alueellisesti, jolloin varsinaisia laajoille alueille sopeutuneita lajikkeita ei pyritäisi kehittämään (Larsen 1994). Kylmänkestävyys ja kestävyys erilaisia talven aiheuttamia stressejä vastaan, kuten jää ja lumi, eivät aina ole positiivisesti yhteydessä toisiinsa. Jalostuksen kannalta voisi olla helpompaa jalostaa

lajikkeita, jotka olisivat selvästi suunnattu joko kylmemmällä manneralueelle tai lauhkeammalle ja sateisemmalle rannikkoalueelle. Timotein luonnonpopulaatioissa esiintyy paljon geneettistä vaihtelua, jota voidaan hyödyntää kasvinjalostuksessa. Timoteilla talvenkestävyys on ongelma lähinnä eteläistä alkuperää olevilla lajikkeilla, joita viljellään pohjoisissa oloissa (Isolahti 2010). Käyttämällä jalostuksessa pohjoisia lajikkeita saadaan talvenkestäviä lajikkeita, mutta jälkikasvukyky huono ja satotaso alhainen. Risteyttämällä huonommin talvea kestäviä eteläisiä lajikkeita pohjoisiin lajikkeisiin, voidaan niiden jälkikasvukykyä lisätä.

### **3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET**

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten vernalisaatio vaikuttaa timotein kasvuun, kehitykseen, kasvuston rakenteeseen sekä kylmänkestävyyteen. Lisäksi selvitettiin, miten timotein alkuperä vaikuttaa sen vernalisaatiovasteeseen. Tutkimuksen hypoteesit olivat seuraavat:

$H_0$ : ”Vernalisaatio ei vaikuta timotein kasvuun, kehitykseen, kasvuston rakenteeseen sekä kylmänkestävyyteen”

$H_1$ : ”Vernalisaatio vaikuttaa timotein kasvuun, kehitykseen, kasvuston rakenteeseen sekä kylmänkestävyyteen”

$H_0$ : ”Vernalisaatio ei vaikuta eri tavalla eri alkuperää olevien timotein lajikkeiden sekä linjojen kehitysnopeuteen ja kylmänkestävyyteen”

$H_1$ : ”Vernalisaatio vaikuttaa eri tavalla eri alkuperää olevien timotein lajikkeiden sekä linjojen kehitysnopeuteen ja kylmänkestävyyteen”

### **4 AINEISTO JA MENETELMÄT**

#### **4.1 Tutkimuksissa käytettävä kasvimateriaali, koejäsenet ja koejärjestelyt**

Tutkimukseen sisältyi kaksi erillistä koetta: peltokoe ja kasvatuskaappikoe. Peltokokeessa (kappale 4.2) oli kahdeksan timoteilajiketta, jotka olivat alkuperältään ja kasvutavaltaan toisistaan poikkeavia: Tuure, Iki, Tammisto II, Bor01025, Grindstad, Jonatan, Tia ja Tika (Taulukko 1). Koe toteutettiin lohkoittain satunnaistettuna ruutukokeena, jossa oli neljä kerrannetta. Näiden lisäksi koealueen ympärillä oli suojaruodut reunavaikutuksen minimoimiseksi. Kokeen koeyksikkönä oli lajike.

Kasvatuskaappikokeessa (kappale 4.3) oli mukana yhteensä viisi timoteilajiketta tai linjaa: B112, Bor0113, Bor0307, Grindstad ja 21/1 (Taulukko 1). Käsittelyinä oli viisi eri vernalisaatioaikaa: 0, 2, 10, 12 ja 15 viikkoa. Astioiden järjestys kasvatuskaapeissa satunnaistettiin ja kasvien paikkoja vaihdeltiin viikoittain käsittelyn tasaisuuden varmistamiseksi.

Taulukko 1. Kokeessa käytettyjen timoteilajikkeiden ja linjojen alkuperätietoja, viljelyalue, sätötiedot sekä talvenkestävyys. (<sup>1</sup>Tuorepaimo)

Lajike/linja	Lajikekuvaus	Viljelyalue (vyöhyke)	Polveutuminen	1. Sato (kg/ha)	2. Sato (kg/ha)	Talvenkestävyys (talvituho-%)	Lähde
<b>Tuure</b>	Eteläistä alkuperää, hyvin talvenkestävä, hyvä ruokintalaatu	I,II,III,IV	BOR0212/Grindstad	5200	4444	3,2	Kangas ym. 2010, Boreal Kasvinjalostus Oy 2011
<b>Iki</b>	Pohjoinen, hyvä karaistumien, kohtuullinen sato	IV, V	Tervolan, Sodankylän, Posion ja Pelson alueelta kerätyistä yksilöistä kehitetty lajike	5087	4225	3,6	Kangas ym. 2010, Boreal Kasvinjalostus Oy 2011
<b>Tammisto II</b>	Satoisa ja talvenkestävä	I,II,III,IV,V	Viiden vanhempaiskloonin synteettisestä linjasta. Vanhempaiskloonien taustalla risteytyksiä lajikkeista Tammisto/Nokka ja Tammisto/Vähäsöyrinki	5011	4484	4,2	Kangas ym. 2010, Boreal Kasvinjalostus Oy 2011
<b>Grindstad</b>	Eteläinen, hyvä talvenkestävyys, hyvä ruokintalaatu	I,II,III,IV,V	Norjalainen paikalliskanta Oslon lähetyviltä	5146	5440	5	Kangas ym. 2010, K-Maatalous 2011
<b>Jonatan</b>	Pohjoinen, hyvä talvenkestävyys, hyvä ensimmäisen sadon laatu	I,II,III,IV,V	Risteytetty lajikkeista Svå 0850 ja timoteimateriaalista Kuopion lähetyviltä	4798	3788	5,6	Kangas ym. 2001, K-Maatalous 2011
<b>Tia</b>	Virolainen lajike	-	-	20775 <sup>1)</sup> (Virossa)	8675 <sup>1)</sup> (Virossa)	-	Soorm ym. 2011
<b>Tika</b>	Virolainen lajike	-	-	-	-	-	Soorm ym. 2011
<b>BOR01025</b>	Eteläistä alkuperää	-	-	-	-	-	Boreal Kasvinjalostus Oy 2011
<b>B112</b>	Eteläinen jalostuslinja	-	-	-	-	-	Boreal Kasvinjalostus Oy 2011
<b>21/1</b>	Pohjoinen jalostuslinja	-	-	-	-	-	Boreal Kasvinjalostus Oy 2011
<b>BOR0307</b>	Mantereinen jalostuslinja	-	-	-	-	-	Boreal Kasvinjalostus Oy 2011
<b>BOR0113</b>	Merellinen jalostuslinja	-	-	-	-	-	Boreal Kasvinjalostus Oy 2011

## 4.2 Peltokoe

### 4.2.1 Peltokokeen perustaminen ja hoito

Peltokoe toteutettiin Helsingin yliopiston Viikin koetilan pellolla (60°13'19"N 25°1'0"E). Koe perustettiin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen virallisten lajikekokeiden suoritusohjeiden mukaan keväällä 2009 (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 2011). Koelohko oli kynnetty edellisenä syksynä noin 25 senttimetrin syvyyteen, jonka jälkeen se keväällä äestettiin ennen kylvöä. Koeruudun koko oli 1,5 x 5,0 metriä. Kasvusto perustettiin suojaviljaan 22.5.2009 koeruutukylvökoneella (Wintersteiger TC2700, Itävalta). Suojaviljana oli ohra (*Hordeum vulgare* L.), jota kylvettiin 151 kiloa hehtaarille siten, että kasvustotiheys oli 350 siementä per neliö (m<sup>2</sup>). Ennen kylvöä ja kylvön jälkeen koalue jyrättiin tasaiseksi. Koalueen maaperän pH oli 6,3 ja maalaji hietainen savi (htS).

Timotein siementä kylvettiin 21,7 kiloa hehtaarille ja perustamisen yhteydessä kasvusto lannoitettiin siten, että typpeä annettiin 80 kg N/ha (Pellon Y1, N-P-K-S 27-2-2,5-2). Seuraavina vuosina kevätsadolle typpeä annettiin 80 kg N/ha (Nurmen NK2 N-P-K-S 20-0-15-2), ja jälkisadolle 60 kg N/ha (Suomensalpietari N-P-K-S 27-0-1-4).

Kevätsato korjattiin koeruutupuimurilla (Haldrup, Saksa) 17.6.2010 ja toisena vuonna 14.6.2011. Kuivuudesta johtuen toista sadonkorjuuta ei tehty vuonna 2010, vaan koalue puhdistusniitettiin elokuussa.

### 4.2.2 Näytteiden keräys, kylmätetit ja suoritettut mittaukset

Koeruuduilta kerättiin näytteitä talven aikana kuukausittain siten, että ensimmäisenä koevuotena (2009 – 2010) näytteet kerättiin marras-, joului-, tammi-, huhti- ja toukokuussa. Helmikuun ja maaliskuun näytteitä ei pystytty keräämään liian suuresta lumensyvyydestä johtuen. Toisena vuotena (2010 – 2011) näytteitä kerättiin kuukausittain loka-toukokuun aikana. Näytteenottoa varten koeruudulta poistettiin lumi näytteenoton ajaksi, jonka jälkeen se lapioidiin takaisin näytteenottoalueelle kasvuston talvehtimisen varmistamiseksi. Kasvit irrotettiin maasta hakun avulla siten, että juuristo ja versot säilyivät vaurioitumattomana. Näytteet tuotiin pellolta kylmiöön + 4 °C:een sulamaan yhden vuorokauden ajaksi. Sulamisen jälkeen näytteet pestiin haalealla vedellä ja kylmätestiä varten versot erotettiin toisistaan. Pesun yhteydessä kasvien juuriston multa poistettiin ja versot valmisteltiin kylmätestiä varten.



Kylmätesti tehtiin Lauda ProLine RP3530 (Saksa) kylmähauteella. Kylmätesti aloitettiin asettamalla pestyt versot kylmähauteen koeputkiin yön yli, lämpötilaan 0 °C:ta. Seuraavana päivänä lämpötila laskettiin ohjelmoidusti 2,5 °C:sta tunnissa, - 17,5 °C:een asti ja tästä eteenpäin 5 °C/h - 30 °C:een asti. Jokaisessa lämpötilassa oli neljä toistoa. Tällä tavalla saatiin aikaiseksi jokaiselle lajikkeelle joka näytteenottokuukaudelta lämpötilasarja. Näytteitä poistettiin hauteesta kuukaudesta riippuen lämpötilatasojen - 4 °C:ta ja - 30 °C:ta välillä. Kontrollinäytteet kerättiin vastaavalla tavalla joka lajikkeesta, ja ne säilytettiin pesun jälkeen jääkaapissa + 4 °C:ssa kylmätestin ajan. Seuraavana päivänä testatut versot sekä kontrolliversot istutettiin kasvihuoneelle (19/15 °C päivä/yölämpötila, päivänpituus 16 tuntia). Kasvatusalustana käytettiin lannoitettua ja kalkittua vaaleaa rahkaturvetta (Kekkilä White 420W B2), jonka pH oli 6,0, johtokyky 27 mS/m ja jonka ravinnepitoisuudet olivat 1600 mg N/kg ka, 500 mg P/kg ka sekä 2600 mg K/kg ka. Kasveja kasteltiin viikoittain, jonka yhteydessä niille annettiin kastelulannosta (Kekkilä kastelulannos N-P-K 17-4-25).

Kasvihuoneilla kasvien kasvua seurattiin viikoittain. Kasvien korkeus mitattiin viikoittain pääverson alaosasta ylimmän lehden kielekkeeseen ja mittausta jatkettiin kasvin kukintojen ilmestymiseen saakka. Samalla määritettiin viikoittain myös jokaisen kasvin elävyys käyttämällä asteikkoa 1 – 5 (1 = täysin kuollut, 5 = täysin elävä). Viikoittain havainnoitiin lisäksi kukkimispäivämäärä (days to heading). Kukkimispäivämääräksi määritettiin se päivä, jolloin käsittelyn yhden verson kukinto oli näkyvässä. Kukkimiseen tarvittava aika laskettiin vuorokausina kasvin istutuksesta kasvihuoneille kasvin kukkimiseen. Jokaisesta lajikkeesta, käsittelystä ja niiden toistoista havainnoitiin kukintopäivämäärät erikseen. Versojen kehitystä seurattiin, kunnes uusien muodostuvien kukintojen määrä loppui, minkä jälkeen koe purettiin ja näytekasvit tuhottiin. Kokeen purun yhteydessä määritettiin kontrollinäytteiden eri versotyypien (ELONG, GEN, VEG) lukumäärä sekä pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN, Final Leaf Number).

#### 4.2.3 Kylmänkestävyysarvon $LT_{50}$ laskeminen

Kylmänkestävyysarvo  $LT_{50}$  (lethal temperature 50 %, lämpötila jossa 50 % kasveista kuolee) analysoitiin logistisena regressiomallina seuraavasti (mukailten Gudleifsson ym. 1986):

$\ln \left( \frac{px}{1-px} \right) = -\alpha + \beta x$  missä kulmakerroin  $\beta$  kertoo kylmänkestävyyden logaritmisen muutoksen lämpötila-asteina, ja jossa  $\alpha$  on suoran leikkauspiste. Kylmänkestävyyden  $LT_{50}$  laskenta perustuu siihen, että kylmänkestävyyden ollessa pisteessä, jossa 50 % testikasveista kuolee, todennäköisyys tuhoutumiselle ja selviytymiselle on yhtä suuri. Tällöin logaritmiyhtälö saa arvon nolla  $-\alpha + \beta x = 0$  ja tällöin  $\left( \frac{px}{1-px} \right) - px = 1$ . Pisteessä, jossa logaritmi saa arvon nolla, antaa kulmakertoimen ( $\alpha$ ) ja leikkauspisteen ( $\beta$ ) suhde  $\frac{\alpha}{\beta}$  tekijälle  $x$  ennusteen 50 % stressitasolla, eli  $LT_{50}$ -arvon.

#### 4.2.4 Vuoden lämpötilaolojen kuvaus

Vuodenaika jaettiin kolmeen eri jaksoon: termiseen kasvukauteen (thermal growth period, GP), karaistumiskauteen (hardening period, HP) sekä talvikauteen (winter period, WP) (Thorsen & Höglind 2010). Näiden jaksojen lämpötilasummia hyödyntämällä laskettiin lämpötilaindeksit kuvaamaan karaistumiskautta sekä syksyn karaistumisoloja.

Kasvukauden katsottiin alkaneen, kun päivän keskilämpötila ylitti yhtäjaksoisesti viiden päivän ajan + 5 °C:n (Carter 1998 ref. Venäläinen & Nordlund 1988). Tätä lämpötilaa käytettiin rajakynnyksenä laskettaessa karaistumisjakson pituutta. Eri lämpötilaindeksit laskettiin taulukon 2. kaavojen mukaan.

Taulukko 2. Lämpötilaindeksien laskukaavat (mukailten Bélanger ym. 2002).

Indeksi	Kaava	Lähde
<b>DD5</b> lpt summa +5 °C	$\frac{\text{Vuorokausilämpötila}_{\text{MAX}} + \text{Vuorokausilämpötila}_{\text{MIN}}}{2} - \text{Lämpötila} + 5^{\circ}\text{C}$	McMaster 1997
<b>CDD5</b> lpt summa 0 – + 5 °C	Astepäiväluku väliltä 0 °C < Vuorokausilämpötila (T) ≤ + 5 °C	Thorsen & Höglind 2010
<b>FH-COLD</b>	Syksyn karaistumiskauden lämpötilasumma, $\sum \text{CDD5} - \sum \text{DD5}$ (X5-X4)	Bélanger ym. 2002
<b>X1</b>	Päivämäärä jolloin lämpötilan minimi ensimmäisen kerran ≤ - 10 °C	Bélanger ym. 2002
<b>X2</b>	$\sum \text{CDD5} - \sum \text{DD5}$ väliltä 1. elokuuta – (X1-1) (jos X2 < 0, X2=0)	Bélanger ym. 2002
<b>X3</b>	Seuraava päivämäärä siitä kun $\sum \text{CDD5} = 0$	Bélanger ym. 2002
<b>X4</b>	$\sum \text{DD5}$ päivämäärästä X3 päivämäärään (X1-1)	Bélanger ym. 2002
<b>X5</b>	$\sum \text{CDD5}$ päivämäärästä X3 päivämäärään (X1-1)	Bélanger ym. 2002
<b>HP</b>	Karaistumiskausi(X1 – X3)	Bélanger ym. 2002

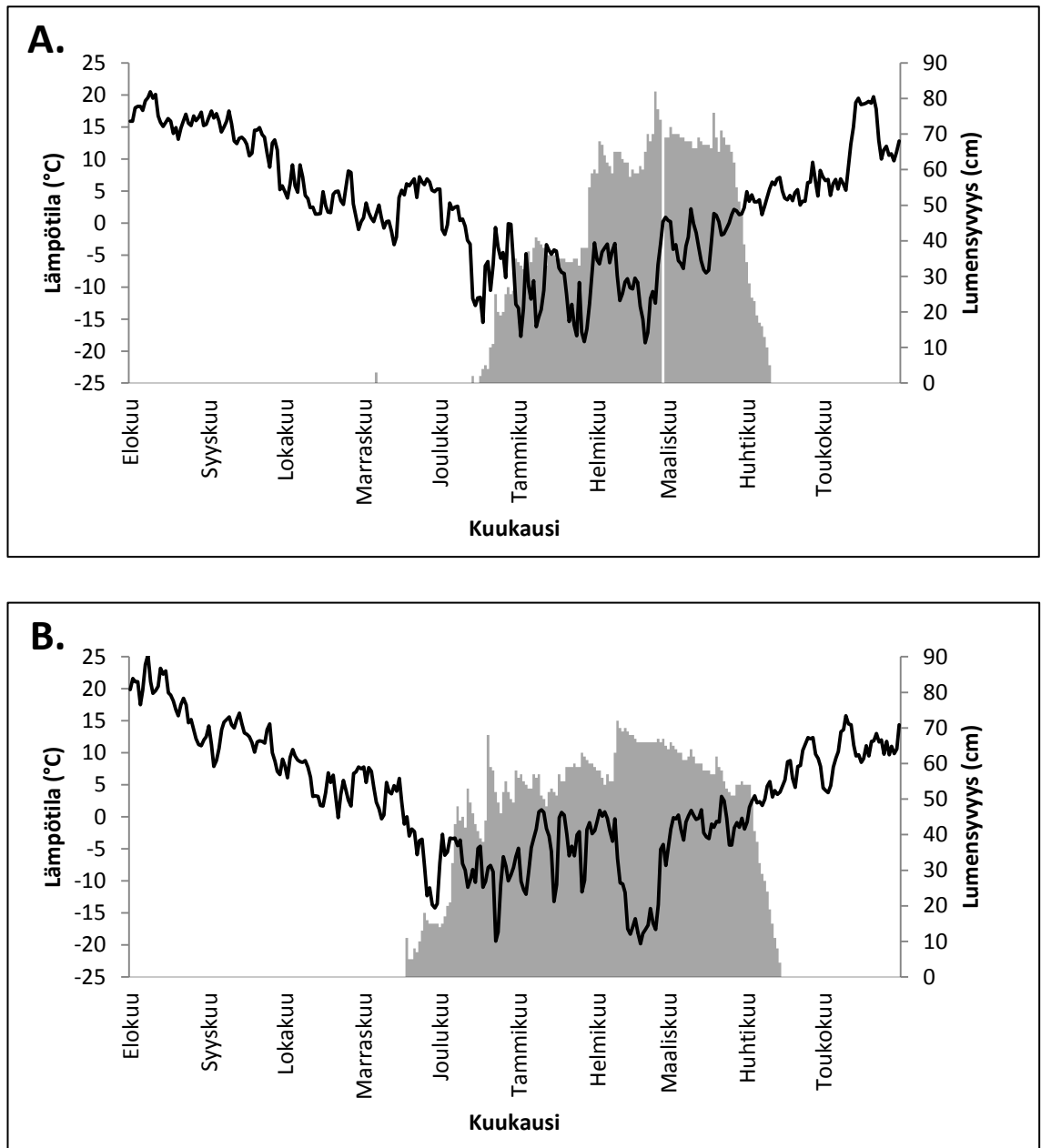
Taulukko 3. Käytetyt lämpötilaindeksit ja niiden selitteet

Indeksi	Selite	Lähde
<b>HP</b> (Hardening period)	Karaistumiskausi syksyllä, jolloin kasvi valmistautuu kylmään	Bélanger ym. 2002
<b>FH-COLD</b> (Fall hardening)	Karaistumiskauden aikainen lämpötilasumma astepäivinä (°C) lämpötilan ollessa välillä 0 °C ja + 5 °C	Bélanger ym. 2002
<b>CDD5</b> (Cold degree-days between 0°C and + 5°C)	Lämpötilasumma astepäivinä (°C), kun lämpötila on välillä 0 °C ja + 5 °C	Bélanger ym. 2002
<b>DD5</b> (Degree-days above +5°C)	Lämpötilasumma astepäivinä (°C), kun lämpötila on yli + 5 °C	Bélanger ym. 2002

#### 4.2.5 Sää tiedot

Molemmat talvet 2009 – 2010 ja 2010 – 2011 olivat runsaslumisia. Pysyvä mitattu lumipeite tuli syksyllä 2009 14. joulukuuta (Kuva 1), mutta lumipeitettä esiintyi jo ensimmäisen kerran 6. marraskuuta. Syksyllä 2010 pysyvä lumipeite tuli jo 18. marraskuuta. Talvella 2009 – 2010 lumi oli syvimmillään 82 senttimetriä ja 2010 – 2011 72 senttimetriä. Lumipeite säilyi koko talven molempina vuosina. Lumipeite poistui keväällä 2010 11. huhtikuuta ja vastaavasti keväällä 2011 hieman myöhemmin 15. huhtikuuta.

Talvella 2009 – 2010 alin lämpötila oli tammikuun 23. päivä, jolloin lämpötila laski – 22,8 °C:een (Kuva 1). Talvella 2010 – 2011 puolestaan alin lämpötila oli helmikuun 20. päivä, jolloin lämpötila laski – 23,5 °C:een.



