



WAGENINGENUR

For quality of life

Bloei-inductie bij Chrysant onder lange dag

Toepassing van LED-licht technologie



Wim van Ieperen, Sander Hogewoning en Els ten Dam

Wageningen Universiteit, Leerstoelgroep Tuinbouwketen
Januari 2011

PT project: 13846



© 2011 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.

Tuinbouwketens

DATUM
Mei 2011

AUTEUR
Dr.Ir. W. van Ieperen

VERSIE
8

STATUS
Final



Dit project is gefinancierd is door het Productschap Tuinbouw, en het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie in het kader van het programma Kas als Energiebron.



Inhoud

Samenvatting.....	4
Introductie	5
Context.....	5
Fysiologische achtergronden van de effecten van licht spectrum op bloei-inductie	7
Hypothese	8
Doelen van het onderzoek.....	9
Materiaal en methoden.....	10
Plant materiaal en teeltcondities	10
Lichtbehandelingen.....	12
Lichtmetingen	13
Metingen aan Groei en Morfologie van de planten	13
Berekeningen en statistiek	13
Resultaten en Discussie.....	14
Bloemknopvorming onder KD zonlicht sneller dan onder KD LED-licht.....	14
Geen bloemknopvorming bij daglengteverlenging met blauwe LEDs na zonlicht	14
Hoofdconclusie van dit onderzoek.....	15
Samenvattende Conclusies.....	21
Aanbevelingen	22
Literatuur.....	23



Samenvatting

Assimilatiebelichting is bij korte dag (KD) planten zoals Chrysant maar beperkt mogelijk omdat verlenging van de lichtperiode tijdens de KD leidt tot lange nachten en daardoor een verstoring van de bloemknopaanleg. Recent is echter aangetoond dat deze fysiologische beperking kan worden opgeheven m.b.v. ‘slimme’ LED-belichting. In klimaatkamerproeven kon bij Chrysant, een KD-plant, normale bloemknopaanleg worden geïnduceerd onder een lange dag (LD), door de laatste paar uur van de LD alleen blauw licht te geven. De rest van de LD werd een combinatie van rood en blauw licht gegeven. Omdat blauw licht fotosynthetisch actief is leverde dit aanzienlijke extra groei op. Uit het voorgaande onderzoek kon echter niet worden geconcludeerd dat dit ook in de kas bij zonlicht i.p.v. LED-licht tijdens de dagelijkse lichtperiode het geval is omdat dit onderzoek werd uitgevoerd in een klimaatkamer zonder zonlicht. In dit project is onderzocht of LD belichting met behoud van bloemknopvorming ook mogelijk is bij zonlicht overdag. Er zijn twee experimenten uitgevoerd: in het eerste experiment werd, in een klimaatkamer, onder vergelijkbare condities als de voorgaande experimenten, tijdens de dag periode ‘kunstmatig’ zonlicht m.b.v. zonlicht-lampen aan de planten gegeven i.p.v. rood/blauwe LED belichting. Vrijwel tegelijkertijd werd in een kas een tweede experiment uitgevoerd, waarin tijdens de dag periode natuurlijk zonlicht (met variabele intensiteit) werd aangevuld met SON-T. In beide experimenten werd een 11 uur durende daglicht periode verlengt met 4 extra uren blauw LED licht. De bloemknopvorming en groei van de planten werd vergeleken met controle planten die geen extra blauw licht kregen. In tegenstelling tot de eerdere experimenten met alleen LED licht overdag, trad bij zonlicht overdag geen bloemknopvorming op na door belichten met blauw licht. Daarnaast bleek bloemknopvorming onder kunstmatig en natuurlijk zonlicht sneller plaats te vinden dan onder de voorgaande LED experimenten. Uit bovenstaande resultaten kan direct worden geconcludeerd dat daglengte verlenging met blauw LED licht niet zonder meer kan worden toegepast in de commerciële teelt van pot- en snijchrysant in kassen. De experimenten laten voor het eerst zien dat ook de spectrale samenstelling van het licht overdag invloed heeft op de bloei-inductie bij chrysant. Het huidige onderzoek laat eveneens zien dat het dus goed mogelijk is om m.b.v. spectrale lichtsturing ontwikkelingsprocessen zoals bloei in planten te beïnvloeden, maar dat de toepassingsmogelijkheden daarvan altijd in de context van de uiteindelijke praktijksituatie moeten worden getest. De zonlicht faciliteit kan daarbij van groot nut zijn, met name wanneer het gaat om toepassingen in kassen.

Introductie

Context

Het gebruik van assimilatiebelichting is bij korte dag (KD) planten maar beperkt mogelijk omdat verlenging van de lichtperiode bij KD-planten leidt tot een verstoring van de bloemknopaanleg. Deze fysiologische beperking verlaagd de toepassingsmogelijkheden van assimilatiebelichting tijdens de commerciële teelt van snij- en potchrysanten omdat daglengte-verlenging tijdens de KD met behoud van bloei tot nu toe niet mogelijk is. Recent is echter aangetoond dat m.b.v. LED-belichting deze fysiologische beperking kan worden opgeheven (pilot bij de leerstoelgroep Tuinbouwketens van Wageningen Universiteit). Het bleek mogelijk om bij Chrysant normale bloemknopaanleg te induceren onder een lange dag (LD) van 15 uur LED-licht, terwijl een LD van 15 uur licht normaliter de bloemknopaanleg remt (Fig. 1A). In het betreffende experiment werd gebruik gemaakt van een dagelijks variërende kleursamenstelling van de assimilatiebelichting met LEDs, waarbij de kleursamenstelling was afgestemd op het doelmatig manipuleren met name fytochroom. Omdat daarbij alleen gebruik werd gemaakt van fotosynthetisch actief licht (PAR) leidde de langere belichtingsduur per etmaal, naast normale bloemknopaanleg in de speciale LD-behandeling, ook tot een aanzienlijke stijging van de drogestof productie: 35% meer groeilicht resulteerde in ca. 60% meer drogestof in de periode tussen de start van de behandeling en het zichtbaar worden van de eerste bloemknop in de planten (Fig. 1B).

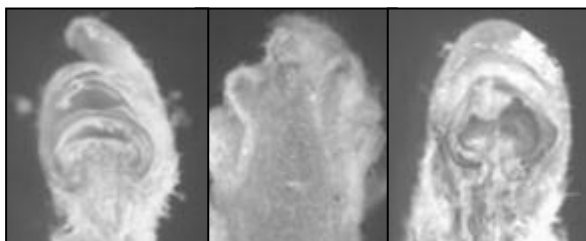


Fig. 1A: Dwarsdoorsnede top meristeem Chrysant (dag 35 na start lichtbehandeling): Onder LD geen bloei-inductie, KD en LD_{4B} laten wel bloei-inductie zien. Eerste visuele tekenen van bloei-inductie op dag 28-30

A: KD (11 uur 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ RB LEDs (70/30));
B: LD (15 uur 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ RB LEDs (70/30));
C: LD_{4B} (11 uur 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ RB LEDs (70/30) + 4 uur 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ B LEDs)

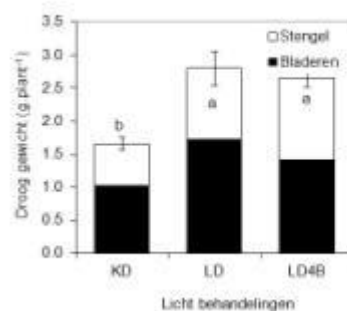


Fig. 1B: Droge stof gewicht per plant (dag 30 na start lichtbehandeling): 35% meer licht per etmaal gaf 65% meer droog gewicht.



