



# Duurzame teeltsystemen met LEDs

Anja Dieleman, Kees Weerheim, Marjolein Kruidhof, Caterina Carpineti, Emilie Fradin,  
Faline Plantenga, Mark van Hoogdalem en Kirsten Leiss

Rapport WPR-1080

## Referaat

Om de ontwikkeling naar duurzame en klimaatneutrale teeltsystemen voor all-electric glastuinbouw te kunnen combineren met belichting zijn efficiënte belichtingssystemen zoals LEDs essentieel. LED biedt energetische voordelen en maakt het mogelijk om dynamische lichtrecepten toe te passen, waarbij lichtintensiteit en lichtkleur gedurende de dag en gedurende de teelt naar behoefte van het gewas gevarieerd kunnen worden. Voor de meeste gewassen is er nog maar een zeer beperkte kennis over de effecten van het lichtspectrum op het gewas, maar zeker ook over welke rol het lichtspectrum speelt in het beheersen van ziekten en plagen in het gewas. In dit project wordt een geïntegreerde benadering gekozen waarbij effecten van dynamische lichtspectra op de groei en productie van aubergine, tomaat en komkommer onderzocht zijn, met daarbij ook de effecten op plantweerbaarheid tegen ziekten en plagen, waarbij ook gekeken wordt naar de onderliggende fysiologische en genetische processen. In chrysant en paprika is het gedrag van plagen en natuurlijke vijanden verder onderzocht. De resultaten geven aan dat groei en productie van deze gewassen gestuurd kan worden met het lichtspectrum, waarbij de weerbaarheid tegen ziekten en plagen een randvoorwaarde is.

## Abstract

To combine the development towards sustainable and climate-neutral cultivation systems for all-electric greenhouses with lighting, efficient lighting systems such as LEDs are essential. LEDs have a high energy-efficiency and make it possible to apply dynamic light recipes, in which light intensity and spectral composition can be varied throughout the day and during the cultivation depending on the developmental stage of the crop. Knowledge on the effects of light spectrum is still limited for most crops, as well as the effect of spectral composition on the control of pests and diseases in the crop. In this project, we took an integrated approach that combines research on the effects of dynamic light spectra on the growth and production of eggplant, tomatoes and cucumbers with the effects on plant resistance to pests and diseases, incorporating the underlying physiological and genetic processes. The behavior of pests and natural enemies has been further investigated in chrysanthemum and sweet pepper. The results indicate that growth and production of greenhouse grown crops can be controlled with the light spectrum, whereby resistance to diseases and pests is a precondition.

## Rapportgegevens

Rapport WPR-1080

Projectnummer: 3742279000

DOI: <https://doi.org/10.18174/579971>

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 daarbij een bijdrage in de lampen en de aansturing daarvan in het IDC LED 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](http://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

|          |                                                                                      |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | <b>Samenvatting</b>                                                                  | <b>7</b>  |
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                                                     | <b>9</b>  |
|          | 1.1 Probleemstelling                                                                 | 9         |
|          | 1.2 Doelstellingen                                                                   | 9         |
|          | 1.3 Inpassing                                                                        | 9         |
|          | 1.4 Conceptuele kader voor de ontwikkeling duurzame teeltsystemen met LED belichting | 10        |
| <b>2</b> | <b>Publicaties</b>                                                                   | <b>13</b> |
| <b>3</b> | <b>Onderzoeksfaciliteit: IDC LED</b>                                                 | <b>15</b> |
|          | 3.1 IDC LED - kasinrichting en klimaatregeling                                       | 15        |
|          | 3.2 LED licht behandelingen                                                          | 17        |
| <b>4</b> | <b>Effect van lichtspectra op groei, productie en plantweerbaarheid in aubergine</b> | <b>19</b> |
|          | 4.1 Inleiding                                                                        | 19        |
|          | 4.2 Teelt en behandelingen                                                           | 19        |
|          | 4.3 Metingen                                                                         | 21        |
|          | 4.3.1 Klimaatmetingen                                                                | 21        |
|          | 4.3.2 Plantmetingen                                                                  | 21        |
|          | 4.3.3 Fotosynthese en fluorescentiemetingen                                          | 22        |
|          | 4.3.4 Populatie ontwikkeling <i>Amblyseius swirskii</i>                              | 22        |
|          | 4.3.5 Biotoetsen meeldauw, botrytis en trips                                         | 23        |
|          | 4.4 Resultaten                                                                       | 23        |
|          | 4.4.1 Klimaat                                                                        | 23        |
|          | 4.4.2 Gewasgroei, -ontwikkeling en productie                                         | 23        |
|          | 4.4.2.1 Opkweekfase                                                                  | 23        |
|          | 4.4.2.2 Productiefase                                                                | 28        |
|          | 4.4.3 Populatieopbouw <i>A. swirskii</i>                                             | 34        |
|          | 4.4.4 Biotoetsen                                                                     | 35        |
|          | 4.4.4.1 Opkweekfase                                                                  | 35        |
|          | 4.4.4.2 Productiefase                                                                | 36        |
|          | 4.5 Conclusies                                                                       | 39        |

