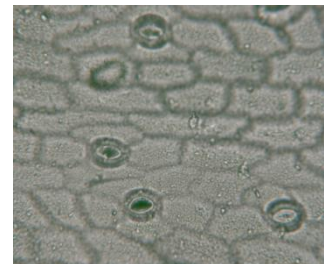
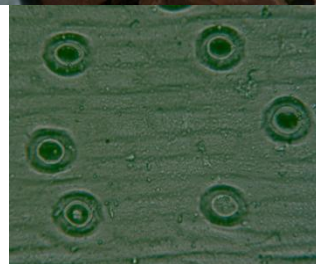
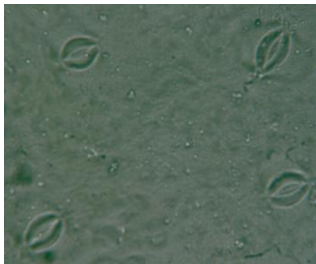


Effect huidmondjesontwikkeling op de teelt van potplanten



Maart 2012

G. Trouwborst, C.S. Pot, R. Baas en A.H.C.M Schapendonk

Effect huidmondjesontwikkeling op de teelt van potplanten

Maart 2012

G. Trouwborst¹, C.S. Pot¹, R. Baas² en A.H.C.M. Schapendonk¹

¹Plant Dynamics B.V.
Costerweg 5
6702 AA Wageningen
www.plant-dynamics.nl
Govert@Plant-Dynamics.nl

²Fytofocus
Populierenlaan 32
1185 SZ Amstelveen
www.fytofocus.nl
info@fytofocus.nl

REFERAAT

G. Trouwborst, C.S. Pot, R. Baas en A.H.C.M Schapendonk, 2012. Effect huidmondjesontwikkeling op de teelt van potplanten, Plant Dynamics B.V., Wageningen. 57p.

De bloemen- en plantensector investeert in dit project via het Productschap Tuinbouw (PT).

PT projectnummer: 14380

© 2012 Wageningen, Plant Dynamics BV

Dit rapport is to stand gekomen in samenwerking met het Productschap Tuinbouw. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Plant Dynamics BV is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

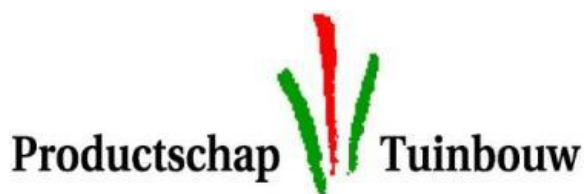
Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE	4
SAMENWERKENDE PARTIJEN	5
SAMENVATTING	6
VOORWOORD	7
1 INLEIDING EN DOELSTELLING	8
2 PROEFOPZET	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Algemene proefgegevens fase 1 voorbehandeling	11
2.3 Algemene proefgegevens fase 2 vervolgteelt	11
2.4 Metingen	12
3 RESULTATEN VOORBEHANDELING (FASE 1)	13
3.1 Klimaat	13
3.2 Lichtbenutting en fotosynthese	15
3.3 Verdampingsmetingen	16
3.4 Eindmetingen voorbehandeling	18
3.5 Conclusies Voorbehandeling	20
4 RESULTATEN VERVOLGTEELT (FASE 2)	21
4.1 Anthurium	21
4.1.1 Klimaat	21
4.1.2 Geleidbaarheid en fotosynthese	22
4.1.3 Verdamping en bladdikte	23
4.1.4 Plantgroei en ontwikkeling	25
4.1.5 Conclusies Anthurium	27
4.2 Miltoniopsis en Cymbidium	28
4.2.1 Klimaat	28
4.2.2 Geleidbaarheid en fotosynthese	29
4.2.3 Verdamping en bladdikte	31
4.2.4 Plantgroei en ontwikkeling	35
4.2.5 Conclusies Cymbidium en Miltoniopsis	37
5 GRENZEN AAN HET KLIMAAT	38
5.1 Anthurium	38
5.2 Cymbidium en Miltoniopsis	40
5.3 Conclusies klimaat	42
6 MODELANALYSE VERDAMPING POTPLANTEN	43
6.1 Theorie verdamping	43
6.2 Scenario-analyses	45
6.3 Conclusies modellering	53
7 SLOTBESCHOUWING	54
7.1 Te volgen strategie voor Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis	54
7.2 Perspectieven tuinbouwbreed	55
7.2.1 Lichtminnende (vrucht)groente gewassen	55
7.2.2 Lichtminnende siergewassen	55
7.2.3 Schaduwminnende siergewassen	56
REFERENTIES	57

Samenwerkende partijen



Floricultura®
ORCHIDACEAE



Samenvatting

De huidmondjes van een plant spelen een leidende rol in enerzijds verdamping en koeling en anderzijds opname van CO₂ voor de fotosynthese. Bij gewassen waarbij de huidmondjesgeleidbaarheid sterk limiterend kan zijn (zoals bij potplanten van tropische origine zoals *Miltoniopsis*, *Cymbidium* en *Anthurium*), neemt bij toenemende straling de planttemperatuur sterk toe. Bij deze planten kan zelfs onder gunstige klimaatsomstandigheden (hoge RV) de planttemperatuur sterk toenemen terwijl de huidmondjes maximaal open staan. De toename in planttemperatuur is namelijk het gevolg van een onvoldoende koelend vermogen van het gewas. Het koelend vermogen van bladeren wordt bepaald door de huidmondjesanatomie (aantal en poriegrootte) van de bladeren. Deze huidmondjesanatomie is vaak de beperkende factor maar kan beïnvloed worden gedurende de bladontwikkelingsfase. Bij volgroeide bladeren kan alleen nog fysiologisch gestuurd worden op huidmondjesopening.

Dat de huidmondjesanatomie positief kan worden beïnvloed door het klimaat (vooral RV) is aangetoond in het vooronderzoek “Stimuleren van de huidmondjesontwikkeling bij diverse potplanten”. Dit vooronderzoek vond plaats onder geconditioneerde omstandigheden in een klimaatkamer. Op basis van die resultaten is er een vervolgonderzoek gedaan in de praktijk om na te gaan of er onder dynamische klimaatomstandigheden ook gestuurd kan worden op de huidmondjesanatomie (fase 1) en hoe het extra koelende vermogen uitwerkt op het vervolg van de teelt (fase 2). De achterliggende doelstelling is het maximaliseren van het gebruik van gratis zonlicht.

Fase 1: Onder praktijkomstandigheden is sturen op meer koelend vermogen haalbaar. Bladeren van *Anthurium*, *Cymbidium* en *Miltoniopsis* die opgroeiden onder een hoge RV hadden respectievelijk een 30, 50 en 20% hogere huidmondjesgeleidbaarheid dan planten die opgroeiden onder een lage RV. Dit wijst op een veranderde huidmondjesanatomie. Aan het einde van deze fase van 11 weken was het scheutgewicht van *Anthurium*, *Cymbidium* en *Miltoniopsis* respectievelijk 24%, 9% en 21% hoger. De toename (eindgewicht minus startgewicht) in versgewicht van boven- en ondergrondse delen in 11 weken tijd was respectievelijk 25, 21 en 37% hoger. Dit groeiverschil wordt vooral verklaard door het positieve effect van de hogere RV op de huidmondjesopening.

Fase 2: In het vervolg van de teelt werden beide opkweekbehandelingen blootgesteld aan een lage RV. Het effect van het grotere koelende vermogen was tot 6 weken na wissel meetbaar: de huidmondjesgeleidbaarheid was hoger en bleven gedurende de dag langer open staan. Het groeiverschil door de voorbehandeling bleef bij *Anthurium* in stand, bij *Miltoniopsis* en *Cymbidium* werd dit steeds minder. Ook de plantontwikkeling werd door de voorbehandeling beïnvloed. De hoog RV-voorbehandeling resulteerde bij *Anthurium* in een bloeiversnelling van enige weken, bij *Cymbidium* in een tragere scheutvorming, terwijl het bij *Miltoniopsis* resulteerde in een snellere scheutvorming.

Op basis van de metingen zijn er ook grenzen aan het klimaat bepaald. Boven de 225-250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op plantniveau (0.9 mol/uur) bereiken alle drie de soorten lichtverzadiging. Als de VPD-plant boven de 1.0 kPa gaat stijgen, kan de lichtintensiteit beter verlaagd worden (om stress te voorkomen).

Duidelijk is geworden dat het toelaten en benutten van extra zonlicht moet samen gaan met een hogere RV. Als het vochtgehalte niet in de hand te houden is, dan kan er beter teruggeschakeld worden in lichtniveau (door extra schermen). Door sturing op een vergroting van het koelend vermogen van bladeren zal een kritische waarde van de VPD die huidmondjessluiting induceert minder snel bereikt worden. Het eindresultaat van bladeren met meer dan wel grotere huidmondjes is een verbeterde CO₂ opname, hogere lichtbenutting met minder lichtschade, betere gewaskoeling en bovendien een verminderde afhankelijkheid van de VPD.

Voorwoord

Begin 2010 is door Plant Dynamics onderzoek gedaan naar grenswaarden voor licht, luchtvochtigheid en CO₂ voor het gewas Miltoniopsis. Gedurende dat project werd duidelijk dat ondanks de heersende hoge RV in de kas de huidmondjes zich toch sloten bij oplopende lichtintensiteit. Dit kwam doordat de bladtemperatuur en zo de dampdrukdeficit tussen blad en kaslucht snel opliep. Het koelend vermogen van die planten bleek te beperkt. Vervolgens is in een literatuuronderzoek nagegaan of het koelend vermogen van planten beïnvloed kan worden door klimaatsfactoren. In een 'proof of principle' is aangetoond dat het koelend vermogen van planten sterk beïnvloed kan worden door de RV gedurende de opkweek (begin 2011). De hier beschreven proef is een vervolg in de praktijk.

Onze dank gaat uit naar de bedrijven die de planten hebben geleverd: Rijnplant en Floricultura. Tevens willen wij Martin van Noort (Rijnplant), Erwin van de Werken (Floricultura), Michel Hendriks (Hendriks Orchids) en Fred Besuijen (Muilwijk-Besuijen Orchideeën) hartelijk bedanken voor hun inbreng tijdens de BCO-vergaderingen. Onze dank gaat ook uit naar Arthur van den Berg (LTO Groeiservice) voor het regelen en begeleiden van de BCO-vergaderingen.

Martin van Noort (Rijnplant) en Hans de Jong (Floricultura) willen we hartelijk bedanken voor hun inzet voor de dagelijkse gewasverzorging.

Als laatste zijn we het PT erkentelijk voor de financiering van het onderzoek.

Maart 2012,

Govert Trouwborst, Sander Pot, Rob Baas en Ad Schapendonk

1 Inleiding en doelstelling

De huidmondjes van een plant spelen een leidende rol in enerzijds verdamping en koeling en anderzijds opname van CO₂ voor de fotosynthese. Bij gewassen waarbij de huidmondjesgeleidbaarheid sterk limiterend kan zijn (zoals bij potplanten van tropische origine zoals *Miltoniopsis*, *Cymbidium* en *Anthurium*), neemt bij toenemende straling de planttemperatuur sterk toe. Bij deze planten kan zelfs onder gunstige klimaatsomstandigheden (hoge RV) de planttemperatuur sterk toenemen terwijl de huidmondjes maximaal open staan. De toename in planttemperatuur is namelijk het gevolg van een onvoldoende koelend vermogen van het gewas. Het koelend vermogen van bladeren wordt bepaald door de huidmondjesanatomie (aantal en poriegrootte) van de bladeren. Deze huidmondjesanatomie is dus de beperkende factor en kan alleen beïnvloed worden gedurende de bladontwikkelingsfase. Als gevolg van de toename in planttemperatuur is het vochtdeficit van blad naar kaslucht (VPD)¹ niet in de hand te houden en sluiten de huidmondjes. Huidmondjessluiting remt de opname van CO₂ wat een enorme remming op de fotosynthese met zich meebrengt. Tevens neemt de bladtemperatuur verder toe. Door deze combinatie neemt de kans op schade aan het fotosynthesesysteem fors toe.

Uit onderzoek door Plant Dynamics (Stimuleren huidmondjesontwikkeling bij diverse potplanten, PT 14142; zie Trouwborst *et al.*, 2011) kwam duidelijk naar voren dat onder geconditioneerde (klimaatkamer) omstandigheden de huidmondjesgeleidbaarheid en daarmee het koelend vermogen van opkweekplanten sterk kan worden vergroot.

In dat onderzoek stonden de volgende vragen centraal:

1. Kan de huidmondjesanatomie van nieuw ontwikkelende bladeren door de klimaatfactoren lichtintensiteit, lichtkleur en RV positief beïnvloed worden?
2. Wat is hierbij de vergroting van het koelend vermogen van deze bladeren?
3. Welke klimaatsfactor (of combinatie van factoren) is hierin het meest bepalend?

Het antwoord op de eerste vraag was voor alle onderzochte soorten positief. De vergroting van het koelend vermogen varieerde zelfs tussen de 35-80% (Fig. 1). De meest kansrijke klimaatsfactor voor de vergroting van het koelend vermogen was het toepassen van een hoge RV. Lichtintensiteit had weinig effect, terwijl het effect van lichtkleur per plantsoort verschilde. Gedurende de proefperiode (10 weken) was er tussen de 20 en 50% meer groei bij hoog RV. Alleen bij *Areca* was er weinig verschil in plantgewicht tussen de behandelingen aan het einde van de proef. Vanwege de trage bladafplitsing was waarschijnlijk de proefduur niet lang genoeg om gewichtsverschillen te laten optreden. Bij *Spathiphyllum* nam het koelend vermogen en de groei duidelijk toe als de planten worden opgekweekt bij hoog RV. Echter dit gewas is volgens de telers door de hoge plantdichtheid en het vele blad juist regelmatig gebaat bij wat minder verdamping om het vocht in de kas niet te hoog op te laten lopen.

¹ De VPD (dampdrukverschil tussen kas en blad) 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

Een rekensheet om de VPD te berekenen is beschikbaar op www.fytofocus.nl/downloads.htm

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.

Daarom is vervolgonderzoek uitgevoerd aan de potplanten Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis. Dit zijn kansrijke soorten om het effect van extra huidmondjesontwikkeling aan te tonen en zijn bovendien gebaat bij meer vocht in de kas. Dit geldt voor vele andere potplanten, waardoor de resultaten van dit onderzoek een breder belang dienen dan alleen potorchideeën en Anthurium.

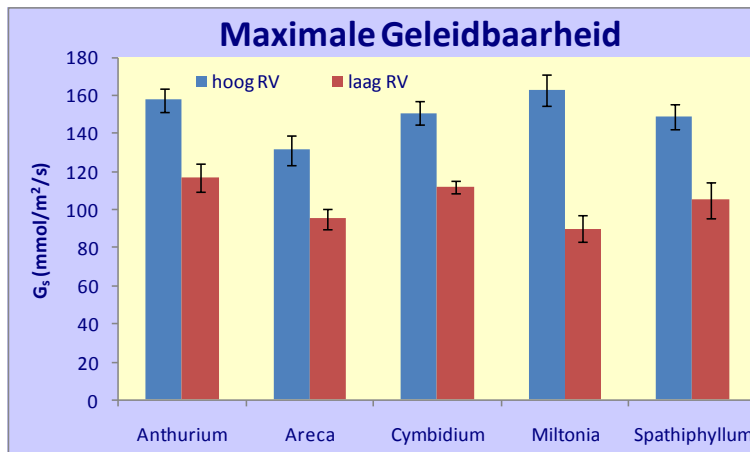


Fig. 1. Maximale geleidbaarheid van bladeren die ontwikkeld zijn onder geconditioneerde omstandigheden (klimaatkamer) onder 80% RV en 50% RV. De maximale geleidbaarheid bepaald samen met de VPD de maximale verdamping (= koelend vermogen) van bladeren (Bron: Trouwborst et al. 2011).

Doelstelling onderzoek:

Op basis van bovenstaande positieve resultaten is in een eerste fase onderzocht of er in een praktijkomgeving (dynamische klimaatomstandigheden) ook gestuurd kan worden op de huidmondjesanatomie (groter koelend vermogen). Vervolgens is in een tweede fase het effect van het geïnduceerde grotere koelend vermogen op het vervolg van de teelt in praktijkomgeving onderzocht. In de praktijk is namelijk sprake van een dynamisch klimaat, waarbij het extra koelend vermogen van een gewas goed van pas kan komen. De achterliggende doelstelling is het maximaliseren van het gebruik van gratis zonlicht.

Opbouw van het rapport

Het rapport is als volgt opgebouwd: Hoofdstuk 2 gaat in op de proefopzet en de metingen. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van fase 1 (opkweekfase / voorbehandeling) gepresenteerd. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van fase 2 gepresenteerd. Hoofdstuk 5 gaat in op de grenzen aan het klimaat. In hoofdstuk 6 worden berekeningen van productie en verdamping met het Explorer model gepresenteerd. In de slotbeschouwing (Hoofdstuk 7) worden de lijnen uit dit onderzoek breder getrokken dan alleen de onderzochte gewassen.

De theorie waarop dit rapport gebaseerd is, wordt uitgebreid uiteengezet in de rapporten:

- Huidmondjes in ontwikkeling: Invloed van omgevingsfactoren op de huidmondjesanatomie van bladeren, een literatuurstudie (Trouwborst et al. 2010).
- Stimuleren van de huidmondjesontwikkeling bij diverse potplanten (Trouwborst et al. 2011).

Voor meer achtergrondinformatie en uitleg over de fotosynthese verwijzen we u naar: Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk (Pot et al. 2011).

Tijdens het lezen van dit rapport is het goed om voor ogen te houden dat er door het aanhouden van een hoge RV in de kas op twee manieren wordt gestuurd:

1. sturing op open huidmondjes van de *volgroeide* bladeren (fysiologische sturing)
2. sturing op de huidmondjesanatomie (meer of grotere huidmondjes), resulterend in een hogere maximale geleidbaarheid van *ontwikkende* bladeren.

2 Proefopzet

2.1 Inleiding

Bij Rijnplant B.V. (Hofzichtlaan, De Lier) is in twee kasafdelingen met en zonder verneveling (hoge en lage RV, respectievelijk lage en hoge VPD) opweekmateriaal van Anthurium “Lady Love”, Cymbidium “Cape Queen” en Miltoniopsis “Maui Smiles” opgekweekt om een verschil in koelend vermogen te bereiken (Fase 1, Foto 1). Vervolgens zijn van deze planten de vervolgeffecten van het verschil in koelend vermogen op de teelt onder dynamische kasomstandigheden in kaart gebracht (Fase 2). Fase 2 van Anthurium vond plaats bij Rijnplant (De Lier). Fase 2 van Cymbidium en Miltoniopsis vond plaats in een proefkas van Floricultura (Assendelft) onder een voor de praktijk medium en hoog lichtniveau (Foto 2).



Foto 1. Proefopstelling fase 1, Voorbehandelingen van Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis onder een hoge en een lage RV. Cymbidium en Miltoniopsis stonden op trays zodat ze geen water kregen via het eb- en vloedsysteem. Deze planten kregen water en voeding met de hand (broes)



Foto 2. Proefopstelling fase 2: Anthuriums van twee voorbehandelingen in één kas bij Rijnplant en Cymbidium en Miltoniopsis bij Floricultura onder respectievelijk hoog en laag licht (door tentconstructie voor de laag licht behandeling met acryldoek).

2.2 Algemene proefgegevens fase 1 voorbehandeling

Locatie: Rijnplant, Hofzichtlaan, De Lier

Behandelingen: Hoog RV (HRV) en laag RV (LRV) (Foto 1).

Periode: week 21-33

Gegevens kasafdelingen: zie tabel 1.

Bemesting:

- Anthurium (via eb/vloed: EC=1.6, pH=6),
- Cymbidium en Miltoniopsis (via broezen eerst 2x per week, daarna eens per 5 dagen (EC=1.1; pH=5.6)

Plantdichtheid en potmaat:

- Anthurium: 42 pl/m², potmaat 14
- Miltoniopsis: 60pl/m², potmaat 12
- Cymbidium: 60pl/m², potmaat 12

Tabel 1. Gegevens kasafdelingen fase 1 (Venlotype)

	Afdeling HRV	Afdeling LRV
Luchtbevochtiging	ja	nee
Setpoint RV	>70%	geen
Type schermen	Buitenscherm	Binnenscherm
krijt	nee	Ja, periode week 21-37
Vloerverwarming (betonvloer)	ja	ja
Max. lichtintensiteit plantniveau	Ongeveer 220 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$	Ongeveer 220 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$
CO₂-gift	ja	ja

2.3 Algemene proefgegevens fase 2 vervolgteelt

Anthurium:

- Locatie: Rijnplant (Hofzichtlaan De Lier, LRV-afdeling (beschrijving: zie boven)
- Periode: week 33-48
- Plantdichtheid: dichtheid: 16 pl/m²
- Behandelingen: twee voorbehandelingen onder hetzelfde klimaat (lage RV, Foto 2).
- Watergift: eb-vloed 'naar behoefte' met interval rond 7 dagen

Miltoniopsis en Cymbidium

- Locatie: Floricultura (Zaandammerweg, Assendelft (beschrijving proefkas):
- Periode: week 33-51
- Proefkas: Breedkapper, nokbeluchting met krijt op de ramen, 'eronder' buitenscherm
- Behandelingen: twee voorbehandelingen bij twee lichtniveaus (Foto 2).
- Kweek op open roltafels
- Verwarming onder de roltafels
- Plantdichtheid:
 - Miltoniopsis: Wk 33-51: 60 pl/m²
 - Cymbidium: Wk 33-45: 60 pl/m², Wk45-51: 30 pl/m²
- Bemesting Floricultura: 2x per week water naar behoefte met 100 kg 20-20-20 en 25 kg Bitterzout per 1000 liter, met een EC van 0,5-0,6, aangevuld met 75 kg Calsal tot een EC van 0,8-0,9. Eén keer per maand kreeg alles schoon water.

2.4 Metingen

Gedurende het experiment is de bladtemperatuur en de plantreactie (lichtbenutting en stress) via plantsensoren online gevolgd. Hiertoe zijn vier GrowWatches ingezet, waarbij afwisselend in elke behandeling werd gemeten. Periodiek zijn via intensieve meetsessies de planten gescreend op:

- 1) Verdamping op blad- en plantniveau (via porometer (Foto 3) en weging (foto4))
- 2) Fotosynthesemetingen en huidmondjesgedrag over de dag (LiCor-6400, Foto 3)
- 3) Celspanning in relatie tot watergift via bladdiktesensoren (Foto 6)
- 4) Plantontwikkeling zoals blad/wortel kwaliteit en bulb- en scheutvorming
- 5) Gewichtstoename van de planten door middel van tussentijdse oogsten

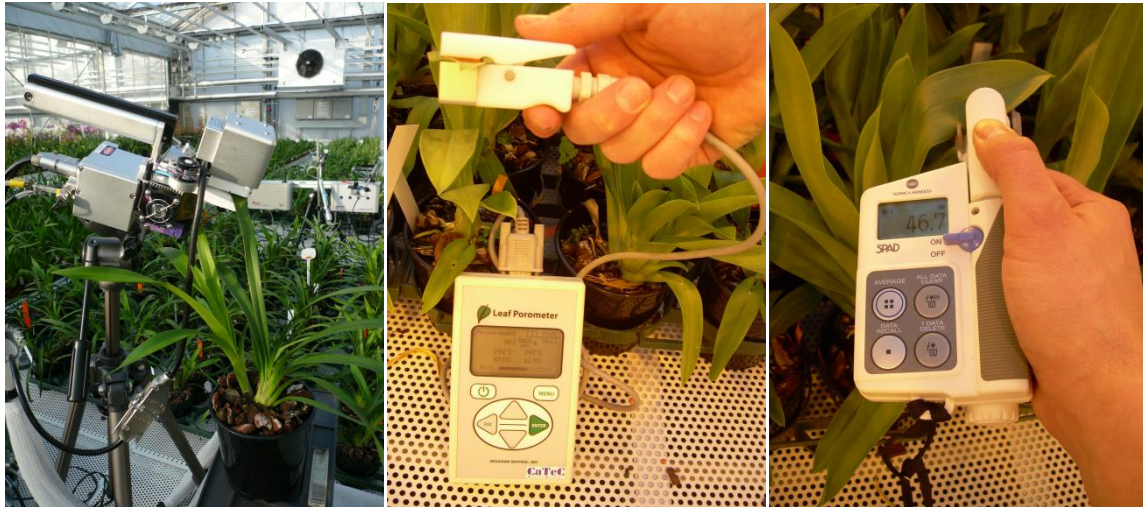


Foto 3. Meting van de fotosynthese met een LiCor-6400 (op de achtergrond staat een growwatch opgesteld), Meting van de geleidbaarheid met een porometer, meting van het chlorofylgehalte met een SPAD-meter.

