

Sturen op compactheid zonder bloeivertraging?



September 2015

S.W. Hogewoning, G. Trouwborst (Plant Lighting B.V.)

C.S. Pot (Plant Dynamics B.V.)

B.A. Eveleens, T. Dueck (WUR glastuinbouw)

Sturen op compactheid zonder bloeivertraging?

September 2015

S.W. Hogewoning¹, G. Trouwborst¹, C.S. Pot², B.A. Eveleens³ en T.A. Dueck³

¹Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik
info@plantlighting.nl
+31 (0)30 75 12 069

²Plant Dynamics B.V.
Koningin Julianastraat 23
6668 AG Randwijk

³WUR Glastuinbouw
Violierenweg 2
2665 MV Bleiswijk

REFERAAT

S.W. Hogewoning, G. Trouwborst, C.S. Pot, B.A. Eveleens, T.A. Dueck. 2015. Sturen op compactheid zonder bloeivertraging? Plant Lighting B.V., Bunnik. 35p.

Projectnummer programma Kas als Energiebron: 15089



Ministerie van Economische Zaken



© 2015 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

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

Inhoudsopgave

SAMENWERKENDE PARTIJEN.....	5
SAMENVATTING	6
DANKWOORD	8
1 INLEIDING EN DOELSTELLINGEN.....	9
1.1 Inleiding.....	9
2 THEORETISCHE ONDERBOUWING STRATEGIE	11
2.1 Sturing op compactheid	11
2.2 Voorkomen van bloeivertraging.....	12
3 MATERIAAL EN METHODEN	16
3.1 Proefopzet en behandelingen.....	16
3.2 Gebruikte lichtspectra.....	21
3.3 Metingen.....	22
3.4 Analyse en statistiek	22
4 RESULTATEN EN DISCUSSIE.....	23
4.1 Resultaten proefronde 1	23
4.2 Resultaten proefronde 2	28
5 DISCUSSIE EN CONCLUSIES.....	32
5.1 Discussie	32
5.2 Conclusies.....	32
REFERENTIES	34

Samenwerkende partijen



Ministerie van Economische Zaken



Samenvatting

Inleiding

Bij een aantal siergewassen wordt niet alleen belicht om de productie te verhogen, maar ook om een compacte plantvorm te bevorderen (o.a. bij potchrysan, potroos & kalanchoë). Hoe hoger de intensiteit belichting, hoe compacter het gewas. Met een combinatie van rode en blauwe LED's (LED RB) kan gestuurd worden op een compactere plantvorm. LED RB bespaart momenteel $\pm 20\%$ energie ten opzicht van de gangbare SON-T armaturen. Als bovendien compactheid bevorderd wordt, dan kan bij die siergewassen waar mede belicht wordt vanwege compactheid de intensiteit belichting ook nog eens omlaag. Qua energiebesparing snijdt het mes dan aan twee kanten. Echter, daar staat tegenover dat het LED RB spectrum de bloei kan vertragen bij korte- en lange dag planten. Door deze teeltvertraging kunnen stengels uiteindelijk zelfs langer worden (minder compact!). Deze studie heeft als doel om door de juiste aansturing van de verschillende fotoreceptoren bloeivertraging tegen te gaan zonder op compactheid in te hoeven leveren.

Proefopzet

In twee opeenvolgende proefronden zijn verschillende lichtbehandelingen getoetst bij de korte-dag planten potchrysan (ronde 1) en kalanchoë (ronde 1 en twee rassen in ronde 2). Om de stuurlicht-effecten op bloei goed tot uiting te laten komen is in proefronde 1 is gekozen voor een, vooral voor kalanchoë, krappe nachtlengte voor bloei-inductie (12.5 uur nacht). In proefronde 2 is een meer praktijkconforme nachtlengte van 14 uur gekozen.

Behandelingen tijdens proefronde 1 (dag/nacht 11.5/12.5 uur) en 2 (dag/nacht 10/14 uur). De EOD-FR behandeling heeft alleen de eerste 20 dagen aangestaan. In alle LED-behandelingen zijn warmtestralers gebruikt om de planttemperatuur gelijk te houden aan de controle (SON-T). Zo worden de zuivere effecten van het lichtspectrum onderzocht.

Behandeling	lichtbron	Intensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Proefronden 1: 11.5 uur dag 2: 10 uur dag
Controle	SON-T	100	1 en 2
LED RB	70% rood / 30% blauw	100	1 en 2
LED RB 75%	70% rood / 30% blauw	75	2
LED RB + EOD-FR	70% rood / 30% blauw	100 6	1 en 2
LED RB + FR-middag	70% rood/ 30% blauw	100 22	1
LED RB + FR hele dag	70% rood / 30% blauw 7% verrood	100 6	2

De belichting met een lage intensiteit verrood licht gedurende een half uur aan het begin van de nacht (EOD-FR) diende om een eventuele bloeivertraging bij LED RB ten opzichte van SON-T te compenseren. Om overmatige strekking door het verrood te voorkomen werd de verrood-belichting op dag 20 beëindigd. Verrood in de namiddag diende om te toetsen of dat

leidt tot bloeivertraging, wat de praktische consequentie zou hebben dat met natuurlijk daglicht de nacht in gaan ook bloeivertraging kan geven. Toevoeging van verrood de hele dag diende om planten onder LED RB een gelijke bloeiselheid als onder SON-T te geven.

Samenvattende conclusies

In onderstaand overzicht worden de conclusies puntsgewijs weergegeven:

- De effecten van stuurlicht op potchrysanthe waren gering. Onder LED RB bleek een goede kwaliteit potchrysanthe te telen ten opzichte van SON-T. De planten waren slechts 1 cm korter. Het effect van LED op compactheid kan mogelijk toenemen zonder de toevoeging van infraroodstralers. Bij potchrysanthe liggen dus kansen voor energiebesparing met LED.
- Bij potchrysanthe is bij een kortere nachtlengte dan 12.5 uur de kans dat stuurlicht-effecten op bloei zich uiten, aanmerkelijk groter.
- Bij kalanchoë was 12.5 uur nacht krap voor een goede bloei-inductie, waardoor de stuurlicht-effecten op bloei zich juist sterk uiten:
 - o LED RB leidde tot ± 10 dagen bloeivertraging ten opzichte van SON-T en een fors lager percentage klasse A (goede bloei): LED RB 73% en SON-T 95%. Op de dag dat SON-T geoogst werd, waren de LED RB planten compacter, maar door de bloeivertraging hadden de LED RB planten bij oogst zelfs meer lengte.
 - o Bij LED EOD-FR trad geen bloeivertraging op. Dus slechts een half uur belichting met een lage intensiteit puur verrood licht aan het begin van de nacht (alleen de eerste 20 teelt-dagen!), was voldoende om 10 dagen bloeivertraging te compenseren. De LED EOD-FR planten waren niet compacter dan die onder SON-T en de plantkwaliteit was iets lager.
 - o LED RB + FR-middag deed de bloeivertraging ten dele teniet. Dit duidt erop dat bij kalanchoë geen sprake is van een bloei-vertragend effect via activering van fytochroom A aan het eind van de middag en wel een bloei-versnellend effect via deactivering van fytochroom B door het verrood. Dit is een belangrijk inzicht. De planten in deze behandeling waren beduidend minder compact.
- Bij kalanchoë leidde 14 uur nachtlengte tot een goede bloei bij alle behandelingen en waren stuurlichteffecten zeer gering. De behandeling met lagere intensiteit belichting (LED RB75%) liep iets achter in ontwikkeling en was bij oogst 8-10% minder zwaar, terwijl die planten in totaal $\pm 15\%$ minder PAR (daglicht + lamplicht) hebben gehad.

In het algemeen is met LED RB een goede plantkwaliteit ten opzichte van SON-T te telen bij voldoende nachtlengte. Zo kan energie bespaard worden. Verkorten van de nacht stimuleert groei (meer licht), maar verhoogt het risico op bloeivertraging. Met verrood stuurlicht op het juiste moment kan bloeivertraging worden voorkomen.

Dankwoord

Dit rapport bevat de resultaten van het onderzoeksproject 'Sturen op compactheid zonder bloeivertraging?'. Dit project is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van EZ en het Productschap Tuinbouw. Dit onderzoek is gebaseerd op plantfysiologische principes, met als doel in de praktijk uiteindelijk te kunnen bijdragen aan een rendabele en energiezuiniger productie. De auteurs hopen dat de resultaten ertoe leiden dat de teelt van kalanchoë, potchrysant, en alle andere siergewassen waarop de ontwikkelde kennis van toepassing is, stappen voorwaarts kan maken.

Alle betrokken tuinders worden bedankt voor hun positief-kritische bijdrage in de BCO. We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage en inzet: Jeroen van Dijk (SV.CO) en Ton van der Zanden (Kordana), dank voor het leveren van de planten. Ike Vlieland (Fides), dank voor je adviezen over de meetmethoden. Simone de Vreede, bedankt voor de metingen die je gedaan hebt als stagiair van Plant Lighting. Het kaspersoneel en de technici van WUR-Glastuinbouw, dank voor jullie bijdrage aan de proef. Arthur van den Berg (LTO Glaskracht Nederland) dank voor het coördineren van de BCO en de open dag. Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming van dit project.

September 2015,

Sander Hogewoning

1 Inleiding en doelstellingen

1.1 Inleiding

In de sierteelt wordt met steeds hogere intensiteiten SON-T belicht, met groot elektraverbruik als gevolg. Bij een aantal siergewassen wordt niet alleen belicht om de productie te verhogen, maar ook om de kwaliteit te verbeteren. Een belangrijk kwaliteitskenmerk is compactheid. Hoe hoger de intensiteit belichting, hoe compacter het gewas. Dit geldt voor gewassen als snijchrysant, potchrysant, potroos, lelie en kalanchoë. Een compactere plantvorm zonder de noodzaak tot een hoge intensiteit belichting is dus wenselijk. Bovendien staat het gebruik van groeiremmers ter discussie.

Het is bekend dat rood/blauw LED-licht (LED RB) kan resulteren in een compactere plantvorm dan SON-T (zie ook onderbouwing in hoofdstuk 2.1). In het project "Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie (2012)" is dit duidelijk aangetoond voor potchrysant en petunia, waarbij opgemerkt moet worden dat dit in daglichtloze klimaatkamers was (zie Foto 1). Met de toenemende efficiëntie van rood/blauwe LED armaturen (begin 2015: 2.3 $\mu\text{mol/J}$ tegenover SON-T 1.85 $\mu\text{mol/J}$ = +20%) kan energie bespaard worden. Als deze lampen tevens tot een compacter gewas leiden, dan kan bij die siergewassen waar belicht wordt vanwege compactheid, ook de intensiteit belichting nog eens omlaag. Qua energiebesparing snijdt het mes dus aan twee kanten. Bovendien maakt een lagere benodigde intensiteit de LED's beter betaalbaar voor de praktijk. Dat maakt vertaling van de resultaten in de klimaatkamer naar kasomstandigheden (met daglicht) een logische volgende stap.

