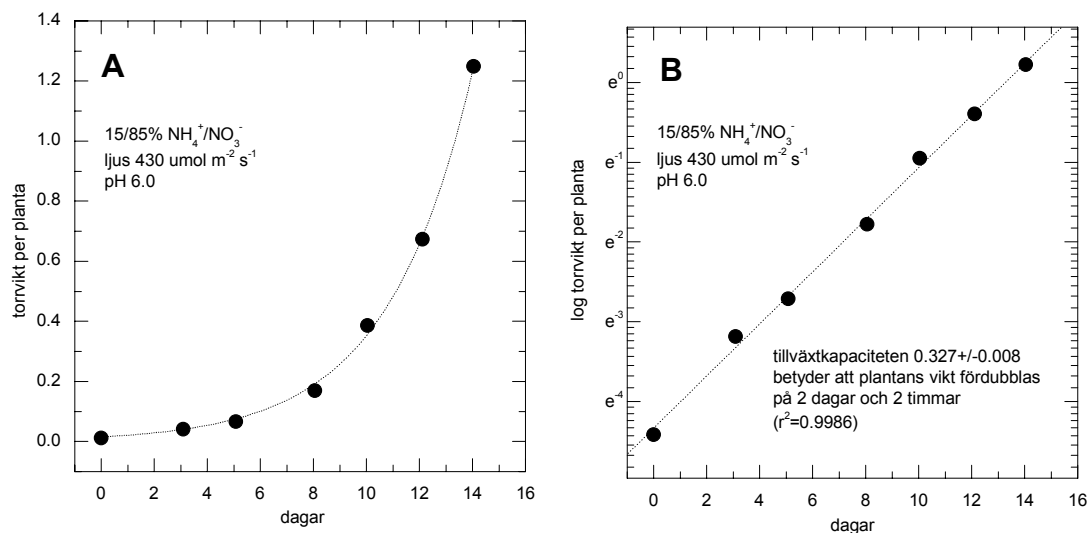


5.1 Sammanfattning och kommentarer till kontrollerade experiment på sockerbetans näringsbehov vid initial tillväxt

Olof Hellgren och Hans Larsson, SLU

Målet som har satts upp är att fastslå förhållanden för den initiala tillväxten så att optimal tillväxt uppnås, dvs så snabb ökning av plantans biomassa som möjligt. Förutsättningarna för optimal ökning av biomassan är att biomassans beståndsdelar av ämnen tas upp så snabbt som möjligt. Eftersom biomassan består av ämnen (N, K, P etc.) i olika proportioner, gäller det att dessa kan tas upp i proportioner som motsvarar ämnenas proportioner i biomassan och som medför så snabb ökning av biomassan som möjligt. Underskott av något ämne i förhållande till andra ämnen och i förhållande till växtens förmåga att ta upp ämnena medför en begränsning som bromsar ökningen av biomassan efter den svagaste länken. Om ämnena kan tillföras så att en optimal ökning av biomassan uppnås, innebär detta att ämnena tas upp av växten i optimala proportioner - per definition. För att en optimal tillförsel skall vara möjlig att fastslå, måste växtens egenskaper att tillgodogöra sig näringsämnen klargöras. Detta kräver att ett antal metodologiska förutsättningar måste kunna uppfyllas. Växtens tillväxthastighet och fysiologiska tillstånd måste kunna verifieras (Ingestad et al., 1994a). Tillförsel och upptagning av näringsämnen måste kunna kontrolleras (Ingestad & Lund, 1986) och övriga omgivningsfaktorer måste tillfredsställande också kunna kontrolleras.

Med den metod som använts, och som utvecklats av professor Torsten Ingestad (Ingestad & Lund, 1986), kan genom kontrollerad tillförsel av näringsämnen växtens tillväxthastighet hållas stabil tillräckligt länge för att verifieras. Verifieringen utförs med hjälp av regressionsanalys, dvs rent matematiskt (figur 1). Eftersom metoden medger både hög kontroll av näringstillförsel och noggrann bestämning av tillväxthastigheten, kan varje åtgärd som syftar till att optimera tillväxthastigheten verifieras. Optimeringen strävar mot att minska inverkan av begränsande förhållanden, exempelvis näringsproportioner samt begränsningar från andra omgivningsfaktorer, vilket medför krav på ökad tillväxthastighet, dvs reducerad begränsning, som resultat av en optimering.



