

Phalaenopsis met minimale input: CO₂, licht en vocht naar gewasbehoefte

deelrapport I: Plantenfysiologisch onderzoek op procesniveau



November 2017

G. Trouwborst & S.W. Hogewoning

Phalaenopsis met minimale input: CO₂, licht en vocht naar gewasbehoefte

deelrapport I: Plantenfysiologisch onderzoek op procesniveau

November 2017

G. Trouwborst & S.W. Hogewoning

Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik
info@plantlighting.nl
www.plantlighting.nl

REFERAAT

G. Trouwborst, S.W. Hogewoning, 2017. Phalaenopsis met minimale input: CO₂, licht en vocht naar gewasbehoefte. Deelrapport I: Plantenfysiologisch onderzoek op procesniveau. Plant Lighting B.V., Bunnik, 27p.

projectnummer: 20052

Financiering:



Ministerie van Economische Zaken



Uitvoering gehele project:



© 2017 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door bijdragen vanuit de gewascoöperatie potorchidee.

Plant Lighting B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE.....	4
SAMENVATTING.....	5
DANKWOORD.....	7
1 INLEIDING EN DOELSTELLING.....	8
1.1 Probleemstelling, hypothese en doelstelling	8
1.2 Aanpak onderzoek	9
1.3 Theorie CAM-fotosynthese	10
2 MATERIAAL & METHODEN PLANTFYSIOLOGISCH ONDERZOEK	13
2.1 Plantmateriaal en teeltcondities.....	13
2.2 Behandelingen en metingen.....	15
3 RESULTATEN & DISCUSSIE PLANTFYSIOLOGISCH ONDERZOEK.....	18
3.1 Effect van vochtgehalte substraat.....	18
3.2 Interactie tussen RV en CO ₂	22
4 CONCLUSIES PLANTFYSIOLOGISCH ONDERZOEK	26
REFERENTIES.....	27

Samenvatting

Inleiding

De afgelopen jaren is in opdracht van 'Kas als Energiebron' en de gewascoöperatie potorchidee plantfysiologisch onderzoek gedaan naar effectievere benutting van licht en CO₂ door Phalaenopsis. CO₂ doseren blijkt gedurende ±9 uur per etmaal onnodig, en belichting blijkt gedurende een gedeelte van het etmaal fors gereduceerd te kunnen worden zonder productieverlies. Deze inzichten beginnen nu stapsgewijs toegepast te worden door telers. Maar er liggen ook nog grote, nog onbenutte, kansen voor verdergaande energiebesparing en teeltoptimalisatie. Deze kansen liggen op de volgende vlakken:

1. Inzicht in plant-fysiologische processen in relatie tot dynamische processen in de kas. Op basis hiervan kunnen CO₂, licht en vocht worden afgestemd op de behoefte van het gewas en wordt verspilling van energie voorkomen.
2. Gas besparen door minder latente warmte af te luchten, en bij hogere RV te telen.

In samenhang hiermee kan een beter vocht-vasthoudend substraat ook bijdragen aan de energiedoelstellingen, immers minder vochtstress verlaagt mogelijk de gewasbehoefte aan CO₂, en minder vaak gieten geeft besparing op het afluchten van latente warmte.

De hypothese is dat er sprake is van een complexe interactie tussen vocht in de pot, vocht in de lucht (VPD), CO₂ concentratie en huidmondjesopening, wat gevolgen heeft voor CO₂-opname en lichtbenutting door bladeren. Belichting, CO₂ dosering en verdampen van vocht kosten energie. Daarom is het voor een energiezuinige teelt cruciaal dat deze interactie begrepen wordt en dat telers hierop kunnen sturen. Dit onderzoek beoogt:

- (1) De ontbrekende kennis aan te vullen voor wat betreft bovengenoemde interactie. Dit is uitgezocht in klimaatkamers bij Plant Lighting B.V (dit rapport).
- (2) Deze kennis om te zetten in een voor de praktijk toepasbaar energiezuiniger teeltconcept. Dit wordt uitgezocht in het World Horti Centre door Demokwekerij Westland B.V. en Inno-Agro B.V en Plant Lighting B.V (volgt in Deelrapport II).

Doelstelling plantenfysiologisch onderzoek

De volgende twee vragen stonden centraal:

1. Wat is het effect van substraat-vochtgehalte op de CO₂-opname en de huidmondjesopening van Phalaenopsis, en daarmee samenhangend de lichtbenutting?
2. Wat is effect van CO₂-dosering en RV op de CO₂-opname en de huidmondjesopening van Phalaenopsis, en daarmee samenhangend de lichtbenutting? En is er een interactie tussen CO₂ en RV?

Aanpak

Phalaenopsis-planten cv. Sacramento zijn opgekweekt in klimaat-units van Plant Lighting: 100 planten op grove bark en 100 planten op fijne bark (Infigo). De grove bark kreeg conform

praktijk eens in de 5 dagen water en de fijne bark eens in de 8 dagen. Ter beantwoording van de eerste onderzoeksvraag werd het 24-uursverloop van de CO₂-opname, huidmondjes-opening en lichtbenutting gemeten van dag 1 naar 2, van dag 4 naar 5 en van dag 7 naar 8 (alleen bij fijne bark) na watergift. Ter beantwoording van de tweede onderzoeksvraag werden wekelijks de klimaat-settings voor CO₂ en RV gewijzigd. Na enige dagen acclimatie werd het effect hiervan op het 24-uursverloop van de CO₂-opname, huidmondjes-opening en lichtbenutting gemeten. Deze metingen waren aan planten op grove bark zonder vochtstress.

Resultaten en conclusies

1. Wat is het effect van vochtgehalte van het substraat?

De CO₂-opname en huidmondjesopening leveren pas fors in als potten al behoorlijk droog zijn. Uiteindelijk waren de potten op dag 7-8 droger dan wat bij veel bedrijven in de praktijk zal voorkomen. Als er op tijd water wordt gegeven, dan is er slechts een beperkte terugloop in productiviteit gedurende de dagen voor watergift. Een voordeel van het fijne substraat dat blijft is de besparing in waterbeurten. Hierdoor is er minder energie nodig om RV en temperatuur op de dag van de gietbeurt weer onder controle te krijgen (minder afluchting van latente warmte). Tevens hoeft er minder water gerecirculeerd te worden.

2. Wat is effect van CO₂-dosering en RV, en is er een interactie tussen CO₂ en RV?

Ja, er is een interactie tussen RV en CO₂ (zie tabel). Bij hoge RV is CO₂ doseren zinvol tot maximaal 900 ppm. Bij lage RV kan meer dan 900 ppm nog zinvol zijn, hoger dan 1200 ppm is niet zinvol. Met andere woorden: Vooral als CO₂ beperkend is, dan is sturen op een hogere RV zinvol. Er is een forse afname in huidmondjesopening door verhoogd CO₂. Bij hoge RV vindt zelfs een halvering plaats tussen 600 en 1200 ppm. Hoog CO₂ remt dus vochttransport in de plant. Een lage RV geeft een lagere huidmondjesopening ten opzichte van hoge een RV (bij 900 en 1200 ppm is dit niet statistisch significant).

Het is overigens niet met zekerheid te zeggen dat in opkweek-fase een maximale CO₂-opname nodig is voor een maximale groei.

Tabel. Effect van CO₂ en RV op de CO₂-opname en de maximale huidmondjesopening. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (n=6-8, Fishers LSD, $\alpha < 0.05$).

CO ₂ -gehalte	Dagsom CO ₂ -opname (mol/m ² /s) Bark grof nat		Mate van huidmondjes-opening (mol/m ² /s)	
	60% RV	80% RV	60% RV	80% RV
600 ppm	0.23 ^d	0.26 ^c	0.021 ^b	0.030 ^a
900 ppm	0.26 ^c	0.29 ^{ab}	0.017 ^{cd}	0.019 ^{bc}
1200 ppm	0.28 ^{bc}	0.30 ^a	0.014 ^e	0.015 ^{de}
1500 ppm	0.29 ^{ab}	-	0.013 ^e	-

Dankwoord

Dit onderzoek is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland en door de gewascoöperatie potorchidee. Het volledige onderzoek bestaat uit twee delen. Het eerste gedeelte is in het voorjaar en de zomer van 2017 uitgevoerd en richtte zich op plant-fysiologische processen in relatie tot van CO₂ dosering, RV en potvochtgehalte bij Phalaenopsis. Dit gedeelte is uitgevoerd door Plant Lighting B.V. In het tweede gedeelte dat vanaf december 2017 wordt uitgevoerd, worden eerder behaalde inzichten met betrekking tot CO₂-dosering en belichting gecombineerd in een kasproef in het World Horti Center. Deze proef wordt uitgevoerd door Demokwekerij Westland B.V., Inno-Agro B.V en Plant Lighting B.V.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage en inzet: Onderzoekscoördinatoren Leo Oprel (EZ) en Dennis Medema (LTO Glaskracht Nederland) van het programma 'Kas als Energiebron' voor kritische discussie over het onderzoeksvoorstel. Astrid van der Helm (LTO Glaskracht) wordt bedankt voor haar coördinerende rol bij de totstandkoming van dit project. Projectpartner Stefan Persoon (Inno-Agro B.V.) en de Phalaenopsiskwekers Maurice van der Hoorn (Van der Hoorn orchideeën B.V.), Erwin van Vliet (Levoplant B.V.), Henri Buttermann (Piko Plant B.V.), Martin van Dijk (Ter Laak Orchids), Otwin van Geest (VG Orchids) en Raymond van der Knaap (Opti-flor B.V.) worden bedankt voor hun betrokkenheid en input gedurende het onderzoek.

