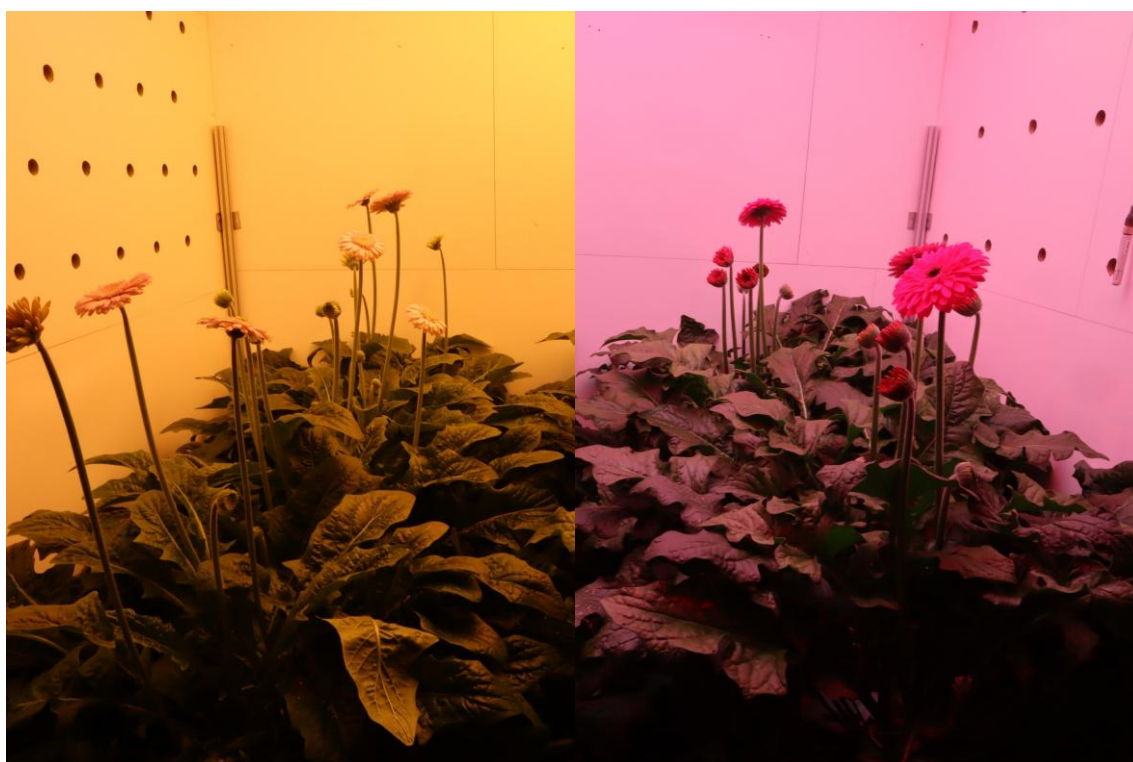


Gerbera jaarrond telen tijdens een energietransitie

Onderzoek naar de lichtbenuttingsefficiëntie onder LED



Oktober 2024

M.W. Bongers, M. Wiekens, S.A.J. van den Boogaart en S.W. Hogewoning

Gerbera jaarrond telen tijdens een energietransitie

Onderzoek naar de lichtbenuttingsefficiëntie onder LED

Oktober 2024

M.W. Bongers, M. Wiekens, S.A.J. van den Boogaart en S.W. Hogewoning

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

Referaat:

M.W. Bongers, M. Wiekens, S.A.J. van den Boogaart en S.W. Hogewoning. 2024. Gerbera jaarrond telen tijdens een energietransitie: onderzoek naar de lichtbenuttingsefficiëntie onder LED. Plant Lighting B.V., Bunnik. 38p.



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Stichting
Kennis in je Kas



© 2024 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Glastuinbouw Nederland en Stichting Kennis in je Kas in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door bijdragen vanuit de gewascoöperatie Gerbera en Signify. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

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

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	5
PROJECTVERANTWOORDING EN DANKWOORD.....	6
1 INLEIDING.....	7
1.1 Energietransitie in de gerberateelt.....	7
1.2 Lichtbenuttingsefficiëntie onder LED	7
1.3 Doel onderzoek	8
2 EXPERIMENT 1	10
2.1 Materiaal en methoden experiment 1	10
2.2 Resultaten experiment 1.....	15
2.3 Conclusies en discussie experiment 1	22
3 EXPERIMENT 2	23
3.1 Materiaal en methoden experiment 2	23
3.2 Resultaten experiment 2.....	27
3.3 Conclusies en discussie experiment 2	32
4 ALGEMENE DISCUSSIE.....	33
5 REFERENTIES.....	35
6 BIJLAGE	36
6.1 Bijlage I Voedingsschema	36
6.2 Bijlage II Verdamping.....	37

Samenvatting

In de gerberateelt zijn de laatste jaren al belangrijke stappen gezet om mee te kunnen in de energietransitie. De belangrijkste stap om te besparen op elektragebruik is de transitie van SON-t naar LED-belichting. Daarbij zijn ook een aantal problemen naar voren gekomen. Telers constateren dat de bloemtakproductie per mol licht achter blijft ten opzichte van wat gebruikelijk was onder SON-t belichting. Het doel van dit onderzoek was om te achterhalen of, en zo ja waarom, de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) voor bloemtakproductie onder LED-belichting lager is dan onder SON-t.

Er zijn twee experimenten uitgevoerd in klimaatcellen van Plant Lighting waarin het winterseizoen is gesimuleerd. Daarin is de productie van gerbera onder SON-t vergeleken met die onder LED (R89% G5% B6%) en zijn alle overige omstandigheden zo gelijk mogelijk gehouden. Daarbij zijn meerdere varianten LED-belichting getoetst welke een verschil in productie tussen SON-t en LED zouden kunnen verklaren, waaronder effecten van lichtspectrum, temperatuur en stralingswarmte.

In experiment 1 liet cultivar Madeira geen verschil in productie zien tussen de verschillende behandelingen. Cultivar Kimsey produceerde 13% meer bloemtakken onder SON-t dan onder LED RGB (beide 11.5 uur daglengte). Echter, die meerproductie kon niet verklaard worden vanuit de overige LED-behandelingen: de toevoeging van 12% verrood licht, een hogere planttemperatuur, en meer of minder verschil tussen dag- en nachttemperatuur (DIF) gaven geen productieverhoging.

In experiment 2 is alleen cultivar Kimsey getoetst op de dubbele oppervlakte, met één in plaats van twee cultivars per klimaatcabine. Twee behandelingen waren een herhaling van experiment 1: SON-t tegenover LED RGB bij 11.5 uur daglengte. Ditmaal produceerde het gewas niet meer bloemtakken onder SON-t. Dezelfde behandelingen zijn ook getoetst bij 10 uur daglengte, waarbij SON-t wel weer meer produceerde. Wederom kon een eventuele meerproductie onder SON-t niet verklaard vanuit de ditmaal getoetste LED-varianten (LED spectrum met een groter aandeel wit en LED + nabij-infrarode stralingswarmte).

Er is dus geen consistente meerproductie gemeten onder SON-t dan onder LED. Het feit dat Kimsey in experiment 1 wel een meerproductie gaf onder SON-t lijkt toeval, want dit resultaat kon niet worden gereproduceerd in experiment 2. Ook alle logische factoren die een verschil in productie onder SON-t tegenover LED RGB zouden kunnen verklaren (lichtspectrum, stralingswarmte, temperatuur) bleken geen effect te hebben. Als er al reproduceerbare verschillen in productie zijn, dan zullen die hooguit klein zijn en is een veel groter opgezet experiment nodig om dit aan te kunnen tonen. Dan rest nog de vraag waarom in de praktijk dan wel een lagere LBE voor bloemtakproductie wordt ervaren onder LED-belichting. Mogelijk speelt een goede meting van de lichtsom een rol, of zijn de gerealiseerde lichtsommen onder LED hoger, wat de LBE bij gerbera inderdaad kan verlagen. Verder verdient het microklimaat aandacht, wat wellicht invloed heeft op de mate van generativiteit van gerbera.

Projectverantwoording en dankwoord

In dit rapport staan de resultaten van twee opeenvolgende experimenten waarin onderzocht is of en waarom de lichtbenuttingsefficiëntie onder LED-belichting lager kan zijn dan onder SON-t-belichting. Kennis die leidt tot een betere lichtbenutting voor groei onder LED stimuleert de overgang naar full-LED in kassen en draagt daarmee bij aan de energietransitie.

Dit is het formele eindrapport van project 'Gerbera jaarrond telen tijdens een energietransitie', waarbinnen het tweede hier gerapporteerde experiment valt. Het eerste hier gerapporteerde experiment valt formeel onder project 'Gerbera jaarrond telen in een energiecrisis: how low can you go?'. Beide experimenten sluiten goed op elkaar aan, en daarom is ervoor gekozen ze in dit rapport te combineren. In het kader van laatstgenoemd project volgt nog een rapport over een derde nog uit te voeren experiment over de reactie van gerbera op lage temperaturen en belichting in de winter.

Dit onderzoek is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron' gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Glastuinbouw Nederland/Stichting Kennis in je Kas (Kijk), de gewas-coöperatie gerbera en Signify.

We willen een aantal mensen bedanken voor hun bijdrage aan dit onderzoek. Marco de Groot (Flori Consult groep) voor de teeltbegeleiding, Hans van Holstein (Holstein Flowers), Hen Groenewegen (EveryD Flowers) en Leontiene van Genuchten (Signify) voor hun bijdrage aan de interessante discussies tijdens de BCO's. Mark Meijers (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Marjolijn Valkenhoef, Dennis Medema en Robert Solleveld van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

Oktober 2024,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

1.1 Energietransitie in de gerberateelt

Gerbera is een meerjarig gewas dat jaarrond in kassen geteeld wordt. Met iets minder dan 200 ha is gerbera één van de grotere sierteeltgewassen in Nederland. Voor een jaarrond energiezuinige en hoogproductieve gerberateelt is in de winter belichting nodig. Om een concurrerende positie te behouden is dit belangrijk, want alleen seizoensteelt is geen aantrekkelijk alternatief. Hoge producties in de winter met zo min mogelijk gebruik van energie en CO₂, vragen wel een kapitaal- en kennisintensieve teelt. Immers, belichten met een dimbare full-LED-installatie, meerdere schermdoeken voor een goede isolatie, en daardoor een complexere vochtbeheersing, en alternatieve warmtebronnen, dat vraagt allemaal om forse investeringen. De teelt wordt steeds kennisintensiever, want er moet scherp aan de wind gezeild worden om met weinig energiegebruik binnen de klimaatgrenzen te blijven waarbij het gewas nog goed functioneert.

In de gerberateelt zijn de laatste jaren al belangrijke stappen gezet om mee te kunnen in de energietransitie. De belangrijkste stap om te besparen op elektragebruik is de transitie van SON-t- naar LED-belichting. Daarmee kan inmiddels ruim 50% op elektra bespaard worden per μmol belichting. Daarbij zijn ook een aantal problemen naar voren gekomen. Telers constateren dat de bloemtakproductie per mol licht achter blijft ten opzichte van wat gebruikelijk was onder SON-t belichting. Verder ontstaan kwaliteitsproblemen ('rotkoppen') die waarschijnlijk gerelateerd zijn aan de vocht- en energiebalans in de kas. De lagere productiviteit is met name een zorg die telers ervan weerhoudt om de stap naar volledige belichting met LED te zetten.

1.2 Lichtbenuttingsefficiëntie onder LED

Dit onderzoek richt zich op de vraag of, en zo ja waarom, de lichtbenuttingsefficiëntie onder LED-belichting lager is dan onder SON-t belichting. In de praktijk wordt waargenomen dat er omgerekend per mol licht minder bloemtakken per m² per week worden geoogst sinds de introductie van LED-belichting (de Groot, 2024). Dit is dus een constatering op anekdotische basis, waarbij niet uitgesloten is dat andere factoren dan de overstap van SON-t naar LED ook een rol spelen. Eerder onderzoek aan Gerbera cv. Kimsey heeft nauwelijks verschil in winterproductie (in aantal stelen per mol licht) laten zien tussen LED en SON-t (Dueck et al., 2015). Echter, in dat onderzoek was er ook een verschil in temperatuur en in daglengte tussen de behandelingen. Daardoor kan geen zuivere conclusie over het effect LED tegenover SON-t meer worden getrokken.

Op basis van algemene plantkundige kennis in combinatie met inzichten uit de praktijk kunnen een aantal hypothesen worden geformuleerd waarom onder LED per mol licht minder stelen geproduceerd *zouden kunnen worden* dan voorheen onder SON-t. Die worden hieronder besproken:

1. Lichtsom. Sinds de overstap naar LED is de intensiteit belichting veelal verhoogd. Waar voorheen in de gerberateelt rond de 70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-t belichting gebruikelijk was, wordt met LED veelal met 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ of meer belicht. Eerder is door Plant Lighting aangetoond dat een hogere lichtsom bij gerbera weliswaar meer productie geeft, maar ook een lagere lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) in stelen per mol licht (Bongers et al., 2022). Dit effect was sterker bij cv. Kimsey dan bij cv. Rich. Kimsey had een LBE van 3.6 en 4.7 mol/steel bij respectievelijk 7 en 12 mol PAR/ m^2/dag . Bij Rich was dat 7.5 en 7.8 mol/steel bij respectievelijk 7 en 12 mol/ m^2/dag . De bloemtakken waren wat zwaarder en de uitgroeiduur was iets korter bij de 12 mol behandeling. Ook was bij Kimsey het percentage drogestof van de bloemtakken wat hoger bij 12 mol. Dit verklaart al op zijn minst voor een gedeelte het verschil in LBE. Het aantal scheuten was bij Kimsey ook niet in eenzelfde verhouding als de lichtsom toegenomen bij 12 mol/ m^2/dag , terwijl dat bij Rich wel zo was. Wellicht is er bij de hogere lichtsom op gewasniveau ook enige mate van lichtverzadiging van de fotosynthese geweest, hoewel dit effect bij deze lichtsommen naar verwachting klein zal zijn.
2. Lichtspectrum. Gerberatelers met LED-belichting hebben veelal een rood/blauw of rood/wit/blauw spectrum, waarvan een groot aandeel rood. SON-t straalt licht uit met een veel lager percentage rood en een hoger percentage groen licht, en straalt tevens een klein aandeel verrood licht uit. Met name verrood geeft bij meerdere gewassen een generatieve respons. Bij onder andere Oriëntal lelies (Hogewoning et al., 2021), lisianthus (van den Boogaart et al., 2022), en in mindere mate ook bij chrysaant (lopend onderzoek Plant Lighting) kan een aandeel verrood licht de bloei versnellen vergeleken met een spectrum zonder verrood. Wellicht verhoogt toevoeging van verrood aan het LED-spectrum de bloemtakproductie van gerbera.
3. Temperatuur. In de praktijk viel op dat onder LED de uitgroeiduur langer werd en de bloemen groter werden. Onder LED is in de praktijk vaak ook een hogere nachttemperatuur aangehouden (bron: Flori Consult Group). Wellicht beïnvloedt het verschil tussen dag- en nachttemperatuur (DIF) de generativiteit. Verder straalt SON-t nabij-infrarode stralingswarmte (NIR) uit en LED niet. Hoewel eerder onderzoek heeft aangetoond dat gerbera niet meer bloemtakken produceert bij een hogere temperatuur (Bongers et al., 2022), zou het effect van stralingswarmte op de temperatuurverdeling binnen het gewas wellicht de bloemtakproductie kunnen beïnvloeden.

