

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Bouvardia



Govert Trouwborst, Sander Hogewoning & Sander Pot
Juli 2015

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Bouvardia

Juli 2015

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

www.plant-dynamics.nl
sander@plant-dynamics.nl

Deze studie naar grenswaarden voor een energie-efficiënte belichtingsstrategie en CO₂-dosering bij het gewas Bouvardia 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. Voor een snelle indruk van de bevindingen volstaat Bijlage 1 Protocol. In hoofdstuk 1 wordt een korte uitleg over fotosynthese gegeven.

© 2015 Bunnik, Plant Lighting B.V. & Randwijk, 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.

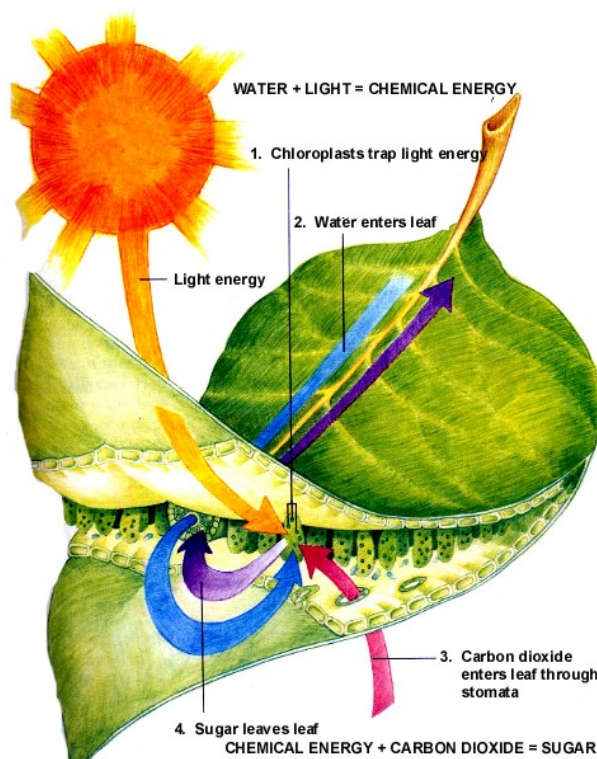
Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	4
1.1 Inleiding fotosynthese	4
1.2 Lichtrespons van de fotosynthese.....	6
1.3 CO ₂ -respons van de fotosynthese.....	7
2. Materiaal en methoden	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Plantmateriaal en meetcondities	8
2.3 Meten van de fotosynthese	9
3. Resultaten fotosynthesemetingen.....	11
3.1 Effect van cultivar op de fotosynthese?	11
3.2 Grenswaarden belichting per seizoen.....	11
3.3 Anders belichten begin en einde dag?.....	13
3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling	14
3.5 Temperatuurseffect op de fotosynthese?.....	15
3.6 Effect van een hogere lichtintensiteit SON-T?.....	16
3.7 Lichtstress in februari?	16
3.8 Grenswaarden CO ₂ -dosering.....	17
4. Conclusies en advies	19
Referenties.....	21
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Bouvardia	i
Bijlage 2. Omrekeningstabel Lux, Watt, μmol.....	iv

1. Inleiding

1.1 Inleiding fotosynthese

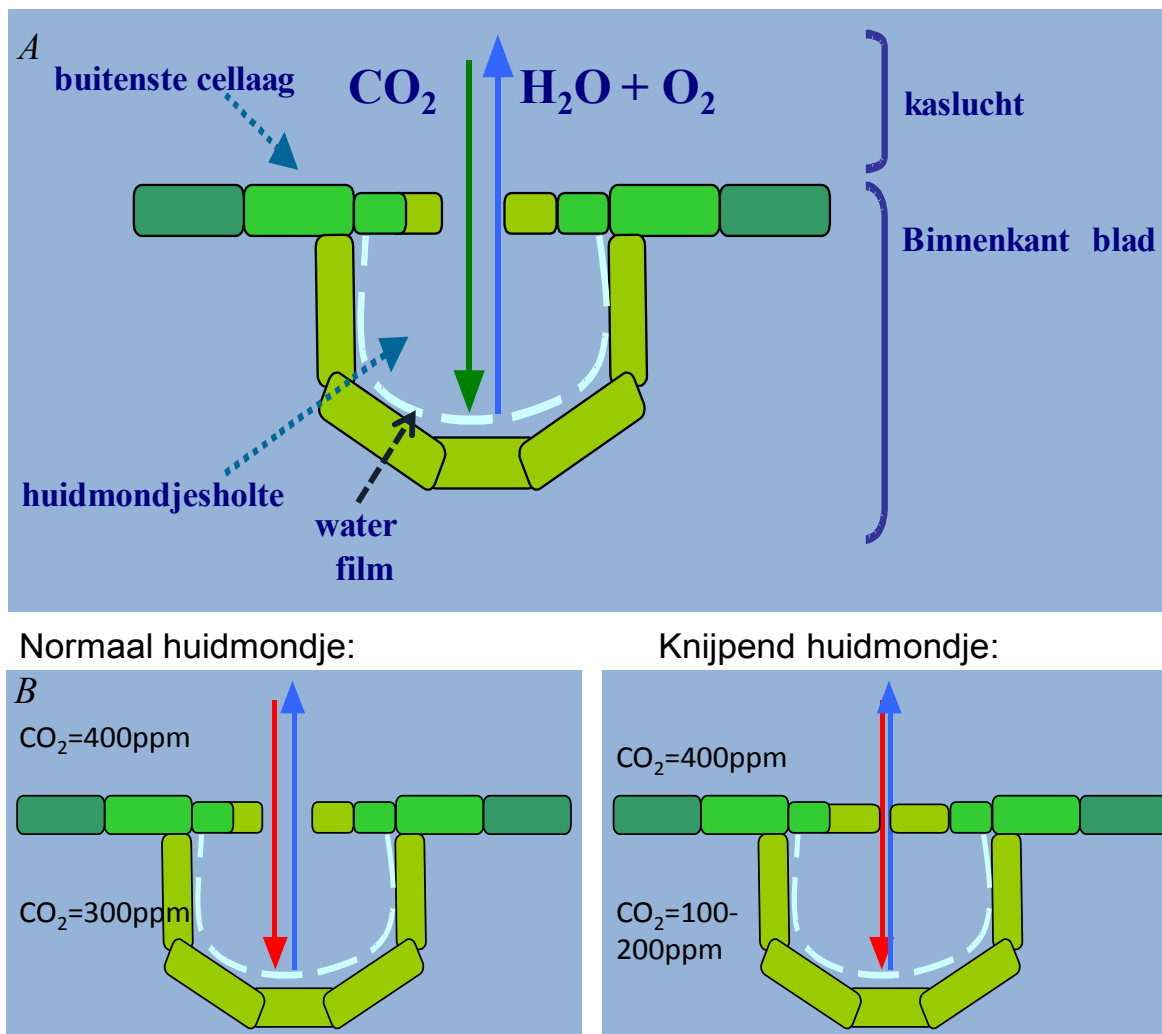
Planten nemen water en voedingsstoffen op via hun wortels en CO₂ via de huidmondjes in hun bladeren. Fotosynthese is het proces waarbij de plant met behulp van lichtenergie het opgenomen water en CO₂ omzet in suikers (assimilaten). De fotosynthese is dus de motor van de plant en CO₂ fungeert als brandstof. Door middel van fotosynthesemetingen kan worden vastgesteld in welke mate verschillende lichtintensiteiten benut worden voor de fotosynthese en dus de groei. Op basis hiervan kan er bepaald worden tot welke lichtintensiteit bijbelichten rendabel is en bij welke lichtintensiteit de belichting beter uitgeschakeld kan worden. Tevens kan worden bepaald bij welke intensiteit daglicht de plantstress te hoog wordt en er dus beter geschermd kan worden.



Figuur 1. Essentiële zaken rondom de fotosynthese: Lichtenergie wordt geabsorbeerd door het blad (1). Water komt binnen via de nerven (2). Tevens komt er CO₂ binnen via de huidmondjes (3). Met behulp van de lichtenergie worden er suikers gemaakt (4).