November 2017,

Govert Trouwborst & Sander Hogewoning

1 Inleiding en doelstelling

1.1 Probleemstelling, hypothese en doelstelling

Phalaenopsis is door een teeltduur van bijna een jaar een energie-intensieve teelt. In de opkweekfase wordt gedurende 24-28 weken de kas verwarmd tot 29°C, wat jaarrond, maar met name in de winterperiode, zwaar drukt op de energiekosten. Ten behoeve van de bloei inductie (~18-19°C) en de opvolgende afkweekfase (~20-21°C) is er koeling nodig wat eveneens veel energie kost. Daar komt nog eens bij dat er aanzienlijke belichtingsniveaus worden gehanteerd tot soms meer dan 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Met het oog op de schaars wordende fossiele brandstoffen en een toekomst met meer duurzame energiebronnen is het van belang dat de Phalaenopsistelers een transitie in gaan zetten om in 2020 met minder fossiele energie uit de voeten te kunnen.

De afgelopen jaren is in opdracht van 'Kas als Energiebron' en de gewascoöperatie potorchidee plantfysiologisch onderzoek gedaan naar effectievere benutting van licht en CO₂ door Phalaenopsis: CO₂ doseren blijkt gedurende ±9 uur per etmaal onnodig, en belichting blijkt gedurende een gedeelte van het etmaal fors gereduceerd te kunnen worden zonder productieverlies (Trouwborst *et al.* 2013, 2014, 2016a, 2016b, 2017). Deze inzichten beginnen nu stapsgewijs toegepast te worden door telers. Er is in vrij korte tijd dus veel bereikt bij Phalaenopsis. Maar er liggen ook nog grote, nog onbenutte, kansen voor verdergaande energiebesparing. Deze kansen liggen op de volgende vlakken:

1. Inzicht in plant-fysiologische processen in relatie tot dynamische processen in de kas. Op basis hiervan kunnen CO₂, licht en vocht worden afgestemd op de behoefte van het gewas en wordt verspilling van energie voorkomen.
2. Gas besparen door minder latente warmte af te luchten, en bij hogere RV te telen.

In samenhang met bovenstaande punten kan een beter vocht-vasthoudend substraat ook bijdragen aan de energiedoelstellingen, immers (1) minder vochtstress verlaagt mogelijk de gewasbehoefte aan CO₂, en (2) minder vaak gieten geeft besparing op het afluchten van latente warmte.

Probleemstelling besparen op basis van kennis plantfysiologische processen

De basisgedachte is dat een gewas reageert op zijn omgeving, en dat die omgeving in een Phalaenopsis-teelt niet constant is, maar dynamisch. Dit maakt het aannemelijk dat ook de behoefte aan licht en CO₂ dynamisch is. Een aantal voorbeelden in relatie tot energiebehoefte:

- Een plant met droge pot zal eerder zijn huidmondjes dichtknijpen om vochtverlies te beperken. Dit resulteert mogelijk in minder CO₂-opname, dus minder malaat-opslag, dus ook minder lichtbehoefte de volgende dag. Kennis hierover kan enerzijds onnodig belichten voorkomen. Of anderzijds juist handvatten bieden om productieverlies te

voorkomen met bijvoorbeeld eerder water geven, bevochtigen of tijdelijk meer CO₂ doseren. Of een combinatie van beide.

- Een plant in een natte pot zal naar verwachting zijn huidmondjes verder openen: Is hoog CO₂ dan wel nodig voor een optimaal resultaat? In 2016 is aangetoond dat dagelijks 800 ppm CO₂ een beter resultaat geeft dan dagelijks 400 ppm (Trouwborst *et al.* 2016). Maar mogelijk is minder dan 800 ppm CO₂ doseren voldoende op de dagen zonder enige droogtestress.
- Vanuit bovenstaande gedachten liggen er ook kansen voor een beter vocht-vasthoudend substraat: Dat verlaagt wellicht de behoefte aan CO₂ doseren: (1) er is mogelijk een minder hoge CO₂-concentratie nodig doordat de huidmondjes minder dicht knijpen, en (2) er gaat minder CO₂ verloren via de luchtramen. Minder vaak hoeven gieten bespaart bovendien gas, want verdampen van water kost veel warmte.

Hypothese en doelstelling

Kortom, de hypothese is dat er sprake is van een complexe interactie tussen vocht in de pot, vocht in de lucht (VPD), CO₂ concentratie en huidmondjesopening, wat gevolgen heeft voor CO₂-opname en lichtbenutting door bladeren. Belichting, CO₂ dosering (door verbranden gas) en verdampen van vocht kosten energie. Daarom is het voor een energiezuinige teelt cruciaal dat deze complexe interactie begrepen wordt en dat telers hierop kunnen sturen. Dit project beoogt:

- (1) De ontbrekende kennis aan te vullen voor wat betreft bovengenoemde interactie. Dit is uitgezocht in klimaatkamers bij Plant Lighting B.V. (Deelrapport I-dit rapport).
- (2) Deze kennis om te zetten in een voor de praktijk toepasbaar energiezuiniger teeltconcept. Dit wordt uitgezocht in het World Horti Centre door Demokwekerij Westland B.V., Inno-Agro B.V en Plant Lighting B.V. (Deelrapport II, volgt in 2018).

De uiteindelijke doelstelling is dat de resultaten uit dit onderzoek bijdragen aan een besparing op verbruik CO₂, elektra, en gas (warmte) bij de teelt van Phalaenopsis. Dit door ontwikkeling van een teeltconcept waarbij CO₂-dosering en belichting zijn aangepast op de behoefte van het gewas, en waarbij niet meer wordt gegoten en afgelucht dan nodig.

1.2 Aanpak onderzoek

Voor het plantenfysiologische onderzoek in klimaatkamers stonden twee vragen centraal:

1. Wat is het effect van vochtgehalte van het substraat op de CO₂-opname en de huidmondjesopening van Phalaenopsis, en daarmee samenhangend de lichtbenutting?
2. Wat is effect van CO₂-dosering en RV op de CO₂-opname en de huidmondjes-opening van Phalaenopsis, en daarmee samenhangend de lichtbenutting? En is er een interactie tussen CO₂ en RV?

Dit onderzoek is uitgevoerd in de klimaatkamers van Plant Lighting. Phalaenopsis 'Sacramento' op een grof en fijn type substraat is gedurende de opkweekfase verder geteeld onder geconditioneerde omstandigheden. Daglicht in een kas is gesimuleerd met kunstmatig zonlicht en er is bijbelicht met SON-T. Voor, tussen en na watergiftbeurten is de CO₂-opname en lichtbenutting van Phalaenopsis-bladeren per etmaal gemeten. Tevens het effect van een oplopende reeks van CO₂-niveaus bij 60 en 80% RV gemeten.

Een belangrijke doelstelling van dit onderzoek is dat de plant-processen die onderzocht worden in klimaatcellen, ook daadwerkelijk leiden tot toepasbare energiebesparende maatregelen in de praktijk. Daarom volgt een kasproef in het World Horti Centre (start december 2017) waarbij de volgende doelstelling centraal staat: Ontwikkeling en toetsing van een energiezuinige teeltstrategie. De resultaten van de kasproef zullen gerapporteerd worden in deelrapport II (op te leveren eind 2018).

1.3 Theorie CAM-fotosynthese¹

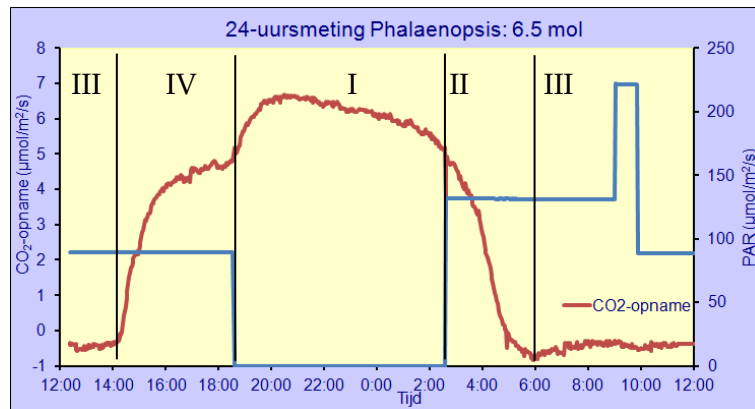
De meeste tuinbouwgewassen zijn zogenaamde C3-planten: ze nemen overdag CO₂ op, dat met behulp van de energie uit licht direct verwerkt wordt tot suikers. Phalaenopsis gaat volgens het 'CAM-metabolisme' met CO₂ om: 's nachts zijn de huidmondjes open en wordt CO₂ opgenomen dat in de vorm van malaat wordt opgeslagen in de vacuolen van de cellen. Overdag sluiten de huidmondjes, komt het CO₂ weer vrij in het blad en wordt verwerkt tot suikers. Bij dag/nacht en nacht/dag overgangen kunnen bladeren kortstondig als C3-plant functioneren.

