

Naar een duurzame chrysantenteelt: effect van LED lightspectra en -intensiteit

Deelrapport I van het project "LED licht met de zon mee"

Anja Dieleman, Diede de Jager, Caterina Carpineti

Wageningen, november 2022

Rapport WPR-1157

Referaat

In de winterteelt van chrysant onder LED belichting is het behalen van de gewenste taklengte van belang. Uit eerder onderzoek bleek dat taklengte onder full-LED heel goed te sturen is door aan het einde van de dag na te belichten met 30 minuten 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht. De vraag is of eenzelfde effect bereikt kan worden met een lagere intensiteit of een kortere periode "einde van de dag" verrood licht. Uit metingen aan vier chrysantenrassen, geteeld onder 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ full LED bleek dat het effect van 20 of 10 minuten "einde van de dag" verrood licht vergelijkbaar was met 30 minuten 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht. Ook het verlagen van de intensiteit van het "einde van de dag" verrood naar 10 of 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ had een vergelijkbaar effect. Om dit effect te verkrijgen is alleen gedurende de eerste weken van de teelt belichten met "einde van de dag" verrood licht niet voldoende. Het "einde van de dag" verrood licht heeft een groter effect op takstrekking of uitgroeiduur dan het spectrum gedurende de dag, waarbij het aandeel groen licht werd gevarieerd tussen 0 en 15% ten koste van rood licht. Deze resultaten laten zien dat het goed mogelijk is om chrysanten onder full-LED te telen, en dat er met lichtkleuren voldoende mogelijkheden het gewas zodanig te sturen dat een gewenste takopbouw en kwaliteit gerealiseerd kan worden.

Abstract

Achieving the desired stem length is important in the winter cultivation of chrysanthemums under LED lighting. Earlier research showed that stem length under full-LED can be controlled by "end of day" lighting with 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ far-red light for 30 minutes. The question is whether the same effect can be achieved with a lower intensity or a shorter period of "end of the day" far-red light. Measurements on four chrysanthemum varieties grown under 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ full LED showed that the effect of 20 or 10 minutes of "end of the day" far red light was comparable to 30 minutes of 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ far red light. Reducing the intensity of the "end of the day" far red to 10 or 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ also had a similar effect. To obtain this effect, lighting with "end of the day" far red light only during the first weeks of cultivation is not sufficient. The "end of the day" far red light has a greater effect on elongation or time to harvest than the light spectrum during the day, where the proportion of green light was varied between 0 and 15% at the expense of red light. These results show that it is quite possible to grow chrysanthemums under full LED, and that there are sufficient possibilities with light colors to control the crop in such a way that a desired stem quality can be achieved.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1157

Projectnummer: 3742312600

BO-nummer:

DOI:

Dit project / onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron.

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

Business unit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 - 48 56 06

F +31 (0)10 - 522 51 93

glastuinbouw@wur.nl

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | 7 |
| 1 Inleiding | 10 |
| 1.1 LED belichting in de glastuinbouw | 10 |
| 1.2 Duurzame chrysantenteelt op basis van LED belichting | 10 |
| 1.3 Lichtspectrum | 11 |
| 1.4 "End of day" verrood behandeling | 11 |
| 1.5 Onderzoeksvragen en doelstelling | 12 |
| 2 Innovatie en demonstratie centrum voor LED toepassingen in de glastuinbouw | 13 |
| 2.1 IDC LED kasinrichting en klimaatregeling | 13 |
| 2.2 LED licht behandelingen | 14 |
| 3 Materiaal en methoden | 16 |
| 3.1 Teelt en behandelingen | 16 |
| 3.1.1 Metingen en analyse | 19 |
| 4 Resultaten | 21 |
| 4.1 Klimaat | 21 |
| 4.2 Inworteling | 21 |
| 4.3 Tussentijdse oogst | 23 |
| 4.4 Eindoogst | 27 |
| 4.4.1 Streckking | 28 |
| 4.4.2 Takgewicht | 34 |
| 4.4.3 Bladoppervlakte en stevigheid tak | 38 |
| 4.4.4 Bloemen | 41 |
| 4.4.5 Lichtbenuttingsefficiëntie | 42 |
| 4.5 Energie-efficiëntie | 46 |
| 5 Conclusies en discussie | 48 |
| Literatuur | 51 |



Samenvatting

In de afgelopen jaren is de belangstelling voor LED belichting onder chrysantentelers flink toe genomen. Bij de keuze van het LED belichtingssysteem is het zaak een goede keuze te maken ten aanzien van efficiëntie van de lampen en het juiste spectrum voor het gewas. Bij de teelt onder full-LED is bij telers de vrees dat de bloemtakken in de winter te kort zouden kunnen blijven. Daarom wordt gezocht naar mogelijkheden om de strekking bij chrysant te sturen met het lichtspectrum.

Uit onderzoek gedaan in 2021 bleek dat taklengte onder full-LED heel goed te sturen is door aan het einde van de dag na te belichten met 30 minuten 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht. Dit leidde naast langere bloemtakken tot een teeltversnelling van enkele dagen, en minder sprout onderin het gewas. De vraag is nu of eenzelfde effect bereikt kan worden met een lagere intensiteit of een kortere periode "einde van de dag" verrood licht. Andere vragen die in dit onderzoek zijn meegenomen, zijn of het "einde van de dag" verrood licht gedurende de hele teelt nodig is, en of extra verrood licht gedurende de dag aan het begin van de teelt zorgt voor een betere wortelgroei van de stekken.

Om deze vragen te beantwoorden, is in mei 2022 gestart met de teelt van vier chrysantenrassen (Magnum, Baltica, Chic en Pina colada) onder 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ full LED in het IDC LED. Er werden behandelingen aangelegd, waarbij gedurende 10, 20 of 30 minuten aan het einde van de dag verrood licht gegeven werd (20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) of waarbij de intensiteit van het verrode licht aan het einde van de dag verlaagd werd tot 10 en 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (gedurende 30 minuten). Daarnaast werd er in het basisspectrum gedurende de hele dag gevarieerd met de percentages groen en verrood licht, en werd er geteeld bij een lagere lichtintensiteit (100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) om de energiebehoefte van de belichte chrysantenteelt terug te brengen.

Per ras, per behandeling werden de bloemtakken geogst als ze tenminste 5 open bloemen hadden (Chic, Pina colada en Baltica) of als de bloem voldoende opengebloeid was (Magnum). De resultaten van de metingen laten zien dat een "einde van de dag" behandeling met 30 minuten 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht leidt tot langere bloemtakken. Dit effect wordt ook verkregen als de periode "einde van de dag" verrood belichting wordt teruggebracht naar 20 of 10 minuten. En dit effect wordt ook verkregen wanneer de intensiteit van de verrode nabelichting wordt teruggebracht naar 10 of 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Dat betekent dat hier bij de keuze van een belichtingsinstallatie rekening mee gehouden kan worden. Nabelichten met verrood licht leidt verder tot een verkorting van de teeltduur met ca. 2 dagen, maar heeft weinig effect op het takgewicht. Dit ondanks het feit dat uit een visuele inspectie van de wortelstelsels van jonge planten (2 weken na planten) blijkt dat "einde van de dag" nabelichten met verrood zorgt voor meer wortelvorming aan het begin van de teelt. Dit effect wordt niet versterkt als daarnaast ook gedurende de dag extra verrood licht wordt gegeven. Alleen "einde van de dag" verrood licht is voldoende om de inworteling van stekken te stimuleren.

Wanneer nabelicht wordt met "einde van de dag" verrood licht, is het effect op strekking al binnen twee weken zichtbaar. De vraag was dan ook of het mogelijk is het "einde van de dag" verrood licht alleen de eerste twee weken van de teelt te geven. Dat blijkt niet zo te zijn: wanneer het "einde van de dag" verrood licht na twee weken uitgeschakeld wordt, verdwijnt het effect op de takstrekking, en zijn de bloemtakken uiteindelijk even lang als de behandeling zonder "einde van de dag" verrood licht.

Bovenstaande resultaten zijn verkregen door met "einde van de dag" verrood na te belichten bij een lichtspectrum van 5% blauw licht, 5% groen licht en 90% rood licht. Wanneer het aandeel groen licht wordt verlaagd naar 0% of verhoogd naar 15% ten koste van rood licht, blijkt dit nagenoeg geen effect te hebben op takstrekking, uitgroeiduur of takgewicht.

Het verlagen van de lichtintensiteit heeft wel grote effecten op uitgroeiduur en takgewicht. Wanneer belicht wordt met 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in plaats van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ is het takgewicht maar ongeveer 2/3 van het takgewicht bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De verlaging van de lichtintensiteit heeft geen invloed op de strekking van de bloemtakken, maar leidt wel tot een vertraging van de teelt. In deze behandelingen werden de bloemtakken

ongeveer 5 dagen later geoogst dan bij hoog licht. Daarmee heeft de teelt bij laag licht overigens nog wel een hogere lichtbenuttingsefficiëntie dan wanneer bij hoge lichtniveaus worden geteeld.

Deze resultaten laten zien dat het goed mogelijk is om chrysanten onder full-LED te telen, en dat er met lichtkleuren voldoende mogelijkheden het gewas zodanig te sturen dat een gewenste takopbouw en kwaliteit gerealiseerd kan worden.



1 Inleiding

1.1 LED belichting in de glastuinbouw

De glastuinbouw staat voor duidelijke uitdagingen om het energiegebruik terug te dringen, om daarmee de CO₂ emissie te reduceren. Om dit mogelijk te maken, in combinatie met belichting, is LED belichting een essentieel onderdeel van het systeem. Een belangrijke reden hiervoor is de hoge efficiëntie in het omzetten van elektriciteit in licht (tot 3.6-3.7 $\mu\text{mol}/\text{J}$) en daarmee een beperkte warmte afgifte. Dit maakt het mogelijk licht en temperatuur grotendeels te scheiden. Daarnaast kunnen LEDs de gewenste lichtspectra afgeven, en zijn ze snel aan en uit te schakelen en te dimmen. Daarmee bieden LEDs ruimte voor toepassing van dynamische lichtrecepten, waarbij lichtkleuren en lichtintensiteit te variëren is in tijd, zowel over de dag als in het teeltseizoen.

In de afgelopen jaren is onderzoek gedaan waaruit gebleken is dat voor veel gewassen een spectrum met alleen rood en blauw licht niet voldoet. Een zeker aandeel groen licht is nodig voor biologische bestrijders en voor de mensen die in de kas moeten werken, en voor een aantal gewassen is ca. 10% verrood licht nodig voor een goede bladstand, lichtonderschepping en assimilatenverdeling. Daarmee zijn de eerste stappen gezet om tot een "basisspectrum" voor een aantal gewassen te komen. Echter, om de volgende stappen te kunnen zetten in het verbeteren van de effectiviteit van het gebruik van belichting, en daarmee het elektriciteitsgebruik te kunnen reduceren, is meer kennis en een beter begrip nodig van de fysiologische processen die een rol spelen bij het dagritme, morfologie (o.a. bladstand), assimilatenaanmaak en de verdeling van deze assimilaten op plantniveau. In het project "LED licht met de zon mee" wordt aan deze vragen gewerkt voor een aantal verschillende gewassen en de plantprocessen die in die gewassen relevant zijn. Dit rapport beschrijft het onderzoek dat in dit project gedaan is aan chrysant, met de nadruk op strekking, bloeisnelheid, assimilatenaanmaak en -verdeling, zowel generatief als vegetatief.

In de eerste maanden van 2022 zijn de energieprijzen sterk gestegen, met als gevolg dat telers anders met hun belichting en verwarming omgaan. De manier waarop verschilt sterk per bedrijf (afhankelijk van bijvoorbeeld de energie situatie van dat bedrijf), en loopt uiteen van later planten, minder belichten, alleen LED gebruiken en SON-T uit laten, op dure uren de lampen uitschakelen, etc. Er zijn bij de telers nog veel vragen wat de consequenties hiervan zijn op het gewas, en hoe een lagere lichtintensiteit ingepast moet worden in hun teeltstrategie.

1.2 Duurzame chrysantenteelt op basis van LED belichting

In de afgelopen jaren gaat de ontwikkeling in chrysant van belichting met SON-T via hybride belichtingssystemen (SON-T + LED) naar full-LED snel. Bij de keuze van het LED belichtingssysteem zijn er nog wel vragen ten aanzien van lichtspectrum, met name op gebied van sturing van de strekking. De vrees is dat met name in de winter chrysanten onder LED belichting bij lage temperaturen te kort kunnen blijven. De vraag is dus of er een lichtspectrum is te vinden waarmee de strekking bij chrysant gestuurd kan worden. Om deze vraag te beantwoorden is er in het najaar van 2021 bij de business unit Glastuinbouw van Wageningen University & Research spectrumonderzoek gedaan bij chrysant onder full-LED, waarbij vooral gekeken is naar de toepassing van verrood licht. Daaruit bleek dat een half uur 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht aan het einde van de dag leidde tot (veel) langere takken, 1-2 dagen teeltversnelling, en minder sprout onder in het gewas. Dat betekent dat het goed mogelijk is met weinig (extra) energie taklengte te sturen, en daarmee eventuele problemen met te korte takken in de winter te voorkomen. De vraag hierbij blijft nog wel of hetzelfde effect bereikt kan worden met een lagere intensiteit verrood licht aan het einde van de dag, of een kortere periode.

Begin 2022 zijn de elektriciteitsprijzen sterk gestegen. Dat maakt de overstap naar LED belichting nog actueler, maar ook daarbinnen blijft het de vraag hoe er op de meest efficiënte manier belicht kan worden. Daarbij worden zowel de onderzoekers als de telers door de overheid uitgedaagd om te kijken hoe ze met een minimale inzet van warmte en elektriciteit toch een duurzame teelt kunnen invullen ("100 kWh en 10 m³ gas"). In dit onderzoek wordt dus gekeken naar het effect van de intensiteit en duur van de "end of day" verrood licht op strekking, bloeisnelheid en taggewicht, maar ook over het gebruik van lagere lichtintensiteiten belichting, en het dynamisch inzetten van lichtintensiteit gedurende de dag.

1.3 Lichtspectrum

In dit project is er voor gekozen om een basisspectrum aan te houden van 5% blauw licht, 5% groen licht en 90% rood licht, bij een intensiteit van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De basiskleur van alle lichtbronnen in de tuinbouw 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 and Nösberger, 1997; Finlayson et al., 2010). Blauw licht reduceert (stengel)strekking, leidt tot huidmondjes die over het algemeen verder open staan en stimuleert pigmentvorming, en leidt daarmee tot een donkerder blad- of bloemkleur (Hogewoning et al., 2010). Het menselijk oog is zeer gevoelig voor groen licht, dus een zeker aandeel groen licht in het spectrum maakt het lichtklimaat in de kas voor mensen veel aangenamer om in te werken, en maakt het voor mensen makkelijker om het gewas te beoordelen. Groen licht wordt door het blad minder geabsorbeerd dan blauw en rood licht, en dringt daardoor dieper door in het gewas. Daarmee kan het de fotosynthese in dieper gelegen bladlagen positief beïnvloeden (Nishio, 2000; Folta en Maruhnich, 2007). Dit leidt echter niet altijd tot een meetbaar positief effect op groei en productie (Johkan et al., 2012; Hernandez en Kubota, 2016; Kaiser et al., 2019). Chrysanten blijken goed te telen te zijn bij een lichtspectrum van rood, blauw en groen licht (Dieleman et al., 2022).

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 en zorgt in sommige gewassen (bijvoorbeeld komkommer) voor een meer horizontale bladstand, meer lichtonderschepping en een hogere biomassa en productie (Dieleman et al., 2021). Ook bij chrysant 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%). 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.

1.4 "End of day" verrood behandeling

Dat chrysantenplanten meer strekken wanneer de lichtperiode wordt gevolgd met een "einde van de dag" behandeling met verrood licht is al langer bekend. In 1993 gaven Rajapakse et al. 15 minuten "end of day" verrood licht, en zagen dat dit leidde tot langere internodiën en langere en zwaardere takken. Dit effect is sterker als de EOD in de korte dag periode wordt gegeven dan in de lange dag, omdat planten 's nachts meer strekken dan overdag (Lund et al., 2008). Het effect van de "end of day" behandeling is sterker wanneer er met een lage lichtintensiteit wordt belicht, dan bij een hogere intensiteit (Lund et al., 2008), wat aangeeft dat het effect waarschijnlijk sterker is in de winter dan in de zomer. In onderzoek naar bolblad bij pluischrysanten werd ook gevonden dat een "end of day" behandeling met verrood licht leidde tot langere bloemtakken en een kortere reactietijd (Maaswinkel et al., 2012). Meinen et al. onderzocht in 2015 het effect van "einde van de dag" verrood licht op de strekking van chrysant, na belichting met SON-T en LED+SON-T. In beide gevallen leidde nabelichting met verrood licht tot langere takken, waarbij het effect van 10 minuten nabelichten minder groot is dan van 30 minuten (Meinen et al., 2015). Dit onderzoek is alleen met het ras Baltica gedaan, de vraag is of andere rassen vergelijkbaar reageren.

