

NURMIKASVIEN VÄLISET EROT SYYSKASVUSSA

Tiina Toivonen
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kasvinviljelytiede
2014

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Tiina Toivonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Nurmikasvien väliset erot syyskasvussa			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kasvinviljelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Huhtikuu 2014	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 70
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Timoteitä (<i>Phleum pratense</i> L.) ja nurminataa (<i>Festuca pratensis</i> Huds.) viljellään yleisesti pohjoisilla leveysasteilla. Tulevaisuudessa myös englanninraiheinän (<i>Lolium perenne</i> L.) ja rainatahybridien (<i>xFestulolium</i>) viljelyn ennustetaan lisääntyvän. Ilmastonlämpeneminen muuttanee syyskasvuoloja Suomessa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää alkuperältään toisistaan poikkeavien nurmilajien- ja lajikkeiden syyskasvua ja varastosokereiden kertymistä kontrolloiduissa kasvuoloissa sekä kolmannen niiton jälkeistä syyskasvukykyä, kylmänkestävyyttä, versojen elinvoimaisuutta ja liukoista sokeripitoisuutta pelto-oloissa talven aikana.</p> <p>Tutkimus toteutettiin kasvatuskaappi- ja peltokokeena. Kasvatuskaappikokeessa käsittelyinä oli neljä erilaista päivänpituus- ja lämpötilayhdistelmää, jotka kuvasivat mahdollisia syyskasvuoloja Suomessa. Tutkimus toteutettiin kahtena osakokeena: 5 °C/14 h ja 10 °C/14 h, sekä 15 °C/12 h ja 15 °C/14 h. Timotei-, englanninraiheinä-, rainata- ja nurminatalinjoista mitattiin kasvullisia tekijöitä sekä fotosynteesin aktiivisuutta ja liukoista sokeripitoisuutta. Peltokokeessa mitattiin englanninraiheinä- ja rainatagenotyypin syyskasvua kolmannen niiton jälkeen sekä kylmänkestävyyttä ja varastosokereiden määrää talven aikana (marras- ja tammi/helmikuussa).</p> <p>Tulosten perusteella todettiin, että alhaiset lämpötilat (5 ja 10 °C) estivät timotein versomisen tehokkaasti, mutta sen sijaan englanninraiheinät, rainadat ja nurminadat muodostivat sivuversoja ja kerryttivät biomassaa. Alhaiset lämpötilat (5 ja 10 °C) estivät kaikkien pituuskasvua, ja pitkä päivänpituus (14 h) mahdollisti pituuskasvun vasta korkeassa lämpötilassa (15 °C). Englanninraiheinien ja rainatojen pituuskasvu oli samantasoista sekä 12 että 14 tunnissa, minkä vuoksi ne jatkanevat kasvuaan lämpiminä syksyinä, vaikka päivänpituus lyhenee. Eteläinen timotei kasvoi huomattavasti korkeutta pitkässä päivässä (14 h) ja korkeassa lämpötilassa (15 °C), kun taas pohjoinen timotei versoi runsaasti. Lyhenevän päivänpituuden todettiin hidastavan timotein kasvua. Kaikkien genotyyppien yhteyttäminen oli aktiivista eri kasvuoloissa ja liukoisia sokereita varastoitiin alhaisissa lämpötiloissa (5 ja 10 °C). Sen sijaan korkeassa lämpötilassa (15 °C) niitä kulutettiin, lukuun ottamatta pohjoista timoteitä. Peltokokeen tulosten perusteella todettiin, että englanninraiheinien ja rainatojen talvehtimisessä oli haasteita, kylmänkestävyyden aleneminen oli yhteydessä rainatojen kukintavalmiuden etenemiseen marras-tammikuussa ja syyskasvussa oli voimakasta, vuodesta riippuvaa vaihtelua.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords timotei, nurminata, rainata, englanninraiheinä, syyskasvu, päivänpituus, ilmastonmuutos, kylmänkestävyys			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasivat 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 Tiina Toivonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Differences between forage grasses in autumn growth			
Oppiaine — Läroämne — Subject Crop Science			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year April 2014	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 70
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Timothy (<i>Phleum pratense</i> L.) and meadow fescue (<i>Festuca pratensis</i> Huds.) are generally grown forage grasses at high latitudes. Growing of perennial ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.) and <i>xFestulolium</i> hybrid is possibly increasing in the future. The climate change will alter autumn growth conditions in Finland. The aim of this study was to investigate differences in autumn growth and accumulation of reserve carbohydrates between forage grass species and cultivars from different geographical origin. The objective was also to study autumn growth ability after third cut, cold tolerance, tiller density and content of soluble sugars in chosen cultivars in field conditions during winter.</p> <p>This study was carried out at growth chamber experiment and field trial. There were four different autumn growth conditions in growth chambers: first 5 °C/14 h and 10 °C/14 h and secondly 15 °C/12 h and 15 °C/14 h. Vegetative factors like ligule height and activity of photosynthesis and concentration of soluble sugars were measured from timothy, meadow fescue, perennial ryegrass and <i>xFestulolium</i> lines. Autumn growth yield after third cut, cold tolerance (LT₅₀) and reserve carbohydrates of perennial ryegrass and <i>xFestulolium</i> cultivars during winter were measured in field trial (Nov. & Jan./Feb.).</p> <p>According to this study low temperatures (5 and 10 °C) prevented formation of lateral tillers effectively in timothy but not in other species because they formed new lateral tillers and accumulated biomass. Low temperatures (5 and 10 °C) prevented height growth in all studied lines and long day length (14 h) allowed height growth only in higher temperature (15 °C). Perennial ryegrasses and <i>xFestulolium</i> cultivars grew similarly in short (12 h) and long (14h) day length but the growth of timothy was delayed in short day length. Southern timothy breeding line grew significantly height in the 15 °C and 14 h growth conditions whereas northern timothy breeding line formed more lateral tillers. The photosynthesis activity of all tested genotypes was high in all growth conditions and concentration of soluble sugars increased in low temperatures but not in high temperatures except in northern timothy. According to the field trial the overwintering of perennial ryegrasses and <i>xFestulolium</i> cultivars was challenging especially in second winter and the decline of low temperature tolerance was connected to vernalization saturation of <i>xFestulolium</i> cultivars during winter. There was strong variation in autumn growth between years.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords timothy, meadow fescue, perennial ryegrass, <i>xFestulolium</i> , day length, climate change, cold tolerance, autumn growth			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: PhD Mervi Seppänen, MSc Venla Jokela			

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 KATSAUS KIRJALLISUUTEEN	7
2.1 Nurmikasvilajit ja niiden käyttö seoksissa	7
2.1.1 Timotei, nurminata, englanninraiheinä ja rainata.....	7
2.2 Ilmastonmuutos, ilmastoennusteet ja nurmisadot	9
2.2.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa.....	11
2.3 Nurmikasvien kylmänkestävyys	12
2.3.1 Kylmäkaraistuminen ja karaistumisen purkautuminen.....	12
2.3.2 Sokeripitoisuus	13
2.4 Nurmikasvien kasvuun vaikuttavat tekijät	14
2.4.1 Päivänpituus	14
2.4.2 Nurmien kasvulämpötila ja vedentarve.....	16
2.5 Nurmikasvien syyskasvu ja jälleenkasvukyky	17
2.5.1 Timotein versotyypit sekä ensimmäinen, toinen ja kolmas sato	17
2.5.2 Nurmikasvien syyskasvu ja kasvunpysähtyminen	18
2.5.3 Yhteyttämisen aktiivisuus ja klorofyllifluoresenssi	19
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	20
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	20
4.1 Kasvatustaappikoe	20
4.1.1 Kasvimateriaali ja koejärjestelyt	21
4.1.2 Kasvun ja kehityksen havainnointi.....	21
4.1.3 Klorofyllifluoresenssimittaus	22
4.1.4 Liukoisten sokereiden määrittäminen	22
4.2 Peltokoe	23
4.2.1 Kasvimateriaali ja koejärjestelyt	25
4.2.2 Suoritetut mittaukset, niitot ja sadot.....	26
4.2.3 Kylmänkestävyydestä (LT ₅₀).....	26
4.2.4 Liukoisten sokereiden määrittäminen	27
4.2.5 Kasvuston tiheys	27
4.3 Tilastolliset analyysit	27
5 TULOKSET	28
5.1 Kasvatustaappikoe	28

5.1.1 Kasvien korkeus	28
5.1.2 Pääverson lehtien lukumäärä	31
5.1.3 Sivuersojen lukumäärä, versotyypit ja tuorepaino	34
5.1.4 Klorofyllifluoresenssi.....	39
5.1.5 Liukoinen sokeripitoisuus	43
5.2 Peltokoe.....	44
5.2.1 Nurmikasvien syyskasvu	44
5.2.2 Kylmänkestävyys.....	45
5.2.3 Talvehtiminen	46
5.2.4 Vararavintovarojen kertyminen	49
6 TULOSTEN TARKASTELU	50
6.1 Kasvatuskaappikoe	50
6.1.1 Kasvu ja kehitys	50
6.1.2 Yhteyttämisen aktiivisuus	54
6.1.3 Vararavintovarojen kertyminen eri syyskasvuoloissa	54
6.2 Peltokoe.....	55
6.2.1 Kylmänkestävyys ja talvehtimisen onnistuminen	55
6.2.2 Nurmikasvien syyskasvu ja sadonmuodostus syksyllä.....	57
6.2.3 Sadon laadun kehitys (tähkätiheys) ensimmäisen niiton jälkeen	58
6.2.4 Vararavintovarojen kertyminen talven aikana	58
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	59
8 KIITOKSET.....	60
9 LÄHTEET	61

1 JOHDANTO

Koko maailman maatalousalasta 70 % on nurmikasvien peitossa (FAOSTAT 2013). Nurmilla on maailmanlaajuisesti suuri merkitys esimerkiksi karjanrehuna, luonnoneläinten elinympäristönä ja ympäristön monimuotoisuuden kannalta (FAOSTAT 2013). Suomessa nurmirehun merkittävin käyttökohde on säilörehuntuotanto. Vuonna 2012 Suomessa viljeltiin nurmia noin 29 % käytössä olevasta maatalousmaasta, josta vajaa 21 % oli säilörehuntuotantoa (TIKE 2013). Muut käyttökohteet olivat kuivaheinän viljely (4,2 %), laitumet (3,2 %), tuorerehu (0,4 %) sekä siemenheinän viljely (0,4 %) (TIKE 2013).

Suomessa yleisesti viljeltäviä nurmiheiniä ovat timotei (*Phleum pratense* L.) sekä nurminata (*Festuca pratensis* Huds.) (Niskanen ja Niemeläinen 2010). Ilmastonmuutoksen seurauksena englanninraiheinän (*Lolium perenne* L.) ja rainatahybridien (*xFestulolium*) viljelyn ennustetaan lisääntyvän pohjoisilla viljelyalueilla (Ostrem ym. 2013b). Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät eniten pohjoisella pallonpuoliskolla, jossa talviolosuhteet leudontuvat ja kasvukausi pitenee erityisesti syksyllä (Ilmatieteenlaitos 2009, IPCC 2013). Nurmikasvien kasvuolot muuttuvat syksyllä ja monivuotisten nurmilajien kylmäkaraistumisen sekä talvehtimisen onnistuminen voi olla haastavampaa.

Päivänpituus ohjaa kasveilla kasvua, kukinnan alkamista sekä talveen valmistautumista (Heide 1982, Taiz ja Zeiger 2010). Kohoavat syyslämpötilat mahdollistavat kasvun jatkumisen alhaisessakin valossa, mutta kasvun pitäisi pysähtyä ajoissa kylmänkestävyyden varmistamiseksi (Ostrem ym. 2013b). Syyssadon kasvuoloja simuloitaessa havaittiin, että alhaisissa valo-oloissa yhteyttäminen on heikompaa kuin korkeammassa (Höglind ym. 2011). Sen vuoksi biomassan tuotto on sitä vähäisempää, mitä vähemmän valoa on kasvin saatavilla (Taiz ja Zeiger 2010). Syyslämpötilojen nousun vuoksi kolmannen rehusadon korjuun odotetaan kuitenkin vakiintuvan Suomessa. Nurmikasvien reagointi päivänpituuteen riippuu lajin ja lajikkeen alkuperästä (Heide 1982). Siksi tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään geeniperimältään erilaisten nurmikasvien biomassan kertymistä lyhyessä (12 h) ja pitkässä (14 h) päivänpituudessa ja erilaisissa kasvulämpötiloissa sekä kasvunpysähtymisen ajoittumista eri kasvuoloissa. Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää eri nurmigenotyypin syysskasvua ja varastosokereiden kertymistä erilaisissa

päivänpituus- ja lämpötilaoloissa kasvatuskapeissa sekä peltokokeissa kolmannen niiton jälkeen. Lisäksi peltokokeessa tutkittiin valikoitujen lajien ja lajikkeiden kylmänkestävyyttä sekä versojen kasvukykyä talven aikana.

2 KATSAUS KIRJALLISUUTEEN

2.1 Nurmikasvilajit ja niiden käyttö seoksissa

2.1.1 Timotei, nurminata, englanninraiheinä ja rainata

Timotei (*Phleum pratense* L.) on alkuperältään pohjoiseurooppalainen nurmikasvilaji (Casler ja Kallenbach 2007). Sitä viljellään laajasti lauhkealla kasvuvyöhykkeellä, kuten Skandinaviassa, Euroopassa sekä Pohjois-Amerikassa. Timotein kromosomisto on kuusinkertainen eli heksaploidi ($2n = 6 \times x = 42$) (Casler ja Kallenbach 2007). Timoteikasvusto korjataan useimmiten säilörehuna tai kuivana heinänä, ja se niitetään yleensä kahdesta kolmeen kertaan kasvukauden aikana (Casler ja Kallenbach 2007). Se on talvenkestävä ja maittava nurmikasvilaji, mutta sen jälleenkasvukyky on niiton jälkeen huono, koska se muodostaa uusia sivuversoja hankasilmuista. Tämän vuoksi versominen on hidasta (Höglind ym. 2001, Casler ja Kallenbach 2007). Juuristo on maan pintaosissa ja se kerää varastohiilihydraatit maan pinnalle laajenevaan tyvisipuliin (Casler ja Kallenbach 2007). Timotei on herkkä valojakson pituuden muutoksille, se vaatii pitkän päivän kukkiakseen, eikä sillä ole vernalisaatiovaatimusta (Heide 1982). Vernalisaation on kuitenkin havaittu nopeuttavan kukintaa timoteilla (Seppänen ym. 2010). Isolahden (2010) mukaan timoteilajikkeiden ominaisuudet riippuvat perimän maantieteellisestä alkuperästä. Pohjoisten lajikkeiden talvehtimiskyky on hyvä, mutta jälleenkasvukyky on heikkoa, minkä vuoksi perinteisistä pohjoisista lajikkeista korjataan yleensä vain kaksi satoa kasvukauden aikana. Eteläisten timoteilajikkeiden jälleenkasvukyky on parempi ja kehitysrytmi nopeampi kuin pohjoisten genotyyppien, mikä mahdollistaa eteläisten tyyppien niiton kolme kertaa kasvukauden aikana. Suomen kasvuoloissa pohjoiset lajikkeet menestyvät eteläisiä paremmin hyvän talvenkestävyyden ansiosta. Timoteilajikkeita voidaan jaotella myös mantereisiin ja merellisiin tyypeihin, mikä on yleistä Keski-Euroopassa (Isolahti 2010).

Nurminata (*Festuca pratensis* Huds.) on timotein ohella yleisin Suomessa viljeltävä nurmikasvi ja sitä viljellään yleensä seoksena timotein kanssa (Niskanen ja Niemeläinen

2010). Nurminatavaltaiset säilörehukasvustot voidaan korjata Etelä- ja Keski-Suomessa kolme kertaa kasvukauden aikana natojen kohtalaisen jälleenkasvukyvyn ansiosta. Nurminadan talvenkestävyys on hyvä Suomen kasvuoloissa (Niskanen ja Niemeläinen 2010). Nurminata ja englanninraiheinä vaativat kaksoisinduktion kukinnan indusoimiseksi (Heide 1994). Ne vaativat vernalisaation eli alhaisen lämpötilan ja/tai lyhyen päivänpituuden kokemuksen, sen jälkeen pitkään päivään siirtymisen kukkivien versojen muodostamiseksi (Heide 1994).

Englanninraiheinää (*Lolium perenne* L.) viljellään erityisesti leudoissa ilmasto-oloissa, kuten Brittein saarilla sekä Uudessa-Seelannissa, ja sen talvenkestävyys on heikompi kuin esimerkiksi timoteilla (Casler ja Kallenbach 2007). Sitä käytetään paljon laidunnurmena, mutta myös säilörehuna etenkin lauhkeilla kasvualueilla (Casler ja Kallenbach 2007). Se sietää hyvin laidunnusta, kun laidunkierrot ovat riittäviä. Englanninraiheinän rehuarvo ja jälleenkasvukyky ovat hyviä, se on erittäin satoisa sekä maittava nurmilaji, siksi sitä myös ylilaidunnetaan helposti (Casler ja Kallenbach 2007, Jorgensen ym. 2010, Niskanen ja Niemeläinen 2010). Sen jälleenkasvu lähtee kasvullisista versoista nopeasti, koska versojen kasvupisteet jäävät niittokorkeuden alapuolelle (Niskanen ja Niemeläinen 2010). Sen juuristo on laajalti haaroittunut ja se muodostaa uusia juuria versojen tyvisilmuista. Niiton jälkeen jäljelle jäävä lehtiala on suoraan yhteydessä versojen jälleenkasvukykyyn. Siksi nurmisadot ovat pidemmällä aikavälillä suurempia, kun kasvuston niittokorkeus on riittävä (Casler ja Kallenbach 2007).

Rainata (*xFestulolium*) on raiheinän ja nurminadan tai ruokonadan risteytys eli *Lolium* spp. x *Festuca* spp. – hybridi. Rainatahybridejä jalostetaan risteyttämällä nurminata- (*Festuca pratensis* Huds.) tai ruokonatalinja (*Festuca arundinacea* Schreb.) joko englanninraiheinälinjan (*Lolium perenne* L.) tai italianraiheinälinjan (*Lolium multiflorum* Lam.) kanssa (Niskanen ja Niemeläinen 2010). Natalajit tuovat risteytykseen kestävyyttä, kun taas raiheinien ominaisuuksista tavoitellaan hyvää laatua (Humphreys ym. 2003). Suomen talviolioissa rainadat kärsivät herkästi talvituhoista, mutta niillä on kyky kompensoida harventunutta kasvustoa myöhemmin kasvukaudella (Niskanen ja Niemeläinen 2010). Rainadoilla on voimakas jälleenkasvukyky, minkä vuoksi ne kestävät kolme niittokertaa kasvukauden aikana ja ne kykenevät tuottamaan suuria satoja kolmannessakin niitossa (Niskanen ja Niemeläinen 2010). Rainatahybridien korjuuasteesta riippuvan kuiva-aineen sulavuuden sekä

jälleenkasvukykyyn on todettu olevan suotuisissa kasvuoloissa parempia kuin timoteilla, mutta haastavat talviolosuhteet rajoittavat niiden menestymistä pohjoisilla alueilla (Ostrem ym. 2013a). Rainatahybridien käytön odotetaan lisääntyvän nurmien viljelyssä pohjoisilla leveysasteilla, kun talvet leudontuvat ja kasvukausi pidentyy (Ostrem ym. 2013b).

Nurmikasveja viljellään yleensä seoksina säilörehuntuotannossa. Virkajärven ja Järvenrannan (2001) mukaan timotei-nurminataseoksessa timotein versot ovat yleensä vallitsevia kevätkasvustossa, mikä johtuu osittain suuremmasta versojen koosta ja lehtialasta. Sen kevätkasvu alkaa myös aiemmin kuin nurminadan. Nurminata on sen sijaan kilpailukykyisempi syyskasvustossa, koska se kykenee tuottamaan uusia versoja paremmin kuin timotei ja timotein lehdet vanhenevat syyskasvustossa nopeammin (Virkajärvi ja Järvenranta 2001). Englanninraiheinää ja rainataa sisältävät nurmiseokset saattavat olla käytännön viljelyssä lyhytikäisiä heikon talvenkestävyyden vuoksi, mutta niiden viljelyllä voidaan kuitenkin lisätä ensimmäisen sadon suuruutta (Niskanen ja Niemeläinen 2010). Rainataa sisältävien nurminata- ja timoteiseosten korjuun ajoittaminen on haastavaa säilörehun laadun onnistumiseksi, sillä lajien kasvurytmit poikkeavat toisistaan (Niskanen ja Niemeläinen 2010).

2.2 Ilmastonmuutos, ilmastoennusteet ja nurmisadot

Kasvihuoneilmiö on tavallinen ilmakehässä. Auringosta peräisin oleva säteily heijastuu osittain takaisin avaruuteen, mutta osa siitä absorboidaan ja heijastetaan uudelleen maahan ja ilmakehässä eri suuntiin kasvihuonekaasumolekyylien sekä pilvien kautta (IPCC 2013). Tämän ilmiön johdosta maapallo on riittävän lämmin, jotta eläminen on mahdollista. Kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, pitoisuuden nousu ilmakehässä kiihdyttää kasvihuoneilmiötä, jonka takia maapallon ilmasto lämpenee (IPCC 2013). Hiilidioksidia (CO₂) alkoi vapautua ilmakehään huomattavasti ihmistoiminnan seurauksena teollisen vallankumouksen aikana 1700-luvulla, jolloin maan käyttö muuttui ja fossiilisten polttoaineiden käyttö yleistyi (IPCC 2013). Vuonna 1750 hiilidioksidipitoisuus oli noin 278 ppm (parts per million = kasvihuonekaasumolekyylien määrä miljoonassa kuivan ilman molekyylissä) ja se on noussut siitä 40 % ollen 390,5 ppm vuonna 2011 (IPCC 2013).

Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (IPCC) on luonut erilaisia päästöskenaarioita sen mukaan, miten kasvihuonekaasupäästöjen arvioidaan kehittyvän tulevaisuudessa. Vuoden 2007 raportissa kolme käytetyintä skenaariota olivat A2, A1B ja B1. Näistä A2-skenaariossa muutos on voimakkain eli päästöt ovat suuret ja B1-skenaariossa lievin eli päästöt ovat pienet. A1B-skenaario on keskiväliltä ja siinä on keski-suuret päästöt. IPCC julkaisee uusimman ilmastoraportin neljässä osassa vuosien 2013 ja 2014 aikana. Ensimmäinen julkaistu osaraportti käsitteli ilmastonmuutoksen luonnontieteellistä taustaa, mutta uusimmat voimassaolevat ennusteet ovat vuoden 2007 raportissa. Vuoden 2013 ilmastoraportissa arvioidaan neljää uutta kasvihuonekaasuskenaariota (Representative Concentration Pathways, RCPs). Uudet skenaariot käsittävät erilaisen lähestymistavan kuin vanhat ja ne keskittyvät enemmän ilmakehän lyhytaikaisiin kaasuihin ja maankäytön muutoksiin. Ne perustuvat kirjallisuudesta valittuihin säteilypakotteen (radiative forcing, maan energiatasapainon nettomuutos ulkoisen tekijän vaikutuksesta, yksikkö W/m^2) arvoihin tällä vuosisadalla: RCP2.6-skenaariossa säteilypakotearvo on pienin ($2,6 W/m^2$ vuonna 2100) ja RCP8.5-skenaariossa suurin ($8,5 W/m^2$ vuonna 2100). RCP4.5- (lähellä B1-skenaariota) ja RCP6-skenaariot (lähellä A1B-skenaariota) ovat siltä väliltä. RCP2.6-skenaariossa arvot ovat pienempiä ja RCP8.5-skenaariossa suurempia kuin vuoden 2007 raportissa olleissa ilmastoennustemalleissa. Kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidipitoisuuden nousulla on kasveille myös myönteisiä vaikutuksia. Nouseva hiilidioksiditaso edistää etenkin C3-kasvien fotosynteesitasoa, sillä vähäinen hiilidioksidin määrä rajoittaa niiden yhteyttämistä (Taiz ja Zeiger 2010, IPCC 2013). Lisäksi suurentunut hiilidioksidipitoisuus vähentää haihdutusta, jolloin vedenkäytön tehokkuus paranee (IPCC 2013). Tästä johtuen myös timotein satotasot voisivat kohota 10 - 15 %, mutta muut tekijät kuten veden saatavuus, lämpötilojen sopivuus sekä kasvupaikka vaikuttavat olennaisesti satojen suuruuteen (Höglind ym. 2013). Useiden mallien keskimääräisten ennusteiden mukaan hiilidioksidipitoisuus olisi 985 ± 97 ppm (todellinen vaihteluväli 794 - 1142 ppm) vuonna 2100 (IPCC 2013).