Kuva 1. Talven 2009 – 2010 vuorokauden keskilämpötila (°C) ja lumensyvyys (cm) (A). Talven 2010 – 2011 vuorokauden keskilämpötila (°C) ja lumensyvyys (cm) (B).

■ Lumensyvyys (cm) — Keskilämpötila (°C) Lähde: Ilmatieteenlaitos, ilmastokeskus.

### 4.3 Kasvatuskaappikoe

#### 4.3.1 Kasvatuskaappikokeen perustaminen

Kasvatuskaappikoe toteutettiin Helsingin yliopistolla Viikissä kasvihuoneiden kasvatuskaapeissa (Weiss Technik, Saksa). Koe perustettiin siten, että linjoista Bor0113, Bor0307 sekä lajike Grindstad käytettiin siementaimia. Linjoista B112 ja 21/1 käytettiin kloonitaimia. Kasvualustana käytettiin lannoitettua ja kalkittua vaalea rahkaturvetta (Kekkilä White 420W B2). Kaikki linjat ja lajikkeet esikasvatettiin 0,75 litran astioissa lyhyessä päivässä (12 tuntia) kolmen viikon ajan (19/15 °C päivä/yölämpötila). Esikasvatuksen jälkeen kasvit siirrettiin eripituisiin vernalisaatiokäsittelyihin (0, 2, 10, 12, 15 viikkoa) kasvatuskaappeihin. Kasvatuskaapeissa päivänpituus oli 8 tuntia (6/4 °C päivä/yölämpötila). Valon intensiteetti oli 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ . Vernalisaatiokäsittelyn jälkeen kasvit siirrettiin kasvihuoneille (19/15 °C päivä/yölämpötila, päivänpituus 16 tuntia), jolloin ne siirrettiin isompiin kolmen litran kasvatusastioihin siten, että jokaiseen astiaan tuli kolme kasviyksilöä. Astioiden vaihdon yhteydessä kasvien pääverso sekä vernalisaation aikana syntyneet sivuversot merkattiin kumirenkaalla.

#### 4.3.2 Suoritetut mittaukset

Kasvien kasvua seurattiin kasvihuoneilla viikoittain. Niiden korkeus mitattiin kokeen aikana joka toinen viikko samalla tavalla kuin peltokokeessa. Kukintapäivämäärät (days to heading) havainnoitiin viikoittain ja lajike/linja sekä käsittely määriteltiin ensimmäisen kerran kukkivaksi heti, kun jossakin näytekasveista oli havaittavissa kukinnon esille tulo. Kukintapäivämäärät havainnoitiin jokaisesta lajikkeesta, käsittelystä ja niiden toistoista erikseen. Kasvua seurattiin kunnes uusien muodostuvien kukintojen määrä loppui ja kasvusto alkoi vanhentua. Kukkimiseen tarvittava aika laskettiin vuorokausina kasvin istutuksesta kasvihuoneille kasvin kukkimiseen. Kokeen päätyttyä määritettiin pääversion versotyyppi, jonka lisäksi laskettiin pääversion lopullinen lehtien lukumäärä (FLN). Lisäksi määritettiin vernalisaation aikana syntyneiden versojen versotyypit (ELONG, GEN, VEG) ja niiden lukumäärät sekä samalla määritettiin vernalisaation jälkeen syntyneiden versojen versotyyppi sekä niiden lukumäärät.

### 4.4 Tilastolliset analyysit ja menetelmät

Peltokokeen kylmänkestävyysarvot saatiin analysoimalla elävyysarvot logistisena regressiomallina tilasto-ohjelmalla SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Peltokokeen muita tuloksia analysoitiin lisäksi varianssianalyysillä yhden selittävän muuttujan mallina johtuen käytetyn datan heterogeenisyydestä. Analysoinnissa käytettiin tilasto-ohjelmaa SPSS PASW statistic 18. Lisäksi analysoitiin  $LT_{50}$ -arvojen autokorrelaatiokertoimet käyrän eri pisteiden keskinäisen korrelaation ennustettavuuden kuvaamiseksi. Kasvatuskaappikokeen tulokset puolestaan analysoitiin SPSS PASW statistic 18-tilasto-ohjelmalla. Tulokset analysoitiin varianssianalyysillä usean selittävän muuttujan mallina.

## 5 TULOKSET

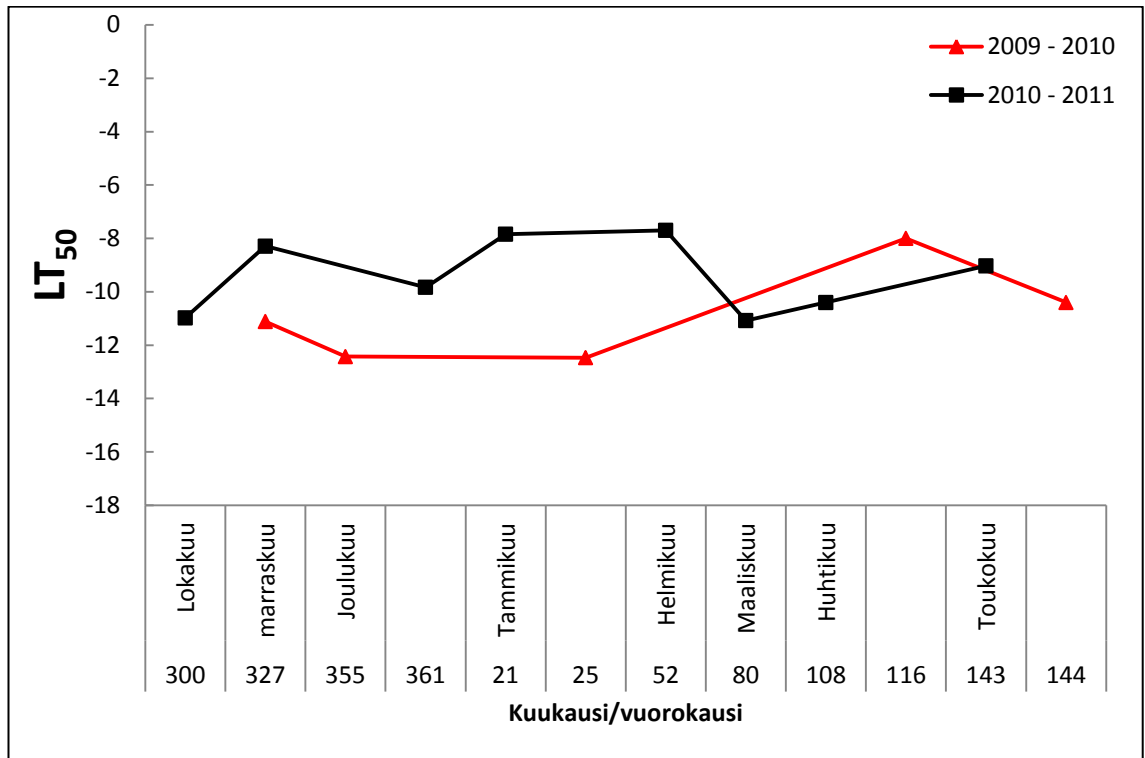
### 5.1 Peltokoe

Peltokokeen lopulliset tulokset analysoitiin kylmänkestävyyttä lukuun ottamatta kerättyjen näytteiden kontrollikasveista. Nurmet talvehtivat molempina vuosina peltoolosuhteissa kaiken kaikkiaan hyvin, vaikka kylmänkestävyys oli alhainen etenkin talvella 2010 – 2011. Syksyllä 2009 karaistumiskausi (HP) oli 74 vuorokautta, kun taas syksyllä 2010 kauden pituus oli 44 vuorokautta. Syksyn karaistumisjakson astepäivien summa (FH-COLD) oli + 246,40 °C:ta syksyllä 2009 ja vastaavasti syksyllä 2010 oli + 153,75 °C:ta.

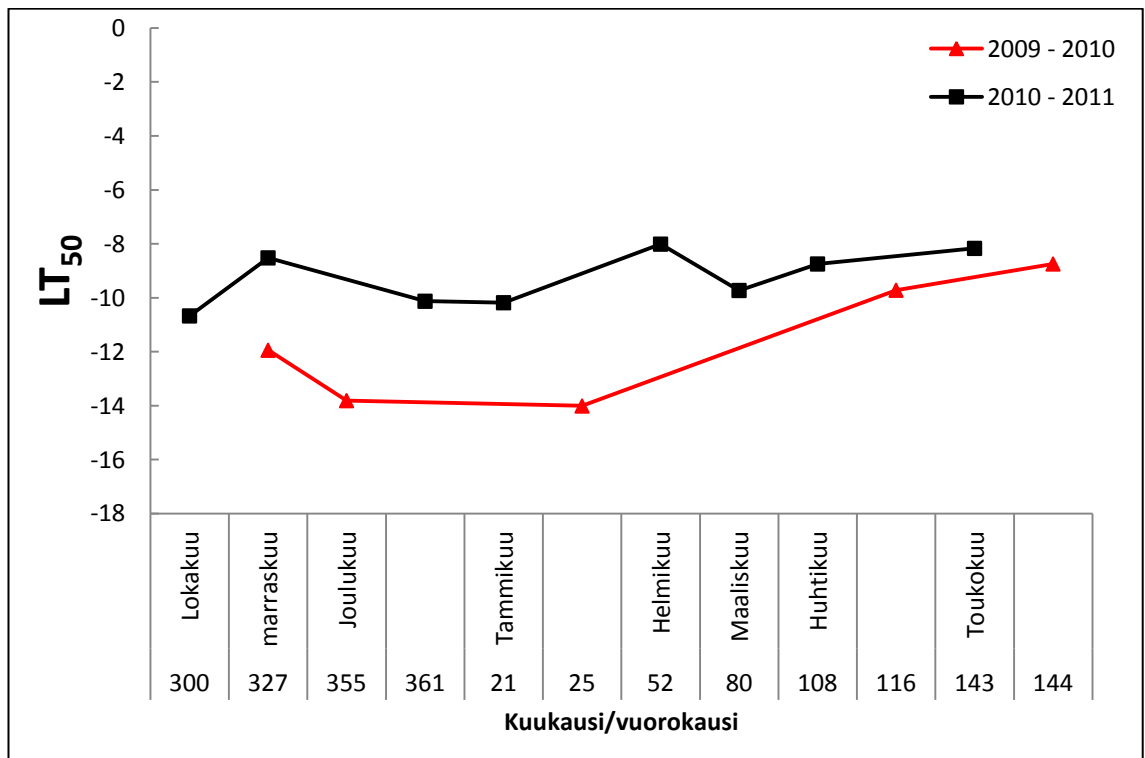
Peltokokeelta korjattiin ja mitattiin molempina vuosina ensimmäinen sato. Tuoresato oli kesällä 2010 ensimmäisessä sadossa 26838 kg ha<sup>-1</sup> (keskivirhe SE = 240). Kesällä 2011 ensimmäisen sadon tuoresato oli puolestaan 21304 kg ha<sup>-1</sup> (keskivirhe SE = 353).

#### 5.1.1 Kylmänkestävyys ( $LT_{50}$ )

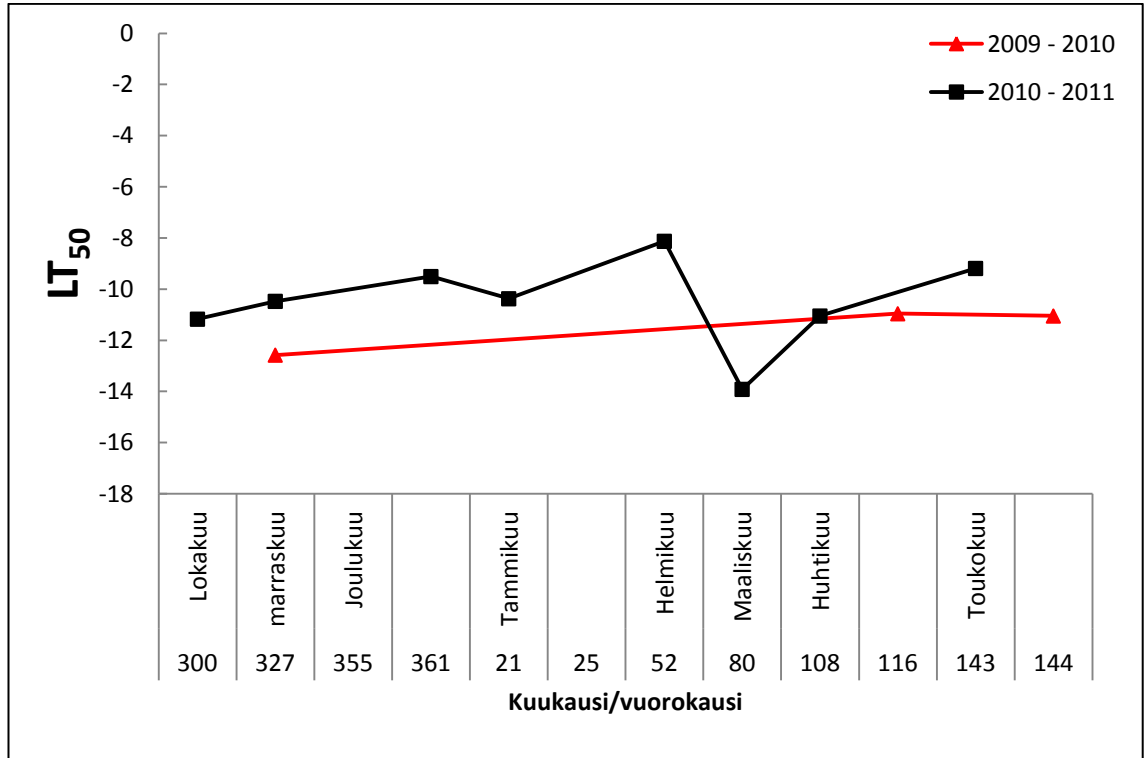
Kylmänkestävyys poikkesi talvien 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011 välillä. Kaikilla lajikkeilla, lukuun ottamatta lajiketta Tia, kylmänkestävyysarvo oli matalampi talvella 2009 – 2010 kerätyillä näytteillä (Kuvat 2 – 9). Matalin kylmänkestävyysarvo oli lajikkeella Bor01025 talven 2009 – 2010 joulukuussa kerätyillä näytteellä, jonka kylmänkestävyys oli – 15,1 °C:ta. Talven 2010 – 2011 matalin kylmänkestävyys oli lajikkeella Tammisto II. Maaliskuussa kerätyn näytteen kylmänkestävyys oli – 13,9 °C:ta. Korkein kylmänkestävyysarvo talven 2009 – 2010 näytteissä oli lajikkeella Bor01025 tammikuussa kerätyssä näytteessä, jolloin kylmänkestävyys oli – 7,8 °C:ta. Talven 2010 – 2011 näytteissä puolestaan korkein kylmänkestävyysarvo oli joulukuussa kerätyssä lajikkeella Tika, jonka kylmänkestävyys oli – 6,8 °C:ta.



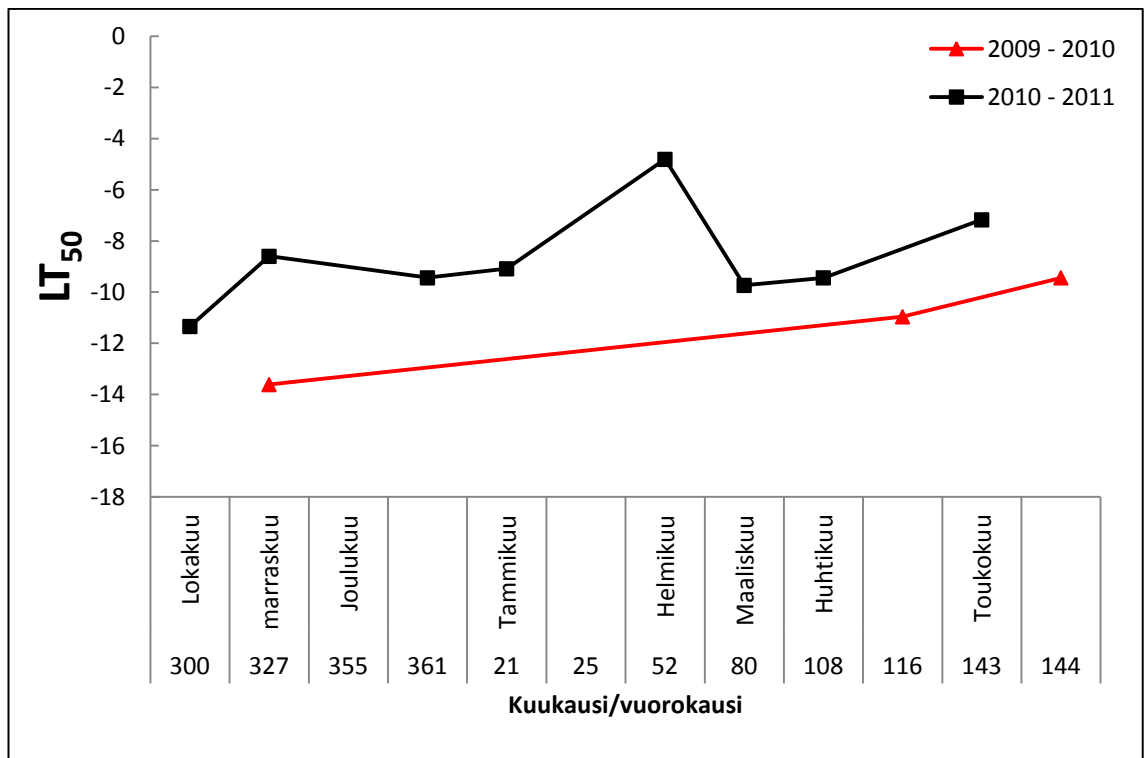
Kuva 2. Lajikkeen Tuure kylmänkestävyysarvo (LT<sub>50</sub>) talvina 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011. Talvella 2009 – 2010 näytteitä oli vain marras-, joulu-, tammi-, huhti-, ja toukokuulta..



Kuva 3. Lajikkeen Iki kylmänkestävyysarvo (LT<sub>50</sub>) talvina 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011. Talvella 2009 – 2010 näytteitä oli vain marras-, joulu-, tammi-, huhti-, ja toukokuulta.

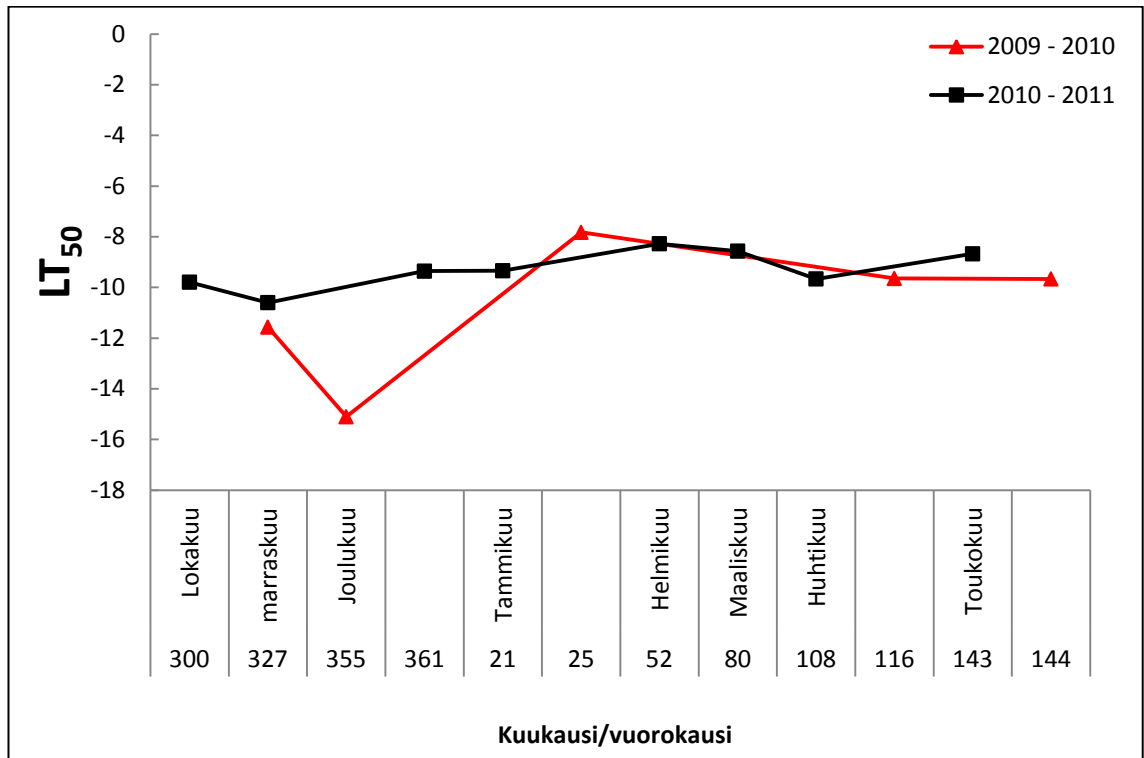


Kuva 4. Lajikkeen Tammisto II kylmänkestävyysarvo (LT<sub>50</sub>) talvina 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011 Talvella 2009 – 2010 näytteitä oli vain marras-, huhti-, ja toukokuulta..