De CAM-fotosynthese wordt onderverdeeld in vier fasen (Figuur 1):

- Fase I, nacht: huidmondjes zijn open, CO₂ wordt vastgelegd in malaat (appelzuur).
- Fase II, overgang van nacht naar dag: huidmondjes gaan sluiten en start afbraak malaat en mogelijk kortstondig (directe) C3-fotosynthese.
- Fase III, overdag: gesloten huidmondjes, afbraak malaat, assimilatie vrijkomend CO₂.
- Fase IV, overgang van dag naar nacht: malaat op, huidmondjes gaan weer open en mogelijk kortstondig (directe) C3-fotosynthese.

Voor meer achtergrondinformatie over de CAM-fotosynthese, zie Bijlage 1 in Trouwborst *et al.* 2014 en genoemde referenties daarin.

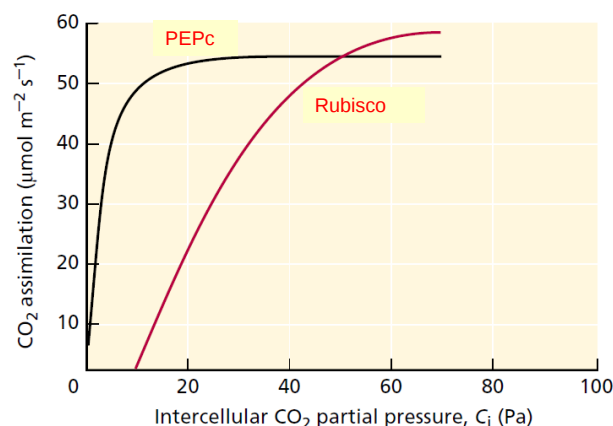
¹ Deze paragraaf is bijna letterlijk overgenomen uit: 'Zuiniger met CO₂ bij gelijkblijvende of hogere productie: Phalaenopsis' (Trouwborst *et al.* 2016b).



Figuur 1. De vier fasen van de CAM-fotosynthese bij *Phalaenopsis*. Rood=CO₂-opname, blauw =PAR. Van links naar rechts: CAM-fase III eindigt rond 14:00, vervolgens gaan in CAM-fase IV de huidmondjes in het licht al open. 18:30 startte de nacht: CAM-fase I. 2:30 startte de dag: CAM-fase II, huidmondjes gaan sluiten, CO₂-opname daalt naar 0. Rond 6:00 startte CAM-fase III: gesloten huidmondjes (data afkweek, Trouwborst et al. 2014).

Fysiologie CO₂-opname CAM-planten

Bij CAM-planten zoals *Phalaenopsis* spelen twee verschillende enzymen een rol bij het binden van CO₂: Rubisco en PEPc (phospho-enol-pyruvate carboxylase). Overdag tijdens CAM-fase III wordt het CO₂ dat vrijkomt uit het malaat allereerst gebonden door Rubisco, en daarna verder verwerkt tot suikers. Rubisco is het enzym dat ook in alle 'gewone' C₃-planten CO₂ bindt. Het is bekend dat Rubisco niet optimaal werkt bij de CO₂-concentratie in de buitenlucht (400 ppm) en daarom werkt CO₂ doseren bij de meeste gewassen productie-verhogend. Bij CAM-bladeren zitten de huidmondjes overdag (CAM-fase III) dicht en is CO₂ doseren op die momenten niet zinvol. In de nacht wordt CO₂ niet door Rubisco gebonden, maar door PEPc. PEPc bindt CO₂ veel sterker dan Rubisco (zie Figuur 2).



Figuur 2. Effect van de interne CO₂-concentratie in het blad op de snelheid waarmee CO₂ vastgelegd wordt door Rubisco en door PEPc (NB 40 Pa is gelijk aan 400 ppm). Bron: Taiz en Zeiger, 2015.

Op basis van Figuur 2 lijkt het erop dat CO₂ doseren ook in de nacht zinloos is bij CAM-bladeren. PEPc is immers al verzadigd bij een interne CO₂-concentratie van 200 ppm! Echter, hier kan de schijn bedriegen. Bij *Phalaenopsis* is eerder gemeten dat de opening van de

huidmondjes zo klein kan zijn, dat het CO₂ maar moeilijk binnenkomt (Trouwborst *et al.* 2013). Daardoor kan de CO₂ concentratie *binnenin* het blad tot zeer lage waarden dalen. Dus bij een kleine huidmondjes-opening kan CO₂ doseren de opnamesnelheid mogelijk toch wel verhogen.

2 Materiaal & methoden plantfysiologisch onderzoek

Het plantfysiologische onderzoek vond plaats onder geconditioneerde omstandigheden in de klimaatcabines van Plant Lighting te Bunnik

2.1 Plantmateriaal en teeltcondities

De proef is uitgevoerd met Phalaenopsis cv 'Sacramento'. Het plantmateriaal werd geleverd op 19 april 2017 (week 16) en was 15 weken oud (oppotweek 1). Veertien weken later is de proef beëindigd en zijn de planten teruggeleverd (week 29). Er werden twee partijen geleverd van elk 100 planten:

- Grof substraat (standaard): 50/50 bark 1/2 ; 2 kg Orchid moss; 3 kg kalk + MgO; 0.55 kg StartUp Orchid (680 ml pot). Deze partij werd geleverd door Opti-flor
- Fijn substraat (Infigo): 55% bark 8-12; 30% Veen fracties; 15% Gebroken kleikorrels 4-8; Dolokal 3.0 kg; PG Mix 0.5 kg; Micromax 0.2 kg (660 ml 'interco' pot). Deze partij werd geleverd door VG Orchids.

De planten werden verdeeld over 8 klimaatunits van 0.8*0.8m, van beide substraten vier units met 25 planten/unit. Er werd praktijkconform water gegeven. Het grove substraat eens in de 5 dagen en het fijne substraat eens in de 8 dagen. De bemesting standaard bij EC 1.0 en pH 5.5-5.8. De metingen begonnen ruim twee weken na start van de proef. Tijdens deze acclimatisatieperiode werd er 900 ppm CO₂ gedoseerd en was de RV~60%. De etmaaltemperatuur was ~29°C (30/28°C D/N).

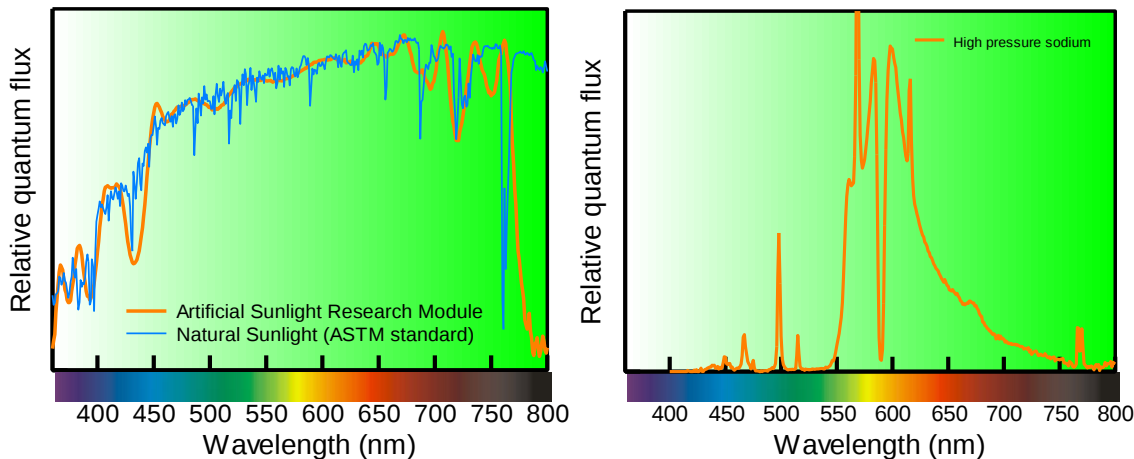


Foto 1. Planten net na aankomst in de kleinste klimaatunits (0.8m*0.8m) van Plant Lighting. Het fijne substraat werd geleverd in 6-kantige kragen. Deze zijn omgewisseld voor ronde kragen. Er stonden 25 planten per unit.

