

Metsäpuiden taimien kasvun ja karaistumisen hallinta lyhytpäivä- ja valokäsittelyillä

Kyösti Konttinen
Jaana Luoranen
Risto Rikala

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA

26.05.00

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 774, 2000

Metsäpuiden taimien kasvun ja karaistumisen hallinta lyhytpäivä- ja valokäsittelyillä

Kyösti Konttinen, Jaana Luoranen ja Risto Rikala

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA

1999

Kansikuva: Kuvassa oikealla lyhytpäivä- (LP) käsiteltyjä (2 viikon LP-käsittely aloitettu 30.7.98, 10 h päivä/14 h yö) ja vasemmalla vertailutaimia. Taimet altistettiin 31.8.–8 °C:een. Kuva otettiin kuukauden kuluttua pakkasaltistuksesta. (Kuva: Risto Rikala)

Julkaisua myy: Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto
PL 18
01301 Vantaa
puh. 09-857 051
fax 09-8570 5582
email: kirjasto@metla.fi

Taitto: Seppo Oja

ISBN 951-40-1734-X

Gummerus Kirjapaino Oy
Saarijärvi 2000

Alkusanat

Suomessa lyhytpäiväkäsittelyä kokeiltiin pienessä mittakaavassa useilla taimitarhoilla 1980-luvulla. Kiinnostus selvittää lyhytpäiväkäsittelyyn liittyviä kysymyksiä systemaattisemmin kuusen paakku- taimien kasvatuksessa heräsi Tehdaspuu Oy:n (nyk. UPM-Kymmene Metsän) Joroisten taimitarhalla 1990-luvun alussa. Yhtiön silloisen metsänhoitopäällikön Fred Kallandin aloitteesta kuusen paakku- taimien lyhytpäiväkäsittelystä valmistui kaksi opinnäytetyötä. Myöhemmin tutkimuksia laajennettiin Suonenjoen tutkimusasemalla myös ulkomaisia puulajeja sekä koivua koskeviksi.

Kun tällä tavoin ulkomailla tutkittua tietoa saatiin testattua kotimaisissa olosuhteissa, järjestettiin syksyllä 1998 Suonenjoella taimenkasvattajille kurssi taimien lyhytpäiväkäsittelystä. Oli tarkoitus, että olisimme tuolloin voineet jakaa monisteen, johon olisi koottu niin ulkomainen kuin kotimainenkin tieto metsäpuiden taimien lyhytpäiväkäsittelystä ja 'valohoidosta' Suomen oloihin sovellettuna yleistajuisessa muodossa.

Tehtävä oli suuritöisempi kuin alussa ajattelimme ja työn valmistuminen vei runsaat pari vuotta huolimatta siitä, että Heikki Smolander ehti useaan otteeseen kysellä sen valmistumisesta. Saatuaan vihdoin käsikirjoituksen luettavakseen hän myös teki lukuisia parannusehdotuksia siihen. Käsikirjoitukseen tutustuivat ja siihen parannuseesityksiä ja kommentteja esittivät myös Fred Kalland, Marja Lindqvist ja Rainer Bodman. Keskustelut Riitta Väisäsen kanssa auttoivat soveltamaan tekstin paremmin käytännön tarvetta vastaavaksi. Ritva Pitkänen korjaili oikeinkirjoitustamme.

Suomen Kulttuurirahasto (Kalle ja Dagmar Välimaan rahasto) mahdollisti myönnetyn henkilökohtaisen apurahan avulla Jaana Luorasan osallistumisen kirjan kirjoittamiseen. Myös Metsämiesten Säätiön apuraha edesauttoi kirjan valmistumista.

Lämpimät kiitokset kaikille kirjan valmistumiseen vaikuttaneille.

Suonenjoella 8. toukokuuta

Kyösti Kontinen Jaana Luoranen Risto Rikala

Sisällys

1	JOHDANTO	7
2	KASVU JA KARAISTUMINEN	8
2.1	Pituuskasvutavat	8
2.2	Yönpituuden vaikutus kasvun päättymiseen ja karaistumiseen	10
2.2.1	Karaistumisen vaiheet	10
2.2.2	Pituuskasvun päättymisen kriittinen yönpituus	10
2.2.3	Läpimitan ja juuriston kasvu	13
2.2.4	Miten kasvi mittaa yönpituutta?	13
2.2.5	Milloin yö alkaa kasville?	14
2.2.6	Muiden ympäristötekijöiden vaikutus kasvun päättymiseen	16
2.3	Karaistuminen ja sen seuranta	18
3	LYHYTPÄIVÄKÄSITTELY ERI PUULAJEILLA	21
3.1	Yleistä	21
3.2	Kuusi	21
3.2.1	Pituuskasvu	21
3.2.2	Karaistuminen	24
3.2.3	Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen	26
3.2.4	Neuvoja ja esimerkkejä kuusen lyhytpäiväkäsittelyyn	30
3.3	Mänty	32
3.3.1	Pituuskasvu	32
3.3.2	Karaistuminen	32
3.3.3	Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen	34
3.3.4	Neuvoja ja esimerkkejä männyn lyhytpäiväkäsittelyyn	34
3.4	Lehtikuuset	35
3.4.1	Pituuskasvu	35
3.4.2	Karaistuminen	35
3.4.3	Jälkivaikutukset	36
3.4.4	Neuvoja ja esimerkkejä siperianlehtikuusen lyhytpäivä- käsittelyyn	37
3.5	Ulkomaiset havupuut	38
3.5.1	Pituuskasvu	38
3.5.2	Karaistuminen	38
3.5.3	Jälkivaikutukset	39
3.5.4	Neuvoja ja esimerkkejä ulkomaisten havupuiden lyhytpäiväkäsittelyyn	40
3.6	Lehtipuut	41
3.6.1	Pituuskasvu	41
3.6.2	Karaistuminen	42
3.6.3	Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen	43
3.6.4	Neuvoja ja esimerkkejä koivun lyhytpäiväkäsittelyyn	44

4	YÖN LYHENTÄMINEN SILMUN MUODOSTUMISEN ESTÄMISEKSI ...	45
4.1	Silmun enneaikainen muodostuminen	45
4.2	Silmun muodostumisen estävän valaistuksen voimakkuus	45
4.3	Luontaisen yön pituuden lyhentäminen keinovalolla	47
4.4	Valokäsittelyt taimien kasvatuksessa	48
	KIRJALLISUUS	49
	HAKEMISTO	59
	Liite 1 Luettelo Suomessa menestyvistä puulajeista, joilla on tutkittu lyhytpäiväkäsittelyä	61
	Liite 2 Valon mittayksiköt ja mittayksiköiden vertailu	64

1 Johdanto

Kuusella tässä kirjassa tarkoitetaan Suomessa kasvavaa metsäkuusta *Picea abies* (L.) Karst. ja kuusilla *Picea*- ja *Pseudotsuga*-sukuja. Männyllä tarkoitetaan kotimaista metsämäntyä *Pinus sylvestris* L. Muista kuusi- ja mäntylajeista käytetään niiden suomenkielisiä nimiä. Jos lajineimeä käytetään monikossa, tarkoitetaan koko sukua. Lehtikuusilla tarkoitetaan koko *Larix*-sukua, muuten lajin nimi on aina mainittu. Muut havupuut-ryhmään luetaan tässä kuuluviksi pihdat (*Abies*), tuijat (*Thuja*) ja hemlokit (*Tsuga*). Lehtipuut-ryhmässä on käsitelty lähinnä rauduskoivua. Julkaisussa esiintyvien lajien tieteelliset nimet löytyvät liitteestä 1.

Erilaisista valojaksoilmiöistä puhuttaessa termiä yön pituus käytetään silloin, kun kyseessä olevassa ilmiössä pimeän jakson pituudella on ratkaiseva merkitys (esim. kasvun päättymisessä ja karaistumisessa). Jos taas käytetään termiä päivänpituus (esim. kasvusta kerrottaessa), valoisan jakson pituus on tärkeämpi verrattuna pimeään jaksoon. Koska lyhytpäiväkäsitteily (LP-käsitteily) on kuitenkin vakiintunut suomenkieliseen käyttöön, käytetään luontaista päivänpituutta lyhentävää pimenyskäsitteilyä tätä nimeä.

Metsäpuiden taimituotannossa on siirrytty avomaan paljasjuuritaimien kasvatuksesta teknisesti ja biologisesti vaativampaan paakku-taimikasvatukseen muovihuoneissa. Nykyisin samalla tarhalla kasvatetaan yhä laajemmalla maantieteelliseltä alueelta olevia taimialkuperiä, jotka usein vaativat erilaisen kasvatusaikataulun. Kustannusten alentamiseksi ja tulevaisuudessa tuotettaessa taimia läpikesän istuttamista varten kasvatetaan muovihuoneessa useita taimisatoja yhdessä kasvukaudessa. Nämä muutokset taimituotannossa edellyttävät paitsi yhä teknisempää varustelua ennen kaikkea tarkempaa kasvatustoimenpiteiden ajoitusta ja kasvun hallintaa. Hallittu kasvatus vaatii hyvää taimien kehityksen ja elintoimintojen tuntemusta.

Päivänpituuden säätely on yksi kasvun hallintamenetelmistä, jota on käytetty menestyksellisesti metsäpuiden taimien kasvatuksessa maailmalla jo vuosikymmeniä. Kasvatettaessa useita taimisatoja samassa huoneessa kylvöt aloitetaan jo maaliskuussa. Tällöin luontainen päivänpituus voi olla vielä liian lyhyt ja taimiin saattaa muodostua silmut heti itämisen jälkeen. Silmun ennenaikainen muodostuminen on mahdollista estää katkaisemalla yö tai jatkamalla päivän pituutta keinovaloilla. Toisaalta, etenkin myöhäiskylvöissä, saattaa taimien karaistuminen syyskesällä suotuisissa taimitarhan kasvuolosuhteissa viivästyä, ellei taimien karaistumiskehitystä aikaisteta. Pituuskasvun säätelyyn ja karaistumisen aikaistamiseen on käytetty lyhytpäiväkäsitteilyä lyhentämällä luontaista päivää pimenysverhoilla.

Runsas tutkimustieto lisävalaistuksen ja pimenysverhojen käytöstä päivänpituuden säätelyssä ei ole toistaiseksi ollut helposti suomalaisten taimikasvattajien saatavilla. Tähän kirjaseen on pyritty kokoamaan tutkimustieto ja käytännön kokemuksia sekä Pohjoismaista että Suomea maantieteellisesti ja ilmastollisesti vastaavilta alueilta. Yleisosassa käsitellään kasvun ja karaistumisen hallinnan taustaa, jolloin esimerkkinä voi olla myös meille vieraampia puulajeja. Puulaji- ja lajiryhmäkohtaisissa osissa eniten tilaa saavat pääpuulajimme, mutta myös meillä menestyvät ja tutkitut ulkomaiset puulajit esitellään. Kunkin puulajikohtaisen katsauksen jälkeen esitämme johtopäätöksiä käsitteilyssä huomioitavista seikoista sekä joi-takin käsittelyvaihtoehtoja. Tässä julkaisussa keskitytään päivänpituuden muutosten aikaansaamien biologisten vaikutusten kuvaamiseen. Käsitteilyssä tarvittavia teknisiä ratkaisuvaihtoehtoja ei käydä läpi.

2 Kasvu ja karaistuminen

2.1 Pituuskasvutavat

Puiden vuodenaikainen kehitys voidaan jakaa kahteen osaan: aktiiviseen vaiheeseen ja lepotilaan (dormanssi). Aktiivivaiheen aikana puut kasvavat, mutta eri osien kasvun ajoittumisessa on eroja. Taimien lepotilaan siirtymisen ja talveentumisen kannalta oleellisinta on pituuskasvun päättymisen ja silmunmuodostuminen.

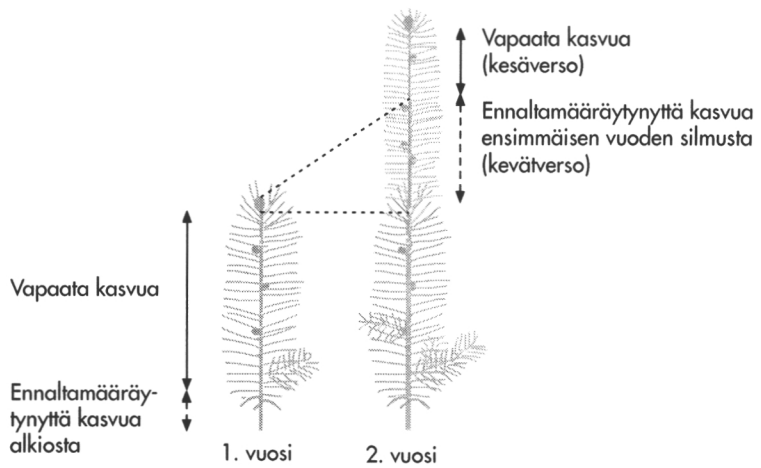
Eri puulajeilla ja eri-ikäisillä samankin lajin puilla on eroja verson pituuskasvutavassa. Kasvu voi olla joko vapaata tai ennaltamääräytyntä tai niiden yhdistelmä (kuva 1) (73). Kasvu on vapaata, kun kääpiöversot (neulasaiheet) muodostuvat ja kääpiöversovälit (internodit) pitenevät lähes samanaikaisesti. Ensimmäisen kesän siemensyntyiset taimet kasvavatkin pituutta vapaana kasvuna niin, että kärkikasvusolukossa muodostuvien neulasaiheiden välit alkavat venyä 2–4 viikon kuluttua (114). Toisena ja myöhempinä vuosina viive kääpiöversojen syntymisen ja niiden välien venymisen välillä pitenee. Taimen iän myötä siis yhä pienempi osa kasvukauden aikana syntyneistä kääpiöversoista venyy samana kasvukautena, jolloin yhä suurempi osa jää talvehtimaan muodostuvan silmun sisälle.

Ennaltamääräytyneellä kasvulla tarkoitetaan juuri edellisenä kasvukautena kehittyneessä silmussa talvehtineiden kääpiöversojen (neulasaiheiden) välien pituuskasvua lepokauden jälkeen (93). Jälkikasvu puolestaan on olosuhteiden aiheuttama poikkeus ennaltamääräytyneestä kasvusta. Siinä kesän aikana muodostunut ja seuraavana keväänä puhkeamaan ”tarkoitettu” silmu puhkeaa kasvuun ennenaikaisesti vielä samana kesänä (128). Silmun ennenaikaiseen puhkeamiseen vaikuttaa kasvukauden poikkeavat sääolot ja esimerkiksi voimakas typpilannoitus (120).

Eri puulajeilla ja saman lajin eri-ikäisillä puilla on eroja ennaltamääräytyneen kasvun osuudessa. Ensimmäisenä vuonna kasvu on vapaata lukuunottamatta siemenalkion määräämää osuutta (sirkkaimivaihe). Männyllä ennaltamääräytyntä kasvutapa on vallitseva jo toisena tai kolmantena vuonna. Sen sijaan kuusilla ja pihdoilla vapaan kasvun osuus pienenee ja ennaltamääräytyneen kasvun osuus lisääntyy iän myötä aina noin 15 ikävuoteen saakka, jolloin vapaa kasvu päättyy (73). Lehtipuiden taimien kasvu on vapaata, mutta vanhempana koivun kasvu on jo osittain ennaltamääräytyntä (75).

Ennaltamääräytyneessä kasvussa talvehtineesta silmusta alku-

Kuva 1. Kuusen taimien verson kasvu voidaan jakaa ennaltamääräytyneeseen ja vapaaseen kasvuun. Ennaltamääräytyneessä kasvussa jo aikaisemmin muodostunut, valmiiksi uuden kasvaimen "pienoiskokoon" rakentunut alkio tai silmu kasvaa lopulliseen kokoonsa seuraavana kesänä. Vapaassa kasvussa verson osat, neulasaiheet (kääpiöversot) ja niiden välit muodostuvat ja kehittyvät liki samanaikaisesti kasvukauden aikana.



kesällä muodostuvaa kasvua kutsutaan "kevätversoksi" ja vapaan kasvun seurauksena kasvukauden loppupuolelle syntyvää kasvua "kesäversoksi" (93). On muistettava, että ennaltamääräytynyt kasvu ei kuitenkaan tarkoita sitä, että "kevätversion" pituus olisi täysin ennaltamääräytynyt, vaan silmussa jo olevien neulasvälien venymiseen vaikuttaa myös ao. kasvukauden olosuhteet. Kuivissa, niukkaravinteisissa olosuhteissa "kevätverso" jää näin ollen jonkin verran lyhyemmäksi kuin kastelluissa ja ravinteikkaissa olosuhteissa, vaikka neulasten määrä versossa on yhtä suuri. Mitä suurempi osuus vuotuisesta kasvusta muodostuu vapaan kasvun tuloksena, sitä enemmän vallitsevan kasvukauden aikaiset ympäristötekijät säätelevät latvakasvaimen kokonaispituutta, kasvun ajoittumista ja sen päättymistä (73).

Puulajien ja eri-ikäisten puiden kasvutavoista riippuen eri ympäristötekijöillä on erilainen vaikutus kasvun päättymiseen. Ennaltamääräytyneessä kasvussa lämpösummalla on keskeinen rooli kasvun päättymisajankohtaan, kun taas vapaassa kasvussa fotoperiodilla on ratkaisevampi rooli. Useimmiten vapaan kasvutavan puulajit voivat kasvaa pitkässä päivässä jatkuvasti, mutta lopettavat kasvunsa, muodostavat päätesilmut ja siirtyvät lepotilaan lyhyessä päivässä (pitkässä yössä) (60). Monet näistä lajeista kuuluvat myös ryhmään, jossa lyhyt päivä aikaansaa dormanssin ja pitkä päivä estää sen (148). Tällaisia lajeja ovat mm. koivu ja lehtikuusi.

2.2 Yönpituuden vaikutus kasvun päättymiseen ja karaistumiseen

2.2.1 Karaistumisen vaiheet

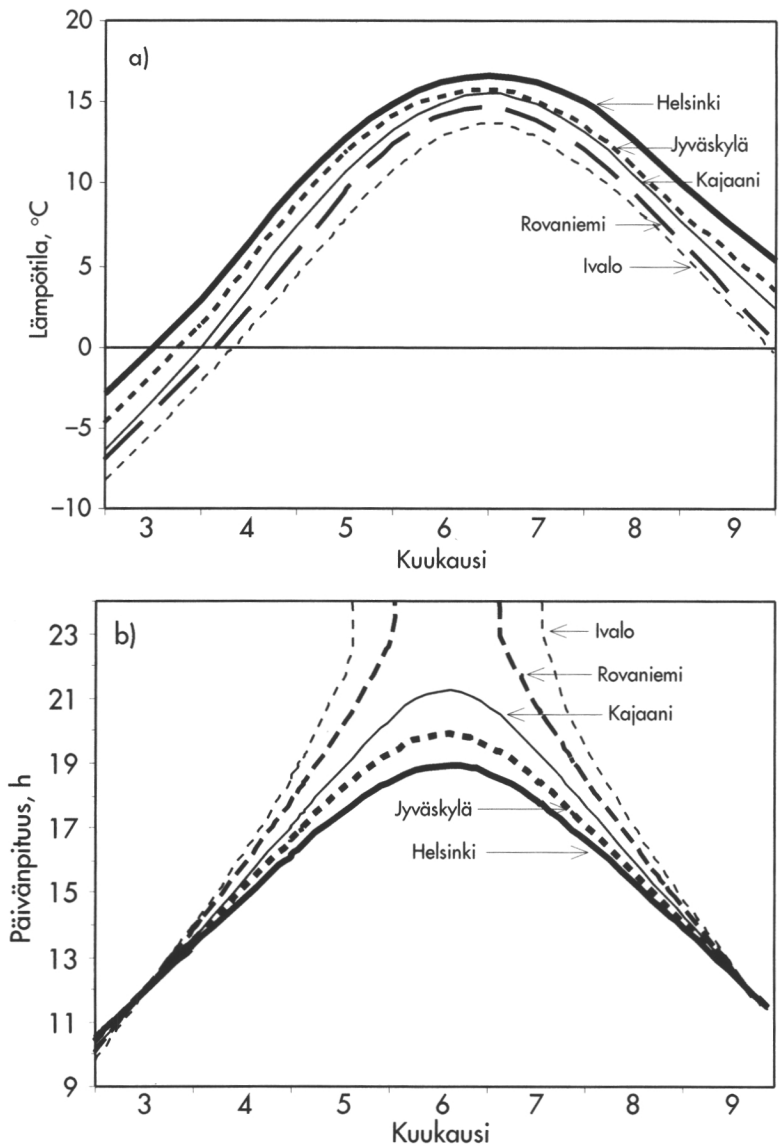
Pohjoisilla leveysasteilla kasvit ovat sopeutuneet vuodenaikojen mukaisiin ympäristöolojen vaihteluihin. Monivuotisille puille tämä on erityisen tärkeää. Vaikka säteily määrä, lämpötila ja kosteus ovat keskimäärin samanlaisia vuodesta toiseen (kuva 2), esiintyy niissä suurta vuosittaista vaihtelua. Kasvien on kuitenkin pystyttävä valmistautumaan talveen sekä viileänä että lämpimänä syksynä. Samalla paikalla vuorokauden päivä/yörytmit pysyvät vuodesta toiseen samanlaisina. Vapaan kasvun osalta puiden vuosirytmii ajoittuu osittain yön (päivän) pituuden muutoksiin reagoivan järjestelmän avulla varmistuen niiden sopeutumista vuodenaikojen vaihteluun.

Syyskesällä valojakson lyheneminen (pitenevät yöt) saa puut siirtymään aktiivisen kasvun vaiheesta lepotilaan. Myös muut ympäristötekijät, kuten lämpötila, ilman ja maan kosteusolot sekä ravinteet vaikuttavat taimien talveentumiseen. Puun eri osien kasvun loppuminen ja lepotilan alkaminen voivat määräytyä eri tekijöiden perusteella. Lepotilassa olevat puut tarvitsevat tietyn pituisen puulajista ja alkuperästä riippuvan altistumisjakson alhaisiin lämpötiloihin (vilutus) ennen uudelleen kasvua.

Silmujen lepotilan muodostuminen edellyttää pituuskasvun päättymistä. Vain taimet, joiden kasvu on päättynyt ja silmut kehittyneet, voivat karaistua. Karaistumisella tarkoitetaan taimien pakkaskestävyyden lisääntymistä. Pakkaskestävyys voidaan määrittellä matalimpana lämpötilana, joka ei vaurioita taimen solukoita (113). Karaistuminen jaetaan yleensä kahteen (tai kolmeen) vaiheeseen: ensimmäisen karaistumisvaiheen aikana kasvu päättyy ja taimissa tapahtuu aineenvaihdunnallisia muutoksia, jotka mahdollistavat alhaisten lämpötilojen aikaansaamat, toisen karaistumisvaiheen aikana tapahtuvat muutokset (157). Ensimmäisen vaiheen aikana taimien pakkaskestävyys muuttuu vain hieman. Toisessa vaiheessa aleneva lämpötila lisää taimien pakkaskestävyyttä varsin nopeasti. Kolmas karaistumisvaihe johtaa suurimpaan pakkaskestävyyteen, kun kasvit altistuvat keskeytyksettä $-30 \dots -50^{\circ}\text{C}$ lämpötiloihin (50). Tämän vaiheen saavuttavat vain kestävimät lajit (mm. kuusi).