1.5 Onderzoeksvragen en doelstelling

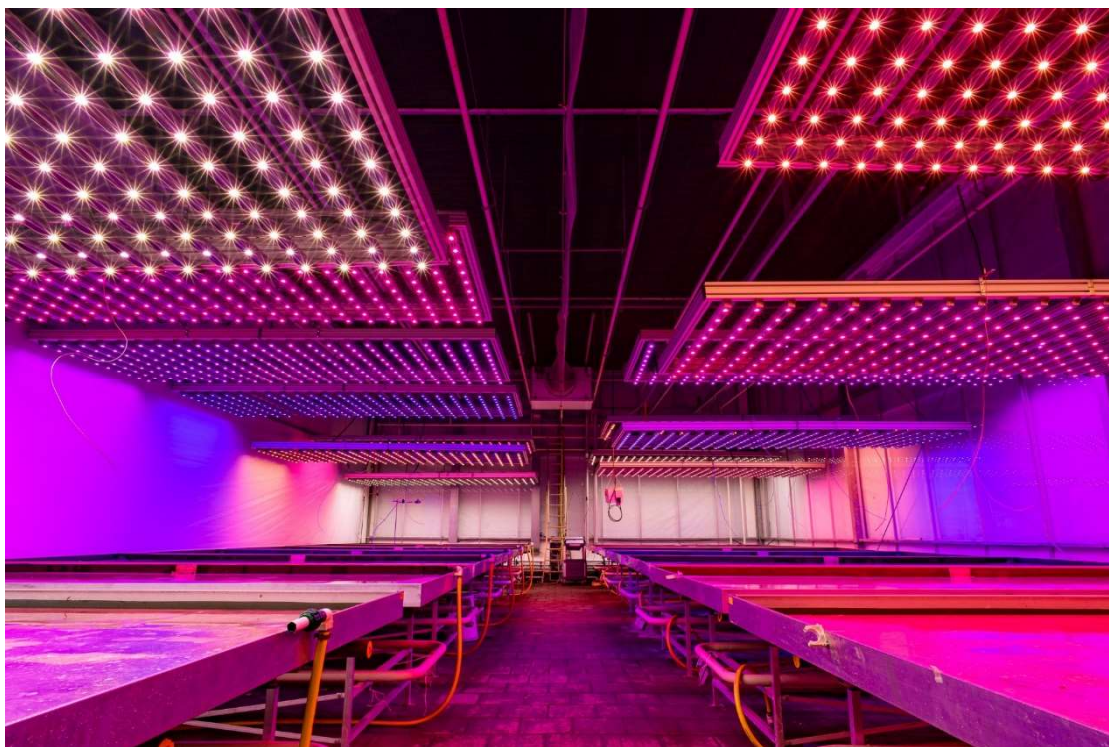
Dit onderzoek heeft als doelstelling te komen tot een lichtspectrum waar chrysanten goed bij te telen zijn onder winterse condities, dat bijdraagt aan een fossielvrije chrysantenteelt.

De onderzoeksvragen die in dit project beantwoord moeten worden, zijn:

- Wat is het effect van "end of day" verrood licht op groei, strekking, bladafsplitsing, biomassa, reactietijd en blad- en takkwaliteit bij verschillende chrysantenrassen?
- In hoeverre wordt dit effect bepaald door intensiteit van het verrode licht, of de duur van de "end of day" behandeling?
- Is het voldoende de "end of day" verrood behandeling alleen verrood aan het begin van de teelt (eerste twee weken) te geven?
- Wat is het effect van een hoger of lager aandeel groen licht in het spectrum op het gewas?
- Wat zijn de effecten van lagere intensiteit belichting op strekking, takgewicht en bloemkwaliteit?
- Wat is effect van een periode verrood licht aan het begin van de teelt op het inwortelen van de planten en de uiteindelijke takkwaliteit?

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 lichtspectrum 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.

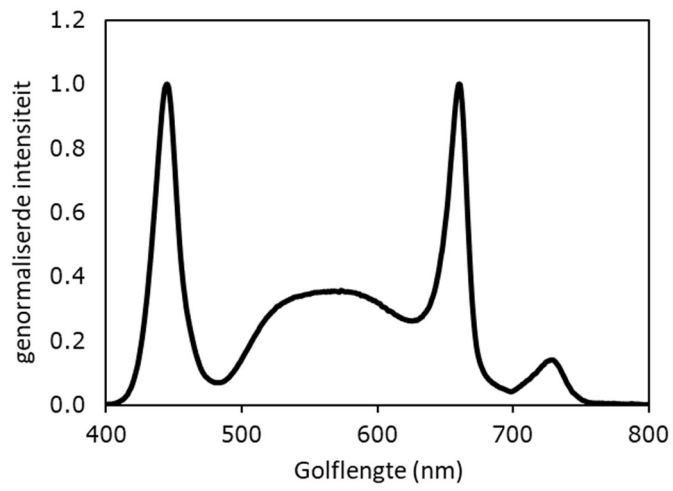
Het klimaat wordt geregeld door een ISII-klimaatcomputer (Hoogendoorn). Per teelt die er uitgevoerd is, werden de klimaatinstellingen aangepast. Uitgangspunt in dit project is een belichte teelt onder winterse condities, waarbij ongeveer 80% van het licht dat de planten krijgen afkomstig is van de lampen 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 lampenplafond 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 piek emissie 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 Materiaal en methoden

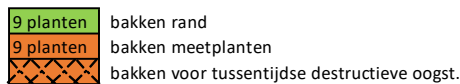
3.1 Teelt en behandelingen

In dit experiment is onderzocht hoe verschillende (LED) lightspectra de groei, strekking en bloeisnelheid van vier chrysantenrassen beïnvloeden. Deze proef is uitgevoerd in de zomer van 2022 (mei – juli), onder “winterse condities” in de kas, dus met lage niveaus zonlicht en lage temperaturen, door gebruik van schermdoeken, coating op het kasdek en koeling.

Tabel 3.1 *Overzicht gegevens experiment chrysant*

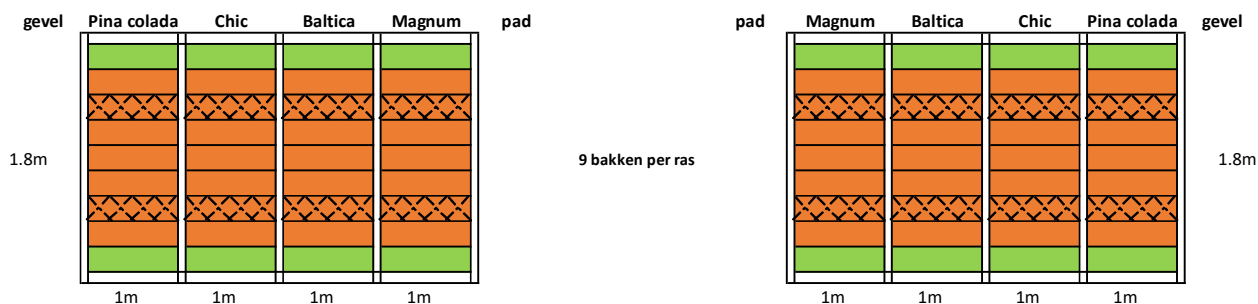
| | |
|---|---|
| Gewas | Chrysant |
| Rassen | Pluis: Magnum (Deliflor) en tros: Baltica (Deliflor), Chic (Royal van Zanten), Pina colada (Dümmen Orange) |
| Plantdatum (start experiment) | Stekken gestoken (bij Deliflor): 4 mei 2022; stekken geplant in de kas op 17 mei 2022. Op 26 mei is de KD gestart (nacht van 25 op 26 mei was de eerste lange nacht). |
| Plantdichtheid | 50 planten/m ² |
| Teeltstrategie | Nabootsen winterse condities. Acht 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 | 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 1 meter onder de lampen (inclusief verrood licht) |
| Daglengthe | LD: daglengthe 20 uur (22:00-18:00) KD: daglengthe 11:45 uur (6:30-18:15) |
| Lichtbehandelingen | Zie onderstaand schema |
| Temperatuurinstellingen | Streefwaardes temperatuur: 18.5 °C dag, 18 °C nacht |
| Instellingen relatieve luchtvochtigheid | 80% dag, 88% nacht |
| Schermsstrategie | 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 | 600 ppm als er belicht wordt, niet doseren als de lampen uit staan |
| Einde experiment | Er is geoogst tussen 13 en 26 juli 2022 |

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 3.1). Bij de tussentijdse oogst werden bakken 3 en 7 van alle rassen verwijderd, werden de planten daarin gemeten en werden de overige bakken weer tegen elkaar aangeschoven.



Plantschema 17-5-2022 Links: tafel 8-14

Rechts: tafel 1-7



Figuur 3.1. 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 veertien LED lichtbehandelingen toegepast (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. Toegepaste lichtbehandelingen (in procenten en totaal $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

| Nr | Naam | Periode | %Blauw | %Groen | %Rood | %Ver rood | PPFD | PFD | FR intensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) | FR duur (min) |
|----|-----------------------|---------------------------------|--------|--------|-------|-----------|------|-----|--|---------------|
| 1 | Ref | heel | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 0 | 0 |
| 2 | EOD FR | heel | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 20 | 30 |
| 3 | laag EOD FR | heel | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 10 | 30 |
| 4 | laagst EOD FR | heel | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 5 | 30 |
| 5 | 20minEOD FR | heel | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 20 | 20 |
| 6 | 10minEOD FR | heel | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 20 | 10 |
| 7 | 2w EOD FR | eerste 2 weken | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 20 | 30 |
| | | tot einde teelt | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 0 | 0 |
| 8 | hoog Wit | heel | 5 | 15 | 80 | 0 | 200 | 200 | 20 | 30 |
| 9 | Lage LI | heel | 5 | 5 | 90 | 0 | 100 | 100 | 0 | 0 |
| 10 | lage LI + laag EOD FR | heel | 5 | 5 | 90 | 0 | 100 | 100 | 10 | 30 |
| 11 | 2 w FR extra | eerste 2 weken | 5 | 5 | 90 | 10 | 200 | 220 | 20 | 30 |
| | | tot einde teelt | 5 | 5 | 90 | 0 | 200 | 200 | 20 | 30 |
| 12 | FR extra lage LI | eerste 2 weken | 5 | 5 | 90 | 20 | 100 | 120 | 20 | 30 |
| | | tot einde teelt | 5 | 5 | 90 | 0 | 100 | 100 | 20 | 30 |
| 13 | RB + EOD FR | heel | 5 | 0 | 95 | 0 | 200 | 200 | 20 | 30 |
| 14 | Dyn | LD 22:15 - 8:15 | 5 | 5 | 90 | 0 | 250 | 250 | 20 | 30 |
| | | LD 8:15 - 18:15 | 5 | 5 | 90 | 0 | 150 | 150 | 20 | 30 |
| | | KD 6:30 - 9:15 en 15:15 - 18:15 | 5 | 5 | 90 | 0 | 250 | 250 | 20 | 30 |

| | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------|---|---|----|---|-----|-----|----|----|
| | | KD 9:15 - 15:15 | 5 | 5 | 90 | 0 | 150 | 150 | 20 | 30 |
|--|--|--------------------|---|---|----|---|-----|-----|----|----|

De behandeling RGB EOD FR werd als referentie gebruikt. Eventuele teeltbeslissingen werden op die behandeling gebaseerd. In alle behandelingen was de totale fotonenflux 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (dus inclusief verrood licht). 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 volgens onderstaand schema verdeeld over de tafels van het IDC LED (Tabel 3.3 en Figuur 3.2).

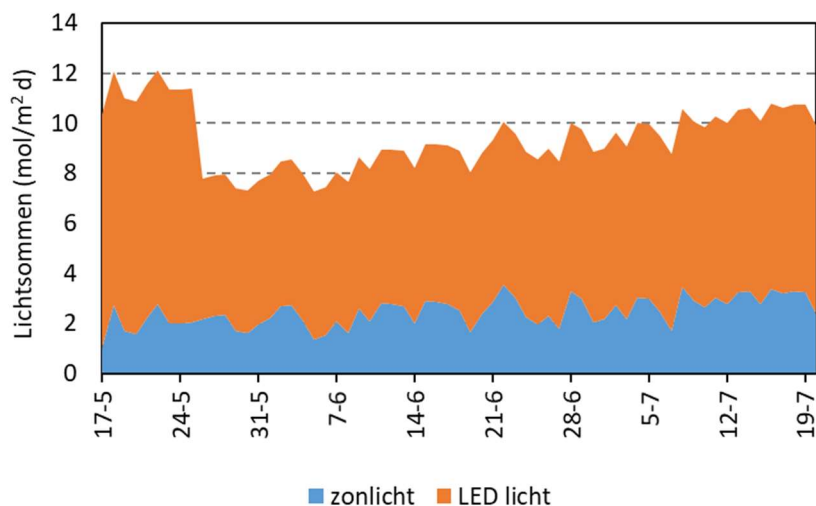
Tabel 3.3 Schematisch overzicht van de tafels in het IDC LED en de lichtbehandelingen daarop.

| Tafel | | | |
|-----------------------|----|---|----------------|
| lage LI + laag EOD FR | 8 | 1 | Dynamisch |
| FR extra lage LI | 9 | 2 | Referentie |
| 10min EOD FR | 10 | 3 | FR extra |
| lage LI | 11 | 4 | 20min EOD FR |
| RB + EOD FR | 12 | 5 | laagste EOD FR |
| EOD FR | 13 | 6 | laag EOD FR |
| 3w EOD FR | 14 | 7 | hoog W EOD FR |



Figuur 3.2 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 ca. 16% in de lange dag en 25% in de kort dag periode (Figuur 3.3).



Figuur 3.3 Aandeel van zonlicht en LED licht in de totale lichtsom per dag voor Pina colada. De eerste 7 dagen van het experiment was Lange Dag (20 uur daglengte), de rest van het experiment Korte Dag (11 uur en 45 minuten daglengte).

Tijdens het experiment werd als volgt geremd:

- Magnum: op 2 juni 2022 met 150 g/100 L daminozide, op 8 juni selectief (alleen de planten boven het dradenbed), op 21 juni met 100 g/100 L daminozide
- Chic: op 4 juni, met 100 g/100 L daminozide, op 8 juni met 100 g/100 L daminozide en op 13 juni met 100 g/100 L daminozide omdat plantlengte ca. 60 cm was.
- Pina colada: op 4 juni met 100 g/100 L daminozide en op 8 juni, met 100 g/100 L daminozide.
- Baltica: op 4 juni met 100 g/100 L daminozide, op 8 juni met 100 g/100 L daminozide en op 15 juni met 75 g/100 L daminozide

3.1.1 Metingen en analyse

Tijdens het experiment werd 2-3 maal per week de plantlengte gemeten. Er werd twee keer planten destructief geoogst, een tussentijdse oogst en een eindoogst.

3.1.1.1 Beoordeling inworteling

Op dinsdag 24 mei werden twee planten per ras per behandeling voorzichtig uit de bakken gehaald, en overnacht in een bak water gezet. Op woensdag 25 mei, 8 dagen na planten, werd zoveel mogelijk grond voorzichtig afgespoeld, en werden de wortelstelsels uitgelegd om beoordeeld te worden.

3.1.1.2 Tussentijdse oogst

Er werd tussentijds geoogst op 30 en 31 mei, 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) werd hoogte, aantal bladeren, bladoppervlakte, drooggewicht van alle bladeren en van de stengel. De plantlengte werd bepaald van potje tot apex van de plant. Totaal drooggewicht en specifiek bladoppervlakte (specific leaf area, SLA, een maat voor de bladdikte) werden berekend.

3.1.1.3 Eindoogst

De eindoogst vond plaats tussen 13 en 26 juli 2022. 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 troschrysanen werd geoogst wanneer de vijf bovenste bloemen open waren. Voor de eindoogst werden 15 planten per ras per tafel geoogst, waarbij gemiddelde planten werden genomen uit de middelste vier bakken per tafel.

Bij de destructieve eind oogst werden per plant de totale lengte, versgewicht van de bovenste 70 cm van de tak, 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, drooggewicht (DW) van de bladeren, DW van de bloemen, drooggewicht stengel en drooggewicht sprot gemeten. Een open bloem werd gedefinieerd als een bloem waarbij de kroonbladeren horizontaal stonden. 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.

4 Resultaten

4.1 Klimaat

Bij de LD werd een gemiddelde etmaaltemperatuur gerealiseerd van 19.4 °C (19.5 °C dag en 18.7 °C nacht). De CO₂ concentratie was 609 ppm (tijdens dag), en relatieve luchtvochtigheid was 79% tijdens de dag en 87% tijdens de nacht.

In KD was de etmaaltemperatuur 19.5 °C (20.5 °C dag en 18.5 °C nacht). De CO₂ concentratie was 608 ppm tijdens belichte uren, en relatieve luchtvochtigheid was 79% tijdens de dag en 86% tijdens de nacht.

4.2 Inworteling

Een week na planten werden twee planten per ras per behandeling voorzichtig uitgehaald en werd de inworteling van de stekken beoordeeld. Het bleek dat de stekken onder de behandeling met EOD verrood licht beter ingeworteld waren dan de referentiebehandeling zonder EOD FR (Figuur 4.1 links). Uit de foto's lijkt het dat de stekken van Magnum en Chic bij 30 minuten EOD FR iets beter geworteld zijn dan bij 10 minuten EOD FR (Figuur 4.1 rechts).



