



Chrysant en alstroemeria: sturen met lichtspectrum

Deelrapport I van het project "LED licht bij zonlicht"

Anja Dieleman, Caterina Carpineti, Marjolein Kruidhof, Jelle Geurts en Kees Weerheim

Rapport WPR-856

Referaat

Om te kunnen ontwikkelen naar een duurzame en klimaatneutrale glastuinbouw moet gewerkt worden zonder middelengebruik, gas en emissies. De uitdaging hierbij is hoe het gewas productief én gezond te houden bij minimale energiekosten. Om dit te realiseren, is het gebruik van efficiënte belichtingssystemen zoals LEDs essentieel. De vraag hierbij is hoe zowel gewas als natuurlijke vijanden reageren op veranderende lichtcondities. Daarom is in dit project onderzoek gedaan naar de effecten van lichtspectra op zowel gewasgroei, ontwikkeling en productie, als op de populatieopbouw van natuurlijke vijanden. Bloemproductie bij alstroemeria bleek het hoogst te zijn bij een breedbandig spectrum, maar blad- en bloemschermkwaliteit was daarbij minder goed. In de praktijk zal voor een compromis gekozen moeten worden. Bij de teelt van chrysant onder full-LED was de vrees dat met name in de winter de bloemtakken te kort zouden kunnen blijven. Echter, door aan het einde van de dag een half uur na te belichten met een lage intensiteit verrood licht, de takken aanzienlijk langer te worden zonder dat dit veel (extra) energie kost. Dit geeft aan dat er met LED goed te sturen is, wat de overgang naar een duurzaam, fossielvrij teeltsysteem op basis van LED dichterbij brengt.

Abstract

In the development towards sustainable and climate-neutral greenhouse horticulture, means must be found to work without the use of chemical crop protection, natural gas and emissions. main challenge is to maintain crop health and production with minimal input of energy. To achieve this, the use of efficient lighting systems such as LEDs is essential. The main question is therefore how both crops and natural enemies respond to changing light conditions. Therefore, in this project, we executed trials to determine the effects of light spectra on crop growth, development and production, as well as on the population of natural enemies. Flower production in alstroemeria was found to be highest under a broadband spectrum, but leaf and flower quality was less. In practice, a compromise will have to be made in choice of spectrum. Growers fear that, especially in winter, chrysanthemums grown under LED lighting might remain too short at low cultivation temperatures. However, by irradiating with a low-intensity far-red light for half an hour at the end of the day, the stems become considerably longer without costing much (extra) energy. This indicates that LED offers unique opportunities to control the crop, which brings the transition to a sustainable, fossil-free cultivation system based on LED closer.

Rapportgegevens

Rapport WPR-856

Projectnummer: 3742258600

DOI: <https://doi.library@wur.nl/10.18174/567169>

Thema: Energie

Dit project/onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdragen van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland binnen het programma Kas als Energiebron, met een bijdrage in de lampen en de aansturing daarvan van Signify.

Disclaimer

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Integraal duurzaam teeltsysteem	8
1.3	Doelstelling	8
1.4	Leeswijzer	8
2	Innovatie en demonstratie centrum voor LED toepassingen in de glastuinbouw	9
2.1	IDC LED kasinrichting en klimaatregeling	9
2.2	LED licht behandelingen	10
3	Effecten van lichtkleuren op groei en morfologie van chrysant	13
3.1	Inleiding	13
3.1.1	Invloed van lichtspectrum op groei, ontwikkeling en morfologie	13
3.1.2	Invloed van lichtspectrum op natuurlijke vijanden	14
3.2	Materiaal en methoden	14
3.2.1	Teelt en behandelingen	14
3.2.2	Metingen	16
3.2.2.1	Destructieve eendoogst	16
3.2.2.2	Fotosynthese	17
3.2.2.3	Lichtonderschepping	17
3.2.3	Vestiging <i>Orius laevigatus</i> roofwantsen	17
3.3	Resultaten	18
3.3.1	Klimaat	18
3.3.2	Gewasgroei en plantlengte	18
3.3.2.1	Einde lange dag periode	18
3.3.2.2	Fotosynthese	20
3.3.2.3	Teeltverloop	20
3.3.2.4	Destructieve eendoogst	21
3.3.3	Vestiging <i>Orius laevigatus</i> roofwantsen	28
3.4	Conclusies en aanbevelingen	29

4	Toepassing van verrood in chrysant: op weg naar de praktijk	31
4.1	Inleiding	31
4.2	Materiaal en methoden	32
4.2.1	Teelt en behandelingen	32
4.2.2	Metingen en analyse	35
4.2.2.1	Tussentijdse oogst	35
4.2.2.2	Eindoogst	36
4.2.2.3	Data Analyse	38
4.3	Resultaten en discussie	39
4.3.1	Klimaat	39
4.3.2	Tussentijdse oogst	39
4.3.3	Eindoogst	41
4.3.3.1	Strekking	41
4.3.3.2	Takgewicht	45
4.3.3.3	Bladoppervlakte	47
4.3.3.4	Lichtbenuttingsefficiëntie	47
4.3.3.5	Bloemen	47
4.3.3.6	Wortelgroei	48
4.4	Conclusies en aanbevelingen	51
5	Effecten van lichtkleuren op groei, productie en takkwaliteit van alstroemeria	53
5.1	Inleiding	53
5.2	Materiaal en methoden	53
5.2.1	Teelt en behandelingen	53
5.2.2	Metingen	55
5.3	Resultaten	56
5.3.1	Klimaat	56
5.3.2	Plantmetingen	56
5.4	Conclusies	61
6	Discussie en aanbevelingen	63
6.1	Keuze lightspectrum	63
6.2	Effecten van blauw, groen, rood en verrood licht	63
6.3	Toepassing resultaten in een fossielvrij teeltsysteem	64
7	Kennisoverdracht en toepassing resultaten	65
	Literatuur	67

Samenvatting

In de afgelopen jaren is de belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw sterk toegenomen. Een van de grootste voordelen is de hogere energie-efficiëntie dan bestaande SON-T installaties. Andere voordelen zijn het feit dat LEDs snel aan en uit te schakelen zijn, gedimd kunnen worden, en licht af kunnen geven met het gewenste spectrum. Een van de grote vragen hierbij is hoe deze voordelen optimaal te benutten zijn door het juiste lichtspectrum voor het gewas te telen, en stadiumafhankelijk goed in te kunnen zetten. Plantgezondheid is hierbij voorwaarde stellend. Daarom is het van belang om naast de effecten van LED op de gewasgroei en -fysiologie ook naar de effecten te kijken die van belang zijn voor de gewasgezondheid. Doel van het project "LED licht bij zonlicht" is het opstellen van (goede) basisspectra voor LED licht als aanvulling op het zonlicht onder omstandigheden met weinig natuurlijk licht. In dit rapport staan de resultaten voor alstroemeria en chrysant beschreven.

In alstroemeria en chrysant werd gestart met een screening van de effecten van een brede reeks lightspectra, die uiteenliepen van 95% rood/5% blauw, tot een "Wit FR" lightspectrum met gelijke delen blauw, groen, rood en verrood licht. Bij alstroemeria bleek de spectrale samenstelling van het licht grote effecten te hebben op de taklengte, blad- en bloemkwaliteit en de (vroege) productie. Complicerende factor was dat de behandeling met de hoogste productie (Wit FR) de minste bladkwaliteit had. Blad- en bloemkwaliteit waren het beste in de behandeling met 10% blauw, 5% groen, 75% rood en 10% verrood licht, waarmee dit een goede keuze was voor vervolgonderzoek naar een fossielvrij teeltsysteem voor alstroemeria op basis van LED belichting.

De resultaten van dit experiment laten zien dat het goed mogelijk is chrysanten te telen onder een full LED systeem, onder (nagebootste) winterse condities, waarbij het zonlicht 20% van de totale lichtsom vormt en het LED licht 80%. Het variëren van de aandelen rood, blauw en groen licht bleek weinig effect te hebben op uitgroeiduur, taklengte en takgewicht. Een hoger aandeel rood licht in het spectrum leidde tot een lagere eileg van *Orius laevigatus* roofwantsen. Wel bleek al snel na het inzetten van de lichtbehandelingen, dat de behandelingen met verrood licht langere bloemtakken gaf. Wanneer het aandeel verrood licht te hoog is (25%) gaat dit ten koste van de bloei en leidde dit tot takken die geen volwaardig bloemscherm vormden. Dat betekent dat de strekking goed te sturen is met verrood licht, maar verder onderzoek nodig leek om het verrood effectief te benutten. Daarom is een tweede experiment gestart, dat zich met name richtte op de effecten van verrood licht. Wanneer aan het einde van de dag gedurende 30 minuten nabelicht wordt met 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht, is al na twee weken meer takstrekking te zien, en zijn bloemtakken aantoonbaar langer dan in de referentie. In de behandelingen waar 10 of 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht gedurende de hele dag werd gegeven, waren de bloemtakken niet langer. Er was geen effect van de behandelingen op takgewicht, wel een beperkt effect op uitgroeiduur.

De resultaten van dit onderzoek geven aan dat het goed mogelijk is met lightspectrum de productie en takkwaliteit van siergewassen als alstroemeria en chrysant te sturen. Hiermee is de ontwikkeling richting duurzame en fossielvrije glastuinbouw weer een stap dichterbij gekomen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Om energiebesparing en klimaatneutrale toepassingen voor all-electric glastuinbouw te kunnen combineren met belichting wordt veel verwacht van efficiëntere belichtingssystemen zoals LEDs. LED biedt energetisch voordelen en geeft ruimte voor toepassing van dynamische lichtrecepten (lichtkleur is te kiezen en in de tijd te variëren). In het project 'Denkkader licht' is een beeld geschetst van de kennis die er over lichtkleuren is en het effect daarvan op groei en ontwikkeling van het gewas, op de ontwikkeling van ziekten, plagen en de effectiviteit van biologische bestrijders en de kennislacunes die er zijn. Over de combinatie van lage intensiteit zonlicht in de winter gedurende een beperkt aantal uren per etmaal, met LED verlichting gedurende een groot deel van het etmaal, blijkt heel weinig bekend. Veel onderzoek naar de invloed van lichtkleuren op gewasgroei en –ontwikkeling is gedaan aan effecten van één kleur, vaak in daglichtloze condities, maar slechts weinig onderzoek naar een integrale benadering van LED belichting in kassen met daglicht. Twee richtingen van ontwikkeling van lichtrecepten lijken perspectiefvol voor onderzoek en vervolgens voor toepassing in de glastuinbouw: (1) balans tussen kleuren en (2) minimale hoeveelheid licht van bepaalde kleur.

Vanuit de projecten "Denkkader licht" en "Een betere benutting van groen licht" zijn een aantal onderwerpen geformuleerd, waarbij nog niet duidelijk is hoe lichtkleuren het gewas beïnvloeden, en hoe dit optimaal toe te passen zou zijn in kassen (als aanvulling op zonlicht):

- Waarneming in een aantal onderzoeken is dat er problemen (kunnen) zijn in een teelt onder LED belichting in winters als de natuurlijke hoeveelheid licht laag is. Wanneer de natuurlijke hoeveelheid licht toeneemt, verdwijnen deze problemen (syndroom in rozen, bolblad chrysant). De veronderstelling is dat er bij weinig natuurlijk licht gebrek is aan bepaalde lichtkleuren (blauw, groen of verrood). Dat kan onderzocht worden door verschil te maken in minimale hoeveelheden van een zekere lichtkleur in het spectrum.
- De effecten van groen en verrood licht op planten zijn tot op zekere hoogte vergelijkbaar (strekking, lichter groene bladeren). Groen licht draagt direct bij aan de fotosynthese van planten, verrood licht doet dat op een indirecte manier (betere afstemming van de fotosystemen in de plant, met als gevolg een hogere fotosynthese). De vraag is in hoeverre groen en verrood licht onderling vervangbaar zijn, of dat beiden in een minimale hoeveelheid noodzakelijk zijn voor een goede gewasgroei.
- Als er in de wintermaanden belicht wordt, bestaat de dag uit twee periodes. In het eerste deel (vaak van middernacht tot zonsopkomst) is er geen zonlicht, maar alleen lamplicht. In het tweede deel van de dag wordt er belicht bovenop het aanwezige zonlicht. Het is heel goed denkbaar dat de eisen aan het spectrum in die twee periodes van de dag verschillend zullen zijn, waarbij het spectrum in de afwezigheid van zonlicht breder moet zijn dan wanneer er wel zonlicht is.
- Welke processen worden er gestuurd door de verschillende lichtkleuren. Indicaties zijn dat verrood licht zorgt voor beworteling, stengelstrekking en bloei, groen licht voor een groot bladoppervlakte per gewicht en blauw licht voor een hoge fotosynthesecapaciteit van bladeren en pigmentvorming (kleur). In de verschillende fasen van de teelt zijn er verschillende plantprocessen van belang. Met de kennis hoe plantprocessen gestuurd kunnen worden, kan het ideale lichtrecept in verschillende fasen van de teelt opgesteld worden.

1.2 Integraal duurzaam teeltsysteem

Voor een integraal duurzaam teeltsysteem is het streven zonder middelengebruik, gas en emissies te werken. De grote vraag wordt dan hoe het gewas productief én gezond kan worden gehouden bij minimale energiekosten. Natuurlijke vijanden - die kunnen worden ingezet voordat plagen een probleem zijn geworden - vormen in combinatie met een weerbaar gewas de basis van een preventieve systeemaanpak om het gewas plaagvrij te houden. Net als planten reageren ook natuurlijke vijanden op een afnemende/ lagere hoeveelheid natuurlijk licht. Veranderingen in lichtcondities kunnen waarschijnlijk mede verklaren waarom biologische plaagbestrijding vaak moeizamer verloopt wanneer de herfst zijn intrede doet. Bij overschakelen naar LED belichting zou het daarom niet alleen voor gewasproductie en kwaliteit, maar ook voor biologische bestrijders en plantweerbaarheid belangrijk kunnen zijn met welk spectrum er wordt bijbelicht. Echter zijn studies naar effecten van lichtspectrum op natuurlijke vijanden en plantweerbaarheid nog schaars, en zijn ze meestal niet tegen een achtergrond van natuurlijk daglicht uitgevoerd. Om de volle mogelijkheden te benutten die LED verlichting biedt, is het belangrijk om naast de effecten van LED op de gewasgroei en -fysiologie ook naar de effecten te kijken die van belang zijn voor de gewasgezondheid

1.3 Doelstelling

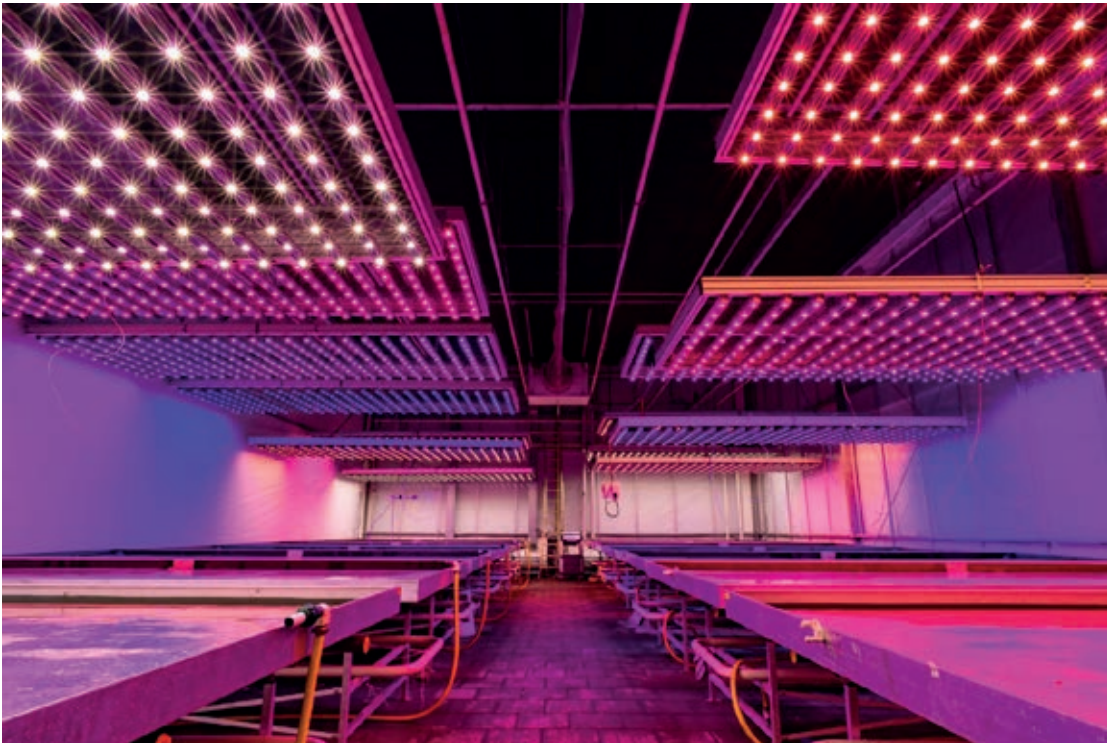
Het doel van het project "LED licht bij zonlicht" is het opstellen van (goede) basisspectra voor LED licht als aanvulling op het zonlicht onder omstandigheden met weinig natuurlijk licht, voor een aantal gewassen (tomaat, komkommer, chrysant en alstroemeria) en natuurlijke vijanden van plagen. Deze kennis moet bij voorkeur zo spoedig mogelijk toegepast worden in energieneutrale teeltsystemen in de glastuinbouw. In dit rapport worden de resultaten van de proeven met alstroemeria en chrysant beschreven.

1.4 Leeswijzer

Na het beschrijven van de aanleiding en doelstelling van dit rapport in hoofdstuk 1, wordt in hoofdstuk 2 de faciliteit beschreven (het Innovatie en Demonstratiecentrum voor LED toepassingen in de glastuinbouw, IDC LED) waarin het onderzoek naar lichtspectra voor dit project is uitgevoerd. In de hoofdstuk 3 worden de resultaten van het onderzoek naar de effecten van lichtkleuren op de groei, ontwikkeling en kwaliteit van chrysant beschreven, en het effect van de lichtspectra op de vestiging van *Orius laevigatus* roofwantsen. In hoofdstuk 4 is gekeken naar het effect van lichtspectra, met name gericht op verrood licht, op chrysant, met als doel dit toe te passen in de praktijk. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van het onderzoek naar effecten van lichtkleuren op groei en takkwaliteit van alstroemeria beschreven. In hoofdstuk 6 worden de resultaten samengevat, worden conclusies geformuleerd en worden de resultaten bediscussieerd. In hoofdstuk 7 wordt beschreven op welke wijze de resultaten van dit project gedeeld zijn, en toepassing gevonden hebben.

2 Innovatie en demonstratie centrum voor LED toepassingen in de glastuinbouw

Het onderzoek dat in dit rapport beschreven wordt, is uitgevoerd in het Innovatie en Demonstratiecentrum LED toepassingen in de glastuinbouw (IDC LED), een gezamenlijke onderzoeksfaciliteit van de business unit Glastuinbouw van Wageningen University & Research en Signify (voorheen Philips). Eén van de afdelingen van het IDC LED is speciaal ingericht om onderzoek te doen aan de effecten van (dynamische) lichtspectra op de groei en ontwikkeling van verschillende gewassen.



Figuur 2.1 Overzicht van de verschillende tafels in het IDC LED en de lampenplafonds daarboven waarmee per tafel het lightspectrum geregeld kan worden. Wanneer er experimenten worden uitgevoerd, worden de tafels afgeschermd met wit plastic, om onderlinge beïnvloeding van het lichtklimaat te voorkomen.

2.1 IDC LED kasinrichting en klimaatregeling

Het IDC LED is een afdeling van 144 m² (9.6 m bij 15 m), één tralie met dubbele nok, doorlopende nokluchting en helder glas. De afdeling is uitgerust met een energiescherm (LS Ultra) en een verduisteringsscherm (LS Obscura). De gevels zijn uitgerust met verduisteringsschermen. Er is mogelijkheid om te koelen via een warmtewisselaar en verdeelslurf. De slurf hangt midden in de lengte richting van de kas, onder de centrale goot.



Figuur 2.2 De koelunit met uitblaasslurf, de hoge druk nevel leiding (werkend op de foto) en de schermen op 25 en 80%.

In het IDC LED (kasafdeling 7.01) staan twee rijen van ieder 7 tafels van 4 meter bij 1.80 meter met een gesloten bodem. De bodem heeft een structuur met gootjes zodat drainwater uit potten of matten naar de zijkanten van de tafel wordt afgevoerd. De kas heeft twee afzonderlijke irrigatiesystemen, zodat er twee watergeefstrategieën mogelijk zijn.

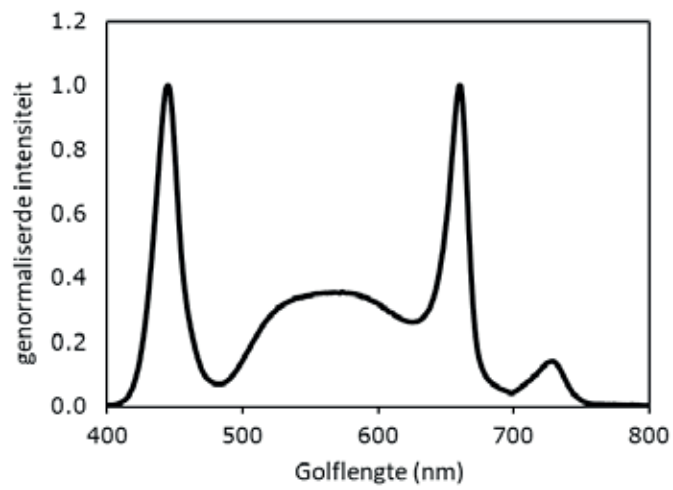
Het klimaat wordt geregeld door een ISII-klimaatcomputer (Hoogendoorn). Per teelt die er uitgevoerd is, werden de klimaatinstellingen aangepast. Uitgangspunt in dit project is een belichte teelt onder winterse condities, waarbij ongeveer 80% van het licht dat de planten krijgen afkomstig is van de lampen en ongeveer 20% van de zon. Om dit te realiseren, zijn waar nodig de koelinstallatie en de schermen gebruikt. Er wordt zuivere CO₂ gedoseerd als de lampen branden, waarbij de ingestelde concentratie verschilt per teelt.

De hoeveelheid zonlicht wordt gereguleerd door het zonweringsdoek te sluiten boven een instraling van 400 W/m². In combinatie met de lampenplanfond wordt zo de intensiteit van het zonlicht beperkt tot het gewenste niveau. De hoeveelheid inkomend zonlicht wordt gemeten boven het lichtplafond van elke tafel door middel van een PAR lijnsensor (Apogee). Bij elk experiment wordt de gerealiseerde hoeveelheid zonlicht berekend door het invallende licht te vermenigvuldigen met de transmissiefactor van het lampenplafond bij de gemeten planthoogte. Hetzelfde wordt gedaan voor de hoeveelheid gegeven LED licht wat ook uitdooft afhankelijk van de lamp-plantafstand waarbij het referentiepunt een lamp-plantafstand van 50 cm is.

Het gerealiseerde klimaat is gemeten met de geventileerde regel meetbox die boven de middelste tafel aan de rechterkant van de kas hing. Daarnaast is op elke tafel een draadloze temperatuur en luchtvochtigheidssensor (30 MHz) geïnstalleerd op 1 meter boven de tafel.

2.2 LED licht behandelingen

In de zomer van 2018 zijn in afdeling 7.01 van het IDC LED boven alle tafels rekken met dynamische LED modules (Philips GreenPower LED productie Dynamic) geplaatst. Deze modules zijn instelbaar in de kanalen blauw (piek bij 446 nm), wit (breed spectrum met hoog aandeel groen licht met piekmissie bij 571 nm), rood (660 nm) en verrood (729nm) (Figuur 2.3). Het regelsysteem dat hier bij hoort, maakt het mogelijk (bijna) ieder gewenst spectrum (dynamisch) in te stellen op afstand. De rekken met lampen hingen ca. 1.70 meter boven de tafel (afhankelijk van het experiment). De hoogte van de rekken bleef gedurende de teelt gelijk, waarmee de lichtintensiteit bij de top van het gewas gedurende de teelt toenam. Om lichtvervuiling tussen de behandelingen te voorkomen, was rondom de tafels wit folie opgehangen.



Figuur 2.3 Lichtspectrum van LED modules in het IDC LED, waarbij de 4 kanalen zijn aangeschakeld.

3 Effecten van lichtkleuren op groei en morfologie van chrysant

3.1 Inleiding

3.1.1 Invloed van lightspectrum op groei, ontwikkeling en morfologie

In de afgelopen jaren is er veel belangstelling voor de toepassing van LED belichting in de glastuinbouw. LEDs hebben een aantal voordelen ten opzichte van SON-T belichting, met als een van de belangrijkste de hogere energie-efficiëntie (tot ca. $3.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, vergeleken met ca. $1.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ voor SON-T). Andere voordelen van LED belichting zijn dat ze relatief weinig warmte afgeven, dus dicht bij het gewas geplaatst kunnen worden, en dat ze smalbandig licht kunnen geven in de lichtkleur die gewenst is voor het gewas. Echter, over het effect van lichtkleuren op een gewas als chrysant is nog veel onbekend. Omdat de grootste effecten van lichtkleuren te verwachten zijn als het aandeel LED licht ten opzichte van zonlicht groot is, gaan we in het onderzoek in dit project uit van “winterse” condities, waarin het zonlicht ca. 20% van de totale lichtsom vormt, en het LED licht ca. 80%.

Bij het samenstellen van de lichtbehandelingen in dit onderzoek zijn we uitgegaan van de kennis die er tot nu toe is over de effecten van specifieke lichtkleuren. De basiskleur in alle lichtbronnen is rood licht, waar normaal gesproken een deel blauw licht (meestal 5 tot 10%) aan toegevoegd wordt om de groei te verbeteren en extreme stengelstrekking te voorkomen. Rood licht is de meest effectieve lichtkleur in de fotosynthese (McCree, 1972; Inada, 1976) en heeft een hoge energie-efficiëntie (in $\mu\text{mol}/\text{J}$). Verder is het belangrijk voor de bladkwaliteit en vertakking (Lötscher en Nösberger, 1997; Finlayson *et al.* 2010). Blauw licht speelt een rol in stengelstrekking, en leidt tot kleinere bladeren, kortere stengels en een hoger gehalte aan pigmenten en daarmee een donkerder blad- of bloemkleur (Hogewoning *et al.* 2010). Groen licht dringt dieper door in het gewas (Sun *et al.* 1998), en kan daarmee de fotosynthese in diepere bladlagen positief beïnvloeden (Nishio, 2000; Kim *et al.* 2004; Folta en Maruhnich, 2007). Echter, niet in alle studies naar groen licht werd een duidelijk positief effect van groen licht gevonden (Johkan *et al.* 2012; Hernandez en Kubota, 2016; Kaiser *et al.* 2019). Het fotosynthetisch actieve licht (PAR) bestaat uit licht in de golflengtes 400 – 700 nm. Verrood licht (700 – 800 nm) valt niet in het PAR licht, maar heeft wel een grote invloed op plantmorfologie en daarmee ook op groei en productie. Verrood licht zorgt voor meer stengelstrekking, een meer horizontale bladstand en daarmee voor meer lichtonderschepping. In meerdere gewassen blijkt het toevoegen van een deel verrood licht aan het spectrum bij te dragen aan een hogere biomassa en productie (Ji *et al.* 2019; Dieleman *et al.* 2021).