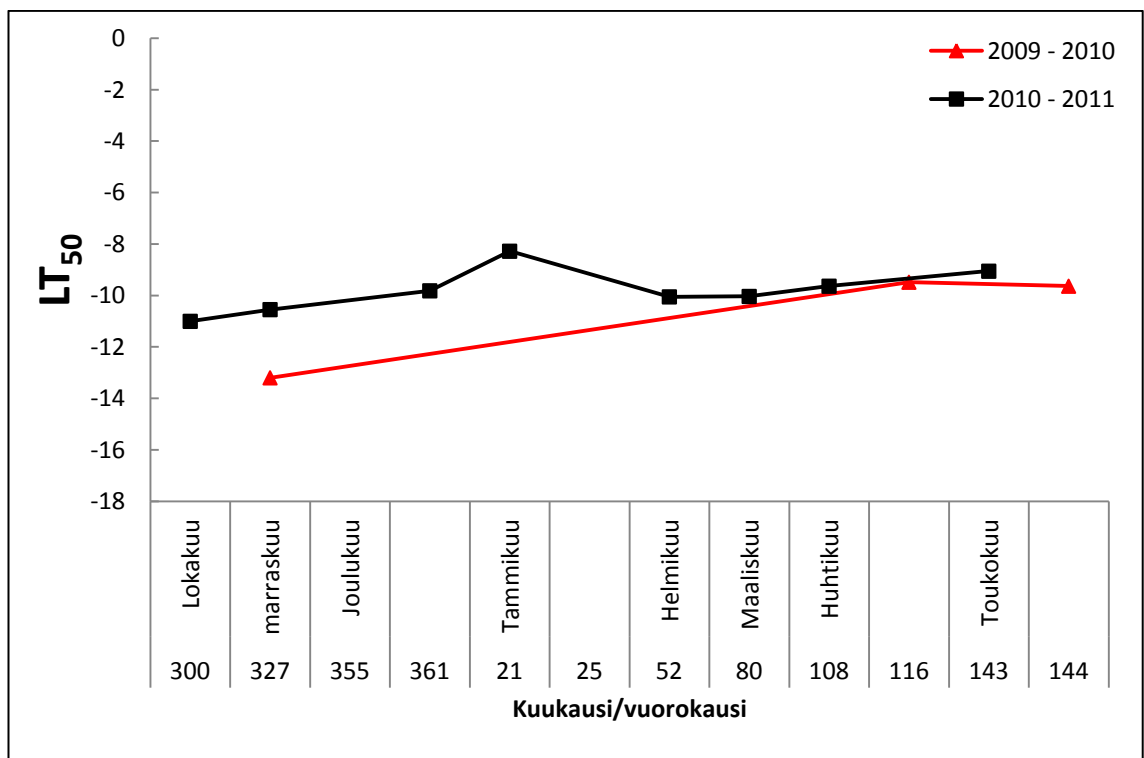


Kuva 5. Lajikkeen Grindstad kylmänkestävyysarvo (LT<sub>50</sub>) talvina 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011. Talvella 2009 – 2010 näytteitä oli vain marras-, huhti-, ja toukokuulta.

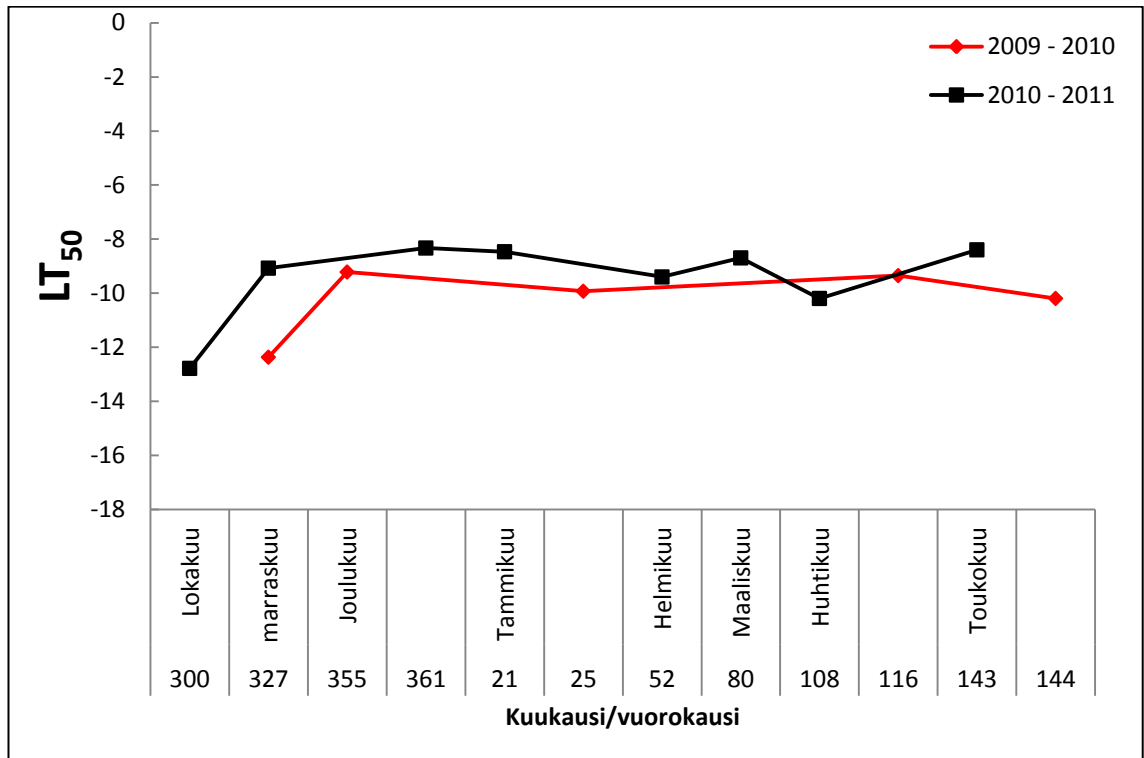




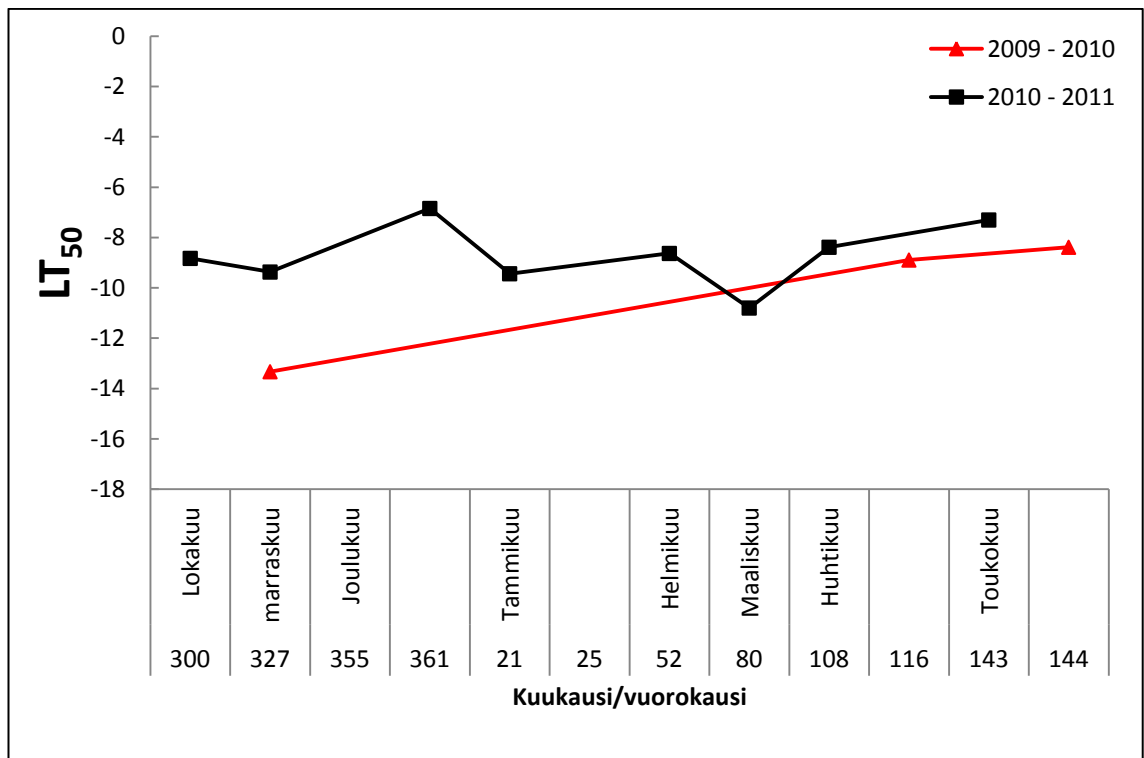
Kuva 6. Lajikkeen Bor01025 kylmänkestävyysarvo (LT<sub>50</sub>) talvina 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011. Talvella 2009 – 2010 näytteitä oli vain marras-, joulu-, tammi-, huhti-, ja toukokuulta.



Kuva 7. Lajikkeen Jonatan kylmänkestävyysarvo (LT<sub>50</sub>) talvina 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011. Talvella 2009 – 2010 näytteitä oli vain marras-, huhti-, ja toukokuulta.



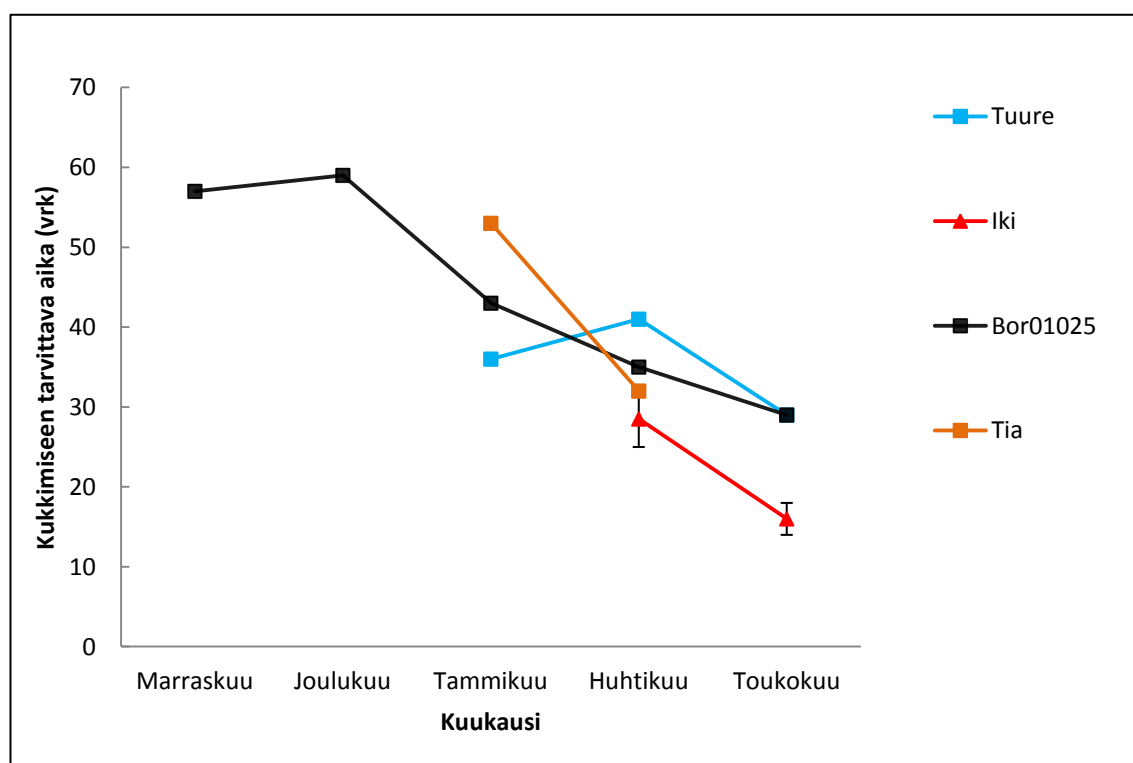
Kuva 8. Lajikkeen Tia kylmänkestävyysarvo ( $LT_{50}$ ) talvina 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011. Talvella 2009 – 2010 näytteitä oli vain marras-, joulu-, tammi-, huhti-, ja toukokuulta.



Kuva 9. Lajikkeen Tia kylmänkestävyysarvo ( $LT_{50}$ ) talvina 2009 – 2010 sekä 2010 – 2011. Talvella 2009 – 2010 näytteitä oli vain marras-, huhti-, ja toukokuulta.

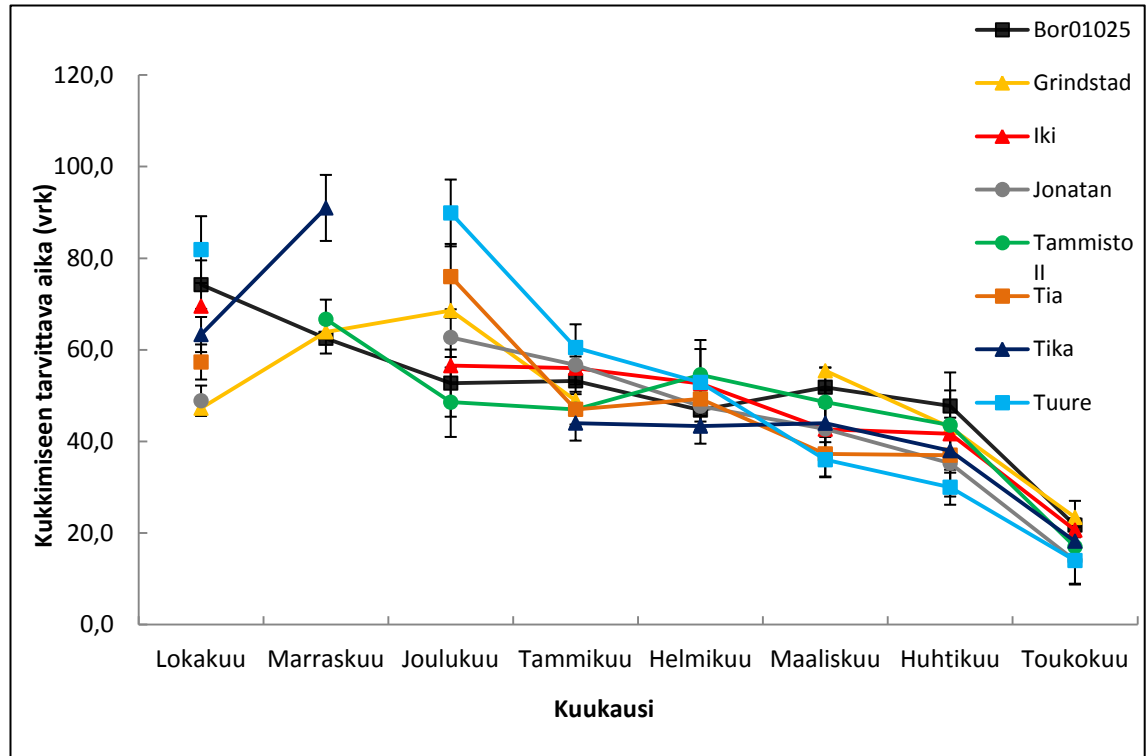
### 5.1.2 Kukinnan alku (days to heading)

Lajikkeet ja linja erosivat merkitsevästi kukinnan alkamisessa talvella 2009 - 2010 ( $p = 0,005$ ) (Kuva 10, Liite 1). Marras- ja tammikuussa näytteitä kerättiin vain lajikkeista Tuure, Iki, Tia ja linjasta Bor01025. Huhti- ja toukokuussa näytteet kerättiin kaikista lajikkeista. Linja Bor01025 oli ainoa, jolla oli kukintavalmius jo syksyllä ja kukkivia versoja muodostui kaikkina havaintokuukausina. Muilla tutkituilla lajikkeilla kukkiminen alkoi vasta tammikuussa kerätyissä näytteissä (Tuure ja Tia). Verrattaessa lajikkeiden kukintavalmiutta huhti- ja toukokuussa havaitaan että kaikki lajikkeet kukkivat. Lisäksi näytekuukausien välillä oli merkitsevä ero kukintapäivämäärien välillä ( $p = 0,000$ ) (Kuva 10). Kasvihuoneille istuttamisen ja kukkimisen välinen aika oli pisin marraskuussa ja joulukuussa kerätyissä näytteissä, jonka jälkeen aika lyhenyi.



Kuva 10. Aika istutuksesta kukinnan alkuun vuorokausina talvella 2009 – 2010 lajikkeilla Tuure, Iki, Tia ja linjalla Bor01025. Havainnon puuttuessa lajike ei kukkinut. Jana osoittaa keskivirheen (SE,  $n = 1 - 3$ )

Talvella 2010 – 2011 kukintavalmiudessa ei ollut tilastollisesti merkittävää eroa lajikkeiden tai linjan välillä ( $p$  0,649) (Kuva 11, liite 2). Linja Bor01025 oli ainoa, joka kukki jokaisena näytekuukautena. Tammi-, maaliskuu- ja huhtikuussa kaikkien lajikkeiden ja linjojen näytekasvit kukkivat.



Kuva 11. Aika istutuksesta kukinnan alkuun vuorokausina talvella 2010 – 2011. Havainnon puuttuessa lajike ei kukkinut. Jana osoittaa keskivirheen (SE,  $n = 1 - 4$ ).

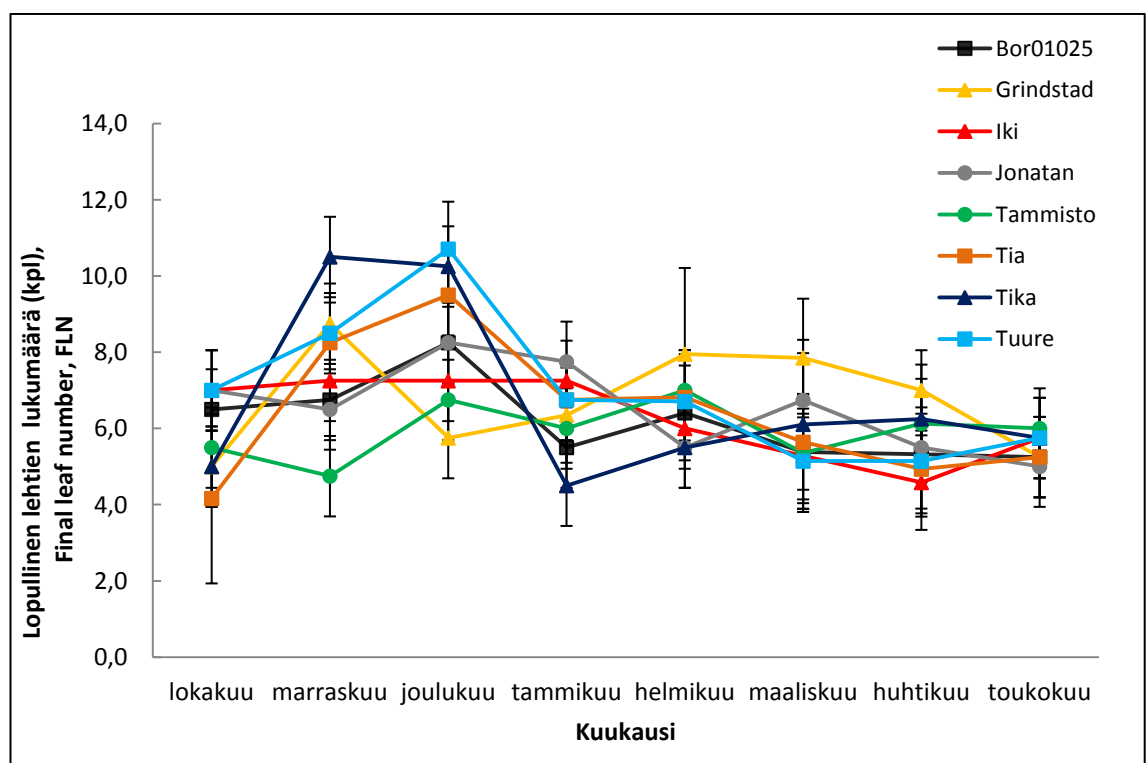
Talven 2010 – 2011 näytekuukausien välillä oli eroja kukintapäivämäärien välillä ( $p = 0,000$ ) (Kuva 11). Aika näytteiden istuttamisesta kasvihuoneille niiden kukintaan lyheni talven edetessä. Pisin istutuksen ja kukkimisen välinen aika oli lokakuussa, marraskuussa ja joulukuussa kerätyillä näytteillä, joiden jälkeen aika lyheni. Lyhin istutuksen ja kukkimisen välinen aika oli toukokuun näytteillä.

Talvella 2009 – 2010 kerätyt näytteet kukkivat aikaisemmin kuin talven 2010 – 2011 näytteet. Esimerkiksi lajikkeen Tuure kukkimiseen tarvittava aika oli talvella 2009 – 2010 keskimäärin 36 vuorokautta ja 2010 – 2010 keskimäärin 60,5 vuorokautta. Toisaalta linjan Bor01025 kukkimiseen tarvittava aika oli molempina talvina lähes sama. Lajike Iki puolestaan muodosti talvella 2010 – 2011 kukkivia versoja jo loka- ja joulukuussa, kun 2009 – 2010 kukkivia versoja oli vasta huhtikuussa kerätyissä näytteissä.

### 5.1.3 Pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN)

Lehtien lukumäärä laskettiin talven 2010 – 2011 näytteistä. Lajikkeiden tai linjan välillä ei ollut eroa lopullisessa lehtien lukumäärässä ( $p = 0,311$ ). Lehtien lukumäärä vaihteli lajikkeilla ja linjalla, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkittäviä (Kuva 12, Liite 2).

Lehtien lukumäärä erosi eri näytekuukausien välillä ( $p < 0,000$ ). Lukumäärä oli korkeimmillaan marras-, ja joulukuussa kerätyissä näytteissä, jonka jälkeen se väheni (Kuva 12). Poikkeuksena olivat kuitenkin lajikkeet Grindstad ja Tika, joiden lehtien lukumäärä lisääntyi helmi-, ja maaliskuussa. Lisäksi lehtien lukumäärä kasvoi helmikuun näytteissä verrattuna tammikuuhun linjalla Bor01025 sekä lajikkeilla Tammisto II ja Tia, jonka jälkeen lehtien lukumäärä kääntyi laskuun.



Kuva 12. Kontrollikasvien pääverson lehtien lopullinen lukumäärä (kpl) (FLN) talven 2010 – 2011 näytteillä. Jana osoittaa keskivirheen (SE,  $n = 1 - 4$ )

### 5.1.4 Kasvuston rakenne

Talven 2009 - 2010 näytteistä määritettiin generatiivisten ja elongoituvien versojen lukumäärä. Generatiivisten versojen lukumäärässä ei ollut eroa lajikkeiden tai linjan välillä ( $p = 0,444$ ). Generatiivisten versojen lukumäärässä ei ollut myöskään eroa näytekuukausien välillä ( $p = 0,332$ ). Huhtikuussa ja toukokuussa generatiivisia versoja

oli enemmän kuin marraskuussa, joulukuussa ja tammikuussa, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 4).

