

RAUDUSKOIVUN RUNKOSOLUKON RC-ARVO TALVEENTUMISASTEEN OSOITTAJANA

PIRKKO ROMA KANIEMI-NIEMELÄ

Summary

RC-VALUE OF THE STEM TISSUE OF SILVER BIRCH AS AN INDICATOR OF COLD ACCLIMATION

Saapunut toimitukselle 9. 1. 1985

Tutkimuksessa selvitettiin rauduskoivun taimien talveentumisasteen mittaamista ja lannoituksen vaikutusta talveentumisen kehittymiseen. Aineistona oli rauduskoivun 1M+1A -taimia ja kantovesoja läheisestä metsiköstä. Talveentumisaste selvitettiin mittaamalla RC-arvoja, eli mittaamalla lämpötilakäsittelyjen jälkeen runkosolukosta tislattuun veteen liukenevien elektrolyyttien aiheuttama suhteellinen sähkönjohtavuus. RC-arvojen luotettavuutta selvitettiin vertaamalla tulosta silmävaraisesti todettuihin versojen vaurioihin.

RC-arvo kuvasti hyvin taimien talveentumisen kehittymistä syksyn kuluessa lämpötilan laskiessa vähittäin. Eri lämpötilakäsittelyn saaneet taimet erosivat hyvin toisistaan elokuussa ja syyskuun alussa, mutta syyskuun lopussa ja erityisesti lokakuussa RC-arvot olivat jo lähellä toisiaan. Vaurion silmävaraisen arvioinnin ja RC-arvojen välillä oli vahva korrelaatio. Käytetty menetelmä ei osoittanut eroja karaistumisen aikataulussa eri tavoin lannoitettujen taimien välillä, eikä myöskään vertailuna käytettyjen kantovesojen ja lannoitettujen koetaimien välillä.

1. JOHDANTO

Metsänviljelytaimia nostetaan syksyllä ja pidetään talven yli kylmävarastossa, jotta keväällä jäisi istutustöihin enemmän aikaa. Varastointi on mahdollisesti aiheuttanut vaurioita taimiin, sillä erityisesti kylmävarastoidussa rauduskoivun taimissa on havaittu versolaikkuja (Petäistö 1983). Raulon mukaan (1974) koivun taimien nosto kylmävarastoon voidaan aloittaa heti, kun taimien lehdet ovat kellastuneet, mutta mm. Tumanovin ym. mukaan (1972) kasvun loppuminen ja lehtien variseminen eivät ole puiden taimien karaistumisen luotettavia osoittajia. Mahdollisesti taimien kylmäkestävyyden kehittyminen on joskus kesken taimia kylmävarastoon siirrettäessä. Tällöin lämpötilan muutos voi aiheuttaa vaurioita, jotka toimivat versolaikkuja aiheuttavien patogeenisten sienten sisäänpääsyteinä (Petäistö 1983). Jotta kylmävarastossa ei syntyisi vaurioita, täytyy taimien olla

riittävästi talveentuneita kestääkseen $-1 \dots -4^{\circ}\text{C}$:n lämpötiloja, lämpötilojen muutoksia ja kuivumista. Pahin taimia kylmävarastossa uhkaava vaara on kuivuminen, jota pyritään välttämään pitämällä varastoilman suhteellinen kosteus lähellä 100 % ja panemalla lunta taimisäkkiin taimien joukkoon.

Puuvartisten kasvien kylmänkestävyys lisääntyy syksyn aikana ja on yleensä parhaimmillaan keskitalvella. Nykyään useimmat tutkijat uskovat lämpötilan ja fotoperiodin yhdessä säätelevän talveentumista (van den Driessche 1970, Weiser 1970, Tumanov ym. 1972, 1973, Stern ja Roche 1974, Timmis ja Worrall 1975, Koski ja Selkäinaho 1982). Sarvaksen mukaan (1972, 1974) vain lämpötila säätelee puiden talveentumista, kun taas mm. Vaartaja (1951) kannatti fotoperioditeoriaa.

Jääkiteiden muodostuessa soluväleihin vettä siirtyy solunseinistä soluväleihin ja solun sisältä solunseiniin. Lämpötilan laskunopeus on ratkaiseva tekijä, sillä jos lämpötila laskee nopeasti, ei vesi ehdi siirtyä soluista soluväleihin, vaan se jäätyy solun sisällä. Solun sisällön jäätymisestä seuraa lähes poikkeuksetta solun kuolema protoplastin vaurioituttua mekaanisesti (Sakai 1967, 1983). Karaisutumisen aikana solukalvojen lipidien tyydyttymättömyysaste kohoaa, ja tämä lisää solukalvojen vedenläpäisevyyttä. Paleltumisvaurio voi muodostua, vaikka jäätä syntyy vain soluväleihin, jos kasvi ei ole riittävästi talveentunut pakkasten alkaessa. Tällöin vaurion syyksi on esitetty mm. jään aiheuttamaa painetta soluja vasten, solujen kuivumista, soluliuoksen väkevytymistä ja solukalvojen lipidien tai proteiinien vauriotumista (Levitt 1980).