Fotosynthesemetingen bieden ook de mogelijkheid om de efficiëntie van de CO₂-opname bij verschillende CO₂-concentraties te meten. Uit deze metingen komt naar voren tot waar CO₂ doseren toegevoegde waarde heeft voor de fotosynthese. Uit de metingen kan tevens de geleidbaarheid van de huidmondjes berekend worden. Huidmondjes zijn poriën in het blad waardoor water kan verdampen en de CO₂ naar binnen kan gaan (zie nr. 3 in Figuur 1 en Figuur 2A). Bij een grotere geleidbaarheid van de huidmondjes komt de CO₂ gemakkelijker het blad

binnen en verdampt de plant tegelijkertijd ook meer. De plant is in staat de openingsgrootte van deze poriën actief te reguleren. Als de verdamping te hard gaat, kan de plant de huidmondjesopening beperken (knijpende huidmondjes), zodat de plant minder water verliest. De keerzijde van deze beperking is dat de CO_2 minder goed naar binnen kan. Hierdoor kan het interne CO_2 -gehalte in het blad fors dalen ten opzichte van dat van de kaslucht. Als de huidmondjes open zijn ligt de interne CO_2 -concentratie op ongeveer 70% van de concentratie in de buitenlucht, maar dit kan bij knijpende huidmondjes dalen tot bijvoorbeeld 25% (Zie Figuur 2B). De consequentie is dat de fotosynthese bij knijpende huidmondjes fors lager ligt dan bij normaal geopende huidmondjes.



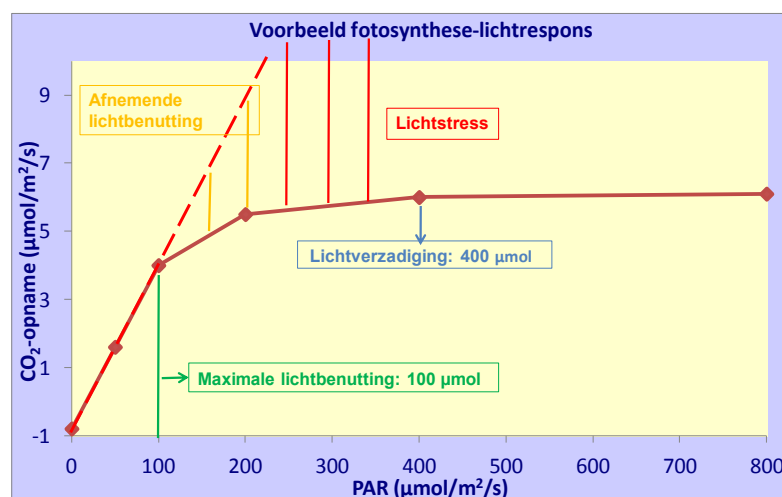
Figuur 2. Schematische tekening van een huidmondje (A) en het verschil tussen de CO_2 -concentratie in de kaslucht en in het blad door de mate van huidmondjesopening (B).

Bouvardia is, net als de meeste tuinbouwgewassen, een C_3 -plant. Bij de C_3 -planten vindt de opname van CO_2 in het licht plaats en ondervindt hinder van zuurstof. Voor een efficiënte fotosynthese bij C_3 -planten is het dus essentieel dat de huidmondjes goed openen. Bij slechte huidmondjesopening is de CO_2 concentratie in het blad laag en wordt teveel O_2 in plaats van

CO₂ gebonden aan Rubisco¹. Dat kost veel energie. Redenen dat een huidmondje dicht kan gaan zijn onder andere: een te hoog CO₂-niveau in de kaslucht, een beperking in de wateropname, of een te hoog dampdruk-deficit tussen kaslucht en blad (VPD)². Als bij een hoge instraling een te hoge VPD ontstaat waardoor de huidmondjes sluiten, dan levert voorkomen van een te hoge VPD door op tijd te screenen soms meer netto resultaat op dan wat het verlies aan licht kost.

1.2 Lichtrespons van de fotosynthese

Het is algemeen bekend dat een hogere lichtintensiteit leidt tot een hogere fotosynthesesnelheid (Figuur 3). Dit verband verloopt eerst lineair (1% meer licht = 1% meer fotosynthese), bij hogere lichtintensiteiten neemt de toegevoegde waarde van licht af (1% meer licht < 1% meer fotosynthese), en bij nog hogere lichtintensiteiten is de fotosynthese lichtverzadigd (1% meer licht = 0% meer fotosynthese) en ontstaat lichtstress. Let op: alle lichtrespons-metingen volgens onderstaand voorbeeld zijn in dit onderzoek uitgevoerd aan bladeren bovenin het gewas. Het verval in rendement waarmee licht benut wordt bij toenemende lichtintensiteiten is voor een heel gewas minder steil dan voor een enkel blad.



Figuur 3. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit. Zolang als de fotosynthese meeloopt met de rood gestreepte lijn is het lichtrendement voor de fotosynthese 100%. Naarmate de 2 lijnen verder uit elkaar gaan lopen (weergegeven via de oranje en rode verticale lijnen) is er sprake van een steeds lager lichtrendement. Bij een afnemend lichtrendement geeft belichten steeds minder toegevoegde waarde. Bij een te hoge lichtintensiteit ontstaat zelfs lichtstress.

¹ Dit proces wordt fotorespiratie genoemd. Voor meer uitleg over fotorespiratie, zie Pot *et al.* 2015.

² Het dampdruk-deficit tussen blad en kaslucht (VPD) is de drijvende kracht achter gewasverdamping. De mate van verdamping is een samenspel van de *drijvende kracht* (=VPD) en de *weerstand* (=huidmondjesgeleidbaarheid). Hetzelfde principe is aanwezig bij water uit de kraan. De waterstraal wordt bepaald door de *druk* in de waterleiding en de *openingsstand* van de kraan.

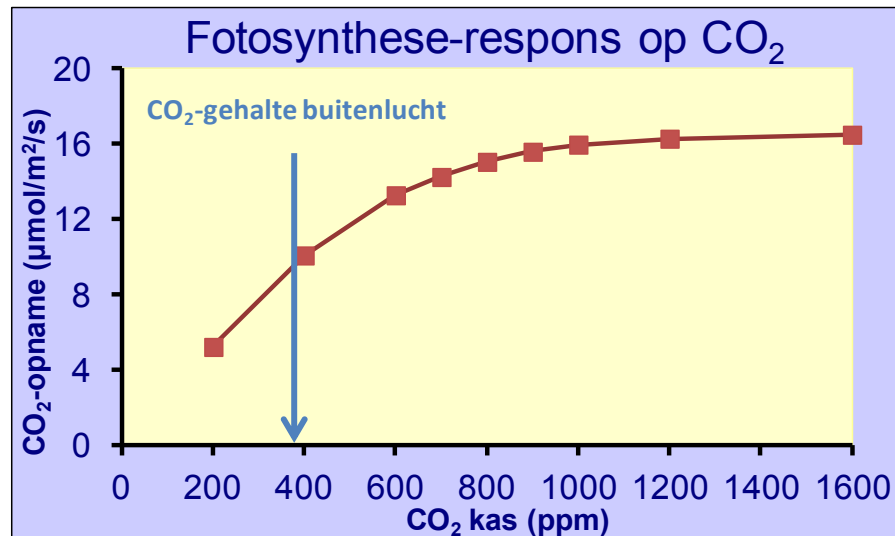
De VPD wordt als volgt bepaald:

1. Bepaling van de dampdruk in de kaslucht (berekend uit de temperatuur en de RV van de kaslucht)
2. Bepaling van de dampdruk in de plant (berekend uit de planttemperatuur en 100% RV in het blad)
3. Het verschil is de VPD (uitgedrukt in kPa, niet te verwarren met vochtdeficit ofwel VD, uitgedrukt in g/m³)

Over het algemeen is bij een hoge RV de VPD laag en bij een lage RV de VPD hoog. Echter, bij een gelijkblijvende temperatuur en RV van de kaslucht, kan de VPD toch toenemen door een stijgende planttemperatuur.

