

**SKOG  
FORSK**

Karl-Anders Högberg

1996-03-02

# **Fluorescensmätning och frysbehandling av barr från grankloner**

# Innehåll

Sammanfattning .....	1
Bakgrund .....	2
Material och metoder .....	3
Resultat.....	4
Diskussion .....	7
Slutsatser .....	9
Erkännande.....	9
Referenser .....	10
Personliga meddelanden.....	10

## Sammanfattning

Granens frosthårdighet är en viktig faktor att ta hänsyn till vid skogsodling. Risken för frostsador på späda årsskott under vår och försommar är välkänd, liksom sambandet mellan denna risk och tidpunkten för skottskjutning. Frostsaderisken under höst och vinter har visat sig besvärligare att fastställa. I praktiskt bruk har förekomsten av fri tillväxt använts som kriterium för hög frostsaderisk under hösten. Några pålitliga samband mellan detta kriterium och faktiska skador eller tillväxt har dock inte presenterats.

I denna studie testas en objektiv metod för att bestämma frosthårdighet. Metoden utnyttjar det faktum att fluorescensreaktionen hos klorofyllet beror av fotosyntesens funktion. Genom att mäta fluorescensvärde före och efter frysning erhålls ett mått på frosthårdigheten. En kraftig minskning av fluorescensvärdet innebär att fotosyntesmekanismen tagit skada av frysbehandlingen.

Barrprover från nio sticklingförökade grankloner utsattes för fluorescensmätning och frysbehandling från mitten av oktober 1994 till slutet av april 1995 med 2–3 veckors mellanrum. Under hela perioden registrerades temperaturen på försökslokalen. Vid varje provtagningstidpunkt frystes barren ned till  $-16^{\circ}\text{C}$ .

Mätningar under hösten gav tydliga utslag i form av skillnader mellan kloner i fluorescensreaktion före och efter frysning. Några entydiga samband med subjektiva mått från tidigare uppskattningar av hårdighet erhöles inte. Under vintern blev fluorescensreaktionen på frysbehandling måttlig, vilket kan ha berott på att temperaturvariationerna blev mycket små.

Vid den sista mätningen i slutet av april reagerade samtliga kloner kraftigt på frysbehandlingen.

På grund av försökslokalens milda läge kunde inte någon koppling till frostsador eller tillväxt hos materialet göras. Intressant är dock att samtliga kloner reagerade då vårvärmen satte in. Det förefaller som om fotosyntesmekanismen efter en värmeperiod på våren är känslig för frost oavsett klontillhörighet.

Metodens precision befanns vara god och en tillämpning i större skala borde vara möjlig från denna synpunkt. Dock återstår att bevisa om måttet verkligen beskriver frosthårdighet på ett adekvat sätt för ett plantmaterial. Årsmånen spelar sannolikt roll för metoden, vilket gör att tester av material under standardiserade odlingsförhållanden kan vara en intressant möjlighet, under förutsättning att fluorescensreaktionen ger ett korrekt mått på hårdigheten.

## Bakgrund

Frosthårdighet hos gran har alltid varit en viktig faktor att ta hänsyn till vid skogsodling, både vad gäller skogsskötselåtgärder och val av skogsodlingsmaterial. Den mest kända och dokumenterade aspekten på detta ämne är granens känslighet för frost under vårens och försommarens skottsträckning. Skottskjutningstidpunkten påverkar risken för frostsador högst påtagligt och det har visat sig att man genom att välja ett material som skjuter sent kan förbättra överlevelse och tillväxt väsentligt. Det är förhållandevis lätt att rangordna kloner vad gäller skottskjutningstidpunkt.

Betydligt svårare är att bestämma graden av invintring och därmed sammanhängande frosthårdighet. En praktiskt tillämpad metod för detta i klonskogsbruk med gran har varit att dela in klonerna i tre grupper, där grupp 1 innehåller kloner som sätter knopp och avslutar sin tillväxt tidigt, kloner i grupp 2 uppvisar proleptiska skott och grupp 3 består av kloner med sen tillväxtavslutning och oförvedade skott långt in på hösten, s.k. fri tillväxt. Denna klassning är emellertid grov och har hittills som regel inte gett några höga korrelationer med tillväxt i fältförsök (Karlsson, B. pers. meddel.). För sitkagran har Pollard & Logan (1976) på proveniensnivå erhållit positiva korrelationer mellan fri tillväxt och total tillväxt. Cannell & Johnstone (1978) fann det dock svårt att använda kriteriet i en serie försök på olika lokaler. Detta kan tolkas som att fri tillväxt på vissa lokaler ger en hög frostsadefrisk och således påverkar tillväxten negativt.