Voordat commerciële toepassing kan worden overwogen is vervolgonderzoek noodzakelijk. Het betreffende pilot experiment werd namelijk uitgevoerd onder 100% LED belichting, terwijl er onder kasomstandigheden elke dag een periode natuurlijk licht is, waarvan de kleursamenstelling veel breder is dan de gebruikte rood/blauwe LED belichting in het pilot experiment. Deze duur van deze dagelijkse periode natuurlijk licht is seizoens afhankelijk en is in het midden van de winter maar kort (ca. 7 uur). Het is, in theorie, nog mogelijk dat de kleursamenstelling van het natuurlijke licht overdag de bloei-inductie beïnvloedt. In de huidige literatuur is voor deze theoretische mogelijkheid geen bewijs gevonden: Bloei-inductie bij KD-planten wordt tot nu toe hoofdzakelijk verklaard vanuit de lengte van de nachtperiode, met enige effect van de dagelijkse licht som en temperatuur, het bekende onderzoek naar spectrale effecten van licht op bloei richtte zich met name op nachtonderbreking. Naar de spectrale effecten van licht tijdens de dag periode op bloei-inductie bij KD planten is geen noemenswaardig onderzoek gedaan.

De onderzoeksvraag van dit project betreft dan ook het mogelijke effect van zonlicht, in combinatie met de spectraal variabele LED-belichting, op de bloemknopaanleg onder LD. Op grond van huidige kennis van de achterliggende fysiologische processen is de verwachting dat zonlicht tijdens de normale KD periode (van de totale LD-belichting) geen nadelig effect zal hebben op de bloemknopaanleg.

Eén belangrijk probleem met onderzoek onder daglicht is dat ook de lichtintensiteit varieert over de dag. Daarnaast is het niet mogelijk een langere daglichtperiode te geven dan het natuurlijke zonlicht toelaat en deze periode is in de winter kort. Effecten op productiviteit van extra kunst licht zijn daarom lastig te onderzoeken, vooral als de overige klimaats factoren constant moeten blijven (o.a. temperatuur, luchtvochtigheid). Tevens kan goed vergelijkend onderzoek alleen in de zomer (natuurlijke lange dagen) worden uitgevoerd hetgeen vertragend werkt. In klimaatcellen was het tot voor kort niet mogelijk belichting met een natuurgetrouw zonlichtspectrum toe te passen omdat dergelijke lampen niet bestonden. Aan Wageningen Universiteit is echter unieke assimilatiebelichting ontwikkeld waarmee dit in principe wel mogelijk is. In een aanpalend PT/LNV project is dit systeem doorontwikkeld (PT- 13847) tot een faciliteit op klimaatkamerschaal. In dit project naar bloei van Chrysant onder LD m.b.v. LEDs is deze faciliteit gebruikt.

Fysiologische achtergronden van de effecten van licht spectrum op bloei-inductie

Licht beïnvloedt zowel groei als ontwikkeling van planten. Fotosynthetisch actief licht (PAR) heeft een spectrum dat loopt van ca. 400-700 nm: het zichtbare licht. Planten zijn echter ook gevoelig voor licht in het golflengte gebied tussen 720 en 740 nm, het ver-rode licht. Ver-rode licht is nauwelijks zichtbaar voor het menselijk oog en niet fotosynthetisch actief. Het draagt dus niet bij aan fotosynthese en groei. Ver-rode licht beïnvloedt wel de vorm en ontwikkeling van planten sterk. De fotoreceptor fytochroom speelt daarbij een belangrijke rol. Er wordt vaak gesteld dat rood licht fytochroom in de actieve vorm brengt terwijl ver-rode licht fytochroom inactieveert. Dit klopt, maar ook andere kleuren licht hebben invloed op de activatiestatus van fytochroom. Daarnaast wordt in het donker actief fytochroom afgebroken. Uiteindelijk beïnvloedt de verhouding tussen actief en inactief fytochroom fysiologische processen zoals bijvoorbeeld bloei-inductie en stengelstrekking (Li, Rajapakse et al. 2003; Hisamatsu, Sumitomo et al. 2008).

KD-planten gaan bloeien als de nacht lang genoeg is. Planten zijn dus in staat om de lengte van de nacht-periode te bepalen. Fytochroom speelt daarbij een belangrijke rol: Er wordt algemeen verondersteld dat een te hoog gehalte aan actief fytochroom, als gevolg van een te korte nacht in de plant aan het einde van de nacht/ begin van de volgende dag, de bloei remt (Hamamoto and Yamazaki 2009; Takeda, Glenn et al. 2010). Sturen naar inactief fytochroom zou bloemknop aanleg dus positief kunnen beïnvloeden.

In de praktijk beïnvloeden dus niet alleen rood en ver-rode licht de balans tussen actief en actief fytochroom, maar doen alle golflengten in het zichtbare licht mee. Uit de absorptiespectra van actief en inactief fytochroom (Fig. 2) blijkt dat blauw licht een vergelijkbaar effect als ver-rode licht op het de verhouding tussen actief en inactief fytochroom in de plant heeft.

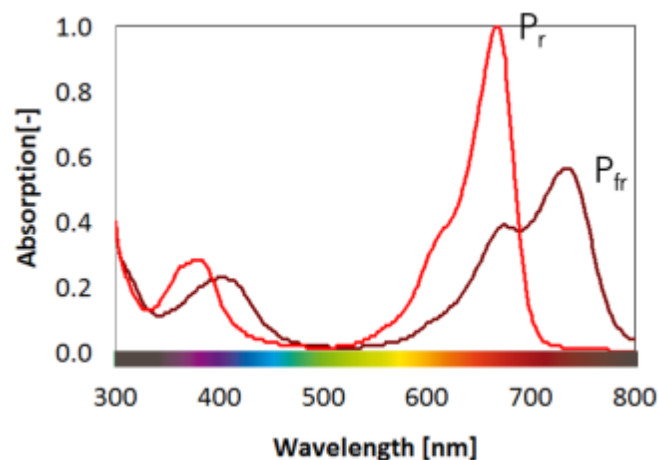


Fig.2. Globale absorptiespectra van actief fytochroom (P_{FR}) en inactief fytochroom (P_R).

Uit de absorptie karakteristieken van actief fytochroom (P_{FR}) en inactief fytochroom (P_R) kan over het hele golflengte gebied van zichtbaar licht een waarde voor het aandeel actief fytochroom (P_{FR}) op de totale hoeveelheid fytochroom (P_{totaal}) worden berekend. Dit wordt ook wel de PSS (Phytochrome Stationary State) waarde genoemd. Deze PSS waarde kan per golflengte worden uitgerekend (Fig. 2), maar ook voor een bepaalde lichtbron. 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 verlaging van de PSS-waarde optreedt. Door deze PSS waarden per golflengte te vermenigvuldigen met het spectrum van het licht dat op een blad valt kan de PSS waarde worden uitgerekend voor een lichtbron. Een lage PSS waarde duidt op relatief weinig actief fytochroom, en een hoge PSS-waarde duidt op relatief veel actief fytochroom. Zonlicht en de gebruikte zonlichtlampen geven een hogere PSS-waarde (0.721) dan blauwe LEDs (0.482), maar een lagere PSS-waarde dan rode LEDs (0.903) en een combinatie van rode (70%) en blauwe (30%) LEDs (0.888).