IPCC:n (2007) mukaan ilmastonmuutoksen ennustetaan nostavan keskilämpötiloja Euroopassa enemmän kuin maapallolla keskimäärin. Pohjois-Euroopassa muutoksen arvioidaan olevan $2,3 - 5,3$ °C (A1B - skenaarion mukaisesti) kuluvan vuosisadan loppuun mennessä ja lämpeneminen olisi tulevaisuudessa voimakkainta talvisin, jolloin myös talviaikainen sadanta lisääntyy. Talvikauden kesto lyhenee jopa yhdestä kolmeen kuukautta Pohjois-Euroopassa ja lumen syvyys voi pienentyä 50 - 100 % suurimmassa

osassa Eurooppaa kuluvan vuosisadan aikana. Uusimman ilmastoraportin mukaan (IPCC 2013) ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät vahvimmin pohjoisella pallonpuoliskolla. Kevätaikainen lumipeitteisyys on selvästi pienentynyt. Talvilämpötilat nousevat ja tulevaisuudessa lumisateita saadaan todennäköisesti Euroopassa vähemmän. Myös vuotuiset sademäärät kohoavat erittäin todennäköisesti. Ilmastonmuutoksen johdosta kasvuolot muuttuvat keväällä. Kevät aikaistuu, jolloin myös kasvuunlähtö aikaistuu. Tämän vuoksi on arvioitu, että vuonna 2050 nurmikasvien kevätkasvu alkaisi lyhyemmässä päivänpituudessa ja sen vuoksi alhaisemmassa säteilytasossa kuin 1900-luvun loppupuolella (Höglind ym. 2013). Tulevaisuudessa korkeat kevätlämpötilat voivat käynnistää kasvien kehityksen liian varhaisessa vaiheessa, jolloin kylmänsietokykyä ei enää ole (Pagter ja Arora 2013).

2.2.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa

Ilmastonmuutoksen ennustetaan nostavan Suomen vuotuista keskilämpötilaa eri skenaarioista riippuen 3 – 6 °C kuluvan vuosisadan aikana (Ilmatieteen laitos 2009). Lämpötilojen nousu ja sademäärien lisääntyminen ovat voimakkaampia talvella kuin kesällä: tämän vuosisadan lopussa talvilämpötilat saattavat olla jopa 6 °C ja kesälämpötilat alle 3 °C korkeammat kuin tällä hetkellä (Ilmatieteen laitos 2009). Näiden ennusteiden mukaan termisen talven (vuorokauden keskilämpötila alle 0 °C) kesto lyhenee tulevaisuudessa etenkin eteläisessä osassa Suomea. Näin ollen terminen syksy (vuorokauden keskilämpötila alle + 10 °C) voi kestää rannikkoalueilla jopa kaksi kuukautta pidempään kuin tällä hetkellä, mutta kevätkausi ei pitene yhtä paljon. Kesä ja terminen kasvukausi (vuorokauden keskilämpötila yli + 5 °C) pitenevät lähes kaikkialla Suomessa 1 – 1,5 kuukautta (Ilmatieteen laitos 2009). Edellä olevien ennusteiden oletetaan toteutuvan kuluvan vuosisadan viimeiseen kolmannekseen eli ajanjaksoon 2070 – 2099 mennessä. Lämpötilan nousua voidaan kuitenkin pitää yli 99 % todennäköisyydellä varmana ajanjaksoon 2041 – 2050 mennessä, jolloin lämpeneminen olisi 0,5 °C vuosikymmentä kohti.

2.3 Nurmikasvien kylmänkestävyys

2.3.1 Kylmäkaraistuminen ja karaistumisen purkautuminen

Nurmikasvit sopeutuvat talveen kylmäkaraistumalla syksyllä (Nilsen ja Orcutt 1996). Karaistuminen alkaa kasvusta riippuen joko päivänpituuden muutoksen tai lämpötilan alentumisen tai näiden yhteisvaikutuksen johdosta ja kestää viikoista kuukausiin (Nilsen ja Orcutt 1996). Kylmäkaraistumisen aikana etenevät muutokset estävät jään muodostumisen solun sisään kerryttämällä liukenevia aineita kuten pelkistymättömiä sokereita ja aminohappoja (Volenc ja Nelson 2007). Joillakin kasveilla syksyllä kertyvät osmolyytit, kuten sakkaroosi, sokerialkoholit, proliini ja glysiinibetaini pystyvät vakauttamaan solukalvojen ja solukalvoproteiinien toiminnan, jolloin ioni- ja osmoottinen tasapaino säilyvät paremmin, kun jäätyvän eli vapaan veden määrä vähenee (Nilsen ja Orcutt 1996). Höglindin ym. (2013) mukaan syksyjen lämpeneminen viivästyttää karaistumisjakson alkamista eri puolilla Pohjois-Eurooppaa. Esimerkiksi Jokioisilla karaistumisjakson viivästymisen on arvioitu olevan 16 vuorokautta vuosiin 2040 – 2065 mennessä verrattuna 1960 – 1990 väliseen ajanjaksoon.

Jääpeitteisyys altistaa monivuotiset nurmikasvit jäätymiselle ja hapenpuutteelle (Bertrand ym. 2003). Timotein on kuitenkin todettu sietävän hapenpuutetta jonkin verran osittain siksi, että se pystyy säästämään hiilihydraatteja hidastamalla aineenvaihduntaa stressiolioissa (Bertrand ym. 2003). Talvesta selviytymisen lisäksi hapenpuute saattaa vaikeuttaa joidenkin nurmikasvien, kuten puna-apilan ja koiranheinän, kasvuunlähtökykyä keväällä, koska niiden hiilihydraattipitoisuus on pieni (Bertrand ym. 2003). Monivuotiset nurmikasvit käyttävät kevätkasvuunsa syksyn kylmäkaraistumisen aikana vegetatiivisiin kasvinosiin varastoituja orgaanisia typpi- ja hiilivaroja (Belanger ym. 2006).

Karaistumisen purkautumiseen vaikuttavat lämpötila, mutta myös kasvin perimä sekä päivänpituus (Pagter ja Arora 2013). Karaistumisen purkautuminen nopeutuu lämpötilan nousun seurauksena (Jorgensen ym. 2010). Leudot sääjaksot talven aikana sekä keväällä, kun kukintavalmius on saavutettu, saattavat purkaa nurmikasvien karaistumisen ja samalla pakkasen aiheuttamat tuhot saattavat lisääntyä (Jorgensen ym. 2010). Karaistuminen voi purkautua kasvilajista riippuen jo muutamassa päivässä (Nilsen ja Orcutt 1996). Jorgensenin ym. (2010) peltokokeessa pohjoisen timotein

(lajike Engmo) karaistuminen purkautui nopeammin kuin eteläisellä Grindstadilla, mutta Engmon kylmänkestävyys oli käsittelyn alkaessa selvästi korkeampi (≤ -26 °C Engmo, -20 °C Grindstad). Sen sijaan englanninraiheinälajikkeiden (pohjoinen Riikka, eteläinen Gunne) karaistumisen purkautumisessa ei ollut merkitseviä eroja. Tutkimuksen mukaan hyvä kylmänkestävyystaso ei aina ole yhteydessä kykyyn välttää karaistumisen purkautumista. Ostremin ym. (2010) mukaan keskitalvi ja aikainen kevät ovat hankalimpia vuodenaikoja monivuotisille nurmikasveille erityisesti sääolojen vuoksi. Myös kasvin fysiologinen tila eli vernalisaatiovaatimuksen saavuttaminen on yhteydessä karaistumisen purkautumiseen. Mahfoozin ym. (2001) tutkimuksessa karaistumisen purkautuminen nopeutti suvulliseen kehitysvaiheeseen siirtymistä pitkässä päivänpituudessa (20 h) kasvaneilla syysvehnillä, kun vernalisaatiovaatimus oli ehtinyt täyttyä. Uudelleenkaraistumiskyky kuitenkin heikkeni. Lyhyen päivänpituuden kasvuoloissa (8 h) tilanne oli päinvastainen, sillä kehitys oli hitaampaa, ja siksi syysvehnät kykenivät karaistumaan uudelleen alhaisissa lämpötiloissa.

Kasvien kylmänkestävyys voidaan määrittää koeoloissa havainnoimalla kasvien elävyyttä ja kasvukykyä kylmäkäsittelyn jälkeen eri lämpötiloissa (Sunde 1996). LT_{50} -arvo eli lethal temperature kuvaa sitä lämpötilaa, jossa 50 % kasveista kuolee kylmäkäsittelyjen jälkeen (Sakai ja Larcher 1987, Sunde 1996). Myös karaistumisen purkautumista voidaan mitata kylmänkestävyysarvon nousuna (Jorgensen ym. 2010). Kasvien kylmänkestävyys riippuu syksyn sääoloista ja kasvin perimästä. Sunden (1996) peltokokeessa pohjoinen timoteilajike Engmo sietä kylmäkaraistumisen jälkeen -29 °C lämpötilan ja eteläinen Grindstad -22 °C.

2.3.2 Sokeripitoisuus

Nurmikasvien hiilihydraattien kertyminen kylmäkaraistumisen aikaan on välttämätöntä riittävän kylmänkestävyyden ja talvehtimisen onnistumisen takaamiseksi (Sakai ja Larcher 1987). Liukoisilla sokereilla on osmoottinen vaikutus soluissa, sillä ne vähentävät jäätyvän veden määrää, jolloin muodostuu pienempiä jääkiteitä (Sakai ja Larcher 1987). Lisäksi ne toimivat energialähteinä (Sakai ja Larcher 1987). Jo vuosikymmenien ajan on tiedetty, että nurmiheinien liukoinen sokeripitoisuus suurenee syksystä talvea kohti mentäessä, kun kasvit altistuvat alhaisille lämpötiloille. Karaistumisen purkautuminen keväällä puolestaan pienentää sokeripitoisuutta, kun sokereita käytetään energianlähteenä kasvuunlähtöön (Sakai ja Larcher 1987).

Nurmikasvien liukoinen sokeripitoisuus suurenee, kun ilman lämpötila laskee optimaalisen kasvulämpötilan alapuolelle (Fales ja Fritz 2007). Tämä johtuu siitä, että kasvu eli energian kulutus reagoi herkemmin lämpötilan alenemiseen kuin yhteyttämistoiminta (Fales ja Fritz 2007). Ostrem ym. (2010) tutkimuksessa timotei (lajikkeet Engmo, Grindstad) varastoi sokereita enemmän kuin englanninraiheinä (lajikkeet Gunne, Riikka). Kokonaishiilihydraattipitoisuus (mg/g ka) suureni kaikilla lajikkeilla lokakuusta maaliskuuhun, kunnes huhtikuuhun mennessä pitoisuus pieneni. Hanslinin ja Höglindin (2009) tutkimuksessa suurempi vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus paransi englanninraiheinäversojen karaistumista ja kylmänkestävyyttä. Kylmänkestävyyden ja hiilihydraattipitoisuuden välillä ei kuitenkaan ole osoitettu olevan suoraviivaista yhteyttä (Hanslin ja Höglind 2009, Ostrem ym. 2010)

Kylmäkaraistumisen aikaan tyviosan fruktoosipitoisuus suurenee nurmikasveilla (Bertrand ym. 2003). Fruktaanit ovat fruktoosin polymeereja ja solunsisäisiä hiilihydraatteja, joita lauhkean vyöhykkeen nurmikasvit kerryttävät korsiinsa ja muihin varasto-osiinsa, ja ne toimivat nurmikasvien energiavarastoina (Hatfield ym. 2007). Timoteilla hapenpuute suurentaa sakkaroosin, fruktoosin sekä glukoosin pitoisuuksia myöhäissyksyn kasvuoloissa (Bertrand ym. 2003), jolloin fruktaanipitoisuus pienenee, kun sitä hajotetaan sokereiksi.

2.4 Nurmikasvien kasvuun vaikuttavat tekijät

2.4.1 Päivänpituus

Päivänpituudella on tärkeä merkitys monivuotisten nurmikasvien kasvurytmille erityisesti korkeilla leveysasteilla. Päiväntasaajalla yö ja päivä ovat läpi vuoden aina yhtä pitkiä, mutta napoja kohti mentäessä päivät ovat kesällä pidempiä ja talvella lyhyempiä (Taiz ja Zeiger 2010). Päivänpituus ohjaa kasvien monia eri kehitysvaiheita, kuten kukinnan alkamista sekä talveen valmistautumista (Taiz ja Zeiger 2010). Siksi kasvit reagoivat päivänpituuteen ja sen aiheuttamiin vuodenaikaisvaihteluihin. Tätä ilmiötä kutsutaan fotoperiodisuudeksi (Taiz ja Zeiger 2010). Kukkivat kasvilajit jaotellaan niiden päivänpituusvasteen mukaisesti joko pitkän päivän, lyhyen päivän tai päiväneutraaleihin kasveihin. Pitkän päivän kasvit kukkivat ainoastaan riittävän pitkässä päivänpituudessa (Taiz ja Zeiger 2010). Kriittinen päivänpituus kuvaa pitkän päivän

kasveilla kukinnan muodostumiseen vaadittavaa aikaa, joka ylittää tietyn rajan 24 tunnin aikana (Taiz ja Zeiger 2010). Päivänpituus määrittää timotein kukinnan alkamisen (Heide 1982). Lajikkeen alkuperä on usein yhteydessä kriittiseen päivänpituuteen, joka vaaditaan kukinnan induktioon (Heide 1982). Luonnonoloissa päivänpituus toimii osalle kasveista signaalina kylmäkaraistumisen alkamisesta (Nilsen ja Orcutt 1996). Heiden ym. (1985) mukaan jatkuva valo (24 h) lisää timotein (lajike Engmo) korkeutta, lehtialaa ja kuivapainoa lyhyeen valojaksoon (8 h) verrattuna. Suurempi lehtiala pitkässä päivässä johtuu lehtisolujen suuremmasta koosta ja lehtilavan pituudesta, ei lehtien tai versojen lukumäärästä. Sivuversojen määrä sen sijaan vähenee valojakson pidentyessä lyhyestä päivänpituudesta (8 ja 10 h) jatkuvaan valoon (24 h) (Heide 1982, 1985). Jatkuva valo vähensi timotein versomista jokaisessa tutkitussa lämpötilassa (12, 15, 21 °C) Heiden ym. (1985) tutkimuksessa, mutta vaikutus oli suurin alhaisimmassa lämpötilassa (12 °C). Lisäksi päivänpituuden ja lämpötilan välillä oli yhteisvaikutusta (Heide 1982, 1985). Valojakson pituuden vaikutus kasvuun on voimakkainta alemmissä kasvulämpötiloissa (≤ 15 °C). Tämä osoitettiin Heiden ym. (1985) tutkimuksessa, jossa timotein kuiva-ainesato suureni alempien tutkittujen lämpötilojen välillä (12 °C \rightarrow 15 °C) asti jatkuvassa, 24 tunnin valojaksossa, mutta korkeimmassa lämpötilassa (21 °C) se pieneni. Bertrandin ym. (2008) tutkimuksessa todettiin, että pidemmässä (17 h) päivänpituudessa timotein kuiva-ainepitoisuus oli suurempi kuin lyhyemmässä (15 h), kun lämpötilat olivat samoja (17 °C päivä/5 °C yö).

Korkeiden leveysasteiden nurmikasvit, etenkin nadat, vaativat usein vernalisaatiovaatimuksen lisäksi päivänpituuden muutoksen lyhyestä pitkään, jotta kukinta voi olla mahdollinen (Heide 1994). Lyhyessä päivänpituudessa korsi ei pitene ja kukinta estyy, vaikka vernalisaatiovaatimus olisi täyttynyt ja lämpötila olisi kasvulle suotuisa. Sen sijaan jatkuva valo käynnistää timoteilla kukinnan, mutta pohjoiset lajikkeet eivät kuki korkeissa lämpötiloissa (≥ 21 °C) (Heide 1982). Kukinta alkaa eteläisillä timoteilajikkeilla aikaisemmin kuin pohjoisilla (Heide 1982). Esimerkiksi etelänorjalaisen timoteilajikkeen Grindstadin (59 °30'N) kriittinen päivänpituusvaatimus on 14 tuntia ja pohjoisnorjalaisen Engmon (69 °N) 16 tuntia (Heide 1982). Heiden (1982) mukaan sekä pohjoisten että eteläisten timoteilajikkeiden lehtilukumäärä oli suurin 16 tunnin päivänpituudessa. Lajikkeen alkuperällä oli kuitenkin vaikutusta lehtilukumäärään, sillä se oli ennen tähkimisen alkamista selvästi suurin pohjoisilla lajikkeilla.

Lauhkean vyöhykkeen kasvulämpötilat yhdessä pitkän päivänpituuden kanssa parantavat timotein rehuarvoa, sillä kuiva-aineen muodostus lisääntyy päivän pidentyessä (15 h → 17 h) sulavuuden säilyessä silti hyvänä (Bertrand ym. 2008). Deinum ym. (1981) mukaan korkeiden leveysasteiden kasvualueilla timotein korrenkehitys on nopeaa, mutta lehtien muodostus on vähäistä. Lignifikaatio ei kuitenkaan etene yhtä nopeasti, jolloin sulavuus pysyy hyvänä. Tällöin versojen soluseinät ovat riittävän sulavia ja näin ollen koko kasvin sulavuus on parempi korkeilla leveysasteilla verrattuna mataliin leveysasteisiin.

2.4.2 Nurmien kasvulämpötila ja vedentarve

Lauhkean vyöhykkeen nurmikasvien optimaalinen kasvulämpötila on noin 20 °C (Fales ja Fritz 2007). Pohjoisilla leveysasteilla lämpötila on alempi kuin eteläisillä, minkä oletetaan parantavan nurmirehun ravintoarvoa (Bertrand ym. 2008), sillä lehtien sulavuus heikkenee alhaisemmassa lämpötilassa hitaammin (Deinum ym. 1981). Korkeissa kasvulämpötiloissa kuiva-aineen sulavuus heikkenee ja sulamattomien soluseinäaineesosien osuus lisääntyy suhteessa nopeammin (Fales ja Fritz 2007). Timotei kasvaa parhaiten alhaisissa kasvulämpötiloissa (Bertrand ym. 2008). Siksi ilmastonlämpenemisen ennustetaankin laskevan timotein satotasoja, vaikka timotei sietää talven aiheuttamia stressejä paremmin kuin muut nurmikasvilajit (Bertrand ym. 2008). Myös rehuarvo saattaa heiketä lämpötilojen nousun yhteydessä (Bertrand ym. 2008). Bertrandin ym. (2008) mukaan noin 17 °C päivälämpötila on suotuisin timotein kasvuille. Heiden (1982) mukaan timotei muodostaa enemmän sivuversoja lämpötilan noustessa (12 → 18 °C), mutta korkeassa lämpötilassa (yli 21 °C) määrä ei enää suurene. Kukinnan alkamiseen vaadittava aika lyhenee lämpötilan noustessa (ainakin 25 °C asti), mutta 12 – 15 °C lämpötila on kuitenkin optimaalisin sadonmuodostukseen ja korrenkasvuun (Heide 1994).

Sademäärien ennustetaan lisääntyvän ilmastomuutoksen seurauksena. Suomessa muutoksen arvioidaan olevan 12 – 22 % enemmän vuosisadan loppupuoliskolla (Ilmatieteen laitos 2009). Falesin ja Fritzin (2007) mukaan kuivuuden on todettu olevan yleisempi ongelma useimmilla nurmentuotantoalueilla kuin liiallisen sateen. Kuivuus sulkee lehtien ilmarat, jolloin haihdunta vähenee ja lehtien lämpötila nousee. Kuivuus viivästyttää nurmien kasvua, jolloin sadon laatu kärsii yleensä vähemmän kuin kasvu ja

kehitys. Liiallinen sade taas aiheuttaa tulvimista, minkä vuoksi maan ilmatila täyttyy vedellä ja nurmikasvit kärsivät hapenpuutteen aiheuttamasta stressistä (Volenec ja Nelson 2007).

2.5 Nurmikasvien syyskasvu ja jälleenkasvukyky

2.5.1 Timotein versotyypit sekä ensimmäinen, toinen ja kolmas sato

Nurmikasvien kevät-, kesä- ja syysadot poikkeavat toisistaan sekä laadultaan että määrältään. Virkajärven ym. (2012) mukaan timoteilla on kolme erilaista versotyyppiä, jotka vaikuttavat sadon koostumukseen: vegetatiiviset (VEG), elongoituvat vegetatiiviset (ELONG) ja generatiiviset (GEN) versot. Vegetatiivisissa versoissa on valekorsi (pseudostem) eikä aitokortta. Elongoituvissa versoissa solmukohtat tuntuvat tai näkyvät, mutta kukintoa ei ole. Generatiivisissa eli suvullisissa versoissa on kukinto. Timotein ensimmäinen sato koostuu pääosin generatiivisista, kukkivista versoista kun taas jälkisadossa on enemmän vegetatiivisia ja elongoituvia versotyyppisiä (Virkajärvi ym. 2012). Vegetatiivisten versojen suuri osuus syysadossa johtuu siitä, että vernalisaatio on jo purkautunut kevään ensimmäisessä sadossa (Seppänen ym. 2010). Timotei kykenee kuitenkin tuottamaan elongoituvia ja generatiivisia versoja myös syyskasvustoissa (Virkajärvi ym. 2012). Vegetatiiviset versot toipuvat yleensä parhaiten niiton jälkeen, koska niiden kasvupisteet sijaitsevat alhaalla nurmikasvustossa (Höglind ym. 2001). Nurmikasvien kuiva-ainesadon määrä riippuu versojen kasvutiheydestä sekä versojen painosta, sillä generatiiviset versot painavat eniten (Virkajärvi ym. 2012). Lämpötila ja päivänpituus vaikuttavat timoteilla olennaisesti siihen, milloin versojen pidentyminen ja kukinta alkaa keväällä ja kuinka versot kehittyvät (Heide 1982). Ilmastoennusteiden perusteella on arvioitu, että timotein satotasot nousisivat lisääntyneiden niittokertojen vuoksi, mutta ei yksittäisissä niitoissa (Höglind ym. 2013). Ensimmäisen niiton satotasot voivat jopa laskea, jos kukinta-aika lyhenee keväällä ja korjuuajan lehtialaindeksi pienenee (Höglind ym. 2013). Lyhyt päivänpituus ja vernalisaation puute estää syksyllä korrenkasvun, jolloin nurmikasvusto on matalaa (Seppänen ym. 2010). Jälkisadoissa on yleensä enemmän kuollutta kasvimateriaalia kuin keväsadoissa (Virkajärvi ym. 2012).

Nurmikasvien jälleenkasvukyky riippuu lajin ja lajikkeen ominaisuuksista. Virkajärven (2003) tutkimuksessa havaittiin, että timotein kesäkuun kasvustossa niiton jälkeen jäljelle jääneiden vegetatiivisten versojen tiheys oli suoraan yhteydessä jälleenkasvunopeuteen. Vastaavaa ei havaittu timoteilla elokuussa, eikä nurminadalla lainkaan. Niittokorkeudella voidaan joko hidastaa tai nopeuttaa versojen uudelleenkasvua. Virkajärven (2003) tutkimuksessa nurminadan ja timotein jälkikasvu lisääntyi 29 % ja jälkikasvunopeus kiihtyi kesäkuun kasvussa 19 % sekä elokuun kasvussa 27 %, kun niittokorkeutta nostettiin (3 cm → 9 cm). Vuosittaiset erot voivat kuitenkin olla suuria. Nurminadan jälkikasvusadon tuottopotentiaali oli suurempi (8 – 21 %) kuin timotein. Höglindin ym. (2005) mukaan timoteilajikkeen Grindstadin jälleenkasvu ja biomassan muodostus hidastui, kun ensimmäinen niitto tehtiin aikaisessa tähkimisvaiheessa eli säilörehun korjuuvaiheessa. Tämä johtuu siitä, että versot eivät toivu aikaisesta niitosta yhtä hyvin kuin varsinaisessa kukintavaiheessa eli kuivaheinän korjuuvaiheessa tehdystä niitosta, eikä lehtialakaan palaudu kunnolla. Höglindin ym. (2005) tutkimuksessa aikainen niitto pidensi sadonkorjuun jälkeisen lag-vaiheen eli viivevaiheen kestoa keskimäärin yhdellä viikolla, minkä vuoksi biomassan tuotto viivästyi.

Niiton jälkeen käynnistyvät kasvuston morfologiset muutokset. Aluksi muodostetaan uusia versoja ja lehtiä, minkä jälkeen lehtiala ja kuiva-ainepitoisuus suurenevat (Höglind ym. 2005). Jälleenkasvuvaiheessa ympäristötekijöillä, kuten sääolosuhteilla, on vaikutusta timotein palautumiseen (Höglind ym. 2005). Niiton jälkeinen sivuversojen muodostus alkaa timoteilla hitaammin kuin raiheinällä (Höglind ym. 2001). Timotei muodostaa tyypillisesti ensin viisi kasvulehteä tai enemmän, vasta sen jälkeen alkaa sivuversojen muodostus. Raiheinä muodostaa sivuversoja jo kahden kasvulehden jälkeen (Höglind ym. 2001).