Andra sätt att mäta invintringens förlopp är t.ex. mätning av höjdtillväxtens hastighet i slutet av vegetationsperioden (Eriksson & Gagov, 1976) eller mätningar av lignifieringen av sommarveden (Dietrichson, 1964). Ingen av metoderna har dock fått genomslag i praktiska sammanhang.

För att bedöma materialets hårdighet kan också olika varianter av frystestmetodik användas. Dessa bygger på att materialet, eller prover från materialet, först exponeras för en kontrollerad nedfrysning, varefter eventuellt uppkomna skador bedöms. För skadebedömningen finns ett flertal tekniker tillgängliga. Om gröndelar (skott, barr, kvistar) utsatts för frysning kan frys-skadans omfattning kvantifieras med hjälp av klorofyll-fluorescens. Denna metod bygger på att en komponent hos den fluorescens som utsänds från de fotosyntetiskt aktiva pigmenten beror av fotosyntesens funktion. Skadas fotosyntessystemet (t.ex. vid frysning) kommer denna variabel (”levande”) fluorescenskomponent att minska. Pigmenten utsänder även en icke-variabel (”död”) fluorescens som ej beror på fotosyntesen. Då dessa båda fluorescenskomponenter enkelt går att separera kan en frysskada beskrivas som en kvot mellan ”levande” och total (”död” + ”levande”) fluorescens, vanligen benämnd  $F_v/F_m$ . Eftersom även naturliga betingelser, t.ex. höstfroster, påverkar denna kvot kan en bättre bild av materialets hårdningstillstånd erhållas, om kvoten mäts före och efter kontrollerad nedfrysning. Görs detta samtidigt med registrering av väderdata skapas även en bild av materialets klimatresponser (Westin m.fl., 1995).

Syftet med denna studie var att undersöka vilken precision metoden har vid jämförelse av ett antal grankloner och att jämföra erhållna värden med konstaterad tillväxt och tidigare uppskattning av invintring

## Material och metoder

Materialet utgjordes av ett fältförsök med gransticklingar på plantskolejord i Ekebo, Svalöv. Försöket planterades våren 1990. Sammanlagt ingick 18 kloner i försöket, varje klon upprepades sex gånger i ett randomiserat blockförsök med etträdsparcer. Klonerna befann sig i sin 4:e vegetativa cykel, med 3–4 års intervall mellan varje ny sticklingförökning. Moderplantorna såddes 1972 och sticklingförökades första gången 1976.

Information om klonernas fenologi har inhämtats vid flera tillfällen. Skottskjutningstidpunkt bedömd enligt Krutzsch (1975) gjordes våren 1978 (cykel 1) och våren 1989 (cykel 4) på 3-åriga sticklingplantor. Under åren 1991, -92 och -93 gjordes, för respektive klon, bestämningar av den temperatursumma som behövdes för att nå stadium 3 i Krutzsch's skala, det första stadium i skottutvecklingen där barren exponeras för frost. För dessa temperatursummebestämningar utnyttjades det ovan beskrivna fältförsöket. Skottskjutningsinformationen sammanvägdes till ett omdöme om varje klon i klasserna tidig, medel och sen.

Bedömning av invintring gjordes i två klasser, tidig och sen. Tidpunkten för denna bedömning var mitten av september 1978 (cykel 1) respektive 1981 (cykel 2). Som tidigt invintrande klassades de kloner som vid bedömnings-tillfället satt knopp och uppvisade ett förvedat toppskott. Som sent invintrande klassades kloner som ej avslutat sin tillväxt, utan hade proleptisk eller fri tillväxt och/eller uppvisade oförvedat toppskott.

Vid samplingen togs 10–15 barr, vilka lades i en återförslutningsbar plastpåse ("ziplock"). Vid varje provtagningstillfälle eftersträvades att ta barr med samma exponering, i det översta grenvarvet och på terminala årsskott. Efter avslutad provtagning togs plastpåsar in och sattes fast på ett ark av kartong. Varje ark kunde försees med maximalt åtta plastpåsar, vilka arrangerades helt slumpmässigt på respektive ark.