1.3 CO₂-respons van de fotosynthese

De respons van de fotosynthesesnelheid van C₃-bladeren op CO₂ is vergelijkbaar met de lichtrespons: van lage naar hoge CO₂-concentraties in de kas neemt de fotosynthese eerst snel toe om vervolgens bij hoge concentraties af te vlakken (Figuur 4).



Figuur 4. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemend CO₂. Van lage naar hoge CO₂-concentraties in de kas neemt de fotosynthese eerst snel toe om vervolgens bij hoge concentraties sterk af te vlakken.

Wat betreft de grenzen aan CO₂-dosering wordt nogal eens uitgegaan van de gedachte 'baat het niet, dan schaadt het niet'. Echter, het is om een aantal redenen van belang dat de optimale CO₂-concentratie wordt bepaald en dat beter niet méér CO₂ gedoseerd wordt. Hoge CO₂-concentraties in de kas kunnen namelijk de volgende nadelen hebben:

1. Rookgasverontreiniging: verhoogde concentraties NO_x en/of ethyleen in de kas → schade aan gewas / knopval
2. Kosten: bij gebruik van zuivere CO₂ speelt het probleem van rookgasverontreiniging niet, maar leidt meer CO₂ doseren dan nodig is wel tot onnodige kosten
3. Sluiting van de huidmondjes; hoog CO₂ kan als 'trigger' dienen voor huidmondjessluiting, waardoor de opname van CO₂ wordt bemoeilijkt. Sommige gewassen zijn hiervoor gevoeliger dan andere.
4. Verwende bladeren: Door langdurige blootstelling aan verhoogd CO₂ kan Rubisco (het enzym dat CO₂ bindt om suikers te maken) 'lui' worden. Dit hoeft geen probleem te zijn zolang de CO₂ concentratie maar hoog genoeg is. Echter, als de CO₂-concentratie door het openen van de luchtramen wegzakt, dan wordt het wel aanwezige CO₂ slechter opgenomen, met als gevolg daling van de productie.

2. Materiaal en methoden

2.1 Inleiding

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:

- Seizoen
- Tijdstip van de dag (voornamelijk nacht-dag en dag-nachtovergangen)
- Ras en/of stadium

2.2 Plantmateriaal en meetcondities

Gewas: Bouvardia

Cultivar: 'Fresco' en 'Supreme'

Plantstadium / leeftijd: meetplanten staan 20-24 dagen in korte dag (plantdatum maart 2013).

Er is gemeten in de zomer (augustus 2014), het late najaar (november 2014) en het einde van de winter (februari 2015) aan jong volgroeide / onbeschaduwde bladeren. Voor details over de teeltcondities tijdens de meetperioden, zie Tabel 1.

Tabel 1. Teeltcondities tijdens de meetperioden.

	Augustus 2014	November 2014	Februari 2015
PAR in kas (piek)	800-1000 μmol Overwegend zonnig	200-300 μmol Overwegend bewolkt	500-600 μmol Zonnig / half bewolkt
Belichting $\mu\text{mol SON-T}$	Geen	74 μmol Is overwegend aan;	74 μmol Is overwegend aan;
Daglength (KD)	10,5 uur	10,5 uur	10,5 uur
T range dag / nacht	25-27 / 18	25-26 / 18	25-27 / 16-17
T range nacht	18	18	16-17
Overige opmerkingen	500 Watt schermen (XLS 35F Harmony Revolux) Doek ligt voornamelijk dicht	400 Watt schermen (nieuw doek: XLS 45F Harmony Revolux). Doek loopt even dicht op meetdag 2.	300 Watt schermen (XLS 45F Harmony Revolux) Doek loopt tijdens meetdagen af en toe open / dicht

2.3 Meten van de fotosynthese

Met een draagbare fotosynthesemeter (LI-COR 6400, Foto 1) zijn er twee typen metingen verricht:

- Lichtrespons metingen
- CO₂-respons metingen

Voor de metingen van de lichtrespons wordt een blad ingeklemd (zie Foto 1). Vervolgens wordt de fotosynthese-snelheid gemeten bij verschillende lichtintensiteiten. De diverse lichtintensiteiten worden gerealiseerd door een interne LED-lamp in de meetkop. Er is voor gekozen om te meten bij een oplopende reeks van lichtintensiteiten bij een vast niveau van 600 ppm CO₂. Uit de metingen is berekend hoe efficiënt de bladeren de verschillende lichtintensiteiten benutten voor de fotosynthese. Hieruit kunnen twee dingen worden bepaald:

1. Bij welke lichtintensiteit het rendeert om het lamplicht aan te houden dan wel af te schakelen.
2. Bij welke lichtintensiteit er lichtstress aan het fotosynthesesysteem ontstaat zodat er beter beschermd kan worden.

De metingen zijn altijd verricht aan net volgroeide onbeschaduwde bladeren. Dat zijn de bladeren die het meeste licht opvangen en dus het meeste bijdragen aan de gewasproductiviteit. Voor alle type metingen zijn herhalingsmetingen uitgevoerd aan minimaal 5 verschillende bladeren.



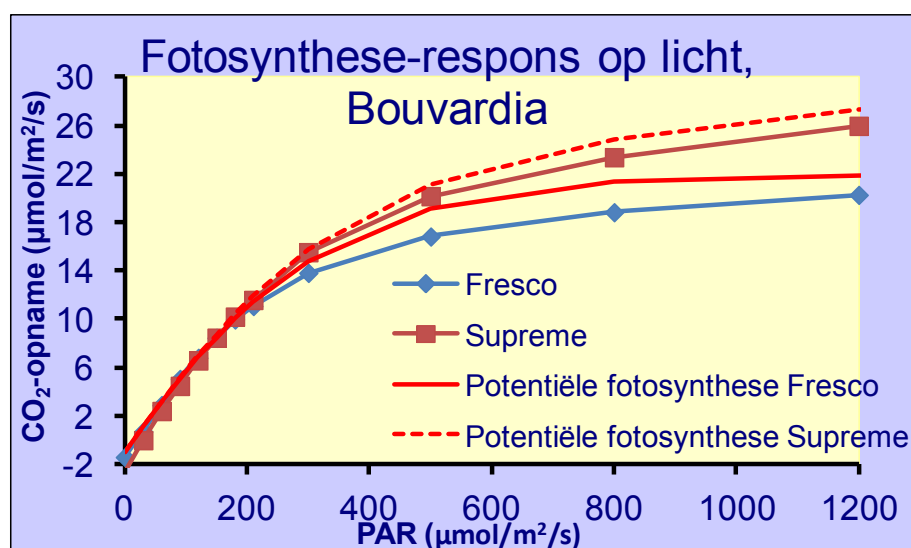
Foto 1. LI-COR-6400 draagbare fotosynthesemeter voor het meten van de CO₂ opname (fotosynthese) in de praktijk. In het apparaat kunnen PAR, CO₂, temperatuur en vocht gevarieerd worden. Op deze manier is de fotosynthese-snelheid gemeten bij oplopend PAR of CO₂ aan een ingeklemd blad (rode pijl).

Voor de CO₂-respons metingen wordt eveneens een blad ingeklemd, maar dan wordt de lichtintensiteit constant gehouden en wordt de fotosynthese-afhankelijkheid van de CO₂-concentratie in kaart gebracht. Er is gemeten bij de volgende CO₂ concentraties: 200, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, en 1200 ppm. Op basis van deze metingen kan er een gericht advies worden gegeven aangaande het gewenste CO₂-niveau in de kas.

3. Resultaten fotosynthesemetingen

3.1 Effect van cultivar op de fotosynthese?

De fotosynthese-lichtrespons verschilde bij lichtintensiteiten van 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en lager nauwelijks tussen de cultivars 'Fresco' en 'Supreme'. De fotosynthese bij hogere lichtniveaus ligt bij 'Fresco' wat lager (Figuur 5). In figuur 5 wordt ook de potentiële fotosynthese weergegeven (rode lijnen). Deze lijnen zijn bepaald door middel van chlorofyl-fluorescentie (voor uitleg chlorofyl-fluorescentie zie Pot *et al.*, 2011). Of de gerealiseerde fotosynthese in de buurt komt van de rode lijn is onder andere afhankelijk van de beschikbaarheid van CO_2 en de mate van huidmondjesopening. Onder hogere lichtniveaus was de potentiële fotosynthese van 'Supreme' hoger dan van 'Fresco'. Tevens werd er gemiddeld een fors hogere huidmondjesopening gemeten bij 'Supreme' ten opzichte van 'Fresco'. In februari was de huidmondjes-geleidbaarheid voor water voor Supreme 450 $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 300 $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$ voor Fresco. Wat inhoudt dat 'Supreme' bij een gelijk lichtniveau en RV in de kas per oppervlak blad meer zal verdampen dan 'Fresco'.