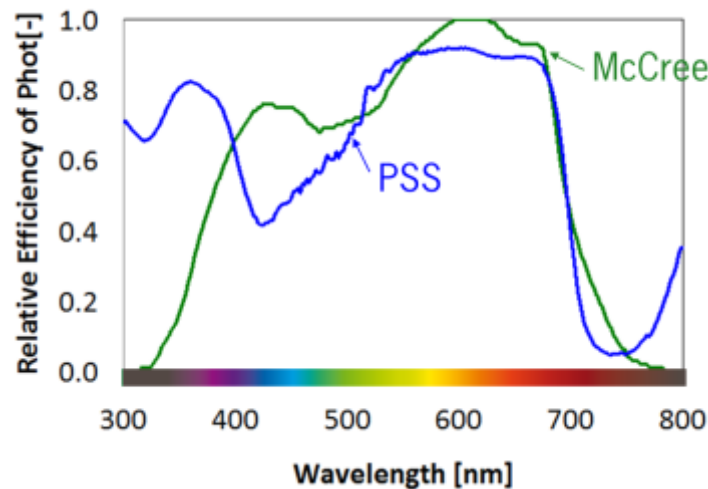


Fig.3. Effect van golflengte op de fotosynthetische efficiëntie (McCree-curve; groen) en het berekende fytochroom evenwicht (uitgedrukt als PSS). Blauw licht heeft een lage PSS-waarde (duidt op relatief weinig actief fytochroom) en een hoge fotosynthetische efficiëntie.

Hypothese

Op grond van de algemeen geaccepteerde veronderstelling dat voldoende afname van actief fytochroom in de donker periode leidt tot bloei inductie bij chrysanthe, en het



gegeven dat blauw licht het fytochroom evenwicht laat verschuiven van *actief* naar *inactief* fytochroom (Fig. 2 en 3) is de hypothese ontwikkeld dat daglengteverlenging met puur blauw licht kan leiden tot normale bloemknopaanleg bij de KD-plant Chrysant. Daarnaast is het bijzondere aan het gebruik van blauw licht t.o.v. ver-rood licht, dat blauw licht ook fotosynthetisch actief is en dus ook als groeilicht zal functioneren en dus extra biomassa productie zal opleveren. Deze hypothesen zijn reeds getest in een aantal klimaatkamerproeven met puur LED-licht. In al deze experimenten werd, conform de hypothese, gevonden dat Chrysant (cv Zembla) onder 15 uur licht (normale LD), waarvan de laatste 4 uur puur blauw licht, in bloei kwam. 15 uur belichting met gecombineerde rode en blauwe LEDs (70% R / 30% B) leidde niet tot bloei inductie, 11 uur belichting wel. Daarnaast bleek extra 4 uur licht in LD-behandelingen een 65% hoger drooggewicht op te leveren a.g.v. een 35% hogere dagelijkse lichtsom over de eerste 28 dagen (periode tot verschijnen van de eerste bloemknop in de KD behandeling en de LD behandelingen met extra blauw).

Doelen van het onderzoek

Dit onderzoek heeft als doel vast te stellen of daglichtverlenging d.m.v. blauwe LEDs met behoud van normale bloemknopaanleg ook werkt, wanneer er i.p.v. rood/blauwe LEDs overdag zonlicht wordt gegeven. Het onderzoek is opgedeeld in 2 onafhankelijke experimenten. In beide experimenten werd de mogelijkheid tot bloemknopaanleg bij Chrysant onder LD onderzocht bij een volledig zonlichtspectrum overdag. Het eerste experiment werd uitgevoerd in een klimaatkamer, onder *kunstmatig* zonlicht in combinatie met blauwe LED-belichting. Het tweede experiment werd uitgevoerd in een kas onder *natuurlijk* zonlicht (variabele intensiteit, overdag) in combinatie met blauwe LED belichting tijdens een deel van de nacht. Het experiment met kunstmatig zonlicht had als voordeel dat ook de toegevoegde waarde van het extra blauwe licht voor groei bekeken kon worden, omdat de lichtintensiteit instelbaar was.

Tijdens het *eerste* experiment, in een klimaatkamer, werden de chrysanten geteeld bij een constante licht intensiteit, maar wel onder licht met een zonlichtspectrum (400 – 900 nm). Er werd gebruik gemaakt van een belichtingssysteem dat bestond uit een combinatie van plasmalampen (Plasma International GmbH, Offenbach am Main, Germany) met een special plasma dat een lightspectrum opleverde dat tussen 400 nm en 900 nm vrijwel identiek is aan het zonlicht (zie Fig. 5), en blauwe LEDs .

In het *tweede* experiment, in een kas, werd de basis belichting geleverd door de zon, die uiteraard variabel was in intensiteit, en daarom (onder een drempelwaarde voor natuurlijke instraling) werd aangevuld met assimilatielampen (SON-T). Daglengte verlenging langer dan 11 uur werd alleen gegeven m.b.v. blauwe LEDs.

Materiaal en methoden

Plant materiaal en teeltcondities

Stekken van ca. 10 cm lengte (*Chrysanthemum morifolium* cv 'Zembla') werden geleverd door de veredelaar (Deliflor, Maasdijk), en 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 stekken overgebracht naar de klimaatkamer of kas en werden de lichtbehandelingen van de betreffende experimenten gestart.

In de klimaatkamer werden de lichtbehandelingen gerealiseerd in aparte lichtdichte sub-units (oppervlak 80x80cm) met onafhankelijk regelbare belichting (Fig. 4). De waarden voor de overige klimaatfactoren in de sub-units (T, RV en CO₂) werden bepaald door het ingestelde klimaat in de grote klimaatkamer, en daardoor waren gelijk in alle sub-units: 65% RV, 22⁰C/20⁰C dag/nacht temperatuur, en een CO₂-concentratie van ca. 400 μmol.mol⁻¹. De plantdichtheid was ca. 70 planten m⁻². In iedere sub-unit stonden 30 planten, waarvan de 12 middelste planten werden gebruikt voor metingen. Statistisch werden deze 12 planten beschouwd als experimentele eenheden en de 2 sub-units per belichtingsbehandeling als blokken.

