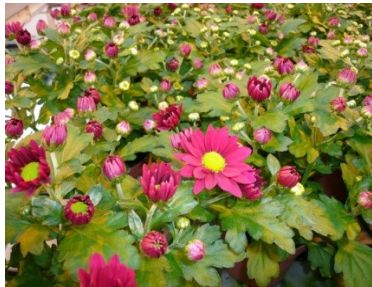


Meer rendement uit belichting en CO₂-dosering



Govert Trouwborst, Sander Hogewoning & Sander Pot
Juni 2013

Meer rendement uit belichting en CO₂-dosering

Juni 2013

Dr. ir. G. Trouwborst¹
Dr. ir. S.W. Hogewoning¹
Ing. C.S. Pot²

¹ Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik
+31 (0)30 7512069
+31 (0)6 14271525

www.plantlighting.nl
info@plantlighting.nl

² Plant Dynamics B.V.
Koningin Julianastraat 23
6668

AG

Randwijk

Deze studie naar grenswaarden voor een energie-efficiënte belichtingsstrategie en CO₂-dosering bij de CAM-potplanten: Phalaenopsis, Bromelia en Kalanchoë, de C3-potplanten: Ficus, Potchrysant en Spathiphyllum, en de snijbloemen: Lisianthus, Chrysant en Lelie is uitgevoerd in opdracht van het Productschap Tuinbouw en het ministerie van Economische zaken in het kader van het programma Kas als Energiebron. De studie is gebaseerd op fotosynthesemetingen in drie seizoenen, uitgevoerd door Plant Dynamics BV en Plant Lighting BV.

© 2013 Bunnik, Plant Lighting B.V. & Plant Dynamics B.V.

De resultaten van deze uitgave mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld. Plant Dynamics BV en Plant Lighting BV zijn niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Dankwoord.....	7
1. Inleiding, doel en aanpak.....	8
1.1 Probleemstelling.....	8
1.2 Doelstelling	9
1.3 Aanpak	9
2. Bijlagen.....	13
2.1 Phalaenopsis.....	
2.2 Bromelia.....	
2.3 Kalanchoë.....	
2.4 Ficus.....	
2.5 Spathiphyllum	
2.6 Potchrysan.....	
2.7 Lelie.....	
2.8 Lisianthus	
2.9 Snijchrysan.....	

Samenvatting

Inleiding

Gewasbelichting brengt hoge kosten voor de investeringen en het energieverbruik met zich mee. Het is de bedoeling dat die kosten zich terug betalen door een hogere gewasproductie en een betere productkwaliteit. Een rendabele inzet van assimilatiebelichting vergt daarom een gedegen inzicht in de potentiële meerproductie. Hetzelfde geldt voor de te doseren concentratie CO₂, zeker nu de toekomstige beschikbaarheid van goedkoop CO₂ steeds onzekerder wordt.

Zowel voor licht als voor CO₂ geldt dat een hogere dosis tot een hogere fotosynthese leidt, maar dat de fotosyntheseverhoging vanaf een zekere dosis begint af te nemen. Vanaf dit omslagpunt worden licht en CO₂ dus minder rendabel benut: de meerproductie neemt af, terwijl de kosten van extra dosering gelijk blijven. Bij de meeste siergewassen is nog onduidelijk waar dit omslagpunt ligt. Bovendien is dit omslagpunt afhankelijk van het seizoen en bij sommige gewassen zelfs sterk afhankelijk van het tijdstip op de dag.

Aanpak

Om deze omslagpunten in kaart te brengen is het project “ Meer Rendement uit Belichting en CO₂ dosering” uitgevoerd. Dit onderzoek is uitgevoerd door Plant Dynamics BV en Plant Lighting BV aan 9 siergewassen, te weten: Lelie, Lisianthus, Snijchrysant, Kalanchoë, Bromelia, Phalaenopsis, Spathiphyllum, Ficus en Potchrysant. Via gedetailleerde fotosynthesemetingen is de respons van deze soorten op licht en CO₂ in kaart gebracht. De metingen zijn uitgevoerd aan een zomergewas, najaarsgewas en wintergewas op locatie (controlemetingen) en in een onderzoekskas in Wageningen (detailmetingen).