3 Resultaten voorbehandeling (fase 1)

3.1 Klimaat

De voorbehandeling hoog en laag RV werd gerealiseerd door de planten te verdelen over twee kascompartimenten met respectievelijk wel en geen bevochtiging (Tabel 1). De kas met bevochtiging was voorzien van een buitenscherm. De dagsommen PAR en de gemiddelde temperatuur overdag verschilden licht voor beide typen voorbehandelingen (Foto 2): over de gehele periode kwam er in de hoog RV-afdeling 7% meer licht dan in de laag RV-afdeling (Fig. 2AB; Tabel 2). De planttemperatuur overdag was 0.5 graden lager in de hoog RV-afdeling. In de nacht werd dit verschil gecompenseerd (Tabel 1). De VPD was in de laag RV-afdeling tot ongeveer half Juli overdag veel hoger dan de hoog RV-afdeling (Fig. 2C). Vanaf half juli tot half augustus waren de verschillen in VPD gering. Het CO₂-gehalte was in de hoog RV-afdeling iets hoger.

Tabel 2. Gemiddeld klimaat overdag en 's nachts (lichtniveau < 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) van week 21-32

klimaatfactor	Afdeling HRV	Afdeling LRV
PARsom	6.2	5.8
Tplant overdag (°C)	23.7	24.2
Tplant nacht (°C)	22.4	21.9
RV overdag (%)	72	63
RV nacht (%)	84	82
VPD overdag	0.84	1.17
VPD nacht	0.41	0.47
CO₂ overdag	576	513
CO₂ nacht	709	696

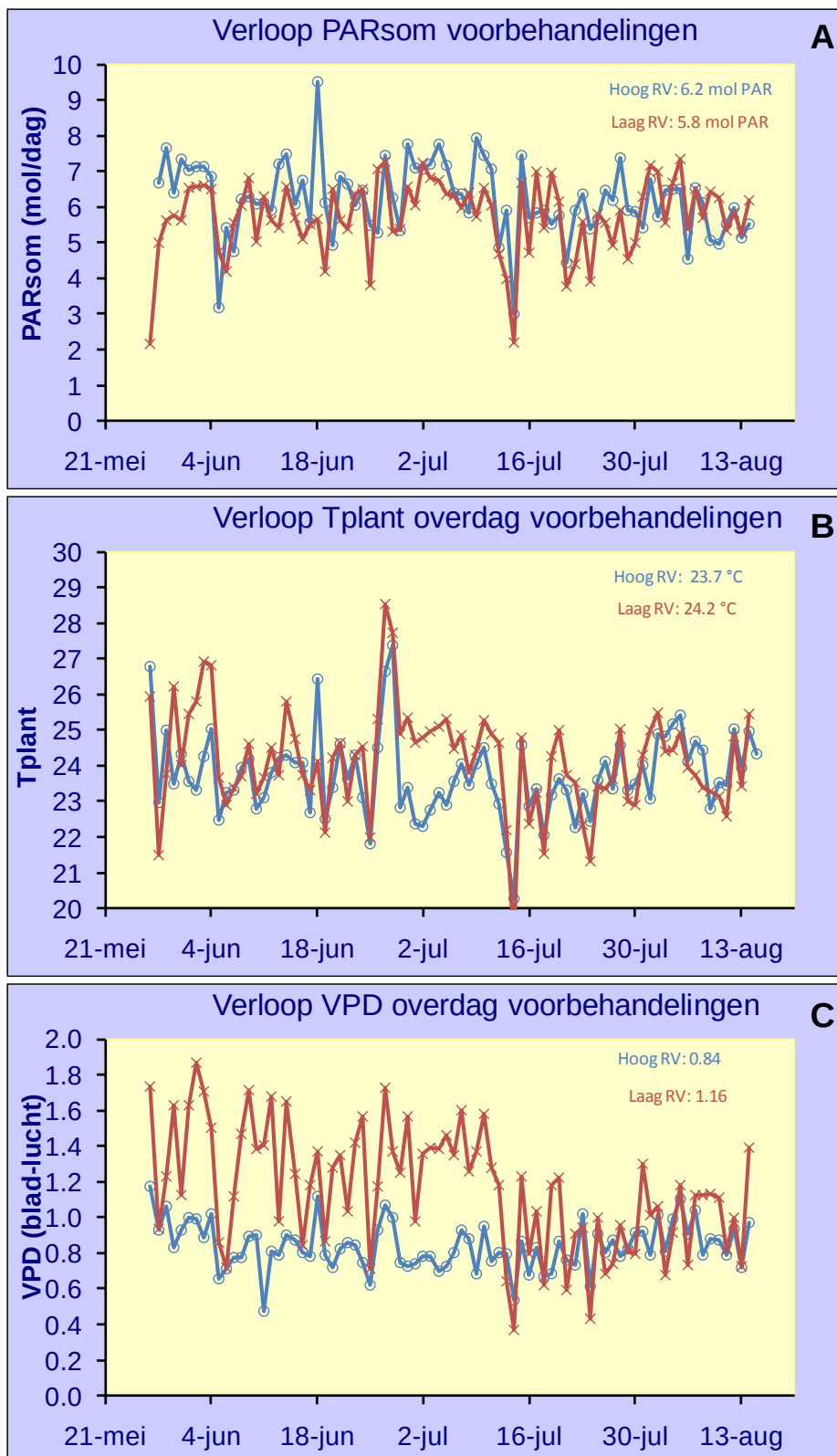


Fig. 2. Verloop PARsom (A), planttemperatuur (B) en VPD (C) voor beide behandelingen. Planttemperatuur en VPD zijn weergegeven als gemiddelde gedurende de dag (lichtniveau > 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR).

3.2 Lichtbenutting en fotosynthese

Gedurende het Growsense II project (Dankers *et al.*, 2011) heeft Plant Dynamics de online stressdetectie met de Plantivity uitgebreid. Deze methode is ook toegepast in dit onderzoek, zodat direct zichtbaar wordt hoe de proefplanten omgaan met het aangeboden PAR-licht en hoe dit licht wordt verdeeld over:

- Benut licht voor de fotosynthese: groen (benut licht)
- Overmaat aan licht dat gereguleerd wordt afgevoerd: blauw (lichtbelasting)
- Overmaat aan licht dat schade veroorzaakt: rood (lichtschade).

Over de gehele proefperiode werd de lichtbenutting van beide behandelingen gevolgd. Om de beurt werden bladeren van Anthurium, Cymbidium en Miltonia door de Plantivity gemeten. Verschillen in lichtbenutting waren over het algemeen beperkt, maar soms ook duidelijk aanwezig. Als voorbeeld wordt de lichtbenutting bij Miltoniopsis op twee dagen getoond (Fig. 3) waarbij de VPD in de laag RV-afdeling ruim anderhalf keer zo hoog was als in de hoog RV-afdeling. Op beide dagen was de lichtsom in de laag RV-afdeling iets hoger. Op 20 juli liep de lichtbelasting in de laag RV-afdeling sterk op (relatief veel blauw). Waarschijnlijk werd dit veroorzaakt door de hoge VPD die steeg tot 2 kPa in combinatie met een lage CO₂-concentratie (400 ppm). Miltoniopsis is gevoeliger voor lichtschade aan het fotosyntheseapparaat (NB niet met het blote oog zichtbaar) wanneer de RV in de kas laag is. Bij een lage RV (en dus hoge VPD) is de huidmondjesgeleidbaarheid van Miltoniopsis erg laag en kan bij medium lichtniveaus al leiden tot schade aan het fotosyntheseapparaat (Trouwborst *et al.*, 2010).

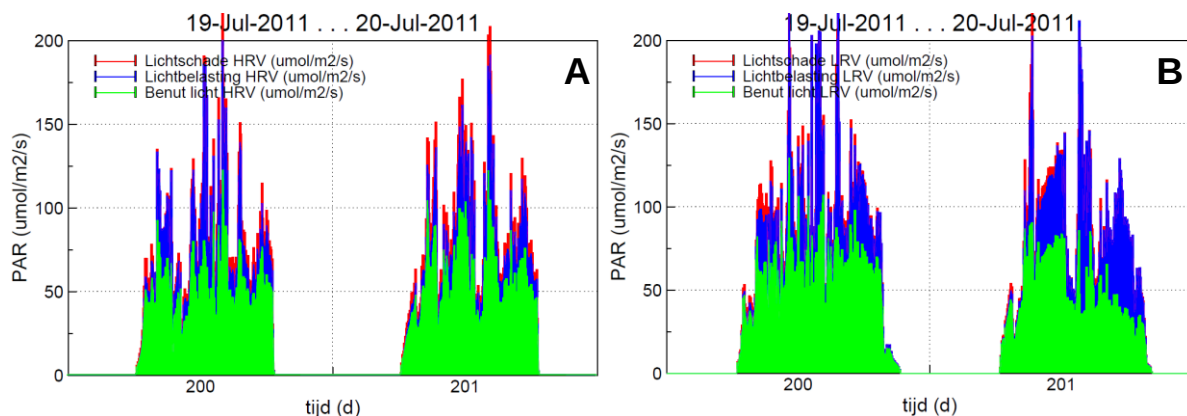


Fig. 3. Geabsorbeerd PAR-licht verdeeld over benut licht (groen vlak), Lichtbelasting (blauw vlak) en lichtschade (rood vlak) voor de HRV-behandeling (A) en de LRV-behandeling (B) (Dagsom PAR HRV: 5.5 en 5.7; LRV: 7.0 en 6.1).

Het effect van een hoge VPD is nog groter op de gerealiseerde assimilatie. Door de sluiting van de huidmondjes in de laag RV-afdeling daalt de assimilatielijn ten opzichte van het aandeel benut licht (Fig. 4). In Figuur 4 is te zien dat in de hoog RV-afdeling de assimilatielijn (blauwe lijn) het aandeel benut licht (groene vlak) volgt, terwijl in de laag RV-afdeling daarentegen de assimilatielijn (rode lijn) onder het aandeel benut licht ligt. Het aandeel benut licht wordt in de laag RV-afdeling dus niet altijd ten volle benut voor de vastlegging van CO₂ doordat de huidmondjes gesloten zijn.

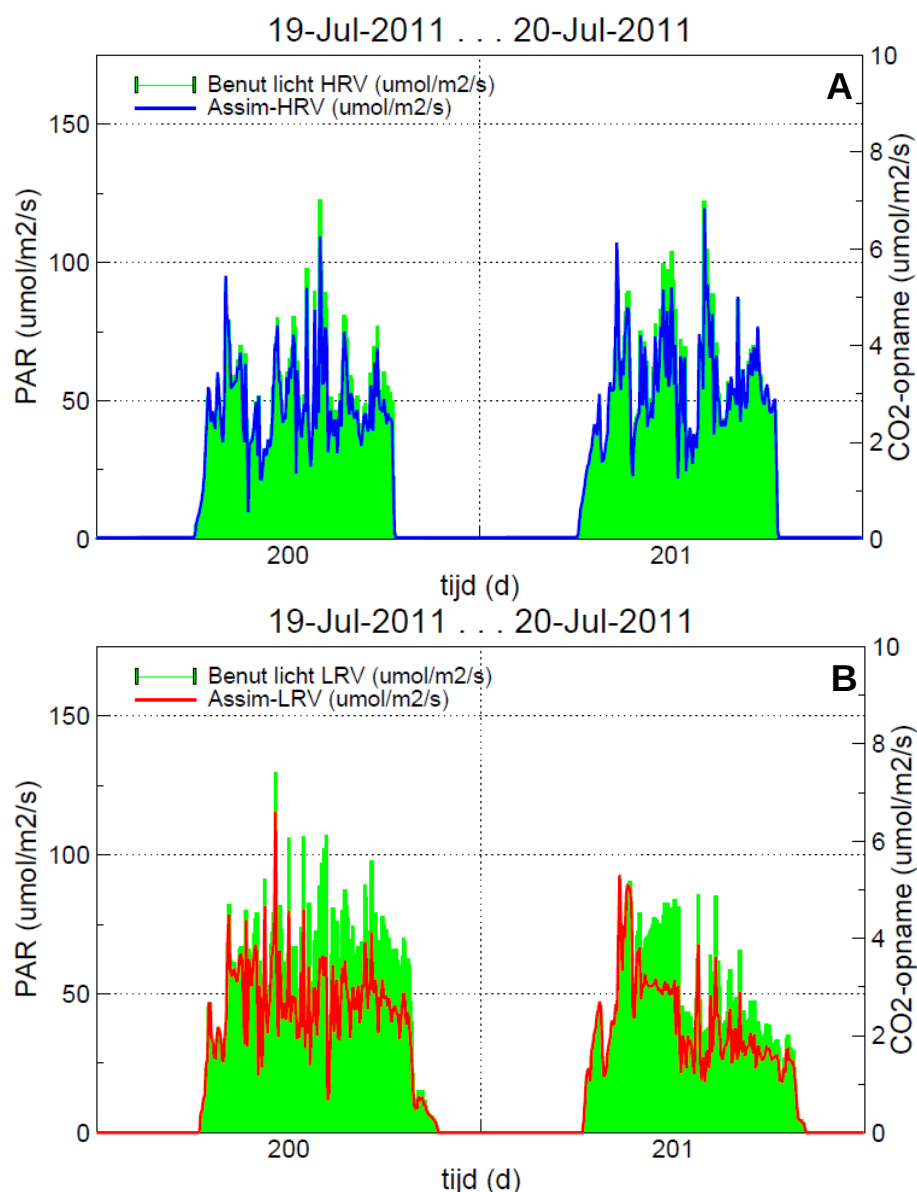


Fig. 4. Gerealiseerde assimilatie voor de hoog RV-afdeling (A, blauwe lijn) en de laag RV-afdeling (B, rode lijn) ten opzichte van het aandeel benut licht (groen vlak: NB dit zijn dezelfde groene vlakken als in Fig. 3). Het CO_2 -niveau was in beide afdelingen ongeveer 400 ppm, terwijl de VPD in laag RV-afdeling steeg tot bijna 2 kPa. Dat in de laag RV-afdeling de assimilatielij n het groene vlak niet volgt, wordt veroorzaakt door sluiting van de huidmondjes door de hoge VPD.

3.3 Verdampingsmetingen

Eind juni 2011 werd weegapparatuur van Fytofocus in de beide afdelingen (hoge RV en lage RV) geplaatst. Per afdeling werd één weegunit geïnstalleerd met een oppervlak van 0.4 m^2 . Op elke weegunit werden 21 potanthuriums van potmaat 14 geplaatst (Foto 4). De potten stonden op een rooster dat ca. 1 cm boven de betonvloer hing. Watergift gebeurde via een eb- en vloedsysteem: de opvoerhoogte was –afhankelijk van de positie op de betonvloer– ca. 3-5 cm. Incidenteel werd er een gietbeurt met de regenleiding bovendoor gegeven. Registratie van unitgewicht vond iedere 10 minuten plaats. Uit de gewichtsverschillen werd de potverdamping berekend voor de periode 1 juli tot 15 augustus. De potverdamping bestaat uit de verdamping via de plant maar ook via de potgrond. Het aandeel verdamping via het substraat (substraatverdamping) kan –afhankelijk van de plantgrootte en substraat– bij b.v. Phalaenopsis wel tot 80% bedragen van de totale potverdamping (Baas, 2008).



Foto 4. *Potanthurium* op een weegunit tijdens de voorbehandeling.

De potverdamping (ET=evapotranspiratie) bestaat uit de processen substraatverdamping (vanuit het substraat) en transpiratie (verdamping) vanuit de plant (Baas 2010).

Bij substraatverdamping spelen twee fysische processen een rol:

1. Omzetting van water in waterdamp door toegevoerde energie. Deze energie kan afkomstige zijn van zon, assimilatielampen en van de buisverwarming
2. Transport van waterdamp. Dit wordt bepaald door de gradiënt in vochtgehalte tussen lucht en substraat (vochtdeficit van de kaslucht=drijvende kracht) en door de windsnelheid

Wanneer naast evaporatie ook transpiratie meegenomen wordt (evapotranspiratie, ET), is ook het vermogen van de plant om water te transporteren door de huidmondjes bepalend. Hierbij spelen de weerstanden van de huidmondjes en de grenslaag (stilstaande lucht) op het blad een rol. De drijvende kracht hiervoor is de verdampingsdruk (VPD).

In Fig. 5. Is het verloop van het gemiddelde potgewicht en de potverdamping (substraatverdamping en transpiratie van de plant samen) weergegeven voor de periode van 27 juni tot 16 augustus.

Opvallende zaken hierbij zijn:

- De potverdamping is vooral in de beginperiode in de LRV-behandeling hoger dan in de HRV-behandeling.
- De potverdamping in de LRV-behandeling is meer variabel dan in de HRV-behandeling.
- De verdamping lijkt –naarmate de tijd na een vloedbeurt toeneemt– af te nemen.
- De maximaal gemeten etmaalverdamping was 38 g/pot, dit komt bij de plantdichtheid van 42 overeen met 1.6 l/m². Gemiddeld was de verdamping 1.0 l/m².
- De tussenperiodes van watergift tot watergift. Deze is in de HRV-behandeling minimaal zeven dagen, maar 10 en 12 dagen komt ook voor. De langst gemeten tussenperiode is 14 dagen bij LRV.

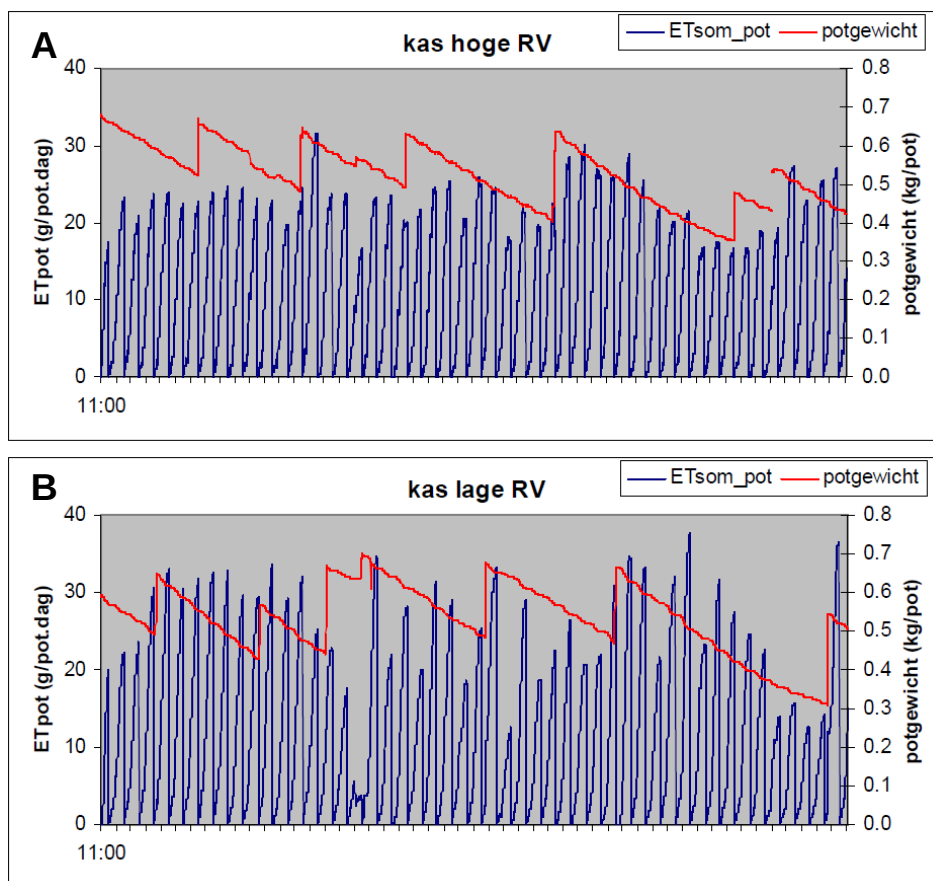


Fig. 5. Potverdamping (van plant en potgrond) en potgewicht van potanthurium gedurende periode 27-7-'11 tot 16-8-'11 in de afdelingen met hoge (A) en lage (B) RV.

In Tabel 3 is de gemiddelde potverdamping berekend in de voorbehandelingen. Hieruit blijkt dat de verdamping 13% hoger was in de LRV-behandeling. Of dit toe te rekenen valt aan verdamping van de plant of van de potgrond is bij deze meting niet te scheiden. In ieder geval was in de LRV-afdeling de verdampingsdruk fors hoger: het verschil in vochtdeficit was 1.1 g/m^3 tussen de behandelingen in deze periode.

Tabel 3. Gemiddelde potverdamping van potanthurium gedurende de voorweekperiode (bij plantdichtheid $42/\text{m}^2$). VD en VPD zijn gemiddelden van dag en nacht. Meetperiode 1-7-'11 tot 14-8-'11.

Behandeling	Potverdamping	PARsom	VD	VPD
	g/pot.dag	mol/dag	g/m^3	kPa
Hoog RV	22.9	6.1	4.5	0.6
Laag RV	26.2	6.0	5.6	0.8

3.4 Eindmetingen voorbehandeling

Gedurende 11 weken (week 21-31) zijn de proefplanten opgegroeid onder hoog RV (HRV) of laag RV (LRV). Deze voorbehandeling had als doel om plantmateriaal te creëren met een verschillend koelend vermogen. Om dit te controleren is aan het eind van deze periode de geleidbaarheid bepaald onder condities dat de huidmondjes maximaal open staan (in de ochtend bij een hoge RV en voldoende licht). Planten die opgroeiden bij een lage RV zijn hiervoor enkele dagen in de hoog RV-afdeling gezet. Bij Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis resulteerde dit in respectievelijk een 30, 50 en 20%

hogere geleidbaarheid en dus hoger koelend vermogen voor bladeren die opgegroeid waren onder een hoge RV (Fig. 6A). Bij Miltoniopsis was de bladontwikkeling zeer beperkt. Waarschijnlijk kwam dit door bulbvorming. Als er bij Miltoniopsis bulbvorming optreedt, dan stopt namelijk de bladvorming van de moederscheut. Bij de LRV-planten van Anthurium en Miltoniopsis was, ondanks de lagere geleidbaarheid, de fotosynthese niet lager (Fig. 6B), dit komt doordat de geleidbaarheid nog niet beperkend was. Bij een stijging van de lichtintensiteit is deze sneller beperkend.

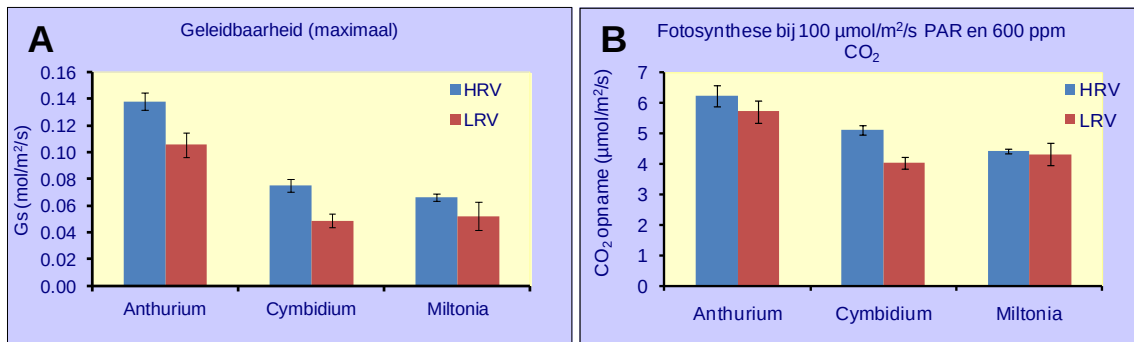


Fig. 6. Maximale geleidbaarheid (A) en bijbehorende fotosynthese bij 100 μ mol/m²/s PAR (B) gemeten bij hoog RV van planten afkomstig van hoog RV (HRV) en laag RV (LRV).

Het versgewicht van de planten die in de hoog RV-afdeling stonden was voor alle drie de soorten fors hoger (Fig. 7A). Voor Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis was het bovengrondse deel respectievelijk 24%, 9% en 21% hoger. De toename (eindgewicht minus startgewicht) in versgewicht van boven- en ondergrondse delen in 11 weken tijd was respectievelijk 25, 21 en 37% hoger. Het verschil in CO₂ in beide afdelingen was beperkt (Tabel 2). Het lichtniveau was slechts 7% hoger (Tabel 2), dus het groeiverschil is vooral te verklaren doordat de huidmondjes in de laag RV-afdeling vaker gesloten waren door de hoge VPD wat resulteerde in een lagere fotosynthese (Fig. 4).

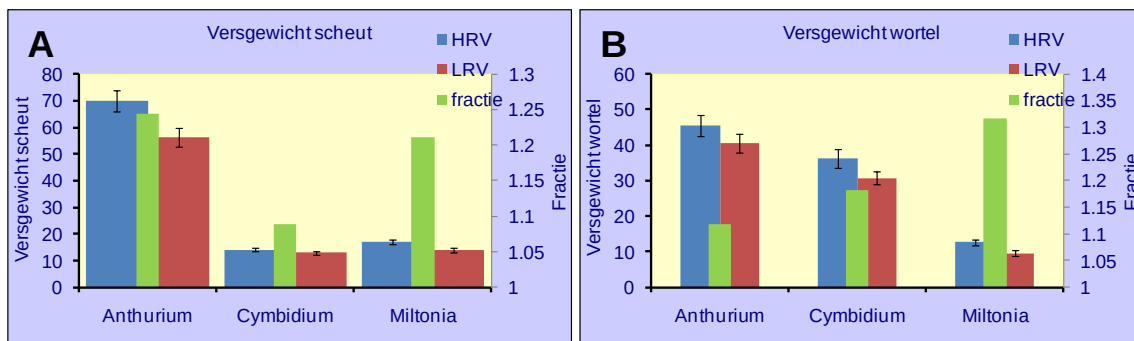


Fig. 7. Versgewicht van scheut (A) en wortel (B), de groene balken geven de verhouding toename van hoog RV (HRV) ten opzichte van laag RV (LRV) aan.