Belichting

De belichting in de klimaat-units te Bunnik was een combinatie van *kunstmatig* daglicht van 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en bijbelichting met 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T dat in twee stappen schakelbaar

was. Het kunstmatig daglicht werd toegepast om het daglicht in de kas te simuleren. Dit kunstmatig daglicht werd gecreëerd door op een LED-lampen gebaseerde dimbare en programmeerbare lichtbron (Artificial Sunlight Research Module, Specialty Lighting Holland, Breda, Nederland). Deze lichtbron produceerde licht met een spectrale samenstelling die vrijwel gelijk is aan het lightspectrum van natuurlijk daglicht (golflengtegebied 360-760 nm; Figuur 3).

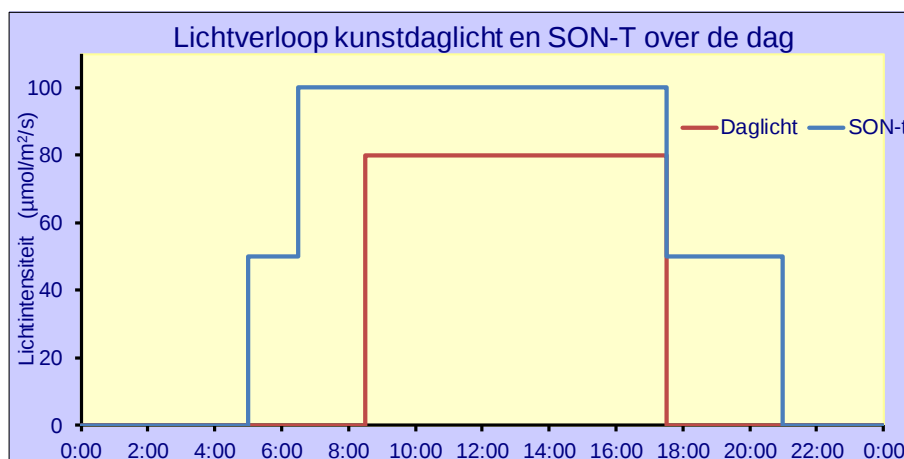


Figuur 3. Links: Spectrale samenstelling van natuurlijk zonlicht (blauwe lijn) en van de zonlichtlampen (oranje lijn). Rechts: Spectrale samenstelling van SON-T licht.

Het licht stond aan van 5:00-21:00 en was als volgt opgebouwd (Figuur 4):

- Van 5:00-6:30, 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T: 0.27 mol PAR
- Van 6:30-17:30, 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T: 3.96 mol PAR
- Van 8:30-17:30, 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ kunstmatig daglicht: 2.59 mol PAR
- Van 17:30-21:00, 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T: 0.63 mol PAR

In totaal een lichtsom van 7.45 mol. Doordat de planten in kragen stonden en zo de bladhoek gemiddeld rond de 45° lag, kregen de bovenste bladeren ongeveer 5.2 mol effectief per m^2 blad (factor 0.7 door bladhoek, Figuur 5, en nagemeten met een quantumsensor).



Figuur 4. Verloop van de lichtintensiteit in de klimaatunits te Bunnik. Er werd 2.6 mol kunstmatig daglicht gegeven (9 uur $80 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; rode lijn) en 4.85 mol SON-T (5 uur $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 11 uur

100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Dit resulteerde in een lichtsom van 7.45 mol PAR.

Cosine Law: $E_{\theta} = E \cdot \cos(\theta)$

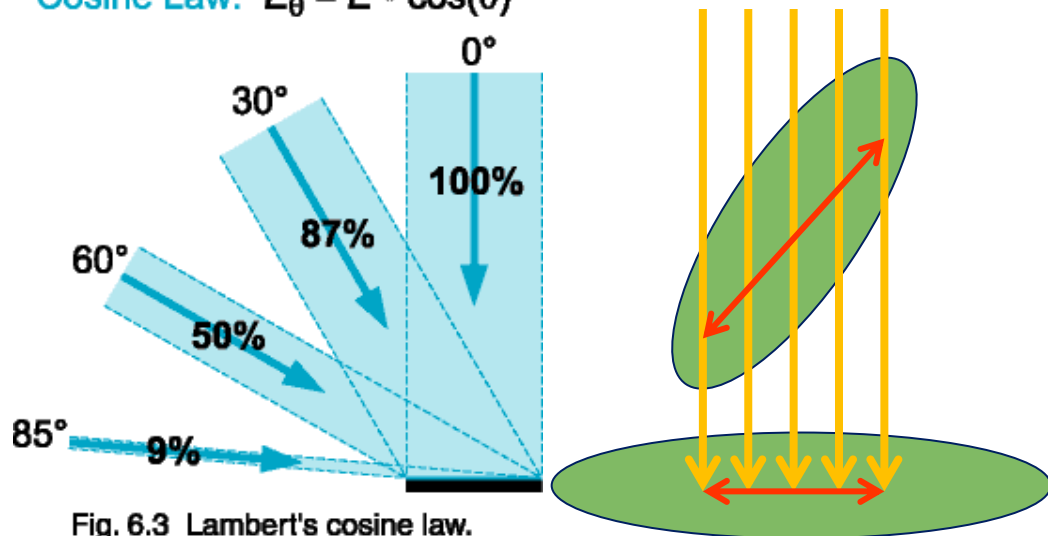


Fig. 6.3 Lambert's cosine law.

Figuur 5. Hoe verticaler de bladstand, hoe meer het licht verdeeld wordt over een groter oppervlak (rode pijl), hoe lager de effectieve lichtintensiteit op bladniveau (bron: Ryer, 1998). NB dit geldt voornamelijk voor direct licht.

2.2 Behandelingen en metingen

Er zijn twee series fotosynthese-metingen uitgevoerd. Bij de eerste serie is het effect van potvochtigheid op de CO_2 -opname, huidmondjesopening en lichtbenutting gemeten bij een vaste RV en een vaste CO_2 -concentratie in de lucht. Bij de tweede serie is de interactie tussen RV en CO_2 -concentratie in de lucht gemeten aan planten in goed vochtige potten.

Tijdens de eerste meetserie kregen de planten 900 ppm CO_2 en 60% RV. Vervolgens werden er metingen uitgevoerd aan de bladeren van planten in twee substraten:

- Fijn substraat (Infigo), eens in de 8 dagen water, fotosynthese gedurende een etmaal per blad gemeten van dag 1-2 (nat), 4-5 en 7-8 (droog).
- Standaard substraat (grove bark), eens in de 5 dagen water, fotosynthese gedurende een etmaal per blad gemeten van dag 1-2 (nat) en 4-5 (vrij droog).

Hierdoor kon het effect van potuitdroging op de CO_2 -opname, huidmondjesopening en lichtbenutting worden vastgesteld.

Tijdens de tweede serie metingen is er alleen aan natte potten met het standaard grove substraat gemeten. En is nagegaan wat het effect is van CO_2 en RV, en de interactie tussen die twee factoren, op de CO_2 -opname en huidmondjesopening:

- Bij 60% RV: 600, 900, 1200 en 1500 ppm
- Bij 80% RV: 600, 900, 1200 ppm

De gevolgde tijdlijn staat in Tabel 1. Tijdens de metingen van de tweede serie werden de instellingen voor RV en CO_2 van de klimaatruimte op de vrijdagen voor de week waarin gemeten werd ingesteld. Wekelijks waren er dus drie dagen aanpastijd voordat er vier

meetdagen plaatsvonden met twee LI-6400 fotosynthesemeters (8 meetbladeren). In week 29 is ter controle 900 ppm CO₂ en 60% RV opnieuw gemeten. Dit om te zien of de planten zich aangepast hebben in de klimaat-units en daardoor anders zijn gaan reageren naar verloop van tijd. De gemeten waarden verschilden niet tussen begin en einde van de proef.

Tabel 1. Gevolgde tijdlijn gedurende de proef.

Week, jaar	Actie
wk 16, 2017	aankomst planten
wk 19-22, 2017	24-uursmetingen aan fijne en grove bark: nat, midden, en droog bij 60% RV en 900 ppm CO ₂ .
wk 23, 2017	24-uursmetingen 80% RV en 900 ppm CO ₂
wk 24, 2017	24-uursmetingen 80% RV en 1200 ppm CO ₂
wk 25, 2017	24-uursmetingen 80% RV en 600 ppm CO ₂
wk 26, 2017	24-uursmetingen 60% RV en 900 ppm CO ₂
wk 27, 2017	24-uursmetingen 60% RV en 1200 ppm CO ₂
wk 28, 2017	24-uursmetingen 60% RV en 1500 ppm CO ₂
wk 29, 2017	24-uursmetingen 60% RV en 900 ppm CO ₂
	Planten teruggeleverd

Fotosynthese-meter en bijbehorende berekeningen

De metingen zijn verricht met een fotosynthesemeter (LI-6400; Foto 2). In de meetcuvet is eenzelfde RV, luchttemperatuur en CO₂ concentratie ingesteld als in de klimaat-units. De RV-regeling in de meetcuvet was nauwkeuriger gemaakt door de LI-6400 te koppelen aan een dauwpuntsgenerator. Ook het verloop van de lichtintensiteit over het etmaal was in de LI-6400 zo geprogrammeerd dat die overeenkwam met de PAR-instellingen in de klimaat-units (Figuur 4). Wel werd de lichtintensiteit in de meetcuvet op factor 0.7 ingesteld om voor het effect van bladhoek te corrigeren (Figuur 5). In de meetcuvet werd dus een lichtsom van 5.2 mol gegeven.