Figuur 4.1 Overzichtsfoto's van de wortelstelsels van de stekken van (van boven naar beneden) Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. Linkerfoto: vergelijking van de inworteling bij de referentiebehandeling (zonder EOD FR, links) en de behandeling met EOD FR (rechts). Rechterfoto: vergelijking van de inworteling bij de behandeling EOD FR met 30 minuten EOD FR (links), 20 minuten EOD FR (midden) en 10 minuten EOD FR (rechts).

Een lagere intensiteit verrood licht aan het einde van de dag lijkt geen effect te hebben op de inworteling, behalve bij Chic, waar een lagere intensiteit zorgt voor minder wortelgroei (Figuur 4.2 links). Wanneer we de behandelingen EOD FR en FR extra, waar de hele dag verrood licht gegeven wordt vergeleken, zijn daar geen verschillen te zien (Figuur 4.2 rechts)



Figuur 4.2 Overzichtsfoto's van de wortelstelsels van de stekken van (van boven naar beneden) Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. Linkerfoto: vergelijking van de inworteling bij de behandeling EOD FR met een intensiteit van $20 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (links; EOD FR), $10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (low EOD FR) en $5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (lowest EOD FR). Rechterfoto: vergelijking van de inworteling bij 30 minuten EOD FR (links) en de behandeling waar de hele dag $20 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ FR gegeven werd (rechts).

De inworteling bij een lage lichtintensiteit is minder als er aan het einde van de dag geen EOD FR wordt gegeven (Figuur 4.3). Maar de inworteling in de behandeling met een lage intensiteit belichting en een lage intensiteit EOD FR is wel goed, en oogt niet verschillend van de referentie.



Figuur 4.3 Overzichtsfoto's van de wortelstelsels van de stekken van (van boven naar beneden) Magnum, Baltica, Baltica, Chic en Pina colada. Van links naar rechts: vergelijking van de inworteling bij de behandeling EOD FR, lage lichtintensiteit zonder FR, lage intensiteit licht en hele dag verrood licht, lage intensiteit licht en lage intensiteit EOD FR.

De inworteling in de behandeling dynamische belichting was vergelijkbaar met EOD FR.

4.3 Tussentijdse oogst

Bij de start van het experiment werden 20 planten per ras destructief geoogst. Alle stekken hadden een lengte van ca. 10 cm, en 4-6 bladeren (Tabel 4.1)

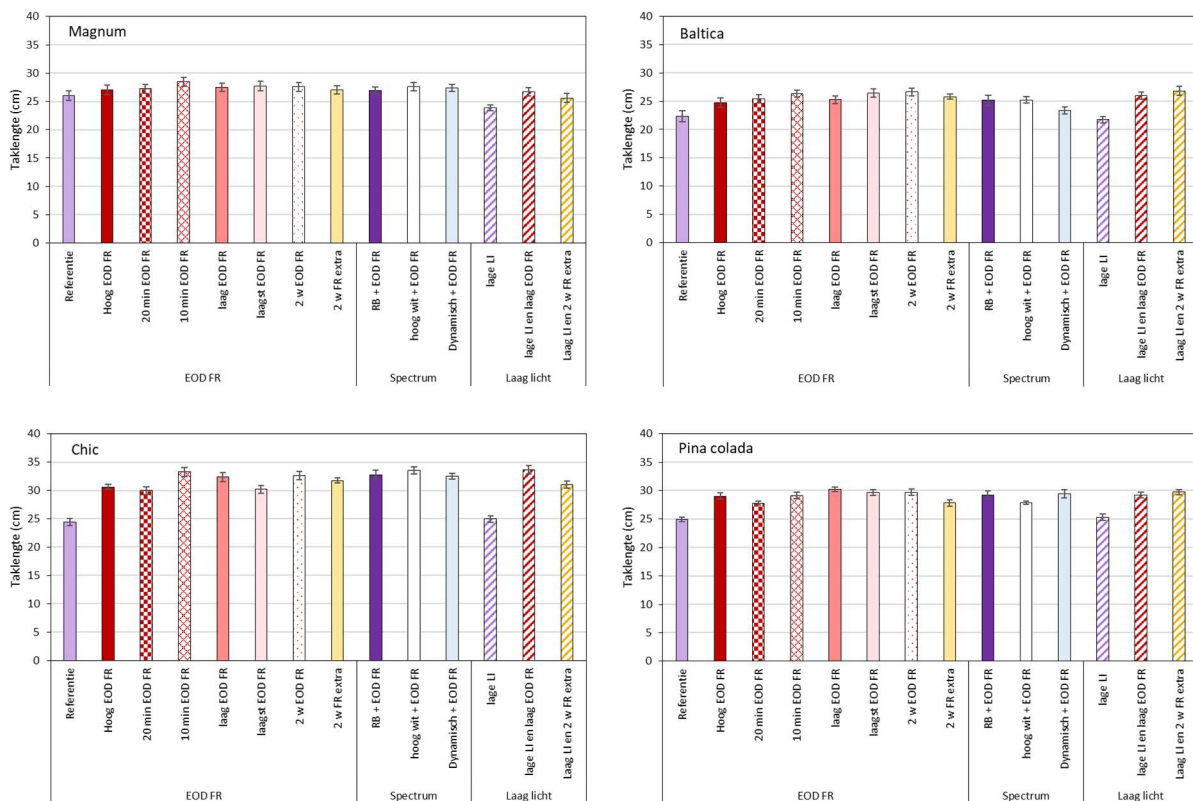
Tabel 4.1 Plantlengte, aantal bladeren groter dan 5 cm, bladoppervlakte en drooggewicht van de plant van de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada bij de destructieve beginoogst.

| Ras | Plantlengte (cm) | Aantal bladeren (-) | Bladoppervlakte (cm ²) | Drooggewicht plant (g) |
|-------------|------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------|
| Magnum | 10.3 ± 0.2 | 4.5 ± 0.2 | 62 ± 3 | 0.19 ± 0.01 |
| Baltica | 10.3 ± 0.3 | 5.2 ± 0.2 | 49 ± 1 | 0.14 ± 0.01 |
| Chic | 9.9 ± 0.2 | 6.1 ± 0.2 | 60 ± 1 | 0.13 ± 0.01 |
| Pina colada | 9.7 ± 0.2 | 5.2 ± 0.1 | 49 ± 1 | 0.14 ± 0.01 |

Twee weken na planten werd een tussentijdse destructieve oogst gedaan, waarbij 14 planten per ras per behandeling werden geoogst, en waarvan taklengte, aantal bladeren, bladoppervlakte en drooggewichten van bladeren en stengel werden gemeten.

Bij de tussentijdse oogst, twee weken na het inzetten van de lichtbehandelingen was al te zien dat de behandelingen waar planten aan het einde van de dag een verrood nabelichting kregen langer waren dan de

planten in de referentie (Figuur 4.4). De mate waarin dit optrad verschilde per ras, met name bij Chic was het effect erg duidelijk. Het terugbrengen van de EOD FR belichtingsduur van 30 naar 20 of 10 minuten had geen negatief effect op de strekking. Het zelfde gold als de intensiteit van de EOD FR nabelichting werd teruggebracht van 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ naar 10 of 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

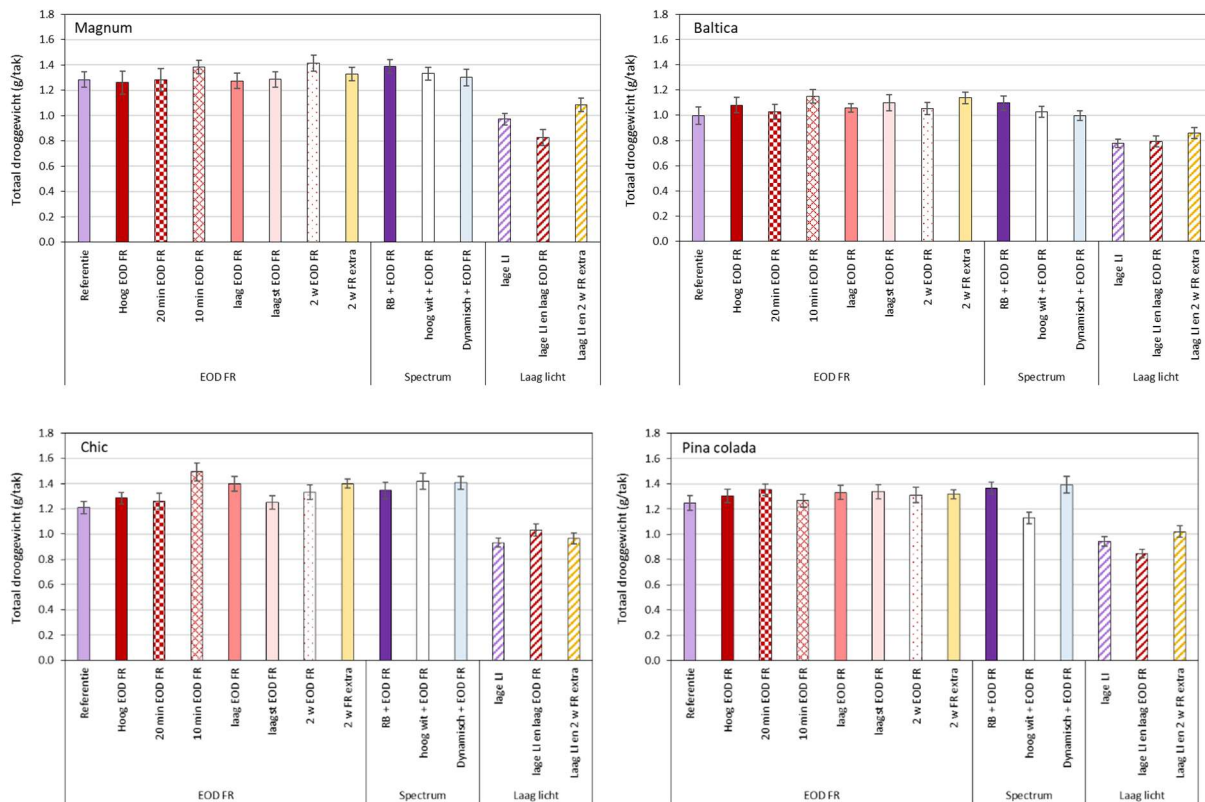


Figuur 4.4 Effect van de lichtbehandelingen op de plantlengte bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

Er was geen groot effect van het spectrum gedurende de dag (rood/blauw of hoog wit) op takstrekking. Wanneer de planten werden geteeld onder laag licht, bleef de taklengte vergelijkbaar met de planten die bij een hoge intensiteit waren geteeld. Ook het effect van de EOD FR behandeling bleef vergelijkbaar, ongeacht of de planten bij hoge of lage intensiteit werden geteeld (Figuur 4.4).

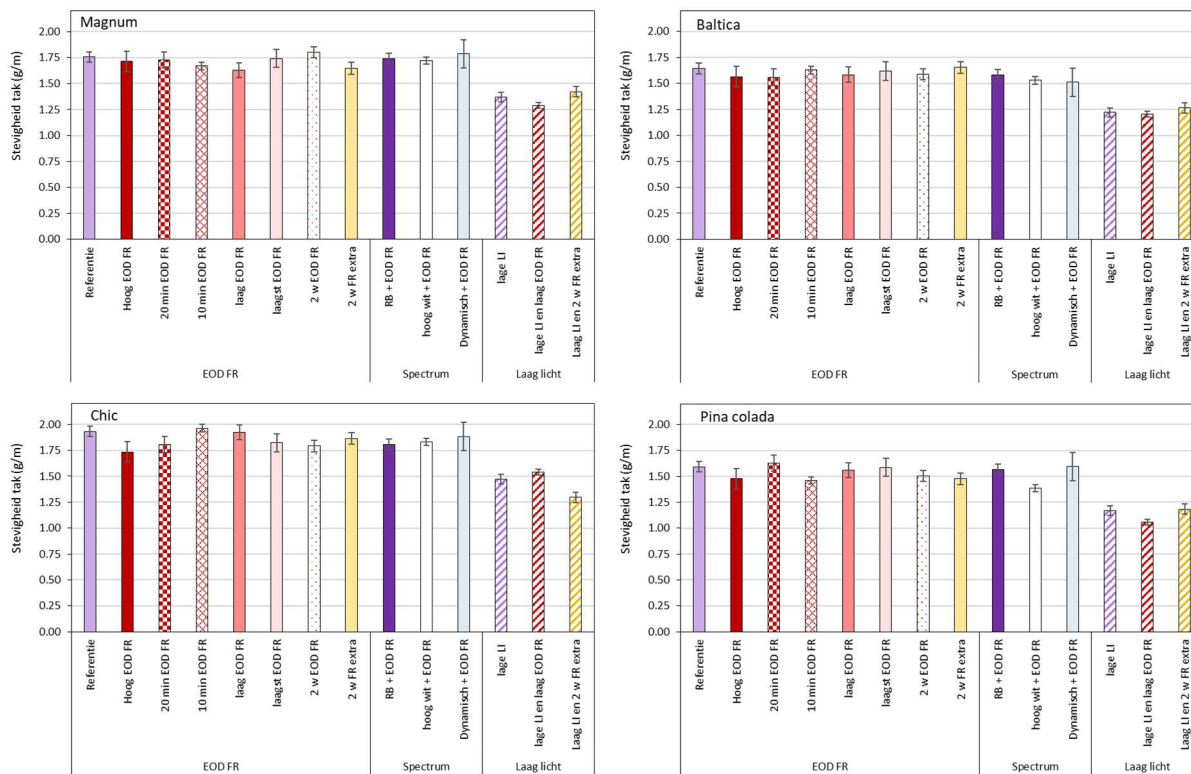
Het aantal bladeren en het bladoppervlakte van de planten werd nauwelijks beïnvloed door de lichtbehandelingen (zie figuren in bijlage I). Bij de tussentijdse destructieve oogst had Magnum ongeveer 11 bladeren, Baltica 12 bladeren, Chic 16 bladeren en Pina colada ongeveer 13 bladeren.

Het totaal plantdrooggewicht was niet sterk beïnvloed door de behandelingen met verschillende duren of intensiteiten van nabelichting met verrood licht aan het einde van de dag (Figuur 4.5). Wel was het zo dat het totale drooggewicht van de planten die geteeld waren onder laag licht duidelijk lager lag dan bij de andere behandelingen.



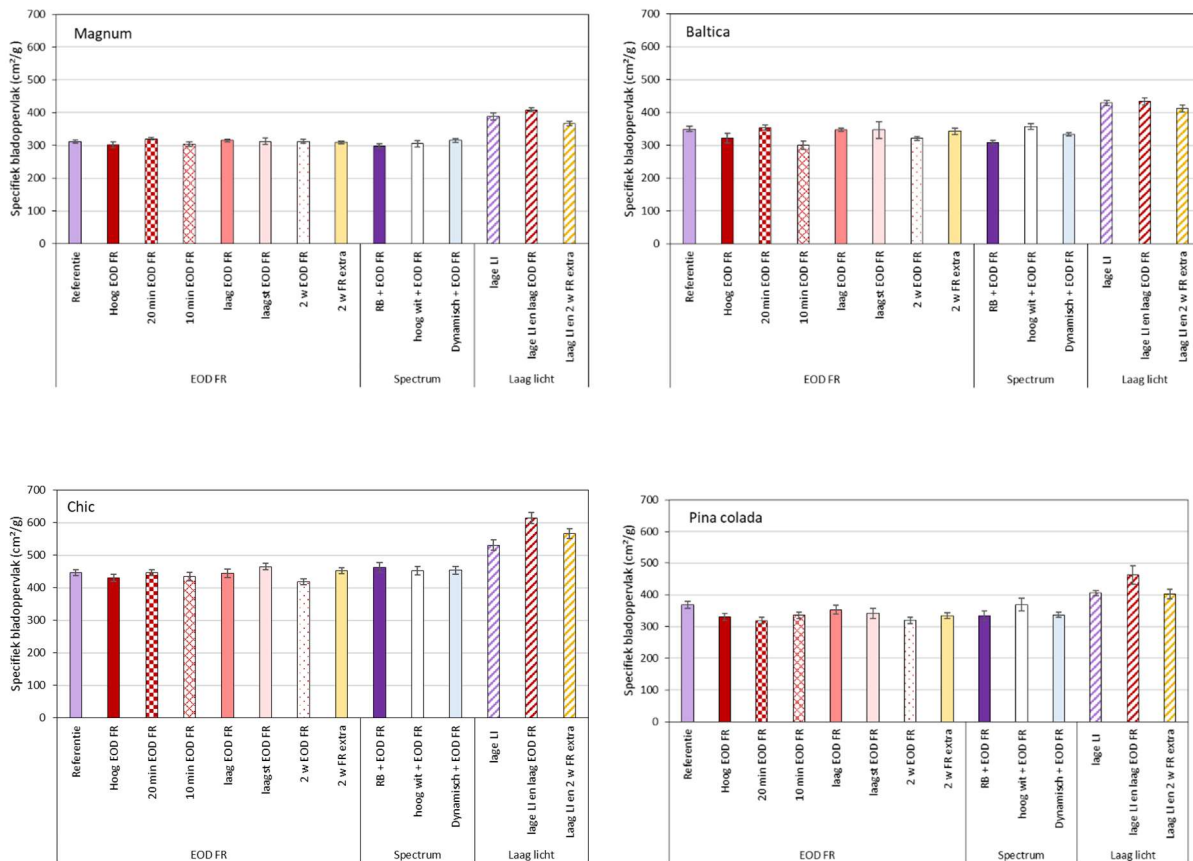
Figuur 4.5 Effect van de lichtbehandelingen op het totale plant drooggewicht bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

De verschillen in stengelstrekking en totaal drooggewicht zijn ook terug te zien in het verhoudingsgetal daartussen. Wanneer totaal drooggewicht wordt gedeeld door de taklengte, geeft dit een maat weer voor de stevigheid, in gram per strekkende centimeter (g/cm) (Figuur 4.6). Deze stevigheid wordt nauwelijks beïnvloed door het lichtspectrum, maar is wel aanzienlijk lager wanneer de planten bij een lager lichtniveau worden geteeld.