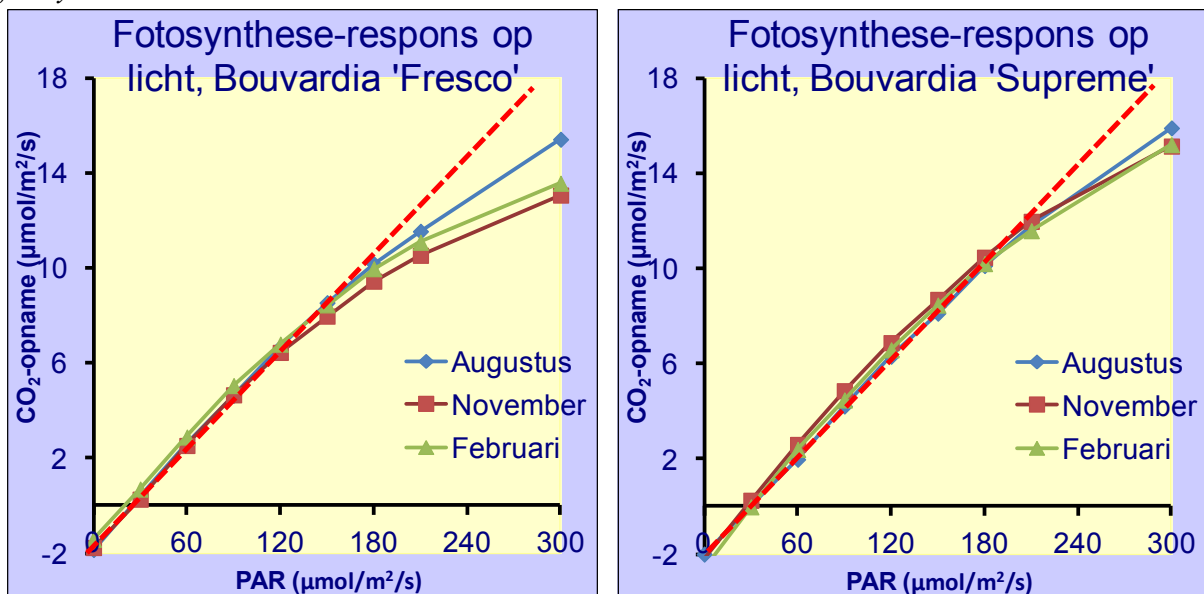
Figuur. 5. Lichtrespons op de fotosynthese van Bouvardia 'Fresco' en 'Supreme'. De rode lijn geeft aan wat potentieel haalbaar is. Of de gerealiseerde fotosynthese in de buurt komt van de rode lijn is o.a. afhankelijk van de beschikbaarheid van CO_2 en de huidmondjesopening. Alle lichtrespons-curves zijn gemeten bij 600 ppm CO_2 (data februari).

3.2 Grenswaarden belichting per seizoen

In onderstaande figuur (behorend bij tabel 2) staat de gemiddelde lichtrespons weergegeven per seizoen. De lijnen zijn 'ingezoomd' op lage lichtintensiteiten (tot 300 μmol). Doordat de fotosynthese-capaciteit (deze is gemeten bij lichtverzadiging) in november en februari wat lager ligt dan in de eerdere maanden (tabel 2), neemt het lichtrendement voor deze bladeren sneller af dan voor bladeren in augustus. Vooral bij de hogere lichtintensiteiten ligt de fotosynthese-capaciteit hoger bij bladeren die aan veel licht zijn aangepast (zie lijn augustus in figuur bij tabel 4). In november blijft het lichtrendement boven 95% tot een intensiteit lamplicht plus

daglicht van 120 μmol voor 'Fresco' en 180 μmol voor 'Supreme' (Tabel 2). Boven deze lichtintensiteit daalt het lichtrendement snel en wordt het sneller onrendabel om door te gaan met belichten. Verschillen tussen lichtrendement in november en februari waren gering.

Tabel 2. Verloop van het fotosyntheserendement bij toenemend lichtniveau voor Bouvardia 'Fresco' en 'Supreme'. Zolang als de gemeten lijnen evenwijdig met de rode stippellijn lopen is het fotosyntheserendement 100%.



PAR daglicht + lamplicht	augustus	november	februari	PAR daglicht + lamplicht	augustus	november	februari
0-30	100%	100%	100%	0-30	100%	100%	100%
30-60	100%	100%	100%	30-60	100%	100%	100%
60-90	100%	100%	100%	60-90	100%	100%	100%
90-120	100%	95%	93%	90-120	100%	100%	100%
120-150	100%	82%	88%	120-150	100%	97%	100%
150-180	87%	79%	81%	150-180	100%	95%	93%
180-210	73%	58%	59%	180-210	88%	81%	74%
210-300	69%	45%	44%	210-300	74%	56%	64%
300-500	34%	24%	24%	300-500	42%	29%	37%
500-800	15%	10%	11%	500-800	19%	13%	18%

Concreet betekent dit het volgende voor een aantal voorbeeldsituaties:

- *Situatie 1.* De lampen met een lichtintensiteit van 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan in de winter om 7:00 's ochtends aan en de lichtintensiteit aan daglicht is verwaarloosbaar → Het rendement voor lamplicht op de fotosynthese is 100%.
- *Situatie 2.* De lampen met een lichtintensiteit van 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan om 10.00 's ochtends aan. Op een bewolkte dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas zo'n 60

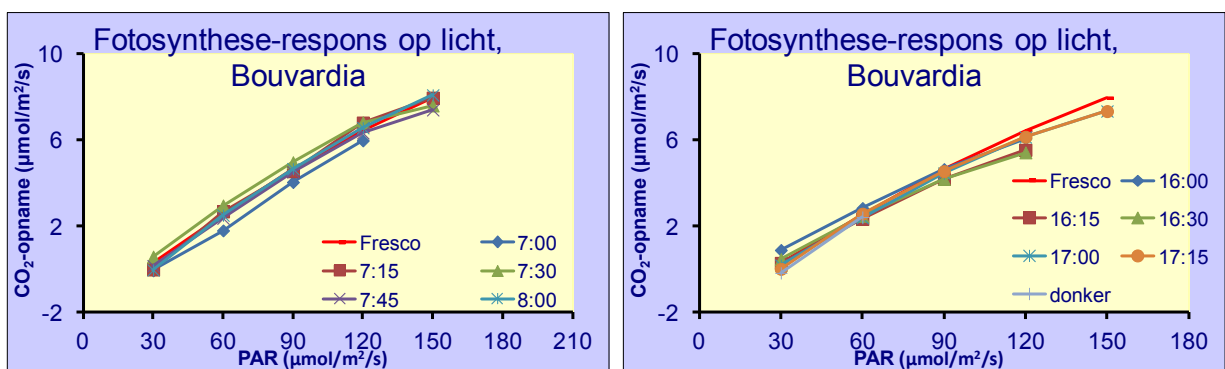
$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. → Bij elkaar is er dan $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht in de kas → Het rendement voor lamplicht op de fotosynthese is voor ‘Fresco’ 100-93% en voor ‘Supreme’ 100%.

- *Situatie 3.* De lampen met een lichtintensiteit van $60 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan om 10.00 ’s ochtends aan. Op een heldere dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas al $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ → Bij elkaar is er dan $210 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht in de kas → Het rendement van het lamplicht op de fotosynthese zakt voor ‘Fresco’ voor de eerste $30 \mu\text{mol}$ naar 81% en voor de tweede $30 \mu\text{mol}$ naar de 59%. Voor ‘Supreme’ is dit respectievelijk 93% en 74%. Hier kan zeker voor ‘Fresco’ de overweging gemaakt worden om, indien mogelijk, de helft van de belichting af te schakelen.