|          |                                                                                           |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5</b> | <b>Dynamische lichtspectra gedurende de nacht</b>                                         | <b>41</b> |
| 5.1      | Inleiding                                                                                 | 41        |
| 5.2      | Teelt en behandelingen                                                                    | 41        |
| 5.3      | Metingen                                                                                  | 43        |
| 5.3.1    | Klimaatmetingen                                                                           | 43        |
| 5.3.2    | Plantmetingen                                                                             | 43        |
| 5.3.3    | Gewasgezondheid middels biotoetsen                                                        | 44        |
| 5.4      | Resultaten                                                                                | 44        |
| 5.4.1    | Klimaat                                                                                   | 44        |
| 5.4.2    | Gewasgroei, -ontwikkeling en productie                                                    | 45        |
| 5.4.2.1  | Productie                                                                                 | 45        |
| 5.4.2.2  | Groei en ontwikkeling                                                                     | 46        |
| 5.4.3    | Biotoetsen                                                                                | 51        |
| 5.5      | Conclusies                                                                                | 54        |
| <b>6</b> | <b>Verrood licht gedurende deel van de dag</b>                                            | <b>55</b> |
| 6.1      | Inleiding                                                                                 | 55        |
| 6.2      | Teelt en behandelingen                                                                    | 55        |
| 6.2.1    | Klimaat- en plantmetingen                                                                 | 57        |
| 6.2.1.1  | Klimaatmetingen                                                                           | 57        |
| 6.2.1.2  | Plantmetingen                                                                             | 57        |
| 6.2.2    | Biotoetsen voor meeldauw, botrytis en trips                                               | 57        |
| 6.3      | Resultaten                                                                                | 57        |
| 6.3.1    | Klimaat                                                                                   | 57        |
| 6.3.2    | Gewasgroei, -ontwikkeling en productie                                                    | 58        |
| 6.3.2.1  | Productie                                                                                 | 58        |
| 6.3.2.2  | Groei en ontwikkeling                                                                     | 59        |
| 6.3.2.3  | Biotoetsen                                                                                | 64        |
| 6.4      | Conclusies                                                                                | 66        |
| <b>7</b> | <b>Effect van verrood behandelingen op groei, weerbaarheid, en genexpressie in tomaat</b> | <b>67</b> |
| 7.1      | Inleiding                                                                                 | 67        |
| 7.2      | Teelt en behandelingen                                                                    | 67        |
| 7.3      | Metingen                                                                                  | 69        |
| 7.3.1    | Klimaatmetingen                                                                           | 69        |
| 7.3.2    | Plantmetingen                                                                             | 69        |
| 7.3.3    | Biotoetsen meeldauw, botrytis en trips                                                    | 70        |
| 7.3.4    | Genexpressie                                                                              | 70        |
| 7.4      | Resultaten experiment tomaat                                                              | 71        |
| 7.4.1    | Klimaat                                                                                   | 71        |
| 7.4.2    | Gewasgroei en ontwikkeling                                                                | 72        |
| 7.4.2.1  | Stengellengte                                                                             | 72        |
| 7.4.2.2  | Oedeem                                                                                    | 73        |
| 7.4.2.3  | Plantontwikkeling                                                                         | 73        |
| 7.4.2.4  | Productiefase                                                                             | 74        |
| 7.4.3    | Biotoetsen                                                                                | 75        |
| 7.4.4    | Genexpressie                                                                              | 77        |
| 7.5      | Conclusies                                                                                | 81        |