1.3 Doel onderzoek

De doelstelling van dit onderzoek is om te achterhalen of en waarom de lichtbenuttings-efficiëntie onder LED-belichting lager is dan onder SON-t belichting. Een verklaring draagt bij aan de oplossing en kan daarmee de transitie naar LED versnellen.

In twee experimenten met ieder zes proefbehandelingen wordt in klimaatcabines van Plant Lighting getoetst wat het effect is van bovenstaande factoren op de productiviteit en ontwikkeling van Gerbera.

In experiment 1 is de productie en ontwikkeling van de cultivars Kimsey en Madeira onder SON-t belichting vergeleken met 'standaard' LED R89%G5%B6% (geen verrood) bij verder gelijke omstandigheden (11.5 uur daglengte, 19°C etmaaltemperatuur). Daarnaast zijn de volgende varianten op de LED-behandeling getoetst: een hogere etmaaltemperatuur (+1.3°C), een groter verschil tussen dag en nacht temperatuur (+ DIF), een kleiner verschil tussen dag en nacht temperatuur (0 DIF), en toevoeging van verrood licht. Dit om te toetsen wat eventuele verschillen in productie tussen SON-t en 'standaard' LED kan verklaren.

In het tweede experiment is gekozen voor alleen Kimsey, omdat deze cultivar wat gevoeliger bleek te zijn voor de behandelingen. In experiment 2 is wederom de productie onder SON-t belichting vergeleken met 'standaard' LED R89%G5%B6% in combinatie met 11.5 uur daglengte. De effecten van de toevoeging van stralingswarmte aan LED zijn onderzocht om de effecten van lichtspectrum en stralingswarmte van elkaar te onderscheiden. Verder is het effect van een breedband ('wit') LED-spectrum getoetst en het effect van een kortere daglengte (10 uur bij zowel SON-t als LED).

2 Experiment 1

De volgende vier onderzoeksvragen zijn geformuleerd voor deze proef:

1. Is er meer bloemtakproductie onder SON-t dan onder 'standaard' LED?
2. Beïnvloedt toevoeging van verrood aan het LED-spectrum de bloemtakproductie?
3. Wat is het effect van etmaaltemperatuur?
4. Wat is het effect van verschillen tussen dag- en nachttemperatuur (DIF)?

2.1 Materiaal en methoden experiment 1

De proef is opgezet in een van de klimaatcellen van Plant Lighting in Bunnik. In deze klimaatcel staan zes klimaatcabines, waarin zes behandelingen getoetst konden worden. Elke cabine was voorzien van twee aparte kraanvakken, verdeeld per cultivar.

Deze proef is uitgevoerd voor de cultivars Kimsey en Madeira. Zie tabel 2-1 en 2.2 voor teeltgegevens en tijdslijn. Het startmateriaal is opgekweekt bij Schreurs en opgepot in 19 cm grote potten met steenwol blokjes (growcube). Bij aankomst in de klimaatcel hadden de planten van Madeira één scheut (Figuur 2-1). Kimsey had 2 tot 3 scheuten per plant, welke zo zijn verdeeld dat de middelste twee planten 3 scheuten hadden en de buitenste vier planten 2 scheuten. Het totaal aantal scheuten bij de start van de proef was daardoor in alle behandelingen gelijk. Tijdens de eerste 4 weken is alleen belicht met gesimuleerd zonlicht (Sunlite, Specialty Lighting Holland; Figuur 2-4) en het klimaat is gelijk gehouden ter acclimatisatie van de planten. Tijdens deze acclimatie-periode is groei gestimuleerd door alle planten 16 uur per dag te belichten en iets warmer te telen (22°C) dan na start van de proefbehandelingen.

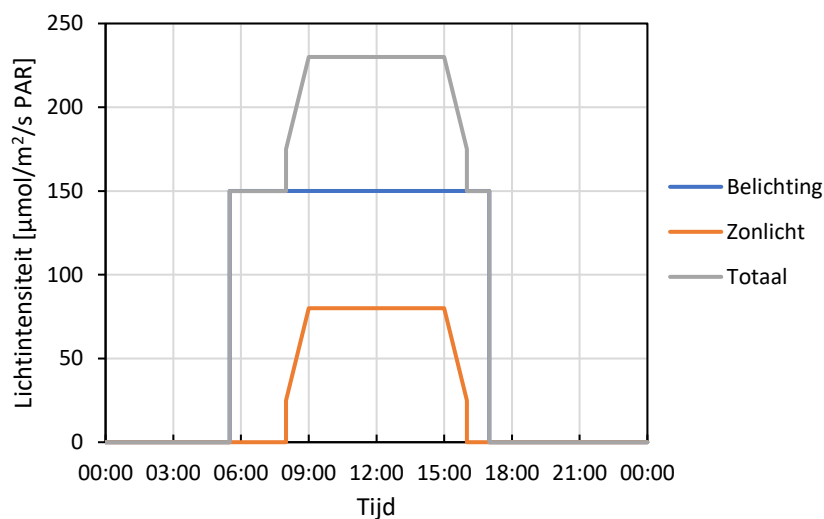
Tabel 2-1 Teeltgegevens van experiment 1.

Parameter	Waarde
Plantmateriaal	Kimsey en Madeira (per behandeling per ras netto 1m ² en 6 pl/m ²) 6 planten per cultivar per klimaatcabine (cabine was in twee helften opgedeeld)
Temperatuur	Eerste 4 weken 22°C etmaal, daarna 19 en 20.3°C etmaal (zie Tabel 2-3)
Luchtvochtigheid	70/75% D/N
CO ₂	800 ppm overdag
Belichting	Eerste 4 weken 16 uur per dag, 195 µmol/m ² /s, 10.6 mol per dag. Na start behandeling: Zonlicht wintersimulatie 80 µmol/m ² /d, 8 uur per dag, 2.1 mol/m ² /d. Belichtingsintensiteit 150 µmol/m ² /s, 6.2 mol/m ² /d (SON-t of LED RGB) Dagsom 8.3 mol/m ² /d Zonlicht loopt gedurende het eerste en laatste uur van de dag geleidelijk op en af van 26 tot 80 µmol/m ² /s en vice versa (195 µmol/m ² /s in eerste 4 weken).
Daglengthe	Eerste 4 weken 16 uur per dag, na start behandeling 11.5 uur per dag.
Watergift	Gift gestuurd op 40-50% drain, Kimsey 2.5 tot 1.5 L/m ² per dag, Madeira 3-4 L/m ² per dag.
Voeding	Gift EC 2.4 mS/cm en pH 5.7. Het voedingsschema is in week 7 aangepast om de drain pH te verlagen. Zie bijlage 6.1 voor het voedingsschema.

Na 4 weken zijn de behandelingen gestart (Tabel 2-3). Hierbij is verschil gemaakt in belichting (Figuur 2-4), etmaaltemperatuur, en in dag/nacht temperatuur (DIF). De daglengte van 11.5 uur en PAR-som (8.3 mol/m²/dag) was in alle behandelingen gelijk. De belichtingstijden en het verloop van de lichtintensiteit over de dag staan in figuur 2-2. De lichtintensiteit is ingeregeld met een LI-190R PAR-meter (LI-COR) en gecontroleerd met een spectroradiometer (Ocean Optics) om uit te sluiten dat er substantiële verschillen (>2%) in lichtintensiteit waren.



Figuur 2-1 Indruk van de planten bij de start van de proef (links, met tijdelijk aangehouden reserveplanten) en na 4 weken bij de start van de behandelingen (rechts). Zie figuur 2-5 voor een overzicht van het gewas aan het eind van de proef.



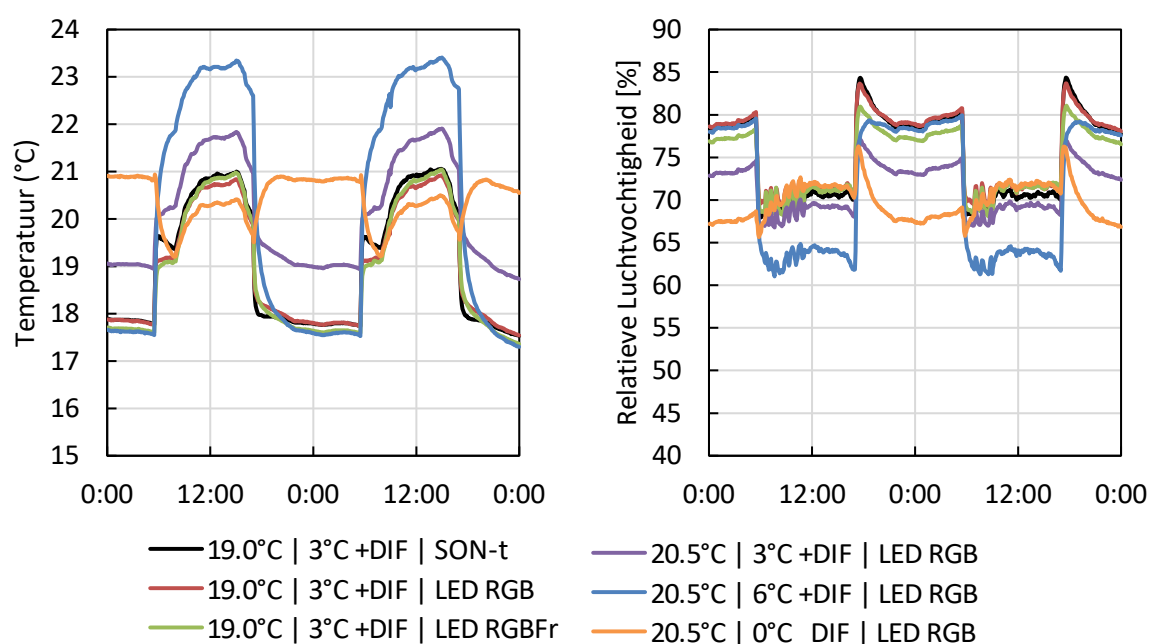
Figuur 2-2 Verloop van de lichtintensiteit over de dag. Belichting (150 µmol/m²/s) start om 5:30 tot 17:00 uur. Gesimuleerd zonlicht start om 8:00 uur tot 16:00 uur met een verloop in het eerste en laatste uur van 25 tot 80 µmol/m²/s.

Tabel 2-2. Tijdslijn experiment 1.

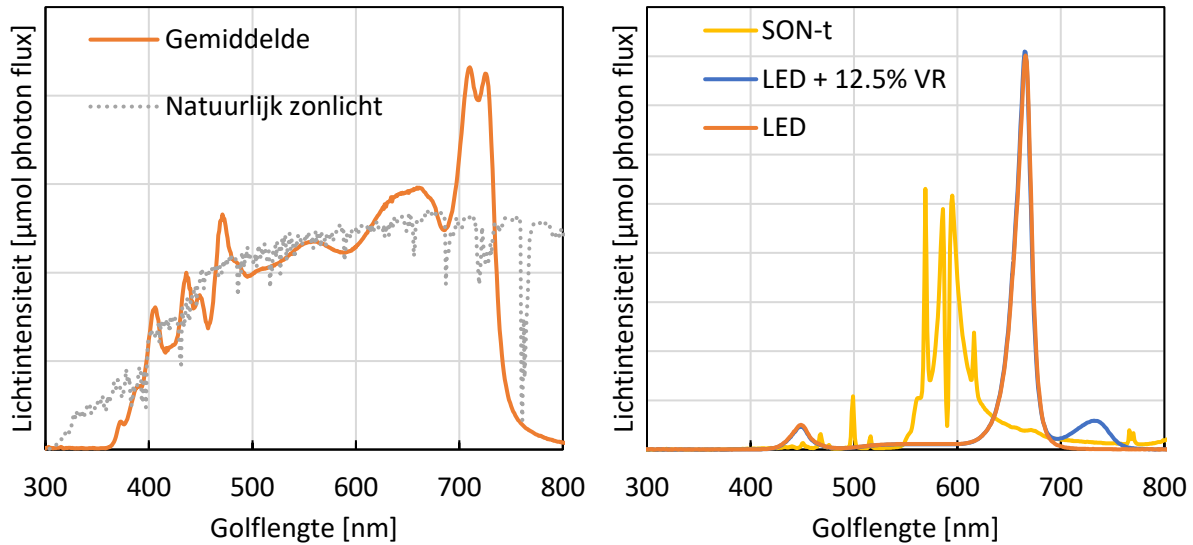
Datum	Proefweek (na start behandeling)	Gebeurtenis
23 mei 2023	-4	Start proef, gestart met alleen zonlicht 16 uur per dag.
23 juni 2023	0	Start behandelingen (11.5 uur daglengte)
13 juli 2023	3	Watergeef systeem gesplitst tussen Madeira en Kimsey
21 juli 2023	4	Stabiele bloemproductie
09 augustus 2023	7	Voedingsschema aangepast om pH te verlagen
13 november 2023	20	Einde proef

Tabel 2-3 Behandelingen met gerealiseerde etmaaltemperatuur, dag- en nachttemperatuur en lichtspectrum.