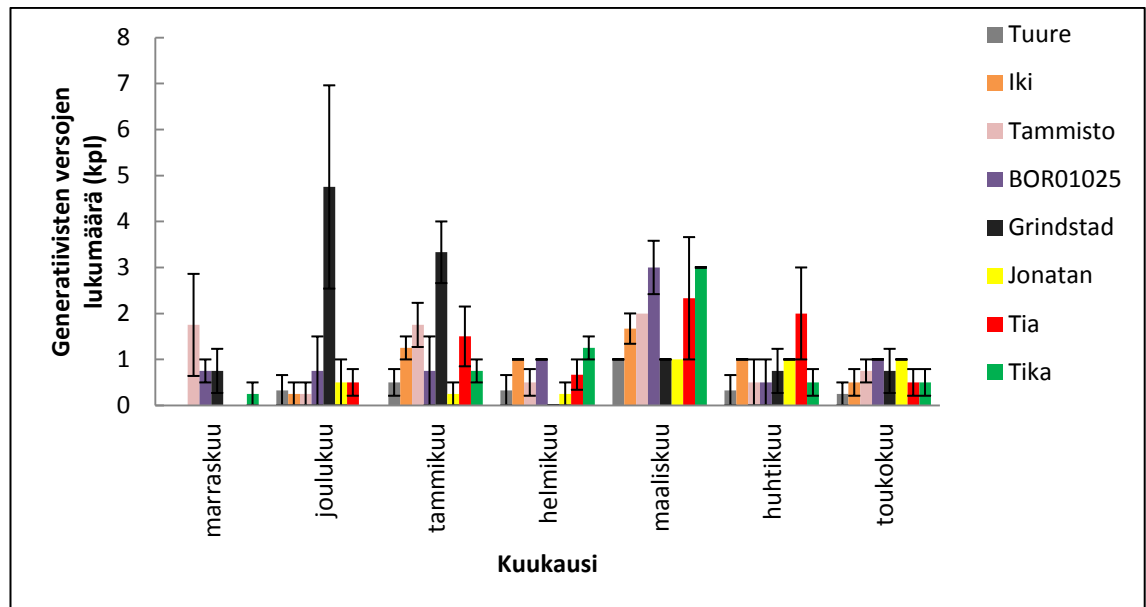
Elongoituvien versojen määrässä ei ollut eroa talven 2009 – 2010 näytteissä eri lajikkeiden välillä ( $p = 0,971$ ). Eroa elongoituvien versojen määrässä ei ollut myöskään näytekuukausien välillä ( $p = 0,657$ ). Elongoituvia versoja oli kuitenkin selvästi tasaisemmin jokaisessa näytteenottokuukaudessa verrattuna generatiivisiin versoihin (Taulukko 4).

Taulukko 4. Talven 2009 – 2010 kontrollikasvien elongoituvien (ELONG) ja generatiivisten (GEN) versojen lukumäärien jakauma.  $\pm$  Ilmaisee keskivirheen (SE,  $n = 1 - 3$ ).

	MARRASKUU		JOULUKUU		TAMMIKUU		HUHTIKUU		TOUKOKUU	
	ELONG	GEN	ELONG	GEN	ELONG	GEN	ELONG	GEN	ELONG	GEN
<b>Tuure</b>	1,00	-	1,00	-	2,33 $\pm$ 1,33	1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	1,00	1,00 $\pm$ 0,00
<b>Iki</b>	-	-	1,00	-	1,00	-	1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	-	1,00 $\pm$ 0,00
<b>Tammisto</b>	1,00	-	ei kerätty		ei kerätty		1,00 $\pm$ 0,00	1,50 $\pm$ 0,41	-	1,00 $\pm$ 0,00
<b>BOR01025</b>	1,00 $\pm$ 0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	1,00	1,00
<b>Grindstad</b>	-	-	ei kerätty		ei kerätty		1,00 $\pm$ 0,00	1,41 $\pm$ 0,82,	-	1,00 $\pm$ 0,00
<b>Jonatan</b>	-	-	ei kerätty		ei kerätty		1,00 $\pm$ 0,00	1,67 $\pm$ 0,33	-	1,50 $\pm$ 0,41
<b>Tia</b>	1,00	-	1,00	-	2,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	-	2,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	-
<b>Tika</b>	-	-	ei kerätty		ei kerätty		1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	1,00	1,00 $\pm$ 0,00

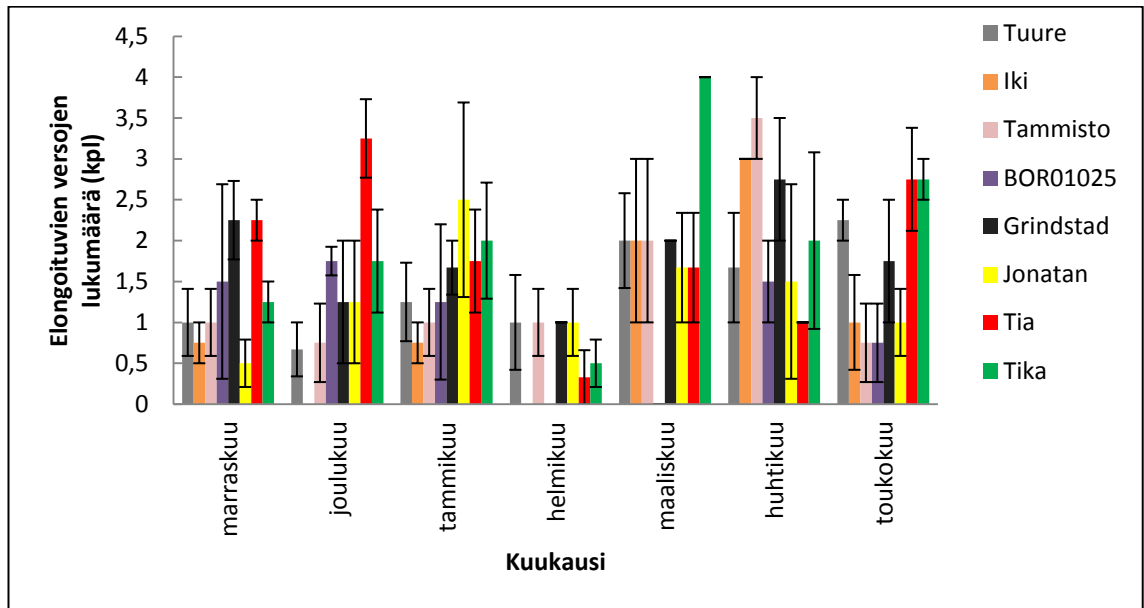
Myös talven 2010 – 2011 näytteistä määritettiin generatiivisten, elongoituvien ja vegetatiivisten versojen lukumäärä. Generatiivisten versojen lukumäärässä oli eroa lajikkeiden ja linjan välillä ( $p = 0,009$ ). Marraskuussa generatiivisia versoja oli eniten lajikkeella Tammisto II, joului- ja tammikuussa lajikkeella Grindstad (Kuva 13). Helmi- ja maaliskuussa suurin generatiivisten versojen määrä oli lajikkeella Tika ja huhtikuussa Tialla. Toukokuussa suurin generatiivisten versojen määrä oli linjalla Bor01025 ja lajikkeella Jonatan.

Talvella 2010 – 2011 näytteiden generatiivisten versojen määrässä oli eroa myös näytekuukausien välillä ( $p = 0,001$ ). Generatiivisten versojen lukumäärä kasvoi maalissa ja huhtikuussa kerätyillä näytteillä (Kuva 13). Vähiten generatiivisia versoja oli marras- ja joulukuussa lukuun ottamatta lajiketta Grindstad, jonka generatiivisten versojen määrä oli korkein joulukuussa.



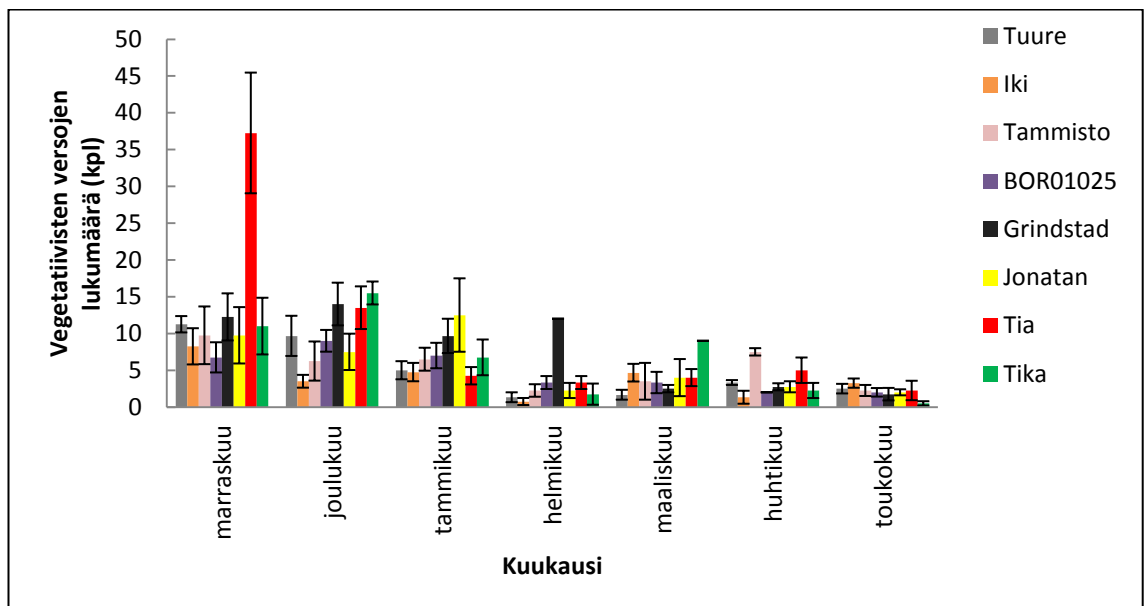
Kuva 13. Generatiivisten versojen lukumäärä (kpl) talvella 2010 – 2011 kerätyissä näytteissä. Jana osoittaa keskivirheen (SE,  $n = 1 - 4$ ).

Talven 2010 – 2011 elongoituvien versojen lukumäärässä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri lajikkeiden tai linjan välillä ( $p = 0,113$ ). Näytekuukausien välillä ero oli sen sijaan merkitsevä ( $p = 0,001$ ). Talven eteneminen ei kuitenkaan vaikuttanut systemaattisesti elongoituvien versojen lukumäärään. Elongoituvien versojen lukumäärä laski helmikuun näytekasveissa kaikilla lajikkeilla ja linjalla verrattuna joulukuun näytteisiin, lukuun ottamatta lajiketta Tammisto II (Kuva 14). Elongoituvien versojen lukumäärä kasvoi maaliskuussa otetuissa näytteissä verrattuna helmikuun näytteisiin.



Kuva 14. Elongoituvien versojen lukumäärä (kpl) talvella 2010 – 2011 kerätyissä näytteissä. Jana osoittaa keskivirheen (SE, n = 1 – 4).

Talven 2010 – 2011 vegetatiivisten versojen lukumäärässä oli eroja lajikkeiden ja linjan välillä ( $p = 0,000$ ). Vegetatiivisten versojen määrä oli suurimmillaan syksyllä ja se väheni talven mittaan. Marraskuun näytteissä oli eniten vegetatiivisia versoja lajikkeella Tia, kun taas joulukuussa ja maaliskuussa suurin vegetatiivisten versojen määrä oli lajikkeella Tika (Kuva 15). Tammikuussa eniten vegetatiivisia versoja oli lajikkeella Jonatan ja helmikuussa lajikkeella Grindstad. Huhtikuussa eniten vegetatiivisia versoja oli lajikkeella Tammisto II ja toukokuussa lajikkeella Iki.



Kuva 15. Vegetatiivisten versojen lukumäärä (kpl) talvella 2010 – 2011 kerätyissä näytteissä. Jana osoittaa keskivirheen (SE, n = 1 – 4).



Talven 2010 – 2011 vegetatiivisten versojen lukumäärässä oli eroa näytteenotto kuukausien välillä ( $p = 0,000$ ). Vegetatiivisten versojen määrä oli korkeimmillaan marraskuussa, joulukuussa ja tammikuussa otetuissa näytteissä, minkä jälkeen versojen määrä alkoi laskea siten, että se oli pienimmillään toukokuussa.

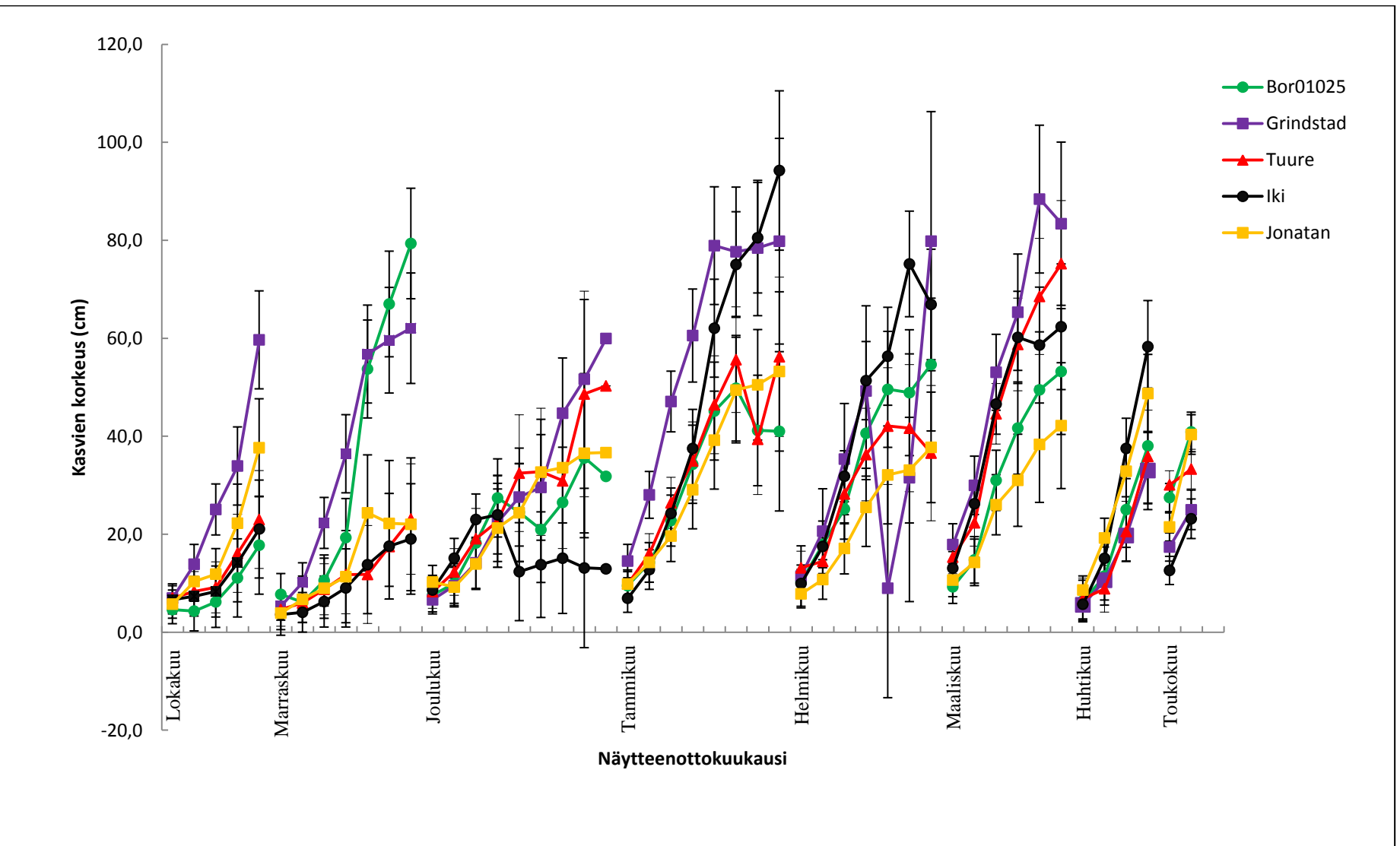
#### 5.1.5 Kasvien korkeus

Kasvuunlähtönopeutta arvioitiin mittaamalla kasvien korkeus talven 2010 – 2011 näytekasveista (Liitteet 3 ja 4). Mittauskertoja oli kasvihuoneelle siirron jälkeen kahdesta yhdeksään, riippuen siitä kuinka nopeasti kasvit siirtyivät kukintovaiheeseen. Tilastollisesti merkitsevät erot lajikkeiden ja linjan välillä syntyivät hajonnasta johtuen myöhemmissä mittauskerroissa viisi ( $p = 0,05$ ), seitsemän ( $p = 0,014$ ) ja yhdeksän ( $p = 0,039$ ) (Kuva 16).

Eteläiset lajikkeet, kuten Grindstad, olivat kasvunopeudessaan tasaisia koko talven ajan (Kuva 16). Vastaavasti lopullinen korkeus vaihteli vain vähän eri näytekuukausien välillä. Pohjoiset lajikkeet, kuten Iki ja Jonatan, puolestaan kasvoivat syksyllä hitaammin ja jäivät lyhyemmiksi. Joulukuussa, ja tammikuussa kasvunopeus ja lopullinen korkeus alkoivat kasvaa.

Talven 2010 – 2011 kasvien korkeudessa oli eroa eri näytteenottokuukausien välillä ( $p = 0,000$ ) (Kuva 16). Lopullinen korkeus oli korkeimmillaan tammikuussa, helmikuussa sekä maaliskuussa kerätyissä näytekasveissa. Lopullinen korkeus oli puolestaan matalimmillaan lokakuussa ja toukokuussa kerätyissä näytteissä, lukuun ottamatta lajikkeita Iki ja Tika jotka olivat matalimmillaan joulukuussa kerätyissä näytteissä. Lisäksi lajikkeista myös Jonatanin lopullinen korkeus oli matalimmillaan marraskuussa kerätyissä näytteissä (Liite 3).

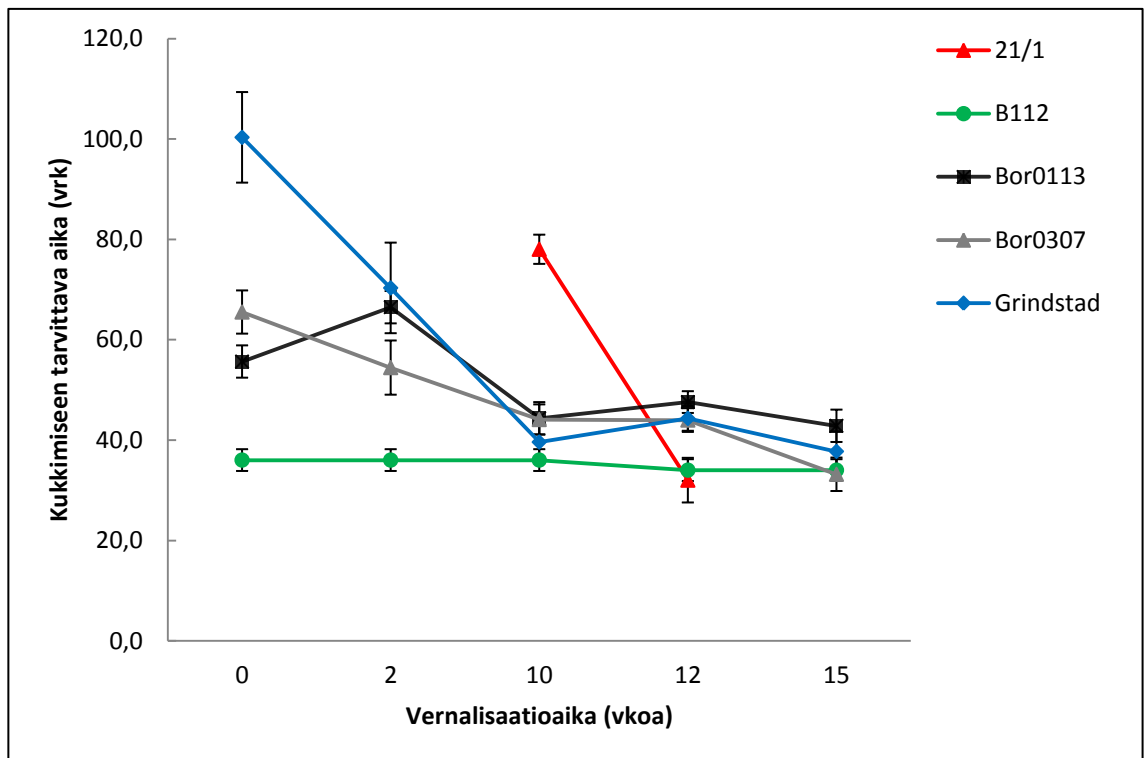
Kuva 16. Lajikkeiden Grindstad, Tuure, Iki ja linjan Bor01025 versojen korkeus (cm) talvelta 2010 – 2011 kerätyissä näytteissä. Jokaisen näytekuukauden pisteet ilmaisevat mitauskerrtaa. Jana osoittaa keskivirheen.



## 5.2 Kasvatuskaappikoe

### 5.2.1 Kukinnan alku (days to heading)

Kukinnan alkamisessa oli eroa lajikkeiden ja linjojen välillä ( $p = 0,000$ ). Kukkimiseen tarvittava aika lyheni vernalisaatioajan kasvaessa. Lyhin aika istutuksesta kukkimiseen oli linjalla Bor0307 viidentoista viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen (Kuva 17). Pisin aika istutuksesta kukkimiseen oli lajikkeella Grindstad vernalisaatiokäsittelyajan ollessa nolla. Ero tasoittui vernalisaatioajan kasvaessa samalle tasolle eri linjojen ja lajikkeiden kanssa. Pisin aika oli myös pohjoisella linjalla 21/1, joka ei kukkinut lainkaan vernalisaatiokäsittelyajan ollessa nolla. Linja 21/1 kukki vasta kymmenen viikon vernalisaatioajan jälkeen, mutta kukintavalmius nopeutui muiden linjojen ja lajikkeiden tasolle vernalisaatioajan pidentyessä. Eteläisellä linjalla B112 ei syntynyt vastetta vernalisaatiokäsittelyyn, vaan sillä oli kukintavalmius olemassa eri vernalisaatiokäsittelyistä huolimatta.