Opvallend was ook dat de wortels in de hoog RV-afdeling bij alle drie de soorten zwaarder waren (Fig. 7B). Ook dit kan positieve gevolgen hebben als planten daarna onder een hogere verdampingsdruk (hogere VPD, lagere RV) komen te staan. Het bladoppervlak was voor de planten in de hoog RV-afdeling 7-17% groter (Fig. 8A). De bladmassa per oppervlak (maat voor bladdikte) verschilde niet noemenswaardig (Fig. 8B).

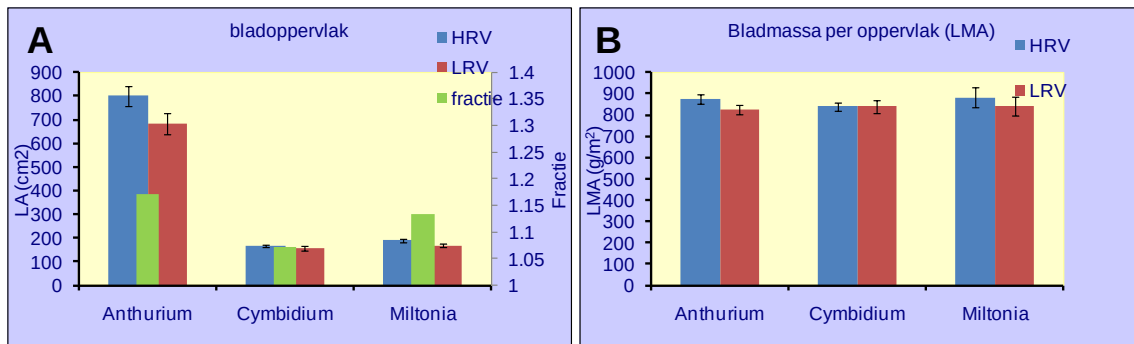


Fig. 8. Bladoppervlak per plant (A) en bladmassa per bladoppervlak (B), de groene balken geven de verhouding toename van hoog RV (HRV) ten opzichte van laag RV (LRV) aan.

Aan het einde van de voorbehandeling zijn de SPAD-waarden bepaald. De SPAD-waarde is een maat voor de groenheid en het chlorofylgehalte van een blad. Bij Anthurium en Cymbidium werd er geen verschil gemeten. Miltoniopsis was erg licht van kleur. Opvallend was dat onder laag RV Miltoniopsis iets lichter van kleur was (Fig. 9).

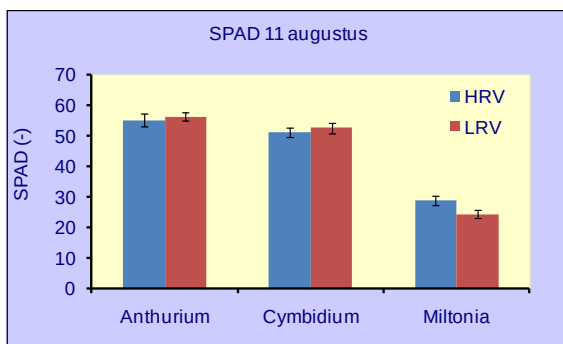


Fig. 9. SPAD-metingen van planten opgegroeid onder hoog RV (HRV) en laag RV (LRV), SPAD-metingen zijn een maat voor het chlorofylgehalte en zo de groenheid van de plant.

3.5 Conclusies Voorbehandeling

1. Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis hebben fors meer groei onder hoog RV in 11 weken tijd.
2. Deze groei komt slechts dele door een hogere lichtsom (7%), niet door verschil in CO₂, maar vooral door het positieve effect van de hogere RV op de huidmondjesopening.
3. Alle drie de soorten zijn dus gebaat bij sturing op de huidmondjesopening door een hoge RV.
4. De resultaten komen overeen met de resultaten die gemeten zijn in de klimaatcel (Stimuleren huidmondjesontwikkeling bij diverse potplanten, PT 14142; zie Trouwborst *et al.*, 2011). Dus ook onder meer dynamische praktijkomstandigheden kan er gestuurd worden op de anatomie (meer of grotere huidmondjes): De hogere RV geeft een hogere maximale geleidbaarheid en daarmee meer koelend vermogen voor de bladeren van zowel Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis die gedurende die periode zijn ontwikkeld.

4 Resultaten vervolgteelt (fase 2)

4.1 Anthurium

Voor Anthurium is er in de tweede fase (week 33-48) van de teelt één lichtniveau aangehouden. De planten die opgroeid waren onder hoog RV (HRV) of laag RV (LRV) werden bij elkaar in één kap gezet. Beide behandelingen kregen dus dezelfde lichtintensiteit, temperatuur, CO₂ en RV. In deze afdeling was geen luchtbevochtiging aanwezig.



Foto 5. Proefopstelling Anthurium in de vervolgfase, beide behandelingen in één kap bij laag RV.

4.1.1 Klimaat

De dagelijkse lichtsom en de VPD verliepen volgens een grillig patroon (Fig. 10). In november begon de lichtsom sterk af te nemen, ook de VPD kwam nu lager uit.

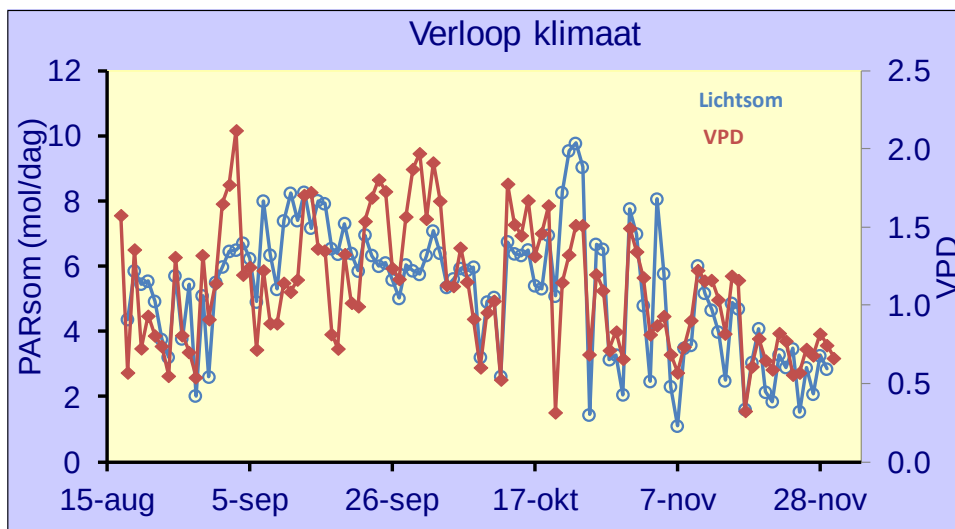


Fig. 10. Verloop van het klimaat gedurende de vervolgteelt van Anthurium: lichtsom en VPD

4.1.2 Geleidbaarheid en fotosynthese

Gedurende de vervolperiode van Anthurium (wk 33-48) zijn er periodiek metingen gedaan aan de huidmondjesgeleidbaarheid om na te gaan *hoe* en *hoelang* de verschillen in voorgeschiedenis tot uiting zouden komen. Nieuw te ontwikkelen bladeren zullen zich namelijk weer aanpassen aan de heersende lage RV. Bij die nieuw ontwikkelde bladeren is er dus geen verschil in geleidbaarheid te verwachten door verschil in de voorbehandeling.

In week 39 is te zien dat de geleidbaarheid van de bladeren van beide voorbehandelingen in de loop van de dag afneemt (Fig. 11A). De HRV-bladeren behouden tot ongeveer 14:00 uur een hogere geleidbaarheid. Hierdoor blijft de fotosynthese langer op een hoger niveau (Fig. 11B). Bij de eerste meetpunten (9:00 en 10:00) is de geleidbaarheid nog niet limiterend. De daling in de fotosynthese na 10:00 uur is voornamelijk te wijten aan de huidmondjessluiting, maar gedeeltelijk ook door daling in het lichtrendement voor de fotosynthese van 4-7%. Dat een lage RV een negatief effect kan hebben op de lichtreactie van de fotosynthese² is eerder gerapporteerd voor Miltoniopsis (Trouwborst *et al.* 2010).

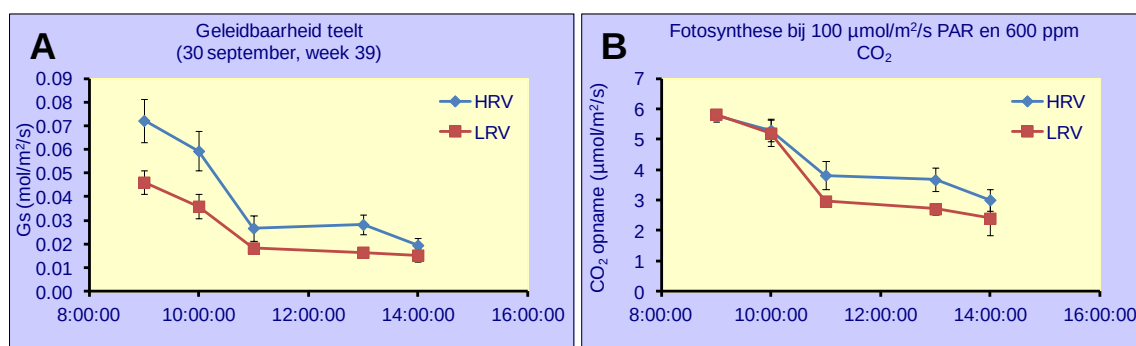


Fig. 11. *Patroon van de huidmondjesgeleidbaarheid (A) en bijbehorende fotosynthese (B) gemeten over de dag (gemeten met Li6400 in week 39) van HRV- en LRV-planten die beide blootgesteld stonden aan een lage RV.*

In week 42 werden er tussen beide behandelingen geen verschillen in geleidbaarheid meer gevonden (Fig. 12A). Te zien is dat de geleidbaarheid in de loop van de middag sterk afneemt maar nog boven de 0.04 mol/m²/s blijft en uiteindelijk de fotosynthese bij 100 μ mol/m²/s nog niet limiteert (Fig. 12B). Bij hogere lichtniveaus is deze lage geleidbaarheid wel limiterend.

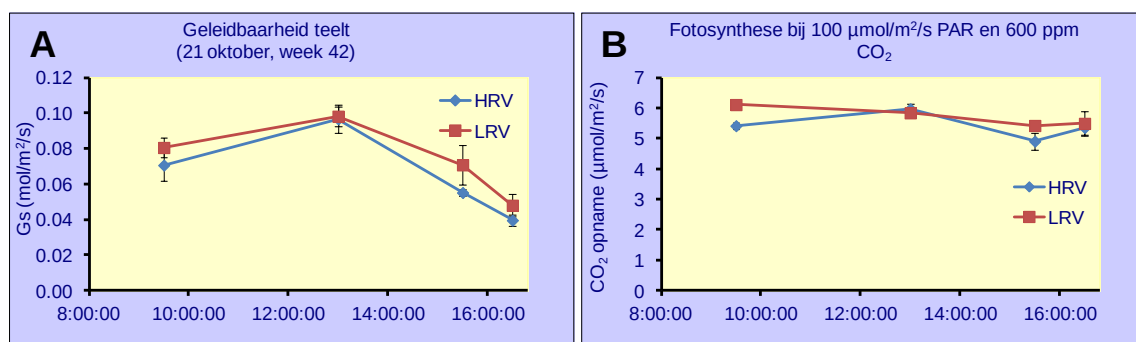


Fig. 12. *Patroon van de huidmondjesgeleidbaarheid (A) en bijbehorende fotosynthese (B) gemeten over de dag (gemeten met Li6400 in week 42) van de planten met een HRV- en LRV-voorbehandeling die beide opgekweekt werden onder een lage RV.*

² Voor detailuitleg over de lichtreactie van de fotosynthese, verwijzen we u naar: "Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk", Pot *et al.* 2011.

4.1.3 Verdamping en bladdikte

Vanaf 18 augustus zijn er via de weeggoet verdampingsmetingen gedaan aan beide behandelingen. Doordat de plantdichtheid hierbij verlaagd werd van 42 naar 16 potten/m² zijn per voorbehandeling 9 planten per weegunit gewogen. Om de plantverdamping te kunnen bepalen (zonder de verdamping uit het substraat) zijn op 9 september de planten ingehoesd waardoor het substraat afgedekt werd. De onderkant was hierbij onbedekt om wateropname via eb/vloed mogelijk te maken (Foto 6). Per behandeling is met 3 bladdiktesensoren de bladdikte continu gemonitord (Foto 6). Metingen van PAR, CO₂, RV en kasluchttemperatuur werden met de Growwatch verzameld op dezelfde locatie als de gewichtmetingen.



Foto 6. Bladdiktemetingen en ingehoesde potanthurium op weegunit voor bepaling plantverdamping

De plantverdamping (Fig. 13) van bij hoge RV opgekweekte planten was hoger (HRV: gemiddeld 37 g/plant.dag) dan die van bij lage RV opgekweekte planten (LRV: gemiddeld 31 g/plant.dag). Opvallend was dat de verdamping in de loop van de tijd na de watergift afnam. Om te bekijken of de afname in verdamping samenhang met een verandering in klimaatomstandigheden is de verdamping vergeleken met gelijktijdig optredende PAR, VD en VPD (Fig.15). Hieruit blijkt dat juist aan het einde van de meetreeks de hoogste VD en VPD optraden en geen lagere PAR. De verminderde verdamping is daarom waarschijnlijk het gevolg van een andere factor, zoals een verminderde beschikbaarheid van vocht in het wortelmilieu. Ook was er een daling in bladdikte waarneembaar na de gift (Fig. 14). Afhankelijk van de sensor / blad gebeurde dit 1-3 dagen na de watergift.

De gemiddelde verdamping gedurende 3 dagen na watergift (wanneer de sterkste afname in verdamping nog moest komen) is weergegeven in Tabel 4. Het verschil in verdamping van respectievelijk 43 en 34 g/plant.dag voor de HRV en LRV-planten bedroeg 26%. Deze hogere plantverdamping lijkt de hypothese (hogere koelend vermogen van HRV-planten) te bevestigen. Een gedeelte van het verschil kan verklaard worden doordat de HRV-planten op dat moment 17% meer bladoppervlak hadden (Fig. 8a). Meer bladoppervlak geeft meer verdamping. Meestal loopt dit niet evenredig omdat er bij meer bladoppervlak er meer zelfbeschaduwing is. Het andere gedeelte van het verschil kan toegeschreven worden aan de hogere geleidbaarheid per bladoppervlak (zie Fig. 6 en 11).

Bij Anthurium was er in de vervolgfase nagenoeg geen aandeel substraatverdamping op de totale potverdamping, wanneer de niet-ingepakte periode voorafgaand aan de ingepakte periode wordt vergeleken. Dit zal deels het gevolg zijn van de watergeefmethode (eb/vloed) waardoor de bovenkant van het substraat droog bleef. Daarnaast was er al een aanzienlijke hoeveelheid blad aanwezig.

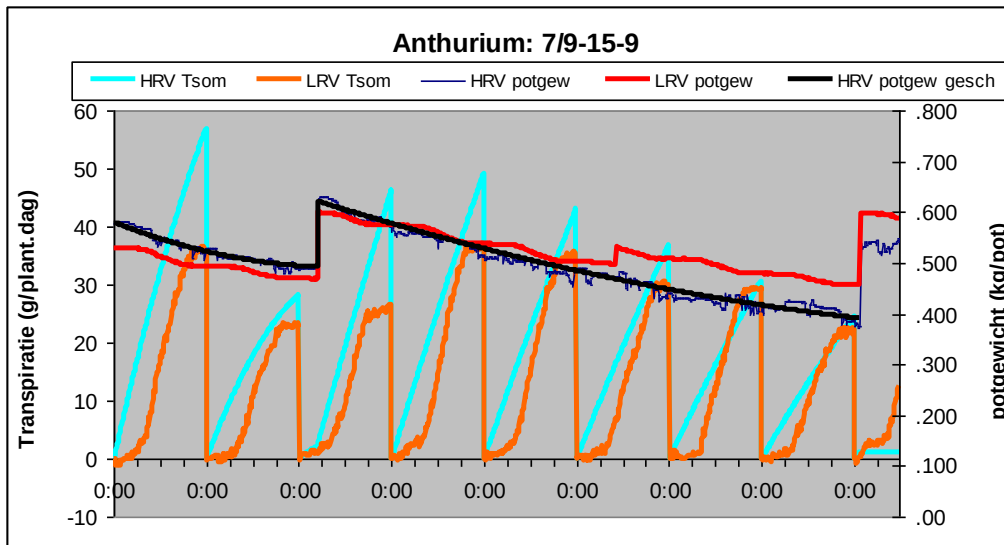


Fig. 13. Plantverdamping en potgewicht van potanthurium van voorbehandeling HRV en LRV in afdeling met lage RV.

Tabel 4. Gemeten plantverdamping potanthurium gedurende 3 dagen na watergift in de Rijnplant RVL afdeling na voorbehandeling bij RVL of RVH bij plantdichtheid 16/m². VD en VPD zijn gemiddelden van dag en nacht. Meetperiode van 10-9-'11 tot 12-9-'11.

Voorbehandeling	Plant verdamping	PARsom	VD	VPD
	g/pot.dag	mol/dag	g/m ³	kPa
HRV	43	6.8	5.8	0.8
LRV	34	6.8	5.8	0.8

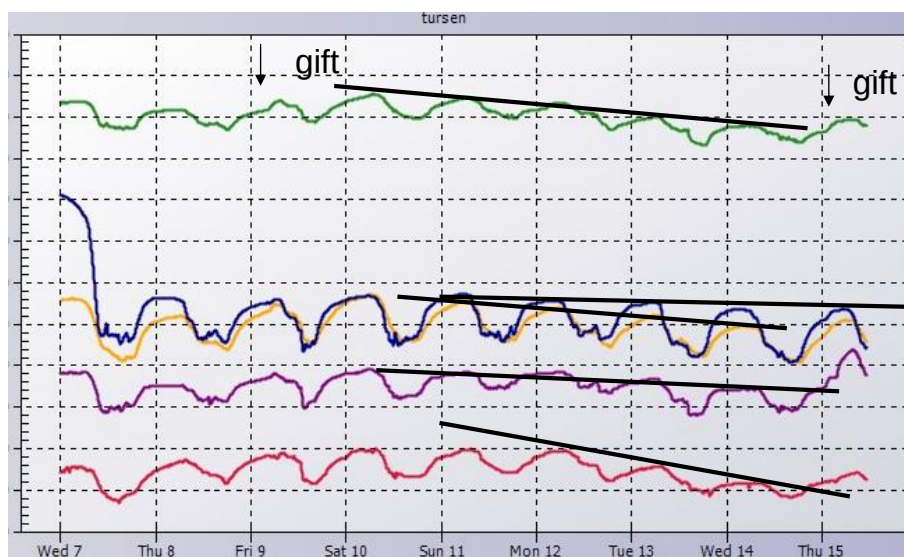


Fig. 14. Bladdiktemetingen potanthurium in relatie tot moment van watergift.

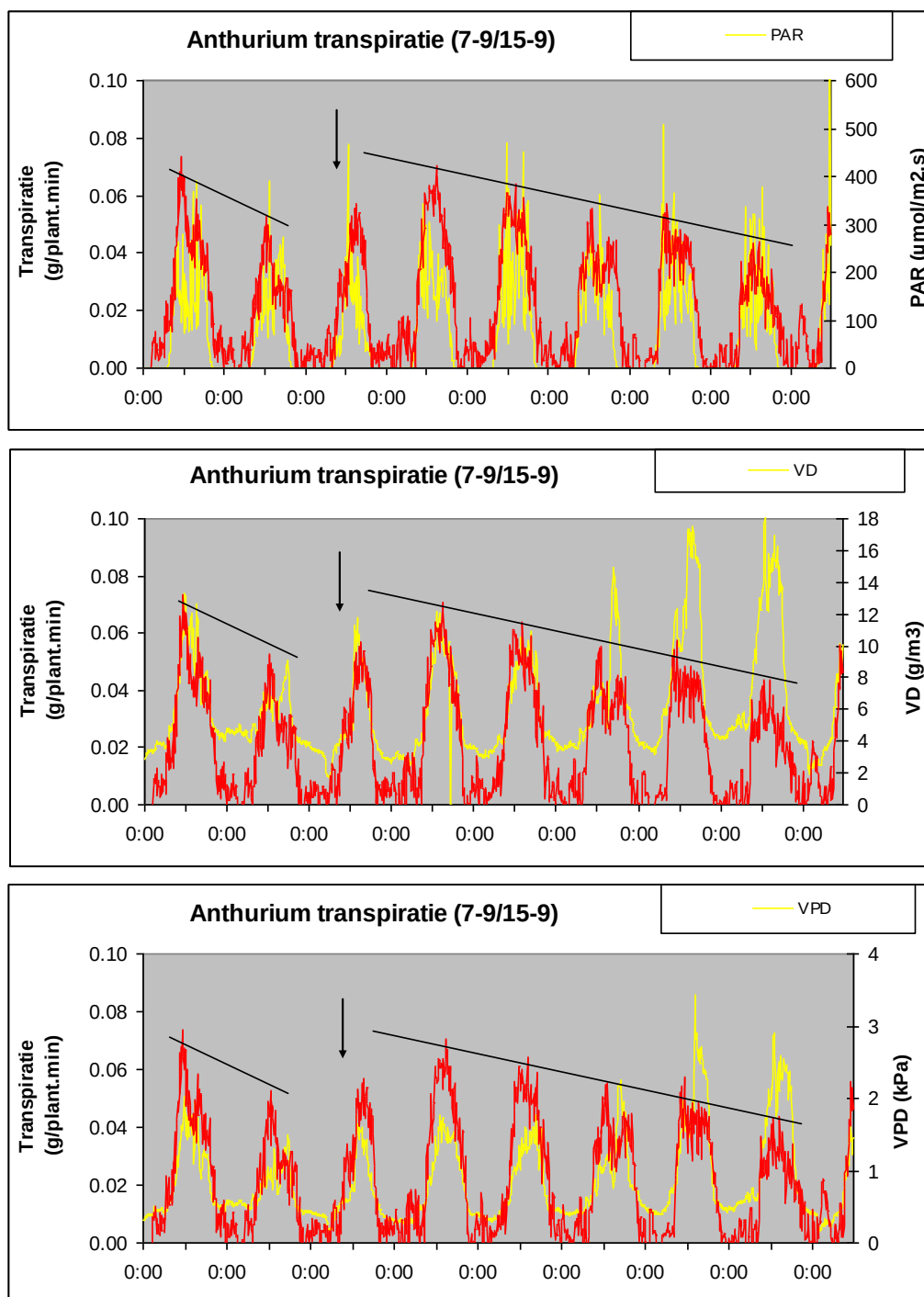


Fig. 15. Momentane plantverdamping (rode lijnen) van potanthurium van LRV planten in relatie tot PAR, VD en VPD (gele lijnen). De zwarte pijl geeft het moment aan van een waterbeurt. De schuin dalende zwarte lijn laat zien dat de verdamping na een watergift onafhankelijk van PAR of VPD/VD afneemt.

4.1.4 Plantgroei en ontwikkeling

Gedurende de vervolgteelt (week 33-48) zijn er periodiek planten 'geoogst' waarvan het versgewicht van de scheut, wortel en bloem is bepaald. Ook is het bladoppervlak gemeten. Zoals aangegeven in H3 was in week 33 het scheutgewicht van de HRV-planten 24% zwaarder (14 gram). Dit absolute verschil van 14 gram bleef de rest van de proef in stand (Fig. 16A). Bij de eindogst was het relatieve verschil gedaald tot 9%. Het versgewicht van de wortels nam in week 48 niet meer toe ten opzichte van week 43 (Fig. 16B), mogelijk heeft dit te maken met de vrij lage lichtsom en VPD in de laatste

weken van de proef (Fig. 10). In week 33 en 48 is ook het percentage drooggewicht bepaald, voor de scheut was dit 12% en voor de wortel 6-9%.

Opvallend was dat de bloemontwikkeling bij de HRV-planten duidelijk voorliep (Fig. 16C). Normaliter zouden de planten in week 43 afleverklaar hebben moeten zijn. In week 43 hadden de HRV-planten al 9 bloemen/pot ten opzichte van 7 bij de LRV-planten. In week 48 hadden beide behandelingen 9 bloemen/pot. De HRV-voorbehandeling van 12 weken had dus 10 weken later nog een effect op de snelheid van bloemontwikkeling. De HRV-voorbehandeling levert dus een teeltversnelling van enige weken op.