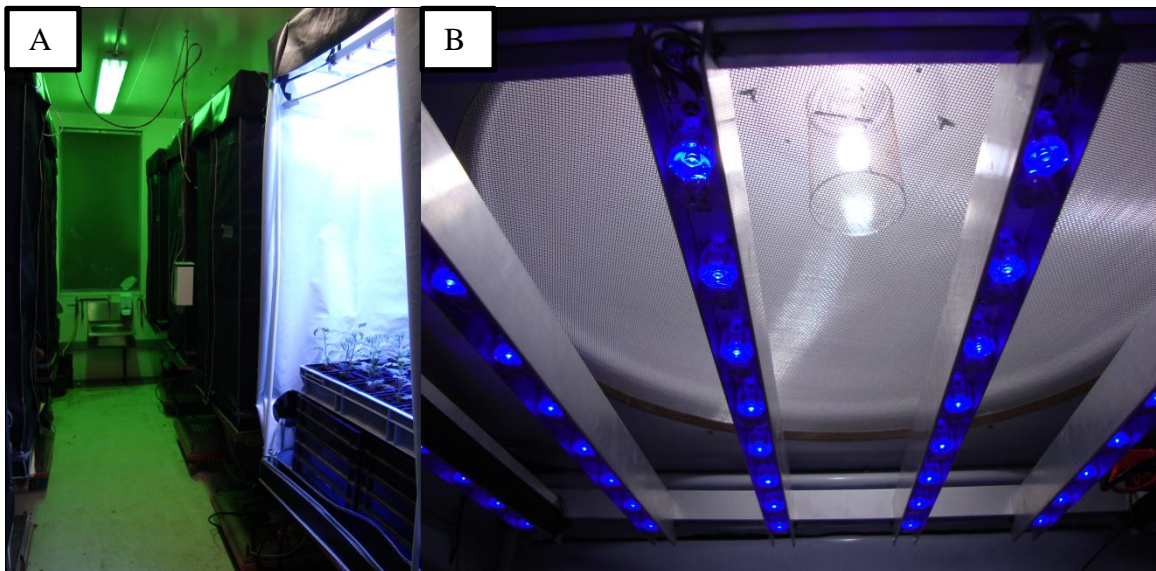
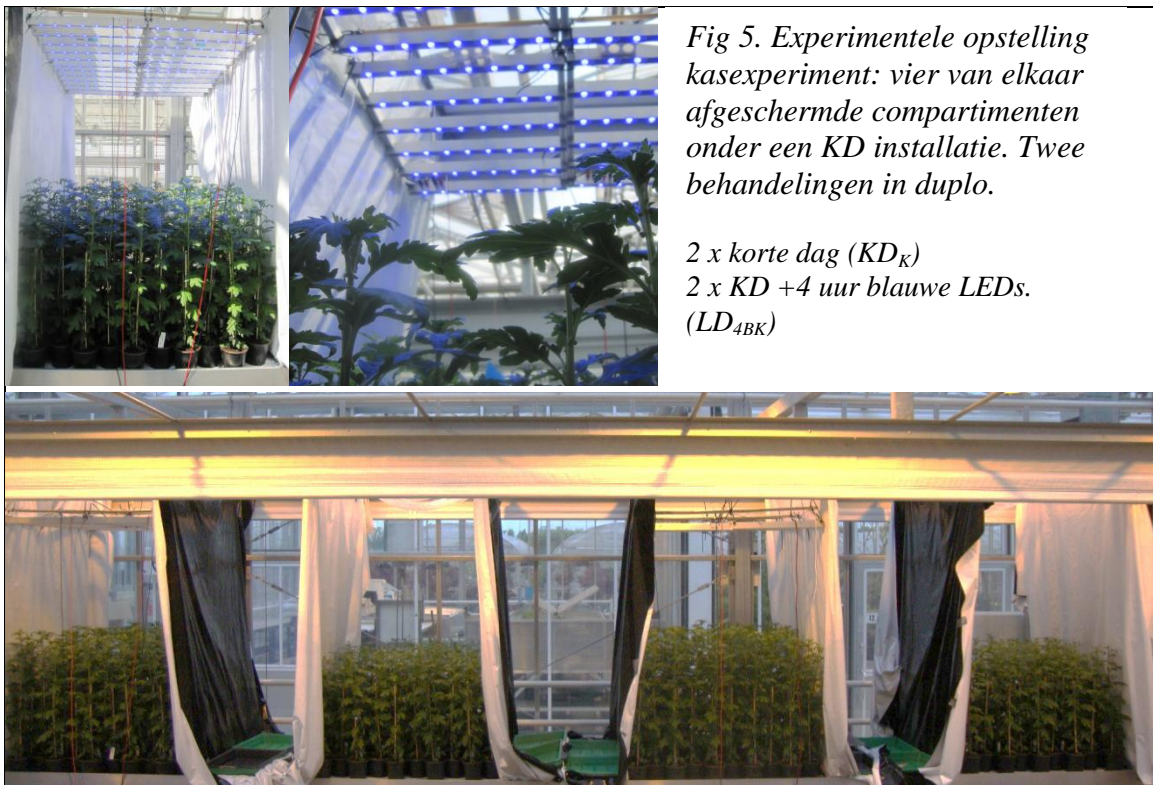


Fig.4. Experimental setup in het klimaatkamer experiment. (A) 8 gelijke 'licht-dichte' sub units in 1 klimaatkamer. Alle subunits waren voorzien van B) een aparte plasmalamp met zonlichtspectrum bol en een array nmet blauwe LEDs.



In het kasexperiment werden de verschillende lichtbehandelingen gerealiseerd in één kascompartiment, door de verschillende lichtbehandelingen onderling af te schermen met zwart/wit plastic (Fig. 5). Er werd geen lichtoverdracht tussen de lichtbehandelingen gemeten. De overige klimaatfactoren (T, RV en CO₂-concentratie) waren gelijk in alle lichtbehandelingen: 50-65% RV, 20⁰C/19⁰C dag/nacht temperatuur (setpoints kascompartiment), en een CO₂-concentratie van ca. 400 μmol.mol⁻¹. In iedere behandelingsherhaling stonden 80 planten, waarvan de 48 middelste planten werden gebruikt voor metingen en de rest beschouwd als rand. De plantdichtheid was ca. 70 planten m⁻².





Lichtbehandelingen

Klimaatkamer experiment

In de klimaatkamer werden 4 verschillende lichtbehandelingen toegepast, 2 controles (LD en KD) en twee LD behandelingen, waarin een gedeelte van de tijd alleen blauw licht werd gegeven:

- KD 11 uur $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ belichting met plasmalampen
- LD 15 uur $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ belichting met plasmalampen
- LD_{4B} 11 uur $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ belichting met plasmalampen + 4 uur blauwe LEDs
- LD_{1B} 14 uur $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ belichting met plasmalampen + 1 uur blauwe LEDs

Alle lichtbehandelingen werden in duplo uitgevoerd. In iedere sub-unit werd de lichtintensiteit ter hoogte van de top van de meetplanten op $100 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gehouden door de planten, afhankelijk van hun groeisnelheid, verticaal te laten zakken gedurende het experiment. De arrays met blauwe LEDs (450nm, type Royal Blue, Lumileds Lighting Company, San Jose, CA, USA) waren voorzien van special 6° lenzen en hingen ca. 1 m boven het gewas, maar onder de plasmalampen (Fig. 4). Onder alle LED-arrays bevond zich een warmtestraling werende folie (dielectric multilayer film; Bot, Sonneveld et al. 2008) om de warmtestraling van m.n. de plasmalampen buiten het teeltcompartiment te houden. De boven het folie geproduceerde warmte (straling > 900 nm) in de sub-units werd afgevoerd d.m.v. actieve ventilatie.

Kasexperiment

In het kasexperiment werden twee lichtbehandelingen toegepast: 1 controle (KD; 11 uur licht) en 1 LD behandeling met een gedeelte van de tijd alleen blauw licht.

- KD_K 11 uur natuurlijk licht + SON-T (variabele licht intensiteit)
- LD_{4BK} 11 uur natuurlijk licht + SON-T (variabele intensiteit) + 4 uur blauwe LEDs ($100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)

De lichtbehandelingen werden in duplo uitgevoerd. Wanneer de lichtintensiteit van het natuurlijke zonlicht in de kas lager werd dan $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (op planthoogte) werd extra belicht met hogedruk natrium lampen (SON-T (600 W, 400 V, Philips Master Greenpower CG, Philips, Eindhoven, The Netherlands). Bij een lichtintensiteit van meer dan $140 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ werd de SON-T belichting uitgeschakeld. Het verduisteringsscherm werd bij beide behandelingen gesloten tussen 19:30 uur en 8:30 uur. De extra 4 uur durende belichting met blauwe LEDs in de behandelingsplots (LD_{4BK}) werd aangeschakeld vlak voor sluiting van het verduisteringsscherm. Dezelfde LED-arrays met



blauwe LED werden gebruikt als eerder beschreven in het klimaatkamerexperiment. Boven de KD_K -plots hingen extra schermdoek om vergelijkbare schaduwcondities als in de LD_{4BK} plots te creëren.