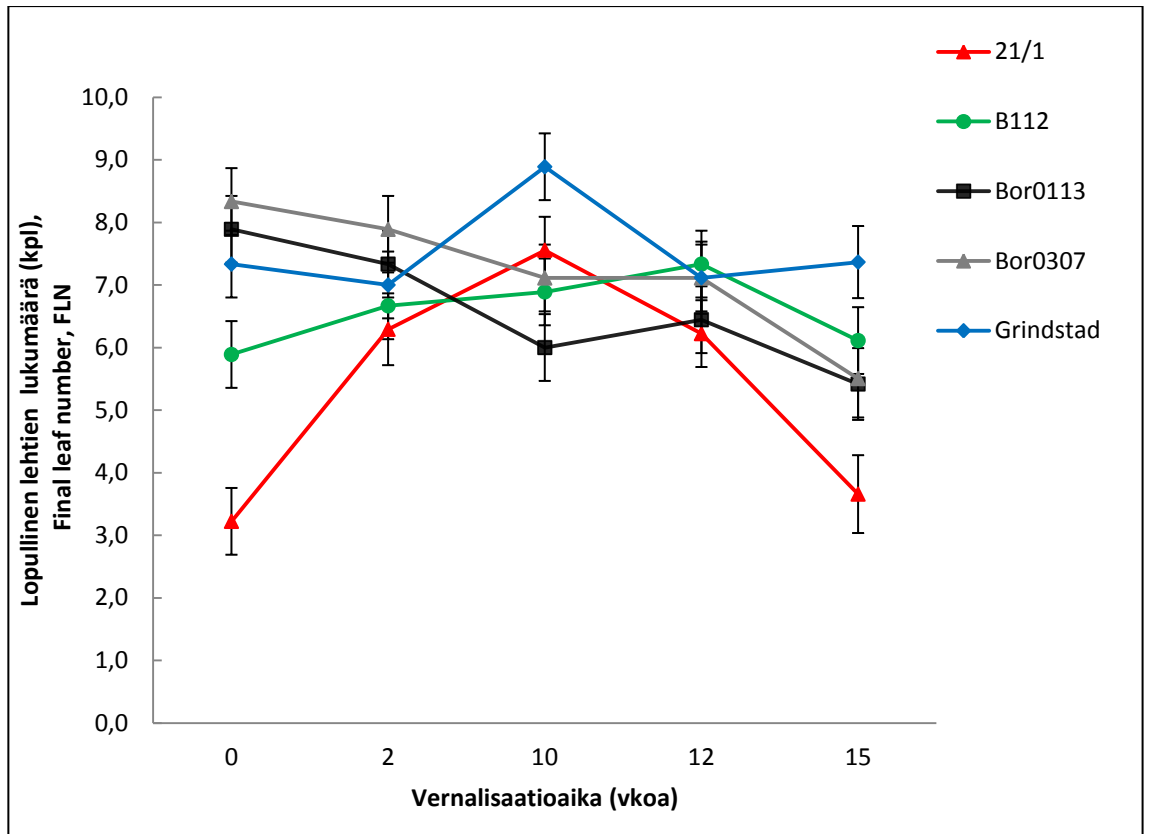
Kuva 17. Vernalisaatiokäsittelyajan vaikutus kukinnan alkamiseen vuorokausina. Linja 21/1 kukki vain 10 ja 12 viikon vernalisaatiokäsittelyissä. Jana osoittaa keskivirheen (SE,  $n = 1 - 9$ ).

Kukinnan alkamisessa oli eroa eri vernalisaatiokäsittelyaikojen välillä ( $p = 0,000$ ) (Kuva 17). Pisin istuttamisen ja kukkimisen välinen aika oli käsittelyillä, joiden vernalisaatioaika oli nolla viikkoa. Lyhin aika kukkimiseen oli puolestaan käsittelyillä, joiden vernalisaatioaika oli viisitoista viikkoa. Kukintavalmius nopeutui vernalisaatiokäsittelyiden 0 – 10 viikkoa välillä merkittävästi. Kymmenen viikon vernalisaatioajan jälkeen kukintavalmius tasoittui kaikilla linjoilla ja lajikkeilla.

### 5.2.2 Pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN)

Lajikkeella ja linjalla oli vaikutusta pääverson lehtien lopulliseen lukumäärään ( $p = 0,000$ ). Eniten lehtiä oli lajikkeella Grindstad kymmenen viikon vernalisaation jälkeen (Kuva 18). Vähiten lehtiä oli linjalla 21/1 käsittelyssä, jossa vernalisaatioaika oli nolla viikkoa.

Vernalisaatioajalla oli vaikutusta pääverson lopulliseen lehtien lukumäärään ( $p = 0,000$ ). Lehtien lukumäärä laski linjoilla Bor0113 ja Bor0307 vernalisaatiokäsittelyajan kasvaessa (Kuva 18). Linjalla 21/1 ja lajikkeella Grindstad eri vernalisaatiokäsittelyt lisäsivät lehtien lukumäärää, kunnes kymmenen viikon vernalisaatioajan jälkeen, lehtien lukumäärä kääntyi laskuun. Linjalla B112 eri vernalisaatiokäsittelyt lisäsivät lehtien lukumäärää jonkin verran paitsi käsittelyssä, jossa vernalisaatioaika oli viisitoista viikkoa.

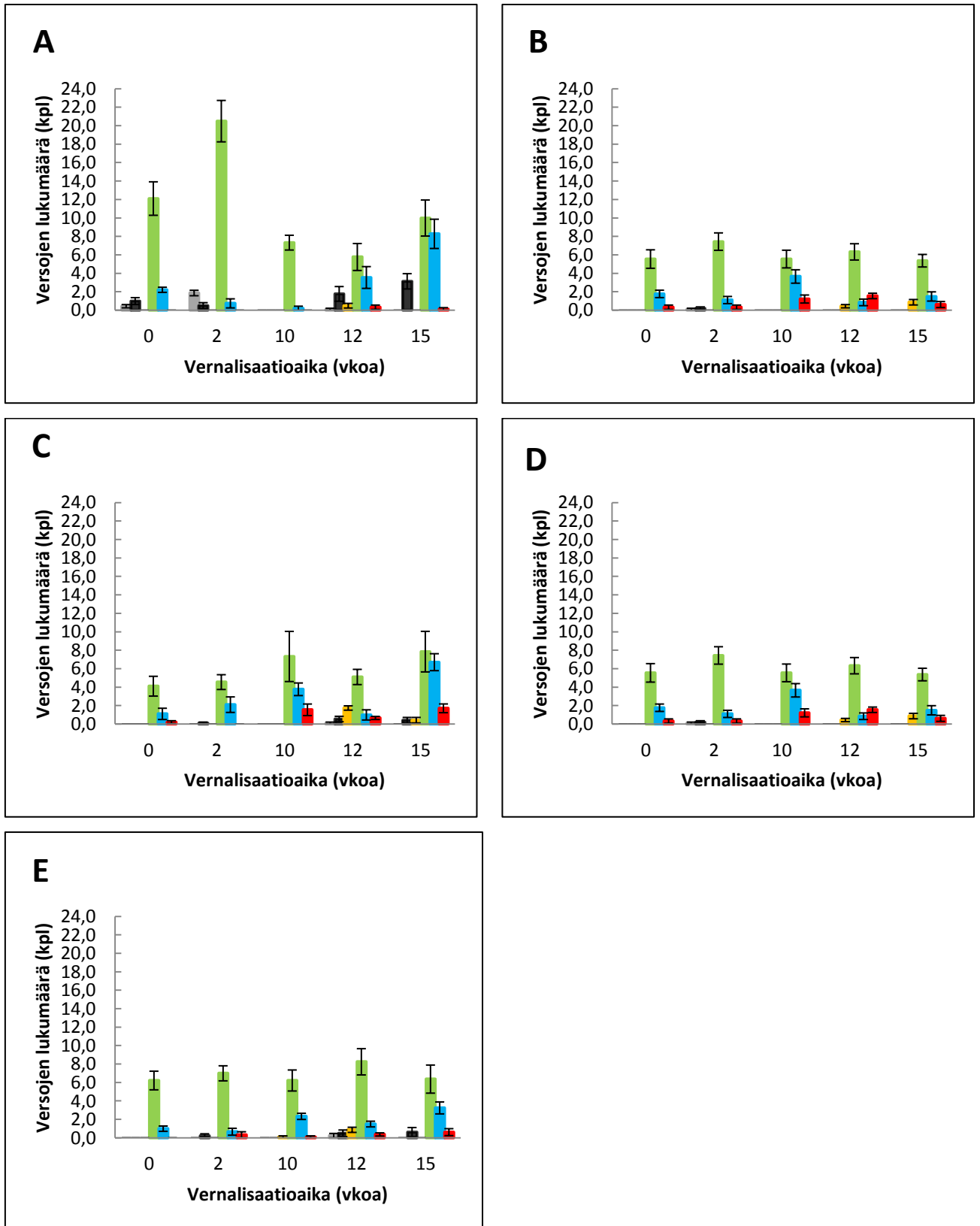


Kuva 18. Vernalisaatiokäsittelyaikojen vaikutus pääversion lopulliseen lehtien lukumäärään (FLN). Jana osoittaa keskivirheen (SE, n = 1 – 9).

### 5.2.3 Kasvuston rakenne

Lajikkeella ja linjalla oli vaikutusta eri versotyyppeiden lukumäärään sekä vernalisaatiokäsittelyn aikana muodostuneiden versojen että vernalisaatiokäsittelyn jälkeen muodostuneiden versojen osalta ( $p < 0,05$ ) (Kuva 19a-e). Vernalisaation aikana muodostuneiden versojen määrästä vegetatiivisia versoja oli eniten linjalla 21/1, jolla oli myös eniten vernalisaatiokäsittelyn aikana muodostuneita elongoituvia versoja (Kuva 19a). Generatiivisia versoja muodostui eniten linjalle B112 (Kuva 19b). Käsittelyn jälkeen kasvihuoneella muodostuneita vegetatiivisia versoja oli eniten lajikkeella 21/1, jolla kehittyi myös eniten elongoituvia versoja vernalisaatiokäsittelyn jälkeen. Vernalisaatiokäsittelyn jälkeen eniten generatiivisia versoja kehittyi linjalle B112.

Vernalisaatiokäsittelyillä oli vaikutusta käsittelyn aikana sekä sen jälkeen muodostuneiden versojen lukumäärään ( $p < 0,05$ ) (Kuva 19a-e) Eniten vegetatiivisia versoja muodostui kahden viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen linjalla 21/1. Elongoituvia versoja muodostui eniten viidentoista viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen linjalle 21/1. Generatiivisia versoja muodostui eniten kahdentoista viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen linjalle B112.

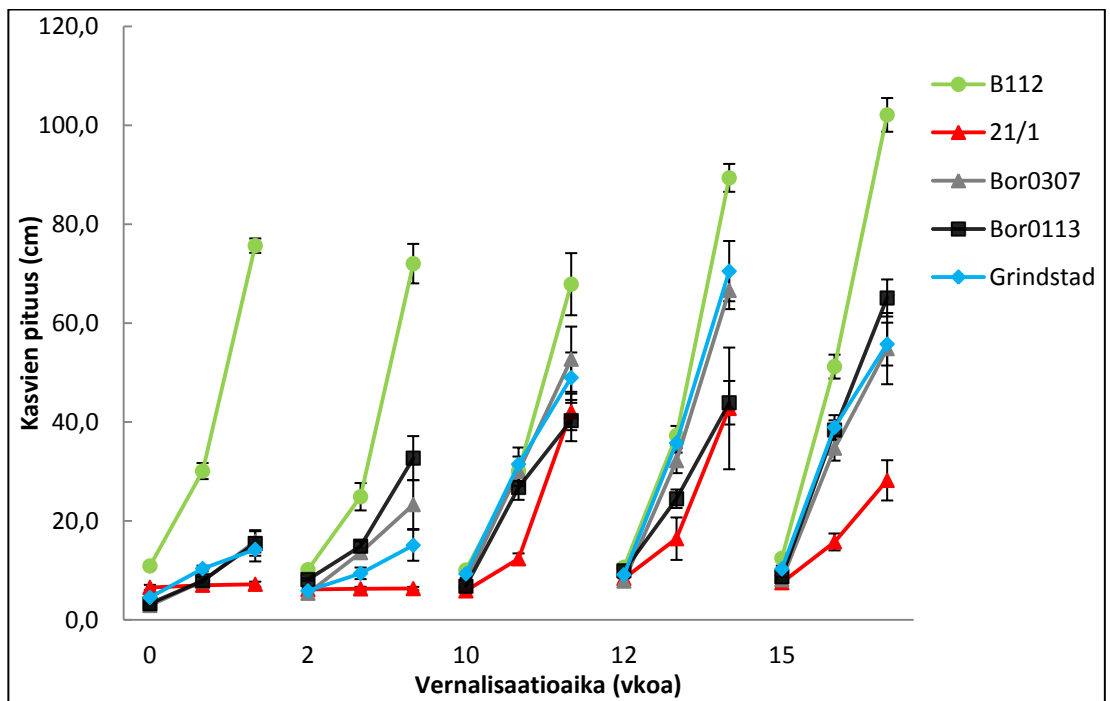


Kuva 19. Vernalisaation aikana (vern. aikana) ja vernalisaation jälkeen (vern. jälkeen) muodostuneiden vegetatiivisten (VEG), elongoituvien (ELONG) ja generatiivisten (GEN) versojen lukumäärä ja jakauma. Linja 21/1 = a, linja B112 = b, linja Bor0307 = c, linja Bor0113 = d ja lajike Grindstad = e. Jana osoittaa keskivirheen (SE, n = 1 – 9).

■ VEG vern. aikana    ■ ELONG vern. aikana    ■ GEN vern. aikana  
 ■ VEG vern. jälkeen    ■ ELONG vern. jälkeen    ■ GEN vern. jälkeen

### 5.2.4 Kasvien korkeus

Kasvuunlähtönopeutta arvioitiin mittaamalla kasvien korkeus kolme kertaa kokeen aikana. Korkeudessa oli eroa eri mittauskerroissa lajikkeiden tai linjojen välillä ( $p = 0,000$ ) (Kuva 20). Eteläinen linja B112 oli korkeuskasvussa nopein jokaisessa eri vernalisaatiokäsittelyissä. Poikkeuksena oli ainoastaan kymmenen viikon vernalisaatiokäsittely, jossa toisella mittauskerralla lajike Grindstad oli korkein. Pohjoinen linja 21/1 kasvoi ensimmäisissä vernalisaatiokäsittelyissä (0 ja 2 viikkoa) hitaasti ja kymmenen viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen kasvunopeus kiihtyi. Vastaavasti eteläinen lajike Grindstad ja mantereinen linja Bor0307 olivat kasvunopeudessaan hitaita aina kymmenen viikon vernalisaatiokäsittelyyn asti, jonka jälkeen kasvunopeus kiihtyi. Linjan Bor0113 kasvunopeus kiihtyi jokaisen eri vernalisaatiokäsittelyn myötä tasaisesti siten, että kasvu oli nopeimmillaan viidentoista viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen. Lajikkeista ja linjoista B112 sekä Bor0113 olivat korkeimmillaan viidentoista viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen. Linjat 21/1, Bor0307 sekä lajike Grindstad olivat korkeimmillaan kahdentoista viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen.



Kuva 20. Pääversojen korkeus (cm) kasvatuskaappikokeessa eri vernalisaatiokäsittelyiden jälkeen. Jana osoittaa keskivirheen (SE,  $n = 1 - 9$ ).



Kasvien korkeudessa oli eroa eri mittauskerroissa vernalisaatiokäsittelyiden välillä ( $p = 0,000$ ) (Kuva 20). Lopullinen kasvien korkeus oli korkeimmillaan kahdentoista tai viidentoista viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen. Matalin mitattu lopullinen korkeus oli puolestaan vernalisaatiokäsittelyajan ollessa nolla viikkoa. Poikkeuksena oli linja B112, jonka lopullinen korkeus oli matalimmillaan kymmenen viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Peltokoe

Molempina talvina sekä 2009 – 2010 että 2010 – 2011 timotei talvehti kenttäolosuhteissa hyvin. Koeruutujen kasvuunlähtö toteutui talvien jälkeen tasaisesti, ja koeruutujen kasvuston peittävyys oli kauttaaltaan tasainen ja hyvä. Koeruuduilta mitattiin ensimmäinen sato, eikä mitattavia talvituhoja esiintynyt.

#### 6.1.1 Kylmänkestävyys ( $LT_{50}$ )

Kylmänkestävyyttä tutkittaessa haluttiin selvittää eri lajikkeiden kylmänkestävyyden muuttumista vernalisaation myötä. Kylmänkestävyys on selvästi yhteydessä karaistumisjakson pituuteen. Verrattaessa talven 2009 – 2010 ja 2010 – 2011 näytteiden kylmänkestävyyttä, talven 2009 – 2010 näytteiden kylmänkestävyydsarvot ovat pääsääntöisesti matalammat. Syksyllä 2009 karaistumisjakso oli kolmekymmentä vuorokautta pidempi ja vastaavasti karaistumiskauden lämpösumma FH-COLD oli 92,65 °C:ta enemmän kuin syksyllä 2010. Vastaavia tuloksia on saatu ilmastomallinnuskokeista, joissa FH-COLD arvon pienenemisen on todettu olevan yhteydessä kasvien huonompaan kylmänkestävyyteen (Bélanger ym. 2002).

Kokeessa kylmänkestävyydsarvot vaihtelivat välillä - 6,8 °C:ta ja - 15,1 °C:ta. Arvot ovat hieman korkeampia kuin aikaisemmissa tutkimuksissa, joissa timotein kylmänkestävyys on vaihdellut välillä - 13,8 °C:ta ja - 17 °C:ta (Gudleifsson ym. 1986, Sakai & Larcher 1987). Peltokokeessa kasvien karaistuminen tapahtui kuitenkin pellolla vallitsevissa sääolosuhteissa molempina vuosina. Tämä vaikuttaa kasvien kylmänkestävyyteen selvästi, sillä karaistuminen pelto-olosuhteissa ei välttämättä tapahdu kasvin kannalta optimaalisesti. Tutkittaessa kylmänkestävyyttä karaistuminen voidaan tehdä myös hallitusti kasvatuskaappiolosuhteissa

(Gudleifsson ym. 1986), jolloin kasvilla on parhaat mahdolliset olosuhteet karaistua ja sen myötä myös kylmänkestävyys on mahdollisimman hyvä.

Korkeammat kylmänkestävyysarvot ovat osaksi seurausta myös nurmien populaatiokasvutavasta. Kerättävät näytteet eivät ole perimältään keskenään täysin yhdenmukaisia, jolloin testattavien kasvien välinen vaihtelu voi näytteenotosta riippuen olla hyvin suurta. Tämä voi heikentää saatua kylmänkestävyysarvoa. Nurmikasveilla ei myöskään voida kenttäkoeaineistossa varmistua siitä, että testattava kasviyksilö on aina pääverso.

### 6.1.2 Kukinnan alku (days to heading)

Tarkasteltaessa kukinnan ajoittumista, haluttiin selvittää miten talven aikana tapahtunut vernalisaatio vaikuttaa kukkimiseen tarvittavaan aikaan. Kukintapäivä kuvaa vernalisaation etenemistä ja kukintavalmiutta. Eri lajikkeita ja linjaa keskenään vertaamalla pyrittiin selvittämään erilaista alkuperää olevien lajikkeiden eroja kukintapäivämäärissä.

Kukintaan tarvittavaa aikaa on mitattu esimerkiksi englanninraiheinällä. Talven aikana vernalisoituneen kasvuston kukinta-aika vaihteli välillä 42 – 61 vuorokautta (Hurley ym. 2008). Kyseissä tutkimuksissa tarvittava aika kukkimiseen mitattiin alkavaksi siitä, kun tähkän kasvupisteen generatiivinen kehitys alkoi. Suomen virallisissa lajikekokeissa tähkälletulon alkaminen määritellään toukokuun ensimmäisestä päivästä siihen päivämäärään, kun viisi prosenttia kasvustosta on kukintovaiheessa (Kangas ym. 2010). Virallisissa lajikekokeissa kukkimisen avulla seurataan kasvuston kehitysrytmiä, kun tässä peltokokeessa puolestaan haluttiin seurata vernalisaatiiovasteen täyttymistä kukintaan tarvittavan ajan avulla. Peltokokeen kukinta-ajan laskenta poikkeaa virallisten lajikekokeiden menetelmästä, mutta lajikekokeiden tuloksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavina analysoitaessa vernalisoituneen kasvuston kukintapäivää. Virallisissa lajikekokeissa tähkälletuloaika vaihtelee timoteilajikkeesta riippuen 44:stä vuorokaudesta 46:een vuorokauteen. Lajikkeiden väliset erot eivät Suomessa virallisissa lajikekokeissa ole merkittävän suuria, mutta korostuvat kuitenkin selvemmin tutkittaessa samojen lajikkeiden kukinta-aikaa esimerkiksi Euroopassa (Mika Isolahti, Boreal kasvinjalostus Oy, 2011. suullinen tiedonanto).

Kokeessa kukintaan vaadittava aika vaihteli välillä 14 – 85 vuorokautta. Poikkeuksellisen lyhyt kukintaan vaadittava aika loppukevään näytteillä selittyy sillä, että kasvien vernalisaatiovaste oli jo täyttynyt. Kasvu ja kehitys käynnistyivät jo pellolla. Vastaavasti pitkä kukintaan vaadittava aika loppusyksyn sekä alkutalven näytteillä selittyy vernalisaation puuttumisella. Kukkimiseen tarvittava aika alkoi lyhentyä jokaisena näytteenottokuukautena marraskuun ja joulukuun näytekuukausien jälkeen. Tämä oli havaittavissa sekä talven 2009 – 2010 näytteissä, että 2010 – 2011 näytteissä. Kukkimiseen tarvittava aika ja kukintavalmius nopeutuvat kasvin vernalisaation myötä. Vaikka timotei vaatii kukkiakseen pelkästään pitkän päivän, hyötyy se selvästi vernalisaatiosta. Vernalisaatio kiihdytti kasvin kehitysnopeutta. Tämä tulos vastaa aikaisempia tutkimuksia, jossa vernalisaation on havaittu kiihdyttävän timotein kehitysrytmiä (Knievel & Smith 1970, Seppänen ym. 2010).

Talven 2009 – 2010 näytteissä havaitaan lajikkeiden ja linjan välisiä eroja vernalisaatiovasteen täyttymisessä ja sitä kautta kukintavalmiudessa. Eteläistä alkuperää oleva lajike Tuure sekä linja Bor01025 tuottavat kukinnon aikaisemmin kuin esimerkiksi pohjoista alkuperää oleva lajike Iki. Lisäksi eteläinen linja Bor01025 tuotti kukinnon jokaisena näytteenottokuukautena. Tämä kertoo linjan sisäisestä kukintavalmiudesta, joka on olemassa vernalisaatiosta huolimatta. Linja Bor01025 kuitenkin hyötyy, muiden lajikkeiden ja linjojen tapaan vernalisaatiosta, mikä nopeuttaa sen kukintaan tarvittavaa aikaa.

