



Sturen met lichtspectrum: gewasgroei en plantweerbaarheid bij komkommer en tomaat

Deelrapport II van het project “LED licht bij zonlicht”

Anja Dieleman, Caterina Carpineti, Marjolein Kruidhof en Kees Weerheim

Rapport WPR-1220

Referaat

In een duurzame en klimaatneutrale glastuinbouw wordt gewerkt zonder gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen en gas, en deze is vrij van emissies. De uitdaging hierbij is hoe het gewas productief én gezond kan worden gehouden met minimale energiekosten. Om dit te realiseren is het gebruik van efficiënte belichtingssystemen zoals LEDs essentieel. Het feit dat de kleuren van LED belichting instelbaar zijn, biedt nieuwe kansen om gewaseigenschappen te sturen, maar roept ook vragen op ten aanzien van het meest geschikte lichtspectrum. De experimenten in dit onderzoek laten zien dat de teelt van jonge tomaten- en komkommerplanten goed kan onder verschillende lichtkleuren, waarbij met name de balans tussen blauw en verrood licht de mate van strekking bepaalt. Daarmee kan tijdens de opkweek en de start van de teelt gestuurd worden op het telen van een plant met de gewenste plantvorm. Het lichtspectrum had geen effect op plantgewicht en op de vroege productie van snackkomkommer. Een lichtspectrum met een hoger aandeel rood licht wordt door insecten ervaren als condities met minder licht, waardoor voor sommige natuurlijke vijanden, zoals sluipwespen, de zoekactiviteit en/of eileg afneemt. Deze kennis kan gebruikt worden om de uitzetstrategie van deze natuurlijke vijanden aan te passen aan de lichtomstandigheden in de kas.

Abstract

The development towards a sustainable and climate-neutral greenhouse horticulture requires zero emission, zero use of natural gas and the use of biological control of pests and diseases. The challenge is how to keep the crop productive and healthy with minimal energy input. To achieve this, the use of efficient lighting systems such as LEDs is essential. The fact that LED lighting can be adjusted in color offers new opportunities, but also raises questions regarding the most suitable light spectrum. This research shows that young tomato and cucumber plants can be cultivated well under different light spectra. The balance of blue and far-red light primarily determine the elongation, and thus the plant architecture. This allows the propagation and cultivation of crops towards the required plant morphology. Light spectrum did not affect plant weight and early fruit production of snack cucumber. A light spectrum with a higher proportion of red light is perceived by insects as lower light intensities, which can reduce the reproduction and searching activity of some natural enemies, such as parasitoids. This knowledge can be used to adapt the strategy to release natural enemies to the lighting conditions in the greenhouse.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1220

Projectnummer: 3742258600

DOI: <https://doi.org/10.18174/629685>

Thema: Kasklimaat en energie

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

Disclaimer

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

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

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

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

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Aanleiding	7
	1.2 Integraal duurzaam teeltsysteem	7
	1.3 Doelstelling	7
	1.4 Leeswijzer	8
2	Innovatie en demonstratie centrum voor LED toepassingen in de glastuinbouw	9
	2.1 IDC LED kasinrichting en klimaatregeling	9
	2.2 LED licht behandelingen	10
3	Effecten van lichtkleuren op groei en morfologie bij tomaat: eerste brede screening	13
	3.1 Inleiding	13
	3.2 Materiaal en methoden	13
	3.2.1 Teelt en behandelingen	13
	3.2.2 Klimaatmetingen	14
	3.2.3 Plantmetingen	15
	3.3 Resultaten	15
	3.3.1 Klimaat	15
	3.3.2 Groei, ontwikkeling en morfologie	16
	3.3.3 Fotosynthese	19
	3.4 Conclusies	20
4	Sturen van de groei van tomaat met het aandeel blauw en verrood licht	21
	4.1 Inleiding	21
	4.2 Materiaal en methoden	21
	4.2.1 Teelt en behandelingen	21
	4.2.2 Klimaatmetingen	24
	4.2.3 Plantmetingen	24
	4.2.3.1 Lichtonderschepping	24
	4.2.3.2 Pigmentgehalten	24
	4.2.3.3 Fotosynthesemetingen	24
	4.2.3.4 Gewasgroei en-ontwikkeling	24
	4.3 Resultaten	25
	4.3.1 Klimaat	25
	4.3.2 Groei, ontwikkeling en morfologie	25
	4.3.3 Fotosynthese en pigmentgehalten	28
	4.4 Conclusies	31

5	Effecten van lichtkleuren op groei en morfologie bij komkommer: eerste brede screening	33
5.1	Inleiding	33
5.2	Materiaal en methoden	33
5.2.1	Teelt en behandelingen	33
5.2.2	Klimaatmetingen	35
5.2.3	Plantmetingen	35
5.3	Resultaten	35
5.3.1	Klimaat	35
5.3.2	Gewasgroei en productie	36
5.4	Conclusies	41
6	Sturen van de groei van kommer met het aandeel groen en verrood licht: zijn zij onderling vervangbaar?	43
6.1	Inleiding	43
6.2	Materiaal en methoden	43
6.2.1	Teelt en behandelingen	43
6.2.2	Klimaatmetingen	45
6.2.3	Plantmetingen	45
6.2.3.1	Fotosynthese	45
6.2.3.2	Gewasgroei en ontwikkeling	46
6.3	Resultaten	46
6.3.1	Klimaat	46
6.3.2	Gewasgroei en productie	47
6.3.2.1	Strekking	47
6.3.2.2	Groei en productie	48
6.3.2.3	Fotosynthese	50
6.4	Conclusies	51
7	Biologische bestrijders: invloed van lichtspectrum op de zoek- en parasiteringsactiviteit van de sluipwesp <i>Aphidius ervi</i>	53
7.1	Inleiding	53
7.2	Materiaal en methodes	53
7.3	Resultaten	54
7.4	Conclusies en aanbevelingen	56
8	Biologische bestrijders: invloed van lichtspectrum op de eileg en ontwikkeling van de roofwants <i>Macrolophus pygmaeus</i> in tomaat	57
8.1	Inleiding	57
8.2	Materiaal en methoden	57
8.3	Resultaten	58
8.4	Conclusies	60
9	Conclusies en aanbevelingen	61
10	Communicatie	63
11	Literatuur	65

Samenvatting

Inleiding

Om energiebesparing en klimaatneutrale toepassingen voor all-electric glastuinbouw te kunnen combineren met belichting wordt veel verwacht van efficiëntere belichtingssystemen zoals LEDs. In de afgelopen jaren is de belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw sterk toegenomen, mede door de sterk toegenomen prijzen voor elektriciteit in 2022. Een van de grootste voordelen is de hogere energie-efficiëntie (tot 3.7 $\mu\text{mol/J}$) dan bestaande SON-T installaties (ca 1.9 $\mu\text{mol/J}$). Andere voordelen zijn het feit dat LEDs snel aan en uit te schakelen zijn, gedimd kunnen worden, en licht af kunnen geven met het gewenste spectrum. Een van de grote vragen hierbij is hoe deze voordelen optimaal te benutten zijn door het juiste lichtspectrum voor het telen van een gewas stadiumafhankelijk goed in te kunnen zetten. Plantgezondheid is hierbij voorwaarde stellend. Daarom is het van belang om naast de effecten van de LED lichtspectra op gewasgroei ook naar de effecten op het optreden van ziektes en plagen en op de effectiviteit van biologische bestrijders te kijken. Doel van het project "LED licht bij zonlicht" is het opstellen van (goede) basisspectra voor LED licht als aanvulling op het zonlicht onder omstandigheden met weinig natuurlijk licht. Het onderzoek is gedaan in het IDC LED, een kasfaciliteit met tafels met schakelbare LED plafonds, waar gestreefd werd naar een verhouding van 80% lamplicht en 20% zonlicht (teelt onder winterse condities). In dit rapport staan de resultaten voor jonge tomaten- en komkommerplanten beschreven.

Spectrum bij tomaat

Jonge tomatenplanten werden geteeld bij een brede reeks lichtspectra, die uiteen liepen 95% rood/5% blauw tot een spectrum met gelijke aandelen blauw, groen, rood en verrood licht. Aanpassingen aan het lichtspectrum leidden tot grote verschillen in plantvorm. Wanneer een deel van het rode licht werd vervangen door verrood licht leidde dit tot meer strekking, met een hoger aandeel van de assimilaten in de stengels ten koste van het aandeel in de bladeren. Een voordeel van verrood licht in het spectrum was dat het aantal bladeren met oedeem kleiner werd. Wanneer in het spectrum met ca. 10% verrood licht het aandeel blauw toenam ten koste van rood licht bleek dat het effect van verrood licht op de strekking teniet gedaan werd door het blauwe licht. Dat betekent dat de plantlengte goed te sturen is via de balans verrood/blauw licht. Ook de plantkleur werd beïnvloed door het lichtspectrum: een hoger aandeel blauw licht leidde tot een hoger gehalte aan chlorofyl en daarmee een donkerder groene kleur. Het totale drooggewicht van de jonge tomatenplanten werd niet beïnvloed door de lichtbehandelingen, maar de assimilatenverdeling over stengels en bladeren wel. Deze resultaten geven daarmee aan dat het voor opkweekbedrijven goed mogelijk is de plantvorm van jonge tomatenplanten te sturen zonder dat dit ten koste gaat van het plantgewicht.

Spectrum bij komkommer

Jonge snackkomkommerplanten werden geteeld onder een serie lichtspectra die uiteen liepen van 95% rood en 5% blauw tot een spectrum met gelijke aandelen blauw, groen, rood en verrood licht (zoals ook in het zonlichtspectrum het geval is). Aanpassingen in het lichtspectrum leidden tot grote verschillen in plantvorm, met name in stengelstrekking. De totale bovengrondse biomassa (bladeren, vruchten en stengel) was het hoogst bij de planten geteeld onder een spectrum met gelijke delen blauw, groen, rood en wit licht. Dit werd vooral bepaald door het hoge gewicht van stengel en bladeren, de (vroeg) vruchtproductie bleek niet significant te verschillen. De kwaliteit van de vruchten wel: de vruchtkleur was lichter bij een hoger aandeel verrood licht in het spectrum. Omdat de productie met een hoger aandeel verrood licht (20-26%) niet hoger was dan bij 10% verrood licht, en de bladstand en plantvorm er goed uit zagen bij de behandelingen met 10% verrood licht, is de aanbeveling om in de keuze voor een lichtspectrum voor een komkommerteelt in de praktijk dit aan te houden. Geen verrood in het lichtspectrum heeft negatieve gevolgen voor het bladoppervlak en bladstand en daarmee de lichtonderschepping, en blijkt (ook al is het niet altijd significant verschillend) in de laagste plantbiomassa en productie te resulteren.

Spectrum bij natuurlijke vijanden

In tomaat worden vrijwel standaard *Macrolophus pygmaeus* roofwantsen preventief ingezet als bestrijder van witte vlieg, *Tuta absoluta* en andere plagen. De vraag is hoe het aantal nakomelingen van deze biologische bestrijder wordt beïnvloed door het lichtspectrum. Een lichtspectrum met gelijke aandelen rood, groen en blauw in het lichtspectrum leidde tot minder nakomelingen per *M. pygmaeus* vrouwtje per dag in vergelijking tot spectra met hogere aandelen rood. Dat heeft mogelijk te maken met het aandeel rood licht, dat door *Macrolophus* niet kan worden waargenomen.

De sluipwesp *Aphidius ervi* wordt ingezet tegen bladluizen. De zoek- en parasiteringsactiviteit van deze sluipwesp was hoger naarmate het aandeel rood licht lager was, en de aandelen blauw en groen licht hoger waren. Onder een spectrum met gelijke aandelen rood, groen en blauw licht was het aantal geparasiteerde bladluizen bijna twee keer zo hoog als onder het spectrum met 95% rood en 5% blauw licht.

Concluderend

Om te komen tot energiezuinige, all-electric teeltsystemen is het gebruik van LED belichting cruciaal. Het feit dat de kleuren van LED belichting instelbaar zijn, biedt nieuwe kansen om gewasmorfologie te sturen en daarmee ook productie te beïnvloeden, maar roept ook vragen op ten aanzien van het meest geschikte lichtspectrum. Dit onderzoek laat zien dat de teelt van jonge tomaten- en komkommerplanten goed kan onder verschillende lichtkleuren, waarbij met name de balans blauw en verrood licht de mate van strekking bepaalt. Daarmee kan tijdens de opkweek en de start van de teelt gestuurd worden op het telen van een plant met de gewenste plantvorm. Het lichtspectrum had geen effect op plantgewicht en op de vroege productie van snackkomkommer. Een lichtspectrum met een hoger aandeel rood licht werd door insecten ervaren als condities met meer licht, wat de zoekactiviteit ten goede kwam. Deze kennis kan gebruikt worden om de uitzetstrategie van natuurlijke vijanden aan te passen aan de lichtomstandigheden in de kas.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Om energiebesparing en klimaatneutrale toepassingen voor all-electric glastuinbouw te kunnen combineren met belichting wordt veel verwacht van efficiëntere belichtingssystemen zoals LEDs. LED biedt energetische voordelen en geeft ruimte voor toepassing van dynamische lichtrecepten (lichtkleur is te kiezen en in de tijd te variëren). In het project "Denkkader licht" (Dieleman e.a., 2020) is een beeld geschetst van de kennis die er over lichtkleuren is en het effect daarvan op groei en ontwikkeling van het gewas, op de ontwikkeling van ziekten, plagen en de effectiviteit van biologische bestrijders en de kennislacunes die er zijn. Over de combinatie van een lage intensiteit zonlicht in de winter gedurende een beperkt aantal uren per etmaal, met LED verlichting gedurende een groot deel van het etmaal, blijkt heel weinig bekend. Veel onderzoek naar de invloed van lichtkleuren op gewasgroei en -ontwikkeling is gedaan aan effecten van één kleur, vaak in daglichtloze condities, maar slechts weinig onderzoek naar een integrale benadering van LED belichting in kassen met daglicht. Twee richtingen van ontwikkeling van lichtrecepten lijken perspectiefvol voor onderzoek en vervolgens voor toepassing in de glastuinbouw: (1) balans tussen kleuren en (2) minimale hoeveelheid licht van bepaalde kleur.

1.2 Integraal duurzaam teeltsysteem

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

1.3 Doelstelling

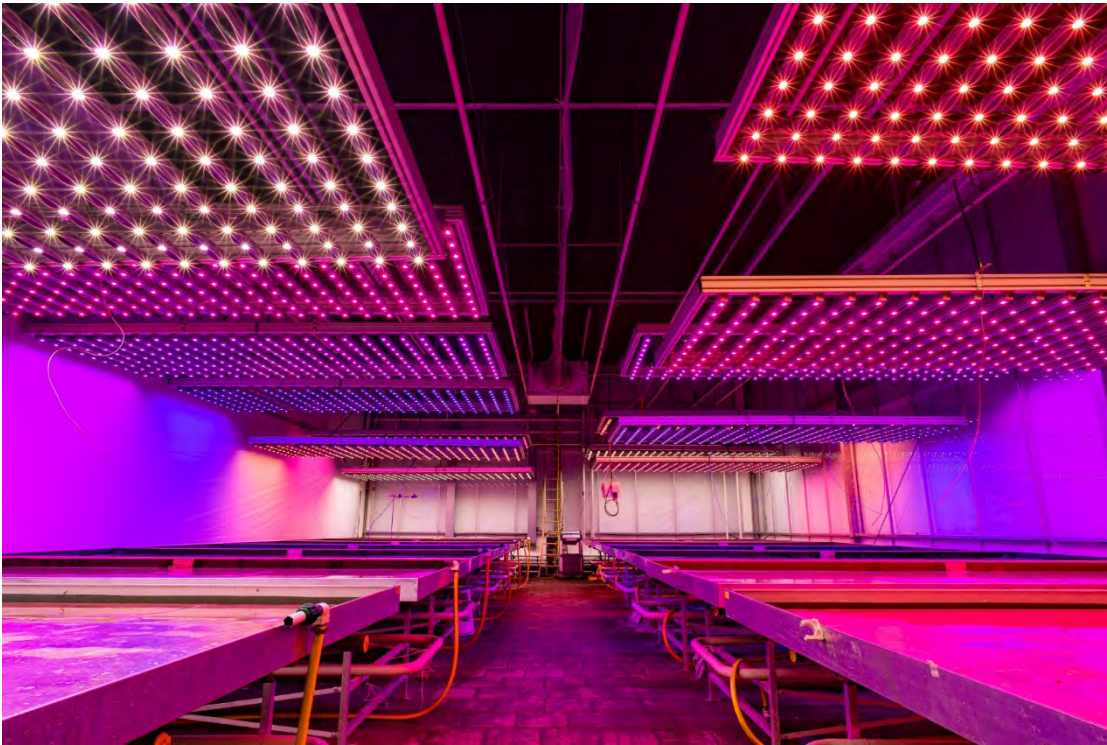
Het doel van dit project is het opstellen van (goede) basisspectra voor LED licht als aanvulling op het zonlicht onder omstandigheden met weinig natuurlijk licht, voor een aantal gewassen (tomaat, komkommer, chrysant en alstroemeria) en natuurlijke vijanden van plagen. Deze kennis moet bij voorkeur zo spoedig mogelijk toegepast worden in energieneutrale teeltsystemen in de glastuinbouw. In dit rapport worden de resultaten van de proeven met komkommer en tomaten beschreven. De resultaten van de proeven die in dit kader gedaan zijn met siergewassen (chrysant en alstroemeria) staan beschreven in het rapport "Chrysant en alstroemeria: sturen met lichtspectrum" (Dieleman e.a., 2021).

1.4 Leeswijzer

Na het beschrijven van de aanleiding en doelstelling van dit rapport in hoofdstuk 1, wordt in hoofdstuk 2 de faciliteit beschreven (het Innovatie en Demonstratiecentrum voor LED toepassingen in de glastuinbouw, IDC LED) waarin het onderzoek naar lichtspectra voor dit project is uitgevoerd. In hoofdstukken 3 en 4 worden de effecten van lichtspectra op groei en morfologie van tomaat beschreven, en in hoofdstukken 5 en 6 de effecten van verschillende behandelingen met dynamische lichtspectra op groei en productie van komkommer. Hoofdstukken 7 en 8 richten zich op de invloed van het lichtspectrum op biologische bestrijders. In hoofdstuk 7 worden resultaten getoond van de invloed van lichtspectrum op de zoek- en parasiteringsactiviteit van de sluipwesp *Aphidius ervi*. In hoofdstuk 8 wordt de invloed van het lichtspectrum op de eileg en ontwikkeling van de roofwants *Macrolophus pygmaeus* in tomaat beschreven. Het rapport eindigt met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 9.

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. Eén van de afdelingen van het IDC LED is speciaal ingericht om onderzoek te doen aan de effecten van (dynamische) lichtspectra op de groei en ontwikkeling van verschillende gewassen.



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

2.1 IDC LED kasinrichting en klimaatregeling

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



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

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

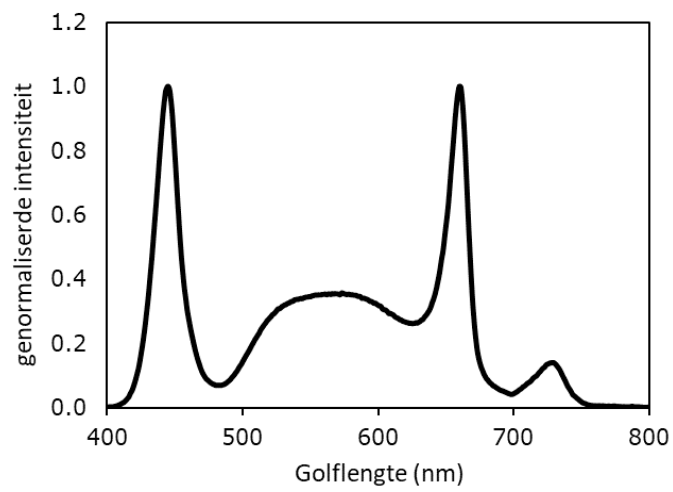
Het klimaat wordt geregeld door een ISII-klimaatcomputer (Hoogendoorn). Per teelt die er uitgevoerd is, werden de klimaatinstellingen aangepast. Uitgangspunt in dit project is een belichte teelt onder winterse condities, waarbij ongeveer 80% van het licht dat de planten krijgen afkomstig is van de lampen en ongeveer 20% afkomstig is 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 van ca. 20% van de totale lichtsom op de tafels. De hoeveelheid inkomend zonlicht wordt gemeten boven het lichtplafond van elke tafel met 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 dat ook uitdooft afhankelijk van de lamp-plantafstand waarbij het referentiepunt een lamp-plantafstand van 50 cm is.

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

2.2 LED licht behandelingen

In de zomer van 2018 zijn in afdeling 7.01 van het IDC LED boven alle tafels rekken met dynamische LED modules (Philips GreenPower LED productie Dynamic) geplaatst. Deze modules zijn instelbaar in de kanalen blauw (piek bij 446 nm), wit (breed spectrum met hoog aandeel groen licht met piekmissie bij 571 nm), rood (660 nm) en verrood (729nm) (Figuur 3.3). Het regelsysteem dat hier bij hoort, maakt het mogelijk (bijna) ieder gewenst spectrum (dynamisch) in te stellen op afstand. De rekken met lampen hingen ca. 1.70 meter boven de tafel (afhankelijk van het experiment). De hoogte van de rekken bleef gedurende de teelt gelijk, waarmee de lichtintensiteit bij de top van het gewas gedurende de teelt toenam. Om lichtvervuiling tussen de behandelingen te voorkomen, was rondom de tafels wit folie opgehangen.



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

3 Effecten van lichtkleuren op groei en morfologie bij tomaat: eerste brede screening

3.1 Inleiding

In de glastuinbouw start de teelt van vruchtgroentegewassen met plantmateriaal dat van opkweekbedrijven wordt verkregen. Met name voor de teelten die in het najaar of de winter beginnen wordt gebruik gemaakt van jonge planten die onder belichting worden opgekweekt. Dat is nu in veel gevallen nog SON-T belichting, maar met de toenemende belichtingsintensiteiten en toenemende energieprijzen zijn opkweekbedrijven geïnteresseerd in de mogelijkheden om onder hybride belichting (SON-T plus LED) of full LED systemen te telen. Daarbij is de keuze voor het lightspectrum van belang omdat het jonge plantmateriaal moet voldoen aan de eisen van de teler ten aanzien van hoogte, kwaliteit van de bloemtros, en gewicht van de plant. In dit experiment hebben we de effecten van een aantal lightspectra in de opkweek van jonge tomatenplanten onderzocht, waarbij het LED licht als aanvulling op zonlicht wordt gebruikt.