2.5.2 Nurmikasvien syyskasvu ja kasvunpysähtyminen

Lyhenevä päivänpituus säätelee nurmikasvien kasvua syksyllä. Valojakson lyheneminen tehostaa yhteyttämistuotteiden kohdentamista juuriin, jolloin juuret voimistuvat ja kasvavat. Tämä toimii nurmikasvien tapana valmistautua talveen ja sietää erilaisia stressitiloja sekä pakkasta talven aikana (Wu ym. 2004). Kasvukauden pidentyminen tulevaisuudessa jatkaa kasvuaikaa syksyllä, mutta valon vähäisyys saattaa kuitenkin rajoittaa kasvukykyä myöhään syksyllä (Ilmatieteen laitos 2009).

Englanninraiheinän kasvukyky on myöhään syksyllä yleensä parempi kuin timotein johtuen tehokkaammasta jälleenkasvukyvystä (Ostrem ym. 2010). Nurmikasvien kasvun on pysähdyttävä riittävän ajoissa syksyllä kylmäkaraistumisen onnistumisen vuoksi (Sakai ja Larcher 1987). Syksyjen lämpeneminen saattaa tulevaisuudessa viivästyttää karaistumista, minkä vuoksi karaistuminen alkaa alhaisessa valon intensiteetissä (Ostrem ym. 2013b).

2.5.3 Yhteyttämisen aktiivisuus ja klorofyllifluoresenssi

Yhteyttämässä tuotetut sokerit kuljetetaan lehtisoluista johtojänteitä pitkin jakaantuviin, kasvaviin soluihin versoihin ja juuriin, joissa ne käytetään kasvuun (Taiz ja Zeiger 2010). Yhteyttämisen valoreaktiot perustuvat fotosysteemien (I ja II) sekä elektroninsiirtoketjun toimintaan (Taiz ja Zeiger 2010). Fotosysteemi II on moniyksikköinen pigmenttiproteiinikonaisuus, jonka reaktiokeskuksessa vesi hapetetaan hapeksi (Taiz ja Zeiger 2010). Fotosysteemi II:n reaktiokeskus ja sen elektroninsiirtoproteiinit sijaitsevat kloroplastin tylakoidikalvoilla. Lisäksi reaktiokeskuksen ytimessä on kaksi kalvoproteiinia: D1 ja D2. Liiallinen valo saattaa tehdä fotosysteemin II:n reaktiokeskuksen tehottomaksi ja vaurioittaa D1-proteiinia. Tätä molekulaarisia prosesseja käsittävää ilmiötä kutsutaan fotoinhibitioksi (Taiz ja Zeiger 2010). Fotoinhibitiota saattaa esiintyä, kun lämpötilat ovat alhaisia, mutta valoa on paljon (Somersalo ja Krause 1990). Tällaiset olosuhteet vallitsevat kasvupaikasta riippuen yleensä talvella, esimerkiksi kirkaassa auringonpaisteessa.

Kasvin lehtien klorofyllimolekyylit absorboivat valoenergiaa ja sitä voidaan käyttää kolmeen kilpailevaan käyttökohteeseen: yhteyttämiseen, ylimääräisen energian haihdutukseen lämpönä tai valon uudelleensäteilyyn. Tätä takaisin säteilyä valoa kutsutaan klorofyllifluoresenssiksi (Maxwell ja Johnson 2000). Fluoresenssiprosessissa virittynyt klorofyllimolekyyli säteilee fotonin takaisin, minkä vuoksi molekyyli palaa perustasolle (Taiz ja Zeiger 2010). Näin ollen klorofyllifluoresenssituoton mittauksella voidaan määrittää muutokset yhteyttämiskoneiston tehokkuudessa sekä vapautuvassa lämpöenergiassa (Maxwell ja Johnson 2000).

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka päivänpituus, lämpötila sekä genotyyppi vaikuttavat eri nurmikasvilajien (timotei, englanninraiheinä, rainata ja nurminata) syyskasvuun ja kylmänkestävyyteen. Tutkimuksessa käytettiin sekä pohjoista että eteläistä alkuperää olevia genotyyppejä ja tavoitteena oli saada esiin alkuperältään erilaisten genotyyppien erot kasvullisissa tekijöissä. Tavoitteena oli selvittää, millainen yhteys nurmikasvin alkuperällä on kasvunpysähtymiseen. Kontrolloiduissa oloissa toteutetussa kokeessa selvitettiin eri kasvuolojen vaikutusta nurmilajien syyskasvuun ja varastosokereiden kertymiseen. Peltokokeessa selvitettiin valikoitujen lajien syyskasvua kolmannen niiton jälkeen sekä varastosokeripitoisuutta, kylmänkestävyyttä ja versojen elinvoimaisuutta talven kuluessa.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Kasvatuskaappikoe

Tutkimus toteutettiin kasvatuskaappi- ja peltokokeena. Kasvatuskaappikoe toteutettiin Helsingin yliopistolla Viikin kasvihuoneilla ja kasvatuskaapeissa (Weiss Technik, Saksa). Kokeessa käytettiin viittä eri timoteilajiketta tai -linjaa, kahta englanninraiheinä-, rainata- ja nurminatalinjaa, jotka olivat alkuperältään toisistaan poikkeavia (taulukko 1). Kasvatuskaappeja oli käytössä kaksi ja niissä tehtiin kevään 2013 aikana kaksi erillistä osakoetta eri lämpötila- ja päivänpituusyhdistelmillä. Ensimmäisessä osakokeessa lämpötilat olivat 5 °C ja 10 °C ja päivänpituus 14 tuntia. Toisessa osakokeessa lämpötila oli 15 °C ja päivänpituudet olivat 12 ja 14 tuntia. Kasvatuskaappien valaistuksena olivat loisteputket ja valon intensiteetti oli noin 70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

Taulukko 1. Kasvatuskaappikokeessa käytetyt nurmilajit, -lajikkeet ja linjat sekä lajikekuvaus.

Laji	Lajike/linja	Lajikekuvaus
Timotei	BOR E	Eteläinen jalostuslinja
Timotei	BOR P	Pohjoinen jalostuslinja
Timotei	Donatello	Eteläinen, mantereinen jalostuslinja
Timotei	BOR 1	Eteläinen, merellinen jalostuslinja
Timotei	Grindstad	Eteläinen, hyvä maittavuus ja talvenkestävyys
Englanninraiheinä	201	Ei vernalisaatiovaatimusta kukintaan (polveutuu Fagerlinista)
Englanninraiheinä	204	Vernalisaatiovaatimus kukintaan (polveutuu Fagerlinista)
Rainata	266	Ei vernalisaatiovaatimusta kukintaan (polveutuu linjasta FuRs9806)
Rainata	329	Vernalisaatiovaatimus kukintaan (polveutuu linjasta FuRs9806)
Nurminata	33	Eteläinen, ei vernalisaatiovaatimusta kukintaan
Nurminata	138	Pohjoinen, vernalisaatiovaatimus (väh. 12 vkoa) kukintaan

4.1.1 Kasvimateriaali ja koejärjestelyt

Kasvatuskaappikokeita varten kasvit lisättiin sivuversoista ja istutettiin noin 1,0 litran muoviasioihin (halkaisija 13 cm, korkeus 9 cm) niin, että jokaisessa astiassa oli kahdeksan kasvia. Kasveja kasvatettiin kolmen viikon ajan kasvihuoneosastolla, jossa päivänpituus oli 12 tuntia, päivälämpötila 18 °C ja yölämpötila 15 °C. Esikasvatusajan päätteeksi astioista karsittiin kasveja pois siten, että jokaisessa astiassa oli kuusi kasvia. Astiat järjestettiin lajikkeittain/linjoittain lavoille ja siirrettiin kasvatuskaappeihin. Kummassakin kaapissa oli yhteensä 44 astiaa ja kerranteita oli neljä. Lavoja kierrätettiin kaapeissa viikoittain, jotta olosuhteiden vaikutukset saatiin hallintaan. Astioissa käytettiin kasvualustana lannoitettua turvetta (Kekkilä White 420W, Suomi). Nurmet lannoitettiin kerran esikasvatusaikana kastelulannoitteella, jonka väkevyys oli 20 g/10 l (Kekkilä, N-P-K 17–4–25). Kirvoja torjuttiin Puutarha-aerosolilla (Bernier Oy, Suomi) tarpeen mukaan.

4.1.2 Kasvun ja kehityksen havainnointi

Kasveista tehtiin ensimmäiset mittaukset esikasvatusajan päättyessä, ennen kuin ne siirrettiin kasvatuskaappeihin. Kasvien kasvua ja kehitystä seurattiin kunnes muutoksia

ei enää havaittu. Tämän seurauksena ensimmäisen osakokeen kasvit olivat kasvatuskapeissa 4,5 viikkoa ja toisen osakokeen 10 viikkoa. Kasveista mitattiin korkeus (ligule height: pääverson pituus ylimmän lehden kielekkeeseen) sekä laskettiin pääverson elävien, vihreiden lehtien lukumäärä ensimmäisessä kokeessa viikoittain ja toisessa joka toinen viikko. Mittaukset tehtiin kolmesta kasvusta astiaa kohti. Toisen kokeen lopetusmittauksissa laskettiin myös kuolleet lehdet. Kuolleiksi lehdiksi luokiteltiin selvästi kellastuneet lehdet, joissa ei ollut enää vihreää havaittavissa. Kokeiden alussa ja lopussa laskettiin sivuversojen lukumäärä, otettiin näytteet sokerianalyysiä varten sekä punnittiin tuorepainot. Ensimmäisessä osakokeessa tuorepainot punnittiin vain kokeen lopussa. Kokeiden päättyessä laskettiin myös versotyypit (VEG, ELONG, GEN).

4.1.3 Klorofyllifluoresenssimittaus

Ensimmäisessä kokeessa kasveista mitattiin klorofyllifluoresenssiarvot viikoittain eli yhteensä neljä kertaa ja toisessa kokeessa joka toinen viikko eli kaikkiaan kuusi kertaa. Mittaukset tehtiin kolmesta kasvusta astiaa kohti normaalissa valaistuksessa. Fluoresenssi mitattiin valossa pääverson ylimmästä avautuneesta lehdestä (PAM-2500, Walz Mess- und Regeltechnik, Saksa). Mitattavat arvot olivat F_o' ja $Y(II)$. F_o' -arvo kuvaa klorofyllifluoresenssin vähimmäismäärää, mikä tuotetaan avoimen fotosysteemi II:n reaktiokeskuksessa. Vastaavasti $Y(II)$ -arvo kuvaa fotosysteemi II:n tehokkaan fotokemiallisen kvanttituoton eli fotosysteemi II:n tehokkuutta (Maxwell ja Johnson 2000). Käytännössä $Y(II)$ -arvo mittaa klorofyllin absorboiman valon osuutta, mitä fotosysteemi II käyttää valoreaktioissaan. Siksi $Y(II)$ -arvon mittauksella voidaan mitata elektroninsiirtoketjun toimivuutta ja edelleen arvioida koko fotosynteesikoneiston aktiivisuutta (Maxwell ja Johnson 2000).

4.1.4 Liukoisten sokereiden määrittäminen

Liukoisten sokereiden määrittämistä varten kasvinäytteet otettiin yhteisnäytteenä yhden kerranteen kolmesta kasvusta. Kolme kasvia leikattiin tyvestä, asetettiin muoviputkiin ja kuivattiin kylmäkuivurissa (Christ Gamma 2-16 LSC, Iso-Britannia) (15 °C, 0,940 mbar) kolmen vuorokauden ajan. Kuivauksen jälkeen näytteet jauhettiin kuulamylyssä (Retsch® MM400, Saksa) hienoksi jauheeksi. Liukoinen sokeripitoisuus analysoitiin anthron-reagenssimenetelmällä (Yemm ja Willis 1954). Varsinainen sokerimäärittäminen

tehtiin Palosta (1999) mukailleen. Jokaista kasvinäytettä punnittiin 30 mg (\pm 0,3 mg) 100 millilitran erlenmeyeriin ja näytteisiin pipetoitiin 30 ml etanolia (77 %). Näytteitä uutettiin ja ravisteltiin (150 kierrosta minuutissa) tunnin ajan 80 °C vesihautessa (Julabo SW22, Saksa), minkä jälkeen niitä jäähdytettiin kymmenen minuuttia kylmäastiassa. Uutos suodatettiin suodatinpaperilla sekä suppilolla muoviputkeen ja lisättiin 2,5 ml etanolia (77 %). Määrittystä varten valmistettiin standardisuora D-glukoosista (50 mg/100ml 77 % etanolia) ja tuore anthron-reagenssi liuottamalla anthronia rikkihappoon (0,2 g anthron/100 ml 72 % rikkihappoa). Näytteitä laimennettiin tarpeen mukaan (1:1 tai 1:2). Jokaiseen näytteeseen pipetoitiin takaisinpipetointimenetelmällä 1,25 millilitraa kylmää anthron-reagenssia, sekoitettiin hyvin ja keitettiin 11 minuuttia vesihautessa. Jäähdytyksen jälkeen näytteet siirrettiin kyvetteihin ja absorbanssi (630 nm) mitattiin spektrofotometrillä (Shimadzu UV-1800, Ordior Oy, Suomi). Sokeripitoisuus laskettiin kaavalla:

$$\frac{\text{sokeripitoisuus (mg/l)} * \text{uuttotilavuus (l)}}{\text{punnittu kasvinäytteen määrä (g)}}$$

Tulokseksi saatiin liukoisten sokereiden pitoisuus milligrammoina grammassa.

4.2 Peltokoe

Peltokoe toteutettiin satunnaistettuna ruutukokeena Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisilla (60.80°N, 23.48°E) vuosina 2012 ja 2013. Peltokoe toteutettiin Nofocgran-yhteistyönä (Nofocgran = Nordic Forage Crops Genetic Resource Adaptation Network) samanaikaisesti Suomen lisäksi Tanskassa, Ruotsissa, Norjassa ja Islannissa, mutta tässä tutkimuksessa käytetään ainoastaan Suomen tuloksia. Peltokokeessa oli mukana yhteensä 20 eri nurmilajia tai lajiketta (taulukko 2) kolmessa kerranteessa. Peltokokeessa määritettiin nurmilajien syyskasvukykyä mittaamalla biomassan kertyminen kolmannen niiton jälkeen. Talvehtimisen onnistumista arvioitiin havainnoimalla koeruutujen peittävyudet keväällä ja syksyllä ja laskemalla talvituhon suuruus prosentteina. Peltokokeesta kerättiin lisäksi näytteitä kahdesta englanninraiheinälajikkeesta (Riikka ja Fagerlin) sekä kahdesta rainatalajikkeesta (Fox ja Perseus) kylmätestiä (LT₅₀), sokerianalyysia ja versolaskentaa varten. Näytteet otettiin yhdestä kerranteesta kolmena toistona.

Taulukko 2. Peltokokeessa käytetyt nurmilajit ja –lajikkeet sekä lajikekuvaus (ER = englanninraiheinä, RN = rainata. Ploidia: D = diploidi, T = tetraploidi).

Lajikkeen nro	Laji/Ploidia	Lajike	Lajikekuvaus	Lähde
1	ER/D	Picaro	Aikainen, satoisa	Deutsche Saatveredelung 2014
2	ER/D	Riikka	Nopeakasvuinen, talvenkestävä, satoisa, sopii Etelä- ja Keski-Suomeen	Boreal Kasvinjalostus Oy 2013
3	ER/D	Indiana	Aikainen/keskimyöhäinen, satoisa	DLF Trifolium Seeds & Science 2014
4	ER/D	Indicus	Satoisa, keskimyöhäinen	DLF Trifolium Seeds & Science 2014
5	ER/D	Fagerlin	Pohjoiseen sopeutunut, norjalainen lajike	
6	ER/T	Birger	Satoisa, talvenkestävä, sopii eteläiseen Suomeen	K-maatalous 2013
7	ER/T	Ivar	-	
8	ER/T	Figgjo	-	
9	ER/T	Mathilde	Talvenkestävä, tiheäkasvuinen	DLF Trifolium Seeds & Science 2014
10	ER/T	Jaran	Satoisa, talvenkestävä	DLF Trifolium Seeds & Science 2014
11	Hybridi raiheinä/T	Fenre	Englannin- ja italianraiheinän risteytys	DLF Trifolium Seeds & Science 2014
12	RN/T	Fox	-	
13	RN/6x	Hykor	Satoisa, talvenkestävä, aikainen	Ostrem & Larsen 2008
14	RN/T	Perun	Aikainen, ei kovin talvenkestävä, satoisa	Ostrem & Larsen 2008, DLF Trifolium Seeds & Science 2014
15	RN/T	Perseus	Myöhäinen, erittäin satoisa, hyvä jälleikasvukyky	DLF Trifolium Seeds & Science 2014
16	RN/T	Hostyn	Satoisa, italianraiheinätyyppinen, herkkä talvituholle lumipeitteen puuttuessa	DLF Trifolium Seeds & Science 2014
17	RN/T	Paulita	Erittäin satoisa, kohtalainen talvenkestävyys	DLF Trifolium Seeds & Science 2014
18	RN/T	Felopa	Aikainen, ei kovin talvenkestävä	Ostrem & Larsen 2008
19	Ruokonata	Retu	Talvenkestävä, satoisa, menestyy pohjoisessa	Boreal Kasvinjalostus Oy 2013
20	Nurminata	Kasper	Talvenkestävä, hyvä jälleikasvukyky, menestyy pohjoisessa	K-maatalous 2013

4.2.1 Kasvimateriaali ja koejärjestelyt

Peltokoe perustettiin 5.8.2011 ilman suojaviljaa. Koealue oli kooltaan 40 x 45 metriä eli 1800 m² (kuva 1). Kylvöruudun pituus oli 11 metriä, mutta sadonkorjuuseen käytettävä koeruudun ala oli 1,5 x 10 metriä eli 15 m². Kerranteiden välissä oli viiden metrin levyinen suojaväyhyke. Koealueen molemmissa päissä oli suojaruudut reunavaikutuksen vähentämiseksi. Uloimmaisiin suojaruutuihin kylvettiin englanninraiheinää (Fjaler) ja sisempiin suojaruutuihin timoteitä (Tuure) ja englanninraiheinää (Arka). Koealueella kasvoi paljon rypsiä rikkakasvina, joten koeruuduille tehtiin rikkaruiskutus taimettumisen jälkeen (Primus 0,15 l/ha/200 l, DowAgroSciences).

3	Plot	S	S	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	S	S				
	ID	Fjaler	Tuure	13	16	4	6	11	7	5	18	3	14	20	12	19	2	9	15	17	1	8	10	Arka	Fjaler				
2	Plot	S	S	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	S	S				
	ID	Fjaler	Arka	6	14	8	9	18	1	13	16	4	12	11	19	15	17	7	3	20	10	2	5	Tuure	Fjaler				
1	Plot	S	S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	S	S				
	ID	Fjaler	Tuure	12	5	9	4	16	17	15	20	18	1	11	14	2	13	6	3	8	19	7	10	Arka	Fjaler				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		

Kuva 1. Peltokokeen kenttäkartta. Vasemmassa reunassa on kerranteiden numerot. Keltaisella pohjalla on ruudun numero ja sen alapuolella on genotyypin numero. S-ruudut ovat suojaruutuja.

Kaikkia nurmilajikkeita kylvettiin 3,5 g/m² eli 35 kg/ha lukuun ottamatta suojaruudussa olevaa timoteilajiketta Tuurea, jonka kylvömäärä oli 20 kg/ha. Ruudut lannoitettiin kolme kertaa kasvukauden aikana: vuonna 2012 ajankohdat olivat 9.5, 21.6 ja 6.8. Kevätlannoituksena annettiin 100 kg N/ha (Pellon Y3, 23-3-8), toisen niiton jälkeisenä lannoituksena 100 kg N/ha (Suomen salpietari 27-0-0) ja kolmannen niiton jälkeisenä lannoituksena 40 kg N/ha (Suomen salpietari 27-0-0). Vuonna 2013 lannoitusajankohdat olivat 10.5, 19.6 ja 1.8. Lannoitusmäärät olivat samat kuin vuonna 2012, mutta lannoitteena käytettiin Pellon Y4 (20-2-12).

4.2.2 Suoritetut mittaukset, niitot ja sadot

Peltokokeesta niitettiin kolme varsinaista satoa kumpanakin kasvukautena sekä kolmannen niiton jälkeinen syyskasvusato lokakuussa. Vuonna 2012 niittoajankohdat olivat 18.6, 1.8, 4.9 ja 22.10 ja vuonna 2013 vastaavasti 13.6, 29.7, 29.8 ja 14.10. Tässä tutkimuksessa huomioitiin vain viimeisen sadon suuruus. Ennen toista niittoa ruuduista tehtiin tähkätiheyshavainnot prosenttiarviona sadon laadun arviointia varten. Syyskasvu määritettiin loppusyksyllä niittämällä pieni ala (leveys 48 cm, pituus noin 200 cm) kasvustoa keräävällä ruohonleikkurilla sekä laskemalla sadon kuiva-ainepitoisuus ja sadon suuruus hehtaaria kohden. Vuonna 2012 mitattiin myös kasvuston korkeus. Lisäksi kokeesta tehtiin talvehtimisen onnistumisen arviointia varten peittävyyshavainnot keväällä ja syksyllä.

4.2.3 Kylmänkestävyydestä (LT₅₀)

Peltokokeesta otettiin näytteitä kylmätestejä (LT₅₀), tiheyslaskentaa ja sokeripitoisuusmääryksiä varten. Näytteitä kerättiin pellolta marraskuussa (2012), tammi-/helmikuussa ja maaliskuu-/huhtikuussa (2013). Näytteet lapioitiin paakkuina koeruuduilta ja analysoitiin Viikin kasviuoneilla ja laboratoriossa. Kylmätestejä varten näytepaakut pestiin ja juuret sekä versot leikattiin lyhyeksi. Versot käärittiin märkään paperiin ja asetettiin koeputkiin kymmenen verson nipuissa. Kylmätetit tehtiin kylmähauteella (Lauda Proline RP3530, Saksa) kuudessa eri pakkasasteessa (-6, -8, -10, -12, -14, -16 °C). Kylmähaute oli ohjelmoitu niin, että koeputket olivat yön yli hauteessa (+2 °C). Kylmäohjelma alkoi seuraavana aamuna ja sen lämpötila laski 1 °C tunnissa. Koeputket poistettiin aina, kun tavoitelämpötila oli saavutettu. Jäähdytys nopeutui -10 °C jälkeen niin, että ohjelma jäähdytti 3 °C tunnissa -16 °C saakka. Kontrollikasvit pidettiin jääkaapissa (+ 4 °C) ja myös kylmätestatut kasvit laitettiin jääkaappiin yöksi. Kylmätetit tehtiin yhdestä kerranteesta, josta yhdessä lämpötilassa oli aina 10 kasviyksilöä toistona. Kasvit istutettiin kylmätestiä seuraavana päivänä lavoille kasviuoneelle (kasvualustana lannoitettu turve, Kekkilä White 420W, Suomi). Jokaisesta lajikkeesta oli kaksi toistoa. Kahden, kolmen ja neljän viikon kuluttua istutuksesta kasveista tehtiin elävyyshavainnot asteikolla 1-5 (1=täysin kuollut, 5=täysin elävä). Lisäksi kontrollikasveista tehtiin kukintahavainnot kahden kuukauden ajan.

Kukintapäivä määritettiin sen perusteella, kun yhdestä versosta oli kukinto näkyvissä. Kokeen päätteeksi kontrollikasveista mitattiin pääverson korkeus ylimmän lehden kielekkeeseen asti (ligule height), pääverson lehtien lukumäärä, kasvin versojen lukumäärä sekä kukkivien versojen lukumäärä. Elävyshavaintojen perusteella saatavat LT_{50} -arvot laskettiin kaikista marraskuun ja tammikuun näytteistä.

4.2.4 Liukoisten sokereiden määrittäminen

Sokerianalyysijä varten versot leikattiin tyvestä, pestiin ja kuivattiin kolme vuorokautta uunissa (60 °C). Kuivauksen jälkeen näytteet jauhettiin kuulamyllyssä (Retsch® MM400, Saksa) ja sokeripitoisuus analysoitiin Anthron-reagenssilla (Yemm & Willis 1954). Sokerimäärittäminen tehtiin peltokokeen nurminäytteille vastaavasti kuin kasvatuskaappikokeen näytteille (kappale 4.1.4).

4.2.5 Kasvuston tiheys

Kasvustiheysmittausta varten nurmipaakat istutettiin 3,5 litran muoviasioihin. Kasvualustana oli lannoitettu turve (Kekkilä White 420W, Suomi). Istutuspäivänä laskettiin elävien versojen lukumäärä ja tiheyslaskenta toistettiin kymmenen vuorokauden kuluttua istutuksesta. Kasvuunlähtöpotentiaali määritettiin laskentatulosten erotuksena ja kasvukyky ilmoitettiin prosenttiosuutena.