Pohjoinen lajike Iki puolestaan tuottaa kukinnon vasta tietyn vernalisaatioajan jälkeen, kun sen vernalisaatiovaste täyttyy. Vastaavasti lajike Tuure, eteläisestä alkuperästään huolimatta, vaatii tietyn vernalisaatioajan tuottaakseen kukinnon.

Vuoden 2010 – 2011 lajikkeiden ja linjan välinen ero ei ollut tilastollisesti merkittävää, mikä selittyy osin sillä, että mukana oli useampi lajike. Kaikki lajikkeet tai linjat eivät ole luokiteltavissa selvästi pohjoista tai eteläistä alkuperää oleviin lajikkeisiin, vaan mukana on erilaisia genotyyppisiä risteytyksiä näiden kahden välillä. Tämä puolestaan tasoittaa eri lajikkeiden ja linjojen välisiä eroja, jolloin tilastollinen merkitsevyys alenee.

### 6.1.3 Pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN)

Tutkittaessa pääverson lehtien lukumäärää, pyrittiin selvittämään pystytäänkö vernalisaatiovasteen täyttymistä seuraamaan timoteilla pääverson kukintavaiheen lehtien lukumäärään avulla. Syysvehnällä FLN laskee merkitsevästi vernalisaatioajan ollessa vähintään kaksi viikkoa (Wang ym. 1995). Viljoilla vernalisaation vaikutus lehtien lukumäärään on merkitsevää ja FLN laskee talven aikana, kunnes se tasaantuessaan kertoo kylmänkäsittelyn aiheuttaman vernalisaatiovasteen täyttymisestä (Mahfoozi ym. 2001). Tutkimusten perusteella tiedetään vernalisaatiolla olevan vaikutusta ainakin timotein kasvuston rakenteeseen siten, että vernalisoimaton kesäkasvusto tuottaa enemmän lehtiä kuin vernalisoitunut kevätsato (Virkajärvi ym. 2011).

Vaikka näytekuukausien välillä oli tilastollisesti merkitsevää eroa FLN arvoissa, ei selkeää yhteyttä vernalisaatiovasteen täyttymisen sekä lehtien lukumäärän välillä löydetty. Syysvehnällä FLN laskee suoraviivaisesti vernalisaatiovasteen täytyessä (Wang ym. 1995, Mahfoozi ym. 2001). Ainoastaan lajikkeet Tuure ja Iki käyttäytyivät siten, että joulukuusta lähtien FLN laski suoraviivaisesti. Muilla lajikkeilla selkeää yhteyttä vernalisaatiovasteen täyttymisen sekä lehtien lukumäärän välillä ei löydetty. Selvän yhteyden puuttuminen vernalisaatiovasteen ja lopullisen lehtien lukumäärän välillä on seurausta peltokokeen aikana vallinneista sääoloista. Peltolosuhteissa sääolot muuttuvat jatkuvasti, jolloin myöskään vernalisaatio ei tapahdu optimiolosuhteissa. Tämä aiheuttaa vaihtelua tuloksiin verrattaessa tuloksia kasvihuoneessa ja kasvatuskaapeissa kontrolloiduissa oloissa vernalisoituneisiin kasveihin (Wang ym. 1995, Mahfoozi ym. 2001). Lisäksi lajikkeiden väliset erot olisivat voineet tulla esille, jos kokeessa olisi käytetty siemenaineistoina kloonilinjjoja, jolloin tutkittava kasviaineisto olisi geneettisesti yhtenäisempää ja kasvikohtainen vaihtelu pienenesi.

Pääverson lehtien lukumäärää sekä kukintavalmiutta verrattaessa talven 2010 – 2011 näytteiden tulokset tukevat toisiaan. Pearsonin korrelaatiokerroin näiden muuttujien välillä on 0,543 ( $p = 0,000$ ), mikä viittaa kohtalaiseen riippuvuuteen tekijöiden välillä. Lehtien lukumäärän kasvaessa myös kukkimiseen tarvittava aika pitenee. Lehtien lukumäärän pienentyessä, kukkimiseen tarvittava aika puolestaan lyhenee kasvin vernalisaatiovasteen täytyessä, mikä korreloi lehtien lukumäärän kanssa.

Lehtien lukumäärän lisääntyminen kukinta-ajan kasvaessa on hyvin perusteltavissa sillä, että kasvin vernalisaatiovasteen puuttuessa kasvi ei tuota kukintoa, jolloin sen kasvu on kuitenkin vegetatiivista ja se tuottaa lehtimassaa.

#### 6.1.4 Kasvuston rakenne

Eri versotyyppejä määrittämällä pyrittiin selvittämään vernalisaation vaikutus eri versotyyppien esiintymiseen. Versotyyppien osalta tiedetään, että vernalisoituneessa kevätsadossa generatiivisten versojen määrä on suurin ja vegetatiivisten versojen määrä pienin (Pakarinen ym. 2008). Vastaavasti vernalisoimattomassa syysadossa vegetatiivisten versojen osuus on suurin ja generatiivisten versojen osuus pienin. Elongoituvien versojen osuus on kevätsadossa sekä syysadossa hyvin samaa luokkaa.

Talven 2009 – 2010 näytteissä ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja näytekuukausien tai eri lajikkeiden ja linjan välillä. Koska jokaiselta näytekuukaudelta ei saatu kerättyä näytteitä ja kerätyiltä näytekuukausilta ei saatu kerättyä kaikkia lajikkeita, vaikuttavat ne merkittävästi vernalisaation kehittymisen seurantaan. Koska eri näytekuukausia sekä lajikkeita puuttuu, alenee tilastollinen merkitsevyys pienissä aineistoissa puuttuvien havaintojen johdosta.

Talven 2010 – 2011 näytteissä kokeessa saadut tulokset puolestaan tukevat aikaisempia tutkimustuloksia (Pakarinen ym. 2008). Generatiivisten versojen osuus kasvaa selvästi vernalisaation edetessä siten, että korkeimmillaan määrä oli maaliskuun näytteillä, jonka jälkeen versojen määrä laskee hieman. Maaliskuun näytteillä oli optimaalisin vernalisaatioaika, jos tavoitellaan satoon mahdollisimman suurta generatiivisten versojen määrää, kasvunopeutta sekä hyvää kasvuston korkeutta. Poikkeuksena oli eteläistä alkuperää oleva lajike Grindstad, joka tuotti joulukuussa suurimman generatiivisten versojen osuutensa. Eteläistä alkuperää olevien lajikkeiden kasvu jatkuu syksyllä pidempään, mikä saattaa selittää osaltaan generatiivisten versojen suurta määrää joulukuussa (Sunde 1996 ref. Eagles & Fuller 1982).

Elongoituvien versojen määrässä ei ollut eroa lajikkeiden tai linjan välillä talven 2010 – 2011 näytteissä, mutta eri näytekuukausien välillä erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Vaikka ero eri näytekuukausien välillä oli merkitsevä, ei tuloksissa ole

havaittavissa selkeää yhteyttä elongoituvien versojen lukumäärän sekä vernalisaatioajan välillä. Merkittävin muutos tapahtui helmikuussa, jolloin kaikkien lajikkeiden elongoituvien versojen määrä oli matalimmillaan. Vaikka erot olivat tilastollisesti merkittäviä, ei elongoituvien versojen määrä kuvaa selkeästi vernalisaatiovasteen täyttymistä.

Vegetatiivisten versojen määrä talven 2010 – 2011 näytteissä oli tilastollisesti merkitsevää näytekuukausien sekä lajikkeiden ja linjan välillä. Versojen määrä laski vernalisaatiovasteen täytyessä. Aikaisemmissa tutkimuksissa vegetatiivisten versojen osuus on ollut suurin vernalisoitumattomassa jälkisadossa (Pakarinen ym. 2008). Kokeen tulokset ovat yhdenmukaisia tässä suhteessa, sillä vernalisoimattomissa näytteissä syksyllä lehtien lukumäärä oli suurin, pienentyen vernalisaatiovasteen täyttymisen myötä. Vernalisaatiovasteen täytyttyä kasvi pyrkii tuottamaan ympäristönsä signaalien perusteella enemmän generatiivisia versoja, jotka mahdollistava lisääntymisen.

Kasvuston rakenteen perusteella vernalisaatiovasteen täyttymistä voidaan parhaiten seurata havainnoimalla generatiivisten ja vegetatiivisten versojen määrää. Versotyyprien keskinäisten suhteiden muuttuminen antaa kokeen perusteella selkeitä viitteitä kasvin kasvutavan muuttumisesta ja vernalisaatiovasteen täyttymisestä. Tulosten perusteella voidaan myös todeta, ettei elongoituvien versojen määrä kuvaa vernalisaatiovasteen täyttymistä.

#### 6.1.5 Kasvien korkeus

Kasvuston korkeutta mittaamalla selvitettiin, miten vernalisaatio vaikuttaa kasvien kehitysnopeuteen. Tutkimusten perusteella tiedetään, että kasvunopeudessa on eroa vernalisoituneen kevätsadon ja vernalisoimattoman syysadon välillä verrattaessa eri kasvuvaiheita (Knievel & Smith 1970, Seppänen ym. 2010). Kevätsato on kasvussaan aluksi selvästi nopeampi, ja nivelvälit ovat pidempiä kuin syysadolla. Myöhemmissä kasvuvaiheissa erot kasvunopeudessa osin kuitenkin tasoittuvat.

Gibberelliinihormoni on yksi merkittävimmistä kasvin pituuskasvua säätelevistä sisäisistä tekijöistä (Taiz & Zeiger 2006). Gibberelliinihormonin vaikutusta vernalisaation vaativilla kasveilla on tutkittu esimerkiksi englanninraiheinällä, joka

vaatii kukkiakseen kaksoisinduktion (MacMillan ym. 2005). Tutkimusten perusteella tiedetään vernalisaation sekä pitkän päivän vaikuttavan pituuskasvuun sekä kukintaan, mutta signaalit kulkevat kasvissa eri reittiä. Tutkimuksessa gibberelliinihormonilla voitiin korvata kukkimiseen tarvittava pitkän päivän signaali siten, että gibberelliinillä käsitellyt kasvit kukkivat jo vernalisaation jälkeen lyhyessä päivässä. Sen sijaan kukkimiseen vaadittavaa vernalisaatiovaatimusta ei voitu korvata gibberelliinihormonilla. Tutkimuksen perusteella tiedetäänkin vernalisaation vaikuttavan kasvin sisäiseen gibberelliinivasteen syntymiseen. Vasteen myötä pituuskasvu kiihtyy ja kehitys nopeutuu.

Tässä kokeessa lajikkeiden ja linjan pituuserot olivat tilastollisesti merkittäviä eri mittauskerroissa. Tämä oli seurausta pohjoista alkuperää olevien lajikkeiden vernalisaatiovaatimuksesta. Vernalisaatio mahdollisesti muutti pohjoista alkuperää olevien lajikkeiden sisäistä gibberelliinivastetta siten, että pituuskasvu mahdollistui. Tutkimusten perusteella tiedetään, että vernalisaatio muuttaa esimerkiksi englanninraiheinällä sisäistä vastetta gibberelliinihormonille, mikä saa aikaan nopean pituuskasvun käynnistymisen muiden ulkoisten signaalien kuten päivänpituuden myötä (MacMillan ym. 2005). Gibberelliinivasteen lisäksi syysvehnällä on tutkittu gibberelliinihormonin endogeenistä tasoa vernalisaation aikana (Reda ym. 1978). Syysvehnän gibberelliinin pitoisuus kasvoi vernalisaation edetessä. Tutkimusten perusteella myös englanninraiheinällä vernalisaation vaikutus gibberelliinin endogeeniseen tuotantoon on ollut merkitsevää, vaikka vernalisaation aiheuttama gibberelliinin lisääntyminen suhteessa päivän pituuden aiheuttamiin muutoksiin oli suhteellisen vähäistä (MacMillan ym. 2005). Vastaavasti peltokokeessa eteläistä alkuperää olevilla lajikkeilla oli mahdollisesti olemassa sisäinen gibberelliinivaste vernalisaatiosta riippumatta. Lisäksi nopea pituuskasvu vernalisaatiosta huolimatta, johtui timoteilla ehkä gibberelliinin endogeenisen tuotannon lisääntymisestä. Eteläistä alkuperää olevien lajikkeiden, kuten Grindstadin, kasvupotentiaali oli heti käytettävissä, vernalisaatioajasta riippumatta. Pohjoista alkuperää olevien lajikkeiden, kuten Ikin ja Jonatanin, osalta pituuskasvun nopeus sekä kasvien lopullinen korkeus kasvoivat merkittävämmiin vernalisaation edetessä, pituuskasvun ja kehitysnopeuden muuttuessa selvimmin tammikuussa kerätyillä näytteillä. Peltokokeen tutkimukset osoittavat selvästi kasvupotentiaalin lisääntymisen pohjoisilla lajikkeilla vernalisaation myötä, jolloin vernalisaation kautta syntynyt

hormonituotanto ja hormonivaste saavat aikaan merkittävän pituuskasvun käynnistymisen.

## **6.2 Kasvatuskaappikoe**

### **6.2.1 Kukinnan alku (days to heading)**

Kasvatuskaappikokeessa selvitettiin eri vernalisaatioaikojen vaikutusta timotein kukintavalmiuteen. Vernalisaation tiedetään nopeuttavan timotein kehitysrytmiä (Knievel & Smith 1970, Seppänen ym. 2010). Tässä kokeessa tilastollisesti merkittäviä eroja oli lajikkeiden ja linjojen sekä eri vernalisaatioaikojen välillä. Kukkimiseen tarvittava aika lyheni vernalisaatioajan kasvaessa. Kymmenen viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen kukintavalmius tasoittui. Poikkeuksena olivat linjat 21/1 sekä B112. Kasvatuskaappikokeen tulokset kukintavalmiudesta tukevat peltokokeen tuloksia sekä aikaisempia tutkimuksia, joissa vernalisaatio on nopeuttanut kehitystä (Knievel & Smith 1970, Seppänen ym. 2010). Kasvatuskaappikokeessa kymmenen viikon vernalisaatioaika oli raja, jonka esimerkiksi pohjoinen linja 21/1 vaati vähintään tuottaakseen kukinnon. Muilla linjoilla tai lajikkeilla kymmenen viikon vernalisaatiokäsittely oli riittävä aika vernalisaatiovasteen täyttämiseksi.

Lajikkeiden ja linjojen väliset erot olivat selkeästi havaittavissa kukintavalmiudessa. Eteläisen linjan B112 kukkimiseen tarvittavassa ajassa ei tapahtunut muutosta eri vernalisaatiokäsittelyissä. Eteläinen alkuperä vaikuttaa kasvin kasvuun ja kehitykseen siten, että sisäinen vernalisaatiovaste on jo valmiiksi olemassa. Tutkimusten perusteella tiedetään, että vernalisaatio vaikuttaa kasvin metaboliaan muun muassa hillitsemällä kukintaa estävien geenien ekspressiota ja sitä kautta vernalisaatio edistää kukkimista (Yan ym. 2004, Taiz & Zeiger 2006). Kukintaa estävien geenien toiminta on pystytty estämään esimerkiksi vehnältä ja sitä kautta saatu aikaan lajikkeita, joiden kukinta ei ole ollut vernalisaatiosta riippuvaista (Yan ym. 2004). Kasvatuskaappikokeen tulosten perusteella voidaan todeta, että vernalisaatiolla ei siis ole suurta vaikutusta eteläistä alkuperää olevien linjojen ja lajikkeiden kukintavalmiuteen, vaan ne kukkivat, kun ympäristöolosuhteet ovat kasvua ja kehitystä suosivia. Kasvatuskaappikokeen eteläisillä lajikkeilla tai linjoilla mahdollisten kukintaa estävien geenien toiminta on estynyt, ja kukinta ei ollut riippuvainen vernalisaatiosta. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin peltokokeen



pituuskasvumittauksissa, jossa alkuperältään eteläisillä lajikkeilla todettiin olevan valmiiksi sisäinen gibberelliinivaste, ja sitä kautta valmius pituuskasvuun heti ympäristöolosuhteiden sen salliessa. Pituuskasvuvalmius pohjoista alkuperää oleville lajikkeille syntyi puolestaan vasta vernalisaation myötä. Kasvatuskaappikokeessa kukintavalmius kehittyi pohjoista alkuperää olevalle linjalle (21/1) kymmenen viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen.

Verrattaessa eteläistä lajiketta Grindstad mantereiseen linjaan Bor0307 sekä merelliseen linjaan Bor0113, on Grindstad selvästi pohjoisempaa genotyyppiä. Ero näkyy käsittelyissä, joissa vernalisaatioaika oli nolla viikkoa. Tällöin kukkimiseen vaadittava aika oli Grindstadilla huomattavasti pidempi. Ero tasoittuu kuitenkin kahden viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen, jolloin kukkimiseen tarvittava aika laskee Grindstadilla selvästi. Tämän kokeen perusteella lajike Grindstad hyötyy lyhyestä vernalisaatiokäsittelystä, vaikka se perimältään sekä kasvu- ja kehitysrytmiltään on kuitenkin eteläinen lajike. Kokeen perusteella Grindstad edustaa pohjoisempaa genotyyppiä kuin linjat Bor0307 ja Bor0113.

### 6.2.2 Pääverson lopullinen lehtien lukumäärä (FLN)

Lopullista lehtien lukumäärää tutkittaessa selvitettiin vernalisaation vaikutusta lopulliseen lehtien lukumäärään. Tutkimustavoitteena oli myös selvittää käyttäytykö lopullinen lehtien lukumäärä vernalisaation edetessä samalla tavalla kuin syysviljoilla, joilla FLN laskee vernalisaation myötä (Wang ym. 1995). Lopullisessa lehtien lukumäärässä oli tilastollisesti merkitsevää eroa sekä lajikkeiden ja linjojen että eri vernalisaatioaikojen välillä. Vernalisaatiokäsittelyajan kasvaessa lehtien lukumäärä laski, kuten syysviljoilla.

Lajikkeiden ja linjojen välillä oli selvää vaihtelua kasvin genotyyppisen alkuperän mukaisesti. Pohjoista alkuperää olevan linjan 21/1 lehtien lukumäärä kasvoi siten, että se oli korkeimmillaan vernalisaatiokäsittelyajan ollessa kymmenen viikkoa. Tämän jälkeen lehtien lukumäärä kääntyi laskuun. Kokeen perusteella saadut tulokset kasvien kukintavalmiudesta sekä lopullisesta lehtien lukumäärästä tukevat toisiaan. Pohjoisen lajikkeen tai linjan vernalisaatiiovasteen täytyttyä kasvin sisäinen hormonivaste ja sitä kautta kasvu ja kehittyminen käynnistyvät. Kasvatuskaappikokeessa vernalisaatiiovaste syntyi kymmenen viikon vernalisaatiokäsittelyllä. Linjoilla Bor0307 ja Bor0113 lopullinen lehtien lukumäärä

väheni vernalisaatiokäsittelyajan kasvaessa. Vastaavat tulokset saatiin myös kukintavalmiudesta. Vernalisaatiokäsittelyajan pidentyessä linjojen Bor0307 ja Bor0113 kehitys nopeutui. Eteläistä alkuperää olevan linjan B112 lopullinen lehtien lukumäärä oli hyvin tasainen ja osin nouseva vernalisaatiokäsittelyajan kasvaessa. Linjalla B112 kasvu- ja kehityspotentiaali on olemassa vernalisaatiosta huolimatta. Kuitenkin linjalla B112 sekä lajikkeella Grindstad lopullinen lehtien lukumäärä vaihtelee eri tavalla kuin syysviljoilla, joilla lehtien lukumäärä laskee vernalisaatiovasteen täytyessä (Wang ym. 1995).

Peltokokeeseen nähden kasvatuskaappikokeen tulos oli päinvastainen. Saatujen tulosten perusteella lopullinen lehtien lukumäärä selittää osittain vernalisaatiovasteen kehittymistä timoteilla. Kasvatuskaappikokeessa FLN oli hyvä vernalisaatiovasteen seurannassa, koska kasvien vernalisaatio tapahtui kontrolloiduissa olosuhteissa, sekä käytetty kasvimateriaali oli yhtenäisempää muun muassa kasvimateriaalina käytetyiden kloonitaimien johdosta.

Kokonaisuudessaan lopullinen lehtien lukumäärä on kuitenkin vain osin käyttökelpoinen menetelmä seurattaessa nurmien vernalisaatiovasteen kehitystä. Kasvatuskaappikokeen sekä peltokokeen perusteella FLN vernalisaatiovasteen kuvaajana vaatii perimältään hyvin yhtenäisen kasvimateriaalin, mieluiten hyvin puhtaita ja tiettyä genotyyppiä edustavia linjoja tai lajikkeita. Lisäksi käytettäessä lopullista lehtien lukumäärää vernalisaatiovasteen täyttymisen seurantaan, tulee vernalisaatio-olosuhteet olla mahdollisimman tasaiset. Tällä tavalla ympäristön aiheuttama vaihtelu on minimaalista ja kasvusto käyttäytyy mahdollisimman yhtenäisesti.

### 6.2.3 Kasvuston rakenne

Kasvatuskaappikokeessa selvitettiin, miten kasvuston rakenne kehittyi vernalisaatiokäsittelyn aikana sekä sen jälkeen. Kokeen perusteella tilastollisesti merkittäviä eroja oli lajikkeiden tai linjojen sekä eri vernalisaatiokäsittelyaikojen välillä. Pääosa versoista muodostui vasta vernalisaatiokäsittelyn jälkeen. Versojen muodostuminen vasta vernalisaatiokäsittelyn jälkeen johtuu osaksi kasvatuskaapin olosuhteista, sillä lyhyt päivä ja matala lämpötila eivät edistä kasvin kasvua ja kehittymistä. Vernalisaatiokäsittelyn jälkeen ympäristöolosuhteet olivat kasvin

kasvun ja kehityksen kannalta mahdollisimman hyvät, jolloin eri versojen kehittyminen käynnistyi.