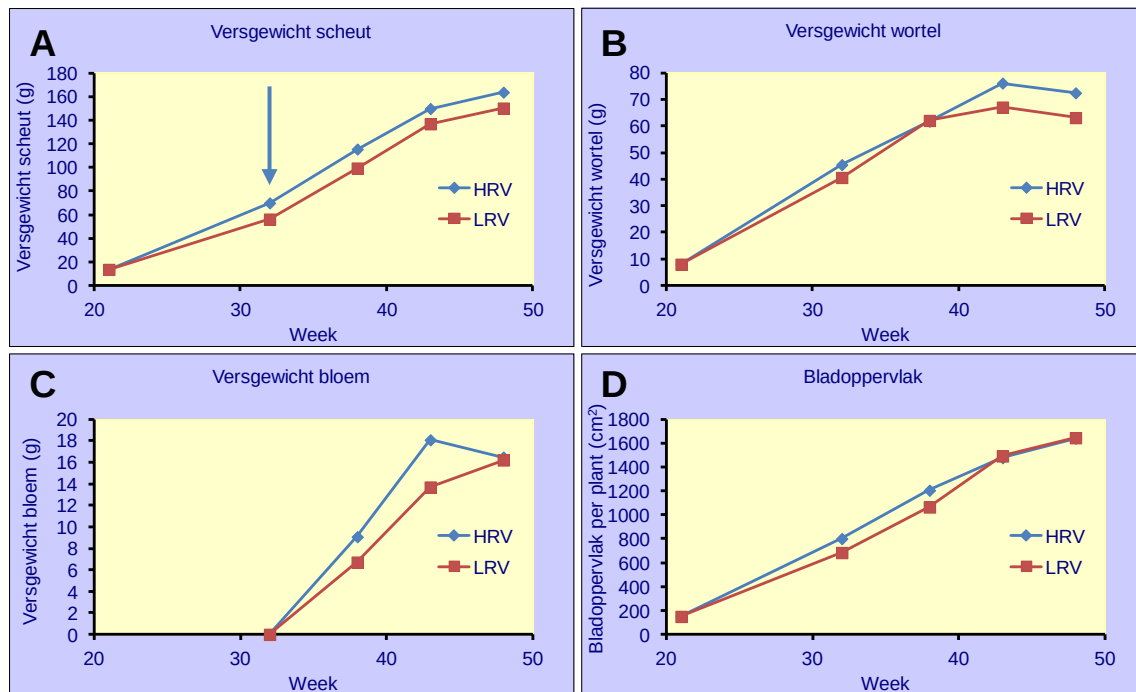


Fig. 16. Anthurium, verloop van het versgewicht van de scheut (inclusief bloem; A), wortel (B), bloemgewicht (C) en bladoppervlak (D). In week 33 startte de vervolgteelt (blauwe pijl). In week 43 hadden de HRV-planten al 9 bloemen ten opzichte van 7 bij de LRV-planten, in week 48 was dit gelijk. Het % drooggewicht was van de HRV-planten iets hoger dan de LRV-planten ($n=12$ voor tussentijdse oogsten en $n=30$ voor de eindoogst).

Anthurium “Lady Love” staat erom bekend dat deze wat lastiger is op de wortel. Volgens de telers waren alle planten goed doorworteld. (zie links op Foto 6). Als planten wat droger hebben gestaan vertonen ze soms een extreme doorworteling met rode sterke wortels. Het opvallende hierbij was dat van de 30 planten per behandeling die gemeten werden bij de eindoogst waren er zeven planten van de HRV-behandeling zeer sterk doorworteld (zie rechts op Foto 7), terwijl dit bij de LRV-planten niet voorkwam.



Foto 7. Kluiten van Anthurium bij de eind oogst. Links op de foto staan kluiten die volgens de telers goed doorworteld waren. Opvallend was dat de extreem sterke doorworteling zoals rechts op de foto alleen voorkwam bij planten van de HRV-voorbehandeling (7 van 30).

4.1.5 Conclusies Anthurium

1. De hoog RV-voorbehandeling behoudt een blijvend voordeel in gewicht ten opzichte van de laag RV-voorbehandeling.
2. Tot 6 weken na overplaatsing van de HRV-planten was er positief effect op de huidmondjes te meten.
3. De planten van de HRV-voorbehandeling hadden een 26% hogere verdamping doordat van deze planten de huidmondjesgeleidbaarheid en de LAI hoger was.
4. De bloemontwikkeling verliep beduidend sneller bij planten van de HRV-voorbehandeling (na-ijl effect die 10 weken later nog zichtbaar was).
5. Anthurium legt continu nieuwe bladeren aan. Hierdoor heeft het meeste zin om continu te sturen op een verbeterde huidmondjesanatomie van nieuw ontwikkelende bladeren maar ook fysiologisch te sturen op open huidmondjes van de al volgroeide bladeren. Dus blijven telen onder hoog RV zal de hoogste productie opleveren.
6. De RV die met luchtbevochtiging is te verhogen is dus voor Anthurium een zeer belangrijke productiefactor.
7. Grote intervallen tussen watergiften (om o.a. in het begin van het seizoen een goede doorworteling door de hele pot te bevorderen, gedurende het seizoen de plantvorm te beheersen en om in het najaar wortelrot te voorkomen) hebben een verlaging van de verdamping en bladdikte tot gevolg, waardoor huidmondjesopening en fotosynthese waarschijnlijk geremd worden. Optimalisatie in watergift op basis van bijvoorbeeld bladdikte kan de groeisnelheid waarschijnlijk verder verhogen. Wel zal er waarschijnlijk een spanningsveld tussen teeltdoelen blijven bestaan.

4.2 Miltoniopsis en Cymbidium

De vervolgteelt van Cymbidium en Miltoniopsis vond plaats van week 33 tot 51 in een proefkas van Floricultura bij twee lichtniveaus. Een hoog lichtniveau van ruim 7 mol/dag en een wat lager lichtniveau van ruim 5 mol/dag. Het lagere lichtniveau werd verkregen door de planten onder een 'tentconstructie' met een acryldoek te zetten (verschil in lichtniveau ruim 30%; Foto 8). Alleen de bovenkant was bedekt met acryldoek hierdoor was er voldoende ventilatie: temperatuur, CO₂ en RV waren gelijk. De combinatie van twee voorgeschiedenissen en twee lichtniveaus geven vier behandelingen: voorbehandeling HRV of LRV onder hoog licht (HL) of laag licht (LL).

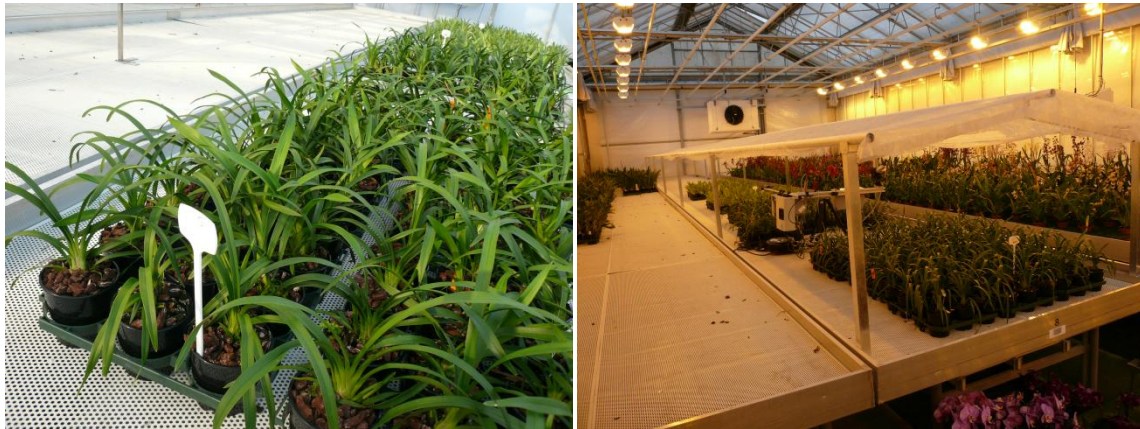


Foto 8. Proefopstelling fase 2: Cymbidium en Miltoniopsis bij Floricultura onder respectievelijk hoog en laag licht (door tentconstructie voor de laag licht behandeling met acryldoek).

4.2.1 Klimaat

Fig. 17 geeft het klimaat weer gedurende het vervolg van de teelt bij Floricultura: In het begin van de proef lag het hoge lichtniveau rond de 7 mol/dag en het lage op ruim 5 mol per dag. Aan het einde van de proef (december) lag het hoge lichtniveau op ruim vijf mol/dag en het lage lichtniveau op 4 mol/dag. De VPD en temperatuur was in het begin van de proef vrij grillig: in het begin werd er geen luchtbevochtiging toegepast. Vanaf 16 september werd de luchtbevochtiging ingeschakeld wanneer de RV beneden de 60% daalde. Vanaf begin oktober was de temperatuur en VPD redelijk constant (Fig. 17B).

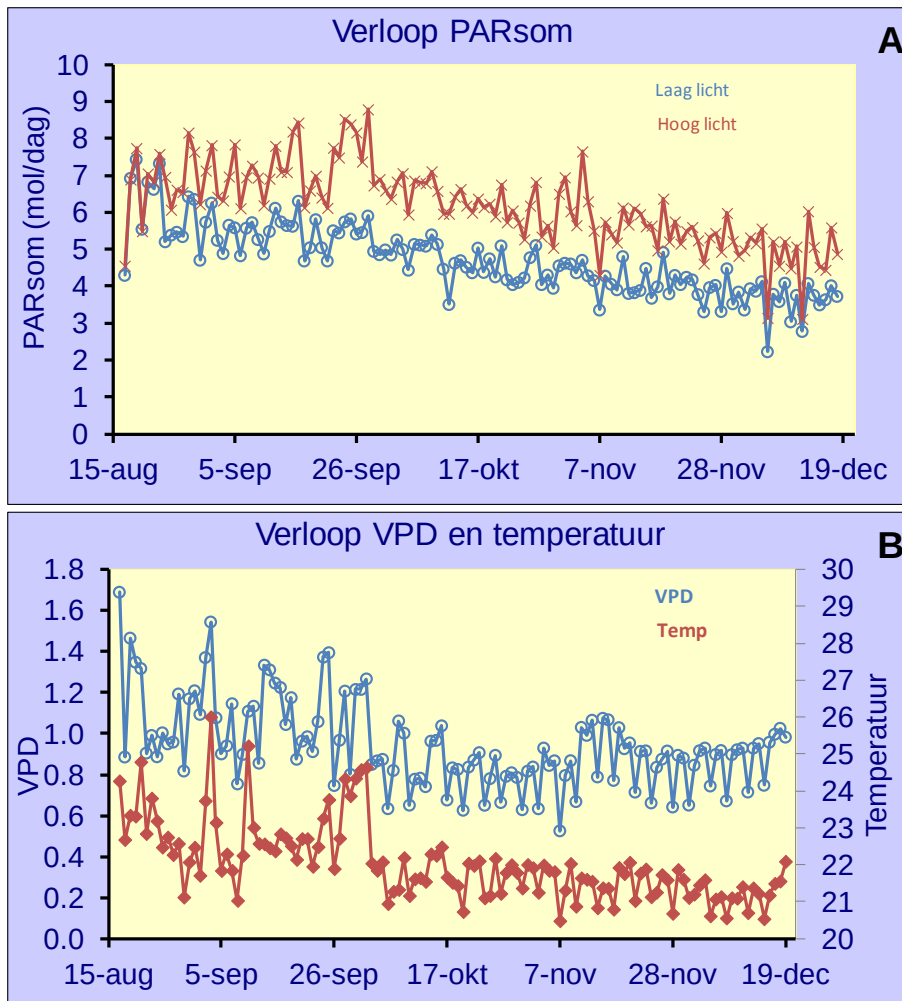


Fig. 17. Verloop van het klimaat gedurende de vervolgteelt van Cymbidium en Miltoniopsis: lichtsom (A), VPD en planttemperatuur (overdag PAR > 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; B).

4.2.2 Geleidbaarheid en fotosynthese

Gedurende de vervolpperiode zijn er periodiek metingen gedaan aan de huidmondjesgeleidbaarheid om na te gaan *hoe* en *hoelang* de verschillen in voorgeschiedenis tot uiting zouden komen. Nieuw te ontwikkelen bladeren zullen zich namelijk weer aanpassen aan de heersende lage RV. Bij die nieuw ontwikkelde bladeren is er dus geen verschil in geleidbaarheid te verwachten door verschil in de voorbehandeling.

In week 38 zijn de verschillen in voorbehandeling nog zichtbaar op de geleidbaarheid. Bij Cymbidium komen de verschillen in geleidbaarheid pas 's middags naar voren (Fig. 18A), terwijl bij Miltoniopsis deze al langer zichtbaar zijn (Fig. 18C). Het effect van deze lagere geleidbaarheid op de fotosynthese bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR van de LRV-voorbehandeling is voor Cymbidium niet groot (Fig. 18B), terwijl de fotosynthese bij de LRV-behandeling van Miltoniopsis fors afneemt (Fig. 18D). Blijkbaar wordt een lage huidmondjesgeleidbaarheid bij Miltoniopsis sneller limiterend dan bij Cymbidium. In week 41 zijn de behandelingsverschillen verdwenen (Fig. 19). Opvallend is ook dat de geleidbaarheid bij Cymbidium 's ochtends 'op gang moet komen' (Fig. 18A en 19A), terwijl dit voor Miltoniopsis veel minder het geval is (Fig. 18C en 19C).

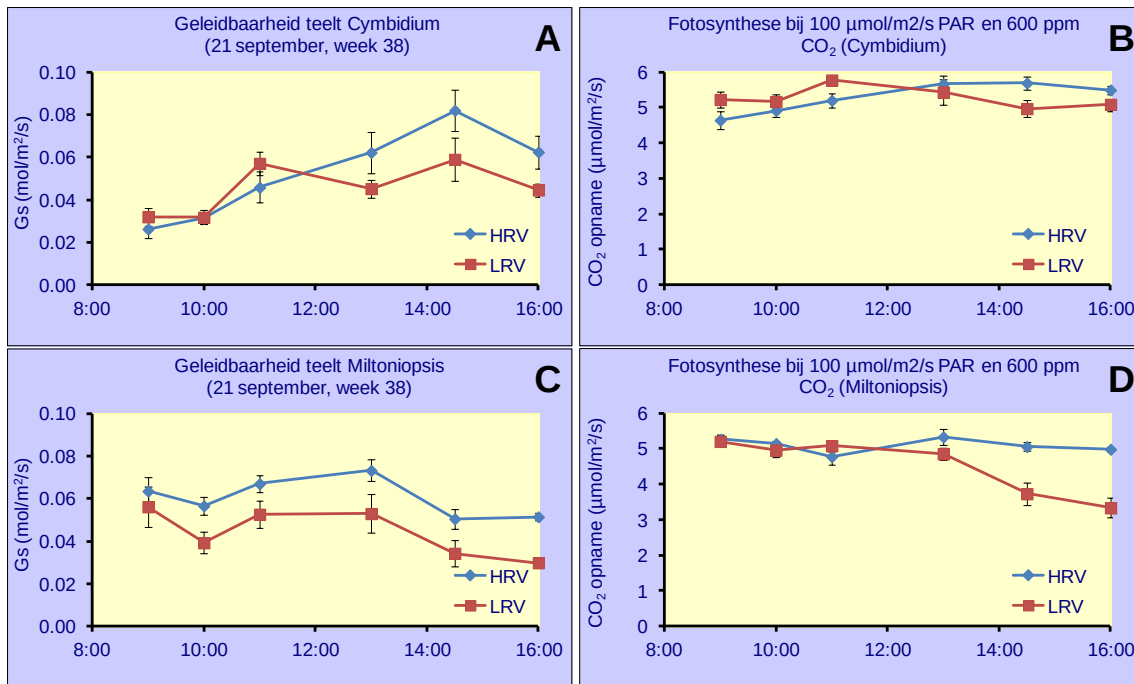


Fig. 18. Patroon van de huidmondjesgeleidbaarheid (A,C) en bijbehorende fotosynthese (B,D) van Cymbidium (A,B) en Miltoniopsis (C,D) gemeten over de dag van HRV- en LRV-planten die beide blootgesteld stonden aan een lage RV en hoog licht (gemeten met Li6400 in week 38; $n=4$).

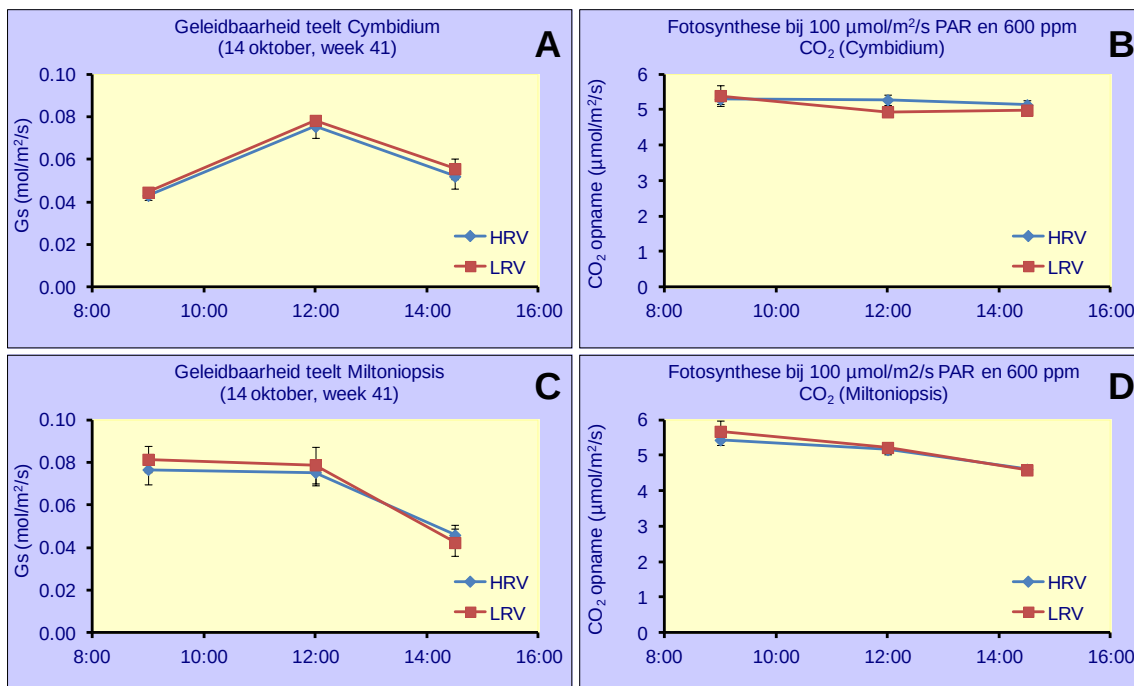


Fig. 19. Patroon van de huidmondjesgeleidbaarheid (A) en bijbehorende fotosynthese (B) gemeten over de dag van HRV- en LRV-planten die beide blootgesteld stonden aan een lage RV en hoog licht. Verschillen in huidmondjesgeleidbaarheid over de dag zijn bij Cymbidium niet limiterend voor de fotosynthese bij 100 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR, bij Miltoniopsis is dit 's middags wel het geval (gemeten met Li6400 in week 41; $n=5$).

4.2.3 Verdamping en bladdikte

Ter bepaling van de plantverdamping zijn op 19 september (week 38) potten van *Miltoniopsis* in plastic zakken ingepakt en geplaatst op de weegunits (Foto 9). Per voorbehandeling werden 24 planten van potmaat 12 cm per weegunit geplaatst. Na 4 dagen werden de plastic zakken verwijderd. Met de Growwatch werden tegelijkertijd metingen van PAR, RV, CO₂ en luchttemperatuur uitgevoerd. Bladdiktemetingen werden eveneens tegelijkertijd uitgevoerd met de gewichtmetingen (Foto 9). Vanaf 26 september (week 39) werd op dezelfde manier de plantverdamping en bladdikte van *Cymbidium* bepaald voor beide voorbehandelingen.



Foto 9. Opstelling in proefkas Floricultura: meting plantverdamping *Miltoniopsis* en meting plantverdamping en bladdikte *Miltoniopsis*. N.B. de potten werden ingepakt in plastic vlak na watergift.

Om het aandeel substraatverdamping van de totale potverdamping te bepalen zijn op 31 oktober (week 44) *Miltoniopsis* van de HRV behandeling wel en niet ingepakt en gedurende een week gewogen. Op 7 november is hetzelfde gebeurd met *Cymbidium*. Het aandeel substraatverdamping was in die tijd 35% bij *Miltoniopsis* en 38% bij *Cymbidium*.

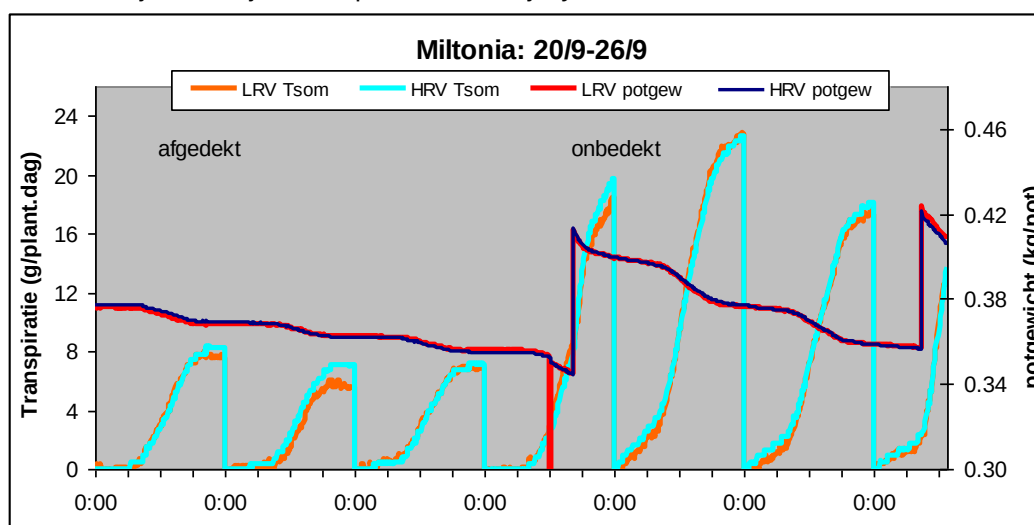


Fig. 20. Plantverdamping (afgedekt), potverdamping (onbedekt) en potgewicht van *Miltoniopsis* van voorbehandeling HRV en LRV.

Er was een gering positief verschil van 7% in plantverdamping aanwezig tussen de HRV- en LRV-planten bij *Miltoniopsis* (Fig. 20 en Tabel 4). Geleidbaarheidsmetingen in week 38 gaven ook aan dat de ontwikkelde bladeren onder een hoge RV een hogere geleidbaarheid hadden. Echter, zoals eerder opgemerkt in H3.4 was de bladontwikkeling van nieuwe bladeren voor *Miltoniopsis* heel laag zodat dit ook maar beperkt tot uiting kan komen in totale plantverdamping. Het bladoppervlak (gemeten in week 38) was 7% hoger (Fig. 28) en kan dus de iets hogere verdamping verklaren. Na het verwijderen van

de afdekking en watergift verdubbelde de potverdamping meer dan twee keer (Fig. 20). Naast de bijdrage van de substraatverdamping kan dit mede verklaard worden door de hogere VD na verwijderen van de afdekking (Fig. 21). Net als bij Anthurium nam de plantverdamping iedere volgende dag af (Fig. 20,21). Ook de bladdikte nam geleidelijk af in deze periode (Fig. 22). Na de watergift was er een sterke toename in bladdikte (zie toename in bladdikte bij pijl in Fig. 22).

Tabel 4. Gemeten plantverdamping *Miltoniopsis* bij Floricultura na voorbehandeling bij HRV of LRV. VD en VPD zijn gemiddelden van dag en nacht. (plantdichtheid 56/m²; meetperiode: 20-9-'11 tot 22-9-'11, week 38).