Paleltumisvaurion muodostuttua soluista vapautuu elektrolyyttejä, sitä enemmän mitä suurempi vaurio on syntynyt. Vapautuneet elektrolyytit voidaan liuottaa tislattuun veteen, ja mittaamalla veden sähkönjohtavuus saadaan selville vaurion suuruus. Useimmiten lasketaan liuoksen ns. RC-arvo, joka ku-

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Taimikasvatus

Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusaseman taimitarhan avomaalle kouluttiin 31. 5. 1982 rauduskoivun 1M-taimia, joiden alkuperä oli Varkaus. Koulintatiheys oli 15 × 22 cm. Koeruudun koko oli 1,3 (penkin leveys) × 7 m. Tästä pituudesta 0,5 m oli vaippa-alue. Penkissä taimet olivat kuudessa rivissä.

Lannoituskäsittelyjä oli 10 kolmena kerranteena. Kaksi rinnakkaista penkkiä muodosti yhden kerranteen, ja lannoituskäsittelyjen sijainnit arvottiin kahden penkin ruutujen kesken. Alue peruslannoitettiin 15. 6., jolloin annettiin Oulun salpietaria 200 kg/ha ja Puutarhan Y1-lannoitetta 200 kg/ha. Varsinaiset lannoituskäsittelyt aloitettiin kolmen viikon kuluttua koulunnasta. Kutakin lannoitetta annettiin neljä kertaa. Oulun salpietaria an-

vaa solukosta vaurion vuoksi liuenneiden elektrolyyttien määrää solukon kokonaiselektrolyyttimäärään verrattuna (esim. Aronsson ja Eliasson 1970).

Erilaisilla lannoituskäsittelyillä voidaan vaikuttaa talveentumiseen, mutta näistä kokeista saadut tulokset ovat olleet ristiriitaisia (Levitt 1956, Viro 1966, Reinikainen 1967, Alden ja Hermann 1971, Christersson 1973, Benzian ym. 1974, Pümpel ym. 1975, Hellegren 1981).

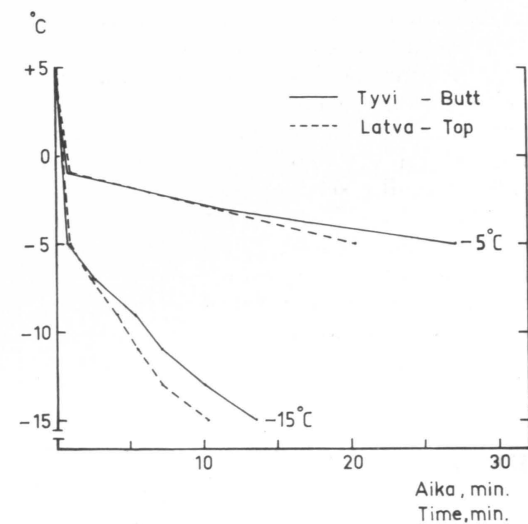
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rauduskoivun taimien talveentumistas-teen mittaamista ja lannoituksen vaikutusta talveentumisen kehittymiseen.

Tämä tutkimus tehtiin opinnäytetyöksi Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitokselle. Kokeen perustamista ja kasvatusta valvoi Suonenjoella MH Risto Rikala. Talveentumisen selvittämiseksi käytettäviin sähköisiin mittausten menetelmiin perehtyessäni sain apua DI Kari Harjulta ja vt. prof. Paavo Pelkoselta. Käsikirjoituksen ovat lukeneet vt. prof. Paavo Pelkonen, prof. Tauno Kallio, dos. Veikko Koski, dos. Timo Kurkela ja MH Risto Rikala. Englanninkielisen tekstin tarkasti Marlene Mikkola. Esitän parhaat kiitokseni kaikille työssä mukana olleille.

nettiin viikoilla 25–28 (3–6 vk koulunnasta), superfosfaattia viikoilla 26–29 (4–7 vk koulunnasta) ja kaliumsulfaattia viikoilla 27–30 (5–6 vk koulunnasta). Koejärjestely ja lannoitemäärät ilmenevät liitteestä 1. Lehtien ravinneanalyyysiä varten otettiin näytteet 9.–13. 9. Lehtien typpipitoisuus oli kuivapainosta 3,28–4,17 %, kaliumpitoisuus 1,22–1,41 % ja fosforipitoisuus 0,41–0,52 %.

22. Kylmänkestävyyden mittaaminen

Taimia nostettiin neljä erää, ensimmäinen 12. 8. ja muut 8. 9., 29. 9. ja 20. 10. Kerralla otettiin jokaiselta ruudulta 12 tainta juureniskasta leikaten, systemaattisesti aina joka kahdeksas taimi. Hyvin pieniä taimia ei hy-



Kuva 1. Verson jäähtymisnopeus. Keskiarvot 6–8 mitauksesta.

Figure 1. The cooling rate of a shoot. Mean values of 6–8 measurements.

väksytty, eikä myöskään taimia, joiden kuoressa näkyi kuolioita. Lisäksi samalla tavalla otettiin läheisestä metsiköstä 12 rauduskoivun kantovesaa, jotka olivat suunnilleen samanpituisia kuin taimitarhan taimet. 12 taimen nippu jaettiin kolmeksi neljän taimen nipuksi, joista yksi oli kontrollia (käsittelylämpötila +5°C), toinen -5°C:n käsittelyä ja kolmas -15°C:n käsittelyä varten. Tainten tyvestä sekä latvasta leikattiin n. 15 cm:n pituiset palat.