Lichtmetingen

De lichtintensiteit (Photosynthetic Photon Flux Density; PPFD) in het PAR gebied werd routinematig gecontroleerd met een quantum sensor (LI-COR, Lincoln, NE, USA). Het lichtspectrum van de verschillende lichtbronnen werd gemeten met een spectroradiometer (USB4000, Ocean Optics, Dunedin, FL, USA).

Metingen aan Groei en Morfologie van de planten

In het klimaatkamerexperiment werd 2x geoogst. De eerste keer vlak na de eerste tekenen van bloemknopvorming in de KD_C -behandeling (op dag 25), en de tweede keer aan het einde van het experiment (dag 38). In het kasexperiment werd ook 2x geoogst: vlak na de eerste tekenen van bloemknopvorming (alleen in de KD_G -behandeling in de kas op dag 25), en aan het einde van het experiment (in beide lichtbehandelingen dag 53).

Naast morfologische eigenschappen zoals plant lengte, aantal bladeren/internodia, bladoppervlakte en stengeldikte werden ook de droog- en vers gewichten van alle bovengrondse delen gemeten. (Droog gewicht na 48 uur drogen bij 105°C).

Berekeningen en statistiek

Statistische analyses (ANOVA) werden uitgevoerd met Genstat (release 9.2, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, UK). Significante verschillen ($P < 0.05$) tussen behandelingen werden aangetoond m.b.v. Fisher's LSD.



Resultaten en Discussie

Bloemknopvorming onder KD zonlicht sneller dan onder KD LED-licht

Op dag 23 na de start van de lichtbehandeling in het klimaatkamer experiment werd in de KD-behandeling met kunstmatig zonlicht (KD), bloemknopvorming vastgesteld terwijl in de LD-behandeling met kunstmatig zonlicht (LD) geen bloemknopvorming optrad. Dit was geheel conform de verwachting. In dit experiment trad de bloei-inductie bij KD met zonlicht overdag, een paar dagen eerder op dan in voorgaande experimenten met LED-licht overdag (rond dag 23 i.p.v. rond dag 28), terwijl de temperatuur, RV en lichtintensiteit in de klimaatkamer vergelijkbaar waren en er werkt gemeten aan dezelfde cultivar. Een effect van uitgangsmateriaal lijkt onwaarschijnlijk omdat de voorgaande LED-experimenten een consistente duur van ca. 28 dagen tot bloei-inductie hadden, terwijl ze werden uitgevoerd in verschillende seizoenen. Er lijkt dus ook een effect te zijn van het spectrum overdag op de duur van de periode tot bloei-inductie. Ook in het kasexperiment met natuurlijk zonlicht overdag, werd in de korte dag (KD_K) behandeling bloemknopvorming vastgesteld op dag 23. Het in de genoemde LED- en zonlicht experimenten geregistreerde verschil in duur tot bloei-inductie a.g.v. verschil in lichtspectrum overdag blijft echter een indicatief resultaat omdat het verschil niet is vastgesteld in gelijktijdig uitgevoerde behandelingen met hetzelfde uitgangsmateriaal. De versnelde bloei-inductie onder zonlicht t.o.v. LED-licht is een onverwacht resultaat omdat de dagelijkse licht som in de KD tijdens de klimaatkamerexperimenten gelijk was.

Geen bloemknopvorming bij daglengte verlenging met blauwe LEDs na zonlicht

In tegenstelling tot de eerdere klimaatkamerexperimenten onder 100% LED-belichting, trad bij de LD-behandeling met 11 uur kunstmatig zonlicht plus 4 uur lichtverlenging met blauwe LEDs (LD_{4B}), **geen** bloemknopvorming op. Hetzelfde bleek het geval bij de nog extremere lichtbehandeling waarbij 14 uur zonlicht werd gecombineerd met 1 uur blauwe LEDs (LD_{1B}). Ook op dag 38 na de start van de lichtbehandelingen, aan het einde van het klimaatkamer experiment, werd in deze twee LD-behandelingen, net als in de gewone LD behandeling geen bloei-inductie waargenomen. Ook in het kasexperiment, bij natuurlijk zonlicht, trad bij de behandeling met 4 uur extra blauw LED-licht na 11 uur natuurlijk zonlicht (LD_{4BK}) **geen** bloemknop vorming op. Na afsluiten van het kasexperiment werden een aantal LD planten nog enige tijd aangehouden. Op dag 53 na start van de lichtbehandelingen werd enige bloemknop aanleg in de LD_{4BK} behandeling geconstateerd, maar dit betrof in alle gevallen geaborteerde bloemknoppen. Het ging hierbij



waarschijnlijk om bloemknoppen die waren ontstaan na het bereiken van het “LD leaf number”, het aantal afgesplitste bladeren waarbij sowieso bloemknopaanleg plaatsvindt.

Hoofdconclusie van dit onderzoek

Er treed geen bloei-inductie op bij Chrysant onder verlengde belichting met blauw licht (LD) wanneer gedurende de rest van de lichtperiode zonlicht wordt gegeven, terwijl dit wel het geval is wanneer tijdens de rest van de lichtperiode een combinatie van rood en blauw LED licht wordt gegeven.

Uit bovenstaande resultaten kan direct worden geconcludeerd dat daglengte verlenging met blauw LED licht niet zonder meer kan worden toegepast in de commerciële teelt van pot- en snijchrysant omdat er geen bloemknop vorming plaatsvindt wanneer er tijdens de normale korte dag periode zonlicht wordt aangeboden aan de planten. Dit is een opmerkelijke conclusie omdat dit, voor zover aan de auteurs van dit rapport bekend, de eerste keer is dat er een verband wordt gelegd tussen het spectrum van het licht tijdens de lichtperiode en het al dan niet optreden van bloemknopvorming in KD-planten.