|           |                                                                                             |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8</b>  | <b>Effecten van lichtspectrum op ziekte- en plaagontwikkeling in tomaat</b>                 | <b>83</b>  |
| 8.1       | Inleiding                                                                                   | 83         |
| 8.2       | Materiaal en methoden                                                                       | 84         |
| 8.2.1     | Teelt                                                                                       | 84         |
| 8.2.2     | Behandelingen                                                                               | 84         |
| 8.2.3     | Klimaatmetingen                                                                             | 86         |
| 8.2.4     | Plantmetingen                                                                               | 87         |
| 8.2.5     | Biotoetsen                                                                                  | 87         |
| 8.3       | Resultaten                                                                                  | 89         |
| 8.3.1     | Klimaat                                                                                     | 89         |
| 8.3.2     | Gewasgroei & -ontwikkeling                                                                  | 90         |
| 8.3.3     | Plaagontwikkeling                                                                           | 92         |
| 8.3.4     | Ziekte ontwikkeling                                                                         | 94         |
|           | 8.3.4.1 Botrytis                                                                            | 94         |
|           | 8.3.4.2 Meeldauw                                                                            | 96         |
| 8.4       | Conclusies                                                                                  | 98         |
| <b>9</b>  | <b>Effecten lichtspectrum op plagen en biologische bestrijders in paprika en chrysant</b>   | <b>99</b>  |
| 9.1       | Inleiding                                                                                   | 99         |
| 9.2       | Materiaal en methoden                                                                       | 100        |
| 9.2.1     | Teelt en behandelingen                                                                      | 100        |
| 9.2.2     | Behandelingen                                                                               | 101        |
| 9.2.3     | Klimaatmetingen                                                                             | 102        |
| 9.2.4     | Plantmetingen                                                                               | 102        |
| 9.2.5     | Zoek- en parasiteringsactiviteit <i>Aphidius</i> sluipwespen                                | 102        |
| 9.2.6     | Plaagontwikkeling paprika                                                                   | 105        |
| 9.2.7     | Eileg van de roofwants <i>Orius laevigatus</i> en plantweerbaarheid tegen trips in chrysant | 106        |
| 9.3       | Resultaten                                                                                  | 107        |
| 9.3.1     | Klimaat                                                                                     | 107        |
| 9.3.2     | Gewasgroei, -ontwikkeling                                                                   | 107        |
|           | 9.3.2.1 Groei en plantgewicht                                                               | 107        |
|           | 9.3.2.2 Plant architectuur                                                                  | 107        |
| 9.3.3     | Zoek- en parasiteringsactiviteit <i>Aphidius</i> sluipwespen                                | 108        |
| 9.3.4     | Plaagontwikkeling paprika                                                                   | 109        |
| 9.3.5     | Eileg van de roofwants <i>Orius laevigatus</i> en plantweerbaarheid tegen trips in chrysant | 110        |
| 9.4       | Conclusies                                                                                  | 111        |
| <b>10</b> | <b>Verrood licht: respons op intensiteit en moment van de dag</b>                           | <b>115</b> |
| 10.1      | Inleiding                                                                                   | 115        |
| 10.2      | Teelt en behandelingen                                                                      | 115        |
| 10.3      | Klimaat- en plantmetingen                                                                   | 117        |
|           | 10.3.1 Klimaatmetingen                                                                      | 117        |
|           | 10.3.2 Plantmetingen                                                                        | 117        |
|           | 10.3.3 Biotoetsen                                                                           | 119        |
| 10.4      | Resultaten                                                                                  | 119        |
|           | 10.4.1 Klimaatmetingen                                                                      | 119        |
|           | 10.4.2 Gewasgroei, -ontwikkeling en productie                                               | 120        |
|           | 10.4.3 Bio-toesten                                                                          | 126        |
| 10.5      | Conclusie                                                                                   | 128        |

|           |                                        |            |
|-----------|----------------------------------------|------------|
| <b>11</b> | <b>Daglengthe en moment van de dag</b> | <b>129</b> |
| 11.1      | Inleiding                              | 129        |
| 11.2      | Teelt en behandelingen                 | 129        |
| 11.3      | Klimaat- en plantmetingen              | 132        |
| 11.3.1    | Klimaatmetingen                        | 132        |
| 11.3.2    | Plantmetingen                          | 132        |
| 11.3.3    | Biotoetsen                             | 133        |
| 11.4      | Resultaten                             | 133        |
| 11.4.1    | Klimaat                                | 133        |
| 11.4.2    | Gewasgroei, -ontwikkeling en productie | 134        |
| 11.4.3    | Biotoetsen                             | 138        |
| 11.5      | Conclusie                              | 139        |
|           | <b>Literatuur</b>                      | <b>141</b> |