Figur 1. Figur 1 A visar plantornas torrvikt vid de olika skördarna under odlingsperioden. Figur 1 B visar tillväxtkapaciteten över odlingsperioden, som g producerad biomassa per g befintlig biomassa per dag.

I denna undersökning har förhållanden fastställts som resulterat i en högsta tillväxthastighet av 0.5 g biomassa per g och dag, dvs plantans biomassa kan fördubblas på 1 dag och 9 timmar. De näringsproportioner, som använts för att uppnå denna tillväxthastighet har optimerats fram genom dels successiv justering av näringsproportionerna, dels optimering av andra omgivningsfaktorer. Inom ramen för denna undersökning har vi bedömt framtagna näringsproportioner som mycket nära växtens absoluta krav på optimala näringsproportioner. Dock måste påpekas att åtskilligt arbete återstår för att klarlägga växtens möjligheter att utnyttja egenskaperna under olika omgivningsförhållanden och det finns givetvis ytterligare utrymme för att förfina klarläggandet av växtens krav på näringsproportioner.

Kravet på proportioner är fastställt för den initiala tillväxten, men kan för den efterföljande utvecklingen hos plantan både vara föränderligt över tid, dvs olika för olika utvecklingsstadier, och ändra sig beroende på olika kombinationer av omgivningsförhållanden, som ex. vattentillgång, ljusstilgång etc. Resultaten är därför ingalunda fullständiga utan snarare att betrakta som en utgångspunkt för att påbörja intressanta studier över sockerbetsplantans genetiska egenskaper och hur växten utnyttjar dessa under olika klimat- och markförhållanden. De nuvarande kunskaperna är alltså att betrakta som en god grund att stå på för en mer detaljerad och praktiskt inriktad fortsättning.

Det är viktigt att veta att de egenskaper, som gäller olika gröders krav på näringsproportioner inte finns fastställda tidigare, trots att denna kunskap är förutsättningen för klarläggande om begränsande faktorer inverkan på tillväxt och utveckling hos olika grödor. Att detta är en förutsättning beror givetvis på att CO₂ och näringsämnen samt vatten är en förutsättning för produktion av biomassa. Upptagning och omvandling av CO₂ och näringsämnen är beroende av två omständigheter; att näringsämnen finns tillgängliga och att övriga omgivningsfaktorer medger upptagning och omvandling. Detta betyder att om inte näringsämnen finns tillgängliga för upptagning hjälper det inte att övriga omgivningsfaktorer är fördelaktiga för upptagning och omvandling.

För att kunna fastställa sockerbetsplantans krav på optimala näringsproportioner, har omfattande arbeten gjorts på omgivningsfaktorer inverkan på tillväxten. När det gäller studierna av olika omgivningsförhållandens inverkan på tillväxten har arbetena genomförts dels med syfte att underlätta möjligheterna att justera fram optimala näringsproportioner, dels för att verifiera den optimala näringslösningen. Den första typen av försök kallas förberedande experiment. Exempelvis har 24 timmars dag inte visat sig hämma tillväxten, dvs ge sämre tillväxt än kortare dagslängd. Ljusintensiteter kring 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ har varit optimala medan exempelvis 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ givit 50 % lägre tillväxthastighet (kapitel 5.2).

Näringsämnena har tillförts växterna genom att kontinuerligt sprayas på rötterna. Genom att växten kontinuerligt tar upp näringsämnen, krävs inga momentant höga eller stabila halter av näringsämnen i den lösning som sprayas på rötterna. Tvärtom hämmar höga koncentrationer på näringslösningar tillväxten (kapitel 5.2). Av mycket stor vikt för upptagningen av näringsämnen är pH i den näringslösning som sprayas på rötterna. Det tycks också vara av stor vikt att pH är stabilt i rötternas närmaste omgivning. För att klarlägga effekten av stabiliteten i pH krävs dock mer omfattande forskningsarbeten än vad som ryms inom detta projekt. Stabila värden mellan 5.4 och 6.0 visade sig ge högst tillväxthastighet (kapitel 5.2). Detta pH motsvarar ett pH på rotytan, dvs i rhizosfären, och kan inte direkt översättas till det pH som mäts i jorden. I praktiska sammanhang anges 6.5 som ett minsta pH-värde. Värden under detta är kända för att ge tillväxtbegränsningar. I våra experiment har noterats att växterna kontinuer-