4.3 Tilastolliset analyysit

Tuloksista laskettiin keskiarvot, keskihajonnat ja keskivirheet (Standard error, SE). Kasvatuskaappikokeen mittaustuloksista jokaiselle kerranteelle laskettiin keskiarvo, joka saatiin yhdessä ruukussa kasvaneiden kolmen kasvin keskiarvosta. Kuvissa esitetyt keskiarvot ovat koko genotyypin keskiarvoja, joiden taustalla on 12 kasvin havainnot neljästä eri kerranteesta. Keskihajonta ja keskivirhe laskettiin kerranteiden keskiarvoista, jotta kerranteiden väliset erot eli astian sijainnin vaikutus kasvatuskaapissa voitiin huomioida. Kerranteiden lukumäärän mukaisesti keskihajonta ja keskivirhe laskettiin niin, että $n = 4$. Peltokokeen kylmänkestävyysarvot (LT_{50}) arvioitiin katsomalla lämpötilasarjasta se lämpötila, jossa 50 % kasveista oli kuollut. Muut tulokset analysoitiin IBM SPSS Statistics 21 – tilasto-ohjelmalla (Armonk, NY,

USA: IBM Corp., 2012) käyttämällä kaksisuuntaista varianssianalyysia. Varianssianalyysissa käytettiin kerranteiden keskiarvoja. Mittaustuloksille tehtiin tarvittaessa logaritmuunnos, mikäli aineisto ei ollut normaalijakautunut. Sellaisille muuttujille, joissa oli nollia, tehtiin $\log(x+1)$ -muunnos. Parittaisiin vertailuihin käytettiin Tukeyn HSD-testiä. Tulokset todettiin merkitseviksi p-arvon ollessa $< 0,05$. Kasvatuskaappikokeessa timoteit analysoitiin omana ryhmänään ja englanninraiheinät, rainadat sekä nurminadat omanaan. Toisessa osakokeessa nurminatojen tuloksia ei analysoitu kasvua rajoittaneen lehtivioituksen vuoksi.

5 TULOKSET

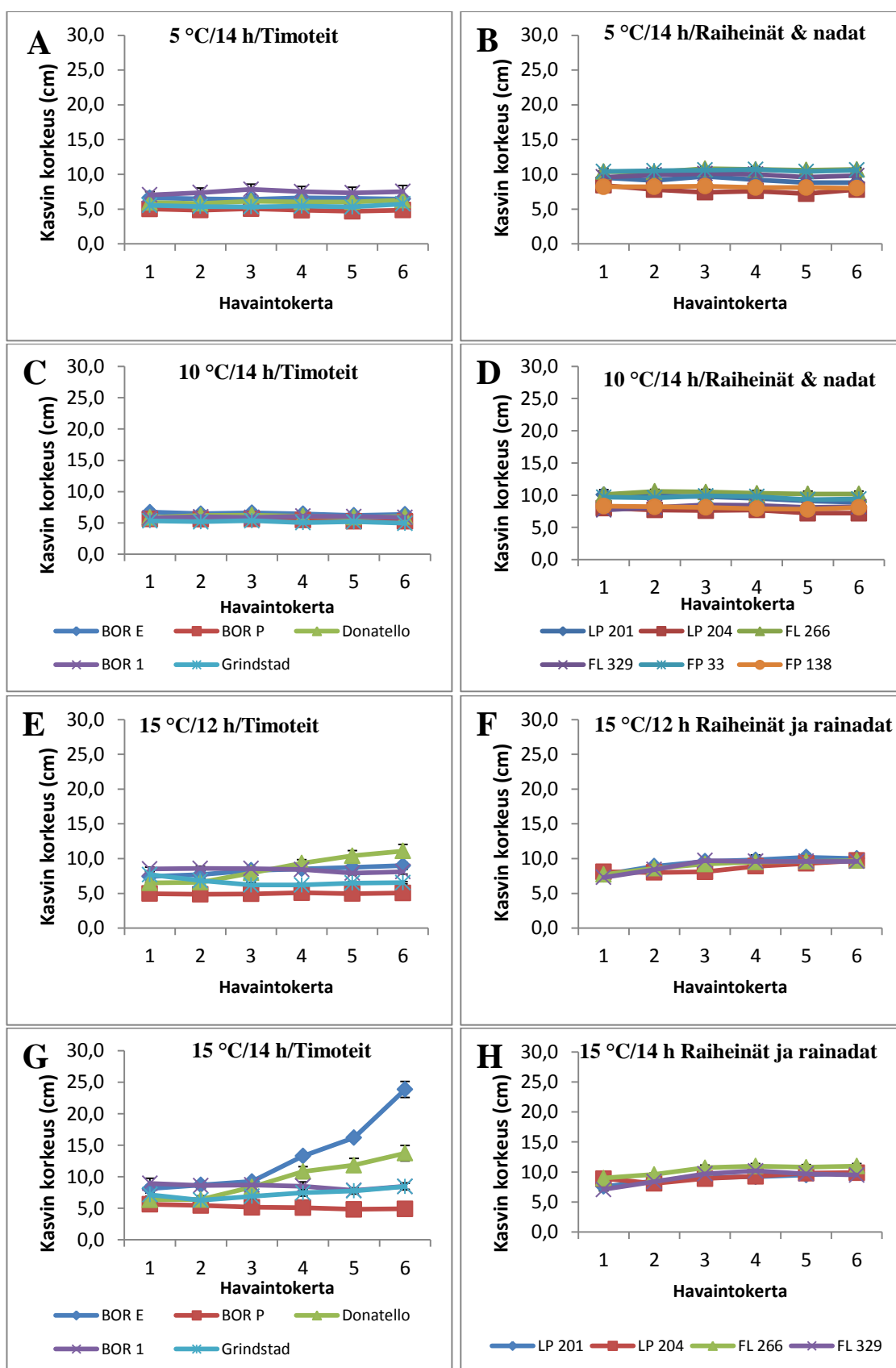
5.1 Kasvatuskaappikoe

5.1.1 Kasvien korkeus

Timoteit eivät kasvaneet korkeutta ensimmäisen osakokeen käsittelyissä (5 °C/14 h ja 10 °C/14 h) (kuva 2), eikä näiden käsittelyjen välillä ollut eroja pituuskasvussa ($p=0,479$). Sen sijaan toisessa osakokeessa korkea lämpötila (15 °C) mahdollisti erityisesti eteläisen timotein Donatellon pituuskasvun, sillä se kasvoi korkeutta yli neljä senttimetriä kokeen aikana (kuva 2E), eikä lyhyt päivänpituus (12 h) rajoittanut kasvua. Vastaavasti 14 tunnin päivänpituus mahdollisti eteläisen timotein (BOR E) pituuskasvun, sillä se kasvoi korkeutta yli 15 senttimetriä, kun päivänpituutta pidennettiin (12 → 14 h) korkeassa kasvulämpötilassa (15 °C) (kuva 2G). Sen sijaan lyhyt päivänpituus (12 h) esti sen pituuskasvua (kuva 2E). Eteläisen (BOR E) ja pohjoisen (BOR P) timotein välillä oli merkitsevä ero ($p=0,000$) pituuskasvussa. Genotyypillä ja käsittelyllä sekä näiden yhdysvaikutuksella oli merkitsevä vaikutus timotein pituuskasvuun ($p=0,000$).

Englanninraiheinät, rainadat ja nurminadat eivät myöskään kasvaneet korkeutta alhaisissa kasvulämpötiloissa (5 ja 10 °C), ja näiden käsittelyjen välillä oli vain hieman eroja ($p=0,048$). Englanninraiheinien ja rainatojen pituuskasvu oli keskimäärin kaksi senttimetriä sekä lyhyessä (12 h/15 °C) että pitkässä (14 h/15 °C) päivässä (kuva 2F ja H), eikä näiden käsittelyjen välillä ollut eroja ($p=0,655$). Lämpötila mahdollisti englanninraiheinien ja rainatojen pituuskasvun, sillä ne kasvoivat korkeutta vasta

korkeimmassa lämpötilassa (15 °C), mutta päivänpituudella ei ollut merkitystä. Genotyypillä, käsittelyillä sekä näiden yhdysvaikutuksella oli merkitsevä vaikutus pituuskasvuun ($p=0,000$ ja $0,010$), sillä pitkän päivänpituuden (14 h) ja korkean lämpötilan (15 °C) käsittely erosi merkitsevästi alhaisten lämpötilojen käsittelyistä (5 °C/14 h: $p=0,023$ ja 10 °C/14h: $p=0,000$). Myös lyhyen päivän (12 h/15 °C) sekä alhaisen lämpötilan (10 °C/14 h) käsittelyiden välillä oli merkitsevä ero ($p=0,001$). Lisäksi nurminatalinjojen (33 ja 138) pituuskasvussa oli merkitsevä ero ($p=0,000$, kuva 2B & D).

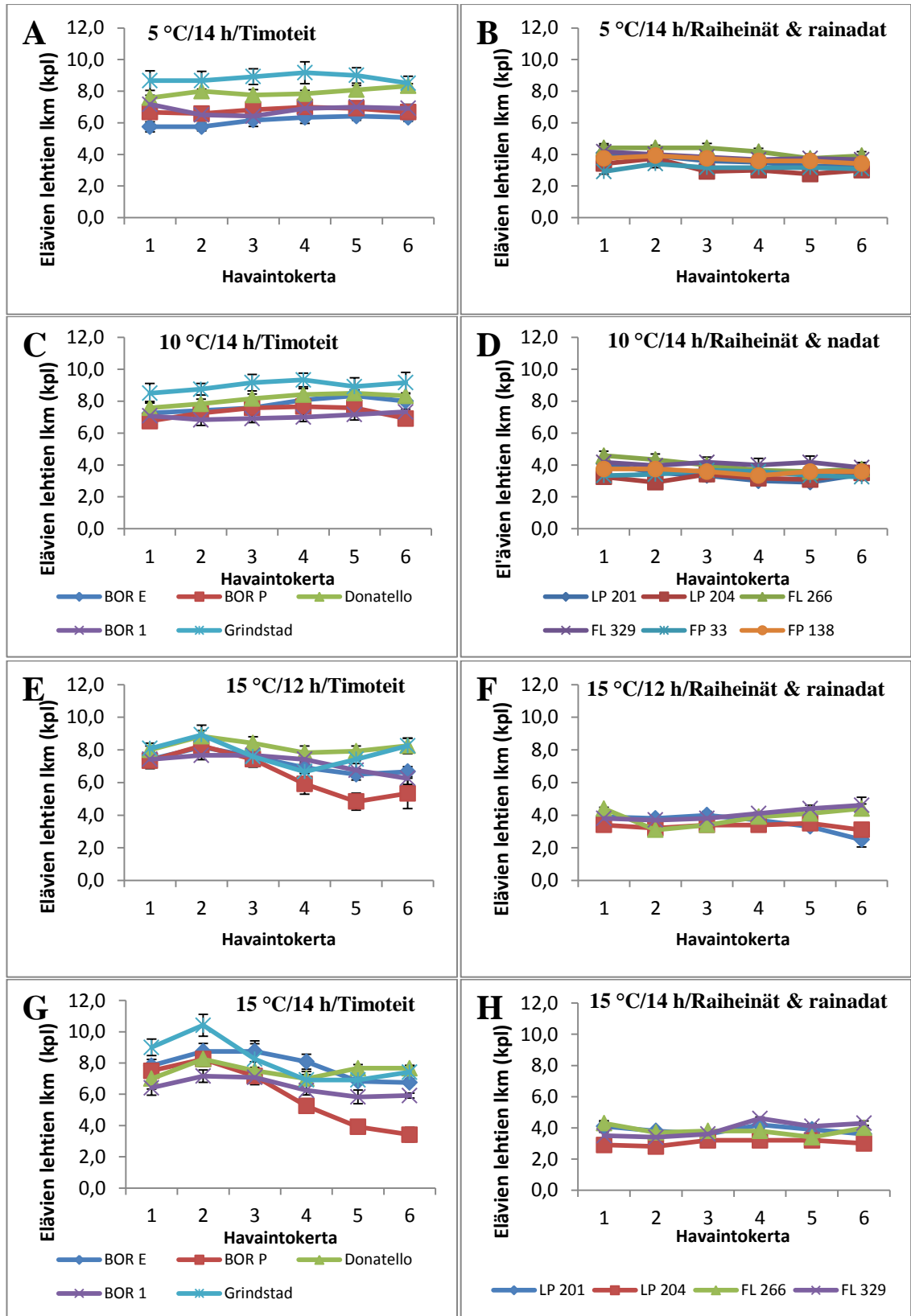


Kuva 2. Pääversojen pituuskasvu eri oloissa kuutena havaintokertana (SE, $n = 4$). Havaintokerta 1 kuvaa lähtötilannetta. Kuvissa A-D havainnot on tehty viikoittain viiden viikon aikana ja kuvissa E-H joka toinen viikko kymmenen havaintoviikon aikana (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*, FP = *Festuca pratensis*).

5.1.2 Pääverson lehtien lukumäärä

Kaikkien nurmikasvilajien pääversojen elävien lehtien lukumäärät pysyivät kokeen päättyessä muuttumattomina alhaisissa kasvulämpötiloissa (5 ja 10 °C) (kuva 3), eikä näiden käsittelyjen välillä ollut eroja timoteilla ($p=0,081$) ja englanninraiheinillä, rainadoilla ja nurminadoilla ($p=0,737$). Timotein elävien lehtien lukumäärä oli muita genotyyppejä suurempi (kuva 3A-H). Genotyypillä oli merkitsevä vaikutus timotein lehtilukumääriin ($p=0,000$). Alhaisimmassa lämpötilassa (5 °C) Grindstadin pääversojen lehtilukumäärä oli suurin ja eteläisen linjan (BOR E) pienin (kuva 3A), ja näiden genotyyppien välillä oli merkitsevä ero ($p=0,000$). Jo viiden asteen lämpötilan nousu (5 → 10 °C) mahdollisti runsaamman lehtien muodostuksen eteläisellä timoteilla (BOR E) (kuva 3A ja C). Lämpötila vaikutti myös pohjoisen timotein (BOR P) lehtien muodostukseen, sillä korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) sen lehtilukumäärä väheni selvästi kokeen kuluessa (kuva 3E ja G), mutta alhaisissa lämpötiloissa (5 ja 10 °C) vastaavaa ei havaittu. Pohjoisen timotein (BOR P) lehtien väheneminen oli voimakkaampaa pitkässä (14 h) kuin lyhyessä päivässä (12 h) ja näiden käsittelyjen välillä oli merkitsevä ero ($p=0,025$). Eri kasvuolot vaikuttivat merkitsevästi timoteigenotyyppien lehtilukumääriin ($p=0,000$) ja genotyypillä sekä käsittelyllä oli lisäksi yhdysvaikutusta ($p=0,009$). Lämpötilan nousu (5 ja 10 °C → 15 °C) vähensi timotein lehtiä, mutta vastaavaa ei havaittu englanninraiheinillä ja rainadoilla (kuva 3E-H). Pohjoisen timotein (BOR P) elävien lehtien lukumäärä erosi merkitsevästi eteläisten genotyyppien lehtilukumääristä (BOR E, Donatello ja Grindstad; $p=0,000$ ja BOR 1; $p=0,004$).

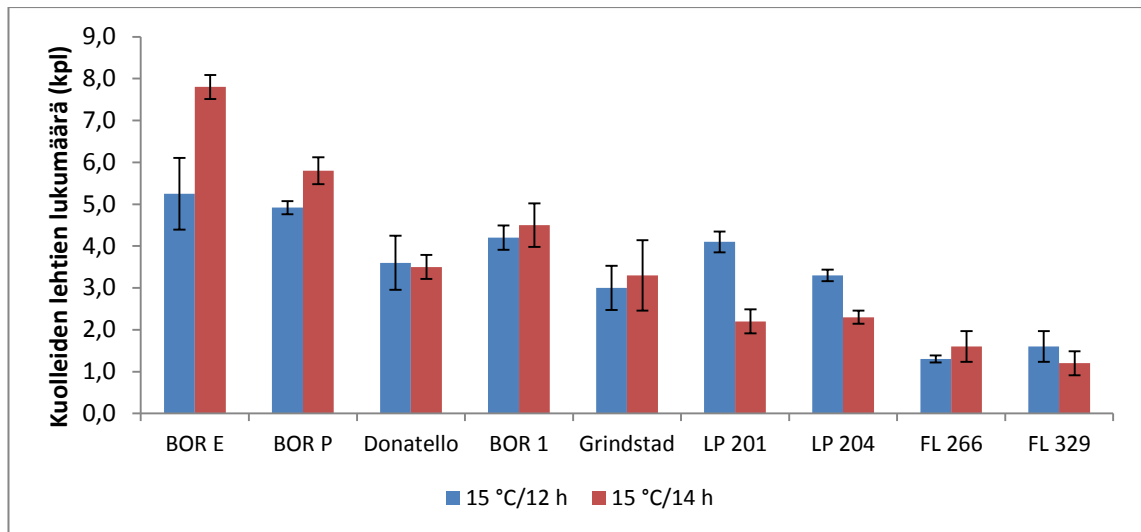
Genotyypillä oli merkitsevä vaikutus englanninraiheinien, rainatojen ja nurminatojen elävien lehtien lukumääriin ($p=0,000$), mutta eri kasvuoloilla ei ollut vaikutusta ($p=0,508$). Sen sijaan genotyypillä ja käsittelyllä oli lievä yhdysvaikutus ($p=0,030$). Rainadat muodostivat lisää lehtiä korkeassa lämpötilassa (15 °C) ja lyhyessä päivässä (12 h), kun taas englanninraiheinien elävät lehdet vähenivät kokeen kuluessa (kuva 3F). Pitkässä (14 h) päivänpituudessa ero ei ollut yhtä selvä (kuva 3H). Englanninraiheinien (linja 201 ja 204) ja rainatojen lehtilukumäärien välillä oli merkitsevä ero ($p=0,000$ linjalle 329 ja 0,001 linjalle 266).



Kuva 3. Pääversojen elävien lehtien lukumäärän muutos eri oloissa kuutena havaintokertana (SE, $n = 4$). Havaintokerta 1 kuvaa lähtötilannetta. Kuvissa A-D havainnot on tehty viikoittain viiden viikon aikana ja kuvissa E-H joka toinen viikko kymmenen havaintoviikon aikana (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*, FP = *Festuca pratensis*).

Pitkässä päivässä (14 h) ja korkeassa lämpötilassa (15 °C) kuolleiden lehtien lukumäärä lisääntyi timoteilla (kuva 4). Erityisesti eteläisen timotein (BOR E) kuolleiden lehtien määrä suureni huomattavasti päivän pidentyessä (12 h → 14 h). Myös muilla timoteigenotyypeillä, lukuun ottamatta Donatelloa, kuolleiden lehtien lukumäärä oli suurempi pidemmässä päivänpituudessa. Genotyypillä oli merkitsevä vaikutus kuolleiden lehtien lukumääriin timoteilla ($p=0,000$), mutta eteläinen (BOR E) ja pohjoinen timotei (BOR P) eivät eronneet toisistaan ($p=0,171$). Sen sijaan pohjoisen timotein (BOR P) kuolleiden lehtien lukumäärä erosi merkitsevästi Donatellon ($p=0,008$) ja Grindstadin ($p=0,001$) lehtilukumäärästä, mutta linjaan BOR 1 eroa ei ollut ($p=0,274$). Käsittelyillä oli vaikutusta ($p=0,021$) kuolleiden lehtien lukumäärään, mutta käsittelyllä ja genotyypillä ei ollut yhdysvaikutusta ($p=0,089$).

Timoteilla oli pääsääntöisesti enemmän kuolleita lehtiä kuin englanninraiheinillä ja rainadoilla (kuva 4). Englanninraiheinillä sekä rainatalinjalla 329 oli enemmän kuolleita lehtiä lyhyessä (12 h) kuin pitkässä (14 h) päivänpituudessa toisin kuin rainatalinjalla 266, jonka lehdet kuolivat herkemmin 14 tunnin päivänpituudessa (kuva 4). Genotyypillä ($p=0,000$) ja käsittelyllä ($p=0,026$) oli vaikutusta englanninraiheinien ja rainatojen kuolleiden lehtien lukumääriin, mutta edellä mainituilla tekijöillä ei ollut yhdysvaikutusta ($p=0,261$). Englanninraiheinät ja rainadat erosivat merkitsevästi toisistaan, sillä englanninraiheinälinjan 201 ja rainatalinjojen 266 sekä 329 väliset p-arvot olivat 0,005 ja 0,001. Vastaavat p-arvot linjalle 204 olivat 0,013 ja 0,002. Lajin sisällä ei ollut kuitenkaan linjojen välisiä eroja (ER $p=0,968$ ja RN 0,890).



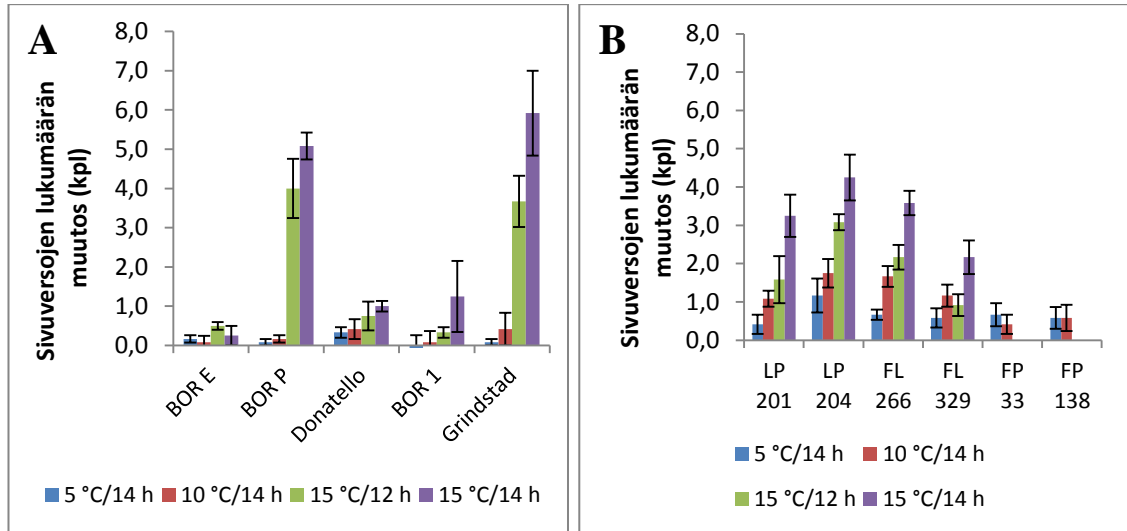
Kuva 4. Pääversojen kuolleiden lehtien lukumäärä toisen osakokeen viimeisenä havaintokertana kymmenen viikon kasvatuksen jälkeen (SE, $n = 4$), (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*).

5.1.3 Sivuersojen lukumäärä, versotyypit ja tuorepaino

Alhainen lämpötila (5 °C) esti timotein versomisen tehokkaasti (kuva 5A), eikä alhaisten lämpötilakäsittelyjen (5 ja 10 °C) välillä ollut eroja ($p=0,981$). Myöskään korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) eri päivänpituuksien (12 ja 14 h) välillä ei ollut vaikutusta sivuersojen lukumääriin timoteilla ($p= 0,480$), mutta alhaisten (5 ja 10 °C) ja korkean (15 °C) lämpötilan välillä ero oli merkitsevä ($p=0,000$). Korkea lämpötila (15 °C) mahdollisti pohjoisen timotein (BOR P) sekä Grindstadin voimakkaan sivuersojen muodostuksen. Eteläinen timotei (BOR E) muodosti korkeassa kasvulämpötilassa (15 °C) ja 14 tunnin päivänpituudessa elongoituvia versotyyppejä, jolloin sivuersojen lukumäärä jäi alhaiseksi. Genotyypillä, käsittelyllä ja näiden yhdysvaikutuksella oli merkitsevä vaikutus timotein sivuersojen lukumääriin ($p=0,000$). Eteläistä alkuperää olevan timotein (BOR 1) versominen erosi merkitsevästi pohjoisesta (BOR P, $p=0,007$) ja toisista eteläisistä (BOR E, Donatello, $p=0,000$) linjoista.

Englanninraiheinät, rainadat ja nurminadat versoivat timoteita enemmän alhaisissa lämpötiloissa (5 ja 10 °C) ja versominen lisääntyi korkeassa lämpötilassa (15 °C) (kuva 5B). Englanninraiheinät sekä rainatalinja 266 muodostivat enemmän sivuersoja korkeassa lämpötilassa (15 °C) ja 14 tunnin päivänpituudessa kuin rainatalinja 329. Englanninraiheinien ja natojen versominen ei eronnut alhaisten lämpötilojen (5 ja 10

°C) välillä ($p=0,869$), mutta korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) eri päivänpituuksien (12 h ja 14 h) välillä oli eroja ($p=0,041$). Rainadat ja englanninraiheinä 201 eivät versoneet lyhyessä päivässä (12 h) yhtä paljon kuin englanninraiheinä 204, vaan niiden versominen oli samantasoista kuin alhaisissa lämpötiloissa (5 ja 10 °C). Sekä genotyypillä että käsittelyillä oli merkitsevä vaikutus sivuversojen muodostukseen ($p=0,000$), mutta käsittelyillä ja genotyypeillä ei ollut yhdysvaikutusta ($p=0,051$).



Kuva 5. Sivuersojen lukumäärän muutos eri genotyypeillä aloitus- ja lopetusmittausten välillä (SE, $n = 4$), (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*, FP = *Festuca pratensis*).