Taimien kylmänkestävyyden mittausta tapahtui Aronssonin ja Eliassonin (1970) käytämällä menetelmällä. Pakkaskäsittelyjä ennen kaikki taimipussit olivat 1–2 vrk +5°C:n lämpötilassa, jotta alkulämpötila olisi kaikilla sama. Taimet siirrettiin sieltä suoraan pakka-seen ilman muovipussia. Pakkaskäsittely kesti 18–20 tuntia, ja lämpötilat olivat -5 ± 1°C ja -15 ± ½°C, paitsi että -15°C:n lämpötila kohosi 12 tunnin välein -10°C:een, mutta se laski takaisin -15°C:een tunnissa. Sulatus tapahtui +5°C:ssa vuorokauden aikana suljettuina muovipusseihin.

Lämpötilan laskua verson sisällä seurattiin sekä -5°C:n että -15°C:n lämpötiloissa. Anturi, jonka paksuus oli noin 0,7 mm, työnnettiin noin 1 mm:n syvyyteen keskimääräisen

paksuihin tyviin ja latvoihin (kuva 1). Lämpötila rekisteröitiin vähintään kahden minuutin välein. Keskimääräiset lämpötilan laskunopeudet olivat -5°C:n lämpötilassa tyvessä 0,3°C/min. ja latvassa 0,4°C/min. sekä -15°C:n lämpötilassa tyvessä 1,5°C/min. ja latvassa 1,9°C/min.

Vuorokauden sulatusajan jälkeen taimista leikattiin 0,5–1 cm:n pituisia palasia 0,5 g sekä tyvestä että latvasta. Lehdet poistettiin ennen leikkaamista. Palaset laitettiin koeputkiin, joihin lisättiin 10 ml steriloitua vettä. Koeputket asetettiin ravistelijaan 18–20 tunniksi, jonka jälkeen suoritettiin ensimmäinen johtavuusmittaus. Käytetty mittari oli Philip-sin siltamittari mallia PR 9500, ja käytetty mittaustaajuus oli 50 Hz. Ennen johtavuuden mittaamista koeputket asetettiin vesihauteseen, jonka lämpötila oli +30 ± 1°C. Mittaus tehtiin aina tässä lämpötilassa.

Ensimmäisen johtavuusmittauksen jälkeen solukat tapettiin asettamalla koeputket kiehuvaan veteen 10 minuutiksi. Putket asetettiin vielä ravistelijaan 18–20 tunniksi, jonka jälkeen johtavuus mitattiin toisen kerran.

Pakkaskäsittelyssä tapahtuneen vaurion suuruutta kuvasi suhteellinen johtavuus eli RC (relative conductivity). Se laskettiin seuraavasti:

$$RC = \frac{\text{Johtavuus}_1}{\text{Johtavuus}_2} \times 100 \quad (1)$$

Johtavuus₁ = palelletusta solukosta mitattu johtavuus
Johtavuus₂ = palelletusta ja keitetystä solukosta mitattu johtavuus

Aronsson ja Eliasson (1970) käyttivät RC-arvoa, ja heitä ennen sitä ovat käyttäneet mm. Emmert ja Howlett (1953), Wilner (1960), McGuire ja Flint (1962) vaurion suuruutta kuvaavana arvona.

23. Vaurion silmävarainen arviointi

Kaikista lannoituskäsittelyistä käytettiin yksi kerran vaurion silmävaraista arviointia varten, kuten myös Aronsson ja Eliasson (1970) tekivät. Verson loppuosaa, jota ei tarvittu RC-mittauksiin, säilytettiin vesiastiassa jääkaapissa (+5°C) 1–2 vk. Silmävaraisen arvioinnin vaurion suuruudesta suoritti hen-