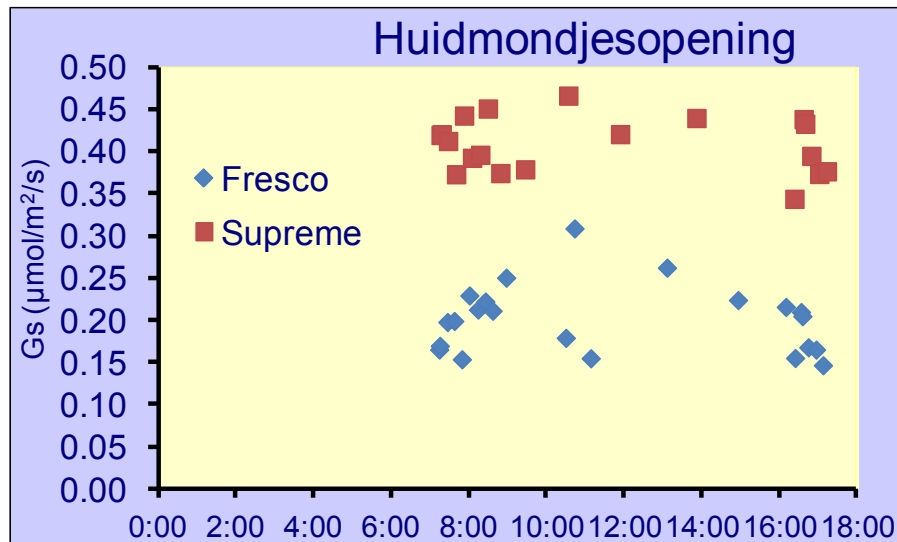
Een rendement van 100% lichtbenutting is geen vereiste; soms zijn de kwaliteitseisen en een strak teeltschema overwegingen om bij een lager rendement het licht toch aan te laten. De balans tussen de extra kosten van belichting tegenover de meeropbrengst door de hogere fotosynthese en/of andere kwaliteitsaspecten bepalen waar het economische optimum uiteindelijk ligt.

3.3 Anders belichten begin en einde dag?

Bij het gemeten gewasstadium is er niet of nauwelijks sprake van een opstart-effect van de fotosynthese. De eerst gemeten curve van ‘Fresco’ laat om 7:00 zien dat de fotosynthese iets gelimiteerd is. Dit wordt veroorzaakt door een iets verlaagde ETR (ETR staat voor elektronentransport, de snelheid van de lichtreactie van de fotosynthese. Voor details, zie Pot *et al.* 2011)) maar niet door de huidmondjes. Deze stonden direct al ver genoeg open (Figuur 7). Aan het einde van de dag werd er voor ‘Fresco’ lichte limitatie waargenomen bij een lichtintensiteit vanaf $120 \mu\text{mol}$. Om 16:45 liep het verduisteringsdoek al dicht zodat deze lichtintensiteit al niet meer voorkwam (tot 17:15 bleef alleen het lamplicht van $60 \mu\text{mol}$ over). Bij ‘Supreme’ werd er geen limitatie aangetroffen. Dit meetresultaat komt overeen met eerdere fotosynthese-metingen (Trouwborst en Hogewoning, 2014): nauwelijks tot geen effect in het korte-dag stadium maar in het lange dag-stadium (12 weken) werd soms een sterkere limitatie door dichtlopende huidmondjes gemeten.



Figuur 6. Effect van start en einde van de dag op de fotosynthese-lichtrespons van ‘Fresco’ in november. De daglengte liep van 7:00-17:15. De rode lijn geeft de waarden van de fotosynthese van overdag weer.



Figuur 7. Verloop van de huidmondjesopening (G_s) over de dag in november. De daglengte liep van 7:00-17:15. Te zien is dat in november de huidmondjes van begin tot einde dag open zijn. Tevens is de G_s van 'Supreme' fors hoger dan van 'Fresco'.

3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling

Bij de getekende rode pijlen in de figuur bij Tabel 4 is het lichtrendement dermate laag dat langdurige blootstelling schade aan het fotosynthese-systeem in het blad kan geven. Bij Bouvardia-cultivars die gevoelig zijn voor bladschade wordt schermen aangeraden. Deze drempelwaarde wordt in november en februari duidelijk eerder bereikt dan in augustus.

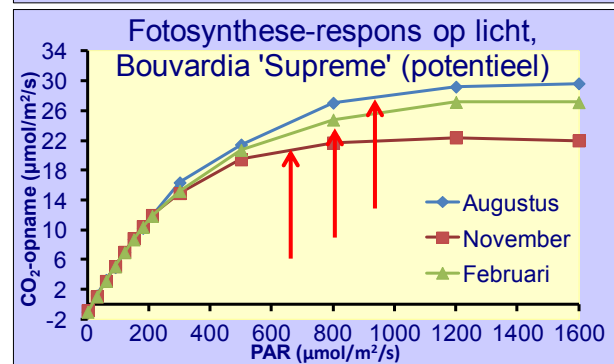
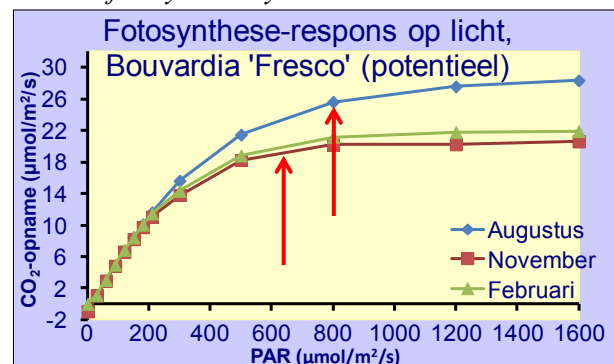
Tabel 4. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat aan het fotosynthesesysteem.

'Fresco'

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus	800	~530
November	650	~430
Februari	650	~430

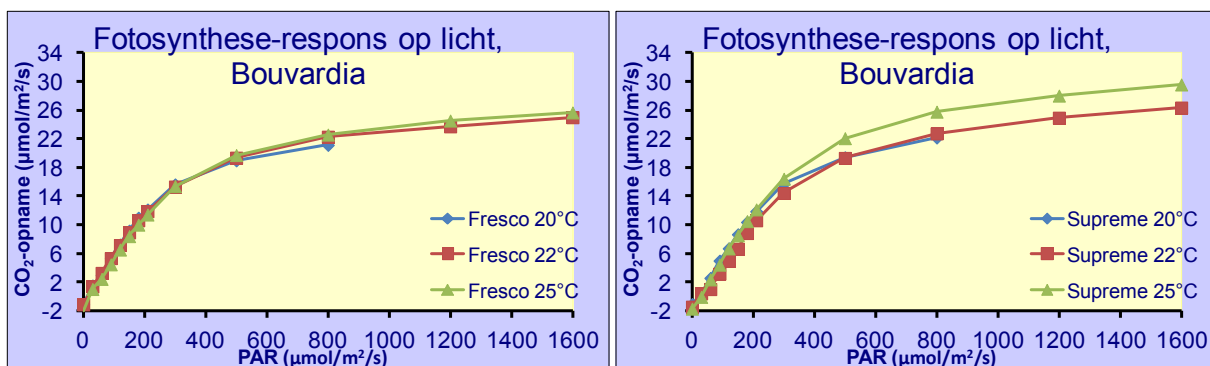
'Supreme'

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus	900	~600
November	650	~430
Februari	800	~530



