

Fotosyntese i Agurk under væksthushold

Af Konsulent Jakob Skov Pedersen, AgroTech A/S
i samarbejde med Inge Ulsted, Grotek Consulting ApS
for Agurkkubben

Projektet er medfinansieret af Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri



AgroTech A/S
Institut for Jordbrugs- og FødevarerInnovation

Højbakke gård Allé 21 . 2630 Taastrup
Tlf. 8743 8400 . Fax 3644 0533
www.agrotech.dk . info@agrotech.dk

RESUMÉ

Denne rapport indeholder fotosyntesemålinger for Agurk udført for Agurkklubben hos Gartneriet Søegaard Nielsen ApS, Ågerup, juli-oktober 2009. Måling af fotosyntese i forhold til væksthushklimaet, viser stor tilpasningsevne til hurtige skift i lysniveau, men også at CO₂ er meget vigtigt, hvis der skal opnås en god lysudnyttelse. Lysresponsmålinger viser at ældre blade på hovedskudet har forholdsvis stor fotosyntesekapacitet et stykke hen i kulturforløbet, men at fotosyntesekapaciteten sidst på efteråret er faldet markant.

December 2009

Jakob Skov Pedersen, AgroTech

INDHOLD

RESUMÉ	2
INDHOLD	3
INDLEDNING	4
RESULTATER.....	5
Måling af fotosyntese i forhold til væksthusklima.....	5
Responsmålinger	9
KONKLUSION.....	15
FORSØGSBESKRIVELSE.....	16
Udstyr	16
Fotosyntesemålinger	17
REFERENCER	19

INDLEDNING

I de senere år er der investeret i isoleringsgardiner i agurkgartnerierne. Erfaringen med, hvor meget man kan bruge gardinerne, er dog ikke stor. Produktionen og dermed udbyttet af agurker er meget følsomt. I projektet skal agurkplanter testes i de fotosyntese-målesystemer, der bruges i andre kulturer. Samtidigt afprøves forskellige strategier i udvalgte gartnerier. Hermed er det muligt at beskrive en fotosynteseprofil for kulturen, som kan følge til en generel model/opskrift på den mest optimale udnyttelse af gardinerne.

Formål: Delforsøget skal forsøge at give svar på, hvad der sker med fotosyntesen når gardinet køres på midt på dagen under høje indstrålingsniveauer, og samtidig om der sker en nedgang i fotosyntese såfremt der ikke skygges. Grundene til en eventuel fotosyntesenedgang midt på dagen kan være:

1. Luftfugtigheden i væksthuset bliver for lav når der ventileres ved høj indstråling. Derved kan fordampningen blive så stor at spalteåbningerne lukker. Det kan også ske at vandoptagelsen har svært ved at følge med fordampningen hvilket også medfører at planten lukker spalteåbningerne.
2. Når der ventileres under høj indstråling, kan CO₂ koncentrationen let falde til niveauer der væsentligt reducerer fotosyntesen.
3. Der kan ved høj indstråling opstå skadelig temperaturbelastning; særligt i toppen af afgrøden.

De tre ovennævnte situationer kan alle modvirkes med et energigardin, og forsøget skal give svar på hvor grænserne går.

Undersøgelsen består af målinger på enkelte blade som er tilfældigt udvalgt. Disse kan naturligvis afvige fra gennemsnittet, og helt endelige konklusioner vil kræve mange gentagne målinger, hvilket ikke har været muligt inden for dette projekts rammer. Resultaterne må derfor vurderes med den fornødne forsigtighed...

RESULTATER

I det følgende præsenteres typiske eksempler på resultater fra fotosyntesemålingerne.

Lyset er målt som fotosynteseaktiv stråling (lys i intervallet 400-700 nm) af to sensorer indbygget i fotosynteseudstyret. Værdien er derfor et udtryk for lyset helt nede ved bladet og er derfor noget lavere end det der måles med vejrstationen uden for væksthuset. Skal der regnes om til mere almindeligt kendte størrelser, svarer $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fotosynteseaktivt naturligt lys til omtrent 5,6 klx eller $43,5 \text{ W/m}^2$ (Enoch og Kimball, 1986). Denne strålingsintensitet i en time svarer til en energimængde på lidt under 16 J/cm^2 .

Fotosyntese opgives som netto fotosyntesehastighed, hvilket er det udstyret måler (der måles optaget CO_2 ved fotosyntese minus CO_2 frigivet ved respiration). En fotosyntesehastighed på 1 mikromol CO_2 pr m^2 pr sekund ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) svarer til 158 mg CO_2 optaget pr. kvadratmeter bladareal pr. time.

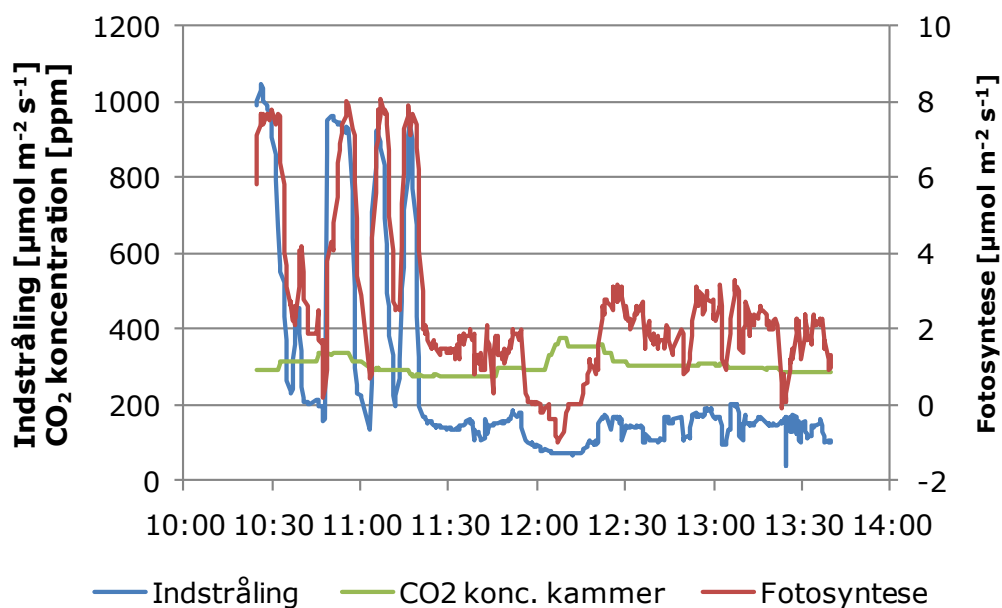
Stomataåbning er et udtryk for åbningsgraden af stomata (spalteåbningerne). Den beregnes på baggrund fordampningen fra bladet og en høj værdi betyder meget åbne stomata. Enheden er millimol pr m^2 pr sekund ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Måling af fotosyntese i forhold til væksthusklima.