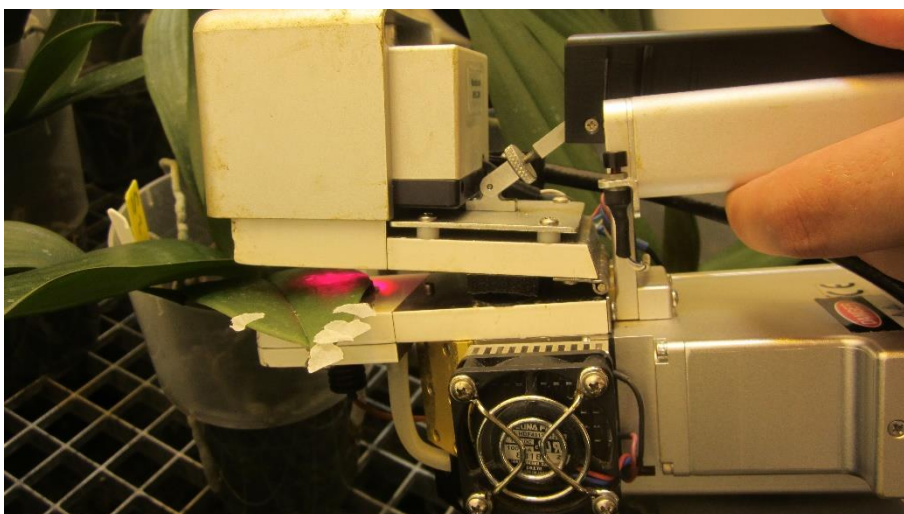
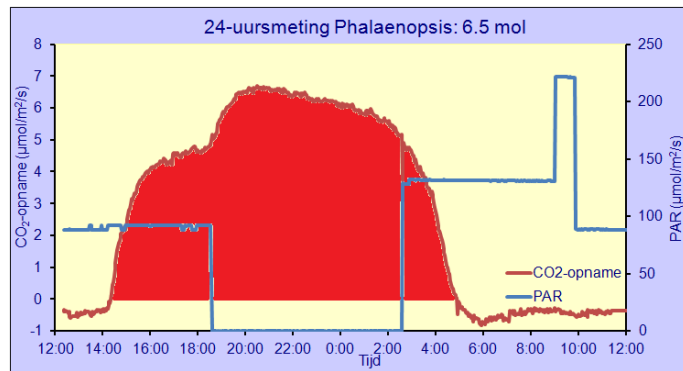


Foto 2. Meting van de CO₂-opname, huidmondjesopening en de ETR (via chlorofyl-fluorescentie) met de LI-6400 draagbare fotosynthesemeter in de klimaat-units bij Plant Lighting. In het apparaat kunnen PAR, CO₂, temperatuur en vocht gevarieerd worden.

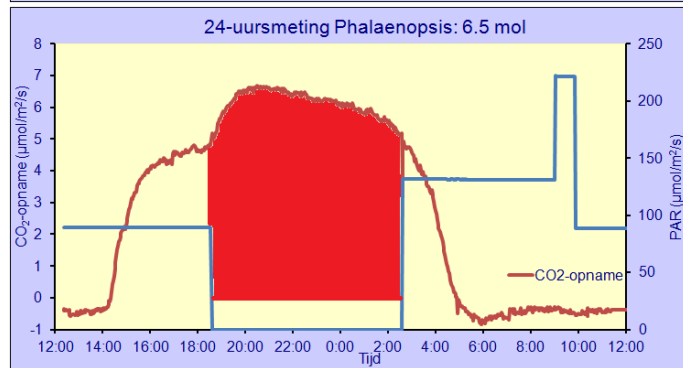
Door de bladeren gedurende een etmaal in te klemmen in de meetcuvet konden drie belangrijke zaken worden bepaald:

1. Het verloop van de CO₂-opname over 24 uur (rode lijn) en dus ook de dagsom van de CO₂-opname (rode vlak in Figuur 6A).
2. De CO₂-opname tijdens de nacht (CAM-fase I; Figuur 6B).
3. De CO₂-opname tijdens de namiddag en ochtend (CAM-fases IV en II; Figuur 6C).

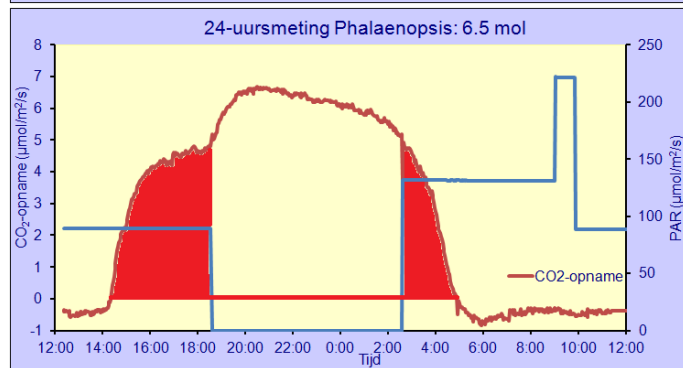
A. Dagsom CO₂-opname tijdens de CAM-fases IV, I en II



B. Som CO₂-opname tijdens CAM-fase I (nacht)
Opname alleen via PEPc



C. Som CO₂-opname tijdens de CAM-fases IV (namiddag) en II (vroeg ochtend). CO₂-opname via PEPc en kans op directe C3-fotosynthese (CO₂-binding via Rubisco).



Figuur 6. Methode bepaling totale CO₂-opname in de nacht. De blauwe lijn geeft de lichtintensiteit (PAR) aan. Het rode oppervlak laat respectievelijk zien: de totale CO₂-opname over een etmaal dat grotendeels gelijk staat aan de malaatpool (A), de CO₂-opname tijdens CAM-fase I (B) en de CO₂-opname tijdens de CAM-fases IV en II. (C). De CO₂-som is berekend aan de hand van metingen aan de CO₂-opname per twee minuten (data in dit voorbeeld van afkweek 'Sacramento' uit Trouwborst et al. 2014).

3 Resultaten & discussie plantfysiologisch onderzoek

De volgende fysiologische en ook praktische relevante vragen zijn in dit onderzoek gesteld:

1. Meetserie 1: Wat is het effect van substraat-vochtgehalte op de CO₂-opname, huidmondjesopening en lichtbenutting van Phalaenopsis bij 900 ppm CO₂ en 60% RV (paragraaf 3.1)?
2. Meetserie 2: Wat is effect van CO₂-dosering en RV op de CO₂-opname en huidmondjesopening van Phalaenopsis en is er een interactie tussen CO₂ en RV (paragraaf 3.2)?

3.1 Effect van vochtgehalte substraat

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 werd het grove substraat eens in de 5 dagen en het fijne substraat eens in de 8 dagen gegoten. Op de gietdag hadden de planten op het grove substraat nog niet allemaal grijze wortels (Foto 3 links). Het fijne substraat was op de 8^e dag flink droog: wortels waren grijs en vaak ingekrompen (Foto 3 rechts). Na overleg met de BCO bleek dat er op basis van de kleur van de wortels bij de grove bark weleens een dag gewacht zou kunnen worden met gieten. Bij de fijne bark lag dit juist andersom: Gezien de kleur van de wortels zou er (altijd) een dag eerder gegoten worden. De metingen van dag 7 naar dag 8 laten dan ook waarschijnlijk een extremer beeld zien dan in de praktijk vaak zal voorkomen.



Foto 3. Substraat net voor gietbeurt. Het grove substraat werd eens in de 5 dagen gegoten (links) en het fijne substraat eens in de 8 dagen (rechts). Na overleg met de BCO bleek dat er ten opzichte van de kleur van de wortels bij de grove bark weleens een dag gewacht zou kunnen worden met gieten. Bij de fijne bark lag dit juist andersom: Gezien de kleur van de wortels zou er een dag eerder gegoten worden.