Figuur 4.6 Effect van de lichtbehandelingen op de stevigheid van de tak (in g/cm; totale drooggewicht gedeeld door de plantlengte) bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

De planten die bij lagere lichtniveaus geteeld zijn, maken dünnere bladeren, zodat ze met de beschikbare assimilaten zoveel mogelijk lichtonderschepping kunnen realiseren (Figuur 4.7). Dat is te zien in het specifieke bladoppervlakte (Specific leaf area, SLA). SLA is een maat voor de bladdikte, en wordt berekend door bladoppervlakte te delen door het drooggewicht van de bladeren. Een hogere SLA geeft aan dat er meer bladoppervlakte wordt gevormd met eenzelfde gewicht, dus dünnere bladeren.



Figuur 4.7 Effect van de lichtbehandelingen op het specifieke bladoppervlakte, een maat voor de bladdikte (specific leaf area, SLA, berekend door bladoppervlakte te delen door drooggewicht van de bladeren) bij de tussentijdse oogst voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

4.4 Eindoogst

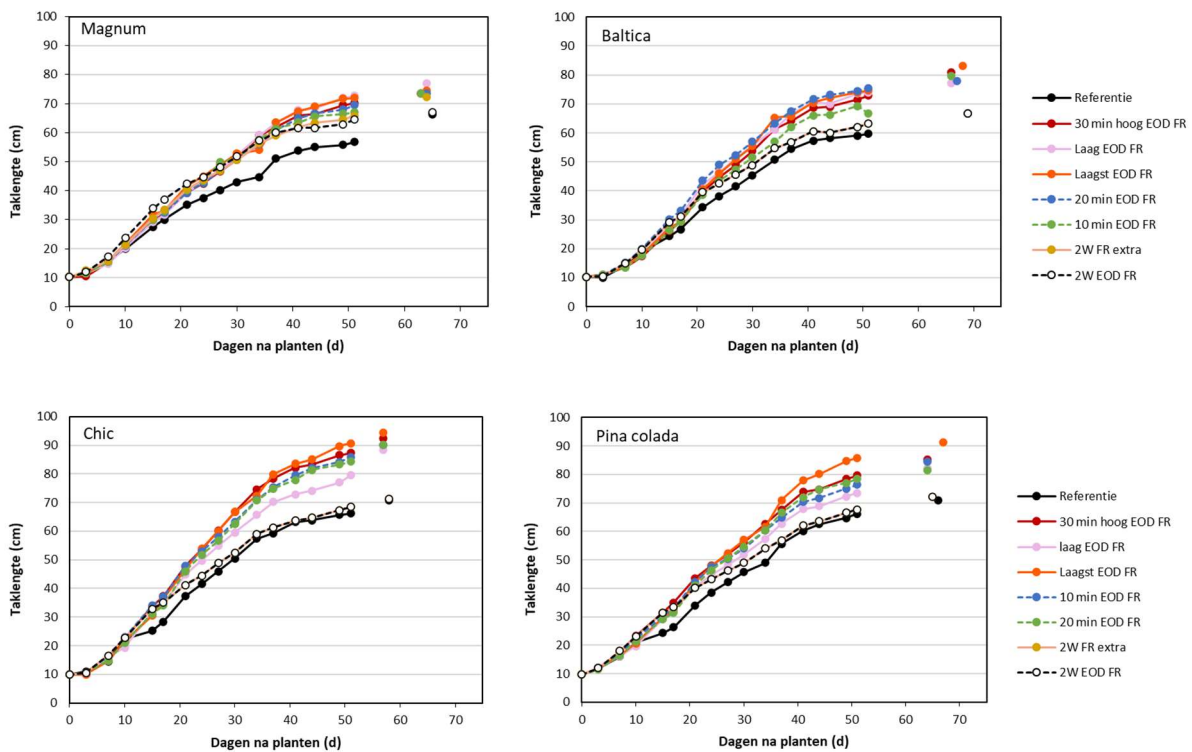
De eind oogst vond plaats tussen 13 en 26 juli 2022. Er werd per ras, per behandeling geogst als de vereiste takkwaliteit werd bereikt. Voor Magnum werd geogst bij een volle bolvorm van de bloem, een geopende bloem met platte kroonbladeren. Bij de troschrystanten werd geogst wanneer de vijf bovenste bloemen open waren. Vergeleken met de referentie (geen "einde van de dag" verrood), waren alle behandelingen met "einde van de dag" verrood licht sneller oogstbaar, behalve de laagste intensiteit ($5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) bij Pina colada (Tabel 4.3). Het licht spectrum gedurende de dag had geen effect op de uitgroei duur, maar het dynamische spectrum was iets trager dan de andere spectra met EOD verrood licht. Een lage lichtintensiteit leidde tot een vertraging van de teelt, met enkele dagen (Tabel 4.3).

Tabel 4.3 Effect van de lichtbehandelingen op de uitgroeiduur (aantal dagen tussen planten en oogst) voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

| | Behandeling | Magnum | Baltica | Chic | Pina colada |
|------------|------------------------|--------|---------|------|-------------|
| EOD FR | Referentie | 65 | 69 | 58 | 66 |
| | Hoog EOD FR | 63 | 66 | 57 | 64 |
| | 20 min EOD FR | 64 | 67 | 57 | 64 |
| | 10 min EOD FR | 63 | 66 | 57 | 64 |
| | Laag EOD FR | 64 | 66 | 57 | 64 |
| | Laagst EOD FR | 64 | 68 | 57 | 67 |
| | 2 w EOD FR | 65 | 69 | 58 | 65 |
| Spectrum | 2 w FR extra | 64 | 66 | 57 | 64 |
| | RB + EOD FR | 63 | 66 | 57 | 64 |
| | Hoog wit + EOD FR | 63 | 66 | 57 | 64 |
| Laag licht | Dynamisch + EOD FR | 65 | 68 | 58 | 66 |
| | Lage LI | 67 | 71 | 59 | 67 |
| | Lage LI + EOD FR | 67 | 70 | 61 | 67 |
| | Lage LI + 2 w FR extra | 67 | 70 | 60 | 67 |

4.4.1 Strecking

Gedurende de teelt werd de strekking van de vier rassen onder de 14 lichtbehandelingen gevolgd. In onderstaande figuren staan de resultaten weergegeven, verdeeld in de effecten van verrood licht (Figuur 4.8), effecten van lichtspectrum gedurende de dag (Figuur 4.9) en effecten van telen bij lage lichtintensiteit (Figuur 4.10). In deze figuren is het verloop van de taklengte gedurende de teelt weergegeven (wekelijkse metingen) en de uiteindelijke taklengte bij de destructieve oogst (losse symbolen op de oogstdatum).



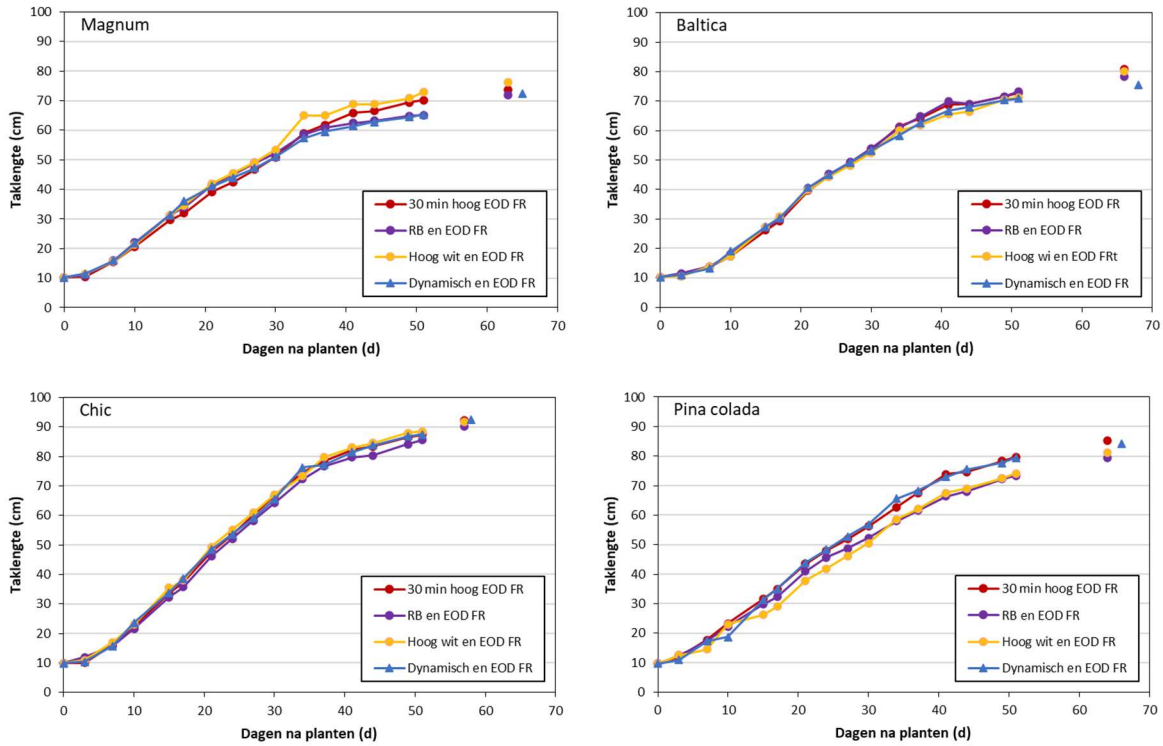
Figuur 4.8. Verloop van de taklengte van de chrysanten Magnum, Baltica, Chic en Pina colada gedurende de teelt bij de behandelingen met en zonder "einde van de dag" verrood licht. De losse punten aan het einde van de grafiek geven de gemiddelde taklengtes bij de destructieve eindoogst weer.



Foto 4.1. Overzicht van de bloemtakken van *Baltica* geteeld onder (v.l.n.r.) referentie (RGB zonder "einde van de dag" verrood, 30 min hoog EOD FR, laag EOD FR, laagst EOD FR, 20 min EOD FR, 10 min EOD FR en Hoog EOD FR + 2 weken FR extra).

Bij alle rassen is te zien dat alle behandelingen met einde van de dag verrood licht langere takken geven dan de referentiebehandeling, zonder verrood licht (Figuur 4.8, Foto 4.1). Er is bij de oogst nauwelijks effect van de intensiteit van het "einde van de dag" verrode licht (hoog, laag, laagst EOD FR, dus 20, 10 en 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) of de periode van het "einde van de dag" verrode licht (30, 20 of 10 minuten). In Figuur 4.8 is wel duidelijk te zien dat wanneer alleen gedurende de eerste twee weken van de teelt "einde van de dag" verrood licht gegeven wordt, de takstrekking eerst vergelijkbaar is met de andere "einde van de dag" (End of day, EOD) behandelingen, maar gedurende de teelt de strekking minder wordt. De taklengte van deze behandeling is uiteindelijk vergelijkbaar met die van de referentie. Dat betekent dat twee weken "einde van de dag" verrood licht niet voldoende is om de takstrekking te sturen.

Het lichtspectrum gedurende de dag blijkt nauwelijks effect te hebben op de takstrekking, als in alle behandelingen "einde van de dag" verrood licht gegeven wordt (Figuur 4.9; Foto 4.2). In de referentiebehandeling (rode lijn) werd 5% groen licht gegeven, in de behandeling RB alleen rood en blauw licht, en in de "hoog wit" behandeling werd 15% groen licht gegeven (licht tussen 500 en 600 nm). Dit had geen effect op de uiteindelijke takstrekking. Ook het dynamisch variëren van de lichtintensiteit tussen 150 en 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ had geen effect op de uiteindelijke taklengte.

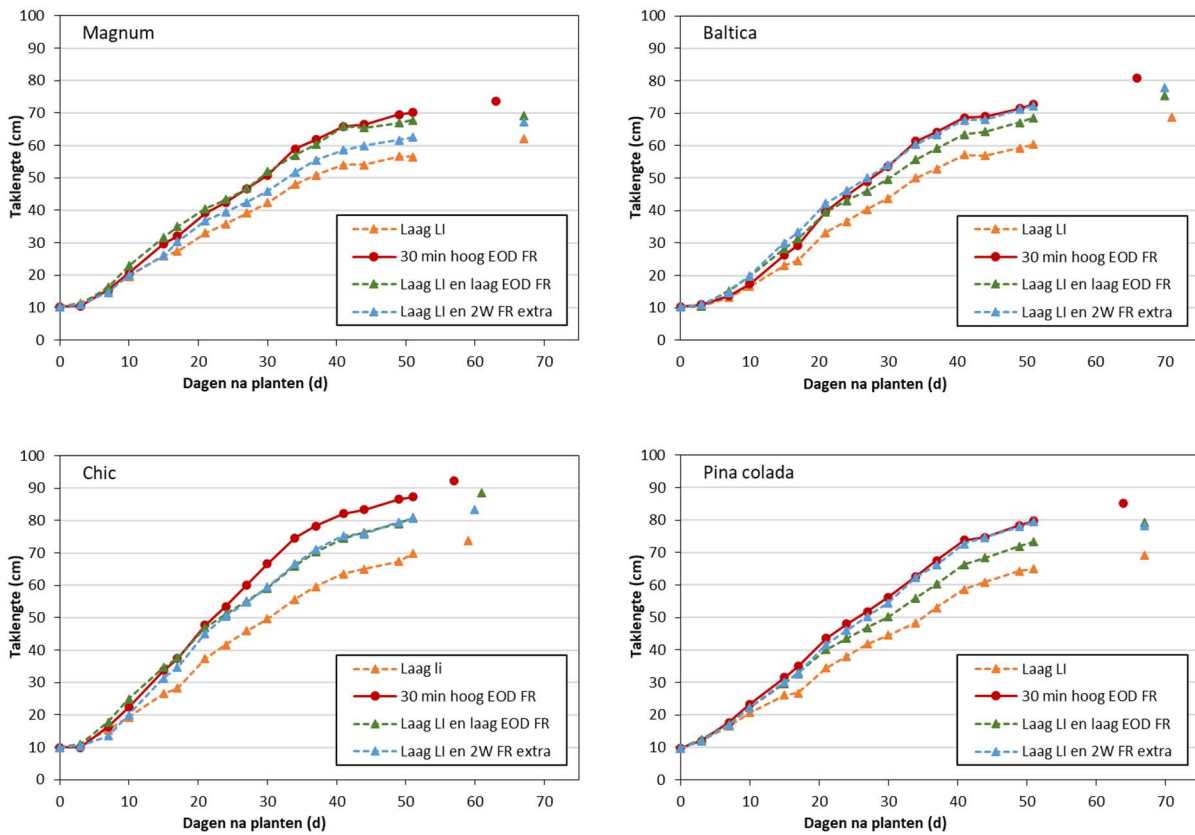


Figuur 4.9. Verloop van de taklengte van de chrysanten *Magnum*, *Baltica*, *Chic* en *Pina colada* gedurende de teelt bij de behandelingen met verschillende lichtspectra gedurende de dag (en "einde van de dag" verrood licht). De losse punten aan het einde van de grafiek geven de gemiddelde taklengtes bij de destructieve eindoogst weer.



Foto 4.2. Overzicht van de bloemtakken van *Baltica* geteeld onder (v.l.n.r.) referentie (RGB zonder "einde van de dag" verrood, 30 min hoog EOD FR, Dynamisch met EOD FR, Hoog wit met EOD FR en RB met EOD FR).

De taklengte bij lage lichtintensiteit zijn nauwelijks korter dan bij hoge lichtintensiteit. In figuur 4.10 is het verloop van de taklengte bij laag licht vergeleken met de referentie (rode lijn) die bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ geteeld werd. De planten die bij laag licht geteeld werden zonder "einde van de dag" verrood licht waren korter dan de andere behandelingen, hetgeen het zelfde effect is als bij hoog licht, waar ook de behandelingen met "einde van de dag" verrood licht langer zijn dan zonder "einde van de dag" verrood licht (Figuur 4.8).