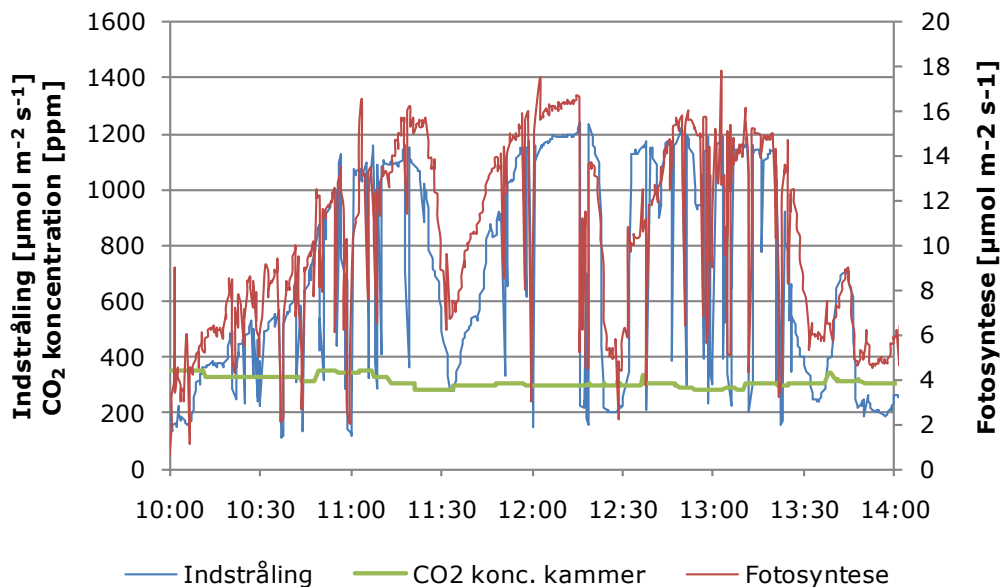
Figur 1 viser et eksempel på en fotosyntesemåling som dækker timerne før og efter middag den 5. august 2009. Indstrålingen om formiddagen denne dag viser skiftende lysforhold med korte perioder med forholdsvis meget lys (omkring $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) afløst af markante dyk i det tilgængelige lys på grund af slagskygger fra sprosser, bjælker o. lign. Fra 11:30 og frem er lyset faldet markant på grund af skyer. Sammenlignes den målte fotosyntese med lyset, ses en ret god overensstemmelse; fotosyntesen stiger (men lidt langsommere) og falder med lyset, men der er en periode af omkring en halv times varighed fra lidt før 12:00 og til lidt før 12:30, hvor fotosyntesen falder forholdsvis mere end lyset (de få minutter hvor fotosyntesen er negativ skyldes med stor sandsynlighed at fotosynteseudstyret skulle falde til ro efter et skift i CO_2 koncentration). Der er ikke umiddelbart nogen forklaring i data på dette dyk; stomataåbningen er godt nok jævnt faldende hele perioden igennem, men er ikke i nærheden af at indikere lukkede stomata på dette tidspunkt (ligger på omkring $100 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Efter dette dyk, stabiliserer fotosyntesen sig på et niveau der ligger lidt over niveauet ved samme lysmængde ($150\text{-}200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) før middag.

Et andet eksempel på fotosyntesen for et højt placeret blad på en dag med meget lys, kan ses i Figur 2. Her ses igen at lyset varierer utroligt meget inden for få øjeblikke på grund af skygger fra konstruktionen eller drivende skyer. Disse forhold skal planterne kunne håndtere, og fotosyntesen ser også ud til at stige hurtigt igen når lyset stiger efter et par minutter med lavt lys. Dog set det ud til at fotosyntesen ligger lidt lavt ved højt lys i perioden fra 12:15 til 12:45 (fotosyntesen ligger ikke så højt ved et lysniveau lige under $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ som den gør resten af dagen). Studeres kurven for stomataåbning for denne måling (Figur 3), ses også at stomata lukker lidt til i den periode (men omvendt ikke mere end eksempelvis 10:45 og 13:45).

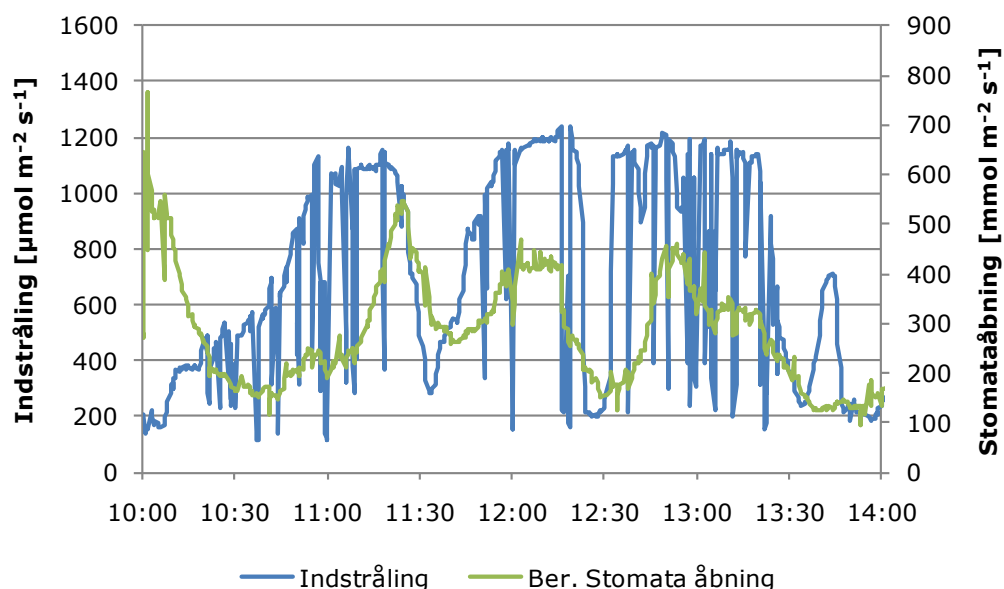
Sammenlignes Figur 1 med Figur 2, kan det bemærkes at fotosyntesehastigheden ser ud til at være højere ved samme lysniveau for det blad der blev målt på den 14. august (faktisk omkring dobbelt så stor).



Figur 1: Fotosyntese som resultat af lys og CO₂ koncentration målt på blad på sideskud (højt placeret) 05. august 2009.



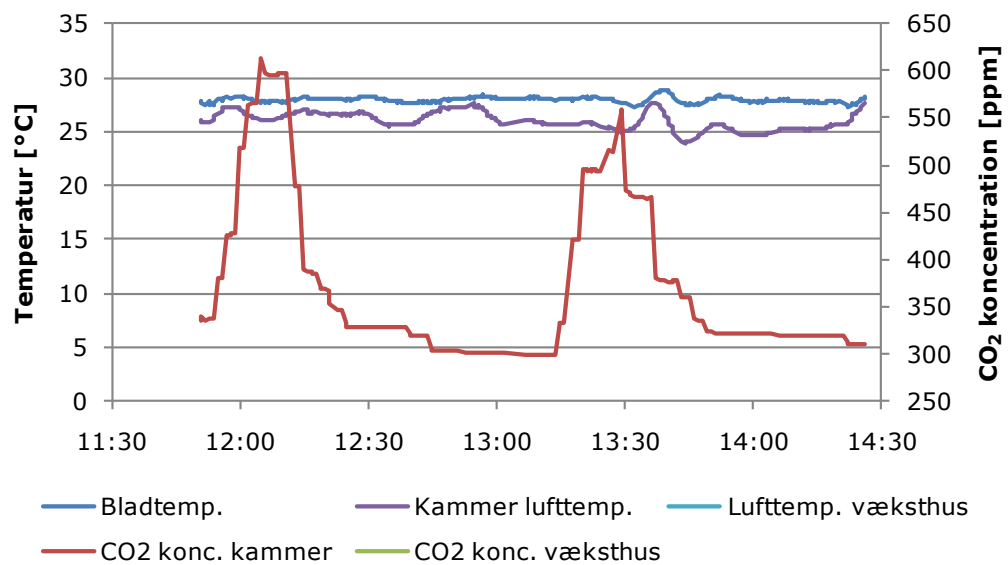
Figur 2 Fotosyntese som resultat af lys og CO₂ koncentration målt på blad på sideskud (højt placeret) 14. august 2009.