Behandeling	Etmaal-Temperatuur	Dag-temperatuur	Nacht-temperatuur	Spectrum (R/G/B)
19.0°C 3°C +DIF SON-t	19.0	20.6	17.6	SON-t 39/57/3
19.0°C 3°C +DIF LED RGB	19.0	20.4	17.7	89/5/6
19.0°C 3°C +DIF LED RGBFr	19.0	20.4	17.6	89/5/6+12%Vr
20.5°C 3°C +DIF LED RGB	20.3	21.5	19.2	89/5/6
20.5°C 6°C +DIF LED RGB	20.2	22.8	17.8	89/5/6
20.5°C 0°C DIF LED RGB	20.4	20.3	20.6	89/5/6



Figuur 2-3 Voorbeeld van het klimaat in de klimaatcabines op 27 en 28 augustus 2023, links temperatuur, rechts luchtvochtigheid.



Figuur 2-4. Spectra van de kunstmatige zonlichtbelichting (Sunlite, Specialty Lighting Holland) naast natuurlijk zonlicht (links) en de spectra van de toegepaste SON-t en LED- belichting (rechts).

2.1.1 Metingen

De volgende metingen zijn routinematig uitgevoerd binnen deze proef:

- De watergift is bijgehouden en tweemaal per week zijn het volume, de EC en de pH van de drain per kraanvak gemeten. Hiermee is de verdamping berekend (Bijlage 6.2)
- In proefweek -4, 0 en 7 zijn monsters van giftwater opgestuurd voor een nutriënten en sporenanalyse. Daarnaast zijn ook monsters van het drainwater opgestuurd in proefweek 3 en 9. Een overzicht hiervan is te vinden in bijlage 6.1.
- Rijpe bloemtakken zijn driemaal per week geoogst. Hierbij is de bloemtak uitgebroken en zijn de volgende parameters per bloemtak gemeten:
 - Bloemdiameter.
 - Bloemlengte vanaf het onderste deel van de stengel tot bovenkant bloem.
 - Verkoopbaarheid, welke visueel bepaald is.
 - Bloemtakgewicht op uitgebroken lengte en op 48 cm (veilinglengte).
 - De uitgroeiduur. Op iedere vrijdag zijn alle knoppen die op die dag tussen 2 en 4 cm waren gelabeld, zodat het aantal dagen tot oogst bepaald kon worden.
- Wekelijks is de plantbelasting op vrijdag bepaald, door het aantal bloemtakken groter dan 2 cm per plant te tellen.
- In proefweek 0, 6, 11 en 20 is er een bladtelling uitgevoerd van alle planten. Op die momenten is ook dood blad verwijderd. Het aantal dode bladeren is per plant bijgehouden.
- Het drogestofpercentage van de bloemtakken is bepaald door op 5 oogstdagen alle beschikbare bloemtakken te drogen en het drooggewicht te wegen (n=5). Het totale bloemtakdrooggewicht is berekend door het versgewicht per plant te vermenigvuldigen met het gemiddelde percentage drogestof van alle gemeten bloemtakken over alle behandelingen. Dit omdat het percentage drogestof van de bloemtakken niet significant verschilde tussen behandelingen.

Aan het eind van de proef is een destructieve oogst gedaan en zijn de volgende metingen uitgevoerd aan 6 planten per cultivar per behandeling tenzij anders aangegeven:

- Aantal bladeren
- Versgewicht en drooggewicht blad
- Aantal bloemen/knoppen
- Versgewicht en drooggewicht bloemen/knoppen
- Aantal scheuten
- Versgewicht en drooggewicht scheuten
- Aantal bladeren per laatste voortzetting (alleen bij SON-t en LED RGB 19°C en LED RGB 20.5°C),
 - Waaruit berekend het aantal voortzettingen, met het aantal bladeren gedeeld door aantal bladeren per voortzetting en het aantal scheuten
- Lengte en breedte blad (5 blad per plant)
- Bladoppervlakte aan 2 planten per behandeling en LMA (bladgewicht per m² blad). Uit de LMA en het drooggewicht van alle bladeren is de volledige bladoppervlakte berekend.

Het aantal voortzettingen is berekend om een indruk te krijgen van de snelheid waarop de plant zich voortzet. Als de plant sneller een nieuwe voortzetting maakt worden er in dezelfde tijdsperiode meer voortzettingen gemaakt.

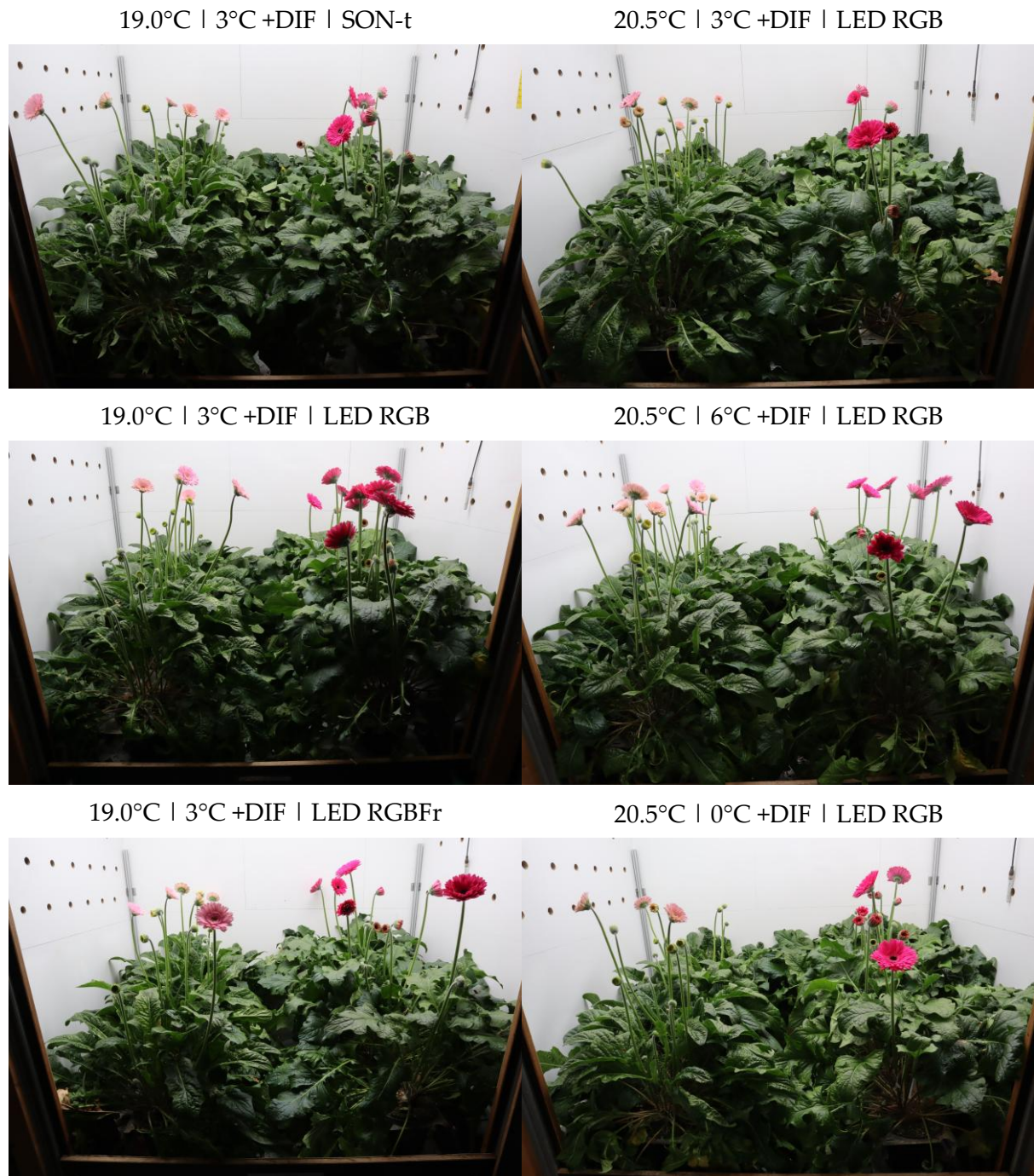
Fotosynthese is met een Li-6800 (LI-COR) fotosynthesemeter gemeten om te bepalen of er een verschil is in fotosynthese eigenschappen van bladeren ontwikkeld onder SON-t of LED RGB. Hiertoe is aan 20 tot 24 bladeren per behandeling gescreend bij een in de meetkop ingestelde lichtintensiteit van 230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, vergelijkbaar met de maximale lichtintensiteit in de proef. De CO₂ concentratie was 800 ppm. Het spectrum in de fotosynthesemeter was 90% rood en 10% blauw. De metingen zijn 19 en 20 weken na start van de behandelingen uitgevoerd.

Planttemperatuur is gemeten gedurende 24 uur op dag 76 na start behandelingen. Hiervoor is gebruik gemaakt van vooraf gekalibreerde infrarood temperatuur sensoren (AGRI AutoSmart IRT/c, CLEVERir). Er is gemeten bij Kimsey en Madeira SON-t 19 °C, LED RGB 19 °C en LED RGB 20.5 °C met 1 sensor per behandeling en cultivar. De scheuttemperatuur is gemeten met een thermokoppel bij het hart van de plant, net boven de steenwolschijf. Dit is gemeten bij de behandelingen SON-t 19 °C en LED RGB 19 °C bij Kimsey en Madeira. Hierbij zijn 2 sensoren per behandeling per cultivar gebruikt. De meting is uitgevoerd gedurende 2 etmalen op dag 141 en 142 na start behandeling.

Voor de statistische analyse zijn de zes planten per behandeling behandeld als herhalingen, hoewel er in deze opzet uiteraard geen sprake is van onafhankelijke herhalingen, omdat de individuele planten elkaar beïnvloeden door beschaduwing. Statistische analyse is gedaan met een ANOVA gevolgd door Tukey voor paarsgewijze vergelijkingen als er significante verschillen zijn in de ANOVA. Statistiek is uitgevoerd in R. Aannames zijn getest met een qq-plot voor een normale verdeling en Levene's test voor homogeniteit van variantie.

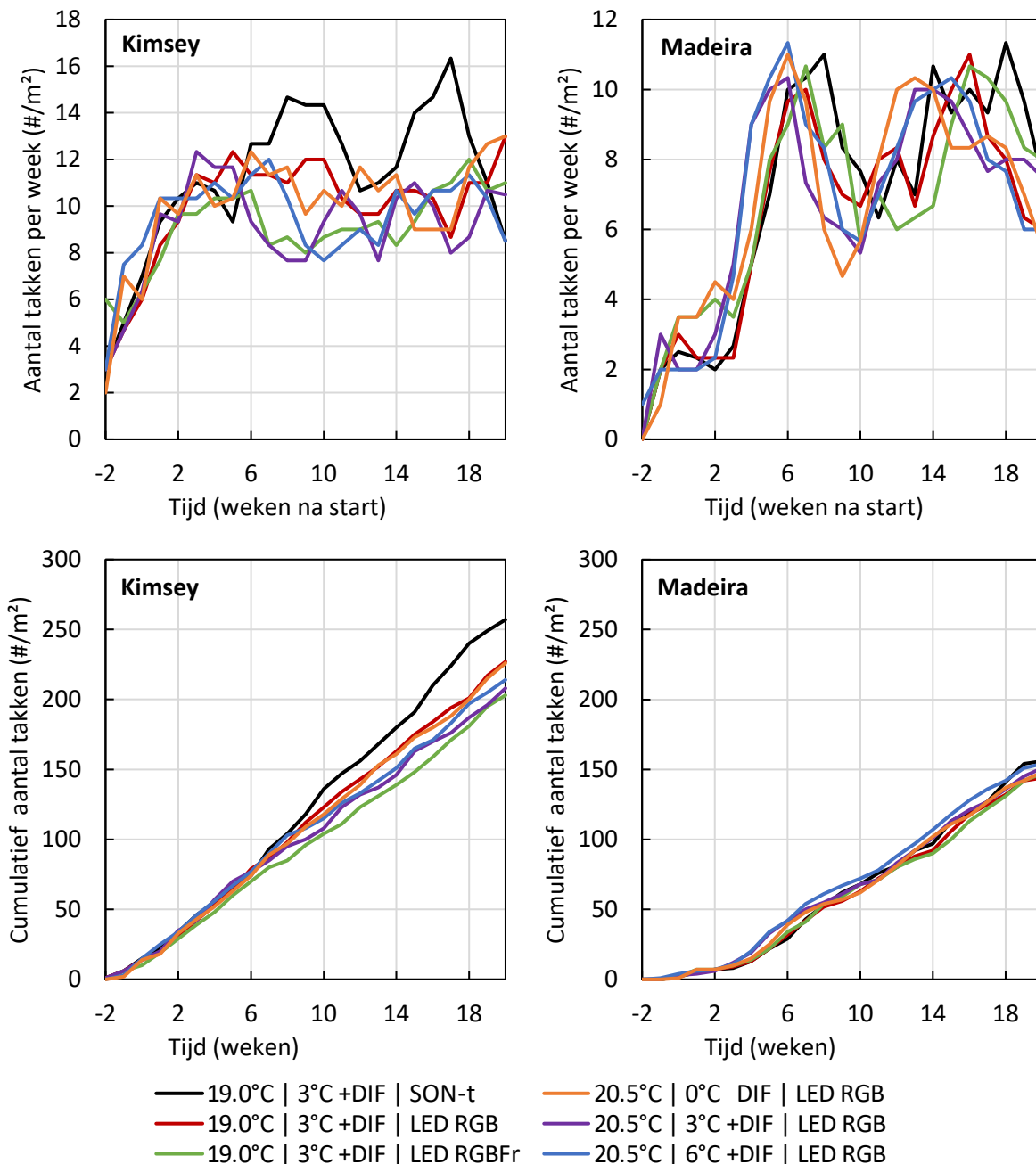
2.2 Resultaten experiment 1

De productie in aantal takken per m² was bij Kimsey hoger bij de behandeling met SON-t in vergelijking met LED RGB (Figuur 2-6 en tabel 2-4). Hoewel het verschil niet statistisch significant is. Door de toevoeging van verrood (LED RGBFr) lijkt de productie iets lager. De hogere productie bij SON-t wordt dus niet verklaard door het ontbreken van verrood in het LED RGB spectrum. In geproduceerd aantal takken is er geen opvallend effect van de hogere etmaaltemperatuur of de DIF-behandelingen bij Kimsey.