2.2.2 Pituuskasvun päättymisen kriittinen yönpituus

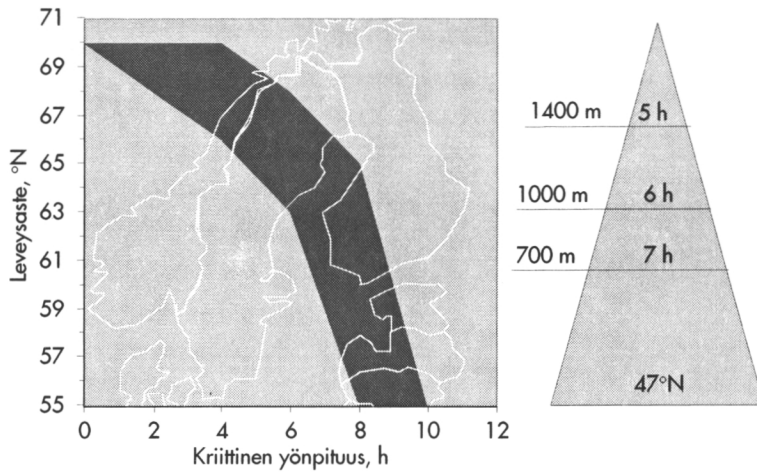
Karaistuminen alkaa pituuskasvun loppuessa syyskesällä. Useimmilla puuvartisilla lajeilla tämä tapahtuu, kun yönpituus ylittää ns. kriittisen yönpituuden (mm. 36, 152–155). Kriittinen yönpituus muuttuu



Kuva 2. a) Kuukausittaiset keskilämpötilat 30 vuoden ajanjaksolla (1961–1990) sekä **b)** päivänpituuden muuttuminen maaliskuun alusta syyskuun loppuun Ilmatieteen laitoksen Helsinki-Vantaan, Jyväskylän, Kajaanin, Rovaniemen ja Ivalon säähavaintoasemilla.

maantieteellisesti niin, että puut ehtivät turvallisesti lopettaa kasvunsa riittävän aikaisin ennen syyshalloja (153–155). Vapaalla kasvutavalla kasvavilla taimilla, kuten rauduskoivun sekä männyn ja kuusen kylvövuoden taimilla, valojakson (fotoperiodin) muutos on pääasiallinen signaali kasvun päättymiselle (72). Kaikilla puulajeilla herkkyys fotoperiodin muutoksille on suurin nuorilla puilla ja heikkenee myöhemmin (72).

Siirryttäessä etelästä pohjoiseen kriittinen yön pituus lyhenee, ts. pohjoisilla alkuperillä lyhyempi yön pituus pysäyttää pituuskasvun ja saa päätesilmut kehittymään aikaisemmin kuin eteläisemmällä alkuperillä (kuva 3). Kriittinen yön pituus pitenee myös siirryttäessä



Kuva 3. Skandinaavisten puiden ja pensaiden pituuskasvun päättymisen kriittisen yön pituuden muuttuminen leveysasteen mukaan (piirretty käyttäen Dormlingin ym. (1968) ja Håbjørgin (1978) eri alkuperille saamia kriittisiä yön pituuksia). Leveysasteiden sijaintia on pyritty havainnollistamaan taustalle piirretyn kartan avulla. Oikeanpuoleisen kolmion avulla on pyritty havainnollistamaan eri korkeudella merenpinnasta kasvavien kuusialkuperien kriittisiä yön pituuksia keskieuropalaisilla alkuperillä (piirretty Ekbergin ym. (1979) mukaan).

korkeilta alueilta lähemmäs merenpinnan tasoa (kuva 3) (64). Samalla paikalla kasvavilla eri puulajeilla on suurin piirtein yhtä pitkät kriittiset yön pituudet (64) (kuva 3). Suomen leveysasteilla luonnonoloissa kriittiset yön pituudet saavutetaan keskimäärin elokuun puolivälissä (72).

Tietyllä alueella kasvaville puille ei voida määrittää aivan tarkkaa kriittistä yön pituutta, sillä yksilöiden välillä on aina jonkin verran vaihtelua (29, 155). Eteläisemmillä alkuperillä yksilöiden välinen vaihtelu on suurempi kuin pohjoisilla (29). Vaihtelu pienenee myös taimen iän mukaan: ensimmäisenä vuonna vaihtelu on suurempi kuin toisena. On myös muistettava, että siemenerän sisäinen perinnöllinen vaihtelu sisältää yksilöiden välistä vaihtelua myös kriittisessä yön pituudessa. Edeltävät kasvuolosuhteet vaikuttavat myös kriittiseen yön pituuteen: esim. jatkuvassa valossa kasvaneilla kuusen taimilla kriittinen yön pituus on lyhyempi kuin luontaisessa valojaksossa kasvaneilla taimilla (20).

LP-käsittelyssä tavallisesti käytetyt yön pituudet (14–16 h) ylittävät yleensä selvästi kriittisen arvon (kuva 3). Mitä lähempänä LP-käsittelyssä käytetty yön pituus on ao. alkuperän kriittistä yön pituutta, sitä enemmän eri taimiyksilöiden pituuskasvun päättymisaikakohdat saattavat vaihdella, jolloin taimien välinen pituusvaihtelu lisääntyy. Näin voi käydä, jos LP-käsittelyssä käytetään 14 h lyhyempiä yön pituuksia Suomeen nähden selvästi eteläisempää alkuperää olevilla taimilla.

Silmun muodostumiseen vaikuttavat yön pituuden lisäksi myös muut tekijät joko yksin tai yhdessä yön pituuden kanssa. Tärkein vaikuttava tekijä on lämpötila. Kuusella kriittinen yön pituus lyhenee, jos yölämpötila on päivälämpötilaa alhaisempi (30). Toisaalta mätty lopettaa kasvun, muodostaa silmun ja siirtyy lepotilaan saavutetaan tietyn lämpösunnan jopa jatkuvassa valossa ennemmin tai

myöhemmin (43, 67, 126). Jos taas taimet LP-käsitellään ennen riittävän lämpösunnan kertymistä muodostuu taimiin päätesilmut, jotka kuitenkin puhkeavat, jos taimet LP-käsittelyn jälkeen siirretään kriittistä yönpiuutta lyhyempään yöhön (43).

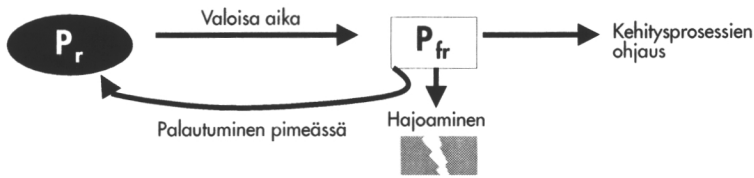
2.2.3 Lämpimitan ja juuriston kasvu

Yönpiuutus vaikuttaa eri tavalla kasvin eri osien kasvuun. Kasvihormoneista gibberelliini (GA) ohjaa pituuskasvua, kun taas läpimittakasvua ohjaavat auksiini ja sytokiniini (kasvihormonien roolista taimien kehityksessä kerrottu toisaalla ks. 98). Tästä seuraa, että rangan läpimittakasvun osalta yönpiuutuden merkitys on erilainen tai olematon. Kuusen läpimittakasvun pysäyttävän yönpiuutuden on väitetty olevan 3–4 tuntia pitemmän kuin verson pituuskasvun pysäyttävän yönpiuutus (58). Suonenjoella tehdyissä kokeissa LP-käsittely ei kuitenkaan vaikuttanut koivun taimien läpimittakasvuun (99). Onkin todennäköisempää, että läpimittakasvun päättyminen riippuu pituuskasvun loppumisen aikaansaamista hormonaalisista yms. muutoksista. Paksuuskasvu ja juurten kasvu voivat heikentyä myös, jos LP-käsittelyn aikana lämpötilat nousevat hyvin korkeiksi ja taimet joutuvat käyttämään valtaosan yhteyttämistuotteistaan hengitykseen. Joissakin kokeissa LP-käsittelyn on todettu heikentäneen juurten kasvua (141), mutta vaikutukset johtuvat todennäköisesti vähentyneestä yhteyttämistuotteiden saatavuudesta, eivät päivänpiuudesta (140).

LP-käsittelyssä tulisi välttää liian pitkiä yönpiuutuksia (selvästi pitempiä kuin alkuperän taimien kriittinen yönpiuutus). Perinteisesti käytettyä 16 tunnin yötä pitempiä yönpiuutuksia ei ainakaan pitäisi käyttää. Mitä lyhyempi päivä, sitä vähemmän taimet pystyvät tuottamaan hiilihydraatteja kasvuun ja mm. läpimitan ja juurten kasvu saattavat heikentyä (140). Jos LP-käsittelyn aikana päivät ovat lisäksi hyvin pilvisiä ja sateisia, alhainen valon voimakkuus heikentää hiilihydraattituotantoa, joka puolestaan vaikuttaa taimien kasvuun. Kasvun päättyminen ja karaistumisen ensimmäiset vaiheet ovat aktiivisia prosesseja (157) ja nopea karaistuminen edellyttää aina jonkin verran energiaa (40).

2.2.4 Miten kasvi mittaa yönpiuutusta?

Kasvien ympäristön valo-oloihin reagointi tapahtuu fytochromi-pigmenteissä, jotka aistivat valon aallonpituudessa ja valoisian/pimeän jakson pituudessa tapahtuvia muutoksia (kuva 4) (147). Kasvien kehitystapahtumien, esim. pituuskasvun päätymisen kannalta oleelli-



Kuva 4. Periaatekuva fytochromien toimintamekanismista pituuskasvun päättymisessä. P_r on fytochromin punaista valoa imevä passiivinen muoto ja P_{fr} sen kaukopunaista valoa imevä aktiivinen muoto. Fytochromi muuttuu valossa nopeasti P_r muodosta aktiiviseen P_{fr} muotoon, josta se pimeässä hitaasti palautuu takaisin passiiviseen muotoon. Passiivisen muodon nopea muuttuminen aktiiviseksi valossa tarkoittaa sitä, että jo lyhytkin valoisa aika riittää muutokseen. Toisaalta, kun palautuminen pimeässä on hidasta, pimeän jakson pituuden muutoksilla on suuri merkitys kasvin kehityksessä. Ts. öiden pidentyessä syyskesällä yhä suurempi osa P_{fr} muodosta ehtii palautua P_r muotoon tai hajota. (Piiirretty Choryn (1997) mukaan).

sia ovat punaiset (660 nm) ja kaukopunaiset (730 nm) valon aallonpituusalueet, vaikka fytochromit aistivat valoa koko aallonpituusspektarin alueelta. Kaukopunaisten valon määrä on sitä tärkeämpi, mitä pohjoisempi alkuperä. Oppikirjoista tuttu kukkimiseen ja siementen itämiseen liittyvä fytochromin toimintamalli, jossa kaukopunaistella voidaan korvata pimeä jakso, ei näyttäisi toimivan pituuskasvun päättymisessä ja silmudormanssissa (20, 148).

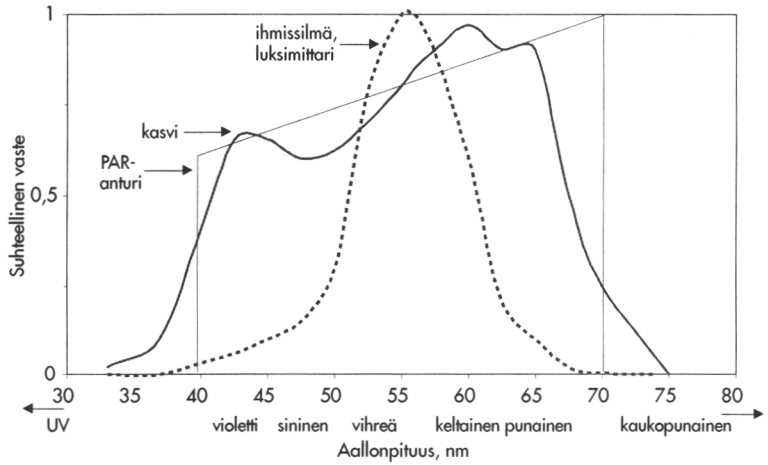
Lehdistä valojaksoisuuden aikaansaama signaali siirtyy kasvihormonien välityksellä johtosolukkoa pitkin kasvin muihin osiin (94). Fytochromisysteemi ja kasvihormonit osallistuvat sekä kasvun päättymiseen että pakkaskestävyyden kehittymisen alkamiseen (106). Kun taimet altistetaan pitkään yöhön, taimien kasvua estävien ja karaistumista edistävien hormonien (mm. abskisiinihappo) ja kasvun edellytyksenä olevien gibberelliinien suhteet muuttuvat (17). Gibberelliinejä on useita ja taimen kasvaessa ne muuttuvat muodosta toiseen tietyssä, lajille tyypillisessä, palautumattomassa ketjussa (70). Kriittisen yön pituuden saavuttamisen seurauksena gibberelliiniketju ei etenekään tiettyä lajista riippuvaa vaihetta pidemmälle. Tästä seuraa, että pituuskasvu päättyy.

2.2.5 Milloin yö alkaa kasville?

Valaistusvoimakkuus vaikuttaa fytochromisysteemin muutoksiin, ts. milloin kasvit tunnistavat tilan pimeäksi. Pohjoisilla leveysasteilla hämärän aika saattaa olla hyvinkin pitkä. Eri alkuperät, paitsi että ne lopettavat kasvunsa erilaisissa kriittisissä yön pituuksissa, ne myös reagoivat erilaisiin hämärän ajan valospektrimuutoksiin (12, 63). Eteläiset alkuperät jatkavat kasvuaan huomattavasti vähäisemmän valaistusvoimakkuuden (12, 30, 63) ja pienemmän punaisen valon määrän (12, 63) vallitessa kuin pohjoisemmat. Myös puulajien välillä esiintyy herkkyseroja reaktioissa valaistusoloihin (3, 5, 139).

Päivän ja yön rajaksi on määritelty mm. $1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($0,3 \text{ W m}^{-2}$) fotosynteettisesti aktiivisilla valon aallonpituusalueilla (PAR; 400–700 nm) mitattuna (kuva 5) (12). Tämä vastaa suurin piirtein 75 luksin (lx) valaistusta, eli 30 % pilvettömältä taivaalta tulevasta valosta hämärän saavuttamisen jälkeen. Hämärä taas tarkoittaa aikaa, jolloin auringon kiekon yläreuna on juuri painunut horisontin alapuolelle ja sen keskipiste on korkeintaan 6 astetta horisontin alapuo-

Kuva 5. Periaatekuva kasvin fotosynteesin, fotosynteesittisesti aktiivista säteilyä mittaavan PAR-anturin ja ihmissilmän (valomittarilla saatu, lukseina mitattu valo) herkkyydestä säteilyn eri aallonpituuksille. Valon mittayksiköistä ja niiden vertailua lisää liitteessä 2.



lella. Vastaavana rajana on käytetty myös 1 W m^{-2} ($4,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ eli noin 230 lx) säteilymäärää (30).

Koko kasvukauden, myös pituuskasvun päättymistä ja karaistumista edeltävät kasvuolosuhteet, valon aallonpituudet, yön pituus ja yölämpötilat vaikuttavat alkuperän taimien valoherkkyyteen eli siihen, mikä on pituuskasvun päättymisen ja karaistumisen kannalta kriittinen valaistusvoimakkuus (30, 63). Myös alhainen valon voimakkuus päivällä, esim. pilviset päivät, lyhentää kasvien yöksi tunnistamaa aikaa (43). Kasvien yöksi tunnistamaa valon määrää ja laatua onkin aika vaikea määrittää aivan tarkasti. Monet tutkimukset on tehty kasvukaapeissa keinovalossa. On todennäköistä, että kasvien reaktiot ovat hieman erilaisia luontaisissa valaistusoloissa.

Suonenjoen taimitarhalla tehdyissä LP-käsittelyissä pimennykseen käytettyjen verhomateriaalien alta on mitattu seuraavia säteilyenergian määriä ja valaistusvoimakkuuksia (kursivoituna verhon ulkopuolelta mitattu lukema):

Musta LP-kangas (LS-100)	$0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \sim 30 \text{ lx}$ <i>1300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$</i>
Kasvatuskangas (UV-suojattu katekangas)	$1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \sim 70 \text{ lx}$ <i>1300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$</i>
Mustavalk. säkkipuovi ($\varnothing 0,15 \text{ mm}$)	$0,85 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \sim 43 \text{ lx}$ <i>1700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$</i>
Alumiinipintainen LP-kangas (PLS-Block Out Arbi)	$0,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \sim 35 \text{ lx}$ <i>1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$</i>

Kaikkia edellä mainittuja materiaaleja käytettäessä on saavutettu riittävä pimennys niin, että taimien kasvu on päättynyt ja silmut muodostuneet. Pimennysverhoissa ei saa olla rakoja, koska niiden aikaansaamiin valokiiloihin sattuivissa taimissa haluttu reaktio, esim. kasvun päätyminen, viivästyy.

Tietoa valaistusvoimakkuuden, valon spektrijakauman ja kasvien

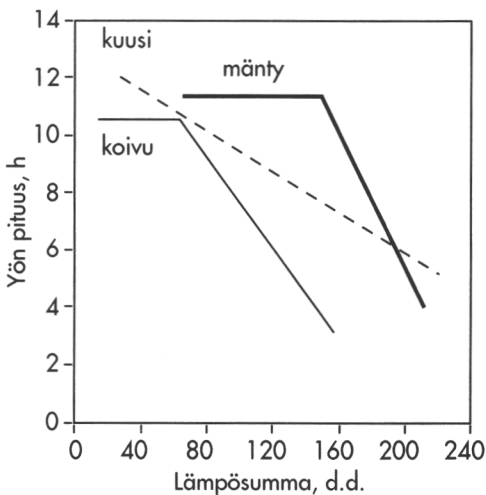
yöksi tunnistaman tilan suhteesta tarvitaan myös päätettäessä erilaisista keinovalaistustarpeista. Kasvatettaessa useita taimisatoja samassa muovihuoneessa yhdessä kasvukaudessa on kasvatusta joko aloitettava aikaisin keväällä (helmi-maaliskuussa) tai kasvatusta on jatkettava myöhään syksyllä. Molemmissa tapauksissa luontainen yön-pituus saattaa olla pitempi kuin alkuperän kriittinen yön-pituus, jolloin taimiin saattaa muodostua silmut liian aikaisin. Silmun muodostuminen on mahdollista estää joko katkaisemalla pimeä jakso tai jatkamalla päivää lisävaloilla. Valokäsittelyitä tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 4. *Yön lyhentäminen silmun muodostumisen estämiseksi.*

2.2.6 Muiden ympäristötekijöiden vaikutus kasvun päättymiseen

Lämpösumma

Männyn, kuusen ja koivun taimien kasvun päättymisen ja karaistumisen alkaminen ensimmäisenä vuonna on lämpösumman (kynnysarvo $>+5^{\circ}\text{C}$) ja kriittisen yön-pituuden yhteisvaikutusta (kuva 6) (87, 88). Tämä merkitsee sitä, että taimien pituuskasvu päättyy ja lepotila alkaa sitä aikaisemmin, mitä aikaisemmin taimet on kylvetty tai mitä lämpimämpi kasvukausi on ollut.

Kuusen ja koivun taimilla kasvukausi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen (86). Ensimmäisen vaiheen aikana, kun taimet ovat hyvin nuoria ja lämpösummaa on kertynyt vähän, ei LP-käsittelyllä ole mahdollista aikaansaada lepotilaa, vaan muodostuneet silmut voivat puhjeta ja taimet jatkaa kasvuaan päivänpituuden palattua kasville suotuisaksi. Toisessa vaiheessa taimien pituuskasvu voi päättyä,



Kuva 6. Lämpösumman ja yön-pituuden yhteisvaikutus yksivuotiaiden männyn (Kerimäki $61^{\circ}43'N$), kuusen (Sulkava, $61^{\circ}40'N$) ja koivun (Punkaharju $61^{\circ}48'N$) taimien pituuskasvun päättymiseen. Vaaka-akselilla kylvöstä kasvun päättymiseen kertynyt lämpösumma ja pystyakselilla yön-pituus tunteina kasvun päättyessä (piirretty Kosken ja Sieväsen 1985 mukaan).

silmut muodostua ja karaistuminen alkaa hyvin pitkien (>12 h) öiden vaikutuksesta. Karkeana sääntönä on, että taimet ovat toisessa vaiheessa, kun niille on kertynyt noin 2/3 alkuperän keskimääräisen kasvukauden lämpösummasta (88). Kolmannen vaiheen aikana herkkyys yönpituuden pitenemiseen lisääntyy asteittain. Käytännössä toisen vaiheen aikana on mahdollista LP-käsittelyllä pysäyttää taimien pituuskasvu ja aikaansaada karaistumisen alkaminen. Luontaisessa yönpituudessa kasvu päättyy ja karaistuminen alkaa vasta kolmannessa vaiheessa.

Lämpötila

Myös päivä- ja yölämpötilat ja niiden muutokset vaikuttavat silmun muodostumiseen ja muihin pituuskasvun päättymiseen liittyviin toimintoihin (72). Esimerkiksi koivun taimilla korkeampi päivä- ja matalampi yölämpötila (68) ja kuusen taimilla korkea lämpötila (18–24°C) sekä päivällä että yöllä nopeuttavat reagointia pitkään yöhön (58). Hyvin alhaiset yölämpötilat (<+4°C) saattavat kuitenkin korvata pitkän yön vaikutuksen ja aikaansaada kasvun päättymisen jopa jatkuvassa valossa (19, 58, 61). Näin alhaiset lämpötilat pituuskasvun päättymisen aikaan voivat kuitenkin estää karaistumisen alkamisen ja myöhemmin syksyllä heikentää pakkaskestävyyttä (48). Syy tähän on, että karaistumisen ensimmäisessä vaiheessa tapahtuvat muutokset kasvissa edellyttävät riittävän korkeaa lämpötilaa (48).

Ravinteet

Päivä/yö-syklit vaikuttavat kasvien aineenvaihduntaan ja kasvuun. Valoisan ajan pituudella on vaikutusta mm. yhteyttämiseen, hiilen sidontaan ja typpiaineenvaihduntaan (91). LP-käsittelyn ja lannoituksen yhteisvaikutuksia on tutkittu vähän. On todennäköistä, että runsas typpilannoitus ennen käsittelyä tai sen aikana viivästyttää taimien pituuskasvun päättymistä, silmun muodostumista ja karaistumista (50, 54). Toisaalta, jos taimia lannoitetaan typellä silmun muodostumisen jälkeen, pakkaskestävyys voi jopa parantua (50, 121). Ravinnepuutokset häiritsevät yleensä karaistumisprosessia ja heikentävät taimien pakkaskestävyyttä myöhemmin syksyllä (50).