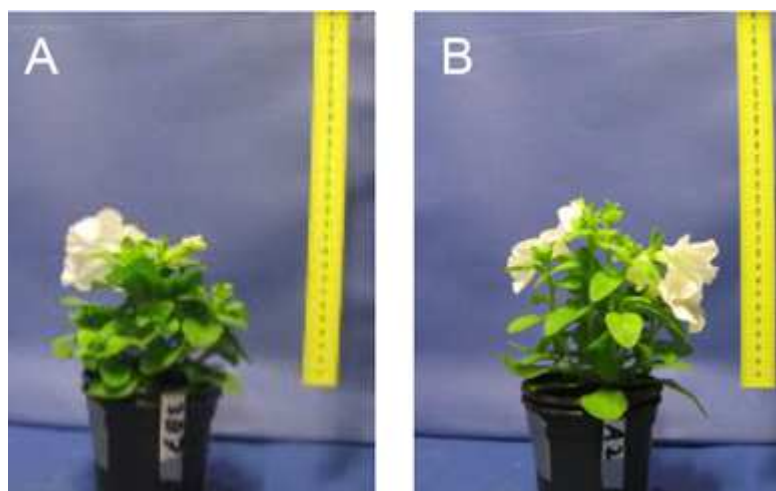


Foto 1. Petunia opgekweekt onder LED RB (A) en SON-T (B) in een daglichtloze klimaatkamer. De lichtintensiteit was hetzelfde, maar onder LED RB zijn de planten compacter. Onderzoek Heuvelink en van Ieperen (2012). Kan met minder intensiteit LED RB, en dus minder energieverbruik, dezelfde compactheid als met de hogere intensiteit SON-T bereikt worden?

Echter, daar staat tegenover dat het rood/blauwe LED spectrum de bloei kan vertragen. Dit viel op bij een onderzoek aan chrysant (van Ieperen, Hogewoning en van Dam, 2011), waarin de bloei-inductie onder rood/blauwe LED's 5 dagen langer duurde dan onder zowel kunstdaglicht als echt daglicht. Ook in het recente onderzoek 'Stuurlicht in de lelieteelt' was de bloei tot 12 dagen (!) trager onder rood/blauwe LED's dan onder LED's met een ander kleurenspectrum (Hogewoning *et al.*, 2014).

Bij LED RB kan er dus sprake zijn van zowel een positief effect (meer compactheid) als een negatief effect (teeltvertraging). Door de teeltvertraging kunnen stengels uiteindelijk zelfs langer worden (minder compact!), zoals bleek bij lelie (Hogewoning *et al.*, 2014). Onder andere uit de recente studie 'Stuurlicht bij de tijd' (Trouwborst *et al.*, 2013) is duidelijk geworden waarom: Het rood/blauwe spectrum onderdrukt lengtegroei via activering van de fotoreceptor fytochroom B, maar vertraagt bij korte- en lange dag planten de bloei via dezelfde en/of een ander type fotoreceptor. In hoofdstuk 2 is de theoretische achtergrond van sturing op compactheid en bloei verder uitgewerkt.

Deze studie heeft als doel om door de juiste aansturing van de verschillende fotoreceptoren bloeivertraging tegen te gaan zonder de compactere plantvorm in te hoeven leveren. Dit is onderzocht bij de korte-dag planten kalanchoë en potchrysant. Als dat lukt, dan kan energie bespaard worden door met LED te gaan belichten, mogelijk zelfs bij een lagere intensiteit.

Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 geeft de theoretische onderbouwing van de gevolgde strategie
- Hoofdstuk 3 omschrijft de onderzoeksmethoden
- Hoofdstuk 4 geeft de resultaten en discussie
- Hoofdstuk 5 bevat algemene discussie en sluit af met puntsgewijze conclusies

2 Theoretische onderbouwing strategie

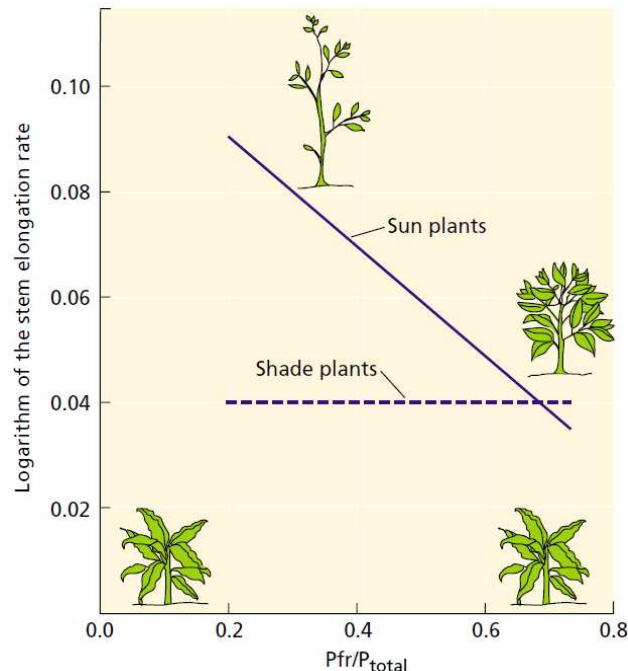
2.1 Sturing op compactheid

Stengelstrekking kan worden tegengegaan door middel van de juiste sturing via de fotoreceptoren. Fotoreceptoren zijn speciale pigmenten in de plant die gevoelig zijn voor de spectrale samenstelling van licht. Op basis hiervan worden allerlei processen aangestuurd, waaronder strekking. Er zijn verschillende klassen fotoreceptoren, waaronder de cryptochromen en de fytochromen (voor meer achtergronden, zie het rapport 'Stuurlicht in de glastuinbouw', Dueck *et al.*, 2013). De cryptochromen zijn vooral gevoelig voor licht in het UV en het blauwe golflengtegebied: Deze lichtkleuren zetten de cryptochromen aan tot het remmen van de aanmaak van planthormonen die de strekking stimuleren (zie o.a. Whitelam en Halliday, 2007). Fytochromen zijn gevoelig voor het volledige spectrum (UV tot verrood), maar reageren vooral sterk op rode en verrode golflengten. Rood licht wordt voornamelijk geabsorbeerd door de Pr-vorm (inactieve vorm) van fytochroom en verrood licht door de Pfr-vorm (actieve vorm) van fytochroom. Als gevolg van de absorptie van rood licht wordt Pr omgezet in Pfr en omgekeerd wordt Pfr door absorptie van verrood licht weer omgezet in Pr. De balans tussen beide vormen kan worden uitgedrukt in een fytochroomstatus (PSS). Zie rapport 'Stuurlicht bij de tijd' (Trouwborst *et al.*, 2013) waarin dit aan de hand van een aantal figuren wordt toegelicht.

Voor de strekkingsgroei is voor een groot aantal plantensoorten aangetoond dat er een duidelijke lineair verband bestaat tussen het aandeel fytochroom in de Pfr-vorm en de mate van strekking. Hoe hoger de ratio rood/verrood (R/FR), dus hoe meer Pfr, des te hoger de PSS, des te minder stengelstrekking. In de natuur wordt een afname van de R/FR-ratio waargenomen in licht dat door bladeren wordt doorgelaten en licht dat door bladeren wordt gereflecteerd. Dit komt doordat bladeren relatief veel meer rood licht dan verrood licht absorberen. Doorgelaten of gereflecteerd licht is dus relatief verrijkt in het verrood. Planten kunnen aan de hand van deze verandering in de R/FR-ratio bepalen in hoeverre ze door andere planten worden beschaduwed of dreigen te worden beschaduwed (Ballaré *et al.*, 1987; Smith 1995, 2000, Gilbert *et al.*, 2001). De mate van strekkingsgroei door een afname in de R/FR-ratio en dus in PSS verschilt sterk per plantensoort. Planten die van nature als ondergroei in bossen voorkomen vertonen nauwelijks een verandering in stengelstrekking bij een afname van PSS, terwijl planten uit kruidachtige vegetaties en bomen juist een zeer sterke strekkingsreactie vertonen (Figuur 1).

Het SON-T lampspectrum wordt gekarakteriseerd door zo'n 4 tot 5% blauw licht (400-500 nm), een groot aandeel groen, geel en oranje licht (550-650 nm) en een klein aandeel verrood (700-750 nm; Figuur 5). Door het kleine aandeel verrood strekken planten onder SON-T veel minder dan onder een gelijke intensiteit daglicht (Hogewoning *et al.*, 2010 en 2012; van Ieperen en Heuvelink, 2012). De relatieve bijdrage van de rode golflengten (650-700nm) aan het SON-T spectrum is echter ook gering te noemen. Het fytochroom maximaal activeren om remming

van de stengelstrekking te bereiken, kan dus effectiever dan via SON-T. Met LED-belichting kunnen de meest effectieve golflengten om de gewenste plantrespons te sturen geselecteerd worden. Wel bestaat het risico dat sturen op de ene respons (bijvoorbeeld remming strekking) ongewenste nevenreacties geeft (bijvoorbeeld bloeivertraging). Hier ligt een grote uitdaging.



Figuur 1. Rol van de fytochroomstatus (PSS) in de lengtegroei van 'zon'-planten versus 'schaduw'-planten (bron: Taiz & Zeiger, 2010).

2.2 Voorkomen van bloeivertraging

In de literatuur wordt het onderscheid gemaakt tussen kwalitatieve en kwantitatieve korte- of lange-dag planten:

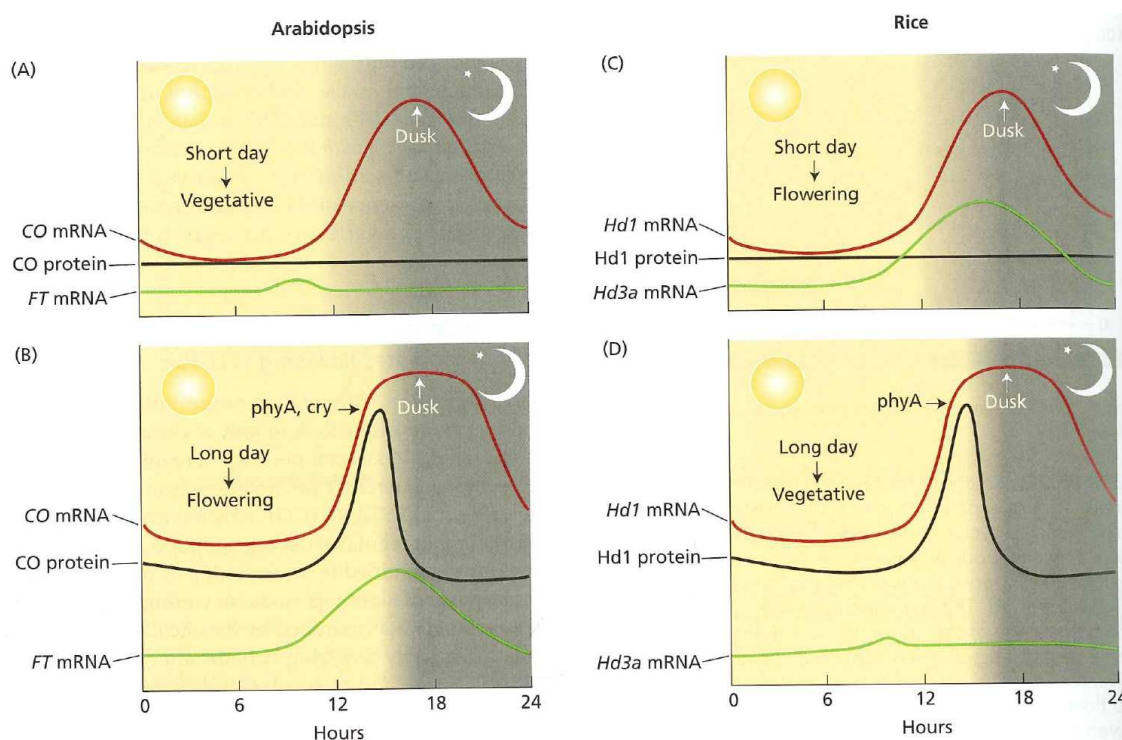
- kwalitatieve LD of KD planten reageren op een kritische nachtlengte. Voor bloeisturing is dus de nacht dominant. Voorbeelden zijn iris (LD) en *Xanthium* (KD).
- kwantitatieve LD of KD planten reageren op daglengte en het lightspectrum in de namiddag. Voor bloeisturing is dus het licht dominant. Voorbeelden zijn *Arabidopsis* (LD) en rijst (KD).