ligt orsakat en pH-sänkning, vilket resulterat i så låga pH att tillväxten hämmats mycket kraftigt. För att hålla ett stabilt pH, dvs 5.4 eller 6.0, har i experimenten krävts kontinuerlig justering av pH med hjälp av hydroxidtitrering. Oftast har en försurning av växtens omgivning satts i samband med obalanserad eller otillräcklig näringstillgång. Om detta är fallet även i våra försök skulle det innebära att ytterligare justeringar mot optimala näringsproportioner kan göras, och att alltså vi ännu inte fastställt helt optimala näringsproportioner. Dock innebär det då att den tillväxthastighet på 0.5 g biomassa per g och dag är begränsad och att den maximala tillväxthastigheten är högre. (En tillväxthastighet av 0.5 g per g per dag innebär att biomassan kan fördubblas på mindre än en och en halv dag). Den titrering vi genomför för att åstadkomma ett stabilt pH i näringslösningen kan tänkas motsvara den buffrande förmåga marken måste ha för att inte växterna ska sänka pH i sin rotmiljö till tillväxtbegränsande nivåer.

I de näringslösningar som använts har en blandning av 15 % ammonium och 85 % nitrat som kvävekälla gett högre tillväxthastighet än både 100 % nitrat och lösningar med högre andelar ammonium än 15 % (kapitel 5.2). Om en liten andel ammonium skulle ha sådan inverkan på skadegörare så att detta gynnar tillväxten går givetvis inte att uttala sig om inom ramen för detta projekt.

När det gäller omgivningsfaktorer har temperaturfaktorn studerats lite mer omfattande än andra klimatfaktorer. Högst tillväxthastighet uppnåddes vid en lufttemperatur på 24°C (kapitel 5.3). Den lägsta temperatur som gav en mätbar, stabil tillväxt var 10°C. Förutom att effekterna av stabila temperaturer studerades, studerades även sockerbetsplantans acklimatiseringsförmåga. Det visade sig att en höjning av lufttemperaturen, för växter som i 4 veckor stått utan tillväxt i 6°C, inom två dagar startade en tillväxt som nästan direkt uppgick till 0.3 g per g per dag i 18°C, dvs samma tillväxthastighet som sockerbetsplantor har i kontinuerligt 18°C. Experiment med mer komplexa temperaturförändringar över flera dygn visade att sockerbetsplantans egenskaper att hantera temperaturen är komplex när det gäller respons på temperatur som funktion av tid och amplitud.

Eftersom fröstorleken varierar relativt mycket gjordes experiment där fröerna indelades efter 4 olika storlekar (kapitel 5.5). Någon avgörande skillnad kunde dock inte registreras.

Olika sorter odlades också för att kartlägga eventuella skillnader. Indikationer på skillnader fanns (kapitel 5.6). Dock kunde inom projektets ram inga studier göras i den omfattning som skulle krävas för att säkerställa skillnaderna.

Eftersom näringslösning sprayades kontinuerligt på växternas rötter betraktade vi vattentillförseln som optimal och några studier av vattenfaktorn som begränsande för näringsupptagning och tillväxt gjordes inte, trots att vattenfaktorn förmodligen har en avgörande betydelse för tillväxt och utveckling. För att ändå få en uppfattning om vattenupptagning och transpiration (transpiration = vattenupptagning) genomfördes två enkla typer av försök. Ett försök genomfördes i kyvett där CO₂ och näringstillförsel kunde kontrolleras samtidigt som transpirationen registrerades (Ingestad et al. 1996). Ett annat försök genomfördes i en plastbehållare med sand. I denna tillfördes optimerad näringslösning och vattentillförsel skedde genom vägning av systemet, så att åtgång och tillförsel av vatten kunde registreras.