Kasvualustan kosteus

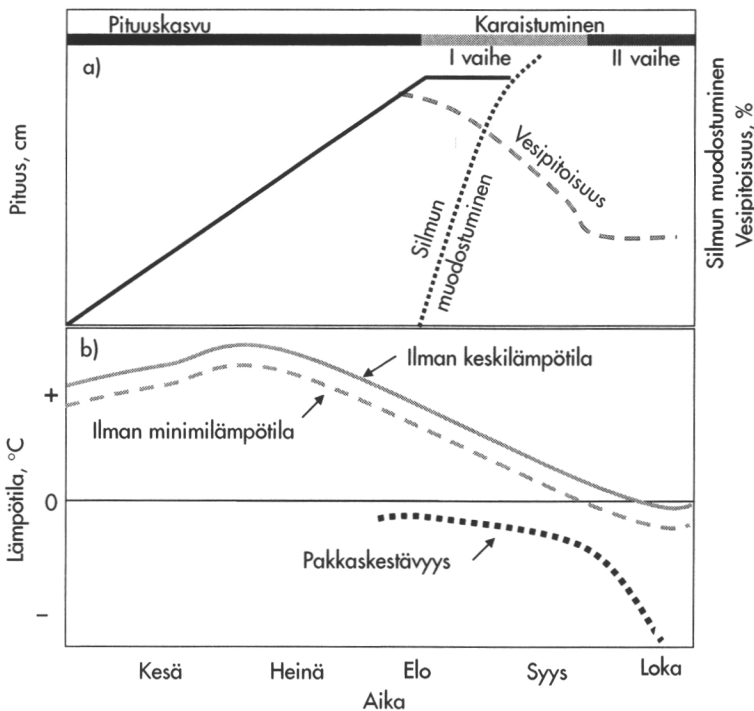
Kuivuuden voimakkuudesta riippuen taimien karaistuminen voi joko heikentyä tai parantua. Yleensä kuivuus hidastaa kasvua ja riittävän

voimakkaana se voi pysäyttää pituuskasvun (51). Toisaalta sekä hyvin kuiva että hyvin kostea kasvualusta viivästyttävät päätesilmun muodostumista (76). Ne voivat myös heikentää pakkaskestävyyttä myöhemmin syksyllä (53, 103). LP-käsittelyn aikana tulee huolehtia taimien riittävästä ja oikea-aikaisesta kastelusta. LP-käsittelyn aikainen kuivuusstressi saattaa heikentää myös mm. taimien paksuskasvua (51, 103). On kuitenkin muistettava, että liiallinen ja illalla juuri ennen pimennyksen aloittamista tehty kastelu saattaa altistaa taimet sienitaudeille.

2.3 Karaistuminen ja sen seuranta

Karaistuminen

Pituuskasvun päättymisen jälkeen taimissa tapahtuu muutoksia, jotka varmistavat, että taimet kestävät syksyn ja talven alhaisia lämpötiloja (kuva 7). Karaistumisen ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu monia fysiologisia prosesseja. Tässä vaiheessa mm. solukkojen vesipitoisuus alenee (21, 124, 126, 149), kun solukoihin kertyy sokeireita, aminohappoja ja muita kylmältä suojaavia aineita, soluseinät paksunevat ja puutuvat (96). Nopea karaistuminen, karaistumisen toinen vaihe, alkaa muutama päivä ensimmäisten syyskallojen (lämpötila $-3^{\circ}\text{C} \dots -5^{\circ}\text{C}$) jälkeen (49).



Kuva 7. Periaatekuva taimien kasvun ja karaistumisen ajoittumisesta. a) Taimien karaistuminen alkaa pituuskasvun päättyessä. Karaistumisen I vaiheen aikana taimiin muodostuu päätesilmut ja taimien vesipitoisuus alenee. b) Karaistumisen I vaiheen aikana taimien pakkaskestävyys lisääntyy hieman ($-5 \dots -10^{\circ}\text{C}$). Ilman lämpötilan alentuessa ja laskiessa pakkasen puolelle pakkaskestävyys lisääntyy nopeasti. Tätä vaihetta kutsutaan karaistumisen II vaiheeksi. Tässä vaiheessa vesipitoisuus ei enää alene, joten II vaiheen alkaminen voidaan määrittää vesipitoisuuskäyrän avulla: kun käyrä tasoittuu, taimet siirtyvät toiseen vaiheeseen. Tapahtumien järjestys on kuvan osoittama, mutta niiden ajoittuminen on vain suuntaa-antava ja riippuu puulajista, alkupeirästä, kasvatusolosuhteista jne.

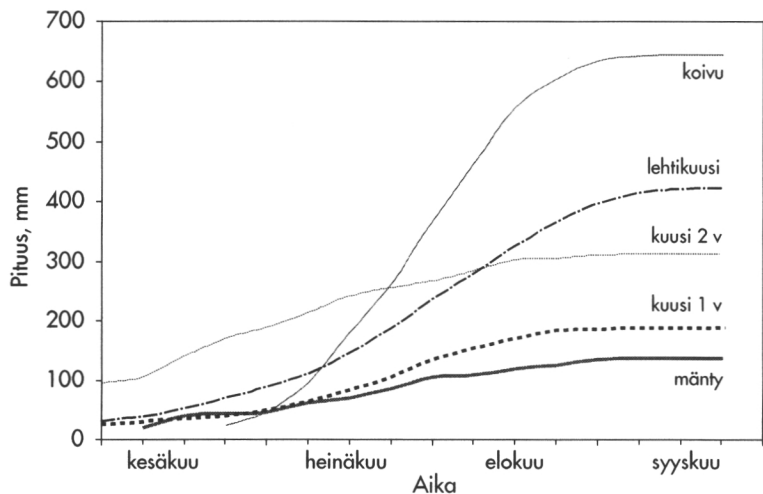
Puulajien välillä on suuria eroja siinä, minkälaiset ympäristöolot edistävät parhaiten karaistumisen ensimmäistä vaihetta. Kasvun päätymisen ja silmun muodostumisen jälkeen kaikilla puulajeilla kuitenkin alenevat lämpötilat edistävät parhaiten karaistumista (157). Karaistumisen toisen vaiheen aikana solukalvot ja entsyymit muuttuvat niin, että solut pystyvät kestävämmään jään muodostumisen aiheuttamaa veden menetystä (9, 94).

Juurten kasvu päättyy ja ne karaistuvat ainoastaan alenevien lämpötilojen vaikutuksesta (15, 58, 104).

Pituuskasvun päättyminen ja silmun muodostuminen

Taimien karaistumiskehitystä seurattaessa ensimmäiseksi pitäisi pystyä määrittämään pituuskasvun päätymisen ajankohta, sillä karaistuminen alkaa siitä. Tämä edellyttää säännöllisin välein toistuvaa pituuskasvun mittausta kasvukauden aikana tai ainakin loppukesällä (kuva 8). Mittausvälistä riippuu, millä tarkkuudella kasvun päättyminen pystytään määrittämään.

Silmun muodostuminen ja neulasaiheiden kehittyminen kuvaavat myös taimien valmiutta karaistua syksyllä. Kanadassa on laadittu seikkaperäiset ohjeet kuusilajien silmun kehittymisen mikroskooppiseen tarkasteluun (146). Menetelmässä poistetaan silmua peittävä suojus, jolloin neulasaiheet paljastuvat. Mikroskooppisessa tarkastelussa voidaan määrittää, milloin uusien neulasaiheiden muodostuminen päättyy ja silmu on täysin kehittynyt. Nopea karaistuminen alkaa tässä vaiheessa. Silmutarkastelulla ei voida kuitenkaan ennustaa taimien pakkaskestävyyttä.



Kuva 8. Esimerkkejä joidenkin taimierien pituuskasvukertymästä. Kuva perustuu Suonenjoen tutkimustaimitarhalla kesällä 1998 viikoittain mitattuihin aineistoihin.

Lehtien tai neulasten värimuutokset ja variseminen

Yksivuotiaalla männyllä neulasten värimuutos syksyllä vihreästä purppuraan voi alkaa jo ennen taimien pakkaskestävyyden muutoksia. Taimien ravinnetilasta ja alkuperästä riippuen värimuutos suhteessa karaistumiseen ajoittuu eri tavalla, joten se ei ole yksiselitteinen karaistumisen indikaattori. Purppuranvärisillä taimilla on kuitenkin vihreitä taimia alhaisempi verson vesipitoisuus (151). Lehtikuusilla neulaset kellastuvat, kun karaistuminen etenee. Neulaset irtoavat vasta lokakuun lopulla ja eteläisten lajien neulaset voivat vielä silloinkin olla vihreitä. Neulasia parempi karaistumisen indikaattori on silmujen muodostuminen. Silmut muodostuvat ennen neulasten kellastumista heti, kun kasvu on päättynyt. Ellei lehtikuuselle ehdi muodostua päätesilmua, taimet eivät karaistu (79). Koivullaakaan lehtien kellastuminen ja putoaminen eivät kuvaa hyvin pakkaskestävyyden kehitystä, sillä edeltävät kasvuolot vaikuttavat enemmän pakkaskestävyyteen kuin lehtien kellastumiseen tai putoamiseen (99). Esimerkiksi LP-käsitellyillä taimilla lehdet olivat vielä vihreitä, mutta taimet kestivät jo varsin alhaisia lämpötiloja. Toisaalta käsittelemättömillä taimilla pakkaskestävyys oli melko huono, vaikka kaikki lehdet olivat jo varisseet.

Latvan vesipitoisuus

Karaistumisen ensimmäisen vaiheen aikana taimien versoissa olevan veden määrä solukossa vähenee. Verson latvan vesipitoisuusmittauksilla on seurattu kuusen (102, 124–126), männyn (151), rauduskoivun (99), ulkomaisten kuusten ja pihtojen (78, 85) sekä lehtikuusten (79) karaistumiskehitystä. Vesipitoisuus ei kuitenkaan kerro taimien pakkaskestävyyttä (kuva 7). Lisäksi vesipitoisuusmuutokset ajoittuvat vain karaistumiskehityksen ensimmäiseen vaiheeseen. Kun vesipitoisuus ei enää muutu, taimien pakkaskestävyys lisääntyy nopeasti eli taimet siirtyvät karaistumiskehityksen toiseen vaiheeseen. (Ohjeet vesipitoisuuden määrittämiseen käytännössä löytyvät toisaalta, ks. 97).

3 Lyhytpäiväkäsittely eri puulajeilla

3.1 Yleistä

Päivänpituutta säätelemällä on mahdollista vaikuttaa pituuskasvun päättymiseen ja karaistumisen alkamiseen. LP-käsittelyn teknisen toteuttamisen ohella on otettava huomioon kasvatettavat lajit, niiden alkuperät, muut kasvatustoimenpiteet sekä käsittelyä edeltävät sää- ja ympäristötekijät. Seuraavassa käsitellään puulajeittain tai lajiryhmittäin hieman tarkemmin mahdollisuuksia käyttää LP-käsittelyä kasvun ja karaistumisen hallinnassa sekä käsittelyn vaikutuksia taimien kehitykseen taimitarhalla ja istutuksen jälkeen maastossa.

LP-käsittely voidaan toteuttaa eri tavoin. Perinteisessä käsittelyssä yönpituus pidetään samana koko käsittelyjakson ajan, esim. 14 tuntia. Tätä kutsutaan tasaiseksi eli staattiseksi LP-käsittelyksi. Käsittely on kuitenkin luonnonmukaisempi käytettäessä nk. dynaamista käsittelyä. Siinä yönpituutta pidennetään vähitellen käsittelyn aikana (esim. 13:sta 15 tuntiin) noudattaen luontaista yönpituuden muuttumista. Jaksottaisessa LP-käsittelyssä yönpituus pidennetään vain joinakin päivinä viikossa ja esim. viikonloppuna on luontainen päivänpituus.

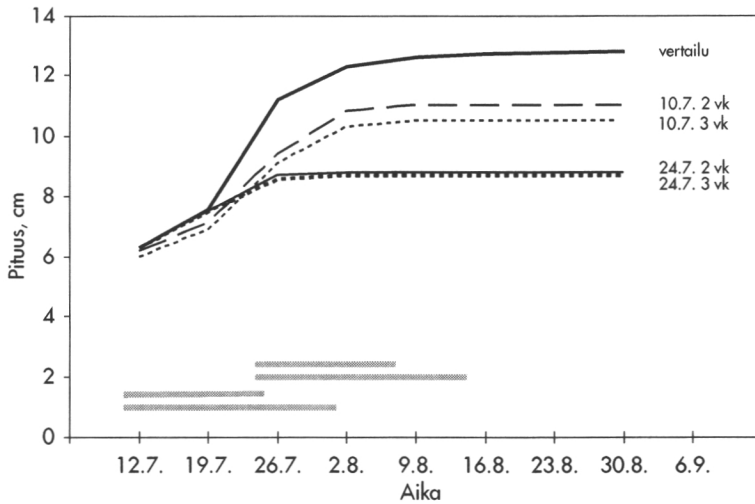
Aloitettaessa LP-käsittely taimien lehdet tai neulaset puulajista ja käsittelyajankohdasta riippumatta muuttuvat väriltään vaaleamman vihreiksi. Käsittelyn jälkeen noin 1–2 viikon kuluessa väri kuitenkin palautuu normaalin vihreäksi tai muuttuu jopa tummemman vihreäksi. Käsittelyn aikana taimien latvojen vesipitoisuudet ovat yleensä korkeammat kuin vertailutaimilla. Taimien puutuminen ja siten vesipitoisuuden aleneminen alkaa vasta käsittelyn päätyttyä.

3.2 Kuusi

3.2.1 Pituuskasvu

Pituuskasvun päätyminen ja silmun muodostuminen

Kuusilajien kylvövuoden taimilla yönpituus on tärkein pituuskasvun päättymiseen vaikuttava tekijä. Luontaisen yönpituuden pidentämi-



Kuva 9. Kuusen yksivuotiaiden LP-käsittelyjen taimien (16 h yö) ja luontaisessa päivänpituudessa (vertailu) kasvatettujen taimien pituuskehitys. Kahden (2 vk) ja kolmen (3 vk) viikon LP-käsittelyt aloitettiin 10.7. ja 24.7. LP-käsittelyjen ajoitus ja kesto on kuvattu harmailla vaakapalkeilla (piirretty Rantasen 1997 mukaan).

nen (päivänpituuden lyhentäminen, LP-käsittely) hidastaa yksivuotiaiden taimien pituuskasvua. Jos yön pituus ylittää ns. kriittisen yön-pituuden, pituuskasvu päättyy kokonaan. Pituuskasvun samanaikaisesta päättymisestä johtuen LP-käsittely vähentää myös taimierän pituusvaihtelua (55, 56, 102).

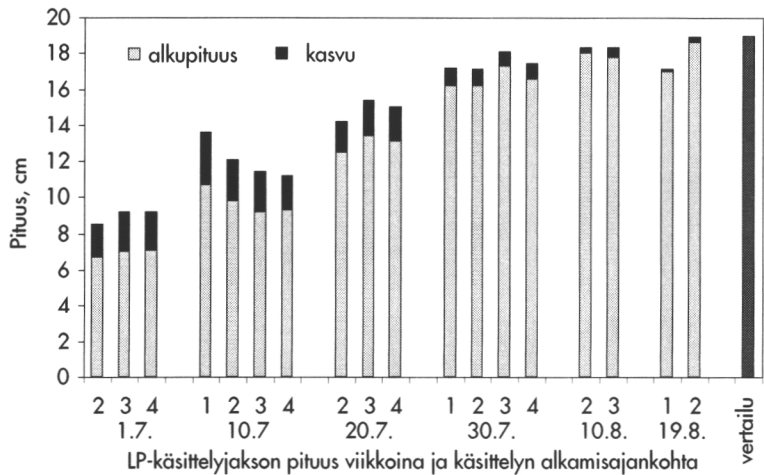
Taimet pystyvät reagoimaan yön pituuteen ja päättävät kasvun jo hyvin nuorina, neljän, viiden viikon ikäisinä (55, 56, 102), mutta myöhemmin pitkän päivän olosuhteissa taimet voivat lähteä uudelleen kasvuun (27, 58). Esimerkiksi varhain keväällä kylvetyt kuusen taimet saattavat muodostaa päätesilmut heti itämisen jälkeen, jos yö on liian pitkä. Myöhemmin kesällä osa sirkkataimen päähän muodostuneista silmuista puhkeaa ja taimi lähtee kasvuun, jolloin kasvustosta tulee epätasainen. Silmun liian aikainen muodostuminen on estettävissä katkaisemalla yö keinovaloilla (katso luku 4).

Pituuskasvun päättymisen, taimien lepotilaan siirtyminen ja karaistumisen alkaminen on mahdollista vasta, kun taimille on kertynyt riittävästi lämpösomaa (600–700 d.d.), ts. kun taimet ovat riittävän pitkällä kehityksessään. Pituuskasvun päättymisen jälkeen lämpötila ja taimien alkuperä vaikuttavat kuusilla voimakkaasti silmun muodostumiseen. Tässä kehitysvaiheessa yön pituudella ei ole enää niin suurta merkitystä. Se ei kuitenkaan saa olla liian pitkä. Esimerkiksi mustakuusen ja valkokuusen silmussa neulasaiheiden kehittyminen vähenee merkittävästi, kun yön pituus ylittää 18 tuntia (115).

Lyhytpäiväkäsittelyn ajoitus

Mietittäessä LP-käsittelyn aloitusajankohtaa on hyvä muistaa, että taimet kasvavat vielä käsittelyn aloittamisen jälkeenkin pituutta 2–3 cm. LP-käsittelyssä kuusen taimien pituuskasvu hidastuu 16 tunnin

Kuva 10. Kuusen yksivuotiaiden taimien pituus ennen LP-käsittelyä (harmaa) ja kasvu LP-käsittelyn (14 h yö) alkamisen jälkeen (musta osuus). Oikeaan reunaan on piirretty saman taimierän vertailutaimien pituus (tumma). Yhden, kahden, kolmen ja neljän viikon pituiset käsittelyt aloitettiin samanaikaisesti käsittelyajankohdittain 1.7., 10.7., 20.7., 30.7., 10.8. ja 19.8. Pylväät edustavat 10 taimen keskiarvoa. (Kuva piirretty Konttisen ja Rikalan (2000) mukaan).



yönpituudessa jo kahden ensimmäisen viikon aikana ja päättyy kahden (kuva 9) (117), joissain tapauksissa jo yhden viikon käsittelyn jälkeen (kuva 10) (82). Aikaisin aloitetussa LP-käsittelyssä (16 h yönpituus) kasvun päättymiseen menee pitempi aika kuin myöhäisemmässä käsittelyssä. Esimerkiksi heinäkuun 10. päivänä aloitetussa LP-käsittelyssä pituuskasvun päättymiseen meni yli kaksi viikkoa. Kaksi viikkoa myöhemmin aloitetussa käsittelyssä kasvu päättyi jo viikon kuluttua käsittelyn alkamisesta (kuva 9) (117). Käsittelyajankohta vaikuttaa myös päätesilmujen muodostumiseen. Aikaisemmin käsiteltyihin taimiin muodostuu silmut nopeammin kuin myöhemmin käsiteltyihin, mikä voi johtua korkeammasta lämpötilasta silmujen kehittymisen aikana (82).

Käsittelyjakson kesto ja jälkikasvu

Yksivuotiailla taimilla liian aikaisin aloitetun tai liian lyhyen LP-käsittelyn jälkeen jälkikasvun riski saattaa olla suuri. Esimerkiksi huhtikuussa kylvetyillä taimilla esiintyi jälkikasvua 10.7. aloitetun kahden viikon LP-käsittelyn jälkeen (117). Koska jälkikasvun myötä menetetään osa LP-käsittelyn hyödystä, on käsittelyn ajoitus ja kesto sovittava kasvuvaiheeseen nähden oikean pituisiksi. Kasvuvaihe taas on määritettävissä lämpösummakertymän avulla, eli mitä enemmän taimille on kertynyt lämpösummaa (taimet pidemmällä kehityksessään), sitä pienempi on jälkikasvun riski. Jälkikasvun estämiseksi LP-käsittelyn olisi kestettävä vähintään kolme viikkoa, jotta kaikkien taimien silmut menisivät lepotilaan (32, 33). Etenkin taimitarhaa huomattavasti eteläisempien alkuperien taimilla jälkikasvun riski on suuri ja niillä saattaakin olla tarpeen jatkaa LP-käsittelyä neljään viikkoon jälkikasvun estämiseksi (78).

Yönpituus

Yönpituutena LP-käsittelyssä on Ruotsissa ja Suomessa käytännön taimikasvatuksessa perinteisesti käytetty 16 tuntia. Brittiläisessä Kolumbiassa käytetyt yönpituudet ovat vaihdelleet 10–16 tuntiin (90, 142). Pisintä yötä on käytetty eteläisillä ja lähellä merenpintaa olevilla puulajeilla tai alkuperillä.

Kaksivuotiaat ja vanhemmat taimet

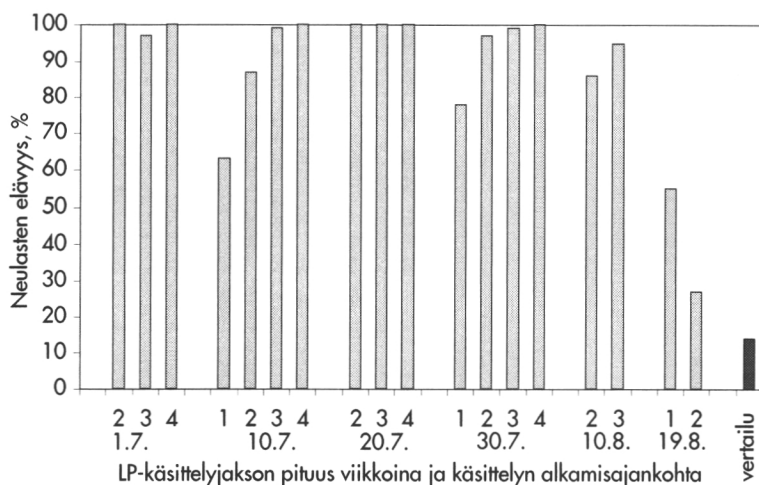
Luontaisessa päivänpituudessa kaksivuotiaiden taimien pituuskasvu päättyy yleensä yksivuotiaita, muovihuoneessa kasvatettuja taimia aikaisemmin, joten LP-käsittelyllä saavutettava hyöty ei ole niin suuri kuin yksivuotiailla taimilla (102). Suurin hyöty karaistumisen aikais-tamisen ohella kaksivuotiaita kuusen taimia LP-käsiteltäessä on jäl-kikasvun estäminen. Erot kaksivuotiaiden LP-käsiteltyjen taimien ja käsittelemättömien taimien välillä ovat suuremmat, jos taimet on käsitelty myös yksivuotiaina (102). Näin siksi, että ensimmäisenä kasvukautena LP-käsiteltyjen taimien kasvukausi pitenee toisena vuonna. LP-käsittelyllä voidaan lopettaa vielä 8-vuotiaankin kuusen pituuskasvu (95), joskin vanhemmilla kuusen taimilla vapaan kasvun osuuden vähentyessä yönpituuden merkitys pituuskasvun päättyemisessä pienenee ja vastaavasti lämpösumman rooli kasvaa.

3.2.2 Karaistuminen

Useissa tutkimuksissa on todettu, että LP-käsittelyllä voidaan aikaistaa ja nopeuttaa kuusen taimien karaistumista (9, 19, 124–126, 133). Karaistuminen voi aikaistua kahdesta kuuteen viikkoa ja pakkaskes-tävyys lisääntyä syyskuun alussa 5–7 °C (102). Vaikutus on samanlainen sekä yksi- että kaksivuotiailla taimilla kuusilajista riippumatta (liite 1).

Taimien karaistuminen edellyttää pituuskasvun päättymistä ja päätesilmun muodostumista. Karaistumisen ensimmäisen vaiheen aikana silmun kehittyminen edellyttää riittävää lämpötilaa. Siten kuusen taimien karaistumisen alkuvaiheet etenevät parhaiten pitkässä yössä ja suhteellisen korkeissa n. 20 °C päivä/yölämpötiloissa (34). Sil-mujen kehittymisen jälkeen karaistumista kuitenkin edistävät parhaiten alhaiset päivä/yölämpötilat. Alhaisessa lämpötilassa taimet voivat karaistua myös lyhyessä yössä. Yön jatkaminen yhdeksästä 16 tuntiin lisää mustakuusen karaistumista 25/20 °C:n lämpötilassa, mutta karaistuminen lisääntyy myös lyhyessä, yhdeksän tunnin yössä, jos lämpötila lasketaan 10/5 °C:een (28). Toisaalta, jos lämpötila

Kuva 11. Kuusen yksivuotiaiden LP-käsittelyjen (14 h yö) ja vertailutaimien neulasten elävyys syyskuun alun pakkastestissä (altistuslämpötila $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Yhden, kahden, kolmen ja neljän viikon käsittelyt aloitettiin samanaikaisesti käsittelyajankohdittain (1.7., 10.7., 20.7., 30.7., 10.8. ja 19.8.) Vertailutaimet olivat muovihuoneessa pakkastestiin saakka. Pylväät edustavat 20 taimen keskiarvoa. (Kuva piirretty Konttisen ja Rikalan (2000) mukaan).



on alhainen ($10/10\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai $10/5\text{ }^{\circ}\text{C}$) kuusen karaistuminen ei nopeudu merkittävästi, vaikka yötä jatketaan 12:sta 18 tuntiin (8).