3.2 Materiaal en methoden

3.2.1 Teelt en behandelingen

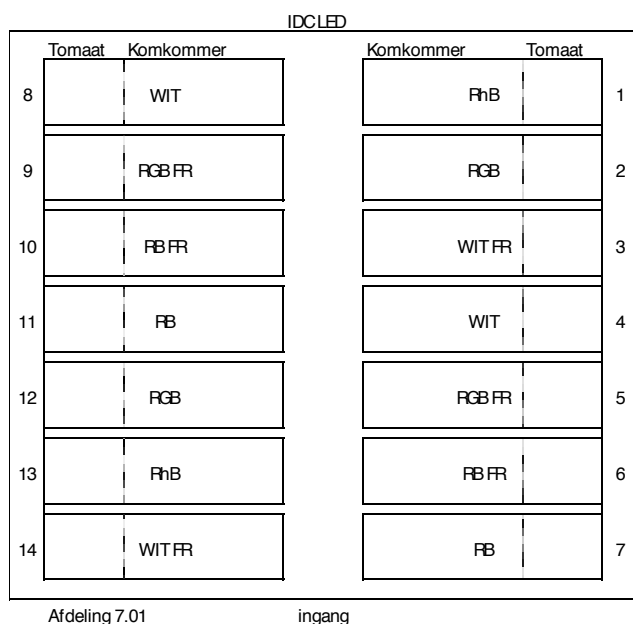
Jonge tomatenplanten zijn in het IDC LED bij 7 verschillende lichtkleuren geplaatst (in twee herhalingen, verdeeld over 14 tafels). Gedurende de teelt is de plantontwikkeling en fotosynthese gemeten, en na 4 weken zijn de planten destructief geoogst.

Tabel 3.1

Overzicht gegevens experiment tomaat.

Gewas	Tomaat
Rassen	Merlice
Plantdatum (start experiment)	23 januari 2019
Plantdichtheid	6.7 planten/m ²
Teeltstrategie	Teelt op steenwolblokjes, teeltduur van ca. 1 maand, dus geen planten op de mat.
Substraat en watergift	Steenwolblokjes, watergift (jonge planten) via eb en vloed
Hoogte van het lampenplafond	1.85 m
Lichtintensiteit	140 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 1 m onder de lampen. Op 50 cm onder de lampen is de lichtintensiteit ca. 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
Daglength	18 uur
Lichtbehandelingen	Zie tabel 3.2
Temperatuurinstellingen	Etmaaltemperatuur 22 °C (nacht 20 °C, dag 23 °C)
Schermsstrategie	Energiescherm sluit bij 300 W/m ² instraling.
CO ₂ concentratie	700 ppm
Relatieve luchtvochtigheid	80%
Einde experiment	21 februari 2019

Dit experiment werd gecombineerd met de teelt van jonge komkommerplanten (zie hoofdstuk 5). Deze stonden gezamenlijk op de tafels (zie figuur 3.1).



Figuur 3.1 Schematische weergave van de verdeling van de lichtbehandelingen over de tafels in het IDC LED (links) en een foto van de start van het experiment, met vooraan de tafel twee rijen komkommerplanten op een steenwolmat, en achteraan de losse jonge tomatenplanten in steenwolblokjes. Er stonden 20 tomatenplanten, waarvan de middelste 6 voor destructieve metingen zijn gebruikt.

Tabel 3.2

Toegepaste lichtbehandelingen (in procenten). Lichtintensiteit was $140 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 1 m onder de lampen.

Behandeling	Naam	Blauw (%)	Groen (%)	Rood (%)	FR (verrood) (%)	Totaal (%)
1	RB	5	0	95	0	100
2	RhB	25	0	75	0	100
3	RGB	5	20	75	0	100
4	Wit	30	35	35	0	100
5	RB+FR	5	0	95	10	110
6	RGB+FR	5.5	11	83.5	10	110
7	Wit FR	22	26	26	26	100

3.2.2 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO_2 en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt, en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer. Boven de lampenplafonds van iedere tafel hangt een PAR sensor, die het inkomende zonlicht meet. Per tafel kan op basis van die metingen en de lichtintensiteiten van de lampen bepaald worden wat het aandeel lamplicht en zonlicht is op het gewas.

3.2.3 Plantmetingen

Op 20 en 21 februari 2019 zijn destructieve plantmetingen gedaan van 6 tomatenplanten per tafel (12 per behandeling). Per plant werden plantlengte, aantal internodiën en bladoppervlakte gemeten. Van het bovenste volgroeide blad werden bladoppervlakte en drooggewicht gemeten, zodat de specifieke bladoppervlakte berekend kon worden (Specific leaf area, m² blad per kg drooggewicht, indicatie voor de bladdikte). Verder werden vers- en drooggewichten van bladeren en stengels bepaald (drogen gedurende twee dagen bij 80 °C). Omdat tijdens de teelt oedeem werd gezien op de planten, werd bepaald op hoeveel bladeren er oedeem te zien was.

Tijdens de teelt zijn fotosynthesemetingen gedaan aan het bovenste volledig uitgestrekte blad van de planten. Er werden lichtresponscurves bepaald van 6 planten per behandeling (3 planten per tafel), in de behandelingen RB, RhB en RGB met behulp van een draagbare fotosynthesemeter (Li-6800, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) uitgerust met een bladkamer met een meetoppervlakte van 2 cm². Voor de lichtresponscurves werd een lichtbron gebruikt met 90% rood en 10% blauw licht, en een lichtreeks van 1250, 1000, 750, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50 en 0 µmol/m²/s. De CO₂ concentratie in de bladkamer was 600 ppm, de bladtemperatuur was 23°C en de VPD 0.8 kPa. Op de data van de lichtresponscurves werd een niet-rectangulaire hyperbool gefit (Thornley, 1976). Deze curve bereikt een plateau bij hoge lichtintensiteiten.

$$A_{ss} = \left(\varepsilon R + (A_{\max} + R_d) - \sqrt{(\varepsilon R + A_{\max} + R_d)^2 - 4\Theta \varepsilon R (A_{\max} + R_d)} \right) / (2\Theta)$$

Waarbij:

- A_{ss} : bruto CO₂ opname snelheid (µmol/m²/s)
- $A_{\max}$: maximale netto CO₂ opname snelheid bij hoge lichtniveaus (µmol/m²/s)
- R_d : Respiratie (ademhaling) (µmol/m²/s) (R_d heeft in deze formule een negatieve waarde)
- ε : initiële lichtbenuttingsefficiëntie (µmol CO₂ /m²/s / [µmol PAR/m²/s])
- Θ : Kromming van de curve (-)
- R : fotosynthetisch actieve straling (PAR, µmol/m²/s)

Met deze formule kunnen de vier parameters van de lichtreponscurve te bepalen: donkerademhaling (R_d), lichtbenuttingsefficiëntie (ε), maximale netto fotosynthesesnelheid ($A_{\max}$) en de buiging van de curve (Θ). Er werd een statistische analyse gedaan op deze parameters, via Genstat.

Daarnaast zijn aan metingen gedaan aan "in situ" fotosynthese van 20 bladeren per behandeling, door de lichtkamer zonder lichtbron toe te passen, en dus netto CO₂ opname te bepalen bij de lichtintensiteit die op het blad valt.

3.3 Resultaten

3.3.1 Klimaat

Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas gedurende de proef was een gemiddelde etmaaltemperatuur van 22.6 °C met een dag/nacht temperatuur van 23.0 °C en 20.5 °C respectievelijk, een relatieve luchtvochtigheid van 78% en een CO₂ concentratie van 636 ppm.

De planten werden geplaatst bij een lichtintensiteit van de LED lampen van 140 µmol/m²/s (op 1 meter onder de lampen) bij een daglengte van 18 uur. Tijdens de proef kregen de planten een lichtsom (DLI, daily light integral) van de LED lampen van 9.0 mol/m²/dag, en van de zon van gemiddeld 1.6 mol/m²/dag. Dat betekende dat de planten gemiddeld een DLI van 10.6 mol/m²/dag kregen van zon- en lamplicht, waarbij de bijdragen van het LED licht en zonlicht aan de DLI respectievelijk 85 en 15% waren.

3.3.2 Groei, ontwikkeling en morfologie

De jonge tomatenplanten werden onder de lichtbehandelingen geplaatst op 23 januari 2019. De planten hadden toen 2 echte bladeren en waren ca. 11 cm hoog. Na een week waren de verschillen in strekking bij de verschillende lichtbehandelingen al goed te zien (Figuur 3.2).

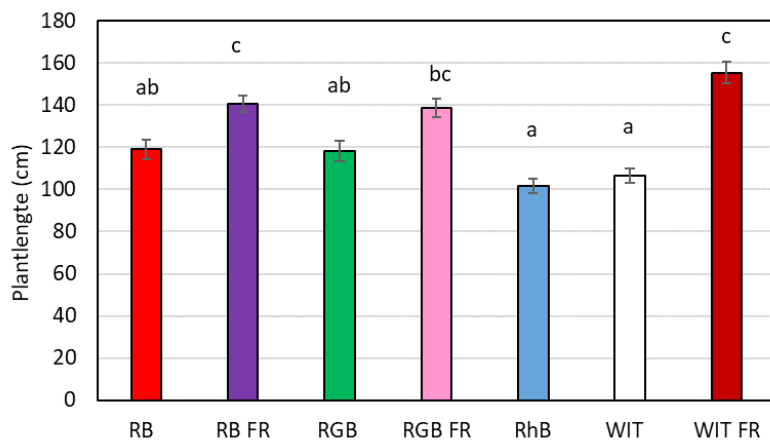


Figuur 3.2 Effect van de lichtbehandelingen op strekking en morfologie van jonge tomatenplanten. Van links naar rechts de behandelingen RB, RhB, RGB, RGB FR, RB FR, Wit en Wit FR.



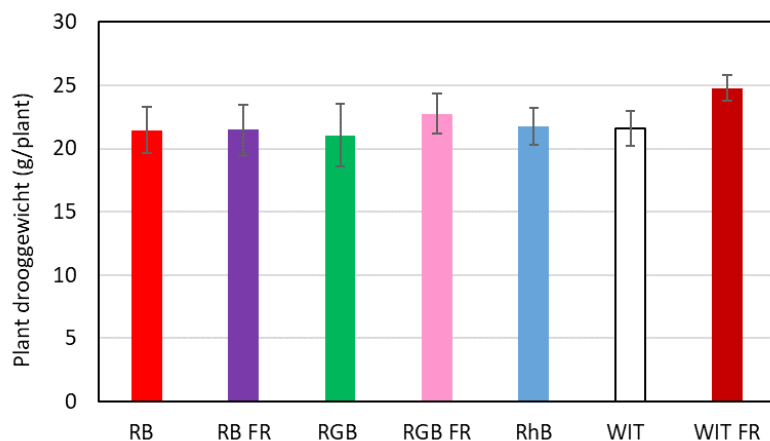
Figuur 3.3 Effect van de lichtbehandelingen op strekking en morfologie van jonge tomatenplanten. Van links naar rechts de behandelingen RB, RhB, RGB, RGB FR, RB FR, Wit en Wit FR.

Deze verschillen bleven tijdens de teelt bestaan. Aan het einde van de teelt, na 4 weken bij de lichtbehandelingen, werden 6 planten per tafel, 12 planten per behandeling destructief geoogst. De planten bleken het langst in de behandelingen met verrood licht, en het kortst in de behandelingen met een hoog aandeel blauw licht (RhB en Wit, met 25 en 26% blauw licht) (Figuren 3.3 en 3.4).



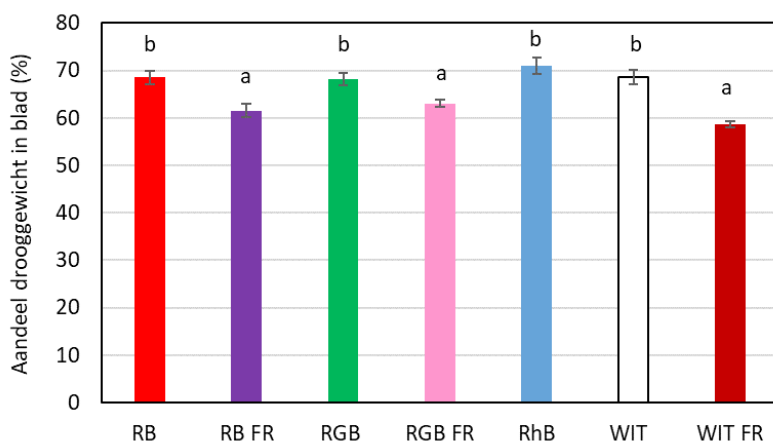
Figuur 3.4 Effect van de lichtbehandelingen op de plantlengte (cm) van tomaat Merlice aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

Ondanks de grote verschillen in plantlengte, bleek het totale drooggewicht van de planten niet significant te verschillen tussen de behandelingen (Figuur 3.5).



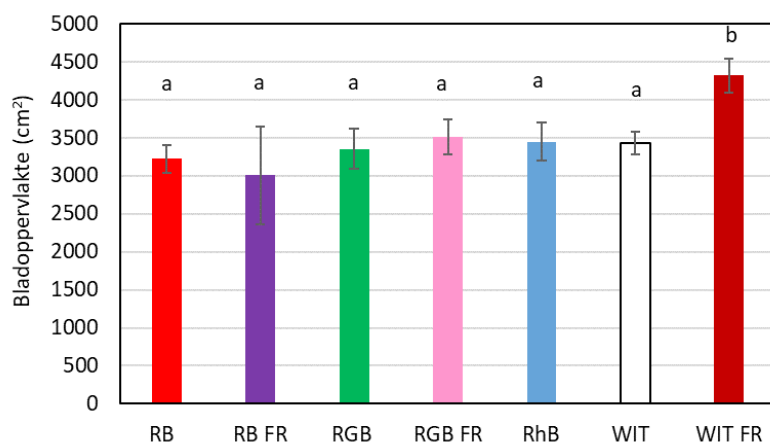
Figuur 3.5 Effect van de lichtbehandelingen op de totale bovengrondse biomassa (plant drooggewicht) van tomaat Merlice aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

De verdeling van de assimilaten over stengels en bladeren hield direct verband met de plantlengte: de behandelingen met de langste stengels hadden het kleinste aandeel van het totale plantgewicht in de bladeren (Figuur 3.6). De drie behandelingen met verrood licht hadden een significant lager aandeel van hun plantgewicht in de bladeren, en meer in de stengels.

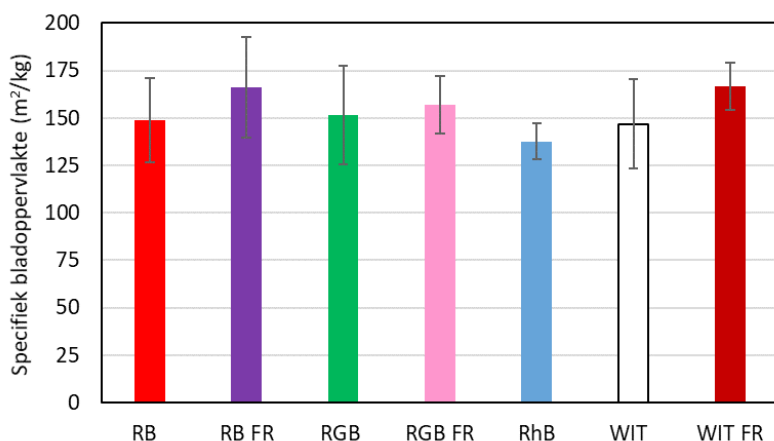


Figuur 3.6 Effect van de lichtbehandelingen op het aandeel van de bladeren in het totale drooggewicht van tomaat Merlice aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

Het bladoppervlak werd niet beïnvloed door de meeste behandelingen. Alleen in de behandeling Wit FR was het bladoppervlak groter dan in alle andere behandelingen (Figuur 3.7). De lichtbehandelingen verschillen in effecten op bladgewicht en bladoppervlakte. Dat betekent dat het de verwachting was dat er verschillen zouden zijn in de blad dikte. Als inschatting daarvan kan het specifieke bladoppervlak gebruikt worden. Om dat te kunnen bepalen zijn bladoppervlakte en drooggewicht van het bovenste volledig uitgestrekte blad gemeten bij de destructieve eind oogst. Echter, uit de resultaten blijkt dat er geen significant verschil is in specifiek bladoppervlak (SLA, m^2 blad per kg drooggewicht) (Figuur 3.8).

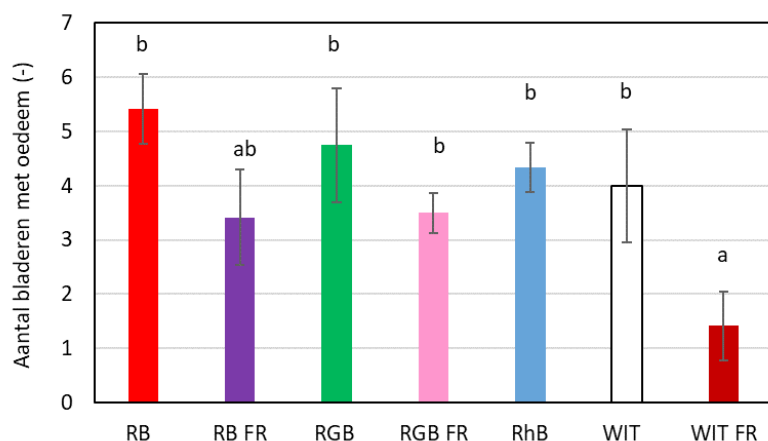


Figuur 3.7 Effect van de lichtbehandelingen op het bladoppervlakte van tomaat Merlice aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.



Figuur 3.8 Effect van de lichtbehandelingen op het specifieke bladoppervlakte (SLA, m² blad per kg drooggewicht) van tomaat Merlice aan het einde van de teelt (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

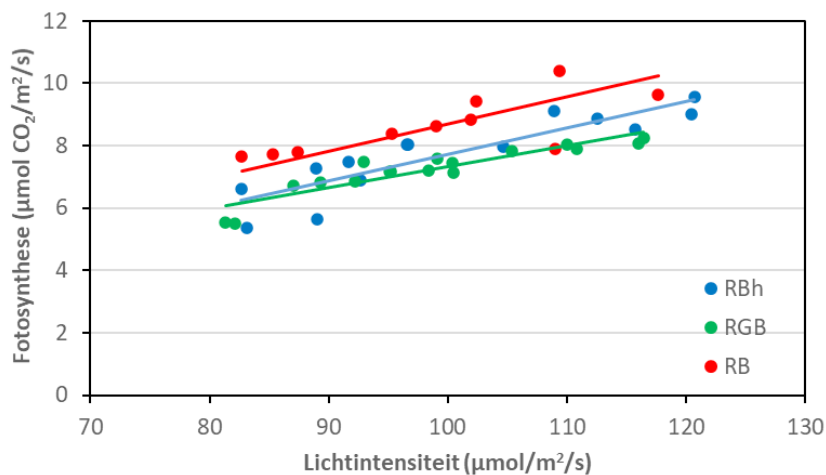
Tijdens de teelt bleken op de onderste bladeren van de planten vochtblaasjes te verschijnen, die uiteindelijk zorgden voor bruine vlekken op het blad en eventueel het afsterven van het blad, oedeem. Dit oedeem trad niet in alle behandelingen even sterk op. Het bleek dat de behandelingen met een aandeel verrood in het spectrum hier minder last van hadden, met name de behandeling Wit FR (Figuur 3.9).



Figuur 3.9 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal bladeren met oedeem van tomaat Merlice aan het einde van de teelt (n=2). De planten hadden gemiddeld 14.3 bladeren. De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

3.3.3 Fotosynthese

De momentane fotosynthese is gemeten zonder een lichtbron op de bladkamer te zetten. Dat betekent dat de CO₂ opname door het blad gemeten wordt bij het heersende licht. Uit deze metingen blijkt dat de fotosynthese van bladeren in de behandeling RB hoger was dan in de behandelingen RhB en RGB, hetgeen op basis van de theorie (McCree curve; McCree, 1972) ook te verwachten zou zijn (Figuur 3.10).



Figuur 3.10 Netto fotosynthese van tomatenbladeren bij het licht van de LED lampen. De meetwaardes bij lichtintensiteiten tussen 80 en 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ zijn geselecteerd. Door de punten is een trendlijn getrokken.

De parameters die de lichtresponscurves beschrijven zijn statistisch geanalyseerd, en daaruit blijkt dat de donkerademhaling (R_d), lichtbenuttingsefficiëntie (α) en de kromming van de curve (θ) niet significant verschillend zijn tussen de behandelingen RB, RhB en RGB. De maximale fotosynthese snelheid ($P_{\max}$) vertoonde wel verschillen tussen de behandelingen en was significant hoger voor de behandeling RGB dan voor de behandelingen RB en RB (Tabel 3.3).

Tabel 3.3

Effect van de lichtbehandelingen RB, RhB en RGB op de parameters van de lichtresponscurve van de fotosynthese voor tomaat. Verschillende letters geven aantoonbare verschillen aan ($P \leq 0.05$; $n=2$).

Parameters	RB	RBh	RGB
R_d ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	2.113	2.103	2.269
α (mol/mol)	0.087	0.085	0.093
$P_{\max}$ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	24.01 a	24.40 a	25.95 b
θ	0.560	0.656	0.451

3.4 Conclusies

In dit experiment is het effect van een brede reeks lichtspectra op de groei en ontwikkeling van jonge tomatenplanten cv Merlice onderzocht, onder omstandigheden waar 85% van de dagelijkse lichtsom afkomstig is van LED lampen en 15% van de zon. De lichtspectra die zijn toegepast liepen uiteen van 95% rood en 5% blauw tot een spectrum met gelijke aandelen blauw, groen, rood en verrood licht. Uit de resultaten blijkt dat het lichtspectrum grote verschillen in plantvorm oplevert. De behandelingen waarin een deel van het rode licht is vervangen door verrood licht leveren langere planten op, met een hoger aandeel van de assimilaten in de stengels ten koste van de bladeren. Het verrode licht heeft een positief effect op het optreden van oedeem: als er verrood licht aan het spectrum is toegevoegd, is het aantal bladeren met oedeem kleiner. Het totale plantdrooggewicht werd niet beïnvloed door de aangelegde lichtbehandelingen, maar de assimilatenverdeling over stengels en bladeren wel. Dit onderzoek geeft daarmee aan dat het goed mogelijk is de plantlengte van jonge tomatenplanten te sturen, waarbij de vraag blijft wat voor een opkweekbedrijf en een teler de meest gewenst plantvorm voor het begin van een teelt is waarnaar gestreefd moet worden.