# Samenvatting

## *Inleiding*

Om de ontwikkeling naar belichte, fossielvrije, all-electric teeltsystemen mogelijk te maken, is LED belichting onmisbaar, vanwege de hoge energie-efficiëntie. Om de overstap naar LED belichting te kunnen maken, is nog veel informatie nodig over de effecten van LED licht, spectrum, daglengte en intensiteit op het gewas, en op de beheersing van ziektes en plagen. In dit project is daarom integraal onderzoek gedaan waarbij effecten van dynamische lichtspectra op gewasgroei en -productie, op plantweerbaarheid tegen ziekten en plagen, en op natuurlijke vijanden onderzocht zijn, waarbij ook gekeken is naar de onderliggende fysiologische en genetische processen. We hebben gewerkt met een aantal gewassen en combinaties van ziekte en plagen. In deze samenvatting zijn een aantal van de belangrijkste resultaten weergegeven.

## *Aubergine*

Als aan het lichtspectrum van aubergine verrood licht toe wordt gevoegd, blijkt de productie sterk toe te nemen, evenals de totale plant biomassa. Dit geldt ook als het verrode licht niet additioneel gegeven wordt, maar in plaats van een deel van het PAR licht. Deze productietoename wordt veroorzaakt doordat in aanwezigheid van verrood licht een hoger aandeel van de droge stof die geproduceerd wordt terug te vinden is in de vruchten, veroorzaakt door een kortere uitgroeiduur van de vruchten en daarmee een hoger aantal geoogste vruchten. Het toevoegen van verrood licht aan het lichtspectrum verminderde de plantweerbaarheid voor botrytis, maar verhoogde de weerbaarheid tegen meeldauw. Het lichtspectrum had geen effect op de ontwikkeling van de populatie van *A. swissii* of de plantweerbaarheid tegen trips. Dat betekent dat het goed mogelijk is met lichtspectrum de productie in aubergine te verhogen, zonder nadelige effecten op gewasgezondheid.

## *Komkommer*

LED licht wordt gegeven als aanvulling op het natuurlijke zonlicht. De vraag is of het lichtspectrum in aan- en afwezigheid van zonlicht hetzelfde zou moeten zijn, of dat er energiezuiniger opties bestaan. De veronderstelling was dat het toevoegen van blauw en groen licht aan alleen rood licht in de nacht een positief effect zou hebben op de groei van het gewas. Dit bleek niet het geval te zijn: de totale biomassa en de vruchtproductie bleken vergelijkbaar. Wanneer verrood licht aan het lichtspectrum werd toegevoegd, was de vruchtproductie (niet significant) hoger, en verschoof de biomassaverdeling van de bladeren naar de vruchten en stengels. Alle effecten van de aangelegde veranderingen in het spectrum in de nacht op de groei, ontwikkeling en morfologie van komkommer bleken beperkt. Wel was het zo dat het toevoegen van blauw, groen en/of verrood licht de plantweerbaarheid tegen meeldauw verhoogde, ten opzichte van alleen rood licht geven gedurende de nacht. Het toevoegen van verrood licht in de nacht aan een spectrum RGB bleek de infectie met botrytis te verlagen. Dit gold niet voor het toevoegen van verrood licht aan alleen rood of rood/blauw licht. Dat betekent dat er geen reden is om in het nachtspectrum af te wijken van het dagspectrum met grotendeels rood licht en verder blauw, groen en verrood licht.