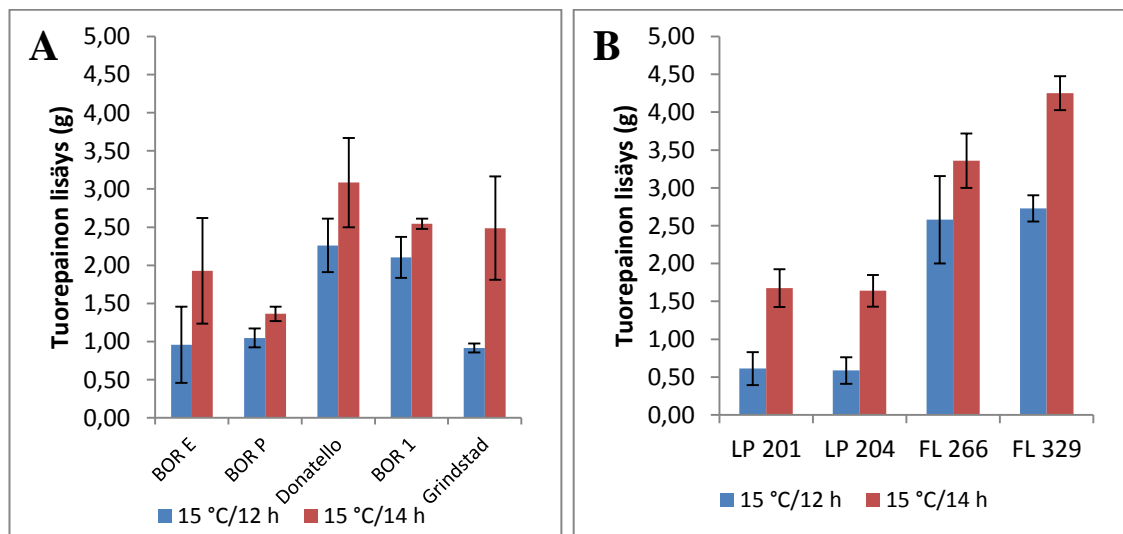
Timoteigenotyypien pääversojen versotyypit olivat vegetatiivisia kaikilla viidellä eri linjalla kaikissa kasvatusolosuhteissa lukuun ottamatta korkeinta lämpötilaa (15 °C) ja pitkää päivänpituutta (14 h) (taulukko 3). Tällöin eteläinen linja (BOR E) muodosti pitkiä, elongoituvia pääversoja.

Taulukko 3. Timoteilajikkeiden- ja linjojen pääversojen versotyyppien (VEG, ELONG, GEN) lukumäärä eri kasvuoloissa kokeiden päättyessä. Genotyyppien pääversojen havaintolukumäärä oli 12.

	5 °C / 14 h			10 °C / 14 h			15 °C / 12 h			15 °C / 14 h		
	VEG	ELONG	GEN	VEG	ELONG	GEN	VEG	ELONG	GEN	VEG	ELONG	GEN
BOR E	12	0	0	12	0	0	12	0	0	0	12	0
BOR P	12	0	0	12	0	0	12	0	0	12	0	0
Donatello	12	0	0	12	0	0	12	0	0	12	0	0
BOR 1	12	0	0	12	0	0	12	0	0	12	0	0
Grindstad	12	0	0	12	0	0	12	0	0	12	0	0

Kaikki nurmikasvilajit tuottivat enemmän biomassaa pitkässä päivänpituudessa (14 h) verrattuna lyhyeen päivänpituuteen (12 h), kun lämpötila oli korkea (15 °C) (kuva 6). Muutos oli suurin eteläisellä timoteilla (BOR E) sekä Grindstadilla, mutta pohjoinen (BOR P) timotei ei kerryttänyt biomassaa muiden genotyyppien tavoin (kuva 6A). Eteläisen Donatellon tuorepainon muutos erosi merkittävästi pohjoisesta (BOR P) ($p=0,007$) ja eteläisestä timoteista (BOR E) ($p=0,029$). Genotyypillä ($p=0,004$) ja käsittelyllä ($p=0,002$) oli merkittävä vaikutus timotein tuorepainon muutokseen korkeimmassa lämpötilassa (15 °C), mutta edellä mainituilla tekijöillä ei ollut yhdysvaikutusta ($p=0,526$).

Rainatojen tuorepaino oli kaikista tutkituista linjoista suurin ja sekä englanninraiheinät että rainadat kerryttivät enemmän biomassaa pitkässä (14 h) kuin lyhyessä (12 h) päivässä ja korkeimmassa kasvlämpötilassa (15 °C) (kuva 6B). Genotyyppi ja käsittely vaikuttivat merkittävästi ($p=0,000$) tuorepainon muutoksiin, mutta niillä ei ollut yhdysvaikutusta ($p=0,688$). Englanninraiheinillä ($p=1,000$) ja rainadoilla ($p=0,353$) ei ollut linjojen välisiä eroja, mutta lajit erosivat merkittävästi toisistaan ($p=0,000$).

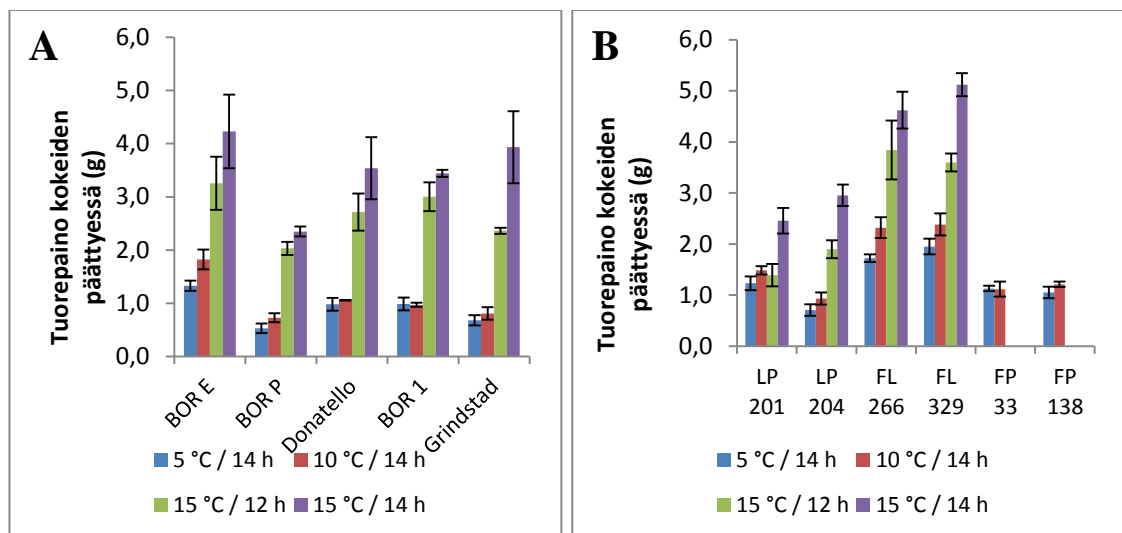


Kuva 6. Tuorepainon lisääntyminen grammoina eri nurmigenotyypeillä toisessa osakokeessa (12 h/15 °C ja 14 h/15 °C) kymmenen havaintoviikon aikana (SE, $n = 4$), (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*).

Genotyypillä ja käsittelyillä oli merkittävä vaikutus ($p=0,000$) timotein tuorepainoon kokeiden päätösvaiheessa, mutta yhdysvaikutusta ei ollut ($p=0,126$). Tuorepainot olivat kaikilla genotyypeillä suurimmat pitkässä päivässä (14 h) ja korkeassa lämpötilassa (15 °C) (kuva 7AB). Timoteigenotyyppien tuorepainot eivät eronneet toisistaan alhaisissa kasvlämpötiloissa (5 ja 10 °C) ($p=0,089$), mutta korkeassa lämpötilassa (15 °C)

päivänpituudella oli merkitsevä vaikutus biomassan tuottoon ($p=0,007$). Viiden asteen lämpötilan nousu ($5\text{ °C} \rightarrow 10\text{ °C}$) mahdollisti timoteigenotyypeistä ainoastaan eteläisen linjan (BOR E) biomassan tuoton lisääntymisen (kuva 7A). Pohjoisen (BOR P) timotein tuorepaino erosi merkitsevästi eteläisistä timoteilinjoista (BOR E, Donatello ja BOR 1: $p=0,000$ ja Grindstad: $p=0,037$).

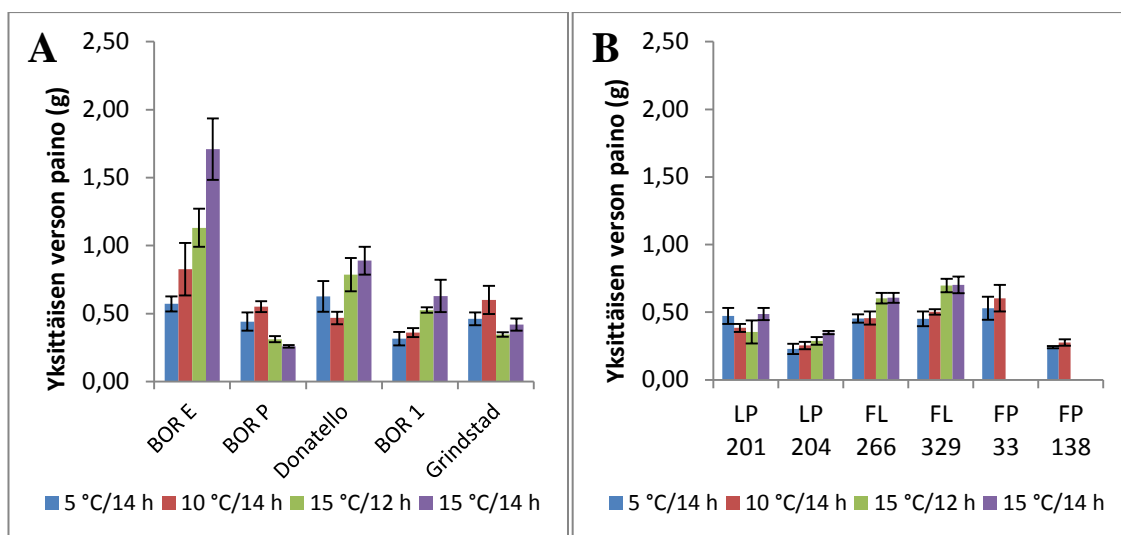
Genotyyppi ja kasvuolot vaikuttivat merkitsevästi englanninraiheinien, rainatojen ja nurminatojen tuorepainoihin kokeiden päätösvaiheessa ($p=0,000$) ja lisäksi käsittelyjen sekä genotyyppien välillä oli yhdysvaikutusta ($p=0,001$). Rainatojen tuorepaino oli kaikista genotyypeistä suurin jokaisen kokeen päätösvaiheessa, ja jo viiden asteen lämpötilan nousu ($5\text{ °C} \rightarrow 10\text{ °C}$) mahdollisti suuremman biomassan tuoton (kuva 7B). Sekä alhaisten lämpötilojen (5 ja 10 °C) että korkeamman lämpötilan (15 °C) molempien päivänpituuksien (12 ja 14 h) välillä oli merkitsevä vaikutus tuorepainon suuruuteen ($p=0,014$ ja $0,000$). Lyhyt (12 h) ja pitkä (14 h) päivänpituus ja korkea lämpötila (15 °C) vaikuttivat englanninraiheinien biomassan tuottoon eri tavoin (kuva 7B): linja 204 muodosti biomassaa lyhyessä (12 h) päivänpituudessa, mutta linjan 201 tuorepaino oli samantasoinen kuin alhaisissa lämpötiloissa (5 ja 10 °C). Nurminatojen tuorepaino erosi merkitsevästi rainatojen tuorepainosta ($p=0,000$) (kuva 7B).



Kuva 7. Nurmigenotyyppien tuorepaino grammoina kokeiden päättyessä eri kasvuoloissa (5 °C ja $10\text{ °C}/14$ h: havaintojakso 4,5 viikkoa, 15 °C ja $12/14$ h: havaintojakso 10 viikkoa) (SE, $n = 4$), (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*, FP = *Festuca pratensis*).

Genotyypillä, käsittelyllä ja näiden yhdysvaikutuksella oli merkitsevä vaikutus timotein yksittäisten versojen painoihin ($p=0,000$; $0,006$ ja $0,000$). Lämpötilalla oli merkitsevä vaikutus yksittäisten versojen painoihin pitkässä päivässä (14 h), sillä alhaisimman (5 °C) ja korkeimman lämpötilan (15 °C) ero oli merkitsevä ($p=0,003$). Eteläisen timotein (BOR E) yksittäisten versojen painot olivat kaikissa kasvuoloissa suuremmat kuin muilla timoteilinjoilla lukuun ottamatta alhaisinta lämpötilaa (5 °C), jossa eteläisen Donatellon versopaino oli suurin (kuva 8A). Donatellon yksittäisten versojen painot erosivat merkitsevästi muiden timoteilinjojen painoista (BOR P, BOR 1 ja Grindstad: $p=0,000$ ja BOR E: $p=0,014$). Eteläisen timotein (BOR E) yksittäisten versojen painot olivat suurimmat korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) ja pitkässä päivässä (14 h) ja pienimmät alhaisimmassa (5 °C) kasvulämpötilassa, mutta muilla linjoilla erot eivät olleet näin suoraviivaiset. Pohjoinen timotei (BOR P) sekä Grindstad versoivat eniten korkeimmassa kasvulämpötilassa (15 °C), minkä vuoksi niiden yksittäisten versojen painot olivat pienemmät korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) kuin alhaisissa lämpötiloissa (5 ja 10 °C). Eteläisen (BOR E) ja pohjoisen timotein (BOR P) ero yksittäisten versojen painoissa oli merkitsevä ($p=0,000$).

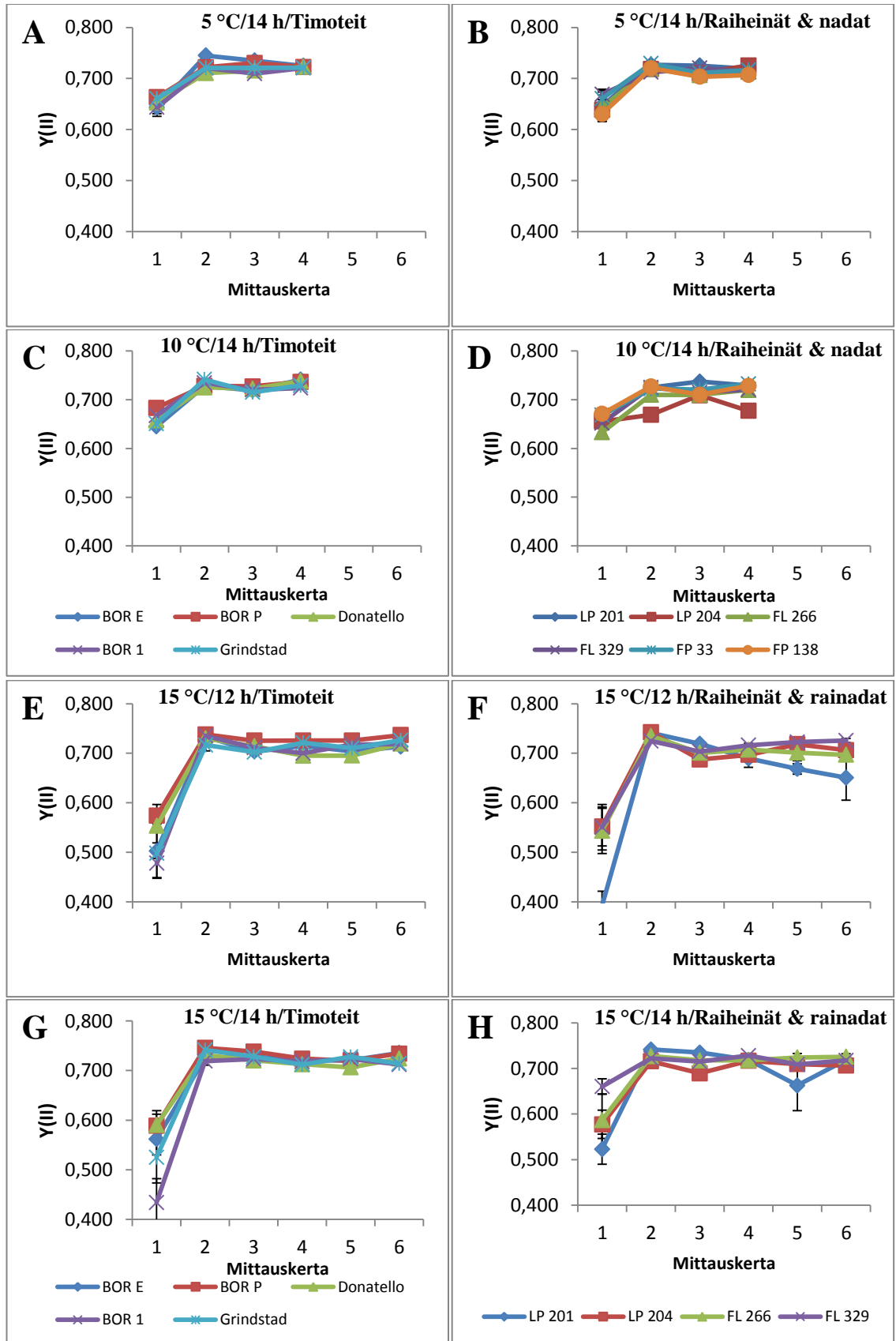
Genotyypin ja käsittelyn vaikutus oli merkitsevä englanninraiheinien, rainatojen ja nurminatojen yksittäisen verson painoon ($p=0,000$), mutta yhdysvaikutusta ei ollut ($p=0,163$). Rainatojen versopainot olivat suuremmat korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) verrattuna alhaisiin lämpötiloihin (5 ja 10 °C), mutta linjojen välisiä eroja ei ollut ($p=0,582$). Niiden yksittäiset versot painoivat englanninraiheiniä enemmän (kuva 8B). Englanninraiheinälinjan 204 versot painoivat kaikissa kasvatusoloissa vähemmän kuin linjan 201, ja niiden väliset erot olivat merkitsevät ($p=0,003$). Myös nurminatalinja 138 yksittäisen verson paino oli selvästi linjaa 33 pienemmät ($p=0,000$) alhaisissa kasvulämpötiloissa (5 ja 10 °C).



Kuva 8. Yksittäisten versojen paino grammoina eri kasvuoloissa (SE, $n = 4$), (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*, FP = *Festuca pratensis*).

5.1.4 Klorofyllifluoresenssi

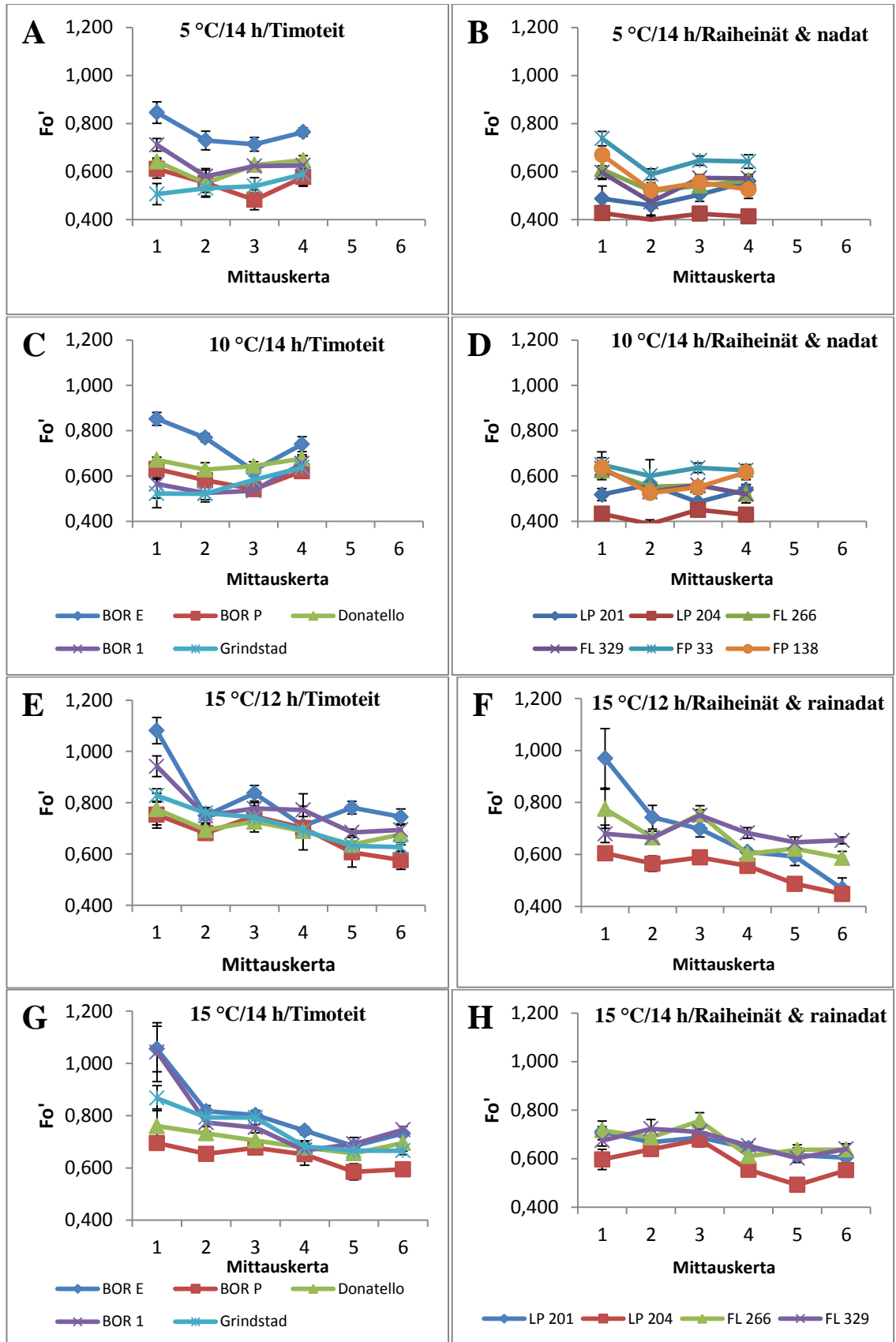
Tulosten perusteella kaikki tutkitut nurmikasvit sopeuttivat yhteyttämiskoneistonsa toiminnan kasvatuskaappien valotasoon verrattuna esikasvatusajan valo-olosuhteisiin (kuva 9), sillä ensimmäinen mittaus tehtiin ennen siirtoa koeoloihin. Alhaisimmassa kasvulämpötilassa timotein sekä rainatojen, nurminatojen ja englanninraiheinien yhteyttämisaktiivisuus oli samantasoista (kuva 9AB). Timoteilinjojen fotosysteemi II:n tehokkuus (Y(II)-arvo) vakiintui kaikissa tutkituissa kasvatusoloissa samalle tasolle (kuva 9A, C, E ja G). Viimeisten fluoresenssimittausten perusteella timoteigenotyypin yhteyttämisaktiivisuudessa oli merkitseviä eroja eri käsittelyjen ja genotyyppien välillä ($p=0,000$) ja näillä tekijöillä oli myös yhdysvaikutusta ($p=0,001$). Englanninraiheinillä, rainadoilla ja nurminadoilla ei ollut tilastollisesti vastaavia eroja kokeiden lopetusvaiheessa ($p=0,624$, $0,159$ ja $0,081$).



Kuva 9. Kasvien yhteyttämistehokkuus ($Y(II)$) eri oloissa 4-6 mittauskertana (SE, $n = 4$). Havaintokerta 1 kuvaa lähtötilannetta. Kuvissa A-D havainnot on tehty viikoittain neljän viikon aikana ja kuvissa E-H joka toinen viikko kymmenen havaintoviikon aikana (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*, FP = *Festuca pratensis*).

Fluoresenssimittaustulosten perusteella lämpötila vaikutti F_o' -arvoon eli klorofyllifluoresenssin vähimmäismäärään (kuva 10). Kaikkien tutkittujen lajien F_o' -arvo aleni ensin alhaisissa kasvulämpötiloissa, mutta vakiintui vähitellen, kun kasvit sopeutuivat kasvatuskaappien valo-oloihin (kuva 10A – D). Alhaisimmassa lämpötilassa (5 °C) eteläisen timotein (BOR E) F_o' -arvo oli kaikista timoteigenotyypeistä suurin (kuva 10A). Alhaisimmassa kasvulämpötilassa (5 °C) timoteigenotyyppien F_o' -arvot olivat korkeampia kuin englanninraiheinien, rainatojen ja nurminatojen (kuva 10AB). Kokeiden lopetusmittausten perusteella genotyypillä oli merkitsevä vaikutus timoteilinjojen F_o' -arvoihin ($p=0,000$), mutta käsittelyillä ei ollut vaikutusta ($p=0,096$). Eteläisen timotein (BOR E) F_o' -arvo erosi merkitsevästi kaikista genotyypeistä (BOR P: $p=0,000$, Donatello: $p=0,007$, BOR 1: $p=0,016$ ja Grindstad: $p=0,000$).