Figuur 2-5 Overzichtsfoto's van de behandelingen aan het eind van de proef.

Bij Madeira is er geen verschil in productie tussen SON-t en de verschillende LED-behandelingen (Figuur 2-6). Bij zowel Kimsey als Madeira is het gemiddelde bloemgewicht lager bij de hogere etmaaltemperatuur (Tabel 2-5). Dit komt overeen met een kortere uitgroeiduur. Spectrum of DIF hadden geen effect op deze oogstparameters. Ook de bloemtaklengte wordt niet of nauwelijks beïnvloedt door de verschillende proef-behandelingen.



Figuur 2-6 Productie aantal bloemtakken gedurende experiment 1. Boven: Lopend gemiddelde per 3 weken van de productie per week. Onder: Cumulatieve productie (aantal takken/m²). Links cultivaar Kimsey, Rechts cultivaar Madeira. De tijd is weergegeven in weken na start behandeling, de oogst startte 2 weken voor de start van behandeling. De verschillen tussen behandelingen zijn niet statistisch significant ($p < 0.05$, $n=6$).

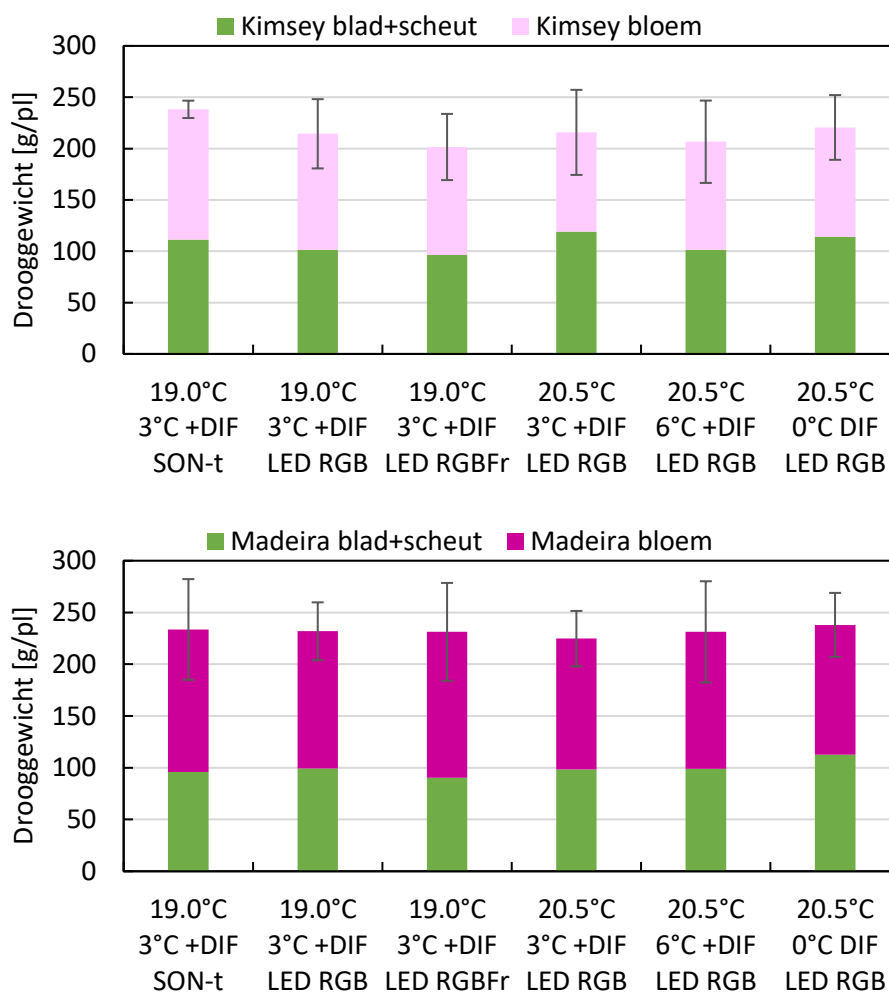
Tabel 2-4 Productiegegevens gedurende experiment 1. De gegevens zijn weergegeven in aantal of gewicht per m² (6 planten). Vanaf week 4 werd de productie als stabiel beschouwd. De LBE en weekproductie is berekend met de data vanaf dit moment. De totale lichtsom gedurende deze periode was in totaal 954.5 mol/m². ns=niet significant ($p < 0.05$, $N=6$).

	Cum. aantal takken	Bloemgewicht cum. [kg vers]	Cum. aantal takken (stabiel)	Bloemgewicht cum. (stabiel) [kg vers]	LBE mol/tak	LBE g/mol	Weekproductie
Kimsey							
19.0°C 3°C +DIF SON-t	257 ^{ns}	7.8 ^{ns}	211	6.2	4.5	6.51	12.1
19.0°C 3°C +DIF LED RGB	227 ^{ns}	6.9 ^{ns}	185	5.5	5.2	5.75	10.6
19.0°C 3°C +DIF LED RGBFr	203 ^{ns}	6.4 ^{ns}	164	5.1	5.8	5.30	9.4
20.5°C 3°C +DIF LED RGB	208 ^{ns}	5.9 ^{ns}	166	4.6	5.8	4.78	9.5
20.5°C 6°C +DIF LED RGB	214 ^{ns}	6.3 ^{ns}	168	4.8	5.7	5.01	9.6
20.5°C 0°C DIF LED RGB	226 ^{ns}	6.6 ^{ns}	183	5.1	5.2	5.36	10.5
Madeira							
19.0°C 3°C +DIF SON-t	156 ^{ns}	6.6 ^{ns}	148	6.2	6.4	6.51	8.5
19.0°C 3°C +DIF LED RGB	144 ^{ns}	6.2 ^{ns}	135	5.7	7.1	5.95	7.7
19.0°C 3°C +DIF LED RGBFr	147 ^{ns}	6.7 ^{ns}	137	6.1	7.0	6.44	7.9
20.5°C 3°C +DIF LED RGB	151 ^{ns}	6.2 ^{ns}	139	5.6	6.9	5.85	8.0
20.5°C 6°C +DIF LED RGB	154 ^{ns}	6.3 ^{ns}	143	5.8	6.7	6.08	8.2
20.5°C 0°C DIF LED RGB	148 ^{ns}	6.0 ^{ns}	138	5.4	6.9	5.69	7.9

Tabel 2-5 Oogstgegevens gemeten gedurende experiment 1. Data zijn gemiddelden van de takken vanaf het moment dat de productie stabiel is, onverkoopbare takken zijn niet meegeteld. Voor de uitgroeiduur zijn op iedere vrijdag alle knoppen tussen 2 en 4 cm gelabeld.

	Bloemgewicht [g]	Bloemgewicht op 48 cm [g]	Taklengte [cm]	Bloemdiameter [cm]	Uitgroeiduur [d]
Kimsey					
19.0°C 3°C +DIF SON-t	29.8	23.3	67.2	8.4	23.8
19.0°C 3°C +DIF LED RGB	30.0	23.9	66.0	8.5	23.6
19.0°C 3°C +DIF LED RGBFr	31.1	25.4	63.8	8.7	22.5
20.5°C 3°C +DIF LED RGB	27.9	22.3	65.8	8.5	21.3
20.5°C 6°C +DIF LED RGB	28.8	23.2	64.6	8.7	21.0
20.5°C 0°C DIF LED RGB	28.2	22.4	65.8	8.3	22.0
Madeira					
19.0°C 3°C +DIF SON-t	42.0	34.8	66.5	11.4	26.5
19.0°C 3°C +DIF LED RGB	42.2	34.9	66.7	11.4	26.6
19.0°C 3°C +DIF LED RGBFr	45.4	37.7	67.0	11.6	27.0
20.5°C 3°C +DIF LED RGB	40.1	33.2	65.6	11.4	23.5
20.5°C 6°C +DIF LED RGB	40.8	33.8	65.8	11.6	23.9
20.5°C 0°C DIF LED RGB	39.5	32.0	67.7	11.4	24.0

Er was bij Kimsey dus meer bloemtakproductie onder SON-t in vergelijking met LED. Om hier een verklaring voor te vinden zijn aanvullende metingen gedaan. Aan de destructieve metingen valt op dat er bij Kimsey in het geheel meer drooggewicht is geproduceerd bij SON-t (Figuur 2-7 en tabel 2-6). Dus niet alleen meer bloemgewicht, maar ook meer blad- en scheutgewicht en een groter bladoppervlak als gevolg van een groter aantal bladeren. De oogstindex, dat wil zeggen het drooggewicht aan bloemtakken gedeeld tot het totale drooggewicht (exclusief wortels), was niet opvallend hoger voor SON-t. Het is mogelijk dat de extra productie onder SON-t het gevolg is van meer scheuten. Bij de behandeling '20.5°C 3°C +DIF' zijn overigens ook veel scheuten gevormd, maar bij deze behandeling waren er veel problemen met meeldauw (met name bij Kimsey). Dit verklaart wellicht dat er bij deze behandeling toch geen hogere productie is ondanks het hogere aantal scheuten en dat de oogstindex ook relatief laag is.



Figuur 2-7 Geproduceerde biomassa in gram drooggewicht per plant gedurende heel experiment 1, uitgesplitst in blad+scheutgewicht en bloemgewicht. Boven Kimsey, onder Madeira. Het bladgewicht is bepaald op basis van het aantal verwijderde bladeren en het gemiddeld bladgewicht plus het gewicht gemeten bij het eind van de proef, het bloemgewicht is bepaald op basis van het gemeten versgewicht omgerekend met het drogestof percentage. Error bars geven de standaardafwijking weer van het totaal plantgewicht. De verschillen tussen behandelingen zijn statistisch niet significant ($p < 0.05$, $n=6$).

Tabel 2-6 Gegevens eind oogst, oogstindex is de verhouding tussen totaal geproduceerd plantgewicht en bloemgewicht. Verschillende letters tonen significante verschillen, ($p < 0.05$ $n=6$). De relatief lage oogstindex van Kimsey bij behandeling '20.5°C 3°C +DIF' is mogelijk gerelateerd aan relatief veel meeldauw in deze behandeling.

Kimsey	Eenheid	19.0°C 3°C +DIF			20.5°C LED RGB		
		SON-t	LED RGB	LED RGBFr	3°C +DIF	6°C +DIF	0°C +DIF
Aantal scheuten	[#/pl]	9.5 ^{ns}	9.2 ^{ns}	8.2 ^{ns}	9.7 ^{ns}	8.5 ^{ns}	8.3 ^{ns}
Aantal veg. scheuten	[#/pl]	0.2	0.3	0.0	0.5	0.3	0.3
Bladeren bij eind oogst	[#/pl]	73	67	65	69	66	64
Bladeren totaal	[#/pl]	139 ^{ns}	124 ^{ns}	113 ^{ns}	135 ^{ns}	122 ^{ns}	125 ^{ns}
Bladeren totaal exc. start	[#/pl]	124	111	101	119	107	124
Bloem en knoppen totaal	[#/pl]	56 ^{ns}	47 ^{ns}	43 ^{ns}	45 ^{ns}	45 ^{ns}	46 ^{ns}
Blad/bloem		2.2 ^{ns}	2.4 ^{ns}	2.3 ^{ns}	2.7 ^{ns}	2.4 ^{ns}	2.4 ^{ns}
Blad per voortzetting		3.5	3.6	3.5	3.7		
Voortzettingen	[#]	3.6	3.4	3.5	3.5	3.6	3.8
Bloem drooggewicht	[g]	127 ^{ns}	113 ^{ns}	105 ^{ns}	97 ^{ns}	105 ^{ns}	106 ^{ns}
Blad+scheut drooggewicht	[g]	111 ^{ns}	101 ^{ns}	96 ^{ns}	119 ^{ns}	102 ^{ns}	114 ^{ns}
Plantdrooggewicht	[g]	238 ^{ns}	214 ^{ns}	202 ^{ns}	216 ^{ns}	207 ^{ns}	221 ^{ns}
Oogst-index		0.53 ^a	0.52 ^a	0.52 ^a	0.45 ^b	0.51 ^{ab}	0.48 ^{ab}
Bladdrooggewicht	[g/#]	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9
Leaf mass area (LMA)	[g/m ²]	48	53	59	55	54	52
Droge stof bloem	[%]	9.1	9.6	8.9	9.1	9.4	9.0
LAI	[m ² /m ²]	5.5 ^{ns}	5.1 ^{ns}	4.5 ^{ns}	5.4 ^{ns}	5.1 ^{ns}	5.3 ^{ns}
Bladlengte	[cm]	49 ^{ns}	48 ^{ns}	45 ^{ns}	48 ^{ns}	46 ^{ns}	47 ^{ns}
Bladbreedte	[cm]	11 ^{ns}	11 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}	11 ^{ns}	11 ^{ns}
Madeira		19.0°C 3°C +DIF			20.5°C LED RGB		
		SON-t	LED RGB	LED RGBFr	3°C +DIF	6°C +DIF	0°C +DIF
Aantal scheuten	[#/pl]	7.7 ^{ns}	6.8 ^{ns}	6.3 ^{ns}	5.7 ^{ns}	7.2 ^{ns}	6.7 ^{ns}
Aant. vegetatieve scheuten	[#/pl]	0.8	1.2	0.3	0.0	0.7	0.7
Bladeren bij eind oogst	[#/pl]	50	51	50	44	56	50
Bladeren totaal	[#/pl]	84 ^{ns}	82 ^{ns}	76 ^{ns}	78 ^{ns}	90 ^{ns}	88 ^{ns}
Bladeren totaal exc start	[#/pl]	78	77	71	72	84	83
Bloem en knop totaal	[#/pl]	33 ^{ns}	31 ^{ns}	31 ^{ns}	32 ^{ns}	33 ^{ns}	32 ^{ns}
Blad/bloem	[#/pl]	2.4 ^{ns}	2.5 ^{ns}	2.3 ^{ns}	2.3 ^{ns}	2.6 ^{ns}	2.6 ^{ns}
Blad per voortzetting		3.8	3.7	3.8	3.8		
Voortzettingen	[#]	2.7	3.0	3.0	3.4	3.2	3.3
Bloem drooggewicht	[g]	138 ^{ns}	133 ^{ns}	141 ^{ns}	126 ^{ns}	132 ^{ns}	126 ^{ns}
Blad+scheut drooggewicht	[g]	96	99	90	98	99	113
Plantdrooggewicht	[g]	234	232	231	225	231	238
Oogst-index		0.59 ^a	0.57 ^{ab}	0.61 ^a	0.56 ^{ab}	0.57 ^{ab}	0.53 ^b
Bladdrooggewicht	[g/#]	1.1	1.2	1.1	1.3	1.1	1.2
Leaf mass area (LMA)	[g/m ²]	55.3	53.9	60.5	55.1	55.8	54.0
Droge stof bloem	[%]	11.8	11.5	11.8	11.3	11.6	11.2
LAI	[m ² /m ²]	4.9 ^{ns}	5.6 ^{ns}	4.8 ^{ns}	4.7 ^{ns}	5.3 ^{ns}	5.6 ^{ns}
Bladlengte	[cm]	52 ^{ns}	52 ^{ns}	54 ^{ns}	52 ^{ns}	50 ^{ns}	54 ^{ns}
Bladbreedte	[cm]	16 ^{ns}	18 ^{ns}	17 ^{ns}	18 ^{ns}	16 ^{ns}	17 ^{ns}