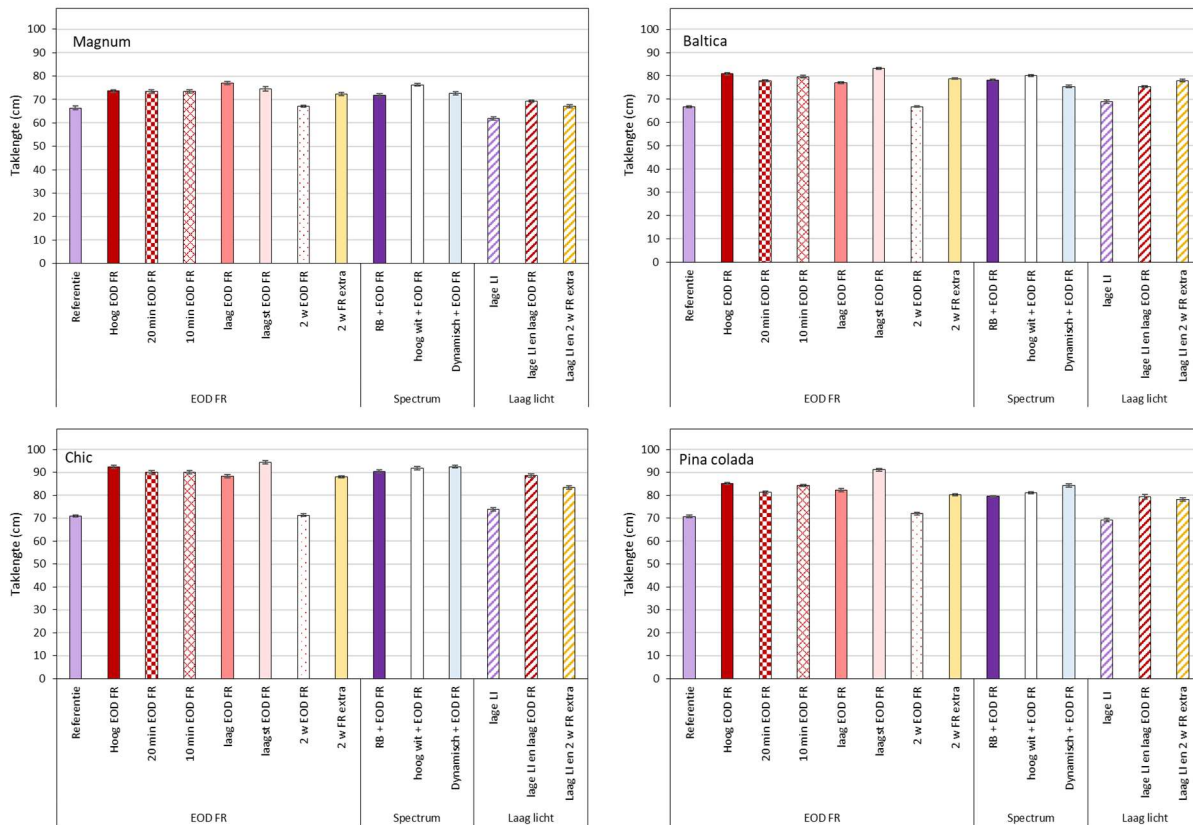


Figuur 4.10. Verloop van de taklengte van de chrysanten *Magnum*, *Baltica*, *Chic* en *Pina colada* gedurende de teelt bij de referentiebehandeling (200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht) en de behandelingen met lage lichtintensiteit (100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). De losse punten aan het einde van de grafiek geven de gemiddelde taklengtes bij de destructieve eindoogst weer.



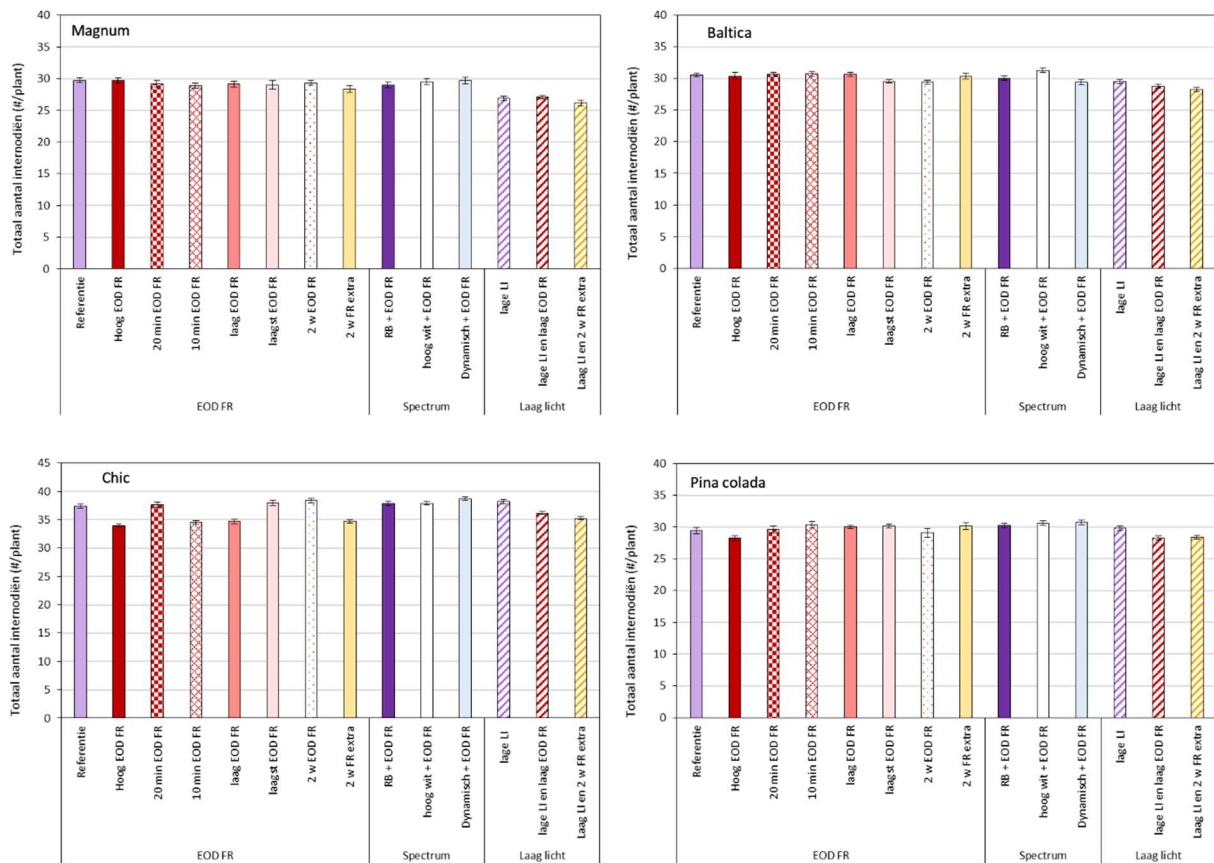
Foto 4.3. Overzicht van de bloemtakken van Baltica geteeld onder (v.l.n.r.) referentie (RGB zonder "einde van de dag" verrood, 30 min hoog EOD FR, lage lichtintensiteit (zonder "einde van de dag" verrood), lage lichtintensiteit met laag EOD FR en lage lichtintensiteit met hoog EOD FR en 2 weken extra verrood.

Bovenstaande figuren geven aan dat de taklengte voornamelijk beïnvloedt wordt door de "einde van de dag" verrood licht behandeling. In de referentiebehandeling werd gedurende 30 minuten $20 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht gegeven. Wanneer de intensiteit wordt teruggebracht of de duur, blijkt het effect van het "einde van de dag" verrood licht nog steeds vergelijkbaar (Figuur 4.11). Dat betekent dat het goed mogelijk is de strekking van chrysanten te sturen met een kortere periode of lagere intensiteit "einde van de dag" verrood licht. De richting van de effecten van de verschillende lichtbehandelingen zijn vergelijkbaar tussen de rassen, maar de sterkte van het effect verschilt wel eens per ras.



Figuur 4.11. Effect van de lichtbehandelingen op de plantlengte voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

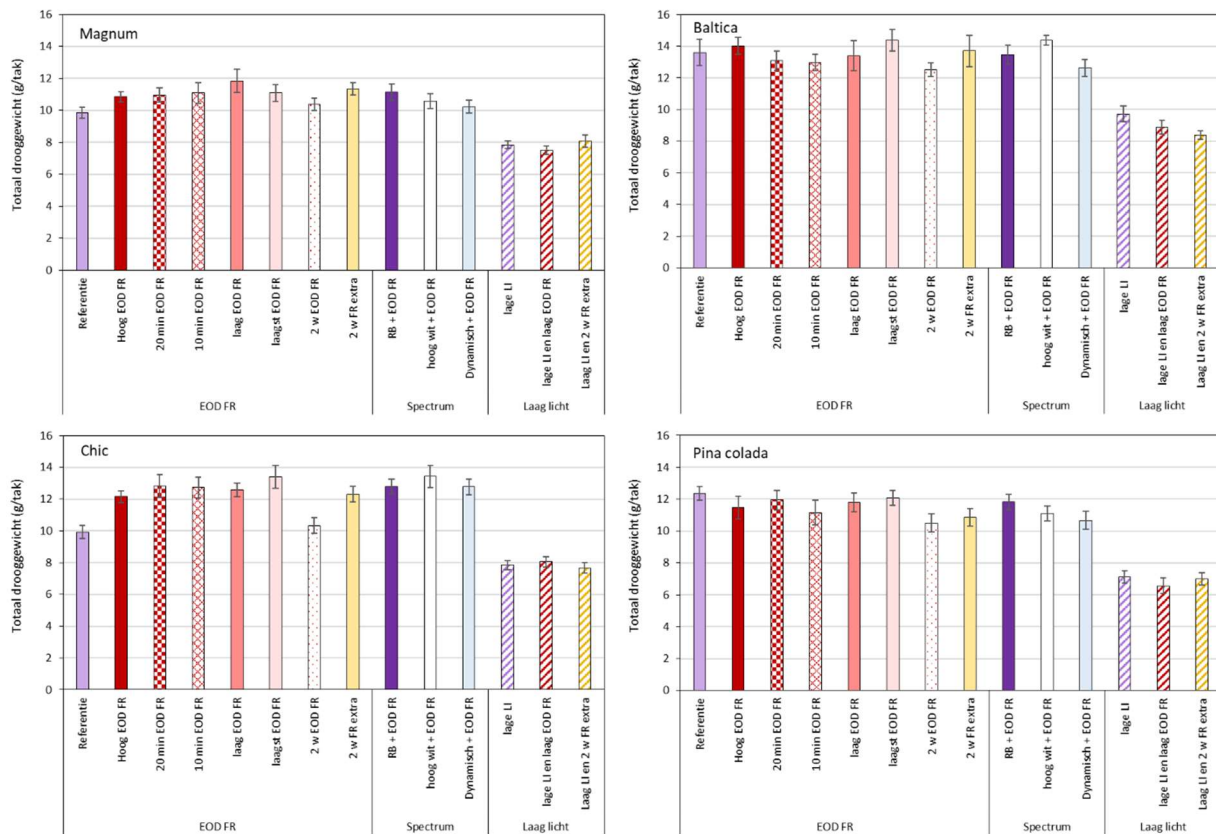
De verschillen in taklengte in de verschillende behandelingen worden voornamelijk bepaald door de strekking per internodium. Het aantal internodia (segment van een stukje stengel en een blad) verschilt maar beperkt tussen de verschillende behandelingen (Figuur 4.12) voor de meeste rassen. Bij Chic verschilt het aantal internodia (dus ook het aantal bladeren) per behandeling, zonder hele duidelijke relatie met de aard van de behandelingen. Wel is het zo dat de behandelingen met laag licht een iets lager aantal gevormde internodia hebben. Dit zou verklaard kunnen worden door de planttemperatuur: de kasluchttemperatuur werd voor de hele kas geregeld, maar de planttemperatuur zal onder de behandelingen met een lage lichtintensiteit ca. 1 graad Celcius lager geweest zijn, hetgeen in de Lange Dag periode tot een lagere bladafsplitsing heeft geleid, en dus uiteindelijk tot een lager aantal internodia.



Figuur 4.12. Effect van de lichtbehandelingen op het totale aantal internodia per tak voor de rassen *Magnum*, *Baltica*, *Chic* en *Pina colada*.

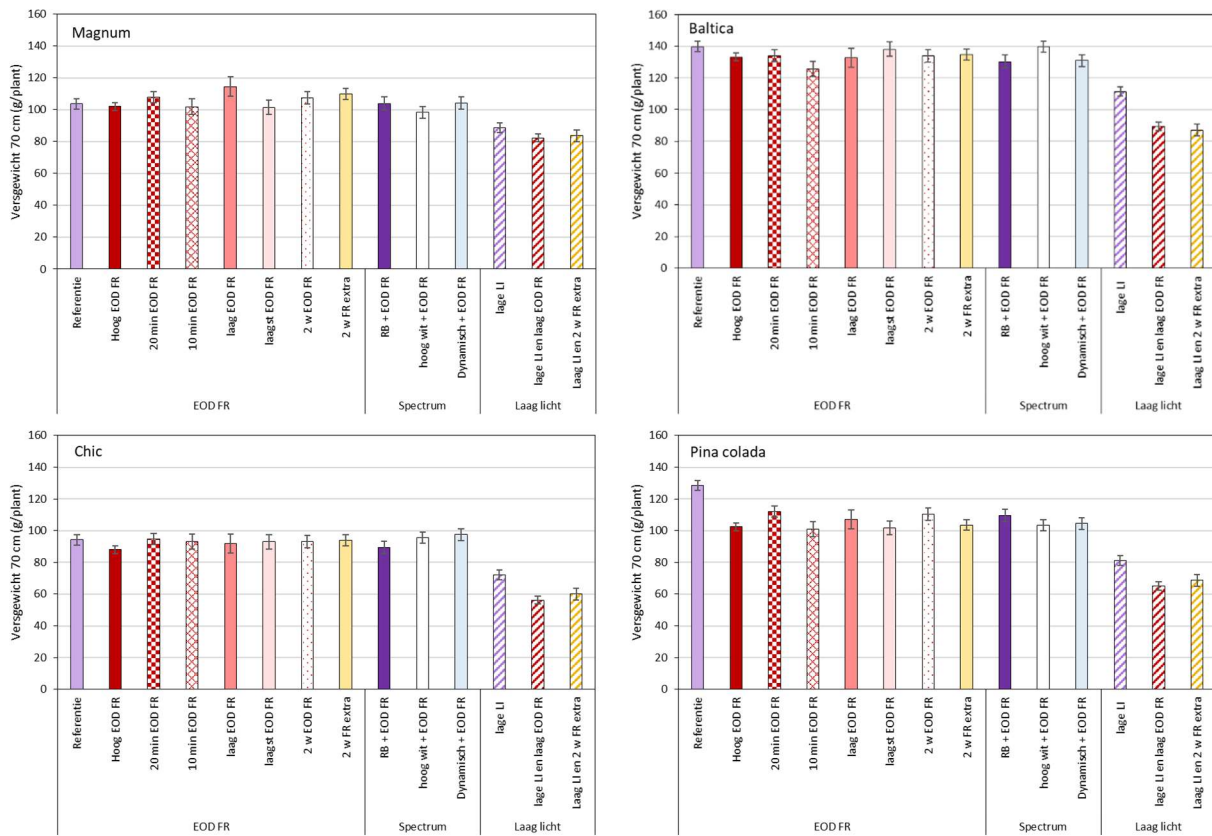
4.4.2 Takgewicht

Bij de destructieve eindogst werd het totaal vers- en drooggewicht van de takken gewogen. Het effect van de "einde van de dag" verrood behandelingen op het totale takdrooggewicht verschilde per ras. Bij *Chic* waren de effecten het meest uitgesproken: takgewicht was hoger wanneer "einde van de dag" verrood werd toegepast dan in de referentiebehandeling zonder EOD verrood, of in de behandeling die maar twee weken "einde van de dag" verrood licht had gehad (Figuur 3.13). Bij *Baltica* en *Pina colada* waren de effecten van de lichtbehandelingen met $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op het takgewicht beperkt, en was het takgewicht van de behandelingen met "einde van de dag" verrood licht niet hoger dan die van de referentie zonder "einde van de dag" verrood licht. Bij alle rassen was het drooggewicht van de takken die geteeld waren onder $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in plaats van $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ duidelijk lager (Figuur 3.13).