4 Sturen van de groei van tomaat met het aandeel blauw en verrood licht

4.1 Inleiding

Tot zeer recent was SON-T de meest gebruikelijke lichtbron in de teelt en opkweek van tomaten. De sterk toegenomen energieprijzen in 2022 hebben de belangstelling voor LED belichting in de teelt en opkweek van tomaten sterk doen toenemen. Uit een eerste brede screening van de effecten van (LED) lichtspectra op de groei en ontwikkeling van jonge tomatenplanten bleek dat het goed mogelijk is de plantvorm (strekking) en verdeling van assimilaten over bladeren en stengel te sturen met lichtspectrum, al bleven de effecten op het totale drooggewicht van de plant achterwege (Hoofdstuk 3). De mogelijkheden om de plantvorm te sturen, is vooral interessant voor opkweekbedrijven, die daarmee planten met de gewenste vorm bij hun klanten kunnen afleveren. Voor de plantvorm is strekking een belangrijke eigenschap, zowel stengelstrekking (totale plantlengte) als strekking van bladeren (voor onder andere lichtonderschepping) en strekking van bladsteeltjes (voor een betere verticale lichtverdeling). Daarnaast wordt bij kwaliteit van jonge planten vaak gekeken naar de kleur, waarbij in het algemeen de toevoeging van verrood licht zorgt voor een minder groene kleur (en meer strekking) (Dieleman *et al.* 2019), terwijl blauw licht zorgt voor een donkerder kleur (en minder strekking) (Kalaitzoglou *e.a.*, 2021).

Rood licht en een beperkte hoeveelheid blauw licht zijn noodzakelijk voor het normaal functioneren van een plant, en zijn daarom een gegeven (Kim *e.a.*, 2019). Rood licht is het meest efficiënt in de fotosynthese, terwijl blauw licht betrokken is bij huidmondjesopening en het functioneren van het fotosynthese apparaat (McCree 1972, Wang *et al.* 2016). Alleen rood licht leidt tot verlaagde fotosynthesecapaciteit en dunner blad, het "rood licht syndroom" (Trouwborst *e.a.*, 2010). Tomaat blijkt hiervoor wel minder gevoelig dan bijvoorbeeld komkommer (Kaiser *et al.* 2019a, Hogewoning *et al.* 2010). Het toevoegen van blauw licht aan een (volledig) rood licht spectrum stimuleert de strekking van bladeren en leidt tot meer opening van huidmondjes en daarmee een hogere fotosynthese (Kaiser *e.a.*, 2019b). Echter, het verhogen van het aandeel blauw licht tot meer dan 6-12% leidt tot een verlaging van de biomassa, met name door een kleiner bladoppervlakte en dus een lagere lichtonderschepping (Kaiser *e.a.*, 2019b). In tomaat leidt een hoger aandeel verrood licht in het spectrum tot een kortere tijd tot bloei en leidt het tot een hoger aandeel van de assimilaten in de vruchten (Kalaitzoglou *e.a.*, 2019). De vraag in dit onderzoek is hoe we de balansen B:R en R:FR zodanig in kunnen zetten dat we een plant kunnen telen met de gewenste opbouw.

4.2 Materiaal en methoden

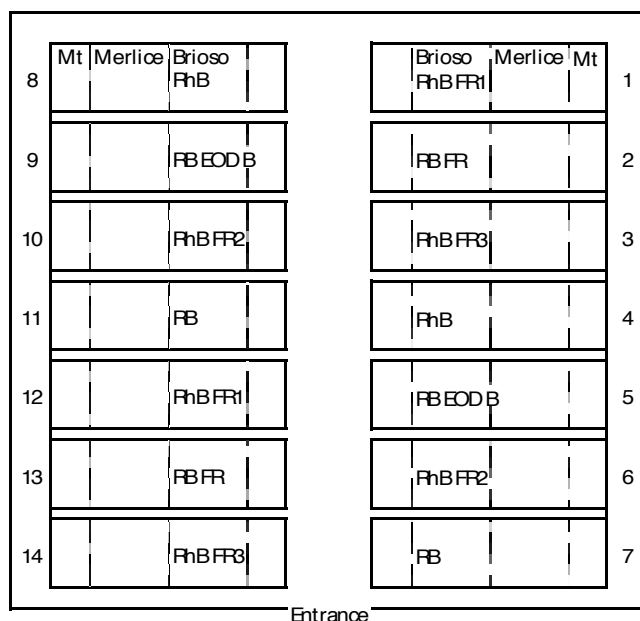
4.2.1 Teelt en behandelingen

Jonge tomatenplanten zijn in het IDC LED bij 7 verschillende lichtkleuren geplaatst (in twee herhalingen, verdeeld over 14 tafels). Gedurende de teelt is de plantontwikkeling en fotosynthese gemeten, en na 4 weken zijn de planten destructief geoogst.

Tabel 4.1

Overzicht gegevens experiment tomaat.

Gewas	Tomaat
Rassen	Merlice (de Ruiter) en Brioso (Rijk Zwaan) op onderstam Maxifort
Zaaidatum en plantdatum (start experiment)	Zaaidatum: 7 mei 2019 (Van der Lugt, Bleiswijk), geënt op onderstam Maxifort, plantdatum (experiment): 29 mei 2019
Plant- en stengeldichtheid	8 planten/m ² , 2 stengels per plant, 16 stengels/m ²
Teeltstrategie	Planten werden geteeld op steenwolblokken. Middelste 6 planten per ras werden gebruikt als proefplanten, met daar omheen randplanten waar aan geen waarnemingen werden gedaan. Een maand na planten werden de stengels aan touwtjes aan frames gehangen om omvallen te voorkomen.
Substraat en watergift	Steenwol blokken, watergift via eb en vloed systeem
Hoogte van het lampenplafond	1.85 m
Lichtintensiteit	Ingesteld op 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij de top van de planten, en is dus gedurende de proef drie maal bijgesteld (dag 15, 24 en 31 na start van de proef)
Daglengthe	18 uur (middernacht tot 18:00 uur)
Lichtbehandelingen	Zie tabel 4.2
Temperatuurinstellingen	Etmaaltemperatuur 24 °C
Schermsstrategie	Donkerdoek (LS Obscura 9950 FR W) werd geopend in drie stappen van 8:30 tot 9:30 uur en sloot in drie stappen tussen 17:00 en 18:00 om natuurlijke winterse daglengthe te simuleren. Overdag werd scherm 20-70% gesloten als globale straling 400-800 W/m ² was Energiescherm (LS 10 Ultra) sluit bij 300 W/m ² instraling.
CO ₂ concentratie	600 ppm
Relatieve luchtvochtigheid	70%
Einde experiment	Destructieve eendoogst op 5 juli 2019 (duur experiment 38 dagen)



Figuur 4.1 Verdeling van de behandelingen over de tafels in het IDC LED. Planten van ras Brioso stonden aan de kant van het pad, planten van het ras Merlice op de achterste helft van de tafels.

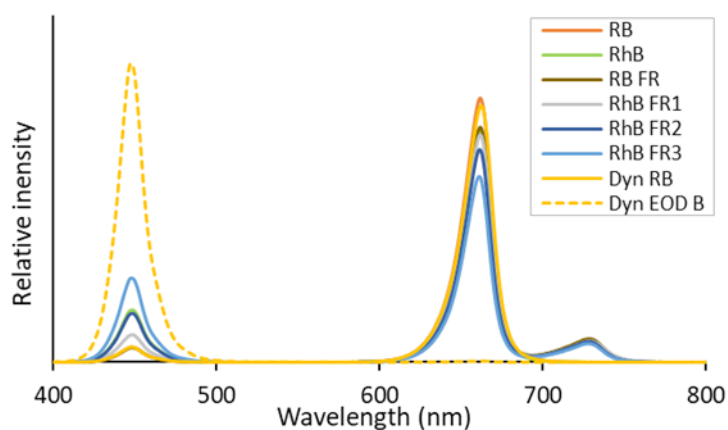


Figuur 4.2 Overzicht van jonge tomatenplanten met twee stengels op de tafels onder de LED lampenplafonds in het IDC LED (foto genomen op 14 juni 2019).

Tabel 4.2

Toegepaste lichtbehandelingen (in procenten). De behandeling EOD blauw licht had een intensiteit van $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ gedurende een uur. De totale lichtsom van deze behandeling was hetzelfde als de andere behandelingen.

Behandeling	Naam	Blauw (%)	Groen (%)	Rood (%)	FR (verrood) (%)	Totaal (%)
1	RB	5	0	95	0	100
2	RhB	17.5	0	82.5	0	100
3	RB FR	4.5	0	85	10.5	100
4	RhB FR1	9.5	0	80.5	10	100
5	RhB FR2	16	0	74.7	9.3	100
6	RhB FR3	27	0	65	8	100
7	Dynamisch RB	5	0	95	0	99
	Dynamisch EOD B	100	0	0	0	1



Figuur 4.3 Lichtspectra van de zeven toegepaste lichtbehandelingen.

4.2.2 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO₂ en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt, en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer. Boven de lampenplafonds van iedere tafel hangt een PAR sensor, die het inkomende zonlicht meet. Per tafel kan op basis van die metingen en de lichtintensiteiten van de lampen bepaald worden wat het aandeel lamplicht en zonlicht is op het gewas.

4.2.3 Plantmetingen

4.2.3.1 Lichtonderschepping

De lichtonderschepping door het gewas werd gemeten op dagen 20, 27 en 34 na de start van het experiment met een lijnsensor (SS1 SunScan, Delta-T). Er werden metingen gedaan net boven het gewas en ter hoogte van het steenwolblokje. Lichtonderschepping werd bepaald als het percentage van het opvallende PAR licht dat door het gewas wordt onderschept. De metingen werden gedaan op bewolkte dagen of bij gesloten schermdoek om direct licht te voorkomen. Tijdens de metingen werden de LEDs uitgeschakeld. De metingen werden op twee verschillende locaties per plot (per ras per tafel) op twee hoogtes in het gewas.

4.2.3.2 Pigmentgehaltenes

Op dagen 36 en 37 na de start van de behandelingen werd het chlorofylgehalte niet-destructief gemeten met een optische sensor (Force-A Dualux Scientific, Dynamax). De metingen werden gedaan aan drie planten per ras per tafel.

4.2.3.3 Fotosynthesemetingen

Op dagen 27-33 na de start van de behandelingen werd de reactie van bladfotosynthese op een reeks lage lichtniveaus en werden CO₂ responscurves gemeten aan drie planten per tafel per ras met een draagbare fotosynthesemeter (LI-6800, LI-COR) met de 6800-01A fluorescentiekamer (3 cm²). Het lichtspectrum in de bladkamer werd aangepast aan de behandeling. De condities in de bladkamer waren 25 °C, 60% relatieve luchtvochtigheid en een stroomsnelheid van 400 µmol/s. De CO₂ concentratie werd stapsgewijs verlaagd van 2000 naar 50 ppm. Bij 600 ppm CO₂ werd het lichtniveau stapsgewijs verlaagd van 180 naar 0 µmol/m²/s.

4.2.3.4 Gewasgroei en-ontwikkeling

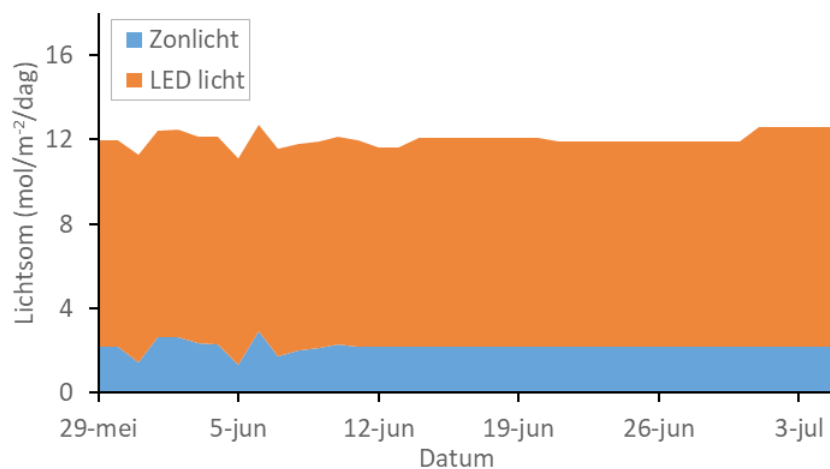
Aan het einde van de proef, 36-38 dagen na start van de behandelingen werden 4 planten per ras per tafel destructief geoogst (8 planten per behandeling per ras). Van alle planten werd stengellengte, aantal bladeren, bladoppervlakte en vers- en drooggewichten van bladeren en stengels gemeten.

4.3 Resultaten

4.3.1 Klimaat

Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas gedurende de proef was 22.3 °C, een relatieve luchtvochtigheid van 64% en een CO₂ concentratie van 560 ppm.

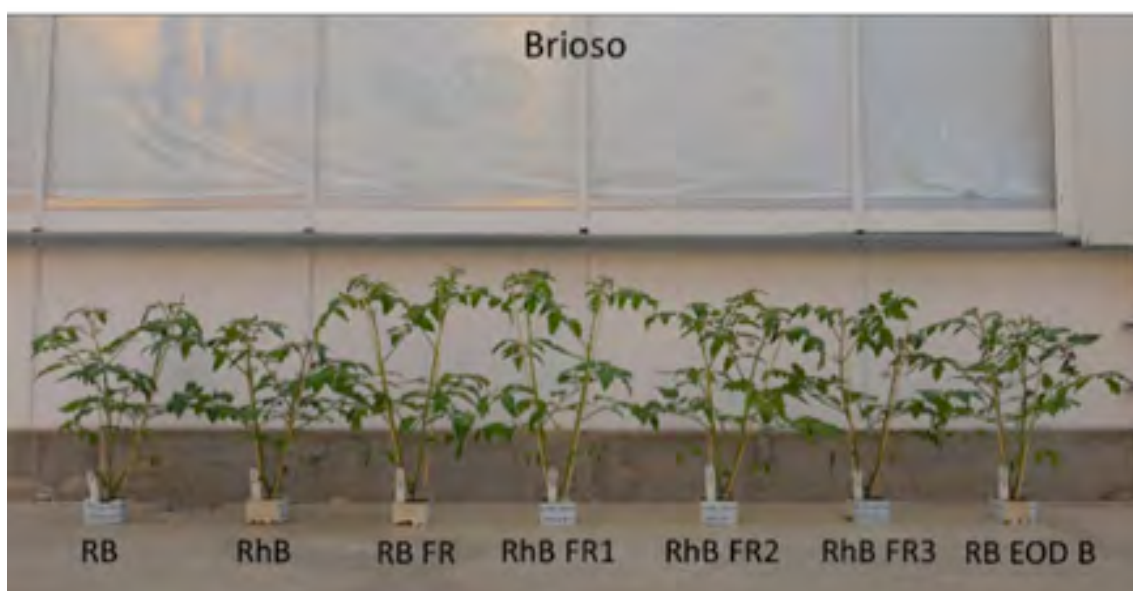
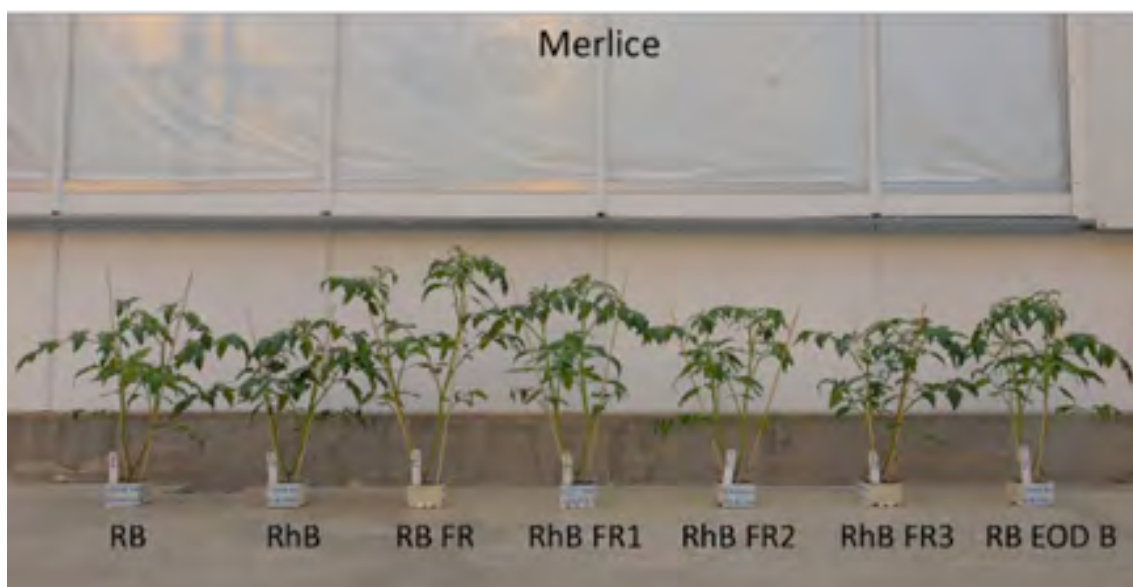
De planten werden geplaatst bij een lichtintensiteit van de LED lampen van 150 µmol/m²/s (ter hoogte van de top van de planten), bij een daglengte van 18 uur. Tijdens de proef kregen de planten een lichtsom (DLI, daily light integral) van de LED lampen van 9.9 mol/m²/dag, en van de zon van gemiddeld 2.2 mol/m²/dag. Dat betekende dat de planten gemiddeld een DLI van 12.1 mol/m²/dag kregen van zon- en lamplicht, waarbij de bijdragen van het LED licht en zonlicht aan de DLI respectievelijk 82 en 18% waren (Figuur 4.4).



Figuur 4.4 Verdeling van de totale lichtsom gedurende het experiment over zonlicht en LED licht.

4.3.2 Groei, ontwikkeling en morfologie

Tijdens de teelt van de jonge tomatenplanten bleek dat er duidelijke verschillen waren in plantvorm tussen de lichtbehandelingen. De planten met een laag aandeel blauw licht en een hoog aandeel verrood licht (RB FR) waren het langst, terwijl de behandelingen met een hoger aandeel blauw licht (RhB FR2 en RhB FR3) het kortst leken te zijn (Figuur 4.5).



Figuur 4.5 Effect van de lichtbehandelingen op strekking en morfologie van jonge tomatenplanten met twee stengels per plant, boven Merlice, onder Briosso. Van links naar rechts de behandelingen RB, RhB, RB FR, RhB FR1, RhB FR2, RhB FR3, RB EOD B. Foto is genomen op 26 juni 2019.

Aan het einde van de proef werden 4 planten per tafel per ras, 8 planten per ras per behandeling destructief geoogst. Voor beide rassen bleken de planten in de behandelingen met een laag aandeel blauw licht en een hoog aandeel verrood licht (RB FR) het langst, terwijl de planten zonder verrood licht (RhB) het kortst waren, maar niet significant korter dan de behandeling met 95% rood licht en 5% blauw (RB).

Tabel 4.3

Effect van de lichtbehandelingen op de plantlengte (cm) van tomaat Merlice en Briosio aan het einde van de teelt ($n=2$). Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

Behandeling	Plantlengte Merlice (cm)	Plantlengte Briosio (cm)
RB	83 ab	85 ab
RhB	72 a	78 a
RB FR	99 c	105 c
RhB FR1	96 c	99 bc
RhB FR2	90 bc	97 bc
RhB FR3	80 ab	86 ab
Dynamisch RB EOD B	83 b	86 ab

Ondanks de grote verschillen in plantlengte, bleek het totale drooggewicht van de planten niet significant te verschillen tussen de behandelingen (Tabel 4.4). Alleen bij Merlice waren de verschillen in stengelgewicht tussen de lichtbehandelingen significant, maar dit leidde niet tot verschillen in totaal plant drooggewicht. Het drooggewicht van de stengels van Merlice was het hoogst in de behandelingen RB FR en RhB FR1, met 4.5 en 8.5% blauw licht en ca. 10% verrood licht. Een verhoging van het aandeel blauw licht leidde tot lagere drooggewichten van de stengels (Tabel 4.4).

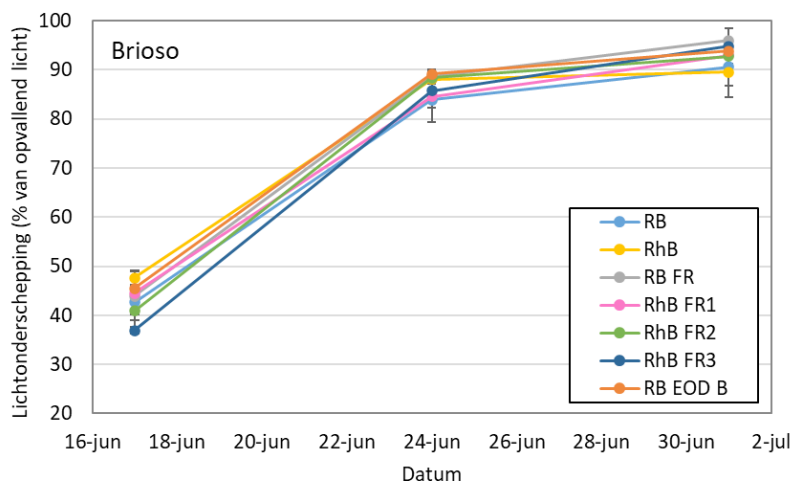
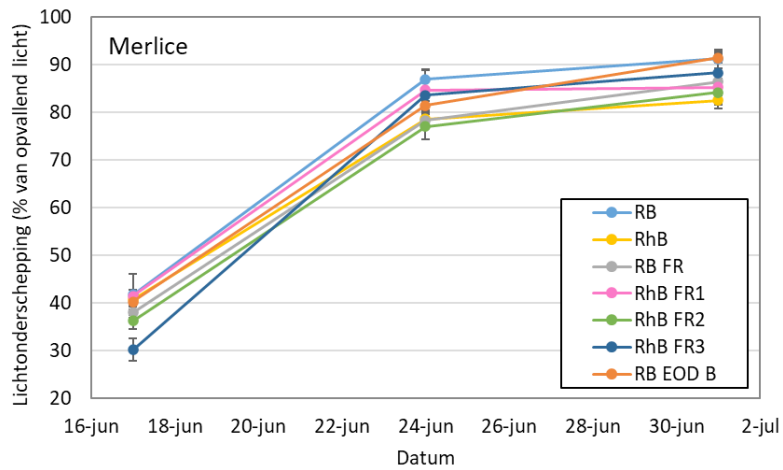
Tabel 4.4

Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht (DW) van de bladeren, stengels en de totale plant (g/plant) van tomaat Merlice en Briosio aan het einde van de teelt ($n=2$). Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

Behandeling	Merlice			Briosio		
	DW stengel (g/plant)	DW bladeren (g/plant)	DW totale plant (g/plant)	DW stengel (g/plant)	DW bladeren (g/plant)	DW totale plant (g/plant)
RB	7.1 abc	18.2	25.3	7.4	17.4	24.8
RhB	6.0 a	17.0	23.0	7.4	17.3	24.7
RB FR	7.9 b	14.9	22.8	9.1	16.4	25.5
RhB FR1	7.9 b	15.0	22.9	8.5	16.0	24.5
RhB FR2	7.6 bc	15.7	23.2	9.1	17.4	26.6
RhB FR3	6.7 ab	15.7	22.5	7.7	17.0	24.6
Dynamisch RB EOD B	6.9 abc	17.2	24.1	7.6	17.5	25.0

De ontwikkelingssnelheid was niet verschillend tussen de behandelingen. De planten van Merlice hadden bij de eind oogst gemiddeld 12.8 internodiën per plant, en de planten van Briosio gemiddeld 15.7. Maar dit aantal werd niet significant door de lichtbehandelingen beïnvloed (data niet getoond).