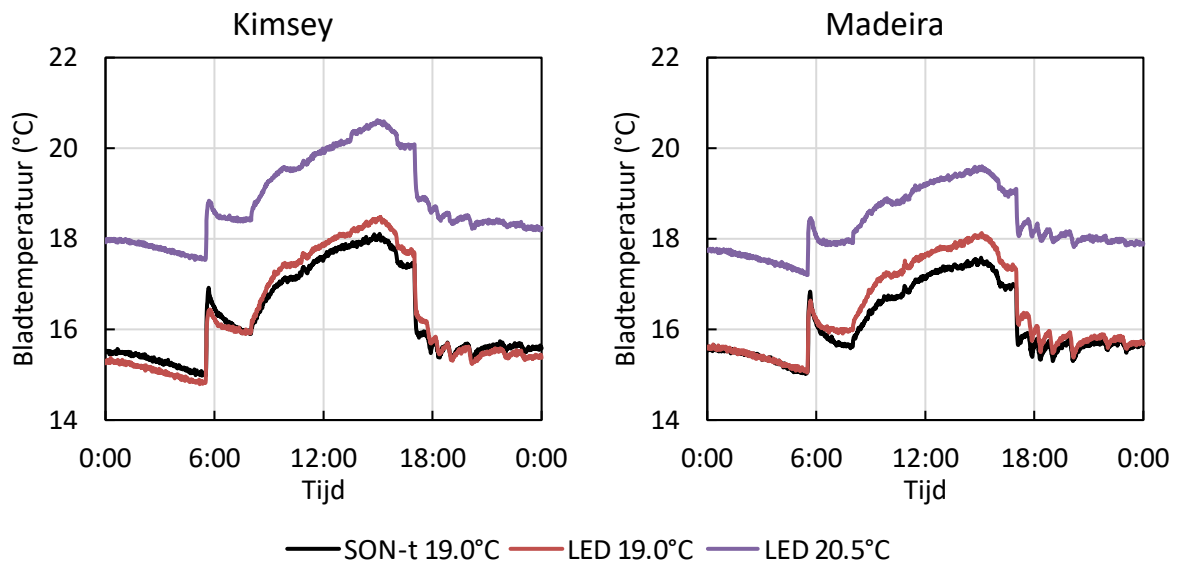
Bij screening van de fotosynthese zijn geen verschillen gevonden in netto CO₂ opname of efficiëntie van het electronentransport door fotosysteem II (Φ_{PSII}) tussen SON-t en LED RGB, bij het ingestelde meetlichtspectrum van de LI-6800 fotosynthesemeter (LED R90%/B10%) (Tabel 2-7). Dat wil zeggen dat de fotosynthese-eigenschappen van de bladeren niet opvallend verschillen tussen die twee behandelingen. Het zou wel kunnen dat SON-t een iets hogere momentane fotosynthese geeft dan LED door het aandeel verrood rondom 700 nm dat niet meetelt als PAR, maar wel bijdraagt aan fotosynthese. Dat effect is echter hooguit enige procenten en daar staat weer tegenover dat een LED-spectrum met veel rood licht iets beter wordt geabsorbeerd door bladeren dan een SON-t spectrum.

De huidmondjesgeleidbaarheid was hoger bij Madeira ten opzichte van Kimsey, vergelijkbaar met de eerder gemeten verschillen tussen Kimsey en Rich (Bongers et al., 2022).

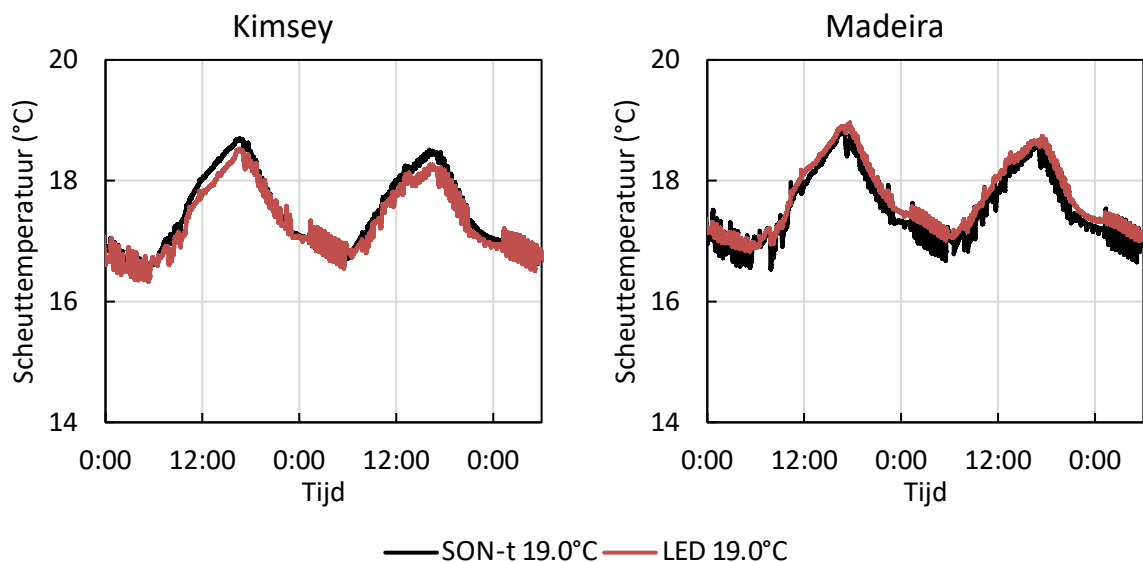
Tabel 2-7 Fotosynthesemetingen, uitgevoerd met 230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 800 ppm CO₂, bij SON-t en LED RGB. De data zijn gemiddelden met standaarddeviatie. Er was bij het ingestelde meetlichtspectrum van de LI-6800 fotosynthesemeter (LED R90%/B10%) geen effect gemeten op de fotosynthese-eigenschappen van bladeren ontwikkeld bij SON-t of LED RGB.

Behandeling en cultivar	Netto CO ₂ opname [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Huidmondjes geleiding [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Φ_{PSII}	Aantal meting
Kimsey:				
19.0°C 3°C +DIF SON-t	10.6 ±1.7	0.18 ±0.06	0.64 ±0.07	23
19.0°C 3°C +DIF LED RGB	11.0 ±1.6	0.18 ±0.07	0.62 ±0.05	20
Madeira:				
19.0°C 3°C +DIF SON-t	11.6 ±1.8	0.35 ±0.12	0.63 ±0.06	24
19.0°C 3°C +DIF LED RGB	10.9 ±1.7	0.37 ±0.12	0.62 ±0.04	23

In planttemperatuur is alleen een verschil tussen de behandeling met hoge en lage luchttemperatuur gemeten. Tussen de SON-t en LED RGB behandelingen, waarbij gestuurd is op een gelijke luchttemperatuur, was er nauwelijks verschil in planttemperatuur (Figuur 2-8). De temperatuur van het groeipunt is wellicht bepalender voor de ontwikkeling dan de bladtemperatuur, daarom is ook de scheuttemperatuur gemeten in het hart van de plant vlak boven de steenwol. Deze bleek ook vrijwel gelijk voor de SON-t en LED RGB behandelingen (Figuur 2-9). Het verschil in productie tussen SON-t en LED wordt dus niet verklaard door een verschil in planttemperatuur.



Figuur 2-8 Bladtemperatuur gemeten met een IR-thermometer bij Kimsey en Madeira gedurende 1 etmaal.



Figuur 2-9 Scheuttemperatuur, gemeten met een thermokoppel in het hart van de plant vlak boven het steenwolsubstraat.

2.3 Conclusies en discussie experiment 1

De doelstelling van dit onderzoek is om te achterhalen of en waarom de lichtbenuttings-efficiëntie van gerbera onder LED-belichting lager is dan onder SON-t belichting. Hieronder worden de onderzoeksvragen uit experiment 1 puntsgewijs beantwoord.

1. Is er meer bloemtakproductie onder SON-t dan onder LED RGB?
 - Er was 13.7% meer bloemtakproductie onder SON-t bij Kimsey, hoewel dit verschil statistisch niet significant is. Bij Madeira was er geen verschil.
2. Beïnvloedt verrood de bloemtakproductie?
 - Verrood zorgde niet voor meer bloemtakproductie, mogelijk zelfs voor minder productie. Het verschil tussen SON-t en LED wordt dus niet verklaard door stuurlicht-effecten van verrood.
3. Wat is het effect van etmaaltemperatuur?
 - Een verhoging van de etmaaltemperatuur met 1.5°C levert niet meer productie. Evenals in eerder onderzoek blijkt dat door de hogere temperatuur de uitgroei duur korter wordt en het bloemtakgewicht lager, maar dat het aantal bloemtakken niet toeneemt.
4. Wat is het effect van een temperatuur DIF?
 - Geen DIF of een +DIF van 3 of 6 graden had geen invloed op de bloemtakproductie.

Onder SON-t was de bloemtakproductie bij één van de twee cultivars (Kimsey) dus hoger dan onder LED RGB. Een aantal voor de hand liggende factoren die zo'n verschil zouden kunnen verklaren, zoals het ontbreken van verrood licht in LED RGB en temperatuurverschillen, zijn getoetst en hadden geen effect. De vraag is wat het verschil dan wel kan verklaren. Toeval valt niet volledig uit te sluiten in een proefopzet op een kleine oppervlakte zonder zuivere experimentele herhalingen. Daarom worden deze twee behandelingen in experiment 2 herhaald met enkel Kimsey in de klimaatcabines. Verder worden andere factoren onderzocht die mogelijk van invloed zijn op de bloemtakproductie, zoals een lichtspectrum waarin het aandeel rood minder dominant is, het effect van nabij-infrarode stralingswarmte en de interactie tussen type belichting en daglengte.

3 Experiment 2

De hoofdvraag van deze proef is, wat verklaart het verschil in productie tussen LED en SON-t? In experiment 1 is een lagere bloemtakproductie gemeten onder LED ten opzichte van SON-t bij cultivar Kimsey, maar niet bij Madeira. Het verschil in productie kon niet verklaard kan worden door een lagere etmaaltemperatuur of een ander patroon van dag/nacht temperatuur onder LED. Ook toevoeging van verrood aan LED RGB gaf niet meer productie.

In experiment 2 wordt het effect van nabij-infrarode stralingswarmte (NIR) onderzocht. LED straalt geen NIR uit en SON-t straalt bijna evenveel energie uit in het NIR-gebied (800-2500 nm) als in het PAR-gebied (400-700 nm). Hoewel een 1.5°C hogere etmaaltemperatuur het aantal bloemtakken niet deed toenemen (experiment 1), zou het kunnen dat NIR een ander effect geeft via de temperatuurverdeling over en/of verdamping van het gewas. Het effect van NIR wordt in deze proef getest met behulp van toevoeging van NIR-stralers aan LED.

Verder wordt onderzocht wat het effect is van een verschil in spectrum. De afwezigheid van verrood bij LED RGB lijkt op basis van experiment 1 geen rol te spelen. De aanwezigheid van verrood is niet het enige spectrumverschil tussen LED RGB en SON-t. In het gebruikte LED-spectrum is rood dominant (89%), in SON-t veel minder (39%). Daarom wordt het effect van een breedband LED-spectrum met een groter aandeel witte LED onderzocht ('hoog wit').

De piek in het rode deel (600-700 nm) van het standaard RGB-spectrum kan fytochroom overactiveren. Onder het 'hoog wit' spectrum zal ook minder sprake zijn van deze overactivering. Daarnaast kan dit de daglengte-perceptie van het gewas beïnvloeden. Daarom wordt ook getoetst wat het effect is van 10 uur daglengte vergeleken met 11.5 uur als referentie.

Toeval valt niet volledig uit te sluiten in een proefopzet op een kleine oppervlakte zonder zuivere experimentele herhalingen. Daarom worden de behandelingen SON-t en LED RGB bij 11.5 uur daglengte in experiment 2 ook herhaald met enkel Kimsey in de klimaatcabines.

3.1 Materiaal en methoden experiment 2

Deze proef is uitgevoerd in dezelfde klimaatcel als in experiment 1. Daarom worden hier alleen de aspecten toegelicht welke verschillen van experiment 1.

Experiment 2 is alleen uitgevoerd met cultivar Kimsey, omdat alleen deze cultivar in experiment 1 een verschil in productie liet zien. Er is gekozen voor één cultivar, omdat met meer planten per behandeling verschillen betrouwbaarder aangetoond kunnen worden. Bij aankomst in de klimaatcel hadden de planten 1 tot 4 scheuten. De plantkwaliteit was slecht bij aflevering: klein en chlorotisch blad (Figuur 3-2). Vijf dagen na start zijn de planten daarom behandeld met bladbemesting (1.5 EC).

De planten zijn zo verdeeld dat elke behandeling een vrijwel gelijk totaal aantal scheuten had (Figuur 3-1). Er is gestart met in alle klimaatcabines 195 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ zonlichtsimulatie (Figuur 2-4) gedurende 11.5 uur per dag om te kunnen acclimatiseren en groeien. Na 6 weken waren de planten goed hersteld en gegroeid, en zijn de proefbehandelingen gestart (Tabel 3-3).