Op de gietdagen werd bewust veel gegoten om de potten 100% te verzadigen (ongeveer 11 liter per 25 planten). Via het wegen van de planten is nagegaan of de pot na watergift volledig verzadigd was. Gemiddeld waren de potten als volgt ingeteerd (afname grammen vocht pot + plant na gieten):

- Grof substraat droog: 71 gram (dag 5)
- Fijn substraat droog: 86 gram (dag 8)
- Fijn substraat halverwege: 55 gram (dag 5)

Door middel van 24-uursmetingen zijn er diverse zaken rondom de CAM-fotosynthese bepaald. Deze staan weergegeven in Tabel 2 en worden daaronder puntsgewijs besproken:

Tabel 2. Effect van barktype en vochtgehalte in de pot op de CO₂-opname tijdens de verschillende CAM-fases, de CO₂-opnametijd, huidmondjesopening, ETR en lichtsom tijdens CAM-fase III. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (n=7-8, Fishers LSD, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

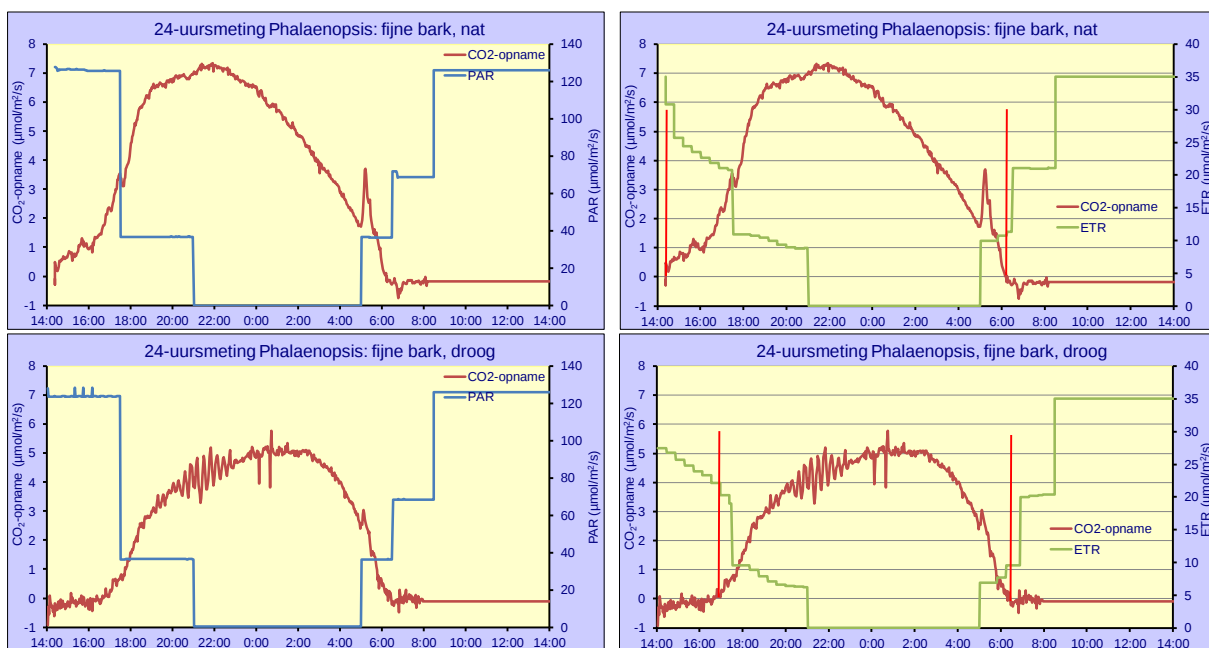
	grove bark		fijne bark		
	nat	droog	nat	midden	droog
24-uurssom CO₂-opname (mol/m²/dag)	0.26 ^a	0.24 ^{ab}	0.26 ^a	0.23 ^b	0.18 ^c
som CO₂-opname CAM-fase I (mol/m²/dag)	0.18 ^a	0.17 ^b	0.16 ^b	0.16 ^b	0.13 ^c
som CO₂-opname CAM-fase II (mol/m²/dag)	0.02 ^a	0.01 ^b	0.01 ^b	0.01 ^{ab}	0.01 ^b
som CO₂-opname CAM-fase IV (mol/m²/dag)	0.06 ^b	0.06 ^b	0.09 ^a	0.05 ^b	0.03 ^c
dagsom ETR (mol e-)	1.45 ^a	1.43 ^a	1.39 ^{ab}	1.46 ^a	1.32 ^b
som ETR CAM-fase III (mol e-)*	1.08 ^a	1.12 ^a	0.95 ^b	1.08 ^a	1.12 ^a
lichtsom CAM-fase III	3.90 ^b	3.94 ^b	3.35 ^c	3.84 ^b	4.37 ^a
start CO₂-opname	15:58 ^b	15:56 ^b	14:30 ^c	15:39 ^b	17:13 ^a
eind CO₂-opname	6:43 ^{ns}	6:36 ^{ns}	6:23 ^{ns}	6:37 ^{ns}	6:27 ^{ns}
CO₂-opnametijd	14:45 ^b	14:39 ^b	15:53 ^a	14:58 ^b	13:13 ^c
G_{s(max)} (bij P_{max})	0.016 ^a	0.014 ^b	0.016 ^a	0.014 ^{bc}	0.012 ^c

*) De som ETR CAM-fase III is hoger in droge potten, maar dit duidt niet op een efficiëntere lichtbenutting: bij droge potten duurt CAM-fase III langer vanwege later openen van de huidmondjes. Het malaat is dan waarschijnlijk eerder op dan dat de huidmondjes opengaan (zie ook Figuur 7).

- Na watergift verschilde de CO₂-opname van bladeren niet voor beide typen substraat. De CO₂-opnametijd was bij het fijne substraat wel iets langer: 's middags waren de huidmondjes van de planten in het fijne substraat eerder open. Dit resulteerde bij het fijne substraat in een hogere CO₂-opname in CAM-fase IV, maar de CO₂-opname in CAM-fase I was weer lager. De reden waarom de huidmondjes eerder opengingen, is niet duidelijk. Het is belangrijk te weten dat dit moment kan variëren.
- Bij het grove substraat is er slechts een beperkt, niet significant verschil in CO₂-opname tussen natte en droge potten.

- Bij het fijne substraat is er midden tussen twee watergiftmomenten (dag 4-5) een beperkt verschil. De 24 uur voor watergift is er wel een fors lagere CO₂-opname (-33%):
 - De CO₂-opnametijd is korter: de huidmondjes zijn 's middags later open, maar 's ochtends wel tegelijkertijd dicht.
 - De huidmondjesopening is lager.
 - De CO₂-opname is vooral in CAM-fase IV afgenomen, en in mindere mate in CAM-fase I. Het ligt voor de hand dat de bijdrage van de directe C3-fotosynthese in CAM-fase IV verder is gemarginaliseerd.

Figuur 7 geeft de patronen weer van de CO₂-opname en de ETR bij natte en droge potten van de fijne bark. Te zien is dat de CO₂-opname bij natte potten veel eerder in de middag begint en een hoger maximum laat zien (Figuur 7 boven t.o.v. onder). Dit eerdere begin is zeer waarschijnlijk deels toe te schrijven aan directe C3-fotosynthese. Te zien is dat de CO₂-opname een kleine afname vertoont op het moment dat de lichtintensiteit om 17:30 wordt teruggeschakeld. Ook 's ochtends is er een kortstondige piek in CO₂-opname te zien na het aangaan van het licht. Bij droge bark is dit 's middags niet en 's ochtends veel minder waarneembaar. Het verloop van de ETR laat zien dat rond 14:00 uur er al een verlies aan lichtbenuttings-rendement is. Voor de natte bark valt dit moment vrijwel samen met de start van de CO₂-opname en dus huidmondjesopening in de middag. Bij de droge bark gaan pas uren later de huidmondjes open (zie verticale rode lijnen in Figuur 7 rechts).



Figuur 7. Effect vochtgehalte in de pot op CO₂-opname (rode lijn) bij de fijne bark op de dag na (boven) en voor (onder) een gietbeurt. De blauwe lijn geeft de lichtintensiteit (PAR) aan. De groene lijn geeft het verloop van de ETR weer (rechts). De gekozen grafieken liggen het dichtst bij het gemiddelde van de desbetreffende behandeling. De gemiddelden van de CO₂-opname staan weergegeven in Tabel 2. Te zien is dat bij natte bark de daling in ETR min of meer samenvalt met de start van de CO₂-opname (= opening huidmondjes), terwijl de CO₂-opname bij droge bark uren later start (zie rode verticale lijnen).

Het volgende antwoord kan gegeven worden op de gestelde onderzoeksvraag:

- Wat is het effect van vochtgehalte van het substraat op de CO₂-opname, huidmondjesopening en lichtbenutting van Phalaenopsis?

