

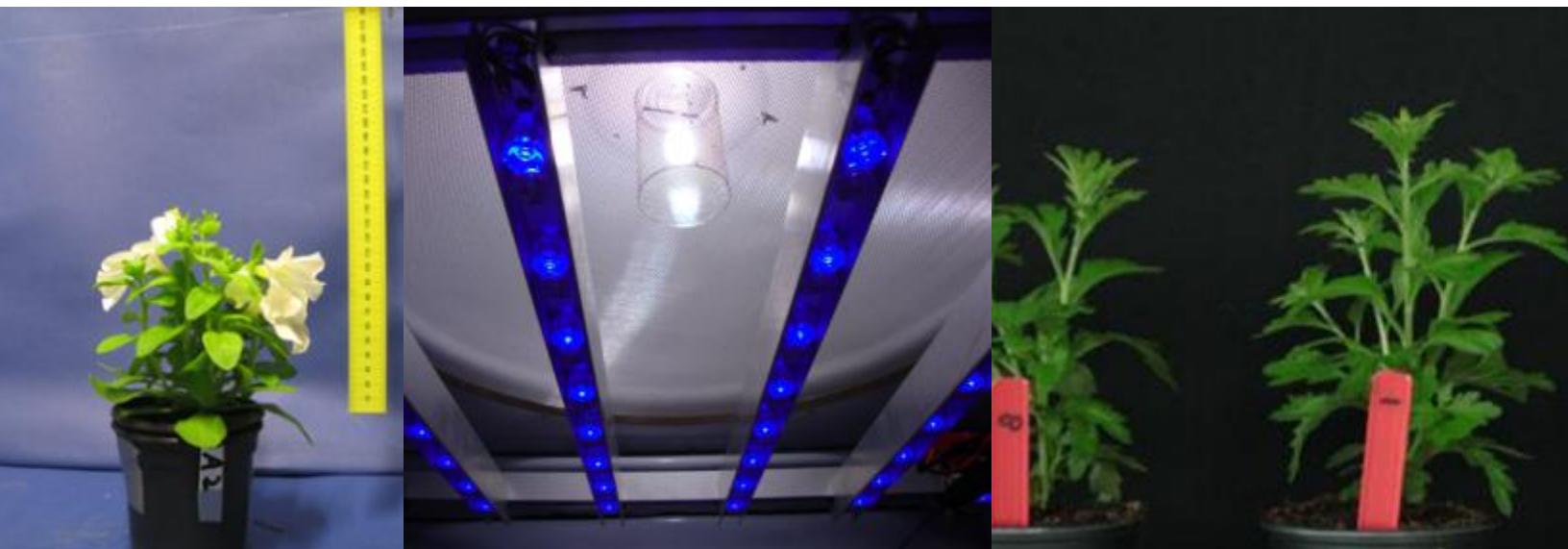


Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie

Deelverslag 1: Compacte Planten onder LEDs

*Kan LED-technologie bijdragen aan verbetering van
compactheid bij pot- en perkplanten?*

W. van Ieperen & E. Heuvelink



Uw sector investeert in dit project via het Productschap  Tuinbouw

Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie

Deelverslag 1: Compacte Planten onder LEDs

*Kan LED-technologie bijdragen aan verbetering van
compactheid bij pot- en perkplanten?*

W. van Ieperen & E. Heuvelink

In opdracht van

BCO Compacte Planten
BCO Potplanten LTO Groeiservice
Klappolder 130
2665 LP Bleiswijk

Gefinancierd door

Productschap Tuinbouw
Postbus 280
2700 AG Zoetermeer

Leerstoelgroep Tuinbouwketen, Wageningen University

© 2012 Wageningen, Wageningen Universiteit, Leerstoelgroep Tuinbouwketens

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de leerstoelgroep tuinbouwketens aan Wageningen Universiteit.

Uw sector investeert in dit project via het Productschap  Tuinbouw

Uitgevoerd door:



Wageningen University, Plant Sciences group,
Leerstoelgroep Tuinbouwketens
Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
Postbus 630, 6700 AP Wageningen
Tel. +31 317 484096
e-mail: office.hpc@wur.nl
<http://www.hpc.wur.nl/>

Samenvatting

“Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie”

Gebrek aan compactheid bij pot- en perkplanten zorgt in de donkere perioden van het jaar voor aanzienlijke kwaliteitsproblemen. Regelmatig worden chemische groeiremmers ingezet om ongewenste strekking te beperken. In het kader van efficiënter telen en beperking van gebruik van chemische groeiregulatoren wordt naar alternatieven gezocht. Dit onderzoek richt zich op de mogelijkheden van LED-technologie (deelonderzoek 1) en een gereduceerde fosfaatbemesting (deelonderzoek 2) voor bevordering van compactheid. Petunia (langedag plant) en potchrysanth (kortedag plant) zijn gebruikt als modelgewas. In de proeven is niet chemisch geremd.

In het LED onderzoek zijn twee scenario's voor toepassing van LEDs in de tuinbouw bestudeerd: 1) LEDs als hoofdbelichting (zoals in meerlagenteelten en plant factory systemen) en 2) LEDs als bijbelichting (zoals in kassen met zonlicht). Alle experimenten zijn uitgevoerd in klimaatkamers onder lage lichtintensiteit ($100 \mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en constante etmaaltemperatuur. Er werd 'nat' geteeld met een lage EC om andere groeiremmingen te minimaliseren. Voor de zonlicht (achtergrond) belichting werd gebruik gemaakt van speciaal ontwikkelde zonlichtspectrumlampen.

Zonlicht als hoofdbelichting leverde de minst compacte, en rode/blauwe LEDs (RB-LEDs (80/20)) de meest compacte planten op. Gebruik van SON-T als hoofdbelichting resulteerde ook in aanzienlijk compactere planten dan zonlicht. Compactheid ging bij petunia samen met een verlaging van de drogestofproductie, een verandering in de verdeling van assimilaten, en het uitlopen van meer en kortere zijstelen. Bij chrysanth werden vergelijkbare, maar minder sterke effecten gevonden.

Verhogen van de fractie rood in zonlicht met rode LEDs had bij petunia een positief effect op de compactheid maar de verschillen waren niet zo groot als bij gebruik van compleet verschillende lichtbronnen. Het vervangen van zonlicht door LED-licht gedurende de laatste 4 uur van de lichtperiode (in verschillende R/B combinaties) had nauwelijks effect op de compactheid bij chrysanth, behalve wanneer dit gebeurde met 100% R-LEDs: dit resulteerde in iets langere zijstelen en beïnvloedde de compactheid dus negatief. Simulatie van een korte ver-rood verhoging tijdens zonsondergang resulteerde bij petunia in beperkte extra lengtegroei. Bij petunia was er voor alle toegepaste behandelingen (met en zonder zonlicht achtergrond) een goede correlatie tussen de berekende PSS-waarde (maat voor de fytochroom status) van het lichtspectrum en de opgetreden compactheid.

Bij meerlagenteelten zonder daglicht lijkt belichting met RB-LEDs een prima optie voor het telen van compacte pot- en perkplanten. Bij kasteelten is sturing naar compactheid met LEDs lastiger, en lijkt het verhogen van de PSS-waarde (“roder spectrum”) een kansrijke optie. Dit onderzoek suggereert dat naast belichten met rode

LEDs verlaging van de hoeveelheid ver-rood in de kas (ruim aanwezig in natuurlijk zonlicht) tot een compactere plant kan leiden.

De mogelijkheid om compactheid door middel van een laag fosfaataanbod te bereiken en daaruit volgend het ontwikkelen van een toets om te bepalen hoeveel P er op korte termijn (1 a 2 weken) voor de plant beschikbaar is, werd in 4 kasteelten onderzocht. Daarbij zijn tevens enkele watergiftbehandelingen (droog of standaard telen) getoetst. In iedere proef is de fosfaathoeveelheid in de potgrond (voorraadbemesting) en de concentratie in de voedingsoplossing (bijmesten) gevarieerd. Een laag fosfaataanbod gaf een sterke reductie van het versgewicht en de lengte van potchrysanthe. Wanneer het fosfaataanbod hoog genoeg was om de kwaliteit te waarborgen was de sturingsmogelijkheid richting compactheid d.m.v. fosfaat zeer gering. Droger telen gaf kortere planten maar ook kwaliteitsverlies. Het tijdstip van toppen biedt perspectieven, 3 dagen later toppen gaf geen aantoonbaar kwaliteitsverlies terwijl de planten compacter bleven.

Petunia bood wel mogelijkheden om via een gereduceerde fosfaatgift compacte planten van goede kwaliteit te telen. Fosfaat biedt de beste sturingsmogelijkheden wanneer geteeld wordt zonder voorraadbemesting fosfaat en fosfaat in de voedingsoplossing van 0,15 en 0,3 mmol/l. Bij een fosfaataanbod zoals dat in de praktijk gehanteerd wordt, zijn er geen sturingsmogelijkheden te verwachten. Droog telen resulteerde in compactere planten van goede kwaliteit.

Fosfaatanalyses laten zien dat bij verhoging van het fosfaataanbod de opname wel toeneemt maar het versgewicht niet en dat de efficiëntie van deze opname afneemt. Toetsmethoden als 1:1,5 volume extract, PAE en P-AL zijn gebruikt om tot een praktische en betrouwbare P-toets te komen. Met P-AL analyses is de fosfaatvoorraad in potgrond goed vast te stellen. Deze toetsmethode zal verder ontwikkeld moeten worden om de tijdsduur korter te maken.

De onderzoeksresultaten zijn een grote stap voorwaarts richting een strekkings 'soft-sensor', waarbij effecten van o.a. watergift, temperatuurregime (DIF en DROP), fosfaataanbod en lichtspectrum op compactheid geïntegreerd worden.

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
1.1	Context van het onderzoek	1
1.2	Doel van het onderzoek	1
1.3	Fysiologische achtergronden m.b.t. lichtsturing	2
1.3.1	Interactie morfologie, fotosynthese en groei	2
1.3.2	Lichtspectrum en fytochroom status (PSS-waarde).....	3
1.3.3	Verskil tussen kasteelten en plant factory systemen	5
2	Materiaal en methoden.....	7
2.1	Plant materiaal en teeltcondities.....	7
2.2	Belichtingsbehandelingen	8
2.2.1	Basis Lichtbronnen (Zonlicht, SON-T en RB-LEDs).....	8
2.2.2	Simulatie van de VR-verhoging vlak voor zonsondergang	8
2.2.3	Additionele LED-belichting bij zonlicht basis	8
2.3	Belichtingssysteem.....	9
2.3.1	Basis Lichtbronnen	10
2.3.2	Lichtmetingen	10
2.4	Metingen aan groei en morfologie van de planten.....	11
3	Resultaten en Discussie.....	13
3.1	Gerealiseerde belichting (gemeten spectra)	13
3.2	<i>Petunia</i> : Effecten van de spectrale belichting op compactheid.....	16
3.2.1	Effect van basislichtbronnen Zonlicht, SON-T en RB-LEDs.....	16
3.2.2	Effect van SUNSET PSS simulatie bij Zonlicht, SON-T en RB-LEDs	17
3.2.3	Effect van de fractie rood in zonlicht.....	19
3.2.4	Effect op bloeisnelheid bij <i>Petunia</i>	21
3.2.5	Effect op drogestofproductie en -verdeling	21
3.3	<i>Chrysant</i> : Effecten van de spectrale belichting op compactheid	24
3.3.1	Effect van de basislichtbronnen Zonlicht, SON-T en RB-LEDs	24
3.3.2	Effect van verhoging van de fractie rood in zonlicht en EOD behandelingen met LEDs	26
3.3.3	Effect op drogestofproductie en -verdeling	27
4	Conclusies en aanbevelingen	31
5	Literatuur.....	35

1 Introductie

1.1 Context van het onderzoek

Een belangrijk kwaliteitskenmerk van pot- en perkplanten is compactheid. Met name in de winter en het vroege voorjaar kan gebrek aan compactheid optreden, vooral als gevolg van het lage lichtniveau. Telers hebben een aantal methoden tot hun beschikking om compactheid te stimuleren: droog telen, een hoge EC, verschillen in dag/nacht temperatuur (DIF en/of DROP) en bespuiting met groeiregulatoren. Veel van deze maatregelen hebben bijkomende nadelen zoals productieverlies en een lagere homogeniteit. Met name het gebruik van groeiregulatoren blijkt als laatste redmiddel nogal eens noodzakelijk, maar staat in toenemende mate maatschappelijk onder druk. Naar alternatieven wordt gezocht.

Compactheid kan worden gezien als een morfologische eigenschap van planten. Bij het streven naar compactheid speelt daarom sturing van de morfologie een belangrijke rol. Met name beperking van strekkingsgroei van stengels en bladstelen, maar ook het vertakken c.q. het uitlopen van zijstelen kan compactheid bevorderen. Het is bekend dat het spectrum van licht (de kleurensamenstelling) de morfologie van planten kan beïnvloeden. Met de introductie van LEDs in de plantenteelt is het mogelijk geworden om niet alleen de lichtintensiteit te veranderen, maar ook het lichtspectrum. Daarmee bieden LEDs de mogelijkheid om naast het bereiken van productieverhoging (biomassa toename) ook veranderingen in plantvorm te sturen. Potentieel kunnen LEDs dus ook een goed alternatief bieden voor het gebruik van groeiregulatoren om compactheid te bevorderen.

1.2 Doel van het onderzoek

Dit onderzoek is onderdeel van het project “Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie, fase 2” dat beoogt alternatieven te zoeken voor chemische groeiremming. Dit deel van het onderzoek richt zich op de mogelijkheden van sturing op compactheid met behulp van LEDs. De nadruk ligt daarbij niet zozeer op het produceren van direct toepasbare lichtrecepten voor de praktijk, maar op kennisontwikkeling: welke kleursamenstelling zou effectief kunnen zijn bij welke achtergrond omgevingslicht condities? Er is onderzoek gedaan naar de mogelijke effecten van het lichtspectrum op compactheid bij Petunia en Chrysant voor toepassing in kassen (bijbelichting met LEDs gelijktijdig met of na de dagelijkse periode natuurlijk zonlicht), en voor toepassing in plant factory systemen (100% niet natuurlijk licht spectrum met LEDs of SON-T). Voor het onderzoek gericht op toepassing in kassen werd gebruik gemaakt van achtergrondbelichting door zonlichtlampen in klimaatkamers.