Kunnolla karaistuminen vie aikaa myös lyhyen päivän olosuhteissa. Lyhytkin käsittelyjakso nopeuttaa karaistumista verrattuna käsittelemättömiin taimiin, mutta vaadittavan käsittelyjakson pituus riippuu taimien alkuperästä ja alkuperäpaikan korkeudesta merenpinnasta. Esimerkiksi Brittiläisessä Kolumbiassa vuoriston kuusille voi riittää 5–10 päivää, mutta rannikon douglaskuusi voi tarvita kolmesta neljään viikkoa (142). On muistettava, että taimet eivät ole karaistuneita heti lyhyen, yhden, kahden viikon käsittelyn päättyessä (kuva 11, 19.8. aloitetut käsittelyt) (11, 26, 65, 82). Lyhyetkin käsittelyt kuitenkin parantavat taimien pakkaskestävyyttä myöhemmin syksyllä. Jatkettaessa käsittelyä 3–4 viikkoon taimien pakkaskestävyys lisääntyy huomattavasti jo käsittelyn aikana (22). Pitemmät käsittelyt parantavat taimien pakkaskestävyyttä myös myöhemmin syksyllä riippumatta siitä, pidetäänkö taimia muovihuoneessa vai avomaalla käsittelyn jälkeen (82).

LP-käsittely olisi aloitettava viimeistään elokuun alussa, jotta taimet ehtivät karaistua riittävästi ennen mahdollisia elo-syyskuun vaihteen halloja. Elokuun puolivälissä ja myöhemmin aloitettujen käsittelyjen jälkeen kuusen taimet eivät ole karaistuneita vielä syyskuun alkupuolella (kuva 11) (65, 82). Myöhemmin syksyllä alhaiset lämpötilat karaisevat taimia eikä yön jatkaminen enää nopeuta karaistumista. Liian myöhään aloitettu LP-käsittely saattaa jopa viivästyttää taimien karaistumista ja heikentää pakkaskestävyyttä.

Mitä pitempi yö, sitä paremmin taimet karaistuvat (11), mutta yö ei kuitenkaan saa olla liian pitkä, yli 18 tuntia, sillä karaistuminen vaatii energiaa ja siten yhteyttämistuotteita (8). Suonenjoella tehdyssä kokeessa yön pituuden vaikutus verson pakkaskestävyyteen oli vähäinen: yön pidentäminen 10 h:sta 16 h:iin lisäsi verson pakkaskes-

tävyyttä vain vähän (85). Myös alhaisessa lämpötilassa karaistuminen vaatii yhteyttämistuotteita (39, 40, 105). Pohjoista alkuperää olevien taimien karaistumiseen riittää lyhempi yö kuin eteläisten alkuperien taimilla, jotka eivät saavuta LP-käsittelyn jälkeenkään pohjoisten alkuperien pakkaskestävyyttä (31, 34, 66, 78, 102, 113, 116).

Syysistutus

LP-käsittelyllä on mahdollista vähentää syksyllä istutettavien kuusen taimien vaurioitumisriskiä syysshalloissa. Esimerkiksi Norjassa tehdyssä tutkimuksessa syksyllä istutettujen LP-taimien pakkasvauriot olivat 58% vertailutaimia vähäisemmät (130, 133). Ruotsalaisissa tutkimuksissa kolmen ja neljän viikon käsittely aloitettiin 18.7. ja 25.7. ja taimet istutettiin 30.8. Istutuksen jälkeisenä syksynä halja- ja kuivuusvauriot LP-käsitellyissä taimissa olivat n. 40 % käsittelemättömiä taimia pienemmät (125, 126). Suomessa tehdyssä tutkimuksessa tulokset olivat samansuuntaiset (118).

Pakkasvarastoinnin aloittaminen

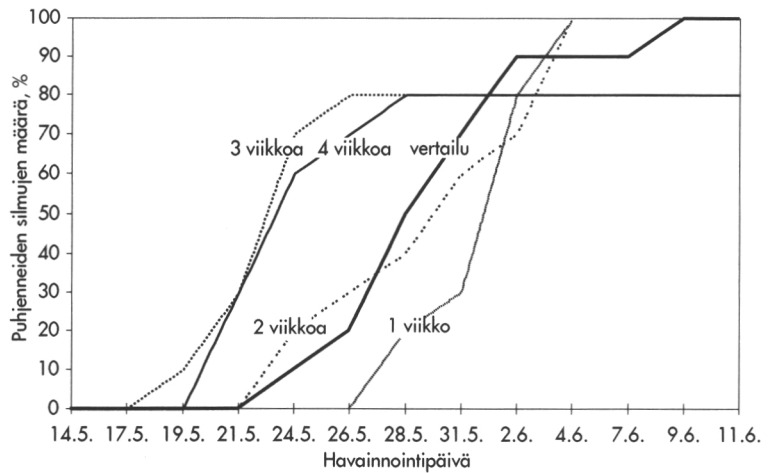
LP-käsittelyjen kuusen taimien pakkasvarastointi on mahdollista aloittaa aikaisemmin syksyllä kuin käsittelemättömillä taimilla. Käsittelemättömiä taimien varastointikestävyyttä varsinkin eteläisillä alkuperillä (129, 133). Taimia ei kuitenkaan saa viedä liian nopeasti LP-käsittelyn jälkeen pakkasvarastoon. Heinäkuun puolivälin jälkeen (aloitettu 18.7. ja 25.7.) LP-käsitellyt taimet on mahdollista siirtää pakkasvarastoon aikaisintaan syyskuun lopussa (125, 126). On kuitenkin muistettava, että juuristo karaistuu alhaisten lämpötilojen vaikutuksesta, joten pakkasvarastoinnin aloittamiseen vaikuttavat myös syksyn lämpötilat.

3.2.3 Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen

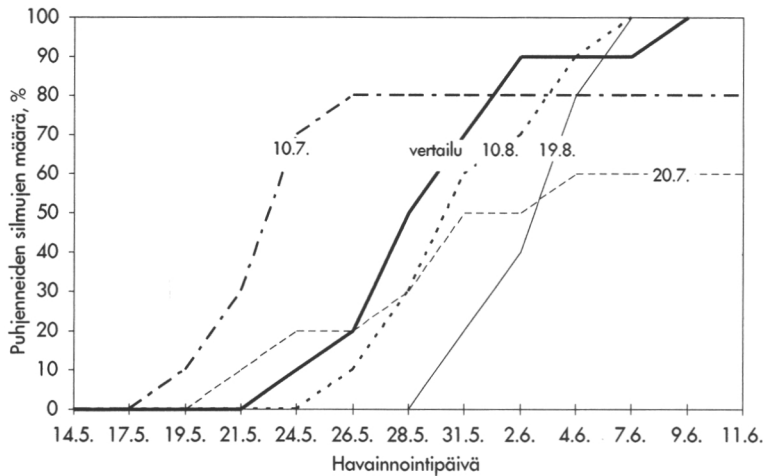
Silmujen puhkeaminen

LP-käsittely aikaistaa kuusien silmujen puhkeamista seuraavana keväänä. Silmujen puhkeamisajankohtaan vaikuttavat käsittelyn ajankohta, yön pituus sekä kesto yhdessä taimien alkuperän kanssa. LP-käsitellyjen taimien päätesilmut puhkeavat sitä aikaisemmin, mitä voimakkaampi ja aikaisempi käsittely on ollut (118, 125). Lyhyet, yhden ja kahden viikon LP-käsitellyt eivät vaikuta kuusen silmujen puhkeamisajankohtaan, mutta ennen elokuun alkua aloitettu kolmen

Kuva 12. Kuusen LP-käsittelyjen (14 h yö) ja luontaisessa päivänpituudessa kasvaneiden taimien (vertailu) silmujen puhkeaminen käsittelyä seuraavana keväänä. Käsittelyt aloitettiin 10.7., käsittelyjakson pituudet olivat 1, 2, 3 ja 4 viikkoa. Seurannassa oli 10 tainta/käsittely. (Kuva perustuu K. Konttisen julkaisemattomaan aineistoon).



Kuva 13. Kuusen LP-käsittelyjen (14 h yö, 3 viikkoa) ja luontaisessa päivänpituudessa kasvaneiden taimien (vertailutaimien) silmujen puhkeaminen käsittelyä seuraavana keväänä. Käsittelyjen alkamisajankohdat olivat 10.7., 20.7., 10.8. ja 19.8. Seurannassa oli 10 tainta/käsittely. (Kuva perustuu K. Konttisen julkaisemattomaan aineistoon).



ja neljän viikon käsittely aikaistaa selvästi silmujen puhkeamista (kuva 12) (83). Sen sijaan myöhäinen elokuun käsittely näyttäisi jopa viivästyttävän silmujen puhkeamista käsittelemättömiin taimiin verrattuna (kuva 13).

Samalla kun silmujen puhkeaminen aikaistuu, puhkeamatta jäävien silmujen osuus voi nousta jopa 20–40 %:iin liian aikaisessa tai pitkässä käsittelyssä (kuvat 12–13). Pohjoisamerikkalaisten kuusien silmujen puhkeaminen aikaistui sitä enemmän, mitä pitempää yötä LP-käsittelyssä käytettiin (11, 56, 90). LP-käsittelyn vaikutus silmujen puhkeamiseen voi ilmetä vielä toisena istutuksen jälkeisenä kasvukautena (102).

Syynä aikaisempaan LP-taimien silmujen puhkeamiseen voi osittain olla käsittelyjen taimien korkeammat ravinnepitoisuudet (131–133), joskin pelkästään vuosirytmien muuttaminen LP-käsittelyllä saattaa myös olla tähän syynä. Taimien alkuperä vaikuttaa myös sil-

mujen puhkeamisajankohtaan, sillä pohjoisen alkuperän taimien silmut puhkeavat eteläisen alkuperän taimien silmuja aikaisemmin (31, 59).

Taimien kasvu ja elossaolo

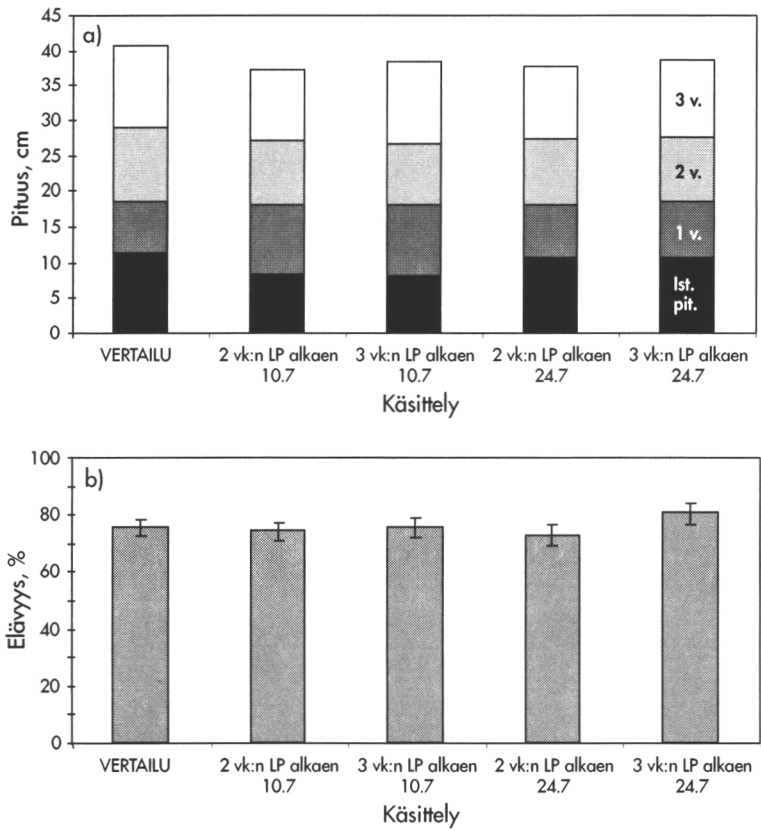
LP-käsittely lisää ainakin kuusen (59, 113, 118) ja mustakuusen (110, 111) istutuksen jälkeistä pituuskasvua. Vaikutus perustuu siihen, että vuotta vanhempien kuusentaimien pituuskasvu on osin ennaltamääräytyntä kasvua (neulasaiheiden määrä silmussa) (71). Neulasaiheiden määrään taas vaikuttaa ympäristön lämpötila silmun kehittymisen aikana (59, 115). LP-käsiteltyjen taimien silmut muodostuvat aikaisemmin ja siten yleensä lämpimämmässä kuin luonnon rytmin mukaisesti kehittyessään. Esimerkiksi silmun kehittymisaikana lämpimässä (18–21 °C) pidettyjen taimien pituuskasvu oli seuraavana kasvukautena kaksinkertainen alhaisessa lämpötilassa (12 °C) pidettyihin taimiin verrattuna (59).

Silmun kehittymisen lämpötilariippuvuudesta johtuen LP-käsittelyn ajankohta voi vaikuttaa kuusen istutuksen jälkeiseen kasvuun. Jo kahden viikon ero kuusen LP-käsittelyajankohdassa vaikutti taimien istutuksen jälkeiseen kasvuun; aikaisemmin käsitellyt kasvoivat 10–20 % enemmän (118). Kaikissa tutkimuksissa tätä eroa ei ole kuitenkaan voitu todeta. Suonenjoen taimitarhalla tehtyjen havaintojen mukaan heinäkuun alussa aloitetut LP-käsittelyt eivät lisänneet pituuskasvua myöhempiin käsittelyihin verrattuna (83).

LP-käsittelyssä käytetyn yön pitempien vaikutusta kuusen istutuksen jälkeiseen kasvuun ei ole Suomessa tutkittu. Norjalaisissa, kasvukaapeissa tehdyissä tutkimuksissa on kokeiltu hyvin lyhyitä 10, 8, 6 ja 4 tunnin öitä (59). Pisin, 10 tunnin yö, lisäsi kuusen pituuskasvua toisena kasvukautena enemmän kuin lyhemmät yöt. Vaikutus oli suurempi eteläisellä (47 °N) kuin pohjoisella (64 °N) alkupeurällä. Brittiläisessä Kolumbiassa ei LP-käsittelyn yön pitempiä (5, 7, 9 ja 11 tuntia) ole kuitenkaan havaittu merkittävää vaikutusta kuusien (alkuperät 49–55 °N) istutuksen jälkeiseen kasvuun (90). Myöskään LP-käsittelyn kesto ei ole yleensä vaikuttanut kuusien istutuksen jälkeiseen kasvuun (kuva 14) (42, 117).

LP-käsittelyn kasvua lisäävä vaikutus voi ilmetä vielä myöhempiinä kasvukausina, vaikkakin erot tasoittuvat. Tutkimustulokset ovat kuitenkin jossain määrin ristiriitaisia. Ontariossa mustakuusen LP-taimien kasvu oli vertailutaimia suurempi vielä toisena ja kolmantena kasvukautena, jolloin LP-käsiteltyjen taimien kokonaispituus ohitti vertailutaimien pitempiä (110). Sitä vastoin ruotsalaistutkimuksessa kuusen LP- ja vertailutaimien kasvussa ei havaittu eroja ensimmäisenä ja toisena kasvukautena istutuksen jälkeen (126). Myöskin Brit-

Kuva 14. Eri aikoina LP-käsittelyjen ja elo-syyskuussa istutettujen kuusen paakutaimien maastomenestyminen. **a)** Taimien istutus-pituus sekä pituuskehitys 1–3 vuotta istutuksen jälkeen ja **b)** taimien elävyys neljäntenä keväänä istutuksen jälkeen. Kokeessa oli 4 erilaista LP-käsittelyä (16 h yö): kahden ja kolmen viikon LP-käsittelyt alkaen 10.7. ja 24.7. Vertailutaimet olivat koko ajan ulkona karaisukentällä. Kuvasa kahden viikon välein istutetut taimierät on yhdistetty käsittelyittäin. (Kuva perustuu julkaisemattomaan J. Luorasan ja A. Rantasen aineistoon).



tiläisessä Kolumbiassa eri yön pituuksien aiheuttamat erot istutuspi-tuudessa säilyivät valkokuusella vielä kaksi vuotta (90) ja engelmanninkuusella viisikin vuotta istutuksesta (143). Suomalaistutkimuk-sessa eivät kuusen LP- ja vertailutaimien kasvut enää eronneet toise-na ja kolmantena kasvukautena istutuksen jälkeen (kuva 14) (101).

Liian pitkä yö tai käsittelyjakso voi hidastaa taimien juuriston ja läpimitan kehitystä tarhalla. Tuloksena saattaa olla ohuita ja juuris-toltaan heikkokuntoisia taimia. LP-käsittely kuitenkin yleensä lisää taimien istutusstressin kestävyyttä ja parantaa elossaoloa ensimmäis-ten vuosien aikana (28). Oikein toteutettuna LP-käsittely ei heiken-nä taimien menestymistä. LP-käsittelyjen taimien elossaolo onkin tavallisesti ollut ensimmäisen kasvukauden jälkeen käsittelemättö-miä taimia parempi huolimatta siitä, että LP-käsittelyjen taimien ai-kaisin puhkeavilla silmuilla on suurempi riski vaurioitua keväthal-loissa (28, 125, 126). Silmuja lukuunottamatta muita vaurioita tai kuolleisuutta ei ole esiintynyt. Myöhemmiltä kasvukautilta ei jul-kaistuja tuloksia ole, mutta todennäköisesti käsittelyjen väliset mah-dolliset erot ilmenevät kolmen vuoden kuluessa istutuksesta. Esimer-kiksi Keski-Suomessa tehdyssä kokeessa ei käsittelyjen ja vertailu-taimien välillä ollut eroja elossaolossa kolmen vuoden kuluttua istu-tuksesta (kuva 14) (101).

3.2.4 Neuvoja ja esimerkkejä kuusen LP-käsittelyyn

LP-käsittelyn ajankohta

Käsittely voidaan aloittaa, kun taimet ovat riittävän pitkällä kehityksensä ja noin 2–3 cm tavoitepituudesta puuttuu.

Jos taimitarhalla kasvatetaan useita alkuperiä ja satoja, taimierien käsittelyjärjestystä suunniteltaessa kannattaa ottaa huomioon seuraavat tekijät:

- ◆ 2-vuotiaat taimet reagoivat päivänpituuteen 1-vuotiaita aikaisemmin, joten niillä LP-käsittely voidaan aloittaa jo heinäkuun alkupuolella. Suurin hyöty on jälkikasvun estäminen ja karaistumisen aikaistaminen
- ◆ alkuperäaluettaan pohjoisempina kasvatettavat taimet kasvavat syksyllä pitkään ja niiden karaistuminen saattaa viivästyä ilman LP-käsittelyä, mutta alkuperäaluettaan etelämpänä kasvatetuilla pitkään jatkuvan pituuskasvun riski on vähäisempi
- ◆ ensin kylvetyt taimierät saavuttavat aikaisemmin kehitysvaiheen, jossa LP-käsittely tehoaa
- ◆ myöhään syksyllä muovihuoneessa pidetyillä taimilla LP-käsittelyn tarve on vähäinen
- ◆ elo-syyskuun vaihteessa käsittelyjä ei kannata enää aloittaa, sillä lyhyestä päivästä johtuen taimien karaistuminen saattaa jopa viivästyä ja juuriston kasvu heikentyä
- ◆ ennen heinäkuun puoltaväliä aloitettujen alle 2 viikon käsittelyjen jälkeen on olemassa jälkikasvun riski

Taimien karaistuminen hallankestäviksi vie noin 2 viikkoa käsittelyn päättymisen jälkeen.

LP-käsittelyjakson pituus

Useimmiten sopivin on 3 viikon käsittely

- ◆ jo 1–2 viikon käsittely pysäyttää pituuskasvun ja aikaistaa jonkin verran karaistumista, mutta jälkikasvun riski on olemassa
- ◆ yli 4 viikon käsittely saattaa heikentää juurten ja läpimitan kasvua
- ◆ heinäkuussa aloitetuissa käsittelyissä tarvitaan useimmiten 3 viikon käsittely, mutta elokuussa aloitetuissa käsittelyissä 2,5 viikon käsittely riittää
- ◆ Suomea hyvin paljon eteläisemmällä alkuperillä tarvitaan 4 viikon käsittelyjä

Yönpituus LP-käsittelyn aikana

Yleisesti käytetty 16 h yö on Suomessa useimmissa tapauksissa tarpeetoman pitkä ja 12–14 h yönpituus riittää. Lyhyemmätkin yönpituuksat saattavat olla mahdollisia, mutta niiden vaikutuksia taimien kehitykseen ei juurikaan ole tutkittu.

LP-käsittely ja syysistutus

LP-käsittely parantaa syksyllä istutettavien taimien hallankestävyyttä:

- ◆ käsittely aloitettava viimeistään heinäkuun jälkimmäisellä puoliskolla
- ◆ käsittelyn jälkeen taimia pidettävä tarhalla vähintään 1 viikko, jonka jälkeen taimet voidaan istuttaa

Ennen syysistutusta tehdyn LP-käsittelyn vaikutusta taimien maastomenestymiseen on tutkittu vain kylvövuoden taimilla.

LP-käsittely ja pakkasvarastointi

Pakkasvarastoinnin aikaistamiseksi

- ◆ käsittely aloitetaan viimeistään elokuun alussa, jotta taimet ehtivät karaistua ennen lokakuussa aloitettavaa pakkasvarastointia
- ◆ aikaisemmin aloitetussa käsittelyssä taimet saattavat kestää varastoinnin jo aikaisemminkin
- ◆ on kuitenkin muistettava, ettei LP-käsittely lisää juurten pakkaskestävyyttä

Kuusien LP-käsittelyyn liittyviä riskejä

Seuraavana keväänä silmujen puhkeaminen aikaistuu tai osa silmuista voi jäädä puhkeamatta etenkin pitkien LP-käsittelyjaksojen ja aikaisin aloitettujen käsittelyjen jälkeen.

Erilaisia kuusen lyhytpäiväkäsittelyaikatauluvaihtoehtoja							
	HUHTI	TOUKO	KESÄ	HEINÄ	ELO	SYYS	LOKA
1. vuosi							
←	1. kylvö muovihuone		ulkona	LP	ulkona tai syysistutus		tai pv
		↓	2. kylvö muovihuone		LP	ulkona / syysist.	tai pv
				↓	3. kylvö muovihuone		LP
							Ulkona
2. vuosi							
			3. kylvöerä	ulkona	LP	ulkona tai syysistutus	tai pv

Kuva 15. Vaihtoehtoja kuusen lyhytpäiväkäsittelyaikatauluiksi. Kuusella 1. ja 2. kylvöerä on mahdollista käsitellä peräkkäin saman pimennysverhon alla. LP = lyhytpäiväkäsittely, nuoli tarkoittaa kylvöajankohtaa ja pv on pakkasvarasto.