Resultaten

Seizoenseffecten:

De zomermetingen (augustus 2012) lieten zien wat een gewas in potentie aankan. Bij een aantal gewassen die (redelijk) veel licht aankunnen (Lisianthus, Snijchrysant, Potchrysant, Aechmea, Ficus en Kalanchoë) was een afnemende benutting van vooral de hoge lichtniveaus te zien in de volgorde zomer, najaar, winter. Bij gewassen waar er 's zomers zwaar geschermd wordt zoals spathiphyllum en Guzmania/Vriesea was er nauwelijks een seizoenseffect.

Begin en einde dag:

Tijdens de najaars- en wintermetingen (november 2012 en februari 2013) lag de focus van de metingen op mogelijke effecten van het tijdstip van de dag op de fotosynthese. Hierbij zijn meestal vooral de schakelmomenten van donker naar licht en andersom van belang. De CAM-planten Aechmea en Phalaenopsis laten een trage start zien, waardoor het lichtrendement in de eerste twee uur van de dag laag is. Waarschijnlijk is dit ook het geval bij het laatste stadium van Kalanchoë (volledig CAM). Getrapt het licht aanschakelen met ruime tussentijden is dan ook aan te bevelen. Bij deze CAM-planten daalt de lichtbenutting vanaf het begin van de middag

drastisch. Dit komt doordat de voorraad CO₂ die in CAM-bladeren gedurende de nacht in de vorm van malaat wordt opgeslagen dan al op raakt. Later in de middag trad bij de bromeliasoort *Aechmea* herstel op doordat de huidmondjes openden en het blad overging op C3 fotosynthese. Bij *Phalaenopsis* trad zo'n herstel niet op. Teveel licht werkt dan alleen maar stressverhogend.

Verrassend genoeg kennen *Guzmania* 'Jive' en in mindere mate *Spathiphyllum* en *Ficus* ook een trage start (dit zijn C3-planten). Bij *Potchrysant* daarentegen, is de lichtbenutting ook aan het begin en einde van de dag tot een intensiteit van 180 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ nog maximaal. Bij de snijbloemen *Lisianthus* en *Chrysant* (alleen bloeistadium) nam gedurende de laatste twee uur van de dag de huidmondjesopening dermate af dat deze limiterend werd voor de fotosynthese. Voor *Lisianthus* was deze beperking op te lossen door het verhogen van de CO₂ naar 800 ppm.

Enkele andere opvallende zaken per gewas:

- Potchrysant: De huidmondjesopening van planten in het bloeistadium was aan het einde van de dag niet zo hoog, maar 600 ppm CO₂ was voldoende om beperking van de fotosynthese te voorkomen. Opvallend was ook de hoge huidmondjesgeleidbaarheid van jonge potchrysanten die net een dag onder het plastic vandaan kwamen. Deze was ruim twee keer zo hoog als van net bloeiende planten. De fotosynthese van deze jonge bladeren bleef bij de hogere lichtniveaus wel achter ten opzichte van volgroeide bladeren.
- Spathiphyllum: De huidmondjes lijken sterk te reageren op een hoge VPD. Opvallend is dat —fotosynthetisch gezien— *spathiphyllum* meer licht aan kan dan gangbaar in de praktijk. Het zou interessant zijn om te onderzoeken of de problemen met bladkleur bij hoger licht ondervangen kunnen worden door de planten enige tijd voor verkoop weer aan minder licht te laten wennen.
- Ficus: bij *Ficus* zijn de huidmondjes regelmatig beperkend voor de fotosynthese. De huidmondjes reageren negatief op ruwe bewegingen. Ook treedt er aan het einde van de dag een verlaagd fotosyntheserendement op. Dit ondersteunt de huidige praktijk om ruim voor het einde van de dag de belichting af te schakelen.
- Lelie: Lelie is een gewas dat op zich veel licht aan kan—bijna net zoveel als een *Lisianthus*—maar de huidmondjes waren heel vaak beperkend voor de fotosynthese. Een duidelijk dagpatroon ontbrak. CO₂-dosering—wat niet gangbaar is in de praktijk—had een groot positief effect op de fotosynthese: Door de CO₂-concentratie van 400 ppm naar 800 ppm te verhogen steeg de fotosynthese met 50-60%!
- Snijchrysant: *Chrysant* kan veel licht aan. Aan het einde van de dag nam de huidmondjesopening in het bloeistadium af. Mogelijk heeft dit te maken met een afnemende assimilatenvraag in dit stadium en voegt belichting dan dus weinig meer toe. Tevens is vastgesteld dat beregning geen negatief effect op de fotosynthese had.
- Lisianthus: *Lisianthus* kan ook veel licht aan. Vanaf 300 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (daglicht + lamplicht) gaat de lichtbenutting wel hard naar beneden. De beperking van de

fotosynthese door de huidmondjessluiting kan gedurende de laatste twee uur van de dag voorkomen worden door het CO₂-niveau op 800 ppm te houden.