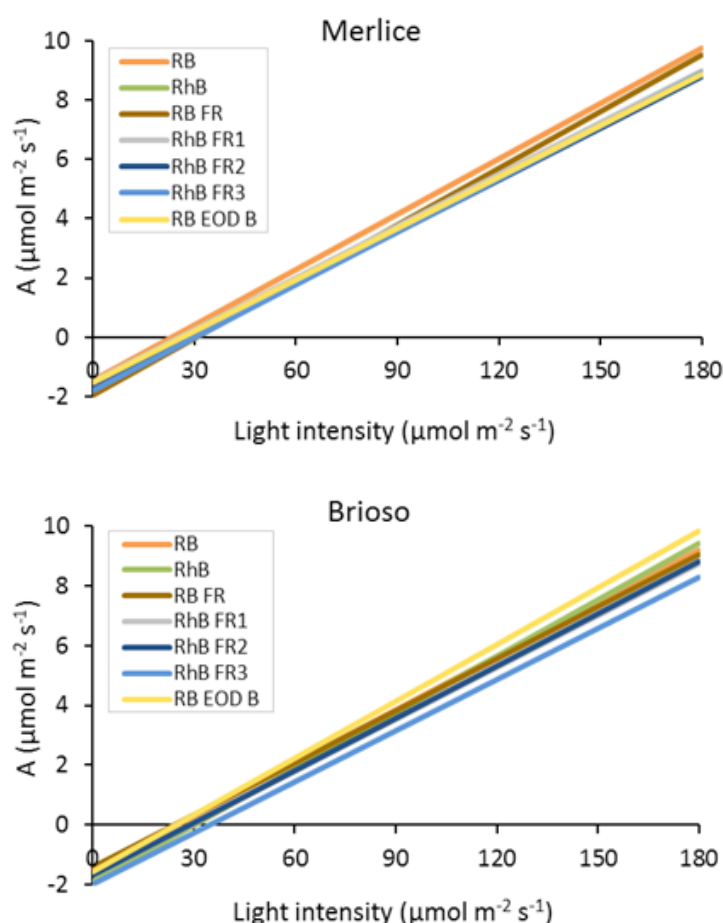
Ook het totale bladoppervlakte per plant was niet significant verschillend tussen de behandelingen (data niet getoond). Gedurende de teelt werd drie maal de lichtonderschepping van de gewassen gemeten. Aan het einde van de teelt (1 juli 2019) was het percentage van het licht dat onderschept werd ca. 93% voor Briosio en 87% voor Merlice. Er was geen significant verschil in lichtonderschepping tussen de behandelingen (Figuur 4.6).



Figuur 4.6 Verloop van de lichtonderschepping van jonge tomatenplanten van het ras Merlice (boven) en Brioso (onder) gedurende het experiment. Verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan ($n=2$).

4.3.3 Fotosynthese en pigmentgehalten

Fotosynthese werd gemeten met een lichtbron boven de bladkamer, met lichtintensiteiten die stapsgewijs opliepen naar $180 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Vervolgens werd op basis van deze metingen de donkerademhaling bepaald, en de initiële lichtbenuttingsefficiëntie van de fotosynthese (hellingshoek van de curve).



Figuur 4.7 Netto fotosynthese van tomatenbladeren van Merlice (boven) en Briosso (onder) gemeten bij lichtintensiteiten tussen 0 en 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Door de punten is een trendlijn getrokken.

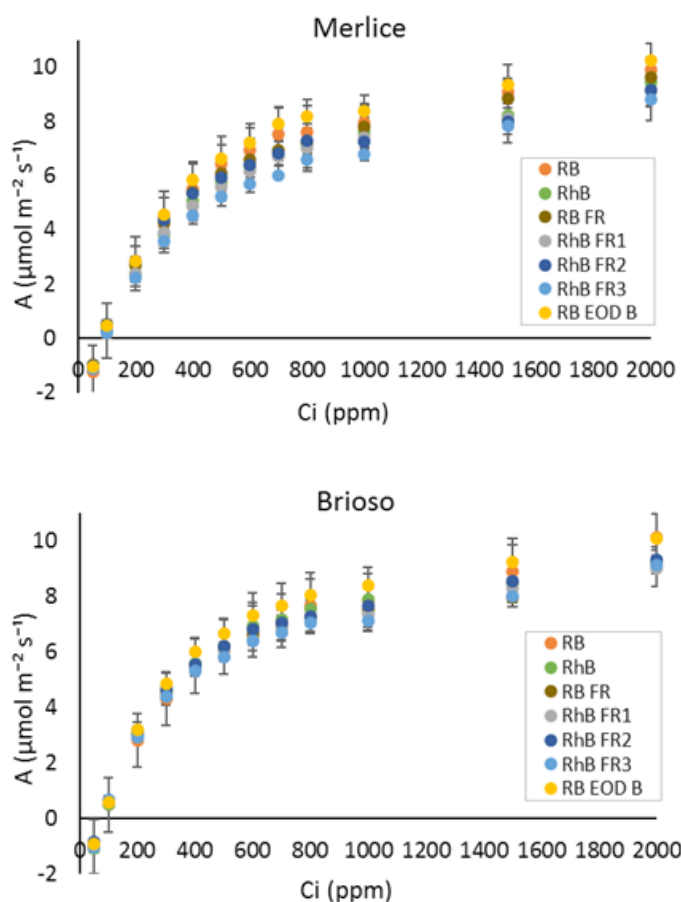
Deze lijnen, het begin van de lichtresponscurves waren ogenschijnlijk niet verschillend (Figuur 4.7). De parameters die de curves beschrijven zijn statistisch geanalyseerd, en daaruit blijkt dat de donkerademhaling (R_d) en de lichtbenuttingsefficiëntie (α) wel verschillen voor de verschillende behandelingen (Tabel 4.5). De lichtbenuttingsefficiëntie is voor Briosso het hoogst bij de behandelingen RhB en RB EOD B, en significant lager voor alle andere behandelingen. Bij Briosso heeft RB FR de hoogste lichtbenuttingsefficiëntie.

Tabel 4.5

Effect van de lichtbehandelingen op de donkerademhaling ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) en lichtbenuttingsefficiëntie ($(\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s})/[\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}]$) van tomatenbladeren van Merlice en Briosso op basis van de metingen in Figuur 4.6. Verschillende letters geven aantoonbare verschillen aan ($P \leq 0.05$; $n=2$).

Behandeling	Merlice		Briosso	
	Donkerademhaling (R_d)	Lichtbenuttings efficiëntie (α)	Donkerademhaling (R_d)	Lichtbenuttings efficiëntie (α)
RB	-1.44	0.0622 ab	-1.47 ab	0.0591 a
RhB	-1.64	0.0581 c	-1.89 ab	0.0627 b
RB FR	-1.94	0.0638 a	-1.40 a	0.0580 a
RhB FR1	-1.48	0.0582 c	-1.68 ab	0.0579 a
RhB FR2	-1.68	0.0582 c	-1.69 ab	0.0584 a
RhB FR3	-1.80	0.0594 bc	-1.97 b	0.0569 a
Dynamisch RB EOD B	-1.51	0.0576 c	-1.55 ab	0.0632 b

Verder is bij zowel Brioso als Merlice de CO₂ responscurve gemeten. Daarbij werd een stukje blad ingeklemd in de bladkamer, en werd de CO₂ concentratie in de ingaande lucht verhoogd en de CO₂ opname door het blad gemeten. De metingen laten zien dat er wel verschil was in de reactie van het blad op de CO₂ concentratie, afhankelijk van de toegepaste lichtbehandeling (Figuur 4.8). Zowel bij Brioso als bij Merlice bleek de fotosynthese bij 600 ppm CO₂ (zoals in de kas werd toegepast) het hoogst was bij de behandeling met einde van de dag blauw licht (Dynamisch RB EOD B) (Tabel 4.6).



Figuur 4.8 Netto fotosynthesesnelheid van tomatenbladeren van Merlice (boven) en Brioso (onder) gemeten bij een reeks CO₂ concentraties tussen 50 en 2000 ppm. Verticale lijnen geven de standaardfout van het gemiddelde aan (n=6).

Tabel 4.6

Effect van de lichtbehandelingen op de netto fotosynthesesnelheid bij een CO₂ concentratie van 600 ppm van de tomatenbladeren van Merlice en Brioso op basis van de metingen in Figuur 4.8. Verschillende letters geven aantoonbare verschillen aan ($P \leq 0.05$; $n=2$).

Behandeling	Merlice ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	Brioso ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)
RB	6.93 ab	6.80 ab
RhB	6.37 abc	6.94 ab
RB FR	6.58 abc	6.60 ab
RhB FR1	6.19 bc	6.44 ab
RhB FR2	6.41 abc	6.81 ab
RhB FR3	5.69 c	6.38 a
Dynamisch RB EOD B	7.21 a	7.32 b

Tijdens het experiment is de bladkleur gemeten met een Dualex, hetgeen een indicatie van het chlorofylgehalte geeft. Uit deze metingen bleek dat er geen verschil was in het chlorofylgehalte tussen de behandelingen bij Briosio, maar dat het chlorofylgehalte bij Merlice het hoogst was voor de behandeling RhB en dat het chlorofylgehalte significant lager was in de behandelingen RB FR en RhB FR1, waarbij het aandeel blauw licht laag is en er ca. 10% verrood licht in het spectrum aanwezig is (Tabel 4.5).

Tabel 4.5

Effect van de lichtbehandelingen op het chlorofylgehalte ($\mu\text{g}/\text{cm}$) van tomaat Merlice en Briosio aan het einde van de teelt ($n=2$). Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

Behandeling	Chlorofylgehalte Merlice ($\mu\text{g}/\text{cm}$)	Chlorofylgehalte Briosio ($\mu\text{g}/\text{cm}$)
RB	39.3 abc	39.7
RhB	41.0 a	40.5
RB FR	34.9 b	35.8
RhB FR1	35.9 bc	36.3
RhB FR2	36.6 abc	37.5
RhB FR3	38.5 abc	37.2
Dynamisch RB EOD B	40.1 ab	39.3

4.4 Conclusies

In de opkweek van jonge tomatenplanten is plantvorm een belangrijk eigenschap, naast het totale plantgewicht. In dit experiment hebben we een jonge tomatenplanten cv Merlice en Briosio opgekweekt onder verschillende lichtspectra, waarbij het aandeel blauw licht opliep van 4.5 naar 27% en het aandeel verrood licht van 0 naar 10%. De vraag hierbij is hoe we de balansen B:R en R:FR zodanig in kunnen zetten dat we een plant kunnen telen met de gewenste opbouw.

De resultaten laten zien dat de plantstrekking goed te sturen is met het lichtspectrum. Een hoger aandeel blauw licht leidt tot een compactere plantvorm, al bleken de effecten bij de jonge tomatenplanten niet significant. Het vervangen van een deel van het rode licht door verrood licht leidt tot meer stengelstrekking en dus langere planten. Wanneer in het spectrum met ca. 10% verrood licht het aandeel blauw toeneemt, blijkt dat het effect van verrood licht op de strekking teniet gedaan wordt door het blauwe licht. Dat betekent dat de plantvorm goed te sturen is met de balans verrood/blauw licht. Ook de plantkleur wordt beïnvloed door het lichtspectrum: een hoger aandeel blauw licht leidt tot een hoger gehalte aan chlorofyl en daarmee een donkerder groene kleur.

Ondanks de verschillen in plantopbouw, hebben de gebruikte lichtspectra geen effect op het totale plantdrooggewicht. Dat betekent dat er te sturen is zonder dat dit ten koste gaat van de biomassa.

5 Effecten van lichtkleuren op groei en morfologie bij komkommer: eerste brede screening

5.1 Inleiding

In de afgelopen jaren is de belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw sterk toegenomen. Er zijn enkele komkommerbedrijven die thans LED belichting toepassen, waarbij de keuze voor LED belichting soms ook ingegeven is door de geringe hoogte van de kas, waardoor SON-T belichting geen optie is. Het blijkt dat er in komkommer nog wel een aantal uitdagingen liggen in het gebruik van LED belichting, zowel op het gebied van spectrumkeuze, als op het inpassen van LED belichting in de klimaat- en teeltstrategie, vanwege de veranderde energiebalans van de kas.

In 2010 bleek uit onderzoek dat het belichten met een lichtspectrum met een hoog aandeel rood licht kan leiden tot het "red light syndrome" in komkommer, waarbij bladeren opkrulden en daarmee minder licht onderschepten (Trouwborst e.a., 2010). Vergelijkbare verschijnselen werden ook in andere proeven en op praktijkbedrijven gevonden.

Daarmee is het voor de ontwikkeling richting duurzame, fossielvrije teeltsystemen van komkommer op basis van LED belichting, het van groot belang om te komen tot lightspectra waarbij bladkwaliteit goed is, lichtonderschepping daarmee voldoende, en waarbij bloei, vruchtzetting, uitgroeiduur en vruchtkwaliteit zodanig zijn dat een goede productie gewaarborgd kunnen worden. Het IDC LED is vanwege de geringe afstand tussen tafels en lampenplafond niet de meest geschikte faciliteit om komkommers te telen en vruchten te laten groeien. Echter, als teeltsysteem om de effecten van lightspectra op bladkwaliteit, bladstand, vruchtzetting en vroege productie te bepalen is het wel geschikt, en in dit systeem kunnen de effecten van een brede range lightspectra getest worden.

5.2 Materiaal en methoden

5.2.1 Teelt en behandelingen

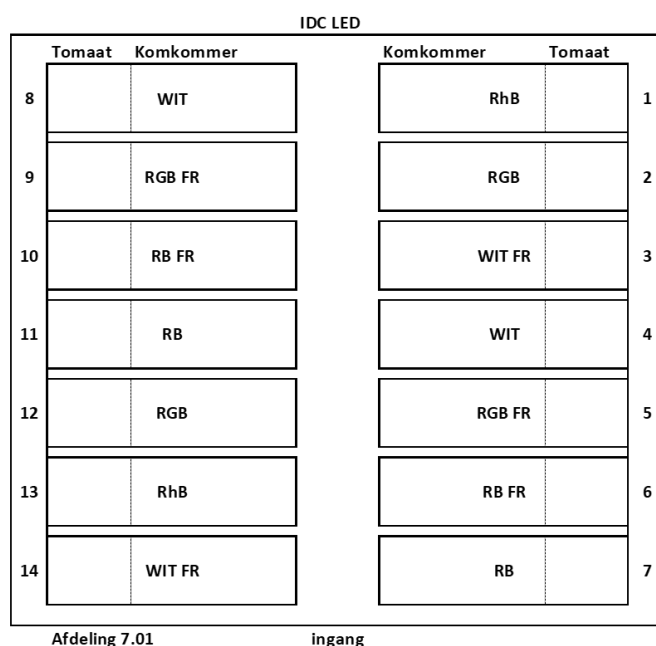
In het IDC LED werden jonge komkommerplanten bij 7 verschillende lichtkleuren geplaatst (in twee herhalingen, verdeeld over 14 tafels). Gedurende de teelt is de plantontwikkeling en productie bepaald, en na 4 weken zijn de planten destructief geoogst.

Tabel 5.1

Overzicht gegevens experiment komkommer.

Gewas	Komkommer
Rassen	Qwerty
Zaaidatum en plantdatum (start experiment)	Zaai: 31 december 2018, plantdatum 24 januari 2019
Plantdichtheid	2.5 planten/m ²
Teeltstrategie	Teelt op steenwolmatten in 2 rijen van 6 planten per tafel, hoge draad systeem
Substraat en watergift	Steenwolmatten, watergift via druppelaars
Hoogte van het lampenplafond	1.85 m
Lichtintensiteit	140 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 1 m onder de lampen. Op 50 cm onder de lampen is de lichtintensiteit ca. 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
Daglengthe	18 uur
Lichtbehandelingen	Zie tabel 5.2
Temperatuurinstellingen	Etmaaltemperatuur 22 °C (nacht 20 °C, dag 23 °C)
Schermsstrategie	Energiescherm sluit bij 300 W/m ² instraling.
CO ₂ concentratie	700 ppm
Relatieve luchtvochtigheid	80%
Bladplukken	Vanaf 15 februari (twee maal)
Vrucht oogsten	Vanaf 7 februari
Einde experiment	28 februari 2019

Dit experiment werd gecombineerd met de teelt van jonge tomatenplanten (zie hoofdstuk 3). Deze stonden gezamenlijk op de tafels (zie figuur 5.1).



Figuur 5.1 Schematische weergave van de verdeling van de lichtbehandelingen over de tafels in het IDC LED (links) en een foto van de start van het experiment, met vooraan de tafel twee rijen komkommerplanten op een steenwolmat, en achteraan de losse jonge tomatenplanten in steenwolblokjes.

Tabel 5.2

Toegepaste lichtbehandelingen (in procenten).

Behandeling	Naam	Blauw (%)	Groen (%)	Rood (%)	FR (verrood) (%)	Totaal (%)
1	RB	5	0	95	0	100
2	RhB	25	0	75	0	100
3	RGB	5	20	75	0	100
4	Wit	30	35	35	0	100
5	RB+FR	5	0	95	10	110
6	RGB+FR	5.5	11	83.5	10	110
7	Wit FR	22	26	26	26	100

5.2.2 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO₂ en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt, en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer. Boven de lampenplafonds van iedere tafel hangt een PAR sensor, die het inkomende zonlicht meet. Per tafel kan op basis van die metingen en de lichtintensiteiten van de lampen bepaald worden wat het aandeel lamplicht en zonlicht is op het gewas.

5.2.3 Plantmetingen

Op 27 en 28 februari 2019 zijn destructieve plantmetingen gedaan van 4 komkommerplanten per tafel (8 per behandeling). Per plant werden plantlengte, aantal internodiën, aantal vruchten en bladoppervlakte gemeten. Van het bovenste volgroeide blad werden bladoppervlakte en drooggewicht gemeten, zodat de specifieke bladoppervlakte berekend kon worden (Specific leaf area, m² blad per kg drooggewicht, maat voor de bladdikte). Verder werden vers- en drooggewichten van bladeren, vruchten en stengels bepaald (drogen gedurende twee dagen bij 80 °C).

Gedurende de teelt werden om de dag komkommers geoogst. Per oogst werd het aantal geoogste komkommers per tafel geteld, evenals het totale geoogste gewicht, zodat het gemiddeld vruchtgewicht berekend kon worden. Elke week werd van een aantal geoogste komkommers en van het geplukte blad het percentage droge stof bepaald door vers- en drooggewichten te meten.

5.3 Resultaten

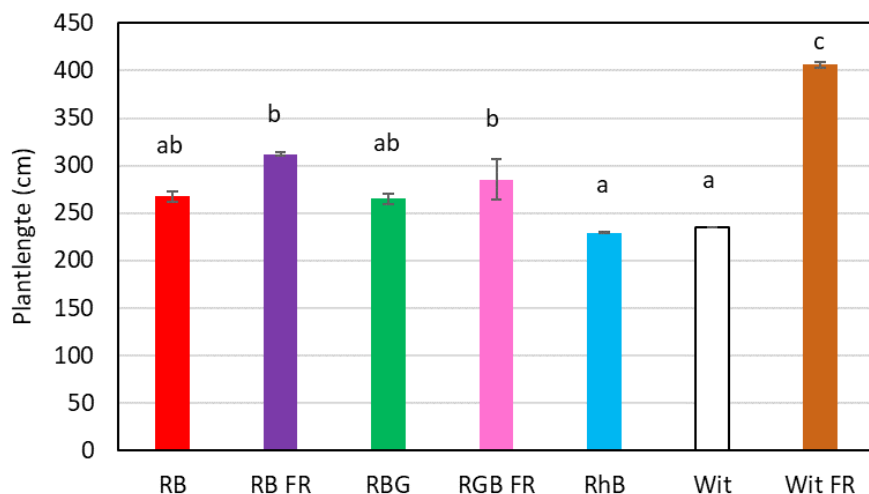
5.3.1 Klimaat

Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas gedurende de proef was 22.6 °C met een dag/nacht temperatuur van 23.0 °C en 20.5 °C respectievelijk, een relatieve luchtvochtigheid van 78% en een CO₂ concentratie van 636 ppm.

De planten werden geplaatst bij een lichtintensiteit van de LED lampen van 140 µmol/m²/s (op 1 meter onder de lampen), bij een daglengte van 18 uur. Tijdens de proef kregen de planten een lichtsom (DLI, daily light integral) van de LED lampen van 9.0 mol/m²/dag, en van de zon van gemiddeld 1.6 mol/m²/dag. Dat betekende dat de planten gemiddeld een DLI van 10.6 mol/m²/dag kregen van zon- en lamplicht, waarbij de bijdragen van het LED licht en zonlicht aan de DLI respectievelijk 85 en 15% waren.

5.3.2 Gewasgroei en productie

De totale plantlengte werd sterk beïnvloed door de lichtbehandelingen. De planten die geteeld zijn onder de twee spectra met een hoog aandeel blauw licht (RhB en wit) zijn het kortst. De behandelingen met extra verrood licht (RB FR en RGB FR) zijn langer, terwijl de behandeling Wit FR, met de zelfde verhoudingen als het zonlichtspectrum verreweg de meeste stengelstrekking oplevert (Figuur 5.2 en Foto 5.1).