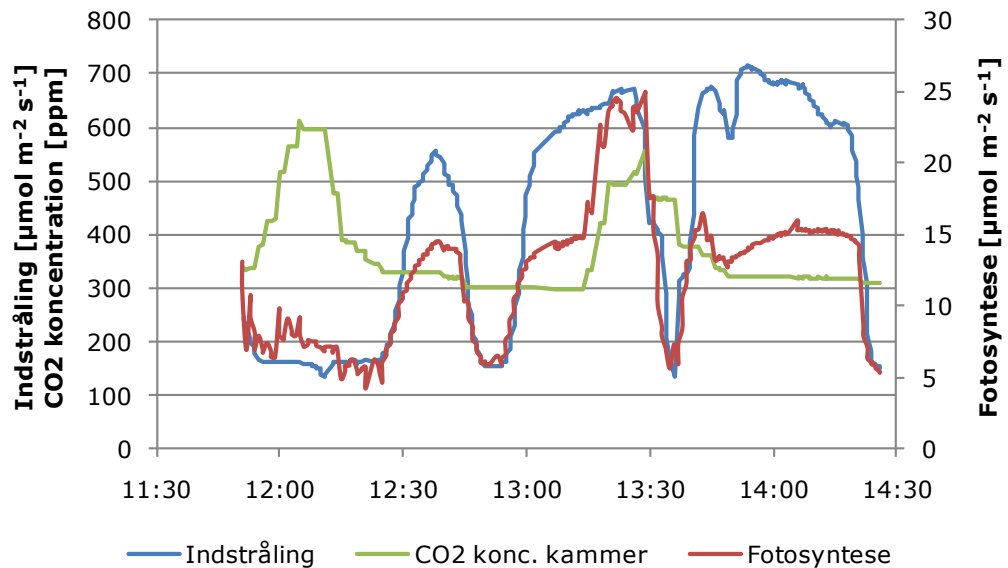
Figur 3 Indstråling og beregnet stomataåbning for målingen på højblad 14. august 2009 (Figur 2).

Den 20. august 2009 (Figur 4 - Figur 5) var en dag med god sol, og dermed også med en del skyggesituationer i væksthuset. Klimamålinger fra denne dag er præsenteret i Figur 4, og som det fremgår ligger bladtemperaturen ved denne måling et par grader under lufttemperaturen i væksthuset. Koncentrationen af CO_2 ved fotosyntesemålingen (kammer) følger koncentrationen i væksthuset meget pænt, og det ses at der i måleperioden har været doseret to gange. Den relative luftfugtighed i kammeret (data ikke vist) ligger lidt over luftfugtigheden i væksthuset (8 procentpoint i gennemsnit), men da temperaturen i kammeret samtidig var lidt lavere, betyder det at den absolutte luftfugtighed i væksthuset er størst (18 g/m^3 i væksthuset mod $16,3 \text{ g/m}^3$ i kammeret).

Figur 5 viser den tilhørende indstråling, CO_2 koncentration og fotosyntese. Som det fremgår af Figur 4, tilføres der CO_2 fra klokken 11:45 til klokken 12:15, hvilket giver en markant stigning i koncentrationen. Denne top afspejles dog kun i ringe grad på fotosyntesekurven, hvilket hænger sammen med, at der ikke er meget lys tilstede i dette tidsrum (omkring $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Tilførslen klokken 13:15, hvor indstrålingen er højere ($600\text{-}700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) giver en mærkbar stigning i fotosyntesen på 66 % (fra 15 til $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) i forhold til den forudgående periode (13:00-13:15) med omtrent det samme lys. Figuren viser med al ønskelig tydelighed betydningen af CO_2 i forhold til fotosyntese.



Figur 4: Lufttemperatur og CO₂ koncentration i væksthuis sammenlignet med lufttemperatur, bladtemperatur og CO₂ koncentration i fotosyntesekammeret; målt 20. august 2009.



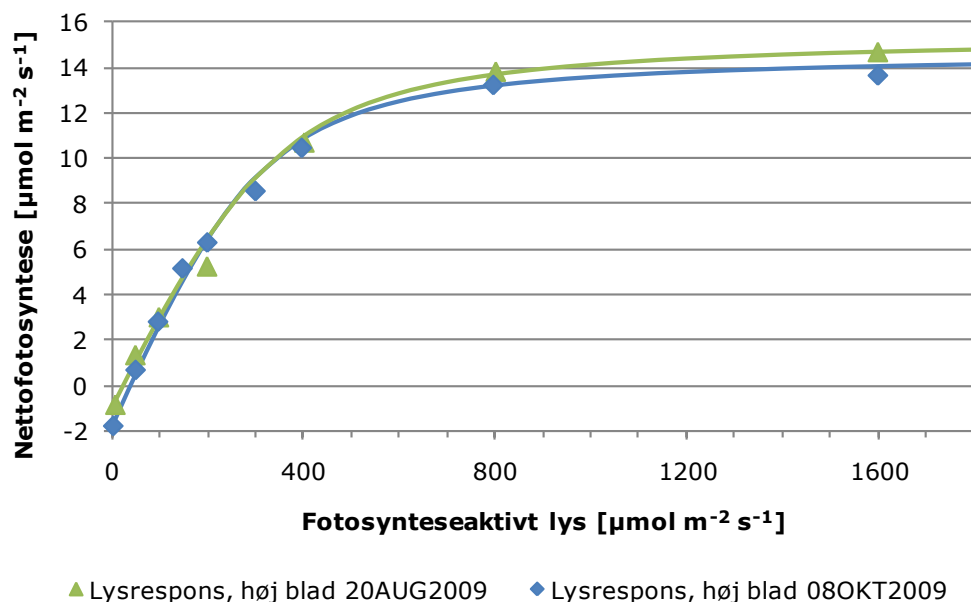
Figur 5: Fotosyntese som resultat af lys og CO₂ koncentration målt på blad på sideskud 20. august 2009.