In dit experiment doen we een brede scanning van de effecten van lichtkleuren op de groei, ontwikkeling en bloei van chrysant, geteeld in een full LED systeem, met LED als aanvulling op het zonlicht. De behandelingen die zijn toegepast lopen uiteen van RB (95% rood licht en 5% blauw licht), naar RhB (hogere aandeel blauw licht ten koste van rood licht) en RGB (15% groen licht in het spectrum) en Wit (gelijke delen blauw, groen en rood licht), waarbij de behandelingen RGB en Wit ook aangevuld werden met verrood licht. Tenslotte werden de effecten van een dynamisch spectrum getest, waarbij er van uitgegaan werd dat in de nacht, zonder zonlicht, een ander spectrum gegeven zou moeten worden dan wanneer het zonlicht aangevuld wordt.

3.1.2 Invloed van lichtspectrum op natuurlijke vijanden

Net als planten bezitten ook insecten en mijten fotoreceptoren, waarmee ze licht kunnen gebruiken om belangrijke ontwikkelings- en gedragsprocessen te sturen. Bovendien bezitten zowel volwassen insecten als de onvolgroeide stadia van hemimetabole insecten samengestelde ogen met een hoge ruimtelijke resolutie, waardoor navigatie en oriëntatie mogelijk zijn. Fotoreceptoren van insecten en mijten hebben over het algemeen optima in de UV-A, groene en soms blauwe delen van het spectrum (Kelber, 2001; Warrant en Nilsson, 2006). Insecten en mijten kunnen echter geen licht in het rode en verrode deel van het spectrum waarnemen, wat een duidelijk verschil is met de perceptie en het gebruik van licht door planten. Plagen en hun natuurlijke vijanden blijken zowel direct als indirect (via geïnduceerde plantweerbaarheid) te worden beïnvloed door lichtkwaliteit en -kwantiteit (Vanninen *et al.* 2010; Johansen *et al.* 2011). Terwijl UV-A een groot direct effect kan hebben op het gedrag van zowel plagen als sommige van hun natuurlijke vijanden (bijv. Antignus *et al.* 1996; Costa en Robb, 1999; Chyzik *et al.* 2003; Raviv en Antignus, 2004; Legarrea *et al.* 2010), en van lage tot matige UV-B-doses is aangetoond dat ze de door planten geïnduceerde weerstand tegen plagen kunnen verhogen (Jenkins, 2009; Ballare, 2014; Le Gall *et al.* 2015; Robson *et al.* 2015; Escobar-Bravo *et al.* 2018), kunnen plagen en natuurlijke vijanden ook worden beïnvloed door veranderingen in de lichtkwaliteit binnen het PAR-spectrum.

Wang *et al.* (2013) hebben ontdekt dat het lichtspectrum een sterk effect heeft op de fysiologie van de Aziatische roofwants *Orius sauteri*. Onder monochromatisch rood licht (678,5 nm) of blauw licht (478,1 nm) was de ontwikkelingstijd van deze Orius-soort respectievelijk 40% en 18% lager dan onder wit, groen of geel licht. Bovendien hadden *O. sauteri* roofwantsen die zich ontwikkelden onder rood of blauw licht een lagere vruchtbaarheid en onder rood licht ook een verhoogde ademhalings-quotiënt. Uit recent onderzoek is gebleken dat *Orius laevigatus*, de Orius-soort die in Europa commercieel verkrijgbaar is voor de biologische bestrijding van trips en verschillende andere plaagsoorten, een goede bestrijding van trips in chrysant kan geven wanneer ze wordt bijgevoerd met een geschikte alternatieve voedselbron (Kruidhof *et al.* 2020). Vroege introductie van *O. laevigatus* adulten in chrysanthemumstekken in combinatie met de toepassing van kwaliteits-artemia (Bioartfeed, Biobee Biological Systems) als alternatieve voedselbron zorgde voor een relatief snelle populatieopbouw tijdens de vegetatieve stadia van het gewas, waardoor een tijdige trips-bestrijding plaatsvond. Vanwege de korte teeltcyclus van chrysant is het belangrijk dat de populatieontwikkeling van Orius niet wordt beperkt door ongunstige omgevingsomstandigheden. Daarom volgden we binnen dit experiment de eileg en populatieontwikkeling van *O. laevigatus* onder verschillende LED-spectra die werden gebruikt als aanvulling op (lage intensiteit) zonlicht.

3.2 Materiaal en methoden

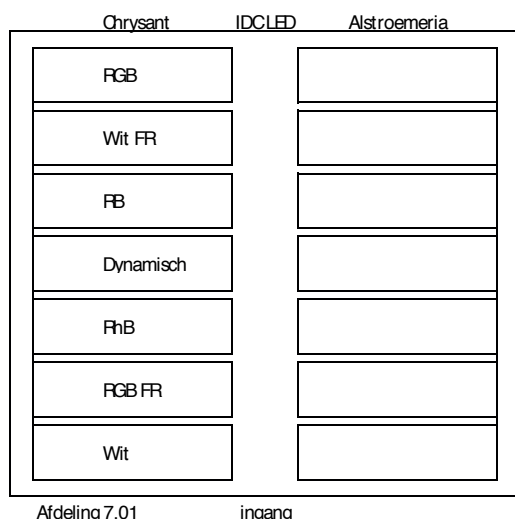
3.2.1 Teelt en behandelingen

In dit experiment is onderzocht hoe verschillende (LED) lichtspectra de groei, strekking en bloeiselheid van vier chrysantenrassen beïnvloeden. Deze proef is uitgevoerd in het najaar van 2018 (september – november), onder “winterse condities” in de kas, dus met lage niveaus zonlicht en lage temperaturen. De proef werd uitgevoerd in het IDC LED op 7 tafels, en werd gecombineerd met een teelt van alstroemeria, die op de andere 7 tafels werd uitgevoerd (zie hoofdstuk 5 voor de resultaten). Het gerealiseerde kasklimaat is daarmee een compromis, en moest geschikt zijn om zowel alstroemeria als chrysant te kunnen telen.

Tabel 3.1

Overzicht gegevens experiment chrysant

Gewas	Chrysant
Rassen	Baltica yellow, Pimento, Radost, Zembla cream (Deliflor)
Plantdatum (start experiment)	6 september 2018
Plantdichtheid	50 planten/m ²
Teeltstrategie	14 dagen lange dag, gevolgd door korte dag. Planten werden geoogst als ze oogstrijp waren (ten minste de helft van de planten had 3 open bloemen per tak)
Substraat en watergift	Teelt in bakken van 1 m x 20 cm, met veengebazeerd potgrond mengsel. Watergift via eb- en vloed systeem, iedere twee dagen.
Hoogte van het lampenplafond	1.85 m
Lichtintensiteit	Intensiteit in de LD was 155 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 50 cm hoogte Intensiteit in de KD was 201 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 80 cm hoogte
Daglengte	Lange dag periode (6 – 20 september 2018): 21 uur (0:00-21:00 uur) Korte dag periode (21 sep – 5 okt 2018): 12 uur (7:00-19:00) Korte dag periode (5 okt – einde): 11:40 uur (7:20-19:00)
Lichtbehandelingen	7 verschillende LED spectra (Tabel 3.2) met 20% zonlicht als achtergrond
Temperatuurstellingen	Ingesteld op 20 °C dag en 18 °C nacht
Schermsstrategie	Donkerdoek: gesloten van 19:00-8:00
CO ₂ concentratie	Ingesteld op 800 ppm
Einde experiment	Planten werden geoogst in de periode 2 tot 26 november 2018, afhankelijk van wanneer de planten per ras per behandeling voldoende open bloemen hadden gevormd.



7 tafels met de 7 behandelingen



Indeling van de 4 rassen per tafel

Figuur 3.1 Schematische weergave van de behandelingen over de tafels en de rassen over de tafels:

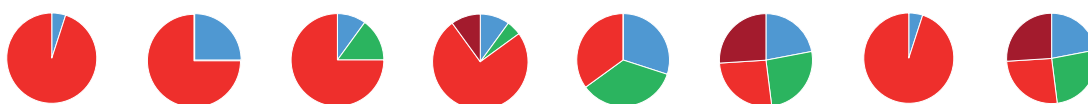


Figuur 3.2 Weergave van de juist gestoken stekken in de bakken met substraat op de tafels in het IDC LED

Tabel 3.2

Gebruikte lichtspectra bij de teelt van chrysant.

	RB Referentie	RhB	RGB	RGB FR	Wit	Wit FR	Dyn. dag	Dyn. nacht
Periode*	20h – 12h	20h – 12h	20h – 12h	20h – 12h	20h – 12h	20h – 12h	dag	nacht
Blauw (%)	5	25	10	10	30	22	5	22
Groen (%)	0	0	15	5	35	26	0	26
Rood (%)	95	75	75	75	35	26	95	26
Verrood (%)	0	0	0	10	0	26	0	26
Totaal (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
PAR (%)	100	100	100	90	100	74	100	74



*20 uur tijdens 'lange dag periode' van de teelt en 12 uur tijdens 'korte dag periode' van de teelt.

3.2.2 Metingen

3.2.2.1 Destructieve eendoogst

De destructieve eendoogst vond plaats per ras per behandeling op het moment dat tenminste de helft van de planten 3 of meer open bloemen had. Bij de destructieve eendoogst werden per behandeling per ras 20 planten geoogst. Per plant werd de totale stengellengte, vers- en drooggewichten van bladeren, bloemen en de stengel gemeten, evenals het bladoppervlakte, aantal internodiën en totaal aantal bloemen. Om het specific leaf area (SLA, cm² blad per g DW van het blad, een maat voor de bladdikte) goed te kunnen bepalen, werd het bladoppervlakte en het drooggewicht van de bovenste drie bladeren van 20 planten per ras per behandeling afzonderlijk gemeten. Het chlorofylgehalte van deze bladeren werd bepaald met een Dualex (Force A, Frankrijk).

3.2.2.2 Fotosynthese

In weken 8-10 van de teelt werden lichtresponscurves van de fotosynthese gemeten aan het 5^e volledig gevormde blad (geteld van boven) van 6 planten van de rassen Baltica en Zembla in alle behandelingen. Hiervoor werd een draagbare Li-6800 fotosynthese meter (LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) gebruikt met een bladkamer met een meetoppervlakte van 2 cm². De lichtbron van de fotosynthesemeter geeft licht met 90% rood en 10% blauw licht, en de gebruikte lichtintensiteiten waren 1250, 1000, 750, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50 en 0 $\mu\text{mol m}^{-2}/\text{s}$. De CO₂ concentratie van de lucht was 1000 ppm en de bladtemperatuur werd op 20 °C gehouden.

3.2.2.3 Lichtonderschepping

Om de lichtonderschepping door het gewas te bepalen werd de lichtverdeling in het gewas gemeten met behulp van een Sunscan Canopy analysis system (Dela-T Ltd, UK) op verschillende hoogtes van boven het gewas tot op het substraat. De metingen werden uitgevoerd aan het einde van de Lange Dag periode (10 oktober). De Sunscan met een lengte van 75 cm werd op een reeks hoogtes (steeds 15 cm afstand er tussen) dwars in het gewas gestoken. Op iedere hoogte werden 4 metingen gedaan. Tegelijkertijd werden referentiemetingen boven het gewas gedaan met een referentiemeetbol, die tijdens de metingen op een vaste plaats in de kas wordt geplaatst. Vergelijking van de meetwaardes met deze referentiemetingen geeft de mate van lichtonderschepping door het gewas aan.

3.2.3 Vestiging *Orius laevis* roofwantsen

Orius laevis roofwantsen (afkomstig van Koppert Biological Systems) zijn op 13 september 2018, één week na planten van de gewortelde stekken, geïntroduceerd in het gewas. Hierbij zijn 240 *O. laevis* roofwantsen losgelaten in 8 afgiftepunten die evenredig over elke tafel waren verdeeld. Dit komt overeen met ongeveer 16 *O. laevis* vrouwtjes per m²). Op dezelfde dag werden gedecapsuleerde cysten van pekelkreeftjes (*Artemia* sp.; Biobee Biological Systems, Sde Eliyaho, Israël) over het gewas uitgestrooid als een alternatieve voedselbron voor *Orius* (0,38 g m⁻²). De toevoeging van *Artemia* is vervolgens herhaald op 21 september, 4 oktober en 18 oktober. Op 4 oktober (eerste evaluatie; 3,5 weken na introductie *Orius*) en 1 november (tweede evaluatie; 7 weken na introductie *Orius*) zijn van de tafels met de RB, RhB, RGB en witte LED-behandelingen elk 8 planten van cv Baltica en 8 planten van cv Zembla geoogst. Bij het oogsten van de planten zijn steeds 4 groepen van twee aangrenzende planten per cultivar geoogst die op verschillende posities op de tafel stonden. Op elke tafel werden dezelfde posities gebruikt voor de oogst van de planten. Op elke plant werd zowel het aantal open als gesloten *Orius*-eitjes per plant geteld. Het aantal open eitjes komt overeen met eitjes waaruit de *Orius*-nimf al is uitgekomen en het aantal gesloten eitjes komt overeen met de niet-uitgekomen eitjes die zijn gelegd in de periode van ongeveer een week voorafgaand aan de evaluatie (de ontwikkelingstijd vanaf de ei tot nimf is gemiddeld 7,4 dagen bij 20 °C (Sanchez en Lacasa, 2002). Tijdens de tweede evaluatie was het aantal gesloten *Orius*-eitjes duidelijk hoger dan het aantal open *Orius*-eitjes. Omdat de timing van de tweede evaluatie, die 7 weken na de introductie van *Orius*-volwassenen plaatsvond, overeenkwam met de verwachte timing van een nieuwe generatie vruchtbare *Orius*-vrouwtjes (de ontwikkelingstijd van de ei-adult is ongeveer 34,6 dagen en de pre-ovipositieperiode van *O. laevis* vrouwtjes is ongeveer 12,8 dagen bij 20 °C volgens de studie van Sanchez en Lacasa (2002), wat overeenkomt met een totale periode van 6,8 weken), verdeelden we de dataset in twee delen: het leggen van eitjes door de eerste generatie *Orius* (totaal aantal eitjes bij de eerste evaluatie en aantal open eitjes bij de tweede evaluatie) en het leggen van eitjes door de tweede generatie *Orius* (aantal gesloten eitjes bij de tweede evaluatie). Voor de data-analyse werden de *O. laevis* eitjes per plant eerst gemiddeld per groep van twee aangrenzende planten, wat resulteerde in 4 (pseudo) herhalingen per combinatie van lichtbehandeling en cultivar voor elke evaluatiedatum. Vervolgens zijn de gegevens, na een sqrt-transformatie, geanalyseerd met behulp van een lineair model in R, met lichtbehandeling, cultivar en evaluatiedatum als verklarende factoren voor het aantal eitjes per plant dat is gelegd door de eerste *Orius*-generatie, en lichtbehandeling en cultivar als verklarende factoren voor het aantal eitjes per plant dat door de tweede generatie *Orius* is gelegd. Omdat we op basis van de resultaten van de studie van Wang *et al.* (2013) de hypothese hadden geformuleerd dat *Orius*-eileg lager zou uitvallen onder de LED-behandelingen met hoge percentages rood licht, hebben we tevens een statistische analyse uitgevoerd waarbij lichtbehandeling als een kwantitatieve variabele is meegenomen, uitgedrukt als het % rood licht in het LED-spectrum.

3.3 Resultaten

3.3.1 Klimaat

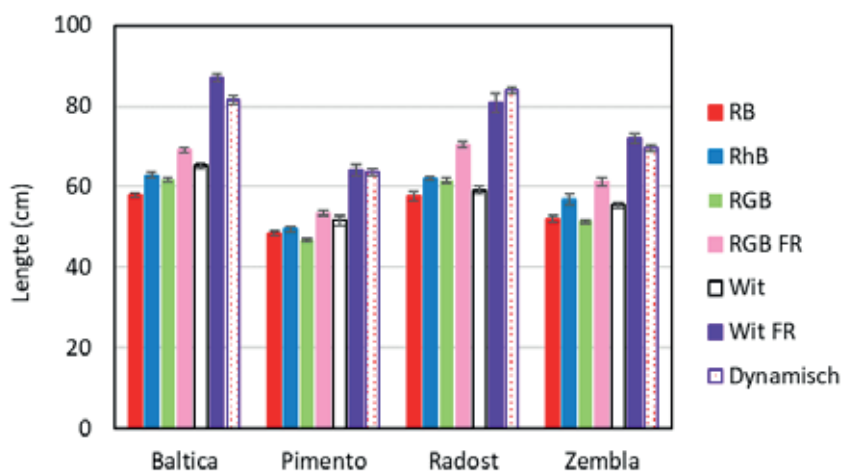
Het klimaat werd aangestuurd met een ISII klimaatcomputer (Hoogendoorn), via een meetbox in de kasafdeling. Het gerealiseerde klimaat gedurende het experiment was 20.2/17.9 °C (dag/nacht temperatuur), relatieve luchtvochtigheid van 75/81% (dag/nacht) en een CO₂ concentratie of 829/805 ppm (dag/nacht).

Gedurende de teelt kregen de planten een totale lichtsom (zonlicht en lamplicht) van 14 mol/m²/dag tijdens de korte dag fase (daglengte van 21 uur) en een totale lichtsom van 10 mol/m²/dag in de lange dag fase (generatieve fase) met een daglengte van 11.40 uur. De bijdrage van het LED licht in de totale lichtsom (DLI, daily light integral) was 80%, de bijdrage van het zonlicht was 20%.

3.3.2 Gewasgroei en plantlengte

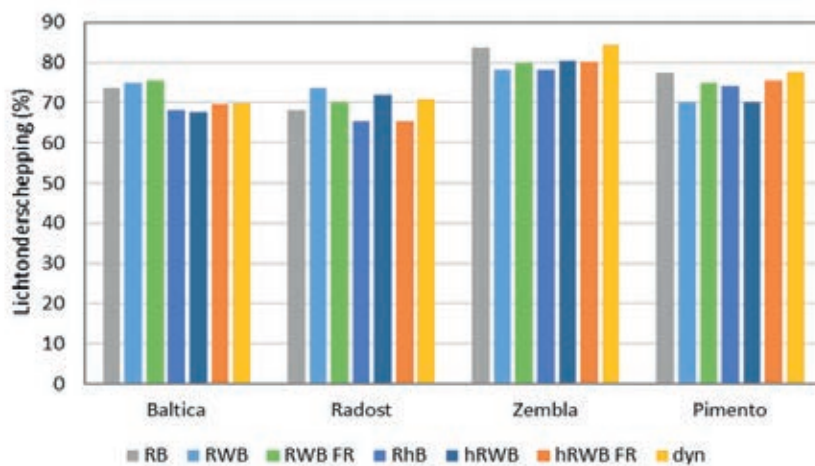
3.3.2.1 Einde lange dag periode

Aan het einde van de lange dag periode is de lengte gemeten van de planten (Figuur 3.3). Daaruit bleek dat de behandelingen met een aandeel verrood licht (RGB FR, Wit en Wit FR) langer waren dan de andere behandelingen. Opvallend was dat de behandeling RhB met een hoger aandeel blauw licht niet korter was dan de behandeling RB, hoewel dat wel de verwachting was.



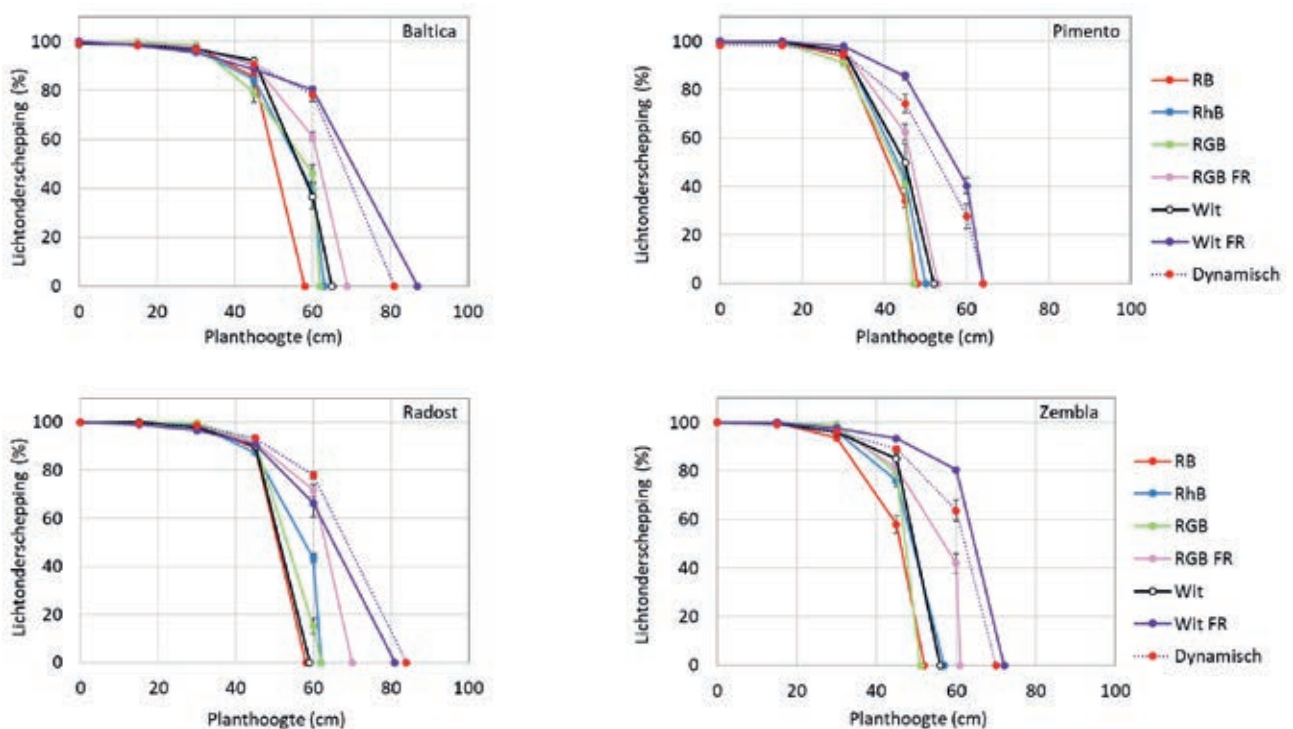
Figuur 3.3 Effect van de lichtbehandelingen op de plantlengte op moment dat de planten twee weken in KD staan (10 oktober 2018) van de chrysantenrassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde van de metingen aan (n=20).

Tijdens de teelt werd twee maal de lichtonderschepping gemeten. De eerste keer werd dit gedaan op 18 september (12 dagen na planten). De planten hadden toen een lengte van 24-29 cm. Het blijkt dat op dat moment de lichtonderschepping in Baltica, Radost en Pimento rond de 70% ligt en bij Zembla rond de 80%. Er is geen duidelijk effect van de lichtbehandelingen op de mate van lichtonderschepping (Figuur 3.4).



Figuur 3.4 Effect van de lichtbehandelingen op de lichtonderschepping gemeten op 18 september 2018 (12 dagen in LD).

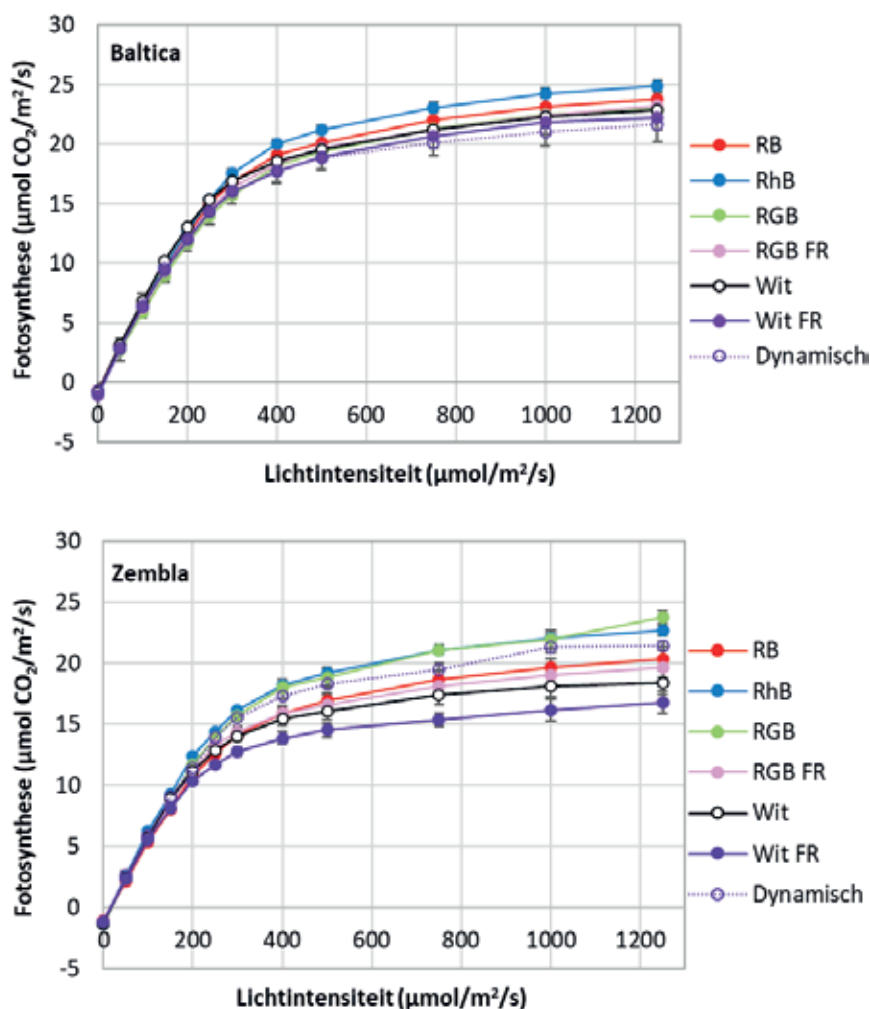
Op 10 oktober 2018, op moment dat de planten 2 weken in KD staan, werd nogmaals de lichtonderschepping van alle rassen gemeten per behandeling. Hieruit bleek dat aan het einde van de LD het gewas voor alle rassen en alle behandelingen al 100% van het gegeven licht onderschept (Figuur 3.5). Uit de metingen blijkt verder dat in de bovenste ca. 20 cm van het gewas al 80% van het licht onderschept wordt. Dat betekent dat er dieper in het gewas nauwelijks nog licht beschikbaar is voor de bladeren.