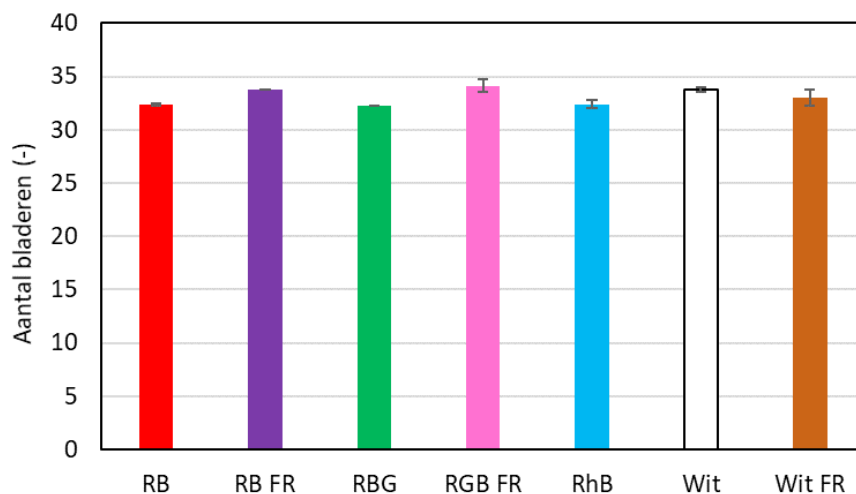


Figuur 5.2 Effect van de lichtbehandelingen op de stengellengte van komkommer Qwerty aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.



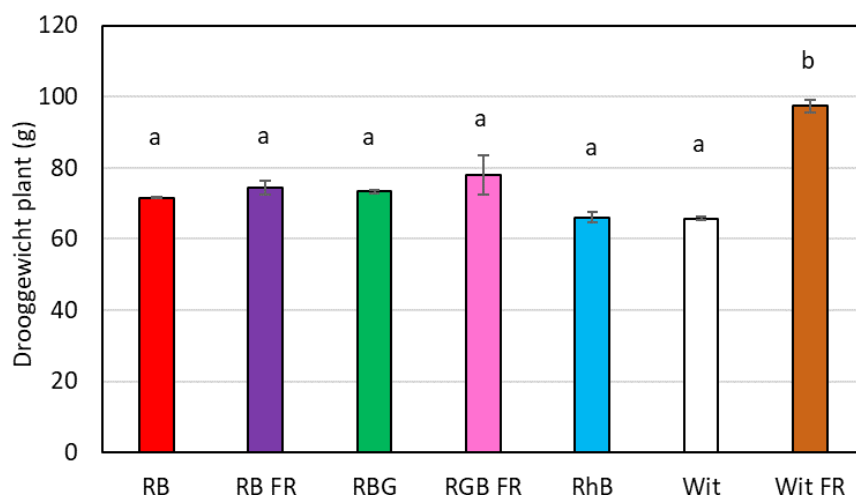
Foto 5.1 Effect van de lichtbehandelingen op de plantvorm van komkommer Qwerty aan het einde van de teelt. Behandelingen van links naar rechts: RB, RGB, RhB, RB FR, RGB FR, Wit, Wit FR.

De ontwikkelingssnelheid werd niet beïnvloed door de lichtspectra. Het aantal aangelegde bladeren (als maat voor het aantal aangelegde internodiën) verschilde niet significant tussen de behandelingen (Figuur 5.3).



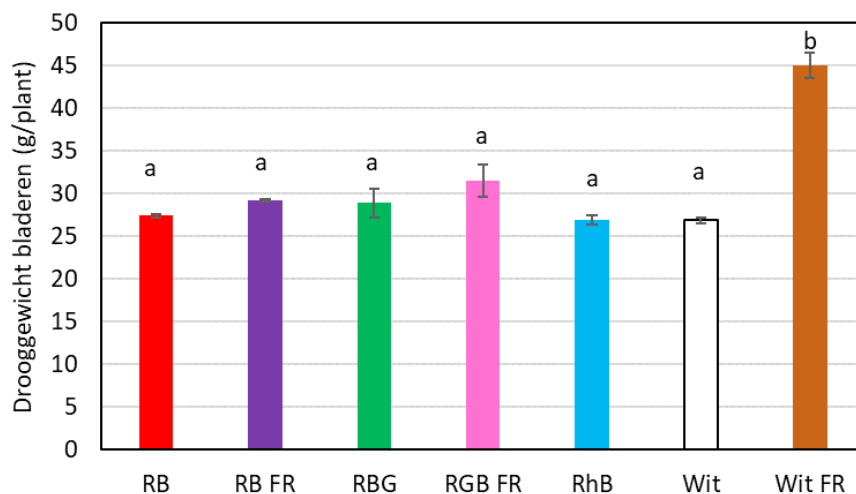
Figuur 5.3 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal aangelegde bladeren van komkommer *Qwerty* aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Aan het einde van het experiment zijn planten destructief geoogst, en werd het drooggewicht van de bladeren, vruchten en stengels van de planten bepaald. Tijdens de teelt zijn bladeren geplukt en vruchten geoogst. Daarvan zijn de droge stof percentages bepaald, zodat deze gegevens gecombineerd leiden tot de totale geproduceerde biomassa per behandeling. Het totale plant drooggewicht was het hoogst voor de behandeling Wit FR (Figuur 5.4), terwijl het plant drooggewicht niet verschilde voor de overige behandelingen. Het effect op het totale plantgewicht in de behandeling Wit FR wordt onder andere verklaard door de stengelstrekking: deze planten waren langer en onderschepten dus sneller meer licht. Dat betekent dat het effect op lichtonderschepping groot is, aangezien deze behandeling maar 74% van het PAR licht van de andere behandelingen ontving (zie tabel 5.2).



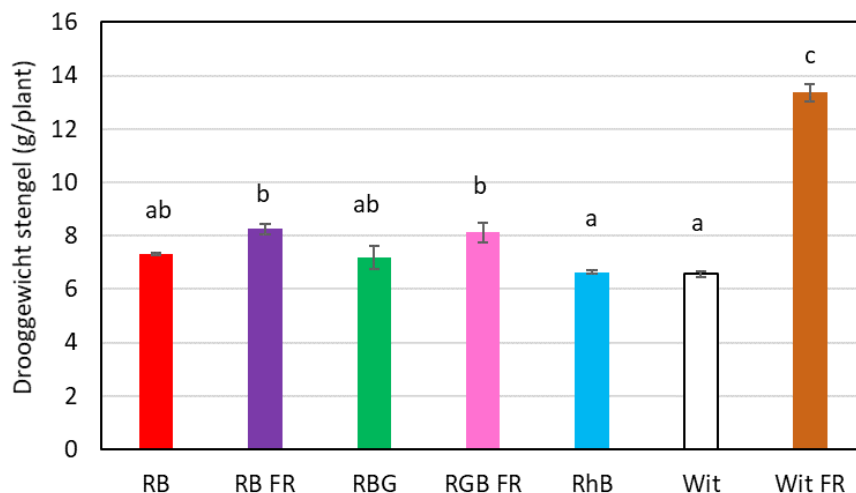
Figuur 5.4 Effect van de lichtbehandelingen op het totaal plantdrooggewicht van komkommer *Qwerty* aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

Het verschil in totale plant drooggewicht wordt voornamelijk verklaard door het verschil in gewicht in de bladeren (Figuur 5.5). De behandeling Wit FR heeft een hoger blad drooggewicht dan de andere behandelingen.



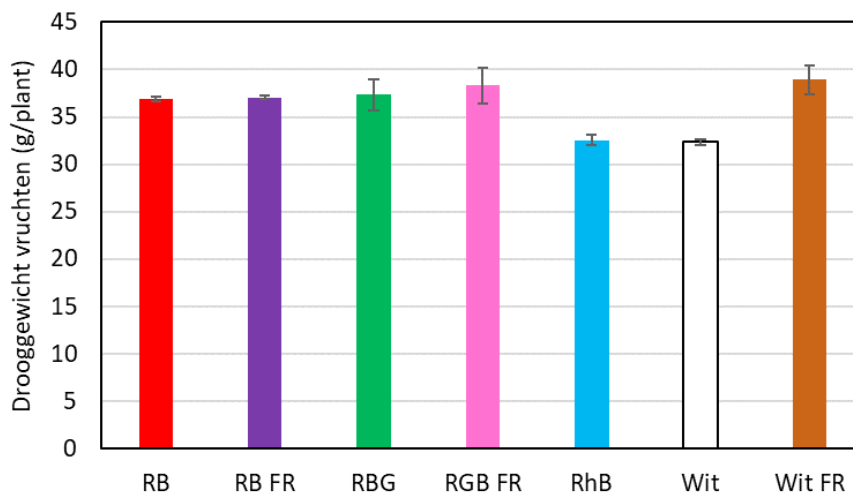
Figuur 5.5 Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de bladeren (aan de plant en geplukt) van komkommer Qwerty aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

Het effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de stengel is vergelijkbaar met het effect op de stengellengte (Figuur 4.2). De behandelingen met een hoog aandeel blauw licht (RhB en Wit) hebben het laagste drooggewicht in de stengel. De twee behandelingen met extra verrood licht (RB FR en RGB FR) hebben een hoger stengelgewicht, en het stengel drooggewicht van de behandeling Wit FR, met verhoudingen van de verschillende lichtkleuren die vergelijkbaar zijn met het zonlicht) is het grootst (Figuur 5.6).



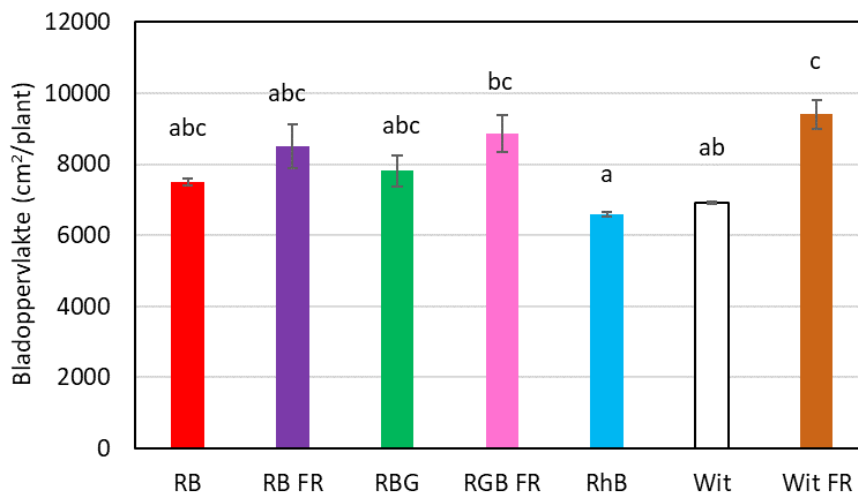
Figuur 5.6 Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de stengel van komkommer Qwerty aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

Het drooggewicht van de vruchten (aan de plant en reeds geoogst) verschilt niet tussen de behandelingen (Figuur 5.7).



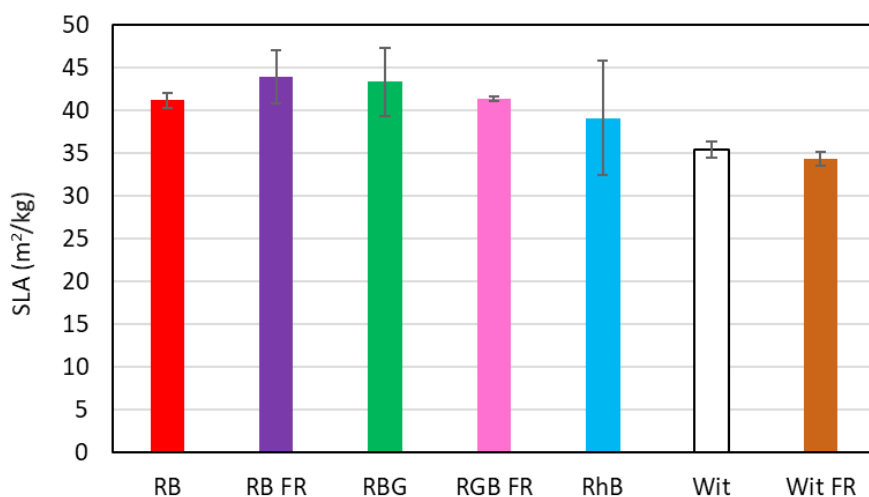
Figuur 5.7 Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de vruchten (aan de plant en geplukt) van komkommer Qwerty aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Het bladoppervlak per plant verschilt significant tussen de behandelingen RhB en RGB FR en Wit FR. De behandeling met een hoog aandeel blauw licht (RhB) heeft het laagste bladoppervlak, en de behandelingen RGB FR en Wit FR hebben een hoger bladoppervlak (Figuur 5.8). De verschillen met de andere behandelingen zijn niet significant.



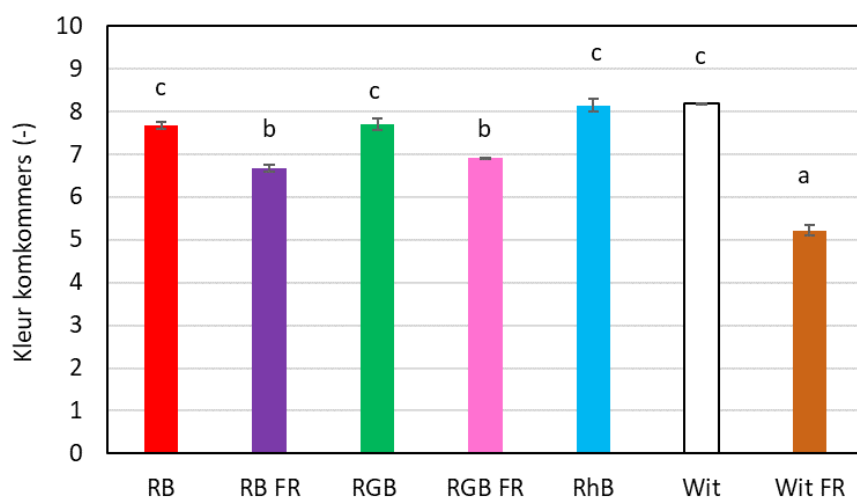
Figuur 5.8 Effect van de lichtbehandelingen op het bladoppervlakte van de bladeren aan de plant van komkommer Qwerty aan het einde van de teelt ($n=2$). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

De effecten van de lichtbehandelingen op bladgewicht en bladoppervlakte verschillen enigszins. Dat zou betekenen dat er effect kan zijn van de lichtbehandelingen op de bladdikte. Bij de destructieve eindogst is van het bovenste volgroeide blad het specifieke bladoppervlakte (SLA, specific leaf area) bepaald, door het bladoppervlak van dat blad te delen door het drooggewicht. Er blijkt geen significant effect te zijn van de lichtbehandelingen op de SLA (Figuur 5.9).



Figuur 5.9 Effect van de lichtbehandelingen op het specifieke bladoppervlakte (maat voor de bladdikte, uitgedrukt in m² blad per kg drooggewicht van de bladeren) van komkommer Qwerty aan het einde van de teelt (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

De kwaliteit van de geoogst komkommers werd beïnvloed door de lichtbehandelingen. De komkommers in de behandeling Wit FR waren het lichtst van kleur. Ook de komkommers uit de behandelingen RB FR en RGB FR waren lichter van kleur dan de behandelingen zonder verrood licht (Figuur 5.10 en Foto 5.2).



Figuur 5.10 Effect van de lichtbehandelingen op de kleur van de geoogste Qwerty komkommers gemeten met een Minolta kleurmeter (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.



Foto 5.2 Effect van de lichtbehandelingen Wit FR (links) en RhB (rechts) op de vorm en kleur van een aantal geoogste snackkomkommers.

5.4 Conclusies

In dit experiment is het effect van lichtspectrum op de groei en ontwikkeling van jonge komkommerplanten (tot vroege productie) onderzocht, onder omstandigheden waar 85% van de dagelijkse lichtsom afkomstig is van LED lampen, en 15% van de zon. De lichtspectra die werden getest liepen sterk uiteen, van 95% rood licht en 5% blauw, tot een spectrum met ongeveer gelijke delen blauw, groen, rood en verrood licht (zoals ook in het zonlichtspectrum het geval is). Uit de resultaten blijkt dat het lichtspectrum leidt tot grote verschillen in plantvorm, met name stengelstrekking. De totale biomassa die is gevormd (bladeren, vruchten en stengel) is het hoogst bij de planten die staan onder een spectrum met gelijke delen blauw, groen, rood en wit licht. Dit wordt vooral bepaald door het hoge gewicht van stengel en bladeren. De (vroege) vruchtproductie blijkt niet significant te verschillen tussen de behandelingen. De kwaliteit van de vruchten, uitgedrukt in vruchtkleur wel: de vruchten zijn het lichtst in de behandeling Wit FR. Ook de andere behandelingen met verrood licht in het spectrum leiden tot blekere vruchten. Concluderend kan gesteld worden dat het spectrum wel effect heeft op de gewasgroei, maar dat er geen verschillen zijn in (vroege) productie van snackkomkommers Qwerty.

6 Sturen van de groei van kommer met het aandeel groen en verrood licht: zijn zij onderling vervangbaar?

6.1 Inleiding

In de afgelopen jaren is de belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw sterk toegenomen. Er zijn enkele komkommerbedrijven die thans LED belichting toepassen, waarbij de keuze voor LED belichting soms ook ingegeven is door de geringe hoogte van de kas, waardoor SON-T belichting geen optie is. In komkommer liggen nog wel een aantal uitdagingen in het gebruik van LED belichting, zowel op het gebied van spectrumkeuze, als op het inpassen van LED belichting in de klimaat- en teeltstrategie, vanwege de veranderde energiebalans van de kas. Uit eerdere resultaten (zie hoofdstuk 5, Trouwborst e.a., 2010) bleek dat een lichtspectrum met een hoog aandeel rood licht kan leiden tot het "red light syndrome" in komkommer, waarbij bladeren opkruelden en daarmee minder licht onderschepten. Het toevoegen van verrood licht aan het spectrum kan deze problemen oplossen. In eerdere proeven (hoofdstuk 5) hebben we laten zien dat het toevoegen van 10% verrood licht aan het spectrum leidt tot een betere bladontwikkeling, groter bladgewicht en groter bladoppervlak. Dit leidde echter niet tot een hogere vroege vruchtproductie.

De vraag is of 10% verrood licht toevoegen het meest ideaal is voor komkommer, en of het toevoegen van een hoger aandeel verrood licht een positief effect zou hebben op de productie, vergelijkbaar met de resultaten die bij tomaat zijn gevonden (Dieleman e.a., 2019, Ji e.a., 2020). Een andere vraag is of het mogelijk zou zijn een deel van het verrode licht te vervangen door groen licht, dat vergelijkbare, zij het minder sterke, effecten heeft op strekking (Dieleman e.a., 2019). Een voordeel van groen licht ten opzichte van verrood licht is dat het direct bijdraagt aan de fotosynthese. In een aantal onderzoeken is aangetoond dat het toevoegen van groen licht aan een spectrum met alleen rood en blauw licht positief is voor de groei van sla en tomaat (Kim e.a., 2004; Kaiser e.a., 2019a).

Het meest energetisch efficiënte lichtspectrum bestaat uit 100% rood licht, omdat de energie-inhoud van rode fotonen het laagst is (in het PAR spectrum). Echter, als er alleen met rood licht belicht wordt, treden er bij komkommer ongewenste effecten op op het gewas. Wanneer er overdag, in aanwezigheid van zonlicht, belicht wordt, zou het kunnen dat belichten met alleen rood licht kan, omdat de plantbehoeftes aan de andere lichtkleuren dan ingevuld worden door het zonlicht. In dat geval zou het energetisch gunstig kunnen zijn om overdag te belichten met rood of rood met een beetje blauw licht, en in de nacht, in afwezigheid van zonlicht te belichten met een breedbandig lichtspectrum.

De onderzoeksvragen van dit experiment waren dan ook:

- Wat is het effect van het toevoegen van verrood licht op plantmorfologie en vroege vruchtproductie?
- Wat is het effect van het vervangen van (een deel van) het verrode licht door groen licht op plantmorfologie en vroege vruchtproductie?
- Wat is het effect van een dynamisch lichtspectrum, waarbij gedurende de periode met zonlicht een energiezuinig spectrum wordt gegeven (voornamelijk rood) en 's nachts een breder spectrum om de afwezigheid van zonlicht op te vangen?

6.2 Materiaal en methoden

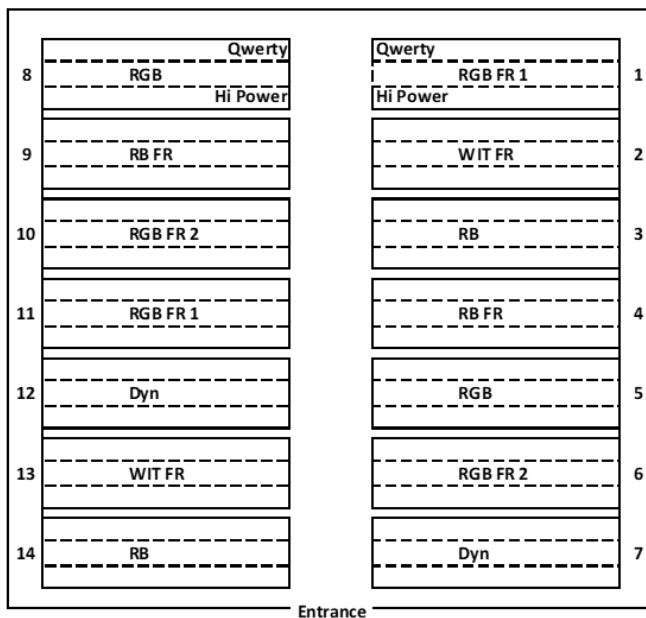
6.2.1 Teelt en behandelingen

In het IDC LED werden jonge komkommerplanten van twee rassen (Qwerty en Hi Power) bij 7 verschillende lichtkleuren geplaatst (in twee herhalingen, verdeeld over 14 tafels). Gedurende de teelt is de plantontwikkeling en productie bepaald, en na 4 weken zijn de planten destructief geoogst.

Tabel 6.1

Overzicht gegevens experiment komkommer.