Voorbehandeling	Plant verdamping	PARsom	VD	VPD
	g/pot.dag	mol/dag	g/m ³	kPa
HRV	7.5	6.4	5.7	±0.8
LRV	7	6.4	5.7	±0.8

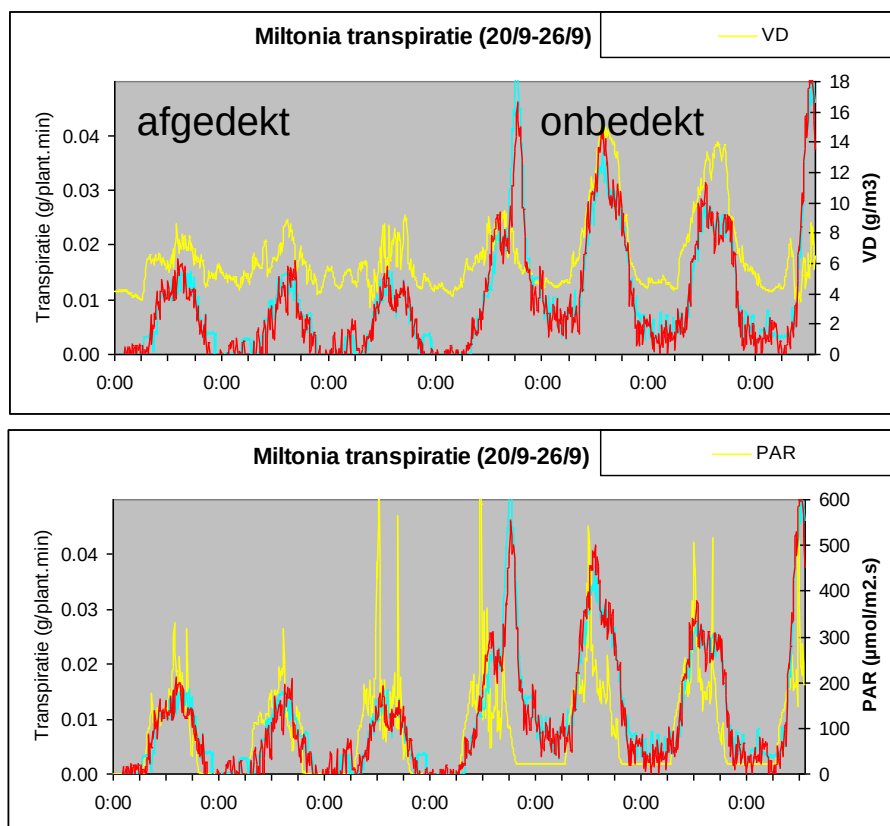


Fig. 21. Momentane plantverdamping (afgedekt) en potverdamping (onbedekt) van *Miltoniopsis* in relatie tot PAR en VD.

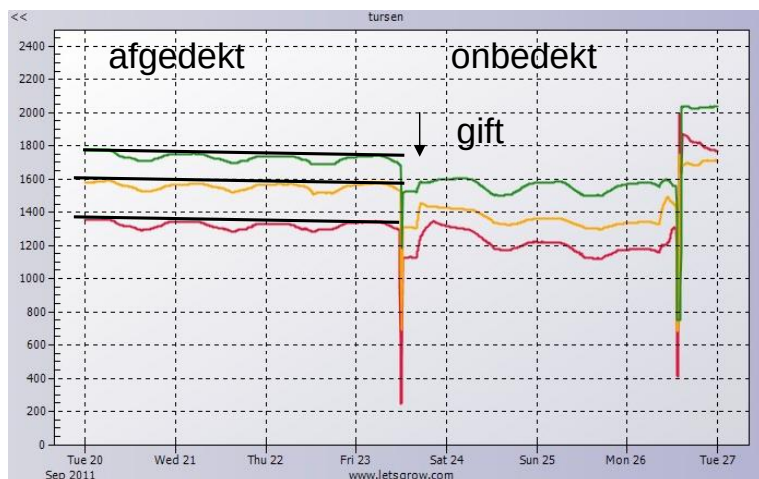


Fig. 22. Bladdiktemetingen Miltoniopsis in de tijd. Moment van watergift na verwijderen afdekking is weergegeven met de verticale pijl, de bladdikte neemt dan in één keer toe.

Zeven weken na de start van de vervolgfase (week 39) was er een gering verschil in plantverdamping aanwezig tussen de HRV- en LRV-planten bij Cymbidium (Fig. 23, 24 en Tabel 5). De verdamping van de HRV-planten was de eerste twee dagen lager dan die van de LRV-planten. Net als bij Anthurium en in minder mate Miltoniopsis nam de plantverdamping iedere volgende dag af (Fig. 23). Dit ging gepaard met een afname in bladdikte in deze periode (Fig. 25). In Tabel 4 is de gemiddelde plantverdamping van de eerste 3 dagen na gift weergegeven. De verdamping van de planten van de HRV-voorbehandeling was op die dagen 16% lager dan die van de LRV-voorbehandeling. In week 38 en week 45 was het bladoppervlak respectievelijk gelijk en 12% lager (Fig. 28) doordat de scheutvorming bij de LRV-voorbehandeling van Cymbidium sneller ging, Fig. 27). Mogelijk kan dit de lagere verdamping van de HRV-voorbehandeling verklaren.

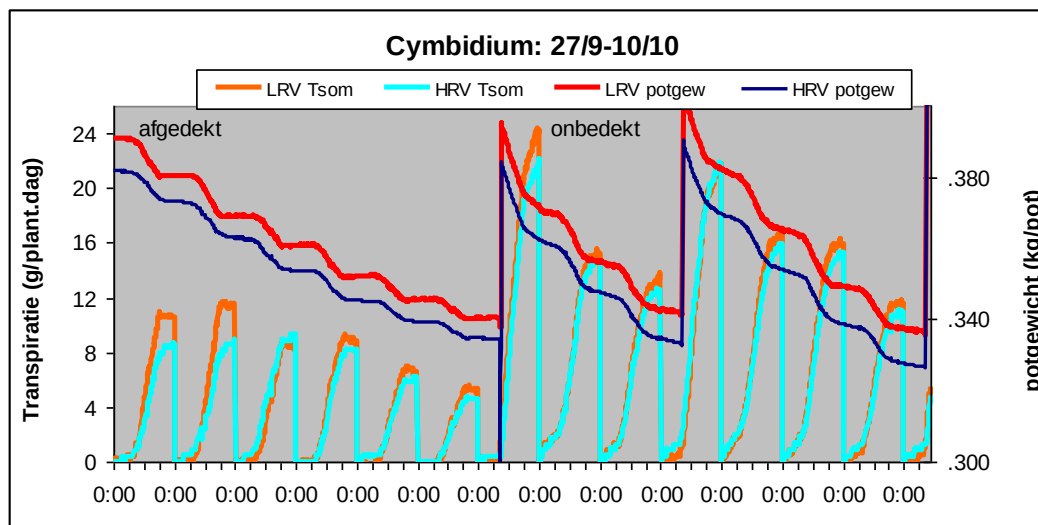


Fig. 23. Plantverdamping (afgedekt), potverdamping (onbedekt) en potgewicht van potcymbidium van voorbehandeling HRV en LRV.

Tabel 5. Gemeten plantverdamping Cymbidium bij Floricultura na voorbehandeling bij HRV of LRV. VD en VPD zijn gemiddelden van dag en nacht (plantdichtheid 56/m²; meetperiode: 27-9-'11 tot 29-9-'11, week 39).

Voorbehandeling	Plant verdamping	PARsom	VD	VPD
	g/pot.dag	mol/dag	g/m ³	kPa
HRV	9.0	7.4	5.3	±0.7
LRV	10.5	7.4	5.3	±0.7

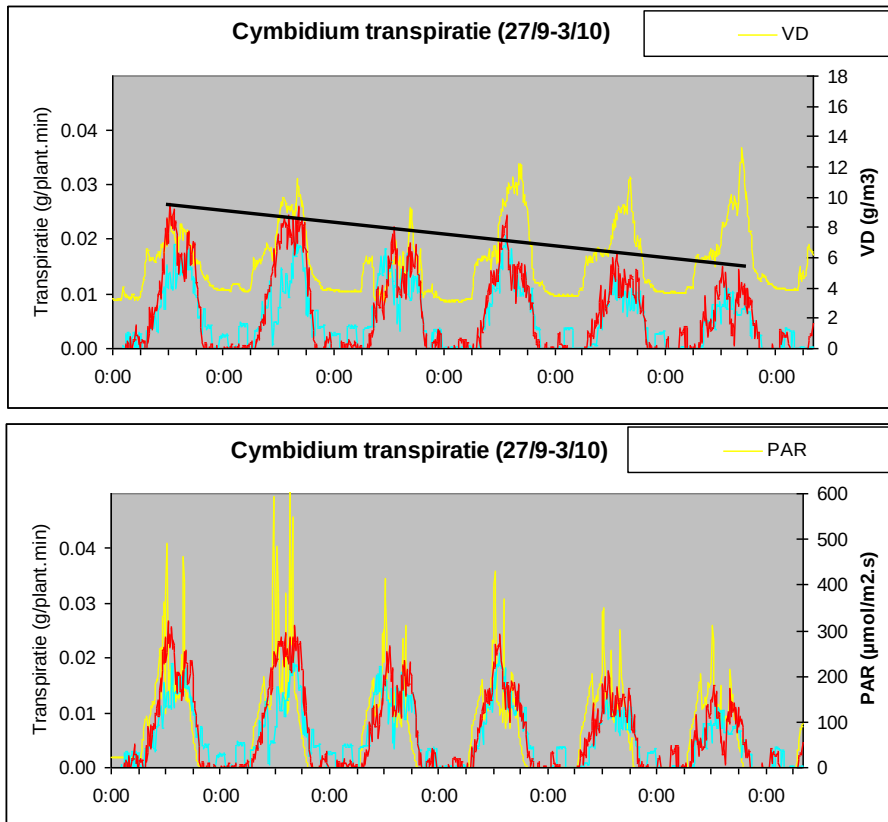


Fig. 24. Momentane plantverdamping van HRV (blauw) en LRV (rood) van *Cymbidium* in relatie tot VD (boven) en PAR (onder). De dalende lijn in verdamping komt waarschijnlijk vooral door uitdrogend substraat.



Fig. 25. Bladdiktemetingen *Cymbidium* in de tijd na watergift (verticale pijl).

De verdamping en de bladdikte namen af in de tijd. Veranderingen in bladdikte zijn gerelateerd aan de waterpotentiaal en turgor van het gemeten blad (Jones 2004). Een dalende bladdikte gedurende de nachtperiode –wanneer de vochtbalans in principe hersteld moet zijn na sluiten van de huidmondjes– is een indicatie voor een verminderde turgor als gevolg van een onvoldoende wateropname tijdens de herstelperiode aan het einde van de middag/avond. Een verminderde turgor kan –naast een verminderde celstrekking– tot gevolg hebben dat een snellere (partiële) sluiting van de huidmondjes gaat optreden gedurende de dagperiode, met een verminderde verdamping en fotosynthese tot gevolg. Het verdient aanbeveling dit nader te onderzoeken. Wanneer de fotosynthese daadwerkelijk

een afname vertoont in de loop van de periode tussen watergiften, zijn er mogelijkheden deze afname te voorkomen door aanpassingen in substraat en/of aanpassingen in de watergift. Hiervoor dienen dan wel goede monitoringtools beschikbaar en interpreteerbaar te zijn.

4.2.4 Plantgroei en ontwikkeling

SPAD-waarden zijn een maat voor het chlorofylgehalte van de planten. Een hoger chlorofylgehalte geeft een donkerdere kleur blad. Opmerkelijk is dat *Cymbidium* door verandering van locatie van Rijnplant naar Floricultura een lagere SPAD-waarde krijgen (Fig. 28), dit is voor *Miltoniopsis* niet het geval. Beide soorten worden na week 32 snel donkerder. Mogelijk komt dit door de iets andere voeding bij Floricultura (met ureum), de lichtsommen voor en na het vervoer verschillen nauwelijks. Verschillen tussen de voorbehandelingen in combinatie met het lichtniveau zijn voor *Cymbidium* gering. Bij *Miltoniopsis* –waar de SPAD-waarden twee keer zo laag liggen als *Cymbidium*– had een hoge RV een positief effect op de kleur (week 32). Vervolgens stijgen de SPAD-waarden van de laag licht behandelingen sneller dan de hoog lichtbehandeling, na week 38 zijn de behandelingsverschillen echter gering.

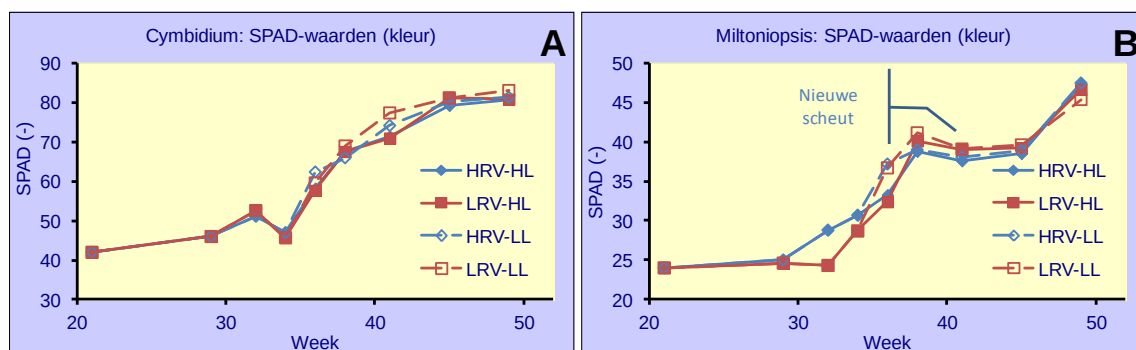


Fig. 26. SPAD-waarden van *Cymbidium* (A) en *Miltoniopsis* (B) van de twee voorbehandelingen (HRV en LRV) verder opgekweekt onder hoog (HL) en laag licht (LL) (beide planten hebben andere asindeling). Opmerkelijk is de dip in week 34 bij *Cymbidium* net na het vervoer van de planten.

Het type voorbehandeling had een groot effect op de bulbvorming en de nieuwe scheutontwikkeling. Door de HRV-voorbehandeling werd het stadium dat 75% van de *Miltoniopsis* een nieuwe scheut hadden een maand eerder bereikt. Voor *Cymbidium* werd dit punt juist twee weken later bereikt. Dit is een opmerkelijk effect, waarbij de opmerking moet worden gemaakt dat de bevindingen gebaseerd zijn op steeds dezelfde partij planten. In de praktijk blijken partijverschillen groot te zijn, zodat enige voorzichtigheid op zijn plaats is voor harde conclusies. In de literatuur (Baas 2011) zijn geen aanwijzingen voor effecten van RV gevonden.

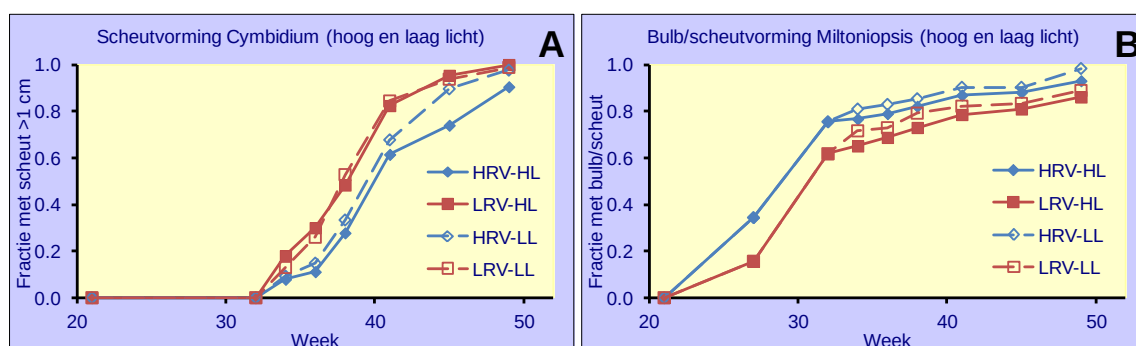


Fig. 27. Scheutvorming bij *Cymbidium* (A) en *Miltoniopsis* (B) van de twee voorbehandelingen (HRV en LRV) verder opgekweekt onder hoog (HL) of laag licht (LL). Rond de 75% scheutvorming loopt de HRV-voorbehandeling van *Cymbidium* ongeveer twee weken achter ($n=100$) terwijl die van *Miltoniopsis* ongeveer een maand voorloopt.

In week 32 (eind oogst voorbehandeling) was het versgewicht van *Cymbidium* opgegroeid onder HRV 9% hoger. Gedurende de vervolgteelt verdwijnt het verschil tussen de HRV- en de LRV-voorbehandeling (Fig. 28). Mogelijk heeft dit ook te maken met de iets tragere scheutvorming van de HRV-voorbehandeling (Fig. 27). Ook nam het versgewicht van de wortel bij de laatste oogst niet meer toe ten opzichte van de oogst ervoor. Mogelijk heeft dit te maken met de lagere lichtsom en de lagere VPD tussen week 45-51. Het percentage drogestof van de scheut en wortel bedroeg bij de eind oogst respectievelijk 15.5% en 6.9%.

Opmerkelijk is dat de hoog licht behandeling (>30% meer licht) geen zwaardere planten geeft. Vanuit de lichtrespons (Fig. 33A) kan de plant het extra licht goed verwerken. Het benutte licht ligt dan ook ongeveer 30% hoger. De oorzaak dat dit niet terug te vinden is in de groei blijft dus onverklaarbaar.

In week 32 (eind oogst voorbehandeling) was het versgewicht van *Miltoniopsis* opgegroeid onder HRV 21% hoger (3 gram). Gedurende de vervolgteelt wordt dit verschil kleiner. Bij de eind oogst is dit verschil gedaald tot 3-5% (2.1/2.3 gram). Het percentage drogestof bij de eind oogst van scheut en wortel was respectievelijk 11.5 en 12.5% en verschilde niet met de oogst bij week 32.

Het hoge lichtniveau geeft 10% meer scheutgewicht ten opzichte van het lage lichtniveau (Fig. 30). Opmerkelijk is dat in de periode van week 32-38 de planten onder laag licht sneller groeiden dan die onder hoog licht. In deze periode werd er nog geen verneveling aangehouden en werkte het hoge licht waarschijnlijk alleen stressverhogend (zie ook Fig. 34).

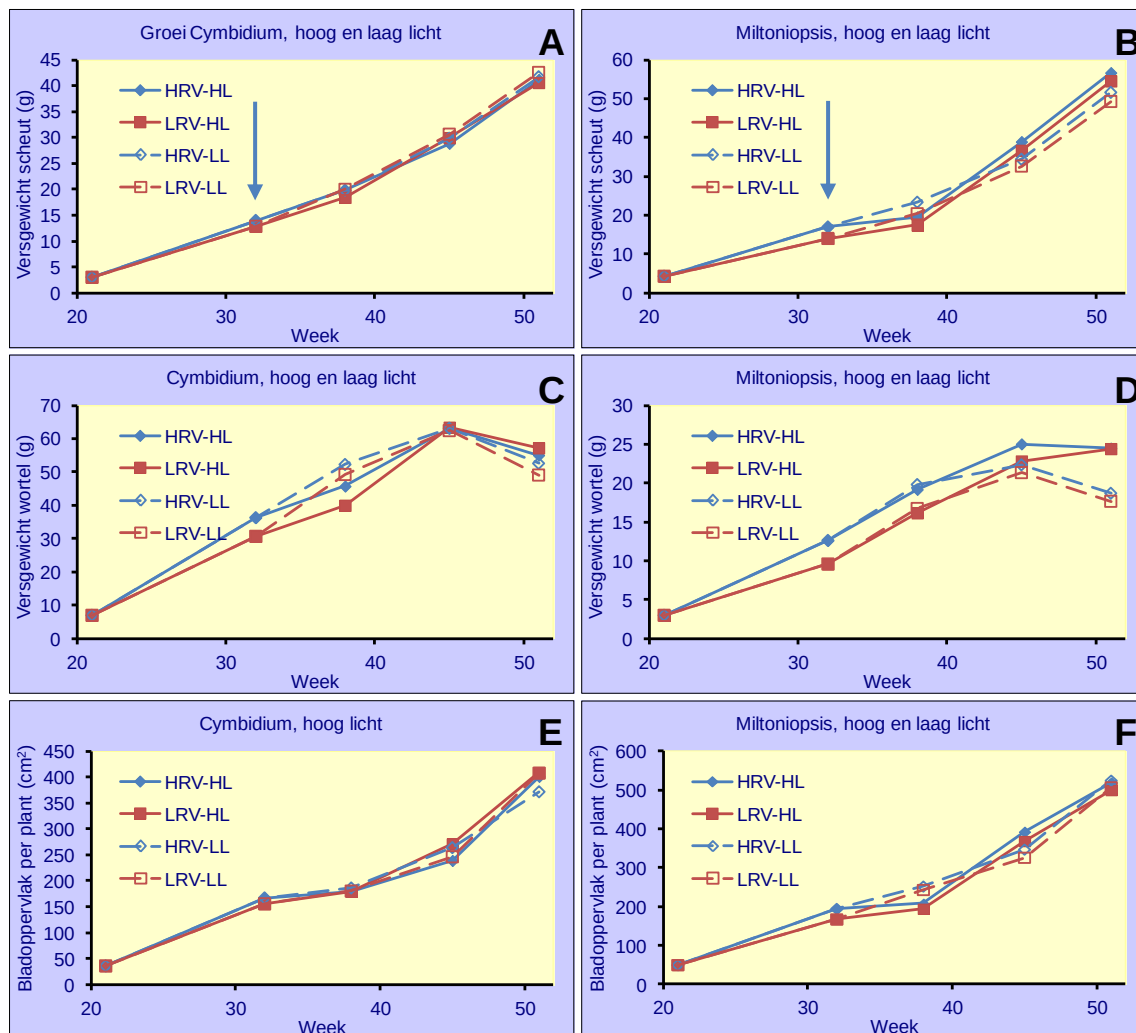


Fig. 28. Verloop van het versgewicht van de scheut (AB), wortel (CD), en bladoppervlak (EF) van *Cymbidium* en *Miltoniopsis*. In week 33 startte de vervolgteelt (blauwe pijl) ($n=12$ voor tussentijdse oogsten en $n=24$ voor de eind oogst).



Foto 10. Kluiten van *Cymbidium* en *Miltoniopsis* bij de eindoogst. De kluiten waren goed doorworteld, er was visueel geen behandelingseffect te zien.

4.2.5 Conclusies *Cymbidium* en *Miltoniopsis*

1. Een opkweek onder hoog RV gaf 9 tot 21% zwaardere planten bij respectievelijk *Cymbidium* en *Miltoniopsis*. Gedurende de vervolgteelt bij laag RV nam het verschil af tot 3-5% (*Miltoniopsis*) of verdween (*Cymbidium*).
2. Het effect van een hoger koelend vermogen door de opkweek onder hoog RV bleef tot 6 weken na blootstelling aan een lage RV meetbaar via de geleidbaarheid.
3. HRV-voorbehandeling had een groot effect op de bulbvorming en scheutontwikkeling. *Miltoniopsis* was sneller, terwijl *Cymbidium* juist later scheuten ging vormen. Dit is een opmerkelijk effect. Voorzichtigheid is op zijn plaats voor harde conclusies, omdat er maar één partij gevolgd is terwijl er in de praktijk grote variatie bestaat tussen partijen (Baas, 2011).
4. In de praktijk is de voorkweek van *Miltoniopsis* ongeveer 30 weken voordat deze de bloei-inductiefase in gaan (koelfase). Tot deze fase wordt nieuw blad aangelegd, daarna nagenoeg niet meer. De HRV-voorbehandeling in deze proef had een duur van 11 weken. De effecten van een volledige HRV-voorkweek op de afkweek zijn naar verwachting dan ook hoger.
5. Hoog licht met laag vocht, resulteert in een lagere productie dan laag licht met laag vocht (oogst week 38).
6. Ruim 30% meer licht bij *Cymbidium* heeft geen positief effect op de groei. Dit kan niet verklaard worden uit de Lichtbenutting die wel degelijk rond de 30% hoger is. Wel was de lichtbelasting onder het hogere licht hoger.
7. Net als bij *Anthurium* verminderde bij *Cymbidium* en *Miltoniopsis* de plantverdamping en celspanning na verloop van tijd na de watergift, waardoor verminderde geleidbaarheid en fotosynthese zal gaan optreden.

5 Grenzen aan het klimaat

5.1 Anthurium

Op basis van alle LiCor-6400 metingen is een algemene VPD-afhankelijkheid van de huidmondjes en bijbehorende fotosynthese bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR weergegeven in Fig. 29. Voor Anthurium daalt de huidmondjesgeleidbaarheid (blauwe lijn) scherp bij een toenemende VPD. Boven een VPD van 1.0 kPa begint ook de fotosynthese (rode lijn) sterk af te nemen. De fotosynthese bij een hoger lichtniveau zal bij een lage VPD hoger liggen maar bij toenemende VPD scherper dalen omdat dan de huidmondjesgeleidbaarheid sneller limiterend is.

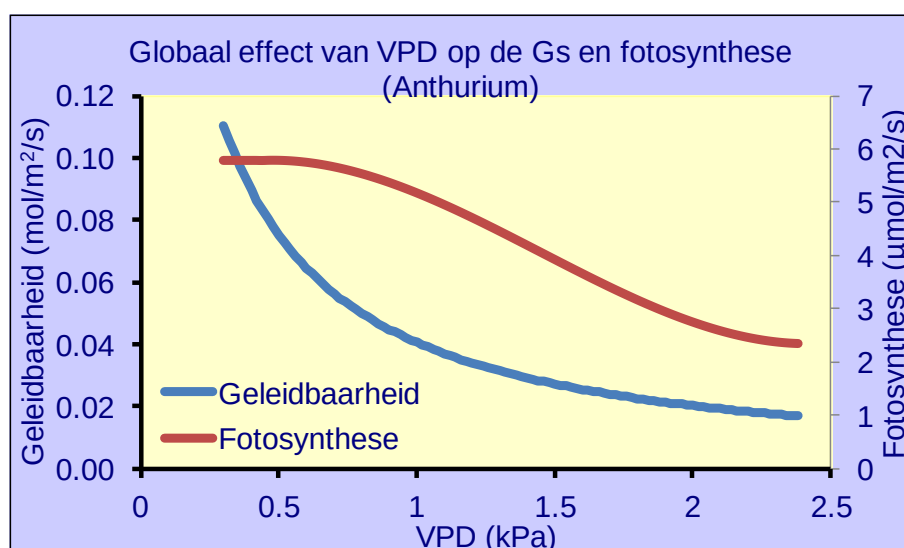


Fig. 29. Algemene VPD-afhankelijkheid van de huidmondjesgeleidbaarheid en de fotosynthese bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (gebaseerd op alle LiCor-6400 metingen).