1.3 Fysiologische achtergronden m.b.t. lichtsturing

Er zijn een aantal belangrijke kenmerken die een plant een compact uiterlijk geven: voldoende vertakking (zijscheuten) en een beperkte en goed verdeelde lengte van de hoofd- en zijscheuten. Lichtkleur kan via specifieke invloed op een aantal fysiologische processen deze kenmerken van compactheid bij planten beïnvloeden: Het gaat dan met name om strekkingsgroei van stengels en bladeren, het uitlopen van zijscheuten, en het regelen van de assimilatenbeschikbaarheid en -verdeling over de verschillende organen van de bovengrondse plant (zie literatuurstudie Carvalho e.a. 2008, uitgevoerd in opdracht van het Productschap Tuinbouw, projectnr. 12882). Strekkingsgroei is een complex proces, waarbij licht een tweezijdige rol speelt: Naast directe stuureffecten op strekking, die worden aangestuurd via een aantal lichtkleurgevoelige fotoreceptoren (o.a. fytochroom, fototropine en cryptochroom), beïnvloedt licht de groei ook via de fotosynthese. Meer licht geeft meer fotosynthese, meer assimilaten en dus meer potentie voor groei. Er is in de literatuur een veelheid aan fysiologische reacties beschreven waarbij één of meerdere fotoreceptoren de groei en ontwikkeling van planten beïnvloeden. Daarbij spelen interacties tussen verschillende typen fotoreceptoren, diverse hormonen (o.a. auxine, gibbereline en ethyleen) en de interne dagelijkse klok van planten een rol (Whitelam and Halliday, 2007). Bij veel van deze interacties blijkt er een belangrijke rol te zijn weggelegd voor fytochroom. Dit is met name ook het geval bij processen die strekkingsgroei en vormontwikkeling van een plant beïnvloeden.

1.3.1 Interactie morfologie, fotosynthese en groei

“Groei beïnvloedt plantvorm, plantvorm beïnvloedt groei”

Op plantniveau kunnen fotosynthese, morfologische ontwikkeling en groei niet los van elkaar worden gezien: Morfologische ontwikkeling stuurt de groei van een plant naar een driedimensionale plantarchitectuur. De plantarchitectuur beïnvloedt de lichtonderschepping en daarmee fotosynthese en assimilatenproductie op plantniveau. Een compactere plantstructuur gaat daarom meestal samen met een lagere lichtonderschepping en dus met minder fotosynthese op plantniveau, wat weer leidt tot minder groei en biomassa-toename. Op gewasniveau kan dit nog steeds leiden tot dezelfde of een hogere productie per m² door bijvoorbeeld minder en/of later wijder zetten van de planten.

PAR

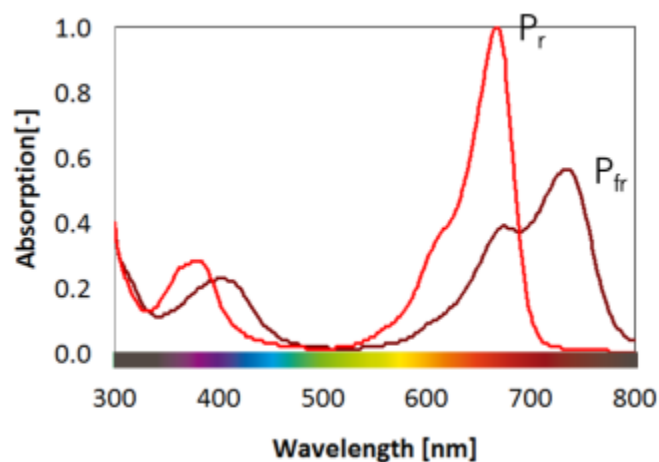
Licht beïnvloedt zowel de groei als de ontwikkeling van planten. Fotosynthetisch actief licht (PAR) heeft een spectrum dat loopt van ca. 400 tot ca. 700 nm: het zichtbare licht. Planten zijn echter ook gevoelig voor licht in het golflengtegebied tussen 720 en 740 nm, het ver-rode licht. Ver-rood (VR) licht is nauwelijks zichtbaar voor het menselijk oog en is niet fotosynthetisch actief. Het wordt nauwelijks geabsorbeerd door bladeren. Het draagt dus niet direct bij aan groei, *althans niet direct via absorptie t.b.v. fotosynthese.*

1.3.2 Lichtspectrum en fytochroom status (PSS-waarde)

Ondanks het verwaarloosbare effect op fotosynthese beïnvloedt VR licht wel in belangrijke mate de vorm en ontwikkeling van planten. De fotoreceptor fytochroom speelt daarbij een belangrijke rol. Er wordt vaak gesteld dat rood licht fytochroom in de biologisch actieve vorm (P_{fr}) brengt terwijl ver-rood licht fytochroom inactieveert (P_r). Het aandeel P_{fr} in de totale hoeveelheid fytochroom in een plant hangt dus sterk af van de absorptie van rood (R) en ver-rood (VR) licht en neemt sterk toe in rood licht en af in ver-rood licht. Het fytochroomevenwicht in een plant en de daarbij behorende morfologische responsen worden daarom vaak gekoppeld aan de R/VR verhouding van het licht waaronder de planten groeien. Uiteindelijk beïnvloedt de verhouding tussen actief en inactief fytochroom een veelheid aan fysiologische processen zoals bijvoorbeeld bloeiïnductie en strekkingsgroei (Li et al. 2003; Hisamatsu et al. 2008).

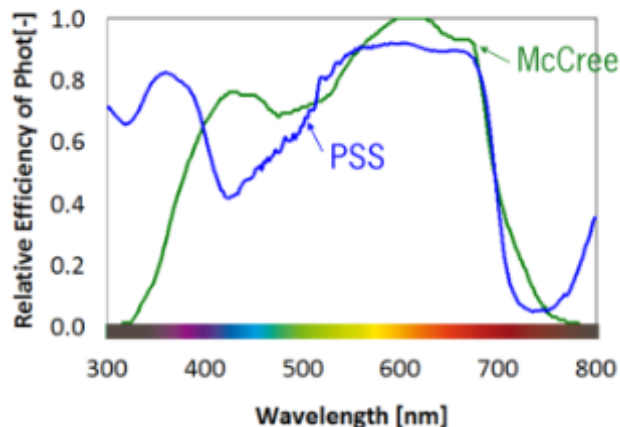
“De fytochroom status in een plant is niet alleen afhankelijk van de R/VR-verhouding van licht: alle lichtkleuren dragen er aan bij. Dit is met name van belang voor toepassen van stuurbelichting in de tuinbouwpraktijk, omdat daar vaak gebruik wordt gemaakt van combinaties van verschillende lichtbronnen met zeer verschillende spectrale samenstellingen, zoals: de zon, SON-T-lampen en verschillende kleuren LEDs”.

Naast R en VR licht hebben ook alle andere kleuren invloed op de status van fytochroom (actief/inactief). Het zijn dus niet alleen rode en ver-rode golflengten licht die de balans tussen actief en inactief fytochroom beïnvloeden, maar alle golflengten in het zichtbare licht doen mee. Uit de absorptiespectra van actief en inactief fytochroom (Fig. 1) blijkt dat blauw licht een vergelijkbaar effect heeft op de verhouding tussen actief en inactief fytochroom als ver-rood licht: net zoals bij ver-rood zal ook bij blauw licht het fytochroom evenwicht verschuiven in de richting van meer inactief fytochroom.



Figuur 1: Globale absorptiespectra van actief fytochroom (P_{fr}) en inactief fytochroom (P_r).

Uit de absorptiekaracteristieken van actief fytochroom (P_{fr}) en inactief fytochroom (P_r) kan over het hele golflengtegebied van zichtbaar licht een waarde voor het aandeel actief fytochroom (P_{fr}) in de totale hoeveelheid fytochroom (P_{totaal}) worden berekend. Dit wordt de PSS (Phytochrome Stationary State) waarde genoemd. Deze PSS-waarde kan per golflengte worden uitgerekend en bijvoorbeeld worden vergeleken met de fotosynthetische efficiëntie bij de zelfde golflengte licht (Fig. 2). Het valt op dat de PSS-waarde met name bij ver-rood licht (720-740 nm) bijzonder laag is, en dat ook bij blauw licht (420-450nm) een aanzienlijke verlaging van de PSS-waarde optreedt. Wanneer de spectrale samenstelling van licht bekend is (bv. door meting met een spectrofotometer) kan ook voor een complete lichtbron een PSS-waarde worden uitgerekend (vermenigvuldiging van de PSS-waarde per golflengte met het spectrum van het licht). Een lage PSS-waarde duidt op relatief weinig actief fytochroom, en een hoge PSS-waarde duidt op relatief veel actief fytochroom. Zonlicht en de in dit onderzoek gebruikte zonlichtlampen geven een hogere PSS-waarde (0,72) dan blauwe LEDs (0,48), maar weer een lagere PSS-waarde dan rode LEDs (ca. 0,90) of een combinatie van rode en blauwe LEDs (80% Rood / 20% Blauw; PSS = 0,89). Uiteraard heeft de exacte golflengte en verhouding tussen rode en blauwe LEDs in de lichtbron hier invloed op.



Figuur 2: *Effect van golflengte op de fotosynthetische efficiëntie (McCree-curve; groen) en het berekende fytochroom evenwicht (uitgedrukt als PSS). Blauw licht heeft een lage PSS-waarde (duidt op relatief weinig actief fytochroom) en een hoge fotosynthetische efficiëntie.*

De PSS-waarde geeft een veel betere waardering aan de lichtkwaliteit van een lichtbron dan een conventionele R/VR-verhouding wanneer het gaat om processen waarbij fytochroom in de plant een rol speelt. Daarnaast is het soms onmogelijk om voor nieuwe lichtbronnen zoals LEDs een R/VR-verhouding te meten of te berekenen, aangezien er vaak helemaal geen rood en/of ver-rood licht wordt uitgezonden, terwijl deze

lichtbronnen de fytochromstatus in een plant wel degelijk ook beïnvloeden. In dit onderzoek zal steeds de PSS-waarde van de gebruikte lichtbronnen worden gegeven als maat voor de te verwachten fytochromstatus in de plant.

1.3.3 Verschil tussen kasteelten en plant factory systemen

Dit onderzoek heeft als doel om vast te stellen of actieve sturing van het lichtspectrum, gebruikt kan worden om compactheid van pot- en perkplanten te bevorderen onder voor de praktijk realistische lichtspectra. Welke lichtspectra realistisch zijn hangt af van het gebruikte teeltsysteem. Globaal kan er onderscheid worden gemaakt tussen teeltsystemen zonder natuurlijk daglicht (plant factory, meerlagenteelt) en teeltsystemen met natuurlijk daglicht (in kassen). In kassen kan de sturing d.m.v. het lichtspectrum (met LEDs) alleen worden toegepast op een achtergrond van natuurlijk zonlicht of additioneel na zonsondergang. Realistische lichtspectra bestaan in dat geval altijd uit een component zonlicht, eventueel gelijktijdig aangevuld met LED-licht of opgevolgd door LED-licht na zonsondergang (of na sluiting van een verduisteringsscherm). In plant factory systemen (telen zonder natuurlijk buitenlicht) is elk spectrum mogelijk en dus realistisch, uiteraard voor zover de omstandigheden en technologie dat toelaten.

In dit onderzoek is breed onderzocht of sturing met het lichtspectrum compactheid kan bevorderen. Er is niet uitgegaan van één specifieke hypothese maar een veelheid aan lichtcombinaties is uitgetest. Al het onderzoek is uitgevoerd in klimaatkamers, zodat de overige klimaatsfactoren (temperatuur, luchtvochtigheid, CO₂ etc.) constant en gelijk tussen de behandelingen waren. Voor de lichtbehandelingen met de lichtcomponent ‘natuurlijk’ zonlicht werd gebruikgemaakt van de recent bij Wageningen Universiteit (tuinbouwketen) ontwikkelde zonlichtlampen. De watergift aan de planten was dusdanig dat er geen groeiremming als gevolg van droogte en/of zoutstress optrad.

2 Materiaal en methoden

2.1 Plant materiaal en teeltcondities

Het onderzoek werd uitgevoerd met twee soorten: Petunia en Chrysant. Chrysant is een korte dag (KD) plant en Petunia een lange dag (LD) plant. Deze soorten zijn gekozen als modelsoorten omdat in dit onderzoek normale bloei werd nagestreefd. Het is aannemelijk dat bepaalde stuurlichtbehandelingen ook de bloeiïnductie van planten beïnvloedt (Van Ieperen *et al.*, 2009) en dat KD en LD planten verschillend reageren. Door gebruik van deze twee modelsoorten kon dit worden gecontroleerd.

Petunia x hybrida cv 'Bravo White' (Syngenta). Petunia zaailingen werden aangeleverd in trays, opgepot in 11 cm potten en onder de lichtbehandelingen geplaatst. Er werden 2 rondes van 6-8 behandelingen uitgevoerd, met herhalingen van enkele, maar niet alle behandelingen in beide rondes. In de eerste ronde werden de opgepotte planten pas na één week in de kas te hebben gestaan onder de belichtingsbehandeling gezet (wegens onvoorziene problemen met de klimaatkamer). Bij de tweede ronde experimenten met Petunia gebeurde dit direct na oppotten.

Chrysanthemum morifolium cv 'Lake Worth' (Fides, De Lier) werden gestoken in 11 cm potten in potgrond (Lentse potgrond BV, onderdeel van Horticoop BV, Katwijk) en beworteld in een kas van Wageningen Universiteit onder hoge RV (>75%) en LD belichting (15 uur). Na ca. 1 week werden de bewortelde en opgepotte stekken overgebracht naar de klimaatkamer en werden de lichtbehandelingen van de betreffende experimenten gestart. Ook hier werden 2 rondes experimenten met verschillende lichtbehandelingen en interne herhalingen uitgevoerd.

Klimaatinstellingen

De ingestelde dag- en nachttemperatuur, luchtvochtigheid en CO₂ concentratie waren gelijk in alle belichtingsbehandelingen en werden bepaald door de instellingen van de klimaatkamer waarin de experimenten werden uitgevoerd: 21°C/19°C dag/nacht temperatuur, 65% RV en een CO₂-concentratie van ca. 400 μmol.mol⁻¹.

Water- en voedingsgift

De planten kregen om de dag een standaard voedingsoplossing met lage EC. Bij Petunia gebeurde dit met de hand, bij chrysant met een eb- en vloed systeem. Beide teelten kunnen als 'nat' worden gekarakteriseerd.