Aan dit onderscheid blijkt een verschillend genetisch systeem ten grondslag te liggen (Zheng *et al.*, 2009, Hayama *et al.*, 2007, Turck *et al.*, 2008) waarbij verschillende typen fytochromen de hoofdrol spelen. Bij de kwalitatieve LD of KD planten speelt fytochroom B de hoofdrol. Daarentegen speelt bij kwantitatieve LD of KD planten fytochroom A een hoofdrol, mogelijk in combinatie met andere parallelle mechanismen. Chrysant en kalanchoë (dit onderzoek) zijn beide korte dag planten waarvan niet bekend is onder welke categorie ze vallen. Daarom worden beide mechanismen in onderstaande paragrafen toegelicht. De behandelingen (paragraaf 3.1) zijn zodanig gekozen dat beide mechanismen aangestuurd zouden kunnen worden.

2.2.1 Rol van fytochroom A in bloeisturing

Het onderzoek 'Belichting, CO₂ en stuurlicht in de lelieteelt' (Hogewoning *et al.*, 2014) heeft aangetoond dat het lichtspectrum een enorm effect heeft op de trekduur van Oriëntal lelies. Zo was de trekduur van Oriëntal lelie 'Santander' onder rood/blauw LED bijbelichting 13 dagen langer dan onder een gelijke intensiteit witte breedband LED belichting. Volgens de literatuur speelt activering van fytochroom A in deze bloeisturing een cruciale positieve rol.

Lelie is net als de onderzoeksplant *Arabidopsis* (zandraket) een kwantitatieve LD plant. Bij *Arabidopsis* is het werkingsmechanisme van fytochroom A ontrafeld. Nu blijkt in de KD plant rijst, dat fytochroom A een spiegelbeeld-functie heeft, zodat de bloei van een korte dag plant juist vertraagd wordt als fytochroom A geactiveerd wordt. Dit wordt aan de hand van Figuur 2 uitgelegd. Voor de aansturing van fytochroom A is er tijdens de laatste uren van de dag simultaan rood en verrood licht nodig. Voor details en referenties: zie het rapport 'Stuurlicht bij de tijd' (Trouwborst *et al.*, 2013).



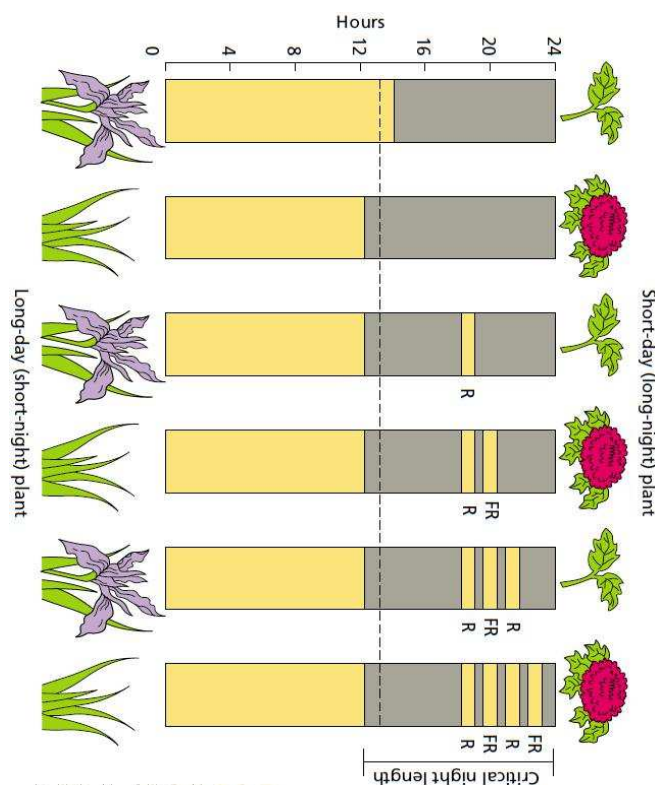
Figuur 2. Bloeisturing door fytochroom A: Links bij de lange dag plant *Arabidopsis* (bloeiversnelling) en rechts bij de korte dag plant rijst (bloeivertraging). Onder een korte dag is er bij *Arabidopsis* slechts een korte tijd overlap tussen geactiveerd *CONSTANS*-mRNA en daglicht, zodat er geen *CONSTANS*-eiwit opgebouwd wordt. Hierdoor wordt het bloeisignaal *FT* niet geactiveerd en blijft *Arabidopsis* vegetatief. Onder lange dag overlapt de piek van het *CONSTANS*-mRNA wel met het daglicht (waargenomen door actief fytochroom A) zodat er substantieel *CONSTANS*-eiwit wordt opgebouwd. Dit opgebouwde eiwit activeert het bloeisignaal *FT* zodat *Arabidopsis* gaat bloeien. Bij rijst werkt het sturingssysteem precies andersom. Tevens hebben de eiwitten een andere naam. *HD1* reageert vergelijkbaar als *CONSTANS* op een korte en een lange dag, maar de opbouw van *HD1* geeft juist een negatief signaal door aan het bloeisturingseiwit dat *Hd3a* wordt genoemd, zodat rijst niet bloeit onder een lange dag, terwijl een korte dag wel bloei geeft. Bron: Taiz & Zeiger, 2010.

Bij een kritische daglengte, net genoeg om bloei te krijgen bij KD planten, kan het lichtspectrum gedurende de periode voor donker cruciaal zijn voor de bloeisturing. Activering van fytochroom A zou bloei dan kunnen remmen.

Duidelijk is dat voor de aansturing van fytochroom A de daglengte en het lichtspectrum vooral in de laatste uren van de dag belangrijk is. Planten waar fytochroom A een hoofdrol speelt in de bloeisturing (zoals *Arabidopsis* en rijst) zou je licht-dominante planten kunnen noemen, terwijl er ook een categorie planten is die als nacht-dominante planten benoemd kan worden (Lagercrantz, 2009). Hierbij lijkt nachtlengte en fytochroom B een hoofdrol te spelen (zie 2.2.2).

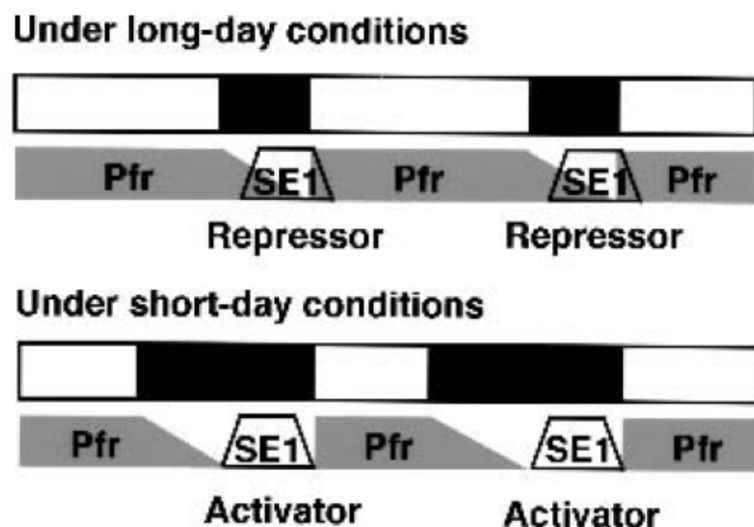
2.2.2 Rol van fytochroom B in bloeisturing

Er is ook een categorie KD en LD planten waarbij het boven beschreven systeem van fytochroom A geen rol lijkt te spelen in de bloeisturing. De rol van fytochroom B in deze categorie KD en LD planten kan goed zichtbaar gemaakt worden via *het al* dan niet aanbieden van nachtelijke interrupties met rood en verrood licht. Het blijkt dat de bloeireactie bepaald wordt door de lichtkleur die als laatste wordt aangeboden. Dit wordt bij Figuur 3 toegelicht.



Figuur 3: Bloei van lange (links) en korte dag (rechts) planten waarbij fytochroom B een hoofdrol speelt bij verschillende nachtlengte en nachtonderbreking. De lichte kleur geeft de dag aan en de donkere kleur geeft de nacht aan. De bovenste twee balken laten zien dat een lange dag plant bloeit bij een korte nacht en een korte dag plant bloeit bij een lange nacht. De vier balken eronder laten zien dat een nachtonderbreking met rood licht bloei stimuleert bij een lange dag plant en remt bij een korte dag plant. Dit kan teniet gedaan worden door verrood licht. De reactie wordt bepaald door de als laatste gegeven lichtkleur (bron: Taiz en Zeiger, 2010).

Figuur 3 laat zien dat voor korte dag planten weinig actief fytochroom B (laag gehalte aan Pfr) aanwezig mag zijn in de nacht voor bloei. Dit wordt bij voldoende lange nacht verkregen doordat Pfr in het donker terugvalt tot Pr. Izawa (2002) laat via Figuur 4 zien dat als de nacht bij korte dag planten lang genoeg is, de activiteit van SE1 niet meer samenvalt met Pfr. Hierdoor wordt bloei gestimuleerd. Dit denkmodel van Izawa suggereert dat de fytochroomstatus waar de nacht mee wordt ingegaan heel belangrijk kan zijn. Door met een lage PSS de nacht in te gaan zou de kritische nachtlengte voor het plaatsvinden van bloei eerder kunnen worden bereikt. Dit is inderdaad het geval bij KD plant *Xanthium*: dankzij een intense verrood puls aan het begin van de nacht (end of day far red: EOD-FR) daalde de kritische nachtlengte voor bloei met twee uur (Borthwick *et al.*, 1952). Er zijn ook uitzonderingen op de regel waargenomen, zoals bij KD plant *Pharbitis* (Takimoto & Hamner 1965). Bij *Pharbitis* kon zelfs de bloei vertraagd worden door een puls EOD-FR. Hisamatsu *et al.* (2008) laten voor chrysant zien dat een EOD-FR puls bij een 15 uur durende nacht noch een positief noch een negatief effect heeft. Een 11 uur durende nacht resulteerde in net zo snelle bloei als een 15 uur durende nacht. Een 10 uur durende nacht gaf echter een forse vertraging en een groot percentage niet bloeiende takken. Bij deze behandeling had een EOD-FR een groot positief effect op het percentage bloei en op de bloeisnelheid, echter de behandeling bleef vertraagd ten opzichte van een 11 uur durende nacht.