3.5 Temperatuurseffect op de fotosynthese?

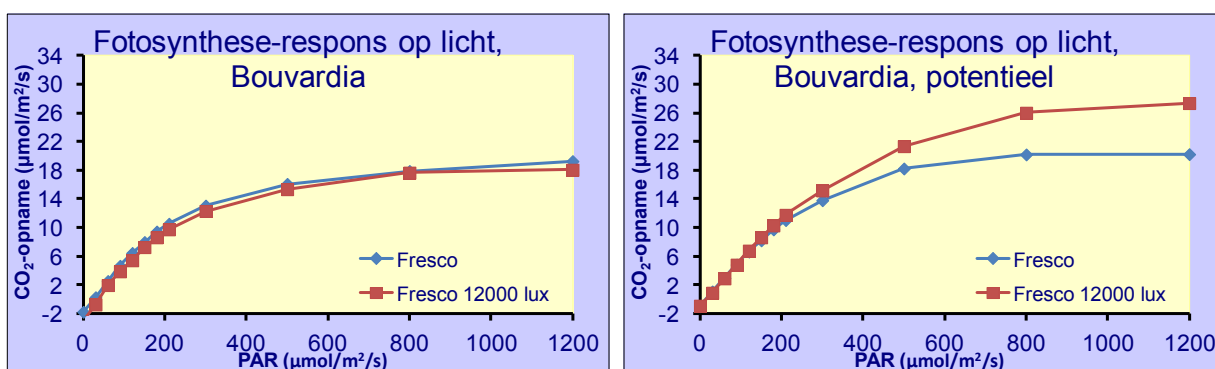
Figuur 8 geeft het effect van temperatuur op de lichtresponse van de fotosynthese weer. Bij 'Fresco' werden er geen verschillen gemeten tussen 20-25°C. Bij 'Supreme' is te zien dat een hogere temperatuur de fotosynthese per bladoppervlak alleen iets verhoogt bij de hogere lichtintensiteiten.



Figuur 8. Lichtrespons van 'Fresco' en 'Supreme' uitgesplitst naar temperatuur (gemeten in augustus).

3.6 Effect van een hogere lichtintensiteit SON-T?

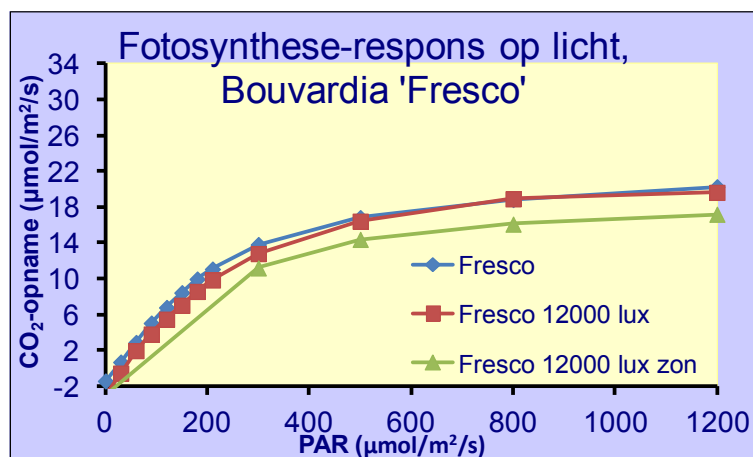
Er zijn in november en februari enkele metingen gedaan aan planten die onder een hogere lichtintensiteit stonden (100 μmol in plaats van 60 μmol , planten in de laatste kap aan de zuidgevel). Er werden geen verschillen in lichtrespons op de fotosynthese gemeten (Figuur 9). Wel was in beide maanden de potentiële fotosynthese (gemeten via chlorofyl-fluorescentie) fors hoger van de planten onder het hogere lichtniveau. Opvallend was dat de huidmondjesopening onder het hogere lichtniveau fors lager lag (150 ten opzichte van 250 $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$ in november en 150 tegen 300 $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$ in februari). De reden hiervoor is niet duidelijk. Mogelijk is er een verband met het feit dat op het meetmoment de planten al een tijd vol in de zon stonden (zuidgevel) en hierdoor mogelijk beperkte waterstress hadden. ‘Supreme’ heeft onder een hoger SON-T-niveau wel een hogere fotosynthese bij de hogere lichtintensiteiten (Trouwborst en Hogewoning, 2014), waarschijnlijk omdat de huidmondjesopening hier altijd hoger ligt dan bij ‘Fresco’.



Figuur 9. Lichtrespons van ‘Fresco’ bij twee niveaus SON-T gemeten in november, de metingen van februari lieten hetzelfde beeld zien (zie figuur 10). Nb. de linker figuur laat de gerealiseerde fotosynthese zien en de rechter figuur de potentiële fotosynthese (zonder beperkingen van de huidmondjes).

3.7 Lichtstress in februari?

In het vroege voorjaar kan Bouvardia last hebben van bladverbranding bij een te scherpe zon. Er zijn in februari enkele verkennende metingen verricht om een mogelijke oorzaak te achterhalen. Deze metingen zijn bij ‘Fresco’ uitgevoerd. Figuur 10 laat zien dat de lichtrespons van ‘Fresco’ in de volle zon lager ligt dan de andere metingen. Dit is terug te voeren op een lagere huidmondjesopening. Deze was in volgorde van de lijnkleuren blauw, rood en groen in Figuur 10 respectievelijk 300, 150 en 130 $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$. Ten opzichte van verschillende andere (pot)planten zoals Anthurium (zie Pot *et al.* 2015) kan de laagste huidmondjesopening nog hoog genoemd worden. De reden voor deze verlaagde huidmondjesopening is niet duidelijk. Door de hoge bladtemperatuur van 30°C kan een te hoge VPD een oorzaak zijn, maar lichte waterstress (zie paragraaf 3.6) is ook mogelijk. Er werd (nog) geen lagere potentiële fotosynthese gemeten. Bij januari-metingen bij ‘Supreme’ werd wel schade aan de ‘lichtreactie’ (fotosysteem II) van de fotosynthese geconstateerd (Trouwborst en Hogewoning, 2014). Schade aan de ‘lichtreactie’ van de fotosynthese geeft eerder vervolgschade dan knijpende huidmondjes. Het is aan te bevelen om in deze periode tijdig te screenen (Tabel 4).



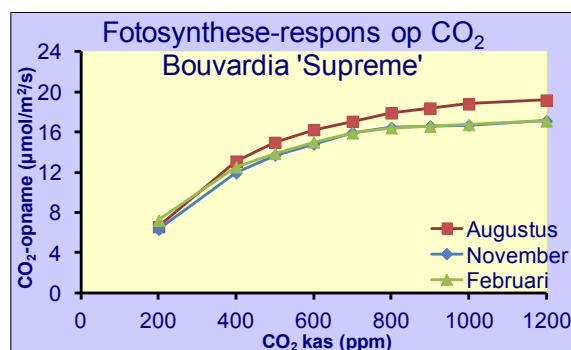
Figuur 10. Lichtrespons van 'Fresco' bij twee niveaus SON-T gemeten in februari, waarbij de groene lijn gemeten is aan bladeren in de volle zon. De potentiële fotosynthese was niet lager, maar de Gs wel (in volgorde van blauwe, rood, groen: 300, 150 en 130 mmol/m²/s). De bladtemperatuur van deze bladeren lag rond de 30°C.

3.8 Grenswaarden CO₂-dosering

Net als de fotosynthese-respons op toenemend licht laat de fotosynthese-respons op toenemend CO₂ een verzadiging zien: naarmate er meer CO₂ gedoseerd wordt, wordt de toename in CO₂-opname (fotosynthese) steeds kleiner. Uit Tabel 4 blijkt dat bij een lichtniveau van 300 μmol het verzadigingsniveau voor CO₂ rond de 700-800 ppm wordt bereikt. Bij een hoog lichtniveau stijgt de procentuele toename in fotosynthese door CO₂ dosering enigszins (Tabel 5). Tevens ligt het niveau van CO₂-verzadiging iets hoger: 800-900 ppm. Vanaf zo'n 1000 ppm nam de huidmondjesopening heel licht af. Deze niveaus kunnen dus zeker bij Fresco beter vermeden worden!

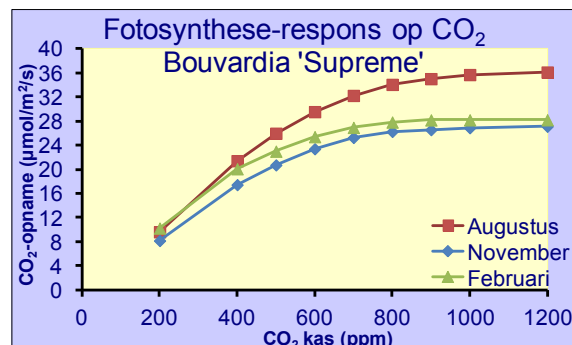
Tabel 4. Rendement CO₂-dosering bij een lichtniveau van 300 μmol/m²/s PAR van Bouvardia 'Supreme'. 'Fresco' liet eenzelfde soort patroon zien.