- Bromelia: De sleutel tot verhoging van de productie bij Guzmania en Vriesea ligt bij het open krijgen en open houden van de huidmondjes.
- Phalaenopsis: Bij Phalaenopsis is duidelijk geworden dat de sleutel tot een efficiënte lichtbenutting ligt bij het op de juiste manier managen van de malaatpool van bestaande en nieuw ontwikkelende bladeren. Meer kennis hierover biedt zicht op een veel efficiëntere inzet van licht.
- Kalanchoë: De eerste weken hebben de bladeren nog C3-fotosynthese daarna worden ze CAM. In de zomer was dit eerder dan in november en februari. Van facultatieve CAM-planten is bekend dat de overgang van C3 naar CAM beïnvloed wordt door de teeltfactoren zoals veel licht en vooral waterstress. Door overmatige stress te vermijden kan mogelijk de overgang van C3 naar CAM uitgesteld worden. Als dit de bloeisnelheid niet negatief beïnvloedt, dan kan dat tot een flinke teeltversnelling leiden.

CO₂-dosering:

Opvallend was dat bij de meeste gewassen méér doseren dan 700-900 ppm CO₂ weinig extra rendement oplevert. Hoog CO₂ kan ongewenste neveneffecten geven zoals rookgasverontreiniging, huidmondjessluiting of 'luie bladeren'. Daarom is het aan te bevelen om deze waarden als absolute bovengrens te hanteren. Bij jonge Kalanchoë's (C3-blad) is 700 ppm de bovengrens, omdat daarboven de huidmondjes sluiten.

Beschikbaarheid resultaten

Per gewassoort is een protocol gemaakt met daarin de grenswaarden voor licht en CO₂-dosering in relatie tot het klimaat. Deze grenswaarden kunnen de kwekers gebruiken om hun belichting, instelling voor schermen, en CO₂-dosering beter af te stemmen op de gewasvraag. Hiermee kunnen kwekers hun belichting en CO₂ zo optimaal mogelijk inzetten, zonder noodzaak tot grote investeringen. De resultaten per gewas en het bijbehorende protocol zijn online beschikbaar (o.a. op www.energiek2020.nu)

Het onderzoek werd gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw in het kader van het programma 'Kas als Energiebron'.

Dankwoord

Dit onderzoek werd ondersteund door het programma ‘Kas als Energiebron’, gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw. We willen de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel hartelijk bedanken voor hun bijdrage aan de totstandkoming van dit onderzoek.

De volgende personen/bedrijven willen we hartelijk danken voor het beschikbaar stellen van hun faciliteiten en het leveren van planten: Kees van Paridon, Paauw Lilies (Lelie), Henk van Wijk, Janity flowers (Snijchrysant), Hans van den Berg, Kwekerij Berglust (Lisianthus), Peet van Noort, KPHolland (Kalanchoë), Gert van Butzelaar, Bunnik Vriesea’s (Bromelia), Martin van Dijk en Peter van der Lugt, Levoplant (Phalaenopsis), Martin de Rek, Van der Voort Potplanten (spathiphyllum), Mart van Holsteijn en Erik Persoon, Zwethlande en Andre van Kester, Loek Jansen (Ficus), Arjo Herbert, SV.CO (potchrysant).

Arthur van den Berg van LTO Groeiservice willen we bedanken voor het organiseren van de discussiebijeenkomsten van de BCO. De leden van de BCO willen we bedanken voor hun inbreng in de discussies:

- BCO spathiphyllum, ficus, potchrysant: Laurens van Dijk (Bestplant), Martin de Rek en Kees van Popering (Van der Voort Potplanten), Mart van Holsteijn (Zwethlande), Freek Jansen en Andre van Kester (Kwekerij Loek Jansen), Arjen van der Lee (Sjaloom), Arthur Houtepen (Gebr. Houtepen), Hans Padmos (Armada Young Plants), Ruud Nederpel (Gebr. Nederpel).
- BCO Kalanchoe, Bromelia, Phalaenopsis: Erwin van de Werken (Floricultura), Gert van Butzelaar (Bunnik Vriesea’s), Gerrit van Dop (Solisplant), Aad Scheffers (Kwekerij Estafet), Hans van Eijzeren (African Finest Cuttings), Eline de Vos (Corn.Bak), Martin van Dijk en Peter van der Lugt (Levoplant), Leen Stofbergen (Stofbergen Plant Company), Maurice van den Hoorn (Van den Hoorn Orchideeën), Ike Vlieland (Fides), Dirk Uittenbogaard (SO Natural), Marco Koolhaas (LKP Plant), Peet van Noort (KP Holland), Richard Ter Laak (Ter Laak Orchids), Hans Kuilboer (Hans Kuilboer Potplantenkwekerij).
- BCO Lisianthus, Chrysant, Lelie: Jan Willem Aarse (Floralis), Robbert Kester (Miracle Flowers), Kees van Paridon (Paauw Lilies), Casper Slootweg (PPO-Lisse), Hans van den Berg (Kwekerij Berglust), Frank van Holst (Kwekerij Montana), Aike Post (Deliflor), Henk van Wijk (Janity Flowers).

1. Inleiding, doel en aanpak

1.1 Probleemstelling

In voorgaande jaren is niet alleen het belichte glastuinbouwareaal steeds verder toegenomen, maar er heeft zich ook een trend van steeds hogere belichtingsniveaus afgetekend. Daarnaast wordt de beschikbaarheid van goedkope en ‘schone’ CO₂ steeds minder vanzelfsprekend. Aan bepaalde gewassen (o.a. roos) is relatief veel onderzoek gedaan naar het effect van belichting en CO₂-dosering op de gewasfotosynthese en productie. Voor andere (belichte) gewassen is hierover nog nauwelijks iets bekend.

Zowel uit de wetenschappelijke literatuur als praktijkonderzoek (o.a. Plant Dynamics) blijken grote verschillen in licht- en CO₂-benuttingsefficiëntie tussen plantensoorten. Daarnaast is aangetoond dat het huidmondjesgedrag gedurende de dag enorme efficiëntieverschillen kan veroorzaken (zie Fig. 1). Ook kan de voorgeschiedenis van bladeren (o.a. op gebied van licht en CO₂) van grote invloed zijn. Concreet toepasbare kennis over de benutting van licht en CO₂ onder de bovengenoemde verschillende omstandigheden ontbreekt. Daarmee ontbreekt het de kwekers van een brede groep gewassen ook aan een praktisch handvat om deze bronnen rendabeler in te kunnen zetten. Doelgericht onderzoek maakt een efficiëntere benutting van assimilatielicht en CO₂ mogelijk. Kortom: Wanneer heeft het zin om te belichten en CO₂ te doseren, welk niveau is hierbij optimaal, en wanneer kost belichting en CO₂ dosering meer dan het oplevert!

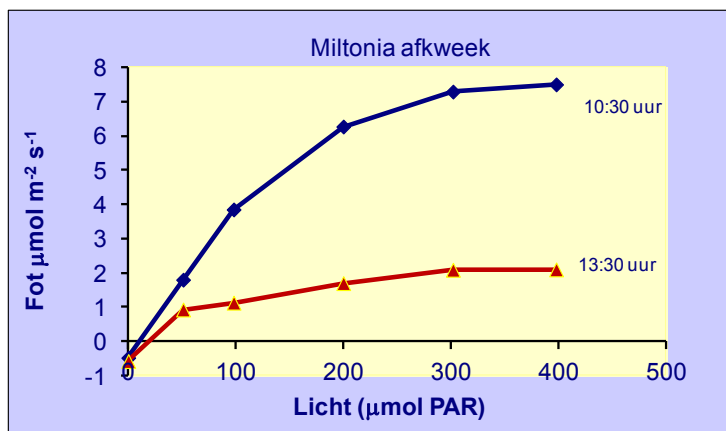


Fig. 1. Voorbeeld van een fotosynthesemeting bij oplopend licht (gemeten in de Licor-6400). Deze fotosynthese-respons curven waren op dezelfde dag en in dezelfde kas op 2 tijdstippen gemeten. De fotosynthese-respons in dit voorbeeld is 's middags zoveel lager, omdat de huidmondjes vrijwel gesloten waren. Op dit soort momenten gaat de plant zeer inefficiënt met licht om.