Figuur 4. Denkmodel bloeisturing met een grote rol voor fytochroom B. Zolang er nog voldoende Pfr is in de nacht zodat het samenvalt met SE1 (se1 staat voor een gen met de naam photoperiod sensitivity 1), wordt bloei onderdrukt. Als de nacht lang genoeg is zodat het gehalte van Pfr minimaal is, en de activiteit van SE1 hier niet mee samenvalt, dan functioneert SE1 als een activator en wordt bloei gestimuleerd. Bron: Izawa *et al.* 2002.

De proefbehandelingen zijn gebaseerd op bovenstaande theoretische onderbouwing. In Hoofdstuk 3.1.1 en 3.1.2 worden de proefbehandelingen nader omschreven.

3 Materiaal en methoden

3.1 Proefopzet en behandelingen

Er is in overleg met de begeleidende telers gekozen om het onderzoek te richten op de kortedag (KD)-planten. Er zijn twee opeenvolgende proefrondes uitgevoerd in een kas van WUR-Glastuinbouw te Bleiswijk (zie details per ronde hieronder). De kas kon volledig verduisterd worden om een KD-regime te handhaven. De planten stonden op tafels met aan weerszijden plastic om uitstraling van licht van de ene naar de andere behandeling te voorkomen (zie Foto 2 en 5 voor een indruk). Tafels tegenover elkaar betroffen altijd herhalingen van dezelfde behandeling. De belichting betrof SON-T of LED. Onder de LED behandelingen was de belichting met een afwijking van $\pm 6\%$ tot 9% van de gemiddelde waarde redelijk homogeen verdeeld over een oppervlakte van 1 m^2 in het midden van de tafel. De telplanten werden op dat gedeelte van de tafel gepositioneerd bij een plantdichtheid van 60 planten per m^2 (zie Foto 2). Daaromheen waren randplanten gepositioneerd. In de eerste proefronde werd onderzoek gedaan aan kalanchoë en potchrysant, en in de tweede proefronde alleen aan kalanchoë (twee rassen). In de eerste proefronde waren tevens een aantal rijen potrozen aan de randen van de behandeling geplaatst. Echter, omdat de lichtverdeling daar zeer te wensen over liet, is gekozen om de resultaten hiervan niet te rapporteren.

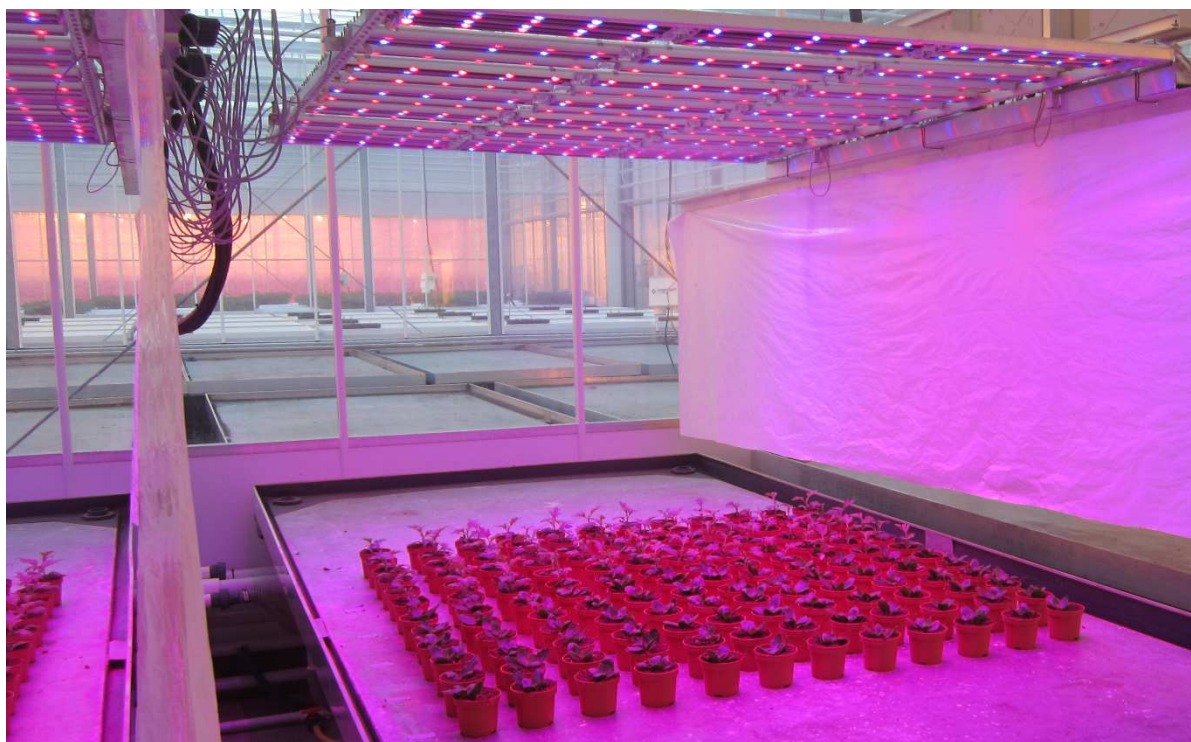


Foto 2. Proefopstelling kort na start van de proef.

De planttemperatuur onder de LED-lampen is gelijk gehouden aan die onder de SON-T belichting door dimbare infraroodstralers (medium wave IR heater, Heraeus Noblelight, Hanau, Duitsland) toe te voegen aan de LED-opstelling (zie Foto 3).



Foto 3. LED-lampen met infraroodstraler om de planttemperatuur gelijk te houden aan de behandeling met SON-T belichting.

3.1.1 Behandelingen proefronde 1

Net bewortelde stekken van de enkelbloemige kalanchoë 'Red lipstick' en potchrysanthe 'Chiffon' kwamen uit de lange-dag behandeling bij SV.CO en werden op 4 december 2014 in de proefkas gezet (zie Foto 4). De KD-behandelingen gingen direct van start. Potchrysanthe werd op 5 februari 2015 geoogst en kalanchoë van 19 februari tot 3 maart 2015 (oogst in 'veilbaar' stadium).

Bewust is gekozen voor een, zeker voor kalanchoë, relatief korte nachtlengte van 12.5 uur. Hierdoor zouden de effecten van stuurlicht op bloei goed tot uitdrukking moeten komen. In de praktijk is 14 uur nacht voor kalanchoë en 12-13 uur nacht voor chrysanthe gebruikelijk. Er is gekozen voor een lichtintensiteit van $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De dagsom lamplicht was dus $4.1 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{dag}$ ($11.5 \text{ uur} \times 0.36$). Vanaf 7 januari tot 3 maart was de gemiddelde lichtsom daglicht + lamplicht $5.9 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{dag}$. Het aandeel lamplicht was dus tenminste 70%. Zie de behandelingen in Tabel 1 en op de volgende pagina de gedachte erachter.

Tabel 1. Behandelingen tijdens proefronde 1 bij potchrysanthe en kalanchoë 'Red lipstick'. De nachtlengte was 12.5 uur. De EOD-FR behandeling heeft alleen de eerste 20 dagen aangestaan.

	lichtbron	Intensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Uren aan	PSS onder puur lamplicht*
Controle	SON-T	100	6:30-18:00	0.86
LED RB	70% rood/30% blauw	100	6:30-18:00	0.88
LED RB + EOD-FR	70% rood/30% blauw	100	6:30-18:00	0.88
		9	17:55-18:30	
LED RB + FR-middag	70% rood/30% blauw	100	6:30-18:00	0.88/0.82
		22	16:00-18:00	

* Overdag was er ook daglicht, dus deze getallen zijn niet representatief voor de PSS gedurende die uren.

** De gemiddelde etmaaltemperatuur was 21.1°C ($21.3/21.0^\circ\text{C}$ D/N), overige klimaatsfactoren waren: CO_2 -gehalte= 690 ppm , $\text{RV}=61.2\%$ ($64.8/58.0\%$ D/N), $\text{VD}=6.6 \text{ g}/\text{m}^3$ ($6.6/7.7 \text{ g}/\text{m}^3$ D/N)

De volgende gedachte zit achter de behandelingen (zie voor uitgebreidere theoretische onderbouwing Hoofdstuk 2):

- De controlebehandeling (100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) is representatief voor belichting in de praktijk, behalve dan dat de nachtlengte van 12.5 uur kort is voor kalanchoë. .
- Bij LED RB is de hypothese dat de plantvorm compacter is door het hogere aandeel blauw licht en het ontbreken van verrood licht ten opzichte van SON-T (zie ook lichtspectra in Figuur 5). Het ontbreken van verrood zou bloeivertraging kunnen veroorzaken door overactief fytochroom B, uitgedrukt door de hogere PSS-waarde in Tabel 1. Bloeivertraging zou door een langere teeltduur dan ook compactheid weer kunnen tegenwerken.
- Bij LED RB + EOD-FR (end of day far-red) zou de korte periode met lage intensiteit puur verrood licht aan het begin van de nacht fytochroom B moeten de-activeren en zo bloeivertraging voorkomen. Risico van EOD-FR is een strekkingsrespons die compactheid tegenwerkt. Daarom is na 20 dagen (23 december 2015) de verroodbelichting gestaakt. De gedachte hierachter is dat zo overmatige strekking voorkomen wordt en het induceren van bloei zonder vertraging al plaatsgevonden zou hebben (bij potchrysant waren al knoppen zichtbaar)
- LED RB + FR-namidag is gekozen om te toetsen of activering van fytochroom A een remmende invloed heeft op bloeisnelheid van deze KD-planten. Kennis hierover is van belang, omdat een remmende werking van fytochroom A op bloei zou betekenen dat daglicht voor het ingaan van de nacht ook bloei zal remmen. In de zomer is er nog daglicht op het moment dat het verduisteringsdoek dichtgaat.

3.1.2 Behandelingen proefronde 2

Bewortelde stekken van de enkelbloemige kalanchoë 'Red lipstick' en dubbelbloemige 'Amarillo' kwamen uit de lange-dag behandeling bij SV.CO en werden op 9 april 2015 in de proefkas gezet (planten iets verder in ontwikkeling dan op Foto 4). De KD-behandelingen gingen direct van start. 'Amarillo' werd op 4 juni 2015 geoogst en 'Red lipstick' op 11 juni 2015 (oogst in 'veilbaar' stadium).