Figuur 3.5 Effect van de lichtbehandelingen op de lichtonderschepping gemeten op 10 oktober 2018 (2 weken in de KD) van de chrysantenrassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde van de metingen aan ($n=4$).

3.3.2.2 Fotosynthese

In de periode tussen 24 oktober en 5 november 2019 zijn de lichtresponscurves voor de fotosynthese gemeten aan Baltica en Zembla. Bij de lichtintensiteiten waarbij de planten geteeld zijn (ca. 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) zijn er nauwelijks verschillen in fotosynthese tussen de lichtbehandelingen (Figuur 3.6). Wanneer gemeten wordt bij hogere lichtintensiteiten blijkt dat de fotosynthesecapaciteit van bladeren die gegroeid zijn onder een hoog aandeel blauw licht (RhB) iets hoger is dan van de andere behandelingen.



Figuur 3.6 Effect van de lichtbehandelingen op de netto fotosynthesesnelheid bij een reeks lichtintensiteiten (afkomstig van de lichtbron van de draagbare fotosynthesemeter, met een samenstelling van 10% blauw licht en 90% rood licht) van een volgroeid blad van Baltica en Zembla gemeten 2 tot 4 weken na starten van de korte dag periode. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde van de metingen aan ($n=6$).

3.3.2.3 Teeltverloop

Gedurende de teelt waren tussen de behandelingen grote verschillen te zien in taklengte (Figuur 3.7). Er was voor de teelt met de begeleidingscommissie afgesproken dat de verschillende lichtbehandelingen op dezelfde manier geremd zouden worden, maar dat er wel verschil gemaakt mocht worden tussen de rassen. Op 28 september zijn alle rassen geremd met 1 g/L daminozide, en op 5 oktober zijn alle rassen behalve Pimento geremd met 2 g/L daminozide.

Tijdens de teelt viel met name de behandeling Wit FR op door de lange takken, en het feit dat de planten gemiddeld gesproken geen mooie bloemschermen aanlegden (zie ook paragraaf 3.3.2.4 voor de data).



Figuur 3.7 Overzicht van chrysanten op drie van de tafels in het IDC LED onder drie lichtbehandelingen. Van links naar rechts: Dynamisch, RB en Wit FR.

3.3.2.4 Destructieve eind oogst

Bij de destructieve eind oogst werden 20 planten per ras, per behandeling uit het midden van het teeltvak genomen. Van bijna alle rassen hadden deze planten ook bloemen, alleen bij Zembla waren er in een aantal behandelingen een aantal "nietjes" (Tabel 4.3). Opvallend is het grote aantal takken dat niet bloeide bij de behandeling Wit FR.

Tabel 3.3

Aantal niet-bloeiende planten ("nietjes") op moment van de destructieve eind oogst (n=20).

Ras	RB	RhB	RGB	RGB FR	Wit	Wit FR	Dyn. dag	Dyn. nacht
Baltica	0	0	0	0	0	0	0	
Pimento	0	0	0	0	0	0	0	
Radost	0	0	0	0	0	5	0	
Zembla	2	1	1	0	0	11	1	



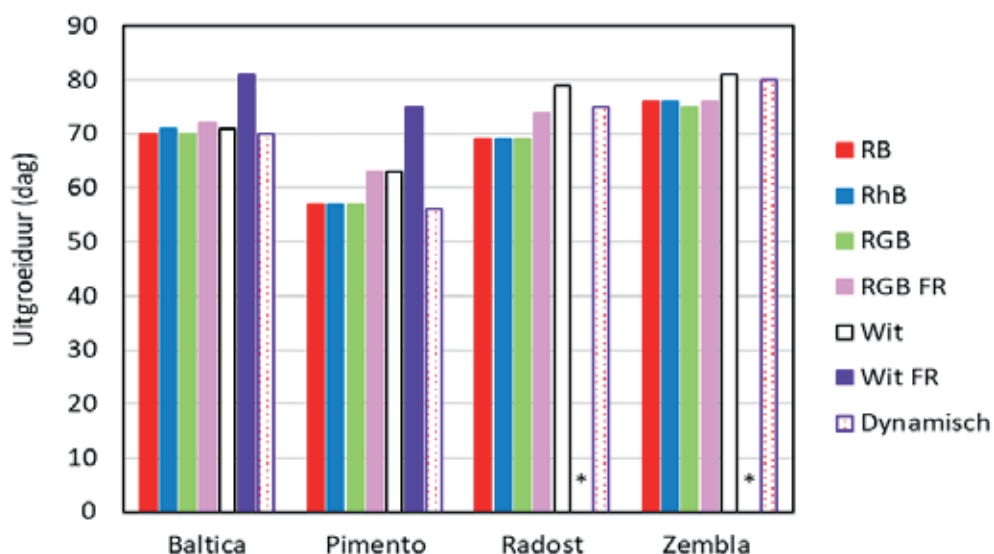


Figuur 3.8 Overzichtsfoto's van de effecten van de lichtspectra op groei, strekking en bloei van Pimento.



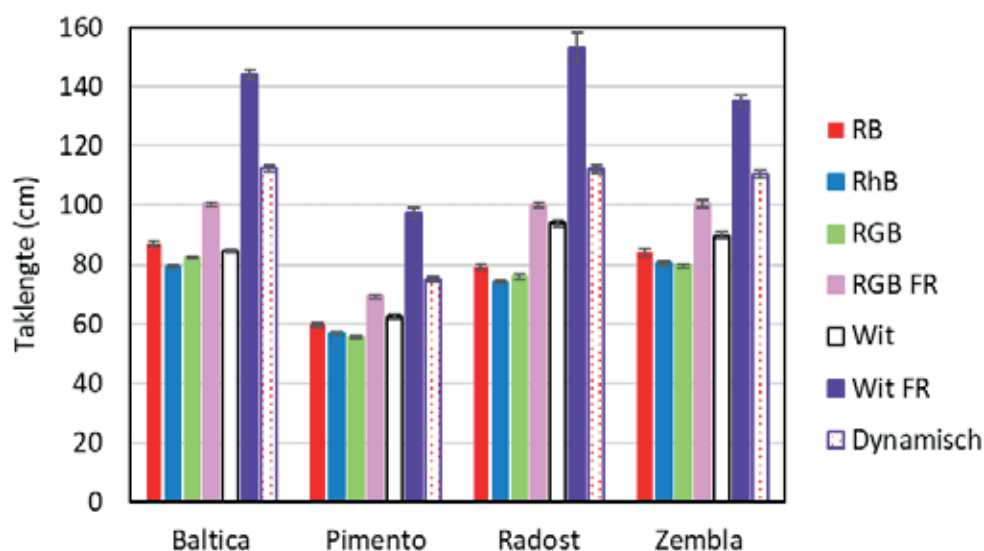
Figuur 3.9 Overzichtsfoto's van de effecten van de lichtspectra op groei, strekking en bloei van Baltica.

De uitgroeiduur van de takken in de behandelingen RB, RhB en RGB verschilde niet voor de verschillende rassen. Met de toevoeging van verrood licht aan het spectrum (RGB FR ten opzichte van RGB) nam de uitgroeiduur iets toe, maar de grootste toename in uitgroeiduur was door het toevoegen van verrood licht aan het Wit spectrum (dus de behandeling Wit FR). Dit leidde in twee van de vier rassen in zoveel takken zonder goede bloemen, dat de uitgroeiduur niet bepaald kon worden (Figuur 3.10).



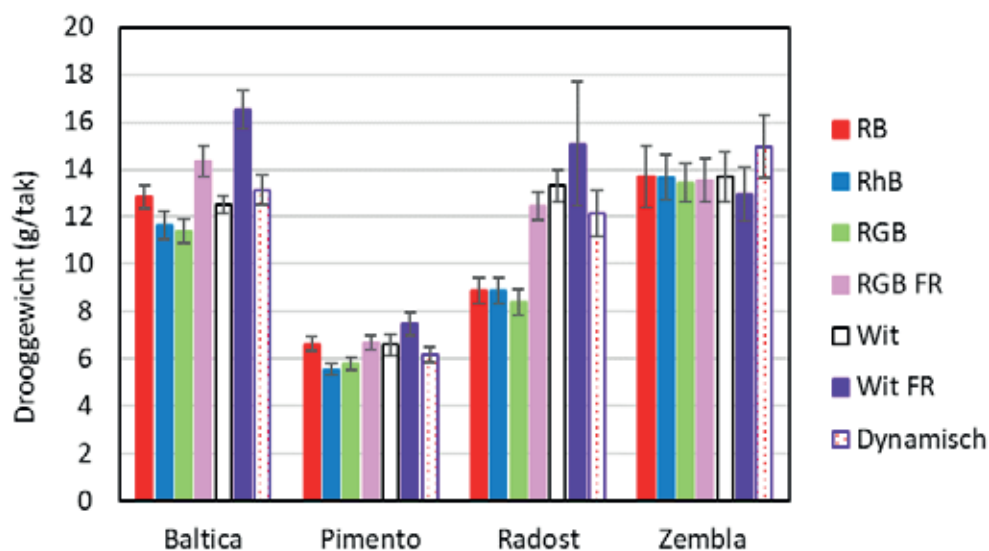
Figuur 3.10 Effect van de lichtbehandelingen op de uitgroeiduur tot het moment dat de planten geoogst kunnen worden (tenminste drie open bloemen per tak) voor de rassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla. Bij de behandelingen aangegeven met * bloeiden er maar 5 (Radost) of 11 takken (Zembla) van de 20 takken en kon de uitgroeiduur niet goed vastgesteld worden.

Bij de destructieve eind oogst werd de totale taklengte gemeten. Het bleek dat een hoger aandeel blauw licht (van 5 naar 25% van RB naar RhB) leidde tot iets kortere takken bij alle rassen. Wanneer er groen aan het spectrum werd toegevoegd (RGB, 10% blauw licht, 15% groen licht) bleef de taklengte vergelijkbaar met RhB. Het vervangen van een deel van het rode licht door verrood licht (RGB vergeleken met RGB FR) leidde tot een sterke toename in taklengte (Figuur 3.11), dit gold ook wanneer verrood licht werd toegevoegd aan het Wit spectrum (Wit FR). Ondanks het feit dat dit spectrum wat samenstelling (aandelen blauw, groen, rood en verrood licht) lijkt op het zonlichtspectrum, blijkt de plantvorm sterk te verschillen van planten die in een kas onder voldoende daglicht geteeld worden. De takkwaliteit onder het Wit FR spectrum is absoluut onvoldoende, en lijkt op een tak die niet onder korte dag is geteeld. De taklengte in het dynamische spectrum was het gemiddelde van Wit FR en RB, waar het uit was samengesteld. Het aantal internodiën per tak verschilde niet aantoonbaar, dus was het effect van de lichtspectra op de gemiddelde lengte per internodium vergelijkbaar met die op de taklengte (Figuur niet getoond).



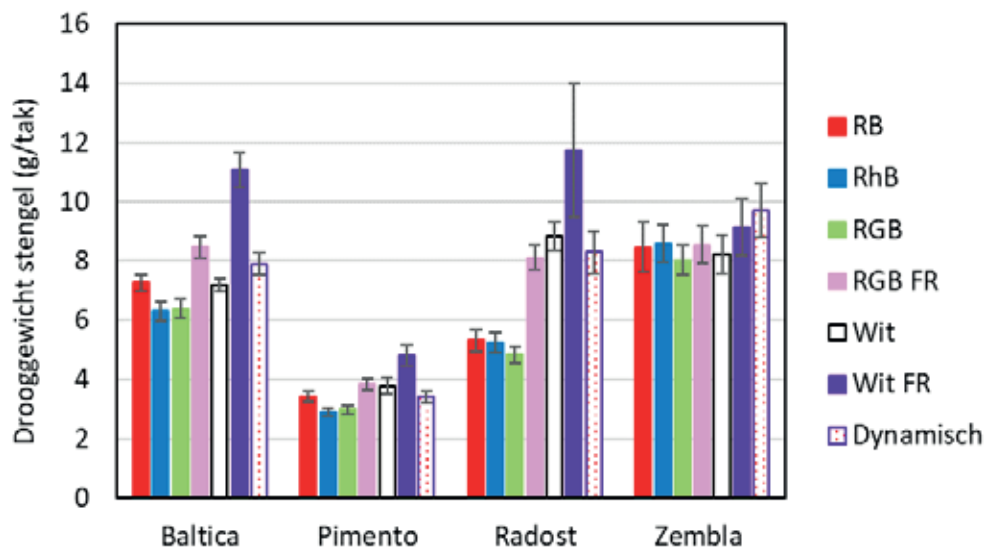
Figuur 3.11 Effect van de lichtbehandelingen op de taklengte van de chrysantenrassen *Baltica*, *Pimento*, *Radost* en *Zembla* op moment van de destructieve eendoogst. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=20$ voor de meeste behandelingen. Bij 6 behandelingen bloeiden niet alle 20 takken; deze niet-bloevende takken zijn niet meegenomen in de gemiddelde berekening).

Het effect van de lichtbehandelingen op het totale drooggewicht per tak blijkt sterk te verschillen voor de rassen (Figuur 3.12). In *Baltica* en *Radost* waren er sterke effecten van het lichtspectrum op het drooggewicht van de tak, in *Pimento* waren deze verschillen veel kleiner, en in *Zembla* was er geen aantoonbaar effect van het lichtspectrum op het drooggewicht van de tak. In *Baltica* en *Pimento* was het drooggewicht van de tak lager voor de behandelingen RhB en RGB dan voor RB. In *Baltica*, *Pimento* en *Radost* bleek het vervangen van een deel van het rode licht door (niet PAR) verrood licht een positief effect te hebben op het drooggewicht van de tak (RGB FR versus RGB), terwijl het toevoegen van FR aan Wit licht alleen in *Baltica* leidde tot een hoger tak drooggewicht.

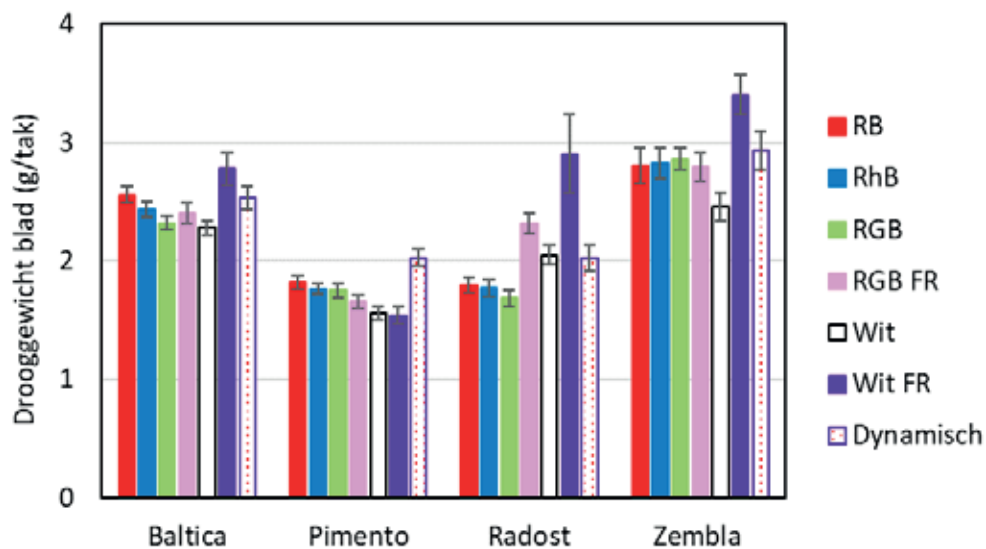


Figuur 3.12 Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht per tak van de chrysantenrassen *Baltica*, *Pimento*, *Radost* en *Zembla* op moment van de destructieve eendoogst. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=20$ voor de meeste behandelingen. Bij 6 behandelingen bloeiden niet alle 20 takken; deze niet-bloevende takken zijn niet meegenomen in de gemiddelde berekening).

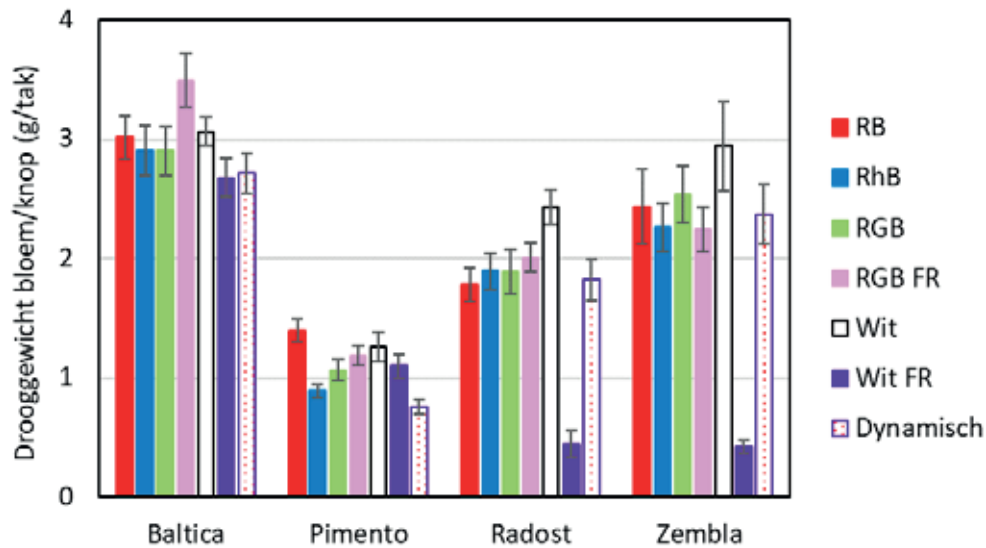
De verschillen in takgewicht werden grotendeels bepaald door de verschillen in gewicht van de stengel (Figuur 3.13). In Baltica, Radost en Zembla bleek het bladgewicht het hoogste te zijn voor de behandeling Wit FR (Figuur 3.14), terwijl het bloemgewicht in die behandeling laag was (Figuur 3.15). De assimilatenverdeling in deze behandeling is verschoven in de richting van de vegetatieve delen, ten koste van de bloemen (generatieve delen).



Figuur 3.13 Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de stengel van de chrysantenrassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla op moment van de destructieve eind oogst. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=20$ voor de meeste behandelingen. Bij 6 behandelingen bloeiden niet alle 20 takken; deze niet-bloeiende takken zijn niet meegenomen in de gemiddelde berekening).

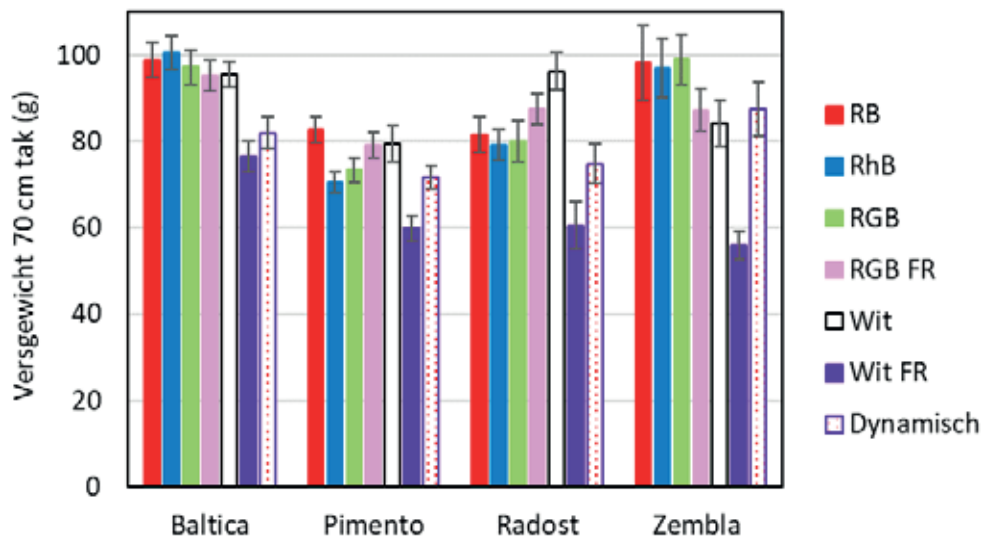


Figuur 3.14 Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van het blad van de chrysantenrassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla op moment van de destructieve eind oogst. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=20$ voor de meeste behandelingen. Bij 6 behandelingen bloeiden niet alle 20 takken; deze niet-bloeiende takken zijn niet meegenomen in de gemiddelde berekening).



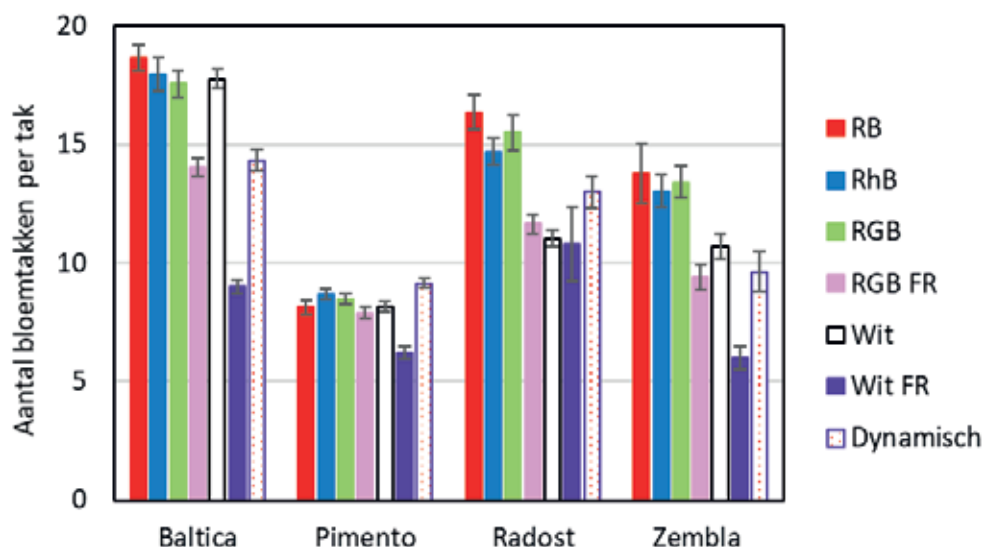
Figuur 3.15 Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de bloemen en bloemknoppen van de chrysantenrassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla op moment van de destructieve eind oogst. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=20$ voor de meeste behandelingen. Bij 6 behandelingen bloeiden niet alle 20 takken; deze niet-bloeiende takken zijn niet meegenomen in de gemiddelde berekening).

In de praktijk worden chrysanten afgeknipt op 70 cm als verkoopbare tak. Dat betekent dat er van de lange takken een groot deel afgeknipt moet worden, en dat de behandelingen die een hoog totaal drooggewicht van de bloemtakken opleveren, niet het hoogste gewicht van de 70 cm tak hebben. De behandeling Wit FR, met lange takken, heeft het laagste gewicht van de 70 cm tak (Figuur 3.16). Het effect van de lichtbehandelingen op het versgewicht 70 cm verschilt per ras.



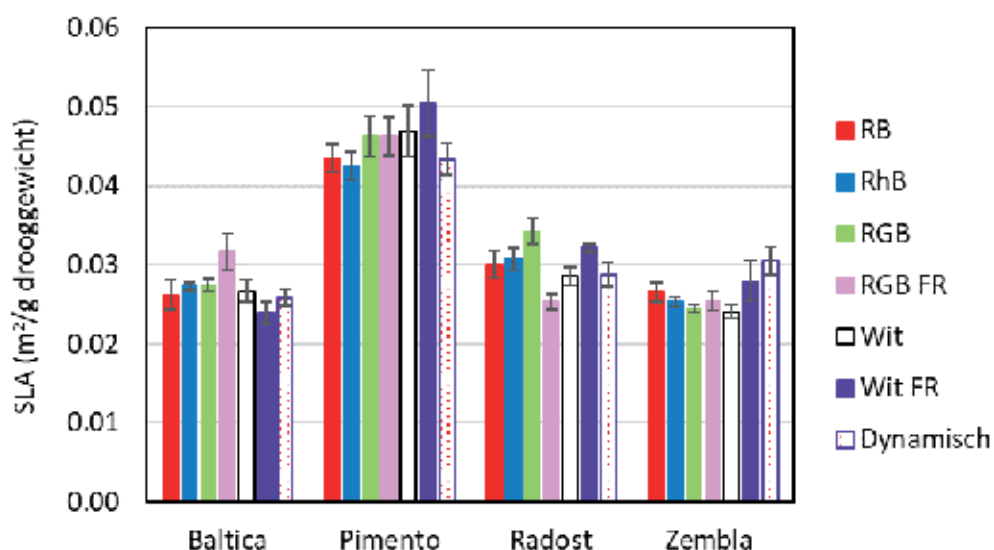
Figuur 4.16 Effect van de lichtbehandelingen op het versgewicht van de stengel afgeknipt op 70 cm van de chrysantenrassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla op moment van de destructieve eind oogst. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=20$ voor de meeste behandelingen. Bij 6 behandelingen bloeiden niet alle 20 takken; deze niet-bloeiende takken zijn niet meegenomen in de gemiddelde berekening).

Het effect van de lichtspectra op het aantal bloemtakken per tak verschilde per ras. In Pimento was er nauwelijks effect van de lichtspectra, terwijl Baltica, Radost en Zembla de hoogste aantallen bloemtakken per tak hadden in de lichtspectra zonder verrood licht (RB, RhB en RGB). Het vervangen van een deel van het rode licht door verrood licht had een nadelig effect op het aantal bloemtakken per tak (Figuur 3.17).



Figuur 3.17 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal bloemtakken per tak van de chrysantenrassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla op moment van de destructieve eind oogst. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=20$ voor de meeste behandelingen. Bij 6 behandelingen bloeiden niet alle 20 takken; deze niet-bloevende takken zijn niet meegenomen in de gemiddelde berekening).

Het effect van de lichtspectra op het specifieke bladoppervlak (SLA, specific leaf area, in m^2 blad per g drooggewicht, een maat voor de bladdikte) was niet eenduidig over de vier rassen heen. De verschillen in SLA zijn beperkt (Figuur 3.18).