Vernalisaatiokäsittelyn jälkeen muodostuneiden versojen versotyypijakauma poikkesi aikaisemmista tutkimustuloksista. Tutkimusten mukaan vernalisoituneessa kasvustossa generatiivisten versojen osuus kasvaa ja vegetatiivisten versojen osuus vähenee (Pakarinen ym. 2008). Kasvatuskaappikokeessa saatujen tulosten perusteella kaikilla lajikkeilla tai linjoilla yleisin versotyyppi oli vegetatiivinen verso eri vernalisaatiokäsittelyistä huolimatta. Vegetatiivisten versojen määrä oli hyvin vakio kaikilla lajikkeilla ja linjoilla lukuun ottamatta linjaa 21/1. Vegetatiivisten versojen määrä kasvoi merkittävästi linjalla 21/1 vernalisaatiokäsittelyajan ollessa kaksi viikkoa, jonka jälkeen määrä kääntyi laskuun. Vegetatiivisten versojen lukumäärän nousu selittyy linjan pohjoisella alkuperällä. Kahden viikon vernalisaatioaika ei saa pohjoista alkuperää olevalla linjalla aikaan riittävää vernalisaatiovastetta, jolloin vegetatiivisten versojen määrä kasvaa.

Vernalisaatiokäsittelyn jälkeen muodostuneiden elongoituvien ja generatiivisten versojen lukumäärä oli eri lajikkeilla ja linjoilla tasainen jokaisessa eri vernalisaatiokäsittelyssä. Poikkeuksena oli linja 21/1, jolla vegetatiivisten versojen lisäksi elongoituvien versojen määrä kasvoi merkittävästi viidentoista viikon vernalisaatiokäsittelyn jälkeen. Elongoituvien versojen lukumäärä linjalla 21/1 poikkeaa aikaisemmista tutkimuksista, joissa elongoituvien versojen määrä on pysynyt vernalisaatiosta huolimatta joko samana tai laskenut (Pakarinen ym. 2008).

#### 6.2.4 Kasvien korkeus

Kasvien korkeutta mittaamalla pyrittiin selvittämään eri vernalisaatioaikojen vaikutusta kasvuston korkeuteen ja korkeuden kehitysnopeuteen. Kasvatuskaappikokeessa saadut tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä. Lajikkeiden ja linjojen osalta kokeen tulokset tukevat aikaisempia tutkimuksia sekä peltokokeen tuloksia (Knieval & Smith 1970, Seppänen ym. 2010). Vernalisaatio kiihdyttää kasvunopeutta timoteilla. Kokeen perusteella eteläistä alkuperää olevien linjojen tai lajikkeiden kasvunopeus ei riipu vernalisaatioajasta, vaan kasvupotentiaali on olemassa jos ympäristöolosuhteet ovat suotuisat. Verrattaessa kasvatuskaappikokeen ja peltokokeen tuloksia ovat havainnot sisäisestä kasvupotentiaalista samankaltaisia. Poikkeuksena on lajikkeen Grindstad pituuskasvunopeus kasvatuskaappikokeessa.

Eteläisestä alkuperästä huolimatta lajikkeen Grindstad kasvunopeus on hitaampaa kasvatuskaappikokeen ensimmäisissä vernalisaatiokäsittelyissä. Peltokokeessa kasvunopeus on kuitenkin havaittavissa jo ensimmäisissä näytteissä. Eri kasvunopeus peltokokeessa selittyy kuitenkin näytteenottoajankohdalla. Peltokokeen ensimmäiset näytteet kerättiin lokakuussa, jolloin kasvit ovat jo ehtineet vernalisoitua osittain. Kasvatuskaappikokeessa puolestaan tällaista luonnollista vernalisaatiota ei tapahdu lainkaan. Kukintaan vaadittavaa aikaa tarkasteltaessa sekä korkeutta tarkasteltaessa havaitaan lajikkeen Grindstad olevan eteläisestä genotyypistään huolimatta selvästi pohjoisempaa alkuperää kuin muut kokeessa käytetyt eteläistä genotyyppiä edustavat linjat kuten B112. Kokeen perusteella Grindstad hyötyy jo lyhyestä vernalisaatiosta, jonka myötä sisäinen vernalisaatiiovaste täyttyy.

Linjojen 21/1, Bor0307 sekä Bor0113 kasvunopeudet käyttäytyvät kuten pohjoista alkuperää olevilla linjoilla. Kaikki hyötyvät vernalisaatiokäsittelyajan pidentymisestä, mikä saa aikaan kasvunopeuden kiihtymisen. Selvimmin vernalisaatiiovasteen täytyminen on havaittavissa pohjoista genotyyppiä olevalla linjalla 21/1, jonka kasvunopeus oli lyhyissä vernalisaatiokäsittelyissä selvästi hitain. Tämä vastaa peltokokeen sekä aikaisempien tutkimusten havaintoja vernalisaatiiovasteen laukaisemasta kehitysnopeudesta (MacMillan ym. 2005).

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvitettiin vernalisaation vaikutusta eri timoteigenotyyppien kasvuun, kehitykseen sekä kylmänkestävyyteen. Mukana oli sekä pohjoisia että eteläisiä linjoja ja lajikkeita. Vaikka timotei ei vaadi kukkiakseen vernalisaatiota, tutkimuksen perusteella havaittiin vernalisaation selvästi nopeuttavan kasvua ja kehitystä.

Eri genotyyppien välillä oli selkeitä eroja kasvussa (korkeus) ja kehityksessä (kukintaan vaadittava aika) ja vernalisaation vaikutus näkyi eri tavalla lajikkeesta tai linjasta riippuen. Eteläiset lajikkeet ja linjat, kuten Grindstad ja B112, eivät hyötyneet vernalisaatiosta merkittävästi, vaan niillä oli selvä sisäinen kasvuvalmius ja -nopeus kun olosuhteet muuten olivat kasvulle suotuisat. Pohjoiset genotyypit, kuten Iki ja 21/1, puolestaan vaativat vernalisaatiota kasvun ja kehityksensä käynnistämiseksi. Pohjoisten alkuperää olevien linjojen ja lajikkeiden osalta oli

osaksi jopa havaittavissa liiallista vernalisaatiota, mikä näkyi kevään viimeisinä näytekuukausina voimakkaimman kasvun ja kehityksen hiipumisena.

Syksyn karaistumisjakson (HP) ja jakson lämpösummakertymän (FH-COLD) havaittiin vaikuttavan merkitsevästi karaistumiseen ja mitattuun kylmänkestävyyteen. Lämmin syksy vaikutti selvästi timotein kylmänkestävyyteen ja sitä kautta vaaransi talvehtimista. Yleisesti ottaen alhaiset talvilämpötilat eivät ole ongelma timoteille, joka on erittäin kylmänkestävä. Tulokset osoittavat, että leuto syksy ja nopea lumentulo voivat merkitsevästi haitata timotein karaistumista ja sen myötä heikentää kylmänkestävyyttä ja altistaa kasvit kylmävaurioille.

Vernalisaation vaikutus kasvuston rakenteeseen peltokokeen perusteella vaikutti selkeimmin generatiivisten ja vegetatiivisten versojen suhteellisiin osuuksiin kasvustossa. Vernalisaation myötä kasvusto indusoituu tuottamaan generatiivisia versoja, jolloin vegetatiivisen versojen suhteellinen osuus laskee. Elongoituvien versojen määrässä ei tutkimuksen perusteella tapahtunut muutoksia vernalisaation edetessä.

Tutkimuksessa selvitettiin myös vernalisaation vaikutusta lopulliseen lehtien lukumäärään (FLN). Vaikuttaa siltä, että viljoilla käytetty menetelmä ei kuvaa timotein vernalisaation kehittymistä yhtä selkeästi. Toisaalta tutkimuksen aikana molemmat talvet olivat runsaslumisia, eikä timotei saavuttanut tyypillistä alhaista kylmänkestävyyttä kumpanakaan talvena. Voi siis olla, että karaistumisen epäonnistuminen vaikutti myös kasvin kukintavalmiuden kehittymiseen talven aikana ja sitä kautta lopulliseen lehtien lukumäärään. Kasvatuskaappikokeen perusteella puolestaan FLN vernalisaatiovasteen kuvaajana vaikutti osin käyttökelpoiselta menetelmältä. Tulokset olivat selkeämpiä, koska kasvien kasvit karaistiin kontrolloidusti ja käytössä oleva kasvimateriaali oli osin kloonilinjaja, mikä vähensi kasvikohtaista vaihtelua.

Vaikka timotei on tutkimuskasvina hyvin haasteellinen, antoivat tutkimuksen tulokset lisää tietoa timotein vernalisaatiovaatimuksesta sekä erilaisten lajikkeiden ja linjojen käyttäytymisestä. Tutkimuksen avulla saatiin viitteitä myös syysviljojen vernalisaatiovasteen täyttymistä kuvaavien mittareiden, kuten kukintaan vaadittava ajan, käyttökelpoisuudesta nurmilla. Tutkimustulosten avulla voidaan tarkemmin

määrittellä eri lajikkeiden ja linjojen ominaisuuksia, ja hyödyntää tätä tietoa jalostettaessa uusia lajikkeita. Haluttujen kasvu- ja kehitysominaisuuksien jalostaminen helpottuu, kun lajikkeet ovat selkeämmin luokiteltavissa ja käytettävissä on erilaisia menetelmiä esimerkiksi juuri vernalisaatiovasteen seuraamiseen.

## **8 KIITOKSET**

Kiitokset ohjaajalleni MMT Mervi Seppäselle asiantuntevista neuvoista, kritiikistä ja hyvästä kannustuksesta. Lämpimät kiitokset lisäksi MMM Venla Jokelalle, MMT Frederick Stoddardille ja MMM Mika Isolahdelle erilaisista neuvoista, ohjeista ja kannustuksesta työn aikana. Suuri kiitos myös emeritus professori Walter Larcherille ystävällisestä avusta materiaalin kanssa.

## 9 LÄHTEET

Andrews, C. J. 1987. Low-temperature stress in field and forage crop production - an overview. *Canadian Journal of Plant Science* 67 (4): 1121-1133.

Andrews, C. J., Pomeroy, M. K. & Roche, I. A. 1974. Changes in cold hardiness of overwintering winter wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 54 (1): 9-15.

Artturi verkkopalvelu. 2011a. Rehuanalyysin tulkinta / märehitjät. [https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Artturi/Rehuanalyysi/Rehuanalyysin\\_tulkinta\\_marehtijat](https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Artturi/Rehuanalyysi/Rehuanalyysin_tulkinta_marehtijat). Viitattu 24.5.2011.

Artturi verkkopalvelu. 2011b. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Artturi>. Viitattu 5.6.2011.

Baron, V.S. & Bélanger, G. 2007. Climate and forage adaptation. Teoksessa: Barnes, R. F. 2007. Forages. Vol. 2, The science of grassland agriculture. 6th ed. painos. Blackwell Publishing, Ames, IA, xvi, 791 ss.

Bélanger, G., Rochette, P., Castonguay, Y., Bootsma, A., Mongrain, D. & Ryan, D. A. J. 2002. Climate change and winter survival of perennial forage crops in Eastern Canada. *Agronomy Journal* 94 (5): 1120-1130.

Bertrand, A., Castonguay, Y., Nadeau, P., Laberge, S., Michaud, R., Bélanger, G. & Rochette, P. 2003. Oxygen deficiency affects carbohydrate reserves in overwintering forage crops. *Journal of experimental botany* 54 (388): 1721-1730.

Bertrand, A., Tremblay, G. F., Pelletier, S., Castonguay, Y. & Belanger, G. 2008. Yield and nutritive value of timothy as affected by temperature, photoperiod and time of harvest. *Grass and Forage Science* 63 (4): 421-432.

Bonesmo, H. & Skjelvåg, A. O. 2000. Regrowth rates of timothy and meadow fescue cut at five phenological stages. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science* 49 (4): 209-215.

Boreal kasvinjalostus Oy. 2011. Nurmikasvit 2011. [http://www.boreal.fi/fi/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=68&Itemid=113](http://www.boreal.fi/fi/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=68&Itemid=113). Viitattu 1.6.2011.

Cai, Q. & Bullen, M. 1991. Characterization of genomes of timothy (*Phleum pratense* L.). I. Karyotypes and C-banding patterns in cultivated timothy and two wild relatives. *Genome* 34 (1): 52-58.

Cai HW., Yuyama N., Takmaki H. & Yoshizawa A. 2003. Isolation and characterization of simple sequence repeat markers in the hexaploid forage grass timothy (*Phleum pratense* L.). *TAG Theoretical and Applied Genetics* 107 (8): 1337-1349.

Calder, F. W., Macleod, L.B. & Jackson, L.P. 1965. Effect of soil moisture content and stage of development on cold-hardiness of the alfalfa plant. *Canadian Journal of Plant Science*, 1965, Vol 45 (3): 211-218.

Carter, T. R. 1998. Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science in Finland* 7 (2): 161-179.

Cooper J.P. & Calder D.M. 1964. The inductive requirements for flowering of some temperate grasses. *Grass and Forage Science*, 1964, Vol 19(1): 6-14.

Drew, M. C. 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48: 223-250.

Eagles, C.F. & Fuller, M.P. 1982 Evaluation of cold-hardiness in forage grasses and legumes. *Teoksessa: The Utilisation of Genetic Resources in Fodder Crop Breeding. Proceedings of the Eucarpia Fodder Crops Section Meeting; Aberystwyth :Welsh plant breeding station.*



Ergon, A., Fang, C., Jorgensen, O., Aamlid, T. S. & Rognli, O. A. 2006. Quantitative trait loci controlling vernalisation requirement, heading time and number of panicles in meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.). TAG Theoretical and Applied Genetics 112 (2): 232-242.

Faithfull, N. T. 2002. Methods in agricultural chemical analysis : a practical handbook. CABI Publishing, Wallingford, xxii, 266 ss.

Fales, S.L. & Fritz, J.O. 2007. Factors affecting forage quality. Teoksessa: Barnes, R. F. 2007. Forages. Vol. 2, The science of grassland agriculture. 6th ed. painos. Blackwell Publishing, Ames, IA, xvi, 791 ss.

FAOSTAT 2011. Grasslands world statistical data 2008. [http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/grass\\_stats/grass-stats.htm](http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/grass_stats/grass-stats.htm). Viitattu 7.2.2011.

Ford, C. W., Morrison, I. M. & Wilson, J. R. 1979. Temperature effects on lignin, hemicellulose and cellulose in tropical and temperate grasses. Australian Journal of Agricultural Research 30 (4): 621-633.

Fowler, D. B., Limin, A. E., Wang ShiYing. & Ward, R. W. 1996. Relationship between low-temperature tolerance and vernalization response in wheat and rye. Canadian Journal of Plant Science 76 (1): 37-42.

Gardner, F. P. & Loomis, W. E. 1953. Floral Induction and Development in Orchard Grass. Plant Physiology 28 (2): 201-217.

Gudleifsson, B. E. Andrews, C.J. & Bjornsson, H. 1986. Cold hardiness and ice tolerance of pasture grasses grown and tested in controlled environments. Canadian Journal of Plant Science 66 (3): 601-608.

Gusta, L. V. & Fowler, D. B. 1976. Effects of temperature on dehardening and rehardening of winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 56 (3): 673-678.

Halling, M. A. 1988. Growth of timothy and red clover in relation to weather and time of autumn cutting. 2. Storage carbohydrates in autumn and spring. *Swedish Journal of Agricultural Research* 18 (4): 161-170.

Hay, R. K. M. & Kirby, E. J. M. 1991. Convergence and synchrony-a review of the coordination of development in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 42 (5): 661-700.

Hay, R. K. M. & Porter, J. R. 2006. *The physiology of crop yield*. 2nd ed. painos. Blackwell Publishing, Oxford, UK, xiii, 314 ss.

Hatfield, R.D., Jung, H-J.G., Broderick, G. & Jenkins, T.C. 2007. *Nutritional chemistry of forages*. Teoksessa: Barnes, R. F. 2007. *Forages*. Vol. 2, *The science of grassland agriculture*. 6th ed. painos. Blackwell Publishing, Ames, IA, xvi, 791 ss.

Heide, O. M. 1982. Effects of photoperiod and temperature on growth and flowering in Norwegian and British timothy cultivars (*Phleum pratense* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica* 32 (3): 241-252.

Heide, O. M. 1994. Control of flowering and reproduction in temperate grasses. *New Phytologist* 128 (2): 347-362.

Houghton, J. T. 2001. *Climate change 2001 : the scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, x, 881 ss.

Höglind, M., Hanslin, H. M. & Oijen, M. 2005. Timothy regrowth, tillering and leaf area dynamics following spring harvest at two growth stages. *Field Crops Research* 93 (1): 51-63.

Höglind, M., Schapendonk, A. H. C. M. & Oijen, M. 2001. Timothy growth in Scandinavia: combining quantitative information and simulation modelling. *New Phytologist* 151 (2): 355-367.

Humphreys, M. W., Yadav, R. S., Cairns, A. J., Turner, L. B., Humphreys, J. & Skot, L. 2006. A changing climate for grassland research. *New Phytologist* 169 (1): 9-26.

Hurley, G., Gilliland, T. J. & O'Donovan, M. 2008. Relationship between reproductive initiation and ear emergence development in *Lolium perenne* L. *Journal of Agricultural Science* 146 (6): 655-665.

Isolahti, M. 2010. Timotein maantieteelliset geenipoolit ja niiden käyttö jalostusohjelmissa. Teoksessa: Maataloustieteen Päivät 2010. 2010. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja numero 26. Toimittanut Anneli Hopponen. <http://www.smts.fi/jul2010/esite2010/049.pdf>. Viitattu 21.6.2011.

Isolahti, M. & Nissinen, O. 2004. Role of storage carbohydrates in hardening and resistance of timothy genotypes to frost and *Typhula* spp. (Grassland Science in Europe Volume 9). Teoksessa: Land use systems in grassland dominated regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation. s. 434-436.

Kalberer, S. R., Wisniewski, M. & Arora, R. 2006. Deacclimation and reacclimation of cold-hardy plants: current understanding and emerging concepts. *Plant Science* 171 (1): 3-16.

Kangas, A., Harmoinen, T. & Aalto, M. 2008. Peltokasvilajikkeet 2008. ProAgria Maaseutukeskusten liitto, Vantaa, 95 ss.

Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Mäkelä, L. 2001. Virallisten lajikekokeiden tulokset 1993-2000. Results of official variety trials 1993-2000. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen, 262 ss.

Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H. 2010. Virallisten lajikekokeiden tulokset 2003-2010. Results of official variety trials 2003-2010. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen, 174 ss.

Kim, D. H., Doyle, M. R., Sung, S. B. & Amasino, R. M. 2009. Vernalization: winter and the timing of flowering in plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 25: 277-299.

Knievel, D.H. & Smith, D. 1970. Yields and chemical composition of Timothy (*Phleum pratense* L.) plants derived from summer and winter tillers. *Crop Science* 10 (3) : 270-273

K-Maatalous. 2011. Nurmikasvivalikoima 2011. <http://www.k-maatalous.fi/tuotteet/kasvinviljely/siemenet/nurmikasvit/Sivut/Nurmikasvit.aspx>. Viitattu 1.6.2011.

Larsen, A. 1985. Response to selection for freezing tolerance and associated effects on vegetative growth in *Dactylis glomerata*. Teoksessa: Kaurin, É., Junttila, O., Nilsen, J. 1985. *Plant Production in the North*. Norwegian Univ. Press: 116-126.

Larsen, A. 1994. Breeding winter hardy grasses. *Euphytica* 77 (3): 231-237.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1, Chilling, freezing, and high temperature stresses. 2nd ed. painos. Academic Press, New York, 497 ss.

Livingston, D. P., III, Hinch, D. K. & Heyer, A. G. 2009. Fructan and its relationship to abiotic stress tolerance in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences* 66 (13): 2007-2023.

MacMillan, C. P., Blundell, C. A. & King, R. W. 2005. Flowering of the grass *Lolium perenne*. Effects of vernalization and long days on gibberellin biosynthesis and signaling. *Plant Physiology* 138 (3): 1794-1806.

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 2011. Virallisten lajikekokeiden suoritusohjeet vuodelle 2010. [https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/maaseutuyritys/palvelut/kasvintuotanto/virallisetlajikekokeet/lajikekokeidentoteuttaminen/SUORITUSOHJEET\\_2010.pdf](https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/maaseutuyritys/palvelut/kasvintuotanto/virallisetlajikekokeet/lajikekokeidentoteuttaminen/SUORITUSOHJEET_2010.pdf). Viitattu 3.6.2011.

Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE. 2011a. <http://www.maataloustilastot.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa>. Käytössä oleva maatalousmaa 2011. Viitattu 5.6.2011.

Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE. 2011b. <http://www.maataloustilastot.fi/satotilasto> . Viljelykasvien sato vuonna 2010. Viitattu 20.5.2011.

Mahfoozi, S., Limin, A. E. & Fowler, D. B. 2001. Influence of vernalization and photoperiod responses on cold hardiness in winter cereals. *Crop Science* 41 (4): 1006-1011.

Marshall, C. 1987. Physiological aspects of pasture growth. *Ecosystems of the World* 17B. Managed grasslands. Analytical Studies 29-46. 152 ref.

McDonald, P. 2002. Animal nutrition. 6th edition. painos. Prentice Hall, Harlow, 693 ss.

McElroy, A.R. & Kunelius, H.T. 1995. Timothy. Teoksessa: Barnes, R. F., Miller, D. A. & Nelson, C. J. 1995. Forages. Vol. 1, An introduction to grassland agriculture. 5th ed. painos. Iowa State University Press, Ames, IA, 516 ss.

McMaster, G. S. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87 (4): 291-300.

Moore, K. J. & Moser, L. E. 1995. Quantifying developmental morphology of perennial grasses. *Crop Science* 35 (1): 37-43.

Moore, K. J., Moser, L. E., Vogel, K. P., Waller, S. S., Johnson, B. E. & Pedersen, J. F. 1991. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. *Agronomy Journal* 83 (6): 1073-1077.

Mossberg, B., Stenberg, L., Vuokko, S. & Väre, H. 2005. Suuri Pohjolan kasvio. Tammi, Helsinki, 928 ss.

Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of primary growth and regrowth grass silages from chemical composition, pepsin-cellulase solubility and indigestible cell wall content. *Animal Feed Science and Technology* 110 (1-4): 61-74.