3.3 Mänty

3.3.1 Pituuskasvu

Pitkät yöt hidastavat tai pysäyttävät yksivuotiaiden männyn taimien pituuskasvun, mutta se päättyy ennemmin tai myöhemmin myös lyhyessä yössä (43, 67, 126). Kaksivuotiailla ja vanhemmilla männyn taimilla pituuskasvu päättyy jo kesä-heinäkuun vaihteessa, kun lämpösummaa on kertynyt riittävästi (119). LP-käsittelyn vaikutuksista männyn taimien jälkikasvun ehkäisemisessä ei ole tutkimustietoja.

Suomessa LP-käsittelyn vaikutuksia männyn taimiin on tutkittu vähän. Suomenjoella tehtyjen havaintojen mukaan 14 tunnin yö ja neljän viikon käsittelyjakso heinäkuussa pysäyttää 10.5. kylvetyn männyn pituuskasvun (81). Samaan aikaan aloitetut lyhyemmät, yhden ja kahden viikon käsittelyt eivät merkittävästi vaikuta pituuskasvun päättymiseen.

Kiinnostus ensimmäisen kesän männyntaimien lyhytpäiväkäsittelyyn pohjaa pääosin ”kaksivuotiaiden” taimien kasvattamiseen yhdessä kasvukaudessa. LP-käsittely pysäyttää männyn kasvun ja taimiin kehittyvät päätesilmut, jotka puhkeavat pari viikkoa käsittelyn jälkeen ja siitä kasvaa ”toisen vuoden” kasvu kaksoisneulasineen. Ruotsalaisten ohjeiden mukaan maaliskuussa kylvelyt männyn LP-käsitellään kuudesta kahdeksan viikon kuluttua, jolloin taimet ovat n. 5 cm pituisia (47). Yö pidennetään 16 tuntiin 2–4 viikon ajaksi (47, 127). Suomenjoella tehdyssä kokeessa kaksoisneulasheet muodostuivat myös myöhemmin (24.4.) kylvetyille männylle, kun kahden viikon LP-käsittely tehtiin kesäkuun alussa (81).

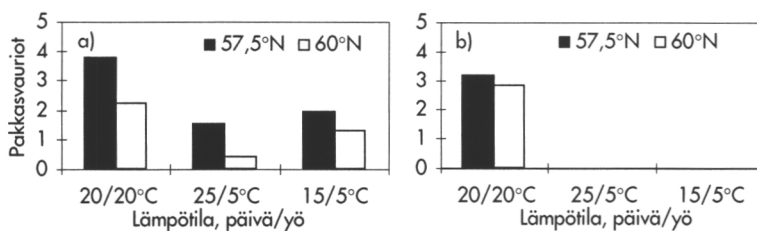
3.3.2 Karaistuminen

Alhainen lämpötila männyn karaistumisessa

Lämpötilalla on suuri merkitys männyn karaistumisessa. Viileä alle 10 °C:n lämpötila ja pitkät yöt edistävät karaistumista. Mänty ei karaistu pitkäaikaisesti yössä, jos lämpötila on liian korkea. Niinpä alkukesän LP-käsittely kaksoisneulasten aikaansaamiseksi ei lisää taimien pakkaskestävyyttä. Syyskesällä LP-käsittely nopeuttaa männyn karaistumista ja lisää pakkaskestävyyttä edellyttäen, että taimet altistuvat myös alhaisiin lämpötiloihin. Männyn taimet onkin siirrettävä heti muovihuoneessa tehdyn LP-käsittelyn jälkeen ulos alhaisten lämpötilojen saavuttamiseksi (124–126).

Alhainen yölämpötila on karaistumisessa päivälämpötilaa tärkeämpi (19, 34, 67). Esimerkiksi 25/5 °C:een ja 15/5 °C:een (päivä/yö) lämpötila on karaissut taimia paremmin kuin jatkuva 20 °C:een läm-

Kuva 16. Männyin kahden alkuperän (57,5°N ja 60°N) LP-käsittelyjen taimien karaistuneisuus eri kasvatustilastoissa. Taimien pakkasvauriot **a)** -12 °C altistamisen jälkeen, kun taimia käsiteltiin 15 h yössä 1 viikko ja **b)** -19 °C altistamisen jälkeen, kun taimia käsiteltiin 16 h yössä 3 viikkoa. Pakkasaltistamisen jälkeen vaurioiden voimakkuus arvioitiin kuusiluokkaisella asteikolla (0 = ei vaurioita, 5 = taimet kuolleet). (Kuva piirretty Dormlingin (1993) mukaan).



pötilä (kuva 16) (34). Mänty karaistuu hyvin myös, kun päivä- ja yölämpötila lasketaan samanaikaisesti (19). Toisaalta alhaisessa lämpötilassa yön pidentäminen ei enää lisää karaistumista: esimerkiksi 10/10- ja 10/5 °C:n (päivä/yö) lämpötilassa mänty karaistui paremmin 12 tunnin yössä kuin pitemmässä 16 tai 18 tunnin yössä (8).

LP-käsittelyn ajoitus ja yön pituus

Syksyllä istutettavien tai pakkasvarastoon siirrettävien männyntaimien LP-käsittelyä ei ole Suomessa tutkittu. Ruotsalaisissa tutkimuksissa 3–4 viikon LP-käsittely aloitettiin heinäkuun puolivälissä tai lopussa. LP-käsittelyjen ja syksyllä istutettujen mäntyjen (alkuperä 59–60°N) pakkasvauriot olivat ilman käsittelyä muovihuoneessa karaistuneita taimia vähäisemmät syysistutuksen jälkeen. LP-käsittelyjenkin taimien pakkasvauriot olivat suuret, jos taimet oli jätetty muovihuoneeseen käsittelyn jälkeen (125, 126). Elokuun lopulla istutettavien männyntaimien LP-käsittely olisi aloitettava jo heinäkuun puolivälissä.

LP-käsittelyt taimet säilyvät käsittelemättömiä taimia paremmin myös pakkasvarastossa. Elokuun puolivälissä päätyneessä 3–4 viikon LP-käsittelyssä olleet taimet säilyivät paremmin 27.9. aloituspaikassa pakkasvarastoinnissa (-5 °C) kuin ilman LP-käsittelyä karaistuneet taimet. Jos taimet oli LP-käsittelyn jälkeen jätetty muovihuoneeseen, taimien vauriot olivat yhtä suuret kuin ulkona ilman LP-käsittelyä karaistuneiden taimien vauriot (126). Myös pakkasvarastoon siirrettävien taimien LP-käsittely olisi aloitettava jo heinäkuun lopulla, vaikka varastointi aloitetaan vasta lokakuussa. LP-käsittely ei vaikuta juuriston karaistumiseen, joten taimia ei saa siirtää pakkasvarastoon liian aikaisin.

On muistettava, että taimien alkuperä vaikuttaa yön pituuden valintaan. Saman pakkaskestävyyden saavuttamiseen riittää pohjoisempaa alkuperää olevilla männyntaimilla noin kaksi tuntia lyhyempi yön pituus kuin eteläisempien alkuperien taimilla (43, 124, 126). Kolmen ja neljän viikon pituisten käsittelyjen välillä ei ole havaittu eroja taimien karaistumisessa (124, 126).

3.3.3 Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen

LP-käsittely voi aikaistaa männyn silmujen puhkeamista käsittelyä seuraavana keväänä. Käytetty yön pituus ja taimien alkuperä vaikuttavat jonkin verran silmun puhkeamisajankohtaan. Pohjoisella alkuperällä (64–67°N) 16 tunnin yön pituudessa olleilla taimilla silmujen on todettu puhkeavan 13 tunnin yössä olleiden taimien silmuja aikaisemmin. Sen sijaan eteläisen alkuperän (57°N) taimilla tilanne oli päinvastainen (34). Tutkimuksia LP-käsittelyn vaikutuksesta istutuksen jälkeiseen kasvuun on vähän. Saatavilla olevien tulosten mukaan jälkivaikutuksia ei juurikaan ole (14, 125, 126).

3.3.4 Neuvoja ja esimerkkejä männyn LP-käsittelyyn

Kaksoisneulasten kasvattaminen

Kylvö maaliskuun puolivälistä huhtikuun puoliväliin

- ◆ käsittely aloitetaan toukokuussa tai kesäkuun alussa, kun taimet noin 5 cm pitkiä
- ◆ käsitellään 2–3 viikkoa 16 h yössä

Yksivuotiaiden taimien kasvun pysäyttäminen ja karaiseminen

Yön pituus Etelä-Suomessa 14–16, Pohjois-Suomessa 14–12 tuntia

Käsittelyjakson pituus 3–4 viikkoa

1. Elokuun lopulla istutettavat taimet

- ◆ Kylvö toukokuussa
- ◆ LP-käsittely aloitetaan heinäkuun puolivälissä

2. Pakkasvarastoon siirrettävät tai avomaalla varastoitavat taimet

- ◆ LP-käsittely aloitetaan heinäkuun lopulla

Taimien karaistuminen edellyttää alle 10 °C yölämpötiloja.

Männyn LP-käsittelyvaihtoehtoja							
	HUHTI	TOUKO	KESA	HEINÄ	ELO	SYYS	LOKA
Kaksoisneulasten kasvattaminen							
←	muovihuone	LP		ulkona		syysistutus tai	pv / ulkona
Karaiseminen							
		↓	kylvö	muovihuone	LP	syysistutus tai	pv / ulkona

Kuva 17. Kaksi esimerkkiä männyn LP-käsittelyjen aikatauluista. Nuolet osoittavat kylvöajankohdan ja pv tarkoittaa pakkasvarastointia.

3.4 Lehtikuuset

3.4.1 Pituuskasvu

Lehtikuuset reagoivat herkästi pitkään yöhön (liite 1), mutta lajien välillä on huomattavia eroja riippuen lajien ja alkuperien kriittisistä yön pituuksista. Pohjoisten lajien, kuten siperian- ja kanadanlehtikuusen taimien pituuskasvu päättyy 16 tunnin yön pituudessa eteläisempää euroopanlehtikuusta ja olganlehtikuusta aikaisemmin (79). Siperianlehtikuusella jo yhden viikon LP-käsittely riittää pysäyttämään pituuskasvun. Myös jaksottainen käsittely tehoaa lehtikuuseen. Jaksottaisessa (LP-käsittely vain työpäivinä, ei viikonloppuisin) kolmen viikon käsittelyssä ei siperianlehtikuusen taimien pituudessa ollut eroa verrattuna yhden, kahden ja kolmen viikon yhtäjaksoisiin käsittelyihin (79). LP-käsittelyn aikana ja sen jälkeen lämmin sää edesauttaa puutumista ja silmujen kehitystä (137).

3.4.2 Karaistuminen

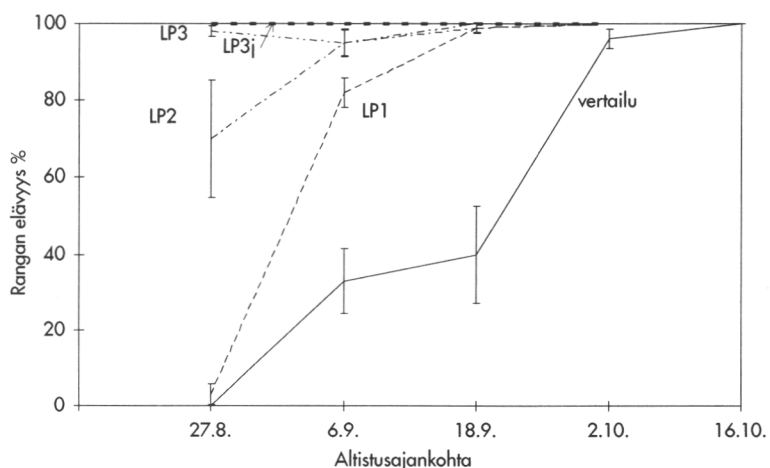
LP-käsittely nopeuttaa selvästi yksivuotiaiden siperian-, kanadan, euroopan- ja olganlehtikuusien karaistumista (liite 1). Eteläisten lajien, euroopan- ja olganlehtikuusen yksivuotiaat taimet eivät Suomen olosuhteissa ehdi päättää kasvuaan ja karaistua ilman LP-käsittelyä (79). Kun yksivuotiaiden siperianlehtikuusen taimien LP-käsittely aloitetaan heinäkuun lopulla, taimet kestävät -10°C jo elokuun lopulla eli viikon kuluttua käsittelyn päättymisestä (79). Eteläisemmät euroopan- ja olganlehtikuusi karaistuvat hitaammin, joten näiden lajien LP-käsittely tulisi aloittaa 1–2 viikkoa aikaisemmin. Lehtikuusen taimien karaistuminen kestävänsä alle -10°C lämpötiloja edellyttää viileitä lämpötiloja (25), joten syksyn säät vaikuttavat karaistumisen etenemiseen.

Suonenjoella toteutetuissa kokeissa kaikilla lajeilla käytettiin 16 tunnin yötä. Siperianlehtikuuselle lyhempi, esim. 14 tuntia, voisi olla riittävä yön pituus kasvun päättämiseen ja karaistumiseen. Siperianlehtikuusella heinäkuun lopulla aloitettua käsittelyä on jatkettava kolme viikkoa, jos halutaan karaista taimet hallankestäviksi elokuun loppuun mennessä. Samoin kuin pituuskasvun pysäyttäminen myös karaistuminen käynnistyy jaksottaisessa LP-käsittelyssä lähes yhtä nopeasti kuin yhtäjaksoisessa kolmen viikon käsittelyssä (kuva 18). Jaksottaista LP-käsittelyä on käytetty myös Ontariossa kanadanlehtikuusella, jonka pakkaskestävyys parani hieman käsittelyn aikana (24). Taimien siirto lyhyeen yöhön ja lämpimään käsittelyn jälkeen kuitenkin heikensi uudelleen taimien pakkaskestävyyttä. Haluttaessa aikaistaa taimien karaistumista lehtikuusien LP-käsittely on aloi-

tettava niin, että se voidaan lopettaa tai käsittelyä on jatkettava, kunnes luontainen yönpituus on riittävän pitkä.

3.4.3 Jälkivaikutukset

Siperianlehtikuusella LP-käsittelyn jälkivaikutukset näyttävät samantaisilta kuin kuusella: seuraavana keväänä silmut puhkeavat aikaisemmin, osa silmuista jää puhkeamatta ja uudet silmut muodostuvat syksyllä myöhemmin lisäten kasvua. Suonenjoella tehdyissä kokeissa siperianlehtikuusen LP-taimien päätesilmuista 13 % jäi puhkeamatta käsittelyjakson pituudesta riippumatta seuraavana keväänä, mutta kasvu jatkui ylimmästä sivusilmusta ja kasvukauden päättyessä LP-käsitellyt taimet olivat saavuttaneet käsittelemättömien taimien pituuden (79). Kokeissa siperianlehtikuusen LP-käsiteltyjen yksivuotiaiden taimien pituuskasvu oli seuraavana kasvukautena 60 % vertailutaimia parempi.



Kuva 18. LP-käsittelyn vaikutus siperianlehtikuusen taimien pakkaskestävyyteen. LP-käsittely aloitettiin 29.7., yönpituus oli 16 h ja käsittelyjen pituudet 3 viikkoa (LP3), jaksottainen 3 viikkoa (LP-käsittely vain työpäivinä, viikonloppuisin luontainen päivänpituus) (LP3j), 2 viikkoa (LP2) ja 1 viikko (LP1). Pakkaskestävyys mitattiin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:n pakkasaltistuksen jälkeen rangan elävyytenä. Pystyjanat kuvaavat 10 taimen keskiarvon keskivirhettä. LP3-käsittelyn elävyys oli kaikina altistusajankohtina lähes 100%, joten viiva ei erotu hyvin. (Piirretty Konttisen (1999a) mukaan).

3.5 Ulkomaiset havupuut

3.5.1 Pituuskasvu

Kaikkien havupuusukujen taimet eivät reagoi samalla tavalla pitkään yöhön. Suomessa kasvatettavat ulkomaiset havupuut ovat lähes kaikki Suomea eteläisempää alkuperää (35–55 °N) ja monet lajit ovat me-reisemmältä ilmastoalueelta. Ne ovat mukautuneet oman alkuperä-alueensa pitempään yöhön ja leudompiin talviin. Esimerkiksi täällä kasvatettavat eteläisempää alkuperää olevat kuusilajit ja douglaskuusi kasvavat kylvövuonna paikallista kotimaista kuusta myöhempään syksyllä. Ilman LP-käsittelyä ne eivät aina ehdi muodostaa silmuja, jolloin latva vaurioituu talvella herkemmin. Kaksivuotiailla taimilla LP-käsittelyn vaikutus pituuskasvuun on selvästi yksivuotiaita vä-häisempää tai se ei vaikuta lainkaan (78).

Pitkän yön vaikutus yksivuotiaan ohotanpihdan, palsamipihdan (78) ja sahalinipihdan (134) pituuskasvuun on hyvin vähäinen. LP-kä-sittely ei vaikuta jättituijan kasvuun, mutta pysäyttää lännenhemlo-kin pituuskasvun (liite 1). Elokuun alussa aloitettu LP-käsittely yleensä estää tai ainakin vähentää jälkikasvua yksivuotiailla pihdoilla. Poikkeuksena on palsamipihta, jonka LP-käsitellyillä taimilla oli jäl-kikasvua vertailutaimia enemmän (78). Suomenjoella saatujen koke-musten mukaan LP-käsittely ei estä kaksivuotiaiden pihtojen jälki-kasvua.

3.5.2 Karaistuminen

Taimivaiheessa meillä muuten menestyvät ulkomaiset havupuut ovat herkkiä vaurioitumaan syyshalloissa tai jopa talven pakkasissa. Muu-taman vuoden ikäisillä puilla tämä riski on jo vähäisempi. Näin ol-len LP-käsittely, sikäli kuin lajin taimet siihen reagoivat, on ehdoton edellytys joidenkin lajien taimikasvatuksessa Suomessa.

LP-käsittely aikaistaa 1–4-vuotiaiden pihtojen karaistumista ja li-sää pakkaskestävyyttä (kuva 20, liite 1). Vaikutus pihtojen karaistu-miseen on kuitenkin vähäisempi kuin kuusilla (78, 84). LP-käsitte-lyn vaikutuksesta pihtojen karaistumiseen on hyvin vähän ulkoma-isia tutkimustuloksia. Muista ulkomaisista lajeista LP-käsittely no-peuttaa mm. lännenhemlokin ja kanadantuijan, mutta ei jättituijan eikä koreantuijan karaistumista (liite 1).

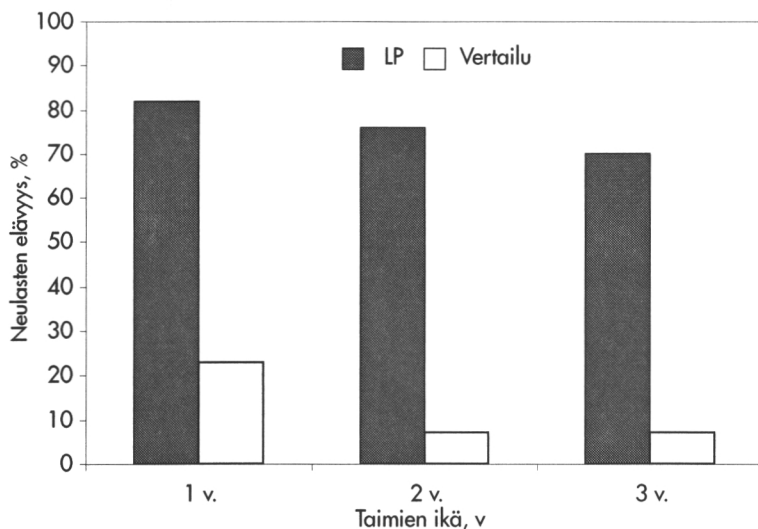
Suomen olosuhteissa yksivuotiaiden muovihuoneessa kasvatettu-jen kuusien ja pihtojen LP-käsittely on aloitettava heinäkuun lopus-sa (78, 84). Myöhemmin aloitettaessa taimet eivät ehdi karaistua riit-tävästi kestäämään syksyn halloja eikä talven pakkasia.

Suomessa kasvatettavista eteläisemmistä mäntylajeista elokuun alussa aloitettu kolmen viikon LP-käsittely on lisännyt yksivuotiaan strobosmännyn, amerikanpunamännyn ja banksinmännyn pakkaskestävyyttä syyskuun puoliväliin mennessä, vaikka yksivuotiaat taimet olisivat muovihuoneessa myös käsittelyn jälkeen (80). Myös kaksivuotiaan banksinmännyn ja makedonianmännyn pakkaskestävyys lisääntyy LP-käsittelyn seurauksena (80).

3.5.3 Jälkivaikutukset

Pihdoilla LP-käsittelyjen jälkivaikutuksia tai taimien maastomenestymistä ei ole seurattu. Muilla puulajeilla jälkivaikutukset ovat olleet samansuuntaisia kuin kuusilla. Brittiläisessä Kolumbiassa LP-käsittely aikaisti lännenhemlokin silmujen puhkeamista (135) ja lisäsi pituuskasvua istutuksen jälkeisenä kasvukautena. Lännenhemlokin LP-käsitellyt taimet saavuttivat vertailutaimien pituuden kahden vuoden kuluttua istutuksesta (52, 53). LP-käsittely lisäsi myös jättituijan taimien pituuskasvua, mutta ei vaikuttanut niiden elossaoloon istutuksen jälkeen (46).

Kuva 20. LP-käsittelyn (16 h yö) vaikutus yksi-, kaksi- ja kolmevuotiaitten japaninpihdan taimien pakkaskestävyyteen. Kolmen viikon mittainen LP-käsittely aloitettiin yksivuotiailla taimilla elokuun alussa ja 2-3-vuotiailla taimilla heinäkuun puolivälissä. Syyskuun puolivälissä tehtyjen -6°C pakkasaltistusten taimille aiheuttamat vauriot arvioitiin silmävaraisesti ruskettuneiden neulasten osuutena 10 % luokissa. Kukin pylväs kuvaa 10 taimen keskiarvoa. (Piiirretty Konttisen (1997) mukaan).



3.5.4 Neuvoja ja esimerkkejä ulkomaisten havupuiden LP-käsittelyyn

Meillä menestyvät ulkomaiset kuuset ja douglaskuuset eivät aina karaistu riittävästi taimikasvatuksessa ilman LP-käsittelyä. Niille soveltuvat pääpiirteissään kuuselle kerrotut LP-käsittelyohjeet, kunhan käsittelyaikatauluja päätettäessä otetaan huomioon taimien alkuperät.

Pihdoilla 16 tunnin yö ja 3–4 viikon käsittelyt ovat soveltuvia. Varsinkin eteläisille ja mereisille lajeille ei ole syytä käyttää lyhempää yötä tai käsittelyjaksoa.

Yksivuotiaat taimet

- ◆ aloitus viimeistään elokuun alussa
- ◆ taimet muovihuoneessa lokakuulle saakka

Kaksi- ja kolmevuotiaat taimet

- ◆ kasvatetaan yleensä avomaalla, jolloin ne voivat vaurioitua aikaisissa syys-halloissa ilman LP-käsittelyä
- ◆ LP-käsittely aloitettava heinäkuun puolivälissä tai heti sen jälkeen, jotta eteläisimmätkin lajit ehtivät karaistua ennen syyskuun alkua

Mereiset ja eteläiset lajit pitäisi varastoida talveksi pakkasvarastoon. Vain kestävimät lajit voivat olla talven ulkona.