2.2 Belichtingsbehandelingen

De belichtingsbehandelingen hadden als doel het effect van het spectrum op compactheid zichtbaar te maken, los van het mogelijke effect van variaties in lichtintensiteit en andere klimaatfactoren. Bij alle belichtingsbehandelingen werd daarom de totale lichtintensiteit en lichtsom ter hoogte van de top van de meetplanten hetzelfde gehouden ($100 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Globaal kunnen de belichtingsbehandelingen worden opgedeeld in een aantal belangrijke groepen:

2.2.1 Basis Lichtbronnen (Zonlicht, SON-T en RB-LEDs)

In de eerste groep behandelingen werden de effecten van een aantal basislichtbronnen op compactheid bekeken. Dit is met name relevant voor teeltsystemen zonder natuurlijk zonlicht als achtergrondbelichting (zoals bij plant factory systemen en meerlagenteelten). In deze groep werd gekeken naar de effecten van Zonlicht, SON-T en rood-blauwe (RB)-LEDs (80/20) op compactheid bij Petunia en Chrysant.

2.2.2 Simulatie van de VR-verhoging vlak voor zonsondergang

Er zijn in de literatuur aanwijzingen dat de specifieke toename van ver-rood (VR) in het natuurlijk licht vlak voor zonsondergang strekking bevordert (o.a. Blom *et al.*, 1995). Daarom werd onderzocht of een tijdelijke verhoging van het aandeel VR in het lichtspectrum aan het einde van de lichtperiode invloed heeft op de compactheid. De mate van VR verhoging werd gebaseerd op metingen van het lichtspectrum van natuurlijk licht vlak voor zonsondergang. Voor dit specifieke lichtspectrum kan vervolgens een PSS-waarde worden berekend. Deze PSS-waarde werd gedurende de laatste 30 minuten van iedere lichtperiode gerealiseerd m.b.v. extra VR-LEDs, zonder de lichtintensiteit te verlagen. Deze behandeling wordt in het vervolg de ‘SUNSET PSS simulatie’ genoemd. Het effect van deze SUNSET PSS simulatie op compactheid is onderzocht bij Petunia bij dagelijkse belichting met alle in dit onderzoek gebruikte basislichtbronnen (Zonlicht, SON-T en RB-LEDs). De resultaten van deze behandeling zijn met name relevant voor kasteelten, waar deze natuurlijke VR verhoging dagelijks voorkomt en beïnvloed kan worden door schermen of bijbelichting met LEDs.

2.2.3 Additionele LED-belichting bij zonlicht basis

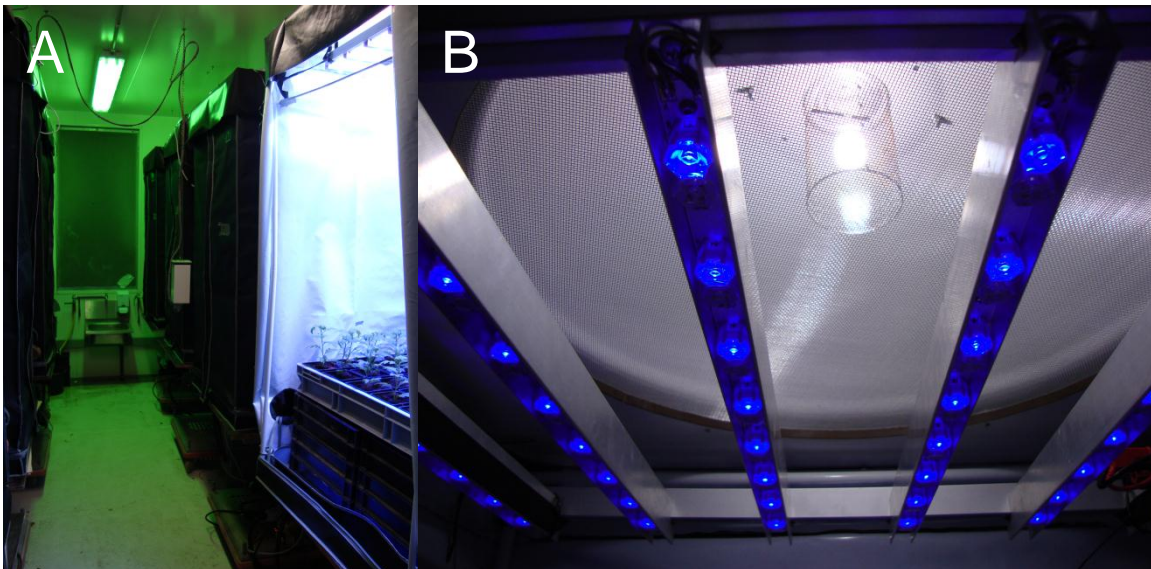
In de laatste groep behandelingen werd met name het effect van modificaties van het zonlichtspectrum met LEDs, en additionele belichting met LEDs na een periode zonlicht op compactheid onderzocht. Hierbij is gekeken naar verschillende percentages rood in het zonlichtspectrum, omdat uit een vergelijking van de resultaten bij de verschillende basislichtbronnen (groep 1) bleek dat lichtbronnen met een hoger percentage rood de compactheid bij Petunia bevorderden. Vanwege het grote aantal verschillende

behandelingen wordt de exacte belichtingsreceptuur gegeven bij de bespreking van de resultaten.

2.3 Belichtingssysteem

De lichtbehandelingen werden gerealiseerd in een klimaatkamer met 8 aparte lichtdichte subunits (oppervlak 80x80cm) met onafhankelijk regelbare belichting (Fig. 3). Iedere subunit was voorzien van een actief ventilatiesysteem om het klimaat in de subunit gelijk te houden aan de klimaatkamer. In alle belichtingsunits bevond zich onder alle lichtbronnen een warmtestraling werende folie (dielectric multilayer film; Sonneveld et al. 2008) om de warmtestraling van de lichtbronnen zoveel mogelijk buiten het teeltcompartiment te houden. De boven het folie geproduceerde warmte (straling > 900 nm) werd afgevoerd d.m.v. actieve ventilatie.

In alle experimenten werd de plantdichtheid in de belichtingsunits wekelijks aangepast zodat planten elkaar niet beschaduwden. De 8-12 middelste planten in een subunit werden gebruikt als meetplanten, de rest als rand rij. Het lichtklimaat van deze 8-12 planten was homogeen (afwijkingen < 5% per positie). Om homogene blootstelling aan het spectrum nog verder te bevorderen werden de 12 middelste meetplanten 2 maal per week van positie gewisseld. Statistisch werden deze meetplanten beschouwd als experimentele eenheden, en verschillende sub-units per belichtingsbehandeling als blokken. Een aantal, maar niet alle lichtbehandelingen werden in de tijd herhaald.



Figuur 3. (A) Klimaatcel met 8 belichtingsunits. (B) detail combinatie belichting zonlichtlamp met blauwe LEDs.

Lichtintensiteit en lichtsom

In iedere belichtingsbehandeling werd de totale lichtintensiteit ter hoogte van de top van de meetplanten op $100 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gehouden. Bij vrijwel alle behandelingen werd een vaste belichtingsduur aangehouden. Deze was 11 uur bij Chrysant (KD) en 16 uur bij Petunia (LD). Tijdens de experimenten werd de lichtintensiteit (PAR) regelmatig gemeten. De spectrale samenstelling van de belichting werd voor elk experiment doorgemeten met een spectrofotometer.

2.3.1 Basis Lichtbronnen

Voor de belichting werd gebruik gemaakt van een aantal verschillende basis lichtbronnen die in verschillende combinaties werden gebruikt:

Zonlichtlampen

De zonlichtlampen waren gebaseerd op 1300 W microwave-driven plasmalampen (PI-VL1, Plasma International, Germany) voorzien van een speciale lichtbol.

SON-T

Voor de SON-T belichting werd gebruik gemaakt van een 400W hoge druk natrium lamp, 230V, Hortilux Schröder HS2000, Hortilux Schröder Monster, Nederland. Om de lichtintensiteit te dimmen tot de gewenste $100 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ werd gebruik gemaakt van repen conventioneel schermdoek.

LEDs

Er werd gebruik gemaakt van door Wageningen Universiteit geproduceerde LED-arrays voorzien van rode (R; 638 nm) en blauwe (B; 450 nm) LEDs (Lumileds Lighting Company, San Jose, CA, USA) met speciale 6° lenzen. De LED-arrays hingen ca. 1 m boven het gewas, onder de plasmalampen, maar boven het warmtestraling werende folie (Fig. 3B). Indien nodig werd additioneel gebruik gemaakt van commercieel verkrijgbare ver-rode LED modules (733 nm, Philips, Greenpower LED modules HF, Philips Eindhoven, The Netherlands).

2.3.2 Lichtmetingen

De lichtintensiteit (Photosynthetic Photon Flux Density; PPF) in het PAR gebied werd routinematig gecontroleerd met een quantum sensor (LI-190; LI-COR, Lincoln, NE, USA). Het lichtspectrum van de verschillende lichtbronnen en combinaties van lichtbronnen werd gemeten met een spectroradiometer (USB4000, Ocean Optics, Dunedin, FL, USA) in combinatie, met zelf ontwikkelde software (SPECpss, Wageningen University, The Netherlands).

2.4 Metingen aan groei en morfologie van de planten

Om de compactheid te kwantificeren zijn metingen aan morfologische eigenschappen zoals planthoogte, aantal zijscheuten, aantal bladeren (en internodia) per zijscheut, bladoppervlakte en zijscheutlengte gedaan. Daarnaast werden droog- en versgewichten van alle bovengrondse delen per zijscheut gemeten (drooggewicht na 48 uur drogen bij 105°C) en de drogestofverdeling over de bovengrondse plantendelen bepaald. Planten werden visueel beoordeeld door leden van de begeleidingscommissie.

Berekeningen en statistiek

Statistische analyses (ANOVA) werden uitgevoerd met Genstat (release 9.2, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, UK). Behandelingsverschillen werden getoetst ($P=0.05$) m.b.v. Fisher's protected LSD. Voor waarnemingen die niet normaal verdeeld waren (zoals bijv. het aantal bloemknoppen per plant) werd de Kruskal-Wallis toets gebruikt.

3 Resultaten en Discussie

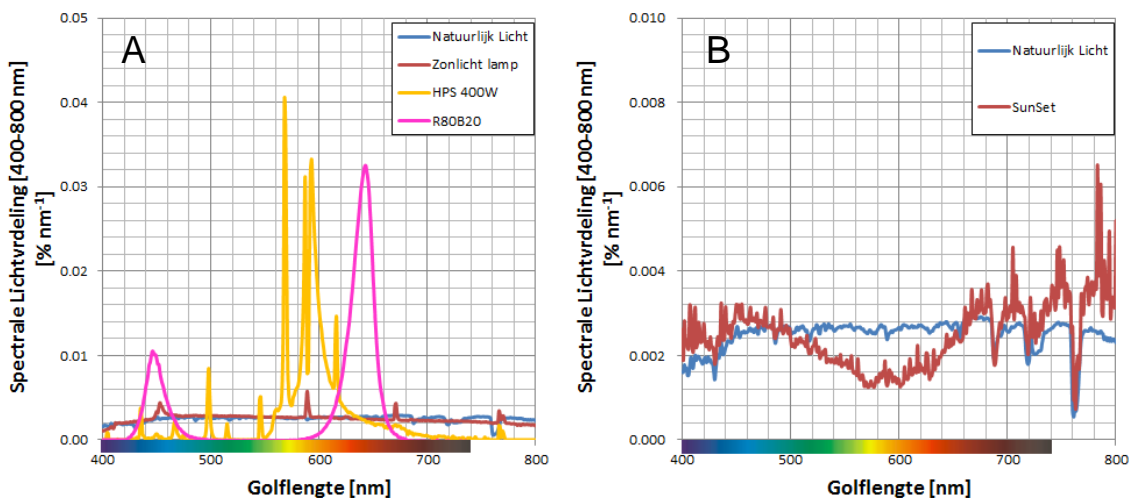
3.1 Gerealiseerde belichting (gemeten spectra)

Basis lichtbronnen: Zonlicht, SON-T en Rood/Blauwe LEDs

Figuur 4 toont de spectrale lichtverdeling van de gebruikte lichtbronnen in vergelijking met het natuurlijk zonlicht spectrum (A) en specifieke veranderingen in het natuurlijke zonlicht spectrum, net voor zonsondergang (B). In vergelijking met natuurlijk zonlicht produceert de SON-T lamp een relatief rood spectrum. Hetzelfde geldt voor de rood-blauwe (80/20) LED-belichting. Opvallend zijn de verschillen in het golflengtegebied tussen de 700 en 800 nm (geen PAR en vrijwel onzichtbaar voor het menselijk oog): in dit infrarode (ver-rode) gebied produceert alleen de zonlichtlamp een vergelijkbare hoeveelheid straling als natuurlijk zonlicht.

De spectrale verschillen tussen de lichtbronnen leiden tot grote verschillen in de berekende status van fytochroom in de plant (PSS-waarde).

Het berekende fytochroomevenwicht (PSS-waarde) bij de gebruikte lichtbronnen loopt op van 0,72 voor de zonlichtlamp naar 0,87 voor SON-T en 0,89 voor de RB-LEDs. Zowel de RB-LEDs als de SON-T lampen produceren een relatief rood spectrum dat fytochroom sterk activeert in vergelijking met de zonlichtlamp. Het uitdrukken van de belichtingsspectra in R/VR verhouding is zinloos omdat dit voor de op LEDs gebaseerde lichtbron onmogelijk is (geen VR licht aanwezig) en bovendien een misleidend beeld over de verhouding actief/inactief fytochroom geeft.



Figuur 4: (A) *Spectrale lichtverdeling van de basisbelichting (RB-LEDs, HPS (SON-T) en de zonlichtlamp), vergeleken met natuurlijk zonlicht tussen 400 en 800 nm.* (B) *Spectrale lichtverdeling van zonlicht om 12:00 uur en een aantal minuten voor zonsondergang (SUNSET), gemeten op een heldere voorjaarsdag in Wageningen.*

Figuur 4B toont een meting van het zonlichtspectrum midden op de dag en vlak voor zonsondergang op een heldere dag in het voorjaar in Wageningen. De intensiteiten midden op de dag en vlak voor zonsondergang zijn uiteraard sterk verschillend. De lichtintensiteit vlak voor zonsondergang is erg laag ($< 10 \mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Dit verklaart de sterkere ruis in het meetsignaal. De sterke dalen in het zonlichtspectrum zijn absorptielijnen van bepaalde gassen in de atmosfeer (o.a. van O_2). De verschuiving naar een meer VR en meer blauw spectrum tijdens zonsondergang is goed te zien. De berekende PSS-waarde van natuurlijk zonlicht tijdens ca. 15 minuten voor zonsondergang is 0,66.