Responsmålinger

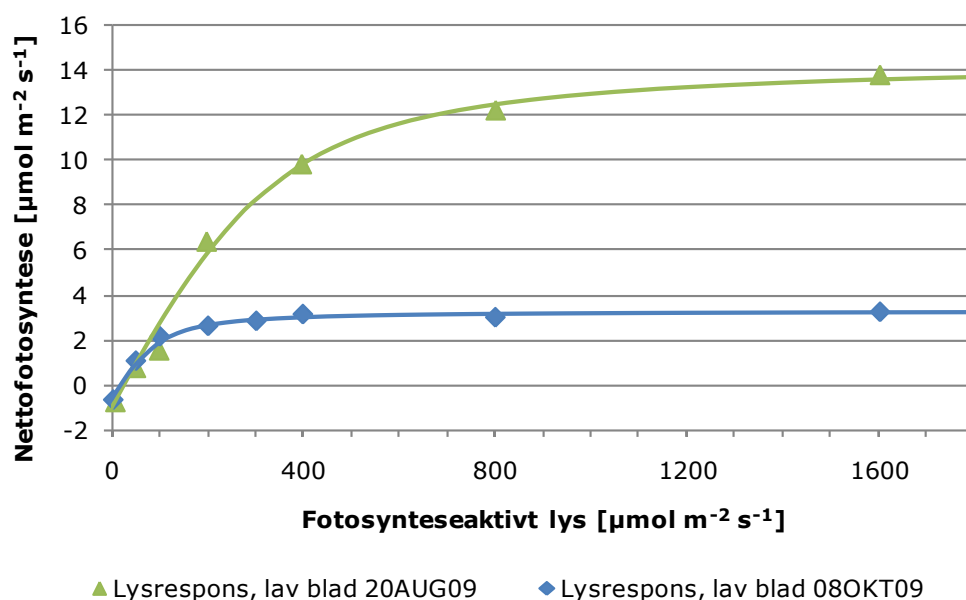
Det almindelige energigardin til gartnerier med væksthuesgrønsager, LS10, har en god diffuserende effekt på lyset, og da diffust lys vil nå dybere ned i afgrødens bladlag, er det undersøgt hvorvidt de ældre og lavere placerede blade har bibeholdt en høj fotosyntesekapacitet. Er dette tilfældet, vil det kunne udnyttes til at opnå en højere total fotosyntese med øget andel af diffust lys (anvendelse af gardin).

Figur 6 viser lysrespons foretaget på et højt placeret blad på et sideskud henholdsvis 20. august og 8. oktober. Umiddelbart ser det ud til at kurverne er meget ens, men der skal også tages højde for at målingen den 8. oktober er foretaget ved en højere CO₂ koncentration. Det vil derfor være rimeligt at antage at niveauet faktisk var faldet lidt hvis målingen var foretaget ved samme CO₂ koncentration. Det lavt placerede blad på hovedskudet (Figur 7) viser en meget kraftig nedgang i fotosyntesekapacitet fra august til oktober selvom CO₂ niveauet også her er højere for den sidste måling. Sammenlignes Figur 6 og Figur 7, ses at der ikke er stor forskel mellem fotosyntesekapaciteten for det højt henholdsvis det lavt placerede blad den 20. august. Den 8. oktober er der markant forskel mellem et gammelt og et ungt blad, hvilket nok også er meget naturligt i betragtning af at det er hen mod slutningen af sæsonen.

Konklusionen vil være at sidst på sæsonen er det ikke være nogen stor fordel at sende mere lys til de ældste blade, men at det godt kan være det tidligere på sæsonen.



Figur 6: Lysrespons for blad på sideskud målt henholdsvis 20. august 2009 og 8. oktober 2009. Målingen den 20. august er foretaget ved en CO₂ koncentration på 350 ppm, hvorimod den 8. oktober er ved 500 ppm.

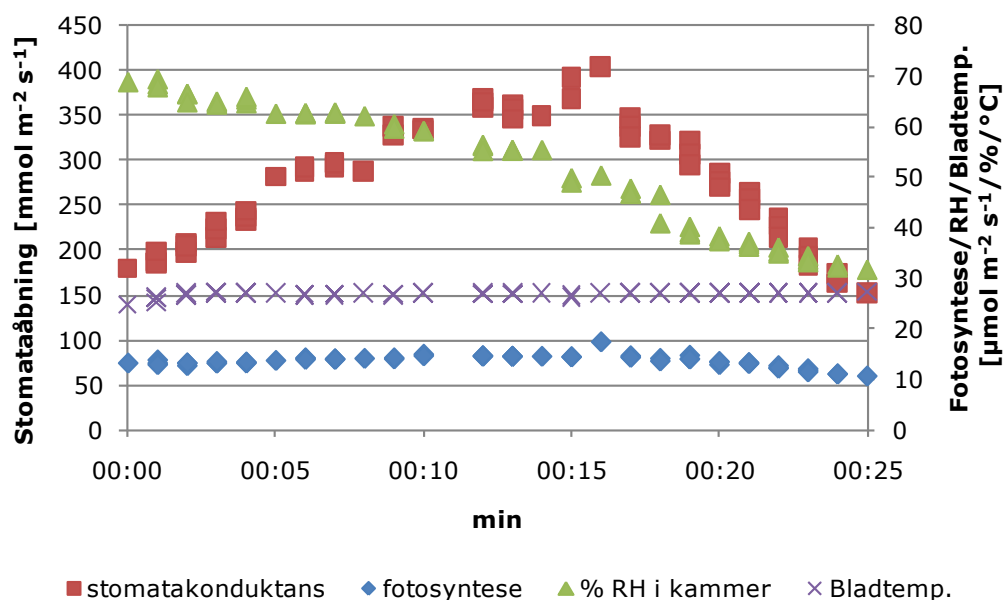


Figur 7: Lysrespons for blad på hovedskud målt henholdsvis 20. august 2009 og 8. oktober 2009. Målingen den 20. august er foretaget ved en CO_2 koncentration på 350 ppm, hvorimod den 8. oktober er ved 500 ppm.

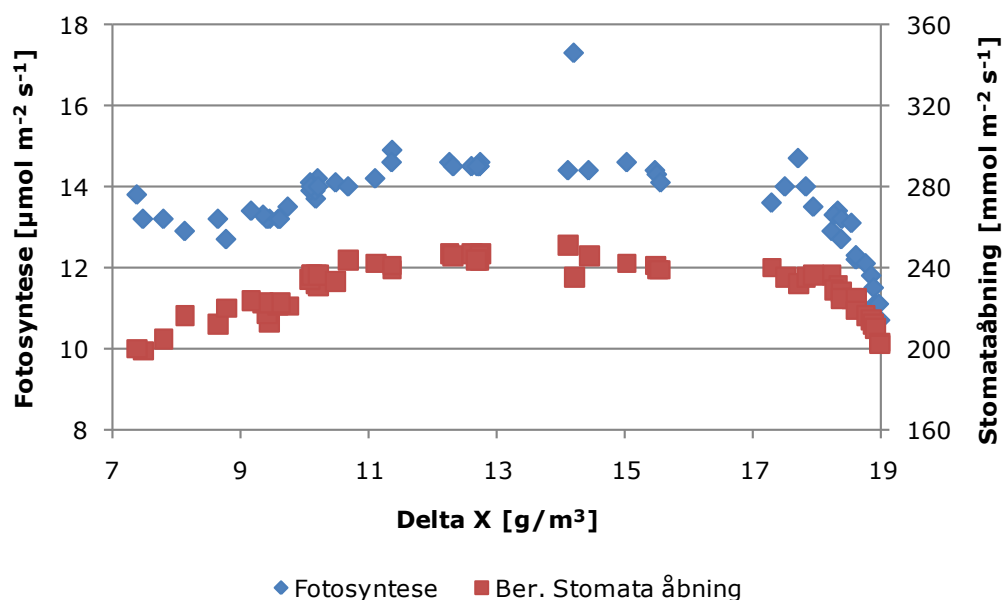
Et energigardin kan også bruges til at påvirke fugtforholdene i et agurkgartneri. På dage med høj indstråling vil vinderne stå åbne det meste af dagen, og med høj temperatur og lav luftfugtighed ude, vil der også kunne opleves en meget tør luft i væksthuset. Køres gardinet eksempelvis 90 % for, vil det være med til at holde lidt på fugten. Det er undersøgt hvorledes luftfugtigheden påvirker stomataåbning og fotosyntesehastighed ved at lave fugtresponsmålinger.