Efter iordningställande av arken, sattes dessa i en kylväska och ställdes sedan svalt och mörkt i 16 timmar för mörkeradaptation. Därefter togs proverna in i ett mörkt rum med grönligt ledljus. Arken togs fram, varefter fluorescensen mättes med Plant Stress Meter (BioMonitor S. C. I. AB, Umeå) enligt metodik beskriven av Öquist & Wass (1988). Kvoten mellan variabel och maximal fluorescens ( $F_v/F_m$ ) mättes och registrerades, varefter arken förslöts med ett omslag av polyetenplast och sänktes ned i ett frysbad.

I frysbadet utsattes barren för nedkylning i ett spritfyllt bad anslutet till en frysanläggning (Lauda RKP 20, Lauda Dr. R. Wobser GmbH, Lauda-Königshofen, Tyskland). Nedkylningen följde ett bestämt tidsprogram: starttemperatur +18°C, därefter temperatursänkning med 6,5°C/tim till +5°C,

varefter temperaturen sänktes med 5°C/tim ner till -16°C. Därefter togs plastförslutningen kring arken bort och arken sattes återigen i kylväskan. Efter acklimatisering i svalt utrymme i 16 timmar upprepades fluorescensmätningarna med registrering av  $F_v/F_m$ -kvoten efter frysning.

Under försöksperioden registrerades lufttemperaturen på 5 m höjd, ca 50 m från fältförsöket.

Fältförsöket reviderades hösten 1995, då uppnådd höjd 1995 och 1994 mättes. Ur dessa värden beräknades höjdtillväxten under 1995.

Parvisa jämförelser mellan  $F_v/F_m$ -värde före och efter frysning, för respektive tidpunkt och klon, gjordes med t-test.

En statistisk analys gjordes separat för varje tidpunkt med antagande av följande modell:

$$y_{ij} = \mu + b_i + c_j + e_{ij}$$

där:  $y_{ij}$  = observerat värde för klon  $j$  i block  $i$

$\mu$  = medelvärde

$b_i$  = fix effekt av block  $i$

$c_j$  = fix effekt av klon  $j$

$e_{ij}$  = slumpmässigt försöksfel ( $N, \sigma^2_e$ )

Förutom differensen mellan  $F_v/F_m$  före och efter frysning gjordes också variansanalys på höjd 94, höjd 95 och höjdtillväxt 95. Variansanalysen utfördes med hjälp av SAS proc GLM. Bestämning av signifikant skillnad mellan kloner gjordes med Tukey's test.

## Resultat

Figur 1 ger en grafisk illustration av hur utgångsvärde och värde efter frysbehandling förlöper under provtagningsperioden. Signifikanta skillnader i  $F_v/F_m$ -värde före och efter frysbehandling erhöles för samtliga kloner både 12/10 och 28/4. För klonerna 2365, 2750 och 3302 erhöles dessutom signifikanta skillnader 18/10, 4/11 och 17/11. Ytterligare en signifikant skillnad erhöles för klon 2750 den 22/12. Lägsta skillnad mellan  $F_v/F_m$ -värde före och efter frysning som gav signifikans var 0,099, medelvärdet för de signifikanta skillnaderna var 0,421. Motsvarande siffror för de icke-signifikanta var 0,276 respektive 0,063.

Av temperaturkurvan framgår att såväl höst som vinter inte bjudit på någon extrem väderlek. Utgångsvärdena före frysning visar en svag tendens till minskning från höst till vår, med undantag av sista mätningen 28/4. Klonerna har heller inte reagerat nämnvärt på frysbehandlingen under vintern. Undantaget är klon 2750 som förutom kraftiga minskningar av  $F_v/F_m$ -kvoten under hösten, även visade en sådan tendens under vintern, dock ej signifi-

kant. Vid sista mätningen reagerade alla kloner kraftigt på frysbehandlingen.

**Figur 1.**  
**Fv/Fm - värde före (■) och efter (▲) nedfrysning till -16°C under försöksperioden (12/10 1994 – 28/4 1995) för 9 grankloner. Datumkoden anges som dagnummer. Från och med 1/1 1995 anges datumkoden som 365 + dagnummer 1995. I det nedersta diagrammet till höger visas dygnsmedeltemperaturens förlopp under försöksperioden.**



Hypotesen att differensen mellan  $F_v/F_m$  före respektive efter frysning var lika för alla kloner förkastades vid tidpunkterna 12/10, 18/10, 4/11, 17/11, 22/12, 19/1 och 3/2 (tabell 1).