Zoals opgemerkt bij de bespreking van Fig. 11 kan een lage RV een negatief effect hebben op de lichtreactie van de fotosynthese. De lichtreactie van de fotosynthese wordt door de Plantivity inzichtelijk gemaakt door Benut licht (groene vlak). Als voorbeeld zijn in Fig. 30 twee dagen geselecteerd. Als de lichtintensiteit niet te hoog wordt, dan volgt het groene vlak de PAR-lijn (zwarte lijn). Op 2 september is net na 9:00 uur een nieuwe plant ingezet. Het groene vlak volgt vervolgens keurig de PAR-lijn tot ongeveer 3 september 11:00 uur en gaat vervolgens steeds verder afwijken, terwijl PAR maximaal 225 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ wordt. Tegelijkertijd loopt de VPD op tot wel 3.5 kPa. De CO_2 ligt tussen de 400-500 ppm. In zo'n geval kan –als er geen luchtbevochtiging mogelijk is– er beter nog zwaarder geschermd worden om schade aan het fotosyntheseapparaat te voorkomen.

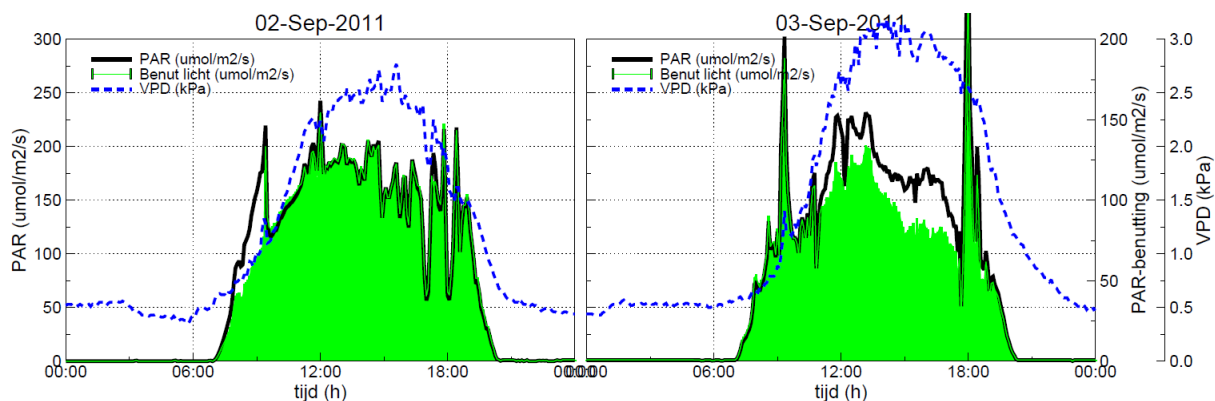


Fig. 30. Invloed van een hoge VPD op Benut licht. PAR: zwarte lijn; Benut licht: groene vlak; VPD: blauw gestreepte lijn. Op 2 september is net na 9:00 uur een nieuwe plant ingezet. Het groene vlak loopt mee met de PAR tot ongeveer 3 september 11:00 uur en gaat vervolgens steeds verder afwijken. Tegelijkertijd loopt de VPD op tot 3.5 kPa.

In Fig. 31 is hetzelfde groene vlak weergegeven als in Fig. 30. Te zien is dat bij een VPD boven de 1 kPa de fotosynthese/assimilatie (blauwe lijn) steeds sterker gelimiteerd wordt. Dit wordt veroorzaakt door het negatieve effect van een hoge VPD (lichtblauw gestreepte lijn) op de huidmondjes. Uit deze beide figuren kunnen we concluderen dat Anthurium in principe tot 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (op plantniveau) goed aan kan. Als echter de VPD boven de 1.5 kPa uitkomt wordt de fotosynthese/assimilatie al sterk geremd en kan er net zo goed meer geschermd worden. Komt de VPD boven de 2-2.5 kPa uit, dan gaat –voor het oog niet zichtbare– schade aan het fotosyntheseapparaat ontstaan en kan er beter geschermd worden tot maximaal 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR op plantniveau.

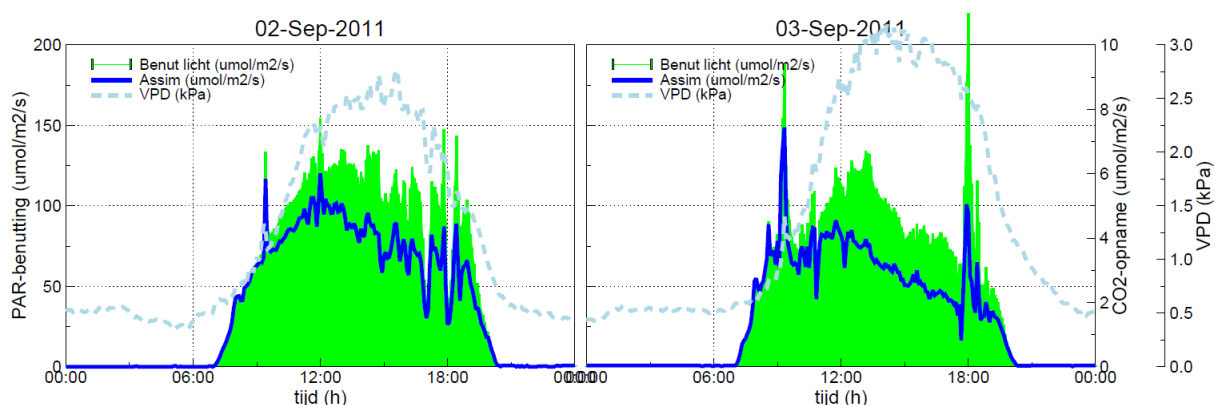


Fig. 31 Invloed van een hoge VPD op de assimilatie (blauwe lijn=fotosynthese) ten opzichte van Benut licht (groene vlak, zelfde vlak als in Fig. 29); VPD: lichtblauw gestreepte lijn. Zolang de VPD onder de 1.0 kPa blijft, volgt de assimilatie het groene vlak. Boven een VPD van 1.5 kPa wordt de fotosynthese sterk gelimiteerd doordat –als gevolg van de hoge VPD– de huidmondjes steeds verder dicht gaan.

Conclusies klimaat voor Anthurium:

1. Anthurium is gebaat bij een VPD onder de 1.0 kPa om de fotosynthese niet gelimiteerd te laten worden door de huidmondjes. Bij stijgende lichtintensiteit wordt deze grens steeds belangrijker.
2. Op basis van de huidige metingen kan Anthurium prima 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR op plantniveau verdragen (0.9 mol PAR per uur) mits de VPD onder de 1.0 kPa blijft.
3. Bij een VPD boven de 2 kPa kan schade aan het fotosyntheseapparaat ontstaan als de lichtintensiteit boven de 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ stijgt.

5.2 Cymbidium en Miltoniopsis

Op dezelfde manier als voor Anthurium is voor Cymbidium en Miltoniopsis de VPD-afhankelijkheid van de huidmondjes en de bijbehorende fotosynthese bij $100 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR bepaald (Fig. 32). Opvallend is dat de huidmondjesgeleidbaarheid van Cymbidium niet zo sterk reageert op een toenemende VPD. Cymbidium is dus minder gevoelig voor stijgende VPD's. De afname die in de fotosynthese wordt waargenomen bij de hogere VPD's kan niet verklaard worden door de afname in de huidmondjesgeleidbaarheid omdat deze met een waarde van $0.04 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ (bij een hoge VPD) voor Cymbidium nog niet limiterend is (zie bespreking Fig. 18). De daling in fotosynthese lijkt meer veroorzaakt te worden door de toenemende temperatuur (hogere VPD's vielen samen met een stijging in de bladtemperatuur). Dit komt overeen met wat gevonden is door Baas *et al.* (2004). Pas bij RV's van 30% ($\text{VPD} > 2.5 \text{ kPa}$) werd de fotosynthese gelimiteerd door de huidmondjes, ook werd daar een negatief effect van een hogere temperatuur ($28\text{-}30^\circ\text{C}$ bladtemperatuur) op de fotosynthese gevonden (Baas *et al.* 2004).

De huidmondjesgeleidbaarheid van Miltoniopsis daarentegen, daalt sterk bij een toenemende VPD. Boven een VPD van de 0.7 kPa begint ook de fotosynthese sterk te dalen. Ook hier zal de fotosynthese bij een hoger lichtniveau bij een lage VPD hoger liggen maar bij toenemende VPD scherper dalen omdat dan de huidmondjesgeleidbaarheid nog sneller limiterend is. Als vergelijk is in Fig. 32C ook de huidmondjesgeleidbaarheid van Anthurium weergegeven. Deze vertoont een opvallende overeenkomst met Miltoniopsis.

Fig. 33 laat de lichtrespons³ van Cymbidium en Miltoniopsis zien. Beide soorten zijn bij $250 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR lichtverzadigd en halen een ongeveer gelijk maximum niveau.

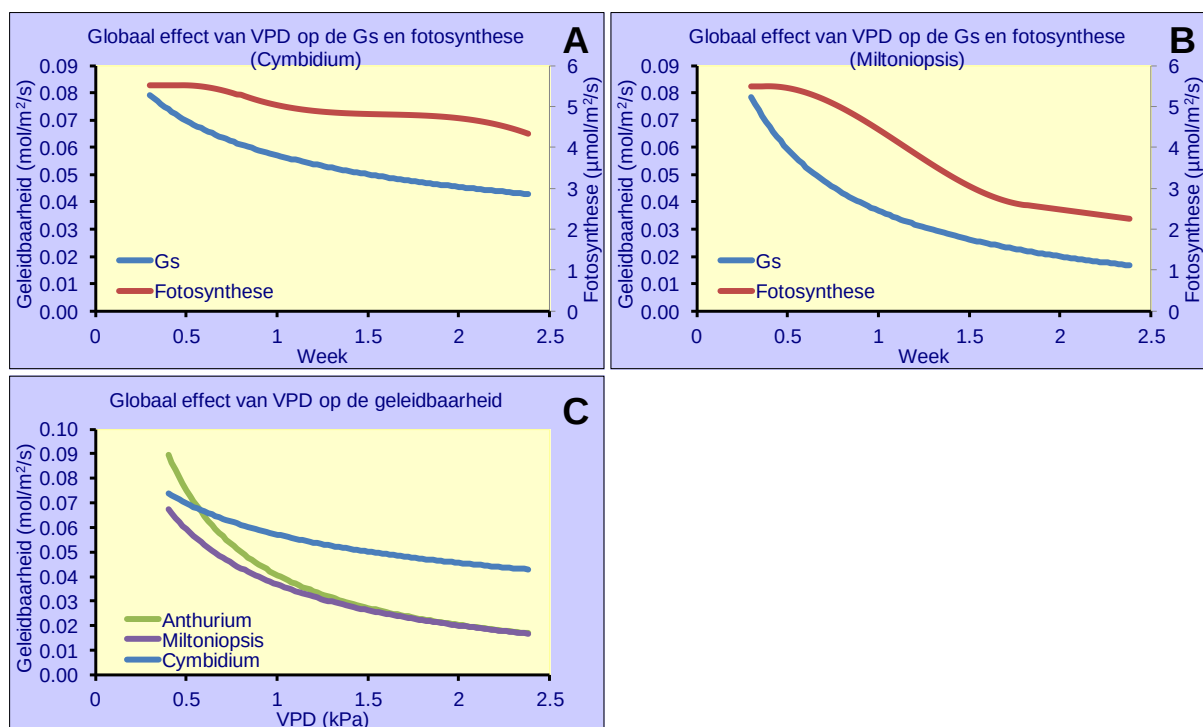


Fig. 32. Algemene VPD-afhankelijkheid van de huidmondjesgeleidbaarheid en fotosynthese bij $100 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR van Cymbidium (A) en Miltoniopsis (B). In figuur C staat de geleidbaarheid van de drie soorten bij elkaar (gebaseerd op alle LiCor-6400 metingen)

³ Voor detailuitleg over de lichtrespons van de fotosynthese zie Pot *et al.* 2011

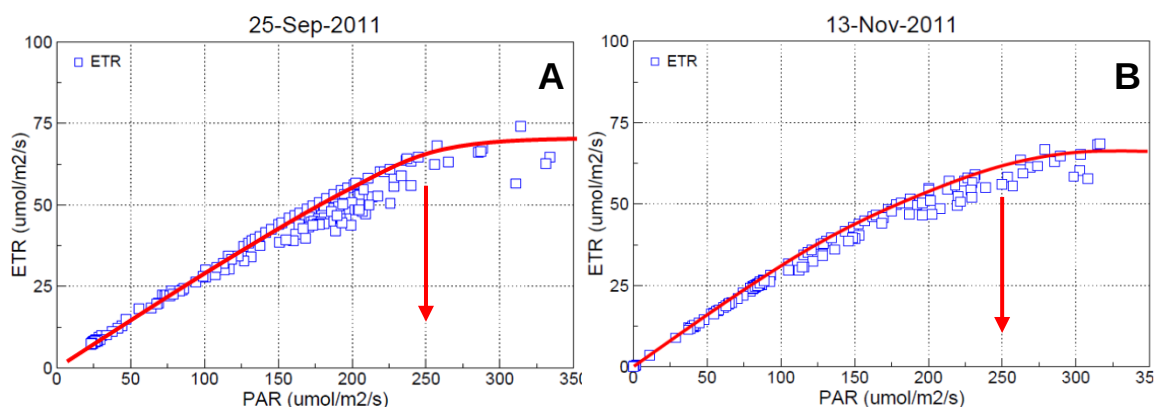


Fig. 33. Lichtrespons van het Elektronentransport bij *Cymbidium* (A) en *Miltoniopsis* (B). Beide soorten zijn bij 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR lichtverzadigd en halen een ongeveer gelijk maximum niveau van ETR. Lichtintensiteiten boven de 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR dienen vermeden te worden.

Effect van de het inschakelen van de luchtbevochtiging

In Fig. 33 staat de Plantvitaliteit weergegeven. Vitale planten hebben een rendement van circa 0.8 (Voor verdere uitleg zie Pot *et al.* 2011). De plantvitaliteit vertoonde in het begin veel dalen. Een verlaagde plantvitaliteit viel globaal samen met een lage RV. Na instelling van een ondergrens in RV van 60% per 16 september (eind van de middag) vertoonde het nachtelijk rendement een rustiger beeld. Er is dan een beter plantherstel. Ook Baas *et al.* (2004) hebben de conclusie getrokken dat herstel van de fotosynthese na hoge temperatuur (rond 30 °C planttemperatuur) wordt bevorderd door een hoge RV.

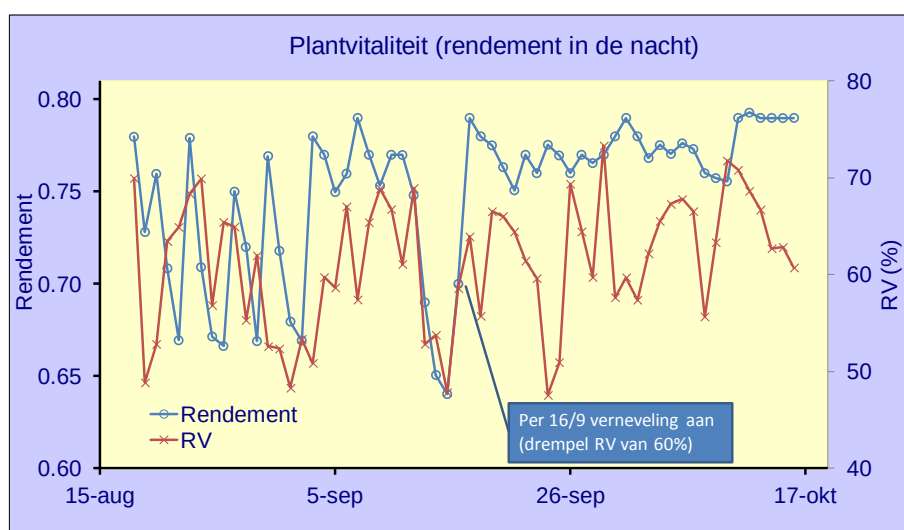


Fig. 33. Plantvitaliteit (Nachtelijk Rendement) en RV bij Floricultura. Na instelling van een ondergrens in RV van 60% per 16 september vertoont het nachtelijk rendement een rustiger beeld. Er is dan een beter plantherstel. Verlaagde plantvitaliteit valt samen met een lage RV. (plantwissel 3* per week, tot 5 september *Cymbidium*, vervolgens tot 19 september *Miltoniopsis*, vervolgens tot 3 oktober *Cymbidium*, daarna weer *Miltoniopsis*).

In Fig. 34 staat de lichtbenuttingsgrafiek onder hoog en laag licht weergegeven rondom 16 september. Deze laat zien dat de planten onder hoog licht van 13 tot en met 16 september (rode vak links) veel stress hebben. De hoeveelheid benut licht (groene vlak) is van de laag lichtbehandeling is zelfs net zo hoog als de hoog licht behandeling. Dus de ruim 30% meer licht in de hoog lichtbehandeling werkte op dat moment dus alleen plantstress verhogend. Op die dagen piekte de VPD op de 2.0 kPa. Door inzet van de luchtbevochtiging (blauwe vak rechts) steeg het aandeel benut licht van de hoog licht behandeling wel ten opzichte van de laag licht behandeling tot ongeveer 30% hoger.

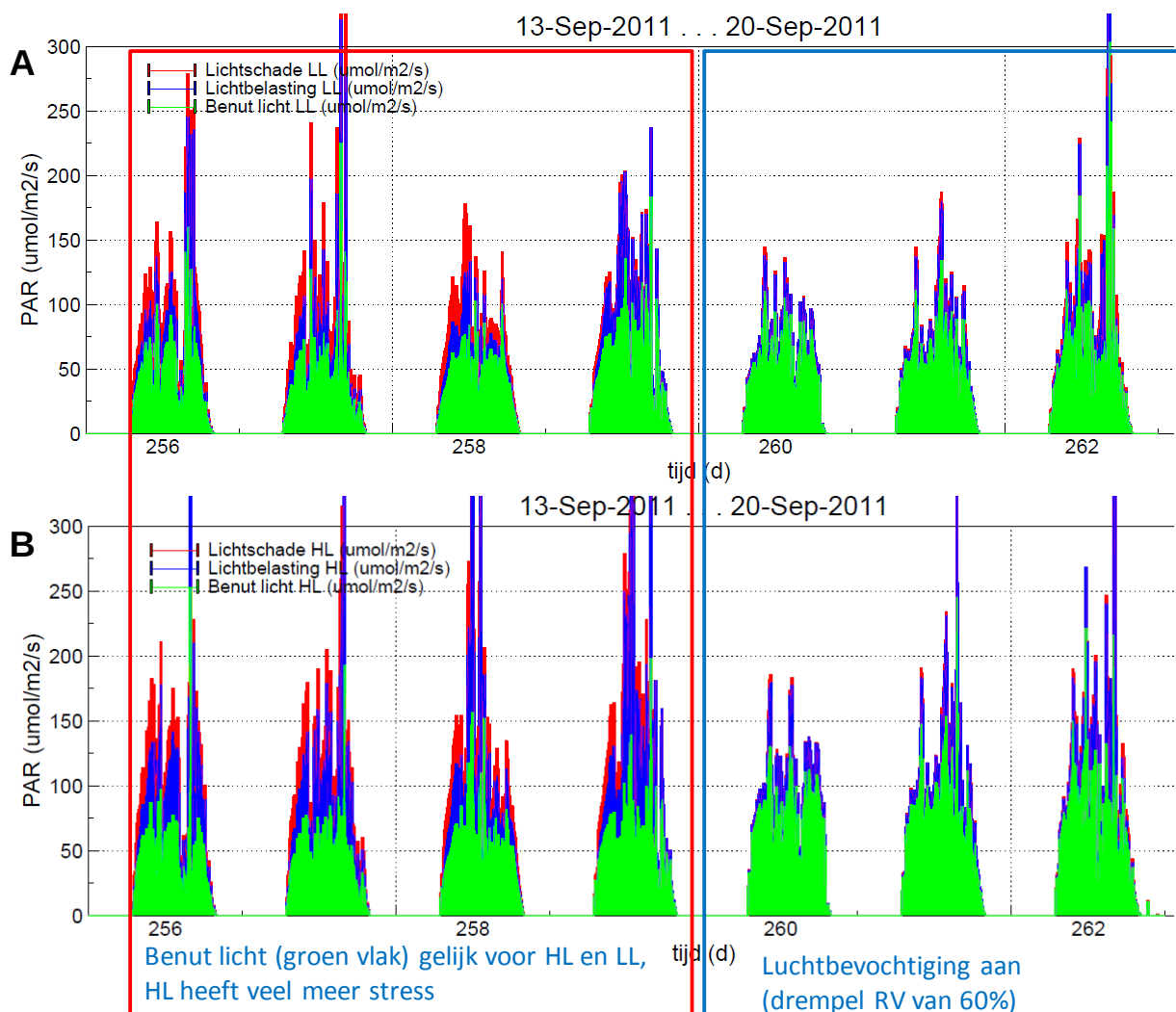


Fig. 34. Geabsorbeerd PAR-licht verdeeld over benut licht (groen vlak), Lichtbelasting (blauw vlak) en lichtschade (rood vlak) voor de laag licht (A) en de hoog licht (B) behandeling. In de periode van 13 tot en met 16 september (rode rechthoek) heeft de hoog licht behandeling veel stress. De hoeveelheid benut licht is van de laag lichtbehandeling net zo hoog als de hoog licht behandeling. Op die dagen piekte de VPD op de 2.0 kPa. Door inzet van de luchtbevochtiging (17-19 september; blauwe rechthoek) wordt het aandeel benut licht van de hoog licht behandeling wel groter.

5.3 Conclusies klimaat

1. Er is een grote overeenkomst tussen het telen van Miltoniopsis en Anthurium op het gebied van hoe de plant reageert op een hoge VPD. Beide soorten kunnen op het gebied van licht en vocht op een soortgelijke manier geteeld worden.
2. Om huidmondjeslimitatie op de fotosynthese te voorkomen dient voor Miltoniopsis de VPD onder de 1.0 kPa te blijven. Voor Cymbidium ligt deze grens ruimer en ligt rond de 2.0 kPa
3. Cymbidium en Miltoniopsis raken beide lichtverzadigd bij ongeveer 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR.
4. Voor een goede plantvitaliteit (rendement in de nacht) dient voor beide soorten een RV van minimaal 60% te worden aangehouden ($\text{VPD} \pm 1.1$ kPa).
5. Als de VPD niet meer in de hand te houden is, kan het lichtniveau beter worden verlaagd.

6 Modelanalyse verdamping potplanten

6.1 Theorie verdamping

De verdamping van water door planten is energetisch gezien de grootste kostenpost binnen het totale energieplaatje in de kasteelt. Als vuistregel geldt dat bij gewassen als tomaat en komkommer 2/3 van alle lichtenergie in een kas wordt verbruikt in het verdampingsproces. Dit lijkt schrikbarend veel want de doelstelling van een tuinder is niet het produceren van waterdamp. Toch mogen we ons gelukkig prijzen dat de planten in staat zijn om inderdaad grote hoeveelheden warmte via de verdamping af te voeren. Als dit niet het geval was, zou de temperatuur van het gewas zodanig oplopen dat de groeiprocessen stil komen liggen. Er is dus betrekkelijk weinig aan te doen. Sterker nog, we willen meestal een hoge verdamping van het gewas omdat die direct gekoppeld is aan een hoge koolzuuropname en dus met een hoge productie. De drijvende kracht voor verdamping is het verschil in waterdampspanning tussen blad en lucht. De zuigende werking van een bepaalde gasfase wordt bepaald door het dampdruk deficit (VPD = het tekort aan waterdamp om een verzadigde dampspanning te realiseren).

De snelheid van verdamping is analoog aan de wet van Ohm:

Verdamping = VPD_{blad} * huidmondjesgeleidbaarheid

In een kas is de huidmondjesgeleidbaarheid in de meeste gevallen de limiterende factor voor verdamping met uitzondering van een erg "dood" klimaat waarbij de grenslaagweerstand tussen gewas en omringende kaslucht een rol van betekenis gaat spelen.