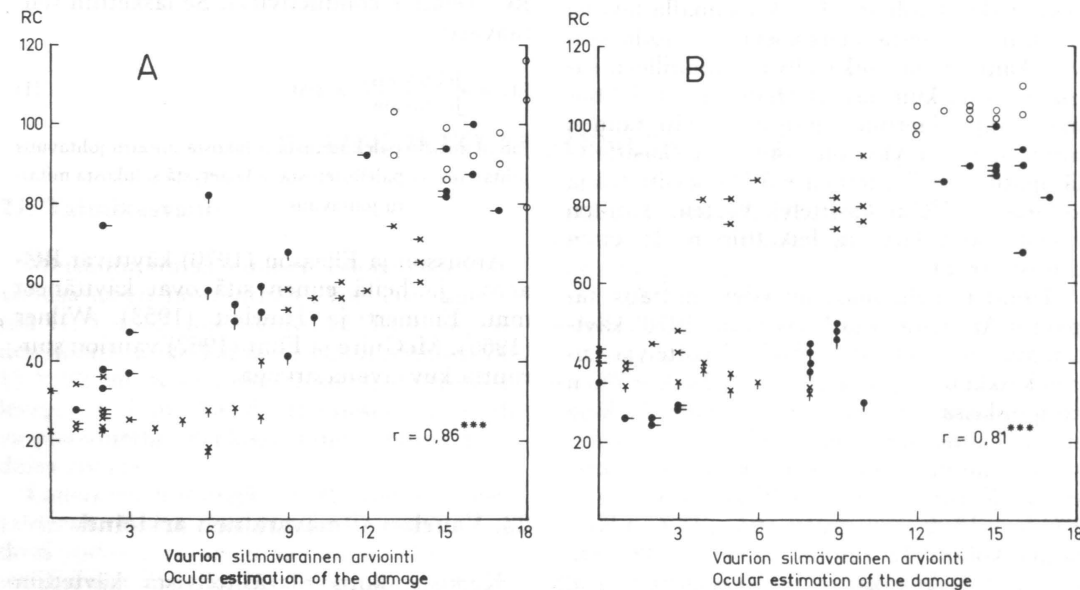
kilö, joka ei tiennyt, minkä lämpötilakäsittelyn (kontrolli, -5°C tai -15°C) ko. versot olivat saaneet. Jokaisesta lannoituskäsittelystä ja myös kantovesoista tarkastettiin kerralla neljä tyveä ja neljä latvaa, joista arvioitiin vaurio käyttäen seuraavia kriteerejä:

- 1) silmun sisustan tummuminen
- 2) silmun irtaantumisen helppous
- 3) nilan tummuminen
- 4) puun tummuminen
- 5) lehtien tummuminen
- 6) lehtien irtaantumisen helppous

3. TULOKSET

31. Vaurion silmävarainen arviointi sekä elektrolyyttien vapautuminen latvas- ja tyvestä

Vaurion silmävaraisen arvioinnin ja RC-arvojen väliset korrelaatiokertoimet olivat 0,86 (version latvaosa, riippuvuus lineaarista) ja 0,81 (version tyviosa, riippuvuus ei linea-



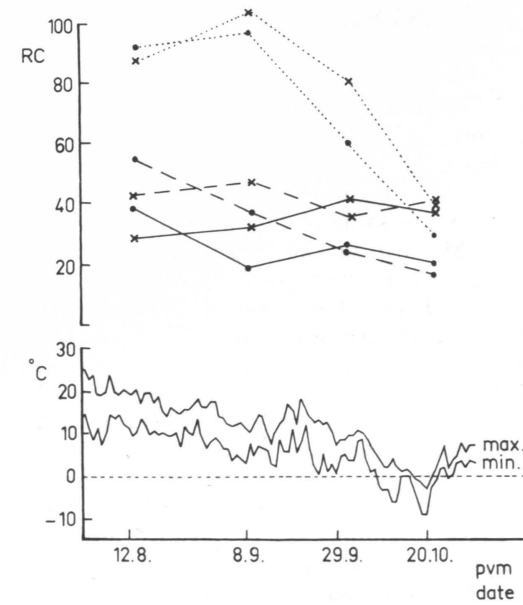
Kuva 2. Verson latvoista (A) ja tyvistä (B) eri ajankohtina mitattujen RC-arvojen ja vaurion silmävaraisen arvioinnin vertailu. Vaurion arviointi asteikolla 0–18, jossa 0 edustaa vaurioitumatonta ja 18 maksimivauriota. Symbolit: 12.8.: ● (+5 °C), ◐ (-5 °C), ◑ (-15 °C); 8.9.: ○ (-15 °C), ; 29.9.: × (+5 °C), × (-5 °C), × (-15 °C).

Figure 2 The comparison at different dates between RC-values of the tops (A) and the butts (B) of shoots and ocular inspection of the damage with a scale of 0–18, 0 representing undamaged and 18 maximum damage. Symbols: 12.8.: ● (+5 °C), ◐ (-5 °C), ◑ (-15 °C); 8.9.: ○ (-15 °C), ; 29.9.: × (+5 °C), × (-5 °C), × (-15 °C).

Jokaisen em. kriteeri arvioitiin asteikolla 0–3, joista 0 tarkoitti vaurioitumatonta ja 3 maksimivauriota. Jos summaksi saatiin 0, eivät versot olleet vaurioituneet lainkaan. Suurinta vauriota kuvasi summa 18. Silmävarainen arviointi suoritettiin 12. 8. ja 29. 9. nostetuille taimille sekä syyskuun 8. päivänä -15°C:ssa käsitellyille taimille. Lehdet olivat varisseet 20. 10. mennessä, joten viimeistä näytteenottokertaa ei voitu arvioida kaikilla kriteereillä, ja se jätettiin kokonaan pois silmävaraisesta arvioinnista.

rista). Elokuun 12. päivänä nostetut taimet jakautuivat vaurion suhteen koko RC-asteikolle. Noin kuukautta myöhemmin, 8.9., nostetuista taimista tarkastettiin vain -15 °C:ssa käsitellyt taimet. Ne olivat kaikki vaurioituneita. 29.9 taimet alkoivat jo osoittaa tietyntasteista karaistumista (kuva 2).

Verson tyviosasta saatiin suurempi RC-



Kuva 3. RC-arvojen ja päivittäisten minimi- ja maksimilämpötilojen muuttuminen syksyllä 1982 Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla. Symbolit: — = kontrolli, - - - = -5 °C, = -15 °C, x = tyvi ja ● = latva.