De volgende vraag was of het nodig is de hele dag verrood licht bij te geven. Uit de productiedata bleek dat er geen verschil in productie was tussen de behandelingen waarbij de hele belichtingsperiode 14 of 20  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  FR gegeven werd. De resultaten geven wel aan dat FR met name van belang is aan het begin van de belichtingsperiode (zonder zonlicht) en aan het einde van de belichtingsperiode (in aanwezigheid van natuurlijk zonlicht). Het verrode licht is van belang voor het bladoppervlakte. Alle behandelingen met verrood licht (behalve continu 14  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  FR) hadden een aantoonbaar hoger bladoppervlakte dan de behandeling met alleen rood licht (R). Het totale plantdrooggewicht was in de behandeling met alleen rood licht tot 25% lager dan in de andere behandelingen. Uit de biotoetsen bleek dat een nachtelijke behandeling met FR meeldauw infectie kan verlagen, maar dat dit afhankelijk is van het ras en van de infectiedruk. Tegelijkertijd verhoogt een nachtelijke FR behandeling het risico van botrytis infectie niet, onafhankelijk of FR de hele nacht of een deel van de nacht gegeven wordt. Geen van de behandelingen had een effect op tripsschade. Dat betekent dat het effect van FR in de nacht positief of neutraal is, maar niet negatief voor de gewasgezondheid. Een komkommernewas blijkt gedurende de belichtingsperiode zeker een periode FR licht in het spectrum nodig te hebben voor een goede groei en productie. Daarbij is het FR het meest effectief als het gedurende de hele belichtingsperiode gegeven wordt, of tenminste aan het begin van de belichtingsperiode (als er nog geen zonlicht is) en aan het einde van de belichtingsperiode (als het dag is).

Een van de vragen die nog stond was in hoeverre er een “dosis respons effect” is, dus dat een hogere intensiteit verrood licht een sterker (positief) effect heeft. Wanneer de intensiteit van FR verhoogd wordt 0 naar 12 en 24  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  blijkt dat een hogere intensiteit FR leidt tot een hogere biomassa-productie, en een hogere productie van komkommers. Het maakt voor het gewas niet uit hoe de FR over de dag verdeeld wordt, als de totale FR som maar hetzelfde is.

Ook het effect van een “End of Day” verrood licht behandeling is onderzocht, waarbij na de belichtingsperiode (spectrum zonder verrood licht) nog 30 minuten verrood licht gegeven werd. Bij komkommer leidde dit wel tot veel stengelstrekking en een hoger plantdrooggewicht, maar niet tot een aantoonbaar hogere productie van komkommers, vergelijkbaar met het effect bij tomaat.

In 2019 werd een spectrumproef met komkommer uitgevoerd in het IDC LED (project “LED licht bij zonlicht”. Op basis van eerder onderzoek in het IDC LED werd het lichtspectrum voor de Winterlichtkas bepaald op 6% blauw licht, 10% groen licht, 74% rood en 10% verrood licht, dat gedurende 18 uur gegeven wordt. De vraag is of de efficiëntie van de belichting te verbeteren zou zijn door aanpassingen in daglengte, lichtspectrum of manier van belichten aan het einde van de dag. De resultaten laten zien dat het verhogen van het aandeel verrood licht van 12% naar 24% leidt tot een toename in productie. Ondanks de verschillen in PAR som, bleek daglengte geen aantoonbaar effect op de productie te hebben. Het verschil in PAR som leidde wel tot verschillen in totale gevormde biomassa, die in dezelfde orde van grootte lagen als het verschil in lichtsom. Uit de omrekening naar lichtbenuttingsefficiëntie bleek dat de LUE van alle behandelingen vergelijkbaar was. De lengte van FR toediening gedurende de dag bleek geen invloed te hebben op de botrytis infectie. Maar een korte periode van 30 minuten FR bij ingang van de nacht reduceerde de meeldauw infectie.

#### *Tomaat*

Dat verrood licht een positief effect heeft op strekking en biomassa-productie is al gebleken, maar de vraag hierbij is welke onderliggende processen hierbij betrokken zijn, en of dit vroegtijdig met genexpressie te bepalen zou zijn, zodat makkelijker vast te stellen is wat voor een gewas het meest geschikte lichtrecept is. Jonge tomatenplanten kregen de hele dag verrood licht, of in periodes van 1 of 3 uur in de ochtend of middag. Effecten van verrood op strekking en biomassaverdeling worden bepaald door de hoeveel verrood licht, en niet het moment waarop het wordt gegeven. Uit analyses bleek dat een aantal van de geteste genen wel gevoelig is voor het toepassen van verrood licht, zoals het suikertransport gen *SWEET12* en het afweergeen *NPR1*, maar dat dit afhankelijk is van het moment op de dag.