1.2 Doelstelling

Dit project beoogt kwekers van een brede groep gewassen een eenvoudig toepasbaar protocol te bieden om licht en CO₂ zo rendabel mogelijk in te kunnen zetten. De metingen leveren de vereiste kennis op om op basis van klimaatgegevens (instraling, CO₂ en seizoen) per gewas aan te kunnen geven wanneer belichting en CO₂-dosering het meest efficiënt worden benut. Tevens bieden de metingen inzicht in het effect van onder andere RV op de huidmondjesopening, hetgeen weer invloed heeft op de aan te bevelen CO₂ dosering en belichting.

Hiermee kunnen kwekers betere beslissingen maken wat betreft:

- ⇒ investeringen in belichtingsinstallaties.
- ⇒ wanneer en hoeveel belichten en CO₂-doseren per seizoen en tijdstip van de dag.
- ⇒ aanpassingen aan het kasklimaat (o.a. RV) om de benutting van licht en CO₂ te verhogen.

De kennis uit dit onderzoek is omgezet in een protocol dat voor vrijwel alle kwekers direct bruikbaar is, zonder de noodzaak tot grote investeringen. Deze aanpak is duidelijk verschillend van de hightech sensoren aanpak, welke over het algemeen een behoorlijke investering vraagt voor de aanschaf en aan tijd. Tot dusver is het gebruik van plantsensoren mede om die reden vooral weggelegd voor een beperkte groep bedrijven.

1.3 Aanpak

Door middel van fotosynthesemetingen is bepaald waar de grenswaarden liggen voor het efficiënt inzetten van belichting en CO₂-dosering. Tevens zijn de grenswaarden van de lichtintensiteit bepaald waarboven beter geschermd kan worden omdat er anders lichtstress optreedt.

Deze grenswaarden kunnen afhankelijk zijn van het:

- Plantsoort (en soms ras en/of stadium)
- Seizoen
- Tijdstip van de dag (voornamelijk nacht-dag en dag-nachtovergangen).

Tevens had de 'mate van detail' van de fotosynthese-metingen en de vertaling naar bruikbaarheid voor de kweker de aandacht.

Soorten:

Er zijn grote verschillen in licht- en CO₂-benuttingefficiëntie tussen plantensoorten (Fig. 2). Aan een diverse groep kasgewassen zijn gedetailleerde metingen van de fotosynthese en het huidmondjesgedrag gedaan. Van zowel snijbloemen als potplanten zijn representatieve rassen van een aantal soorten geselecteerd in samenspraak met de desbetreffende gewascommissies.

De volgende planten zijn gemeten:

- Potplanten (C3-fotosynthese): Spathiphyllum, Ficus en Potchrysant
- Potplanten (CAM en C3-fotosynthese): Bromelia, Phalaenopsis en Kalanchoë.
- Snijbloemen (C3-fotosynthese): Lelie, Lisianthus en Snijchrysant.

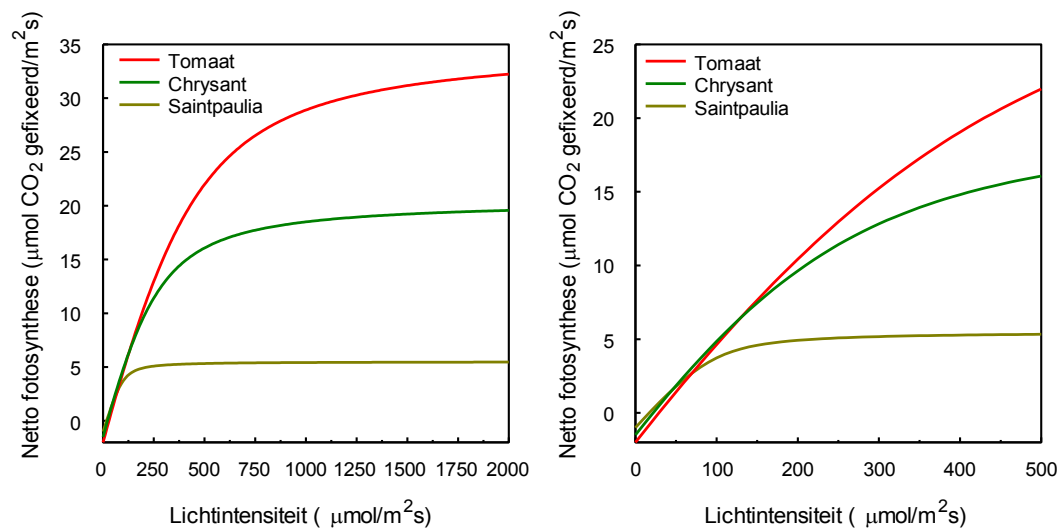


Fig. 2. Voorbeeld Lichtrespons-curven van drie verschillende planten met uiteenlopende lichtbenuttings-efficiënties. Het rechterfiguur geeft dezelfde data weer, maar dan ingezoomd op een lager lichtniveau.