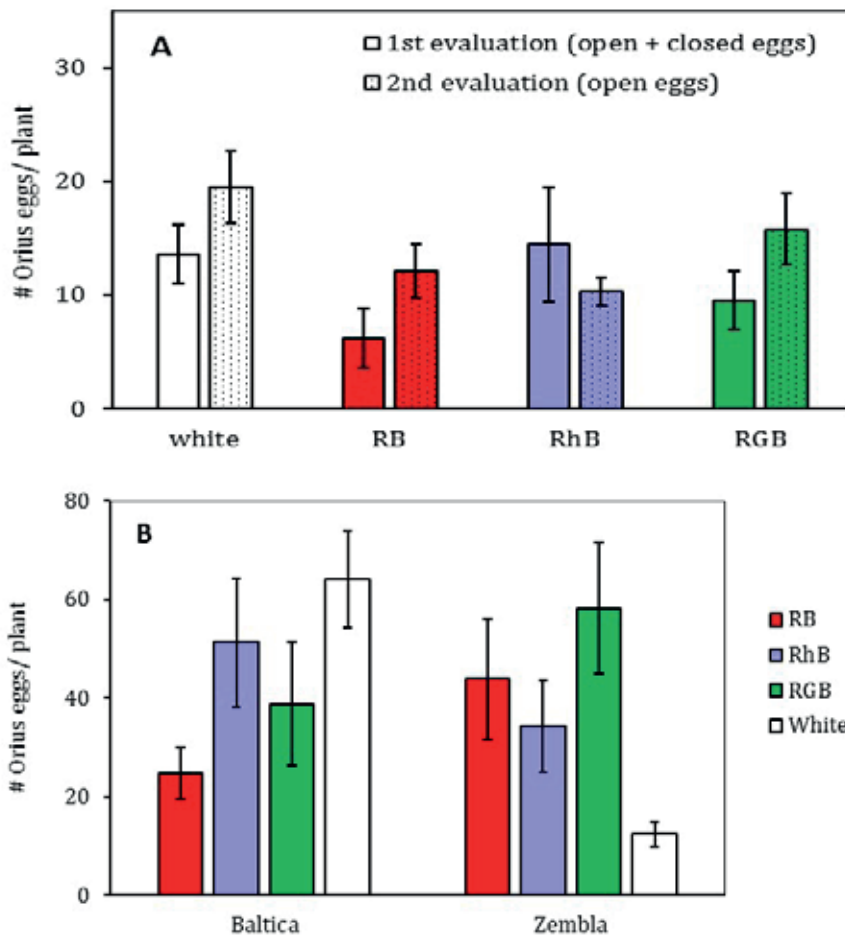
Figuur 3.18 Effect van de lichtbehandelingen op het SLA (specific leaf area in m^2/g drooggewicht blad) van de bovenste 3 bladeren van de chrysantenrassen Baltica, Pimento, Radost en Zembla op moment van de destructieve eind oogst. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=20$ voor de meeste behandelingen. Bij 6 behandelingen bloeiden niet alle 20 takken; deze niet-bloevende takken zijn niet meegenomen in de gemiddelde berekening).

3.3.3 Vestiging *Orius laevigatus* roofwantsen

Tijdens de eerste evaluatie, 3,5 weken na de introductie van *O. laevigatus* adulten op de tafels, telden we gemiddeld 14-15 (open + gesloten) eitjes per plant bij de behandelingen Wit en RhB, 10 (open + gesloten) eitjes per plant in de RGB behandeling en 6 (open + gesloten) eitjes per plant in de RB behandeling (zie Figuur 3.19). Bij de tweede evaluatie (7 weken na de introductie van Orius) was het aantal open (= uitgekomen) eitjes slechts iets hoger bij de meeste lichtbehandelingen (respectievelijk 20, 12, 10 en 16 (open) eitjes / plant in de behandelingen met Wit, RB, RhB en RGB licht), wat aangeeft dat de meeste eitjes werden gelegd in de eerste maand na introductie van Orius. Met een plantdichtheid van 50 planten per m² en een aanvankelijke dichtheid van ongeveer 16 Orius vrouwtjes m⁻², produceerde elk Orius vrouwtje gemiddeld ongeveer 63 eitjes in de behandeling met Wit licht en 38 eitjes in de RB behandeling. Vanwege de grote variatie in het aantal *O. laevigatus* eitjes tussen de planten, was het effect van de lichtbehandelingen op het totale aantal eitjes gelegd door de eerste Orius-generatie slechts marginaal significant ($P = 0,084$). Wel vonden we wel een significante afname van het aantal Orius eitjes bij een toenemend % rood licht in het lightspectrum ($P = 0,01$), wanneer we het % rood licht binnen het spectrum meenamen als een kwantitatieve verklarende variabele in de statistische analyse (wit = 35% rood, RB = 95% rood, RhB = 75% rood en RGB = 75% rood). Het effect van de lichtbehandeling op het aantal Orius eitjes was onafhankelijk van de cultivar ($P = 0,23$). Ook was er geen significant hoofdeffect van cultivar op het aantal Orius eitjes ($P = 0,10$).

Het gemiddelde aantal *gesloten* eieren bij de tweede evaluatie (7 weken na de introductie van Orius), wat overeenkomt met de eileg van de tweede generatie Orius gedurende een periode van maximaal één week, was 2-4 keer zo hoog als het gemiddelde aantal gelegde eieren door de eerste generatie Orius. Dit wijst op een sterke toename van de populatieomvang bij alle behandelingen. In tegenstelling tot de eileg door de eerste generatie Orius, was er deze keer een significante interactie tussen het % rood licht en cultivar. Voor chrysant cv Baltica, werd een lager aantal Orius eitjes per plant gevonden voor de planten die onder een lightspectrum met een hoger percentage rood licht waren gegroeid ($P = 0,035$). Dit kwam overeen met het patroon dat werd gevonden voor de eerste generatie Orius. Voor chrysant cv. Zembla lag dit anders. Op de Zembla planten werden bij de tweede evaluatie juist meer gesloten Orius eitjes per plant geteld bij een hoger % rood licht in het spectrum ($P = 0,025$).

Mogelijk heeft de ontwikkelingsfase van de chrysanten een invloed gehad op de invloed van het LED spectrum op het aantal Orius eitjes per plant van de verschillende cultivars. Terwijl de planten zich tijdens de eilegperiode van de eerste generatie Orius nog in het vegetatieve stadium bevonden, waren de planten op het moment van de tweede evaluatie - toen de initiële eileg van de tweede generatie Orius werd beoordeeld - het generatieve stadium ingegaan. Gegevens over plantmetingen toonden aan dat het tijdstip van bloei in Baltica niet werd beïnvloed door de lichtbehandelingen, terwijl de bloei van Zembla onder het witte spectrum later begon dan onder de behandelingen RB, RhB en RGB. Hoewel we niet hebben vastgelegd in welke deel van de plant de Orius-eieren zijn afgezet, is het bekend dat Orius een voorkeur heeft voor eierafzetting in nieuw gevormde zachte plantenweefsels. Bij andere sierteeltgewassen in de kas, zoals gerbera, alstroemeria en roos, is namelijk waargenomen dat Orius er de voorkeur aan geeft zijn eitjes in de bloembladen van bloem(knop) te leggen (Gerben Messelink, persoonlijke mededeling). We veronderstellen daarom dat het cultivarafhankelijke effect van het lightspectrum op de eileg van de tweede Orius-generatie gerelateerd kan zijn aan een cultivar-afhankelijke invloed van spectrum op bloei-inductie.



Figuur 3.19 Effect van het lichtspectrum op het aantal open en gesloten *Orius laevigatus* eitjes van de eerste generatie (A) en de tweede generatie (B), voor de chrysantenrassen 'Baltica' en 'Zembla'.

3.4 Conclusies en aanbevelingen

In dit experiment zijn de effecten van een brede reeks lichtspectra op de groei, strekking en ontwikkeling van chrysant bepaald. De resultaten van dit experiment laten zien dat het goed mogelijk is chrysanten te telen onder een full LED systeem, onder (nagebootste) winterse condities, waarbij het zonlicht 20% van de totale lichtsom vormt en het LED licht 80%. In de behandelingen met een groot aandeel rood licht (75-95%) met aanvulling van blauw en groen licht bleken er kwalitatief goede takken te groeien, waarbij de taklengte iets minder groot was bij een hoog aandeel blauw licht (25% ten opzichte van 5%).

De grootste effecten op de kwaliteit van de takken kwam van de behandelingen waarbij verrood licht aan het spectrum werd toegevoegd. Toevoegen van verrood licht leidde tot een sterke toename in taklengte. Wanneer een deel van het rode licht in het RGB spectrum werd vervangen door verrood licht, werden de takken gemiddeld 20 cm langer, maar trad ook een bloeivertraging van 1-5 dagen op, afhankelijk van het ras. Wanneer aan het Wit spectrum (gelijke delen blauw, groen en rood licht) verrood licht werd toegevoegd (gelijke delen blauw, groen, rood en verrood licht) bleken takken veel langer te worden, hetgeen sterk ten koste ging van de bloei. In alle rassen kwamen de takken later in bloei, en kwam de kwaliteit van het bloemscherm veel te kort.

In Baltica en Radost werd het takgewicht wel sterk bepaald door het lichtspectrum, waarbij een spectrum met verrood licht zorgde voor zwaardere takken. Echter, dit betekende vaak dat door meer strekking een groter deel "verloren" ging bij de oogst, en niet leidde tot een hoger 70 cm takgewicht. In Pimento en Zembla was er nauwelijks effect van de lichtbehandelingen op de totale biomassa-productie (in kg droge stof per m²).

Deze resultaten geven aan dat het goed mogelijk is de groei van chrysant te sturen met het lichtspectrum. Bij de keuze van het spectrum lijkt het mogelijk strekking te sturen met verrood licht, maar er zal eerst nog goed onderzocht moeten worden wat de gewenste intensiteit van verrood licht is, omdat het makkelijk is té extreme effecten te krijgen.

Ten aanzien van gewasgezondheid kan gesteld worden dat de resultaten van deze proef laten zien dat in de vegetatieve fase van de chrysantenteelt de eileg van *Orius laevigatus* roofwantsen lager was naarmate het % rood licht in het lichtspectrum hoger was. Deze resultaten zullen echter nog moeten worden bevestigd in een aanvullend experiment, aangezien slechts één echte herhaling per lichtbehandeling is uitgevoerd. Kennis over het effect van lichtspectra op biologische plaag- en ziektebestrijding kan op verschillende manieren worden geïntegreerd in een geïntegreerde plaagbestrijding (IPM) benadering. Enerzijds kunnen de introductieschema's van natuurlijke vijanden worden aangepast om eventuele negatieve neveneffecten van de belichtingsstrategie die optimaal zijn voor gewasgroei en ontwikkeling (gedeeltelijk) te compenseren. Anderzijds, wanneer eventuele negatieve bijwerkingen van een - voor het gewas - optimale LED belichtingsstrategie op plagen en ziekten worden gedetecteerd, kunnen deze negatieve bijwerkingen mogelijk worden gecompenseerd door alternatieve manieren om gewasresistentie te induceren. Tenslotte zou een belichtingsstrategie die geschikt is voor de groei en ontwikkeling van gewassen zo kunnen worden aangepast dat negatieve bijwerkingen op de biologische bestrijding van plagen en ziekten worden geminimaliseerd. Dit laatste kan ook worden bereikt door toevoeging van delen van het lichtspectrum die de groei van gewassen niet ondersteunen, zoals kleine doses UV-B-licht waarvan voor andere plantensoorten is aangetoond dat ze de plantweerbaarheid tegen plagen kunnen verhogen (Jenkins, 2009; Ballare, 2014; Le Gall *et al.* 2015; Robson *et al.* 2015; Escobar-Bravo *et al.* 2018).

4 Toepassing van verrood in chrysant: op weg naar de praktijk

4.1 Inleiding

In de afgelopen 10 jaar is de belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw enorm toegenomen. Een aantal redenen om LED te installeren zijn de hoge efficiëntie van LED belichting ten opzichte van SON-T belichting (ongeveer 3.6 $\mu\text{mol/J}$ ten opzichte van ca. 1.8 $\mu\text{mol/J}$ voor SON-T) en de lagere warmteafgifte, waardoor er onder schermdoeken minder problemen zijn bij een hoge lichtintensiteit, en er in het voorjaar langer doorgegaan kan worden met belichten. Net als in de meeste teelten is nu ook bij chrysant de vraag voor welk lichtspectrum je het beste kunt kiezen als je nu gaat investeren in LED belichting. Daarbij gelden een aantal overwegingen:

- Moet er gekozen worden voor de meest efficiënte LEDs (ca. 3.6 $\mu\text{mol/J}$) met 95% rood licht en 5% blauw licht?
- Moet er verrood licht toegevoegd worden aan dit spectrum, waardoor de efficiëntie van het systeem afneemt naar ca. 3.2 $\mu\text{mol/J}$?
- Wat zijn de consequenties van het gedeeltelijk toevoegen van wit/groen licht? De efficiëntie zakt dan nog verder weg, maar het is goed voor de werkbaarheid en het doen van waarnemingen aan gewas, ziekten en plagen. In de nieuwe subsidie regeling voor LED belichting (EG regeling) is een aandeel groen licht verplicht en wordt een maximum gesteld aan het aandeel blauw licht.

Een belangrijke vraag van de chrysantentelers is of er wel of geen verrood toegevoegd moet worden aan het spectrum. De uitkomsten van verschillende (praktijk)proeven zijn niet altijd eenduidig. Soms heeft het toevoegen van verrood licht geen (positieve) invloed, soms wel. De positieve invloed houdt dan in: meer lengtegroei, minder uitloop onder in het gewas ('sprot'), iets snellere reactietijd, iets betere beworteling en een vergelijkbare biomassa. De vraag hierbij is ook of er een dosis-response effect is, dus of meer verrood ook een sterker effect geeft. In eerdere proeven met 4 rassen chrysant bleek dat een groter aandeel verrood licht leidde tot langere takken, meer bladeren, maar ook tot bloeivertraging. Het is dus van belang het aandeel verrood licht zorgvuldig te kiezen. Een andere vraag hierbij is of het zo is dat verrood licht vooral nodig is in de winter, dus met een beperkte hoeveelheid zonlicht. Het kan zo zijn dat gedurende het grootste deel van het jaar het aandeel verrood licht uit de zon voldoende is, behalve in de maanden december en (begin) januari. In het project "Perfekte chrysant" is er in 2019 en verder dan ook voor gekozen ook in de nieuwe teelt lampen te installeren zonder verrood licht, met als argumenten dat de afgelopen teelten zonder verrood goed zijn verlopen, en dat de maximale energie-efficiëntie voor dit onderzoek van belang is. Naar aanleiding van de resultaten van deze proef is er in de "Perfekte chrysant" voor gekozen om de einde dag verrood behandeling toe te voegen.

4.2 Materiaal en methoden

4.2.1 Teelt en behandelingen

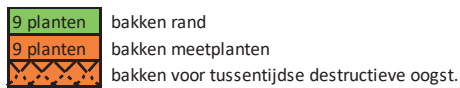
In dit experiment is onderzocht hoe verschillende (LED) lightspectra de groei, strekking en bloeisnelheid van vier chrysantenrassen beïnvloeden. Deze proef is uitgevoerd in het najaar van 2021 (augustus – oktober), onder “winterse condities” in de kas, dus met lage niveaus zonlicht en lage temperaturen.

Tabel 4.1

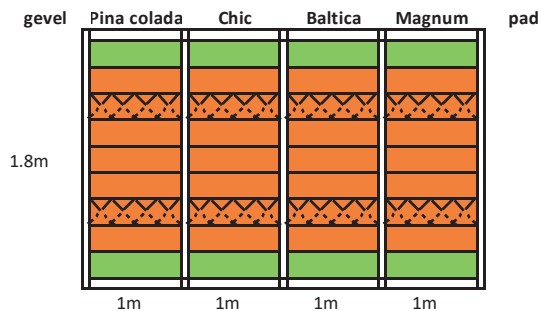
Overzicht gegevens experiment chrysant

Gewas	Chrysant
Rassen	Pluis: Magnum (Deliflor) en tros: Baltica (Deliflor), Chic (Royal van Zanten), Pina colada (Dümmen Orange)
Plantdatum (start experiment)	Stekken gestoken (bij Deliflor): 11 augustus 2021, stekken geplant in de kas op 19 augustus. Op 29 augustus is de KD gestart.
Plantdichtheid	50 planten/m ²
Teeltstrategie	Nabootsen winterse condities. 9 dagen lange dag, gevolgd door korte dag. Planten werden geoogst als ze oogstrijp waren (gemiddeld 5-7 open bloemen voor troschrysant). Voor pluischrysant een nette bolvorm.
Substraat en watergift	Bakken met substraat (turfstrooisel 80%, veenmosveen 40%, cocopeat 30%). Aan het begin watergift via broezen daarna met eb en vloed systeem.
Hoogte van het lampenplafond	1.85 m
Lichtintensiteit	195 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 1 meter onder de lampen (inclusief verrood licht)
Daglength	LD: daglength 20 uur (22:00-18:00) KD: daglength 11:45 uur (6:30-18:15)
Lichtbehandelingen	Zie onderstaand schema
Temperatuurinstellingen	LD: 19.5 °C dag, 18.5 nacht KD: 18.5 °C dag/nacht
Instellingen relatieve luchtvochtigheid	80% dag, 88% nacht
Schermmstrategie	Donkerdoek gesloten van 18:00-9:00, gaat in 3 stappen open en dicht tussen 9:00-10:00 en 17:00-18:00
CO ₂ concentratie	Ca. 700 ppm in LD, en 800 pm in KD overdag (zie gerealiseerd klimaat).
Einde experiment	Er is geoogst tussen 18 oktober 2021 en 29 oktober 2021.

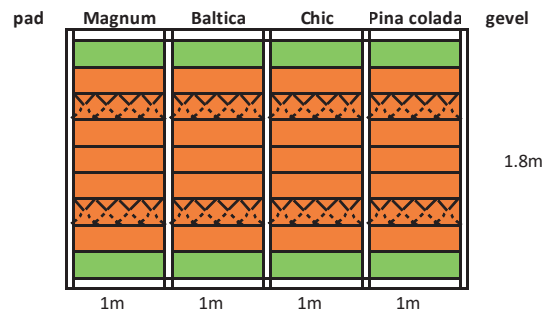
De 4 rassen chrysant werden geteeld in langwerpige bakken met substraat in een plantdichtheid van 50 planten/m² (9 planten per bak, 9 bakken per ras, 4 rassen per tafel) (Figuur 4.1). Bij de tussentijdse oogst werden bakken drie en vijf van alle rassen verwijderd, werden de planten daarin gemeten en werden de overige bakken weer tegen elkaar aangeschoven.



Plantschema 19-8 Links: tafel 8-14

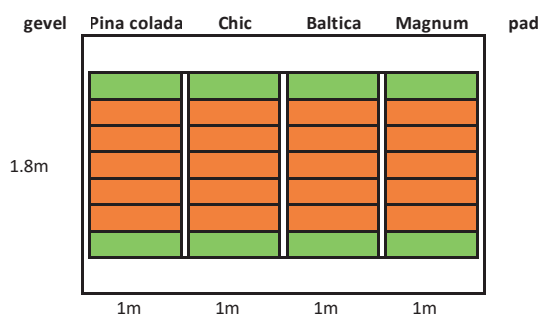


Rechts: tafel 1-7

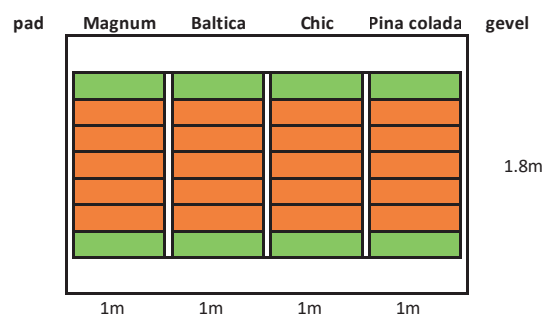


Plantschema 07-09

Links: tafel 8-14



Rechts: tafel 1-7



Figuur 4.1 Schematische weergave van twee tafels die tegenover elkaar staan in het IDC LED met daartussen het pad. In het IDC LED staan veertien tafels totaal, zeven links van het pad en zeven rechts van het pad. Plantschema bij de start op 19 augustus 2021 (boven) en plantschema na de destructieve oogst op 7 september zijn weergegeven.

In dit experiment werden zeven LED lichtbehandelingen toegepast (Tabel 4.2).

Tabel 4.2

Toegepaste lichtbehandelingen (in procenten en totaal $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

Behandeling	wanneer	% blauw	% groen	% rood	% verrood	Totale lichtintensiteit (inclusief verrood) ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
RGB	Continu	5	5	90	0	195
RB	Continu	5	0	95	0	195
Compensatie	Continu	2.5	0	95	2.5	195
Laag FR	Continu	5	5	85	5	195
Hoog FR	Continu	5	5	80	10	195
EOD FR	Dag	5	5	90	0	195
	EOD (na de dag) 30 min	0	0	0	10	20
Dynamisch	Dag	5	5	90	0	195
	Nacht	5	5	80	10	195

De behandeling RGB werd als referentie gebruikt. Eventuele teeltbeslissingen werden op die behandeling gebaseerd. In alle behandelingen was de totale fotonenflux $195 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (dus inclusief verrood licht). Dit is gedaan vanuit het uitgangspunt van een gelijke energiebehoefte per behandeling (NB uitgaande van dezelfde efficiënties per lichtkleur, hetgeen niet helemaal een correct uitgangspunt is). Verrood licht is geen fotosynthetisch actieve straling (geen PAR licht). Bij behandelingen met verrood licht in het spectrum ging toevoeging van verrood licht ten koste van rood licht (ten koste van PAR licht).

De behandelingen werden in duplo ingezet en verdeeld over de tafels van het IDC LED (Figuur 4.2).

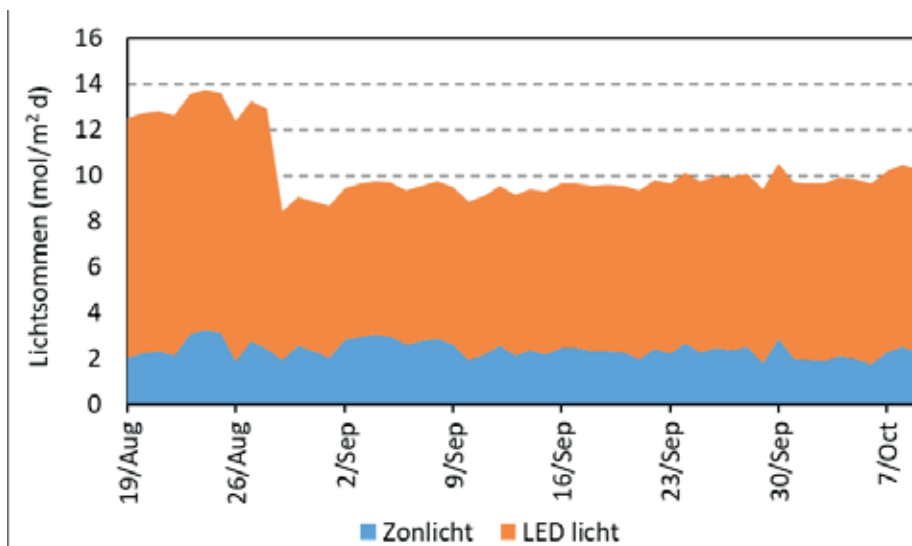


Figuur 4.2 Schematisch overzicht van de tafels in het IDC LED en de lichtbehandelingen daarop.



Figuur 4.3 Teeltsysteem van chrysant in bakken op de tafels.

In het IDC LED werden winterse condities nagebootst doormiddel van een koelinstallatie, een donkerdoek en een energiedoek. Het donkerdoek lag dicht tussen 18:00 en 09:00. Het opende in drie stappen tussen 09:00-10:00 en sloot in drie stappen tussen 17:00-18:00. Het aandeel zonlicht in de totale lichtsom was 22% (Figuur 4.4).



Figuur 4.4 Aandeel van zonlicht en LED licht in de totale lichtsom per dag. De eerste 9 dagen van het experiment was Lange Dag (20 uur daglengte), de rest van het experiment Korte Dag (11 uur en 45 minuten daglengte).

Bij de start van het experiment, dat begeleid werd door een BCO (Begeleidings commissie onderzoek) vanuit de Landelijke Commissie chrysant, was afgesproken dat alle behandelingen op dezelfde manier geremd zouden worden. Echter, gezien het feit dat de behandeling EOD FR zoveel meer strekte dan de andere behandelingen, werd deze behandeling twee maal geremd, en alle andere behandelingen één maal. Dat betekende dat op 10 september 2021 de behandeling EOD FR werd geremd met 100 g/L Daminozide en alle behandelingen op 17 september met 200 g/L Daminozide.

4.2.2 Metingen en analyse

Tijdens het experiment werd wekelijks de plantlengte gemeten. Er werd twee keer planten destructief geoogst, een tussentijdse oogst en een eindoogst.

4.2.2.1 Tussentijdse oogst

Er werd tussentijds geoogst op 6 en 7 september, aan twee bakken met negen planten (zie Figuur 4.1). De buitenste twee planten per bak werden beschouwd als randplanten en werden niet gemeten. Van de overgebleven 7 planten per bak (14 planten per tafel, 28 planten per behandeling) werd hoogte, aantal bladeren, bladoppervlakte, drooggewicht van alle bladeren, drooggewicht van de stengel en drooggewicht van de zijscheuten bepaald. De plantlengte werd bepaald van potje tot apex van de plant. Bij zijscheuten zijn alle uitgelopen zijscheuten van onder naar boven meegenomen (Figuur 4.5), daarvan werd het drooggewicht per zeven planten genomen. Totaal drooggewicht en specifiek bladoppervlakte (specific leaf area, SLA, een maat voor de bladdikte) werden berekend. Wortelgroei werd bekeken door planten uit te graven en grond rustig af te schudden.



Figuur 4.5 Uitgelopen zij scheuten meegenomen tijdens tussentijdse oogst.

4.2.2.2 Eindoogst

De eindoogst vond plaats tussen 18 oktober 2021 en 29 oktober 2021. Er werd per ras, per behandeling geoogst als de vereiste takkwaliteit werd bereikt. Voor Magnum werd geoogst bij een volle bolvorm van de bloem, een geopende bloem met platte kroonbladeren. Bij de troschrysanten werd geoogst wanneer de vijf bovenste bloemen open waren. Gemiddeld werden de behandelingen Laag FR, Hoog FR en EOD FR een dag eerder geoogst dan RGB, RB, compensatie en dynamisch (zie Tabel 4.3). Voor de eindoogst werden planten uit de middelste drie bakken per tafels gehaald, de middelste 5 planten per bak (dus 15 planten per tafel, 30 planten per behandeling). Bij het ras Magnum was het uitgangsmateriaal al erg variabel, en die variatie tussen planten bleef gedurende de hele teelt zichtbaar. Daarom is bij de eindoogst van Magnum het versgewicht van alle planten per tafel (ca. 63) bepaald om een idee te krijgen van deze variatie.