Som en förutsättning för optimal upptagning av näring förutsattes att rotsystemet ska vara intakt. Därför studerade vi effekterna av hur mycket upptagningen av näring och tillväxten hämmades av att rötterna angripits av skadegörare; i detta fallet hoppstjärtar (kapitel 5.4). Vi

försökte också kartlägga sockerbetplantans förmåga att generera nya rötter genom att klippa av rötter och registrera effekterna av detta på tillväxt och utveckling (kapitel 5.4). Tillväxten fördröjdes som väntat, men samma tillväxthastighet som för växter med oklippta rötter uppnåddes efter endast några dagar. Inga bestående tillväxtbegränsningar kunde alltså registreras. Detta gällde också växter som under groningen skadats av hoppstjärtar.

Efter det att optimala näringsproportioner fastställts, testades tillförsel av näringslösning baserad på dessa proportioner i matjord som tagits från gårdar som ingick i projektet 4T. Alla matjordsprover frysbehandlades genom växelvis frysning och upptining, varefter den finfördelades. Respektive matjordsprov placerades i en odlingsbehållare, med perlite i botten och någon cm sand överst. Perliten placerades i botten som dränering av eventuellt överskottsvatten och sanden överst användes för att skapa ungefär samma evaporationsförhållanden i varje försöksled oberoende av varierande matjordsegenskaper. Försöket bestod av fyra behandlingar:

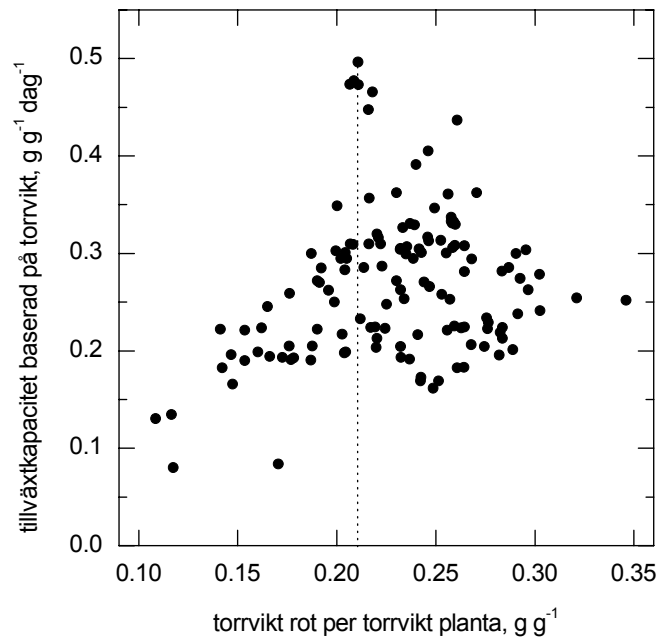
1. obehandlad jord
2. värmebehandlad jord (s.k. steriliserad jord)
3. jord med näringstillskott (optimerad näringslösning)
4. värmebehandlad jord med näringstillskott (kapitel 5.7).

Sämst tillväxt fick vi i obehandlad jord och bäst i värmebehandlad jord med näringstillskott. Ingen systematisk skillnad mellan olika gårdar kunde noteras. Det kan tolkas så att ingen skillnad mellan olika jordars produktionsförmåga fanns bedömt ur förmågan att ge initial tillväxt.

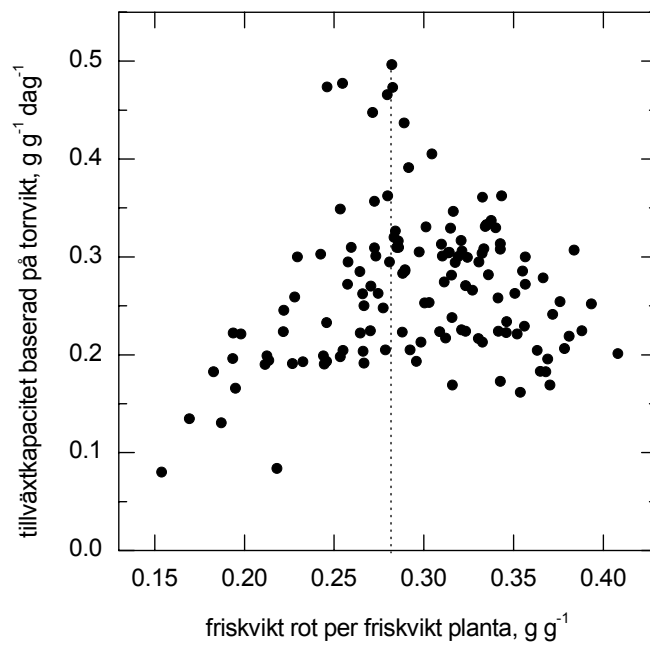
Försök i jordprover från de olika gårdarna i 4T-projektet har också gjorts med olika typer av näringsammansättningar (kapitel 5.8). Optimal näringslösning samt ProBetaNPK som granulerad och som malda granulat tillsattes. För att jämföra de olika näringsammansättningarna har mängden näring baserats på lika mängd kväve per jordprov. Optimal näringslösning gav bäst resultat, medan ProBetaNPK gav samma resultat oberoende av om granulaten var malda eller ej.