Wanneer we een kasklimaat wensen dat robuust is en qua vochtigheid min of meer zelfregulerend dan hebben we planten nodig die relatief veel verdampen. Met andere woorden: planten met een hoge basisgeleidbaarheid en indien mogelijk met huidmondjes die weinig gevoelig zijn voor bladtemperatuur, stress of meer in algemene zin de VPD_{blad} . Gewassen als roos en komkommer hebben dit van nature maar bij potplanten zien we vaak een situatie dat er veel sturing moet plaatsvinden om de vochtigheid zodanig te reguleren dat de plant niet in een negatieve spiraal terecht komt (Fig. 35). Die negatieve spiraal wordt veroorzaakt door een sluiting van de huidmondjes als gevolg van een toename van VPD_{blad} . Door de sluiting neemt de verdamping nog verder af en de bladtemperatuur stijgt naar nog hogere waarden waardoor de huidmondjes nog verder sluiten. Het resultaat is een totale sluiting, met als gevolg een zeer hoge bladtemperatuur. Hierdoor moet meer geschermd worden om te voorkomen dat door een gebrek aan CO_2 in het blad (de huidmondjes zitten immers dicht), het fotosynthesesysteem in de bladeren beschadigd raakt. Dit levert productie verliezen die voorkomen kunnen worden door te zorgen dat deze negatieve spiraal niet wordt ingezet. Kortom, er is veel bij gewonnen als potplanten een hoge huidmondjesgeleidbaarheid hebben en een regeling die minder afhankelijk is van VPD_{blad} .

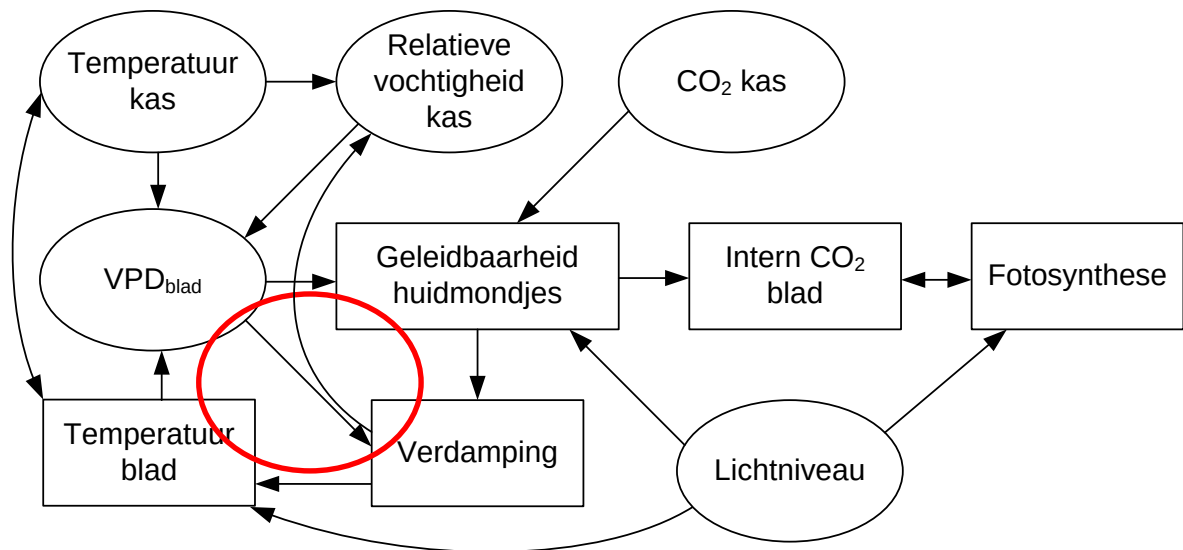


Fig. 35. Verband tussen enerzijds de huidmondjesgeleidbaarheid en het koelend vermogen door verdamping en effect van omgevingsfactoren. De rode cirkel geeft de negatieve spiraal aan waarin een plant terecht kan komen als het koelend vermogen wordt overschreden. Bij planten waar de huidmondjesopening al snel beperkend is (Bijvoorbeeld bij Anthurium of Miltoniopsis), zal als het koelend vermogen van de plant overschreden wordt, de planttemperatuur sterk oplopen en dus ook de VPD_{blad} . Hierdoor sluiten de huidmondjes, de geleidbaarheid daalt en daardoor daalt het koelend vermogen. Zo belandt de plant in een negatieve spiraal: verhoging VPD_{blad} → sluiting huidmondjes → verlaging verdamping = verlaging koeling → verhoging bladtemperatuur → verhoging VPD_{blad} (rode cirkel). Deze vicieuze cirkel kan uitgesteld worden als het koelend vermogen van de plant vergroot kan worden.

6.2 Scenario-analyses

Het is duidelijk dat de sleutel voor meerproductie, via het kunnen toelaten van meer licht, bij de huidmondjesgeleidbaarheid gezocht moet worden. Niet alleen zal de productie toenemen maar ook de oogstzekerheid en de robuustheid van het kasklimaat. De vraag is dan natuurlijk: Hoeveel winst is er te behalen? In onderstaande scenario-studie richten we ons op een verschil in de maximale geleidbaarheid van het blad. Een andere oplossingsrichting: De huidmondjes zodanig trainen dat ze minder gevoelig worden voor een hoge bladtemperatuur cq. VPD_{blad} wordt in deze analyse buiten beschouwing gelaten. De maximale huidmondjesgeleidbaarheid kan worden verhoogd door een hoge RV gedurende de bladontwikkelingsfase (Tabel 6).

Tabel 6. Verschillen in maximale huidmondjesgeleidbaarheid (G_{max} ; $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) gemeten aan het einde van de voortelt, zie ook Fig. 6.

	HRV	LRV	Fractie toename HRV
Anthurium	0.138	0.105	1.31
Cymbidium	0.075	0.049	1.54
Miltoniopsis	0.066	0.052	1.27

De maximale geleidbaarheid is het hoogst voor een langdurige voorbehandeling waarbij de planten aan een hoge RV worden blootgesteld. Het effect is het grootst bij Cymbidium (54%) gevolgd door Anthurium en Miltoniopsis met 30%. Laatstgenoemden lijken niet alleen in huidmondjesgeleidbaarheid maar ook in fotosynthese karakteristieken sprekend op elkaar. Uit eerder onderzoek bleek dat gemiddeld over een aantal rassen V_{cmax} ongeveer $38 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en J_{max} $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ was. Voor Cymbidium zijn de waarden respectievelijk 22 en 43, veel lager dus. Door de lagere fotosynthese waarden heeft Cymbidium minder snel last van een lagere huidmondjesgeleidbaarheid.

Een hogere maximale geleidbaarheid heeft belangrijke consequenties, ook in het geval dat een toename in VPD_{blad} resulteert in dezelfde relatieve afname van de geleidbaarheid (verschil in uitgangswaarde, maar gelijke regulering door VPD). Door de hogere aanvangswaarde van de geleidbaarheid wordt de kritische grens van VPD waar de geleidbaarheid limiterend wordt voor de fotosynthese (beperking van de interne CO_2 concentratie) verschoven naar een hogere waarde (Fig. 36). Vooral bij potplanten met een relatief lage V_{cmax} en J_{max} , zoals Anthurium, Miltoniopsis en Cymbidium, wordt de fotosynthese op die manier veel minder afhankelijk van VPD_{blad} , ook al wordt de huidmondjesregulering zelf niet anders. In de scenariostudie is aangenomen dat alle bladeren van de plant dezelfde eigenschappen hebben op het gebied van de huidmondjesgeleidbaarheid. Dit geeft een scherper beeld dan in de proef omdat daar al bladeren aanwezig waren met andere eigenschappen dan de nieuw ontwikkelende bladeren.

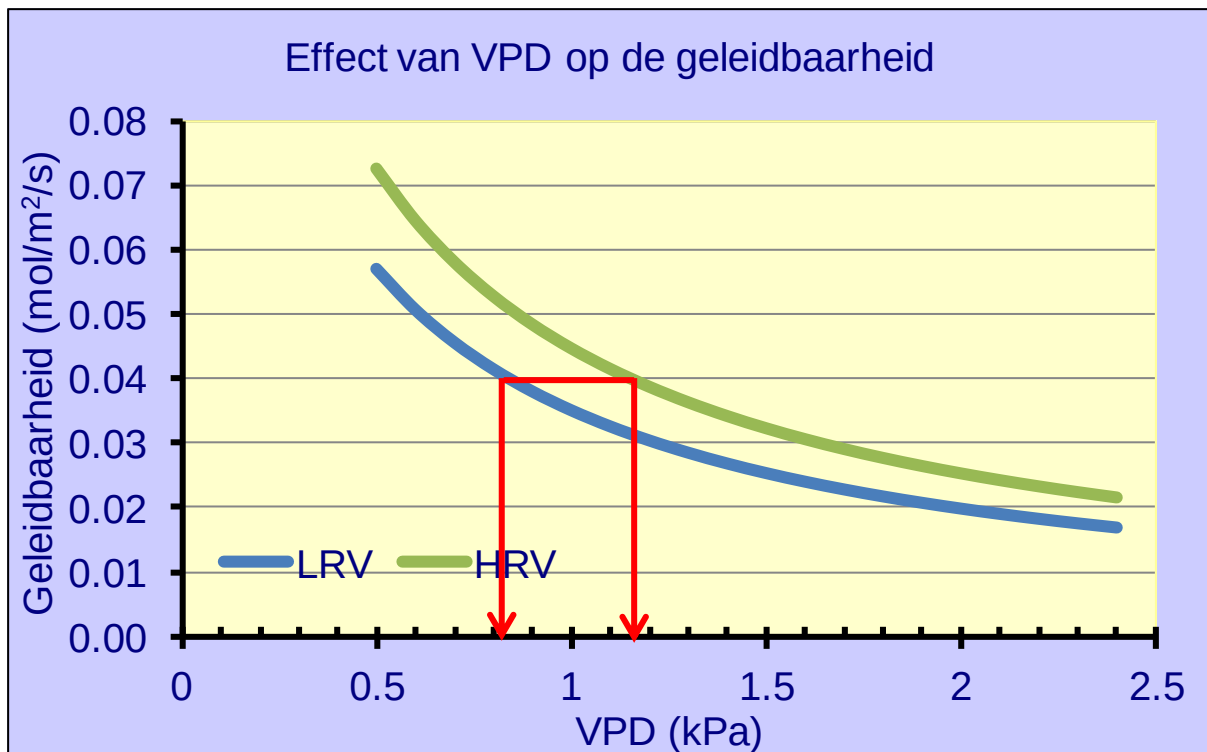


Fig. 36. Effect van de VPD op de huidmondjesgeleidbaarheid bij twee voorbehandelingen. Alleen de maximale geleidbaarheid verschilt tussen beide behandelingen en niet de huidmondjesregulering. De rode pijlen laten zien dat als een geleidbaarheid van 0.04 limiterend is voor de fotosynthese, een verhoging van de maximale geleidbaarheid resulteert in een verschuiving van de grens waar de VPD limiterend is voor de fotosynthese van 0.8 naar 1.15 kPa.

In de tabellen 7-9 zijn bij verschillende stralingssommen de verdamping en de fotosynthese berekend voor Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis. Vanwege de complexe terugkoppelingen in het systeem huidmondjes versus VPD_{blad} zijn de simulaties verricht voor afzonderlijke dagen met verschillende stralingssommen: 2.15, 4.3, 6.45 en 6 mol PAR op gewashoogte bij een onbewolkte hemel (straling over de dag volgt een sinuspatroon met een maximum op 12:30 uur; Fig. 37). Dit is de zuiverste vergelijking. In deze berekeningen zijn dus geen effecten van assimilatenverdeling naar bloem, blad of wortel verdisconteerd en is puur gekeken naar opbrengsteffecten in gram versgewicht (Tabel 7-9). De warmtebalans wordt in Explorer standaard berekend zoals beschreven in Rappoldt en Schapendonk (2011). De LAI is voor alle teelten gelijk verondersteld: $2.0 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Verder is aangenomen dat de windsnelheid in de kas ongeveer 40 cm/s bedraagt. Dit is een redelijke schatting. Als de windsnelheid afneemt dan neemt het convectieve transport van warmte eveneens af en dan wordt de bijdrage van de afvoer van latente warmte weer groter. Het voert te ver om deze nuances door te rekenen zonder een gedetailleerde input van de ruimtelijke verdeling. Een lage luchtbeweging (dood klimaat) betekent immers ook een hogere grenslaagweerstand rondom het blad waardoor ook de verdamping afneemt en de rol van de huidmondjesgeleidbaarheid uiteindelijk zelfs niet relevant meer is.

Tabel 7. Scenarioberekeningen Anthurium: groei/dag en verdamping/dag bij verschillende dagsommen PAR en RV's.

RV (%)	Groei		Verdamping	
	LRV (g vers/dag/m2)	HRV (% toename)	LRV (l/dag/m2)	HRV (% toename)
Dagsom PAR 2.15 Mol				
50	15.06	11.09	0.25	56.18
60	15.53	9.32	0.22	55.22
70	16.05	7.48	0.19	53.18
80	16.61	5.57	0.15	49.00
90	17.21	3.59	0.10	40.48
Dagsom PAR 4.3 Mol				
50	22.78	11.54	0.38	54.06
60	23.56	9.82	0.35	53.02
70	24.40	8.06	0.30	51.11
80	25.31	6.25	0.25	47.60
90	26.29	4.40	0.19	41.17
Dagsom PAR 6.45 Mol				
50	27.04	13.78	0.48	54.53
60	28.25	11.04	0.44	52.26
70	29.45	8.71	0.40	49.84
80	30.58	6.96	0.34	46.99
90	31.80	5.20	0.27	42.11
Dagsom PAR 8.6 Mol				
50	28.69	21.09	0.54	61.39
60	30.17	17.53	0.51	58.25
70	31.78	13.97	0.46	54.58
80	33.52	10.50	0.41	50.07
90	35.37	7.25	0.35	44.31

Tabel 8. Scenarioberekeningen Miltoniopsis: groei/dag en verdamping/dag bij verschillende dagsommen PAR en RV's

RV (%)	Groei		Verdamping	
	LRV (g vers/dag/m2)	HRV (% toename)	LRV (l/dag/m2)	HRV (% toename)
Dagsom PAR 2.15 Mol				
50	15.31	9.45	0.26	50.29
60	15.74	7.95	0.23	48.74
70	16.19	6.41	0.20	46.09
80	16.68	4.82	0.15	41.53
90	17.21	3.17	0.10	33.62
Dagsom PAR 4.3 Mol				
50	23.21	9.72	0.40	48.38
60	23.91	8.29	0.36	46.88
70	24.67	6.84	0.32	44.51
80	25.48	5.36	0.26	40.69
90	26.35	3.84	0.19	34.58
Dagsom PAR 6.45 Mol				
50	27.84	10.76	0.51	47.82
60	28.88	8.77	0.47	45.75
70	29.84	7.32	0.41	43.66
80	30.85	5.90	0.35	40.52
90	31.95	4.48	0.28	35.73
Dagsom PAR 8.6 Mol				
50	29.83	16.79	0.58	53.40
60	31.19	13.89	0.54	50.39
70	32.64	11.03	0.49	46.87
80	34.19	8.28	0.43	42.61
90	35.80	5.76	0.36	37.40

Tabel 9. Scenarioberekeningen *Cymbidium*: groei/dag en verdamping/dag bij verschillende dagsommen PAR en RV's

RV (%)	Groei		Verdamping	
	LRV (g vers/dag/m ²)	HRV (% toename)	LRV (l/dag/m ²)	HRV (% toename)
Dagsom PAR 2.15 Mol				
50	12.45	4.67	0.28	56.23
60	12.62	4.17	0.24	53.57
70	12.81	3.68	0.20	50.18
80	13.00	3.19	0.15	45.84
90	13.20	2.69	0.09	40.44
Dagsom PAR 4.3 Mol				
50	16.49	4.29	0.39	55.09
60	16.75	3.90	0.34	52.72
70	17.03	3.52	0.29	49.69
80	17.32	3.14	0.23	45.87
90	17.64	2.76	0.16	41.18
Dagsom PAR 6.45 Mol				
50	18.88	4.20	0.47	54.55
60	19.19	3.84	0.42	52.42
70	19.52	3.48	0.36	49.73
80	19.87	3.16	0.30	46.38
90	20.25	2.84	0.22	42.34
Dagsom PAR 8.6 Mol				
50	20.23	6.69	0.53	57.52
60	20.70	5.74	0.49	54.79
70	21.17	4.86	0.43	51.67
80	21.67	4.06	0.37	48.04
90	22.18	3.34	0.29	43.97

Uit bovenstaande tabellen blijkt dat de momentane groei tot 20% toeneemt en de verdamping tot wel 60% (*Anthurium*) door de hogere geleidbaarheid. De toename in groei en verdamping is hoger bij een lagere RV en bij een hogere lichtintensiteit.

Daarbovenop zijn er indirecte effecten te verwachten van de toename in verdamping omdat de hogere verdamping de RV in de kas hoger zal maken. Dit heeft een indirect positief effect op de groei. Een toename van 70% RV naar 80% RV levert 3-8% extra groei op.

Ook kan de afkoeling van het blad door een toename van de verdamping worden getoetst. Wanneer de bladtemperatuur stijgt zijn er twee zaken relevant:

- boven 28°C neemt de fotosynthese sterk af door een afname van ETR.
- door een toename van de bladtemperatuur neemt VPD_{blad} toe, waardoor de huidmondjes sluiten. Dit triggert een spiraal van gebeurtenissen waardoor de huidmondjes zich uiteindelijk helemaal sluiten.

In Tabel 10 is berekend hoe de bladtemperatuur verandert ten opzichte van de luchttemperatuur afhankelijk van de RV in de kas bij laag (2.15 mol PAR) en hoog licht (8.6 mol PAR).

Tabel 10. Verschil tussen blad- en luchttemperatuur bij verschillende RV en lichtsom op 12:30 uur (maximaal lichtniveau). Om 12:30 uur is de straling (op plantniveau) 30 Watt voor de 2.15 Mol behandeling en 120 Watt voor de 8.6 Mol behandeling. Dit komt overeen met respectievelijk 70 en 280 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR.

RV (%)	Anthurium		Miltoniopsis		Cymbidium	
	LRV	HRV	LRV	HRV	LRV	HRV
Dagsom PAR 2.15 mol						
50	0.00	-0.40	0.00	-0.40	-0.08	-0.40
60	0.00	-0.20	0.00	-0.20	0.00	-0.20
70	0.11	-0.08	0.11	-0.08	0.11	-0.08
80	0.13	0.00	0.13	0.00	0.12	0.00
90	0.14	0.20	0.14	0.20	0.13	0.20
Dagsom PAR 8.6 mol						
50	3.75	2.50	3.60	2.50	3.59	2.51
60	3.85	2.70	3.84	2.72	3.85	2.79
70	3.93	2.88	3.94	2.91	3.93	2.93
80	3.97	2.97	3.95	2.96	3.97	3.14
90	4.00	3.30	4.01	3.30	4.00	3.48

De effecten van een hogere uitgangseleidbaarheid op de de bladtemperatuur zijn bij lage lichtsommen niet van belang. Bij een hoge lichtsom echter, loopt het temperatuursverschil tussen de LRV- en de HRV-voorbehandelingen op tot maximaal 1.25°C. De effecten die we eerder aan de bladtemperatuur toeschreven (de negatieve spiraal, Fig. 35) dienen dus enigszins genuanceerd te worden. De afvoer van latente warmte (via verdamping) is bij de onderzochte potplanten alleen bij de hogere lichtintensiteit doorslaggevend. Dat is natuurlijk wel de situatie waar we naartoe willen. Een straling van 120 Watt (equivalent aan 280 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) is niet ongebruikelijk in de teelt van de gekozen potplanten. Bij die intensiteit kan het blad door de betere voorbehandeling dus 1.25 °C gekoeld worden. Het voordeel is evident wanneer de kastemperatuur hoog oploopt maar bij lagere temperatuur is er geen reden om je hiermee rijk te rekenen. Door de verminderde toename in bladtemperatuur blijft de VPD_{blad} ongeveer 0.2-0.3 kPa lager. Tussen de 0.5 en 1.5 kPa (Fig. 36) daalt de huidmondjesgeleidbaarheid scherp bij toenemende VPD. In dit traject geeft een dus een lagere VDP van 0.2-0.3 kPa een veel hogere geleidbaarheid. Dit heeft gunstige consequenties voor het interne CO_2 -gehalte van het blad en de fotosynthese.

Als er wordt geschermd op straling om bijvoorbeeld een maximale bladtemperatuur van 28 °C toe te laten, zal er bij planten met een hoger koelend vermogen er dus voor 1.25 °C meer straling toegelaten kunnen worden. In Fig. 37 kunnen we aflezen dat dit ongeveer 15W straling (=35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) is. In Fig. 38 staat weergegeven hoe de bladeren de inkomende straling afvoeren via verdampingswarmte of convectie. Bij de planten met een lagere maximale geleidbaarheid is convectieve warmteoverdracht belangrijker dan warmteverlies via verdamping. Bij een hogere maximale geleidbaarheid draait dit om en de plant kan via verdamping 50 Watt aan energie afvoeren. Als we echter de 50 Watt verdampingswarmte vergelijken met een hoogverdampend gewas als tomaat en komkommer waar meer dan 200 Watt verdampingswarmte kan worden afgevoerd is dit nog steeds gering. In Fig. 39 staat een warmtebalans weergegeven voor een Anthuriumteelt met op plantniveau maximaal 120 Watt straling terwijl de buitenstraling rond 13.00 uur steeg tot ruim 800 Watt (zomerse dag). De energieafgifte via gewasverdamping valt in het niet bij de energieafgifte via langgolvige straling, geleiding naar de bodem en via ventilatie. Dit laat zien dat technische methoden om de kas koeler te houden zoals het reflecteren van straling door krijt of (buiten)scherm, het absorberen van straling door thermische of fotonvoltaïsche collectoren (DaglichtKas) of koeling van de lucht via daksproeiers of verneveling in de kas of door luchtbehandelingskasten van groot belang zijn voor teelten van laag verdampende gewassen zoals Anthurium, Miltoniopsis en Cymbidium.

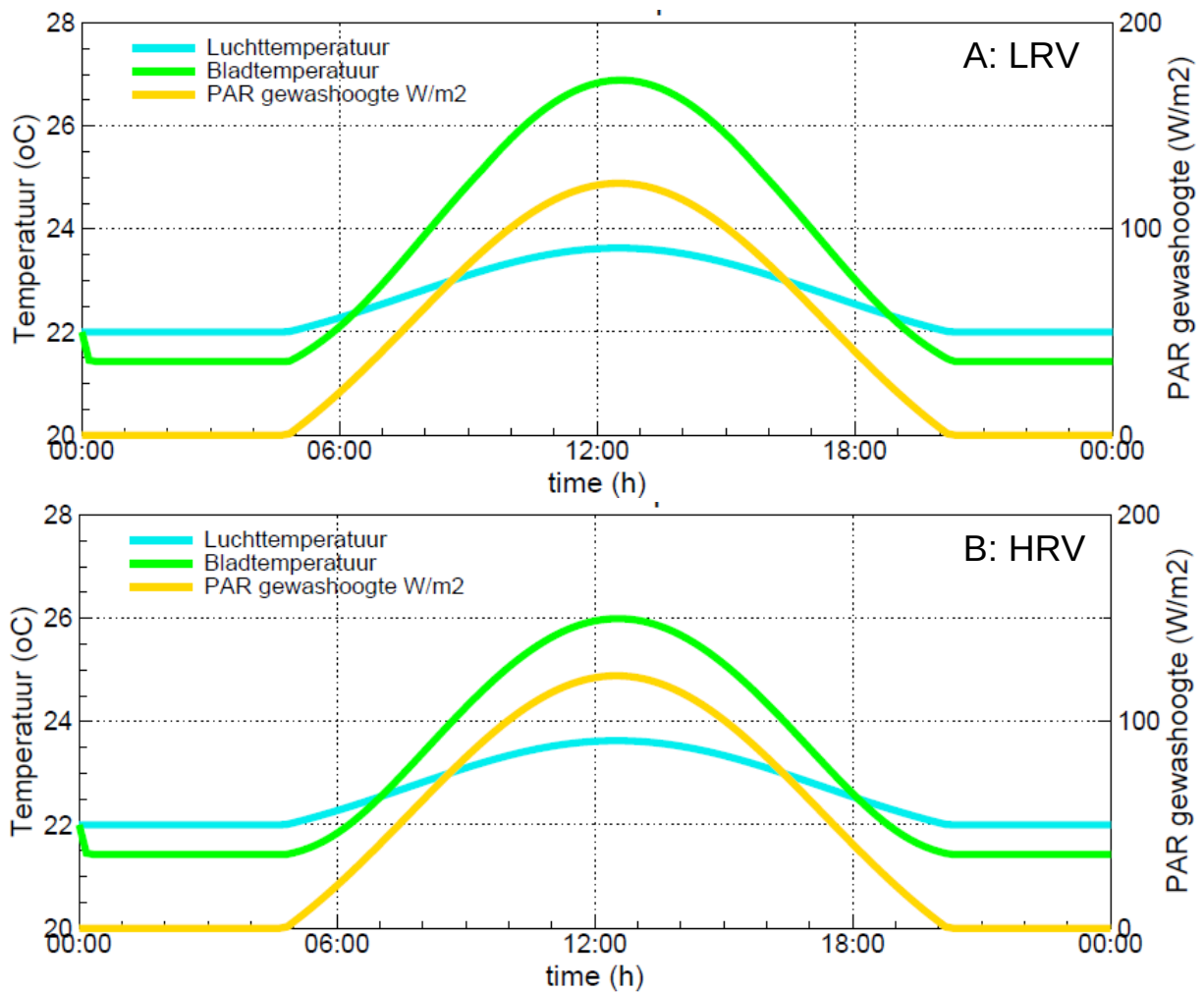


Fig. 37. Voorbeeldberekening verschil in lucht- en bladtemperatuur bij 8.6 mol PAR op gewashoogte, (120 W/m^2 straling $\approx 280 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR op gewashoogte om 12:30 uur). Het blad met een lagere maximale geleidbaarheid (A), wordt ruim 1°C warmer (groene lijn) dan het blad met een lagere maximale geleidbaarheid (B).