Seizoenen:

De metingen vonden plaats over verschillende seizoenen om de effecten van de ‘voorgeschiedenis’, dat wil zeggen het lichtniveau en klimaat gedurende de afgelopen opkweekperiode, in kaart te brengen. De verwachting was dat planten die een periode met veel licht achter de rug hebben (najaar) licht efficiënter benutten dan planten die een donkerdere periode achter de rug hebben (einde winter). Zie voorbeeld in Fig. 3. Met deze kennis kunnen telers gebruik maken door hun bronnen rendabeler in te zetten. Er is gemeten in de zomer (augustus), het najaar (november) en het einde van de winter (februari).

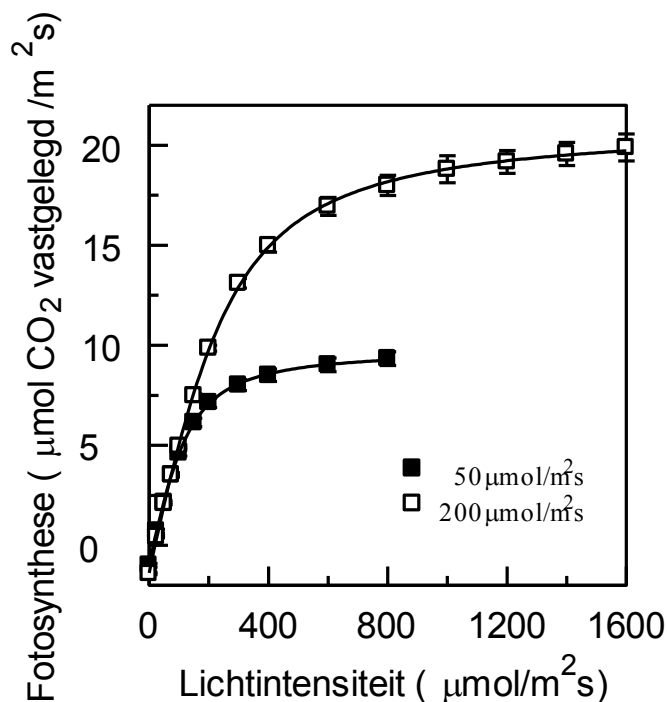


Fig. 3. Voorbeeld lichtrespons-curven van dezelfde cultivar komkommer opgegroeid bij laag en hoger licht (50 en bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Waarschijnlijk is het optimale niveau belichting en CO_2 -dosering hoger in het najaar dan in het voorjaar. Figuur uit proefschrift Govert Trouwborst (2011).

Tijdstippen op de dag:

De metingen volgden ook de fotosynthese en het huidmondjesgedrag over verschillende tijdstippen van de dag. Veel gewassen gaan een periode voor het ingaan van de nacht minder efficiënt met licht en CO_2 om, omdat de huidmondjes sluiten. Bij sommige gewassen sluiten de huidmondjes juist midden op de dag ('midday depression', zoals in Fig. 1). CAM-planten hebben juist 's nacht hun huidmondjes open. Inzicht in de efficiëntie over de dag waarmee de verschillende gewassen lichtenergie vastleggen en CO_2 opnemen is zeer waardevol. Op de momenten dat planten deze bronnen niet efficiënt of helemaal niet gebruiken kan in indien mogelijk het klimaat aangepast worden (bijvoorbeeld RV omhoog) om de efficiëntie te verhogen. Als dit niet gaat, kan de belichting en CO_2 -dosering beter uitgeschakeld worden om zinloze kosten en energieverbruik te voorkomen.