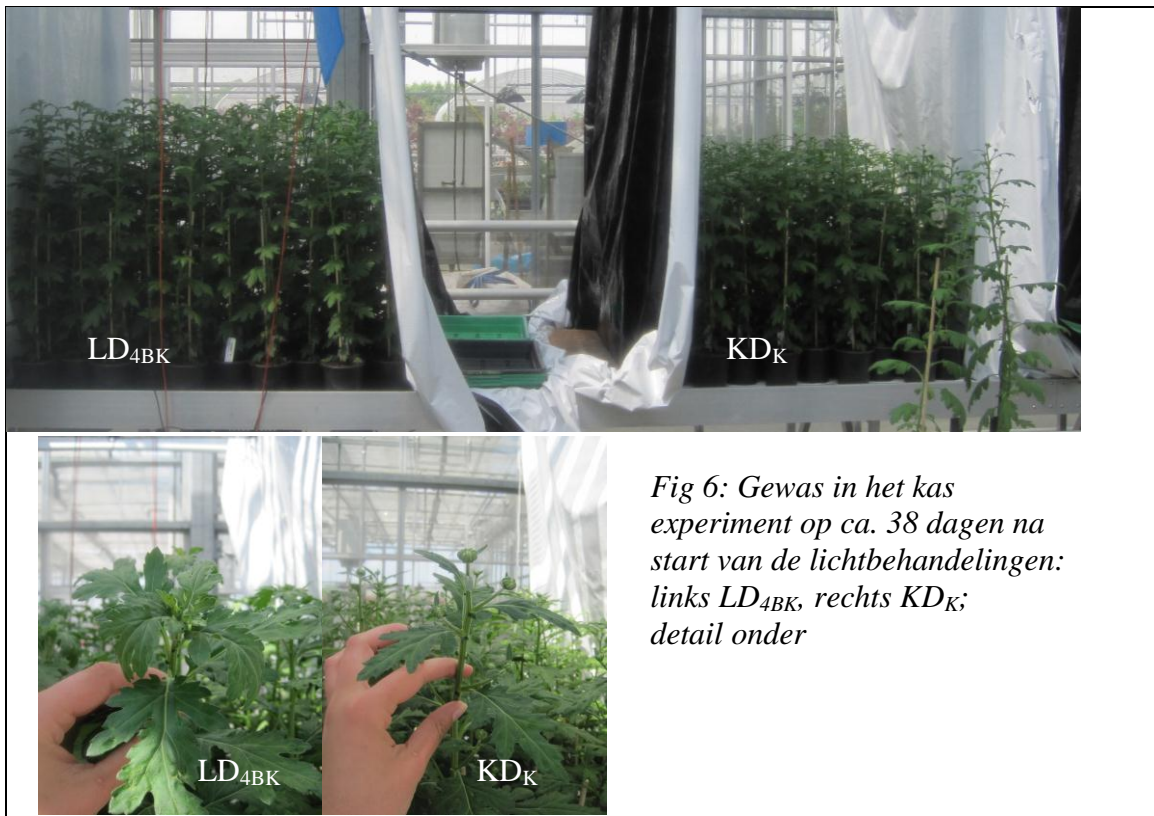


Fig 6: Gewas in het kas experiment op ca. 38 dagen na start van de lichtbehandelingen: links LD_{4BK}, rechts KD_K; detail onder



Effecten op morfologie

Door het onverwachts uitblijven van bloemknopvorming in de speciale LD-behandelingen met extra blauw licht in beide experimenten met zonlicht (natuurlijk en kunstmatig), is het oorspronkelijke doel van de groei analyse (nl. de vergelijking van uitgroeiduur van de bloemknoppen, productie en visuele kwaliteit van de bloemstelen tussen de speciale LD-behandelingen en de normale KD behandeling) komen te vervallen. De groei-analyse in het klimaatkamer experiment is wel uitgevoerd, maar kan alleen gebruikt worden om de KD en LD-behandelingen onderling te vergelijken. Ook resultaten uit de groeianalyse van de kasproef worden wel gegeven, maar kunnen niet één op één vergeleken worden met de klimaatkamerproeven a.g.v. de inherent variabele dagelijkse lichtsommen in de kas.

De bloemstelen waren in de LD-behandelingen beduidend langer dan in de KD-behandelingen in zowel de kas- als het klimaatkamer experiment (Fig. 7). Zowel de langere belichtingsduur per etmaal, als het uitblijven van de bloei in de LD-behandelingen hebben aan dit verschil bijgedragen. De bloemstelen uit de kas waren veel langer dan de bloemstelen uit de klimaatkamer, waarschijnlijk door de hogere dagelijkse lichtsom in het kas-experiment.

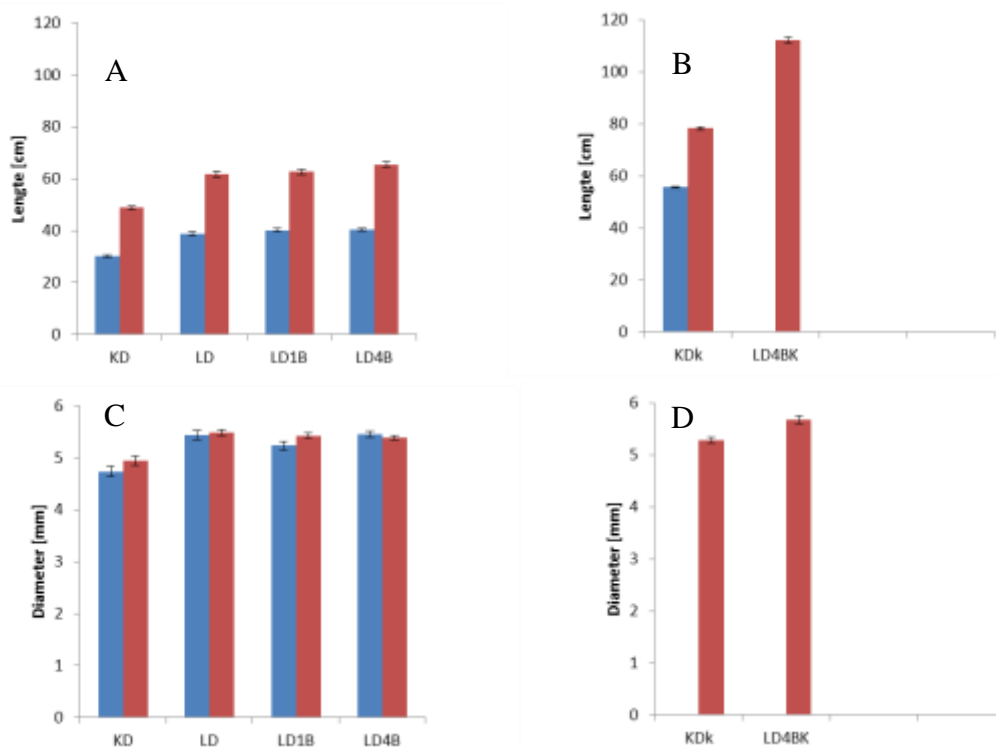


Fig. 7: Lengte (A,B) en diameter (C,D) van de bloemstelen, gemeten op het moment van bloei-inductie in de KD (dag 25; blauwe staven) en bij beëindiging van de experimenten (dag 38) in het klimaatkamer experiment (A,C) en het kas experiment (B,D)

In het klimaatkamer experiment werd tussen de verschillende LD behandelingen (LD, LD_{1B} en LD_{4B}) geen verschil in lengte gevonden. Ook de periode blauw licht aan het einde van de LD had geen effect op de lengte. De lengte verschillen tussen KD en LD op dag 25 (voornamelijk vegetatieve fase) kan in beide experimenten (kas en klimaatkamer) worden toegewezen aan het verschil in dagelijkse licht som tussen de KD en LD.

De diameter van de stengels, gemeten aan het negende internodium, verschilde aanzienlijk tussen de KD- en de LD behandelingen (Fig. 7). De stengels uit de kas waren enigszins dikker dan die uit de klimaatkamer, maar er werd geen opmerkelijk verschil waargenomen tussen de verschillende LD behandelingen in het klimaatkamer experiment.

De bladdikte (uitgedrukt in Leaf Mass Area (LMA; g drooggewicht per m² bladoppervlak) vertoonde dezelfde tendensen over de behandelingen en experimenten als de lengte en diameter van de bloemstengels (Fig. 8). Verschillen tussen de LD-behandelingen in het klimaatkamer experiment waren niet significant. Verschillen tussen KD en LD in beide experimenten wel: LD resulteerde in zwaardere bladeren per m² bladoppervlak dan KD hetgeen, door de hogere dagelijkse lichtsom niet onverwacht is.