Gewas	Komkommer
Rassen	Qwerty (snack komkommer) en Hi Power (lange komkommer)
Zaaidatum en plantdatum (start experiment)	Zaai: 21 februari 2019, plantdatum 6 maart 2019
Plantdichtheid	3 planten/m ²
Teeltstrategie	Teelt op steenwolmatten (4 matten van een meter per rij) in 2 rijen van 8 planten per tafel, hoge draad systeem. Een rij Qwerty, een rij Hi Power
Substraat en watergift	Steenwolmatten, watergift via druppelaars
Hoogte van het lampenplafond	1.85 m
Lichtintensiteit	200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op 1.50 m onder de lampen.
Daglengte	18 uur (middernacht tot 18:00 uur)
Lichtbehandelingen	Zie tabel 6.2 en figuur 6.1
Temperatuurinstellingen	Etmaaltemperatuur 22.5 °C
Schermsstrategie	Donkerscherm (LS Obscura 9950 FR W) om daglengte te sturen, open in 3 stappen van 8:30 tot 9:30 uur, en sluiten van 17:00 tot 18:00 uur. Donkerdoek sluit 20-70% bij een globale straling van 400-800 W/m ² . Energiescherm (LS 10 Ultra) sluit bij 300 W/m ² instraling.
CO ₂ concentratie	700 ppm
Relatieve luchtvochtigheid	80%
Bladplukken	Vanaf 5 april 2019
Vruchtoogsten	Vanaf 10 april 2019
Einde experiment	25 april 2019



Figuur 6.1 Schematische weergave van de verdeling van de lichtbehandelingen over de tafels in het IDC LED (links) en een foto van de start van het experiment, met twee rijen komkommerplanten op steenwolmatten, links Qwerty en rechts Hi Power.

Tabel 6.2

Toegepaste lichtbehandelingen (in procenten) en de totale fotonenflux (PAR plus FR) in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Behandeling	Naam	Blauw (%)	Groen (%)	Rood (%)	FR (verrood) (%)	Totale fotonenflux ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
1	RB (referentie)	5	0	95	0	200
2	RGB	11	20	69	0	200
3	RGB FR1	11	10	69	10	200
4	RB FR	11	0	69	20	200
5	RGB FR2	6	10	74	10	200
6	Wit FR	22	26	26	26	200
7	Dynamisch nacht RGB FR1	11	10	69	10	200
	Dynamisch dag RB	5	0	95	0	200

6.2.2 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO_2 en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt, en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer. Boven de lampenplafonds van iedere tafel hangt een PAR sensor, die het inkomende zonlicht meet. Per tafel kan op basis van die metingen en de lichtintensiteiten van de lampen bepaald worden wat het aandeel lamplicht en zonlicht is op het gewas.

6.2.3 Plantmetingen

6.2.3.1 Fotosynthese

Momentane fotosynthese

Eind maart werd aan de bovenste volgroeide bladeren (blad 3, 4 of 5 geteld vanaf de top) de fotosynthese gemeten bij het heersende LED lightspectrum en -intensiteit van de behandelingen. Tijdens de metingen was het donkerdoek in de kas gesloten, zodat er geen zonlicht toe kon treden. Per tafel werd aan 5 planten gemeten met twee draagbare fotosynthesemeters (LI-6800, LI-COR) met de 6800-12A open bladkamer (9 cm^2). De omstandigheden in de bladkamer tijdens de metingen was een CO_2 concentratie van 2000 ppm, bloktemperatuur van 23°C , relatieve luchtvochtigheid van 70% en een luchtsnelheid van $400 \mu\text{mol}/\text{s}$. De metingen werden gedaan bij een lichtintensiteit tussen de 60 en $140 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$.

Lichtresponscurves

Begin april 2019 werden lichtresponscurves van de fotosynthese en stomataire geleidbaarheid gemeten aan het bovenste volgroeide blad, blad 4, 5 of 6 voor Hi Power en blad 7, 8 of 9 voor Qwerty, geteld vanaf de top van de plant. Per tafel per ras werd aan drie planten gemeten met een draagbare fotosynthesemeter (LI-6800, LI-COR) met de 6800-01A fluorescentie bladkamer (6 cm^2). De omstandigheden in de bladkamer tijdens de metingen waren lichtintensiteit van $1500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR licht (90% rood, 10% blauw), een CO_2 concentratie van 600 ppm, bloktemperatuur van 23°C , relatieve luchtvochtigheid van 70% en een stroomsnelheid van $400 \mu\text{mol}/\text{s}$. De metingen werden gedaan bij een lichtintensiteit tussen de 60 en $140 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$. Bij stabiele condities in de bladkamer werd het lichtniveau stapsgewijs verlaagd van 1500 naar 1250, 1000, 750, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50 en $0 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$.

Het effect van de lichtintensiteit op de fotosynthese kan beschreven worden met de volgende curve die een plateau bereikt bij hoge intensiteiten:

$$Ass = \left(\varepsilon R + (A_{\max} + R_d) - \sqrt{(\varepsilon R + A_{\max} + R_d)^2 - 4\Theta \varepsilon R (A_{\max} + R_d)} \right) / (2\Theta)$$

Waarbij:

Ass : bruto CO_2 opname snelheid ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

$A_{\max}$: maximale netto CO_2 opname snelheid bij hoge lichtniveaus ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

R_d : Respiratie (ademhaling) ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) (R_d heeft in deze formule een negatieve waarde)

ε : initiële lichtbenuttingsefficiëntie ($\mu\text{mol } CO_2 / \text{m}^2/\text{s} / [\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}]$)

Θ : Kromming van de curve (-)

R : fotosynthetisch actieve straling (PAR, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

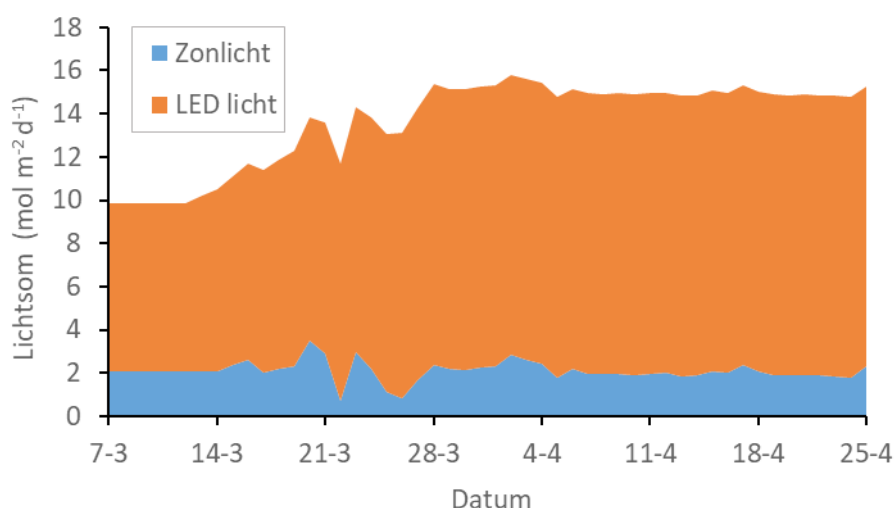
6.2.3.2 Gewasgroei en ontwikkeling

Het aantal bladeren, stengellengte en de posities van de vruchten aan de plant werden wekelijks geoogst. Vanaf 5 april werden regelmatig 4-5 bladeren onderaan de plant verwijderd om gemiddeld 30 bladeren bij Qwerty aan te houden, en 20 bladeren voor Hi Power. Van het geplukte blad werd het bladoppervlak en drooggewicht gemeten. Op 23-25 april werd de destructieve eindoogst gedaan, waarbij vers- en drooggewichten van bladeren, bladsteeltjes, stengels en vruchten werden gemeten, evenals het aantal vruchten aan de plant en geaborteerde vruchtjes, stengellengte en het totale bladoppervlak.

6.3 Resultaten

6.3.1 Klimaat

Gedurende het experiment werd een etmaal temperatuur gerealiseerd van 23.3°C , CO_2 concentratie van 616 ppm en een relatieve luchtvochtigheid van 75%. Over de hele proef was het aandeel LED licht in de lichtsom 84% en het aandeel zonlicht 16% (Figuur 6.2).



Figuur 6.2 Verdeling van de totale lichtsom gedurende het experiment over zonlicht en LED licht.

6.3.2 Gewasgroei en productie

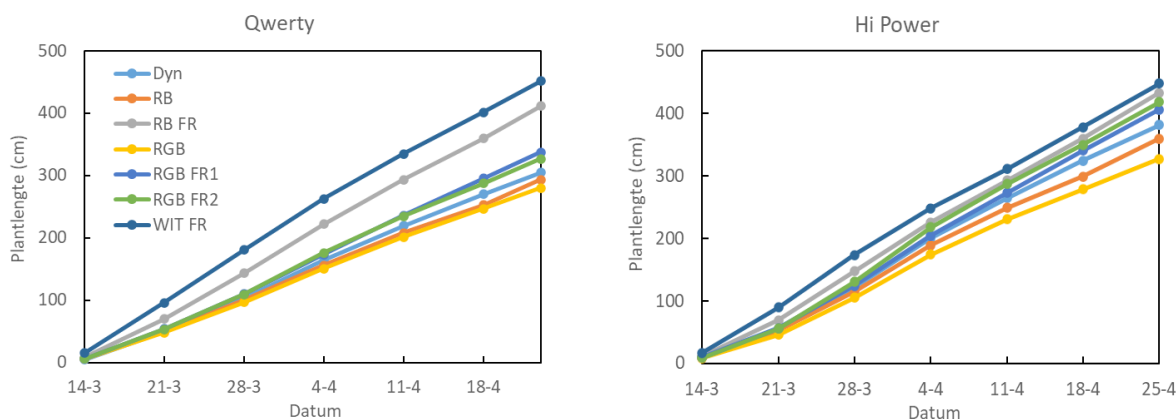
6.3.2.1 Strecking

De lichtbehandelingen hadden duidelijk effect op de stengelstrekking en de plantlengte van zowel Qwerty als Hi Power (Figuur 6.3).



Figuur 6.3 Effect van de lichtbehandelingen op de stengelstrekking van de komkommerrassen Qwerty (links) en Hi Power (rechts) bij de destructieve eindoogst.

De verschillen in stengelstrekking traden op vanaf het begin van de teelt, al in het jonge plantstadium, en bleven gedurende de teelt optreden (Figuur 6.4).

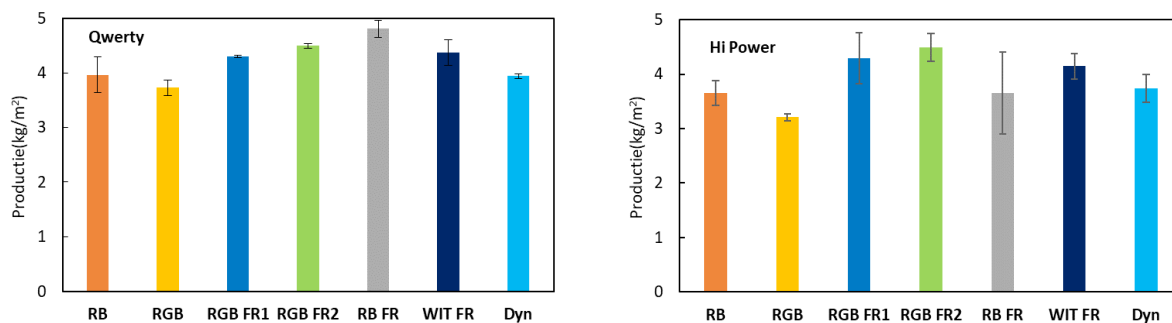


Figuur 6.4 Effect van de lichtbehandelingen op het verloop van de stengelstrekking van de komkommerrassen Qwerty (links) en Hi Power (rechts).

De planten die geteeld werden onder de lightspectra met verrood licht waren langer dan onder de andere lightspectra. Voor zowel Qwerty als Hi Power leverden de lightspectra met 20% verrood licht of meer de langste planten op (Wit FR en RB FR). De lightspectra met 10% verrood licht waren iets korter, maar ze waren wel significant langer dan de behandelingen zonder verrood licht (Figuur 6.4).

6.3.2.2 Groei en productie

Tijdens de teelt werden komkommers geoogst als ze het gewenste gewicht van 40 g (Qwerty) of 200 g (Hi Power) bereikt hadden. Door de grote variatie in productie tussen planten, bleken de lichtbehandelingen geen significant effect te hebben op de (vroege) productie van Hi Power (Figuur 6.5). Er is wel de trend te zien dat de behandelingen met een hoog aandeel verrood licht (RB FR met 20% en Wit FR met 26%) geen hogere productie hebben dan de twee behandelingen met 10% verrood licht RGB FR1 en RGB FR2). Dat betekent dat voor een commerciële productie het niet nodig lijkt meer dan 10% verrood licht te geven.



Figuur 6.5 Effect van de lichtbehandeling op de (vroege) productie van Qwerty (links) en Hi Power (rechts) ($n=2$). Verschillende letters geven statistische verschillen aan ($n=2$).

Er waren wel effecten te zien van de lichtbehandelingen op de (vroege) productie van Qwerty. De productie bij RB FR, met 20% verrood licht was hoger dan in de behandeling RGB, zonder verrood licht. Ook bij Qwerty bleken de behandelingen met (meer dan) 20% verrood licht niet significant meer productie te hebben dan de behandelingen met 10% verrood licht (Figuur 6.5).

Aan het einde van het experiment zijn planten destructief geoogst, en werd het drooggewicht van de bladeren, vruchten en stengels van de planten bepaald. Tijdens de teelt zijn bladeren geplukt en vruchten geoogst. Daarvan zijn de droge stof percentages bepaald, zodat deze gegevens gecombineerd leiden tot de totale geproduceerde biomassa per behandeling. Er waren geen aantoonbare verschillen in het totale plant drooggewicht (Tabellen 6.3 en 6.4). De trend was wel dat het totale drooggewicht het hoogst was voor de behandelingen met (meer dan) 20% verrood licht, en het laagst voor de behandelingen zonder verrood licht, maar deze verschillen waren statistisch niet significant.

Tabel 6.3

Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht (DW) van de totale plant, de vruchten, bladeren (bladschijven), bladsteeltjes en de stengel, het bladoppervlak, de plantlengte en het aandeel van het totale droge stof dat naar de vruchten is gegaan van komkommer Qwerty aan het einde van de teelt (n=2). Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

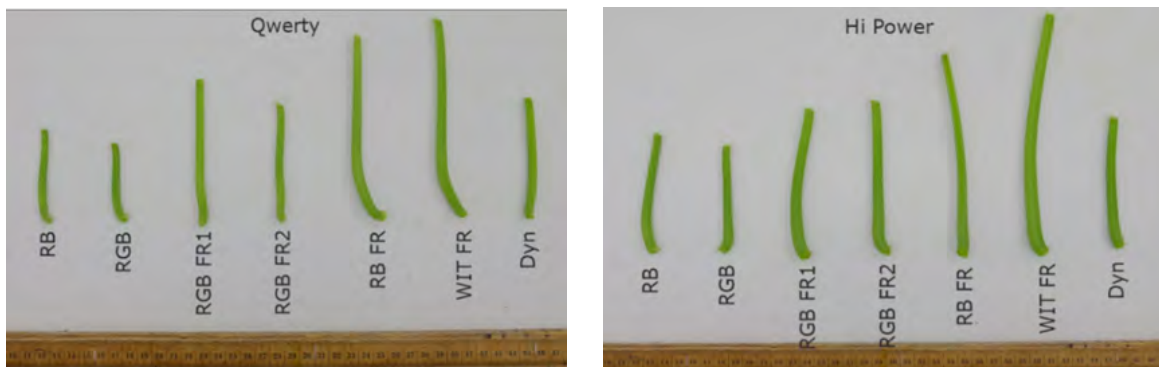
Behandeling	DW plant (g/plant)	DW vruchten (g/plant)	DW bladeren (g/plant)	DW blad- steeltjes (g/plant)	DW stengel (g/plant)	Blad- oppervlakte (m ² /plant)	Plantlengte (cm)	Aandeel droge stof naar de vruchten (%)
RB (referentie)	74.5	42.2	22.3	2.3 a	7.7 a	0.98 ab	293 a	57 a
RGB	78.5	44.3	23.6	2.5 a	8.2 ab	0.94 a	280 a	56 a
RGB FR1	85.6	48.1	23.3	3.9 b	10.3 c	1.12 ab	337 c	56 a
RB FR	85.6	49.9	22.4	3.6 ab	9.6 bc	1.10 ab	327 bc	58 a
RGB FR2	94.8	48.9	25.4	6.9 c	13.5 d	1.29 b	411 d	52 ab
Wit FR	91.9	42.5	25.7	8.9 d	14.8 d	1.20 ab	451 e	46 b
Dynamisch	74.0	42.1	20.7	2.7 ab	8.5 ab	0.99 ab	307 ab	57 a

Tabel 6.4

Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht (DW) van de totale plant, de vruchten, bladeren (bladschijven), bladsteeltjes en de stengel, het bladoppervlak, de plantlengte en het aandeel van het totale droge stof dat naar de vruchten is gegaan van komkommer Hi Power aan het einde van de teelt (n=2). Verschillende letters geven statistische verschillen aan.

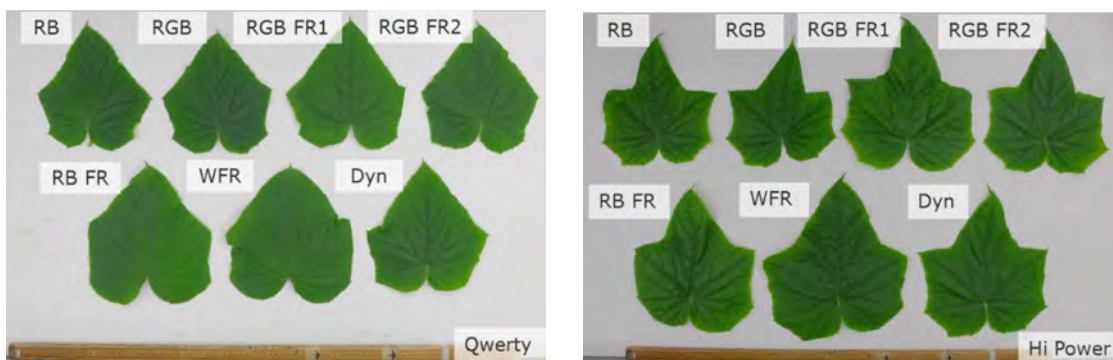
Behandeling	DW plant (g/plant)	DW vruchten (g/plant)	DW bladeren (g/plant)	DW blad- steeltjes (g/plant)	DW stengel (g/plant)	Blad- oppervlakte (m ² /plant)	Plantlengte (cm)	Aandeel droge stof naar de vruchten (%)
RB (referentie)	102.3	37.5	40.7	8.7 a	15.4 ab	1.73	360 ab	37
RGB	98.9	37.1	40.0	6.9 a	15.0 a	1.69	327 a	38
RGB FR1	112.5	38.8	41.9	11.3 ab	20.6 bc	1.86	406 bcd	35
RB FR	115.3	44.6	40.6	10.3 ab	19.9 bd	1.92	418 cd	39
RGB FR2	112.7	35.9	39.9	11.8 ab	25.0 ce	1.67	433 d	32
Wit FR	122.4	42.8	39.6	14.4 b	25.6 e	1.72	447 d	35
Dynamisch	104.6	41.1	38.0	8.4 a	17.1 abd	1.80	382 bc	39

Er was wel een significant effect van de lichtbehandelingen op de plantlengte (zie figuur 6.4), en daarmee ook op het drooggewicht van de stengel. De planten in de behandelingen met (meer dan) 20% verrood licht hadden de langste, en de zwaarste stengels. Bij zowel Qwerty als Hi Power was dit effect ook te zien in de bladsteeltjes: deze waren ook langer en zwaarder in de behandelingen met een hoger aandeel verrood licht (Figuur 6.6). Ondanks dat dit gunstig kan zijn voor de lichtonderschepping, bleek dit niet te leiden tot een hoger totaal plantgewicht.



Figuur 6.6 Effect van de lichtbehandelingen op de bladsteeltjes van de komkommerrassen Qwerty (links) en Hi Power (rechts).

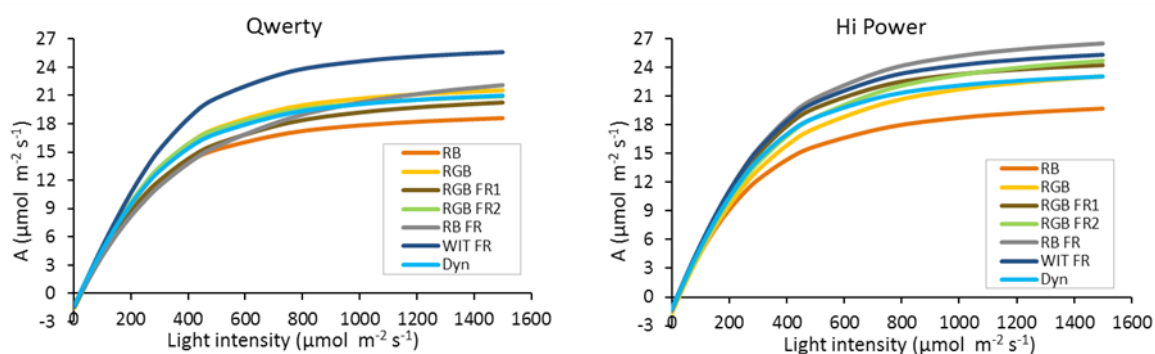
Er was een duidelijk effect van de lichtbehandelingen op de grootte van een blad van een vaste positie aan het gewas (Figuur 6.7), waarbij bij Qwerty RB FR de grootste bladeren heeft en RB de kleinste (zie ook tabel 6.3). Bij Hi Power zijn duidelijke effecten te zien, waarbij het toevoegen van verrood licht grotere bladeren oplevert, maar de effecten op het totale bladoppervlak (Tabel 6.4) zijn niet significant.



Figuur 6.7 Effect van de lichtbehandelingen op bladgrootte en bladvorm van de komkommerrassen Qwerty (links) en Hi Power (rechts).

6.3.2.3 Fotosynthese

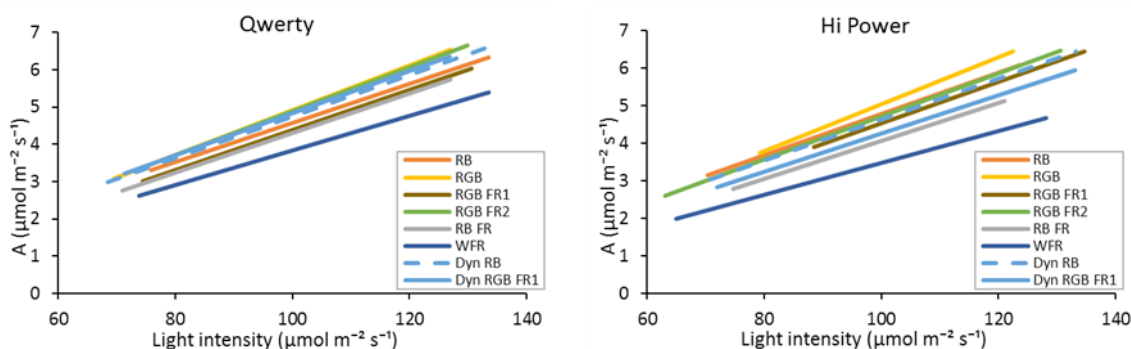
Tijdens de teelt zijn de lichtresponscurves van bladeren die gegroeid zijn onder de verschillende lichtbehandelingen gemeten. Deze metingen worden gedaan met een lichtbron van de fotosynthesemeter, en geven dus het vermogen van het blad aan om CO₂ vast te leggen in de fotosynthese bij "standaard" lichtcondities, en niet het heersende lichtspectrum.