CO2 in kas (ppm)	augustus % t.o.v. 400ppm	november	februari
200	50%	53%	58%
400	100%	100%	100%
500	114%	115%	111%
600	124%	124%	120%
700	130%	134%	127%
800	137%	138%	131%
900	140%	139%	132%
1000	144%	140%	134%
1200	146%	143%	137%



Tabel 5. Rendement CO₂-dosering bij verzadigend lichtniveau (1200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) van Bouvardia 'Supreme'. 'Fresco' liet eenzelfde soort patroon zien.

CO ₂ in kas (ppm)	augustus % t.o.v. 400ppm	november	februari
200	45%	47%	51%
400	100%	100%	100%
500	121%	119%	115%
600	138%	134%	127%
700	151%	145%	134%
800	159%	151%	139%
900	164%	152%	140%
1000	167%	154%	140%
1200	169%	156%	141%



In absolute zin heeft CO₂ steeds meer effect naarmate er meer licht is. Een getallenvoorbeeld maakt dit duidelijk:

- Lichtintensiteit in de kas is 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$: bij 400 ppm is de fotosynthese 5.0 en bij 800 ppm neemt de fotosynthese 50% toe → Dit geeft een toename van 2.5 naar 7.5.
- Lichtintensiteit in de kas is 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$: bij 400 ppm is de fotosynthese 15.0 en bij 800 ppm neemt de fotosynthese weer 50% toe → Dit geeft een toename van 7.5 naar 22.5.

4. Conclusies en advies

Bouvardia kan—fotosynthetisch gezien—redelijk veel licht aan, maar duidelijk minder dan bijvoorbeeld een tomaten- of chrysantengewas. Gezien het feit dat er in de zomer een milde lichtscherming nodig is, is ook voor dit gewas het gebruik van een (diffuus) coating of scherm het overwegen waard. In Tabel 7 staan de grenzen voor maximale lichtbenutting voor de fotosynthese, het CO₂-verzadigingsniveau en het lichtniveau waarboven lichtstress kan optreden.

Tabel 7. Grenswaarde lichtintensiteit die nog voor 100% benut wordt en adviezen CO₂-dosering en lichtscherming.

	100% lichtbenutting (daglicht+lamplicht) tot aan: (‘Fresco’/‘Supreme’)	CO ₂ -maximum	Lichtverzadiging (lichtstress), schermen bij: (‘Fresco’/‘Supreme’)
Augustus	150 / 180 µmol	800-900 ppm	800 / 900 µmol
November	120 / 150 µmol	700-800 ppm	650 / 650 µmol
Februari	120 / 150 µmol	700-800 ppm	650 / 800 µmol

Een aandachtspunt voor de teelt is het grote verschil in huidmondjesopening tussen beide gewassen. De huidmondjesopening van ‘Supreme’ ligt veel hoger dan die van ‘Fresco’. Hier staat tegenover dat ‘Fresco’ veel meer bladmassa heeft dan ‘Supreme’. Verschillen in consequenties voor watergift tussen beide rassen kunnen dus meevallen. Veredelen op een minder verdampende cultivar waarvan de huidmondjesopening nog voldoende is voor een efficiënte CO₂ opname biedt kansen voor energiebesparing: immers, de hoge overbodige verdamping in de winter kost erg veel warmte.

Het feit dat de augustus-metingen een hogere lichtintensiteit waarbij schermen aanbevolen wordt laten zien dan de november- en februari-metingen, laat zien dat het gewas zich aanpast aan het hogere lichtniveau. Om bladverbranding in de lente te voorkomen is het dus zaak om de planten ‘gecontroleerd’ te laten wennen aan een hoger lichtniveau. Het grotendeels diffuus maken van het licht wordt hierbij aanbevolen. Hierdoor worden ‘hot spots’ van direct licht met (zeer) hoge lichtintensiteit vermeden.

Overige opmerkingen:

- Maximale lichtbenutting hoeft niet gelijk op te lopen met het economisch optimum.
 - Zoek balans tussen extra kosten belichting en meeropbrengst door hogere fotosynthese en/of kwaliteit.
- Lange termijn effecten van CO₂ doseren op de huidmondjes zijn onbekend.
 - Zorg voor de zekerheid dat de concentratie niet hoger is dan het punt waar het optimale rendement bereikt wordt!
 - Herkomst CO₂:
 - Doseren zuiver CO₂ is duur.
 - Hoge concentratie rookgassen geeft risico op verontreiniging (NO_x, ethyleen, etc.)
 - ‘Verwende’ bladeren (lagere CO₂-benutting bij continue blootstelling aan hoog CO₂).
 - Optimaal voor de plant is niet altijd economisch rendabel!
 - afhankelijk van de CO₂-kosten (raamstand/ventilatievoud)

Referenties

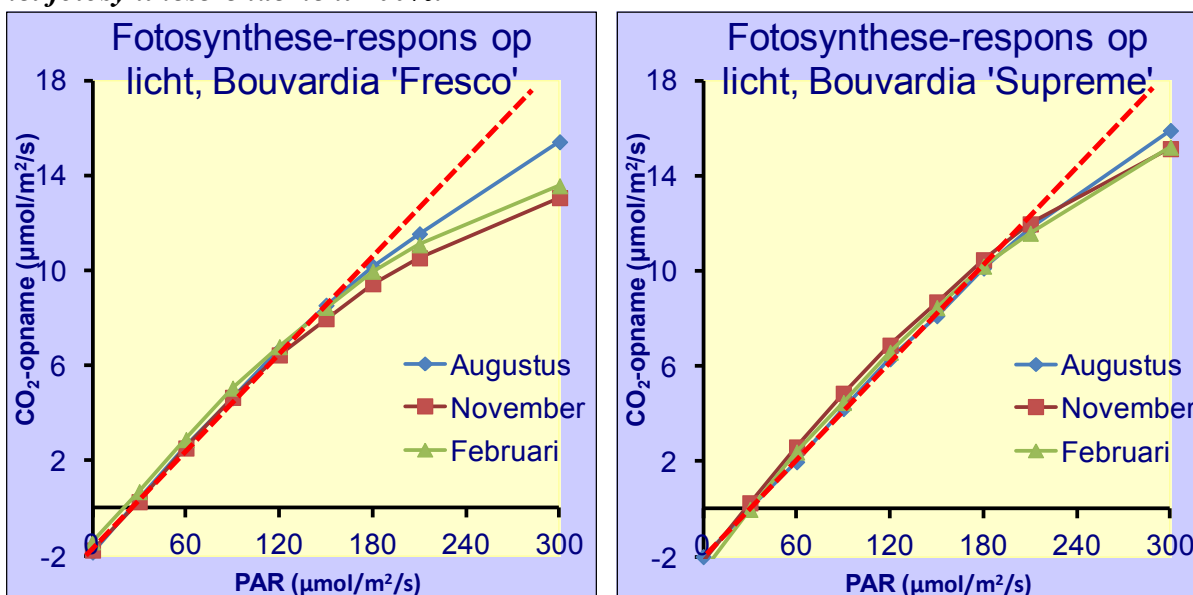
- Pot CS, Trouwborst G, Schapendonk AHCM.** 2011. Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 28p.
- Pot CS, de Vreede SJM, Trouwborst G, Hogewoning SW.** 2015. Activeren van de fotosynthese door sturing op huidmondjesopening. Plant Dynamics B.V. & Plant Lighting B.V., Randwijk. 53p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW.** 2014. Benutting van licht en CO₂ door Bouvardia: fotosynthesemetingen in de winter. *Vertrouwelijk rapport*. Bunnik: Plant Lighting B.V. 22p.

Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Bouvardia

Grenswaarden belichting per seizoen

- Geen noemenswaardig verschil tussen de cultivars 'Fresco' en 'Supreme'.
- Nauwelijks verschil in lichtrendement tussen november en februari.
- Grenswaarde >90% lichtrendement in november en februari: 120 μmol voor 'Fresco' en voor 'Supreme' 180 μmol (Tabel 1).