Links	Rechts	Links	Rechts
1	2	1	2
2	2	2	2
2	2	2	2
3	2	3	2
3	3	3	3
3	3	4	3

Achterwand Achterwand

Figuur 3-1 Verdeling van planten naar aantal scheuten per plant in de klimaatcabines: 4 van de 6 behandelingen volgens schema links. De behandelingen 11.5 uur LED RGB en SON-t hadden 1 plant met 4 i.p.v. 3 scheuten (schema rechts).

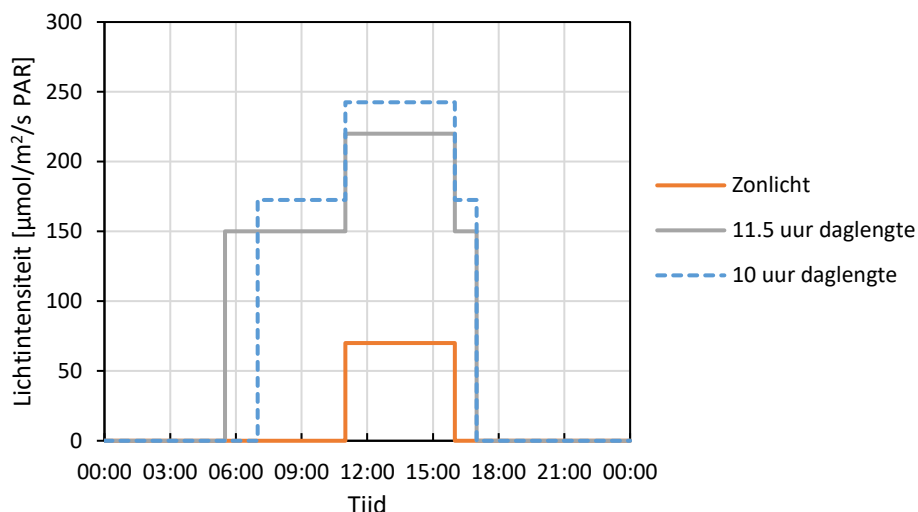


Figuur 3-2 Indruk van de slechte bladkwaliteit bij start

Na start van de behandelingen is een lagere dagsom aan zonlichtachtergrond aangehouden dan in experiment 1 (1.3 i.p.v. 2.1 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$). Hierdoor zullen eventuele spectrum-gerelateerde effecten op productie eerder naar voren komen. De teeltgegevens van experiment 2 staan hieronder in tabel 3-1. De totale lichtsom kwam hierdoor ook iets lager uit (7.5 t.o.v. 8.3 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ in experiment 1). De belichtingstijden en het verloop van de lichtintensiteit over de dag staan in figuur 3-4.



Figuur 3-3 Indruk van de planten bij de start van de proef (Links) en na 6 weken bij de start van de behandelingen (rechts). Zie Figuur 3-6 voor een overzicht van het gewas aan het eind van de proef.



Figuur 3-4 Verloop van de lichtintensiteit over de dag. Belichting (150 of 172.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) start om 5:30 of 7:00 uur tot 17:00 uur. Gesimuleerd zonlicht start om 11:00 uur tot 16:00 uur.

Tabel 3-1 Teeltgegevens van experiment 2.

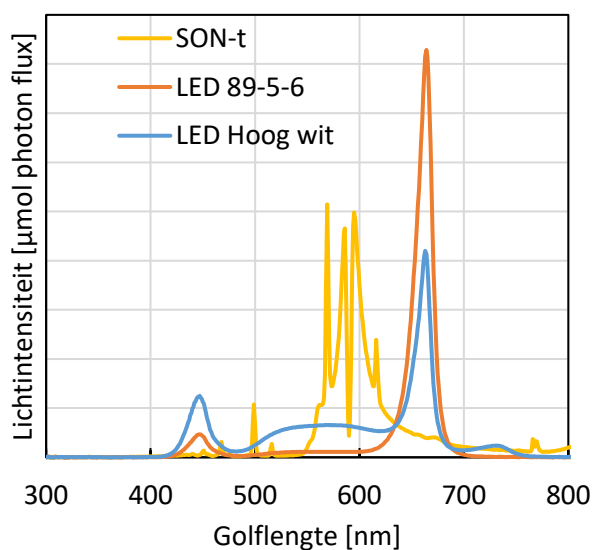
Parameter	Waarde
Plantmateriaal	Kimsey (6 pl/m ²) 12 planten per cultivar per klimaatcabine (2 rijen van 6 planten) Week 37 uit lab, opgeplant in week 43, start proef in week 47. 10 weken plantleeftijd
Temperatuur	19.4°C etmaal (3°C DIFF) bij start 20.5°C etmaal (3°C DIFF) na 4 weken 19.0°C etmaal (3°C DIFF) bij start behandeling (na 6 weken) 18.3°C etmaal (3°C DIFF) na 15 weken
Luchtvochtigheid	75/85% D/N
CO ₂	800 ppm overdag
Belichting	Start 11.5 uur daglengte, alleen zonlichtsimulatie (195 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; 7.5 mol/m ² /dag). Loopt gedurende het eerste en laatste uur van de dag geleidelijk op en af van 26 tot 195 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en vice versa) Na start behandeling 11.5 uur daglengte, 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting Behandeling met 10 uur daglengte, 172.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting 1.3 mol/m ² /d zonlicht-achtergrond (5 uur per dag 70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 6.2 mol/m ² /d belichting 7.5 mol/m ² /d totaal
Watergift	Gift gestuurd op 40-50% drain, 1.6 L/m ² /dag, stapsgewijs opgebouwd vanaf 0.6 L/m ² /d tot week 4, week 4 tot week 9 1.2 L/m ² /d, daarna 1.6 L/m ² /d
Voeding	Gift EC 3.0-3.2 mS/cm en pH 5.7. Voedingsschema is gelijk aan het laatste schema in experiment 1, zie Tabel 6-1. Vanaf 21-12 is NH ₄ verhoogd naar 1 mmol/L en NO ₃ ⁻ verhoogd met 0.35 mmol/L

Tabel 3-2. Tijdslijn experiment 2.

Datum	Proefweek (na start behandeling)	Gebeurtenis
23 november 2023	-6	Start proef, gestart met alleen zonlicht 11.5 uur per dag.
11 december 2023	-3	Knoppen gebroken
19 december 2023	-2	Omhoog in temperatuur +1°C
28 december 2023	-1	Knoppen gebroken
3 januari 2024	0	Start behandelingen, omlaag in temperatuur -1°C
7 februari 2024	5	Stabiele productie
8 Maart 2024	9	Omlaag in temperatuur -1 °C
3 juni 2024	22	Einde proef

Tabel 3-3 Behandelingen en gerealiseerde etmaal en dag/nacht temperatuur experiment 2 gemiddeld over de gehele teeltperiode na start behandelingen. Verrood is hier gedefinieerd als het golflengtegebied 700-799 nm.

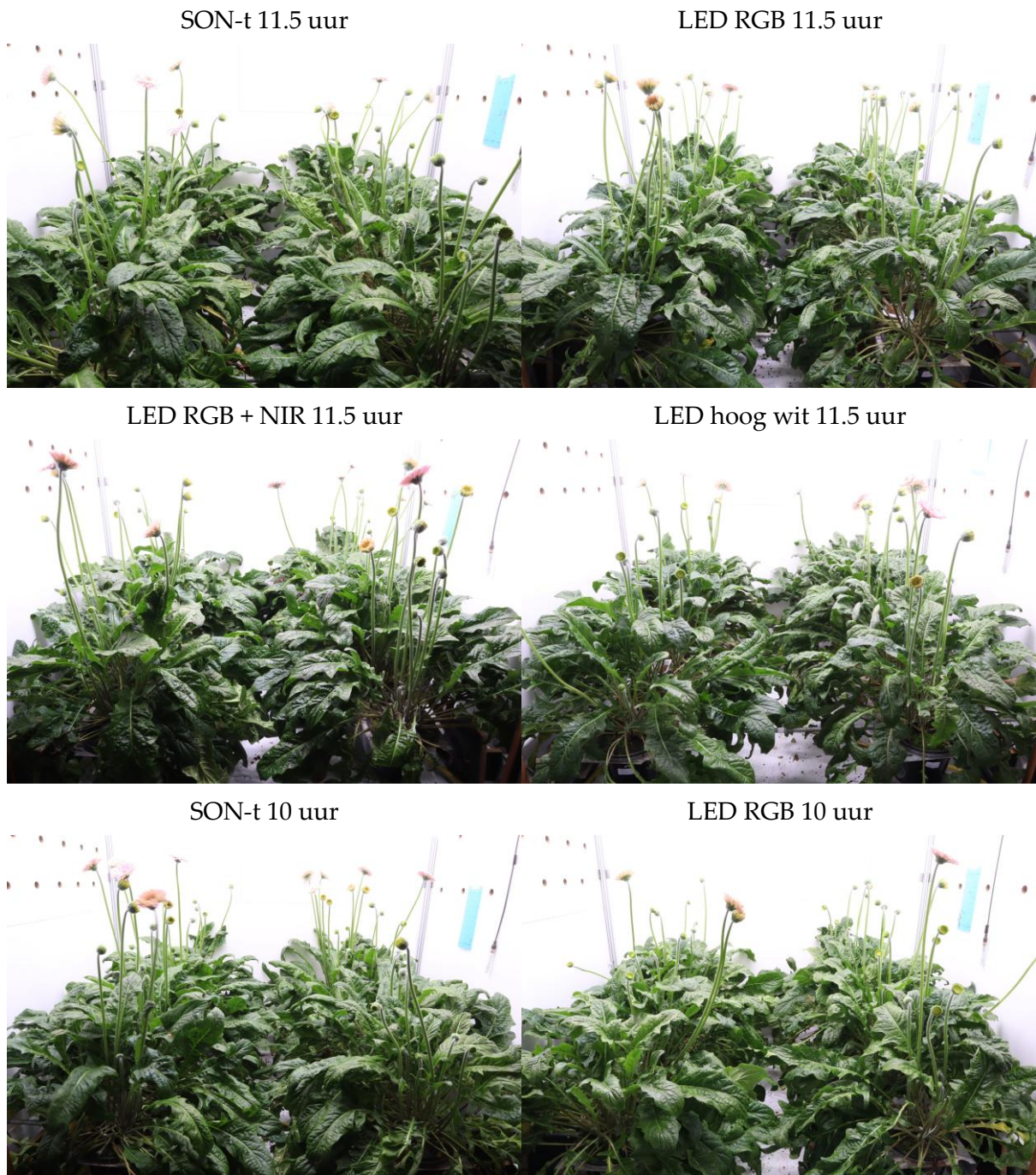
Behandeling	Etmaal-temperatuur	Dag-temperatuur	Nacht-temperatuur	Daglengte	Spectrum (R/G/B/Fr)
SON-t 11.5u	18.6	20.1	17.1	11.5 uur	39/57/3/8 (SON-t)
LED RGB 11.5u	18.6	20.2	17.1	11.5 uur	89/5/6/0 (LED)
LED RGB + IR 11.5u	18.6	20.1	17.1	11.5 uur	89/5/6/0 (LED)
LED hoog wit 11.5u	18.5	20.2	17.0	11.5 uur	54/29/18/5 (LED)
SON-t 10u	18.6	20.6	17.1	10 uur	39/57/3/8 (SON-t)
LED RGB 10 u	18.5	20.5	17.2	10 uur	89/5/6/0 (LED)



Figuur 3-5 Spectra van de belichting (zie figuur 2-4 voor het gesimuleerde zonlichtspectrum).

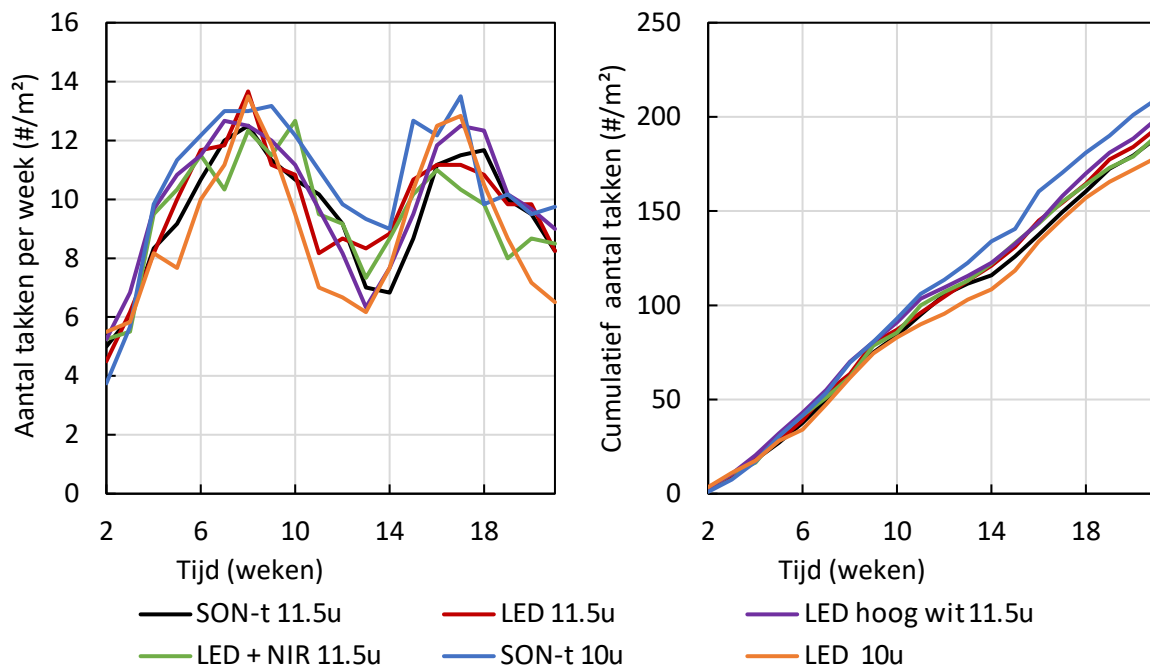
3.2 Resultaten experiment 2

Het gewas zag er redelijk gezond uit, hoewel er wel meeldauw voorkwam. Er waren geen in het oog springende verschillen in ontwikkeling tussen de proefbehandelingen (Figuur 3-6).



Figuur 3-6 Overzichtsfoto's van de behandelingen aan het eind van de proef.