Figure 3. The changes in RC-values and daily minimum and maximum temperatures at the Forest Research Station of Suonenjoki in autumn 1982. Symbols: — = control, - - - = -5 °C, = -15 °C, x = butt and ● = top.

arvo kuin latvaosasta 12. päivänä elokuuta nostettuja taimia lukuun ottamatta (kuva 3). Tyvi- ja latvaosien RC-arvojen välillä oli erittäin merkitsevä tasoero (taulukko 1), mutta nämä korreloivat voimakkaasti ($r=0,94$).

32. Näytteenottoajan ja käsittelyjen vaikutus johtavuuteen

Syksy 1982 oli poikkeuksellisen lämmin Ensimmäiset yöpakkaset olivat vasta loka-kuun puolivälin paikkeilla (kuva 3). Lämpötila maanpinnassa laski 0 °C:n alapuolelle ensimmäisen kerran 6.10.

Eniten RC-arvoihin vaikutti käsittelylämpötila. Kontrollitaimista mitattu RC-arvo oli keskimäärin 25–35, -5 °C:ssa käsitellyistä keskimäärin 30–40 ja -15 °C:ssa käsitellyistä keskimäärin 70–80 (taulukko 1). Eri lämpötila-

Taulukko 1. RC-arvojen keskiarvot eri käsittelyissä neljänä näytteenottoajankohtana.

Table 1. Mean RC-values in different treatments on four sampling dates.

Näytteenottoajankohta Sampling-date	käsittelyt - treatments					
	kontrolli control		-5 °C		-15 °C	
	tyvi butt	latva top	tyvi butt	latva top	tyvi butt	latva top
	RC-arvot - RC-values					
12. 8.	29,0	38,5	42,6	55,0	87,8	91,9
8. 9.	32,2	18,6	48,0	37,1	103,6	96,6
29. 9.	41,7	26,2	36,0	24,7	80,9	60,1
20. 10.	36,7	20,1	40,4	17,3	38,9	30,1
\bar{x}	34,9	25,9	41,8	33,5	77,8	69,5

Varianssianalyysi (neliöjuurimuunnos):

Analysis of variance (squareroot-transformation):

Näytteenottoajankohta Sampling date	F = 106,6*** (df=3)
Käsittely Treatment	F = 453,1*** (df=1)
Verson osa (tyvi/latva) Part of the shoot (butt/top)	F = 93,8*** (df=1)

käsittelyn saaneiden taimien RC-arvot erosivat kaikkina näytteenottoajankohtina erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$) toisistaan lukuun ottamatta 20.10. Tällöin kontrollitaimien ja -5 °C:ssa palellutettujen taimien RC-arvojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

Ankarimman pakkaskäsittelyn saaneiden versojen RC-arvoissa oli kaikkien näytteenottoajankohtien välillä erittäin merkitsevä ero. RC-arvo oli 8. syyskuuta suurempi kuin 12. elokuuta. Myös -5 °C:ssa palellutettujen versojen RC-arvot erosivat eri ajankohtina merkitsevästi toisistaan, paitsi kahta viimeistä näytteenottoajankohtaa (29.9. ja 20.10.). Jopa kontrollitaimien välillä oli erittäin merkitsevä ero verrattaessa 8. ja 29. syyskuuta saatuja RC-arvoja. Muina näytteenottoajankohtina mitattujen kontrollitaimien RC-arvoissa ei ollut merkitseviä eroja. Eri lannoituskäsittelyistä tai kantovesoista saadut RC-arvot eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($F = 0,67$). Myöskään typpi-, kalium- ja fosforipitoisuuksien väliset suhteet eivät vaikuttaneet merkitsevästi RC-arvoihin.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Talveentumisasteen mittaaminen RC-arvojen avulla osoittautui tässäkin kokeessa hyväksi menetelmäksi tarkasteltaessa vaurion silmävaraisen arvioinnin ja mitattujen RC-arvojen välistä korrelaatiota. Aronsson ja Eliasson (1970) saivat omassa kokeessaan korrelaatiokertoimeksi 0,95. Johtavuusmittauksia talveentumiskokeissa ovat käyttäneet mm. Emmert ja Flint (1962), van den Driessche (1969), Aronsson ja Eliasson (1970) ja Aronsson (1975, 1980). Menetelmää pidetäänkin ehkä parhaimpana kylmänkestävyyden mittaamenetelmänä, mutta sen suorittaminen on hidasta ja työlästä.