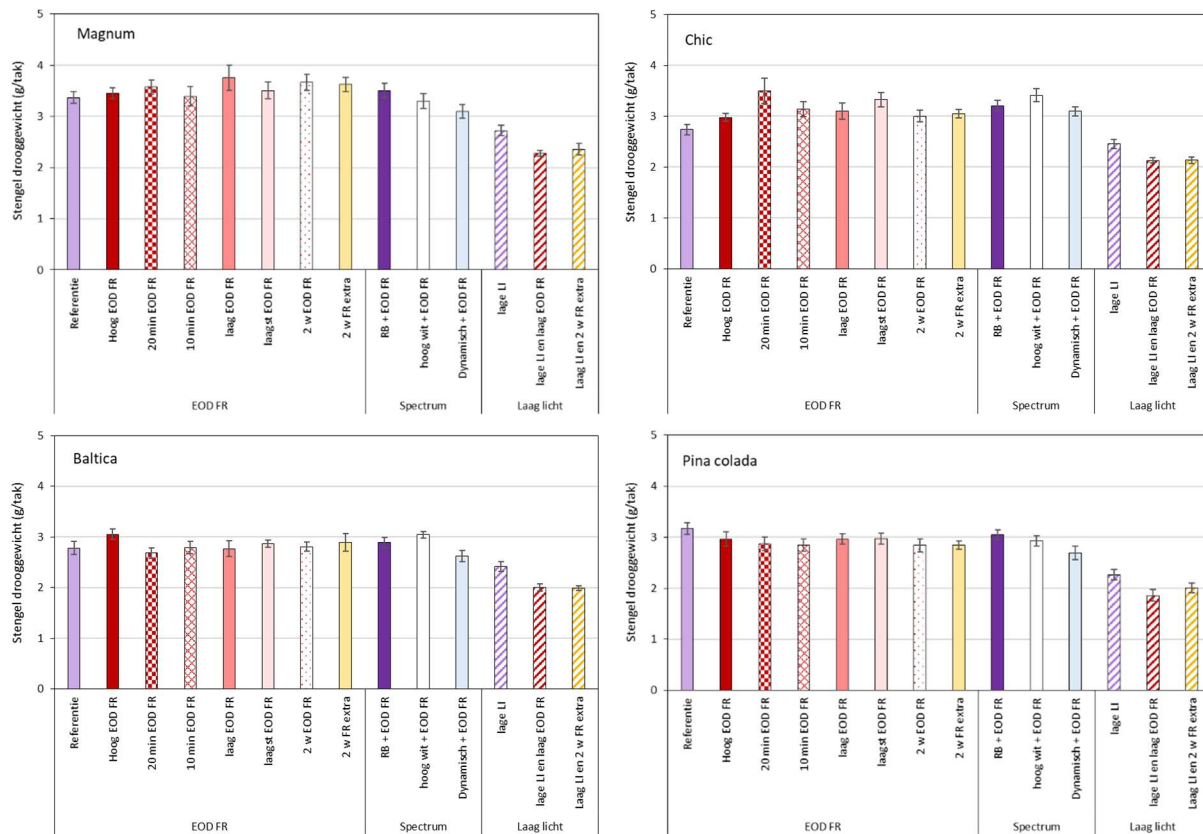
Figuur 4.13. Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de bloemtak voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

Omdat de taklengte voor de meeste behandelingen met "einde van de dag" verrood licht meer dan 70 cm was, werd een deel van de tak afgeknipt om ze op een commerciële lengte van 70 cm te krijgen. Het versgewicht van de bloemtakken afgeknipt op 70 cm was redelijk vergelijkbaar tussen de behandelingen waarin geteeld was bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Alleen de takken geteeld bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ waren een kwart tot een derde lichter dan de takken geteeld bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht.



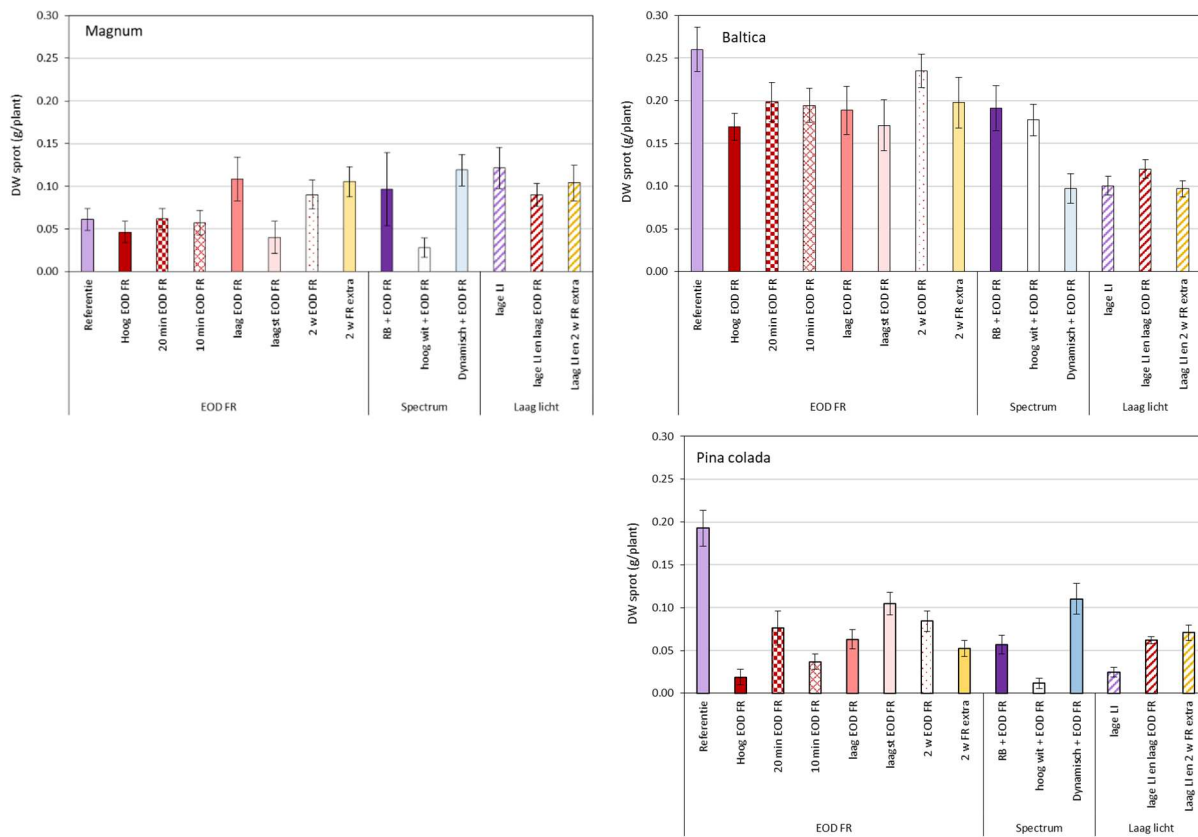
Figuur 4.12. Effect van de lichtbehandelingen op versgewicht van de bloemtak wanneer deze was teruggeknipt tot een lengte van 70 cm voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

Het stengeldrooggewicht is gemiddeld over de rassen ca. 30% van het totale drooggewicht. Het aandeel van het totale takgewicht in de stengels is iets hoger voor de behandelingen waarin de takken meer gestrekt zijn, en iets lager voor de behandelingen die bij laag licht geteeld zijn. Dat houdt in dat het stengelgewicht lager is voor de planten die geteeld zijn bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED licht dan bij de planten die geteeld zijn onder 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Figuur 4.13).



Figuur 4.13. Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de stengels voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

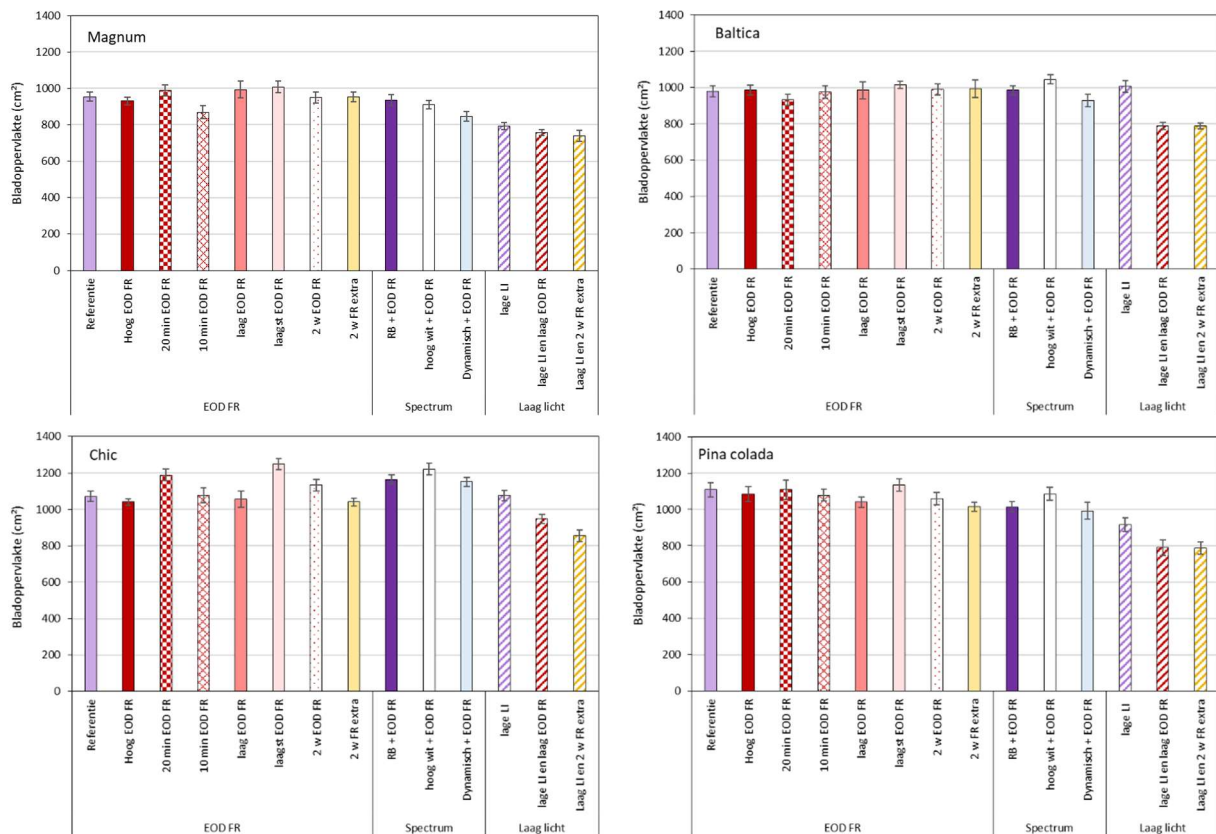
Gedurende de teelt kunnen de onderste knoppen aan de tak uitlopen. Dit is ongewenst, en wordt in de chrysantenteelt "sprot" genoemd. Uit eerder onderzoek bleek al dat het toevoegen van verrood licht aan het spectrum zorgt voor onderdrukking van de knopuitloop onder in het gewas, dus voor minder sprot. Bij het ras Chic trad in deze proef geen knopuitloop onder in het gewas op. Bij Baltica en Pina colada bleek het gewicht van de uitgelopen knoppen onder in het gewas ("sprot") het hoogst te zijn voor de referentiebehandeling, zonder "einde van de dag" verrood licht (Figuur 4.14). Bij laag licht bleek er minder knopuitloop onder in het gewas op te treden bij Baltica ten opzichte van de behandelingen met 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Bij Magnum en Pina colada was er geen effect van de lichtintensiteit op het voorkomen van sprot.



Figuur 4.14. Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van het plantmateriaal van de uitgelopen scheutjes onderaan de stengel ("sprot") voor de rassen Magnum, Baltica en Pina colada. Bij het ras Chic was geen knopuitloop in het onderste deel van de stengel.

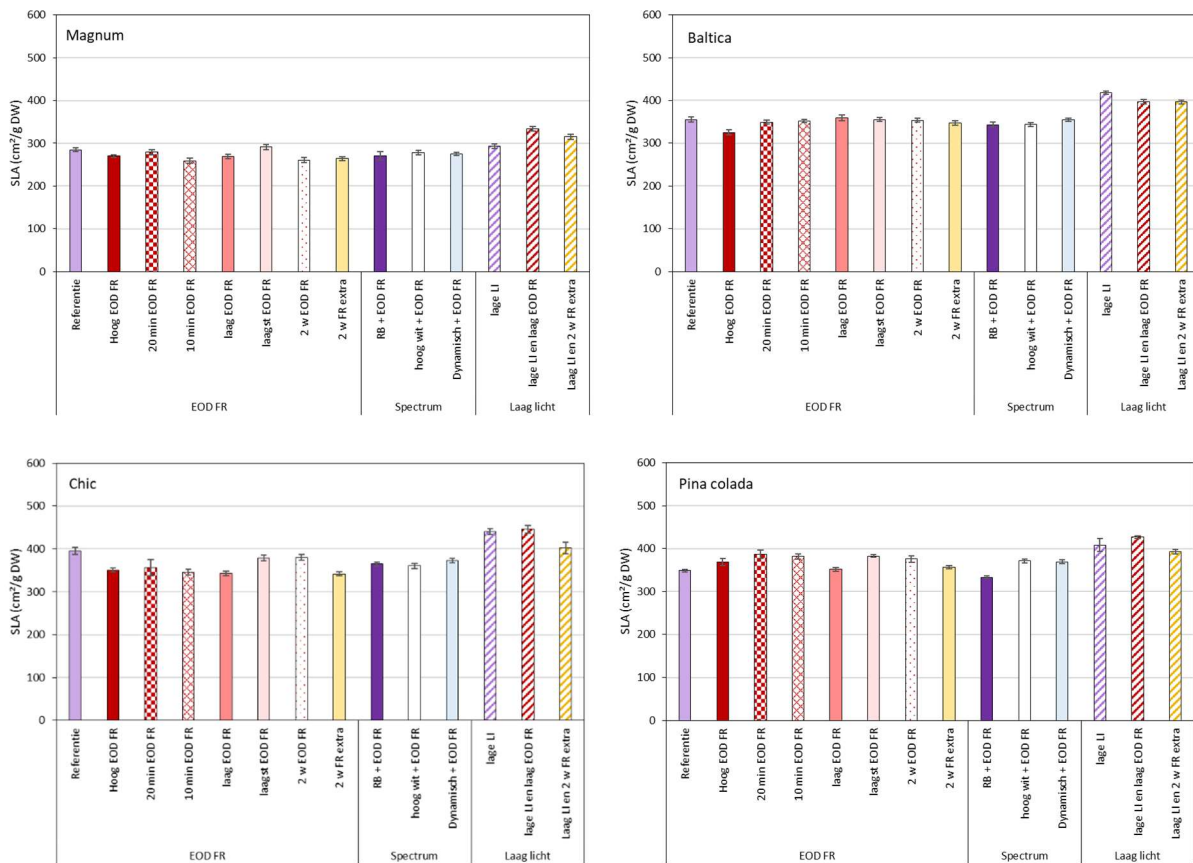
4.4.3 Bladoppervlakte en stevigheid tak

De lichtbehandelingen hebben een beperkt effect op het bladoppervlak (Figuur 4.15) per bloemtak. Voor de behandelingen met 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting is het bladoppervlak (meestal) groter dan voor de behandelingen met een 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, waarbij de behandeling met laag licht zonder "einde van de dag" verrood licht een groter bladoppervlak heeft dan de behandelingen met laag licht met "einde van de dag" verrood licht.



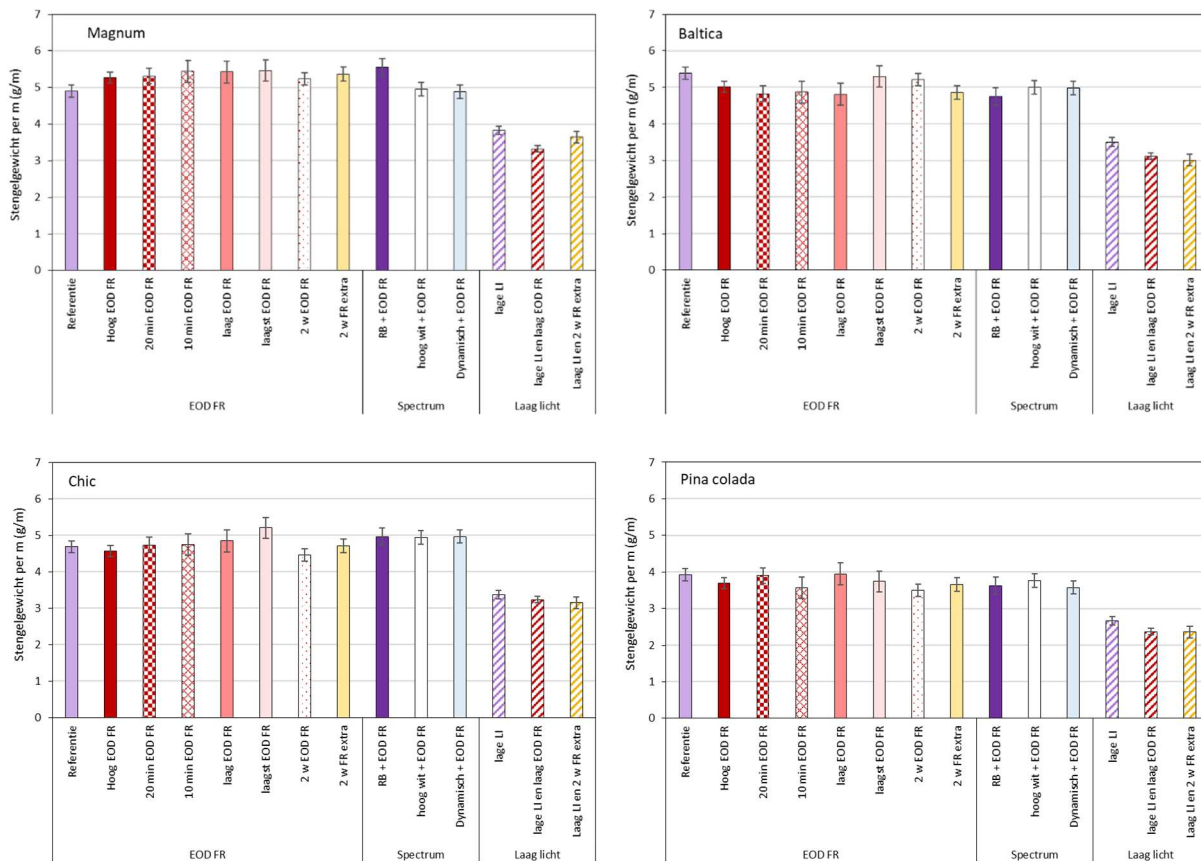
Figuur 4.15. Effect van de lichtbehandelingen op het bladoppervlakte voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

Met de gegevens van het bladoppervlak en het drooggewicht van de bladeren aan de bloemtak is het specifiek bladoppervlak te berekenen (SLA, specific leaf area). Dit is een maat voor de bladdikte, en wordt uitgedrukt in cm² blad per gram gewicht (Figuur 4.16). Voor alle rassen geldt dat bij laag licht (100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) de bladeren dunner zijn dan bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Er is geen eenduidig effect van "einde van de dag" verrood licht op de bladdikte.