Figuur 6.8. Effect van lichtbehandelingen op de lichtresponscurves van de fotosynthese van komkommerbladeren Qwerty (links) en Hi Power (rechts).

Vervolgens werden de lichtresponscurves geanalyseerd, en de parameters statistisch getoetst. Daaruit blijkt dat bij Hi Power de behandeling RB FR een hogere maximale fotosynthesesnelheid heeft dan de behandeling RB (data niet getoond). De overige behandelingen verschillen niet significant. Voor Qwerty geldt dat de maximale fotosynthese van de twee behandelingen met een groot aandeel verrood licht (RB FR en Wit FR) een significant hogere maximale fotosynthesesnelheid hebben dan de referentie, RB. De overige behandelingen verschillen niet significant (data niet getoond).

De fotosynthesemetingen met de open bladkamer (zonder kunstlichtbron) zijn gedaan onder de heersende (LED) licht condities (intensiteit en spectrum).



Figuur 6.9 Effect van lichtbehandelingen op de netto fotosynthese onder de heersende lichtcondities van komkommerbladeren Qwerty (links) en Hi Power (rechts).

Door de metingen die gedaan zijn, zijn lijnen getrokken (zie Figuur 6.9). Daaruit blijkt dat de momentane fotosynthese het laagst is voor de behandeling Wit FR. Dat lijkt logisch, omdat in dit spectrum het aandeel verrood licht, dat niet direct bijdraagt aan de fotosynthese 26% is. De behandeling RB FR, met een aandeel van 20% verrood licht, heeft een CO₂ opnamesnelheid door het blad die vergelijkbaar is met behandelingen met een lager aandeel verrood licht of geen verrood licht. Wanneer uit deze lijnen berekend wordt wat de fotosynthese is bij een lichtintensiteit van 100 μmol/m²/s, blijkt dat er geen significant verschil is tussen de lichtbehandelingen in netto fotosynthese bij deze lichtintensiteit.

6.4 Conclusies

In dit experiment is het effect van lichtspectrum op de groei en ontwikkeling van jonge komkommerplanten (tot vroege productie) onderzocht, onder omstandigheden waar ca. 80% van de dagelijkse lichtsom afkomstig is van LED lampen, en ca. 20% van de zon. Uit de resultaten blijkt dat het lichtspectrum leidt tot grote verschillen in plantvorm, met name stengelstrekking. Naarmate het aandeel verrood licht in het spectrum groter is (20-26%) zijn de stengels en bladsteeltjes langer. Ditzelfde effect is ook, maar in mindere mate, te zien aan de bladgrootte.

Ondanks het feit dat de plantvorm wel sterk door de lichtbehandelingen wordt beïnvloed, is het effect op de vruchtproductie beperkt. Mede door de grote variatie in productie tussen planten, bleken de lichtbehandelingen geen significant effect te hebben op de (vroege) productie van Hi Power. Uit de resultaten lijkt het wel zo dat de behandelingen met een hoog aandeel verrood licht (RB FR met 20% en Wit FR met 26%) geen hogere productie hebben dan de twee behandelingen met 10% verrood licht RGB FR1 en RGB FR2). Dat betekent dat het voor een commerciële productie het niet nodig lijkt meer dan 10% verrood licht te geven.

Omdat de bladstand, plantvorm en productie er goed uitzagen bij de behandelingen met 10% verrood licht, is de aanbeveling om in de keuze voor een lichtspectrum voor een komkommerteelt in de praktijk dit aan te houden. Geen verrood in het lichtspectrum heeft negatieve gevolgen voor de bladgrootte, bladstand en daarmee de lichtonderschepping, en blijkt (ook al is het niet altijd significant verschillend) altijd de laagste plantbiomassa en productie te hebben.

7 Biologische bestrijders: invloed van lichtspectrum op de zoek- en parasiteringsactiviteit van de sluipwesp *Aphidius ervi*

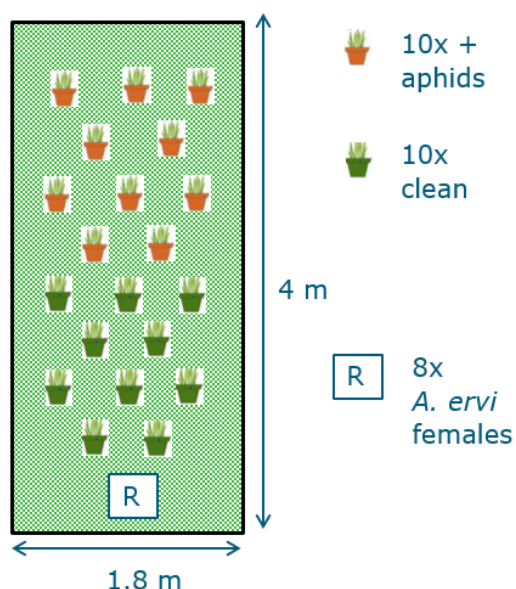
7.1 Inleiding

Er zijn relatief weinig studies gedaan naar de invloed van lichtintensiteit en lichtspectrum op de activiteit van sluipwespen. Omdat sluipwespen dag-actieve natuurlijke vijanden zijn, verwachten we dat de zoek- en parasiteringsactiviteit van sluipwespen samenhangt met de hoeveelheid licht die ze kunnen waarnemen. Onderzoek aan het effect van lichtintensiteit en daglengte op de activiteit van sluipwespen van wittevlies (*Encarsia formosa* en *Eretmocerus eremicus*) heeft inderdaad aangetoond dat de parasiterings-activiteit toeneemt met de dagelijkse hoeveelheid licht (lichtintensiteit x daglengte) (Zilahi-Balogh e.a., 2006). Voor de sluipwesp *Aphidius ervi*, die bladluizen parasiteert, is onderzocht wat de invloed van het lichtspectrum is op de activiteit (Cochard e.a., 2017). *Aphidius ervi* bleek het meest actief onder monochromatisch UV-A licht, gevolgd door monochromatisch groen licht. De activiteit onder monochromatisch blauw licht was laag, en er was vrijwel geen activiteit onder monochromatisch oranje en rood licht (Cochard e.a., 2017). Dit laatste kan waarschijnlijk worden verklaard uit het feit dat de meeste insecten en mijten geen licht in het rode gedeelte van het spectrum kunnen waarnemen, waardoor ze de omgeving als donker ervaren (Kelber, 2001; Warrant en Nilsson, 2006). In dit experiment is onderzocht of de zoekefficiëntie van de sluipwesp *Aphidius ervi* afhankelijk is van het LED lichtspectrum bij een lage intensiteit natuurlijk zonlicht. Op basis van de beschikbare kennis was de verwachting dat de zoekefficiëntie en/of parasiteringsactiviteit van *A. ervi* lager wordt naarmate het LED lichtspectrum een hoger aandeel rood licht bevat.

7.2 Materiaal en methodes

De zoek- en parasiteringsactiviteit van *A. ervi* sluipwespen is onderzocht op 11 teelttafels van 4 x 1.8 m met elk een specifiek LED spectrum. De 3 LED spectra die zijn meegenomen in deze proef zijn W ('wit') (R = 35%, G = 35%, B = 30%), RGB (R = 75%, G = 15%, B = 10%) en RB (R = 95%, G = 0%, B = 5%), en zijn toegepast tegen een achtergrond van een lage intensiteit natuurlijk zonlicht. Voor elk van deze 3 LED spectra waren 3 teelttafels ingericht, waarbij er gaas is gebruikt om ervoor te zorgen dat de sluipwespen niet van de ene naar de andere tafel konden bewegen. Dit gaas was ongeveer 150 cm boven de tafels gespannen over een rek, en liep onder de LED lampen door. Over een periode van 2 maanden zijn er 5 herhalingen van de proef uitgevoerd, met steeds 10 dagen tussenpauze tussen elke herhaling. In totaal zijn er op deze wijze 15 herhalingen gerealiseerd. Op elke tafel zijn 50 paprikaplanten geplaatst als vulgewas (matrix) op een oppervlakte van 4 x 1 m. Bij de start van elke herhaling in de tijd zijn er op elke tafel 10 bankerplanten (wintertarwe, *Triticum aestivum*) geplaatst met elk gemiddeld 100 graanluizen (*Sitobion avenae*). De bankerplanten stonden in potten met potgrond van 8 cm hoogte en 10/7 cm diameter (top/bodem). De hoogte van de planten (exclusief pot) was ongeveer 14 cm. Naast de bankerplanten met graanluis stonden er op elke tafel ook nog 10 bankerplanten zonder graanluis. In Figuur 7.1 is duidelijk gemaakt hoe de bankerplanten waren gepositioneerd op de tafels. Op elke tafel - behalve 2 van de 5 tafels met het 'witte' LED spectrum - zijn vervolgens 8 *A. ervi* vrouwtjes losgelaten. De *A. ervi* sluipwespen die zijn gebruikt voor het experiment waren afkomstig van Koppert Biological Systems, en zijn steeds ongeveer 5-6 dagen voor de start van elke herhaling in de tijd verkregen in het popstadium. Na aankomst werden de poppen geplaatst in een klimaatkast bij 20 °C (wanneer de poppen nog niet waren met begonnen met uitkomen) of 15 °C (wanneer de poppen wel waren begonnen met uitkomen) in glazen potten met gaas in de deksels, en voorzien van honing en water. Zodoende waren de vrouwtjes sluipwespen op het moment van introductie op de tafels ongeveer tussen de 3 en 5 dagen oud, en werden ze verondersteld te hebben gepaard.

De sluipwespen werden steeds 1-2 uur voorafgaand aan de start van het experiment in de afgesloten potten op de tafels geplaatst, zodat de sluipwespen reeds konden wennen aan de lichtomgeving. Het loslaten gebeurde steeds rond het middaguur, tussen 11 en 14 uur. Hierbij stonden de glazen potten in kooitjes van 40x40x60 cm. Dit is gedaan zodat, wanneer de sluipwespen uit de glazen potten zouden vliegen, ze eerst in de kleine kooi terecht zouden komen waarvan de bovenkant op gelijke hoogte met het gewas stond en ze niet direct vanuit de pot naar de bovenkant van het gaas konden vliegen. Voor elke tafel is steeds het precieze tijdstip van het openen van de potten en kooien vastgelegd, en is tevens na 10 min en na 1 uur genoteerd hoeveel van de geïntroduceerde sluipwespen uit de pot en uit de kooi waren gevlogen. Vervolgens werden de bankerplanten precies 24 uur na het loslaten terug verzameld, waarna de op de bankerplanten aanwezige sluipwespen werden verwijderd. Per tafel werden de verzamelde bankerplanten met bladluizen vervolgens in een kooi in een aparte kas geplaatst bij gelijke licht-omstandigheden (L:D 16:8 uur), 20 °C en 70 % RV. Na een periode van 10 dagen in deze aparte kas werd het aantal geparasiteerde bladluizen (mummies) geteld. Nadat de bankerplanten van de tafels met de LED belichting waren verwijderd, is er op elke tafel een nieuwe – grotere – bankerplant met *S. avenae* bladluizen geplaatst. Deze planten zijn gebruikt om de achtergebleven sluipwespen de kans te geven eitjes te leggen, en zo hun ei-voorraad uit te putten voordat de volgende herhaling op dezelfde tafel werd uitgevoerd. Eén dag voor de volgende herhaling werd deze bankerplant verwijderd, weggegooid en vervangen voor een nieuwe 'controle' bankerplant met graanluis. Van deze 'controle' bankerplant werd na 10 dagen het aantal bladluis mummies bepaald om na te gaan of er geen sluipwespen meer aanwezig waren op de tafels voordat een nieuwe ronde herhalingen werd ingezet.



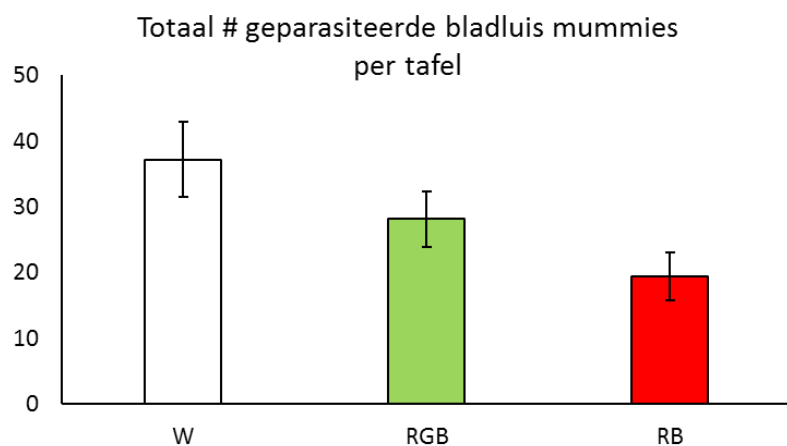
Figuur 7.1 Positionering van de bankerplanten op de tafels. R = 'release point' van de sluipwespen. Vooraan de tafels stonden 10 bankerplanten zonder graanluizen, en achteraan de tafels stonden 10 bankerplanten met graanluizen verdeeld tussen de 50 paprikaplanten die evenredig over de tafel waren verdeeld.

7.3 Resultaten

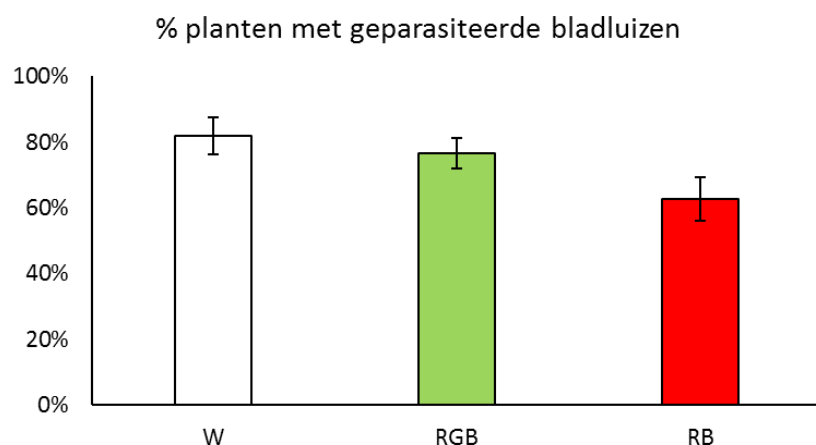
Na 10 minuten na het openen van de kooien waarin de sluipwespen waren uitgezet, waren gemiddeld 71% van de sluipwespen uit de kooien gevlogen, en dit percentage was onafhankelijk van het LED spectrum. Na een uur waren vrijwel alle sluipwespen (> 97%) uit de uitzet-kooien gevlogen.

Het LED lichtspectrum tegen een achtergrond van lage intensiteit natuurlijk zonlicht had een significant effect op het totaal aantal geparasiteerde bladluizen per tafel ($P = 0.003$). Het aantal geparasiteerde bladluizen was bijna twee keer zo hoog onder het witte LED spectrum met gelijke aandelen rood, groen en blauw licht vergeleken met het RB LED spectrum dat voor 95% uit rood licht en voor 5% uit blauw licht bestond (Figuur 7.2). De parasiteringsactiviteit van *Aphidius ervi* onder het LED spectrum met 75% rood licht, 15% groen licht en 10 % blauw licht lag hier tussenin.

Het percentage bankerplanten met geparasiteerde bladluizen verschilde ook tussen de drie bovengenoemde LED spectra ($P = 0.038$), lag afhankelijk van het LED spectrum tussen de 60% en 80% en volgde dezelfde trend als het totale # geparasiteerde mummies per tafel.



Figuur 7.2 Het totale aantal geparasiteerde bladluis mummies per teelttafel (gemiddelde $\pm$ S.E.) voor de 3 verschillende LED spectra, namelijk W ($R = 35\%$, $G = 35\%$, $B = 30\%$), RGB ($R = 75\%$, $G = 15\%$, $B = 10\%$) en RB ($R = 95\%$, $G = 0\%$, $B = 5\%$).



Figuur 7.3 Het % bankerplanten met geparasiteerde graanluizen per teelttafel (gemiddelde $\pm$ S.E.) voor de 3 verschillende LED spectra, namelijk W ($R = 35\%$, $G = 35\%$, $B = 30\%$), RGB ($R = 75\%$, $G = 15\%$, $B = 10\%$) en RB ($R = 95\%$, $G = 0\%$, $B = 5\%$).

7.4 Conclusies en aanbevelingen

Het LED lightspectrum had een significant effect op de zoek- en parasiteringsactiviteit van de sluipwesp *Aphidius ervi*, wanneer het LED lightspectrum tegen een achtergrond van lage intensiteit natuurlijk zonlicht werd toegediend. Dit effect lijkt samen te hangen met het aandeel rood licht in het lightspectrum, welke niet kan worden waargenomen door de sluipwespen. Wanneer het aandeel rood licht ten koste gaat van de hoeveelheid groen licht en/of UV-A licht in de kas worden de sluipwespen naar verwachting minder actief waardoor het aantal geparasiteerde bladluizen afneemt. De vraag is hoe de activiteit van de sluipwespen samenhangt met de hoeveelheid licht die ze kunnen waarnemen. *Is er een grenswaarde van lichtintensiteit die door de sluipwespen kan worden waarnemen waarboven de activiteit niet verder wordt gelimiteerd? En zo ja, waar ligt deze grenswaarde? Wordt de invloed van de door de sluipwespen waarneembare lichtintensiteit ook gemoduleerd door de motivatie van de sluipwespen om te gaan zoeken naar gastheren om hun eitjes in te leggen, bijvoorbeeld nadat ze een eileg-ervaring hebben gehad in een geschikte gastheer? En is de invloed van LED spectrum op de zoek- en parasiteringsactiviteit van sluipwespen soort-specifiek?* Om deze vragen te beantwoorden is er meer onderzoek nodig. De kennis over de invloed van LED spectrum op de zoek- en parasiteringsactiviteit van sluipwespen kan worden gebruikt om de uitzetstrategie van de sluipwespen aan te passen aan de licht-omstandigheden in de kas.

8 Biologische bestrijders: invloed van lichtspectrum op de eileg en ontwikkeling van de roofwants *Macrolophus pygmaeus* in tomaat

8.1 Inleiding

Macrolophus pygmaeus roofwantsen worden in tomaat vrijwel standaard preventief ingezet als bestrijder van wittevlies, *Tuta absoluta* en verschillende andere plagen. Ze kunnen zich op een tomatengewas ontwikkelen in afwezigheid van deze plagen, en prikken het gewas aan om hun prooidieet verder aan te vullen met plantensap. In deze meeste gevallen ontstaat door dit laatste geen economische gewasschade, behalve bij cherrytomaten waar bij zeer hoge dichtheden van *M. pygmaeus* de uitval van aangeprikte bloemen een probleem kan vormen. De ontwikkeling van *M. pygmaeus* in de afwezigheid van plagen kan worden ondersteund door bij te voeren met 'Artemia' (ingekapselde eitjes van pekelkreeftjes), al dan niet gemengd met 'Ephestia' (gesteriliseerde eitjes van de meelmot *Ephestia kuehniella*).

De hoofddoelstelling van dit experiment was om te onderzoeken in hoeverre het aantal nakomelingen van *M. pygmaeus* vrouwtjes wordt beïnvloed door het LED lichtspectrum als aanvulling op een lage intensiteit natuurlijk zonlicht. Tevens is onderzocht of: a) een mogelijk effect van het lichtspectrum op het aantal nakomelingen van *M. pygmaeus* direct verloopt of indirect via een verandering in de plantweerbaarheid van de plant, b) een gewenningsperiode van *M. pygmaeus* onder het lichtspectrum de eileg onder dit spectrum kan beïnvloeden, en c) een mogelijk effect van lichtspectrum op de overleving en ontwikkelingssnelheid van *M. pygmaeus* nimfen wordt beïnvloed door de aanwezigheid van additioneel voedsel.

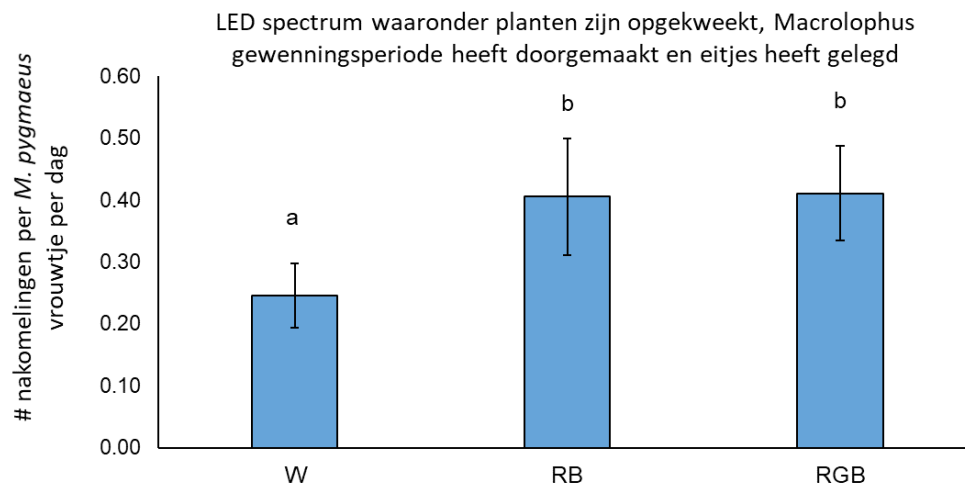
8.2 Materiaal en methoden

Voor deze onderzoeksvraag is er aansluitend op de teeltrondes met tomaat cv Merlice (zie hoofdstuk 3) en komkommer cv Qwerty (zie hoofdstuk 5) een extra teeltronde ingelast in de IDC LED kas, waarbij er 3 verschillende LED spectra zijn toegepast tegen een achtergrond van een lage intensiteit natuurlijk zonlicht op elk 4 teelttafels, namelijk 'W' ('wit') (R = 35%, G = 35%, B = 30%), 'RGB' (R = 75%, G = 15%, B = 10%) en 'RB' (R = 95%, G = 0%, B = 5%). Om de invloed van het LED spectrum op de eileg van *M. pygmaeus* te onderzoeken, zijn volwassen (1-2 weken oude) *M. pygmaeus* roofwantsen samen met voedsel (Artemia) in het gewas uitgezet aan het begin van week 4 van de teelt (6 weken na zaaien). Drie dagen na uitzetten van *M. pygmaeus* zijn de planten uit alle kooien van de teelttafels verwijderd en in kooien in aparte kas geplaatst. In deze kooien konden de eitjes zich tot nimfen ontwikkelen, waarna het aantal uitgekomen nimfen op elke plant is geteld (de eitjes zelf worden in het plantweefsel gelegd en derhalve niet direct worden geteld). Om een effect van lichtspectrum op de plantweerbaarheid te kunnen onderscheiden van een eventueel direct effect van het lichtspectrum op de roofwantsen zelf, zijn de roofwantsen uitgezet op a) planten die waren opgekweekt onder het desbetreffende lichtspectrum en b) planten die waren opgekweekt onder een wit spectrum. Voordat de *M. pygmaeus* roofwantsen zijn uitgezet in de kooien onder de drie LED lichtspectra is een gedeelte van de roofwantsen eerst onderworpen aan een gewenningsperiode van één week in kooien met een tomatenplant onder het lichtspectrum waaronder ze zijn getoetst, en is het andere gedeelte van de roofwantsen gedurende dezelfde week in kooien onder het witte spectrum geplaatst.