Esimerkkejä ulkomaisten kuusten ja douglaskuusen LP-käsittelyaikatauluista						
HUHTI	TOUKO	KESA	HEINA	ELO	SYYS	LOKA
1. vuosi						
	↓ kylvö	muovihuone		LP	muovihuone	pv
2. vuosi Taimien koosta riippuen istutus tai						
pv	kasvatus ulkona			LP	ulkona	pv
tai						
pv	muovihuone	ulkona		LP	ulkona	pv
Esimerkki pihtojen LP-käsittelystä						
HUHTI	TOUKO	KESA	HEINA	ELO	SYYS	LOKA
1. vuosi						
	↓ kylvö	muovihuone		LP	muovihuone	pv
2. vuosi						
pv	muovihuone	ulkona		LP	ulkona	pv
3. vuosi						
pv	istutus / kasvatus ulkona			LP	ulkona	pv

Kuva 21. Esimerkkejä ulkomaisten kuusten ja douglaskuusen sekä pihtojen LP-käsittelyaikatauluista. Kolmantena vuonna taimet on mahdollista lajista ja alkuperästä riippuen joko istuttaa keväällä tai kasvattaa edelleen taimitarhalla. Nuoli osoittaa kylvöajankohdan, pv tarkoittaa pakkasvarastointia.

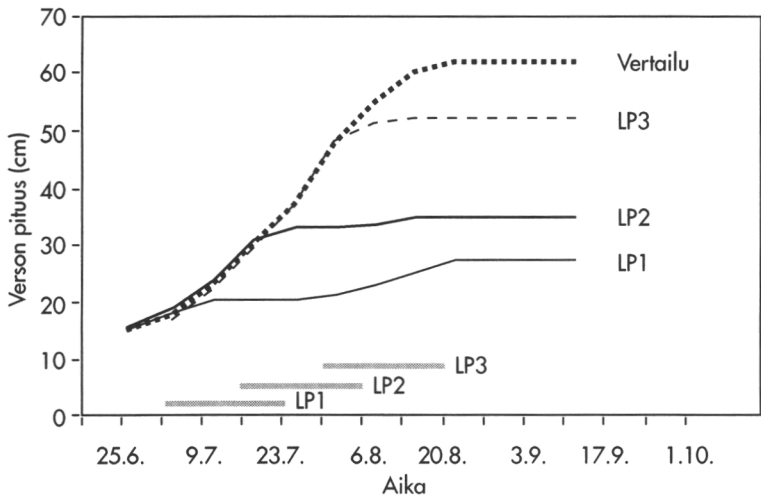
3.6 Lehtipuut

3.6.1 Pituuskasvu

Useimpien lehtipuiden pituuskasvu pysähtyy, kun kriittinen yönpi- tuus ylittyy. Kaikki lehtipuut eivät kuitenkaan reagoi samalla taval- la. LP-käsittely ei vaikuta esimerkiksi siperianhernepensaan tai saar- nivaahteran pituuskasvun päättymiseen (liite 1). Sen sijaan raudus- ja hieskoivun sekä harmaalepän kasvu päättyy 16 tunnin yössä jopa heti itämisen jälkeen (152). Kasvun päättyminen ei kuitenkaan vält- tämättä aiheuta lepotilaa, vaan kasvu voi jatkua yönpi- tuuden palat- tua luontaiseksi (99, 100, 148). Rauduskoivun taimilla havaittu uu- delleenkasvu LP-käsittelyn jälkeen on merkki siitä, että käytetty kä- sittelyn kesto ei ole ollut riittävän pitkä tai taimet on käsitelty liian aikaisin (liian nuorina) (99, 100).

Rauduskoivun taimilla pituuskasvun päättyminen niin, ettei se jatku ennen seuraavaa kevättä, edellyttää, että taimet ovat riittävän pitkäl- lä kehityksessään (riittävästi lämpösomaa kertynyt) LP-käsittelyn alkaessa (99). Käytännössä sopiva aloitusajankohta on määritettä- vissä lämpösommakertymän avulla. Kun 2/3 tarkasteltavana olevan alkuperän keskimääräisen kasvukauden lämpösommasta on kerty- nyt, saadaan pituuskasvu päättymään pidentämällä yönpi- tuus yli kriit- tisen yönpi- tuuden (88). Tämä tarkoittaa, että aikaisin mahdollinen LP-käsittelyn aloitusajankohta on yleensä heinäkuussa (kuva 22).

Kuva 22. Rauduskoivun LP- käsittelyjen ja vertailutai- mien pituuskasvu eri ajan- kohtina tehtyjen kolmen vii- kon LP-käsittelyiden (16 h yö) jälkeen (vaakapalkit al- haalla). (Piiirretty Luorasan ja Rikalan (1997) mu- kaan).

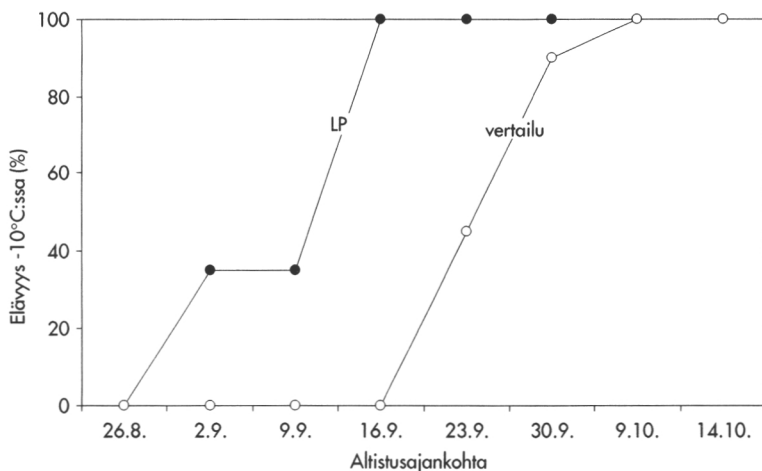


3.6.2 Karaistuminen

Koivulla kasvun päättymisen jälkeen optimaalisimmat karaistumisolosuhteet ovat pitkät yöt, alhaiset yö- ja korkeat päivälämpötilat (62). Oikea-aikaisella LP-käsittelyllä on mahdollista aikaistaa rauduskoivun taimien karaistumiskehitystä noin kaksi viikkoa (kuva 23) ja lisätä taimien pakkaskestävyyttä karaistumiskehityksen ensimmäisen vaiheen aikana useilla asteilla (99, 100). Jos LP-käsittely aloitetaan liian aikaisin ja taimet jatkavat käsittelyn jälkeen kasvuaan, taimien karaistumiskehitys saattaa jopa viivästyä normaalista (99).

Heinäkuun toisella puoliskolla aloitettu LP-käsittely aikaistaa rauduskoivun taimien karaistumista (99). Riittävän pakkaskestävyyden saavuttamisen lisäksi toinen tärkeä tekijä lehtipuun taimien varastoinnista päätettäessä on lehtien variseminen. LP-käsittely ei vaikuta lehtien kellastumiseen, mutta se nopeuttaa 1–2 viikkoa lehtien putoamista (99). Näin ollen LP-käsittelyllä on mahdollista aikaistaa koivun taimien pakkasvarastoinnin aloittamista. Liian pitkää varastointia on kuitenkin vältettävä, sillä vaahteran, punatammen, pihlajan ja paperikoivun taimilla tehdyssä tutkimuksessa on havaittu, että varastoinnin kestoajan pidentäminen saattaa lisätä lehtipuun taimien silmuvaurioita (44).

LP-käsittelyn soveltuvuutta lehtipuun taimien taimikasvatukseen selvittäneissä tutkimuksissa on yön pituutena yleensä käytetty 16 tuntia ja taimia on käsitelty kolme viikkoa (16, 99, 100, 109). Suomessa kasvavilla lajeilla kriittiset yön pituudet ovat kuitenkin selvästi tätä lyhyempiä (ks. kuva 3), joten lyhyemmän yön pituuden käyttäminen on mahdollista (108).



Kuva 23. Rauduskoivun LP-käsittelyjen (musta symboli) ja vertailutaimien (avoin symboli) elävyys -10°C :ssa altistamisen jälkeen. Kesäkuun 18. päivänä kylvyt taimet LP-käsiteltiin 29.7.–19.8. 16 tunnin yön pituudessa. Syksyllä taimet altistettiin viikoittain -10°C :n lämpötilaan, jonka jälkeen taimet olivat lämmittämättömässä muovihuoneessa lokakuun puoliväliin, jolloin ne pakattiin ja vietiin pakkasvarastoon. Taimien elävyys arvioitiin helmikuussa kolmen viikon lämmitetyssä, valaistussa kasvihuoneessa kasvatuksen jälkeen (piirretty Luorosen (2000) mukaan).

3.6.3 Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen

LP-käsittelyn seurauksena rauduskoivun taimien silmuista saattaa osa jäädä puhkeamatta seuraavana keväänä. Käsittely saattaa myös aikaistaa silmun puhkeamista muutamalla päivällä (100). Ero silmun puhkeamisessa on kuitenkin niin vähäinen, että edellisenä kesänä tehty käsittely ei vaikuta taimien pakkaskestävyyteen enää seuraavana keväänä (99).

LP-käsittely voi lisätä jonkin verran rauduskoivun taimien tuhoalltiutta (nisäkästuhot, versolaikkutauti). Etenkin alttius jänistuhoilte näyttää lisääntyvän, jos taimet käsitellään ennenkuin niihin on muodostunut hartsinystyjä. Noudatettaessa 2/3 lämpösummakertymä sääntöä (88) pimennyskäsittelyn aloittamisessa tätä riskiä ei kuitenkaan ole (108).

LP-käsittelyä lehtipuiden taimikasvatuksessa on tutkittu vähän ja tuloksia käsittelyn vaikutuksista eri ajankohtina istutettuihin taimiin on vielä vähemmän. Kesällä istutettavia rauduskoivun paakkutaimia ei kannata LP-käsitellä: istutusta seuraavien vuosien kasvussa ei ole eroja käsittelyiden välillä, mutta LP-taimien tuhoalltius on suurempi (99). LP-käsiteltyjen lehtipuun taimien syysistutusta ei ole tutkittu. Seuraavana keväänä istutetuilla taimilla LP-käsittely lisää jonkin verran istutuksen jälkeistä kasvua ensimmäisenä kasvukautena (99, 100, 109). Kasvun lisäys on kuitenkin niin vähäinen, että ainakin myöhään kylvettyjen, pienten taimien menestymismahdollisuudet ovat heikot. Kevätistutuksiin kasvatetuilla taimilla LP-käsittelyä ei tule aloittaa ennen heinäkuun puoliväliä (99, 100).

4 Yön lyhentäminen silmunmuodostumisen estämiseksi

4.1 Silmun enneaikainen muodostuminen

Taimikasvatuksessa luontainen yö voi joskus olla liian pitkä ja taimien kasvu keskeytyy liian aikaisin. Näin voi käydä hyvin aikaisissa kylvöissä. Esimerkiksi maaliskuun kylvöissä liian pitkän yön seurauksena taimiin voi muodostua silmut heti itämisen jälkeen. Tutkimustietoa siitä, milloin kuusi tai mänty on turvallista käytännön taimitarhaolosuhteissa ja luontaisissa yönpituuksissa kylvää ilman lisävalaistusta, on niukasti. Vaikka tietynä ajankohtana yönpituudet auringon laskusta auringon nousuun ovatkin samoja, kasvien yöksi tunnistaman ajanjakson pituudet vaihtelevat riippuen sääoloista (ks. 2.2.5 *Milloin yö alkaa kasville*). Hyvin pilvisenä keväänä, jolloin hämärän aika on pitkä, yö on kasveille pitempi kuin aurinkoisena keväänä. Siten säiltään erilaisina keväinä tarve yön katkaisuun keinovaloilla voi vaihdella.

Myös kasvukauden loppupuolella silmut voivat muodostua liian aikaisin myöhään kylvetyille tai kasvatuspaikkakuntaa pohjoisempaa alkuperää oleville taimille. Näille taimille luontainen yö on pitempi kuin alkuperän kriittinen yönpituus, jolloin taimien pituuskasvu saattaa pysähtyä haluttua aikaisemmin. Pohjois-Amerikassa ja Ruotsissa käytetään lisävaloa myös kasvukauden jatkamiseen syksyllä tai kasvun lisäämiseen, jos paljon valoa vaativia vuoriston lajeja kasvatetaan sumuisissa tai pilvisissä olosuhteissa (92).

4.2 Silmun muodostumisen estävän valaistuksen voimakkuus

Valaistusvoimakkuus ja valon laatu

Eri alkuperien taimet reagoivat eri tavalla erilaisiin valaistusvoimakkuuksiin. Pohjoisilla alkuperillä valaistuksen voimakkuus jatkettun päivän aikana vaikuttaa kasvuun enemmän kuin eteläisillä alkuperillä. Esimerkiksi jatkettaessa luontaista päivänpituutta keinovalolla 19 tuntiin, kasvoivat valkokuusen pohjoisen alkuperän (59 °N, 440 m) taimet enemmän, kun valaistuksen voimakkuutta lisättiin 100 luk-

sista (lx) 800 luksiin. Samassa tutkimuksessa eteläisemmän (51 °N, 1060 m) engelmänninkuusen kasvussa taas ei havaittu merkittäviä eroja erilaisilla valaistusvoimakkuuksilla (6).

Pidennettäessä luontaista päivänpituutta keinovalolla noin 400 lx:n ($8 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$) valaistusvoimakkuus on yleensä riittävä (92, 150), joskin riittävyys riippuu puulajista ja alkuperästä. Esimerkiksi hieskoivun pohjoinen (70 °N) alkuperä vaatii 250–500 lx kasvun jatkumiseen syksyllä, mutta eteläiselle (56 °N) alkuperälle riittää 15 lx (62).

Syyskesän valokäsittelyillä voidaan jatkaa männyn ja lehtikuusen kasvukauden pituutta (139). Yhden tunnin ajan yöllä tehdyssä käsittelyssä jo vähäinenkin valaistuksen lisäys syyskesällä riittää, sillä männyn taimilla (66 °N) ei ole havaittu suuria eroja kasvussa eikä silmujen muodostumisessa 40–1000 lx:n valaistuksen välillä (139). Lehtikuusella taimien kasvukautta on mahdollista jatkaa 250–1000 lx valaistuksella (139). Alle 250 lx valossa taimiin sen sijaan muodostuu silmut. Kuusi reagoi heikommin syyskesän valokäsittelyihin, sillä se vaatii noin 1000 lx valaistuksen, jotta silmut eivät muodostuisi (139).

Suomessa ei ole tutkittua tietoa silmun muodostumisen estävästä valaistusvoimakkuudesta. Aikaisten, maaliskuussa tehtävien männyn kylvöjen valokäsittelyä ei yleensä pidetä tarpeellisena (35), mutta käytännössä ruotsalaiset ovat kuitenkin käyttäneet päivän pidentämistä (47). Kuusella tarve lisävalaistukseen on suurempi. Eteläsuomalaisen kuusen tarvitsema vähimmäisvalaistusvoimakkuus on todennäköisesti lähellä ruotsalaistutkimuksessa ehdotettua 500 lx (45). Ruotsissa taimitarhakäytännössä lisävalaistus aloitetaan, kun luonnonvalo muovihuoneessa laskee illalla alle 1000 lx (13).

Lisävalaistusta suunniteltaessa on hyvä muistaa, että valaistusvoimakkuus laskee nopeasti (etäisyyden neliössä), kun etäisyys valaisimesta kasvaa. Taimet ovat myös herkkiä valaisuohjelman keskeytyksille. Häiriö yöllä annettavassa keinovalossa (esim. sähkökatko), hidastaa kasvua ja useamman yön katko aiheuttaa jo silmujen muodostumisen (7).

Lisävalojen valinnassa tulee kiinnittää huomiota valon spektriin, erityisesti punaisen ja kaukopunaisen aallonpituuden suhteeseen. Eteläisen (59–61 °N) ja pohjoisen (64–66 °N) alkuperän kuuset reagoivat eri tavalla kaukopunaiseen valoon. Jos lisävalossa (16 h/vrk) on enemmän punaista (660 nm) kuin kaukopunaista (730 nm) valoa, pohjoisen alkuperän taimet muodostavat silmut, mutta eteläisen alkuperän jatkavat kasvuaan. Kun kaukopunaisen valon määrä suhteessa punaiseen kasvaa, myös pohjoisemmilla alkuperillä silmun muodostuminen estyy (20).

4.3 Luontaisen yön pituuden lyhentäminen keinovalolla

Yön katkaisu yhdellä tai useammalla valojaksolla

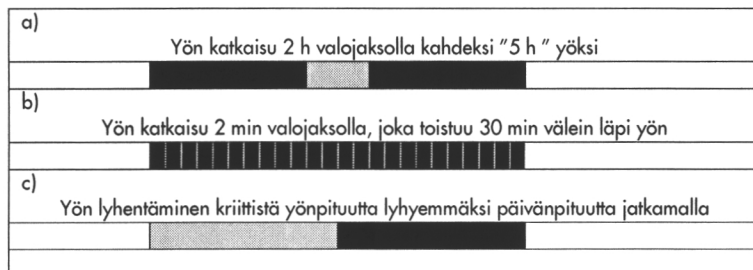
Yön pituutta lyhentävää valoa voidaan antaa yhtenä tai useampana valojaksena yön aikana, jatkamalla päivän pituutta tai jatkamalla valaistusta koko yö (kuva 25). Koko yön valaisu ei kuitenkaan ole metsätaimatarhoilla tarpeellista eikä kannattavaa. Yö voidaan katkaista esimerkiksi yhden tai kahden tunnin valojaksolla (3, 37, 45, 107, 139, 154, 158). Kun esim. 12 tunnin yö katkaistaan kahden tunnin valojaksolla ”kahdeksi viiden tunnin yöksi” (kuva 25) kasvatusolosuhteet vastaavat päivän pituudeltaan 19 tunnin päivää (5 tunnin yötä) eli keskikesää Etelä-Suomessa (kuva 2). Jatkettaessa kasvukauden pituutta syyskesällä keinovalojen antama valaistusvoimakkuus ja sen seurauksena yhteyttämisteho ovat luonnollisesti pienempiä kuin kesällä luonnonvalossa.

Yö voidaan katkaista myös useilla lyhyillä, säännöllisin väliajoin toistuvilla valojaksoilla. Jos valojakso toistetaan 5–30 minuutin välein koko pimeäjaksos ajan, kokonaisvaloajaksi riittää 3–10 % koko pimeäajasta. Yhtenäisen pimeän jakson pituus ei tällöin saisi kuitenkaan olla yli 30 minuuttia (150). Keväällä silmun muodostumisen estämisessä taimitarhoilla on käytetty mm. kahden minuutin valojaksoa (1600 lx) 30 minuutin väliajoin (kuva 25), yhden minuutin jaksoa 10 minuutin välein tai 15 sekunnin jaksoa kuuden minuutin välein (1, 2). Eri alkuperät vaativat erilaiset valokäsittelyt: esimerkiksi Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa yhden minuutin valojakso 8 tai 18 minuutin välein tai kahden minuutin jakso 35 minuutin välein esti silmun muodostumisen keskiruotsalaisen (61–64 °N) alkuperän kuusen taimiin, mutta ei estänyt silmujen muodostumista pohjoisen (67 °N) alkuperän taimiin (45).

Jatkettu päivän pituus

Päivän pituutta voidaan jatkaa keinovalolla illasta tai aamusta niin paljon, että kriittinen yön pituus alittuu (kuva 25) eikä ole vaaraa tai-

Kuva 25. Erilaisia yön pituuden lyhentämistä vaihtoehtoja. Suositeltavimmat ja tehokkaimmat vaihtoehdot ovat a ja b.



mien menemisestä lepotilaan. Luontainen päivänpituus (yönpituus) on 20. maaliskuuta 12 tuntia. Syyskesällä alkuperän kriittisestä yön-pituudesta riippuen yö on lyhennettävä neljästä kahdeksaan tuntiin (kuva 3), jotta kuusen kasvu ei pysähdy. Jos yötä lyhennetään keino-valolla illasta tai aamusta, tarvittava valaisuaika on pitempi kuin yön katkaisussa yhdellä tai useammalla valojaksolla keskiyöllä. Päivän pituuden jatkaminen on hyödyllisempää pohjoisten alkuperien taimille, jotka reagoivat herkemmin (kasvu lisääntyy enemmän) pitkään päivään kuin eteläiset alkuperät (107, 153).

4.4 Valokäsittelyt taimien kasvatuksessa

Valokäsittelyillä on mahdollista estää kuusen silmujen muodostuminen keväällä, sekä jatkaa männyn ja lehtikuusen kasvukautta syyskesällä.

Tarvittava valaistusvoimakkuus riippuu alkuperästä: eteläiset alkuperät reagoivat alhaisempiin voimakkuuksiin kuin pohjoiset.

Valaistusvoimakkuuden kriittisiä raja-arvoja ei tunneta kovin hyvin. Onkin turvallisempaa käyttää riittävää valaistusta.

- ◆ Keväällä riittävä valaistusvoimakkuus taimien tasalla on noin 500 lx.
- ◆ Syyskesällä valaistusvoimakkuus riippuu puulajista: mänty ja lehtikuusi reagoivat alhaisempiin valaistusvoimakkuuksiin kuin kuusi. Kuusella syyskesän käsittelyissä vaaditaan noin 1000 lx valaistusta.

Keväällä tehtävän kuusen silmun muodostumisen estävän valokäsittelyn vaihtoehdot:

1. useita lyhyitä säännöllisin väliajoin toistuvia valojaksoja yön aikana, jolloin lamput voidaan asentaa
 - ◆ kasteluramppiin, joka kulkee säännöllisin väliajoin huoneessa (esim. nopeudella 5 m/min)
 - ◆ korkealle huoneen kattoon, josta lampun valonsädettä ohjataan koveralla liikkuvalla peilillä
 - ◆ valaistun alueen etenemisnopeus voi olla sama kuin rampin nopeus ja yhden lampun valaisualan kulkema edestakainen matka on esim. 10–20 m
2. yksi yhden tai kahden tunnin valojakso keskiyöllä
 - ◆ tarvitaan paljon lamppeja koko huoneen valaisemiseksi
 - ◆ riittävän valaistusvoimakkuuden saavuttaminen hankalaa
3. luontaisen päivänpituuden jatkaminen esim. 18 tuntiin
 - ◆ tarvitaan paljon lamppeja koko huoneen valaisemiseksi
 - ◆ riittävän valaistusvoimakkuuden saavuttaminen hankalaa
 - ◆ valaistusaika vuorokaudessa on pitkä, yli 6 h

Kirjallisuus

1. Arnott, J.T. 1974. Growth response of white-Engelmann spruce provenances to extended photoperiod using continuous and intermittent light. *Canadian Journal of Forest Research* 4: 69–75.
2. Arnott, J.T. 1982. Growth response of white and Engelmann spruce seedlings to extended photoperiod using three light intensities. Pacific Forest Research Centre, Victoria, British Columbia. BC-X-237. 11 s.
3. Arnott, J.T. 1985. Photoperiod control of container seedlings. USDA. Forest Service, General Technical Report INT – 185: 9–13.
4. Arnott, J.T. 1989. Regulation of white spruce, Engelmann spruce and mountain hemlock seedlings by controlling photoperiod. *Forestry Supplement* 62: 157–168.
5. Arnott, J.T. & Mitchell, A. 1982. Influence of extended photoperiod on growth of white and Engelmann spruce seedlings in coastal British Columbia nurseries. Teoksessa: Scarratt, J.B., Glerum, G. & Plexman, C.A. (toim.) Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium September 14–16, 1981 Toronto, Ontario. Canadian Forestry Service, Ministry of Natural Resources. COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. s. 139–152.
6. Arnott, J.T. & Macey, D.E. 1985. Effect of supplemental light intensity on white spruce and mountain hemlock seedlings grown under an extended photoperiod. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 295–300.
7. Arnott, J.T. & Simmons, C.S. 1985. The effect of failure in extended and intermittent photoperiodic lighting on the growth of white spruce container seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 734–737.
8. Aronsson, A. 1975. Influence of photo- and thermoperiod on the initial stages of frost hardening and dehardening of phytotron-grown seedlings of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Sammanfattning: Foto-och termoperiodens inverkan på frosthårdningens inledningsskedan samt på avhårdningen hos fytotronodlade plantor av tall (*Pinus silvestris* L.) och gran (*Picea abies* (L.) Karst.). *Studia Forestalia Suecica* 157: 1–47.
9. Ashworth, E.N. 1993. Deep supercooling in woody plant tissues. Teoksessa: Li, P.H. & Christersson, L. (toim.). *Advances in Plant Cold Hardiness*. s. 203–213. ISBN 0-8493-4950-8.
10. Bigras, F.J. & D'Aoust, A.L. 1992. Hardening and dehardening of shoots and roots of containerized black spruce and white spruce seedlings under short and long days. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 388–396.
11. Bigras, F.J. & D'Aoust, A.L. 1993. Influence of photoperiod on shoot and root frost tolerance and bud phenology of white spruce seedlings (*Picea glauca*). *Canadian Journal of Forest Research* 23: 219–228.
12. Bjørnseth, I.-P. 1985. Studies of natural daylength in a northern country. Implications for detection of daylength in woody plants. Teoksessa: Kaurin, A., Junttila, O. and Nilsen, J. (toim.). *Plant production in the North: Proceedings from "Plant adaptation workshop"*, Tromsø, Norway, Sept. 4–9, 1983. Norwegian University Press. s. 73–82.
13. Bohlin, H. 1978. Produktion av täckrotsplantor vid Bensjö plantskola. Teoksessa: Årsskrift för Nordiske Skogplanteskoler 1977. s. 73–80.