Englanninraiheinillä, rainadoilla ja nurminadoilla genotyypin ($p=0,000$) ja käsittelyn ($p=0,000$) vaikutus F_o' – arvoon oli merkitsevä. Lisäksi edellä mainituilla tekijöillä oli yhdysvaikutusta ($p=0,001$). Alhaisten lämpötilojen (5 ja 10 °C) ja korkean lämpötilan (15 °C) sekä pitkän päivänpituuden (14 h) välillä oli merkitsevä ero ($p=0,001$ ja $0,000$) englanninraiheinien, rainatojen ja nurminatojen klorofyllifluoresenssin vähimmäismäärään, mutta lyhyen päivänpituuden (12 h) välillä eroa ei ollut ($p=0,980$ ja $0,999$). Päivänpituus vaikutti F_o' -arvoon korkeassa lämpötilassa (15 °C) ($p=0,001$). Englanninraiheinälinjojen F_o' -arvot erosivat toisistaan ($p=0,000$), mutta rainatalinjat eivät eronneet ($p=0,864$).



Kuva 10. Kasvien Fo' - arvo eri oloissa 4-6 mittauskertana (SE, $n = 4$). Havaintokerta 1 kuvaa lähtötilannetta. Kuvissa A-D mittaukset on tehty viikoittain neljän viikon aikana ja kuvissa E-H joka toinen viikko kymmenen viikon aikana (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*, FP = *Festuca pratensis*).

5.1.5 Liukoinen sokeripitoisuus

Alhaisimmassa kasvulämpötilassa (5 °C) kaikki nurmigenotyypit kerryttivät sokerivarastojaan (taulukko 4). Sen sijaan toiseksi alimmassa lämpötilassa (10 °C) eteläisen timotein (BOR E) liukoinen sokeripitoisuus pieneni alkutilanteeseen nähden, mutta muiden suureni. Myöskään eteläinen Donatello ei tällöin enää kerryttänyt varastosokereita lähes ollenkaan. Korkeassa lämpötilassa (15 °C) nurmigenotyypit, lukuun ottamatta pohjoista timoteita, kuluttivat liukoisia sokereita sekä kasvuun että hengitykseen, ja kulutus oli suurempaa lyhyessä (12 h) kuin pitkässä (14 h) päivässä. Lyhyemmässä päivänpituudessa myös yhteyttämismäärä yleensä alenee, mikä pienentää sokeripitoisuutta. Lyhyessä päivänpituudessa (12 h/15 °C) erityisesti englanninraiheinien liukoinen sokeripitoisuus pieneni huomattavasti. Sen sijaan pitkässä päivässä (14 h) ja korkeassa lämpötilassa (15 °C) ainoastaan pohjoinen timotei (BOR P) varastoi liukoisia sokereita. Alhaisimmassa lämpötilassa (5 °C) englanninraiheinien, rainatojen ja nurminatojen liukoinen sokeripitoisuus oli suurempi kuin timotein, mutta lyhyessä päivässä (12 h/15 °C) tilanne oli päinvastainen. Pohjoisen timotein (BOR P) liukoinen sokeripitoisuus oli korkeammassa lämpötiloissa (10 ja 15 °C) muita genotyyppejä suurempi.

Taulukko 4. Nurmiheinien liukoinen sokeripitoisuus (mg/g) osakokeiden aloitus- ja lopetusvaiheessa kasvatuskaappikokeessa (\pm = SE, $n = 2$), (LP = *Lolium perenne*, FL = *xFestulolium*, FP = *Festuca pratensis*).

	Aloitus 5 ja 10 °C/14 h mg/g	Lopetus 5 °C/14 h mg/g	Lopetus 10 °C/14 h mg/g	Aloitus 15 °C/12 ja 14 h mg/g	Lopetus 15 °C/12 h mg/g	Lopetus 15 °C/14 h mg/g
BOR E	85,2 ± 1,9	111,2 ± 0,2	81,2 ± 0,3	87,2 ± 1,7	22,2 ± 0,4	29,9 ± 1,8
BOR P	108,4 ± 1,1	153,8 ± 3,1	162,4 ± 5,5	99,4 ± 2,9	93,4 ± 0,4	104,2 ± 1,4
Donatello	89,9 ± 1,1	137,7 ± 1,0	91,8 ± 1,8	120,8 ± 0,3	46,2 ± 0,9	45,3 ± 0,5
BOR 1	61,6 ± 1,3	113,8 ± 1,3	96,4 ± 1,8	81,1 ± 0,4	34,9 ± 0,2	37,4 ± 0,4
Grindstad	94,7 ± 1,3	105,7 ± 0,4	117,4 ± 0,8	86,3 ± 9,1	34,4 ± 0,6	43,8 ± 1,5
LP 201	93,3 ± 1,3	253,0 ± 1,2	154,5 ± 5,1	101,8 ± 2,4	7,0 ± 0,2	26,4 ± 0,4
LP 204	40,8 ± 1,2	184,4 ± 4,3	98,5 ± 1,6	74,1 ± 3,1	10,1 ± 1,1	29,4 ± 0,1
FL 266	61,3 ± 0,5	220,4 ± 0,6	118,6 ± 3,6	57,6 ± 1,5	29,4 ± 0,2	59,2 ± 2,3
FL 329	51,0 ± 1,4	212,3 ± 9,0	130,3 ± 0,8	70,0 ± 0,2	21,0 ± 1,3	54,8 ± 1,0
FP 33	59,3 ± 1,7	245,1 ± 2,0	167,5 ± 2,9	81,7 ± 1,9	31,5 ± 0,4	54,1 ± 0,3
FP 138	47,3 ± 0,8	198,0 ± 4,4	119,1 ± 0,3	68,9 ± 0,5	19,3 ± 0,1	54,3 ± 2,7

5.2 Peltokoe

5.2.1 Nurmikasvien syyskasvu

Nurmikasvien syyskasvusadot (kg ka/ha) kolmannen niiton jälkeen erosivat toisistaan merkitsevästi eri vuosina ($p=0,000$, taulukko 5). Parittaisissa vertailuissa lajikkeiden välillä ei ollut merkitseviä eroja syyskasvussa, eivätkä englanninraiheinien sekä rainatahybridien syyssadot eronneet ruokonata Retun ja nurminata Kasperin sadoista. Kaikkien lajikkeiden kuiva-ainesadot ja kuiva-aineprosentit olivat suurempia lokakuussa 2013 verrattuna lokakuuhun 2012. Vuodella ja lajikkeella oli merkitsevä vaikutus syyskasvuston kuiva-aineprosenttiin ($p=0,000$). Parittaisessa vertailussa rainatojen (Perun, Perseus Hostyn, Paulita, Felopa) kuiva-aineprosentit erosivat merkitsevästi useimpien englanninraiheinien (Picaro, Riikka, Fagerlin, Ivar, Mathilde, Jaran) kuiva-aineprosenteista. Syyskasvuston korkeus mitattiin ainoastaan syksyllä 2012, tällöin englanninraiheinä Ivarin kasvusto oli korkeinta (14 cm), mutta lajikkeiden korkeuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ($p=0,225$).

Taulukko 5. Nurmikasvien syyskasvu (kg ka/ha, kuiva-aineprosentti), sekä kasvuston korkeus (vain syksyllä 2012) lokakuussa 2012 ja 2013 ($\pm = SE$, $n = 3$), (ER = englanninraiheinä, HR = hybridiraiheinä, RN = rainata).

	2012	2013	2012	2013	2012
	Ka-sato/ha	Ka-sato/ha	Ka %	Ka %	Korkeus cm
ER Picaro	1011 ± 105	1509 ± 104	17,5 ± 0,4	26,5 ± 0,5	12 ± 0,7
ER Riikka	932 ± 36	1420 ± 96	18,2 ± 0,8	26,8 ± 1,0	12 ± 0,7
ER Indiana	983 ± 133	1451 ± 122	17,4 ± 0,4	25,8 ± 0,8	14 ± 1,0
ER Indicus	1046 ± 83	1538 ± 145	17,0 ± 0,7	26,3 ± 0,6	11 ± 0,6
ER Fagerlin	925 ± 161	1233 ± 144	18,4 ± 0,3	26,1 ± 0,5	11 ± 0,4
ER Birger	840 ± 126	1372 ± 52	17,4 ± 0,9	26,8 ± 0,7	12 ± 0,9
ER Ivar	763 ± 94	1828 ± 211	17,8 ± 0,2	25,4 ± 0,1	10 ± 0,7
ER Figgjo	924 ± 79	1587 ± 56	17,4 ± 0,3	25,7 ± 0,6	13 ± 0,8
ER Mathilde	1071 ± 159	1487 ± 82	17,5 ± 0,6	26,9 ± 0,8	12 ± 0,6
ER Jaran	866 ± 56	1549 ± 92	17,8 ± 0,3	25,9 ± 0,2	11 ± 0,3
HR Fenre	841 ± 144	1570 ± 24	17,7 ± 0,2	25,7 ± 0,5	12 ± 0,7
RN Fox	923 ± 51	1533 ± 236	18,2 ± 0,5	26,5 ± 0,6	13 ± 1,7
RN Hykor	694 ± 91	1494 ± 153	19,2 ± 0,2	24,7 ± 0,8	10 ± 0,6
RN Perun	803 ± 25	1265 ± 199	16,7 ± 0,3	23,4 ± 0,9	12 ± 0,9
RN Perseus	678 ± 9	1455 ± 211	16,9 ± 0,4	22,9 ± 0,2	12 ± 1,5
RN Hostyn	543 ± 81	1382 ± 84	17,1 ± 0,2	22,2 ± 0,5	10 ± 1,0
RN Paulita	779 ± 132	1478 ± 96	17,0 ± 0,6	23,5 ± 0,2	12 ± 2,0
RN Felopa	633 ± 62	1223 ± 75	17,2 ± 0,1	23,2 ± 0,3	11 ± 0,4
Ruokonata	710 ± 170	1148 ± 131	18,5 ± 0,6	25,3 ± 0,5	11 ± 1,2
Retu					
Nurminata	579 ± 15	1353 ± 21	19,0 ± 0,4	27,2 ± 0,3	10 ± 1,0
Kasper					

Nurmikasvien tähkätiheysprosentit arvioitiin ennen toista niittoa kumpanakin koevuotena sadon laadun arvioimiseksi. Tähkätiheysprosentit olivat merkittävästi suurempia vuonna 2012 kuin 2013 (taulukko 6). Sekä vuodella että lajikkeella ja näiden yhdysvaikutuksella oli merkitsevä vaikutus tähkätiheyteen ($p=0,000$). Ruokonata Retun, nurminata Kasperin ja rainata Hykorin (6x) tähkätiheysprosentit olivat merkittävästi alhaisempia verrattuna muihin lajikkeisiin. Edellä mainitut lajikkeet eivät kukkineet jälkimmäisenä kesänä ennen toista niittoa lainkaan. Parittaisessa vertailussa englanninraiheinien ja rainatojen välillä ei ollut merkitseviä eroja tähkätiheysprosentteissa.

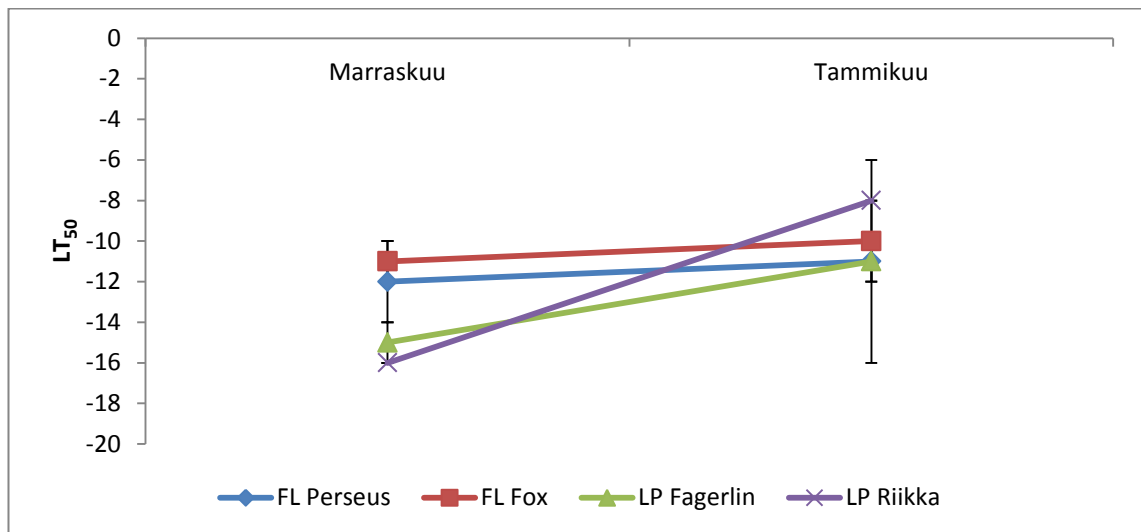
Taulukko 6. Tähkätiheysprosentti ennen toista niittoa vuosina 2012 ja 2013 ($\pm = SE$, $n = 3$), (ER = englanninraiheinä, HR = hybridiraiheinä, RN = rainata).

	2012 Tähkätiheysprosentti ennen 2. niittoa	2013 Tähkätiheysprosentti ennen 2. niittoa
ER Picaro	63 \pm 6,7	10 \pm 2,9
ER Riikka	73 \pm 3,3	5 \pm 0,0
ER Indiana	77 \pm 3,3	30 \pm 11,5
ER Indicus	68 \pm 4,4	25 \pm 7,6
ER Fagerlin	77 \pm 3,3	15 \pm 2,9
ER Birger	63 \pm 3,3	37 \pm 13,3
ER Ivar	67 \pm 6,7	20 \pm 10,4
ER Figgjo	70 \pm 5,8	28 \pm 10,9
ER Mathilde	78 \pm 1,7	35 \pm 13,2
ER Jaran	70 \pm 5,8	12 \pm 1,7
HR Fenre	77 \pm 3,3	37 \pm 6,7
RN Fox	53 \pm 6,7	10 \pm 2,9
RN Hykor	5 \pm 2,9	0 \pm 0,0
RN Perun	83 \pm 8,8	13 \pm 4,4
RN Perseus	90 \pm 5,8	18 \pm 7,3
RN Hostyn	83 \pm 8,8	15 \pm 5,0
RN Paulita	83 \pm 8,8	25 \pm 2,9
RN Felopa	80 \pm 5,8	18 \pm 7,3
Ruokonata Retu	7 \pm 4,4	0 \pm 0,0
Nurminata Kasper	8 \pm 1,7	0 \pm 0,0

5.2.2 Kylmänkestävyys

Englanninraiheinien (Riikka, Fagerlin) ja rainatojen (Fox, Perseus) kylmänkestävyysarvot (LT_{50}) mitattiin marras- ja tammikuussa. Kylmänkestävyys oli kaikilla lajikkeilla parempi marras- kuin tammikuussa. Rainatojen kylmänkestävyys oli

marraskuussa selvästi heikompi kuin englanninraiheinien, mutta tammikuussa vastaavia eroja ei enää ollut (kuva 11).



Kuva 11. Englanninraiheinälajikkeiden (Riikka, Fagerlin) sekä rainatalajikkeiden (Fox, Perseus) kylmänkestävyysarvo (LT_{50}) kahtena eri havaintoajankohtana talven 2012 – 2013 aikana. Arvot on laskettu kahden toiston keskiarvona (SE, $n = 2$), (FL = *xFestulolium*, LP = *Lolium perenne*).

5.2.3 Talvehtiminen

Nurmikasvien talvehtimisen onnistumista arvioitiin syksyllä ja keväällä tehdyillä peittävyyshavainnoilla (taulukko 7) ja laskemalla talvituhon suuruus prosenttiosuutena. Tulosten perusteella vuodella, lajikkeella ja näiden yhdysvaikutuksella oli merkitsevä vaikutus talvituhon suuruuteen ($p=0,000$). Ensimmäinen talvi 2011 – 2012 oli suotuisa kaikkien lajikkeiden ja lajien talvehtimiseen ja englanninraiheinien talvehtiminen onnistui rainatoja paremmin: rainatojen (Perun, Perseus, Hostyn, Paulita, Felopa) talvituhot eli peittävyys heikkeneminen oli 3 – 10 %, mutta englanninraiheinillä peittävyys ei heikentynyt. Myös hybridiraiheinän (Fenre) talvehtiminen onnistui ensimmäisenä talvena. Seuraava talvi 2012 – 2013 oli haastava monille lajikkeille, eikä talvehtiminen onnistunut ensimmäisen talven tavoin, lukuun ottamatta nurminataa (Kasper), ruokonataa (Retu) ja yhtä rainataa (Hykor). Tällöin erityisesti rainadat (Perun, Perseus, Hostyn, Paulita ja Felopa) kärsivät merkittävästä talvituhosta (noin 90 %), Perseuksen ollessa selvästi heikoin talvehtija. Englanninraiheinistä Riikan ja Jaranin talvituhot olivat vain 15 % ja niiden talvehtiminen onnistui muita englanninraiheiniiä paremmin. Riikan peittävyys oli englanninraiheinistä parhain toisen talven jälkeen. Parittaisessa vertailussa Riikan talvituhon suuruus erosi merkitsevästi useimmista

muista raiheinistä (Picaro, Indiana, Indicus, Figgjo, Mathilde, Fenre). Myös hybridiraiheinä Fenre kärsi talvituhoista toisena talvena, mutta sen peittävyys ei kuitenkaan ollut heikoin verrattuna muihin raiheiniin.

Taulukko 7. Nurmiheinälajien- ja lajikkeiden talvehtiminen syksyn ja kevään peittävyysarvioina (keskiarvo kolmesta kerranteesta, %), (\pm = SE, $n = 3$), (ER = englanninraiheinä, HR = hybridiraiheinä, RN = rainata).

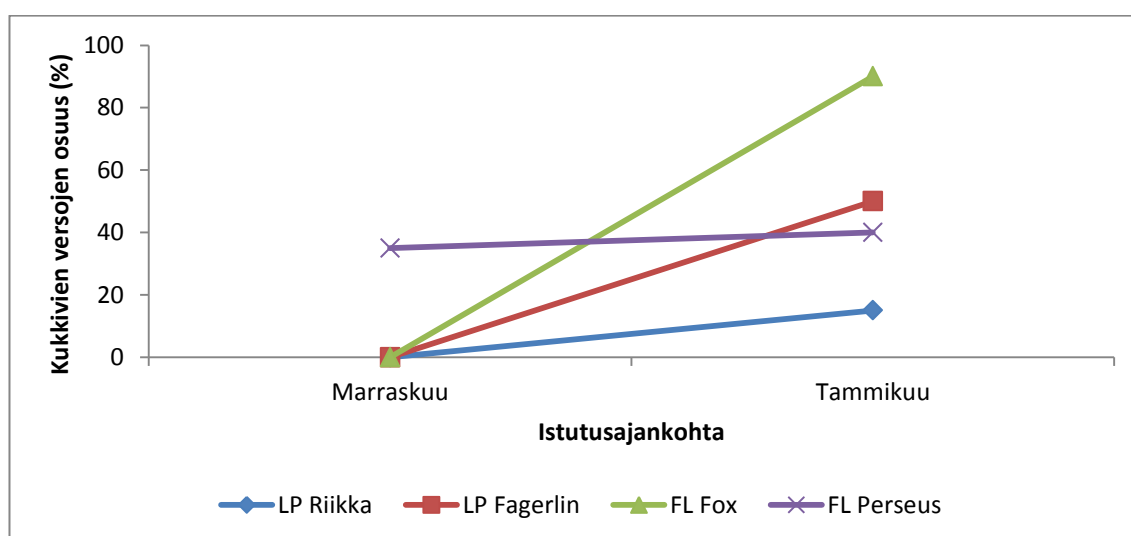
	Peittävyys syksy 2011 (%)	Peittävyys kevät 2012 (%)	Peittävyys syksy 2012 (%)	Peittävyys kevät 2013 (%)
ER Picaro	83 ± 7,3	83 ± 7,1	97 ± 3,3	53 ± 6,6
ER Riikka	95 ± 2,9	100 ± 0,0	100 ± 0,0	85 ± 2,9
ER Indiana	95 ± 2,9	97 ± 3,3	97 ± 1,7	22 ± 4,4
ER Indicus	83 ± 16,7	87 ± 13,3	90 ± 7,6	45 ± 5,0
ER Fagerlin	87 ± 18,8	97 ± 1,7	97 ± 1,7	58 ± 7,3
ER Birger	90 ± 5,8	100 ± 0,0	97 ± 3,3	55 ± 8,7
ER Ivar	70 ± 10,4	70 ± 10,4	80 ± 15,0	63 ± 6,6
ER Figgjo	78 ± 3,3	88 ± 4,4	93 ± 4,4	40 ± 5,0
ER Mathilde	97 ± 3,3	100 ± 0,0	98 ± 1,7	52 ± 4,4
ER Jaran	72 ± 12,0	77 ± 12,0	90 ± 10,0	75 ± 2,9
HR Fenre	82 ± 10,9	87 ± 8,8	90 ± 5,0	43 ± 3,3
RN Fox	73 ± 10,2	78 ± 11,7	90 ± 7,6	60 ± 5,8
RN Hykor	57 ± 13,6	67 ± 23,5	78 ± 14,3	88 ± 4,4
RN Perun	83 ± 7,3	78 ± 3,3	85 ± 7,6	7 ± 1,7
RN Perseus	85 ± 5,8	78 ± 6,0	92 ± 1,7	8 ± 1,7
RN Hostyn	73 ± 12,0	67 ± 23,3	78 ± 16,7	8 ± 1,7
RN Paulita	78 ± 8,3	75 ± 10,4	85 ± 2,9	17 ± 1,7
RN Felopa	78 ± 3,3	77 ± 1,7	88 ± 4,4	10 ± 0,0
Retu	57 ± 12,0	57 ± 8,8	70 ± 16,1	75 ± 22,6
Kasper	75 ± 5,0	82 ± 7,3	97 ± 3,3	100 ± 0,0

Valittujen lajikkeiden (englanninraiheinä Riikka, Fagerlin ja rainata Fox, Perseus) versojen kasvupotentiaalia arvioitiin neljänä eri ajankohtana talven 2012 – 2013 aikana (taulukko 8), ja istutusajankohdan ja kymmenen vuorokauden kasvun välisestä muutoksesta laskettiin prosenttiosuus. Toistojen välillä oli suuria eroja (taulukko 8). Marraskuussa Perseuksen ja Fagerlinin kasvukyky oli parhain ja Foxin heikoin. Rainatojen talvehtimishaasteet näkyivät helmikuussa, sillä Perseuksen versot kuolivat, ja myös Foxin versojen kasvupotentiaali oli heikko. Sen sijaan englanninraiheinien versot olivat elinvoimaisia. Kesäkuuhun mennessä kaikkien kasvukyky palautui.

Taulukko 8. Englanninraiheinälajikkeiden (Riikka, Fagerlin) sekä rainatalajikkeiden (Fox, Perseus) versotiheys istutusvaiheessa ja versolukumäärän muutosprosentti istutusajankohdan sekä 10 vuorokauden kasvatusajan välisenä aikana. Toistot poikkesivat suuresti toisistaan, siksi taulukossa esitetään toistot erikseen.