Pakarinen, K., Virkajarvi, P., Seppanen, M. & Rinne, M. 2008. Effect of different tiller types on the accumulation and digestibility of the herbage mass of timothy (*Phleum pratense* L.). (Grassland Science in Europe, Volume 13). Teoksessa: Biodiversity and animal feed: future challenges for grassland production. Proceedings of the 22nd General Meeting of the European Grassland Federation. s. 495-497.

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J. & Hanson, C.E. 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 ss.

Peltonen, S., Puurunen, T. & Harmoinen, T. 2010. Nurmirehujen tuotanto ja käyttö. ProAgria Keskusten Liitto, Vantaa, 98 ss.

Pollock, C. J. & Jones, T. 1979. Seasonal patterns of fructan metabolism in forage grasses. *New Phytologist* 83 (1): 9-15.

Reda, F., Larsen, P. & Rasmussen, O. S. 1978. Levels of Growth Regulating Substances during Vernalization of Winter Wheat. *Physiologia Plantarum* 42 (1): 109-113.

Sakai, A. & Larcher, W. 1987. Frost survival of plants : responses and adaptation to freezing stress. Berlin, 321 ss.

Seppänen, M., Pakarinen, K., Jokela, V., Andersen, J. R., Fiil, A., Santanen, A. & Virkajarvi, P. 2010. Vernalization response of *Phleum pratense* and its relationships to stem lignification and floral transition. *Annals of Botany* 106 (5): 697-707.

Smith, D. 1968. Carbohydrates in Grasses. IV. Influence of Temperature on the Sugar and Fructosan Composition of Timothy Plant Parts at Anthesis. Crop Science, 1968, Vol 8(3): 331.

Soorm, U., Moks, M., Põldur, Ü. & Siro, E. 2011. Riiklike majanduskatsete tulemused 2010. <http://pmk.agri.ee/viljandi/kogumikud/2010aastakogumik.pdf>. Viitattu 1.6.2011.

Sunde, M. 1996. Effects of winter climate on growth potential, carbohydrate content and cold hardiness of timothy (*Phleum pratense* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). Norges landbrukshøgskole, Kapp, 8 ss.

Taiz, L. & Zeiger, E. 2006. Plant physiology. 4th ed. painos. Sinauer Associates, Sunderland, MA, xxvi, 764 ss.

Thorsen, S. M. & Höglind, M. 2010. Assessing winter survival of forage grasses in Norway under future climate scenarios by simulating potential frost tolerance in combination with simple agroclimatic indices. Agricultural and Forest Meteorology 150 (9): 1272-1282.

Thorvaldsson, G. 1986. Variations in timothy dry matter yield and nutritional value as affected by harvest date, nitrogen fertilization, year and location in northern Sweden. Acta Agriculturae Scandinavica. 36(4): 367-385.

Thorvaldsson, G. 2006. Digestibility of timothy. Teoksessa: Timothy productivity and forage quality - possibilities and limitations. NJF Seminar 384 10 – 12 August 2006 Akureyri, Iceland. 132 ss.

Uemura, M. & Yoshida, S. 1984. Involvement of plasma membrane alterations in cold acclimation of winter rye seedlings (*Secale cereale* L. cv. Puma). Plant Physiology 75 (3): 818-826.

Venäläinen, A. & Nordlund, A. 1988. Kasvukauden ilmastotiedotteen sisältö ja käyttö. Finnish Meteorological Institute Report No. 1988:6. Helsinki: Finnish Meteorological Institute. 63 p. (in Finnish).

Viner, D., Morison, J. I.L. & Wallace, C. 2006. Recent and future climate change and their implications for plant growth. Teoksessa: Morison, J. I. L. & Morecroft, M. D. 2006. Plant growth and climate change. Blackwell Publishing, Oxford, xiv, 213 ss.

Virkajärvi, P., Pakarinen, K., Hyrkäs, M., Savolainen, J. & IsoLahti, M. 2010. Does tiller type distribution explain the differences in yield and nutritive value of timothy genotypes? (Grassland Science in Europe, Volume 15). Julkaisussa: Grassland in a changing world. Proceedings of the 23rd General Meeting of the European Grassland Federation. s. 572-574.

Virkajärvi, P., Pakarinen, K., Hyrkäs, M., Seppänen, M. & Bélanger, G. 2011. Tiller characteristic of timothy and tall fescue in relation to herbage mass accumulation. Artikkelin käsikirjoitus.

Wang, S. Y., Ward, R. W., Ritchie, J. T., Fischer, R. A. & Schulthess, U. 1995. Vernalization in wheat I. A model based on the interchangeability of plant age and vernalization duration. *Field Crops Research* 41 (2): 91-100.

White, L. M. 1973. Carbohydrate reserves of grasses: a review. *Journal of Range Management* 26 (1): 13-18.

Wilson, J. R. & Wong, C. C. 1982. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of green panic and Siratro pastures. *Australian Journal of Agricultural Research* 33 (6): 937-949.

Yan, L., Loukoianov, A., Blechl, A., Tranquilli, G., SanMiguel, P., Ramakrishna, W., Bennetzen, J., Echenique, V. & Dubcovsky, J. 2004. The wheat VRN2 gene is a flowering repressor down-regulated by vernalization. *Science* 303 (5664): 1640.



**Liite 1: Kukkimiseen tarvittava aika vuorokausina talven 2009 – 2010 kontrollikasvinäytteillä. Tyhjä ei kukkinut lainkaan. ± Ilmaisee keskivirheen (SE, n = 1 – 3).**

	<b>MARRASKUU</b>	<b>JOULUKUU</b>	<b>TAMMIKUU</b>	<b>HUHTIKUU</b>	<b>TOUKOKUU</b>
	Kukkimiseen tarvittava aika (vrk)	Kukkimiseen tarvittava aika (vrk)	Kukkimiseen tarvittava aika (vrk)	Kukkimiseen tarvittava aika (vrk)	Kukkimiseen tarvittava aika (vrk)
<b>Tuure</b>	-	-	36,00 ± 0,00	41,00 ± 0,00	29,00 ± 0,00
<b>Iki</b>	-	-	-	28,50 ± 3,50	16,00 ± 2,00
<b>Tammisto</b>	-	ei kerätty	ei kerätty	27,33 ± 0,33	29,00 ± 0,00
<b>BOR01025</b>	57,00	59,00	43,00	35,00 ± 0,00	29,00
<b>Grindstad</b>	-	ei kerätty	ei kerätty	33,00 ± 0,00	21,50 ± 7,50
<b>Jonatan</b>	-	ei kerätty	ei kerätty	32,67 ± 4,63	21,50 ± 7,50
<b>Tia</b>	-	-	53,00 ± 0,00	32,00 ± 0,00	-
<b>Tika</b>	-	ei kerätty	ei kerätty	25,00 ± 0,00	29,00 ± 0,00

LIIITE 2: Lehtien lopullinen lukumäärä (kpl), kun uusia kukintoja ei enää synny sekä kukkimiseen tarvittava aika (vrk) talven 2010 – 2011 näytteistä. ±

Ilmaisee keskiarvojen (SE, n = 1 – 4).

	LOKAKUU		MARRASKUU		JOULUKUU		TAMMIKUU		HELMIKUU		MAALISKUU		HUHTIKUU		TOUKOKUU	
	Lopul- linen lehtien lkm	Kukin- taan tarvit. aika (vrk)	Lopul- linen lehtien lkm	Kukin- taan tarvit. aika (vrk)	Lopul- linen lehtien lkm	Kukin- taan tarvit. aika (vrk)	Lopul- linen lehtien lkm	Kukin- taan tarvit. aika (vrk)	Lopul- linen lehtien lkm	Kukin- taan tarvit. aika (vrk)	Lopul- linen lehtien lkm	Kukin- taan tarvit. aika (vrk)	Lopul- linen lehtien lkm	Kukin- taan tarvit. aika (vrk)	Lopul- linen lehtien lkm	Kukin- taan tarvit. aika (vrk)
<b>Tuure</b>	7,00 ± 0,71	77,00	8,50 ± 0,29	-	10,67 ± 1,86	85,00	6,75 ± 1,80	60,50 ± 19,50	6,67 ± 0,88	48,00	5,33 ± 1,33	36,00 ± 0,00	5,33 ± 0,33	30,00 ± 0,00	5,75 ± 1,32	14,00 ± 0,00
<b>Iki</b>	7,00 ± 0,71	62,00	7,25 ± 1,11	-	7,25 ± 0,25	49,00	7,25 ± 1,44	56,00 ± 6,49	6,00 ± 0,58	48,00 ± 0,00	5,67 ± 0,88	38,00 ± 2,00	4,67 ± 0,67	37,00 ± 0,00	5,75 ± 1,44	14,00 ± 0,00
<b>Tam- misto II</b>	5,50 ± 0,50	-	4,75 ± 0,48	63,67 ± 7,67	6,75 ± 1,11	42,00	6,00 ± 0,71	47,00 ± 3,67	7,00 ± 0,71	48,00	5,00 ± 1,00	42,00	6,00 ± 1,00	37,00	6,00 ± 0,91	14,00 ± 0,00
<b>BOR 01025</b>	6,50 ± 0,87	66,50 ± 4,50	6,75 ± 0,85	62,50 ± 4,72	8,25 ± 1,93	42,00	5,50 ± 1,04	45,5 ± 4,50	6,33 ± 1,86	42,33 ± 6,96	5,33 ± 0,33	47,33 ± 2,67	5,00 ± 1,00	37,00	5,25 ± 0,75	14,00 ± 0,00
<b>Grind- stad</b>	5,00 ± 0,71	47,25 ± 8,14	8,75 ± 1,75	56,00	5,75 ± 0,85	60,67 ± 9,33	6,33 ± 0,67	41,00	8,00	-	8,00 ± 0,82	46,00 ± 4,00	7,00 ± 0,41	30,00	5,25 ± 0,75	14,00 ± 0,00
<b>Jonatan</b>	7,00 ± 1,35	48,00 ± 14,00	6,50 ± 2,47	-	8,25 ± 1,11	56,00	7,75 ± 0,63	50,00	5,50 ± 0,50	41,00	6,67 ± 0,88	36,00	5,50 ± 0,50	35,25 ± 1,75	5,00 ± 0,41	14,00 ± 0,00
<b>Tia</b>	4,00	57,33 ± 4,67	8,25 ± 0,85	-	9,50 ± 1,66	71,00	6,75 ± 0,85	47,00 ± 3,00	6,67 ± 0,88	48,00 ± 7,00	6,00 ± 1,00	36,00 ± 0,00	4,67 ± 0,33	37,00 ± 0,00	5,25 ± 0,48	-
<b>Tika</b>	5,00 ± 0,41	63,33 ± 7,67	10,5 ± 1,19	83,00	10,25 ± 1,65	-	4,50 ± 0,50	44,00 ± 3,00	5,5 ± 0,29	43,33 ± 6,17	6,00	36,00	6,25 ± 0,75	30,00	5,75 ± 1,11	14,00 ± 0,00

LITTE 3: Talven 2010 -2011 kontrollikasvien korkeus

(cm) ± Ilmasee keskivirheen (SE, n = 1 – 4)

		<b>Bor01025</b>	<b>Grindstad</b>	<b>Iki</b>	<b>Jonatan</b>	<b>Tammisto II</b>	<b>Tia</b>	<b>Tika</b>	<b>Tuure</b>
Näytteenotto- kuukausi	Mittaus- kerta	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)
<b>Lokakuu</b>	1	4,62 ± 2,88	7,00 ± 2,88	6,63 ± 2,88	5,75 ± 2,88	6,5 ± 2,88	6,88 ± 6,07	4,59 ± 3,40	7 ± 2,88
	2	4,33 ± 4,04	13,90 ± 4,04	7,35 ± 4,04	10,38 ± 4,04	7,18 ± 4,04	7,07 ± 8,52	7,05 ± 4,04	8,35 ± 4,04
	3	6,20 ± 5,21	25,08 ± 5,21	8,32 ± 5,21	11,88 ± 5,21	6,57 ± 5,21	6,61 ± 11,08	10,85 ± 5,21	9,17 ± 5,21
	4	11,10 ± 7,98	33,95 ± 7,98	14,20 ± 7,98	22,28 ± 7,98	8,85 ± 7,98	39,82 ± 16,98	20,28 ± 7,98	16,13 ± 7,98
	5	17,78 ± 10	59,70 ± 10,00	21,08 ± 10,00	37,68 ± 10,00	9,30 ± 10,00	45,09 ± 21,52	27,00 ± 10,00	23,03 ± 10,00
<b>Marraskuu</b>	1	7,74 ± 4,25	5,35 ± 2,88	3,62 ± 4,23	3,92 ± 3,38	3,13 ± 3,39	3,90 ± 2,88	-	4,64 ± 3,41
	2	6,08 ± 4,04	10,15 ± 4,04	4,08 ± 4,04	6,73 ± 4,75	6,49 ± 4,77	6,38 ± 4,04	4 ± 4,04	5,97 ± 4,04
	3	10,58 ± 5,21	22,33 ± 5,21	6,27 ± 5,21	8,99 ± 6,14	9,02 ± 6,17	6,65 ± 5,21	9,22 ± 5,21	8,77 ± 5,21
	4	19,33 ± 7,98	36,45 ± 7,98	9,05 ± 7,98	11,36 ± 9,41	15,76 ± 9,46	7,05 ± 7,98	12,85 ± 7,98	11,75 ± 7,98
	5	53,75 ± 10	56,8 ± 10,00	13,80 ± 10	24,38 ± 11,84	27,23 ± 10,00	38,5 ± 10,00	26,93 ± 10,00	11,80 ± 10,00
	6	67,03 ± 10,78	59,63 ± 10,78	17,58 ± 10,78	22,22 ± 12,85	40,15 ± 10,78	44,13 ± 10,78	34,23 ± 10,78	17,5 ± 10,78
	7	79,38 ± 11,28	62,08 ± 11,28	19,05 ± 11,28	22,05 ± 13,56	60,37 ± 13,56	49,20 ± 11,28	42,98 ± 11,28	23,13 ± 11,28
<b>Joulukuu</b>	1	7,57 ± 3,4	6,63 ± 2,88	8,63 ± 2,88	10,26 ± 3,39	10,78 ± 2,88	9,27 ± 2,88	7,88 ± 2,88	8,30 ± 3,41
	2	9,95 ± 4,04	9,50 ± 4,04	15,13 ± 4,04	9,23 ± 4,04	13,68 ± 4,04	11,13 ± 4,04	11,65 ± 4,04	12,32 ± 4,76
	3	18,23 ± 5,21	14,18 ± 5,21	23,03 ± 5,21	13,95 ± 5,21	17,9 ± 5,21	15,65 ± 5,21	13,83 ± 5,21	19,10 ± 6,17
	4	27,43 ± 7,98	22,43 ± 7,98	23,98 ± 7,98	21,28 ± 7,98	20 ± 7,98	26,18 ± 7,98	24,65 ± 7,98	22,65 ± 9,46
	5	24,48 ± 10	27,60 ± 10,00	12,38 ± 10,00	24,40 ± 10,00	32,33 ± 11,85	36,75 ± 10,00	20,50 ± 10,00	32,49 ± 11,91
	6	20,95 ± 10,78	29,58 ± 10,78	13,80 ± 10,78	32,70 ± 10,78	34,00 ± 12,87	47,15 ± 10,78	14,23 ± 10,78	32,77 ± 12,98
	7	26,5 ± 11,28	44,73 ± 11,28	15,13 ± 11,28	33,60 ± 11,28	17,03 ± 11,28	63,23 ± 11,28	16,85 ± 11,28	30,91 ± 13,81
	8	35,58 ± 16,26	51,68 ± 16,26	13,13 ± 16,26	36,55 ± 16,26	31,48 ± 16,26	71,50 ± 16,26	31,8 ± 16,26	48,65 ± 21,00
	9	31,83	59,98	12,95	36,68	31,05	78,40	13,83	50,30

## LITTE 4: Talven 2010 -2011 kontrollikasvien korkeus

(cm). ± Ilmaisee keskirvirheen (SE, n = 1 – 4)

		Bor01025	Grindstad	Iki	Jonatan	Tammisto II	Tia	Tika	Tuure
Näytteenotto- kuukausi	Mittaus- kerta	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)	Kasvin korkeus (cm)
<b>Tammikuu</b>	1	9,50 ± 2,88	14,54 ± 3,40	6,95 ± 2,88	9,85 ± 2,88	11,48 ± 2,88	7,30 ± 2,88	9,90 ± 2,88	9,88 ± 2,88
	2	14,25 ± 4,04	28,06 ± 4,78	12,80 ± 4,04	14,28 ± 4,04	18,20 ± 4,04	12,98 ± 4,04	16,80 ± 4,04	16,10 ± 4,04
	3	22,80 ± 5,21	47,11 ± 6,20	24,25 ± 5,21	19,65 ± 5,21	31,88 ± 5,21	16,80 ± 5,21	27,13 ± 5,21	26,43 ± 5,21
	4	34,30 ± 7,98	60,58 ± 9,50	37,53 ± 7,98	29,10 ± 7,98	50,35 ± 7,98	29,23 ± 7,98	42,18 ± 7,98	34,98 ± 7,98
	5	45,15 ± 10	78,93 ± 12,02	62,08 ± 10,00	39,23 ± 10,00	70,75 ± 10,00	48,28 ± 10,00	42,1 ± 10,00	46,45 ± 10,00
	6	49,83 ± 10,78	77,68 ± 13,20	75,08 ± 10,78	49,45 ± 10,78	76,58 ± 10,78	58,73 ± 10,78	61,00 ± 10,78	55,65 ± 10,78
	7	41,2 ± 11,28	78,45 ± 13,81	80,55 ± 11,28	50,53 ± 11,28	82,00 ± 11,28	62,63 ± 11,28	62,08 ± 11,28	39,40 ± 11,28
	8	41,03 ± 16,26	79,84 ± 21,00	94,28 ± 16,26	53,25 ± 16,26	67,48 ± 16,26	74,95 ± 16,26	67,25 ± 16,26	56,25 ± 16,26
<b>Helmikuu</b>	1	10,33 ± 3,4	11,48 ± 6,17	9,95 ± 2,88	7,85 ± 2,88	6,63 ± 2,88	12,16 ± 3,39	11,70 ± 2,88	13,15 ± 3,41
	2	17,95 ± 4,76	20,64 ± 8,66	17,53 ± 4,04	10,78 ± 4,04	10,50 ± 4,04	14,50 ± 4,76	20,08 ± 4,04	14,48 ± 4,76
	3	25,17 ± 6,16	35,36 ± 11,35	31,85 ± 5,21	17,13 ± 5,21	16,43 ± 5,21	26,42 ± 6,17	22,15 ± 5,21	28,24 ± 6,17
	4	40,62 ± 9,45	49,26 ± 17,39	51,38 ± 7,98	25,50 ± 7,98	26,25 ± 7,98	42,66 ± 9,45	24,38 ± 7,98	36,29 ± 9,46
	5	49,59 ± 11,84	9,00 ± 22,36	56,35 ± 10,00	32,13 ± 10,00	33,23 ± 10,00	55,35 ± 11,91	44,40 ± 10	42,09 ± 11,91
	6	48,91 ± 12,85	31,55 ± 25,28	75,20 ± 10,78	33,10 ± 10,78	38,48 ± 10,78	60,76 ± 12,85	49,20 ± 10,78	41,67 ± 12,98
	7	54,66 ± 13,56	79,85 ± 26,45	66,93 ± 11,28	37,75 ± 11,28	36,75 ± 11,28	56,03 ± 13,56	56,33 ± 11,28	36,58 ± 13,81
<b>Maaliskuu</b>	1	9,28 ± 3,39	17,91 ± 4,25	13,09 ± 3,39	10,66 ± 3,39	5,54 ± 4,23	12,69 ± 3,39	14,41 ± 6,11	15,35 ± 3,41
	2	14,78 ± 4,75	30,00 ± 5,96	26,25 ± 4,75	14,28 ± 4,75	8,69 ± 5,94	22,55 ± 4,76	23,41 ± 8,50	22,35 ± 4,76
	3	31,02 ± 6,15	53,08 ± 7,75	46,60 ± 6,16	26,04 ± 6,14	21,96 ± 7,72	42,80 ± 6,17	47,48 ± 11,06	44,61 ± 6,17
	4	41,69 ± 9,42	65,35 ± 11,88	60,20 ± 9,41	31,03 ± 9,41	35,59 ± 11,83	46,75 ± 9,45	65,77 ± 16,93	58,77 ± 9,46
	5	49,49 ± 11,84	88,43 ± 15,09	58,64 ± 11,83	38,35 ± 11,84	37,97 ± 14,88	52,59 ± 11,91	72,05 ± 21,44	68,56 ± 11,85
	6	53,23 ± 12,85	83,41 ± 16,66	62,38 ± 12,83	42,19 ± 12,85	36,79 ± 16,27	58,64 ± 12,85	72,59 ± 23,50	75,26 ± 12,87
<b>Huhtikuu</b>	1	6,38 ± 4,25	5,60 ± 2,88	5,72 ± 3,39	8,62 ± 2,88	2,73 ± 4,23	4,95 ± 3,39	6,88 ± 2,88	6,82 ± 4,24
	2	11,48 ± 5,94	10,63 ± 4,04	15,10 ± 4,04	19,25 ± 4,04	5,08 ± 5,94	11,2 ± 4,76	15,65 ± 4,04	8,89 ± 4,76
	3	25,04 ± 7,71	19,75 ± 5,21	37,53 ± 6,16	32,88 ± 5,21	13,75 ± 7,71	22,12 ± 6,17	23,82 ± 6,16	20,57 ± 6,17
	4	38,05 ± 11,81	33,03 ± 7,98	58,32 ± 9,41	48,75 ± 7,98	26,69 ± 11,82	39,27 ± 9,45	28,98 ± 7,98	35,9 ± 9,46
<b>Toukokuu</b>	1	27,50 ± 2,88	17,40 ± 2,88	12,63 ± 2,88	21,5 ± 2,88	18,13 ± 2,88	5,13 ± 2,88	20,3 ± 2,88	30,1 ± 2,88
	2	40,90 ± 4,04	25,00 ± 4,04	23,18 ± 4,04	40,38 ± 4,04	33,63 ± 4,04	15,25 ± 4,04	33,43 ± 4,04	33,33 ± 4,04