14. Brinnen, U. 1981. Långnattsbehandling av tallplantor på försommaren. Analys och uppföljning av planteringsförsök. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsproduktion. Examensarbete i ämnet skogsskötsel 10. 33 s.
15. Calmé, S., Bigras, F.J., Margolis, H.A. & Hebert, C. 1994. Frost tolerance and bud dormancy of container-grown yellow birch, red oak and sugar maple seedlings. *Tree Physiology* 14: 1313–1325.
16. Calmé, S., Margolis, H.A., Bigras, F.J. & Mailly, D. 1995. The relationship between water content and frost tolerance in hardwood seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 1738–1745.
17. Carter, J.V. & Brenner, M.L. 1985. Plant growth regulators and low temperature stress. Teoksessa: Pharis, R.D. & Reid, D.M. (toim.). Hormonal regulation of development III. Role of environmental factors. *Encyclopedia of Plant Physiology. New Series. Volume 11.* Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. s. 418–443.
18. Chory, J. 1997. Light modulation of vegetative development. *Plant Cell* 9(7): 1225–1234.
19. Christersson, L. 1978. The influence of photoperiod and temperature on the development of frost hardiness in seedlings of *Pinus silvestris* and *Picea abies*. *Physiologia Plantarum* 44: 288–294.
20. Clapham, D.H., Dormling, I., Ekberg, I., Eriksson, G., Qamaruddin, M. & Vince-Prue, D. 1998. Latitudinal cline of requirement for far-red light for the photoperiodic control of budset and extension growth in *Picea abies* (Norway spruce). *Physiologia Plantarum* 102: 71–78.
21. Colombo, S.J. 1990. Bud dormancy status, frost hardiness, shoot moisture content, and readiness of black spruce container seedlings for frozen storage. *Journal of American Society for Horticulture Science* 115(2): 302–307.
22. Colombo, S.J., Webb, D.P. & Glerum, C. 1982. Cold hardiness and bud development under short days in black spruce and white spruce seedlings. Teoksessa: Scarratt, J.B., Glerum, G. & Plexman, C.A. (toim.) Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium September 14–16, 1981 Toronto, Ontario. Canadian Forestry Service, Ministry of Natural Resources. COJFRC Symposium Proceedings O-P-10: 171–176.
23. Colombo, S.J., Glerum, C. & Webb, D.P. 1989. Winter hardening in first-year black spruce (*Picea mariana*) seedlings. *Physiologia Plantarum* 76: 1–9.
24. Colombo, S.J. & Raitanen, E.M. 1991. Frost hardening in white cedar container seedlings exposed to intermittent short days and cold temperature. *The Forestry Chronicle* 67(5): 542–544.
25. Colombo, S.J. & Raitanen, E.M. 1993. Frost hardening in first-year eastern larch (*Larix laricina*) container seedlings. *New Forests* 7: 55–61.
26. Cursoille, C., Bigras, F.J., Margolis, H.A. & Herbert, C. 1998. Growth and hardening of four provenances of containerized white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) seedlings in response to the duration of 16 h long-night treatments. *New Forests* 16: 155–166.
27. D'Aoust, A.L. 1981. The induction of dormancy by short-day treatment of container-grown black spruce seedlings. Laurentian Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Department of the Environment, Quebec, LAU-X-47. 16 s.
28. D'Aoust, A.L. & Cameron, S. 1982. The effect of dormancy induction, low temperatures and moisture stress on cold hardening of containerized black spruce seedlings. Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium. September 14–16, 1981, Toronto, Ontario. s. 153–161.
29. Dormling, I. 1973. Photoperiod control of growth and growth cessation in Norway spruce seedlings. IUFRO Division 2. Working Party

- 2.01.4. Growth Processes. Symposium on Dormancy in Trees. Kor-nik, Puola, September 5-9, 1973. 16 s.
30. Dormling, I. 1977. Kritisk nattlängd för knoppsättning hos gran av olika härkomst: inverkan av ljusintensitet och temperatur. Summary: Critical night length for bud-set in *Picea abies* (L.) Karst.: Influence of light intensity and temperature. Skogshögskolan, Institution för skogs-genetik, Rapporter & Uppsatser 27: 18-25.
 31. Dormling, I. 1982. Frost resistance during bud flushing and shoot elongation in *Picea abies*. *Silva Fennica* 16 (2): 167-177.
 32. Dormling, I. 1990a. Fytotronen under 25 år. Skogsfakta, Konferens 14: 7-13.
 33. Dormling, I. 1990b. Temperatur, ljus och odlingstidens längd påverkar plantors möjligheter att härdas. Skogsfakta, Konferens 14: 15-19.
 34. Dormling, I. 1993. Bud dormancy, frost hardiness, and frost drought in seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. Teoksessa: Li, P.H. & Christersson, L. (toim.). *Advances in Plant Cold Hardiness*. CRC Press, Boca Raton ISBN 0-9493-4950-8. s. 285-298.
 35. Dormling, I. & Lundkvist, K. 1983. Vad bestämmer skogsplantors tillväxt och härdighet i plantskolan? Skogsfakta, Biologi och skogs-skötsel 8: 1-6.
 36. Dormling, I., Gustafsson, Å. & von Wettstein, D. 1968. The experi-mental control of the life cycle in *Picea abies* (L.) Karst. I. Some basic experiments on the vegetative cycle. *Silvae Genetica* 17: 44-64.
 37. Downs, R.J. 1962. Photocontrol of growth and dormancy in woody plants. Teoksessa: Kozlowski, T.T. (toim.). *Tree Growth* s. 133-148.
 38. Downs, R.J. & Bevington, J.M. 1981. Effect of temperature and photo-period on growth and dormancy of *Betula papyrifera*. *American Journal of Botany* 68(6): 795-800.
 39. Driessche van den, R. 1969. Influence of moisture supply, tempera-ture, and light on frost-hardiness changes in Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Botany* 47: 1765-1772.
 40. Driessche van den, R. 1970. Influence of light intensity and photo-period on frost-hardiness development in Douglas-fir seedlings. *Can-adian Journal of Botany* 48: 2129-2134.
 41. Eastham, A.M. 1990. Regulation of seedling height in container-grown spruce using photoperiod control. USDA For. Serv. Tech. Rep. RM-200: 247-254.
 42. Eastham, A.M. 1991. Timing of blackout application to regulate height in sitka x white spruce hybrid 1+0 container-grown seedlings. Forest Nursery Association of B. C., 11th Annual Meeting September 23-26, 1991, Prince George, B. C. Canada. s. 86-92.
 43. Ekberg, I., Eriksson, G. & Dormling, I. 1979. Photoperiodic reac-tions in conifer species. *Holarctic Ecology* 2: 255-263.
 44. Englert, J.M., Fuchigami, L.H. & Chen, T.H.H. 1993. Effects of stor-age temperatures and duration on the performance of bareroot deci-duous hardwood trees. *Journal of Arboriculture* 19(2): 106-112.
 45. Eriksson, A. 1978. Intermittent ljus för reglering av skogsplantors tillväxt vid odling i växthus. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutio-nen för skogsförnygring. Examensarbete. Interna rapporter 13. 33 s.
 46. Folk, R.S., Grossnickle, S.C., Major, J.E. & Arnett, J.T. 1994. Infl-uence of nursery culture on western red cedar. II. Freezing tolerance of fall-planted seedlings and morphological development of fall- and spring planted seedlings. *New Forests* 8: 231-347.
 47. Friberg, R. 1980. "Två-åriga" tall på en sommar - Ett annorlunda sätt att utnyttja daglängdsreglering. *Plantnytt* 4: 1-4.
 48. Fuchigami, L.H., Weiser, C.J. & Evert, D.R. 1971. Induction of cold acclimation in *Cornus stolonifera* Michx. *Plant Physiology* 47: 98-103.
 49. Glerum, C. 1973. The relationship between frost hardiness and dor-

- mancy in trees. IUFRO Division 2. Working Party 2.01.4. Growth Processes. Symposium on Dormancy in Trees. Kornik, Puola, September 5–9, 1973. 9 s.
50. Glerum, C. 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: principles and applications. Teoksessa: Duryea, M.L. (toim.). Proc. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Workshop held October 16–18, 1984. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 107–123.
 51. Grossnickle, S.C., Arnott, J.T. & Major, J.E. 1988. A stock quality assessment procedure for characterizing nursery-grown seedlings. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RM-167: 77–88.
 52. Grossnickle, S.C., Major, J.E. & Arnott, J.T. 1990. Morphological development of field-planted western hemlock seedlings from various dormancy induction treatments. USDA Forest Service, General Technical Report RM-200: 255–263.
 53. Grossnickle, S.C., Arnott, J.T., Major, J.E. Tschaplinski, T.J. 1991. Influence of dormancy induction treatments on western hemlock seedlings. I. Seedling development and stock quality assessment. Canadian Journal of Forest Research 21: 164–174.
 54. Hawkins, B.J., Davradou, M., Pier, D. & Shortt, R. 1995. Frost hardiness and winter photosynthesis of *Thuja plicata* and *Pseudotsuga menziesii* seedlings grown at three rates on nitrogen and phosphorous supply. Canadian Journal of Forest Research 25: 18–28.
 55. Hawkins, C.D.B.F. & Draper, D.A. 1988. Height control of interior spruce by means of photoperiodic induction. USA Forest Service General Technical Report RM-167: 45–49.
 56. Hawkins, C.D.B. & Draper, D.A. 1991. Effects of blackout on British Columbia spruce seedlots at Red Rock Research Station. FRDA Report 170. 51 s.
 57. Hawkins, C.D.B., Eastham, A.M., Story, T.L., Eng, R.Y.N. & Draper, D.A. 1996. The effect of nursery blackout application on Sitka spruce seedlings. Canadian Journal of Forest Research 26: 2201–2213.
 58. Heide, O.M. 1974a. Growth and dormancy in Norway spruce ecotypes (*Picea abies*). I. Interaction of photoperiod and temperature. Physiologia Plantarum 30: 1–12.
 59. Heide, O.M. 1974b. Growth and dormancy in Norway spruce ecotypes. II. After-effects of photoperiod and temperature on growth and development in subsequent years. Physiologia Plantarum 31: 131–139.
 60. Howe, G.T., Davis, J., Jeknic, Z., Chen, T.H.H., Frewen, B., Bradshaw, Jr, H.D. & Saruul, P. 1999. Physiological and genetic approaches to studying endodormancy-related traits in *Populus*. HortScience 34: 1174–1184.
 61. Howell, G.S. & Weiser, C.J. 1970. The environmental control of cold acclimation in apple. Plant Physiology 45: 390–394.
 62. Håbjørg, A. 1972a. Effects of photoperiod and temperature on growth and development of three latitudinal and three altitudinal populations of *Betula pubescens* Ehrh. Sammendrag: Virkning av daglengden og temperatur på vekst og utvikling av tre breddegrads- og tre høgdslagspopulasjoner av *Betula pubescens* Ehrh. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole 51: 1–27.
 63. Håbjørg, A. 1972b. Effects of light quality, light intensity and night temperature on growth and development of three latitudinal populations of *Betula pubescens* Ehrh. Sammendrag: Virkningen av lyskvalitet, lysintensitet og nattemperatur på vekst og utvikling av tre breddegradspopulasjoner av *Betula pubescens* Ehrh. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole 51: 1–26.
 64. Håbjørg, A. 1978. Photoperiodic ecotypes in Scandinavian trees and shrubs. Sammendrag: Daglekøtyper i trær og buskar av skandi-

- navisk opphav. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole 57: 1–20.
65. Hämäläinen, T. 1999. Eriakaisen lyhytpäiväkäsittelyn vaikutukset kuusen ja mustakuusen karaistumisessa. Opinnäytetyö, Hämeen Ammattikorkeakoulu, Evo, metsätalouden koulutusohjelma. 50 s.
 66. Johnsen, Ø. 1989. Phenotypic changes in progenies of northern clones of *Picea abies* (L.) Karst. Grown in a southern seed orchard. I. Frost hardiness in a phytotron experiment. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 317–330.
 67. Jonsson, A., Eriksson, G., Dormling, I. & Ifver, J. 1981. Studies on frost hardiness of *Pinus contorta* Dougl. seedlings grown in climate chambers. Sammanfattning: Studier över frosthårdighet hos fröplanter av *Pinus contorta* Dougl. odlade i klimatkammare. *Studia Forestalia Suecica* 157: 1–47.
 68. Junttila, O. 1980. Effect of photoperiod and temperature on apical growth cessation in two ecotypes of *Salix* and *Betula*. *Physiologia Plantarum* 48: 347–352.
 69. Junttila, O. 1982. The cessation of apical growth in latitudinal ecotypes and ecotype crosses of *Salix pentandra* L. *Journal of Experimental Botany* 33: 1021–1029.
 70. Junttila, O. 1993. Interaction of growth retardants, daylength, and gibberellins A₁₉, A₂₀, and A₁ on shoot elongation in birch and alder. *Journal of Plant Growth Regulation* 12: 123–127.
 71. Junttila, O. & Skaret, G. 1990. Growth and survival of seedlings of various *Picea* species under northern climatic conditions. Results from phytotron and field experiments. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5: 69–81.
 72. Junttila, O. & Nilsen, J. 1993. Growth and development of northern forest trees as affected by temperature and light. Teoksessa: Forest development in cold climates. Alden, J., Mastrantonio, J.L. & Ødum, S. (toim.). Plenum Press, New York. s. 43–57.
 73. Kanninen, M. 1990. Havupuiden pituuskasvu. Teoksessa: Lahti, T. & Smolander, H. (toim.) Johdatus metsien perustuotantobiologiaan. *Silva Carelica* 16: 183–206.
 74. Kelly, R.J. & Mecklenburg, R.A. 1978. The effect of photoperiod and defoliation on root growth of European birch (*Betula pendula*) seedlings. *HortScience* 13(3): 369.
 75. Kennedy, D. & Brown, J.R. 1984. Crown development and shoot growth in *Betula pendula* Roth and its implication for forestry and arboriculture. *Arboricultural Journal* 8: 245–257.
 76. Khan, S., Rose, R., Haase, D. & Sabin, T. 1996. Soil water stress – its effects on phenology, physiology, and morphology of containerized Douglas-fir seedlings. *New Forests* 12(1): 19–39.
 77. Konda, K. Muto, K & Takikawa, S. 1962. Summary: The effect of photoperiodic treatment on the growth of Japanese larch seedlings. *Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ.* 21(2): 283–300.
 78. Konttinen, K. 1997. Ulkomaisten havupuiden ja kuusen karaiseminen lyhytpäiväkäsittelyllä. Teoksessa: Smolander, H. (toim.) Metsätaimien harjoitukset Jyväskylässä 1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 650: 57–75.
 79. Konttinen, K. 1999a. Lyhytpäiväkäsittely lehtikuusten taimien kasvatuksessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1: 65–77.
 80. Konttinen, K. 1999b. Ulkomaisten havupuiden taimien hallankestävyys ja karaiseminen. *Sorbifolia* 30: 164–171.
 81. Konttinen, K. (Julkaisematon aineisto). Lyhytpäiväkäsittelykoen määntyn taimilla kesällä 1998. Metla, Suonenjoen tutkimustaimitarha.
 82. Konttinen, K. & Rikala, R. 2000. Lyhytpäiväkäsittelyn ajoitus ja kesto kuusen taimilla. Käsikirjoitus.
 83. Konttinen, K. & Rikala, R. (Julkaisematon aineisto). Lyhytpäiväkäsittelyn ajoituksen ja keston vaikutus kuusen taimien silmujen puhkeamiseen.

- miseen ja kasvuun. Koe Metlan Suonenjoen tutkimustaitarhalla kesällä 1999.
84. Konttinen, K. & Rikala, R. 1996. Lyhytpäiväkäsittely ulkomaisten havupuiden taimien karaisussa. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 3: 199-211.
 85. Konttinen, K., Rikala, R. & Luoranen, J. (Julkaisematon aineisto). Yön­pituuden vaikutuksesta kuusen taimien kehitykseen ja pakkaskestä­vyyteen. Koe Metlan Suonenjoen tutkimustaitarhalla kesällä 1999.
 86. Koski, V. 1990. Joint effects of day length and temperature on dor­mancy processes. *Silva Carelica* 15: 47–50.
 87. Koski, V. & Selkäinaho, J. 1982. Experiments on the joint effect of heat sum and photoperiod on seedlings of *Betula pendula*. Seloste: Lämpösunnan ja päivänpituuden yhteisvaikutuksesta yksi- ja kaksi­vuotiaisiin rauduskoivuntaimiin. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 105: 1–34.
 88. Koski, V. & Sievänen, R. 1985. Timing of growth cessation in rela­tion to the variations in the growing season. Teoksessa: Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. and Koski, V. (toim.). *Crop physiology of forest trees*. Helsinki University Press. Helsinki. s. 167–194.
 89. Krasowski, M.J. & Owens, J.N. 1991. Growth and morphology of western red cedar seedlings as affected by photoperiod and mois­ture stress. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 340–352.
 90. Krasowski, M.J., Letchford, T. & Eastham, A.M. 1993. Growth of short-day treated spruce seedlings planted throughout British Co­lumbia. FRDA report 0835-0752: 209. 39 s.
 91. Kreps, J.A. & Kay, S.A. 1997. Coordination of plant metabolism and development by the circadian clock. *Plant Cell* 9(7): 1235–1244.
 92. Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. & Barnett, J.P. 1992. *The Container Tree Nursery Manual. Volume Tree, Atmospheric Environ­ment*. USDA, Forest Service, Agricultural Handbook 674. 145 s.
 93. Lanner, R.M. 1976. Patterns of shoot development in *Pinus*. Teoksessa: Cannell, M.G.R. ja Last, F. (toim.). *Tree physiology and yield im­provement*, s. 223–243.
 94. Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 3rd edition. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 506 s.
 95. Leikola, M. 1970. The effect of artificially shortened photoperiod on the apical and radial growth of Norway spruce seedlings. *Annales Botanici Fennici* 7: 193–202.
 96. Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol­ume I. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic Press, New York. 497 s.
 97. Luoranen, J. 1997. Taimien karaistumisen seuranta. Teoksessa: Smolander, H. (toim.) *Taimitarhapäivät Jyväskylässä. Metsäntutkimus­laitoksen tiedonantoja* 650: 45–56.
 98. Luoranen, J. 1999. Onko kasvusäateillä mahdollista vaikuttaa taimien kasvuun ja kehitykseen? *Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1999*. Potteri, M. (toim.). *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 755: 58–69.
 99. Luoranen, J. 2000. Control of growth and frost hardening of con­tainer silver birch seedlings: growth retardants, short day treatment and summer planting. Seloste: Rauduskoivun paakkutaimien kasvun ja karaistumisen hallinta: kasvunsäateet, lyhytpäiväkäsittely ja kes­äistutus. Väitöskirjan käsikirjoitus.
 100. Luoranen, J. & Rikala, R. 1997. Growth regulation and cold harden­ing of silver birch seedlings with short-day treatment. *Tree Planters' Notes* 48(3/4): 65–71.
 101. Luoranen, J. & Rantanen, A. (Julkaisematon aineisto). Lyhytpäivä­käsitteltyjen kuusen paakkutaimien maastomenestyminen. Joroisissa UPM-Kymmene Metsän taimitarhalla tehty koe.