**Tabell 1.**

**Gruppering av kloner med avseende på differensen mellan  $F_v/F_m$  före och efter frysbehandling, för resp. provtagningstidpunkt. Samma bokstav för två kloner anger att ingen signifikant skillnad erhöles vid testning med Tukey's metod. Kloner med störst differens betecknas med a, o.s.v.**

Klon	Datum											
	10-12	10-18	11-04	11-17	12-02	12-22	01-19	02-08	03-02	03-16	04-06	04-28
1114	bc	bc	c	b	a	b	ab	a	ab	a	a	a
1130	bc	bc	bc	ab	a	b	ab	a	ab	a	a	a
1171	bc	c	bc	ab	a	b	b	a	ab	a	a	a
2020	a	bc	c	ab	a	b	ab	a	ab	a	a	a
2093	ab	bc	bc	ab	a	b	ab	a	ab	a	a	a
2365	abc	ab	b	a	a	b	ab	a	ab	a	a	a
2656	bc	bc	bc	ab	a	b	b	a	ab	a	a	a
2750	c	ab	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
3302	abc	a	b	ab	a	b	ab	a	b	a	a	a

Av testade kloner uppvisar klon 2750 störst avvikelse från övriga kloner under testperioden. Den skilde sig signifikant från de flesta andra klonerna vad gäller  $F_v/F_m$ -reaktion på frysbehandling vid flera tillfällen. Klonen klassades som en varken tidig eller sen skottskjutare på våren och som en tidig invintrare (tabell 2). För höjd 94 och höjd 95 hörde den till de sämsta även om den, i likhet med flertalet, inte skilde sig signifikant från mer än den allra bästa klonen (tabell 3). Klonens rang förbättrades när höjdtillväxten 95 användes som tillväxtmått, men i detta fall skilde den sig inte signifikant från någon annan klon.

**Tabell 2.**

**Fenologiska data för klonerna. Första kolumnen anger bedömd skottskjutningstidpunkt vid engångsuppskattning enligt Krutzsch's schema, andra kolumnen anger bedömd skottskjutningstidpunkten efter den temperatursumma som behövs för att nå stadium 3 i Krutzsch's schema. Tredje kolumnen anger bedömd invintring vid engångsuppskattning.**

Klon	SKO Krutzsch	SKO tempsum	INV
1114	sen	sen	tidig
1130	tidig	tidig	tidig
1171	tidig	tidig	sen
2020	sen	sen	sen
2093	tidig	tidig	sen
2365	medel	sen	sen
2656	tidig	tidig	sen
2750	medel	medel	tidig
3302	medel	medel	tidig

**Tabell 3.**

**Skattade klonmedelvärden för höjd 94 (H94), höjd 95 (H95) och höjdtillväxt 95 (TV), skilda bokstäver efter medelvärdet anger signifikans på 5 %-nivån med Tukey's test.**

Klon	H94	H95	TV
1114	151,8abc	196,0bc	44,2bc
1130	175,5ab	236,0ab	60,5ab
1171	145,8bc	195,8bc	50,0bc
2020	151,0abc	199,3bc	48,3bc
2093	185,8a	255,3a	69,5a
2365	165,7ab	221,0ab	55,3abc
2656	148,7abc	197,2bc	48,5bc

2750	139,2bc	192,3bc	53,2abc
3302	126,8c	168,8c	42,0c

Förutom klon 2750 behövde också klonerna 2365 och 3302 en längre tid innan frosthärdighet till  $-16^{\circ}\text{C}$  uppnåddes. Dessa var båda medelmåttiga till sena i skottskjutningstidpunkt, medan 2365 klassats som en sen invintrare och 3302 som en tidig. Den bäst växande klonen, 2093, var en tidig skottskjutare och en sen invintrare.