Figur 8 viser et eksempel på fugtrespons for et blad på hovedskudet 20. august. Der blev målt fotosyntese og stomataåbning mens luftfugtigheden blev sænket i luften i kammeret. Umiddelbart ser der ud til at være et optimum på kurven for stomataåbning, og også for fotosyntesen (om end noget mindre tydeligt). På denne måling ser det ud som om disse topper omkring 55 % relativ luftfugtighed. Ved højere luftfugtighed er fordampningen mindre og ved lavere luftfugtighed ser stomata også ud til at blive påvirket i negativ grad. Opgøres luftfugtigheden som delta X (Figur 9) topper stomataåbningen mellem 11 og 18 g/m^3 .

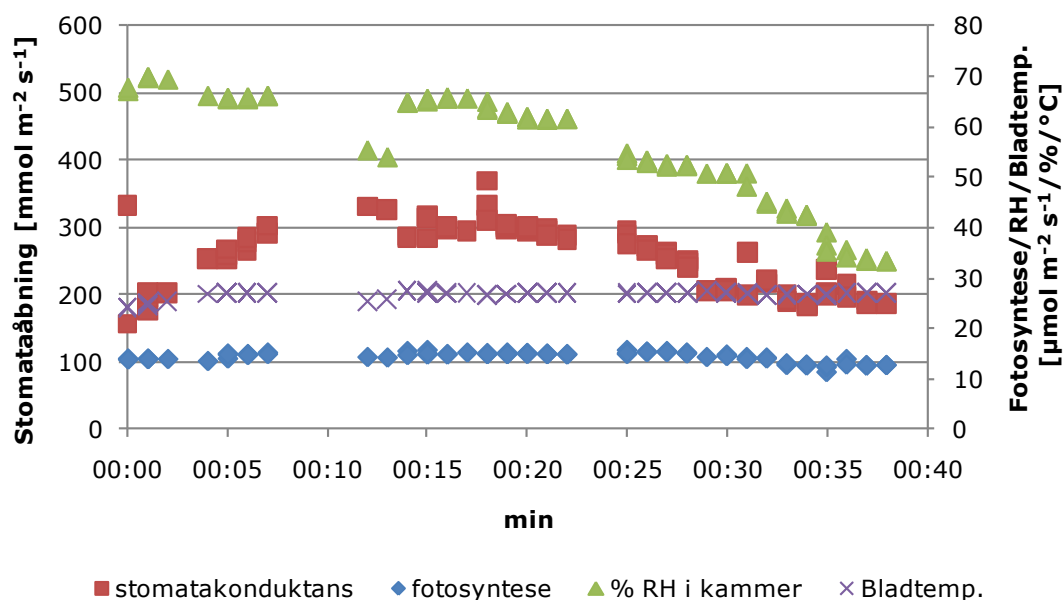
Målingen af fugtrespons på et højt placeret blad på et sideskud (Figur 10 og Figur 11) er lidt mere rodet, men ser ud til at vise et optimum som ligger lidt højere (omkring 60 % RH) end målingen for et blad på hovedskudet. Med hensyn til delta X ligger optimum omkring 10-13 g/m^3 .



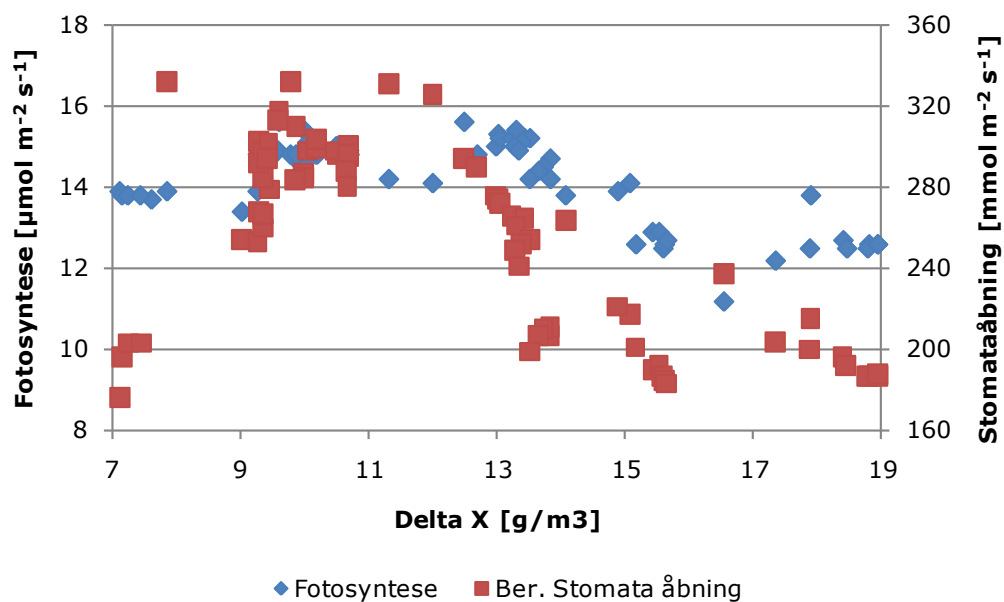
Figur 8: Måling på blad fra hovedskud (lavt placeret) med faldende luftfugtighed i målekammer. CO₂ koncentration under målingen var 350 ppm og lyset var på 1000 μmol m⁻² s⁻¹. Måling fra 20. august 2009.



Figur 9: Fugtighedsrespons for et blad på hovedskud (samme data som i Figur 8); Fotosyntese og stomataåbning i forhold til Delta X (forskel mellem aktuell absolut luftfugtighed og maksimal absolut luftfugtighed ved aktuell temperatur).

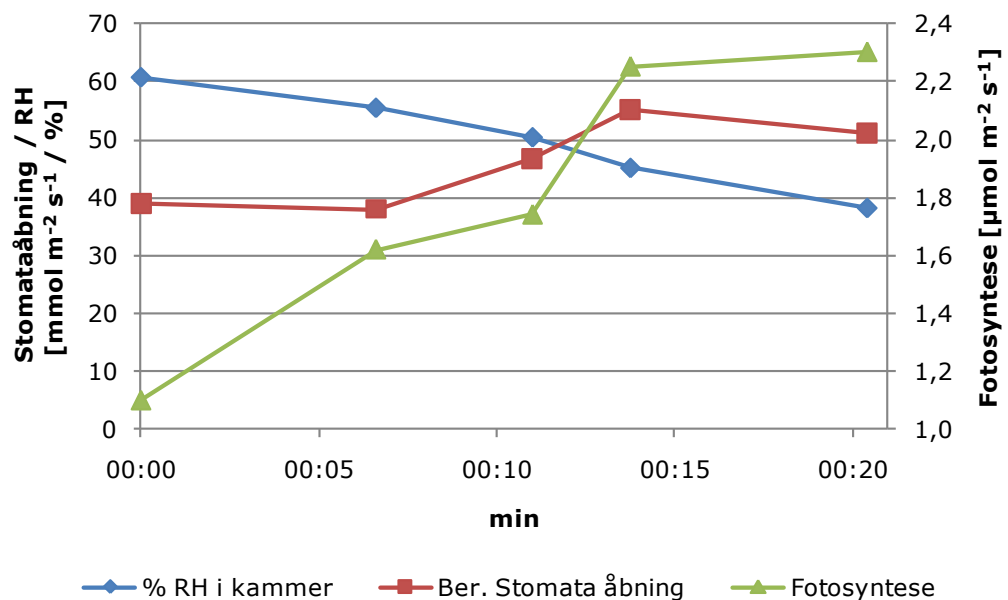


Figur 10 Måling på blad fra sideskud (højt placeret) med faldende luftfugtighed i målekammer. CO_2 koncentration under målingen var 350 ppm og lyset var på $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Måling fra 20. august 2009.