Ditmaal was de nachtlengte praktijkconform (14 uur). De vraag was of de effecten van stuurlicht op bloei uit proefronde 1 nu ook nog tot uitdrukking zouden komen, en of de behandelingen in proefronde 1 met vertraagde bloei nu nog steeds vertraging zouden veroorzaken. Zie de behandelingen in Tabel 2 en daaronder de gedachte erachter.

Tabel 2. Behandelingen tijdens proefronde 2 bij kalanchoë 'Red lipstick' en 'Amarillo'. De nachtlengte was 14 uur. De EOD-FR behandeling heeft alleen de eerste 20 dagen aangestaan. Het verduisteringsdoek was open van 8:00-16:00 uur.

	lichtbron	Intensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Uren aan	PSS onder puur lamplicht*
Controle	SON-T	100	7:00-17:00	0.86
LED RB	70% rood / 30% blauw	100	7:00-17:00	0.88
LED RB 75%	70% rood / 30% blauw	75	7:00-17:00	0.88
LED RB + EOD-FR	70% rood / 30% blauw	100	7:00-17:00	0.88
		6	16:55-17:30	
LED RB	70% rood / 30% blauw	100	7:00-17:00	0.86
+ FR hele dag	7% verrood	6		

* Overdag was er ook daglicht, dus deze getallen zijn niet representatief voor de PSS gedurende die uren.

** De gemiddelde etmaaltemperatuur was 23.3°C (25.3/21.9°C D/N), overige klimaatsfactoren waren: CO₂-gehalte=670 ppm, RV=60% (D/N 58%/61%), VD=8.6g/m³ (D/N 10.0/7.6 g/m³)

De volgende gedachte zit achter de behandelingen (zie voor uitgebreidere theoretische onderbouwing Hoofdstuk 2):

- De controlebehandeling (100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) is representatief voor belichting in de praktijk.
- Bij LED RB is de hypothese dat de plantvorm compacter is door het hogere aandeel blauw licht en het ontbreken van verrood licht ten opzichte van SON-T (zie ook lichtspectra in Figuur 5). Het ontbreken van verrood zou bloeivertraging kunnen veroorzaken door overactief fytochroom B. Mogelijk speelt dit probleem niet vanwege voldoende nachtlengte.
- Indien de planten compacter groeien onder LED RB, dan kan eenzelfde compactheid als bij de controle mogelijk gerealiseerd kunnen worden met een lagere intensiteit belichting. Vandaar de variant LED RB met 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ intensiteit belichting (-25%).
- Bij LED RB + EOD-FR (end of day far-red) zou de korte periode met lage intensiteit puur verrood licht aan het begin van de nacht fytochroom B moeten de-activeren en zo een mogelijke bloeivertraging voorkomen. Risico van EOD-FR is een strekkingsrespons die compactheid tegenwerkt. Daarom is na 20 dagen de verrood-belichting gestaakt. De gedachte hierachter is dat zo overmatige strekking voorkomen wordt en het induceren van bloei zonder vertraging al plaatsgevonden zou hebben.
- LED RB + FR-overdag is gekozen om te toetsen of eenzelfde PSS (=fytochrombalans) als bij SON-T ook eenzelfde bloeiselheid oplevert. Kennis hierover is van belang, omdat bij een toekomstige dominantere positie voor LED-belichting in de tuinbouw een 'LED-recept' waarbij goede kwaliteit planten geteeld kunnen worden, vereist is.

Omdat belichting in de praktijk vooral plaatsvindt in de winter en proefronde 2 in het voorjaar plaatsvond, zijn de volgende maatregelen uitgevoerd om een wintersituatie te simuleren:

- Verduisteringsdoek alleen tussen 8:00-16:00 open (8 uur daglicht per etmaal)
- Zonneschermb met ~50% transmissie altijd dicht (ook van naburige kas)
- Gevelschermen altijd dicht (vanaf 4 mei 2015)

Doordat van 4 mei tot het einde van de proef de gevelschermen dicht zijn gedaan, kwam er relatief meer daglicht op de tafels aan de noordkant ten opzichte van de zuidkant van het kascompartiment. Dit was gemiddeld 2.8 mol daglicht/m²/dag aan de noordkant (aandeel lamplicht op dagsom PAR≈56%) en 1.9 mol daglicht/m²/dag aan de zuidkant (aandeel lamplicht op dagsom PAR≈65%), uitgaande van 100 µmol/m²/s belichting (bij 10 uur belichting geeft dat een lichtsom van 3.6 mol lamplicht/m²/dag). De tafels aan de noordkant zouden dus een hoger plantgewicht moeten krijgen.

Tevens konden de tafels aan de oost- en westgevel beschaduwd worden door de dichte gevelschermen. Aangezien de hoogste zonnestand pas om 13:45 plaats vond en het daglicht van 8:00-16:00 werd toegelaten, was dit effect vooral aanwezig op heldere dagen en het grootst bij de tafels aan de oostgevel (EOD-FR). Op een aantal momenten is de lichtintensiteit over de dag gelogd: Van 12-16 juni lag de daglichtsom PAR op de tafel bij de noordoostgevel (EOD-FR) gemiddeld 1.1 mol/m²/dag lager dan een tafel in het midden van het compartiment. Op de zuidwestgevel (SON-T) lag de daglichtsom PAR gemiddeld 0.6 mol/m²/dag lager (5-8 juni) ten opzichte van het midden van het compartiment. Bij meting op de noordwestgevel (SON-T) ten opzichte van het midden van het compartiment varieerde de daglichtsom tussen de tafels met zo'n 0.2 mol/m²/dag, maar gemiddeld over enkele dagen werd er geen verschil gemeten (9-13 juli). Dus vooral de EOD-FR behandeling heeft beduidend minder daglicht gehad dan de andere behandelingen. Dit zou moeten resulteren in een lager plantgewicht en mogelijk een lagere ontwikkelingssnelheid.

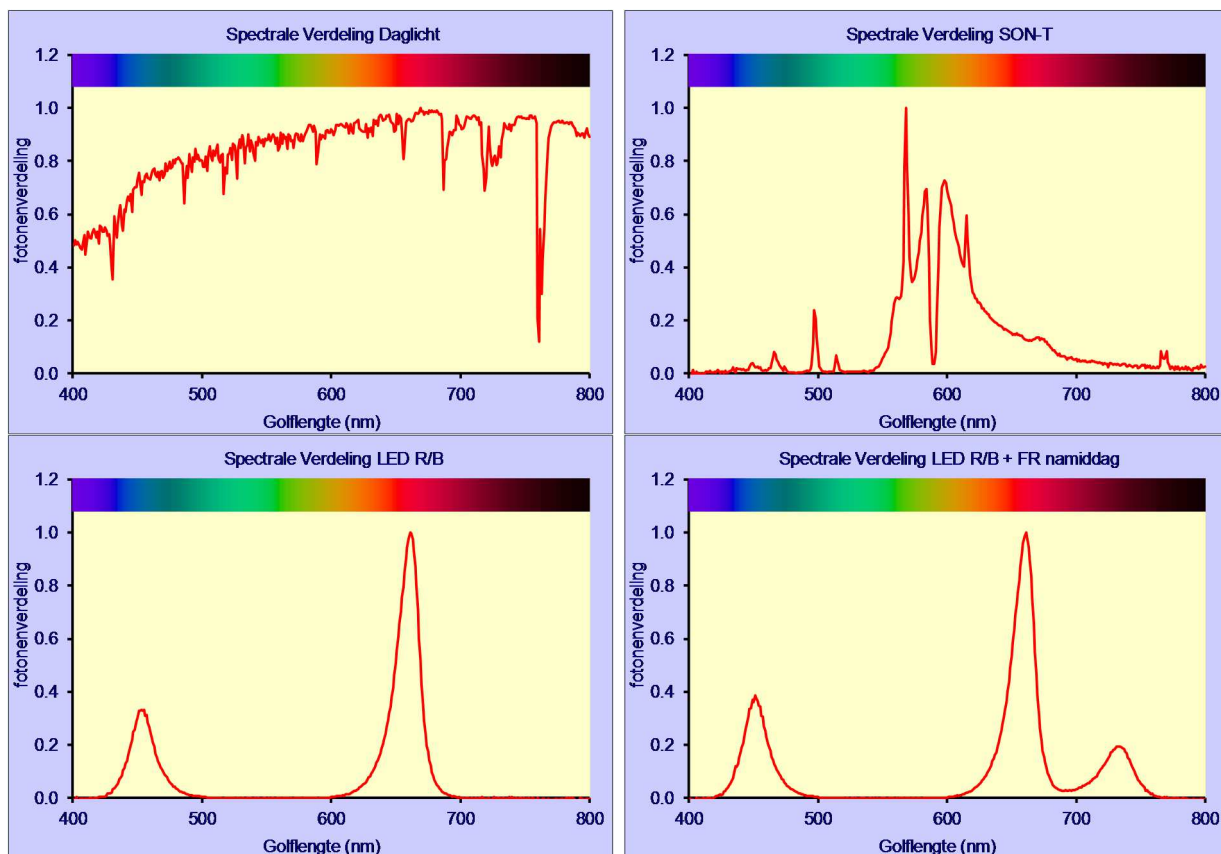
De dagtemperatuur was beduidend hoger dan in proefronde 1 en dus niet representatief voor winterse omstandigheden (zie onderschrift Tabellen 1 en 2). Dit zou tot meer strekking van de planten moeten leiden (positieve DIF).



Foto 4. Impressie van het plantmateriaal op het moment van start van de proef

3.2 Gebruikte lichtspectra

In Figuur 5 staat de spectrale samenstelling van natuurlijk daglicht en dat van de verschillende lichtbronnen weergegeven. Foto 5 geeft een impressie van de proefopstelling.



Figuur 5. Gebruikte lichtspectra in proefronde 1: Daglicht, SON-T, LED RB en LED RB + FR-middag. Voor proefronde 2 week alleen de hoeveelheid FR af in behandeling LED RB + FR hele dag.



Foto 5. Impressie van de proefkas in proefronde 1. Links zijn er drie tafels uitgerust met LED-belichting en uiterst rechts is de SON-T-belichting zichtbaar. De tafels waren spectraal van elkaar gescheiden door een strook wit reflecterend plastic. In proefronde 2 waren de gevelschermen en het zonnescherm (50% transmissie) dicht om de daglichtsom te reduceren. Zo werden 'winteromstandigheden' gesimuleerd in het voorjaar.

3.3 Metingen

Lichtintensiteit, lichtspectrum en planttemperatuur (instelling infraroodstralers) zijn met regelmaat gecontroleerd gedurende de proef.

Verder zijn de volgende metingen verricht:

- Lengte van de planten 20 dagen na start (op de dag dat de verrood einde-dag belichting werd gestaakt).
- Aantal dagen tot bloei
- Plantvorm: Strecking, aantal scheuten en diameter bloemscherm (alleen bij kalanchoë)
- Aantal bloemen
- Algehele plantkwaliteit
- Vers/drooggewicht en percentage drogestof bij eindoogst

3.4 Analyse en statistiek

Statistische analyse van de data is uitgevoerd met SPSS. De gemiddelde waarden van acht telplanten binnen rijen planten parallel aan de infraroodstraler zijn als experimentele eenheden getoetst (zie Foto 2 en 3 voor indruk opstelling). De ligging van de tafel (noord en zuid) is als blokeffect getoetst.