SUNSET PSS simulatie op een basis van Zonlicht, SON-T of Rood/Blauwe LEDs

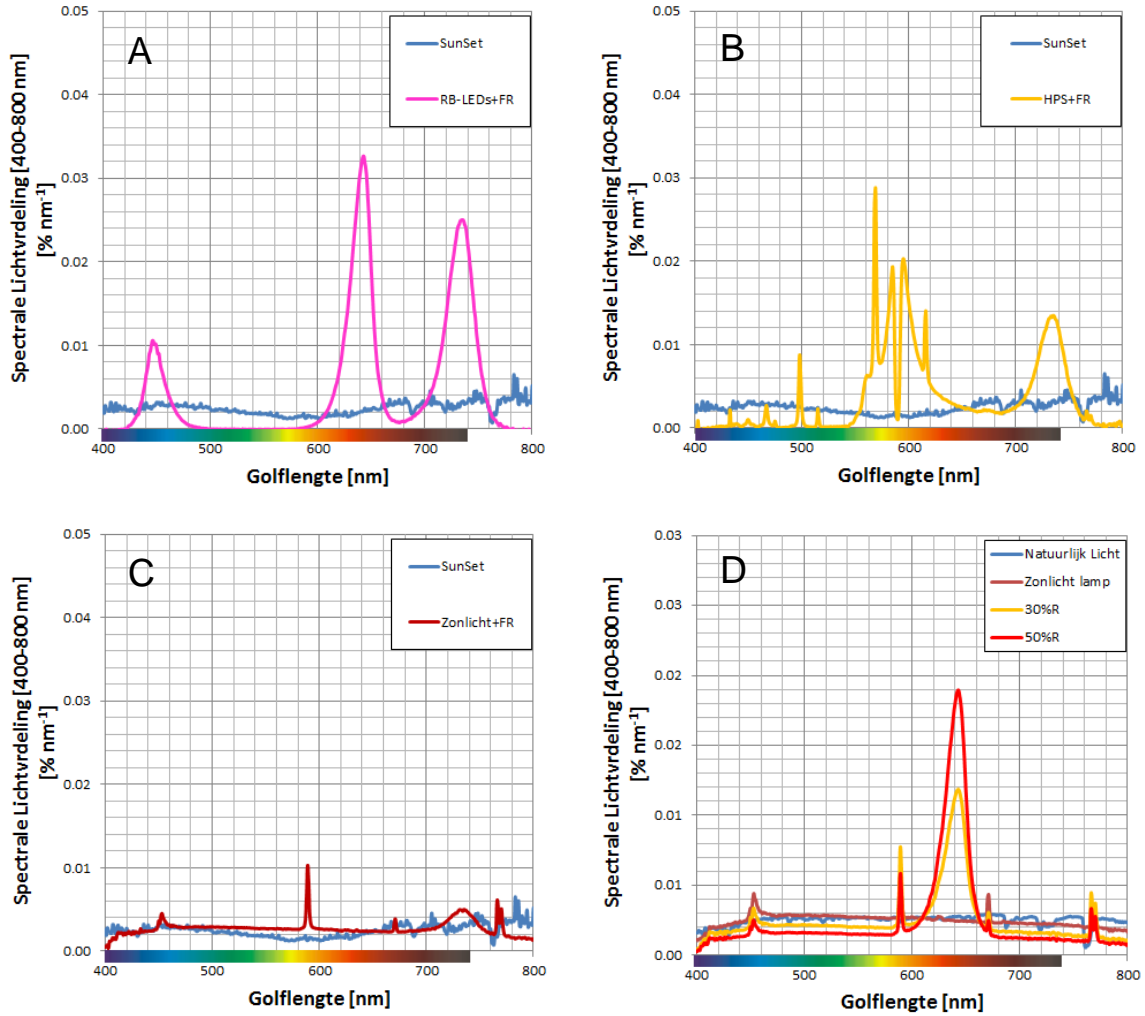
De PSS-waarde van het gemeten zonlichtspectrum tijdens zonsondergang (0,66) is gebruikt als 'standaard' fytochroom evenwicht voor het realiseren van een 30 minuten durende 'SUNSET PSS' behandeling. Daarbij werd de PAR van de belichting op $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ gehouden en werd de PSS gedurende 30 minuten verlaagd tot een PSS van 0,66 bij alle drie de basislampen (zonlicht, RB-LEDs en SON-T). Deze tijdelijke verlaging van de PSS-waarde werd gerealiseerd m.b.v. additioneel VR (ver-rode) LEDs (Fig. 5ABC). Om dit te realiseren werd er bij de zonlicht, SON-T en RB-LED lampen respectievelijk 13, 47 en $90 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ VR licht bijgemengd. Dit is duidelijk zichtbaar als een grote, middel en kleine piek in het overall spectrum bij 733 nm bij respectievelijk RB-LEDs, SON-T en de zonlichtlamp.

Rood verhoging op een basis van Zonlicht, SON-T of Rood/Blauwe LEDs

Figuur 5D toont de spectrale lichtverdeling van de behandelingen waarbij het zonlichtspectrum werd verrijkt met rood LED licht (0, 30 en $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ rode LEDs van in totaal $100 \mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). De PSS-waarden van deze behandelingen waren respectievelijk 0,72, 0,79 en 0,83.

Overige lichtbehandelingen

Aan de overige behandelingen kan vaak geen eenduidige PSS-waarde worden toegekend, omdat het lichtspectrum varieerde tijdens de lichtperiode.



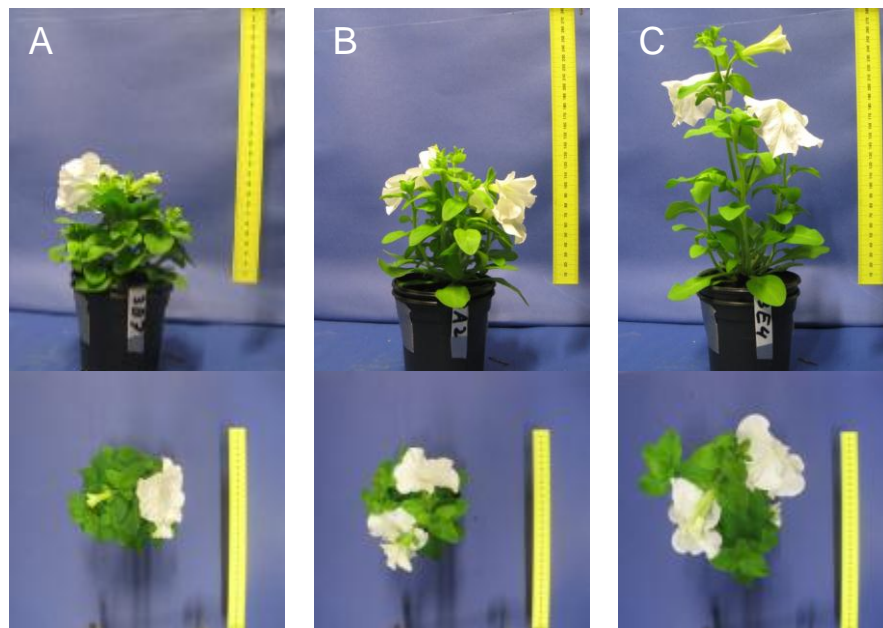
Figuur 5: (ABC) Spectrale licht verdeling van de basis belichting + ver-rood tijdens EOD-FR behandelingen met RB-LEDs, SON-T en de zonlichtlamp. De PSS-waarde is in alle 3 gevallen 0,66 (gelijk aan de PSS net voor zonsondergang). (D) Spectrale lichtverdeling bij verschillende percentages R-LEDs op een basis zonlichtspectrum. De PSS-waarde varieert van 0,72 (zonlicht) naar 0,79 (30% R) en 0,83 (50% R)

3.2 *Petunia*: Effecten van de spectrale belichting op compactheid

3.2.1 Effect van basislichtbronnen Zonlicht, SON-T en RB-LEDs

Visueel

Ondanks de bijzonder natte teelt (hoog watergehalte in de pot), de lage EC van het irrigatie water (geen osmotische waterstress en groeireductie) en het niet gebruiken van chemische groeiremmers bleek het goed mogelijk om compacte *Petunia*'s te telen onder een relatief lage lichtintensiteit. Bij dezelfde lichtintensiteit ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en belichtingsduur (16 uur) leverde opkweken onder RB-LEDs, en in iets mindere mate ook onder SON-T veel compactere planten op dan planten die groeiden onder een zonlichtspectrum (Fig. 6). De verschillen tussen SON-T en LEDs zijn niet erg groot, maar wel statistisch significant. Experts uit de begeleidingscommissie beoordeelden de kwaliteit van de meest compacte *Petunia*'s (RB-LEDs) als zeer goed.



RB-LED lamp

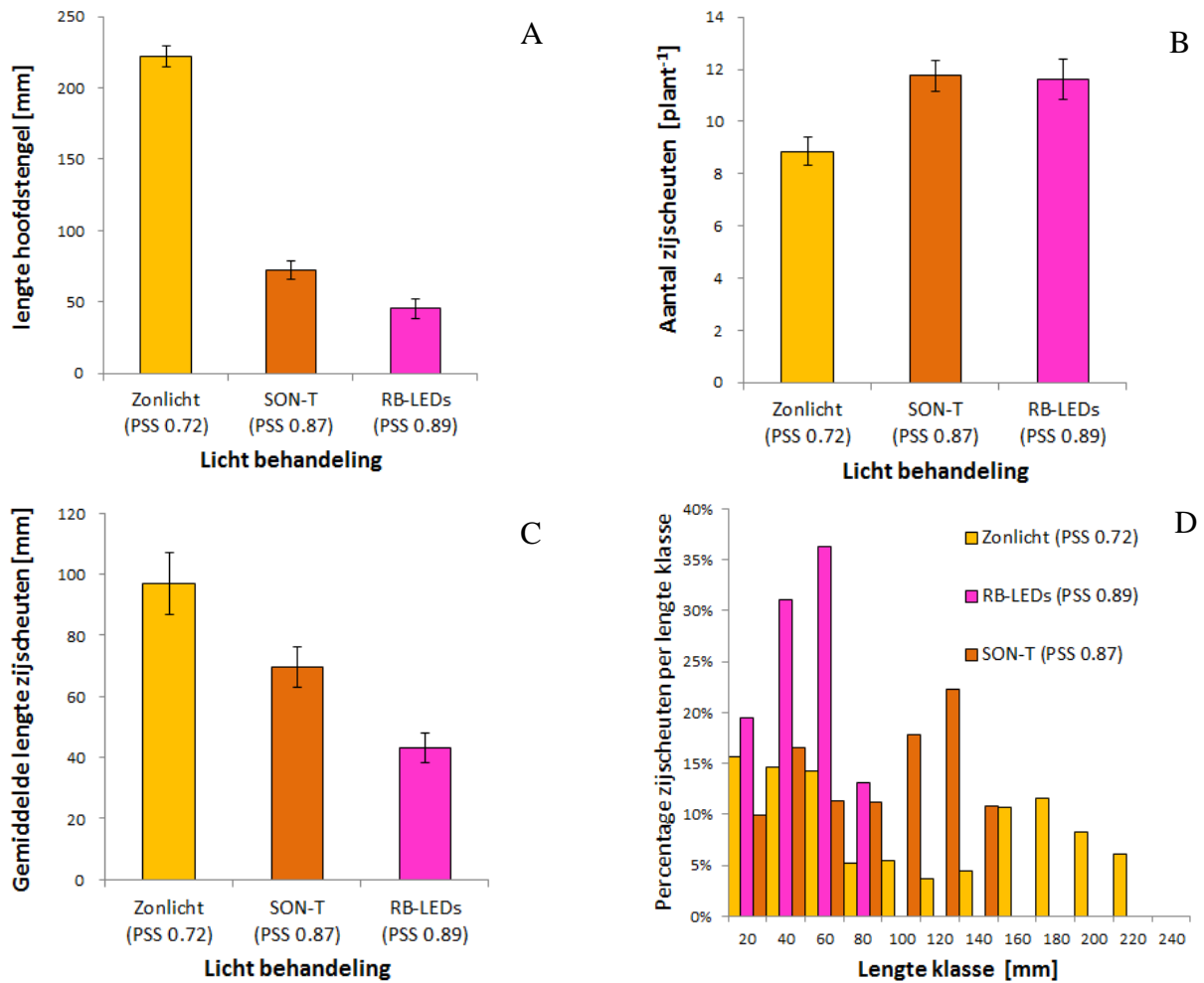
SON-T lamp

Zonlicht lamp

Figuur 6: Zij- en bovenaanzicht van *Petunia* planten geteeld onder $100 \mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 80/20 RB-LED licht (A), SON-T (B) en kunstmatig zonlicht (C).

Kwantitatief

Kwantitatief bleek de grotere compactheid van de *Petunia* planten onder RB-LEDs en in iets mindere mate onder SON-T (in vergelijking met zonlichtlampen) te worden veroorzaakt door een kortere hoofdstengel en door een groter aantal, maar kortere zijscheuten per plant (Fig. 7ABC). Planten onder een zonlicht spectrum waren niet alleen veel langer maar hadden ook zijscheuten die sterker varieerden in lengte (Fig. 7D).