Ett försök med jordprover från 4T-gårdarna gjordes också där effekterna av halm, kompost och optimal näringslösning studerades (kapitel 5.9). Behandlingarna med kompost gav bäst resultat.

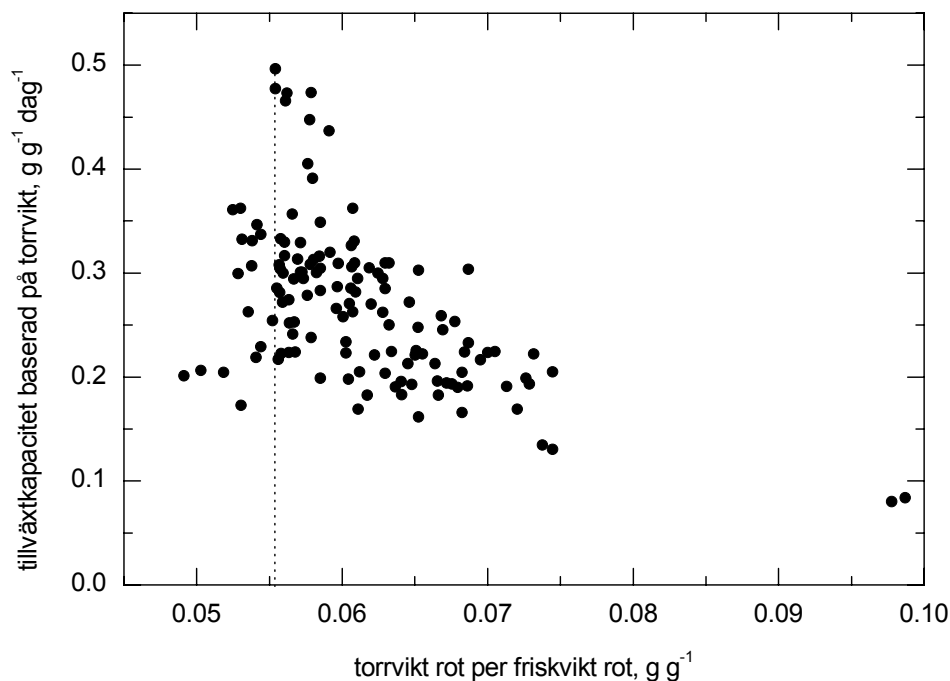
Fältförsök har genomförts i Danisco Sugars och SBU's regi. Samtidigt med sådd har olika mängder och koncentrationer av optimal näringslösning tillförts samtidigt med sådd. I de sex utförda försöken hade näringslösningen ingen merskörd i tre försök med sockerskördar över 10 ton/ha medan den optimala näringslösningen i tre försök med en medelskörd på 8,4 ton socker/ha gav 8 % i merskörd. Påpekas bör att den näringslösning som använts i fält är samma som använts i att spraya direkt på växternas rötter, dvs hänsyn har inte tagits till jonernas förhållande till markkolloider.