In proefronde 1 was er geen significant blokeffect (noord/zuid) en is vervolgens alleen op hoofdeffect (behandeling) getoetst. Op basis van die analyse worden de data in hoofdstuk 4 gepresenteerd. De resultaten voor potchrysaant zijn op basis van vier rijen per tafel (32 telplanten per ras per tafel, 64 telplanten per ras per behandeling) en voor kalanchoë op basis van drie rijen per tafel (24 telplanten per ras per tafel, 48 telplanten per ras per behandeling). De reden dat er een rij minder meegewogen is voor kalanchoë is de iets lagere bladtemperatuur bij de LED behandelingen in de telrij het verst van de infraroodstraler, waardoor ook de bloeisnelheid iets achterliep.

In proefronde 2 zijn de infraroodstraler + LED-bronnen) hoger gehangen, zodat alle vier de telrijen een gelijke temperatuur hadden. Bij beide kalanchoë-rassen in proefronde 2 zijn vier telrijen per tafel meegewogen (gemiddelde van acht planten per rij als experimentele eenheid). Het blokeffect noord/zuid was significant voor een aantal parameters (o.a. drooggewicht plant) en is meegetoetst. Soms was er sprake van een significante interactie tussen positie tafel (noord/zuid) en behandeling. Er is geen aparte ANOVA uitgevoerd voor de tafels noord en zuid. De interactie zal waarschijnlijk te wijten zijn aan een ongelijke daglicht-verdeling tussen tafels binnen een windrichting (dus binnen een noord/zuid-rij tafels verschil in daglicht tussen oost- en westkant van de kas). De gevolgen hiervan voor interpretatie van de data worden bediscussieerd in hoofdstuk 4.2.

4 Resultaten en discussie

4.1 Resultaten proefronde 1

4.1.1 Gewasontwikkeling potchrysan't proefronde 1

Onderstaande foto's geven een impressie van de gewasontwikkeling van potchrysan't. De verschillen zullen verderop aan de hand van de meetgegevens in Tabel 3 besproken worden.

Dag 20



Dag 41



Dag 63



SON-T

LED RB

LED RB + FR-middag

LED RB + EOD-FR

Foto 6. Ontwikkeling potchrysan't 'Chiffon' in proefronde 1.

Tabel 3. Resultaten potchrysant proefronde 1. Alle data hebben betrekking op de dag van oogsten (dag 63), behalve de lengte gemeten op dag 20. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$). N=8, waarbij de gemiddelde waarde per plant van rijen van 8 telplanten als experimentele eenheden zijn getoetst bij 4 telrijen per tafel en geen significant blokeffect voor de tafelpositie noord/zuid.

potchrysant	SON-T	LED RB	LED RB + FR-middag	LED RB + EOD-FR ^(19 d)
lengte dag 20 (cm)	7.3 ^b	6.2 ^c	6.9 ^b	8.1 ^a
lengte bij oogst (cm)	22.3 ^b	21.0 ^c	24.1 ^a	22.6 ^b
# scheuten	3.4 ^{ns}	3.5 ^{ns}	3.4 ^{ns}	3.3 ^{ns}
# bloem + knop	24.4 ^a	24.4 ^a	22.5 ^b	23.3 ^{ab}
% open bloemen	43.0% ^a	33.8% ^b	45.2% ^a	28.9% ^c
versgewicht (g)	48.5 ^a	45.4 ^b	46.1 ^b	42.8 ^c
drooggewicht (g)	5.1 ^a	5.0 ^a	4.7 ^b	4.7 ^b
DW/FW	10.7% ^a	11.0% ^a	10.2% ^b	10.9% ^{ab}

Na 20 dagen zijn de potchrysanten onder LED RB het kortst en onder LED RB + EOD-FR het meest gestrekt (Tabel 3 en Foto 6 bovenaan). Hoewel niet te zien op foto 6, waren de knoppen op dag 20 al zichtbaar. De EOD-FR belichting is op dag 20 uitgeschakeld om verdere strekking te voorkomen, dus vanaf die dag is behandeling LED RB + EOD-FR gelijk aan LED RB. Bij oogst zijn de planten onder LED RB nog altijd significant korter dan bij de controle (SON-T), maar het verschil is met ruim 1 cm gering.

Verdere verschillen tussen behandelingen zijn allen gering. Bij deze nachtlengte (12.5 uur) is er vrijwel geen stuurlicht- effect op bloei bij potchrysant: alle planten gaan goed en snel bloeien. Bij 12.5 uur nachtlengte is met LED RB belichting in ieder geval voor dit ras een kwalitatief minstens even goede potchrysant te telen als met SON-T. Zo kan energie bespaard worden. De EOD-FR behandeling heeft bij deze nachtlengte geen toegevoegde waarde voor potchrysant. FR in de middag heeft een negatief effect voor kwaliteit door de toegenomen strekking.

Bij een kortere nachtlengte is de kans dat stuurlicht-effecten op bloei zich uiten aanmerkelijk groter. Het is de moeite waard om dit te onderzoeken, want een langere dag geeft sterkere groei.

4.1.2 Gewasontwikkeling kalanchoë proefronde 1

Onderstaande foto's geven een impressie van de gewasontwikkeling van kalanchoë. De verschillen zullen verderop aan de hand van de meetgegevens in Tabel 4 besproken worden.

Dag 20



Dag 41



Dag 76



SON-T

LED RB

LED RB + FR-middag

LED RB + EOD-FR

Foto 7. Ontwikkeling kalanchoë 'Red lipstick' in proefronde 1.

Tabel 4. Resultaten kalanchoë proefronde 1. Alle data hebben betrekking op de dag van oogsten (dag 76 tot 88), behalve de lengte gemeten op dag 20. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$). N=6, waarbij de gemiddelde waarde per plant van rijen van 8 telplanten als experimentele eenheden zijn getoetst bij 3 telrijen per tafel en geen significant blokeffect voor de tafelpositie noord/zuid.

kalanchoë	SON-T	LED RB	LED RB + FR-middag	LED RB + EOD-FR ^(19 d)
% Klasse A	95% ^a	73% ^b	84% ^{ab}	83% ^{ab}
lengte dag 20 (cm)	1.2 ^c	1.2 ^b	1.5 ^b	3.0 ^a
lengte bij oogst (cm)	14.5 ^c	15.5 ^b	18.6 ^a	14.7 ^c
aantal zij scheuten	8.9 ^b	10.5 ^a	10.6 ^a	9.3 ^b
diameter bloemscherm (cm)	18.1 ^b	17.6 ^b	17.6 ^b	19.4 ^a
teeltduur (# open bloemen)	76 (8.7 ^b)	88 (19.3 ^a)	81 (11.0 ^b)	76.0 (6.3 ^b)
# bloemen geschat (open en kleur tonend)	87 ^{ns}	90 ^{ns}	82 ^{ns}	76 ^{ns}
versgewicht totaal (g)	149 ^b	158 ^a	157 ^a	140 ^c
versgewicht bloemen (g)	15.8 ^b	18.3 ^a	18.4 ^a	13.2 ^c
drooggewicht totaal (g)	7.5 ^b	8.4 ^a	8.2 ^a	7.3 ^b
DW/FW	5.1% ^c	5.3% ^a	5.2% ^{ab}	5.2% ^b

De plantkwaliteit varieerde sterk doordat *niet alle* planten volledig generatief werden. Dit zal samenhangen met de voor kalanchoë krappe nachtlengte van 12.5 uur (14 uur in de praktijk). De sturende effecten van lichtspectrum op bloei kwamen goed tot uitdrukking. De mate van generativiteit is weergegeven in kwaliteitsklassen (A,B en C); zie Tabel 4 en ook Foto 8.

Vooral behandeling LED RB heeft forse bloeivertraging: een teeltduur van 88 dagen in plaats van 76 dagen (SON-T). Hierbij moet opgemerkt worden dat dit verschil van 12 dagen een geringe overschatting is, want op het moment van oogst waren de planten iets rijper (LED RB 19.3 bloemen open en SON-T 8.7). Bij gelijke rijpheid zal het verschil in teeltduur eerder 10 dagen geweest zijn. De moeizame bloei bij LED RB kenmerkt zich ook door het fors kleinere aantal Klasse A planten (LED RB 73% en SON-T 95%). Op dag 76, waarop SON-T geoogst werd, waren de LED RB planten nog compacter dan SON-T (zie Foto 7 onder). Echter, door de langere teeltduur hadden de LED RB planten bij oogst zelfs meer lengte dan de SON-T planten (minder compact)! De langere teeltduur zal ook het relatief hoge plantgewicht van LED RB verklaren.

Bij LED EOD-FR trad geen bloeivertraging op. Dus slechts een half uur belichting met een lage intensiteit puur verrood licht aan het begin van de nacht, en dat gedurende alleen de eerste de 20 dagen van de teelt, was voldoende om 10 dagen bloeivertraging te compenseren. Naar alle waarschijnlijkheid komt dit doordat de korte puls verrood licht fytochroom B aan het begin van de nacht gedeactiveerd heeft. Verder waren de LED EOD-FR planten niet compacter dan die onder SON-T. Ook waren er minder planten die binnen de hoogste kwaliteitsklasse A vielen (verschil statistisch niet significant!). Het EOD-FR is waarschijnlijk op het juiste moment uitgeschakeld (dag 20), want de zichtbare toename in strekking op dag 20 (3.0 t.o.v. 1.2 à 1.5 cm) zette niet door, en de bloeivertraging van LED RB was teniet gedaan. Het aantal bloemen was het laagst bij deze behandeling (versgewicht bloemen en ook geschatte aantal open en kleur tonende bloemen). Echter, het schatten van het aantal bloemen is lastig bij kalanchoë en het precieze rijpheids-stadium op het moment van oogst kan dit beeld vertekenen.

LED RB + FR-middag deed de bloeivertraging ten dele teniet, en maakte het dus niet erger (zie hypothesen in Hoofdstuk 2). Dit duidt erop dat bij kalanchoë geen sprake is van een bloeivertragend effect via activering van fytochroom A aan het eind van de middag en wel een bloeiversnellend effect via deactivering van fytochroom B door het verrood. Dit is een belangrijk inzicht. De planten in deze behandeling waren beduidend minder compact (18.6 cm en SON-T 14.5 cm). Ook bij deze behandeling geldt dat de wat langere teeltduur dan de controle het hogere plantgewicht in ieder geval gedeeltelijk zal verklaren.