RC-arvojen aleneminen syksyn kuluessa kuvasti hyvin taimien talveentumisen kehittymistä. Eri lämpötilakäsittelyn saaneet taimet erosivat RC-arvoltaan elokuussa hyvin toisistaan, samoin vielä syyskuun alussa, mutta syyskuun lopussa ja erityisesti loka-kuussa RC-arvot olivat jo hyvin lähellä toisiaan. Aiemmin muilla puulajeilla kehitetty RC-arvon mittaamenetelmä talveentumisen osoittamiseksi näytti antavan hyviä tuloksia myös rauduskoivulla. Verson tyviosasta saatiin 12,8. lukuunottamatta korkeampi RC-arvo kuin latvaosasta. Suhteellisen johtavuusarvon käytön pitäisi eliminoida palasten alkujaan erilaisista ionikonsentraatioista, vesipitoisuudesta, koosta yms. syistä johtuvat RC-arvojen erot (Aronsson ja Eliasson 1970). Ei kuitenkaan voida päätellä, että rauduskoivun taimien tyviosa olisi herkemmin paleltuva kuin latva, koska myös kontrollitaimien tyvestä saatiin keskimäärin suurempia RC-arvoja kuin latvasta. Tyviosasta tuli huomattavasti enemmän rikkoutunutta solukkoa ja puuta kuin latvasta, kun taas kuorta tyviosassa oli vähemmän. RC-arvon käyttö ei ilmeisesti poistanut em. tekijöiden aiheuttamaa vaihtelua. Versolaikkuja on havaittu esiintyvän sekä taimen tyvellä että ylempänä varressa (Petäistö 1983).

Olosuhteista johtuen taimia ei voitu käsitellä heti noston jälkeen, vaan vasta kahden vuorokauden kuluttua. Tämä viive on saattanut vaikuttaa jonkin verran tuloksiin. Taimet ovat saattaneet esimerkiksi hieman kuivahdattaa, vaikka ne olivatkin koko ajan muovipusseissa. Kaikki taimierät saivat aina samanlaisen käsittelyn. Muutaman kerran saatiin RC-

arvoksi yli 100. Luultavasti pakkaskäsittelyn johdosta oli jo vapautunut se elektrolyyttimäärä mikä verson palasista pystyi vapautumaan. Mitattavan nesteen lämpötilan vaihtelun vaikutus sähkönjohtavuuteen oli enintään 5 %. Mittarin tarkkuudeksi ilmoitettiin ± 3 % mitattavan nesteen lämpötilan pysyessä vakiona. Lisäksi havaittiin lievästi paleltuneiden versojen tyvessä nilan laikuttaista tummumista, jolloin mittauksiin tuleva osa on saattanut olla täysin vaurioitumattomalta alueelta. Latvasta mitatut RC-arvot olivat tällaisissa tapauksissa luotettavampia, koska niistä tuli johtavuusmittauksiin huomattavasti pitempi osa kuin tyvestä.

Tässä tutkimuksessa ei havaittu eroja eri lannoituskäsittelyn saaneiden taimierien kylmänkestävyyksissä. Aronsson (1980) tutki samalla menetelmällä männyn kylmänkestävyyden ja neulasten ravinnepitoisuuden välistä riippuvuutta. Hän havaitsi selvän korrelaation ainoastaan neulasten typpipitoisuuden ja kylmänkestävyyden välillä. Hänen kokeessaan neulasten typpipitoisuus vaihteli 1,5–3,0 % kuivapainosta, eli vaihtelu oli huomattavasti suurempaa kuin tässä kokeessa.

Hitaammalla jäähdytysnopeudella ja pienemmällä pakkaskäsittelyjen välisillä eroilla olisi mahdollisesti saatu eroja eri lannoituskäsittelyjen välille. Tutkittaessa talveentumisen kehittymistä syksyllä käytetään yleensä jäähdytysnopeutta 5 °C/h, jolloin vesi ehtii siirtyä soluista soluväleihin, eikä solun sisäistä jäätä pääse muodostumaan. Talvella kasvit kestävät rajumpia lämpötilan laskunopeuksia. Tässä kokeessa -15 °C:n pakkaskäsittely tuhosi solukot totaalisesti kahta viimeistä näytteenottokertaa lukuun ottamatta.

Tässä kokeessa ei taimitarhan taimien ja kantovesojen välillä ollut eroa kylmänkestävyydessä. Kantovesojen ravinnepitoisuutta ei kylläkään selvitetty. Lisäksi kantovesojen talveentuminen saattaa tapahtua eri tavalla kuin siementaimien talveentuminen, koska niiden kasvu tapahtuu eri tavoin. Kantovesat ovat aluksi hyvin reheväkasvuisia, ja liian myöhään kasvukaudella syntyneet vesat eivät ehdi talveentua, vaan ne paleltuvat syyshalioissa (Mikola 1942).

Koivun versolaikkuja aiheuttavat sienet ovat ilmeisesti haavapatogeenia, eli ne infek-

toivat koivun vain kuoressa olevan vioittuman tai luonnollisen aukon kautta (Kurkela 1974, Juutinen ym. 1976). Mahdollisesti myös solukon heikentyminen, esimerkiksi pakkasen aiheuttaman lievänkin vioituksen vuoksi, voi antaa sienille sisään pääsyteitä solukkuun. Wene ja Schoeneweiss (1980) osoittivat, että palellutuksen johdosta pihlajan versot altistuivat koroja aiheuttavan sien (*Botryosphaeria dothidea*) infektiolle, vaikka paleltumisvaurio oli niin lievä, että mikroskooppisessa tarkastuksessa ei havaittu solukon

tummumista. Taimien noston ajoitukseen pitäisi kiinnittää entistä enemmän huomiota, jotta taimien talveentuminen olisi riittävä ennen kylmävarastoon siirtämistä. Koivun versolaikkujen on havaittu lisääntyneen typpilannoituksen määrää kohotettaessa taimitarhalla (Petäistö, suull. tieto 1983). Kurkelan (1973) mukaan koivun versolaikkuja esiintyi eniten epätasapainoisen lannoituksen saaneissa taimissa sekä myös taimissa, jotka kärsivät jonkin pääravinteiden puutteesta.