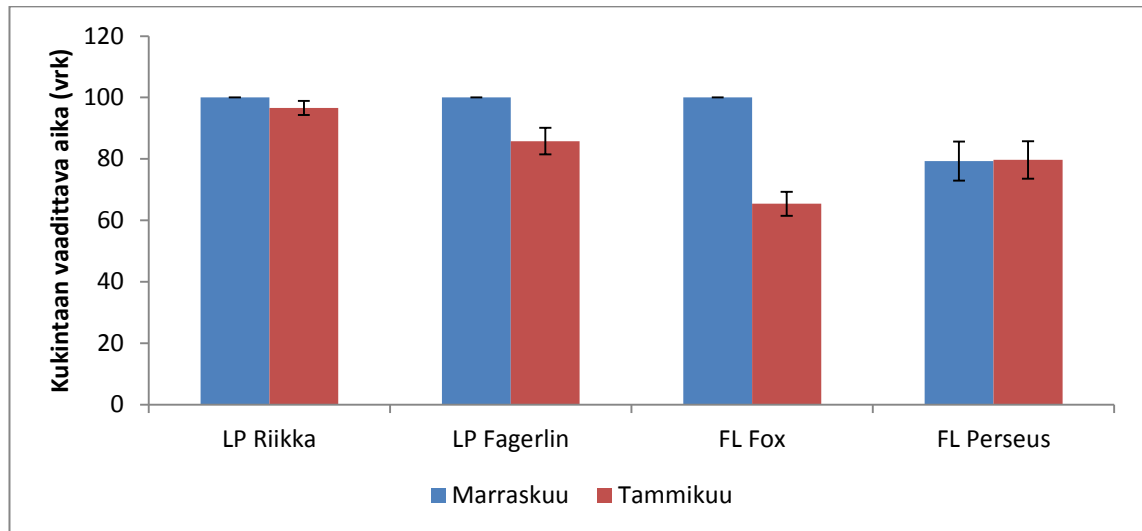
	Marraskuu		Helmikuu		Toukokuu		Kesäkuu	
	Versolkm alussa	Muutos %	Versolkm alussa	Muutos %	Versolkm alussa	Muutos %	Versolkm alussa	Muutos %
Riikka(1)	70	-8,6	79	7,6	48	10,4	76	85,5
Riikka(2)	210	0,0	103	25,2	106	-38,7	60	100,0
Riikka(3)	150	46,7	-	-	-	-	-	-
Fagerlin(1)	140	38,6	67	29,9	52	82,7	48	87,5
Fagerlin(2)	140	54,3	60	73,3	57	38,6	70	131,4
Fagerlin(3)	240	-2,5	-	-	-	-	-	-
Fox(1)	85	-4,7	105	1,9	5	200,0	41	58,5
Fox(2)	115	5,2	164	13,4	39	48,7	54	83,3
Fox(3)	215	-5,1	-	-	-	-	-	-
Perseus(1)	110	0,9	56	-3,6	6	33,3	3	200,0
Perseus(2)	89	47,2	46	0,0	13	-100,0	5	40,0
Perseus(3)	105	54,3	-	-	-	-	-	-

Kukkivien versojen osuus eli vernalisaatiovasteen täytyminen laskettiin marraskuussa ja tammikuussa istutetuista kontrollikasveista. Perseuksella oli kukintavalmius jo marraskuun istutuksessa ja sen kukkivien versojen osuus oli tällöin 40 % (kuva 12). Sen sijaan englanninraiheinät ja rainata Fox eivät kukkineet vielä marraskuussa. Tammikuussa kaikilla muilla lajikkeilla oli kukintavalmius lukuun ottamatta pohjoista englanninraiheinää Riikkaa, jonka versoista vain 10 % kukki. Foxin kukintavalmius kehittyi tutkituista lajikkeista nopeimmin, koska sen kukkivien versojen osuus oli tammikuussa jo 90 %.



Kuva 12. Kukkivien versojen osuus prosentteina eli vernalisaatiovaste ($n = 20$. 10 kasvia/toisto) kahtena eri istutusajankohtana (LP = *Lolium perenne*, FL = *Festulolium*).

Pohjoisen alkuperänsä vuoksi Riikan kukintaan vaadittava aika oli pisin (kuva 13). Sen sijaan rainatalajikkeella Perseuksella oli kukintavalmius jo joulukuussa ja sen kukintaan vaadittava aika oli tällöin lyhin. Kaikista tutkituista lajikkeista Riikka oli lepotilassa vielä tammikuussa, mutta Foxin kukintaan vaadittava aika oli lyhentynyt lähes 40 vuorokaudella marraskuuhun verrattuna, jolloin aika oli kaikista lajikkeista lyhin.



Kuva 13. Englanninraiheinälajikkeiden (LP, Riikka, Fagerlin) sekä rainatalajikkeiden (FL, Fox, Perseus) kukintaan vaatima aika vuorokausina. Kaikkien kukkimattomien versojen kukintavaatimusajaksi on oletettu 100 vrk ($n = 20$. 10 kasvia/toisto, SE, $n = 20$).

5.2.4 Vararavintovarojen kertyminen

Peltokoekasvien liukoinen sokeripitoisuus oli suurimmillaan marraskuussa (taulukko 9). Kuolleen kasvimateriaalin vuoksi erityisesti Fagerlinin ja Perseuksen liukoinen sokeripitoisuus oli erittäin pieni helmikuussa. Näin ollen näytteiden sokeripitoisuudet olivat kesäkuussa huomattavasti suurempia kuin helmikuussa. Tulosten perusteella kaikkien lajikkeiden liukoinen sokeripitoisuus pieneni marraskuusta helmikuuhun.

Taulukko 9. Englanninraiheinien (ER Riikka, Fagerlin) ja rainatojen (RN Fox, Perseus) liukoinen sokeripitoisuus kolmena (mg/g) eri näytteenkeruuajankohtana peltokokeessa. Marraskuun näytteiden pitoisuudet on laskettu kolmen toiston keskiarvona (SE, $n = 3$), helmikuun ja kesäkuun näytteet ovat yhdestä toistosta (SE, $n = 2$).

	Marraskuu*	Helmikuu	Kesäkuu
	mg/g	mg/g	mg/g
ER Riikka	106,0 ± 2,8	54,9 ± 0,5	68,1 ± 1,4
ER Fagerlin	99,7 ± 1,4	9,6 ± 0,2	52,2 ± 0,9
RN Fox	116,0 ± 11,5	55,3 ± 1,8	51,0 ± 0,5
RN Perseus	103,9 ± 4,8	7,3 ± 0,1	39,7 ± 0,3

*) $n=3$

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Kasvatustaapikoe

6.1.1 Kasvu ja kehitys

Nurmikasvien kasvu ilmenee pituuskasvuna, mutta myös sivuversojen ja lehtien lukumäärän tai painon kasvuna. Tässä tutkimuksessa päivänpituus ja lämpötila rajoittivat valikoitujen lajien kasvua eri tavoin, ja timotein todettiin olevan herkempi lämpötilan rajoittavalle vaikutukselle kuin englanninraiheinien ja rainatojen. Alhainen lämpötila pysäytti kaikkien nurmikasvien pituuskasvun, eivätkä ne muodostaneet myöskään uusia lehtiä. Englanninraiheinät ja rainadat versoivat jo alhaisissa lämpötiloissa, mutta timoteit eivät. Pohjoinen timotei ei kasvanut korkeutta missään kasvulämpötilassa, mutta se versoi runsaasti korkeimmassa lämpötilassa. Vastaavasti Heiden (1982) tutkimuksessa lämpötilan nousu (12 °C → 18 °C) lisäsi timotein versomista, mutta lisäksi päivänpituuden ja lämpötilan välillä todettiin olevan merkitsevä yhteisvaikutus. Lämpötila on rajoittava tekijä myös syysvehnillä, sillä alhainen lämpötila hidastaa merkittävästi niiden syyskasvua (Hanslin ja Mortensen 2010). Tässä tutkimuksessa nurminadat kärsivät lehtivioituksesta toisessa osakokeessa, jolloin niiden kasvu heikkeni huomattavasti, eikä niistä mitattuja tekijöitä voitu ottaa huomioon tulosten analysoinnissa. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin ennustaa, että englanninraiheinät ja rainadat kasvanevat syksyisin päivänpituudesta riippumatta. Ilmatieteen laitoksen (2009) ennustama syksyn piteneminen tarkoittaa, että yli 0 °C lämpötilat voivat kestää jopa kaksi kuukautta pidempään. Tällöin timotei

(etenkään pohjoinen) ei kasva, mutta rainatojen kasvu on mahdollista. Rainadan syyskasvun riittävyttä ei kuitenkaan pystytä tämän tutkimuksen perusteella osoittamaan. Tämän vuoksi tarvittaisiin jatkotutkimuksia, jotta voitaisiin tarkemmin arvioida rainadan syyskasvukykyä ja käyttömahdollisuutta esimerkiksi laitumissa. Tämän tutkimuksen mukaan 15 °C mahdollisti englanninraiheinien ja rainatojen pituuskasvun, mutta versominen ja biomassan muodostus oli mahdollista jo alhaisemmissa lämpötiloissa (5 ja 10 °C). Lauhkean vyöhykkeen nurmikasvien lämpötilaherkkyys todettiin myös Ostremin ym. (2013b) tutkimuksessa, jossa englanninraiheinä, rainata- ja nurminatalajikkeiden syyskasvu hidastui ajan kuluessa syyskuusta joulukuun alkuun. Loka-marraskuussa vallinnut lämpimämpi sääjakso mahdollisti kuitenkin nurmilajien nopean reagoinnin lämpötilan muutokseen, mikä ilmeni lehtien kasvuna.

Erityisesti eteläistä alkuperää olevilla timoteilla 14 tunnin päivänpituus osoittautui pituuskasvun vapauttavaksi tekijäksi, koska ne kasvoivat korkeutta selvästi enemmän pitkässä päivänpituudessa, vaikka lämpötila oli optimaalinen lyhyessäkin päivänpituudessa. Pohjoiselle timoteille 14 tunnin päivänpituus oli sen sijaan kriittinen, koska sen pituuskasvu päättyi jo pitkässä päivässä. Tämän tutkimuksen pohjoisella timoteilla oli vernalisaatiovaatimus. Vastaavasti Heiden (1982) tutkimuksessa todettiin, että sekä eteläisillä että pohjoisilla timoteigenotyypeillä korren pidentymistä ei ilmene 12 tunnin päivänpituudessa 20 viikonkaan kuluessa. Eri lajikkeiden päivänpituusvaatimukset riippuvat lajikkeiden alkuperästä ja esimerkiksi Grindstad vaatii 14 tunnin päivänpituuden kukkiakseen (Heide 1982). Lämpötilan ja päivänpituuden yhteisvaikutus osoittautui merkittäväksi tässä tutkimuksessa. Nurmikasveille, erityisesti timoteille, valojakson pituuteen (14 h) reagointi mahdollistui vasta korkeimmassa kasvulämpötilassa (15 °C), sillä alhaisemmat lämpötilat (5 ja 10 °C) olivat liian alhaisia kaikkien nurmikasvien pituuskasvuun. Myös Heiden ym. (1985) tutkimuksessa todettiin, että 15 °C ja hieman sitä alemmat lämpötilat mahdollistivat timotein kasvun reagoinnin pidentyneeseen valojaksoon.

Timotein versominen on hitaampaa ja vähäisempää kuin englanninraiheinien (Höglind ym. 2001), mikä osoitettiin myös tässä tutkimuksessa. Kaikki muut genotyypit versoivat alhaisissakin kasvulämpötiloissa, mutta timotein versominen oli vähäistä. Eteläinen timotei muodosti elongoituvia pääversoja korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) ja pitkässä päivässä (14 h), mikä vähensi edelleen sivuversojen muodostumista.

Kukkivien versojen ja sivuversojen lukumäärän välillä on negatiivinen korrelaatio (-0,6) (Heide 1982). Heiden ym. (1982, 1985) mukaan valojakson pidentyminen vähentää versomista, mutta tässä tutkimuksessa englanninraiheinien, rainatojen, pohjoisen timotein ja eteläisen Grindstadin versominen lisääntyi, kun päivää pidennettiin kahdella tunnilla. Sivuversojen muodostamisen sijaan timoteikasvustot ovat lehtevämpiä verrattuna nata- ja englanninraiheinägenotyyppisiin (Höglind ym. 2001), mikä havaittiin tässäkin tutkimuksessa suurempana lehtien osuutena kaikissa kasvuoloissa. Toisaalta timotein kuolleiden lehtien osuus oli suurempi kuin muilla genotyypeillä, mikä on todettu myös aiemmissa tutkimuksissa (Virkajärvi ja Järvenranta 2001). Kriittinen lämpötila timotein lehtien vähenemiselle oli 15 °C, ja tällöin korkea lämpötila vähensi erityisesti pohjoisen timotein lehtiä merkittävästi. Heiden ym. (1985) tutkimuksessa timotein lehtilukumäärä ei muuttunut jatkuvassa valossa, mutta tässä tutkimuksessa erityisesti pohjoisen timotein lehdet vähenivät pitkässä päivässä enemmän kuin lyhyessä. Virkajärven ja Järvenrannan (2001) peltokokeessa timotein kuolleiden lehtien osuus oli nurminataa suurempi sekä kevät- että syyskasvustossa. Vastaavasti Virkajärven ym. (2012) tutkimuksessa timotein ensimmäisen sadon vegetatiivisista versoista suurempi osuus oli kuollutta kasvimateriaalia verrattuna ruokonataan, mutta elongoituvissa versoissa ei ollut eroja lajien välillä. Kuollut kasvimateriaali vaikuttaa rehun sulavuuteen ja sen vuoksi rehun ravinnolliseen arvoon (Deinum ym. 1981).

Timoteigenotyyppien tuorepainoissa ei ollut eroja alhaisissa lämpötiloissa (5 ja 10 °C), minkä vuoksi voidaan todeta, että viiden asteen lämpötilan nousu alhaisissa kasvulämpötiloissa ei riitä vielä kartuttamaan niiden biomassaa merkittävästi enemmän. Sen sijaan korkein tässä tutkimuksessa tutkittu lämpötila (15 °C) on lähellä lauhkean alueen nurmikasvien optimikasvulämpötilaa (Fales ja Fritz 2007, Bertrand ym. 2008), mikä osoittautui myös tässä tutkimuksessa pituuskasvun vapauttavaksi lämpötilaksi. Erityisesti timoteigenotyyppien tuorepaino lisääntyi, kun lämpötilaa nostettiin (5 ja 10 °C → 15 °C). Optimaalisen (~15 °C) lämpötilan on todettu aiemmissakin tutkimuksissa olevan suotuisin timotein kuiva-aineen muodostukseen ja päivänpituuden lisääminen edistää kuiva-aineen tuottoa (Heide ym. 1985, Bertrand ym. 2008). Tässä tutkimuksessa tuorepainon lisääntyminen päivän pidentyessä osoitettiin selvemmin eteläistä alkuperää olevilla genotyypeillä (BOR E, Donatello, Grindstad), kun taas pohjoiseen timoteihin (BOR P) päivän piteneminen ei vaikuttanut. Tässä tutkimuksessa ei mitattu lehtilavan pituutta tai lehtisolujen kokoa, mikä Heiden ym. (1985) mukaan suurentaa lehtialaa

jatkuvassa valossa. Siksi tässä tutkimuksessa ei voitu erotella lehtilavan suurenemisesta johtuvaa biomassan kertymistä. Eteläisen timotein (BOR E) tuorepainon lisääntyminen korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) ja pitkässä päivässä (14 h) verrattuna lyhyeen (12 h) päivään, johtui pituuskasvusta ja painavien elongoituvien versotyypin muodostamisesta, kun taas pohjoisen timotein (BOR P) tuorepaino koostui runsaasta sivuversojen lukumäärästä. Siksi Grindstadin ja pohjoisen timotein yksittäisten versojen painot olivat huomattavasti pienemmät korkeassa lämpötilassa verrattuna alhaisiin lämpötiloihin. Eteläisellä timoteilla yksittäisten versojen paino sen sijaan suureni lämpötilan noustessa ja oli suurimmillaan korkeimmassa lämpötilassa (15 °C) ja pitkässä päivässä (14 h).

Rainatojen biomassa oli kaikista tutkituista genotyypeistä suurin kaikkien kasvatusolojen jälkeen. Rainatojen suurempi biomassa pitkässä päivässä (14 h) koostui runsaammasta sivuversojen muodostuksesta verrattuna lyhyeen päivään (12 h), pituuskasvun ja lehtien muodostuksen vaikutus oli vähäisempi. Lisäksi lämpötilan nosto jo alhaisissa kasvulämpötiloissa (5 °C → 10 °C) mahdollisti suuremman biomassan tuoton. Helgadóttirin ja Kristjansdóttirin (2013) Islannissa tehdyssä peltokokeessa rainatahybridien syyskasvu oli voimakkaampaa verrattuna englanninraiheinään sekä nurminataan syyskuun ja marraskuun välisenä aikana (keskilämpötilojen vaihtelu 0 °C - +5 °C). Rainatojen kasvukyvyyn on todettu aiemmissä tutkimuksissa olevan hyvä ja erityisesti jälkikasvu on lehtevää (Ostrem ja Larsen 2008). Englanninraiheinägenotyypeistä vernalisaation vaativa linja 204 tuotti biomassaa sekä lyhyessä (12 h) että pitkässä (14 h) päivänpituudessa. Sen sijaan englanninraiheinälinjan 201 (ei vernalisaatiovaatimusta) tuorepaino oli samansuuruinen sekä lyhyen päivän (12 h) kasvuoloissa että alhaisten lämpötilojen (5 ja 10 °C) oloissakin. Englanninraiheinälinja 201 ei myöskään versonut yhtä paljon kuin linja 204 lyhyessä päivänpituudessa, eikä varastoinut sokereita lainkaan. Tämän vuoksi voidaan olettaa, että se kulutti sokerivarastojaan kasvun sijasta hengitykseen. Myöskään rainadat eivät versonet lyhyessä päivässä enempää kuin alhaisissa lämpötiloissa. Vernalisaation vaativa rainatalinja 329 versoi kaikissa kasvuoloissa vähemmän kuin linja 266 (ei vernalisaatiovaatimusta), mutta niiden biomassan muodostus oli kuitenkin samantasoista. Vernalisaatiovaatimuksella ei ollut selkeää yhteyttä rainatojen kasvuun.

6.1.2 Yhteyttämisen aktiivisuus

Yhteyttäminen ei pysähtynyt alhaisista kasvulämpötiloista huolimatta ja kaikki nurmigenotyypit sopeutuivat nopeasti kasvatuskaappien valotasoon. Myös Ostrem ym. (2013) havaitsivat tutkimuksessaan, että Etelä-Norjassa kasvatettujen englanninraiheinien, rainatojen ja nurminatojen yhteyttämistoiminta jatkui aktiivisena syksyn ajan. Höglindin ym. (2011) tutkimuksessa englanninraiheinän yhteyttäminen oli samantasoista lämpötilasta riippumatta (2, 6 ja 9 °C) valon intensiteetin ollessa 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Heidän tutkimuksensa perusteella kylmäkaraistuneet kasvit kykenevät yhteyttämään myös pakkaslämpötiloissa (alle 0 °C) ja eteläisen englanninraiheinän (lajike Gunne) alhaisin yhteyttämislämpötila oli -4 °C. Yhteyttämisen aktiivisuudesta huolimatta lehdet ja versot eivät kasvaneet alhaisissa kasvulämpötiloissa (alle +5 °C) (Höglind ym. 2011). Yhteyttämiskoneiston toiminta on välttämätöntä kylmäkaraistumisen alkaessa, jotta kasvit kykenevät kerryttämään riittävästi hiilihydraatteja kylmänkestävyyden varmistamiseksi (Sakai ja Larcher 1987).

6.1.3 Vararavintovarojen kertyminen eri syyskasvuoloissa

Alhaisissa kasvulämpötiloissa kaikkien genotyyppien liukoinen sokeripitoisuus suureni, sillä nurmikasvit varastoivat tuottamiaan hiilihydraatteja, eivätkä käyttäneet niitä pituuskasvuun. Sen sijaan korkeassa kasvulämpötilassa (15 °C) ja erityisesti lyhyessä päivänpituudessa (12 h) ne käyttivät sokereitaan yhteyttämiseen ja kasvuun, jolloin pitoisuudet pienenevät huomattavasti. Sitä vastoin Hanslinin ja Mortensenin (2010) tutkimuksessa vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus ei pienentynyt syysvehnillä syksyn aikana, vaikka valoa oli 30 % vähemmän verrattuna kontrollikäsittelyyn. Sen sijaan pelkkä lämpötilan nousu pienensi kokonaissokeripitoisuutta myös Hanslinin ja Mortensenin (2010) kasvatuskaappikokeessa. Tässä tutkimuksessa ainoastaan pohjoinen, talviolosuhteisiin sopeutunut timotei varastoi sokereita, kun lämpötila oli 15 °C. Vastaavasti Höglindin ym. (2010) tutkimuksessa pohjoisen, talvenkestävän timotein (lajike Engmo) vesiliukoinen sokeripitoisuus oli eteläisempää timoteitä (lajike Grindstad) suurempi. Myös Sunden (1996) peltokokeessa pohjoisen timotein (Engmo) kokonaissokeripitoisuus oli Grindstadia suurempi. Sunden (1996) mukaan pohjoinen lajike saattaa kyetä hajottamaan fruktaaneja eteläistä lajiketta paremmin ylläpitääkseen hengitystään sekä selviytymiskykyään talven ajan (Sunde 1996). Vesiliukoisten hiilihydraattien pieni pitoisuus kylmäkaraistumisen aikana heikentää kylmänkestävyyttä

(Hanslin ja Höglind 2009) ja syyslämpötilojen nousu pienentää kasvien kokonaissokeripitoisuutta, minkä vuoksi myös kylmänkestävyys heikkenee (Hanslin ja Mortensen 2010). Tämän vuoksi voidaan ennustaa, että kohoavat syyslämpötilat vaikeuttavat kylmäkaraistumista, koska tässä tutkimuksessa sokerit käytettiin yhteyttämiseen ja kasvuun korkeimmassa lämpötilassa (15 °C), eikä niitä varastoitu kylmänkestävyyden varmistamiseksi.

6.2 Peltokoe

6.2.1 Kylmänkestävyys ja talvehtimisen onnistuminen

Englanninraiheinien ja rainatojen kylmänkestävyys heikkeni marraskuun 2012 ja tammikuun 2013 välisenä aikana. Rainatojen alentunut kylmänkestävyys oli yhteydessä kukintavalmiuden etenemiseen marras-tammikuussa, sillä kummatkin rainadat kukkivat jo tammikuussa (Fox 90 %, Perseus 40 %). Fowler ym. (1996) havaitsivat vastaavasti syysvehnällä ja -rukiilla tehdyissä kokeissaan, että kylmänkestävyys aleni, kun vernalisaatiovaatimus oli täyttynyt. Myös Seppänen ym. (2012) totesivat syysvehnällä tehdyissä kokeissaan kukintavalmiuden ja kylmänkestävyyden välisen yhteyden. Vernalisaatiovasteen täyttyminen ei kuitenkaan heikennä kylmänkestävyyttä kokonaan (Fowler ym. 1996). Tässä tutkimuksessa pohjoisella englanninraiheinällä Riikalla ei ollut kukintavalmiutta talven aikana, mikä kuvaa sen sopeutuvuutta pohjoisiin kasvuoloihin. Englanninraiheinien kylmänkestävyys oli marraskuussa hieman parempi kuin rainatojen ja Riikan kylmänkestävyysarvo oli tällöin kaikista tutkituista lajikkeista paras (-16 °C). Kaikkien lajikkeiden kylmänkestävyys kuitenkin heikkeni marras-tammikuun välisenä aikana. Sen sijaan Jorgensenin ym. (2010) Norjassa tehdyssä peltokokeessa Riikan kylmänkestävyysarvo parani loka-tammikuun välisenä aikana yli neljällä asteella. Höglindin ym. (2010) tutkimuksessa Riikan kylmänkestävyysarvo oli Pohjois-Norjassa parempi kuin eteläisessä Norjassa. Riikka kesti marras- ja tammikuussa yli -17 °C pohjoisessa, kun taas vastaavat arvot olivat eteläisessä Norjassa joulukuussa -9,6 °C ja tammikuussa -8,9 °C. Lämpimissä kasvuoloissa kylmänkestävyys on talvella yleensä heikompi kuin kylmemmissä oloissa (Hanslin ja Mortensen 2010). Tässä tutkimuksessa lajien kylmänkestävyydessä ei ollut eroja enää tammikuussa ja rainatojen LT₅₀-arvot olivat tällöin -11 °C ja -10 °C. Rapaczin ym. (2004) Puolassa tehdyssä peltokokeessa talvenkestävien rainatalinjojen RT₅₀-arvo oli -15 °C (RT₅₀ =

lämpötila, jossa jälkikasvu vähenee 50 %:lla kasveista). Talviolosuhteille herkkien rainatojen RT_{50} -arvo oli hieman heikompi (noin $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Rapacz ym. 2004).

Tässä tutkimuksessa englanninraiheinien (Riikka, Fagerlin) versot olivat elinvoimaisia talven aikana ja niiden kasvuunlähtökyky oli helmikuussa huomattavasti parempi kuin rainatojen (Fox, Perseus). Talviaikainen kasvukyky ei ollut kuitenkaan suoraan yhteydessä kevään jälleenkasvukykyyn, sillä esimerkiksi Riikan versominen oli toukokuussa heikompa kuin helmikuussa. Talven lopussa ja keväällä versojen kasvu voi olla hidasta kasvin hiilihydraattivarojen pienestä pitoisuudesta johtuen (Ostrem ym. 2010). Esimerkiksi Perseus ei kasvanut helmikuussa lainkaan, eikä sillä ollut varastohiilihydraatteja paljoakaan. Versojen elinvoimaisuuden arvioinnissa oli kuitenkin virhelähteitä, sillä kasvustonäytteet kerättiin vain yhdestä kerranteesta ja toistot erosivat suuresti toisistaan, jolloin tulosten luotettavuus kärsi.

Talvehtimisen onnistumisessa oli eroja vuosien ja lajikkeiden välillä. Ensimmäinen talvi oli nurmikasveille helpompi, kun taas toisena talvena ainoastaan rainatalajike Hykor (6x) sekä talvenkestävät ruokonatalajike Retu ja nurminatalajike Kasper selviytyivät talvesta kasvuston kärsimättä. Myös Ostremin ja Larsenin (2008) tutkimuksessa Hykorin talvehtiminen onnistui hyvin ja toista rainatalajiketta Felopaa paremmin. Tässä tutkimuksessa sekä rainadat että englanninraiheinät kärsivät merkittävästä talvituhoista toisena talvena. Vastaavasti Helgadóttirin ja Kristjansdóttirin (2013) peltokokeessa Islannissa rainatahybridit kärsivät ensimmäisenä talvena suurista talvituhoista, sillä kylmäkaraistumisen taso ei ollut vielä riittävä nopeasti alkaneen kylmästressin aikana. Sen sijaan englanninraiheinät eivät kärsineet yhtä vakavista talvituhoista.