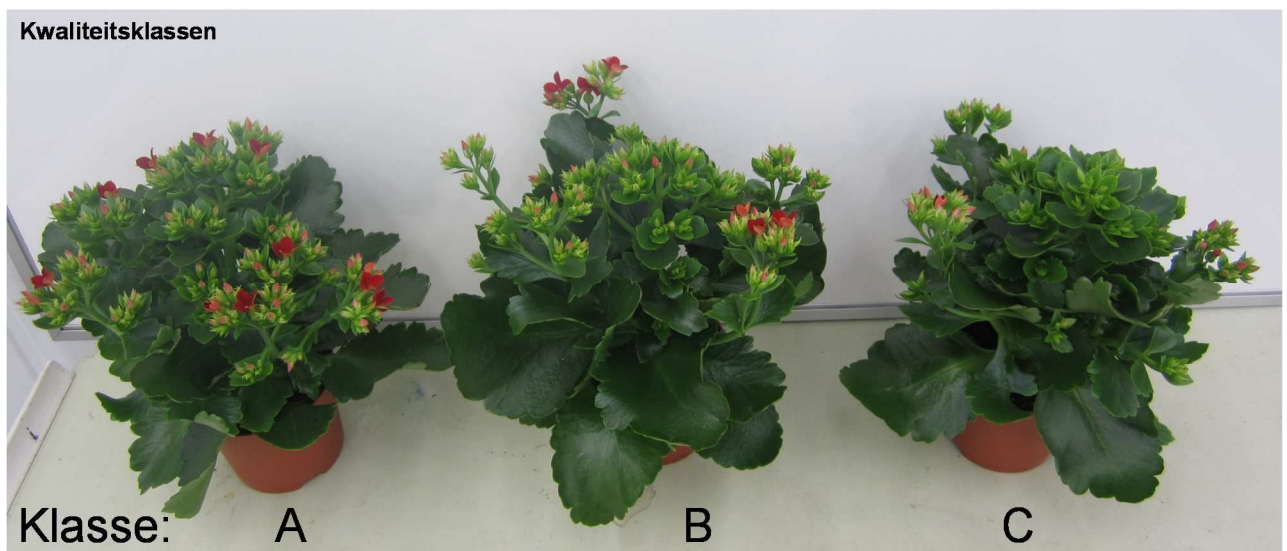


Foto 8. Omdat niet alle planten volledig generatief werden, zijn de planten ingedeeld in kwaliteitsklassen. Klasse A duidt op goede bloei, klasse B op bloei met ongelijk bloemscherf, en klasse C op onvolledige bloei (onverhandelbaar).

Bij kalanchoë treden dus duidelijke stuurlicht-effecten op. Dit in tegenstelling tot potchrysant (zie 4.1.1). Dit contrast zal waarschijnlijk te relateren zijn aan het feit dat 12.5 uur nachtlengte krap is om fytochroom B te deactiveren voor kalanchoë, en voldoende voor potchrysant.

In proefronde 2 zijn stuurlichtbehandelingen getoetst bij kalanchoë met 14 uur nachtlengte in plaats van 12.5 uur. De vraag is of LED RB dan wel resulteert in een compactere plantvorm plus een goede bloei zonder vertraging, en of EOD-FR dan ook nog resulteert in een snellere bloei. Omdat FR-middag de bloei al niet vertraagde bij 12.5 uur nacht, levert deze behandeling bij 14 uur nachtlengte geen nieuwe informatie meer op. Wel is het interessant om te zien wat het effect op bloeiselheid is van het toevoegen van een lage intensiteit verrood aan LED RB gedurende de gehele fotoperiode: Als LED RB bloeivertraging geeft door actief fytochroom B, leidt sturing met verrood op eenzelfde fytochroombalans (PSS) als onder SON-T dan tot gelijke bloeiselheid?

4.2 Resultaten proefronde 2

Onderstaande foto's geven een impressie van de gewasontwikkeling van kalanchoë 'Amarillo'. De verschillen zullen verderop aan de hand van de meetgegevens in Tabel 5 besproken worden.

Dag 20



Dag 48



SON-T LED RB75% LED RB LED RB + FR(10h) LED RB + EOD-FR

Foto 9. Ontwikkeling kalanchoë 'Amarillo' in proefronde 2.

Na 21 dagen zijn de planten onder LED RB + EOD-FR wederom het meest gestrekt (Tabel 5 en Foto 9 bovenaan). De EOD-FR belichting is op dag 20 uitgeschakeld om verdere strekking te voorkomen. Bij oogst waren de verschillen in lengte tussen de behandelingen niet significant.

In tegenstelling tot de 12.5 uur nachtlengte, zijn de verschillen tussen behandelingen gering bij deze nachtlengte (14 uur). LED RB liep geen bloeivertraging op. Er hoefde geen onderscheid gemaakt te worden in verschillende klassen generativiteit, want alle planten bloeiden goed. Behandeling LED RB+FR was ook in alle opzichten vergelijkbaar met SON-T en LED RB.

LED RB75% loopt iets achter in ontwikkeling en is bij oogst 10% minder zwaar, ieler (smaller bloemscherm). Omdat het aandeel lamplicht in totale PAR-som $\pm 60\%$ was, hebben deze planten in totaal $\pm 15\%$ minder PAR gehad.

LED RB + EOD-FR liep achter in ontwikkeling en was minder zwaar en ieler (smaller bloemscherm). Dit resultaat is onlogisch gezien de resultaten in proefronde 1. Waarschijnlijk is de mindere prestatie van de planten niet gerelateerd aan de belichting, maar aan de oosthoekligging van deze proeftafels. In deze hoek was de daglichtinstraling beduidend lager dan op de andere tafels (zie ook pagina 20). Daarom moet behandeling LED RB + EOD-FR niet kwantitatief vergeleken worden met de andere behandelingen. In proefronde 1 speelde dit probleem niet: Doordat daar een behandeling minder was, werden de hoektafels aan de oostkant toen niet gebruikt, tevens waren toen de gevelschermen overdag open.

Tabel 5. Resultaten kalanchoë 'Amarillo' proefronde 2. Alle data hebben betrekking op de dag van oogsten (dag 56), behalve de lengte gemeten op dag 21. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$). N=8, waarbij de gemiddelde waarde per plant van rijen van 8 telplanten als experimentele eenheden zijn getoetst bij 4 telrijen per tafel, tafelpositie noord/zuid als blokeffect (NB soms significant!). Behandeling LED RB + EOD-FR kreeg door de oosthoekligging in de proefkas minder daglicht en moet daarom niet kwantitatief vergeleken worden met de andere behandelingen.

kalanchoë 'Amarillo'	SON-T	LED RB	LED RB 75%	LED RB +FR (10h)	LED RB + EOD-FR (19 d)
lengte (cm) na 3 weken (dag 21)	8.8 ^b	8.0 ^c	8.2 ^c	8.7 ^b	11.2 ^a
lengte (cm) bij oogst 11 juni (dag 56)	21.6 ^{ns}	21.1 ^{ns}	21.1 ^{ns}	21.8 ^{ns}	22.2 ^{ns}
aantal zijscheuten	9.2 ^{ns}	9.6 ^{ns}	9.0 ^{ns}	9.3 ^{ns}	9.2 ^{ns}
diameter bloemscherm (cm)	10.5 ^a	9.5 ^b	8.9 ^c	9.4 ^b	7.9 ^d
# open bloemen (alles op dag 56 geoogst)	6.3 ^a	4.0 ^b	1.9 ^c	3.3 ^b	0.8 ^d
versgewicht totaal (g)	106 ^a	101 ^b	93 ^c	102 ^{ab}	86 ^d
drooggewicht totaal (g)	4.4 ^a	4.1 ^b	3.6 ^c	4.0 ^b	3.5 ^c
DW/FW%	4.1% ^{ns}	4.0% ^{ns}	3.9% ^{ns}	3.9% ^{ns}	4.0% ^{ns}

Foto 10 geeft een impressie van de gewasontwikkeling van kalanchoë 'Red lipstick' gedurende proefronde 2. De verschillen zullen verderop aan de hand van de meetgegevens in Tabel 6 besproken worden.

Dag 20



Dag 48



SON-T LED RB75% LED RB LED RB + FR(10h) LED RB + EOD-FR

Foto 10. Ontwikkeling kalanchoë 'Red lipstick' in proefronde 2.

Tabel 6. Resultaten kalanchoë 'Red lipstick' proefronde 2. Alle data hebben betrekking op de dag van oogsten (dag 63), behalve de lengte gemeten op dag 21. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$). $N=8$, waarbij de gemiddelde waarde per plant van rijen van 8 telplanten als experimentele eenheden zijn getoetst bij 4 telrijen per tafel, tafelpositie noord/zuid als blokeffect (NB soms significant!). Behandeling LED RB + EOD-FR kreeg door de oosthoekligging in de proefkas minder daglicht en moet daarom niet kwantitatief vergeleken worden met de andere behandelingen.

kalanchoë 'Red lipstick'	SON-T	LED RB	LED RB 75%	LED RB +FR (10h)	LED RB + EOD-FR (19 d)
lengte (cm) na 3 weken (dag 21)	7.3 ^b	6.5 ^c	6.4 ^c	7.1 ^b	9.5 ^a
lengte (cm) bij oogst 11 juni (dag 63)	23.9 ^{ns}	23.6 ^{ns}	23.0 ^{ns}	23.6 ^{ns}	23.5 ^{ns}
aantal zijscheuten	12.7 ^{ns}	12.8 ^{ns}	12.4 ^{ns}	13.8 ^{ns}	12.7 ^{ns}
diameter bloemscherm (cm)	13.6 ^{ns}	12.5 ^{ns}	12.8 ^{ns}	12.3 ^{ns}	11.9 ^{ns}
# open bloemen (alles op dag 63 geoogst)	8.7 ^{ns}	9.7 ^{ns}	5.3 ^{ns}	10.5 ^{ns}	2.6 ^{ns}
versgewicht totaal (g)	145 ^a	127 ^b	120 ^c	128 ^b	122 ^{bc}
drooggewicht totaal (g)	6.0 ^a	5.2 ^b	4.8 ^c	5.3 ^b	4.9 ^c
DW/FW%	4.1% ^{ns}	4.1% ^{ns}	4.0% ^{ns}	4.2% ^{ns}	4.1% ^{ns}

Bij 'Red lipstick' waren de resultaten vergelijkbaar met die bij 'Amarillo': LED RB gaf geen bloeivertraging, alle planten bloeiden goed en er waren geen significante lengteverschillen bij oogst.

De planten onder SON-T waren wel beduidend zwaarder, waarvoor geen duidelijke verklaring is. LED RB75% was op basis van drooggewicht 8% minder zwaar (wel gelijk bloemscherm), terwijl de planten in totaal $\pm 15\%$ minder PAR hebben gehad (NB aandeel lamplicht in totale PAR-som $\pm 60\%$, dus totaal $\pm 15\%$ minder PAR). Net als bij 'Amarillo' loopt bij 'Red lipstick' LED RB + EOD-FR achter in ontwikkeling (niet significant) en is minder zwaar. Dit resultaat is niet logisch en zal aan de lagere daglichtsom te wijten zijn vanwege de hoekligging van die tafels (zie ook pagina 20). Daarom moet behandeling LED RB + EOD-FR niet kwantitatief vergeleken worden met de andere behandelingen (zie ook uitleg bij 'Amarillo' op pagina 29).