De CO₂-opname en huidmondjesopening leveren pas fors in als potten al behoorlijk droog zijn. Bij droge potten begon de afname van de lichtbenutting enige uren eerder dan het moment van huidmondjesopening in de middag, terwijl dat moment bij natte potten vrijwel samenviel. Zoals aangegeven waren de potten droger dan in de praktijk zullen voorkomen. Als er op tijd wordt water gegeven, dan is er weinig terugloop in productiviteit gedurende de dagen na watergift. Een mogelijk voordeel van het fijne substraat dat blijft, is de besparing in waterbeurten (minder energie nodig om RV en temperatuur op de dag van de gietbeurt weer onder controle te krijgen). Tevens hoeft er minder water gerecirculeerd te worden.

3.2 Interactie tussen RV en CO₂.

De tweede serie metingen is alleen verricht aan natte potten. Er is nagegaan wat het effect was van verschillen in RV en CO₂-concentratie:

- Bij 60% RV: 600, 900, 1200, 1500 ppm CO₂
- Bij 80% RV: 600, 900, 1200 ppm CO₂

Er zijn per behandeling 6-8 bladeren gemeten. Per meetserie van een week waren er eerst drie dagen acclimatisatietijd aan het nieuwe klimaat en vervolgens vier meetdagen. Om ontwikkelingseffecten uit te sluiten, is gemeten aan dezelfde bladeren. Dit was het 3^e blad van boven (hartblad=nr1) toen de metingen startten. Aan het einde van de meetserie was dit het vierde blad.

Tabel 3 geeft de hoofdresultaten weer (in Tabel 4 staan bijbehorende details vermeld):

- Bij hoge RV wordt het plafond in CO₂-opname bereikt bij 900 ppm. Bij lage RV ligt dit echter bij 1200 ppm.
- Er is een forse afname in huidmondjesopening door verhoogd CO₂. Bij hoge RV vindt zelfs een halvering plaats tussen 600 en 1200 ppm.
 - Hoog CO₂ remt dus vochttransport in de plant.
- Lage RV geeft lagere huidmondjesopening ten opzichte van hoge RV (bij 900 en 1200 ppm is dit niet statistisch significant).
- Bij hogere CO₂-gehalten lijkt er een 'bodemwaarde' te zijn voor de huidmondjesopening: Er lijkt geen verdere daling plaats te vinden.

Op basis van deze resultaten is het advies voor de telers: als de RV te laag wordt, dan kan dit deels gecompenseerd worden door een hoger CO₂-niveau aan te houden. Andersom geldt ook: er kan CO₂ bespaard worden door een hogere RV aan te houden in de kaslucht.

Tabel 3. Effect van CO₂ en RV op de CO₂-opname en de maximale huidmondjesopening gemeten aan planten in een goed vochtig substraat. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (n=6-8, Fishers LSD, $\alpha < 0.05$).

CO ₂ -gehalte	Dagsom CO ₂ -opname (mol/m ² /s) Bark grof nat		Mate van huidmondjes-opening (mol/m ² /s)	
	60% RV	80% RV	60% RV	80% RV
600 ppm	0.23 ^d	0.26 ^c	0.021 ^b	0.030 ^a
900 ppm	0.26 ^c	0.29 ^{ab}	0.017 ^{cd}	0.019 ^{bc}
1200 ppm	0.28 ^{bc}	0.30 ^a	0.014 ^e	0.015 ^{de}
1500 ppm	0.29 ^{ab}	-	0.013 ^e	-

Twee opmerkingen moeten nog worden gemaakt:

- Zoals opgemerkt laten de resultaten zien dat hoog CO₂ de huidmondjesopening fors verlaagt. De vraag kan gesteld worden of langdurig hoog CO₂ niet een te lage

verdampingsactiviteit geeft, waardoor er mogelijk fysiologische problemen zouden kunnen ontstaan zoals aan Calcium-opname gerelateerde problemen (Garcia, 2010).

- CO₂-opname staat niet in alle gevallen gelijk aan groei. Er blijft een mogelijkheid dat planten gelimiteerd zijn in groei door een ander proces. Niet de aanmaak van suikers (source) is dan beperkend voor de groei, maar de verwerking (sink) van suikers (sink-limitatie). Dit zou vooral in de opkweek kunnen gelden, omdat er dan maar twee grote sinks zijn: nieuwe bladeren en wortels. Het bladafsplittingsproces verloopt zeer traag bij Phalaenopsis en zou beperkend kunnen zijn voor verwerking van aangemaakte suikers. Om deze vraag te beantwoorden is een groeiproef nodig met behandelingen die tot verschillen in CO₂-opname leiden tijdens de opkweek.

Tabel 4 geeft de details weer behorende bij de hoofdresultaten zoals vermeld in Tabel 3. De volgende zaken vallen op:

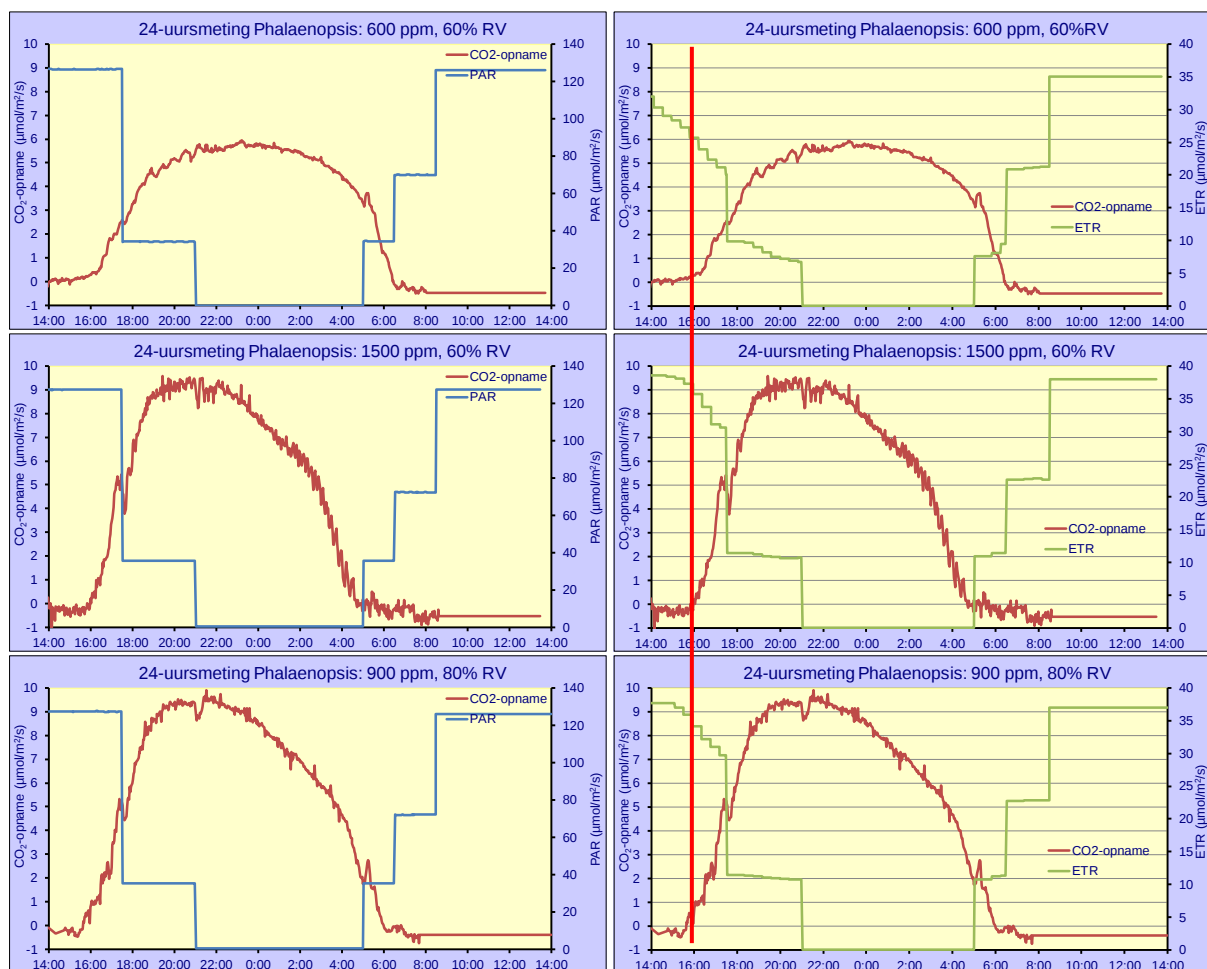
- De verschillen in CO₂-opname worden voor een relatief groot deel gemaakt tijdens CAM-fase IV (laatste uren dag!)
- De CO₂-opnametijden verschilden nauwelijks tussen de verschillende behandelingen. De start van de CO₂-opname lag tussen 15:30 en 16:00 en het einde van de CO₂-opname lag tussen 6:00 en 6:30.
- De verschillen in som ETR tijdens CAM-fase III waren zeer gering. De dagsom ETR lag bij 600ppm/60% RV wel duidelijk het laagst.