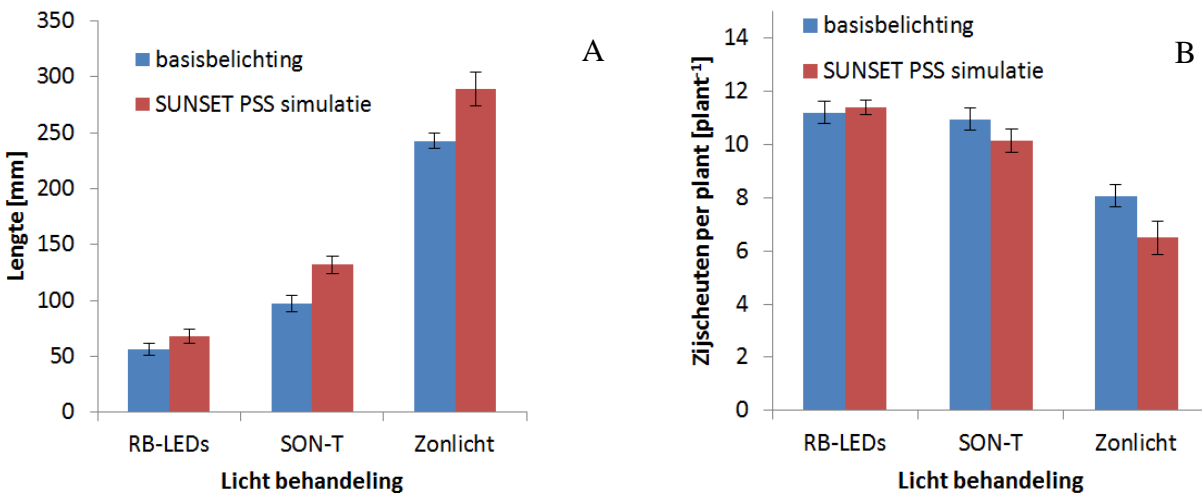
Figuur 7: *Morfologische eigenschappen van Petunia's geteeld onder verschillende lichtbronnen (Zonlichtlamp, SON-T en RB-LEDs (80/20)). De PSS-waarde is een maat voor het berekende fytochromevenwicht in de planten. A: Lengte van de hoofdstengel, B: aantal zij scheuten en C: gemiddelde lengte van de zij scheuten, en het percentage zij scheuten per lengteklasse (D).*

Zowel de lengte (gereduceerd) als de mate van vertakking (meer zij scheuten) bleken bij SON-T en RB-LEDs positief beïnvloed t.o.v. natuurlijk licht wanneer dit wordt beoordeeld in het kader van compactheid.

3.2.2 Effect van SUNSET PSS simulatie bij Zonlicht, SON-T en RB-LEDs

Tijdens zonsondergang treden aanzienlijke verschuivingen op in het natuurlijke licht spectrum die de strekkingsgroei van planten beïnvloeden. Vlak voor zonsondergang nemen met name het aandeel blauw en verrood in het lightspectrum aanzienlijk toe (Fig. 4D). Theoretisch zou dit een sterke verandering van de fytochroom status (verlaging van

het aandeel actief fytochroom) in de plant kunnen veroorzaken. Bij lelie is aangetoond dat het wegschermen van het ‘zonsondergangslicht’ in kassen leidt tot een geringere strekking van de planten (Blom *et al.*, 1995), bij chrysant echter bleek dit in kassen niet het geval te zijn (Mortensen en Moe, 1992), maar in een klimaatkamer simulatie onder SON-T basislicht met een EOD R-VR LED behandeling *na de basisbelichting* weer wel (Lund *et al.*, 2007). Omdat planten in een kas onder natuurlijk licht normaal gesproken ook worden blootgesteld aan deze specifieke spectrale veranderingen tijdens zonsondergang is onderzocht of kortdurend induceren van een dergelijke verandering van de fytochroom status aan het einde van de lichtperiode effect heeft op compactheid bij Petunia. Allereerst werd de PSS-waarde van natuurlijk licht vlak voor zonsondergang gemeten (Fig. 4B). De PSS-waarde van natuurlijk zonlicht bleek tijdens zonsondergang te dalen tot 0,66. Vervolgens werd met alle basislichtbronnen een extra behandeling uitgevoerd waarbij de PSS-waarde gedurende de laatste 30 minuten van de lichtperiode werd verlaagd tot 0,66 (SUNSET PSS) bij gelijkblijvende PAR ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Dit werd gerealiseerd met VR-LEDs. Bij alle basis lichtbronnen bleek het simuleren van een half uur PSS-verlaging naar 0,66 (SUNSET PSS) inderdaad te leiden tot iets langere planten (Fig. 8A). Het effect was echter niet erg groot.



Figuur 8: Het effect van verschillende basislichtspectra en van de SUNSET PSS belichting per lichtbron op de lengte van de hoofdstengel (A) en het aantal zijscheuten per plant (B).

Bij SON-T en zonlicht trad ook een daling van het aantal zijscheuten per plant op (Fig. 8B). Zowel de langere planten als de verlaging van het aantal zijscheuten verminderen de compactheid.

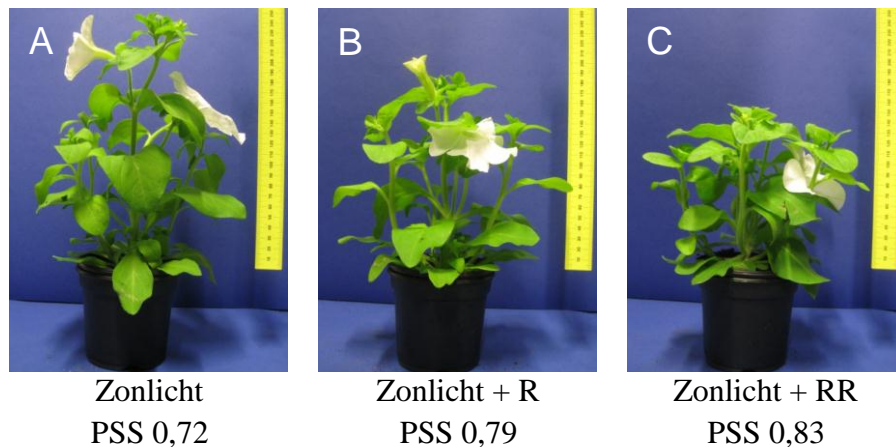
De effecten van de SUNSET PSS simulatie op compactheid waren beperkt zichtbaar, maar statistisch wel significant. De optredende verschillen waren kwantitatief veel kleiner

dan de verschillen in compactheid die optraden bij de verschillende lichtspectra van de basislichtbronnen. Beïnvloeding van het fytochromevenwicht tijdens de periode net voor de nacht i.p.v. spectrale sturing tijdens de hele lichtperiode lijkt daarom een minder kansrijke strategie bij het sturen op meer compactheid.

3.2.3 Effect van de fractie rood in zonlicht

Visueel

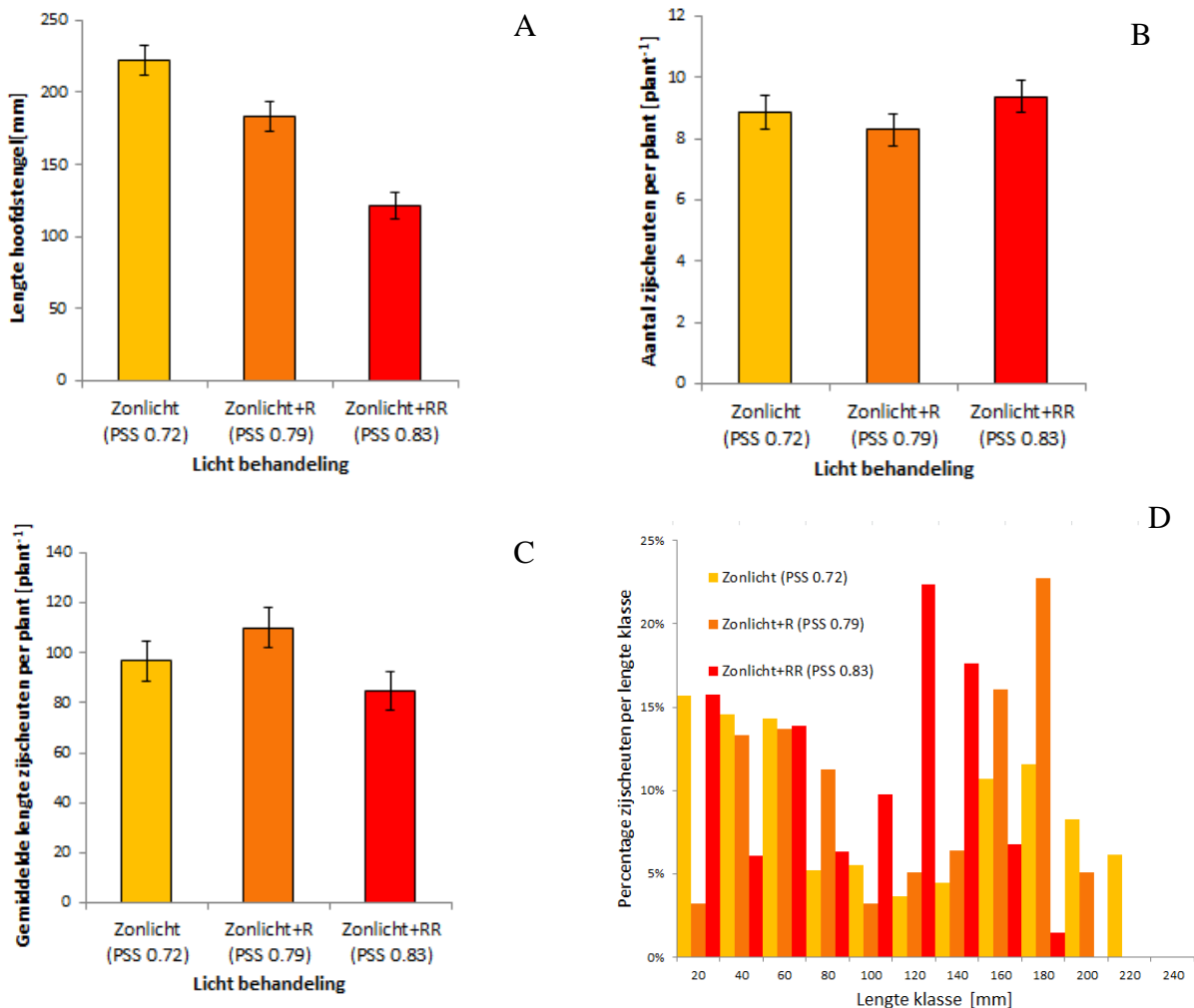
Uit de vergelijking van de basislichtbronnen zonlicht, SON-T en RB-LEDs blijkt dat belichten met lichtbronnen met minder VR en relatief meer R in het spectrum (RB-LEDs en SON-T) compactere planten opleverde dan zonlicht (Fig. 4, 6 en 7). Minder VR in het spectrum resulteert in een hogere PSS-waarde wat staat voor relatief meer actief fytochroom in de plant. Een hogere PSS-waarde kan ook geïnduceerd worden met een hogere fractie rood licht in het lichtspectrum. Het induceren van een roder spectrum is ook mogelijk op een zonlicht achtergrond, zoals normaal het geval zal zijn in een kasteelt. Daarom is het effect van bijbelichting met rode LEDs op compactheid onderzocht bij een achtergrond zonlichtspectrum. De totale lichtintensiteit ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) werd weer gelijk gehouden. Er waren relatief hoge fracties rood (30% en 50% R-LEDs) nodig om ‘beperkte’ variatie in PSS-waarde te realiseren (in vergelijking met de variatie die optreedt tussen de verschillende basis lichtbronnen). Een roder spectrum op een basis spectrum zonlicht bevorderde de compactheid bij *Petunia* aanzienlijk (Fig. 8), maar de verschillen waren aanzienlijk minder dan tussen de verschillende basislichtbronnen (vgl. Fig. 6). Dit lijkt te correleren met de geringere variatie in PSS waarde.



Figuur 8: Het zijaanzicht van *Petunia* planten, geteeld onder een toenemende hoeveelheid rood licht (0, 30 en $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ R-LED in een totaal van $100 \mu\text{mol PAR m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) in het natuurlijke zonlicht spectrum. Toenemend rood op een zonlichtspectrum bevordert de compactheid aanzienlijk.

Kwantitatief

De toegenomen compactheid bij een toenemend rood spectrum werd vooral veroorzaakt door grote verschillen in lengte van de hoofdstengel (Fig. 9). Het aantal zij scheuten en de gemiddelde lengte van de zij scheuten vertoonden geen statistisch significante verschillen tussen de zonlichtspectra met verschillende fracties rood (Fig. 9B en C). Omdat de visuele compactheid wel lijkt te zijn beïnvloed lijken de parameters ‘aantal zij scheuten’ en ‘gemiddelde lengte van de zij scheuten’ geen goede maat voor compactheid. Dit is logisch wanneer men zich realiseert dat veel korte en maar een paar lange zij scheuten een lage gemiddelde lengte kan opleveren, terwijl dit type planten visueel zeker niet als compact zal worden gewaardeerd. Daarom is een andere kwantitatieve beoordeling nodig: een voorbeeld daarvan is de ‘lengtedistributie van de zij scheuten (aantal zij scheuten per lengte klasse; Fig. 9D vgl Fig. 6D)’.



Figuur 9: *Morfologische eigenschappen van Petunia's geteeld onder zonlicht met verschillende rood fracties (0, 30 en 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ R-LED in een totaal van 100 $\mu\text{mol PAR m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) op een basiszonlicht spectrum. Lengte van de hoofdstengel (A), aantal (B) en gemiddelde lengte (C) van de zij scheuten, en het percentage scheuten per lengteklasse (D).*

Deze ‘lengtedistributie van de zijscheuten’ laat zien dat een toename van het aandeel rood in het zonlichtspectrum leidt tot relatief minder lange scheuten en meer scheuten van gemiddelde lengte (Fig. 9D). Het zijn in dit geval met name de zijscheuten > 40 mm die negatief invloed hebben op compactheid, en daar zijn er minder van per plant bij toenemend percentage rood in het lichtspectrum.

3.2.4 Effect op bloeisnelheid bij *Petunia*

Tijdens de eind oogst van het eerste experiment werd er een iets lager aantal geopende bloemknoppen geteld bij de lichtbehandelingen RB-LEDs en SON-T dan bij kunstmatig zonlicht. Het aantal ongeopende bloemknoppen was niet verschillend tussen de behandelingen (Tabel 1). Eenzelfde tendens werd gevonden in de latere herhaling van het experiment, waarbij moet worden opgemerkt dat deze planten minder ver ontwikkeld waren doordat dit experiment werd gestart met jonger plantmateriaal. Een mogelijke verklaring voor de iets snellere ontwikkeling van de planten onder de zonlichtlampen zou een iets hoger gerealiseerde temperatuur in deze belichtingssubunits kunnen zijn geweest. Indicatieve metingen van de bladtemperatuur met thermokoppels wijzen op een mogelijk temperatuursverschil tot ca. 1 °C tussen de belichtingsbehandelingen.

Tabel 1: Effect van verschillende lichtbronnen op het aantal geopende en ongeopende bloemknoppen per plant.