Figuur 4.16. Effect van de lichtbehandelingen op het specifieke bladoppervlak (Specific Leaf Area, SLA) voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. Het specifieke bladoppervlakte wordt bepaald door het bladoppervlakte te delen door het drooggewicht van de bladeren, en is een maat voor de bladdikte.

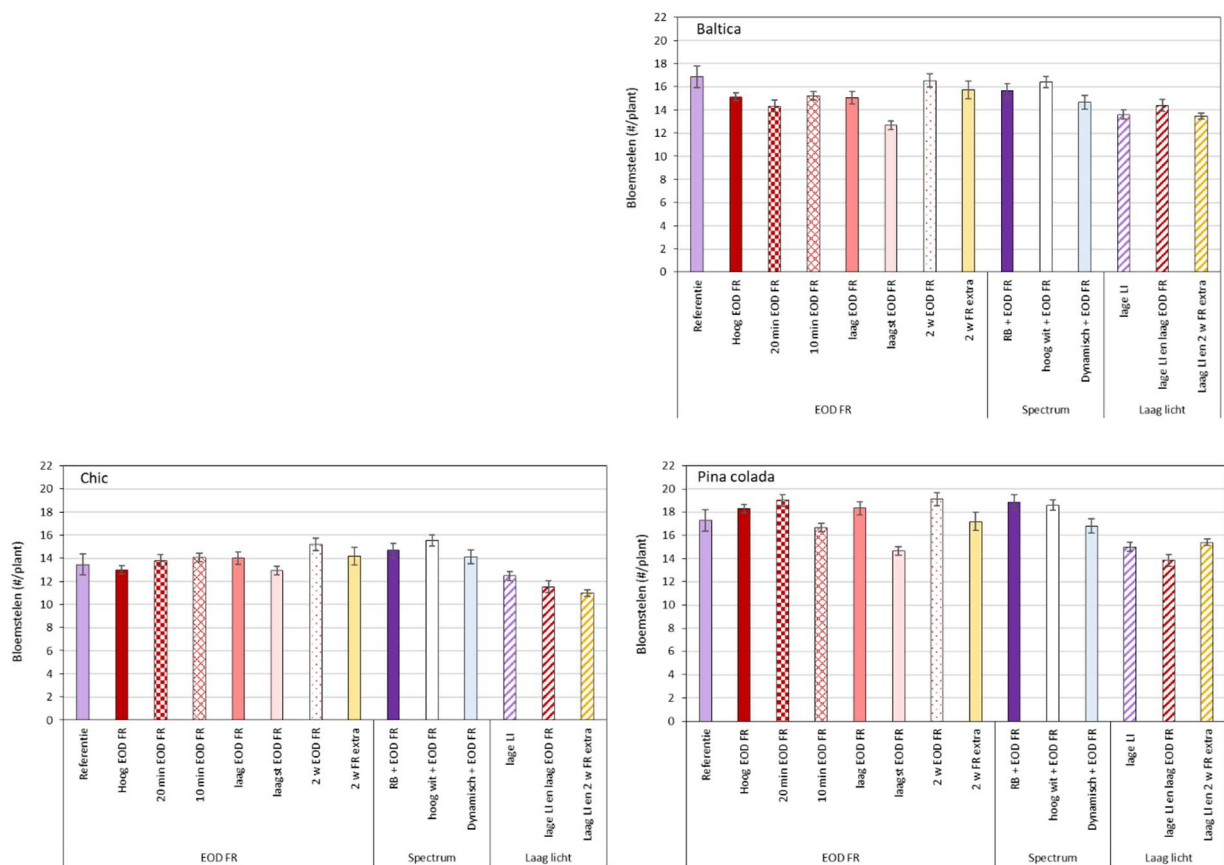
De stevigheid van bloemtakken is kwaliteitscriterium, en kan bepaald worden door het totaal drooggewicht van de bloemtak te delen door de lengte. Het blijkt dat de takstevigheid nauwelijks wordt beïnvloed door de "einde van de dag" verrood licht behandelingen of het lichtspectrum gedurende de dag (Figuur 4.17), maar wel door de lichtintensiteit. Wanneer de planten worden geteeld bij een lichtintensiteit van 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in plaats van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ gaat dit ten koste van de stevigheid van de bloemtakken.



Figuur 4.17. Effect van de lichtbehandelingen op de stevigheid van de stengels voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada. De stevigheid is uitgedrukt in g stengelgewicht per strekkende meter van de stengel (g/m)

4.4.4 Bloemen

De bloemtakken werden per ras, per behandeling geogst als ze ca. 5 open bloemen hadden (behalve de pluischrystant Magnum, die altijd 1 bloem had). De kwaliteit van de bloemtakken wordt ook bepaald door het aantal bloemsteeltjes, waarvan de bloemen later op de vaas bij consument nog kunnen uitbloeien. Bij Baltica en Chic hebben de behandelingen met "einde van de dag" verrood licht geen positief effect op het aantal bloemstelen per tak (Figuur 4.18). Het gemiddelde aantal bloemstelen van planten die bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ opgekweekt zijn, is lager dan het aantal bloemstelen bij de referentie.

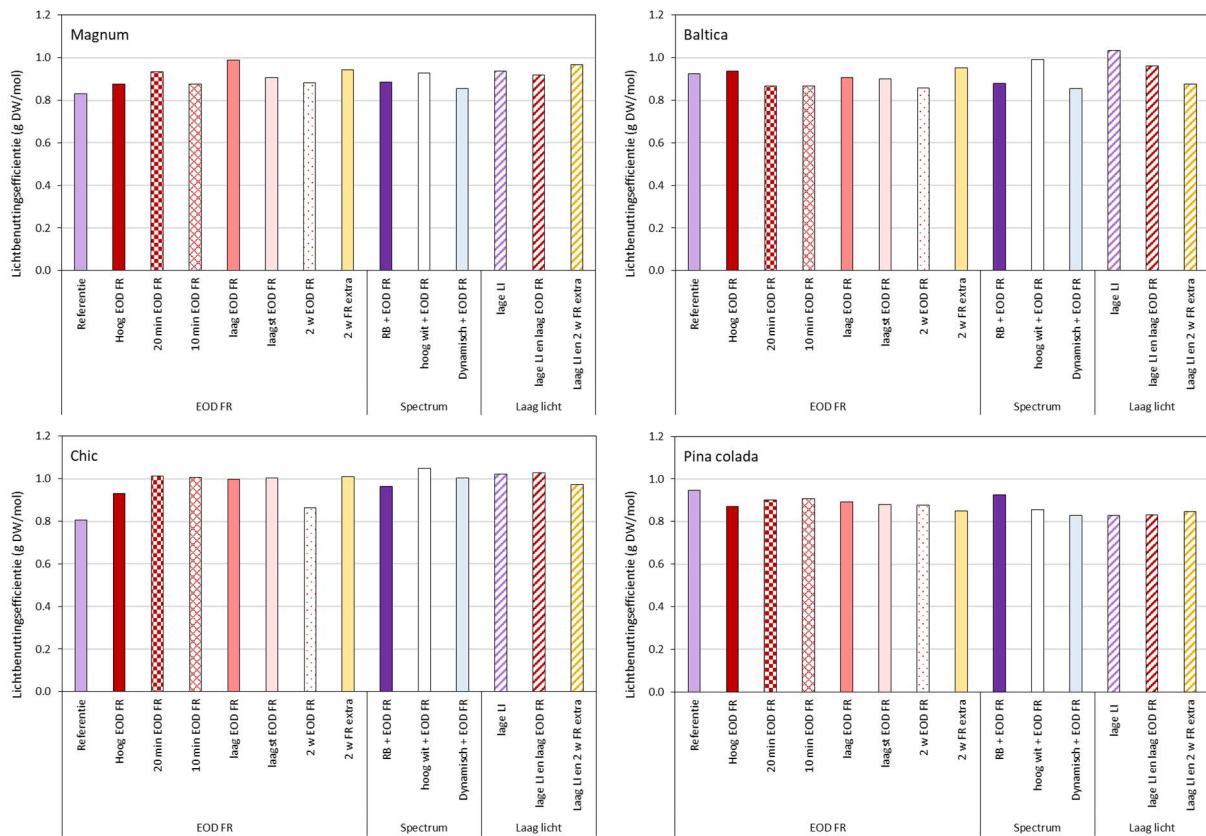


Figuur 4.18. Effect van de lichtbehandelingen op het aantal bloemtakken per plant voor de rassen *Magnum*, *Baltica*, *Chic* en *Pina colada*.

4.4.5 Lichtbenuttingsefficiëntie

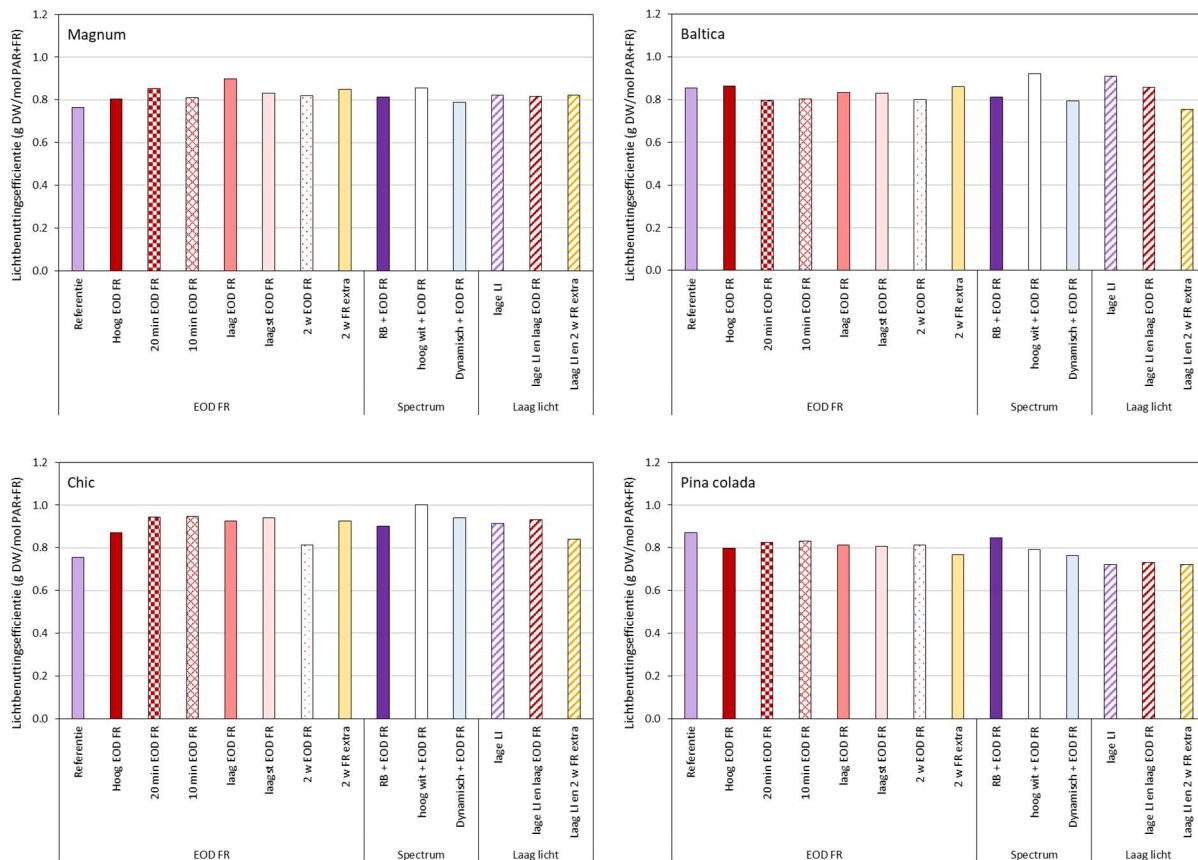
De lichtbenuttingsefficiëntie werd berekend door het totale aantal mol PAR licht dat gedurende de teelt op het gewas (zonlicht en lamplicht) is gevallen te delen door de gevormde biomassa. Dit werd zowel uitgedrukt op basis van het totale plantdrooggewicht (Figuur 4.19) als op basis van het versgewicht van een oogstbare tak van 70 cm (Figuur 4.21). In de meeste behandelingen werd naast het PAR licht (fotosynthetisch actieve straling, tussen 400 en 700 nm) ook verrood licht meegegeven. Omdat dit niet meegerekend wordt in een lichtbenuttingsefficiëntie gebaseerd op PAR licht, is er ook een lichtbenutting berekend op totale foton flux die gegeven is, dus PAR licht plus verrood licht op basis van drooggewicht (Figuur 4.20) en op basis van het versgewicht van de oogstbare tak van 70 cm (Figuur 4.22).

De effecten van de lichtbehandelingen verschillen per ras. Bij *Magnum* en *Chic* is te zien dat de lichtbenuttingsefficiëntie van de meeste behandelingen hoger is dan van de referentie, voor *Baltica* en *Pina colada* geldt dit niet (Figuur 4.19). Bij *Chic* hebben alle behandelingen met "einde van de dag" verrood licht de hoogste lichtbenuttingsefficiëntie, bij andere rassen is dit minder duidelijk. De lichtbenuttingsefficiëntie van de behandelingen met laag licht is vergelijkbaar met die van de behandelingen met hoge lichtintensiteit (Figuur 4.19).



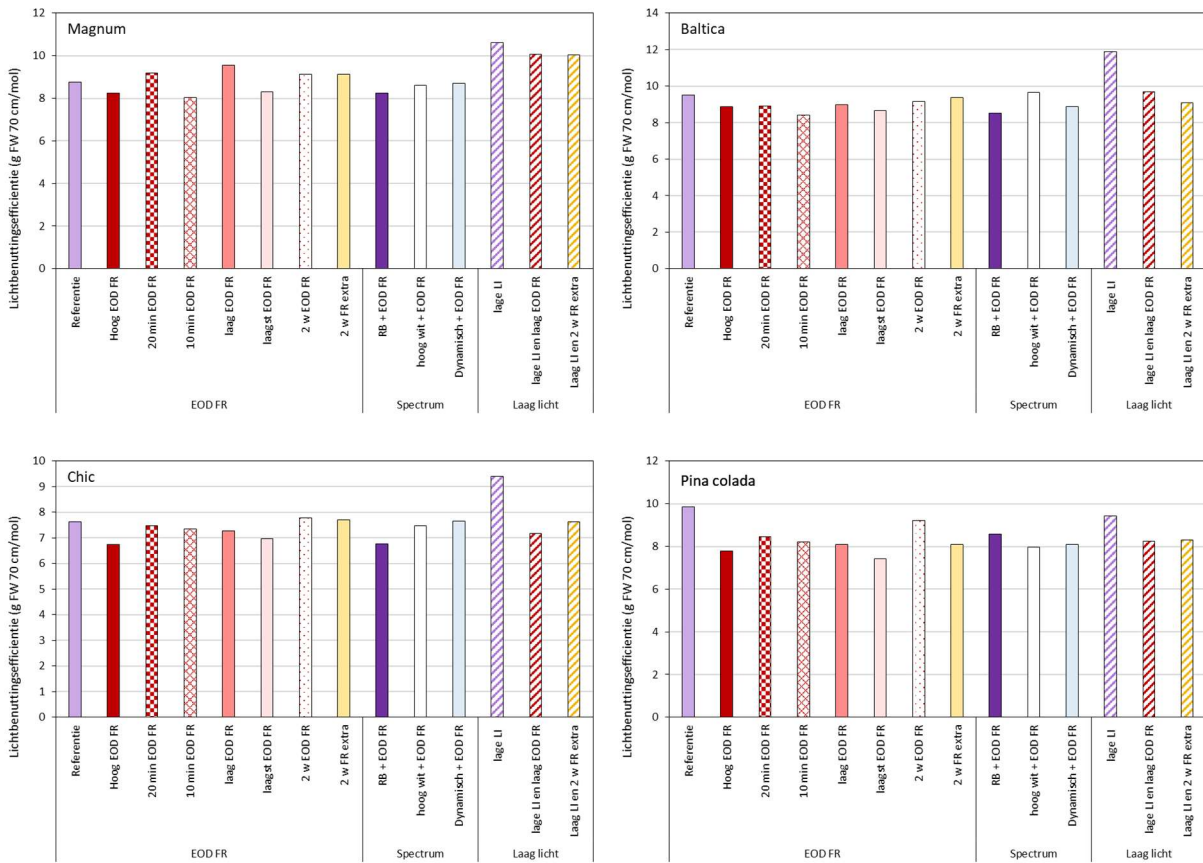
Figuur 4.19. Effect van de lichtbehandelingen op de lichtbenuttingsefficiëntie gebaseerd op het drooggewicht van de bloemtakken en het PAR licht voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

De effecten van de lichtbenuttingsefficiëntie wanneer verrood licht ook meegerekend wordt, verschillen nauwelijks van die zonder verrood licht, gezien het kleine aandeel van het verrode licht op de totale lichtsom (Figuur 4.20).