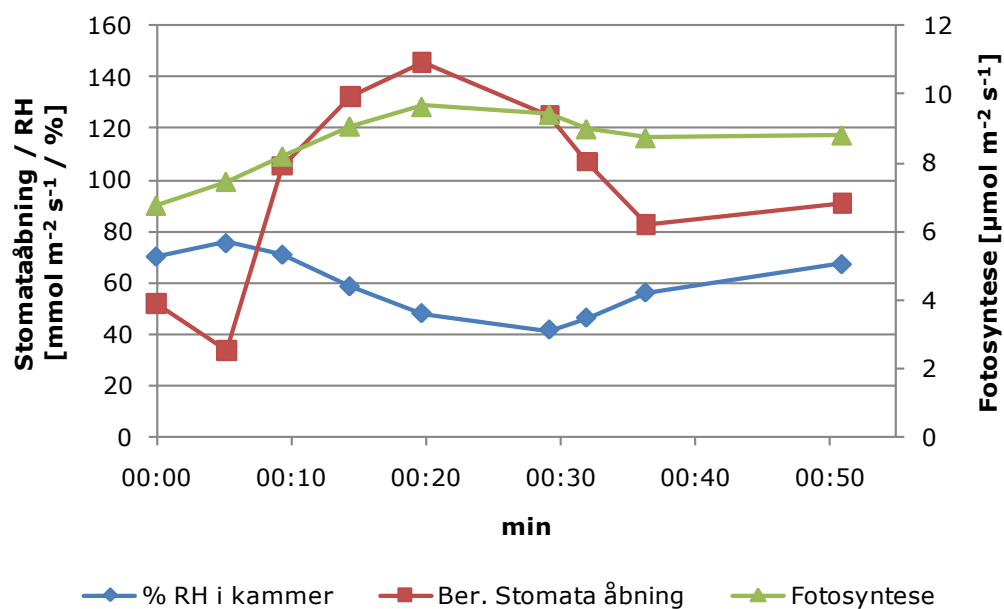


Figur 11 Fugtighedsrespons for et blad på sideskud (samme data som i Figur 10); Fotosyntese og stomataåbning i forhold til Delta X.

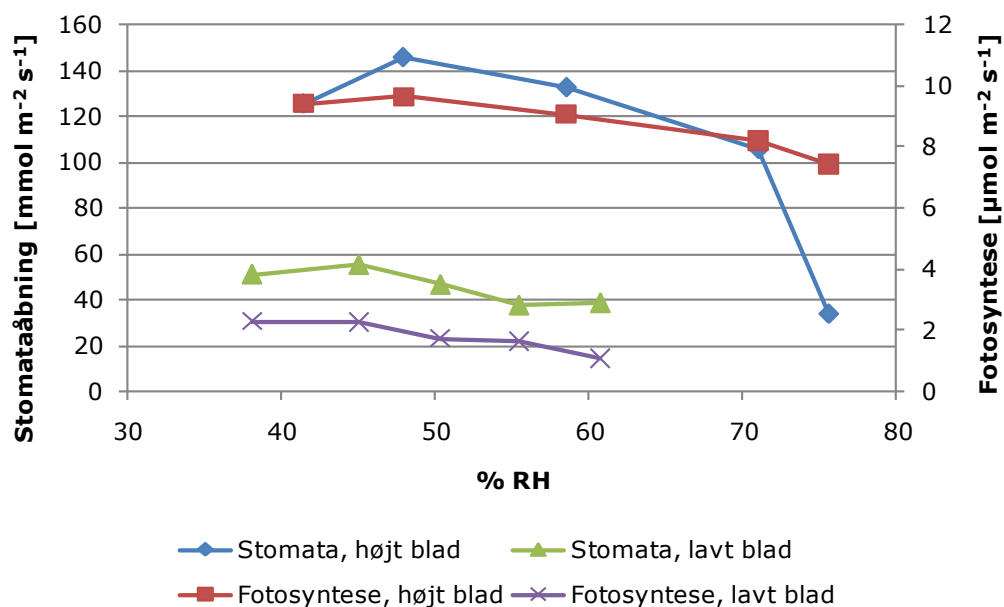
Målingerne af fugtrespons foretaget 8. oktober (Figur 12, Figur 13, Figur 14) præsenteres i en renset version i forhold til målingerne i august, hvor der er taget en middelværdi over nogle minutter når forholdene var stabiliseret på det enkelte fugtniveau. For det gamle blad på hovedskudet (Figur 12) blev der målt på fugtigheder mellem 60 og lidt under 40 %. Generelt ligger både stomataåbning og fotosyntese for denne bladplacering langt under niveauet fra august, så der er ingen tvivl om at dette blad er kraftigt på vej ned ad bakke med hensyn til fotosyntesekapacitet. Der ses dog stadig en faldende stomataåbning ved laveste fugtighed. For det yngre blad på sideskudet (Figur 13) er der målt på først faldende og derpå stigende luftfugtighed. Studeres kurverne nærmere, kan det konstateres at når luftfugtigheden begynder at stige igen efter 30 minutters måling, falder stomataåbningen ikke til samme lave niveau som ved målingens start! Omvendt er der en ret fin sammenhæng mellem fotosyntesen og luftfugtighed – både ved faldende og stigende luftfugtighed. Den maksimale fotosyntese og stomataåbning i målingen fremkommer første gang luftfugtigheden falder til omkring 50 %. Sammenlignes første del af kurven for det yngre blad (den del med faldende fugtighed) med målingen for det ældre blad (Figur 14), ses at optimum måske ikke ligger så langt fra hinanden, men at niveauerne for fotosyntese er vidt forskellige.



Figur 12 Fotosyntese og stomataåbning i måling med faldende luftfugtighed (blad på hovedskud) 8. oktober 2009. CO₂ koncentration ved målingen var 350 ppm og lyset 800 μmol m⁻² s⁻¹.



Figur 13 Fotosyntese og stomataåbning med faldende og derpå stigende relativ luftfugtighed for blad på sideskud. CO₂ koncentration ved målingen var 350 ppm og lyset 800 μmol m⁻² s⁻¹.



Figur 14 Stomataåbning og fotosyntese for blad på sideskud (højt blad) og blad på hovedskud (lavt blad) i forhold til luftfugtighed i kammeret. Data fra 8. oktober 2009.