KIRJALLISUUS

- Alden, J. & Hermann, R. 1971. Aspects of the cold-hardiness mechanism in plants. Bot. Rev. 37 (1): 37–142.
- 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.). Stud. For. Suec. 128: 1–2.
- 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus silvestris* L.) II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. Stud. For. Suec. 155: 1–27.
- Eliasson, L. 1970. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). I. Conditions for test on hardy plant tissues and for evaluation of injuries by conductivity measurements. Stud. For. Suec. 77: 1–30.
- Benzian, B., Brown, R. & Freeman, S. 1974. Effect of late-season topdressings of N (and K) applied to conifer transplants in the nursery on their survival and growth on British forest sites. Forestry 47(2): 157–184.
- Christersson, L. 1973. The effect of inorganic nutrients on water economy and hardiness of conifers. I. The effect of varying potassium, calcium, and magnesium levels on water content, transpiration rate, and the initial phase of development of frost hardiness of *Pinus silvestris* L. seedlings. Stud. For. Suec. 103: 1–26.
- Driessche, R. van den. 1969. Measurement of frost hardiness in two-year-old Douglas fir seedlings. Can. J. Plant. Sci. 49: 159–172.
- 1970. Measurement of frost-hardiness in Douglas fir at three nurseries by an electrical method. For. Chron. 46: 65–66.
- Emmert, F. & Howlett, T. 1953. Electrolytic determinations of the resistance of the fifty-five apple varieties to low temperatures. Proc. Amer. Soc. Amer. Soc. Hort. Sci. 62: 311–318.
- Hellergren, J. 1981. Frost hardiness development in *Pinus silvestris* seedlings in response to fertilization. Phytol. Plant. 52(2): 297–302.
- Juutinen, P., Kurkela, T. & Lilja, S. 1976. Ruohokaskas, *Cicadella viridis* (L.), lehtipuun taimien vioittajana sekä vioitusten sienisaastunta. Summary: *Cicadella viridis* (L.) as a wounding of hardwood saplings and infection of wounds by pathogenic fungi. Folia For. 284: 1–12.
- Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkauskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskokeentällä. Summary: On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. Folia For. 78: 1–25.
- Koski, V. & Selkäinaho, J. 1982. Experiments on the joint effect of heatsum and photoperiod on seedlings of *Betula pendula*. Seloste: Lämpösunnan ja päivänpituuden yhteisvaikutuksesta yksi- ja kaksivuotiaisiin rauduskoivun taimiin. Commun. Inst. For. Fenn. 105: 1–34.
- Kurkela, T. 1973. *Godronia multisporan* aiheuttama tauti raudus- ja hieskoivun taimissa eräissä metsänlannoituskokeissa turvemaalla. Suo 24(1): 8–15.
- 1974. *Godronia multispora* Groves (Helotiales) and its pathogenicity to *Betula verrucosa* Ehr. and *B. pubescens* Ehr. Karstenia 14: 33–45.
- Levitt, J. 1956. The Hardiness of Plants. Academic Press. New York. 278 s.
- 1980. Responses of plants to environmental stresses. I. Academic Press. New York. 497 s.
- McGuire, J. & Flint, H. 1962. Effects of temperature and light on frost hardiness of conifers. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 80: 630–635.
- Mikola, P. 1942. Koivun vesomisestä ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die Ausschlagsbildung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung. Acta For. Fenn. 50(3): 1–102.
- Petäistö, R.-L. 1983. Rauduskoivun taimien versolaikut taimitarhalla. Abstract. Stem spotting on birch (*Betula pendula*) in nurseries. Folia For. 544: 1–9.
- Pümpel, B., Göbl, F. & Tranquillini, W. 1975. Wachstum, Mykorrhiza und Frostresistenz von Fichtenzugpflanzen bei Düngung mit verschiedenen Stickstoffgaben. Eur. J. For. Path. 5: 83–97.
- Raulo, J. 1974. Rauduskoivun taimilajin IA + IA tuottaminen. Metsänviljelyn koekasman tiedonantoja 10: 1–10.
- Reinikainen, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area

for forest fertilization at Kivisuo. Proc. 5th Colloq. Int. Potash Inst.: 345-361. Jyväskylä 1967.

Sakai, A. 1967. Survival of plant tissue at super-low temperatures by rapid cooling and rewarming. Teoksessa: Asahina, E. (toim.) Cellular injury and resistance in freezing organisms. Int. Conf. Low Temp. Sci. II: 119-130. Conf. Cryobiology. Sapporo. Japan 1966.

— 1983. Comparative study on freezing resistance of conifers with special reference to cold adaptation and its evolutive aspects. Can. J. Bot. 61: 2323-2332.

Sarvas, R. 1972. Investigations on the annual cycle of development on forest trees. Active period. Tiivistelmä: Tutkimuksia metsäpuiden kehityksen vuotuisesta sykluksista. Aktiivi periodi. Commun. Inst. For. Fenn. 76(3): 1-110.