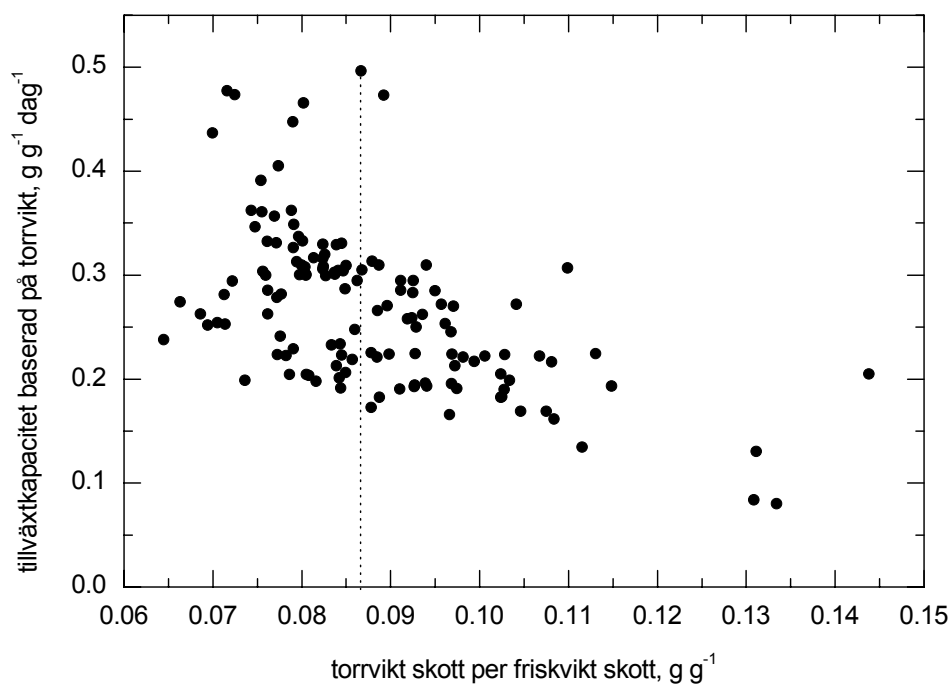
Figur 2. Tillväxtkapaciteten som funktion av andel rot per planta baserad på torrvt.



Figur 3. Tillväxtkapaciteten som funktion av andel rot per planta baserad på friskvikt.



Figur 4. Tillväxtkapaciteten som funktion av kvoten torrvikt till friskvikt för rötterna.



Figur 5. Tillväxtkapaciteten som funktion av kvoten torrvikt till friskvikt för skottet.

I en sammanställning över sambandet mellan tillväxtkapacitet och ett antal tillståndsvariabler för växterna kan man tolka resultaten så att det finns optimala tillstånd (i figurerna 2, 3, 4 och 5 är dessa utmärkta med en streckad lodrät linje). I figurerna indikeras att för att optimera tillväxtkapaciteten måste andelen torrvikt rot vara ca 21 % av den totala plantans torrvikt,

respektive ca 28 % vad gäller friskvikt (figur 2 och 3). Detta skulle betyda att när andelen rot antingen minskar eller ökar från det optimala tillståndet minskar växtens tillväxtkapacitet. För andelen torrsvikt till friskvikt indikerar resultaten ett optimalt tillstånd vid 5.5 % torrsvikt i rötterna respektive 8.7 % för skottet (figur 4 och 5). För roten ser sambandet klarare ut än för skottet. Ju högre andel torrsvikt ju lägre tillväxtkapacitet. Eftersom sambanden mellan tillväxtkapacitet och tillstånd inte är enkla samband, ex. linjära, betyder detta att flera begränsande faktorer kan avgöra tillståndet.

Referenser

- Ingestad, T., Lund, A-B. 1986. Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants. *Scand. J. For. Res.* 1; 439-453.
- Ingestad, T., Hellgren, O., Lund Ingestad, A-B. 1994a. Data base for tomato plants at steady-state. Methods and performance of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Solentos) under non-limiting conditions and under limitation by nitrogen and light. Department of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences. Report No. 74, ISSN 0348-422x. ISRN SLU-EKOMIL-R-74--SE. The data base is available through anonymous ftp: ftp.sunet.se in the directory \pub\science\Plant_ecophysiology\Growth_analysis.
- Ingestad, T., Hellgren, O., Lund Ingestad, A-B. 1994b. Data base for birch plants at steady-state. Performance of birch plants (*Betula pendula* Roth.) under non-limiting conditions and under limitation by nitrogen and light. Department of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences. Report No. 75, ISSN 0348-422x. ISRN SLU-EKOMIL-R-75--SE. (The data base is available through anonymous ftp, see Ingestad et al. 1994a).
- Ingestad, T., Hellgren, O., Hesseldahl, H., Lund Ingestad, A-B. 1996. Methods and applications to control the uptake rate of carbon. *Physiologia Plantarum* 98; 667-676.