De invloed van het LED lichtspectrum op de ontwikkelingssnelheid van *M. pygmaeus* nimfen is onderzocht op a) tomatenplanten zonder additioneel voedsel, b) tomatenplanten met Artemia voedsel, en c) kweekbakjes zonder tomaat, maar met Artemia voedsel. Hiervoor zijn er per behandeling en per teelttafel op 4 planten/kweekbakjes 30 jonge *M. pygmaeus* nimfen van dezelfde leeftijd uitgezet (2^e en 3^e nimfenstadium), die allemaal onder dezelfde omstandigheden waren gekweekt (20 °C, 70% RV, 16L:8D). Na 3 weken is het ontwikkelingsstadium en het aantal levende nimfen op elke plant/kweekbakje bepaald.

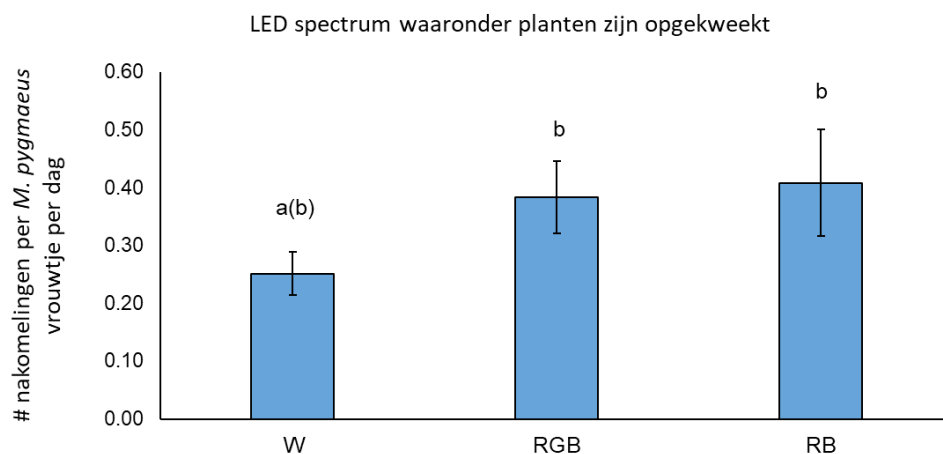
8.3 Resultaten

De tomatenplanten die zijn gebruikt voor de experimenten hadden in meer of mindere mate last van oedeem. De planten die zijn gebruikt voor het eileg experiment hadden relatief grote schade van oedeem, terwijl de planten die zijn gebruikt voor het experiment voor de ontwikkeling van de nimfen vrijwel geen schade hadden. Er was een significant effect van het LED lichtspectrum op de eileg van *M. pygmaeus* roofwantsen wanneer alleen de data werden geanalyseerd van de behandelingscombinaties waarbij de planten waren opgekweekt, de Macrolophus adulten een gewenningsperiode hadden doorgemaakt en de eilegperiode van Macrolophus had plaatsgevonden onder het zelfde LED lichtspectrum. De eileg van Macrolophus was hierbij significant lager onder het witte spectrum vergeleken met het RB en het RGB spectrum (Figuur 8.1).

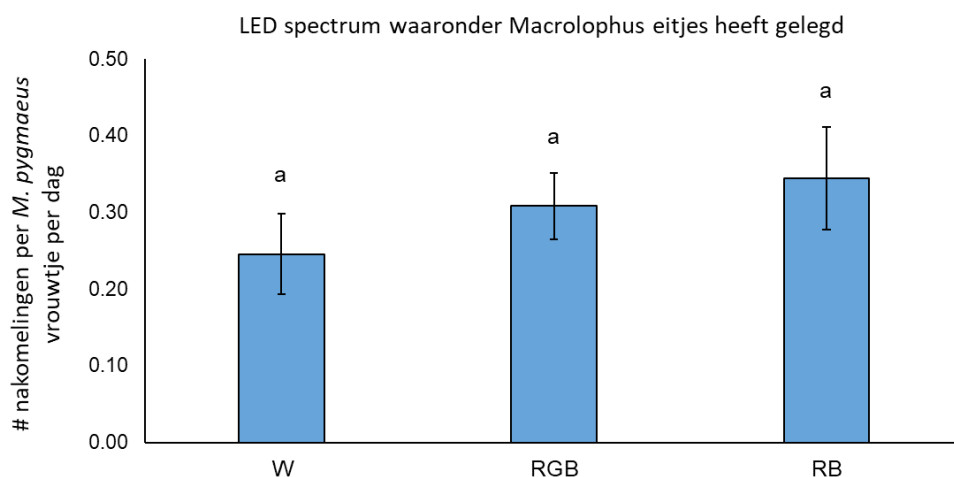


Figuur 8.1 Effect van LED lichtspectrum waaronder planten zijn opgekweekt, *Macrolophus pygmaeus* een gewenningsperiode heeft doorgemaakt en eitjes heeft gelegd op het aantal nakomelingen per *M. pygmaeus* vrouwtje per dag.

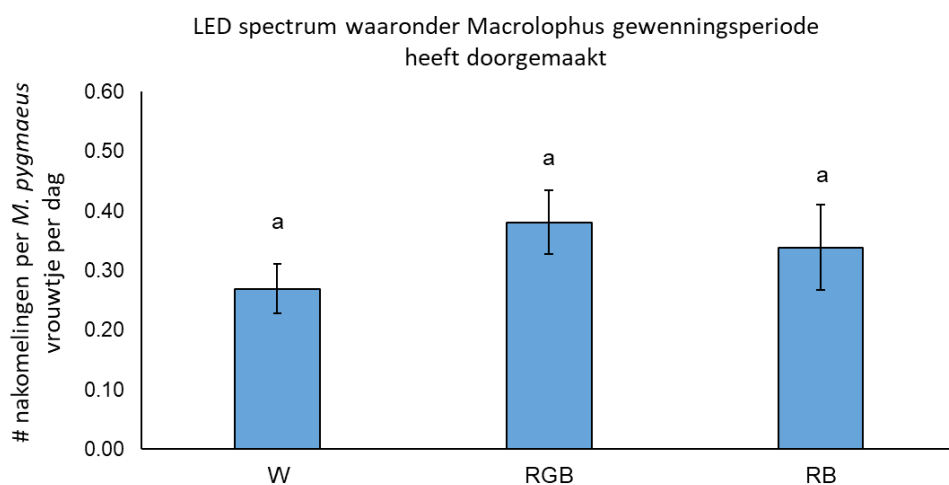
In figuren 8.2 t/m 8.5 staan het aantal nakomelingen per Macrolophus vrouwtje per dag voor elke factor apart weergegeven, namelijk a) het LED lichtspectrum waaronder de planten zijn opgekweekt (Figuur 8.2), b) het LED lichtspectrum waaronder de Macrolophus vrouwtjes eitjes hebben gelegd (Figuur 8.3) en c) het LED lichtspectrum waaronder Macrolophus een gewenningsperiode heeft doorgebracht (Figuur 8.4). Hieruit wordt duidelijk dat geen van deze factoren op zichzelf significant effect hadden op het aantal nakomelingen van Macrolophus. Wel leek de behandeling met 'witte' LEDs tijdens de opkweek van de planten het sterkste verschil in het aantal nakomelingen per Macrolophus vrouwtje te veroorzaken.



Figuur 8.2 Effect van LED lichtspectrum waaronder planten zijn opgekweekt op het aantal nakomelingen per *M. pygmaeus* vrouwtje per dag.



Figuur 8.3 Effect van LED lichtspectrum waaronder *Macrolophus pygmaeus* eitjes heeft gelegd op het aantal nakomelingen per *M. pygmaeus* vrouwtje per dag.



Figuur 8.4 Effect van LED lichtspectrum waaronder *Macrolophus pygmaeus* een gewenningsperiode heeft doorgemaakt op het aantal nakomelingen per *M. pygmaeus* vrouwtje per dag.

8.4 Conclusies

De resultaten uit dit experiment duiden op een effect van het lichtspectrum op het aantal nakomelingen van *Macrolophus pygmaeus*. Gelijke aandelen rood, groen en blauw in het lichtspectrum leidde tot minder nakomelingen per *M. pygmaeus* vrouwtje per dag in vergelijking met de RGB en RB LED spectra. Hoewel niet statistisch significant, lijkt het LED lichtspectrum waaronder *Macrolophus pygmaeus* zijn opgekweekt het sterkste effect te hebben op het aantal nakomelingen per *M. pygmaeus* vrouwtje per dag. Dit duidt op effecten die via de plantweerbaarheid verlopen. Mogelijk had de plant een hoger gehalte aan verdedigingsstoffen onder het witte spectrum. Dat het lichtspectrum via plantweerbaarheid een invloed kan hebben op het aantal nakomelingen van *Macrolophus pygmaeus* werd ook aangetoond in de studie van Meijer *et al.* (2023).

9 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het project "LED licht bij zonlicht" is het opstellen van (goede) basisspectra voor LED licht als aanvulling op het zonlicht onder omstandigheden met weinig natuurlijk licht. Het onderzoek is gedaan in het IDC LED, een kasfaciliteit met tafels met schakelbare LED plafonds, waar gestreefd werd naar een verhouding van 80% lamplicht en 20% zonlicht (teelt onder winterse condities). In dit rapport staan de resultaten voor jonge tomaten en komkommerplanten beschreven, in een eerder rapport van dit project staan de resultaten voor chrysant en alstroemeria beschreven (Dieleman e.a., 2021).

Spectrum bij tomaat

Jonge tomatenplanten werden geteeld bij een brede reeks lightspectra, die uiteenliepen 95% rood/5% blauw tot een spectrum met gelijke aandelen blauw, groen, rood en verrood licht. Aanpassingen aan het lightspectrum leidden tot grote verschillen in plantvorm. Wanneer een deel van het rode licht werd vervangen door verrood licht leidde dit tot meer strekking, met een hoger aandeel van de assimilaten in de stengels ten koste van de bladeren. Een voordeel van verrood licht in het spectrum is dat het aantal bladeren met oedeem kleiner wordt. Wanneer in het spectrum met ca. 10% verrood licht het aandeel blauw toeneemt, blijkt dat het effect van verrood licht op de strekking teniet gedaan wordt door het blauwe licht. Dat betekent dat de plantvorm goed te sturen is met de balans verrood/blauw licht. Ook de plantkleur wordt beïnvloed door het lightspectrum: een hoger aandeel blauw licht leidt tot een hoger gehalte aan chlorofyl en daarmee een donkerder groene kleur. Het totale drooggewicht van de jonge tomatenplanten werd niet beïnvloed door de aangelegde lichtbehandelingen, de assimilatenverdeling over stengels en bladeren wel. Deze resultaten geven daarmee aan dat het voor opkweekbedrijven goed mogelijk is de plantvorm van jonge tomatenplanten te sturen zonder dat dit ten koste gaat van het plantgewicht. Dit wordt in de praktijk nog (bijna) niet toegepast omdat de meeste opkweekbedrijven één type LED installatie hebben (als ze al LED belichting hebben) waarmee ze zowel de opkweek van tomaten, komkommers, paprika en aubergine willen doen, alsook de opkweek en teelt van bijvoorbeeld perkgoed en potplanten buiten het seizoen. Dat betekent dat zij vaak zullen kiezen voor een generiek spectrum, waarbij al deze gewassen (redelijk) goed te telen zijn.

Spectrum bij komkommer

Jonge snackkomkommerplanten werden geteeld onder een serie lightspectra die uiteen liepen van 95% rood en 5% blauw tot een spectrum met gelijke aandelen blauw, groen, rood en verrood licht (zoals ook in het zonlichtspectrum het geval is). Aanpassingen in het lightspectrum leidden tot grote verschillen in plantvorm, met name stengelstrekking. De totale biomassa die werd gevormd (bladeren, vruchten en stengel) was het hoogst bij de planten geteeld onder een spectrum met gelijke delen blauw, groen, rood en wit licht. Dit werd vooral bepaald door het hoge gewicht van stengel en bladeren, de (vroeg) vruchtproductie bleek niet significant te verschillen. De kwaliteit van de vruchten wel: de vruchtkleur was lichter bij een hoger aandeel verrood licht in het spectrum. Omdat de productie met een hoger aandeel verrood licht (20-26%) niet hoger was dan bij 10% verrood licht, en de bladstand en plantvorm er goed uitzagen bij de behandelingen met 10% verrood licht, is de aanbeveling om in de keuze voor een lightspectrum voor een komkommerteelt in de praktijk dit aan te houden. Geen verrood in het lightspectrum heeft negatieve gevolgen voor de bladgrootte, bladstand en daarmee de lichtonderschepping, en blijkt (ook al is het niet altijd significant verschillend) altijd de laagste plantbiomassa en productie te hebben. De resultaten van de experimenten met komkommer in het IDC LED zijn direct toegepast in de komkommerteelt in de Winterlichtkas, waar een spectrum werd toegepast met 5% blauw licht, 9% groen licht, 75% rood licht en 11% verrood licht. Vanwege het feit dat de productie niet hoger werd bij (veel) meer dan 10% verrood licht, maar dit wel ten koste ging van kleur van de komkommers en (zoals uit ander onderzoek bleek) van de plantweerbaarheid, is het aandeel verrood licht rond de 10% gehouden. Dit spectrum is ook op een aantal praktijkbedrijven (naar volle tevredenheid van de telers) geïnstalleerd.

Spectrum bij natuurlijke vijanden

In tomaat worden vrijwel standaard *Macrolophus pygmaeus* roofwantsen preventief ingezet als bestrijder van witte vlieg, *Tuta absoluta* en andere plagen. De vraag is hoe het aantal nakomelingen van deze biologische bestrijder wordt beïnvloed door het lightspectrum. Een lightspectrum met gelijke aandelen rood, groen en blauw in het lightspectrum leidde tot minder nakomelingen per *M. pygmaeus* vrouwtje per dag in vergelijking met de RGB en RB LED spectra. Dat heeft mogelijk te maken met het lagere aandeel rood licht, wat door de *Macrolophus* wordt waargenomen als laag licht condities.

De sluipwesp *Aphidius ervi* wordt ingezet tegen bladluizen. Het zoek- en parasiteringsactiviteit van deze sluipwesp was hoger naarmate het aandeel rood licht lager was, en de aandelen blauw en groen licht hoger waren. Onder een spectrum met gelijke aandelen rood, groen en blauw licht was het aantal geparasiteerde bladluizen bijna twee keer zo hoog als onder het spectrum met 95% rood en 5% blauw licht. Dit onderzoek geeft aan dat het voor de inzet van natuurlijke vijanden wenselijk is het aandeel groen en blauw licht hoger te hebben. Echter, er is nog zeer weinig bekend over wat dit betekent voor de plaaginsecten. Mochten zij hetzelfde gedrag vertonen onder deze spectra, is het de vraag hoe de balans tussen plaaginsecten en natuurlijke vijanden uit zal vallen.

Concluderend

Om te komen tot energiezuinige, all-electric teeltsystemen is het gebruik van LED belichting cruciaal. Het feit dat de kleuren van LED belichting instelbaar zijn, biedt nieuwe kansen, maar roept ook vragen op ten aanzien van het meest geschikte lichtspectrum. Dit onderzoek laat zien dat de teelt van jonge tomaten- en komkommerplanten goed kan onder verschillende lichtkleuren, waarbij met name de balans blauw en verrood licht de mate van strekking bepaalt. Daarmee kan in de opkweek en de start van de teelt gestuurd worden om een plant te telen met de gewenste plantvorm. Het lichtspectrum had geen effect op plantgewicht en op de vroege productie van snackkomkommer. Een lichtspectrum met een hoger aandeel rood licht wordt door insecten gezien als een situatie met veel licht, wat de voortplanting en de activiteit ten goede komt. Deze kennis kan gebruikt worden om de uitzetstrategie van natuurlijke vijanden aan te passen aan de lichtomstandigheden in de kas.

10 Communicatie

De resultaten van dit project zijn op onderstaande wijze gecommuniceerd:

Langen, E., 2018.

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

Kierkels, T., 2018.

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

Velden, P. van, 2019.

Spectrumproef komkommer legt nieuwe feiten bloot. Hogedraadteelt in Winterlichtkas gaat verder met belichting. Onder Glas 10: 16-17 (oktober 2019). (Interview met Anja Dieleman en Jan Janse)

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

Spectrumonderzoek bij komkommer onder LED licht biedt veel perspectief. <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/spectrumonderzoek-bij-komkommer-onder-led-licht-biedt-veel-perspectief>. 15 juli 2019.

Beukel, M. van den, 2019.

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

Kierkels, T., 2020.

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

Kierkels, T., 2021.

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

Kierkels, T., 2021.

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

Rodenburg, J., 2022.

Basisspectra zijn direct toepasbaar, veranderende energiebalans vraagt om meeste aandacht. Telen met full-LED komt in stroomversnelling. Onder Glas 19(12): 49-51 (interview met Anja Dieleman, Sander Hogewoning en Ramon de Vree). <https://edepot.wur.nl/585436>

11 Literatuur

- Cochard, P., Galstian, T., & Cloutier, C. (2017). Light environments differently affect parasitoid wasps and their hosts' locomotor activity. *Journal of Insect Behavior*, 30(6), 595-611.
- Dieleman, J.A., P.H.B. De Visser, E. Meinen, J.G. Grit, T.A. Dueck, 2019. Integrating physiological responses of tomato plants to light quality to the crop level by 3D modelling. *Frontiers in Plant Sciences*. doi: 10.3389/fpls.2019.00839
- Dieleman, A., de Gelder, A., Weerheim, K., Kruidhof, M., Verkerke, W., Garcia, N., Kromwijk, A., Elings, A., de Visser, P., & Janse, J. (2020). Denkkader licht: Naar een effectief gebruik van LED belichting in de glastuinbouw. Rapport Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw; WPR-774. <https://doi.org/10.18174/526138>
- 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.
- Ji, Y., Ouzounis, T., Courbier, S., Kaiser, E., Nguyen, P.T., Schouten, H.J., Visser, R.G.F., Pierik, R., Marcelis, L.F.M., and Heuvelink, E. (2019). Far-red radiation increases dry mass partitioning to fruits but reduces *Botrytis cinerea* resistance in tomato. *Envir. Exp. Bot.* 168, 103889.
- Kaiser, E., Weerheim, K., Schipper, R., and Dieleman, J. A. (2019a). Partial replacement of red and blue by green light increases biomass and yield in tomato. *Sci. Hortic.* 249, 271-279.
- Kaiser E., Ouzounis T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E., Marcelis L.F.M. (2019b). Adding Blue to Red Supplemental Light Increases Biomass and Yield of Greenhouse-Grown Tomatoes, but Only to an Optimum. *Frontiers in Plant Science* 9. DOI=10.3389/fpls.2018.02002
- Kalaitzoglou P., van Ieperen W., Harbinson J., van der Meer M., Martinakos S., Weerheim K., Nicole C.C.S., Marcelis L.F.M. (2019). Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Frontiers in Plant Science* 10, 322. DOI: 10.3389/fpls.2019.00322
- Kalaitzoglou, P., Taylor, C., Calders, K., Hogervorst, M., Van Ieperen, W., Harbinson, J., De Visser, P.H.B., Nicole, C.C.S., Marcelis, L.F.M. (2019). Unraveling the effects of blue light in an artificial solar background light on growth of tomato plants. *Environmental and Experimental Botany* 184, 104377. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2021.104377.
- Kelber, A. (2001) Receptor based models for spontaneous colour choices in flies and butterflies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 99, 231-244.
- Kim, H. H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., and Sager, J. C. (2004). Green light supplementation for enhanced lettuce growth under red and blue light-emitting diodes. *HortScience* 39, 1617-1622.
- McCree, K. J. (1972). The action spectrum, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteor.* 9, 191-216.
- Meijer, D., Hopkoper, S., Weldegergis, B., van't Westende, W., van Loon, J.J. and Dicke, M., 2023. Effects of far-red light on the behaviour and reproduction of the zoophytophagous predator *Macrolophus pygmaeus* and its interaction with a whitefly herbivore. *Authorea*. January 20, 2023. DOI: 10.22541/au.167420002.27177834/v1
- Thornley, J.H.M. (1976) *Mathematical Models in Plant Physiology*. Academic Press, London, 86-110.
- Trouwborst, G., Oosterkamp, J., Hogewoning, S.W., Harbinson, J., Van Ieperen, W. (2010). The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. *Physiologia Plantarum* 138 (3): 289-300. Doi: 10.1111/j.1399-3054.2009.01333.x
- Wang, S., Tan, X.L., Michaud, J.P., Zhang, F. and Guo, X. (2013) Light intensity and wavelength influence development, reproduction and locomotor activity in the predatory flower bug *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae). *Biocontrol*, 58, 667-674.

Warrant, E. and Nilsson, D.E. (2006).

Invertebrate vision Preface Invertebrate vision. eds. E. Warrant & D.E. Nilssons), pp. XIX-XXI.

Zilahi-Balogh, G. M. G., Shipp, J. L., Cloutier, C., & Brodeur, J. (2006).

Influence of light intensity, photoperiod, and temperature on the efficacy of two aphelinid parasitoids of the greenhouse whitefly. *Environmental entomology*, 35(3), 581-589.

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



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

Rapport WPR-1220

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.