Tabel 1. Verloop van het fotosyntheserendement bij toenemend lichtniveau (daglicht+lamplicht). Zolang als de gemeten lijn evenwijdig met de rode stippellijn loopt, is het fotosyntheserendement 100%.



PAR daglicht + lamplicht	augustus	november	februari	PAR daglicht + lamplicht	augustus	november	februari
0-30	100%	100%	100%	0-30	100%	100%	100%
30-60	100%	100%	100%	30-60	100%	100%	100%
60-90	100%	100%	100%	60-90	100%	100%	100%
90-120	100%	95%	93%	90-120	100%	100%	100%
120-150	100%	82%	88%	120-150	100%	97%	100%
150-180	87%	79%	81%	150-180	100%	95%	93%
180-210	73%	58%	59%	180-210	88%	81%	74%
210-300	69%	45%	44%	210-300	74%	56%	64%
300-500	34%	24%	24%	300-500	42%	29%	37%
500-800	15%	10%	11%	500-800	19%	13%	18%

Grenswaarden scherming bij hoge instraling

- Langdurig hoge instraling geeft schade aan het fotosynthese-systeem in het blad.
- Bij lichtniveaus hoger dan de rode pijlen in de figuur bij Tabel 2 ontstaat er lichtstress.
- Bij rassen die gevoelig zijn voor bladschade wordt schermen bij deze niveaus aangeraden.

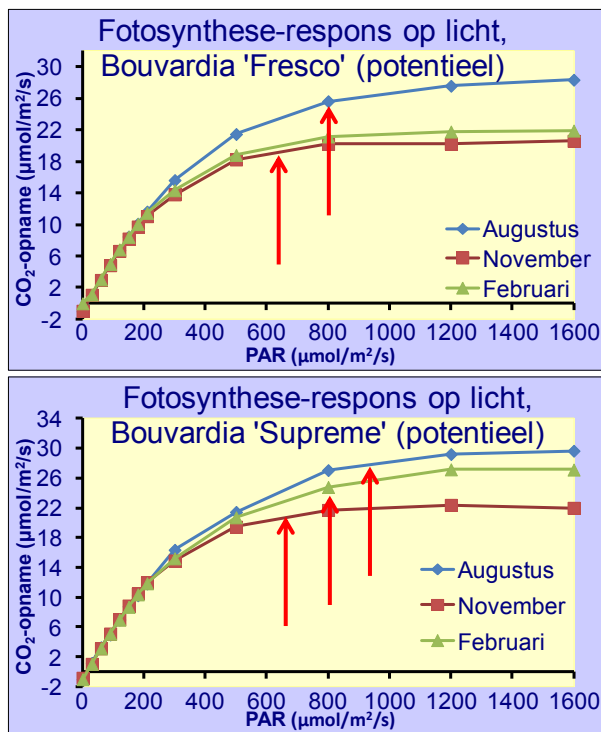
Tabel 2. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat.

‘Fresco’

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus	800	~530
November	650	~430
Februari	650	~430

‘Supreme’

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus	900	~600
November	650	~430
Februari	800	~460

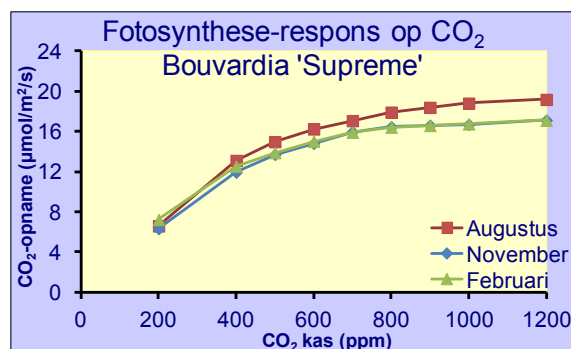


Grenswaarden CO₂-dosering

- Bij lichtniveaus rond de 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR wordt bij 700-800 ppm het verzadigingsniveau voor CO₂ bereikt (Tabel 3).

Tabel 3. Rendement CO₂-dosering.

CO ₂ in kas (ppm)	augustus % t.o.v. 400ppm	november	februari
200	50%	53%	58%
400	100%	100%	100%
500	114%	115%	111%
600	124%	124%	120%
700	130%	134%	127%
800	137%	138%	131%
900	140%	139%	132%
1000	144%	140%	134%
1200	146%	143%	137%



In absolute zin heeft CO₂ steeds meer effect naarmate er meer licht is. Een getallenvoorbeeld maakt dit duidelijk:

- Lichtintensiteit in de kas is 100 μmol/m²/s: bij 400 ppm is de fotosynthese 5.0 en bij 800 ppm neemt de fotosynthese 50% toe → Dit geeft een toename van 2.5 naar 7.5.
- Lichtintensiteit in de kas is 500 μmol/m²/s: bij 400 ppm is de fotosynthese 15.0 en bij 800 ppm neemt de fotosynthese 50% toe → Dit geeft een toename van 7.5 naar 22.5.

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat bij een hoge instraling de ramen vaak (ver) open staan. Behoud van een hoge CO₂-concentratie in de kas vergt dan een hoge dosering en is daardoor wellicht niet rendabel.

Overige opmerkingen

- Maximale lichtbenutting hoeft niet gelijk op te lopen met het economisch optimum.
 - Zoek balans tussen extra kosten belichting en meeropbrengst door hogere fotosynthese en/of kwaliteit.
- Lange termijn effecten van CO₂ doseren op de huidmondjes zijn onbekend.
 - Zorg voor de zekerheid dat de concentratie niet hoger is dan het punt waar het optimale rendement bereikt wordt!
 - Herkomst CO₂:
 - Doseren zuiver CO₂ is duur.
 - Hoge concentratie rookgassen geeft risico op verontreiniging (NO_x, ethyleen, etc.)
 - 'Verwende' bladeren (lagere CO₂-benutting bij continue blootstelling aan hoog CO₂).
 - Optimaal voor de plant is niet altijd economisch rendabel!
 - afhankelijk van de CO₂-kosten (raamstand/ventilatievoud)

Bijlage 2. Omrekeningstabel Lux, Watt, μmol

PAR-licht is licht dat beschikbaar is voor de fotosynthese en heeft een bereik van 400-700 nm. PAR-licht wordt uitgedrukt in aantal deeltjes ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) en niet in energie (W/m^2). PAR staat voor photosynthetically active radiation (=fotosynthetisch actieve straling). Soms wordt ook PPFD (photosynthetic photon flux density) gebruikt. In de tabel wordt een omrekening gegeven.

Als er geen PAR-sensor in de kas beschikbaar is, dan kan op basis van de buitenstraling een schatting worden gemaakt van de lichtintensiteit in de kas:

- Buitenstraling (Kip solarimeter) meet globale straling (energie) in W/m^2 ($=\text{J}/\text{m}^2/\text{s}$)
- $1 \text{ W}/\text{m}^2$ globale straling $\approx 2.15 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR
- Kassen hebben een transmissie variërend tussen de 70-80%
- Omrekeningsfactor voor Watt buiten naar $\mu\text{mol}/\text{s}$ binnen: 1W buiten $= 2.15 \times 0.7 = 1.5 \mu\text{mol}$ PAR binnen. Het getal 0.7 staat voor de kasdektransmissie.

Omrekeningstabel van Lux en Watt naar μmol PAR

PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) (in de kas)	Lux SON-T*	Solarimeter (Watt/m^2) (buiten de kas)**
30	2300	20
60	4600	40
90	6900	60
120	9200	80
150	11500	100
180	13800	120
210	16200	140
240	18500	160
270	20800	180
300	23100	200
400		270
500		330
800		530
1200		800
1600		1060

*Omrekeningsfactor voor lux naar $\mu\text{mol}/\text{s}$: $1000 \text{ lux SON-T} = 13 \mu\text{mol}/\text{s}$

**Omrekeningsfactor voor Watt buiten naar $\mu\text{mol}/\text{s}$ binnen: 1W buiten $= 2.15 \times 0.7 = 1.5 \mu\text{mol}$ PAR binnen. De factor 0.7 is een gemiddelde kastransmissie.