## Diskussion

Precisionen vid tillämpning av metoden möjliggjorde, med 6 observationer per klon och 5 % felrisk, fastställande av signifikanta skillnader i  $F_v/F_m$ -differens före och efter frysning på 0,1–0,3. En sannolik uppskattning av den genomsnittliga  $F_v/F_m$ -differens där signifikans erhålls torde vara ca 0,2. Avgörande för lämplig sampelstorlek blir vilken  $F_v/F_m$ -differens som är kritisk i biologiska termer och gör en klassning av kloner möjlig. Vad gäller den valda testtemperaturen,  $-16^{\circ}\text{C}$ , kan sägas att den är relativt hård för den plats där försöket är beläget. Vintern 1994/95 hade mycket små temperaturfluktuationer och borde därför inte ha påverkat materialet i någon större omfattning. De små minskningarna av utgångsvärdet för  $F_v/F_m$  tyder på att detta varit en vinter utan stora påfrestningar. Rent allmänt kan dock sägas att temperaturer ner till  $-16^{\circ}\text{C}$  sällan uppträder under vintrarna på försökslokalen, och särskilt inte under höst och vår. Det är fullt möjligt att andra testtemperaturer varit lämpligare, men med begränsade resurser blev valet av en enda procedur nödvändig.

Eftersom differensen i  $F_v/F_m$  före och efter frysbehandling i princip är ett indirekt skademått, finns en osäkerhet om dessa mätvärden också kan tolkas som indikatorer för frostskaferisk och därmed följande tillväxtminskning. Lindgren & Hällgren (1993) har emellertid påvisat god överensstämmelse mellan visuell och fluorescensbaserad skadebedömning.

Det går inte att ur denna studie dra generella slutsatser om den använda metodens tillämplighet. Flera faktorer medverkar till detta. Fenologin ändras med åldern (Ununger m.fl., 1988) så att vegetationsperioden minskas, d.v.s. skottskjutningen sker senare och invintring tidigare när trädet åldrats. T.ex. är fri tillväxt sällsynt hos granar äldre än 10 år. Genom vissa åtgärder, häckning eller seriell förökning kan emellertid åldrandeffekterna motverkas. Man talar i stället om ontogenetisk ålder (Fortanier & Jonker, 1976), en beteckning för den fas trädet befinner sig i, utan hänsyn till den kronologiska åldern. Eftersom materialet i denna studie utgörs av seriellt förökade sticklingar är den ontogenetiska åldern svårbestämd. Sannolikt har dock materialet nått en ontogenetisk ålder där vegetationsperioden minskat jämfört med bestämningar på 3-åriga plantor i tidigare skeden. De tidiga bestämningarna av invintring kan alltså vara missvisande på det material som testats i denna studie.

Försökslokalens klimatförhållanden påverkar också resultatens tolkning. Westin m.fl. (1995) gjorde tolkningen att bättre härdighet gav ökad tillväxt. Emellertid var detta material kraftigt tillväxtselekerat och lokalen förhållandevis frostlänt, vilket gör det logiskt att anta att härdighetsegenskaperna kommit till uttryck i tillväxt. Försöket i den här studien anlades på plantskolejord i ett skyddat läge och i ett område där svåra froster är ovanliga. Som en följd av detta borde kraftiga reaktioner på frysbehandlingen inte avspeglas i tillväxtförluster, och så har heller inte skett. I linje med detta kan inte heller någon säker koppling till de tidiga fenologiska bedömningarna göras.

Om förmågan att reparera klimatskador varierar mellan kloner blir det svårt att tolka metoden, så som den tillämpats här. Welander, m.fl. (1994) föreslog att just tiden som åtgår för reparation efter en frost borde korrelera bättre med långsiktig tillväxt än skadenivån.

Utgående från att metoden verkligen visar risken för att enskilda kloner drabbas av frostsador och tillväxtförluster kan ändå vissa reflektioner göras. Till exempel var den enda klonen som reagerat påtagligt under hela testperioden, klon 2750, bland de sämsta tillväxtmässigt. Detta skulle kunna tyda på att den drabbats av frostproblem under årens lopp, och att fluorescensmetoden detekterat detta. Emellertid klassades klonen vid en tidigare mätning som en medeltidigt skjutande och en tidigt invintrande. Detta indikerar i sig att den borde ha en måttlig tillväxt jämfört med de andra, beroende på en relativt sett kortare tillväxtperiod. Vilket som är den riktiga förklaringen, eller om båda är giltiga, går inte att bevisa med hjälp av denna studie. Det är i all fall anmärkningsvärt att en klon som klassats som tidigt invintrande, d.v.s saknat prolepsis eller fri tillväxt vid bestämningar på ontogenetiskt ungt material, varit den som reagerat starkast på frysbehandlingen.