In dit experiment is er geen verschil gemeten in bloemtakproductie tussen SON-t en LED RGB bij 11.5 uur daglengte (Figuur 3-7). Bij 10 uur daglengte is er wel een verschil van 17% in productie, hoewel dit verschil niet statistisch significant is. Verder is er geen overtuigend effect van daglengte gevonden. Waar SON-t 10 uur daglengte 11% meer geproduceerd heeft dan SON-t 11.5 uur daglengte, is dit bij LED RGB 10 uur juist andersom met 8% minder dan bij LED RGB 11.5 uur. Verder is de bloemtakproductie bij LED RGB+NIR of LED hoog-wit vrijwel gelijk aan LED RGB en SON-t bij 11.5 uur daglengte. De bloemtakgewichten zijn iets lager bij de korte daglengte, en taklengte en uitgroei duur verschillen nauwelijks (Tabel 3-5).



Figuur 3-7 Productie aantal bloemtakken gedurende experiment 2. Links: Lopend gemiddelde per 3 weken van de bloemtakproductie per week. Rechts: Cumulatieve productie (aantal takken/m²). De tijd is weergegeven in weken na start behandeling, de oogst startte 2 weken na de start van behandeling. De verschillen tussen behandelingen zijn statistisch niet significant ($p < 0.05$, $n = 12$).

Tabel 3-4 Productiegegevens gedurende experiment 2. De gegevens zijn weergegeven in aantal of gewicht per m² (6 planten). Verschillende letters tonen significante verschillen, ($p < 0.05$, $n = 12$), ns = niet significant. Vanaf week 5 werd de productie als stabiel beschouwd. De LBE en weekproductie is berekend met de data vanaf dit moment. De totale lichtsom gedurende deze periode was in totaal 877.5 mol/m².

Kimsey	Cum. aantal takken	Bloemgewicht cum. [kg vers]	Cum. aantal takken (stabiel)	Bloemgewicht cum. (stabiel) [kg vers]	LBE mol/tak	LBE g/mol	Weekproductie
SON-t 11.5u	189 ^{ns}	4.6 ^{ns}	171	4.5	5.1	5.11	10.2
LED RGB 11.5u	194 ^{ns}	4.6 ^{ns}	176	4.5	5.0	5.11	10.5
LED RGB + NIR 11.5u	190 ^{ns}	4.5 ^{ns}	174	4.5	5.1	5.13	10.4
LED hoog wit 11.5u	199 ^{ns}	4.7 ^{ns}	179	4.5	4.9	5.18	10.7
SON-t 10u	210 ^{ns}	4.8 ^{ns}	193	4.8	4.6	5.43	11.5
LED RGB 10 u	179 ^{ns}	4.0 ^{ns}	161	3.9	5.5	4.43	9.6

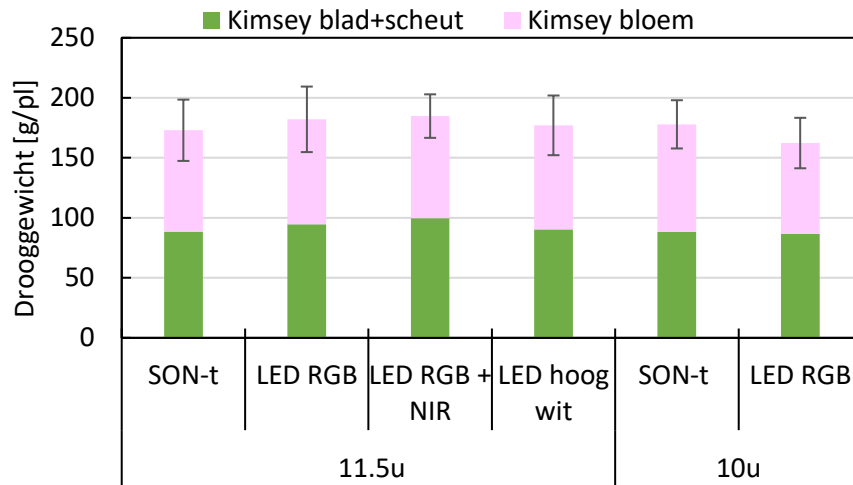
Tabel 3-5 Oogstgegevens gemeten gedurende experiment 2. Data zijn gemiddelden van de takken vanaf het moment dat de productie stabiel is, onverkoopbare takken zijn niet meegeteld. Voor de uitgroeiduur zijn op iedere vrijdag alle knoppen tussen 2 en 4 cm gelabeld.

Behandeling	Daglengthe	Bloemtak-gewicht [g]	Bloemtak-gewicht op 48 cm [g]	Bloemtak-lengte [cm]	Bloem-diameter [cm]	Uitgroeiduur [d]
SON-t 11.5u	11.5u	26.4	20.6	68.3	8.7	26.7
LED RGB 11.5u	11.5u	25.5	20.1	67.5	8.5	25.9
LED RGB + NIR 11.5u	11.5u	25.7	20.4	67.3	8.4	26.7
LED hoog wit 11.5u	11.5u	25.8	20.9	65.3	8.6	25.7
SON-t 10u	10u	24.9	19.5	68.0	8.8	26.1
LED RGB 10 u	10u	24.0	19.2	66.2	8.8	25.9

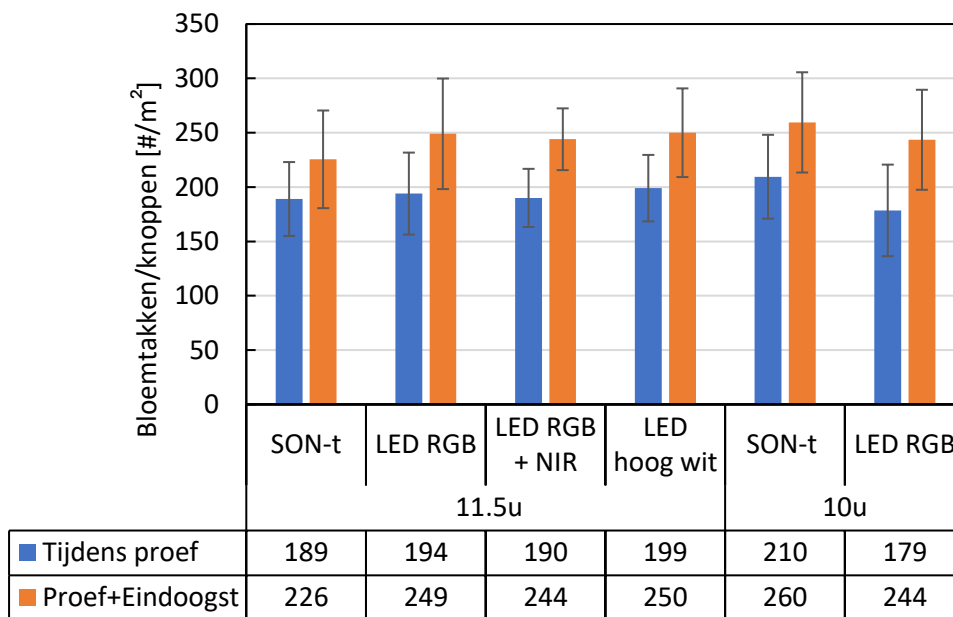
De resultaten van de eind oogst geven meer inzicht in de achterliggende mechanismen van de totale productie gedurende de teelt. Hierbij valt op dat bij de twee behandelingen met 10 uur daglengthe het totaal geproduceerde drooggewicht aan de vegetatieve delen gelijk is, maar dat bij SON-t het totale drooggewicht aan bloemtakken hoger is dan bij LED RGB (Figuur 3-8). Er worden bij LED RGB 10 uur dus naar verhouding minder assimilaten geïnvesteerd in bloemtakken wat resulteert in een lagere oogstindex (Tabel 3-6). Verder valt op dat er relatief veel vegetatief drooggewicht is geproduceerd bij LED RGB+NIR. Hierbij is het bladoppervlakte hoger, er is meer bladgewicht en het bladgewicht per eenheid bladoppervlakte (LMA, g/m²) is lager. Het grotere bladoppervlak is dus het gevolg van meer bladmassa en dunner blad.

Er zijn meer scheuten afgesplitst onder LED RGB 10 uur maar er zijn ook meer vegetatieve scheuten (Tabel 3-6). Bij LED RGB+NIR zijn er ook relatief veel vegetatieve scheuten. Bij LED hoog wit zijn er minder scheuten afgesplitst.

De blad/bloem verhouding en het aantal bladeren per voortzetting laten zien dat er niet altijd 2 bloemen uitgroeien per voortzetting (Tabel 3-6). Er zijn immers bijna altijd 3 bladeren per voortzetting, bij 2 bloemen per voortzetting zou de blad/bloem verhouding 1.5 zijn, deze ligt echter rond 2. Voor de blad/bloemverhouding is gerekend met het aantal geoogste bloemen en het aantal bloemen en knoppen aanwezig bij de eind oogst. Hierbij valt op dat het verschil tussen LED RGB en SON-t bij 10 uur daglengthe kleiner is als gekeken wordt naar het totaal aantal geoogste bloemtakken plus het aantal aangelegde knoppen (Figuur 3-9). Dat duidt er ook op dat als de proef nog wat langer voortgezet was, de voorsprong in productie van SON-t 10 uur kleiner geworden zou zijn, hoewel ook dat een momentopname kan zijn vanwege de fluctuatie in productie over de tijd (Figuur 3-7 links).



Figuur 3-8 Geproduceerde biomassa in gram drooggewicht gedurende heel experiment 2, uitgesplitst in blad+scheutgewicht en bloemgewicht. Het bladgewicht is bepaald op basis van het aantal verwijderde bladeren en het gemiddeld bladgewicht plus het gewicht bij het eind van de proef, het bloemgewicht is bepaald op basis van het gemeten versgewicht omgerekend met het drogestof percentage. Error bars geven de standaardafwijking weer van het totaal plantgewicht. De verschillen tussen behandelingen zijn statistisch niet significant ($p < 0.05$, $n=12$).



Figuur 3-9 Aantal bloemtakken per m² geoogst tijdens de proef, en aantal bloemtakken tijdens proef plus de bloemtakken en knoppen bij de eindooft per m². De voorsprong in productie van SON-t bij 10 uur is kleiner als het aantal knoppen meegeteld worden dat nog aanwezig was bij de eindooft.

Tabel 3-6 Gegevens eind oogst. Oogstindex is het aandeel bloemtakgewicht in het totaal geproduceerd plantgewicht (op drogestof-basis en exclusief wortels). Verschillende letters tonen significante verschillen, ($p < 0.05$ $n=12$), ns = niet significant. Droge stof bloem is een gewogen gemiddelde van de bloemen op 12 oogstdagen, hierbij is geen statistiek uitgevoerd. Er is gerekend met een droge stof percentage van 9.5% voor alle bloemtakken. Dit omdat het percentage drogestof van de gemeten bloemtakken niet significant verschilde tussen behandelingen.

	Eenheid	11 uur daglengte				10 uur daglengte	
		SON-t	LED RGB	RGB +NIR	LED Hoog wit	SON-t	LED RGB
Aantal scheuten	[#/pl]	9.0 ^{ns}	8.3 ^{ns}	9.0 ^{ns}	7.5 ^{ns}	8.1 ^{ns}	9.3 ^{ns}
Aantal veg. scheuten	[#/pl]	0.3	0.4	0.9	0.2	0.4	0.8
Bladeren bij eind oogst	[#/pl]	58	52	57	51	63	64
Bladeren totaal	[#/pl]	119 ^{ns}	120 ^{ns}	129 ^{ns}	116 ^{ns}	126 ^{ns}	130 ^{ns}
Bladeren totaal exc. start	[#/pl]	83	84	89	78	86	86
Bloem en knoppen totaal	[#/pl]	38 ^{ns}	42 ^{ns}	41 ^{ns}	42 ^{ns}	43 ^{ns}	41 ^{ns}
Blad/bloem		2.2 ^{ns}	2.1 ^{ns}	2.2 ^{ns}	1.9 ^{ns}	2.1 ^{ns}	2.1 ^{ns}
Blad per voortzetting		3.1	3.1			3.1	3.1
Voortzettingen	[#]	2.7	2.9	2.8	3.0	3.1	2.6
Bloem drooggewicht	[g]	85 ^{ns}	87 ^{ns}	85 ^{ns}	87 ^{ns}	90 ^{ns}	76 ^{ns}
Blad+scheut drooggewicht	[g]	88 ^{ns}	95 ^{ns}	100 ^{ns}	90 ^{ns}	88 ^{ns}	87 ^{ns}
Plantdrooggewicht	[g]	173 ^{ns}	182 ^{ns}	185 ^{ns}	177 ^{ns}	178 ^{ns}	162 ^{ns}
Oogst-index		0.49 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.46 ^{ns}
Bladdrooggewicht	[g/#]	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
Leaf mass area (LMA)	[g/m ²]	63	57	54	65	60	56
Droge stof bloem	[%]	9.5	9.3	9.3	9.8	9.4	9.5
LAI	[m ² /m ²]	3.0 ^{ns}	3.3 ^{ns}	3.6 ^{ns}	2.7 ^{ns}	3.1 ^{ns}	3.3 ^{ns}
Bladlengte	[cm]	45 ^{ns}	45 ^{ns}	45 ^{ns}	43 ^{ns}	44 ^{ns}	43 ^{ns}
Bladbreedte	[cm]	11 ^b	12 ^a	11 ^{ab}	11 ^b	10 ^b	11 ^b

3.3 Conclusies en discussie experiment 2

De hoofdvraag van experiment 2 was, wat verklaart het verschil in productie tussen LED en SON-t? Getoetst is of dit verschil veroorzaakt wordt door het gebrek aan warmtestraling bij LED of door een verschil in spectrum. Daarnaast was er de hypothese dat gerbera, dat een kwantitatieve korte-dag plant is, wellicht een andere perceptie van daglengte ervaart bij een standaard LED RGB spectrum vergeleken met SON-t, waardoor bij LED wellicht een kortere daglengte vereist is voor voldoende bloemtakproductie. Daarom is ook een kortere daglengte van 10 uur in plaats van 11.5 uur getoetst.

In experiment 2 is echter geen duidelijk verschil in productie tussen SON-t en LED naar voren gekomen. Bij 11.5 uur daglengte was er juist iets minder productie onder SON-t dan onder LED RGB. Bij 10 uur daglengte was er wel meer productie onder SON-t, hoewel dit verschil in deze proefopzet statistisch niet hard te maken viel. Daarbij wordt het verschil tussen deze en de andere behandelingen kleiner als het aantal knoppen bij de eind oogst meegeteld wordt. Er is dus geen overtuigende meerproductie onder SON-t aangetoond ten opzichte van eenzelfde PAR-intensiteit LED RGB.