Verder valt op dat kalanchoë 'Red Lipstick' in proefronde 2 een veel minder compacte plantvorm had dan in dan proefronde 1: ± 15 cm lengte bij oogst in proefronde 1 en ± 23 cm in proefronde 2 (zie ook Tabel 4 en 6 en foto's 7 en 10). Dit kan samenhangen met de veel grotere positieve DIF in proefronde 2 ($+3.4^{\circ}\text{C}$ overdag t.o.v. nacht) dan in proefronde 1 ($+0.3^{\circ}\text{C}$ overdag t.o.v. nacht). Meer informatie over DIF is te vinden in o.a. een studie van Carvalho *et al* (2008). Het nachtelijke vochtdeficiet, dat lengtegroei ook kan beïnvloeden, verschilde nauwelijks tussen de twee proefronden. In de praktijk gekweekte planten zijn veel compacter dan de proefplanten door het gebruik van groeiremmers (zie foto 11).



Foto 11. kalanchoë 'Amarillo' op dag 62 na start KD-behandeling bij kwekerij SV.CO in de praktijk (links) en onder LED RB in de proefkas. Hoewel door de verschillende omstandigheden van opkweek een eerlijk vergelijk niet mogelijk is, geeft deze foto wel een indicatie van het sterke effect van groeiremmers in de praktijk op plantcompactheid. De proefplanten zijn niet met groeiremmers behandeld.

5 Discussie en conclusies

5.1 Discussie

Omdat deze studie zich zuiver op de effecten van het lichtspectrum op plantcompactheid en bloei richtte, is de stralingswarmte in de LED-belichtingsbehandelingen gelijk gehouden aan die bij de SON-T behandelingen. In de praktijk zal LED belichting niet worden aangevuld met infraroodstralers. Daardoor zal de gewastemperatuur tijdens de belichtingsuren lager zijn onder LED (geen stralingswarmte) dan onder SON-T (ongeveer evenveel energie aan stralingswarmte als aan PAR).

Een lagere gewastemperatuur overdag stimuleert plantcompactheid (zie o.a. literatuur over DIF in Carvalho *et al.*, 2008). Bij chrysant is aangetoond dat er een sterk verband is tussen DIF en de strekking van de internodia, maar dat dit simpelweg te wijten is aan onafhankelijke, tegengestelde effecten van dag- en nacht-temperatuur op strekking (Carvalho *et al.*, 2002). Bij kalanchoë bleek in een eerdere studie een hogere temperatuur op zich strekking te bevorderen: Teelt bij een constante temperatuur van 26°C resulteerde in 60% langere planten dan teelt bij constant 18 °C (Carvalho *et al.*, 2006). Dit zal ook verklaren waarom kalanchoë 'Red lipstick' in proefronde 1 beduidend compacter van vorm was dan in proefronde 2: De dagtemperatuur lag in proefronde 2 fors hoger (+ 4 °C). Omdat kalanchoë gedurende de 3^e à 4^e week van de korte-dag fase overgaat van een C3 metabolisme naar CAM (Trouwborst *et al.*, 2013), zal in de laatste teeltfase het effect van stralingswarmte op gewastemperatuur extra groot zijn. Immers, in de CAM-fase nemen de bladeren niet overdag, maar 's nachts CO₂ op. Omdat de huidmondjes overdag dan gesloten zijn, leidt stralingswarmte tot extra opwarming van de plant, met alle gevolgen voor strekking van dien. Dus in de praktijk kunnen de effecten van LED op plantcompactheid wel eens gunstiger kunnen uitwerken dan aangetoond in deze studie.

5.2 Conclusies

In onderstaand overzicht worden de conclusies puntsgewijs weergegeven:

- De effecten van stuurlicht op potchrysant waren gering. Onder LED RB bleek een goede kwaliteit potchrysant te telen ten opzichte van SON-T. De planten waren slechts 1 cm korter. Het effect van LED op compactheid kan mogelijk toenemen zonder de toevoeging van infraroodstralers. Bij potchrysant liggen dus kansen voor energiebesparing met LED.
- Bij potchrysant is bij een kortere nachtlengte dan 12.5 uur de kans dat stuurlicht-effecten op bloei zich uiten aanmerkelijk groter.
- Bij kalanchoë was 12.5 uur nacht krap voor een goede bloei-inductie, waardoor de stuurlicht-effecten op bloei zich juist sterk uitten:
 - o LED RB leidde tot ±10 dagen bloeivertraging ten opzichte van SON-T en een fors lager percentage klasse A (goede bloei): LED RB 73% en SON-T 95%. Op de dag dat SON-T

geoogst werd, waren de LED RB planten compacter, maar door de bloeivertraging hadden de LED RB planten bij oogst zelfs meer lengte.

- o Bij LED EOD-FR trad geen bloeivertraging op. Dus slechts een half uur belichting met een lage intensiteit puur verrood licht aan het begin van de nacht, en dat gedurende alleen de eerste 20 dagen van de teelt, was voldoende om 10 dagen bloeivertraging te compenseren. De LED EOD-FR planten waren niet compacter dan die onder SON-T en de plantkwaliteit was iets lager.
- o LED RB + FR-middag deed de bloeivertraging ten dele teniet. Dit duidt erop dat bij kalanchoë geen sprake is van een bloei-vertragend effect via activering van fytochroom A aan het eind van de middag en wel een bloei-versnellend effect via deactivering van fytochroom B door het verrood. Dit is een belangrijk inzicht. De planten in deze behandeling waren beduidend minder compact.
- Bij kalanchoë leidde 14 uur nachtlengte tot een goede bloei bij alle behandelingen en waren stuurlichteffecten zeer gering. De behandeling met lagere intensiteit belichting (LED RB75%) liep iets achter in ontwikkeling en was bij oogst 8-10% minder zwaar, terwijl die planten in totaal $\pm 15\%$ minder PAR (daglicht+lamplicht) hebben gehad.

In het algemeen is met LED RB een goede plantkwaliteit ten opzichte van SON-T te telen bij voldoende nachtlengte. Verkorten van de nacht stimuleert groei (meer licht), maar verhoogt het risico op bloeivertraging. Met verrood stuurlicht op het juiste moment kan bloeivertraging worden voorkomen.

Referenties

- Ballaré CL, Sánchez RA, Scopel AL, Casal JJ, Ghera CM. 1987. Early detection of neighbour plants by phytochrome perception of spectral changes in reflected sunlight. *Plant, Cell & Environment* 10, 551-557.
- Borthwick HA, Hendricks SB, Parker MW. 1952. The reaction controlling floral initiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 38, 929-934.
- Carvalho SMP, Heuvelink E, Cascais R, Van Kooten O. 2002. Effect of day and night temperature on internode and stem length in chrysanthemum: Is everything explained by DIF? *Annals of botany* 90, 111-118.
- Carvalho SMP, Wuillai SE, Heuvelink E. 2006. Combined effects of light and temperature on quality of kalanchoe blossfeldiana. *Acta Horticulturae* 711, 121-126.
- Carvalho SMP, van Noort FR, Postma R, Heuvelink E. 2008. Possibilities for producing compact floricultural crops. Wageningen, Wageningen UR Greenhouse Horticulture.
- Dueck T, Hogewoning SW, Pot CS, Meinen E, Trouwborst G, Kempkes F. 2013. Stuurlicht in de glastuinbouw: Kansen voor energiebesparing. Deelrapport binnen het project: 'Stuurlicht in de glastuinbouw'. Bleiswijk, Wageningen UR Glastuinbouw, 56p.
- Gilbert IR, Jarvis PG, Smith H. 2001. Proximity signal and shade avoidance differences between early and late successional trees. *Nature* 411, 792-795.
- Hayama R, Agashe B, Luley E, King R, Coupland G. 2007. A circadian rhythm set by dusk determines the expression of FT homologs and the short-day photoperiodic flowering response in *Pharbitis*. *Plant Cell* 19, 2988-3000.
- Hisamatsu T, Sumitomo K, Shimizu H. 2008. End-of-day far-red treatment enhances responsiveness to gibberellins and promotes stem extension in chrysanthemum. *Journal of horticultural science & biotechnology* 83, 695-700
- Hogewoning SW, Douwstra P, Trouwborst G, van Ieperen W, Harbinson J. 2010. An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra. *Journal of Experimental Botany* 61, 1267-1276.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Pot CS. 2012. Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen: Focus op productie en vervolgteelt van uitgangsmateriaal. Plant Lighting, Utrecht. 39p.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Slootweg G, Van Aanholt JTM, Pot CS, Kok BJ. 2014. Belichting, CO₂ en stuurlicht in de lelieteelt: een strategie voor energiebesparing. Plant Lighting B.V., Bunnik. 42p.
- Izawa T, Oikawa T, N Sugiyama N, Tanisaka T, Yano M, Shimamoto K. 2002. Phytochrome mediates the external light signal to repress FT orthologs in photoperiodic flowering of rice. *Genes & Development* 16, 2006-2020.
- Lagercrantz U. 2009. At the end of the day: a common molecular mechanism for photoperiod responses in plants? *Journal of Experimental Botany* 60, 2501-2515.
- van Ieperen W, Heuvelink E. 2012. Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie. Wageningen: Leerstoelgroep Tuinbouwketens, Wageningen University, 36p.

- van Ieperen W, Hogewoning SW, Meinen E. 2012. Groeilicht met zonlichtlampen. Wageningen: Leerstoelgroep Tuinbouwketen, Wageningen University, 30p.
- van Ieperen W, Hogewoning SW, ten Dam E. 2011. Bloei-inductie bij chrysant onder lange dag. Wageningen: Leerstoelgroep Tuinbouwketen, Wageningen University, 23p.
- Smith H. 1995. Physiological and Ecological Function within the Phytochrome Family. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 46, 289-315.
- Smith H. 2000. Phytochromes and light signal perception by plants—an emerging synthesis. *Nature* 407, 585-591.
- Takimoto A, Hamner KC. 1965. Effect of far-red light and its interaction with red light in the photoperiodic response of *Pharbitis nil*. *Plant Physiology* 40, 859-864
- Taiz L, Zeiger E. 2010. Plant Physiology. Sunderland: Sinauer, 782p.
- Trouwborst G. Hogewoning SW, Pot CS. 2013. Meer rendement uit licht en CO₂ bij kalanchoë. Bunnik: Plant Lighting B.V. & Plant Dynamics B.V., 27p
- Trouwborst G. Hogewoning SW, Pot CS. 2013. Stuurlicht bij de tijd, Deelrapport binnen het project: 'Stuurlicht in de glastuinbouw'. Bunnik: Plant Lighting B.V., 61p
- Turck F, Fornara F, George Coupland G. 2008 Regulation and identity of florigen: FLOWERING LOCUS T moves center stage. *Annual Review of Plant Biology* 59, 573-594.
- Whitelam G., Halliday K. 2007. Light and plant development. Oxford: Blackwell Publishing. 325p.
- Zheng CC, Potter D, O'Neill SD. 2009. Phytochrome gene expression and phylogenetic analysis in the short-day plant *Pharbitis Nil* (Convolvulaceae): Differential regulation by light and an endogenous clock. *American Journal of Botany* 96, 1319-1336.