102. Luoranen, J., Puttonen, P. & Rikala, R. 1994. Lyhytpäiväkäsittely kuusen paakkutaimien kasvatuksessa. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1994(1): 51–67.
103. MacDonald, J.E. & Owens, J.N. 1988. The use of developmental studies in refining dormancy induction treatments for containerized seedlings: A Douglas-fir example. Teoksessa: Morgenstern, E.K. & Boyle, T.J.B. (toim.). Truro, N.S. Proc, 21th Canadian Tree Improvement Association. Part 2. Tree Improvement – Progressing together. August 17–21, 1987. s. 197.
104. Major, E.J., Grossnickle, S.C., Fock, R.S. & Arnott, T.J. 1994. Influence of nursery culture on western red cedar. 1. Measurement of seedling attributes before fall and spring planting. *New Forest* 8(3): 211–229.
105. McGuire, J.J. & Flint, H.L. 1962. Effects of temperature and light on frost hardiness of conifers. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 80: 630–635.
106. McKenzie, J.S., Weiser, C.J. & Burke, M.J. 1974. Effects of red and far red light on the initiation of cold acclimation in *Cornus stolonifera* Michx. *Plant Physiology* 53: 783–789.
107. Nagata, Y. 1966. Long-day treatment to the seedlings of larch and spruce introduced from USSR. OJI Institute for Forest Tree Improvement. Kuriyama, Hokkaido, Japan. Technical Note no. 49, Aug. 1966: 10–13. (japaniksi).
108. Nurminen, J. Lyhytpäiväkäsittelyjen koivun paakkutaimien alttius metsäjäniksille ja peltomyyrille. Käsikirjoitus.
109. Nyström, C. 1993. Odlingsteknik för täckrotsplanter av björk. Skogshögsskolan, Garpenberg. Information från skogsbrukets plantgrupp. Ett faktablad producerat av avd. för skogsförnyelse. Skogshögsskolan, Garpenberg. Plantnytt 6. 4 s.
110. Odlum, K.D. 1992. Hardening and overwintering container stock on Ontario: Practices and research. Teoksessa: Proceedings of the 1991 Forest Nursery Association of British Columbia Meeting. Prince George; British Columbia, September 23–26, 1991. s. 29–35.
111. Odlum, K.D. & Colombo, S.J. 1988. Short day exposure to induce budset prolongs shoot growth in the following year. Teoksessa: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forestry Nursery Association. T.D. Landis (toim.). USDA Forest Service General Technical Report RM-167: 57–59.
112. Odlum, K.D. Blake, T.J., Kim, Y.T. & Glerum, C. 1993. Influence of photoperiod and temperature in frost hardiness and free amino acid concentrations in black spruce seedlings. *Tree Physiology* 13: 275–282.
113. Pelkonen, P., Hänninen, H., Repo, T. & Sutinen, M.L. 1990. Metsäpuiden vuosirytmii ja pakkaskestävyys. Teoksessa: Lahti, T. & Smolander, H. (toim.) Johdatus metsien perustuotantobiologiaan. *Silva Carelica* 16: 205–232.
114. Pollard, D.F.W. & Logan, K.T. 1976. Inherent variation in "free" growth in relation to numbers of needles produced by provenances of *Picea mariana*. Teoksessa: Cannell, M.G.R. ja Last, F. (toim.) *Tree Physiology and yield improvement*. s. 245–252. Academic Press, Lontoo.
115. Pollard, D.F.W. & Logan, K.T. 1977. The effects of light intensity, photoperiod, soil moisture potential, and temperature on bud morphogenesis in *Picea* species. *Canadian Journal of Forest Research* 7: 415–421.
116. Pulkkinen, P. 1993. Frost hardiness development and lignification of young Norway spruce seedlings of southern and northern origin. *Silva Fennica* 27: 47–54.
117. Rantanen, M. 1997. Lyhytpäiväkäsittelyjen kuusen (*Picea abies* (L.) Karst) paakkutaimien syysistutus. Pro gradu-tutkielma. Helsingin Yli-

- opisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. 49 s.
118. Rantanen, M. & Luoranen, J. 1998. Lyhytpäiväkäsitelyjen kuusen paakkutaimien syysistutus. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1998. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 696: 71–80.
 119. Raulo, J. & Leikola, M. 1974. Tuloksia puiden vuotuisen pituuskasvun ajoittumisesta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 81(2): 1–19.
 120. Rikala, R. 1992. Taimitarhalannoituksen vaikutus männyntaimien jälkikasvuun ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen. Summary: Effect of nursery fertilization on incidence of summer shoot and field performance on Scots pine seedlings. *Folia Forestalia* 794: 1–19.
 121. Rikala, R. & Repo, T. 1997. The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. *New Forests* 14: 33–44.
 122. Robak, H. 1954. The reasons for poor winter survival of *Larix leptolepis* in nurseries on coast. *Årsskrift for Norske Skogplanterskoler* 1953: 34–40.
 123. Robak, H. 1957. The relation between day length and the end of the annual growth period in some conifers of interest to Norwegian forestry. *Meddelelser fra Vestlandets Forstlige Forsøksstasjon* 31. 62 s.
 124. Rosvall-Åhnebrink, G. 1977. Artificiell invintring av skogsplanter i plastväxthus. Summary: Artificial hardening of spruce and pine seedlings in plastic greenhouses. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsförnyring. Interna rapporter 14: 153–161.
 125. Rosvall-Åhnebrink, G. 1980. Kan vi varaktigt förändra en plantas invintringsförlopp? Summary: Is it possible to permanently change the hardening process for Norway spruce and Scots pine seedlings? Sveriges skogsvårdsförbund Tidskrift Specialnummer, Skogsgenetik och skogsträdsförädling. Häfte 1–2: 170–178.
 126. Rosvall-Åhnebrink, G. 1982. Practical application of dormancy induction techniques to greenhouse-grown conifers in Sweden. Teoksessä: Scarratt, J.B., Glerum, G. & Plexman, C.A. (toim.) Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium September 14–16, 1981 Toronto, Ontario. Canadian Forestry Service, Ministry of Natural Resources. COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. s. 163–170.
 127. Rosvall-Åhnebrink, G. 1990. Bättre plantkvalitet genom styrning av fotoperiod och temperatur. Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsfakta konferens No. 14: 27–34.
 128. Rudolph, T. D., 1964. Lammas growth and prolepsis in Jack pine in the Lake States. *Forest Science Monograph* 6. 70 s.
 129. Sandvik, M. 1975. Kontroll av innvintringstempoet hos granplanter i praktiske produksjonsanlegg. *Årsskrift 1974 for Norske skogsplanteskoler*. s. 49–56.
 130. Sandvik, M. 1976. Styring av vekstrytme og etablerinsevne hos granplanter. Utdrag av foredrag under planteskolekurset på Sønsterud september 1975. *Årsskrift 1975 for Norske skogsplanteskoler*. s. 68–76.
 131. Sandvik, M. 1977. Vekstavslutning og overvintringsevne hos granplanter Summary: Growth cessation and overwintering ability of *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. Skogshögsskolan. Institutionen för skogsgenetik. Rapporter och Uppsatser 27: 117–123.
 132. Sandvik, M. 1978. Gjødslingens inflytelse på plantenes etablering etter utplantning. *Årsskrift 1977 fra Norske skogsplanteskoler*. s. 41–56.
 133. Sandvik, M. 1980. Use of controlled environment facilities. Environment control of winter stress tolerance and growth potential in seed-

lings of *Picea abies* (L.) Karst. New Zealand Journal of Forest Science 10(1): 97–104.

134. Sato, Y., Miyakoshi, M. & Muto, K. 1951. Factors affecting resistance to cold of tree seedlings. (1) The effect of the length of a period of photoperiodic treatment. Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ. 15 (1): 63–80.
135. Silim, S.N., Kannangara, T., Lavender, D.P. & Charleson, L. 1989. Effects of photoperiod and plant growth regulators upon the growth of coniferous seedlings. Forestry Supplement 62: 143–148.
136. Silim, S.N. & Lavender, D.P. 1994. Seasonal patterns and environment regulation of frost hardiness in shoots of seedlings of *Thuja plicata*, *Chamaecyparis nootkatensis* and *Picea glauca*. Canadian Journal of Botany 72: 309–316.
137. Simak, M. 1970. Photo- and thermoperiodic responses of different larch provenances (*Larix decidua* Mill.). Sammanfattning: Foto- och termoperiodiska rektioner hos olika lärkproveninser (*Larix decidua* Mill.). Studia Forestalia Suecica 86: 1–31
138. Simak, M. 1974. Artificiell invintring av skogsplanter vid odling i plastväxthus. Summary: The artificial wintring of forest plants in plastic greenhouse. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4: 373–381.
139. Simak, M. 1975. Kort nattbelysning av skogsplanter i plastväxthus ger bättre odlingsmaterial. Summary: Intermittent light treatment of forest plants in a plastic greenhouse produces better plant material. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4: 373–381.
140. Smit-Spinks, B., Swanson, B.T. & Markhart, A.H. III. 1985. The effect of photoperiod and thermoperiod on frost acclimation and growth *Pinus sylvestris*. Canadian Journal of Forest Research 15: 453–460.
141. Stahel, J.B. 1972. The effect of daylength on root growth of Sitka spruce. Forest Science 18: 27–31.
142. van Steenis, E. 1992. Short day treatment of conifer seedlings in British Columbia forest nurseries. Teoksessa: Landis, T.D. (tech. coord.). Proceedings, Intermountain Forest Nursery Association, 1991. August 12–16; Park City. UT. Gen. Tech. Rep. RM. 211: 103–105.
143. Story, T.L., Thompson, C.F. & Hawkins, C.D.B. 1995. Five year field performance of short day treated Engelmann spruce seedlings in the Nelson Forest Region of British Columbia. Teoksessa: National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. T. D. Landis and R.K. Dumroese (Technical Coordinators). USDA Forest Service General Technical Report RM-GTR-257: 139–149.
144. Takatoi, I. 1959. On the control growth of Japanese larch seedlings. (1) Effects of rest time of height growth upon the frost hardiness of seedlings. Extr. from Ann. Report For. Exp. Sta. Hokkaido 1959, 1960. s. 11–19.
145. Tanaka, Y. 1974. Increasing cold hardiness of container-grown Douglas-fir seedlings. Journal of Forestry 72: 349–352.
146. Templeton, C.W.G., Odlum, K.D. & Colombo, S.J. 1993. How to identify bud initiation and count needle primordia in first-year spruce seedlings. The Forestry Chronicle 69: 431–437.
147. Thomas, B. 1998. Photoperiodism: an overview. Teoksessa: Biological rhythms and photoperiodism in plants. Lumsden, P.J. and Millar, A.J. (toim.). BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford. s. 151–165. ISBN 1-85996-216-5
148. Thomas, B. & Vince-Prue, D. 1997. Photoperiodism in Plants. Academic Press, London, 428 s.
149. Timmis, R. & Worrall, J. 1975. Environmental control of cold acclimation in Douglas fir during germination, active growth, and rest. Canadian Journal of Forest Research 5: 464–477.
150. Tinus, R.W. & McDonald, S.E. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouses. Rocky Mountain Forest and Range Ex-

- periment Station. Forest Service, U. S. Department of Agriculture. General Technical Report RM-60. 256 s.
151. Toivonen, A., Rikala, R., Repo, T. & Smolander, H. 1991. Autumn colouration of first year *Pinus sylvestris* seedlings during frost hardening. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6: 31–39.
 152. Vaartaja, O. 1951. Päivän pituuden vaikutuksesta puiden kasvuun. Summary: On photoperiodism in Finnish trees. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 4: 105–107.
 153. Vaartaja, O. 1954. Photoperiodic ecotypes of trees. *Canadian Journal of Botany* 32: 392–399.
 154. Vaartaja, O. 1957. Photoperiodic responses in seedlings of northern tree species. *Canadian Journal of Botany* 35: 133–138.
 155. Vaartaja, O. 1959. Evidence of photoperiodic ecotypes in trees. *Ecological Monographs* 29: 91–111.
 156. Vaartaja, O. 1960. Ecotypic variation of photoperiodic response in trees especially in two *Populus* species. *Forest Science* 6: 200–206.
 157. Weiser, C.J. 1970. Cold resistance and injury in woody plants. Knowledge of hardy plant adaptation to freezing stress may help us to reduce winter damage. *Science* 169: 1269–1278.
 158. Zelawski, W. 1960. Further researches on the photoperiodic reaction in seedlings of the European larch (*Larix Europaea* D.C.). Published for the National Science Foundation and the Department of Agriculture on the order of Centralny Instytut Dokumentacji Naukowo-Technicznej, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Puola. 21 s. Käännetty puolasta. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 26 (1), 1957: 79–103.

Hakemisto

A

alkuperä 11–15, 22, 33, 41, 45, 48
amerikanpunamänty 39

B

banksinmänty 39

D

dormanssi 8
douglaskuusi 25, 38
dynaaminen LP-käsittely 21

E

elossaolo 29, 39
engelmanninkuusi 29, 46
ennaltamääräytynyt kasvu 9, 28
euroopanlehtikuusi 35

F

fotoperiodi 9, 11
fotosynteesisesti aktiivinen
 valo 14, 15
fytokromi 13, 14

H

halla 11, 26
harmaaleppä 41
hieskoivu 41, 46
hämärä 14, 46

I

ikä 12
istutus
 koivu 43
 kuusi 28
 mänty 34
itäminen 45

J

jaksottainen LP-käsittely 21, 35
jatkettu päivänpituus 47

juuristo

 juurten karaistuminen 19, 26
 juurten kasvu 13
jälkikasvu 8, 23, 24
jättituija 38, 39

K

kaksivuotiaat taimet
 kuusi 24
 mänty 32
 ulkomaiset havupuut 38
kanadanlehtikuusi 35
kanadantuija 38
karaistuminen 10, 19
 I vaihe 10, 17, 18, 20, 42
 II vaihe 10, 18, 20
 III vaihe 10
 juuristo 19
kasvihormonit 14
 abskisiinihappo 14
 auksiini 13
 gibberelliini 13, 14
 sytokiniini 13
kasvualusta
 kastelu 18
 kosteus 18
 kuivuus 17
 lannoitus 17
 ravinteet 17
keinovalo 16, 22, 45, 48
kesäverso 9
kevätverso 9
koivu 9, 13, 16, 17, 20, 46
koreantuija 38
kriittinen yön pituus 10, 12–14
kuusi 8, 11–13, 16, 17, 20, 46
kylvöaika 45, 46

L

lehtien kellastuminen ja putoaminen 20, 42

lehtikuusi 9, 20, 46
lepotila 8, 10, 12, 22
leveysaste 12
lisävalaistus 45, 46
lyhyt päivä 9
lämpösumma 9, 12, 16, 22, 23,
41
lämpötila 12, 18, 22
 päivälämpötila 12, 17, 42
 yölämpötila 12, 15, 17
lännehemlockki 38, 39
läpimittakasvu 13, 18

M

makedonianmänty 39
mikroskooppinen tarkastelu 19
mustakuusi 22, 28
mänty 8, 11, 12, 20, 46

N

neulasaihe 8, 19
neulasten värimuutos
 karaistuminen 20
 lehtikuusi 20
 mänty 20

O

ohotanpihta 28
olganlehtikuusi 35

P

pakkaskestävyys 10, 18, 20
pakkasvarastointi 26, 33, 42
palsamipihta 38
PAR 14, 15
pihta 8, 20
pimeä 14
pimennysverho 15
pitkä päivä 9
pituuskasvun mittaus 19
pituuskasvun päättyminen 8, 10,
32
pituusvaihtelu 22
puhkeamattomat silmut
 koivu 43
 kuusi 27
 lehtikuusi 36

R

rauduskoivu 20, 41

S

saarnivaahtera 41
sahalinipihta 38
silmun muodostuminen 8, 12,
18, 19
silmun puhkeaminen
 koivu 43
 kuusi 26, 27
 lehtikuusi 36
 lännehemlockki 39
 mänty 34
siperianhernepensas 41
siperianlehtikuusi 35, 36
sirkkataimi 22
staattinen LP-käsittely 21
strobusermänty 39
syysistutus 26, 33

V

valaistusvoimakkuus 14, 15, 45
valkokuusi 22
valo
 aallonpituus 15
 kaukopunainen 14, 46
 punainen 14, 46
vapaa kasvu 8, 10, 11
vesipitoisuus 18, 20
vilutus 10

Y

yhteyttäminen 13
yö 14, 15, 16, 45
yön katkaisu 47

Liite 1. Luettelo Suomessa menestyvistä puulajeista, joilla on tutkittu lyhytpäiväkäsittelyä.

- + LP-käsittelyllä positiivinen vaikutus (pituuskasvu pysähtyy, karaistuminen aikaistuu)
 – LP-käsittelyllä ei ole vaikutusta (pituuskasvu ei pääty, ei vaikutusta karaistumiseen)
 ... tarkoittaa, että ko. tutkimuksessa/tutkimuksissa ei ole tutkittu ao. vaikutusta

Puulaji*	Pituus- kasvu	Karais- tuminen	Lähde
Kuuset ja Douglaskuusi – <i>Picea</i> sp. ja <i>Pseudotsuga</i> sp.			
Metsäkuusi, <i>Picea abies</i> (L.) Karsten	+	...	37, 44, 95, 58, 59
	+	...	29, 130, 133
	...	+	8, 19, 34, 79, 124-126
	+	+	44, 65, 102, 117, 118
Engelmanninkuusi, <i>P. engelmannii</i> (Parry) Engelm.	+	+	56, 78
Valkokuusi, <i>P. glauca</i> (Moench) Voss	+	+	11, 56
	...	+	10, 22, 26, 78, 85
	+	...	37, 154
Glehninkuusi, <i>P. glehnii</i> (Fr. Schmidt) Masters	+	+	78, 134
Ajaninkuusi, <i>P. jezoensis</i> (Sieb. & Zucc.) Carrière	...	+	85
	+	+	78
Koreankuusi, <i>P. koraiensis</i> Nakai	+	+	78
Mustakuusi, <i>P. mariana</i> (Miller) Britton, Strens & Poggenb.	+	+	10, 56, 65, 78, 110
	...	+	22, 23, 85, 112
Serbiankuusi, <i>P. omorika</i> (Pančić) Purkyne	...	+	78, 85
Okakuusi, <i>P. pungens</i> Engelm.	+	+	78
Sitkankuusi, <i>P. sitchensis</i> (Bong.) Carrière	+	+	41, 42, 57
valkokuusen ja sitkankuusen risteymä, <i>P. glauca</i> x <i>sitchensis</i>	...	+	123
	+	...	37
Douglaskuusi, <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirbel) Franco	...	+	78, 85, 123, 145, 149
	+	...	37
Lehtikuuset – <i>Larix</i> sp.			
Euroopanlehtikuusi, <i>L. decidua</i> Miller	+	+	79, 137
	+	...	158
	...	+	123
Dahurianlehtikuusi, <i>L. gmelinii</i> var. <i>gmelinii</i>	...	+	80
Olganlehtikuusi, <i>L. gmelinii</i> var. <i>olgensis</i> (Henry) Ostenf. & Syrach Larsen	+	+	79
Japaninlehtikuusi, <i>L. kaempferi</i> (Lamb.) Carrière	+	...	37, 77
	+	+	144, 134
	...	+	122
Kanadanlehtikuusi, <i>L. laricina</i> (Du Roi) C. Koch	+	+	25, 79, 138
	+	...	154
Siperianlehtikuusi, <i>L. sibirica</i> Ledeb.	+	+	79

Puulaji*	Pituus- kasvu	Karais- tuminen	Lähde
Männyt – <i>Pinus</i> sp.			
Banksinmänty, <i>P. banksiana</i> Lamb.	... +	+ ...	80 37, 154
Kontortamänty, <i>P. contorta</i> Douglas ex Loudon var. <i>latifolia</i> S. Watson	... +	+ ...	67 44
Makedonianmänty, <i>P. peuce</i> Griseb.	...	+	80
Amerikanpunamänty, <i>P. resinosa</i> Ait.	... +	+ ...	80 37, 154
Strobusmänty, <i>P. strobus</i> L.	... +	+ ...	80 37
Metsämänty, <i>P. sylvestris</i> L.	... +	+ ...	8, 19, 34, 67, 124–126 44, 152
Pihdat – <i>Abies</i> sp.			
Palsamiپیhta, <i>A. balsamea</i> (L.) Miller	...	+	78, 85
Harmaapihta, <i>A. concolor</i> (Gordon & Glend.) Lindley ex Hildebr.	...	+	78, 85
Virginianپیhta, <i>A. fraseri</i> (Pursh) Poiret	...	+	80
Koreanپیhta, <i>A. koreana</i> Wilson	...	+	78
Lännenپیhta, <i>A. lasiocarpa</i> (Hooker) Nutt.	...	+	78, 85
Ohotanپیhta, <i>A. nephrolepis</i> (Trautv. & Maxim.) Maxim	...	+	78
Sahalininپیhta, <i>A. sachalinensis</i> (Fr. Schmidt) Masters	... –	– +	78 134
Siperianپیhta, <i>A. sibirica</i> Ledeb.	...	+	78, 85
Japaninپیhta, <i>A. veitchii</i> Lindley	...	+	78, 85
Tuijat ja hemlokkit – <i>Thuja</i> sp. ja <i>Tsuga</i> sp.			
Koreantuija, <i>Thuja koraiensis</i> Nakai	...	–	80
Jättituija, <i>T. plicata</i> Don ex D. Don	– –	89, 154 136
Kanadantuija, <i>T. occidentalis</i> L.		+	24
Lännenhemlokki, <i>Tsuga heterophylla</i> (Rafin.) Sarg.	+ ...	+ +	51, 53 123
Lehtipuut			
Saarnivaahtera, <i>Acer negundo</i> L.	–	...	154
Punavaahtera, <i>Acer rubrum</i> L.	+	...	37
Harmaaleppä, <i>Alnus incana</i> (L.) Moench	+	...	152, 153
Keltakoivu, <i>Betula alleghaniensis</i> Britton	+ +	154 16

Puulaji*	Pituus- kasvu	Karais- tuminen	Lähde
Paperikoivu, <i>B. papyrifera</i> Marshall	+		38
Rauduskoivu, <i>B. pendula</i> Roth	+	+	74, 101, 109
	+	...	152
Hieskoivu, <i>B. pubescens</i> Ehrh.	+	...	152
Siperianhernepensas, <i>Caragana arborescens</i> Lam.	-	...	154
Amerikanmustapoppeli, <i>Populus deltoides</i> Bartram ex Marshall	+	...	156
Amerikanhaapa, <i>Populus tremuloides</i> Michx	+	...	156
Punatammi, <i>Quercus rubra</i> L.	...	+	15, 16
Halava, <i>Salix pentandra</i> L.	+	...	68, 69

* Suomenkieliset ja tieteelliset nimet Hämet-Ahti, L., Palmén, A., Alanko, P. & Tigerstedt, P. M. A. 1989. Suomen puu- ja pensaskasvio mukaan

Liite 2. Valon mittayksiköt ja mittayksiköiden vertailu.

- ◆ Säteily voidaan mitata joko fotonien lukumäärän (mooli, Einstein) tai energian (Joule) avulla.
- ◆ Säteilyä voidaan mitata joko säteilylähteen (aurinko, lamppu) tai vastaanottavan pinnan kannalta.
- ◆ Valolla tarkoitetaan ihmissilmän näkemää säteilyä (390–780 nm).
- ◆ Fotosynteettisesti aktiivinen säteily PAR (photosynthetically active radiation) on aallonpituudeltaan (400–700 nm) lähellä ihmissilmän aistimaa säteilyä.
- ◆ Säteilyn aallonpituuden mittayksikkö on nm (nanometri = 10^{-9} m).

Taulukko 1. Tasolle tulevan säteilyn kuvaaminen.

Suure	Yksikkö	Määritelmä
Fotonivuon tiheys	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Yksikköpinta-alalle aikayksikössä tuleva säteilykvanttien lukumäärä
Säteilyvuon tiheys eli irradianssi	W m^{-2}	Yksikköpinta-alalle aikayksikössä tuleva säteilyenergia
Valaistusvoimakkuus	lx^* (lumen m^{-2})	Yksikköpinta-alalle tuleva valomäärä (ihmissilmän herkkyydellä painotettu fotonien lukumäärä)

*Englantilaisesta mittayksiköstä Foot-candle (fc, lumen/ neliöjalka) saadaan luxeja kertoimella 10,76.

Taulukko 2. Valonlähteen kuvaaminen.

Suure	Yksikkö	Määritelmä
Säteilyteho	$\text{W (J s}^{-1}\text{)}$	Säteilylähteen aikayksikössä lähettämä säteilyenergia
Valovirta	lumen (lm)	Säteilylähteen aikayksikössä säteilemä valomäärä
Valotehokkuus	Lumen W^{-1}	Valovirran ja käytetyn tehon suhde = lampun hyötysuhde

Taulukko 3. Fotonivuon yksiköiden (mooli, Einstein) ja valaisuvoimakkuuden eli illuminanssin (lx) yksiköiden vertailu on mahdollista, mutta vertailuun vaikuttaa myös valon spektri (auringonvalo, erilaiset keinovalot) (mukaeltu Landis ym. 1992).

Valon lähde	Fotonivuon tiheys, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Valaistusvoimakkuus, lx	Kerroin, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1} = \text{lx}$
Täysi auringon valo (meren pinnassa)	2 000	108 000	54
Paksu pilvipeite	60	3 200	54
Täysi kuunvalo	0,2	10	54
Tavallinen hehkulamppu, 100 W*	1,2	59	49
Loisteputki, 40 W* (viileä valk.)	1,3	103	79
Suurpainenatriumlamppu, 400 W*	20	1 670	84
Pienpainenatriumlamppu, 180 W*	10	1 090	109
Monimetallilamppu (metalli-halogeenilamppu), 400 W*	19	1 330	70

* Lamppu on asennettu 2 metriä kasvuston yläpuolelle

USA:n ja Kanadan taimitarhoilla on päivänpituuden jatkamisessa käytetty yleisimmin hehkulamppuja, suurpainenatriumlamppuja ja loisteputkia (92).

ISBN 951-40-1734-X