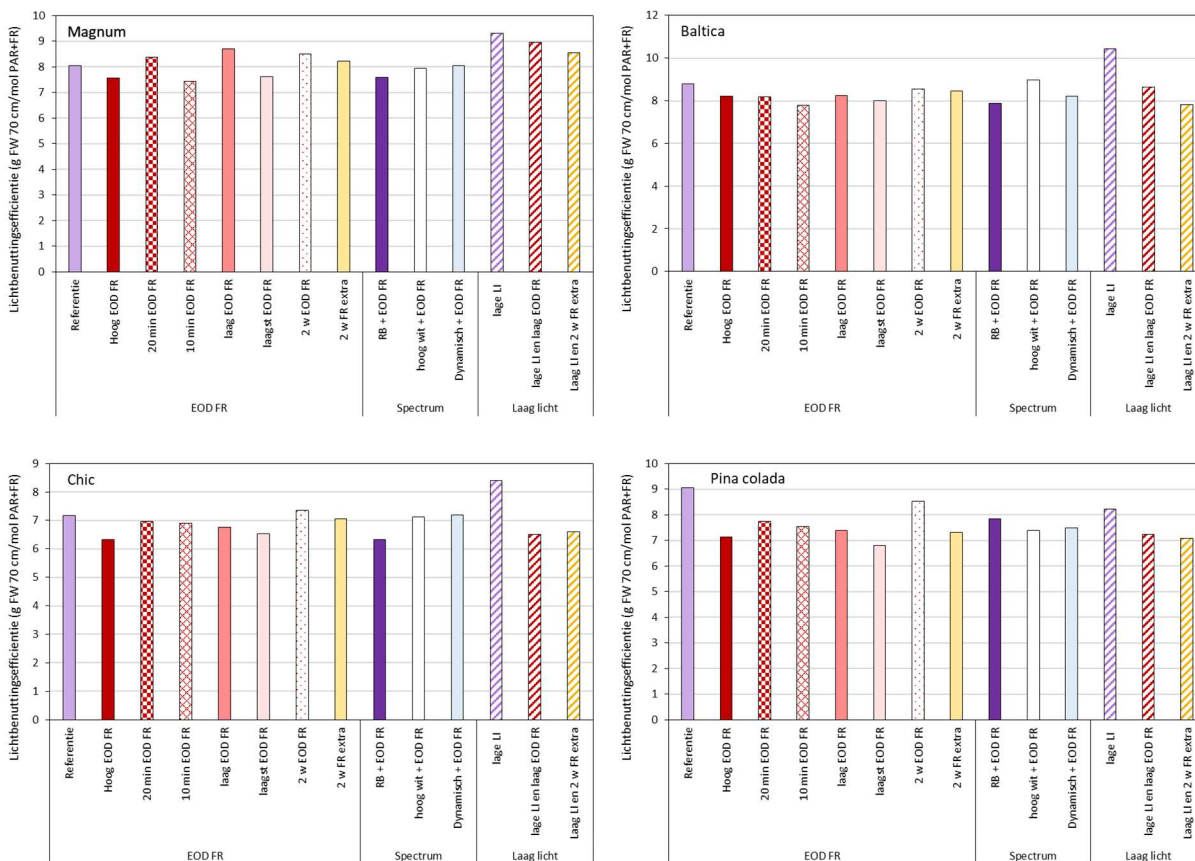


Figuur 4.20. Effect van de lichtbehandelingen op de lichtbenuttingsefficiëntie gebaseerd op het drooggewicht van de bloemtakken en het PAR licht plus het verrode licht voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

Wanneer de lichtbenuttingsefficiëntie wordt bepaald op basis van het versgewicht van de geoogste tak van 70 cm, blijkt deze hoog te zijn voor de behandelingen met lage lichtintensiteit voor Magnum en Baltica. Bij Chic en Pina colada is vooral de lichtbenuttingsefficiëntie van de behandeling lage lichtintensiteit zonder "einde van de dag" verrood hoog. Dit wordt vooral verklaard door het feit dat deze takken ca. 70 cm waren, en de takken van de andere behandelingen langer. Dat betekent dat bij de andere behandelingen meer taklengte en dus gewicht werd weggeknipt, wat de lichtbenuttingsefficiëntie verlaagt, zowel wanneer verrood licht niet mee wordt gerekend (Figuur 4.21), als wanneer dat wel wordt gedaan (Figuur 4.22).



Figuur 4.21. Effect van de lichtbehandelingen op de lichtbenuttingsefficiëntie gebaseerd op het versgewicht van de bloemtakken teruggeknipt op 70 cm en het PAR licht voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.



Figuur 4.22. Effect van de lichtbehandelingen op de lichtbenuttingsefficiëntie gebaseerd op het versgewicht van de bloemtakken teruggeknipt op 70 cm en het PAR licht plus verrode licht voor de rassen Magnum, Baltica, Chic en Pina colada.

4.5 Energie-efficiëntie

Bij de keuze voor een zeker lichtspectrum is niet alleen het effect op het gewas van belang, maar ook de efficiëntie van een zeker lichtspectrum. In deze proef zijn naast de effecten van "einde van de dag" verrood licht en de effecten van een lagere lichtintensiteit ook de effecten bepaald van drie lichtspectra gedurende de dag (allen aangevuld met "einde van de dag" verrood licht):

- 5% blauw licht, 95% rood licht
- 5% blauw licht, 5% groen licht en 90% rood licht
- 5% blauw licht, 15% groen licht en 80% rood licht

De efficiënties van deze lichtspectra (micromolen licht per J elektriciteit) zijn ongeveer 3.7, 3.5 en ca. 3.3 $\mu\text{mol/J}$. Wanneer de efficiëntie van deze LED lichtspectra wordt berekend op basis van de drooggewichten van de vier rassen onder deze drie spectra, de totale LED lichtsom die ze hebben gehad en de efficiënties van de spectra, blijkt dat de efficiëntie van het LED lichtspectrum voor de productie het hoogst is voor het meest efficiënte spectrum, te weten 5% blauw en 95% groen (Tabel 4.4). De hogere biomassa in de behandeling met een hoger aandeel wit licht, wordt niet gecompenseerd door de efficiëntie van het spectrum, zodat de totale efficiëntie van het LED spectrum voor productie voor het spectrum met 15% groen licht lager is dan van het rood/blauwe spectrum.

Tabel 4.4. Effect van drie lichtbehandelingen met een verschillend basisspectrum op de efficiëntie van het LED spectrum voor productie, uitgedrukt in g droge stof geproduceerd per MJ elektriciteit.

| Spectrum | Magnum | Baltica | Chic | Pina colada |
|----------------------------------|---------------|----------------|-------------|--------------------|
| 5% blauw, 95% rood | 4.12 | 4.01 | 4.20 | 4.40 |
| 5% blauw, 5% groen, 90% rood | 3.85 | 4.01 | 3.82 | 3.86 |
| 5% blauw, 15% groen, 80% rood | 3.75 | 3.88 | 3.92 | 3.41 |

5 Conclusies en discussie

In de afgelopen jaren is de belangstelling voor LED belichting onder chrysantentelers flink toe genomen. Bij de keuze van het LED belichtingssysteem is het zaak een goede keuze te maken ten aanzien van efficiëntie van de lampen en het juiste spectrum voor het gewas. Bij de teelt onder full-LED was bij telers de vrees dat de bloemtakken in de winter te kort zouden kunnen blijven. Daarom wordt gezocht naar mogelijkheden om de strekking bij chrysant te sturen met het lightspectrum.

Uit onderzoek gedaan in 2021 bleek dat taklengte onder full-LED heel goed te sturen is door aan het einde van de dag na te belichten met 30 minuten 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht. Dit leidde naast langere bloemtakken tot een teeltversnelling van enkele dagen, en minder sprout onderin het gewas. Een van de svragen die overbleven na dat onderzoek was of eenzelfde effect bereikt kan worden met een lagere intensiteit of een kortere periode "einde van de dag" verrood licht. Andere vragen waren of het "einde van de dag" verrood licht gedurende de hele teelt nodig is, en of extra verrood licht gedurende de dag aan het begin van de teelt zorgt voor een betere wortelgroei van de stekken.

Na het onderzoek met lightspectra dat gedaan is in 2021, zijn de energieprijzen sterk gestegen. Dat zal consequenties hebben voor de belichtingsstrategieën in chrysant en het is aannemelijk dat dit in zal houden dat er in de komende periode belicht zal worden met een lagere intensiteit. Om na te gaan wat de consequenties hiervan zijn op takstrekking, takgewicht en teeltduur, zijn er in dit project ook behandelingen ingezet waarbij de intensiteit van belichting met de helft is teruggebracht naar 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

In de inleiding van dit rapport zijn de onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is het effect van "einde van de dag" verrood licht op groei, strekking, bladafplitsing, biomassa, reactietijd en blad- en takkwaliteit bij verschillende chrysantenrassen?
2. In hoeverre wordt dit effect bepaald door intensiteit van het verrode licht, of de duur van de "einde van de dag" behandeling?
3. Is het voldoende de "einde van de dag" verrood behandeling alleen aan het begin van de teelt (eerste twee weken) te geven?
4. Wat is het effect van een hoger of lager aandeel groen licht in het spectrum op het gewas?
5. Wat zijn de effecten van lagere intensiteit belichting op strekking, takgewicht en bloemkwaliteit?
6. Wat is effect van een periode verrood licht aan het begin van de teelt op het inwortelen van de planten en de uiteindelijke takkwaliteit?

In onderstaande paragrafen worden deze vragen beantwoord.

Wat is het effect van "einde van de dag" verrood licht op groei, strekking, bladafplitsing, biomassa, reactietijd en blad- en takkwaliteit bij verschillende chrysantenrassen?

Deze effecten staan uitgebreid beschreven in hoofdstuk 4. Evenals in de voorgaande proef (zie rapport "Chrysant en alstroemeria: sturen met lightspectrum", Dieleman et al., 2022) leidde een "einde van de dag" behandeling met 30 minuten 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht tot langere bloemtakken, een verkorting van de teeltduur met ca. 2 dagen, maar niet tot een effect op het drooggewicht van de totale tak.

In hoeverre wordt dit effect bepaald door intensiteit van het verrode licht, of de duur van de "einde van de dag" behandeling?

Wanneer de duur van de "einde van de dag" verrood nabelichting wordt teruggebracht naar 20 of 10 minuten blijft het effect op de takstrekking vergelijkbaar met 30 minuten. Dat betekent dat de duur van de "einde van de dag" nabelichting teruggebracht kan worden naar 10 minuten zonder nadelige effecten.

Wanneer de intensiteit van de verrode nabelichting wordt teruggebracht van 20 naar 10 of 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ blijft het effect op takstrekking. Dat betekent ook dat de intensiteit van de "einde van de dag" nabelichting teruggebracht kan worden naar 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Een aandachtspunt hierbij is wel de lichtverdeling in de kas. Omdat 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ een zeer lage intensiteit is, zijn weinig lampen nodig om dit te realiseren. Als hier lampen voor gebruikt worden die alleen verrood licht geven, moet goed gekeken worden naar de lichtverdeling, en moet deze nagemeten worden. Een slechte lichtverdeling in de kas kan er voor zorgen dat op sommige plaatsen de intensiteit verrood licht veel lager is dan 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, en dat kan leiden tot ongewenste inhomogeniteit van het gewas. Dit is veel minder een risico als gebruik gemaakt wordt van modules waarin verrood licht is geïntegreerd, en apart schakelbaar is. Hier kan bij de keuze van een belichtingsinstallatie rekening mee gehouden worden.

Is het voldoende om de "einde van de dag" verrood behandeling alleen aan het begin van de teelt (eerste twee weken) te geven?

Nee, voor het effect op strekking is het niet voldoende om alleen aan het begin van de teelt het "einde van de dag" verrood licht te geven. Onze resultaten laten zien dat als we aan het begin van de teelt "einde van de dag" verrood licht geven, de planten meer strekken. Er worden niet meer bladeren en internodiën gevormd, maar de internodiën strekken meer. Wanneer het "einde van de dag" verrode licht na twee weken wordt afgeschakeld, verdwijnt het effect op de takstrekking, en zijn de bloemtakken uiteindelijk even lang als de behandeling zonder "einde van de dag" verrood licht.

Het gunstige van dit resultaat is dat blijkbaar de "einde van de dag" behandeling met verrood licht ingezet kan worden om tijdelijk takken (extra) te laten strekken. Wanneer men vooral takstrekking in het onderste deel van de bloemtak wil, maar geen strekking van de takjes in de bloemtros, kan het verrode licht aan het einde van de teelt afgeschakeld worden. Hier zijn nog mogelijkheden om met "einde van de dag" verrood licht te sturen, die nog niet bekend zijn of benut worden.

Wat is het effect van een hoger of lager aandeel groen licht in het spectrum op het gewas?

Bij chrysant heeft het verhogen van het aandeel groen licht van 0% naar 5 en naar 15% ten koste van rood licht nagenoeg geen effect te hebben op takstrekking, uitgroeiduur of takgewicht. Dit stemt overeen met resultaten die al eerder waren verkregen (Dieleman e.a., 2022). Wel is het zo dat een hoger aandeel groen licht de lampen minder efficiënt maakt. Wanneer het aandeel groen licht stijgt van 0 naar 5 naar 15%, neemt de efficiëntie van de LEDs af van 3.7 naar 3.5 naar ca. 3.3 $\mu\text{mol}/\text{J}$. Wanneer op basis van het drooggewicht van de tak, totale hoeveelheid LED licht gebruikt gedurende de teelt en de efficiënties van de LEDs bij de verschillende spectra wordt berekend, blijkt dat de totale efficiëntie van het LED spectrum voor productie voor het spectrum met 15% groen licht lager is dan van het rood/blauwe spectrum

Wat zijn de effecten van lagere intensiteit belichting op strekking, takgewicht en bloemkwaliteit?

Het verlagen van de lichtintensiteit heeft grote effecten op uitgroeiduur en takgewicht. Wanneer belicht wordt met 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in plaats van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ is het takgewicht maar ongeveer 2/3 van het takgewicht bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De verlaging van de lichtintensiteit heeft geen invloed op de strekking van de bloemtakken, maar leidt wel tot een vertraging van de teelt. In de behandelingen met laag licht werden de bloemtakken ongeveer 5 dagen later geoogst dan bij hoog licht. Daarmee heeft de teelt bij laag licht gemiddeld een lichtbenuttingsefficiëntie die vergelijkbaar is met die van hoog licht, al zijn er wel verschillen per ras. Het is duidelijk dat niet ieder ras even goed geteeld kan worden bij lage intensiteit.

Wat is effect van een periode verrood licht aan het begin van de teelt op het inwortelen van de planten en de uiteindelijke takkwaliteit?

Geen effect. Een "einde van de dag" behandeling met verrood licht leidt tot langere bloemtakken en een verkorting van de teeltduur met ca. 2 dagen, maar heeft weinig effect op het takgewicht. Dit ondanks het feit dat uit een visuele inspectie van de wortelstelsels van jonge planten (2 weken na planten) blijkt dat "einde van de dag" nabelichten met verrood zorgt voor meer wortelvorming aan het begin van de teelt. Dit effect wordt niet versterkt als daarnaast ook gedurende de dag extra verrood licht wordt gegeven. Alleen "einde van de dag" verrood licht is voldoende om de inworteling van stekken te stimuleren. Dit is ook terug te zien aan het einde van de teelt: een behandeling met extra verrood licht aan het begin van de teelt zorgt niet voor zwaardere bloemtakken.

Deze resultaten laten zien dat het goed mogelijk is om chrysanten onder full-LED te telen, en dat er met lichtkleuren en lichtintensiteit voldoende mogelijkheden het gewas zodanig te sturen dat een gewenste takopbouw en kwaliteit gerealiseerd kan worden.

Literatuur

Dieleman, J.A., Carpineti, C., Kruidhof, M., Geurts, J., Weerheim, K. (2021). Chrysant en alstroemeria: sturen met lichtspectrum, Rapport Wageningen University & Research, WPR-856, 68 pp.

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.

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.

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.

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.

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.

Lund, J.B., Blom, T.J., Aaslyng, J.M. (2007). End-of-day lighting with different red/far-red ratios using light-emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum x morifolium* Romat. "Coral Charm". *Sci. Hortic.* 42: 1609-1611

Maaswinkel, R.H.M.; Leeuwen, A.G.J. van; Ieperen, W. van; Gelder, P. de. (2012). Resultaten onderzoek bolblad chrysant 2011-2012. Rapport Wageningen University & Research, 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.

Meinen, E., F.L.K. Kempkes, M.G.M. Raaphorst, T.A. Dueck. (2015). Energiezuinige belichting bij chrysant. Rapport Wageningen University & Research, GTB-1341, 56 pp.

Nishio, J. N. (2000). Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. *Plant Cell Environ.* 23, 539–548.

Rajapakse, N.C., McMahon, M.J., Kelly, J.W. (1993). End of day far-red light reverses height reduction of *chrysanthemum* induced by CuSO₄ spectral filter. *Sci. Hortic.* 53: 249-259

Correspondentieadres voor dit rapport:

Postbus 20

2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1

2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1157

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.