Talven sääoloissa oli vaihtelua eri vuosina, ja sillä on todennäköisesti ollut vaikutusta talvehtimisen onnistumiseen tässä tutkimuksessa. Toisen talven jälkeen koeruuduilla havaittiin runsaasti lumihomesaastunutta, mikä vaikeutti nurmikasvien talvehtimistä. Ilmatieteen laitoksen talvitilastojen mukaan terminen talvi alkoi ensimmäisenä koetalvena vasta 31.12.2011, kun se toisena talvena alkoi jo noin kuukautta aiemmin (28.11.2012) Jokioisissa. Lisäksi lumensyvyys oli joulukuussa 2012 syvempi kuin vuonna 2011 ja näin ollen lumipeite oli aiemmassa vaiheessa vahvempi vuonna 2012 verrattuna vuoteen 2011. Talven sääolojen lisäksi Suomen kasvuoloissa on todettu, että esimerkiksi englanninraiheinä häviää herkästi monivuotisista nurmista (Niskanen ja Niemeläinen 2010). Talvehtimisen onnistuminen on yhteydessä satojen suuruuteen ja

riittävä kasvipeitteisyys keväällä mahdollistaa hyvän sadontuottokyvyn rainadoilla (Ostrem ja Larsen 2008). Tässä tutkimuksessa todettiin, että epäonnistunut talvehtiminen antaa rikkakasveille kasvutilaa, minkä vuoksi nurmien sadontuotto kärsii. Talvehtimisen onnistuminen vaihtelee kuitenkin vallitsevien olosuhteiden mukaan, minkä vuoksi erityisesti rainatojen soveltuvuudesta Suomen talviin tarvittaisiin lisää tutkimustuloksia.

6.2.2 Nurmikasvien syyskasvu ja sadonmuodostus syksyllä

Nurmikasvien syyssadot olivat merkittävästi suuremmat syksyllä 2013 kuin 2012. Syksyn lämpötila on merkittävä syyskasvua ohjaava tekijä, ja Ilmatieteen laitoksen vuodenaikojen tilastojen mukaan tehoisan lämpötilan summan kertymä olikin Jokioisissa vuonna 2013 suurempi kuin 2012: noin 1500 vrk °C lokakuun alussa vuonna 2013 ja vajaa 1300 vrk °C vastaavana ajankohtana vuonna 2012. Termisen syksyn (vuorokauden keskilämpötila +10 – 0 °C) alkamisajankohdassa Jokioisissa ei ollut eroja vuosien välillä, sillä termisen syksy alkoi ensimmäisenä niittosyksynä 20.9.2012 ja toisena 22.9.2013. Nurmikasvien kuiva-aineprosentti oli huomattavasti suurempi lokakuun 2013 syyskasvustossa kuin lokakuussa 2012. Kuiva-ainepitoisuus suurenee kylmäkaraistumisen aikaan, koska tällöin solujen vesipitoisuutta säädellään jäätyminen estämiseksi (Sakai ja Larcher 1987).

Tässä tutkimuksessa englanninraiheinien ja rainatojen syyssadot eivät eronneet ruokonata Retun ja nurminata Kasperin syyssadoista. Helgadóttirin ja Kristjánsdóttirin (2013) mukaan nurmikasin syyskasvu pysähtyy pohjoiseen sopeutuneilla lajeilla, kuten nurminadalla, aikaisemmin kuin englanninraiheinillä ja rainadoilla. He arvioivat tutkimuksessaan kasvunpysähtymistä NDVI (Normalized difference vegetation index) – työkalulla, jolla mitattiin yhteyttämisaktiivista kasvustoa. Heidän peltokokeessaan vertailukohteena olleen pohjoisen nurminadan (Norild) kasvu pysähtyi ensimmäisenä. Lisäksi nurminata ei kärsinyt talvituhoista lainkaan, minkä vuoksi tutkimuksessa vahvistui, että kasvunpysähtymisellä on selvä vaikutus kylmäkaraistumisen ja talvehtimisen onnistumiseen. Myös englanninraiheinän (lajike Birger) kasvunhidastumisen taso oli samantasoista kuin nurminadan, mutta rainatahybridit (lajikkeet Perseus ja Paulita) sekä toinen englanninraiheinä (lajike Figgjo) hidastivat kasvuaan selvästi myöhemmin. Hanslinin ja Mortensenin (2010) mukaan

syyslämpötilojen nousu on merkittävin biomassan tuottoa lisäävä tekijä syysvehnillä syyskasvuoloissa. Kokonaisbiomassan muodostuksen lisäksi lämpötilan nousu edistää lehtialan, versopainon ja sivuversojen lukumäärän suurenemista syyskasvuoloissa syysvehnillä (Hanslin ja Mortensen 2010). Lämpötilan nousun ennustetaan vaikuttavan merkittävästi syysvehnien syyskasvuun (Hanslin ja Mortensen 2010), mutta lauhkean vyöhykkeen nurmikasvien sopeutumisesta muuttuviin syyskasvuoloihin tarvittaisiin lisää tutkimuksia, jotta ilmastonmuutoksen todelliset vaikutukset saataisiin esiin.

6.2.3 Sadon laadun kehitys (tähkätiheys) ensimmäisen niiton jälkeen

Ennen toista niittoa arvioidut tähkätiheysprosentit olivat kaikilla tutkituilla lajikkeilla tässä tutkimuksessa huomattavasti suuremmat kesällä 2012 kuin kesällä 2013. Prosenttiarvioinnin onnistuminen riippuu havainnoitsijasta, siksi tuloksissa voi olla myös havainnoitsijasta johtuvaa vaihtelua. Lisäksi koeruuduissa oli talvituhoista johtuen enemmän rikkakasveja jälkimmäisenä kasvukautena, minkä vuoksi tutkituilla lajikkeilla oli vähemmän kasvutilaa. Rainatojen (lukuun ottamatta Hykoria) ja englanninraiheinien tähkätiheys oli kumpanakin kesänä selvästi suurempi kuin ruokonadalla ja nurminadalla. Tähkätiheysprosentti kuvaa sadon laatuominaisuuksia, sillä korrellisten, kukkivien versojen osuus kasvustossa antaa viitteitä rehun sulavuuden muuttumisesta. Korren sulavuus heikkenee korkeilla leveysasteilla nopeasti, koska suvullinen kehitysvaihe etenee nopeasti pohjoisissa kasvuoloissa (Deinum ym. 1981). Toisen sadon tähkätiheyttä saattaa lisätä aikaisin tehty ensimmäinen niitto, jolloin myös toisen sadon laatu heikkenee nopeasti (Niskanen ja Niemeläinen 2010).

6.2.4 Vararavintovarojen kertyminen talven aikana

Nurmikasvien talvehtiminen onnistui peltokokeessa paremmin ensimmäisenä talvena kuin toisena talvena. Jälkimmäisenä talvena koeruudut kärsivät muun muassa lumihomesaastunnasta, mikä heikensi kasvien selviytymiskykyä. Siksi talven aikana sokerianalyysia varten kerätyt kasvustonäytteet olivat osittain kuollutta kasvimateriaalia, minkä vuoksi liukoinen sokeripitoisuus oli erittäin pieni osassa helmikuun näytteissä. Sekä englanninraiheinien että rainatojen liukoinen sokeripitoisuus pieneni talven edetessä, mikä poikkeaa muun muassa Ostrem ym. (2010) peltokokeen tuloksista, missä kokonaissokeripitoisuus (glukoosin, fruktoosin, sakkaroosin, fruktaanien, raffinoosin, stakyoosin ja tärkkelyksen kokonaismäärä) pääsääntöisesti

suureni talven aikana, kunnes huhtikuuhun mennessä se oli selvästi pienentynyt. Lisäksi talvenkestävät lajikkeet Engmo ja Riikka kerryttivät sokereita enemmän kuin vähemmän kestävät lajikkeet Grindstad ja Gunne. Sen sijaan tämän tutkimuksen tulokset olivat samankaltaisia kuin Sunden (1996) timoteilla tehdyissä peltokokeissa. Niissä todettiin, että timotein sokeripitoisuudessa on vuodenajasta riippuvaa vaihtelua, sillä syksyisin hiilihydraatteja kerrytetään talven varalle ja talven aikana niitä hajotetaan, minkä vuoksi pitoisuus on kevääseen mennessä pienentynyt. Vastaavasti Höglindin ym. (2010) Norjassa tehdyssä tutkimuksessa timotei (lajikkeet Engmo, Grindstad) kulutti vesiliukoisia sokereita talven kuluessa, mutta englanninraiheinä (lajikkeet Riikka, Gunne) kerrytti niitä lisää.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvitettiin alkuperältään erilaisten nurmikasvien syyskasvua ja kasvunpysähtymisen ajoittumista kontrolloiduissa kasvuoloissa sekä kylmänkestävyyttä, talvehtimista ja kolmannen niiton jälkeistä syyskasvukykyä monivuotisessa peltokokeessa. Kokeessa käytettiin kasvutavoiltaan erilaisia lajeja sekä geeniperimältään toisistaan poikkeavia eteläisiä ja pohjoisia linjoja, joiden kasvuun päivänpituus ja lämpötila vaikuttavat eri tavoin.

Tutkimuksessa simuloitu 14 tunnin päivänpituus vallitsee Suomen syksyssä (havaintopaikka Jokioinen) syyskuun ensimmäisinä päivinä, ja viimeistään näihin aikoihin yleensä myös korjataan kasvukauden kolmas ja viimeinen rehusato. Sen sijaan 12 tunnin päivänpituus vallitsee Jokioisissa syyskuun loppupuolella (~25.9), ja tässä vaiheessa nurmikasvit varautuvat yleensä jo talven tuloon. Tämän tutkimuksen lämpötilaolot kuvaavat keskimäärin elo-, syys- ja lokakuussa vallitsevia keskilämpötiloja (havaintoasema Helsinki-Vantaa) 1981 – 2010 välisenä ajanjaksona: elokuussa 15,8 °C; syyskuussa 10,7 °C ja lokakuussa 5,6 °C. Tutkimuksessa simuloitiin sellaisia päivänpituus- ja lämpötilayhdistelmiä, jotka voisivat olla mahdollisia tulevaisuudessa: syyslämpötilojen kohoamisen vuoksi 12 tunnin päivänpituudessa lämpötila voisi olla 15 °C syyskuun lopussa tai 14 tuntia ja 15 °C syyskuun alkupuolella. Alhaisia lämpötiloja simuloitaessa tavoiteltiin sitä, kuinka nurmikasvit kasvaisivat tulevaisuuden pitkässä syksyissä, jos syksy jatkuisi pitkään viileänä (5 – 10 °C).

Tämän tutkimuksen perusteella englanninraiheinät ja rainadat kasvanevat Suomen syyskasvuoloissa tulevaisuudessa, vaikka päivänpituus lyhenee. Timoteille päivänpituus oli merkitsevämpi kuin muille lajeille ja erityisesti eteläisellä timoteilla päivän piteneminen mahdollisti voimakkaan kasvun kiihtymisen. Tämän vuoksi timoteit eivät kasva lyhenevässä päivänpituudessa ja alhaisissa lämpötiloissa, mutta niiden kylmäkaraistumisen onnistuu todennäköisesti paremmin, kun kasvu pysähtyy aiemmin. Pohjoisen timotein pituuskasvu pysähtyy myös lämpimissä kasvuoloissa ja ainoastaan se kykenee varastoimaan sokereita korkeassa lämpötilassa, jolloin talveen valmistautuminen onnistuu muita genotyyppejä paremmin.

Tulosten perusteella englanninraiheinien runsas versominen ja rainatojen hyvä biomassan muodostus mahdollistavat riittävän sadontuoton, mutta kohoavat lämpötilat saavat ne kuluttamaan sokereitaan, jolloin kylmäkaraistumisen ja talvehtimisen onnistumisessa on haasteita. Tutkimuksen perusteella englanninraiheinien ja rainadan viljelyn olisi mahdollista lisääntyä, sillä kasvukauden aikainen kasvukyky on voimakas ja syyskasvukyky hyvä, vaikka talvehtiminen ei onnistuisikaan toivotulla tavalla. Syyskasvuston hyödyntäminen riippuu kuitenkin siitä, mitä nurmenviljelyllä tavoitellaan. Kolmannen niittokerran vakiintumisen lisäksi syksyjen piteneminen saattaa pidentää myös laidunkautta. Ilmastonmuutoksen eteneminen vaikuttaa tulevaisuudessa siihen, laajeneeko englanninraiheinien ja rainatahybridien viljely ja kuinka ne menestyvät Suomen talvioloissa. Englanninraiheinät ja rainadat tuovat enemmän mahdollisuuksia tulevaisuuden nurmenviljelyyn, mutta toisaalta myös timotein viljelyvarmuus ja hyvä kylmänkestävyys pitävät sen yleisenä nurmikasvina Suomessa.

8 KIITOKSET

Suuret kiitokset MMT Mervi Seppäselle ja MMM Venla Jokelalle työn ohjauksesta sekä hyvistä ja rakentavista kommentteista. Lämpimät kiitokset myös erikoistutkija Oiva Niemeläiselle. Lisäksi haluan kiittää Viikin kasvihuoneiden ja laboratorion henkilökuntaa ystävällisestä avusta ja neuvoista kokeiden käytännön toteutuksessa. Kiitokset myös Varma ja Pauli Sariolan kasvinjalostussäätiölle työn tukemisesta.

9 LÄHTEET

Bélanger, G., Castonguay, Y., Bertrand, A., Dhont, C., Rochette, P., Couture, L., Drapeau, R., Mongrain, D., Chalifour, F.-P. & Michaud, R. 2006. Winter damage to perennial forage crops in eastern Canada: Causes, mitigation, and prediction. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 33-47.

Bertrand, A., Castonguay, Y., Nadeau, P., Laberge, S., Michaud, R., Belanger, G. & Rochette, P. 2003. Oxygen deficiency affects carbohydrate reserves in overwintering forage crops. *Journal of Experimental Botany*; 2003.54: 388, 1721-1730.

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

Boreal Kasvinjalostus Oy. 2013.

http://www.boreal.fi/fi/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=68&Itemid=113&MITdomain=laaja;MITform=docu_laaja;id=1172.

Viitattu 5.8.2013.

Casler, M. D. & Kallenbach, R.L. 2007. Cool-season grasses for humid areas. Teoksessa: Barnes, R.F., Nelson, C.J., Moore, K.J. & Collins, M. (toim.). Forages. The science of grassland agriculture. 6th ed., Vol. II. Blackwell Publishing, Ames, IA. s. 211-220.

Deinum, B., Beyer de, J., Nordfeldt, P.H., Kornher, A., Ostgård, O & Bogaert van, G.,
1981. Quality of herbage at different latitudes. *Netherlands Journal of Agricultural
Science* 29: 141-150.

DLF TRIFOLIUM SEEDS & SCIENCE. 2014.

http://www.dlf.com/forage/Species_and_varieties.aspx. Viitattu 13.2.2014.

DSV Deutsche Saatveredelung. 2014.

<http://www.dsv-seeds.com/forage/Forage-grass-varieties/preennial-ryegrass-early/picaro.html>. Viitattu 13.2.2014.

Fales, S.L. & Fritz, J.O. 2007. Factors affecting forage quality. Teoksessa: Barnes, R.F.,
Nelson, C.J., Moore, K.J. & Collins, M. (toim.). *Forages. The science of grassland
agriculture*. 6th ed., Vol. II. Blackwell Publishing, Ames, IA. s. 569-580.

FAOSTAT 2013.

<http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/spi/grasslands-rangelands-and-forage-crops/en/>. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
Grasslands, Rangelands and Forage Crops. Viitattu 26.9.2013.

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

- Hanslin, H.M. & Höglind, M. 2009. Differences in winter-hardening between phenotypes of *Lolium perenne* with contrasting water-soluble carbohydrate concentrations. *Grass and Forage Science* 64: 187-195.
- Hanslin, H. M. & Mortensen, L.M. 2010. Autumn growth and cold hardening of winter wheat under simulated climate change. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science* 60: 437-449.
- Hatfield, R.D., Jung, H-J. G., Broderick, G. & Jenkins, T.C. 2007. Nutritional chemistry of forages. Teoksessa: Barnes, R.F., Nelson, C.J., Moore, K.J. & Collins, M. (toim.). *Forages. The science of grassland agriculture*. 6th ed., Vol. II. Blackwell Publishing, Ames, IA. s. 467-485.
- Heide, O.M. 1982. Effects of photoperiod and temperature on growth and flowering in Norwegian and British timothy cultivars (*Phleum pratense* L.). *Acta Agriculture Scandinavica* 32: 241-252.
- Heide, O. M., Hay, R.K.M. & Baugeröd, H. 1985. Specific daylength effects on leaf growth and dry-matter production in high-latitude grasses. *Annals of Botany* 55: 579-586.
- Heide, O.M. 1994. Control of flowering and reproduction in temperate grasses. *New Phytologist* 128: 347-362.

- Helgadóttir, Á. ja Kristjánsdóttir, Th. A. 2013. Leaf spectroscopy: a surrogate measurement of autumn growth cessation of non-adapted grasses at high latitudes. Teoksessa: Helgadóttir, Á. & Hopkins, A. (toim.) The role of grasslands in a green future, threats and perspectives in less favoured areas. Grassland Science in Europe Vol. 18. Organising Committee of the 17th Symposium of the European Grassland Federation 2013 and Agricultural University of Iceland (AUI). Íslanti. s. 364-366.
- Humphreys, M.W., Canter, P.J. & Thomas, H.M. 2003. Advances in introgression technologies for precision breeding within the *Lolium* – *Festuca* complex. *Annals of Applied Biology* 143: 1-10.
- Höglind, M., Schapendonk, A.H.C.M. & Van Oijen, M. 2001. Timothy growth in Scandinavia: combining quantitative information and simulation modelling. *New Phytologist* 151: 355-367.
- Höglind, M., Hanslin, H.M. & Van Oijen, M. 2005. Timothy regrowth, tillering and leaf area dynamics following spring harvest at two growth stages. *Field Crops Research* 93: 51-63.
- Höglind, M., Bakken, A.K., Jorgensen, M. & Ostrem, L. 2010. Tolerance to frost and ice encasement in cultivars of timothy and perennial ryegrass during winter. *Grass and Forage Science* 65: 431-445.
- Höglind, M., Hanslin, H.M. & Mortensen, L.M. 2011. Photosynthesis of *Lolium perenne* L. at low temperatures under low irradiances. *Environmental and Experimental Botany* 70: 297-304.

Höglind, M., Thorsen, S.M. & Semenov, M.A. 2013. Assessing uncertainties in impact of climate change on grass production in Northern Europe using ensembles of global climate models. *Agricultural and Forest Meteorology* 170: 103-113.

Ilmatieteen laitos. 2009. Teoksessa: Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T (toim.). 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten: ACCLIM-hankkeen raportti 2009:4. Ilmatieteen laitos, Helsinki. 114 s.

Ilmatieteen laitos. 2014. <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuodenaikojen-tilastot>.

Viitattu 3.3.2014.

IPCC 2007.

Climate change 2007: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf. Viitattu 2.9.2013.

IPCC 2013.

Climate change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.pdf. Viitattu 14.11.2013.

Isolahti, M. 2010. Timotein maantieteelliset geenipoolit ja niiden käyttö jalostusohjelmissa. Teoksessa: Maataloustieteen Päivät 2010. Suomen

Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 26. Toimittanut Anneli Hopponen.
<http://www.smts.fi/jul2010/esite2010/049.pdf>. Viitattu 3.12.2013.

Jorgensen, M., Ostrem, L. & Hoglind, M. 2010. De-hardening in contrasting cultivars of timothy and perennial ryegrass during winter and spring. *Grass and Forage Science*; 2010.65: 1, 38-48.

Mahfoozi, S., Limin, A. E. & Fowler, D.B. 2001. Developmental regulation of low-temperature tolerance in winter wheat. *Annals of Botany* 87: 751-757.

Maxwell, K. & Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany* Vol. 51: 659-668.

Nilsen, E.T. & Orcutt, D.M. 1996. Low temperature: chilling and freezing. Teoksessa: Nilsen, E. T. & Orcutt, D.M. (toim.). *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*. John Wiley & Sons, INC. USA. s. 486-514.

Niskanen, M. & Niemeläinen, O. 2010. Teoksessa: Peltonen, S., Puurunen, T. & Harmoinen, T. (toim.). *Nurmirehujen tuotanto ja käyttö*. ProAgria Keskusten Liitto, Vantaa, 98 ss.

Ostrem, L. & Larsen, A. 2008. Winter survival, yield performance and forage quality of *Festulolium* cvs. for Norwegian farming. Teoksessa: Hopkins, A., Gustafsson, T., Bertilsson, J., Dalin, G., Nilsson-Linde, N. & Spörndly, E. (toim.) *Biodiversity and Animal Feed: future challenges for grassland production*. Proceedings of the

22nd General Meeting of the European Grassland Federation, Uppsala, Ruotsi.
Grassland Science in Europe Vol. 13: 293-295.

Ostrem, L., Rapacz, M., Jorgensen, M. & Höglind, M. 2010. Impact of frost and plant age on compensatory growth in timothy and perennial ryegrass during winter. *Grass and Forage Science* 65: 15-22.

Ostrem, L., Novoa-Garrido, M. & Larsen, A. 2013a. *Festulolium* – an interesting forage grass for high-latitude regions? *Grassland Science in Europe* Vol. 18: 270-272.

Ostrem, L., Rapacz, M., Larsen, A., Dalmannsdóttir, S. & Jorgensen, M. 2013b. How do non-adaptive grasses control growth cessation during autumn in high-latitude regions? Teoksessa: Helgadóttir, Á. & Hopkins, A. (toim.) *The role of grasslands in a green future, threats and perspectives in less favoured areas. Grassland Science in Europe* Vol. 18. Organising Committee of the 17th Symposium of the European Grassland Federation 2013 and Agricultural University of Iceland (AUI). Islanti. s. 361-363.

Palonen, P. 1999. Carbohydrate concentrations and dormancy as related to winter hardiness in red raspberry (*Rubus idaeus* L.). Section of Horticulture Publication no. 36.

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

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

Seppänen, M. M., Niskanen, M., Jokela, V., Luhtanen, J., Kontturi, J. & Mäkelä, P. 2012. Syyskylvöisten ja monivuotisten lajien ja lajikkeiden sopeutuminen Suomen talveen – kylmänkestävyyden ja vernalisaation merkitys. Teoksessa: Maataloustieteen päivät 2012. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 28. Toim. Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Saatavissa Internetissä: http://www.smts.fi/Ilmastonmuutos/Seppanen_Syyskylvosten.pdf. Viitattu 9.12.2013.

Somersalo, S. & Krause, G.H. 1990. Photoinhibition at chilling temperatures and effects of freezing stress on cold acclimated spinach leaves in the field. A fluorescence study. Teoksessa: Somersalo, S. (toim.) Effects of low temperature and excessive light on photosynthesis in unhardened and cold-acclimated herbaceous plants. Reports from the Department of Biology, University of Turku No. 25. Turku, Suomi.

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 Landbrukshogskole, Kapp, Norja.

Taiz, L. & Zeiger, E. 2010. Plant Physiology. International Edition. 5th ed. MA, USA.

- Thorsen, S.M. & Höglind, M. 2010. Modelling cold hardening and dehardening in timothy. Sensitivity analysis and Bayesian model comparison. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 1529-1542.
- Tilastokeskus (TIKE) 2013. Käytössä oleva maatalousmaa. Matilda maataloustilastot. http://www.maataloustilastot.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2012_fi. Suomi. Viitattu 26.9.2013.
- Virkajärvi, P. & Järvenranta, K. 2001. Leaf dynamics of timothy and meadow fescue under Nordic conditions. *Grass and Forage Science* 56: 294-304.
- Virkajärvi, P. 2003. Effects of defoliation height on regrowth of timothy and meadow fescue in the generative and vegetative phases of growth. *Agricultural and Food Science in Finland Vol 12*: 177-193.
- Virkajärvi, P., Pakarinen, K., Hyrkäs, M., Seppänen, M. & Bélanger, G. 2012. Tiller characteristics of timothy and tall fescue in relation to herbage mass accumulation. *Crop Science* 52: 970-980.
- Volenc, J.J. & Nelson, J.C. 2007. *Physiology of forage plants*. Teoksessa: Barnes, R.F., Nelson, C.J., Moore, K.J. & Collins, M. (toim.). *Forages. The science of agriculture*. 6th ed., Vol. II. Blackwell Publishing, Ames, IA. s. 37-52.
- Wu, Z., Skjelvåg, A.O. & Baadshaug, O.H. 2004. Quantification of photoperiodic effects on growth of *Phleum pratense*. *Annals of Botany* 94: 535-543.

Yemm, E.W. & Willis, A.J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal* 57: 508-514.