Bij de destructieve eindoogst werden per plant de totale stengellengte, versgewicht van de plant als hij werd afgeknipt op 70 centimeter, versgewicht resterende stuk stengel, aantal bruine verdorde (afgestorven) bladeren, aantal internodes op 70 centimeter, aantal internodes resterend stuk stengel, totaal bladoppervlakte, totaal aantal bloemtakjes, aantal open bloemen, positie van bloemtak met de eerste dubbele knop, drooggewicht (DW) van de bladeren, DW van de bloemen, drooggewicht stengel en drooggewicht sprot gemeten. Bij het drooggewicht van de bloemen werden bloemstelen met bloemen en bloemstelen met knoppen (knoppen tot 0.5 cm) meegenomen (Figuur 4.6). Een open bloem werd gedefinieerd als een bloem waarbij de kroonbladeren horizontaal stonden. De positie van de bloemsteel met de eerste dubbele knop werd geteld vanaf de top van de plant (Figuur 4.6). Sprot werd bepaald als de uitgroei in de oksels in de onderste helft van het gewas. Uit de data werd totaal versgewicht, totaal aantal internodes, internode lengte, totaal drooggewicht, drooggewicht percentages (blad, bloem, stengel en sprot), drooggewicht per cm en specifiek bladoppervlakte berekend. De lichtbenuttingsefficiëntie (gram drooggewicht per mol en gram versgewicht 70 centimeter/mol) werd ook berekend. Hierbij werd rekening gehouden met verschillen in belichtingsduur (oogstdatum) en strekking van planten naar de lampen toe.

Tabel 4.3

Datum van eindoogst per ras en behandeling.

Datum oogst	Behandelingen	Ras
18-10-2021	Laag FR, Hoog FR, EOD FR	Chic
19-10-2021	RGB, RB, Compensatie, Dynamisch	Chic
25-10-2021	Laag FR, Hoog FR, EOD FR, Dynamisch, Compensatie	Magnum
26-10-2021	RGB, RB	Magnum
	Laag FR, Hoog FR, EOD	Pina Colada
27-10-2021	RGB, RB, Compensatie, Dynamisch	Pina Colada
28-10-2021	Laag FR, Hoog FR, EOD	Baltica
29-10-2021	RGB, RB, Compensatie, Dynamisch	Baltica



Figuur 4.6 Impressie bloemen bij eindoogst. Troschrysant boven, pluischrysant onder.



Figuur 4.7 Impressie materiaal en methode eindoogst. Van links naar rechts: Troschrysant bloemen geordend op ontwikkelingsstadium. Troschrysant op meetlint met definities blad, sproot en bloemsteel. Bladoppervlaktometer. Troschrysant bloemen geordend op ontwikkelingsstadium met dubbele knop omcirkeld. Weegschaal en stengel met gelabelde zak voor in de droogstoof. Geoogste pluischrysanten. Droogstoof gevuld met plantmateriaal.

4.2.2.3 Data Analyse

De data werd statistisch geanalyseerd met het programma Genstat 19^e editie. One-way analysis of variance werd uitgevoerd voor elke cultivar apart. Ook een Two-way Anova werd uitgevoerd op de samengevoegde data van de drie troschrysant cultivars bij elkaar. Data met een significant behandelingseffect werden opgevolgd met Tukeys multiple comparison test om te bepalen welke behandelingen significant van elkaar verschilden.

4.3 Resultaten en discussie

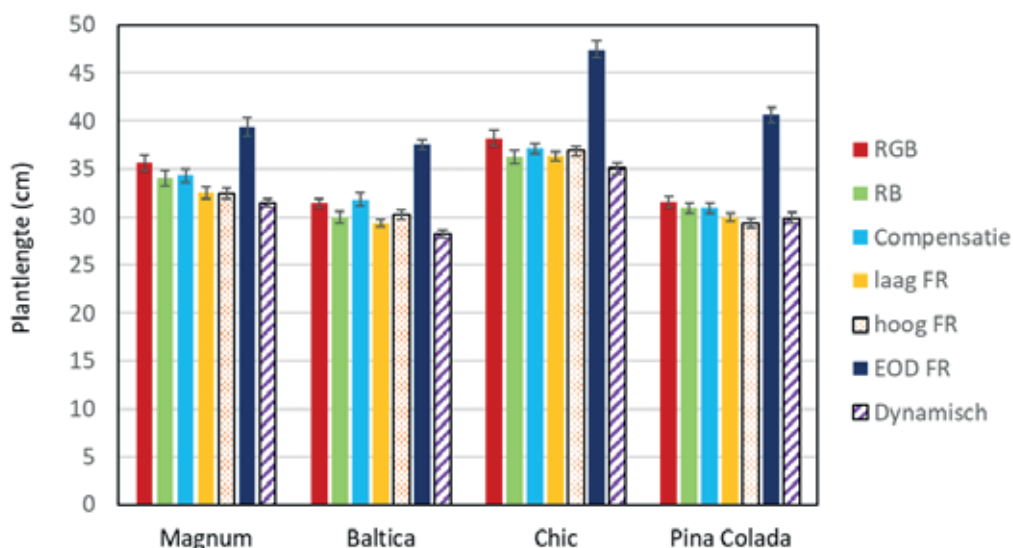
4.3.1 Klimaat

Bij de LD werd een gemiddelde etmaaltemperatuur gerealiseerd van 19.8 °C (20 °C dag en 18.9 °C nacht). De CO₂ concentratie was 675 ppm (tijdens dag), en relatieve luchtvochtigheid was 79.5% tijdens de dag en 88% tijdens de nacht.

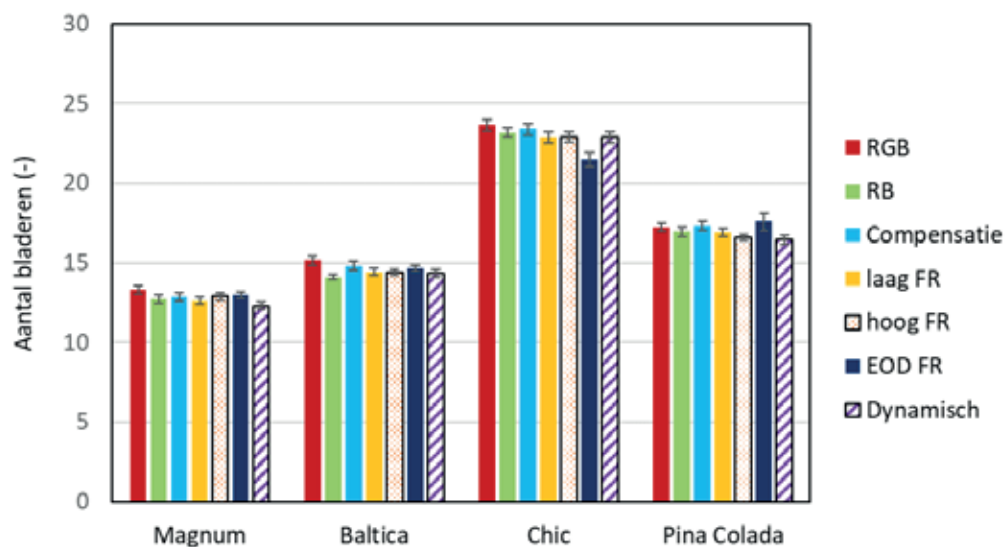
In KD was de etmaaltemperatuur 18.8 °C (19.2 °C dag en 18.4 °C nacht). De CO₂ concentratie was 735 ppm tijdens belichte uren, en relatieve luchtvochtigheid was 80.6% tijdens de dag en 87.1% tijdens de nacht.

4.3.2 Tussentijdse oogst

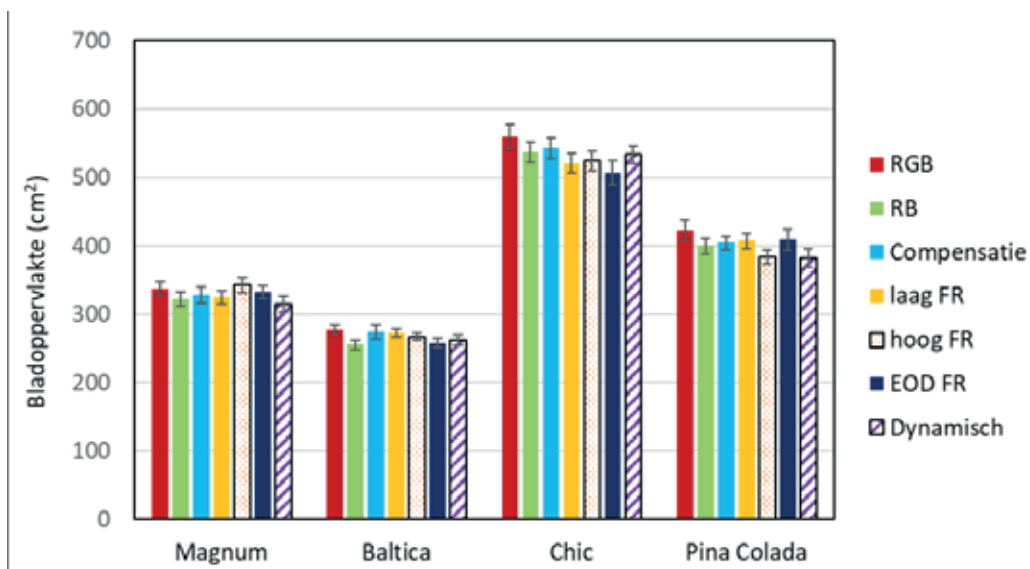
Bij de tussentijdse oogst, 18 dagen na het planten van de stekken waren de planten van alle rassen bij de behandeling EOD FR duidelijk langer dan in de overige behandelingen (Figuur 4.8). Het aantal bladeren en de bladoppervlakte waren nagenoeg gelijk in alle behandelingen (Figuren 4.9 en 4.10). In EODFR bij de cultivar Chic was het totaal drooggewicht van de plant iets hoger dan bij de rest van de behandelingen, er zat relatief meer drooggewicht in de stengel (Figuren 4.11 en 4.12).



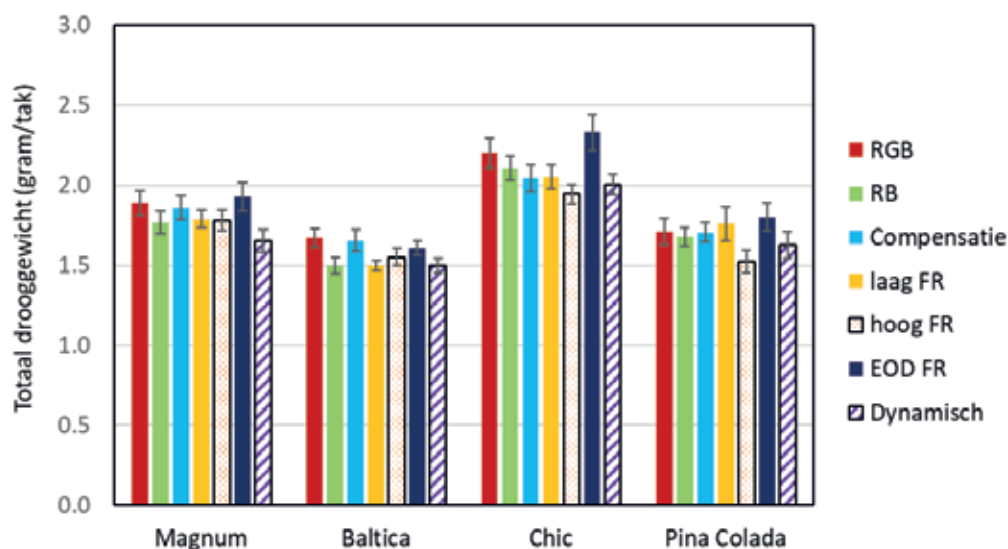
Figuur 4.8 Effect van de lichtbehandelingen op de plantlente bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, n=2).



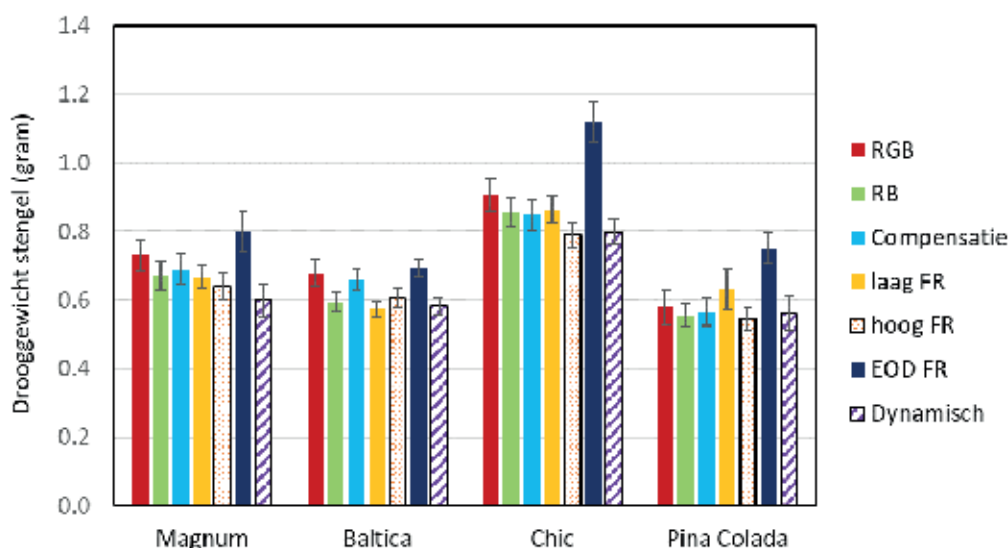
Figuur 4.9 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal aangelegde bladeren bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, n=2).



Figuur 4.10 Effect van de lichtbehandelingen op het bladoppervlakte bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, n=2).



Figuur 4.11 Effect van de lichtbehandelingen op het totaal drooggewicht van de tak bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, n=2).

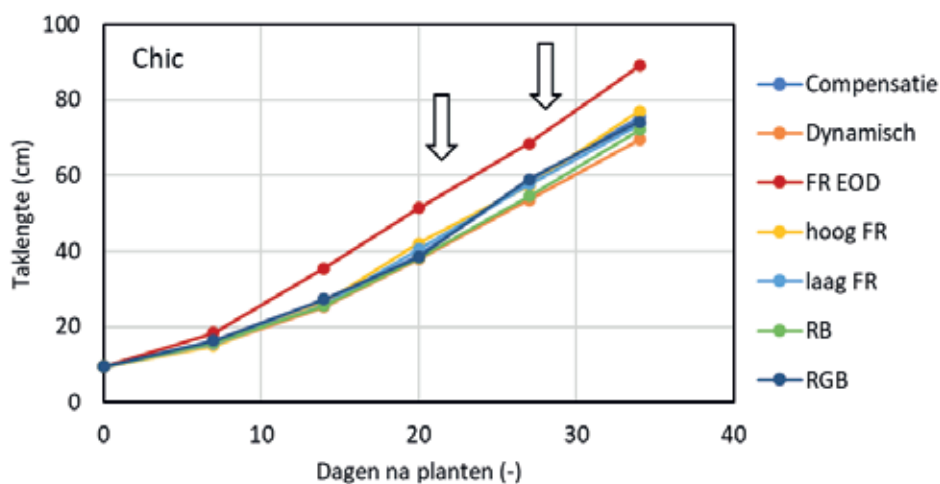


Figuur 4.12 Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de stengel bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken geven de afwijking van het gemiddelde weer (SEM, n=2).

4.3.3 Eindoogst

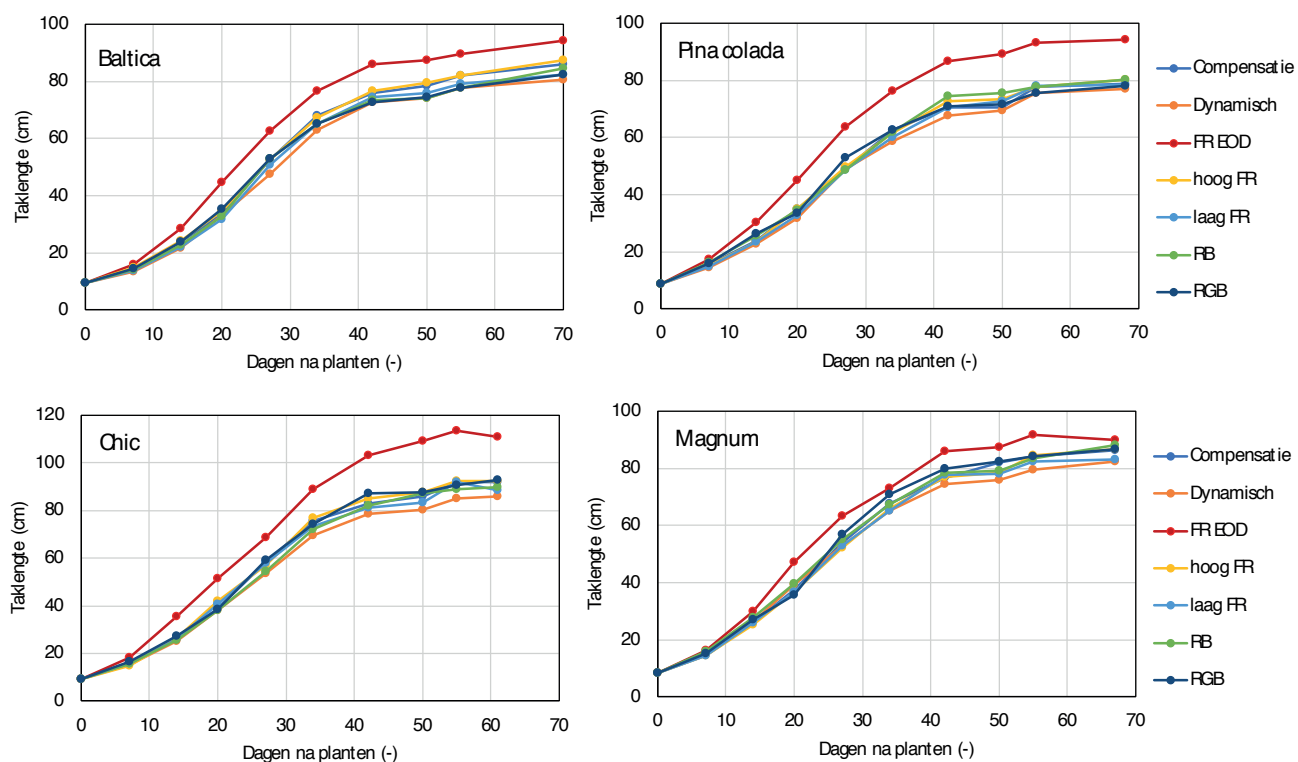
4.3.3.1 Strekking

Bij alle chrysantenrassen werd vroeg in de teelt al een verschil gezien in taklengte tussen de behandeling EOD FR en alle andere behandelingen. In Figuur 4.13 is dit als voorbeeld voor het ras Chic getoond. Daarin is te zien dat 14dagen na planten het verschil in taklengte al te zien is (is 5 dagen in KD) en dat dit verschil in de periode daarna nauwelijks meer groter wordt. De pijlen geven de momenten van remmen aan. Bij de eerste pijl (22 dagen na planten) werd alleen de behandeling EOD FR geremd (1 g/L daminozide), bij de tweede pijl (29 dagen na planten) alle behandelingen (2 g/L daminozide).

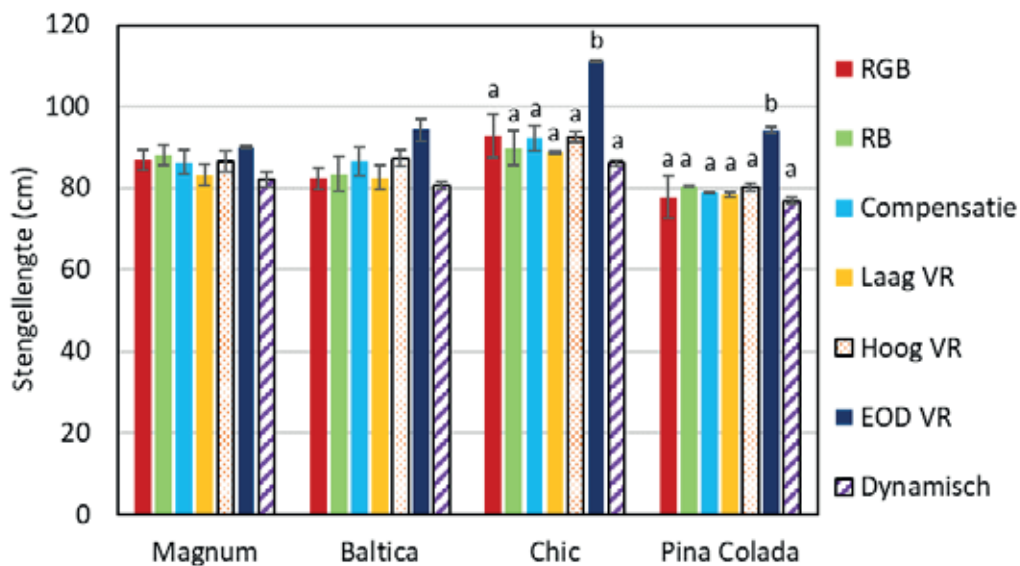


Figuur 4.13 Verloop van de taklengte van het ras Chic in het begin van de teelt. De pijlen geven de momenten van remmen aan.

Bij de troschrysanten Baltica, Chic en Pina colada bleef de taklengte bij EOD FR gedurende de hele teelt langer (Figuur 4.14). De overige behandelingen lieten een vergelijkbare taklengte zien. In de pluischrysant Magnum verdwijnt het effect van EOD FR richting het einde van de teelt (Figuur 4.14). Uit de statistische analyse blijkt dat de behandeling EOD FR een significant langere stengellengte had dan de rest van de behandelingen in Chic ($P=0.008$) en Pina Colada ($P=0.007$) (Figuur 4.15).



Figuur 4.14 Verloop van de taklengte van de chrysanten Baltica, Pina colada, Chic en Magnum gedurende het experiment.

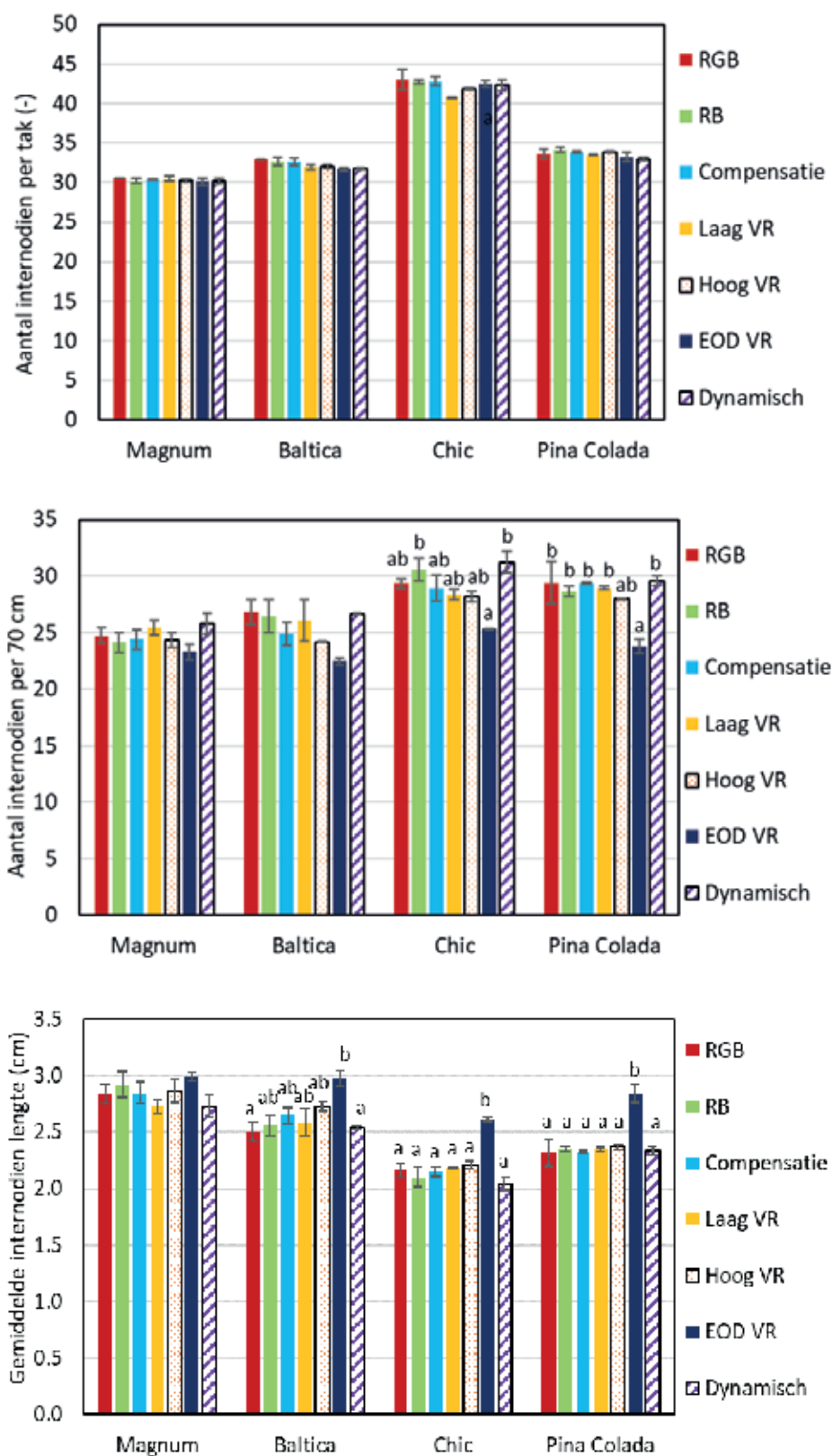


Figuur 4.15. Effect van de lichtbehandelingen op de taklengte van de chrysantenrassen *Magnum*, *Baltica*, *Chic* en *Pina colada*. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, $n=2$). Verschillende letters per ras geven significante verschillen tussen de behandelingen weer.



Figuur 4.16 Representatieve planten met eindlengte per lichtbehandeling voor *Pina colada*.