De behandelingen welke een mogelijke verklaring kunnen bieden voor een vermeend effect van SON-t op productie ten opzichte van LED RGB laten ook geen verschil zien. De planten onder LED RGB met de toegevoegde NIR-warmtestraling en het bredere spectrum (hoog wit) gaven een vergelijkbare productie.

4 Algemene discussie

Het doel van dit onderzoek was om te achterhalen of, en zo ja waarom, de lichtbenuttings-efficiëntie voor bloemtakproductie van gerbera onder LED-belichting lager is dan onder SON-t belichting. In de praktijk wordt waargenomen dat er omgerekend per mol licht minder bloemtakken per m² per week worden geoogst sinds de introductie van LED-belichting (de Groot, 2024). Echter, in de praktijk spelen meer factoren een rol dan alleen het type belichting. Ook de intensiteit belichting, de schermstrategie en het kasklimaat veranderen meestal wanneer een bedrijf van SON-t overgaat naar LED-belichting.

Er zijn twee experimenten uitgevoerd in klimaatcellen, waarin de productie van gerbera onder SON-t vergeleken is met die onder LED. Daarbij waren alle overige omstandigheden zo gelijk mogelijk gehouden. Daarbij zijn meerdere varianten LED-belichting getoetst welke een verschil in productie tussen SON-t en LED zouden kunnen verklaren, waaronder effecten van lichtspectrum, temperatuur en stralingswarmte.

In experiment 1 liet cultivar Madeira geen verschil in productie tussen de verschillende behandelingen zien. Cultivar Kimsey produceerde 13% meer bloemtakken onder SON-t dan onder LED RGB in experiment 1 (11.5 uur daglengte). Echter, die meerproductie kon niet verklaard worden vanuit de getoetste LED-varianten: met en zonder verrood, hogere temperatuur, meer of minder verschil tussen dag- en nachttemperatuur (DIF). In experiment 2 is alleen cultivar Kimsey getoetst op de dubbele oppervlakte, met één in plaats van twee cultivars per klimaatcabine. Twee behandelingen waren een herhaling van experiment 1: SON-t tegenover LED RGB bij 11.5 uur daglengte. Ditmaal produceerde het gewas niet meer bloemtakken onder SON-t. Dezelfde behandelingen zijn ook getoetst bij 10 uur daglengte, waarbij SON-t wel weer meer produceerde. Wederom kon een eventuele meerproductie onder SON-t niet verklaard vanuit de ditmaal getoetste LED-varianten (meer wit LED-licht, LED + nabij-infrarode stralingswarmte).

Er is dus geen consistente meerproductie gemeten onder SON-t dan onder LED. Het feit dat Kimsey in experiment 1 wel een meerproductie gaf onder SON-t lijkt toeval. Immers, in een vergelijkbare opzet kon dit resultaat niet worden gereproduceerd in experiment 2. Ook alle logische factoren die een verschil in productie onder SON-t tegenover LED RGB zouden kunnen verklaren (lichtspectrum, stralingswarmte, temperatuur) bleken geen effect op productie te hebben. Als er al reproduceerbare verschillen in productie zijn, dan zullen die hooguit klein zijn en is een veel groter opgezet experiment nodig met voldoende herhalingen om dit aan te kunnen tonen.

Dan rest nog de vraag waarom in de praktijk wel een forse verlaging in lichtbenuttings-efficiëntie (LBE) voor bloemtakproductie wordt ervaren sinds men van SON-t is overgegaan op LED-belichting. Ten eerste is een goede meting van de PAR-som cruciaal om de LBE te kunnen bepalen. Veranderingen in schermstrategie beïnvloeden de transmissie van daglicht in de kas. Het is belangrijk om dat goed te meten, want een overschatting van het daglicht resulteert in een schijnbaar lagere LBE. Wellicht zijn de gehanteerde lichtsommen in kassen

met LED in de praktijk toch wel hoger dan voorheen onder SON-t. Eerder onderzoek heeft laten zien dat een hogere lichtsom de LBE van gerbera kan verlagen Dit effect was overigens sterker bij cv. Kimsey dan bij cv. Rich (Bongers et al., 2022).

Een andere mogelijke factor van invloed op de LBE is het teeltklimaat. Recent zijn telers niet alleen overgegaan op LED, maar vaak ook meer gaan schermen en minder gaan stoken om energiezuiniger te kunnen telen. Mogelijk is het microklimaat rondom het gewas daardoor vochtiger en heeft dat invloed op de mate van generativiteit. Wanneer het gewas vegetatiever groeit kan het naar verhouding meer biomassa vastleggen in bladeren ten koste van bloemtakken (lagere oogstindex). Een recente proef met chrysant heeft 3 tot 5 dagen teeltvertraging laten zien voor een minder goed verdampend gewas geteeld bij een vochtiger klimaat (Wiekens et al., 2024). Over de effecten van microklimaat en verdamping op de ontwikkeling van gerbera is nog weinig bekend.

Al met al is er geen consistente meerproductie gevonden onder SON-t ten opzichte van onder LED. Er lijken dus geen fundamentele problemen bij de groei van gerbera onder LED te zijn die de transitie naar een energiezuinige teelt onder LED in de weg staan. Dat in de praktijk niet dezelfde LBE gehaald wordt onder LED kan ook met bovenstaande factoren te maken hebben. Om verdere stappen te zetten kan een goede inventarisatie van het klimaat bij een teelt onder SON-t ten opzichte van LED zinvol zijn, om vervolgens eventuele verschillen afzonderlijk te kunnen toetsen.

5 Referenties

- Bongers MW, van den Boogaart SAJ, Hogewoning SW.** (2022) Gerbera: effecten van fotoperiode, lichtspectrum, lichtintensiteit en temperatuur. Deelrapport IV in project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas”. Plant Lighting B.V., Bunnik. 75p.
- De Groot, M.** Lichtefficiency onder full LED nog niet op niveau van SON-t of hybride belichting: is investeren in full LED bij gerbera nog een beetje te vroeg? Vakblad Onder Glas, april 2024.
- Dueck TA, Kempkes FLK, de Visser PHB, Lagas P, de Groot M.** (2015) Besparen op groeilicht en warmte bij gerbera. Rapport GTB-1377. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.
- Hogewoning SW, van den Boogaart SAJ, Kok BJ, Helmus-Schuddebeurs L.** (2021) Leliebroei onder LED met minimaal energieverbruik. Plant Lighting B.V., Bunnik. 44p.
- van den Boogaart SAJ, Hogewoning SW, Trouwborst G.** (2022) Lisianthus: effecten van lichtspectrum en straling. Deelrapport VII in project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas” & WP1 in project “Lisianthus toekomstbestendig stap één: minder elektra met LED”. Plant Lighting B.V., Bunnik. 36p.
- Wiekens M, van den Boogaart SAJ, Trouwborst G, Hogewoning SW.** (2024) Basiskennis verdamping chrysant. Deelrapport III in project “Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast”. Plant Lighting B.V., Bunnik. 64p.

6 Bijlage

6.1 Bijlage I Voedingsschema

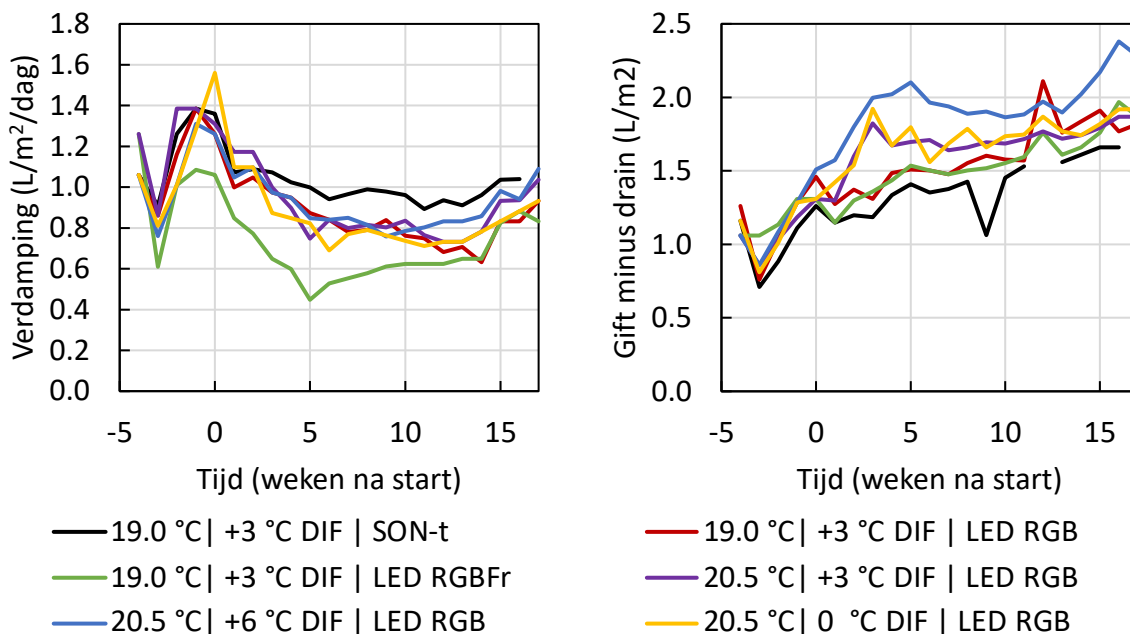
Tabel 6-1 Voedingsschema experiment 1

Van	Proefweek	mS/cm		mmol/L							
		EC	pH	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻
Start	-4	2.5	5.7	17.2	2.54	2.2	0.58	6.1	7.0	1.8	0.9
21-06-2023	0	2.4	5.7	10.0	1.50	3.0	0.50	6.0	6.0	2.5	6.0
09-08-2023	7	2.4	5.7	8.0	1.65	3.0	0.65	6.5	5.0	2.5	6.0
Van	Proefweek	μmol/L									
		Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo				
Start	-4	55.0	7.2	9.0	37.5	0.9	0.6				
21-06-2023	0	55.0	7.0	9.0	45.0	1.0	0.7				
09-08-2023	7	55.0	7.0	9.0	45.0	1.0	0.7				

Tabel 6-2 Analyse van drainwater.

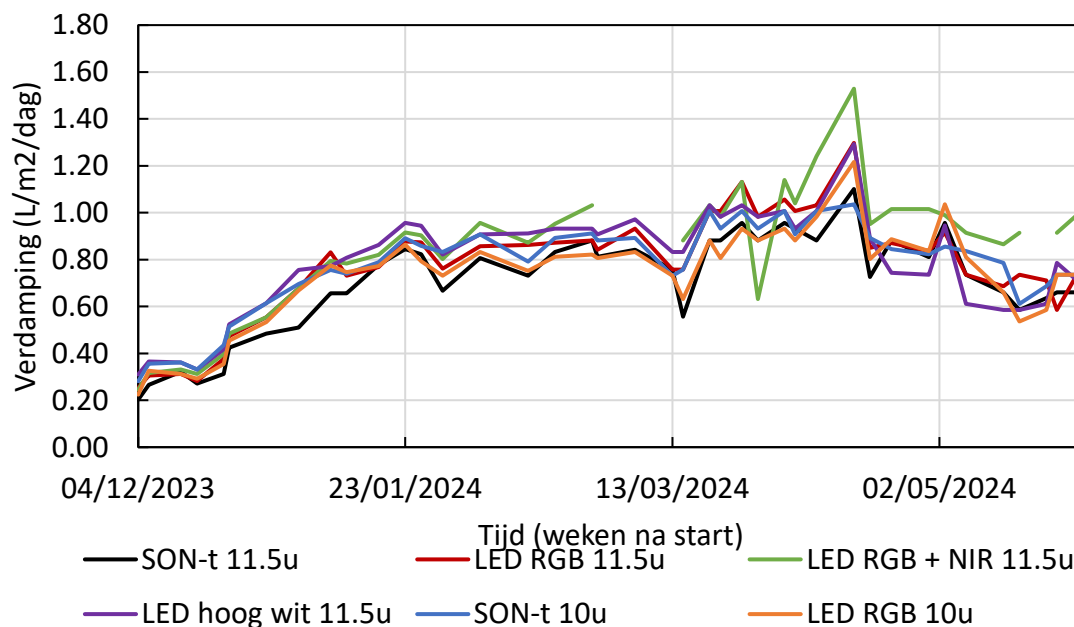
Van	Proefweek	mS/cm		mmol/L							
		EC	pH	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻
12-07-2023	3	2.5	7.1	5.4	0.7	5.2	0.1	1.3	8.2	3.5	8.9
23-08-2023	9	2.6	6.3	5.7	1.7	6.1	<0.1	2.1	8.6	4.1	8.5
Van	Proefweek	μmol/L									
		Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo				
12-07-2023	3	33.5	1.9	13.5	64.0	1.6	1.3				
23-08-2023	9	38.8	2.1	8.5	70.9	1.3	0.3				

6.2 Bijlage II Verdamping



Figuur 6-1 Verdamping gedurende experiment 1, gemeten op basis van het verschil tussen gift en drain. Links Kimsey, Rechts, Madeira. De data in de eerste weken kunnen afwijken doordat de drain aan het begin erg hoog was.

Aan de verdamping van experiment 2 valt op dat de verdamping van LED RGB + NIR consistent hoger is dan de andere behandelingen (Figuur 6-2 en Tabel 2-1 Tabel 6-3), terwijl er geen effect is van SON-t op verdamping. Dit kan het gevolg zijn van de sturing op een gelijke luchttemperatuur in de teeltcabines. De koudere inblaasluft zorgt mogelijk voor meer warmteverlies door convectie wat de warmtestaling van SON-t compenseert.



Figuur 6-2 Verdamping gedurende experiment 2, gemeten op basis van het verschil tussen gift en drain.

Tabel 6-3 Gemiddelde verdamping gedurende experiment 2, gemiddeld vanaf het 23/01/2024, het moment waarop de verdamping stabiliseert.

Behandeling	Gemiddelde verdamping (L/m ² /dag)
SON-t 11.5u	0.81
LED RGB 11.5u	0.88
LED RGB + NIR 11.5u	0.99
LED hoog wit 11.5u	0.88
SON-t 10u	0.86
LED RGB 10u	0.82