KONKLUSION

Betydning af bladets alder: Med mindre det ikke er sidst på sæsonen, ser det ud til at de ældre blade stadig har en vis fotosyntesekapacitet som vil kunne udnyttes med øget mængde diffust lys (muligt med gardin). Sidst i kulturforløbet hvor planternes generelle sundhedstilstand ofte er faldet noget, viser målingerne et markant fald i fotosyntesekapacitet for de ældste blade.

Fotosyntese og lys: Bladene reagerer fint på lys og har forholdsvis højt lysmætningspunkt ($800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), men over denne grænse kunne man overveje at reducere det overordnede lysniveau med 10 % (med gardin) for så til gengæld at få mere lys til de lavere blade pga. diffust lys.

Fotosyntese og luftfugtighed: Det ser ud til at der er et optimum med hensyn til stomataåbning og fotosyntese i forhold til luftfugtighed. Ved ekstremt lav luftfugtighed kunne gardinet være nyttigt til at hæve fugtigheden lidt. Der er naturligvis også et hensyn til frugten der skal tages her.

Fotosyntese og kuldioxid: Meget lys kan ikke udnyttes fuldt ud hvis der ikke er tilstrækkeligt CO_2 (Figur 5), og lysudnyttelsen ville derfor blive bedre såfremt det var muligt at holde på kuldioxiden med gardinerne (mindske luftudskiftningen).

FORSØGSBESKRIVELSE

Undersøgelsen skulle søge at finde svar på, hvad der sker med fotosyntesen i et agurkvæksthus i forhold til de klimatiske forhold (lys, CO₂, fugtighed), og det blev derfor vurderet mest hensigtsmæssigt at den kom til at foregå i et egentligt produktionsgartneri (ikke under forsøgsforhold).

I løbet af 7 forsøgsdage spredt over godt 2 måneder (Tabel 1), blev der målt på blade af forskellig placering og alder, men alle på planter i det sydøstlige hjørne af et Venlohus på godt 900 m² (19,2 m bredde X 48 m længde X 3,2 m trempelhøjde) på Gartneriet Søgård Nielsen ApS, Ågerup (55°41'20"N; 12° 9'6"Ø). I denne afdeling blev dyrket agurk af sorten Shakira (*Cucumis sativus* cv. Shakira) plantet primo juli.

Tabel 1: Oversigt over de enkelte forsøgsdage, og de målinger der er foretaget. Målingerne den 7. august er upålidelige pga. problem med CO₂ forsyningen og temperaturstyringen.

Dato	Start	Stop	Blad
28. juli 2009	11:51	13:45	Hovedskud, midt
05. august 2009	09:52	13:40	Hovedskud, lavt
05. august 2009	10:00	13:40	Sideskud, højt
07. august 2009	09:38	13:29	Hovedskud, lavt
07. august 2009	09:37	13:38	Sideskud, højt
14. august 2009	10:01	14:29	Hovedskud, lavt
14. august 2009	09:57	14:34	Sideskud, højt
20. august 2009	11:29	14:26	Sideskud, højt
20. august 2009	11:35	13:20	Hovedskud, lavt (responsmålinger)
20. august 2009	13:25	14:42	Sideskud, højt (responsmålinger)
30. september 2009	09:59	14:10	Hovedskud, lavt (responsmålinger)
08. oktober 2009	11:13	14:29	Sideskud, højt (responsmålinger)
08. oktober 2009	14:40	17:02	Hovedskud, lavt (responsmålinger)

Udstyr

Til undersøgelsen er brugt bærbart fotosynteseudstyr af typen CIRAS -1 fra PP Systems (Amesbury, MA, USA). Dette system er et åbent målesystem, som sender et afmålt flow af reguleret luft (mht. kuldioxid og fugt) hen over bladet, som er placeret i et lukket kammer (cuvette).

På baggrund af luftens flowhastighed og forskellen i koncentrationerne af henholdsvis CO₂ og H₂O mellem den luft der sendes ind i cuvetten og den luft der forlader cuvetten, beregnes nettofotosyntesen (den mængde CO₂ der er optaget minus den mængde CO₂ der er frigivet ved respiration) og fordampningen (den mængde H₂O der er afgivet).

Ud over cuvetten, består systemet af en konsol som indeholder en infrarød gas analysator (måler luftens koncentration af CO₂ og H₂O ved hjælp af infrarød absorption), en luftforsyningsenhed (regulerer koncentrationen af CO₂ og H₂O i luften som sendes til cuvetten) samt en mikroprocessor til databehandling.

Under målingerne var CIRAS-1 tilsluttet en PC med CIRAS-1 kontrol software (PP Systems Amesbury, MA, USA) til fjernstyring af udstyret, dataopsamling og grafisk præsentation af målingen.

Klimaet i væksthuset (Lufttemperatur, relativ luftfugtighed og CO₂ koncentration) blev målt og registreret med en Testo IAQ føler (Testo AG, Lenzkirch, Tyskland) tilsluttet et Testo 635-2 multinstrument/datalogger med datalogning hvert 5. minut.

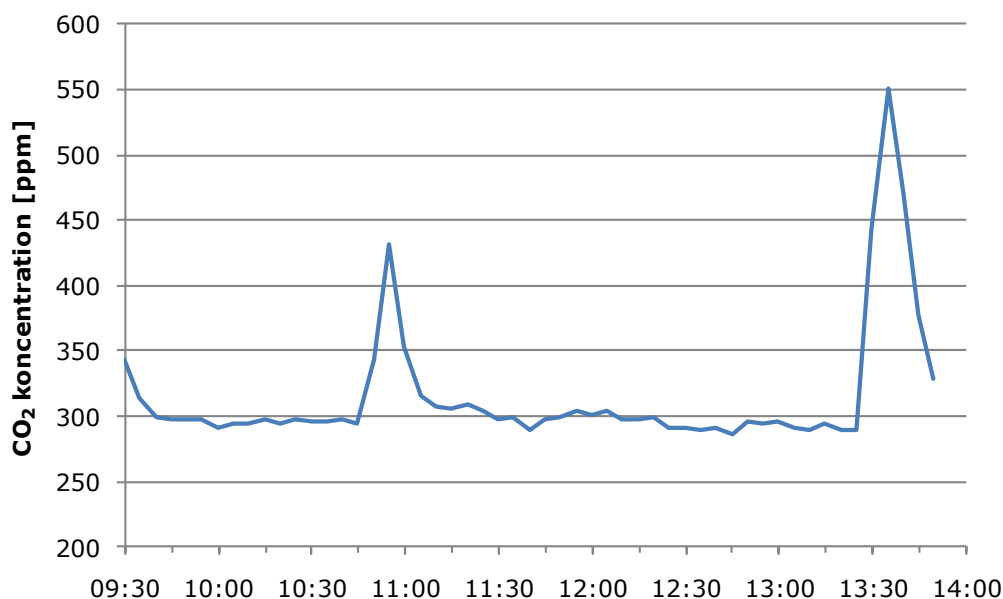
Fotosyntesemålinger

Der blev ved undersøgelsen foretaget to principielt forskellige typer målinger med hvert sit sigte; dels blev der målt fotosyntese i forhold til væksthusklimaet (hvor stor er produktionen her og nu på baggrund af det faktiske klima i væksthuset), dels blev der foretaget responsmålinger på enkelte blade (hvor stort er potentialet for fotosyntese hvis der eksempelvis var mere lys til rådighed).