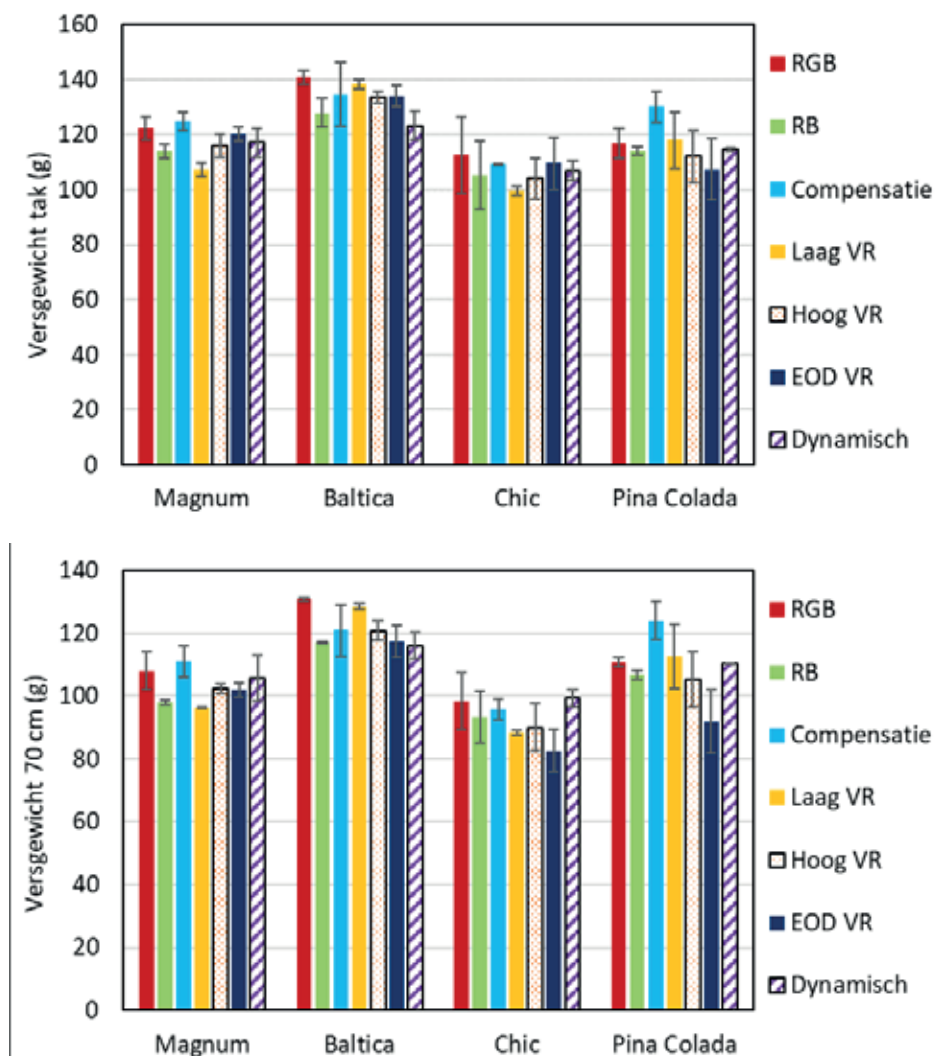
Het aantal internodiën per tak was niet significant verschillend tussen de behandelingen (Figuur 4.17). Wanneer de takken afgeknipt werden op 70 cm en het aantal internodiën geteld werd, bleek dat het aantal internodiën op de tak van 70 centimeter significant lager was voor de EOD FR behandeling in *Chic* ($P=0.013$) en *Pina colada* ($P=0.012$). De lengte per internodium was in deze rassen significant hoger voor EOD FR dan voor de andere behandelingen (*Chic* ($P=0.002$) en *Pina colada* ($P=0.002$)).



Figuur 4.17 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal internodia per tak (boven), aantal internodia per 70 centimeter taklengte (midden) en gemiddelde internodium lengte (onder) voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, n=2). Verschillende letters per ras geven significante verschillen tussen de behandelingen weer.

4.3.3.2 Takgewicht

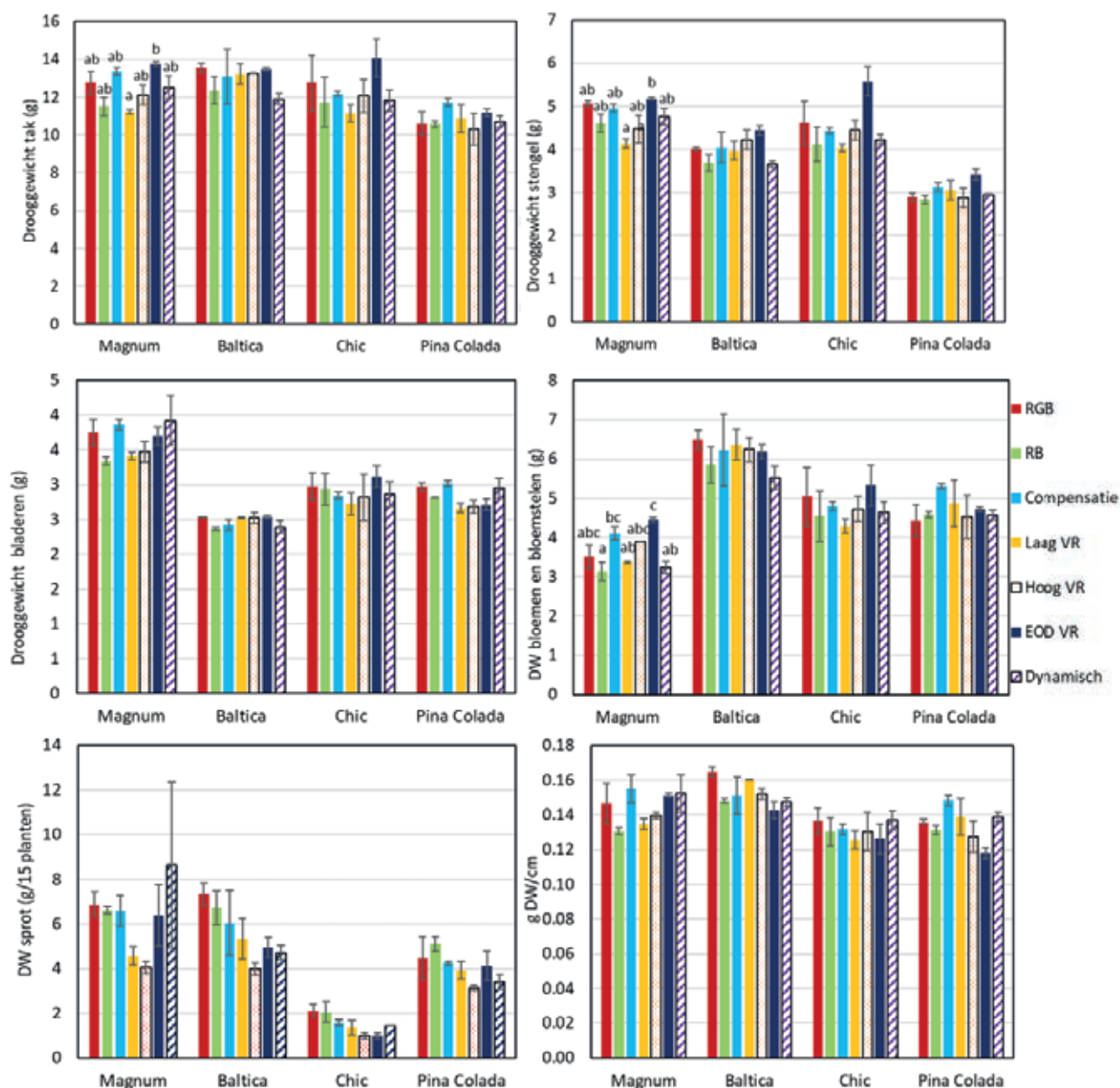
Bij de destructieve eind oogst werd het totaal vers- drooggewicht van de takken gewogen. De lichtbehandelingen hadden geen (significant) effect op het versgewicht van de totale tak of de tak afgeknipt op 70 cm, per ras (Figuur 4.18). Wanneer de data van de drie troschrysanten samen werden genomen blijkt dat het takgewicht van de tak van 70 cm in de behandelingen RGB en Compensatie aantoonbaar hoger is dan die van EOD ($P=0.037$). Er was geen aantoonbaar verschil in totaal versgewicht van de tak voor de drie trosrassen.



Figuur 4.18 Effect van de lichtbehandelingen op het versgewicht van de totale tak (boven) en versgewicht van de tak afgeknipt op 70 centimeter (onder) voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, $n=2$). Verschillende letters per ras geven significante verschillen tussen de behandelingen weer.

Bij Magnum had de behandeling EOD FR een significant hoger drooggewicht van de totale tak dan de behandeling Laag FR. Beide behandelingen verschilden niet significant van de rest van de behandelingen (Figuur 4.19). Dit verschil in drooggewicht van de tak werd gedeeltelijk bepaald door de zwaardere stengel en gedeeltelijk door zwaardere bloemen (Figuur 4.19).

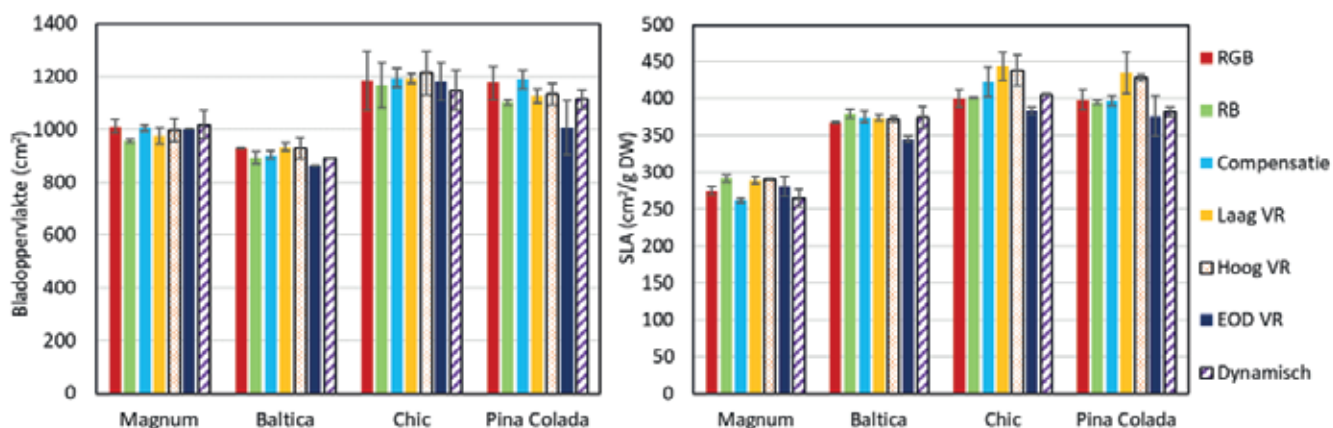
De lichtbehandelingen bleken bij de troschrysenten geen significant effect te hebben op de gevormde biomassa (drooggewicht van de tak). Chic heeft wel een hoger takgewicht bij de behandeling EOD FR, maar door de grote spreiding tussen de herhalingen, is dit verschil niet significant. Wanneer naar de gegevens van de afzonderlijke rassen worden gekeken, zijn de effecten van de lichtbehandelingen op drooggewicht van de tak, stengel, bladeren, bloemen en sprout niet significant. Wanneer de resultaten van de drie troschrysenten samen worden genomen, blijkt dat de behandelingen RB en RGB het hoogste gewicht aan sprout hebben, en de behandeling Hoog FR het laagste gewicht aan sprout. Dat bevestigt de veronderstelling dat verrood licht zorgt voor onderdrukking van de uitloop van knoppen, dus ook het optreden van sprout onder in de plant. Uit de analyse van de drie chrysantenassen samen blijkt verder dat het drooggewicht van de stengel hoger is voor EOD FR dan voor alle andere behandelingen, en dat de takken het stevigst zijn voor RGB (uitgedrukt als g takgewicht per strekkende centimeter) en het minst stevig voor EOD FR.



Figuur 4.19 Effect van de lichtbehandelingen op de drooggewichten van de totale tak, van de stengel, bladeren, bloemen, sprout en het drooggewicht per strekkende centimeter voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina Colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, n=2). Verschillende letters per ras geven significante verschillen tussen de behandelingen weer.

4.3.3.3 Bladoppervlakte

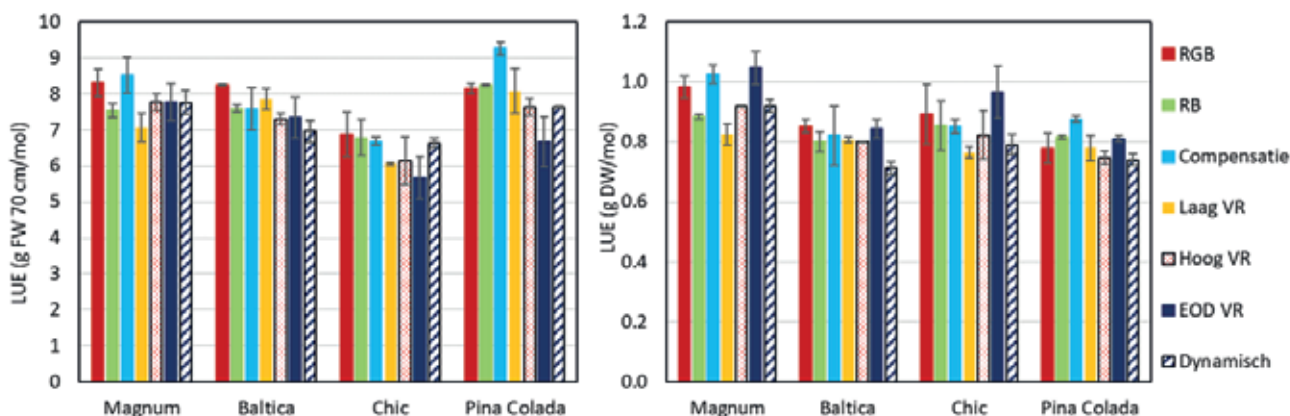
De lichtbehandelingen hadden geen aantoonbaar effect op het bladoppervlakte of de bladdikte (SLA, specific leaf area, cm^2 blad per g bladdrooggewicht) (Figuur 4.20). Wanneer de data van de drie rassen troschrysanten samen genomen worden, blijkt dat de behandeling EOD FR dikkere bladeren heeft (lager SLA in cm^2 per g DW) dan de behandelingen Hoog FR en Laag FR ($P = 0.003$).



Figuur 4.20 Effect van de lichtbehandelingen op het bladoppervlak per plant en het specifiek bladoppervlak (SLA, maat voor bladdikte) voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, $n=2$). Verschillende letters per ras geven significante verschillen tussen de behandelingen weer.

4.3.3.4 Lichtbenuttingsefficiëntie

De lichtbenuttingsefficiëntie werd berekend door het aantal mol licht op het gewas (zonlicht en lamplicht) te delen door de gevormde biomassa. Dit werd zowel uitgedrukt op basis van het totale plantdrooggewicht als op basis van het versgewicht van een oogstbare tak van 70 cm. Er bleek geen aantoonbaar effect te zijn van de lichtbehandelingen op de lichtbenuttingsefficiënties.

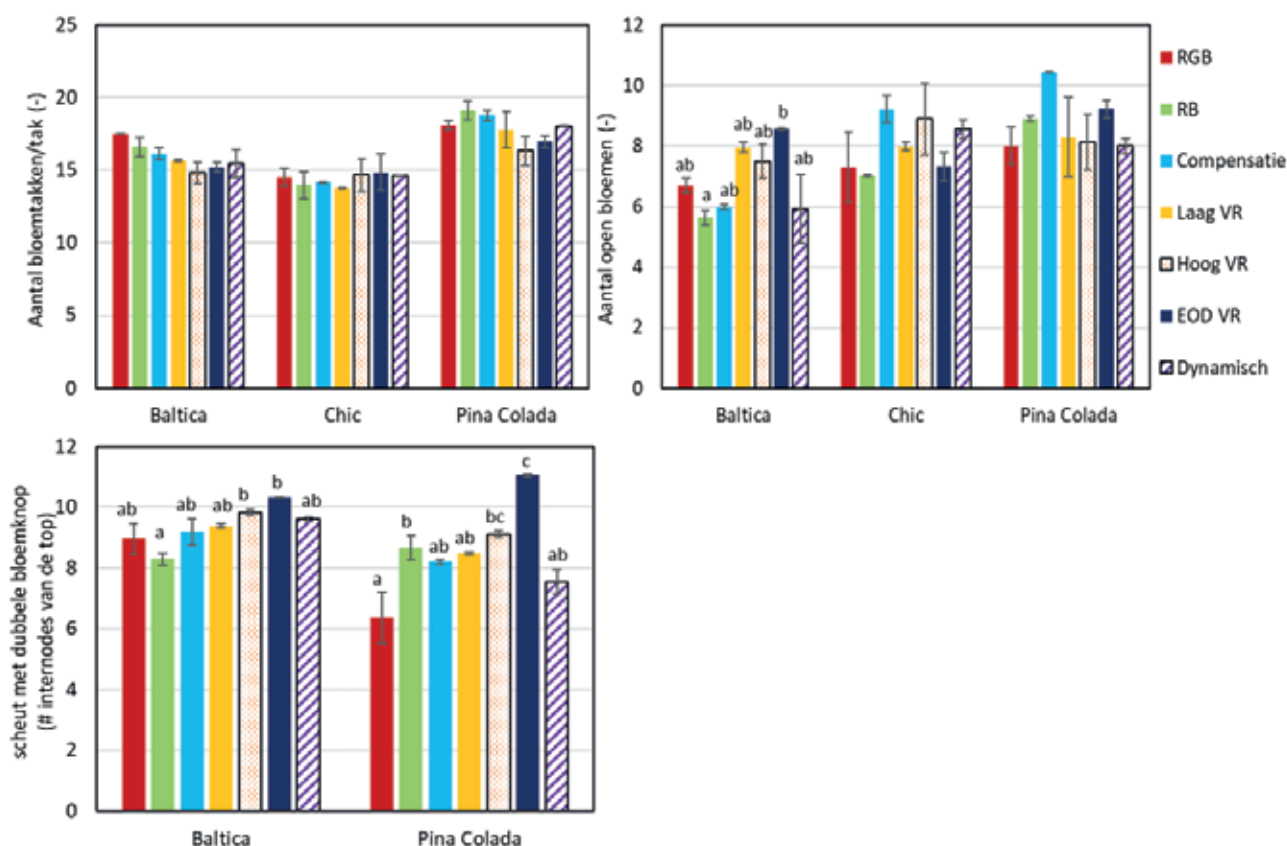


Figuur 4.21 Effect van de lichtbehandelingen op de lichtbenuttingsefficiëntie gebaseerd op het versgewicht van takken teruggeknipt op 70 centimeter en op de lichtbenuttingsefficiëntie voor totaal drooggewicht voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, $n=2$). Verschillende letters per ras geven significante verschillen tussen de behandelingen weer.

4.3.3.5 Bloemen

Het effect van de lichtbehandelingen op het moment dat takken geoogst kunnen worden (reactietijd) werd mede door de begeleidingscommissie beoordeeld. Dit werd meegenomen in het bepalen van de logistiek en volgorde in de destructieve eind oogst. Gemiddeld over de rassen gold dat EOD FR twee dagen voorliep op RGB, RB, compensatie en dynamisch, Laag FR een dag, en Hoog FR een halve dag.

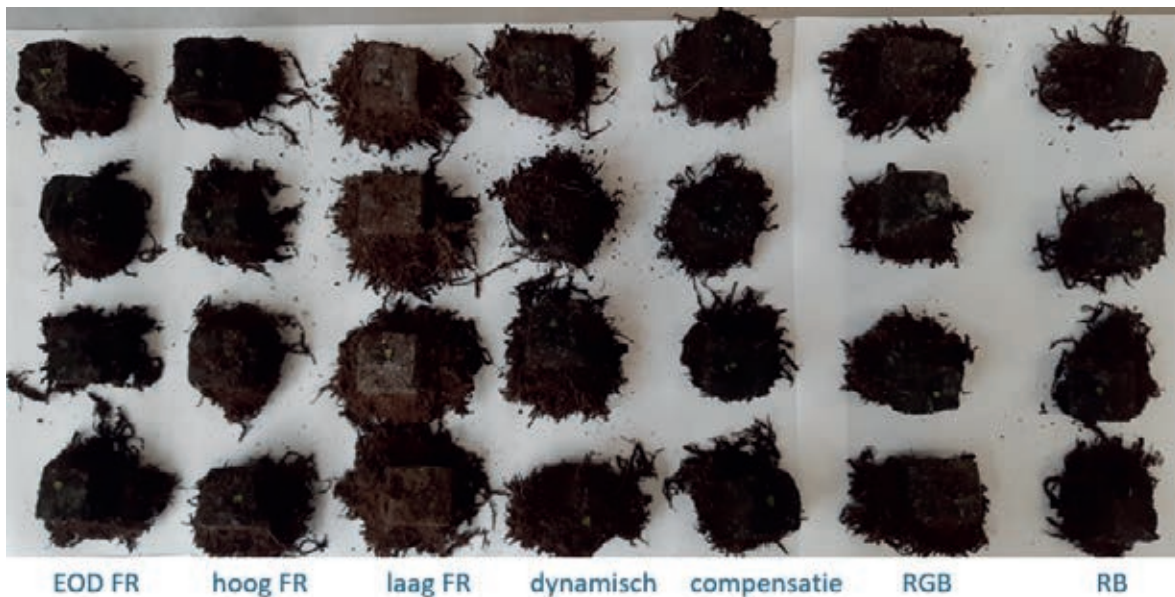
Er was geen effect van de lichtbehandelingen op het totaal aantal bloemtakken per plant (Figuur 4.22). Het aantal open bloemen op moment van de destructieve eind oogst was alleen verschillend voor Baltica ($P=0.025$), waar de behandeling EOD FR meer open bloemen had dan RB. Dit geeft aan dat die planten eigenlijk een dag eerder geoogst hadden moeten worden. In Baltica ($P=0.017$) en Pina Colada ($P=0.001$) was er een aantoonbaar effect van de lichtbehandelingen op de positie van de eerste bloemtak met een dubbele knop geteld van boven. In beide rassen had EOD FR het grootste aantal internodia tot een dubbele knop, en zat de bloemtak met een dubbele knop dus lager in het gewas. Wanneer de data van Baltica en Pina colada samen geanalyseerd worden, dan blijkt dat EOD FR meer internodia had tot de eerste bloemtak met een dubbele bloemknop dan alle andere behandelingen. De behandelingen Laag FR en Hoog FR hadden ook significant meer internodia tot de eerste bloemtak met een dubbele knop dan RGB. Het lijkt er op dat een aandeel verrood licht hierop een effect heeft.



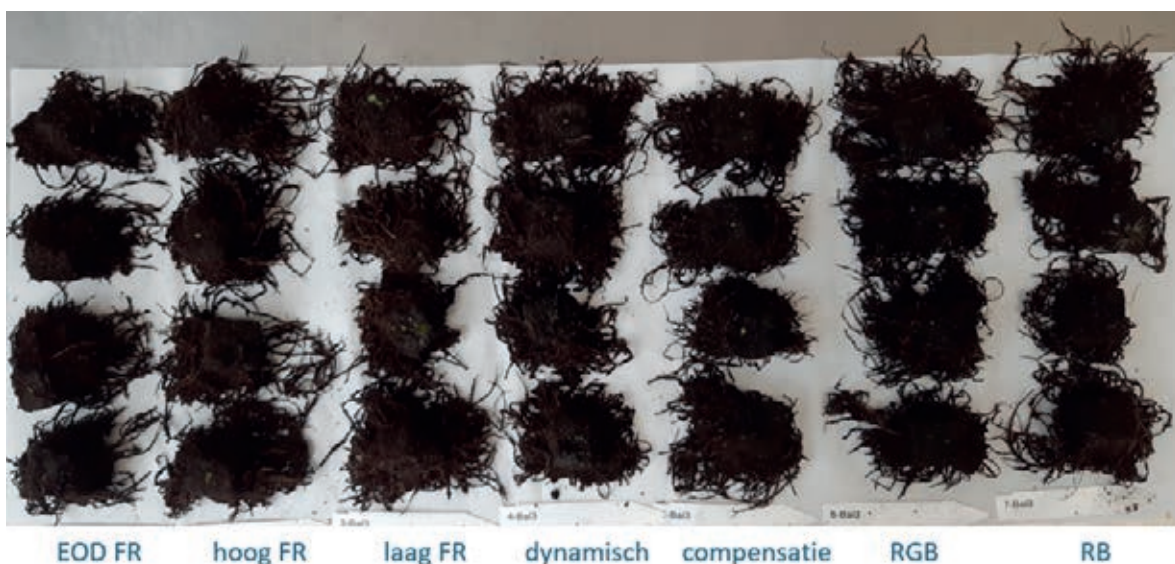
Figuur 4.22 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal bloemtakken per tak, aantal open bloemen en positie van de bloemtak met de eerste dubbele knop geteld van boven, voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De verticale balken weergeven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (SEM, $n=2$). Verschillende letters per ras geven significante verschillen tussen de behandelingen weer.

4.3.3.6 Wortelgroei

Om een indicatie te krijgen van de groei en ontwikkeling van de wortels, werd bij de tussentijdse oogst een aantal planten opgegraven, en werd het substraat voorzichtig afgeschud. Uit de visuele observaties lijkt het dat Chic in de behandeling EOD FR een relatief klein wortelstelsel heeft, terwijl het wortelstelsel met name in de behandelingen Hoog FR en Laag FR groter lijkt (Figuur 4.23). Het wortelstelsel van Baltica was groter, maar de verschillen tussen de behandelingen waren kleiner (Figuur 4.24).

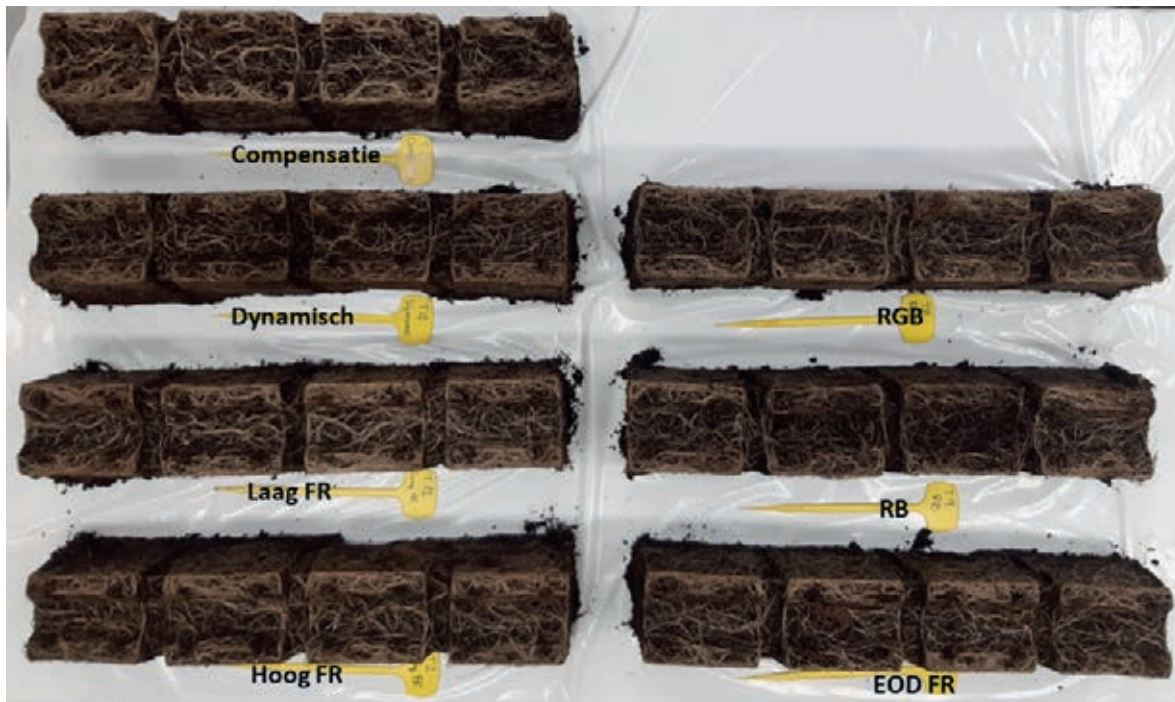


Figuur 4.23 Effecten van de lichtbehandelingen op de wortelgroei van het chrysantenras Chic. De foto geeft de wortelstelsels van een aantal uitgegraven planten per behandeling weer bij de tussentijdse oogst.