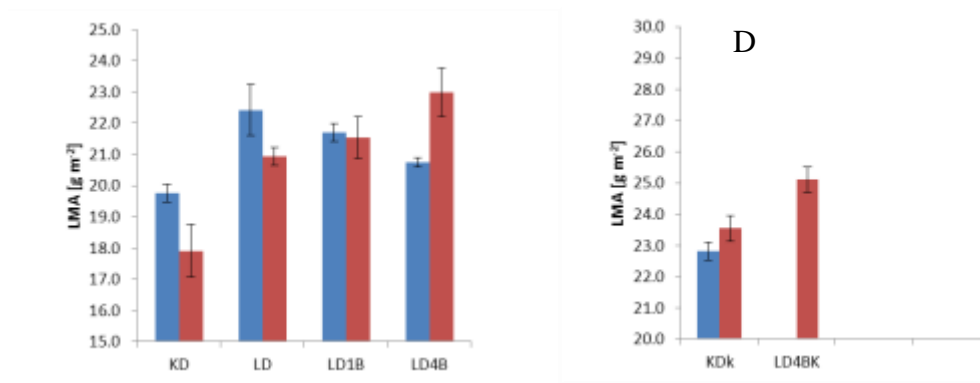


Fig. 8: Lengte (A,B) en diameter (C,D) van de bloemstelen, gemeten op het moment van bloei-inductie in de KD (dag 25; blauwe staven) en bij beëindiging van de experimenten (dag 38) in het klimaatkamer experiment (A,C) en het kas experiment (B,D)

Een verdere directe morfologische vergelijking tussen het klimaatkamer- en kasexperiment is niet zinvol, omdat de totale lichtsommen sterk verschilden: de natuurlijke instraling in de kas was uiteraard variabel en sterk afhankelijk van het weer, en hoger dan de totale lichtsommen in het klimaatkamer experiment. Bovendien was het lichtspectrum in de kas, t.g.v. van de bij belichting met SON-T bij lage instraling, afwijkend van het zonlichtspectrum in de klimaatkamer.

Effecten op droge stof productie

De totale droge stof productie was hoger in de LD-behandelingen dan in de KD behandelingen en beduidend hoger in de kas dan in de klimaatkamer (Fig. 9). Ook deze verschillen zijn zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de verschillen in dagelijkse lichtsommen tussen de behandelingen per experiment en tussen het kas en klimaatkamer experiment. Tussen de LD-behandelingen in de klimaatkamer werden geen verschillen in totale droge stof productie aangetroffen.

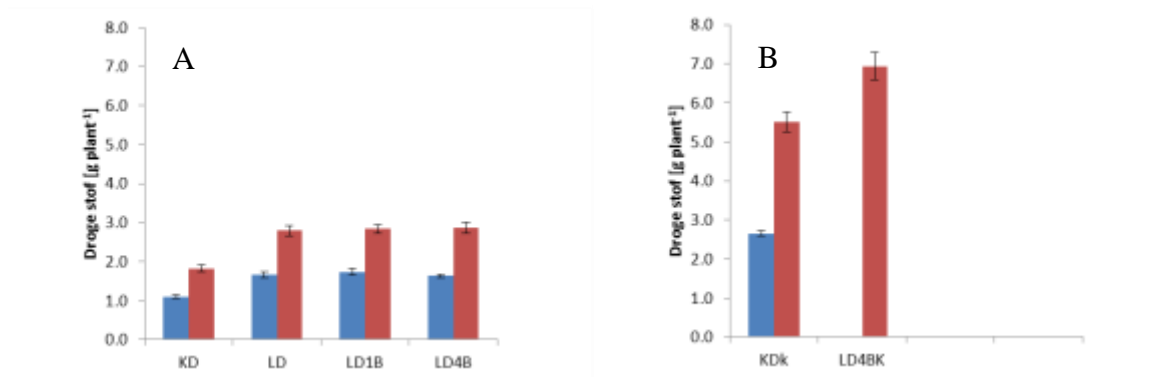


Fig. 9: Totale droge stof gewicht per plant gemeten op het moment van bloei-inductie in de KD (dag 25) en bij beëindiging van de experimenten (dag 38) in het klimaatkamer experiment (A) en het kas experiment (B).

Effecten op droge stof verdeling

De droge stof verdeling over de bovengrondse delen liet tot aan de bloei-inductie (ca. dag 23) geen opmerkelijk verschillen zien tussen het kas- en klimaatkamer experiment (Fig. 10 en 11). Na de bloei-inductie in de KD-behandelingen werd in de kas een aanzienlijk groter deel van de geproduceerde droge stof toegewezen aan de groeiende bloemknoppen dan in de klimaatkamer (25 vs 5%). In de kas trad er na de start van bloei-inductie een aanzienlijke verlaging van droge stof toewijzing naar bladeren (-20%) en naar de stengel (-5%) op, terwijl in de klimaatkamer de fractie van de droge stof naar de bladeren iets minder sterk daalde dan in de kas (-15%) maar naar de stengel juist toenam (+10%). Hier kunnen zowel spectrale effecten een rol hebben gespeeld (wel additionele SON-T belichting in de kas maar niet in de klimaatkamer) als ook de totale dagelijkse licht som verschillen tussen de kas en de klimaatkamer. De grotere fractie droge stof naar de bladeren in het klimaatkamer experiment kan worden verklaard uit het relatief lagere lichtniveau. De sterke daling in droge stof fractie naar de bladeren in de KD na bloei-inductie komt door de stop op bladafplitsing na bloei-inductie.

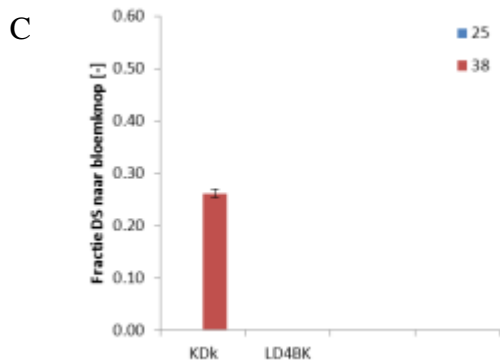
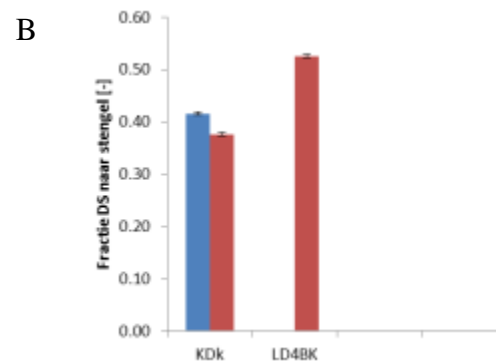
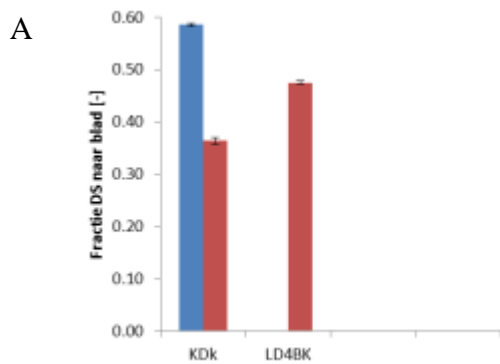


Fig. 10: Droge stof verdeling in het kas experiment, gemeten op dag 25 (blauw) en dag 38 (rood): Fractie naar bladeren (A), stengel (B) en bloemknop (C).

KDK: korte dag behandeling 11 uur natuurlijk zonlicht, aangevuld met SON-T.