#### *Plantweerbaarheid tegen ziektes en plagen*

Bij het ontwikkelen van lichtspectra voor een duurzame teelt onder LED belichting, is het van groot belang ook te kijken naar de plantweerbaarheid onder die omstandigheden, en naar de ontwikkeling van plagen. Zo bleek een hoger aandeel groen en blauw licht te leiden tot een hogere groeisnelheid van *Tuta absoluta* rupsen. Een hoger aandeel verrood licht, waarvan verwacht werd dat het de plantweerbaarheid zou verslechteren, bleek slechts marginale effecten te hebben op zowel plagen als op botrytis en meeldauw.

In chrysant bleken ook spectra die sterk verschilden in aandeel rood licht (90 versus 35%), niet te leiden tot verschillen in zoek- en parasiteringsactiviteit gevonden voor *Aphidius ervi* en *Aphidius colemani*. Voor *Orius* in chrysant bleek wel dat de eileg twee maal zo hoog was in het spectrum met 35% rood licht ten opzichte van 90%. Niet alle biologische bestrijders zijn gevoelig voor het lichtspectrum. Voor zowel de populatie-opbouw van *Amblyseius swirskii* in aubergine als het aantal nakomelingen van *Macrolophus pygmaeus* in tomaat werd geen invloed van het LED spectrum gevonden. Ook was er geen effect van verschillende ratio's blauw, groen en rood in het lichtspectrum op de ontwikkeling van de rupsen van Turkse mot in paprika.



# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Om de ontwikkeling naar duurzame en klimaatneutrale teeltsystemen voor all-electric glastuinbouw te kunnen combineren met belichting wordt veel verwacht van efficiëntere belichtingssystemen zoals LEDs. LED biedt energetisch voordelen en geeft uiteindelijk ruimte voor toepassing van dynamische lichtrecepten, waarbij lichtintensiteit en lichtkleur gedurende de dag en gedurende de teelt naar behoefte van het gewas te variëren is. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de verschillende balansen van het gewas, waarbij de assimilatenbalans een van de belangrijkste is. Er is nog maar zeer beperkte kennis over hoe verschillende lichtspectra op de meest efficiënte manier in de teelt gebruikt kunnen worden. Hierbij geldt zowel dat de effecten van spectrum op het gewas nog maar beperkt bekend zijn, maar ook dat er nog heel erg weinig bekend is over welke rol het lichtspectrum speelt in het beheersen van ziekten en plagen in het gewas. In dit project wordt een geïntegreerde benadering gekozen waarbij effecten van dynamische lichtspectra op gewasgroei en -productie, op plantweerbaarheid tegen ziekten en plagen, en op natuurlijke vijanden onderzocht worden, waarbij ook gekeken wordt naar de onderliggende fysiologische en genetische processen.

## 1.2 Doelstellingen

### *Technische doelstellingen*

- Opstellen van (goede) basisspectra voor LED licht als aanvulling op het zonlicht onder omstandigheden met weinig natuurlijk licht voor gewasgezondheid en teelt van aubergine, tomaat en chrysant.

### *Energiedoelstellingen*

- Reductie van het gebruik van elektriciteit voor belichting met tenminste 50% ten opzichte van SON-T belichting.
- Efficiënt gebruik van warmte en CO<sub>2</sub> door belichting af te stemmen op plantbehoefte.

### *Nevendoelstellingen*

- Verbeteren van groei, ontwikkeling en productie van gewassen door het meest efficiënte LED spectrum toe te passen onder omstandigheden met weinig zonlicht.
- Meten van plantfysiologische processen om de invloed van spectrum op de plantbalansen te bepalen en die kennis te gebruiken in (dynamische) lichtspectra.
- Aanpassen van lichtspectra op plantweerbaarheid en de populatie-opbouw en het zoekgedrag van biologische bestrijders.
- Meten van plantprocessen (genexpressie) die snel reageren op aanpassingen in het lichtspectrum om deze te gebruiken om gebruik van dynamische lichtspectra mogelijk te maken.