Treatment	Experiment 1		Experiment 2	
	Open bloemenknoppen (plant ⁻¹)	Bloemknoppen > 20 mm (plant ⁻¹)	Open bloemenknoppen (plant ⁻¹)	Bloemknoppen > 20 mm (plant ⁻¹)
RB-LED	2,3a*	2,8a	0,4a	0,1a
SON-T lamp	2,0a	2,3a	0,4a	0,6a
Zonlicht lamp	4,1a	2,3a	1,3b	1,0b

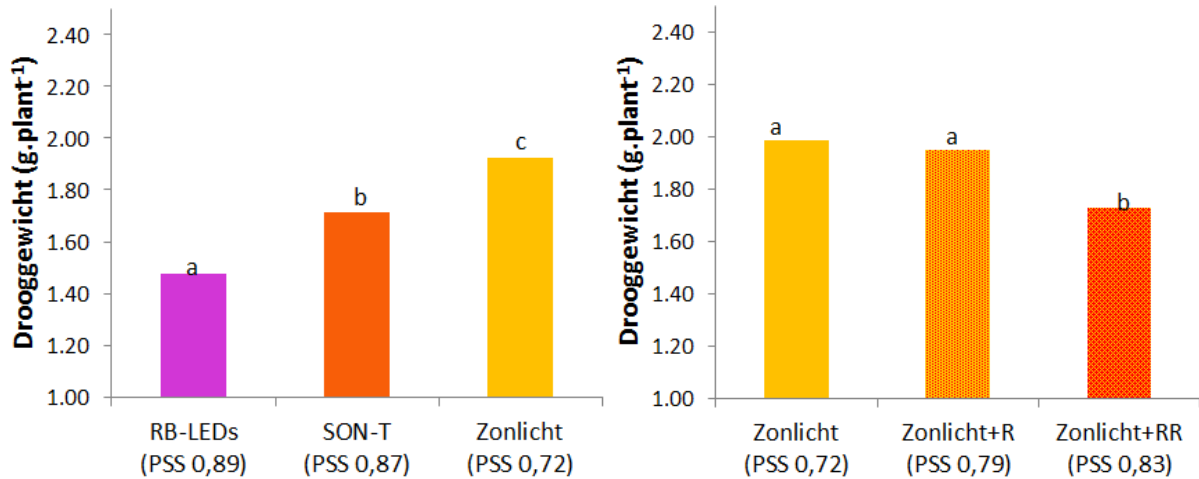
* verschillende letters in een kolom geven statistisch significante verschillen aan ($P = 0,05$; *non-parametric* Kruskal-Wallis toets).

3.2.5 Effect op drogestofproductie en -verdeling

Drogestofproductie

De effecten van de verschillende basislichtbronnen op totale drogestofproductie (Fig. 10) waren aanzienlijk en, zoals verwacht, negatief gecorreleerd aan de compactheid. Gemiddeld was de hoeveelheid drogestof per plant bij RB-LEDs een kwart lager dan bij

zonlicht (Fig. 10A). Ook een toenemende fractie rood in het spectrum leidde tot minder drogestof (Fig. 10B). Deze resultaten zijn niet verwonderlijk omdat met toenemende compactheid de lichtonderschepping per plant afnam en daarmee de plantfotosynthese en groei.

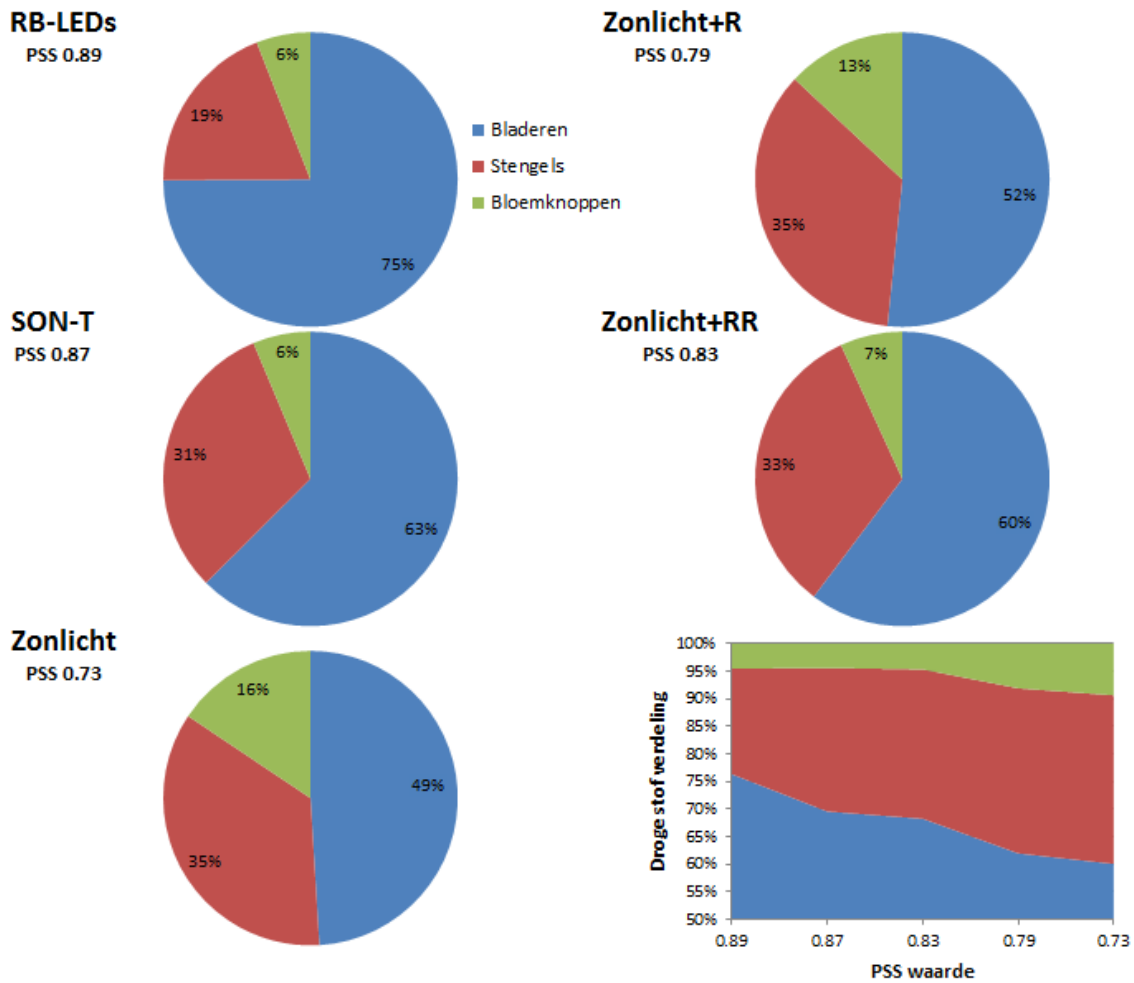


Figuur 10: Drooggewichten van 23 dagen oude *Petunia* planten opgekweekt onder verschillende basislichtbronnen (A) en onder zonlicht met verschillende fracties rood licht (B).

Drogestofverdeling

De drogestofverdeling tussen de bovengrondse plantendelen bleek aanzienlijk te verschillen tussen de belichtingsstrategieën (Fig. 11). Er bleek aanzienlijk meer drogestof naar de stengels te gaan en minder naar de bladeren in planten onder zonlicht dan onder SON-T en RB-LEDs. Deze verdeling is in overeenstemming met de verschillen in compactheid: meer drogestof naar de stengels kan minder compacte planten opleveren, wanneer deze drogestof ook heeft geleid tot meer lengtegroei. Een zelfde tendens werd gevonden voor de *Petunia* planten die groeiden onder zonlicht met verschillende fracties rood licht.

In het algemeen lijkt de drogestofverdeling tussen bladeren, stengels en bloemknoppen een duidelijke correlatie te vertonen met de PSS-waarde van de lichtbron, ook wanneer de vergeleken lichtspectra verder flink van elkaar verschillen. Hoewel er een duidelijke correlatie is tussen de PSS-waarde en de drogestofverdeling is het niet uitgesloten dat ook andere fotoreceptoren dan fytochroom betrokken zijn bij een eventuele regulatie van de drogestofverdeling over de bovengrondse plantendelen.



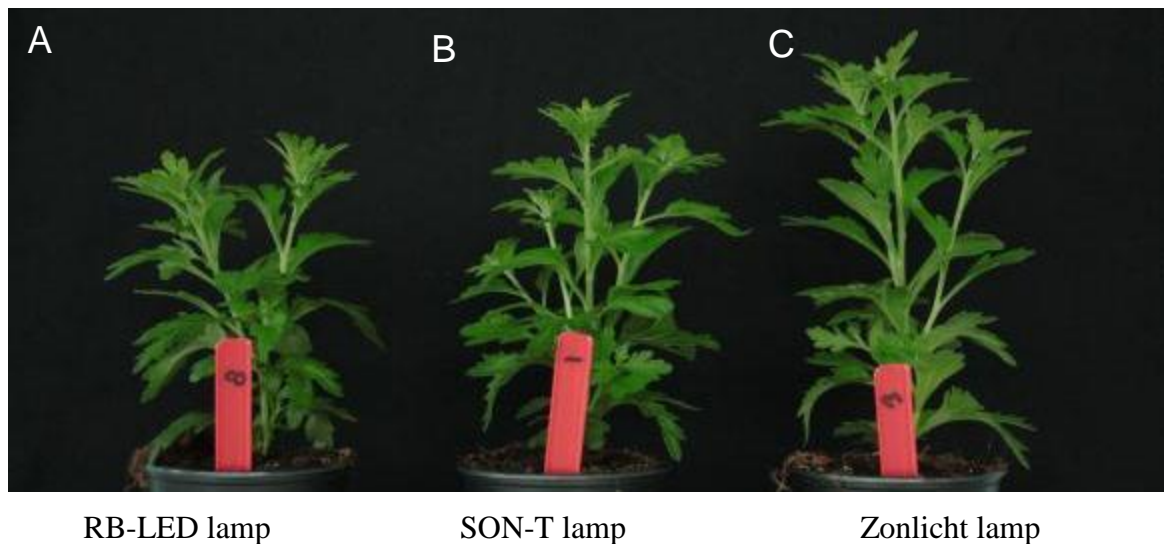
Figuur 11: Drogestofverdeling over de bovengrondse delen van 23 dagen oude *Petunia* planten opgekweekt onder verschillende basislichtbronnen en onder zonlicht met verschillende fracties rood licht. De subfiguur rechtsonder toont de relatie tussen de berekende fytochroom status (hogere PSS-waarde, relatief meer actief fytochroom) van alle gebruikte belichtingen en de drogestofverdeling.

3.3 Chrysant: Effecten van de spectrale belichting op compactheid

3.3.1 Effect van de basislichtbronnen Zonlicht, SON-T en RB-LEDs

Visueel

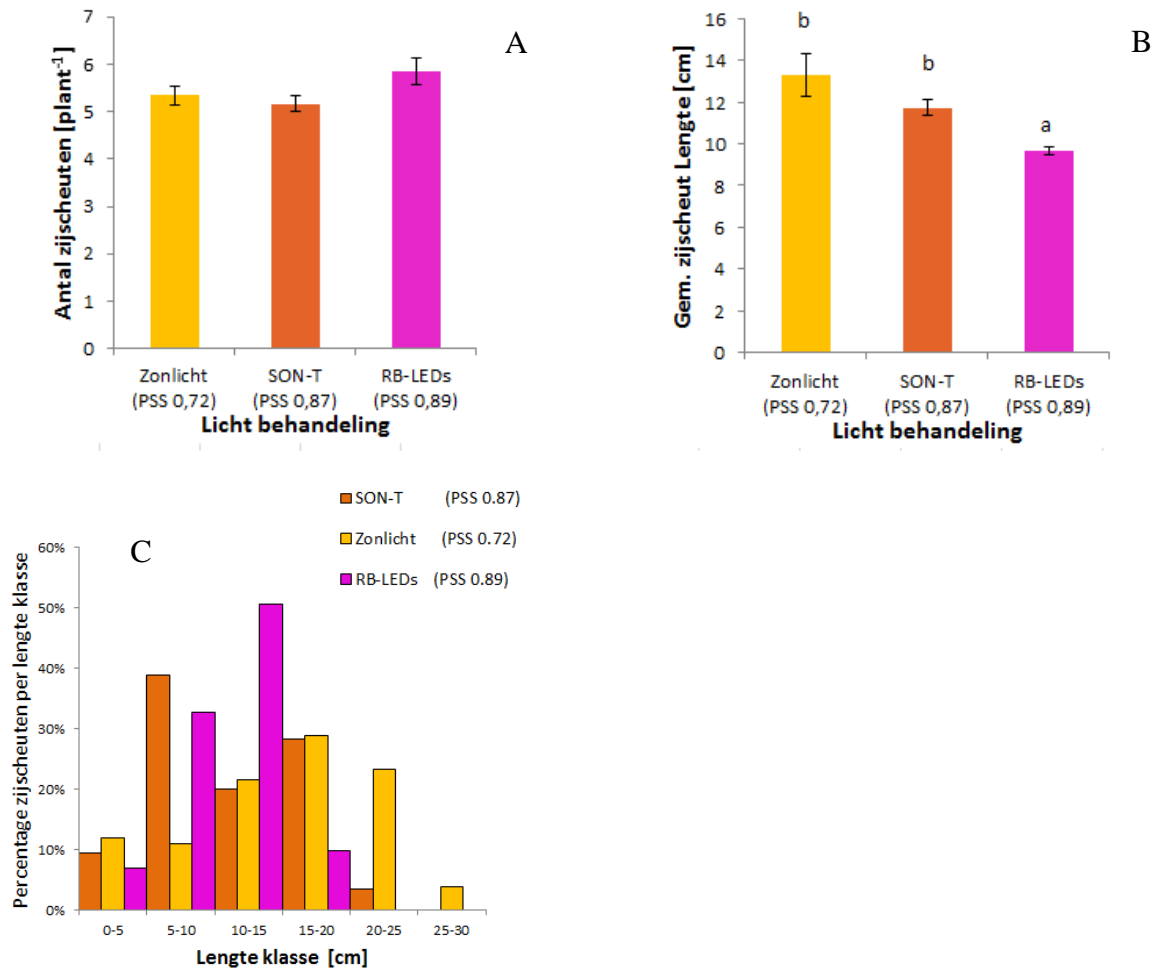
De effecten van de verschillende lichtbronnen op de compactheid van chrysant waren in het algemeen kleiner dan bij Petunia, maar vertoonden visueel wel dezelfde tendensen (Fig. 12). De teelt onder RB-LEDs (70/30 en 90/10) leverde iets compactere planten op dan de teelt onder SON-T en zonlichtlampen, waarvan de laatste duidelijk het minst compact waren. Er werden geen onderlinge verschillen waargenomen tussen de teelten onder RB-LEDs met verschillende RB fracties (70/30 en 90/10).



Figuur 12: Zijaanzicht van Chrysantenplanten geteeld onder $100 \mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 70/30 RB-LED licht (A), SON-T (B) en kunstmatig zonlicht (C).