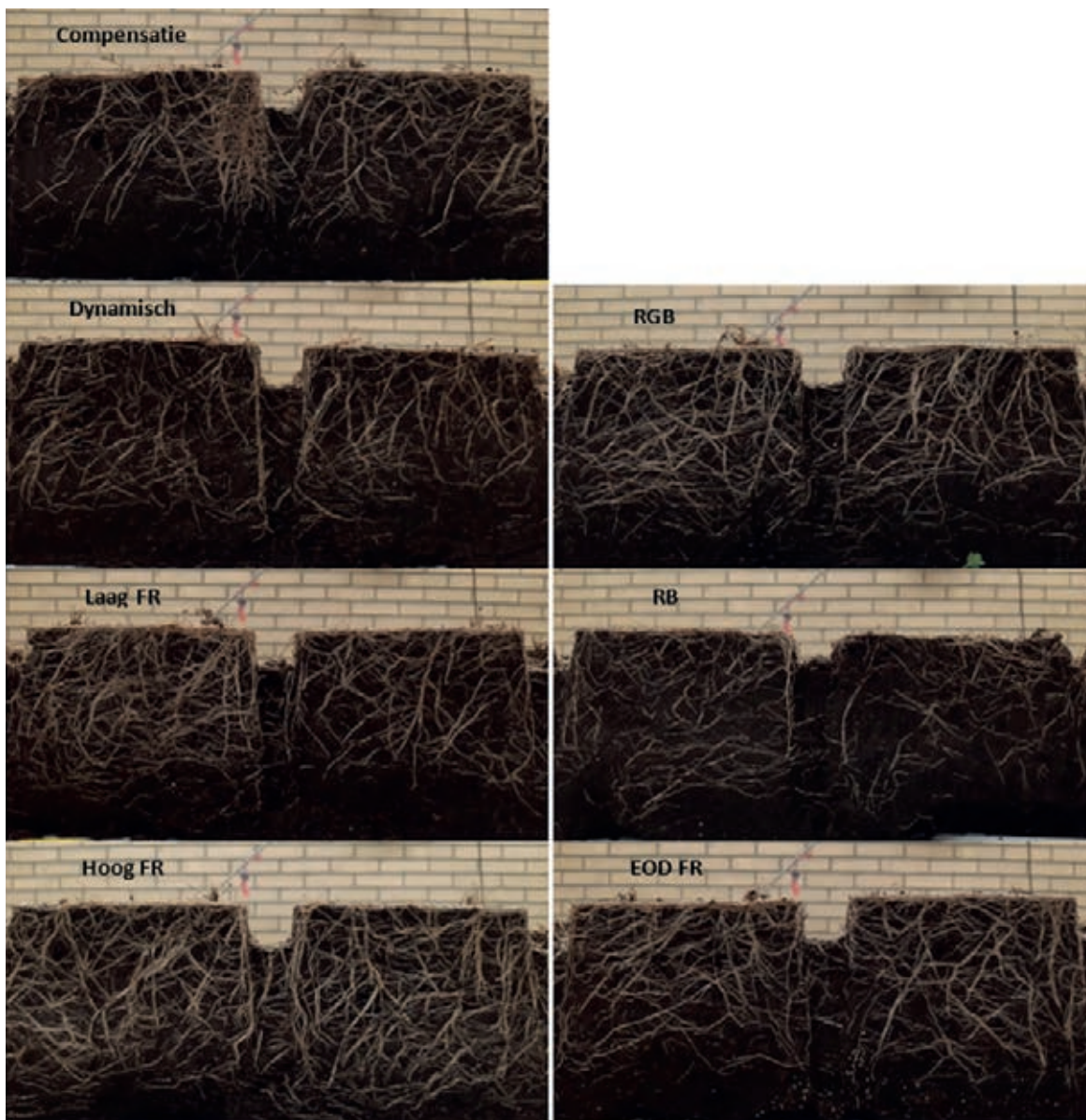


Figuur 4.24 Effecten van de lichtbehandelingen op de wortelgroei van het chrysantenras Baltica. De foto geeft de wortelstelsels van een aantal uitgegraven planten per behandeling weer bij de tussentijdse oogst.

Het effect van de lichtbehandelingen op de wortelgroei is ook bij de destructieve eindoogst beoordeeld. Uit de visuele beoordeling bleek dat Laag FR, Hoog FR en Compensatie meer wortelgroei hadden dan de behandeling RB (Figuur 4.25 en 4.26). De behandelingen RGB, EOD FR en Dynamisch zaten daartussen in. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze manier van bepalen erg subjectief is. Wanneer de effecten van de lichtbehandelingen op wortelgroei echt goed bepaald zouden moeten worden, moet er geteeld worden op een substraat dat goed van de wortels te spoelen is.



Figuur 4.25 Effect van de lichtbehandelingen op de wortelgroei van chrysant. Bovenaanzicht van de wortelstelsels in het middelste gedeelte van de bak bij de eindoogst.



Figuur 4.26 Effect van de lichtbehandelingen op de wortelgroei van chrysant. Zijaanzicht van de wortelstelsels in het middelste gedeelte van de bak bij de eindoogst.

4.4 Conclusies en aanbevelingen

In dit experiment zijn vier rassen chrysant onder full LED geteeld, als aanvulling op het aanwezige zonlicht. Het aandeel zonlicht in deze teelt was 22%, het aandeel LED licht in de totale lichtsom was 78%. Uit dit experiment bleek dat het goed mogelijk is chrysanten onder full LED te telen. Alle rassen (Magnum, Baltica, Chic en Pina colada) haalden het gewenste takgewicht, en de kwaliteit van de bloemtakken was goed.

De lichtbehandelingen die zijn aangelegd, richtten zich met name op de effecten van verrood licht. Een van de aangelegde behandelingen was EOD FR, waarbij na de belichtingsperiode nog een half uur 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht gegeven werd. In twee andere behandelingen werd gedurende de hele belichtingsperiode 5% of 10% van de totale lichtsom als verrood gegeven. In het experiment werd een behandeling RGB (5% blauw licht, 5% groen en 90% rood licht) als referentiebehandeling gebruikt.

Het lichtspectrum had een effect op de ontwikkelingssnelheid en de strekking van de takken. Gemiddeld konden de takken van de behandeling EOD FR twee dagen eerder geoogst worden dan de referentiebehandeling RGB, de behandeling Laag FR een dag eerder en de behandeling Hoog FR een halve dag eerder.

De behandeling EOD FR leidde in alle rassen al na twee weken tot meer takstrekking, en leidde uiteindelijk tot langere bloemtakken in Chic en Pina colada. Dit ondanks het feit dat er in deze behandeling twee keer werd geremd, in tegenstelling tot de overige behandelingen.

Er bleek geen effect te zijn van de lichtbehandelingen op het totale drooggewicht of versgewicht van de takken (behalve bij Magnum, waar EOD FR een hoger drooggewicht had dan laag FR). Wel was het zo dat in een aantal rassen de behandelingen met verrood licht het optreden van sprout onderdrukt: het gewicht aan scheutjes onderin het gewas was lager.

Dit onderzoek heeft laten zien dat EOD verrood mogelijk interessant is omdat het met weinig (extra) energie een groot effect heeft op takstrekking. Deze resultaten worden binnenkort ook toegepast in de teelt in het project "De Perfecte Chrysant". Er blijven nog wel veel vragen over ten aanzien van de duur van de periode EOD verrood: moet dit een half uur zijn, of kan het ook minder zijn? Is het voldoende dit alleen in de eerste twee-drie weken van de teelt toe te passen? Welke intensiteit verrood licht is dan nodig? Verder blijkt de behandeling met 2.5% blauw licht en 2.5% verrood licht het ook goed te doen. Dit geeft aan dat het aandeel blauw licht mogelijk lager kan zijn dan nu aangenomen wordt. Is dit zo, en zo ja, is het verrood dan ook nodig? Deze vragen zouden in een vervolproef beantwoord kunnen worden.

5 Effecten van lichtkleuren op groei, productie en takkwaliteit van alstroemeria

5.1 Inleiding

In de afgelopen jaren is het elektriciteitsgebruik in de sector snel toegenomen door toenemende arealen en intensiteiten belichte teelt. Om de CO₂ reductie doelstellingen te halen moet het elektriciteitsgebruik voor belichting teruggebracht worden, en moet dit ingepast worden in een energiezuinig teeltconcept. Een van de mogelijkheden om het elektriciteitsgebruik voor belichting terug te dringen is het gebruik van LED belichting, dat een hogere efficiëntie heeft (in $\mu\text{mol/J}$) dan de traditionele SON-T belichting. Andere voordelen zijn dat LEDs te dimmen zijn, snel aan en uit te schakelen zijn, en verschillende lichtkleuren af kunnen geven. Echter, bij een gewas als alstroemeria is er nog nauwelijks kennis over welk lichtspectrum voor dit gewas het beste is, en wat de effecten zijn van de verschillende lichtkleuren op groei, ontwikkeling en takkwaliteit. Daarom is in dit project onderzocht wat de effecten zijn van verschillende lichtspectra op de groei, productie en takkwaliteit van twee verschillende alstroemeriarassen.

5.2 Materiaal en methoden

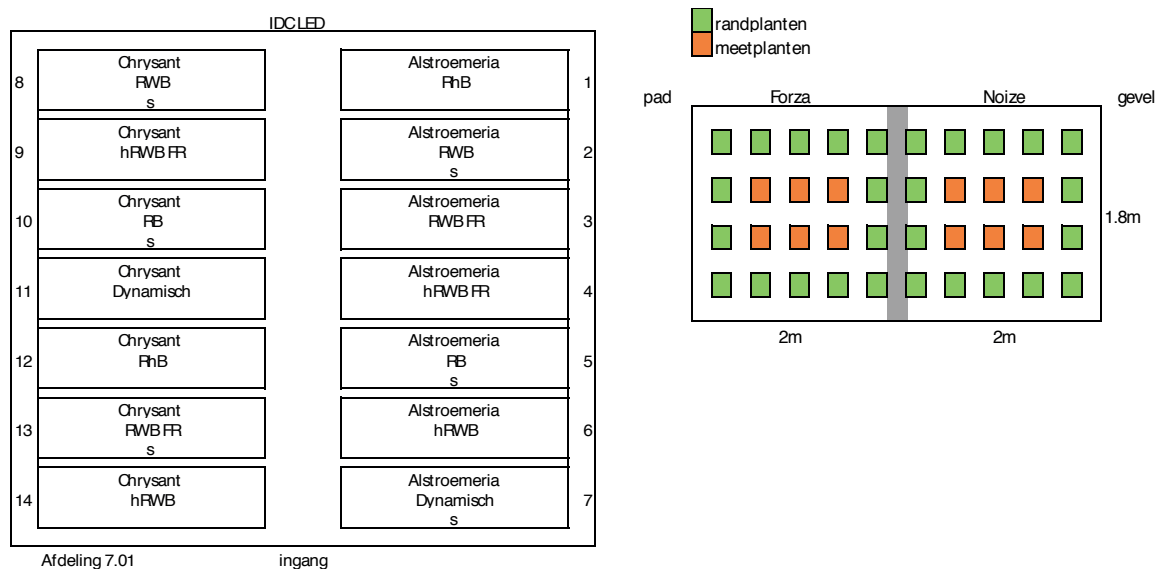
5.2.1 Teelt en behandelingen

In dit experiment is onderzocht hoe verschillende (LED) lichtspectra de groei, productie en takkwaliteit van twee alstroemeriarassen beïnvloeden. Deze proef is uitgevoerd in het najaar van 2018 (september – november), onder 'winterse condities' in de kas, dus met lage niveaus zonlicht en lage temperaturen. De proef werd uitgevoerd in het IDC LED op 7 tafels, en werd gecombineerd met een teelt van chrysanten, die op de andere 7 tafels werd uitgevoerd. Het gerealiseerde kasklimaat is daarmee een compromis, en moest geschikt zijn om zowel alstroemeria als chrysant te kunnen telen.

Tabel 5.1

Overzicht gegevens experiment alstroemeria.

Gewas	Alstroemeria
Rassen	Noize en Forza (Hilverda Kooij)
Plantdatum (start experiment)	6 september 2018, lichtbehandelingen voor alstroemeria zijn gestart op 13 september 2018
Plantdichtheid	5.5 planten/m ²
Teeltstrategie	Teelt in potten op tafels, bloemtakken werden geoogst als een of meer bloemen begonnen te openen.
Substraat en watergift	Teelt in potten, watergift via eb- en vloed systeem.
Hoogte van het lampenplafond	1.85 m
Lichtintensiteit	201 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 80 cm hoogte
Daglengte	16 uur
Lichtbehandelingen	7 verschillende LED spectra (Tabel 5.2) met een streefwaarde van 20% zonlicht als achtergrond
Temperatuurinstellingen	Ingesteld op 20 °C dag en 18 °C nacht
Schermsstrategie	Donkerdoek: gesloten van 19:00-8:00
CO ₂ concentratie	Ingesteld op 800 ppm
Einde experiment	21-22 november 2018



Figuur 5.1 Schematische weergave van de behandelingen over de tafels (links) en de verdeling van de alstroemeriplanten over de tafels (rechts)

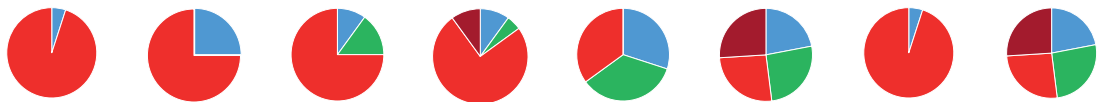


Figuur 5.2 Weergave van de potten alstroemeria op de tafels in het IDC LED, links de jonge planten van Noize, rechts van Forza.

Tabel 5.2

Gebruikte lichtspectra bij de teelt van alstroemeria.

	RB Referentie	RhB	RGB	RGB FR	Wit	Wit FR	Dyn. dag	Dyn. nacht
Blauw (%)	5	25	10	10	30	22	5	22
Groen (%)	0	0	15	5	35	26	0	26
Rood (%)	95	75	75	75	35	26	95	26
Verrood (%)	0	0	0	10	0	26	0	26
Totaal (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
PAR (%)	100	100	100	90	100	74	100	74



5.2.2 Metingen

Gedurende de teelt werden wekelijks een aantal scheuten gelabeld (bij een lengte van ongeveer 10 cm) om de uitgroeiduur van de bloemtakken te bepalen. In de periode 26 oktober tot 22 november werden van beide rassen bloemtakken geoogst als een of meer bloemen geopend waren. Er kon vooral van het ras Noize geoogst worden, omdat de planten van Forza bij de start van de teelt nog zo jong waren dat allen in de behandelingen Wit FR en Dynamisch er tenminste 10 takken geoogst konden worden. Het aantal bloemen per plant werd geteld, en per tak werden de taklengte en het versgewicht van de bloemtak bepaald. Op deze manier kon de totale bloemproductie per plant worden gemeten. Bij de oogst werd ook de kwaliteit van het blad bepaald, door deze in te delen in een van de drie categorieën: goed (geen bladschade), blad met bladrandjes of geel blad.

Aan het einde van de teelt (21 november) werd een destructieve eindoogst gedaan, waarbij van 6 planten per ras per behandeling de plantlengte werd bepaald, de bladkwaliteit werd gescoord op een schaal van 1 tot 3 (zie voorgaande paragraaf), en het aantal bloeiende en niet bloeiende takken werd geteld. Van alle takken werden vers- en drooggewichten van bladeren, stengels en aanwezige bloemen gewogen. Wanneer daar ook de geoogste bloemtakken bij op werden geteld, kon de totale geproduceerde plantbiomassa bepaald worden.

5.3 Resultaten

5.3.1 Klimaat

De gerealiseerde klimaatcondities gedurende de teelt waren 20.2/17.9 °C (dag/nacht kasluchttemperatuur), relatieve luchtvochtigheid van 75/81% (dag/nacht) en een CO₂ concentratie van 829/805 ppm (dag/nacht).

5.3.2 Plantmetingen

Uit de teelt bleek dat het goed mogelijk is alstroemeria te telen onder een full LED systeem als aanvulling op het zonlicht. De kwaliteit van de planten verschilde wel, waarbij de bladkwaliteit van Forza minder goed was dan van Noize. In de spectra met alleen rood en blauw licht was onderin het gewas afsterving van het blad te zien, terwijl dit in de spectra met een aandeel verrood licht nauwelijks het geval was. Verder viel op dat in de behandeling RB het blad bovenin geel was, en onderin het gewas aan het afsterven, terwijl het blad in de behandeling RhB donkergroen was (Figuren 5.3 en 5.4). De taklengte in de behandeling Wit was relatief kort, met kleine bladeren in het bloemschermbereik, terwijl de behandeling Wit FR een uitgestrekt bloemschermbereik had met lichtgroen blad. Bij de behandeling Dynamisch viel op dat de bladeren mooi verdeeld over de stengel zaten.

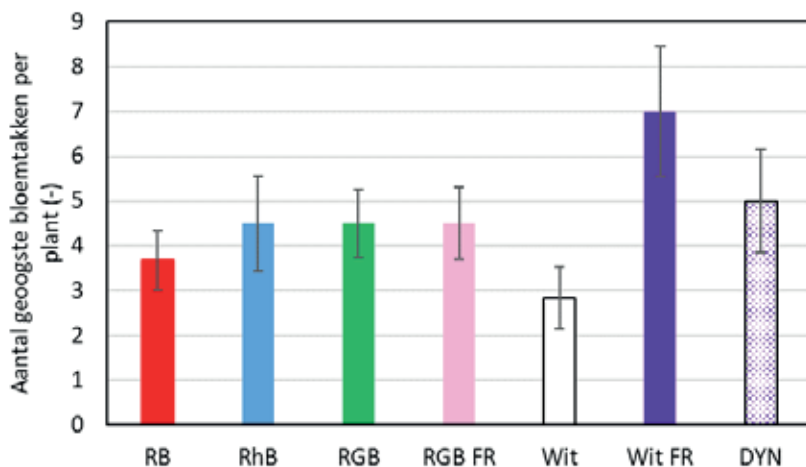


Figuur 5.3 Overzichtsfoto van een geoogste bloemtak per behandeling.



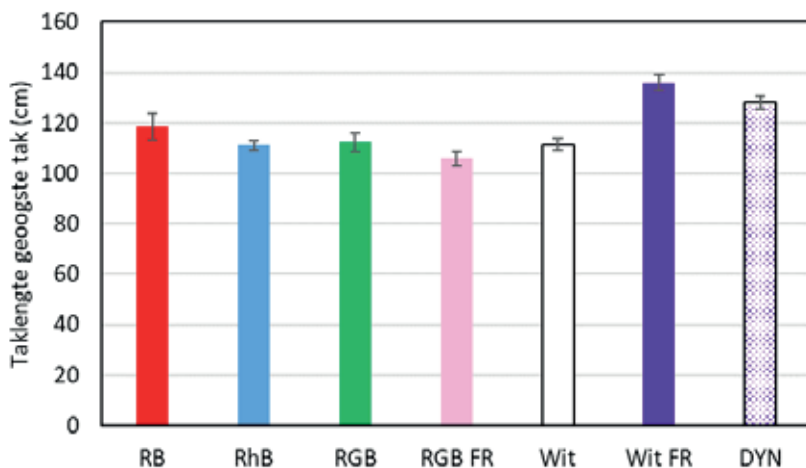
Figuur 5.4 Overzichtsfoto de bladkwaliteit voor de behandelingen (van links naar rechts) RB, RhB, RGB, RGB FR, Wit, Wit FR en Dynamisch.

Het aantal geoogste bloemen nam toe van 4 bloemen per plant (voor Noize) voor de behandelingen RB, RhB, RGB en RGB FR tot 7 bloemen per plant voor de spectra met wit en verrood licht. Als er alleen wit licht gegeven werd, bleef het aantal geoogst bloemen beperkt tot gemiddeld 3 per plant.



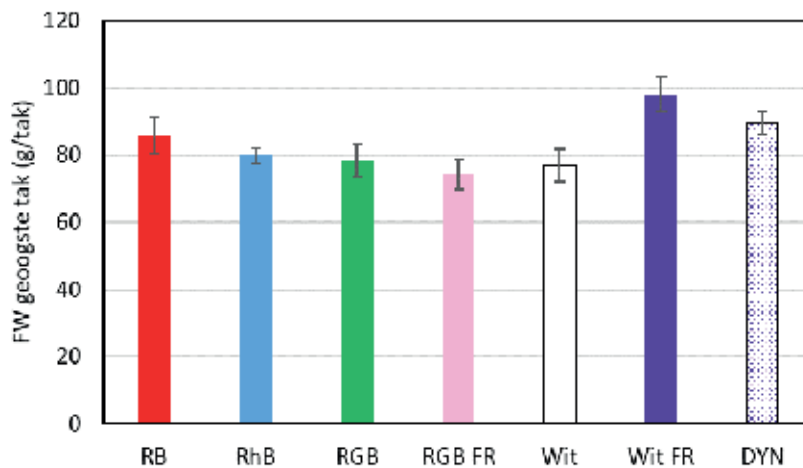
Figuur 5.5 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal geoogste bloemtakken per plant van alstroemeria "Noize". De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer ($n=6$).

De gemiddelde lengte van de geoogste takken was het langst in de behandeling Wit FR (Figuur 5.6). De behandeling Dynamisch, die de behandelingen RB en Wit FR combineerde, had een taklengte die tussen die twee behandelingen in zat. De behandeling RhB had een iets kortere taklengte dan RB, maar verrassend was dat de taklengte van RGB FR ook korter was dan RGB, terwijl de reactie op verrood meestal strekking is.



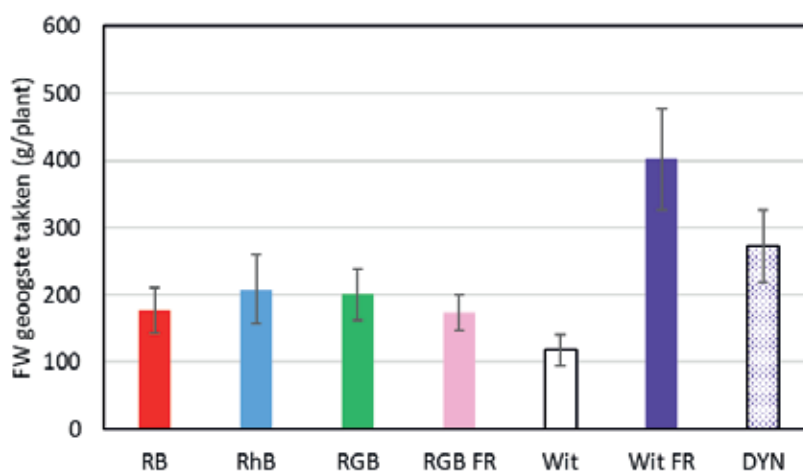
Figuur 5.6 Effect van de lichtbehandelingen op de gemiddelde lengte van de geoogste takken per plant van alstroemeria "Noize". De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer ($n=6$).

Het effect van de lichtbehandelingen op het gemiddelde versgewicht per geoogste tak was vergelijkbaar met dat op de taklengte. In de behandeling Wit FR werden de zwaarste takken geoogst (Figuur 5.7).



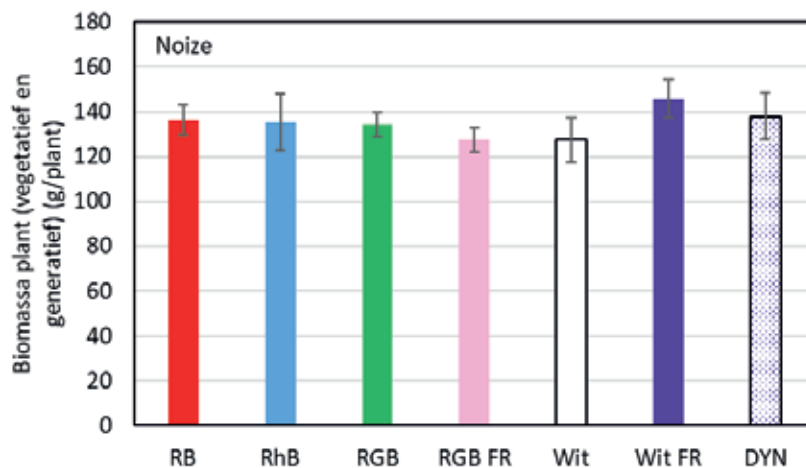
Figuur 5.7 Effect van de lichtbehandelingen op het versgewicht per geogede bloemtak van alstroemeria "Noize". De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (n=6).

Het totaal versgewicht van takken die geoged werden in de periode 26 oktober – 2 november was het gemiddeld versgewicht per tak vermenigvuldigd met het aantal geogede takken. Het totaal versgewicht aan geogede takken per plant was voor de behandeling Wit FR ruim twee maal zo hoog als voor de behandelingen RB, RhB en RGB (Figuur 5.8). Het versgewicht van de geogede takken was het laagst in de behandeling Wit. De behandeling Dynamisch, met overdag het RB spectrum en 's nachts (zonder zonlicht) Wit FR had een totaal versgewicht van de geogede takken dat tussen deze twee behandelingen in zit.



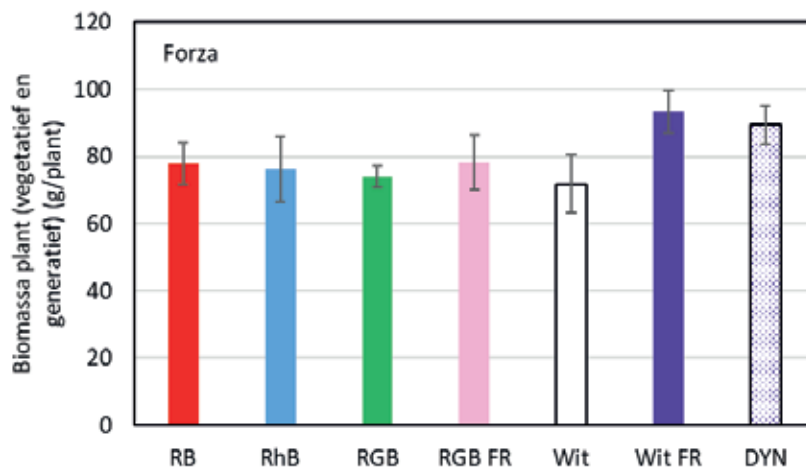
Figuur 5.8 Effect van de lichtbehandelingen op het versgewicht van de geogede takken per plant van alstroemeria "Noize". De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer (n=6).