LD4BK: Lange dag behandeling, 11 uur natuurlijk zonlicht, aangevuld met SON-T, de laatste 4 uur van de lichtperiode alleen blauwe LEDs

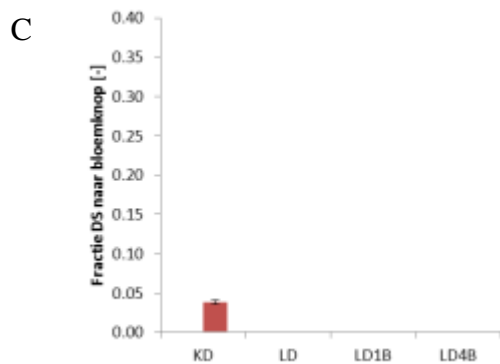
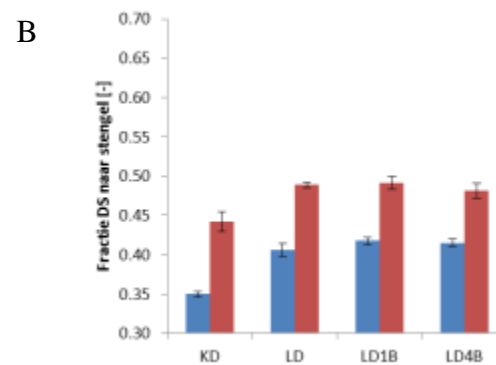
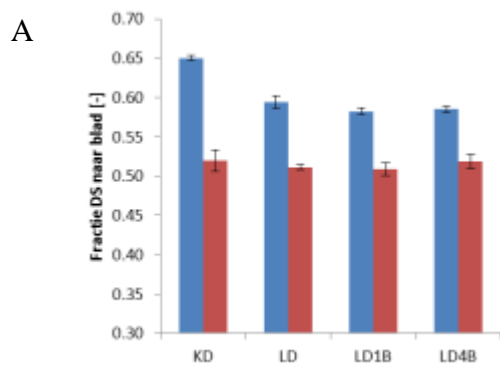


Fig. 11: Droge stof verdeling in het klimaatkamerexperiment, gemeten op dag 25 (blauw) en dag 38 (rood)

KD: korte dag - 11 uur kunstmatig zonlicht.

LD: lange dag - 15 uur kunstmatig zonlicht

LD1B: lange dag -14 uur natuurlijk zonlicht + 1 uur blauwe LEDs

LD4B: lange dag -11 uur natuurlijk zonlicht +4 uur blauwe LEDs



Relatie tussen de fytochroom status (PPS-waarde) en bloei inductie

Het was een onverwachte verrassing dat het lichtspectrum tijdens de KD (overdag) invloed bleek te hebben op het wel of niet optreden van fotoperiodische bloei-inductie bij verlenging van de KD met 4 uur blauw licht naar een lange nacht:

Samenvattend:

11 uur belichting met RB-LEDs of met zonlicht geeft altijd bloei-inductie.

15 uur belichting met RB-LEDs of met zonlicht geeft nooit bloei-inductie.

15 uur belichten met de laatste 4 uur alleen blauw licht kan leiden tot bloei-inductie veroorzaken, maar doet dit niet altijd.

Het lijkt erop dat het wel of niet detecteren van blauw licht als nachtonderbreking door de plant o.a. afhankelijk is van het spectrum overdag. Met andere worden de gevoeligheid voor blauw licht (hier specifiek getest in de eerste 4 uur van de virtuele nacht periode) is anders bij overdag zonlicht dan bij alleen rood en blauw licht.

Het berekende fytochroom evenwicht (PSS-waarde 0,89) van de RB-leds was overdag veel hoger dan bij natuurlijk zonlicht (PSS-waarde 0,72) en de zonlichtlampen (PSS-waarde 0,72). Dit zou kunnen wijzen op relatief meer inactief fytochroom dan actief fytochroom aan het einde van de lichtperiode bij zonlicht, maar er zou ook een absoluut verschil in totaal fytochroomgehalte kunnen zijn geweest. Het is bijvoorbeeld bekend dat 'blauw' licht aan fytochroom gerelateerde mRNA niveaus kan verlagen en dus mogelijk ook absolute hoeveelheid fytochroom beïnvloedt. Of dit daadwerkelijk het geval is blijft echter speculatie



Samenvattende Conclusies

1. Het telen van chrysanthe in een klimaatkamer onder kunstmatig zonlicht levert normaal ogende planten op met een vergelijkbaar tijdstip van bloei-inductie als onder natuurlijk zonlicht in de kas.
2. De duur tot bloei-inductie na start van de KD bleek onder zonlicht aanmerkelijk korter dan bij vergelijkbare experimenten met LED-licht, bij verder zelfde omstandigheden.
3. Verschillen in droge stof productie tussen KD en LD behandelingen zijn grotendeels verklaarbaar vanuit verschillen in totale lichtsom per dag.
4. Er treden geen opmerkelijk grote verschillen op in de droge stof verdeling naar stengel en blad tussen planten die groeiden onder kunstmatig en natuurlijk zonlicht. De kleine verschillen in droge stof verdeling die werden waargenomen zijn in lijn met de verwachte verschillen als gevolg van de verschillen in lichtintensiteit tussen het kas (rel. hoog licht) en het klimaatkamer (rel. laag licht) experiment.
5. Het vervangen van zonlicht tijdens een gedeelte van de LD-periode door blauw licht, had geen gevolgen voor de totale droge stof productie en verdeling over de bovengrondse delen
6. In tegenstelling tot algemeen aangenomen, is bij LD planten niet alleen de duur van de nachtperiode, maar ook *het spectrum van het licht tijdens de dag periode* van invloed op het al dan niet optreden van bloei-inductie.
7. Uit bovenstaande resultaten kan direct worden geconcludeerd dat daglengte verlenging met blauw LED licht niet zonder meer kan worden toegepast in de commerciële teelt van pot- en snijchrysanthe in kassen, omdat er geen bloemknop vorming plaatsvindt wanneer er tijdens de normale korte dag periode zonlicht wordt aangeboden aan de planten.



Aanbevelingen

De resultaten van dit onderzoek zijn al toepasbaar in teeltsystemen zonder daglicht, zoals meerlagen teelten en ‘plant factory systemen. In de glastuinbouw is directe toepassing nog niet mogelijk.

De introductie van de relatief nieuwe assimilatie belichtingstechnologie met LEDs maakt veel meer mogelijk dan alleen het efficiënter produceren van licht uit elektriciteit en het optimaliseren van de fotosynthese. Met name het gecombineerd sturen op groei en ontwikkeling biedt nog vele mogelijkheden die kunnen worden ingezet om teelten efficiënter en duurzamer te maken.

Dit onderzoek laat zien dat LEDs in de toekomst een belangrijke rol kunnen gaan spelen bij bijvoorbeeld het controleren van de bloei inductie bij siergewassen, maar ook dat de huidige kennis m.b.t. de achterliggende fysiologische processen daarvoor nog niet toereikend is. Het feit dat onder bepaalde lichtspectra de bloei van KD planten onder LD kan plaatsvinden blijft echter een belangrijke kans.

Kennisontwikkeling op het gebied van bloei inductie staat niet stil. Momenteel worden in het plantenfysiologische, moleculaire en genetische onderzoek naar de bloei van planten grote vorderingen geboekt, waarbij de rol van de verschillende fotoreceptoren op de bloei inductie belangrijke aandacht krijgt en oude concepten het veld ruimen voor nieuwe. Wanneer deze nieuwe concepten en inzichten uit het fundamentele onderzoek adequaat worden opgepikt en gekoppeld aan de stuur mogelijkheden van LEDs kan dit een belangrijk bijdragen aan de mogelijkheden tot sturing van de bloei in gewassen in kasteelten.

Uiteindelijk zal dit leiden tot aanzienlijke verbeteringen in de productie efficiëntie van met name sierteeltgewassen. Het verdient daarom aanbeveling om de specifieke effecten van het lichtspectrum op bloei aan te houden als aandachtsveld in het LED-onderzoek.



Literatuur

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, et al. (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, et al. (2003). "Far-red light absorbing photoselective plastic films affect growth and flowering of chrysanthemum cultivars." *HortScience* 38(2): 284-287.

Spaargaren, I. J. J. (2002). "De teelt van jaarrondchrysanten."

Takeda, F., D. M. Glenn, et al. (2010). "Delaying flowering in short-day strawberry transplants with photoselective nets." *International Journal of Fruit Science* 10(2): 134-142.