Kwantitatief

Compactheid wordt bepaald door aantallen scheuten per plant en hun individuele lengten. Het maximale aantal zijscheuten per stek werd bij chrysant sterk bepaald door het aantal beschikbare internodia per stek. In tegenstelling tot Petunia, werd dit aantal bij Chrysant niet door de plant bepaald: vlak voor het inzetten van de lichtbehandelingen werden de stekken getopt op 6-7 internodia. Het maximale aantal zijscheuten was dus van te voren al gefixeerd op 6-7. Bij alle lichtbronnen liepen vrijwel alle zijknoppen uit: er werden geen statistisch significante verschillen gevonden in het aantal zijscheuten per stek tussen de lichtbehandelingen (Fig. 13A).



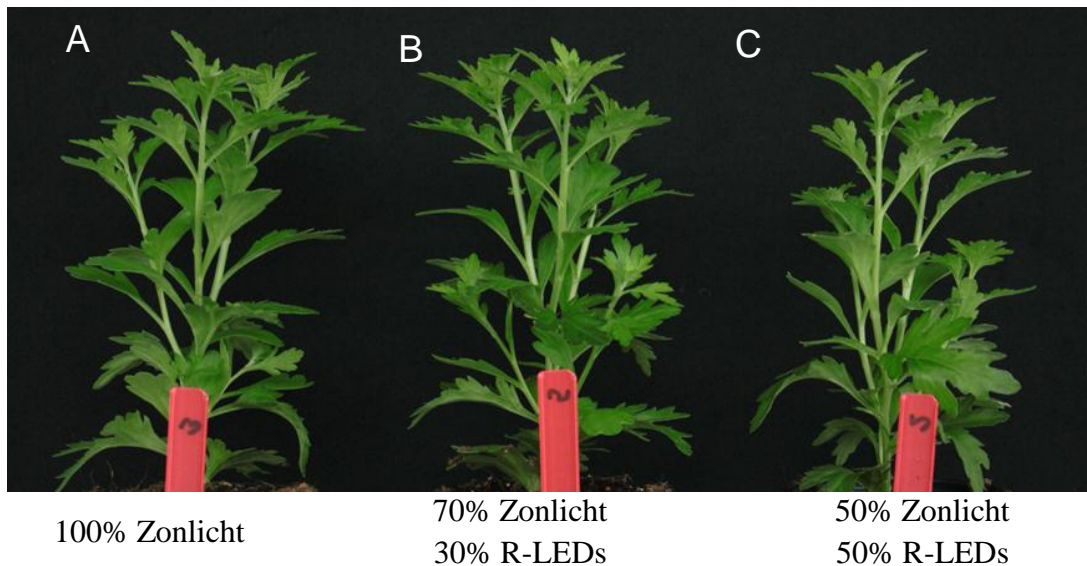
Figuur 13: *Morfologische eigenschappen van potchrysanten geteeld onder verschillende lichtbronnen (Zonlichtlamp, SON-T en RB-LEDs (70/30)). De PSS-waarde is een maat voor het berekende fytochromeevenwicht in de planten. Aantal zij scheuten per plant (A), gemiddelde lengte van de zij scheuten per plant (B) en het percentage zij scheuten per lengteklasse (C).*

De gemiddelde lengte per zij scheut was korter onder een basisbelichting met RB-LEDs, maar verschilde niet significant tussen SON-T en Zonlicht (Fig. 13B). De procentuele lengteverdeling van de zij scheuten laat zien dat vooral het aandeel langere scheuten bij Zonlicht hoger is dan bij SON-T en RB-LEDs. Dit laatste heeft een negatief effect op de compactheid.

3.3.2 Effect van verhoging van de fractie rood in zonlicht en EOD behandelingen met LEDs

Visueel

Het effect van bijbelichting met rode LEDs op compactheid bij Chrysant is onderzocht bij een achtergrond zonlichtspectrum. De totale lichtintensiteit ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) werd weer gelijk gehouden. In één van de behandelingen werd 30% en in een andere behandeling 50% door R-LEDs gegeven. Visueel had verandering van de fractie rood in het zonlichtspectrum nauwelijks effect op de compactheid (Fig. 14).



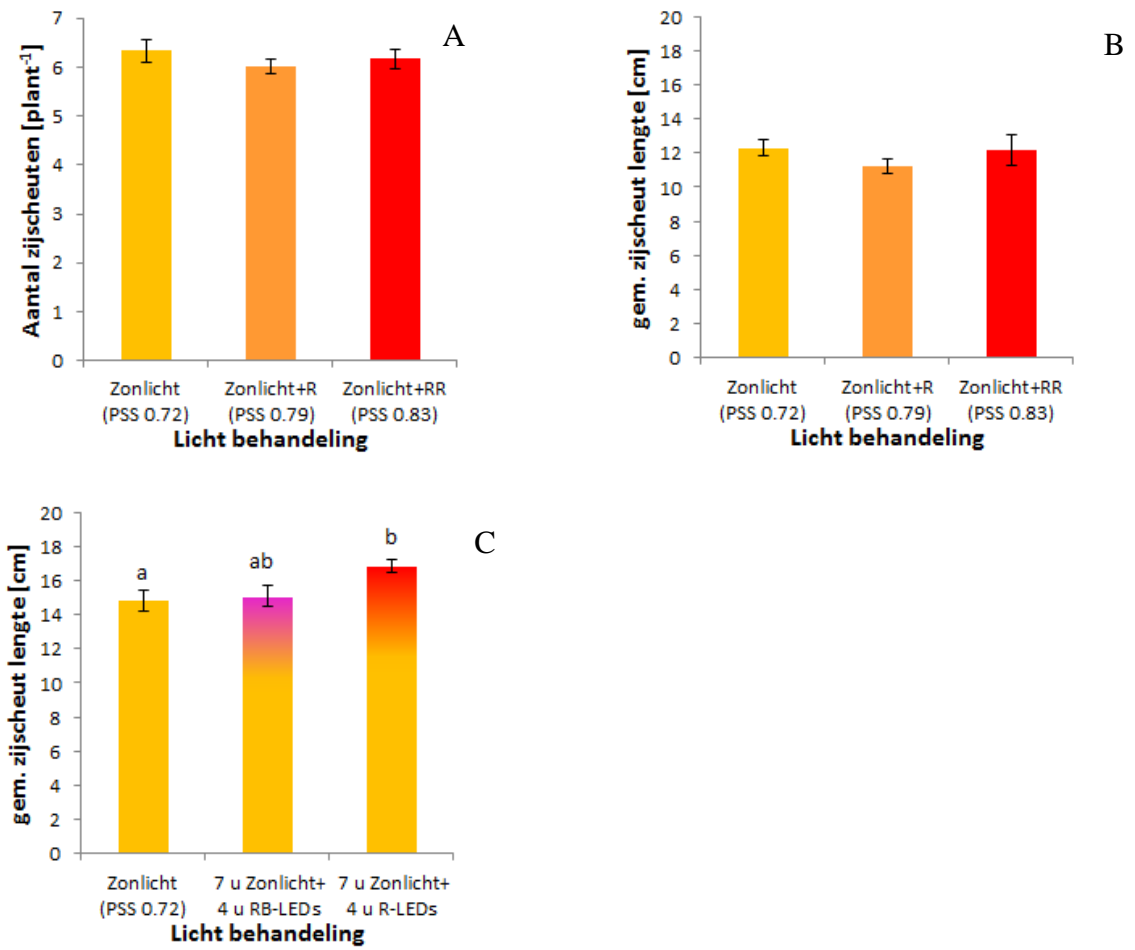
Figuur 14: Zijaanzicht van Chrysant geteeld onder $100 \mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ met verschillende fracties rood licht: 100% Zonlicht (A), 70% Zonlicht + 30% R-LEDs (B) en 50% zonlicht en 50% R-LEDs (C).

In een laatste set behandelingen werd gedurende de eerste 7 uur van de lichtperiode zonlicht gegeven en de laatste 4 uur van de lichtperiode alleen LED-licht van verschillende samenstelling (R-LEDs en RB-LEDs). De compactheid van deze planten werd vergeleken met de compactheid van planten die groeiden onder 100% zonlicht. Er werden geen positieve effecten op compactheid gevonden (geen foto's beschikbaar).

Kwantitatief

Ook kwantitatief was er tussen de behandelingen zonlicht met verschillende fracties rood geen statistisch significant verschil in het aantal scheuten per plant (Fig. 15A) en de gemiddelde zijskeutlengte (Fig. 15B) meetbaar. Wanneer tijdens de laatste 4 uur van de lichtperiode het zonlicht werd vervangen door R-LED-licht, leidde dit tot iets langere

zijscheuten (Fig. 15C). Het gebruik van RB-LED-licht tijdens deze laatste 4 uur van de lichtperiode had geen meetbare verandering van de zijscheutlengte tot gevolg.

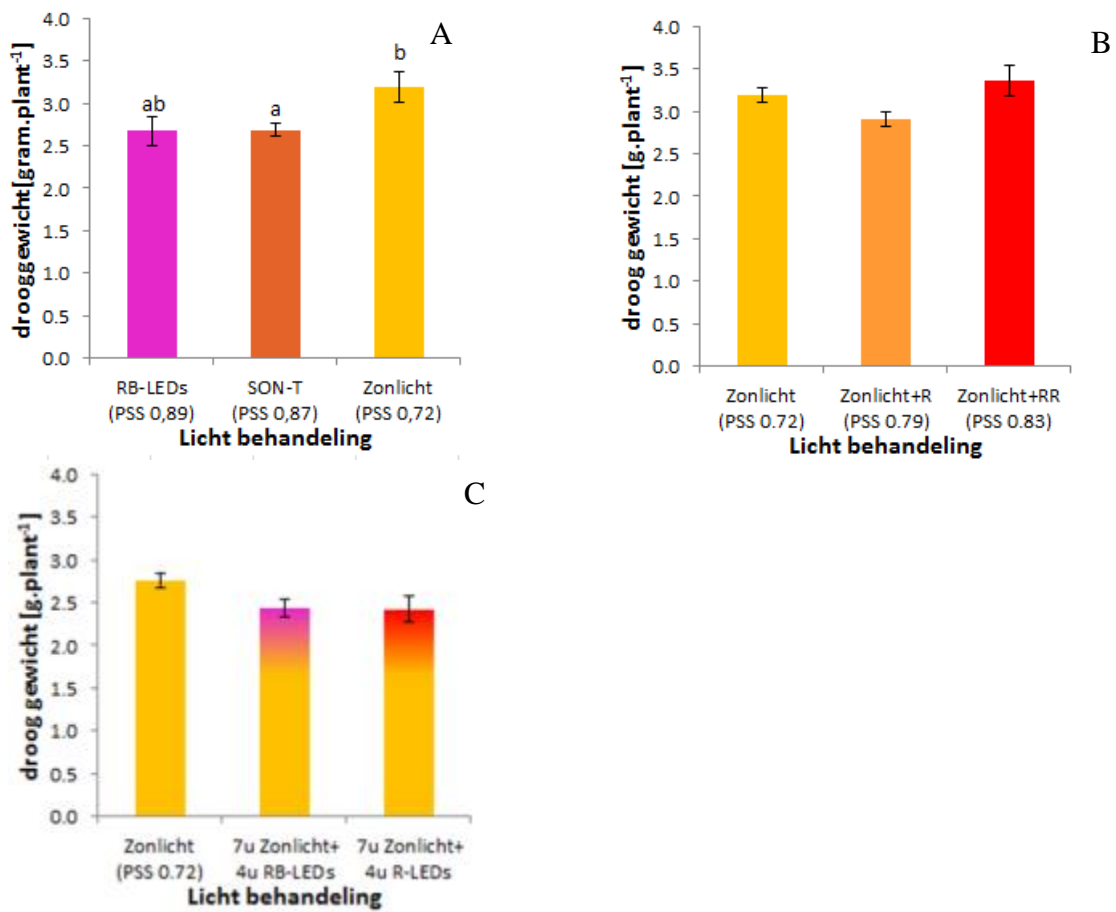


Figuur 15: Enkele morfologische eigenschappen van *Chrysant* geteeld onder $100 \mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$: bestaande uit 11 uur zonlicht met verschillende fracties R-LEDs (A en B) en 7 uur 100% zonlicht gevolgd door 4 uur nabelichting met zonlicht, R- of RB-LEDs (C). De PSS-waarde is een maat voor het berekende fytochromevenwicht in de planten.

3.3.3 Effect op drogestofproductie en -verdeling

Drogestofproductie

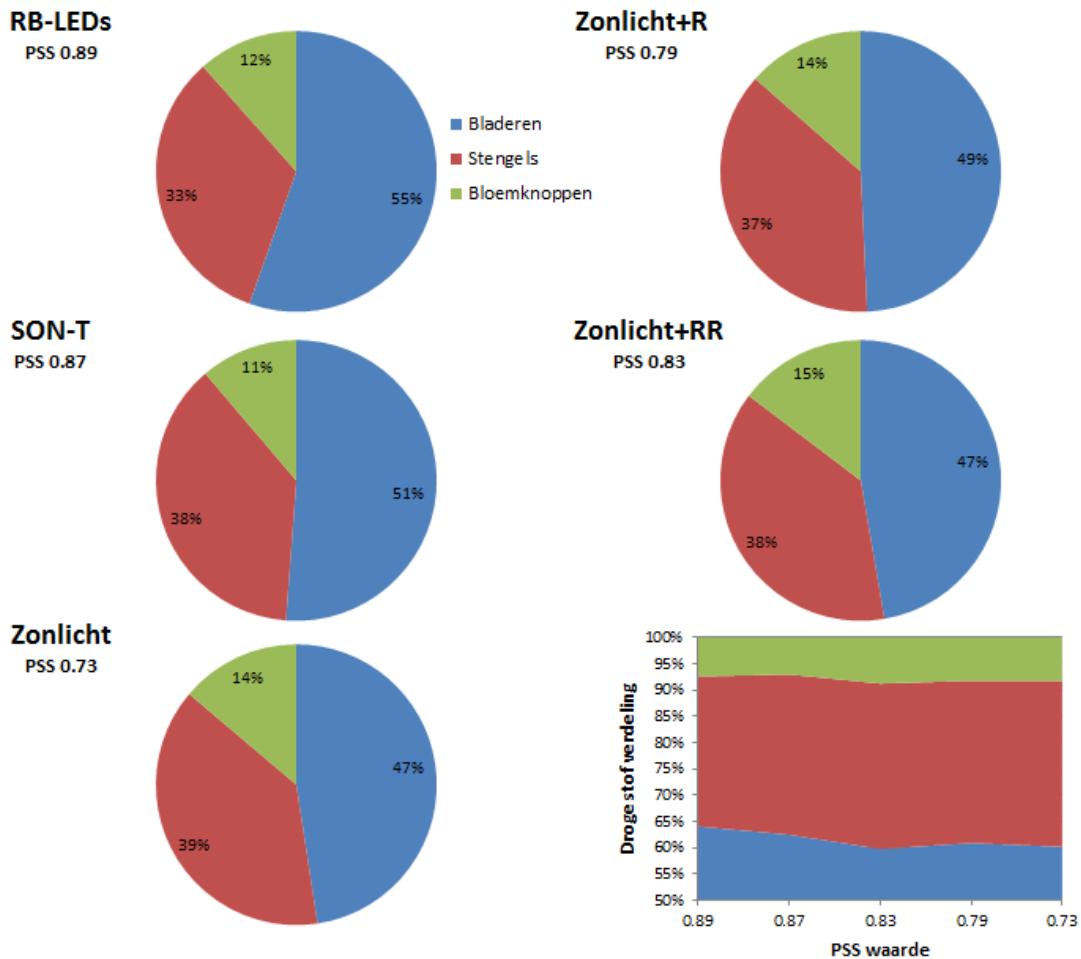
Bij chrysant werden geen opzienbarende verschillen gevonden in biomassa tussen de belichtingsbehandelingen met verschillende basislichtbronnen (Fig. 16A), tussen zonlicht met verschillende fracties rood (Fig. 16B) en tussen behandelingen waarbij de laatste 4 uur van de lichtperiode werd overgeschakeld op 100% LED-licht (EOD RB- of R-LEDs).