Bij de destructieve eindogst werden vers- en drooggewichten van stengels, bladeren en bloemen aan de plant gemeten, en werden de gewichten van de geogede takken daarbij opgeteld om de totale bovengrondse biomassa te bepalen. De verschillen in totale gevormde biomassa zijn beperkt. Dat betekent dat de verschillen in bloemproductie die in de voorgaande Figuren te zien waren, mede bepaald werden door snelheid van uitgroei. Mogelijk zouden de verschillen in bloemproductie kleiner worden in de loop van een teelt, hetgeen we in deze proef niet konden doen, omdat de andere behandelingen dan Wit FR later met hun bloemproductie zouden komen (Figuur 5.9).



Figuur 5.9 Effect van de lichtbehandelingen op de totale biomassa productie (vegetatieve en generatieve delen) per plant van alstroemeria "Noize". De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer ($n=6$).

De planten van het ras Forza waren bij de start van de teelt veel jonger dan Noize, zodat er nauwelijks bloemtakken geoogst konden worden gedurende de teelt. Wel werd op een vergelijkbare manier als bij Noize de totale gevormde biomassa bepaald (Figuur 5.10). Daaruit bleek ook dat het lichtspectrum een beperkt effect had op de totale biomassa, maar dat de biomassa in de behandeling Wit FR het hoogst was.



Figuur 5.10 Effect van de lichtbehandelingen op de totale biomassa productie (vegetatieve en generatieve delen) per plant van alstroemeria "Forza". De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer ($n=6$).

Zoals te zien was in Figuur 5.8 was de productie van bloemtakken in de behandeling Wit FR hoog, zowel in aantal geoogste takken als in versgewicht per tak. Echter, de bladkwaliteit in deze behandeling liet te wensen over, evenals in de behandelingen RB, RhB, RGB en Wit (zie Tabel 5.3). De bladkwaliteit was goed in de behandelingen Dynamisch en RGB FR, waar wel wat gele bladeren werden gevonden, maar waarvan 95-96% van de takken een goede bladkwaliteit had. Omdat in siergewassen ook de kwaliteit van de bladeren aan de bloemtak van belang is voor de sierwaarde, is dit een aspect dat meegenomen moet worden in de uiteindelijke keuze voor het lichtspectrum.

Tabel 5.3

Effect van de lichtbehandelingen op de kwaliteit van de bladeren van de geoogste takken (percentages van de takken die goed zijn, percentage takken met bladeren met bladrandjes en percentage takken met gele bladeren).

Behandeling	Percentage takken met goede bladkwaliteit	Percentage takken met bladeren met bladrandjes	Percentage takken met gele bladeren
RB	79	16	5
RhB	81	8	12
RGB	76	10	14
RGB FR	95	0	5
Wit	85	15	0
Wit FR	83	8	8
Dynamisch	96	0	0

Naast metingen aan de bladkwaliteit, werd ook de kwaliteit van de bloemen bepaald door aantal bloemsteeltjes en aantal bloemen te bepalen, en de lengte van het bloemscherm te meten.

Tabel 5.4

Effect van de lichtbehandelingen op de kwaliteit van de bloemtak en de bloemschermen van de geoogste takken.

Behandeling	Stevigheid (g versgewicht per cm taklengte)	Aantal bloemsteeltjes per bloemtak (-)	Aantal bloemen per bloemtak (-)	Lengte bloemscherm (cm)
RB	0.73	5.7	10.9	7.8
RhB	0.71	5.3	9.7	5.7
RGB	0.67	4.8	8.5	6.5
RGB FR	0.66	5.3	10.0	6.8
Wit	0.65	5.2	9.5	6.5
Wit FR	0.71	5.2	10.9	9.1
Dynamisch	0.69	6.0	12.5	7.3

Zoals ook in Figuur 5.11 te zien is, had het lichtspectrum een groot effect op de vorm van de bloemschermen. Het aantal bloemsteeltjes en bloemen was het hoogst in de behandeling Dynamisch, en het laagst in de behandeling RGB. De bloemschermen waren het meest uitgestrekt in de behandeling Wit FR en het meest compact in de behandeling RhB (Tabel 5.4).



Figuur 5.11 Overzicht van de effecten van de lichtspectra RGB FR, Wit en Wit Fr op de kwaliteit van de bloemschermen van alstroemeria "Noize".

5.4 Conclusies

Om de stap te kunnen maken naar een duurzame, fossielvrije teelt van alstroemeria, zal toepassing van LED belichting een essentieel onderdeel zijn. Tot nu toe was er nagenoeg geen kennis over de effecten van het lichtspectrum op de groei, ontwikkeling en takkwaliteit van alstroemeria. De resultaten van de spectrumproef die gedaan is, liet zien dat de spectrale samenstelling van het licht grote effecten heeft op de taklengte, blad- en bloemkwaliteit en de productie. Hierbij moet opgemerkt worden dat de productie met name in de behandeling Wit FR (met verhoudingen blauw, groen, rood en verrood licht die overeen komen met het zonlicht) hoger was dan in alle behandelingen, maar dat de totale gevormde biomassa in die behandeling vergelijkbaar was met andere behandelingen. Dat suggereert dat de behandeling Wit FR wel leidt tot een vervroeging van de productie, maar dat deze lichtbehandeling mogelijk niet leidt tot een productieverhoging in een teelt die langer duurt dan de maand dat wij in productie waren.

De behandelingen die we hebben aangelegd, hadden heel verschillende effecten op productie, bladkwaliteit en bloemkwaliteit. De (vroeg) productie was het hoogst in de behandeling Wit FR, maar de bladkwaliteit was het beste in de behandelingen RGB FR en Dynamisch, maar het minst goed in de behandeling Wit FR. De bloemschermen waren het meest in verhouding (aantal bloemen en lengte van het bloemscherm) in de behandelingen RB en RGB FR. Omdat in een gewas als alstroemeria bladkwaliteit een belangrijk criterium is, is voor het vervolgproject "Alstroemeria voor de toekomst, dichtbij" gekozen voor een spectrum dat lijkt op het RGB FR spectrum, als compromis tussen productie en takkwaliteit.

6 Discussie en aanbevelingen

6.1 Keuze lightspectrum

In de afgelopen 10-15 jaar is de belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw sterk toegenomen. LED belichting biedt grote voordelen voor toepassing in een duurzaam, fossielvrij teeltsysteem, vanwege de hoge energie-efficiëntie. Daarnaast heeft LED belichting een aantal andere voordelen, zoals het feit dat het snel aan en uit te schakelen is, dimbaar is, en licht af kan geven in verschillende golflengtes. Dat maakt LED belichting heel geschikt om toe te passen om een gewas te sturen. De vraag daarbij is dan wel: met welke lichtkleuren kan er gestuurd worden, en in welke fase van de teelt is dit toepasbaar? In dit project hebben we daar onderzoek naar gedaan voor chrysant en alstroemeria.

In de eerste serie experimenten, is een brede screening gedaan van lightspectra, die uiteenliepen van een lightspectrum met 95% rood licht en 5% blauw, tot een lightspectrum met aandelen blauw, groen, rood en verrood licht dat overeenkomt met de aandelen zoals die voorkomen in het zonlicht. Dit onderzoek leidde tot een aantal duidelijke bevindingen. Een daarvan was dat niet alle soorten op dezelfde manier reageren op lichtkleuren. Waar het lightspectrum met de zelfde aandelen blauw, groen, rood en verrood licht als zonlicht bij chrysant leidde tot een hele gestrekte plant die nagenoeg niet in bloei kwam, was dit het spectrum dat bij alstroemeria de hoogste (vroeg) productie van bloemtakken opleverde. Een andere bevinding is dat de verschillende processen in een plant verschillend reageren op lichtkleuren, zodat het in veel gevallen zo is dat er niet één spectrum aan te wijzen is als het 'beste' spectrum. Zo is het Wit FR spectrum bij alstroemeria goed voor de productie, maar niet voor de bladkwaliteit. En leidt bij chrysant de hele dag een lage intensiteit verrood licht meegeven niet tot langere of zwaardere takken, maar onderdrukt het wel de ongewenste knopuitloop onderin het gewas. In de keuze voor het meest geschikte spectrum voor een gewas zal dus altijd een afweging gemaakt moeten worden in welke plantprocessen en effecten daarop het meest belangrijk zijn. Daarbij geldt ook nog dat niet alle rassen even sterk reageren op het lightspectrum, en dat sommige rassen gevoeliger zijn voor blad- of bloemkwaliteit, hetgeen keuze voor het lightspectrum nog lastiger maakt.

6.2 Effecten van blauw, groen, rood en verrood licht

In het algemeen zijn er een aantal duidelijke effecten te benoemen van lichtkleuren. De basiskleur in alle lichtbronnen is rood licht, waar normaal gesproken een deel blauw licht (meestal 5 tot 10%) aan toegevoegd wordt om de groei te verbeteren en extreme stengelstrekking te voorkomen. Rood licht is de meest effectieve lichtkleur in de fotosynthese (McCree, 1972; Inada, 1976) en heeft een hoge energie-efficiëntie (in $\mu\text{mol/J}$). Verder is het belangrijk voor de bladkwaliteit en vertakking (Lötscher en Nösberger, 1997; Finlayson *et al.* 2010). Ook in ons onderzoek was rood licht altijd het hoofdbestanddeel van het lightspectrum. In het algemeen geldt dat blauw licht een rol speelt in (stengel)strekking en pigmentvorming, en daarmee een donkerder blad- of bloemkleur (Hogewoning *et al.* 2010). Een opvallende bevinding bij zowel alstroemeria als bij chrysant was dat het verhogen van het aandeel blauw licht in het spectrum van 5 naar 25% niet leidde tot aantoonbaar kortere bloemtakken. Wel was een hoger aandeel blauw licht gunstig voor de kwaliteit en intensiteit van de kleur van de bladeren.

Ongeveer 1/3 deel van het PAR licht is groen licht, dat minder geabsorbeerd wordt door het blad dan blauw en rood licht, en daardoor dieper doordringt in het gewas, en daarmee de fotosynthese in dieper gelegen bladlagen positief kan beïnvloeden (Nishio, 2000; Folta en Maruhnich, 2007). Echter, niet in alle studies naar groen licht werd een duidelijk positief effect van groen licht gevonden (Johkan *et al.* 2012; Hernandez en Kubota, 2016; Kaiser *et al.* 2019). Ook in de teelten van alstroemeria en chrysant, bleek een aandeel van 15% groen licht geen aantoonbaar effect te hebben op groei, ontwikkeling en productie van bloemtakken vergeleken met de referentie van 95% rood licht en 5% blauw licht.

Verrood licht, met golflengtes tussen 700 en 800 nm valt buiten het fotosynthetisch actieve licht (PAR licht, 400 – 700 nm), maar heeft wel een grote invloed op plantmorfologie en daarmee ook op groei en productie. Verrood licht zorgt in het algemeen voor meer stengelstrekking, een meer horizontale bladstand en daarmee voor meer lichtonderschepping. In meerdere gewassen blijkt het toevoegen van een deel verrood licht aan het spectrum bij te dragen aan een hogere biomassa en productie (Ji *et al.* 2019; Dieleman *et al.* 2021). Ook bij chrysant en alstroemeria bleken bloemtakken langer te worden als een deel van het rode licht vervangen werd door verrood licht. Echter, dit gold alleen voor hoge aandelen verrood licht (meer dan 10%). Daarnaast had een hoog aandeel verrood licht (ca. 25%) een ongewenst effect op de bloemontwikkeling: deze takken kwamen trager in bloei, en vormden een bloemscherm met een onacceptabele kwaliteit. In het tweede chrysantenexperiment zijn planten geteeld bij 5 en 10% verrood licht (10 en 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Dit bleek niet te leiden tot aantoonbaar langere bloemtakken. Daarentegen bleek het geven van een half uur 'end of day' (na de belichtingsperiode) 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht een heel groot effect te hebben op de strekking van de stengel. Dit effect was al zichtbaar na 2-3 weken, en bleef gedurende de teelt bestaan. Ook in eerdere proeven met chrysanten was dit effect al geobserveerd (Hisamatsu *et al.* 2008; Maaswinkel *et al.* 2012), evenals in andere soorten (pointsettia, Zhang en Runkle, 2019; tomaat, Dieleman *et al.* 2019).

6.3 Toepassing resultaten in een fossielvrij teeltsysteem

In de ontwikkeling naar duurzame, fossielvrije teeltsystemen is de toepassing van LED belichting een essentieel onderdeel vanwege de hogere energie-efficiëntie dan bestaande SON-T lampen. Daarnaast hebben LED lampen het voordeel dat ze snel aan en uit te schakelen zijn, dimbaar zijn, en licht af kunnen geven van verschillende lichtkleuren. De vraag is echter nog hoe dit voordeel in de teelt van (sier)gewassen om de meest effectieve manier benut zou kunnen worden. In dit onderzoek zijn op deze vraag een aantal antwoorden gegeven.

Bij alstroemeria blijkt dat met een "breed" lightspectrum met daarin zowel blauw, groen, rood als verrood licht goede resultaten gehaald kunnen worden. De productie lag onder het spectrum met gelijke aandelen blauw, groen, rood en verrood licht het hoogst, al is dit waarschijnlijk vooral een effect op de vroege productie. De kwaliteit van het bloemscherm en de bladeren onder deze behandeling liet te wensen over. In de keuze van het lightspectrum in het project "Alstroemeria van de toekomst, dichtbij" hebben deze effecten op blad- en bloemkwaliteit sterk meegewogen, en is een behandeling gekozen met 8% blauw, 13% groen, 67% rood en 12% verrood licht. In dat project bleek dat er onder dit lightspectrum prima is te telen, en wordt ook in alstroemeria thans de stap gemaakt naar hybride en full-LED systemen.

Ook onder chrysantentelers is in de afgelopen jaren de belangstelling voor LED-belichting flink toegenomen. In eerste instantie in hybride belichtingssystemen, dus LED als aanvulling op de bestaande SON-T belichting, maar nu ook als full-LED. Daarbij zijn er nog wel vragen over de keuze van het meest geschikte lightspectrum, met name om de takstrekking te sturen. De vrees was namelijk dat met name in de winter chrysanten onder LED-belichting bij lage temperaturen te kort zouden kunnen blijven. De resultaten van dit onderzoek geven echter aan dat het goed mogelijk is met lightspectrum de takstrekking in chrysant onder full LED te sturen. Door aan het einde van de dag een half uur na te belichten met een lage intensiteit verrood licht, worden de takken aanzienlijk langer zonder dat dit veel (extra) energie kost. Deze resultaten waren aanleiding om in het project "De Perfecte Chrysant" vanaf januari ook een "end of day" belichting met verrood licht toe te passen. Er blijven nog wel veel vragen over de beste manier om met verrood licht na te belichten: moet dit een half uur zijn, of kan het ook minder zijn? Is het voldoende dit alleen in de eerste twee tot drie weken van de teelt toe te passen? Welke intensiteit verrood licht is dan nodig? Deze vragen zouden in een vervolgproject kunnen worden beantwoord.

7 Kennisoverdracht en toepassing resultaten

De resultaten van dit project zijn op onderstaande wijze gecommuniceerd:

In vakbladen:

Van den Beukel, M., 2018.

Impact LED-verlichting op de groei van bloemen. KAS Magazine 04: 72-73 (interview met Anja Dieleman)

Slegers, J., 2018.

Anja Dieleman: Met led gaan we enorme stappen zetten. Vakblad voor de bloemisterij 40 (5 oktober 2018): 20-22.

Langen, E., 2018.

Sturen met het lichtspectrum. Tuinen bij Wageningen University & Research. Kas magazine 2: 66-67 (interview met Anja Dieleman)

Kierkels, T., 2018.

Welk spectrum moet een teler kiezen als hij LED belichting overweegt? Gericht onderzoek naar effect lichtkleuren vergt eerst bezinning. Onder Glas 15(3): 38-39 (Interview met Leo Oprel, Arie de Gelder en Anja Dieleman).

Arkesteijn, M. (2019).

Chrysant en alstroemeria reageren verschillend op lichtrecepten. Onderzoek biedt snel inzicht in effect van lichtspectra. Onder Glas 16 (4). - p. 47 - 49. (interview met Anja Dieleman)

Beukel, M. van den, 2019.

Interdisciplinair onderzoek naar een weerbaar teeltsysteem. Kas Magazine 1: 58-61 (Interview met Marta Streminska, Kirsten Leiss, en Marjolein Kruidhof)

Slegers, J., 2020.

Led lampen als enige lichtbron. Vakblad voor de Bloemisterij 42: 20-23. (interview met oa Anja Dieleman)

Kierkels, T., 2020.

Onderzoek in tomaat, aubergine, paprika, chrysant en braam. LED-kleur heeft invloed op insecten en plantweerbaarheid. Onder Glas 17 (5): 28-29. (Interview met Marjolein Kruidhof, Kirsten Leiss en Anja Dieleman).

Kierkels, T., 2021.

Als een teler naar fossielvrij wil, moet hij wel met LED's werken. Over vijf jaar hebben veel bedrijven full LED. Onder Glas Fossielvrij 2: 40-41 (Interview met Leo Marcelis, Anja Dieleman, Tijs Kierkels en Sander Hogewoning).

Kierkels, T., 2021.

Wetenschap op zoek naar logica achter gewasreacties op LED-licht. Onder Glas Fossielvrij 2: 56-57 (Interview met Leo Marcelis, Anja Dieleman, Tijs Kierkels en Sander Hogewoning).

Van Woerkom, M., 2021.

Verrood einde dag heeft groot effect op strekking van chrysant. WUR-onderzoekers nemen lichtspectrum chrysant onder de loep. Onder Glas 18(12): 20-21 (Interview met Anja Dieleman en Remco van Ruyven).

Websites:

Dieleman, J.A., Weerheim, K., 2019.

Lichtkleur beïnvloedt bladkwaliteit en productie bij alstroemeria. <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/lichtkleur-beinvloedt-bladkwaliteit-en-productie-bij-alstroemeria/>, 25 februari 2019

Dieleman, J.A., Weerheim, K., 2019.

Resultaten verschillende lichtkleuren bij chrysant. <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/resultaten-verschillende-lichtkleuren-bij-chrysant/pagina/4/>, 1 februari 2019

Dieleman, J.A., 2022.

Strekking chrysant te sturen met 'end of day' verrood licht. <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/strekking-chrysant-te-sturen-met-end-of-day-verrood-licht/>, 24 januari 2022.

Wetenschappelijk artikel

Dieleman, J.A., Kruidhof, H.M. and Weerheim, K. (2020).

LED lighting strategies in cut flowers: balancing plant physiology and biological control of pests. *Acta Horticulturae* 1296, 591-604, DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1296.76

De resultaten van dit onderzoek zijn op de volgende wijze toegepast:

Chrysant: De resultaten van de eerste chrysantenproef (hoofdstuk 3 van dit rapport) zijn gebruikt bij de keuze voor het LED licht spectrum in het project "Met LED naar een perfecte chrysant". Daarin is gekozen om naast de reeds aanwezige rood/blauwe LED modules, modules bij te hangen met daarin rood, blauw en wit licht. Deze modules komen in plaats van de SON-T installatie die eerder werd gebruikt. De resultaten van de tweede proef met chrysant (hoofdstuk 4) zijn aanleiding geweest tot het bijhangen van verrode LED modules in "De Perfecte Chrysant" in januari 2022 om aan het einde van de dag een nabelichting met verrood te geven en zo strekking te stimuleren.

Alstroemeria: De resultaten van de (korte) alstroemeriateelt zijn gebruikt in de keuze van het LED lichtspectrum voor de teelt in het project "Alstroemeria van de toekomst, dichtbij" waarbij het huidige gangbare teeltsysteem voor alstroemeria vergeleken werd met een energiezuinig, LED belicht systeem. Verder waren de gegevens van de alstroemeria proef in het IDC LED de basis voor de keuze van de lichtspectra in het project "Alstroemeria en haar lichtcriteria".

Literatuur

- Antignus, Y., Mor, N., Joseph, R.B., Lapidot, M., Cohen, S. (1996).
Ultraviolet-absorbing plastic sheets protect crops from insect pests and from virus diseases vectored by insects. *Environmental Entomology*, 25, 919-924.
- Ballare, C.L. (2014).
Light Regulation of Plant Defense. *Annual Review of Plant Biology*, Vol 65. (ed. S.S. Merchants), pp. 335-363. Annual Reviews, Palo Alto.
- Chyzik, R., Dobrinin, S., Antignus, Y. (2003).
Effect of a UV-deficient environment on the biology and flight activity of *Myzus persicae* and its hymenopterous parasite *aphidius matricariae*. *Phytoparasitica*, 31, 467-477.
- Costa, H.S., Robb, K.L. (1999).
Effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on flight behavior of *Bemisia argentifolii* (Homoptera : Aleyrodidae) and *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera : Thripidae). *Journal of Economic Entomology*, 92, 557-562.
- Dieleman, J.A., Kruidhof, H.M., Weerheim, K., Leiss, K., 2021.
LED Lighting Strategies affect Physiology and Resilience to Pathogens and Pests in Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Front. Plant Sci.*
- Escobar-Bravo, R., Ruijgrok, J., Kim, H.K., Grosser, K., Van Dam, N.M., Klinkhamer, P.G.L., Leiss, K.A. (2018).
Light Intensity-Mediated Induction of Trichome-Associated Allelochemicals Increases Resistance Against Thrips in Tomato. *Plant and Cell Physiology*, 59, 2462-2475.
- Finlayson, S. A., Krisnareddy, S. R., Kebrom, T. H., and Casal, J. J. (2010).
Phytochrome regulation of branching in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 152, 1914–1927.
- Folta, K. M., Maruhnich, S. A. (2007).
Green light: a signal to slow down or stop. *J. Exp. Bot.* 58, 3099–3111.
- Hernandez, R., Kubota, C. (2016).
Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environ. Exp. Bot.* 121, 66–74.
- Hisamatsu, T., Sumitomo, K., Shimizu, H. (2008).
End-of-day far-red treatment enhances responsiveness to gibberellins and promotes stem extension in chrysanthemum. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 83(6): 695–700.
- Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., Van Ieperen, W., Harbinson, J. (2010).
Blue light dose-responses on leaf photosynthesis, morphology and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *J. Exp. Bot.* 61, 3107–3117.
- Inada, K. (1976).
Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 17, 355–365.
- Jenkins, G.I. (2009).
Signal Transduction in Responses to UV-B Radiation. *Annual Review of Plant Biology*. pp. 407-431.
- Ji, Y., Ouzounis, T., Courbier, S., Kaiser, E., Nguyen, P.T., Schouten, H.J., Visser, R.G.F., Pierik, R., Marcelis, L.F.M., Heuvelink, E. (2019).
Far-red radiation increases dry mass partitioning to fruits but reduces *Botrytis cinerea* resistance in tomato. *Envir. Exp. Bot.* 168, 103889.
- Johansen, N.S., Vanninen, I., Pinto, D.M., Nissinen, A.I., Shipp, L. (2011).
In the light of new greenhouse technologies: 2. Direct effects of artificial lighting on arthropods and integrated pest management in greenhouse crops. *Annals of Applied Biology*, 159, 1-27.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S., Yoshihara, T. (2012).
Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environ. Exp. Bot.* 75, 128–133.
- Le Gall, H., Philippe, F., Domon, J.M., Gillet, F., Pelloux, J., Rayon, C. (2015).
Cell wall metabolism in response to abiotic stress. *Plants*, 4, 112-166.
- Kaiser, E., Weerheim, K., Schipper, R., Dieleman, J. A. (2019).
Partial replacement of red and blue by green light increases biomass and yield in tomato. *Sci. Hortic.* 249, 271–279.

- Kelber, A. (2001).
Receptor based models for spontaneous colour choices in flies and butterflies. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 99, 231-244.
- Kim, H. H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., Sager, J. C. (2004).
Green light supplementation for enhanced lettuce growth under red and blue light-emitting diodes. *HortScience* 39, 1617-1622.
- Kruidhof, H.M., Bloemhard, C., Catala-Senent, L., Shah, P., Shinde, A., Messelink, G., van der Salm, C. (2020).
Green Challenges: Systeemaanpak biologische plaagbestrijding met gebruik van functionele biodiversiteit. Deel 1: Chrysant. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, WPR-941.
- Legarrea, S., Karnieli, A., Fereres, A., Weintraub, P.G. (2010).
Comparison of UV-absorbing Nets in Pepper Crops: Spectral Properties, Effects on Plants and Pest Control. *Photochemistry and Photobiology*, 86, 324-330.
- Lötscher, M., Nösberger, J. (1997).
Branch and root formation in *Trifolium repens* is influenced by the light environment of unfolded leaves. *Oecologia* 111, 499-504.
- Maaswinkel, R. Van Leeuwen, F., Van Ieperen, W., De Gelder, P. (2012).
Resultaten onderzoek bolblad chrysant 2011 – 2012. Rapport GTB-1163, 29 pp.
- McCree, K. J. (1972).
The action spectrum, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteor.* 9, 191-216.
- Nishio, J. N. (2000).
Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. *Plant Cell Environ.* 23, 539-548.
- Raviv, M., Antignus, Y. (2004).
UV radiation effects on pathogens and insect pests of greenhouse-grown crops. *Photochemistry and Photobiology*, 79, 219-226.
- Robson, T.M., Klem, K., Urban, O., Jansen, M.a.K. (2015).
Re-interpreting plant morphological responses to UV-B radiation. *Plant Cell and Environment*, 38, 856-866.
- Sanchez, J. A., Lacasa, A. (2002).
Modelling population dynamics of *Orius laevigatus* and *O. albidipennis* (Hemiptera: Anthoridae) to optimize their use as biological control agents of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Bulletin of entomological research*, 92(1), 77-88.
- Sun, J., Nishio, J. N., Vogelmann, T. C. (1998).
Green light drives CO₂ fixation deep within leaves. *Plant Cell Physiol.* 39, 1020-1026.
- Vanninen, I., Pinto, D.M., Nissinen, A.I., Johansen, N.S., Shipp, L. (2010).
In the light of new greenhouse technologies: 1. Plant-mediated effects of artificial lighting on arthropods and tritrophic interactions. *Annals of Applied Biology*, 157, 393-414.
- Wang, S., Tan, X.L., Michaud, J.P., Zhang, F., Guo, X. (2013).
Light intensity and wavelength influence development, reproduction and locomotor activity in the predatory flower bug *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthoridae). *Biocontrol*, 58, 667-674.
- Warrant, E., Nilsson, D.E. (2006).
Invertebrate vision Preface *Invertebrate vision*. eds. E. Warrant & D.E. Nilsson, pp. XIX-XXI.
- Zhang, M., Runkle, E.S. (2019).
Regulating Flowering and Extension Growth of Poinsettia Using Red and Far-red Light-emitting Diodes for End-of-day Lighting. *HortScience* 54 (2).

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-856

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.