Tabel 4. Effect van CO₂ en RV op de CO₂-opname tijdens de verschillende CAM-fases, de CO₂-opnametijd, huidmondjesopening, en ETR. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (n=6-8, Fishers LSD, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

	RV 60%				RV 80%		
CO ₂ concentratie (ppm)	600	900	1200	1500	600	900	1200
24-uurssom CO ₂ -opname (mol/m ² /dag)	0.23 ^d	0.26 ^c	0.28 ^{bc}	0.29 ^{ab}	0.26 ^c	0.29 ^{ab}	0.30 ^a
som CO ₂ -opname CAM-fase I (mol/m ² /dag)	0.16 ^c	0.18 ^b	0.18 ^b	0.19 ^a	0.18 ^b	0.19 ^{ab}	0.20 ^a
som CO ₂ -opname CAM-fase II (mol/m ² /dag)	0.01 ^a	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a
som CO ₂ -opname CAM-fase III (mol/m ² /dag)	-0.01 ^a	-0.01 ^a	-0.01 ^a	-0.01 ^{ab}	-0.02 ^{ab}	-0.01 ^a	-0.02 ^b
som CO ₂ -opname CAM-fase IV (mol/m ² /dag)	0.06 ^c	0.07 ^c	0.09 ^{ab}	0.10 ^a	0.07 ^{bc}	0.09 ^{ab}	0.10 ^a
dagsom ETR (mol e-)	1.36 ^c	1.48 ^{ab}	1.49 ^{ab}	1.49 ^{ab}	1.45 ^b	1.50 ^{ab}	1.53 ^a
som ETR CAM-fase III (mol e-)	1.08 ^{ns}	1.13 ^{ns}	1.17 ^{ns}	1.14 ^{ns}	1.14 ^{ns}	1.08 ^{ns}	1.11 ^{ns}
start opname	16:03 ^{ns}	16:00 ^{ns}	16:02 ^{ns}	15:53 ^{ns}	15:58 ^{ns}	15:34 ^{ns}	15:38 ^{ns}
eind opname	6:24 ^a	6:27 ^a	5:47 ^b	5:50 ^b	6:23 ^a	6:33 ^a	6:18 ^a
opnametijd	14:20 ^{abc}	14:27 ^{ab}	13:45 ^c	13:57 ^{bc}	14:25 ^{abc}	14:58 ^a	14:39 ^{ab}
Gs _{max}	0.021 ^b	0.017 ^{cd}	0.014 ^e	0.013 ^e	0.030 ^a	0.019 ^{bc}	0.015 ^{de}

Figuur 8 geeft enkele representatieve patronen van de CO₂-opname en ETR weer bij verschillende CO₂ en RV (600 en 1500 ppm bij 60% RV, en 900 ppm bij 80% RV). Wat opvalt:

- Bij 600 ppm/60%RV is de CO₂-opnamesnelheid duidelijk lager dan bij 1500 ppm/60% RV en 900 ppm/80%RV. Ook valt er bij de verlaging van de lichtintensiteit om 17:30 geen verlaging in CO₂-opname te zien. Dit is bij de bij 1500 ppm/60% RV en 900 ppm/80%RV wel het geval, wat duidt op enige directe C3-fotosynthese bij die behandelingen.
- Bij 600 ppm/60%RV daalt de ETR duidelijk eerder dan dat de CO₂-opname 's middags start (rond 16:00; zie verticale rode lijn)! Bij 1500 ppm/60% RV en 900 ppm/80%RV ligt dit punt veel dichterbij elkaar. Blijkbaar is bij 600 ppm het malaat eerder op, waardoor de assimilatenproductie lager zal zijn. Het zou overigens te verwachten zijn dat bij een tekort aan malaat, de huidmondjes uiteindelijk 's middags eerder opengaan. Gedurende de meetweek is dit echter niet waargenomen. Het valt niet uit te sluiten dat bij een langere acclimatietijd dit wel het geval zou zijn.



Figuur 8. Effect CO₂-gehalte en RV op de CO₂-opname (rode lijn) bij grove bark. De blauwe lijn geeft de lichtintensiteit (PAR) aan. De groene lijn geeft het verloop van de ETR weer (rechts). De gekozen grafieken liggen het dichtst bij het gemiddelde van de desbetreffende behandeling. De gemiddelden van de CO₂-opname staan weergegeven in Tabel 3. Te zien is dat bij 900 en 1500 ppm de daling in ETR min of meer samenvaalt met de start van de CO₂-opname (=opening huidmondjes, zie rode lijn), terwijl de daling in ETR bij 600 ppm eerder start en veel forser is.

Het volgende antwoord kan gegeven worden op de gestelde onderzoeksvraag:

- Wat is effect van CO₂-dosering en RV op de CO₂-opname en huidmondjesopening van *Phalaenopsis*, en is er een interactie tussen CO₂ en RV?

Ja, er is een interactie tussen RV en CO₂. Bij hoge RV is CO₂ doseren zinvol tot maximaal 900 ppm. Bij lage RV kan meer dan 900 ppm nog zinvol zijn. Hoger dan 1200 ppm is niet zinvol. Met andere woorden: Vooral als CO₂ beperkend is, dan is sturen op een hogere RV zinvol. Hogere RV stimuleert huidmondjesopening. Een hogere concentratie CO₂ doet huidmondjes verder dichtgaan. Dit zou wellicht op den duur gevolgen kunnen hebben voor de nutriënten-opname.

4 Conclusies plantfysiologisch onderzoek

De doelstelling van dit plantenfysiologische onderzoek was om de volgende twee vragen te beantwoorden:

1. Wat is het effect van vochtgehalte van het substraat op de CO₂-opname, huidmondjesopening en lichtbenutting van Phalaenopsis?

De CO₂-opname en huidmondjesopening leveren pas fors in als potten al behoorlijk droog zijn. Bij droge potten begon de afname van de lichtbenutting enige uren eerder dan het moment van huidmondjesopening in de middag, terwijl dat moment bij natte potten vrijwel samenviel. Uiteindelijk waren de potten op dag 7-8 droger dan in de praktijk zullen voorkomen. Als er op tijd wordt water gegeven, dan is er slechts een beperkte terugloop in productiviteit gedurende de dagen na watergift. Een voordeel van het fijne substraat blijft de besparing in waterbeurten. Hierdoor is er minder energie nodig om RV en temperatuur op de dag van de gietbeurt weer onder controle te krijgen (minder afluchting van latente warmte). Tevens hoeft er minder water gerecirculeerd te worden.

2. Wat is effect van CO₂-dosering en RV op de CO₂-opname en huidmondjesopening van Phalaenopsis? En is er een interactie tussen CO₂ en RV?

Ja, er is een interactie tussen RV en CO₂. Bij hoge RV is CO₂ doseren zinvol tot maximaal 900 ppm. Bij lage RV kan meer dan 900 ppm nog zinvol zijn, hoger dan 1200 ppm is niet zinvol. Met andere woorden: Vooral als CO₂ beperkend is, dan is sturen op een hogere RV zinvol. Er is een forse afname in huidmondjesopening door verhoogd CO₂. Onder hoog RV vindt zelfs een halvering plaats tussen 600 en 1200 ppm. Hoog CO₂ remt dus vochttransport in de plant. Dit zou gevolgen kunnen hebben voor de nutriënten-opname. Een lage RV geeft een lagere huidmondjesopening ten opzichte van hoge een RV (bij 900 en 1200 ppm is dit niet statistisch significant).

Het is overigens niet met zekerheid te zeggen dat in opkweek-fase een maximale CO₂-opname nodig is voor een maximale groei. Als dat niet zo is, dan is het nastreven van een maximale CO₂-opname door hoge CO₂-concentraties aan te houden in de opkweekfase waarschijnlijk ook niet zo zinvol. Met een gerichte groeiproef kan hierover duidelijkheid komen.

Referenties

- Garcia Victoria N. 2010.** Bladschade bij Monocotylen Verslag van een workshop/ thema bijeenkomst. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk. 36p.
- Ryer AD. 1998.** Light measurement handbook. Vol. 1998. Newburyport: International light, 64p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS. 2013.** Meer rendement uit belichting en CO₂ bij Phalaenopsis. Bunnik: Plant Dynamics B.V. & Plant Lighting B.V., 28p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS. 2014.** Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies? Plant Lighting B.V., Bunnik. 60p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Van der Spek R, Pot CS. 2016a.** Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies II. Plant Lighting B.V., Bunnik. 45p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Van der Spek R, Pot CS. 2016b.** Zuiniger met CO₂ bij gelijkblijvende of hogere productie: Phalaenopsis. Plant Lighting B.V., Bunnik. 37p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Van der Spek R. 2017.** Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies III: Maximale daglichtbenutting voor minimale belichting Phalaenopsis. Plant Lighting B.V., Bunnik. 52p.
- Taiz L, Zeiger E. 2015.** Plant physiology and development. Sunderland (USA): Sinauer. 761p.