Mate van detail van de metingen:

Lichtrespons-curven, dat wil zeggen de reactie van de fotosynthesesnelheid op de lichtintensiteit, zijn in het verleden vaker gemeten aan diverse kasgewassen. Wat echter bij veel soorten nog ontbreekt is het detail rondom de lichtintensiteiten die voor de kweker van belang zijn. Lichtrespons-curven zijn vaak gebaseerd op fotosynthesemetingen bij een aantal lichtniveau's tussen de 0 en 1500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Kwekers belichten tussen de 30 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, dus juist wat er gebeurt rondom dat kleine stukje van de curve is interessant (zie Fig. 4). Hetzelfde geldt voor CO_2 : iedereen weet dat een verhoging van 380 naar 600 ppm de fotosynthese flink verhoogt. Maar wat gebeurt er nou precies tussen 600 en 1000 ppm? Is meer

dan 600 ppm zinvol, hoeveel en wanneer? In dit project is de fotosynthese in detail gemeten rondom de licht- en CO₂-niveau's die voor de kweker van belang zijn.

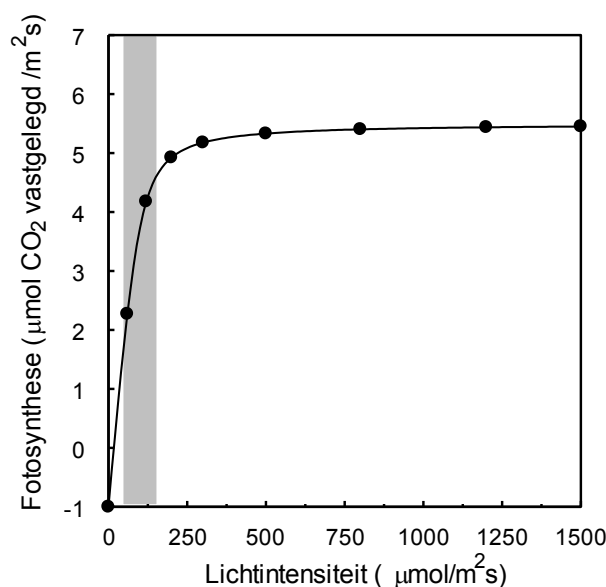


Fig. 4. Typische lichtrespons curve zoals vaak gemeten. De grijze vierkant geeft het gebied aan van de lichtintensiteiten die voor de kweker interessant zijn (in dit voorbeeld 50 tot 150 µmol/m²/s). Juist in dit gebied zal veel worden gemeten om tot een goed belichtingsadvies te komen. Alle meetpunten boven de 250 µmol/m²/s in dit voorbeeld zijn minder interessant voor een kweker, omdat de plant met zoveel licht al totaal niet meer efficiënt kan omgaan. Voor (licht)stress onderzoek zijn dit soort meetpunten wel interessant.

Vertaling naar bruikbaar protocol voor de kweker:

De meetresultaten zijn niet alleen weergegeven in een gedetailleerd onderzoeksrapport, maar ook vertaald in een bruikbaar protocol voor de kwekers. Dit protocol kunnen kwekers gebruiken om hun belichting, CO₂-dosering en klimaat beter op de gewasvraag af te stemmen. Zo kunnen de kwekers hun bronnen rendabeler inzetten en maakt de sector als geheel stappen wat betreft energie-efficiëntie en CO₂-verbruik. Daarnaast zijn voor de afzonderlijke gewascommissies die belang bij de resultaten hebben workshops georganiseerd waarin gerichte adviezen gegeven werden.

Meetlocatie:

Plantmateriaal kwam van praktijkbedrijven en werd samengebracht in een onderzoekskas. Na een korte stabilisatieperiode werden hieraan uitgebreide metingen verricht. Daarnaast werden controlemetingen gedaan op de praktijkbedrijven zelf. Voor de grondgebonden snijbloemen (Snijchrysant en Lisianthus) en waar het teeltklimaat een gezamenlijke standplaats van meerdere gewassoorten niet toeliet (Phalaenopsis) werden alle metingen uitgevoerd op de praktijkbedrijven. In samenspraak met de kwekers werden de randvoorwaarden opgesteld voor het teeltklimaat dat als representatief beschouwd mocht worden.

2. Bijlagen

CAM-potplanten:

2.1 Phalaenopsis

2.2 Bromelia

2.3 Kalanchoë

C3-potplanten:

2.4 Ficus

2.5 Spathiphyllum

2.6 Potchrysant

Snijbloemen:

2.7 Lelie

2.8 Lisianthus

2.9 Snijchrysant