Av de två övriga kloner som visat hög frostkänslighet under hösten hade den ena tidigare klassats som en tidig och den andra som en sen invintrare. Tillväxten har varit högre för den sena invintraren jämfört med den tidiga. Detta stärker slutsatsen att den okulära klassningen av invintring inte har överensstämmt med fluorrescensmätningar fenologisk klassning och tillväxt. De ringa frostproblemen på försökslokalen kan dock spela en avgörande roll i detta sammanhang.

En annan iakttagelse är att en värmeperiod på våren leder till kraftig reaktion efter frysbehandling oavsett klon, till skillnad från skottskjutning som i stor utsträckning är klonbetingad. Huruvida detta också gäller om en värmeperiod inträffar under vintern är okänt, men frågeställningen är onekligen intressant. Tyvärr var vintern mycket beskedlig under testperioden och innehöll varken värmeperioder eller perioder med stark kyla. Detta gör det svårt att ur det befintliga materialet dra några slutsatser om eventuella klonskillnader i härdighetsstabilitet under vintern.

Problemet med årsmånen framgår tydligt av utfallet i denna studie. För att få mer utslagsgivande tester, fortfarande förutsatt att metoden ger relevanta

värden, blir man troligen hänvisad till att odla testmaterialet under kontrollerade upprepbara betingelser. Genom standardiserade odlingsprogram med önskade ljus- och temperaturförlopp borde skillnader mellan kloner visa sig tydligare.

## **Slutsatser**

Genom studien har följande slutsatser kunnat dras:

- Den i studien använda metodiken är enkel och ger en god precision.
- Metodiken ger en god bild av studerade kloners härdighetsmönster och klimatresponser.
- Betydelsen av detta för långsiktig tillväxt och överlevelse på olika lokaler återstår att utreda.

## **Erkännande**

Denna studie har finansierats av Skogs- och Jordbrukets Forskningsråd.

## Referenser

- Cannell, M. G. R. & Johnstone, R. C. 1978. Free or lammas growth and progeny performance in *Picea sitchensis*. *Silvae Genetica* 27, 248–254.
- Dietrichson, J. 1964. The selection problem and growth rhythm. *Silvae Genetica* 13, 165–192.
- Eriksson, G. & Gagov V. 1976. Growth differences within full-sib families of *Picea abies* (L.) Karst. *Stud. For. Suec.* 130, 25 s.
- Fortanier, E. J. & Jonkers, H. 1976. Juvenility and maturity of plants as influenced by their ontogenetical and physiological ageing. *Acta Hort.* 56, 37–41.
- Krutzsch, P. 1975. Die Pflanzschulenergebnisse eines inventierenden Fichtenherkunftversuches. (Institutionen för skogsgenetik, Skogshögskolan, Rapporter och uppsatser 14), 64 s. Stockholm.
- Lindgren, K. & Hällgren, J.-E. 1993. Cold acclimation of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* assessed by chlorophyll fluorescence. *Tree Physiol.* 13, 97–106.
- 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*. I: Cannell, M. G. R. & Last, F. T. (red.) *Tree physiology and yield improvement*, 245–259. London, Academic Press.
- Ununger, J., Ekberg, I. & Kang, H. 1988. Genetic control and age-related changes of juvenile growth characters in *Picea abies*. *Scand. J. For. Res.* 3, 55–66.
- Welander, N. T., Gemmel, P., Hellgren, O. & Ottosson, B. 1994. The consequences of freezing temperatures followed by high irradiance on in vivo chlorophyll fluorescence and growth in *Picea abies*. *Physiol. Plant.* 91, 121–127.
- Westin, J., Sundblad, L.-G. & Hällgren J.-E. 1995. Seasonal variation in photochemical activity and hardiness in clones of Norway spruce (*Picea abies*). *Tree Physiol.* 15, 685–689.
- Öquist, G. & Wass, R. 1988. A portable microprocessor-operated instrument for measuring chlorophyll fluorescence kinetics in stress physiology. *Physiol. Plant.* 73, 211–217.

## Personliga meddelanden

Karlsson, Bo. SkogForsk.