— 1974. Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Autumn dormancy and winter dormancy Tiivistelmä: Tutkimuksia metsäpuiden kehityksen vuotuisesta syklistä. Syys- ja talvihorros. Commun. Inst. For. Fenn. 84(1): 1-101.

Stern, K. & Roche, L. 1974. Genetics of forest ecosystems. Springer Verlag, Berlin. 330 s.

Timmis, R. & Worrall, J. 1975. Environmental control of cold acclimation in Douglas fir during germination, active growth and rest. Can. J. For. Res. 5: 464-477.

Tumanov, I., Kuzina, G., Karnikova, L. & Khvalin, N. 1972. Effect of vegetation time on ability of woody plants to increase their frost resistance during the process of hardening. Soviet Plant Physiol. 19: 31-39.

—, Kuzina, G. & Karnikova, L. 1973. The period of dormancy and ability of woody plants to be hardened by low temperatures. Soviet Plant Physiol. 20: 1-9.

Vaartaja, O. 1951. Päivän pituuden vaikutuksesta puiden kasvuun. Metsätal. Aikak. 1(4): 105-106.

Weiser, C. 1970. Cold resistance and injury in woody plants. Science 169: 1269-1278.

Wene, E. & Schoeneweiss, D. 1980. Localized freezing predisposition to *Botryosphaeria* canker in differentially frozen woody stems. Can. J. Bot. 58: 1455-1458.

Wilner, J. 1960. Relative and absolute electrolytic conductance tests for frost hardiness of apple varieties. Can. J. Plant Sci. 40(4): 630-637.

— 1961. Relationship between certain methods and procedures of testing for winter injury of outdoor exposed shoots and roots of apple trees. Can. J. Plant Sci. 41: 309-315.

Viro, P. 1966. Kangasmaan taimiston lannoitus. Summary: Manuring of young plantations. Commun. Inst. For. Fenn. 61(4): 1-30.

Total of 37 references

SUMMARY

RC-VALUE OF THE STEM TISSUE OF SILVER BIRCH AS AN INDICATOR OF COLD ACCLIMATION

The aim of this study was to examine the development of the cold acclimation of silver birch (*Betula pendula*) seedlings. The effect of fertilization was also studied. The seedlings were two-year-old. As a comparison stump sprouts from the near-by forest were used. The seedlings were treated in temperatures of +5°C (=control), -5°C and -15°C four times in autumn 1982. The damage was measured with conductivity measurements and with ocular inspection.

There were no significant differences in cold acclimation between different fertilization treatments or between the fertilized seedlings and stump sprouts. This may have been due to the rapid cooling rate (Figure 1).

The cold acclimation of the seedlings was registered well by the changes in the relative conductivity values. The differences between the relative conductivity values of different temperature treatments in August and the beginning of September were significant. However, in the end of September and especially in October the values no longer differed significantly (Figure 3). Correlation proved good between the relative electrical conductivity tests and the ocular inspections of the damages (Figure 2).

Liite 1. Koejärjestely ja lannoitemäärät

Appendix 1. The arrangement of experiment and the amounts of fertilizers

- ruudun vasemmassa yläkulmassa oleva numero ilmoittaa koejäsenen the number in the left corner of the plot indicates the treatment
- OS = Oulun salpietari NH_4NO_3 , CaCO_3 , MgCO_3 , $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- SF = Superfosfaatti - *superphosphate*
- KS = Kaliumsulfaatti - *potassiumsulphate*
- lannoitemäärät: g/ruutu/kerta
- The amounts of fertilizers: g/plot/one time

Kerranne Replicate

I

<u>2</u> OS - SF 82 KS -	<u>6</u> OS 63 SF 185 KS 63	<u>4</u> OS 63 SF 185 KS -	<u>5</u> OS 63 SF - KS 64	<u>7</u> OS 190 SF - KS -
<u>10</u> OS 190 SF 390 KS 146	<u>9</u> OS 190 SF - KS 146	<u>7</u> OS 190 SF - KS -	<u>1</u> OS - SF - KS -	<u>3</u> OS - SF - KS 23
<u>9</u> OS 190 SF - KS 146	<u>10</u> OS 190 SF 390 KS 146	<u>4</u> OS 63 SF 185 KS -	<u>2</u> OS - SF 82 KS -	<u>7</u> OS 190 SF - KS -
<u>1</u> OS - SF - KS -	<u>3</u> OS - SF - KS 23	<u>8</u> OS 190 SF 390 KS -	<u>6</u> OS 63 SF 185 KS 63	<u>5</u> OS 63 SF - KS 64
<u>6</u> OS 63 SF 185 KS 63	<u>7</u> OS 190 SF - KS -	<u>8</u> OS 190 SF 390 KS -	<u>3</u> OS - SF - KS 23	<u>4</u> OS 63 SF 185 KS -
<u>9</u> OS 190 SF - KS 146	<u>5</u> OS 63 SF - KS 64	<u>1</u> OS - SF - KS -	<u>10</u> OS 190 SF 390 KS 146	<u>2</u> OS - SF 82 KS -

III