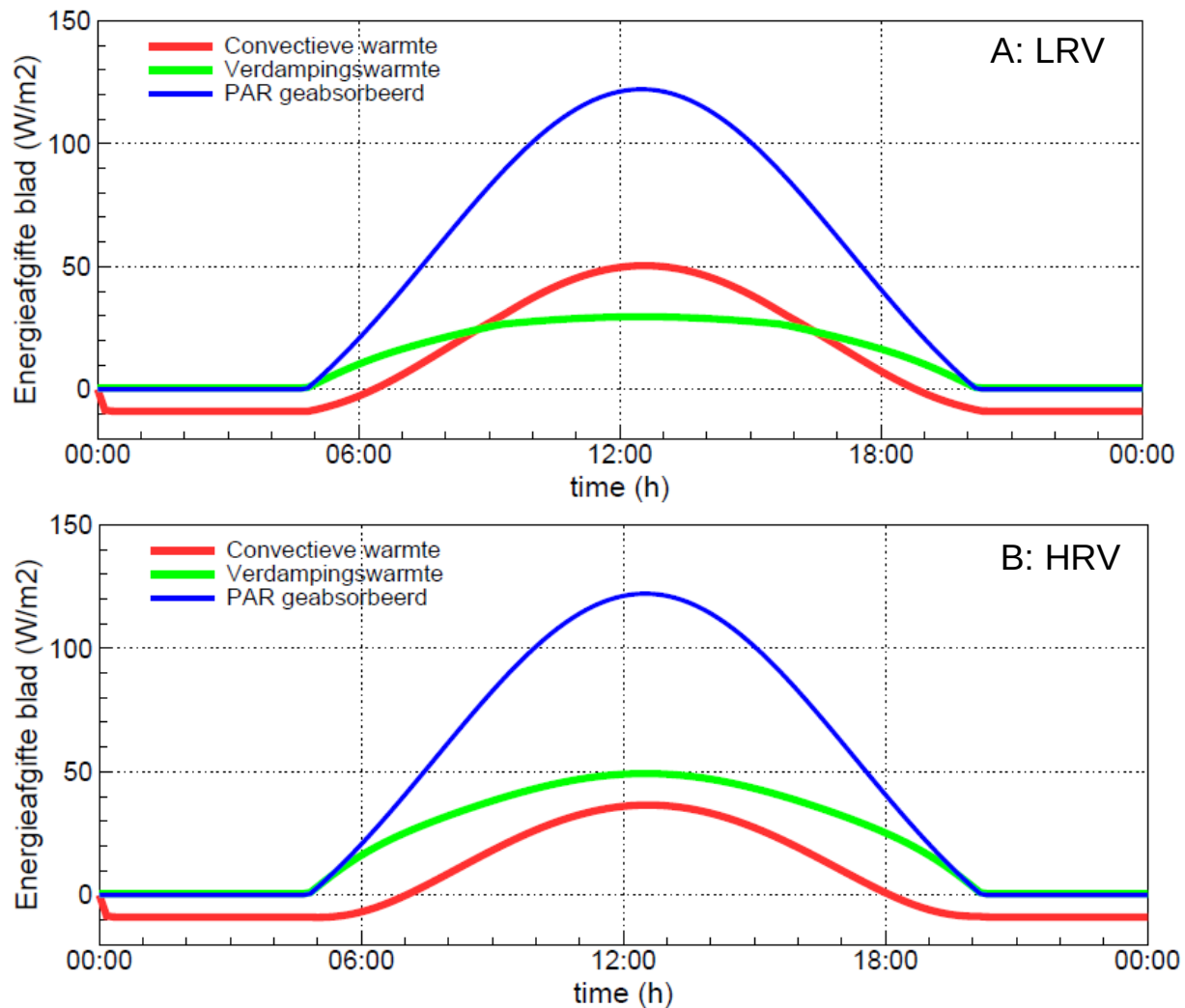


Fig. 38. Voorbeeld berekening energieafgifte van het blad via convectie of verdamping bij bladtemperatuur bij 8.6 mol PAR op gewashoogte (120 W/m^2 straling $\approx 280 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR op gewashoogte om 12:30 uur). Bij de planten met een lagere maximale geleidbaarheid (A) is convectieve warmteoverdracht belangrijker dan warmteverlies via verdamping. Bij een hogere maximale geleidbaarheid (B) draait dit om.

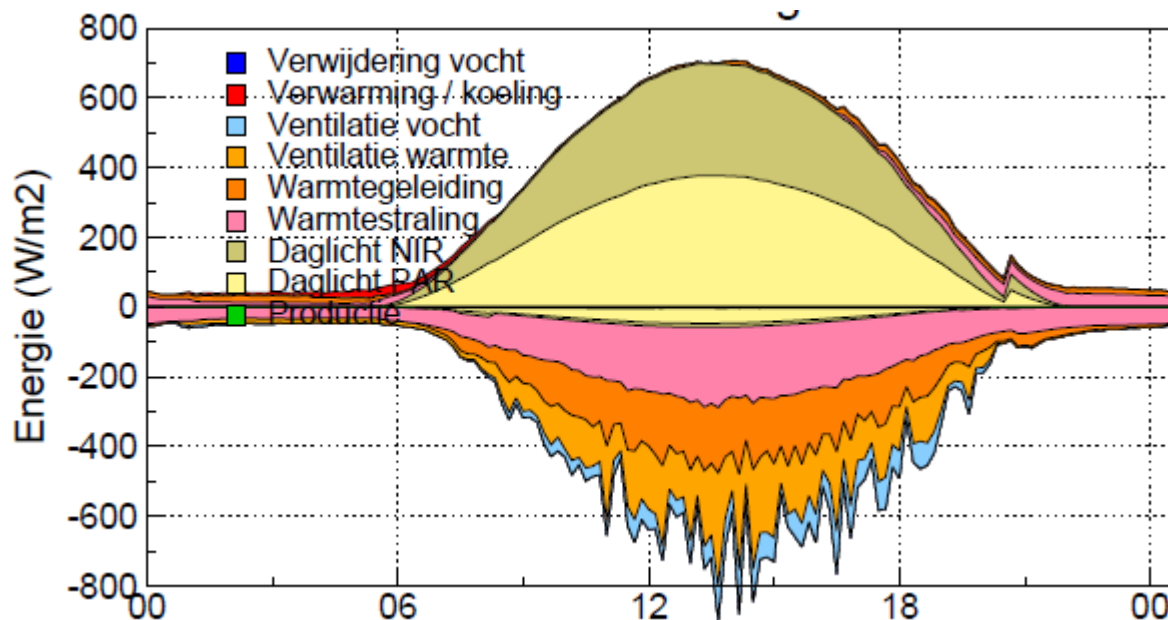


Fig. 39. Warmtebalans in de kas voor een Anthuriumteelt (buitenstraling ruim 800 W/m^2 / 120 W/m^2 straling $\approx 280 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR op gewashoogte rond 13:00 uur). De positieve getallen zijn de inkomende straling, de negatieve getallen de afvoer van stralingswarmte. Te zien is dat het verlies aan warmte via verdamping (blauw) erg weinig is ten opzichte van het verlies aan warmte via ventilatie/convectie, geleiding en warmtestraling (resp, licht en donker oranje en roze).

6.3 Conclusies modellering

1. HRV-planten zijn door hoger koelend vermogen beter in staat extreme pieken in klimaat op te vangen
2. Bij de onderzochte potplanten is het aandeel van koeling door verdamping laag, andere vormen van warmteoverdracht zoals via convectie zijn belangrijker.
3. Ondanks het geringe aandeel in warmteverlies via verdamping, kan bij een hogere maximale huidmondjesgeleidbaarheid het gewas tot maximaal 1.25 graad koeler blijven.
4. Verhoging van de maximale huidmondjesgeleidbaarheid heeft een gunstig effect op het interne CO_2 -gehalte van het blad en zo op de fotosynthese en gewasproductie.

7 Slotbeschouwing

7.1 Te volgen strategie voor Anthurium, Cymbidium en Miltoniopsis

De achterliggende doelstelling van dit project was het maximaliseren van het gebruik van gratis zonlicht. Hiervoor is gepoogd om het natuurlijke aanpassingsvermogen van de plant zoveel mogelijk te sturen naar een verbeterd koelend vermogen. Een hogere geleidbaarheid heeft twee grote voordelen:

1. De gewastemperatuur zal als gevolg van instraling langzamer stijgen.
2. Het interne CO₂-gehalte is minder snel limiterend voor de fotosynthese (dus snellere groei)

Uit dit onderzoek is gebleken dat het aanhouden van een hoge RV in de kas een tweeledig effect heeft op de huidmondjes:

1. sturing op open huidmondjes van de volgroeide bladeren (fysiologische sturing).
2. sturing op de huidmondjesanatomie (meer of grotere huidmondjes), resulterend in een hogere maximale geleidbaarheid van ontwikkelende bladeren.

Opvallend was dat er een grote overeenkomst is tussen het telen van Miltoniopsis en Anthurium op het gebied van hoe de plant reageert op een hoge VPD. Beide soorten kunnen op het gebied van licht en vocht op een soortgelijke manier geteeld worden. Cymbidium was echter minder gevoelig op de huidmondjes voor hogere VPD's. Omdat Cymbidium wel gevoelig is voor hogere temperatuur is een beter koelend vermogen nog steeds erg belangrijk. Het verschil in planttemperatuur bij een hoger koelend vermogen kon bij toenemende straling oplopen tot ruim 1°C (Tabel 10). Voor alle drie de onderzochte soorten is verhoging van het koelend vermogen dus een succesvolle teeltstrategie.

De teelten van Miltoniopsis en Cymbidium kennen duidelijke fases die gemarkeerd zijn door ontwikkelingsprocessen, zoals de fase van scheutvorming en daarna een inductiefase voor de bloeitakvorming. In de inductiefase en de daarna volgende afweekfase worden er (bijna) geen bladeren meer aangelegd. Bij Anthurium daarentegen, ontwikkelen continu nieuwe bladeren. Concreet betekent dit dat bij Anthurium er continu gestuurd zal moeten worden met een hoge RV om de huidmondjesanatomie van de nieuw ontwikkelende bladeren te bevorderen. Als dit niet gedaan wordt, zullen de bladeren met een hogere maximale geleidbaarheid 'overruled' worden door de nieuw ontwikkelende bladeren met een lagere maximale geleidbaarheid. Bij Miltoniopsis zal gedurende de ongeveer 30 weken durende opweekfase er gestuurd moeten worden op huidmondjesanatomie terwijl in de inductiefase en afweek de teugels wat gevierd zouden kunnen worden. Nog steeds blijft echter de fysiologische sturing op open huidmondjes van volgroeide bladeren bij Miltoniopsis van belang (Trouwborst *et al.* 2010).

Een aandachtspunt bij streven naar hoge RV in de kas wordt het belang van een ruimtelijk homogeen klimaat en de luchtverversing meer van belang. Het (plaatselijk) optreden van een dood klimaat moet voorkomen worden omdat dan ook de gewastemperatuur fors op kan lopen en het interne CO₂-gehalte in het blad en zo de fotosynthese gelimiteerd wordt. Tevens werkt een dood klimaat ziekten en plagen in de hand. Het toepassen van ventilatoren kan het risico voor een (plaatselijk) doodklimaat fors verkleinen.

De impact van een hoge RV op ontwikkelingsprocessen zoals bloemaanleg (Anthurium) en bulb/scheutvorming bij Cymbidium en Miltoniopsis behoeven ook aandacht, als ook de gehele plantkwaliteit.

Wat duidelijk is geworden is dat het toelaten en benutten van extra zonlicht bij schaduwminnende potplanten moet samen gaan met een hogere RV. Als het vochtgehalte niet in de hand te houden is, dan kan er beter teruggeschakeld worden in lichtniveau (door extra schermen). Door sturing op een vergroting van het koelend vermogen van bladeren zal een kritische waarde van de VPD die huidmondjessluiting induceert minder snel bereikt worden (Fig. 36). Het eindresultaat van bladeren met meer dan wel grotere huidmondjes is een verbeterde CO₂ opname, hogere lichtbenutting met minder lichtschade, betere gewaskoeling en bovendien een verminderde afhankelijkheid van de VPD.

7.2 Perspectieven tuinbouwbreed

De gewassen in de Nederlandse glastuinbouw kunnen met betrekking hoe zij omgaan met licht ruwweg in de volgende drie groepen verdeeld worden:

1. Lichtminnende (vrucht)groentegewassen
2. Lichtminnende sierteeltgewassen
3. Schaduwminnende sierteeltgewassen (zoals de meeste potplanten)

Deze zullen kort worden besproken aangaande perspectieven voor een veranderde huidmondjesanatomie.

7.2.1 Lichtminnende (vrucht)groente gewassen

Bakker (1991) vond een positief effect van VPD op de huidmondjesdichtheid en grootte bij tomaat, paprika, aubergine en komkommer terwijl dit geen meetbaar positief effect had op de verdamping. Bij deze gewassen blijkt de geleidbaarheid zelden limiterend te zijn voor de fotosynthese (Pot & Trouwborst, 2010; Schapendonk, 2008; Hogewoning *et al.* 2010). Ook bij het gewas aardbei werden hoge geleidbaarheden gemeten (Pot *et al.* 2010). Dit is in mindere mate het geval voor paprika (Schapendonk *et al.* 2009). Hoge geleidbaarheden wijzen erop dat de huidmondjesanatomie niet beperkend is voor de fotosynthese. Een momentopname waarbij een hoge geleidbaarheid wordt geconstateerd bij een soort is dus erg waardevol omdat tenminste is vastgelegd dat de potentie voor een snelle CO₂ opname en een goede gewaskoeling aanwezig is. Het blijft echter een momentopname en de manier waarop de huidmondjes reageren op omgevingsfactoren (huidmondjesfysiologie) blijft naast de anatomische eigenschappen van groot belang. Een tweede factor die van belang is bij het vaststellen van aanknopingspunten voor verbetering van de gewasfotosynthese, c.q. het koelend vermogen van een soort is de snelheid waarmee bladeren verouderen of de turn-over van bladeren door bladknippen. Vruchtgroente gewassen zoals tomaat en komkommer hebben een snelle bladafsplittingsnelheid van 3 to 7 bladeren per week. Beïnvloeding van de huidmondjesanatomie op een bepaald moment zal dan al snel geen effect meer hebben op een later moment omdat er dan alweer nieuwe bladeren zijn aangelegd. De conclusie is dan ook dat de huidmondjesanatomie voor vruchtgroente gewassen weinig aanknopingspunten biedt voor verdere verbetering.

Er zijn ook onderzoeken geweest om de transpiratie te verminderen door bijvoorbeeld het toepassen van verdampingsremmers (Marcelis *et al.* 2005). Bij een verminderde transpiratie hoeft er minder drooggestookt te worden, wat een energiebesparing kan opleveren. Hiervoor zou de huidmondjesanatomie juist negatief beïnvloed kunnen worden. Echter zoals eerder aangegeven hebben kortdurende maatregelen door de hoge bladafsplittingsnelheid weinig zin. Maatregelen die sturen op huidmondjessluiting, dus sturing op de fysiologie in plaats van op de anatomie zijn dan effectiever. Een mogelijk sturing om de verdamping te verlagen kan via het gebruik van groen assimilatielicht plaatsvinden (Talbot *et al.* 2006; Talbot *et al.* 2002). Doordat groen licht op bladniveau slechter geabsorbeerd wordt, wordt groen licht ook beter verdeeld over het hele gewas wat de lichtbenutting verhoogd (Schapendonk *et al.* 2010b).

7.2.2 Lichtminnende siergewassen

Het onderzoek "Plantenpaspoort roos" liet zien dat de groei van sommige rozenrassen, onder bepaalde omstandigheden, gelimiteerd worden door de huidmondjesopening (Schapendonk *et al.*

2010a). Dit gebeurt op dagen met hoge instraling als de bladtemperatuur in de middag boven 28-32 °C oploopt of als er veel gelucht moest worden terwijl het buiten relatief koud is en zo de VPD in de kas sterk oploopt. De fotosynthese is op die momenten laag door sluiting van de huidmondjes en er kan makkelijk lichtstress en lichtschade ontstaan doordat de CO₂ concentratie in het blad te laag wordt. Bij een aantal hoogverdampende rassen zoals *Rosa hybrida* "Avalanche" blijft de fotosynthese echter op een hoog niveau en is de kans op lichtstress en schade veel kleiner. Bij rozenrassen waar de huidmondjesopening soms limiterend is, zou dus beïnvloeding van de huidmondjesanatomie een positief effect kunnen hebben. Doordat de genetische variatie binnen roos zo groot en ook bekend is, ligt het voor de hand om via veredeling de gewenste eigenschappen in te kruisen. Dit is effectiever dan een methode waarbij door aanpassing van klimaat wordt geprobeerd om meer, dan wel grotere huidmondjes te induceren.

Chrysant is een gewas waar doorlopend hele hoge geleidbaarheden worden gemeten (Schapendonk en Pot, 2008b). Bij Gerbera zijn de huidmondjes gevoeliger maar in potentie is er een hoge geleidbaarheid aanwezig. (Schapendonk en Pot, 2007). Voor beide gewassen kan de conclusie getrokken worden dat de huidmondjesanatomie niet de beperkende factor is.

7.2.3 Schaduwminnende siergewassen

De grote winst bij een vergroting van het aantal of de grootte van huidmondjes, is te behalen bij schaduwminnende C3 planten waarbij de huidmondjesopening vaak sterk limiterend voor de CO₂ opname en daarmee op de fotosynthese is; planten zoals *Anthurium*, *Areca*, *Alstroemeria*, *Cymbidium*, *Cambria*, *Kentia*, *Miltoniopsis*, *Spathyphillum* etc. (Schapendonk en Pot, 2008a; Pot en Schapendonk, 2009ab; Trouwborst *et al.* 2010a; van Telgen *et al.* 2006). De praktijk is dat er voor deze planten veel "gratis" zonlicht wordt weggeschermd om opwarming en foto-inhibitie te voorkomen. Bijna al deze planten zouden beter groeien en minder kans op lichtschade hebben, als het koelend vermogen en het interne CO₂ in het blad kan worden opgevizeld. De enige mogelijkheid om dit te realiseren (op lichtvermindering na) is een hogere geleidbaarheid van de huidmondjes of een hogere CO₂ concentratie in de kas. Het laatste is in de praktijk al een gangbare maatregel maar verhoging van de huidmondjesopening wordt momenteel alleen via sturing op de RV toegepast.

Ons huidige onderzoek laat zien dat er is echter een bijzonder aantrekkelijk alternatief is: een langdurige verhoging van de geleidbaarheid door een ophoging van het totale geleidbaarheidsniveau via een toename van het aantal en/of de grootte van huidmondjes. Dit heeft het bijkomend voordeel dat de teelt minder afhankelijk wordt van de fysiologische sturing door VPD. Het koelend vermogen van de bladeren neemt toe waardoor een kritische waarde van de VPD die huidmondjessluiting induceert minder snel bereikt wordt (Fig. 36). Het eindresultaat van bladeren met meer dan wel grotere huidmondjes is een verbeterde CO₂ opname, hogere lichtbenutting met minder lichtschade, betere gewaskoeling en bovendien een verminderde afhankelijkheid van de VPD. Dit betekent een stabielere teelt met sterk verminderde risico's.

Referenties

- Baas R, Kromwijk A, Schapendonk AHCM. 2004.** Effecten van luchtvochtigheid, temperatuur en CO₂ op de fotosynthese van Cymbidium. Aalsmeer: Praktijkonderzoek plant en omgeving & Wageningen: Plant Dynamics B.V., 24p.
- Baas R. 2008.** Invloed stikstofvoorziening tijdens de opkweek op Phalaenopsis. PT rapport 12835.
- Baas R. 2010.** Verdampingsmodel Phalaenopsis. Rapport 13502, Kas als Energiebron
- Baas R. 2011.** Groei- en bloeisturing scheutvormende potorchidee: Literatuuroverzicht en praktijkervaringen. PT rapport 14263-29.
- Bakker JC. 1991.** Effects of humidity on stomatal density and its relation to leaf conductance. *Scientia Horticulturae* 48, 205-212.
- Dankers P, De Rooij E, Verberkt, H, Blaakmeer A, Roovers-Huijben T, Pot CS, Trouwborst G. 2011.** Growsense II, Energiebesparing door optimalisatie van de teeltfactoren temperatuur, CO₂, licht en VPD op basis van plantreacties. Wageningen: DLV plant, 71p.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Maljaars H, Poorter H, van Ieperen W, Harbinson J. 2010.** Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *J. Exp. Bot.* 61, 3107-3117.
- Jones HG. 2004.** Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.* 55: 2427-2436.
- Marcelis L, Grashoff K, van der Zweerde W, Kempkes F, Stanghellini C. 2005.** Reductie van verdamping door verhoging van bladweerstand middels anti-transpiranten : haalbaarheidsstudie. Wageningen: Plant Research International.
- Pot CS, Schapendonk AHCM. 2009a.** Belichtingsproef Alstroemeria, deelonderzoek fotosynthese, Plant Dynamics B.V., Wageningen. p10. *vertrouwelijk rapport*.
- Pot CS, Schapendonk AHCM. 2009b.** Fotosynthese response bij Palmen, Dieffenbachia en Medinilla bij extra CO₂ en licht, Plant Dynamics B.V., Wageningen. p18. *vertrouwelijk rapport*.
- Pot CS, Schapendonk AHCM, Trouwborst G. 2010.** Fotosynthesekarakteristieken Elsanta, Plant Dynamics B.V., Wageningen. p30, *vertrouwelijk rapport*.
- Pot CS, Trouwborst G. 2010.** Chlorofyl fluorescentiemetingen bij vijf tomatenrassen, Plant Dynamics B.V., Wageningen. 12p. *vertrouwelijk rapport*.
- Pot CS, Trouwborst G, Schapendonk AHCM. 2011.** Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 28p.
- Rappoldt C, Schapendonk AHCM. 2011.** Keuzes voor het nieuwe telen op basis van experimenten met tomaat en paprika: van proefgegevens naar energiebesparing. Ecocurves rapport 13, Ecocurves, Haren. 63p.
- Talbott LD, Hammad JW, Harn LC, Nguyen VH, Patel J, Zeiger E. 2006.** Reversal by green light of blue light-stimulated stomatal opening in intact, attached leaves of *Arabidopsis* operates only in the potassium-dependent, morning phase of movement. *Plant And Cell Physiology* 47, 332-339.
- Talbott LD, Nikolova G, Ortiz A, Shmayevich I, Zeiger E. 2002.** Green light reversal of blue-light-stimulated stomatal opening is found in a diversity of plant species. *American Journal of Botany* 89, 366-368.
- Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM. 2010a.** Tussenrapportage Growsense 2 fase 2, Plant Dynamics B.V., Wageningen. p15, *vertrouwelijk rapport*.
- Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM. 2010b.** Teeltoptimalisatie Miltoniopsis: Bepaling van huidmondjesgedrag en lichtbenutting in relatie tot VPD. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 43p.
- Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM, Fanourakis D. 2010c.** Huidmondjes in ontwikkeling: Invloed van omgevingsfactoren op de huidmondjesanatomie van bladeren, een literatuurstudie. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 29p.
- Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM, Zenasni N. 2011.** Stimuleren van de huidmondjesontwikkeling bij diverse potplanten. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 27p.
- Schapendonk AHCM, Pot CS. 2008a.** Fotosynthese onderzoek Miltonia (deel 4). Plant Dynamics B.V., Wageningen. p19. *vertrouwelijk rapport*.

- Schapendonk AHCM, Pot CS.** 2008b. Plantenpaspoort Chrysant. Plant Dynamics B.V., Wageningen. p19. *vertrouwelijk rapport*.
- Schapendonk AHCM, Pot CS, Rappoldt C, Nederhoff E.** 2009. Assimilatiebelichting Paprika ; Scenario analyse LED en SON-t, Plant-Dynamics B.V. en EcoCurves, Wageningen. 38p.
- Schapendonk AHCM, Pot SC, Rappoldt C.** 2010a. Plantenpaspoort roos: Sleutel voor optimale productie. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 109p.
- Schapendonk AHCM, Pot CS, Trouwborst G, Rappoldt C.** 2010b. Optimale hybride belichting bij tomaat: Perspectieven voor het nieuwe telen. Plant-Dynamics B.V. en EcoCurves, Wageningen. 39p.
- Van Telgen HJ, Van Noort F, Schapendonk AHCM.** 2006. Optimalisatie lichtomstandigheden Palmen, onderzoek naar de hoeveelheid toelaatbaar licht in een palmenteelt. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. Glastuinbouw, Naaldwijk. p31.