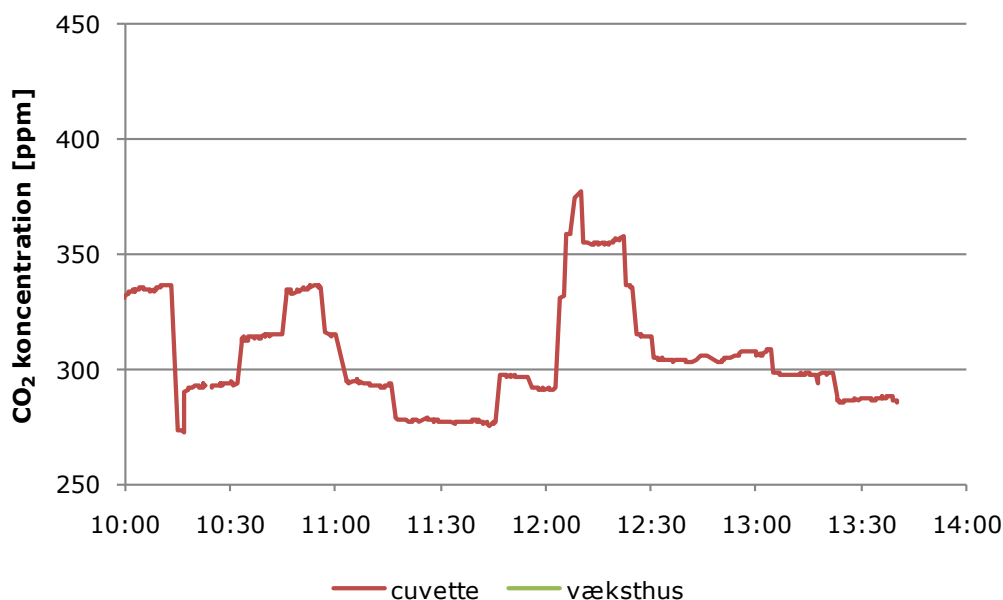
1. Måling af fotosyntese i forhold til væksthusklima

Det blev ved målingerne tilstræbt at styre klimaet i cuvetten således at det så nøjagtigt som muligt svarede til klimaet i væksthuset med hensyn til temperatur, CO₂ koncentration og relativ luftfugtighed. Klimaets indvirkning på fotosyntesen kunne herefter følges. Udfordringerne ved denne strategi, var at følge med når der skete en hurtig ændring i en af klimaparametrene (jf. måling med Testo IAQ måler). I praksis var det kun CO₂ koncentrationen som viste markante udsving i forbindelse med at røggas fra gasfyret blev ledt ud i afdelingen. Når dette sket samtidig med at der blev ventileret i væksthuset, steg koncentrationen kraftigt indtil doseringen blev stoppet, hvorefter koncentrationen hurtigt faldt igen. Fra koncentrationen startede med at stige til den var tilbage på normalen igen, gik typisk 30 min (se Figur 15). I løbet af den periode var det nødvendigt manuelt at justere CO₂ koncentrationen i CIRAS-1 udstyret til at følge med koncentrationen i væksthuset. Det er kun når CO₂ koncentrationen er stabil, at der kommer brugbare data fra fotosynteseudstyret. Når koncentrationen i systemet sættes op (stiger), er koncentrationen i indgangsluften højere end i udgangsluften (ud over hvad bladet har optaget), og målingen kommer derfor til at vise en meget høj fotosyntese (måleteknisk fejl). Det omvendte billede ses når koncentrationen sættes ned (falder), hvor en lav koncentration i indgangsluften sammenlignet med udgangsluften betyder at systemet registrerer en stor negativ fotosyntese. Det er derfor vigtigt at systemet får lov til at stabilisere sig på en given koncentration før den ændres igen. Resultatet er at den trekantede CO₂ kurve som den ser ud i væksthushuset (Figur 15) bliver til en trappeformet kurve i fotosyntesemålingen (Figur 16). Som det ses betyder det, at små afvigelser mellem koncentrationen i cuvette og kammer forekommer. Både den 5. Og den 7. August

(hhv. Figur 15 og Figur 16), var solrige dage, hvor der blev ventileret i væksthuset. At den målte CO₂ koncentration i væksthuset i perioder uden CO₂ dosering er forskellig de to dage, kan skyldes forskelle i luftskifte (påvirket af vinduernes åbningsgrad samt vindhastighed og -retning) og/eller forskelle i planternes samlede fotosyntese.



Figur 15: Eksempel på forløbet af CO₂ koncentrationen i væksthuset under en fotosyntesemåling (data fra 07-08-2009).



Figur 16: Sammenligning mellem CO₂ koncentration i cuvette og i væksthushusluft. Data fra 05-08-2009.

2. Måling af bladenes fotosyntesepotentiale (responsmålinger)

Målinger af planternes respons på forskellige forhold med hensyn til lys og luftfugtighed blev foretaget med henblik på at kunne vurdere om bladenes alder havde en væsentlig betydning for deres evne til at lave fotosyntese og om det som følge heraf kunne betale sig at tilføre mere lys til de ældre og lavere placerede blade.

Lysresponsmålingerne blev foretaget ved at holde en fast temperatur, CO₂ koncentration og luftfugtighed, og så måle fotosyntesen ved stigende lys (fotosynteseudstyrets lampe blev brugt som lyskilde). Som standard blev fotosyntesehastigheden målt ved 0, 50, 100, 200, 400, 800 og 1600 μmol m⁻² s⁻¹, men yderligere målepunkter blev også lejlighedsvis lagt ind. Dette skete for at øge sikkerheden for kurvens forløb på kritiske steder.

Lysresponskurven er fittet manuelt til data efter en ikke-retlinet hyperbel (Thornley og Johnson, 2000):

$$A = \frac{\phi \cdot I + A_{\max} - \sqrt{(\phi \cdot I + A_{\max})^2 - 4 \cdot \Theta \cdot \phi \cdot I \cdot A_{\max}}}{2 \cdot \Theta} - R_d$$

Hvor A er fotosyntesehastigheden, I er det fotosynteseaktive lys (PPFD), A_{\max} er fotosyntesehastigheden ved lysmætning, ϕ er quantum yield (hældning på første del af responskurven) og Θ er krumhedsfaktoren.

Fugtighedsresponsmålingerne blev foretaget ved at holde en fast CO₂ koncentration, et fast lysniveau og en så fast temperatur som muligt (i visse tilfælde var det nødvendigt at justere temperaturen lidt for at opnå den ønskede luftfugtighed pga. lav luftfugtighed i væksthushuften). Luftfugtigheden i kammeret blev så ændret ved at styre luftfugtigheden i indgangsluften (ved opfugtning hhv. affugtning).

REFERENCER

Enoch, H.Z. og B.A. Kimball (1986): *Carbon Dioxide Enrichment of Greenhouse Crops. Volume II, Physiology, Yield and Economics*, CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida, USA

Thornley, J.H.M. og I.A. Johnson (2000): *Plant and Crop Modelling. A Mathematical Approach to Plant and Crop Physiology*, The Blackburn Press, Caldwell, New Jersey, USA, 669 pp.