Figuur 16: Drooggewicht van *Chrysant* geteeld onder $100 \mu\text{mol PAR.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ 11 uur lichtperiode, maar verschillende lightspectra: onder RB-LEDs, SON-T en Zonlicht (A), onder Zonlicht met verschillende fracties R-LEDs (B) en onder 7 uur 100% zonlicht gevolgd door 4 uur nabelichting met zonlicht, 100% R- of RB-LEDs (C). Resultaten in A, B en C zijn van afzonderlijke experimenten met als vergelijkbare behandeling steeds 100% Zonlicht.

Drogestofverdeling

De verschillen in drogestofverdeling tussen de belichtingsstrategieën bleken bij chrysant veel geringer dan bij Petunia (Fig. 17). Alleen het verschil in drogestofverdeling tussen belichten met RB-LEDs en met zonlicht is duidelijk zichtbaar. Dit is ook in overeenstemming met de geringere verschillen in compactheid die optraden bij Chrysant. Tussen de verschillende fracties rood in zonlicht traden bij Chrysant geen verschillen in drogestofverdeling op. Ook de overige EOD LED-licht behandelingen leverden geen noemenswaardige verschillen in drogestofverdeling op.



Figuur 17: Drogestofverdeling over de bovengrondse delen van chrysant opgekweekt onder verschillende basislichtbronnen en onder zonlicht met verschillende fracties rood licht. De subfiguur rechtsonder toont de relatie tussen de berekende fytochroomstatus (hogere PSS-waarde, relatief meer actief fytochroom) van alle gebruikte belichtingen en de drogestofverdeling.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

- Over het totaal genomen waren de effecten van verschillende lichtspectra op compactheid bij Petunia veel duidelijker dan bij Chrysant; de tendensen zijn echter in grote lijnen gelijk voor beide gewassen. Chrysant en Petunia zijn sterk verschillende gewassen (LD versus KD, minder kruidachtig versus kruidachtig), mogelijk heeft dit een rol gespeeld. Ook de verschillen in ontwikkelingsstadium tijdens de eind oogst tussen de soorten was aanzienlijk (Chrysant in de knop, Petunia in bloei).
- Bij gelijke lage lichtintensiteit geeft 100% zonlicht de langste, minst compacte planten, en 100% RB-LEDs de meest compacte planten. De mate van compactheid werd ook beïnvloed door het aantal uitgelopen zij scheuten: bij Petunia was dit aantal bij zonlicht het laagste en bij RB-LEDs het hoogste. De lengte van de uitgelopen zij scheuten was bij zonlicht het grootst en bij RB-LEDs het kleinst. Zowel strekkingsgroei als het uitlopen van zij scheuten werden door het spectrum beïnvloed.
- Tijdelijke verhoging van het aandeel ver-rood licht in het spectrum aan het einde van de lichtperiode resulteerde in iets langere planten. Het effect (gemeten bij Petunia) was echter beperkt en een stuk kleiner dan de verschillen in basislicht spectrum.
- Langdurig belichten met een spectrum met een hogere PSS-waarde ('roder' spectrum; fytochromevenwicht meer richting actief fytochroom) gaf in alle gemeten spectrale lichtcombinaties compactere planten bij Petunia.
- KASTEELTEN: Het grote verschil tussen zonlicht en de toegepaste RB-LEDs en SON-T is de sterke aanwezigheid van VR-licht in het spectrum van zonlicht. Het verdient aanbeveling om verder te onderzoeken of het reduceren van de hoeveelheid ver-rood licht in kassen kan bijdragen aan het compacter telen van pot- en perkplanten in kassen. Daarnaast is het combineren van compactheid stimulerende LED belichting (R-LEDs) met DIF een mogelijk kansrijke optie.
- MEERLAGENTEELT: Onder 100% RB-LED licht werden mooie compacte Petunia's geproduceerd, zonder groeiremming door droogte, hoge EC, DIF of chemische groeiremmers toe te passen. Dit biedt goede perspectieven voor meerlagenteelten onder 100% kunstlicht.

4.2 Aanbevelingen

Dit onderzoek roept vragen op die aanbevelingswaardig zijn voor vervolgonderzoek. De belangrijkste onderzoeksvragen die voortkomen uit het hier gerapporteerde deelonderzoek 1 (LEDs) en uit de afzonderlijke rapportage over deelonderzoek 2 (laag fosfaat) worden hieronder genoemd:

- Wat is compact? Zoals o.a. in paragraaf 3.2.3 naar voren kwam is visuele compactheid moeilijk te kwantificeren. Een objectieve meetmethode om compactheid te duiden is gewenst.
- Over de effecten van lichtregime, temperatuur, watergift en fosfaatbemesting op compactheid is in afzonderlijke deelonderzoeken gerapporteerd. Telers zullen de maatregelen echter willen integreren tijdens de teelt. Het is echter de vraag of een opeenstapeling van maatregelen nuttig is of niet. Versterken de maatregelen elkaar of werken zij elkaar tegen. Ten behoeve van een goede teeltstrategie is het van belang om vooraf te weten hoe de maatregelen elkaar beïnvloeden.
- Het grote verschil tussen zonlicht en de toegepaste RB-LEDs en SON-T is de sterke aanwezigheid van VR-licht in het spectrum van zonlicht. Het verdient aanbeveling om verder te onderzoeken of het reduceren van de hoeveelheid verrood licht in kassen kan bijdragen aan het compacter telen van pot- en perkplanten in kassen. Daarnaast is het combineren van compactheid stimulerende LED belichting (R-LEDs) met DIF een mogelijk kansrijke optie.
- Uit dit onderzoek is gebleken dat de P-gehalten in het gewas halverwege de teelt hoger waren dan aan het einde van de proef. Dit roept de vraag op hoe de P-behoefte van het gewas is gedurende de groei. Kan de P-gift worden afgebouwd of vraagt het gewas tijdens de bloei weer extra P voor een goede bloemkwaliteit? Fysiologisch onderzoek naar de P-behoefte per groeifase is gewenst.
- Beperking van de fosfaatgift geeft compactere groei, maar dat geldt wellicht ook voor andere nutriënten. Beperking van de fosfaatgift heeft ook milieutechnische voordelen, maar dat geldt eigenlijk voor elk element. Is verhoging van de efficiëntie/benutting ook bij andere elementen mogelijk met voordelige effecten op de plantgroei als gevolg?
- De P-AI is een goede methode, die het opneembare P-aanbod voor de plant weergeeft. Het is echter wenselijk een snellere methode te ontwikkelen, die makkelijker toepasbaar is tijdens de teelt.

Samenvatting deelverslag 1 Compacte Planten onder LEDs

Gebrek aan compactheid bij pot- en perkplanten zorgt in de donkere perioden van het jaar voor aanzienlijke kwaliteitsproblemen. Regelmatig worden drastische teeltmaatregelen genomen of chemische groeiremmers ingezet om ongewenste strekking te beperken. In het kader van efficiënter telen en beperking van gebruik van chemische groeiregulatoren wordt naar alternatieven gezocht. Dit onderzoek richt zich op de mogelijkheden van LED-technologie voor bevordering van compactheid. Er is gekeken naar twee scenario's voor toepassing in de tuinbouw: 1) LEDs als hoofdbelichting (zoals in meerlagenteelten en plant factory systemen) en 2) LEDs als bijbelichting (zoals in kassen met zonlicht). Petunia en (pot)Chrysant zijn gebruikt als modelgewas. Alle experimenten zijn uitgevoerd in klimaatkamers onder lage lichtintensiteit ($100 \mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en constante etmaaltemperatuur. Er werd 'nat' geteeld met een lage EC om andere groeiremmingen te minimaliseren. Voor de zonlicht (achtergrond) belichting werd gebruik gemaakt van speciaal ontwikkelde zonlichtspectrum lampen.

Zonlicht als hoofdbelichting leverde de minst compacte, en rode/blauwe LEDs (RB-LEDs (80/20)) de meest compacte planten op. Gebruik van SON-T als hoofdbelichting resulteerde ook in aanzienlijk compactere planten dan zonlicht. Hogere compactheid ging bij Petunia samen met een verlaging van de drogestofproductie, een verandering in de verdeling van assimilaten, en het uitlopen van meer en kortere zij-scheuten. Bij chrysant werden vergelijkbare, maar minder sterke effecten gevonden.

Verhogen van de fractie rood in zonlicht met rode LEDs had bij Petunia een positief effect op de compactheid maar de verschillen waren niet zo groot als bij gebruik van compleet verschillende lichtbronnen. Het vervangen van zonlicht voor LED-licht gedurende de laatste 4 uur van de lichtperiode (in verschillende R/B combinaties) had nauwelijks effect op de compactheid bij Chrysant, behalve wanneer dit gebeurde met 100% R-LEDs: dit resulteerde in iets langere zijscheuten en beïnvloedde de compactheid dus negatief. Simulatie van een korte ver-rood verhoging tijdens zonsondergang resulteerde bij Petunia in beperkte extra lengtegroei. Bij Petunia was er voor alle toegepaste behandelingen (met en zonder zonlicht achtergrond) een goede correlatie tussen de berekende PSS-waarde (maat voor de fytochroomstatus) van het lightspectrum en de opgetreden compactheid.

Bij meerlagenteelten zonder daglicht lijkt belichting met RB-LEDs een prima optie voor het telen van compacte pot- en perkplanten. Bij kasteelten is sturing naar compactheid met LEDs lastiger, en lijkt het verhogen van de PSS-waarde een kansrijke optie. Dit onderzoek suggereert dat naast belichten met rode LEDs verlaging van de hoeveelheid ver-rood in de kas (ruim aanwezig in natuurlijk zonlicht) een optie zou kunnen zijn. Dit laatste dient nog verder te worden onderzocht.

5 Literatuur

- Blom, T.J. (2004). End-of-day light response in lilies. Research Highlight in "Lighting Up Profits". P Fischer and E. Runkle (eds.). Publisher: Meister Media Worldwide, Willoughby, Ohio. ISBN 1-892829-10-X. First Edition. p.74-75
- Blom, T.J., M.J. Tsujita, and G.L. Roberts. (1995). Far-red at end of day and reduced irradiance affect plant height of easter and asiatic hybrid lilies. HortScience 30: 1009–1012.
- Carvalho, S.M.P.; Noort, F.R. van; Postma, R.; Heuvelink, E. (2008). Possibilities for producing compact floricultural crops. Report Wageningen UR Greenhouse Horticulture 173.
- Mortensen, L.M. and R. Moe (1992). Effects of selective screening of the daylight spectrum and of twilight on plant growth in greenhouse. Acta Hort. 305: 103–108.
- Lund J.B., T.J. Blom, J.M. Aaslyng (2007). End-of-day lighting with different red/far-red ratios using light-emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 'Coral Charm'. HortScience 42: 1609–1611.
- Hamamoto, H. and K. Yamazaki (2009). "Reproductive response of okra and native rosella to long-day treatment with red, blue, and green light-emitting diode lights."
- Hisamatsu, T., K. Sumitomo and H. Shimizu (2008). "End-of-day far-red treatment enhances responsiveness to gibberellins and promotes stem extension in chrysanthemum." J. Hort. Sci. Biotech 83: 695-700.
- Li, S., N. C. Rajapakse and R. E. Young (2003). "Far-red light absorbing photoselective plastic films affect growth and flowering of chrysanthemum cultivars." HortScience 38: 284-287.
- Sonneveld, P.J., G.L.A.M. Swinkels and G.P.A. Bot (2008). "Design of a Solar Greenhouse with Energy Delivery by the Conversion of Near Infrared Radiation - Part 1 Optics and PV-cells." Acta Horticulturae 807: 47-53.
- Spaargaren, J. J. (2002). "De teelt van jaarrondchrysanten." Aalsmeer : Spaargaren, 253p.
- Takeda, F., D. M. Glenn, et al. (2010). "Delaying flowering in short-day strawberry transplants with photoselective nets." International Journal of Fruit Science 10: 134-142.
- Van Ieperen, W. , E. Heuvelink, T. Kierkels (2009). Chrysant een langere dag geven zonder de bloei te remmen : spelen met lichtkleuren geeft hogere productie. Onder Glas 6(8): 22 - 23.
- Whitelam G.C. and K.J. Halliday, 2007. Light and plant development. Oxford:Blackwell ,325p.

Vakbladartikel over dit onderzoek

Van Ieperen, W. , E. Heuvelink, T. Kierkels (2011). Veel rood licht geeft compactere planten : plantlengte te sturen door combinatie van SON-T met rode en blauwe LED's. Onder Glas 8(3): 12 - 13.

Presentaties over dit onderzoek

http://www.energiek2020.nu/uploads/media/7c_Ep_LED-Compacte_Plantten.pdf

Dankwoord

De auteurs bedanken Richard Muilwijk, Joke Oosterkamp en Najat Zenasni voor het uitvoeren van een deel van de metingen.