## 1.3 Inpassing

Dit project bouwt voort op de werkwijze en de resultaten van het project "LED licht bij zonlicht", waarin we uitgegaan zijn van winterse condities, waarbij het schaarse winterlicht zo goed mogelijk aangevuld moet worden met LED licht. Daarbij wordt gekeken naar het gewas, en naar de gewasgezondheid. Het licht dat gegeven wordt moet plantenfysiologisch goed benut worden, en moet de biologische bestrijding en plantweerbaarheid ondersteunen. Alleen dan kan een duurzaam systeem ontwikkeld worden waarbij met LEDs belicht wordt als aanvulling op het daglicht.

De resultaten van het project "LED licht bij zonlicht" laten zien dat verschillende gewassen sterk kunnen verschillen in hun respons op licht. Zo bleek bij chrysant verschillende spectra met rood, blauw en groen licht weinig van elkaar te verschillen in taklengte, bloei en takgewicht, zo lang er maar geen verrood licht werd toegevoegd. En bleek juist een spectrum van rood, blauw en wit licht met verrood bij alstroemeria de hoogste takproductie op te leveren. Bij komkommers daarentegen waren de telers zeer te spreken over planten die

geteeld werden onder wit licht met verrood, omdat ze er “natuurlijk” uit zagen, maar bleken deze planten op de iets langere termijn een productie te hebben die niet veel hoger was dan de planten onder het rood/blauwe spectrum, terwijl de morfologie daarvan volledig anders was.

Uit het huidige project “LED licht bij zonlicht” is gebleken dat de zoekactiviteit en parasitering van bladluis door de sluipwesp *Aphidius ervi* minder goed was bij een hoger aandeel rood in het spectrum. Een hoog aandeel rood licht bleek echter juist bevorderend voor de plantweerbaarheid van chrysant tegen trips. Interessant genoeg kon het nadelige effect van het witte LED spectrum worden opgeheven wanneer preventief een hoge dichtheid van *Orius laevigatus* aanwezig was in het gewas. De eileg van Orius in het plantenweefsel bleek de plantweerbaarheid aan te schakelen met een onder het ‘witte’ LED spectrum een net zo hoge mate van plantweerbaarheid als gevolg als onder de RB en RGB spectrum. Er werden geen effecten van LED spectrum op de ontwikkeling van Macrolophus nimfen en eileg van wittevlug op tomaat gevonden. De resultaten tot dusver suggereren dat om de effecten van LED op de populatie-opbouw van biologische bestrijders en plagen goed te kunnen bepalen experimenten over een langere tijdsperiode nodig zijn, waarbij de mogelijke effecten van LED spectrum op meerdere aspecten van de levenscyclus van deze organismen worden meegenomen. Het is ook belangrijk om de plantweerbaarheid tegen verschillende soorten plagen en ziektes te onderzoeken; het effect van bepaalde weerbaarheidsmechanismen van de plant kan sterk afhankelijk kan zijn van wijze waarop een plantpathogeen de plant infecteert en ziek maakt, of de manier waarop een plaag zicht voedt met het gewas.

Onder winterse condities bestaat een dag uit drie “delen”. Het eerste deel loopt veelal van ca. middernacht tot 8 uur ‘s ochtends, waarbij er geen zonlicht is maar alleen lamplicht. Daarna is er de dag, waarin er zowel zonlicht als lamplicht is, en na ca. 17:00 uur is het volledig donker (geen zonlicht, geen lamplicht). Tot nu toe wordt er in proeven en in de praktijk altijd belicht met eenzelfde spectrum in de dag (met zonlicht) en de nacht (geen zonlicht). Dat is echter vanuit de plant en insecten niet perse logisch. In het project “LED licht bij zonlicht” zijn daarom enkele belichtingsstrategieën toegepast waarin het spectrum van het licht dat ‘s nachts gegeven werd verschilde van het spectrum in aanwezigheid van zonlicht. De resultaten hiervan laten zien dat deze belichtingsstrategieën perspectief bieden, omdat ze een effect hebben dat anders is dan het “gemiddelde” van het dagspectrum en het nachtspectrum (zie rapport van dat project). Dat betekent dat kleur en duur van de lichtbehandelingen verschillende effecten kunnen hebben op verschillende plantprocessen zoals assimilatenproductie (takgewicht), bloei en strekking. Om die effecten goed te leren kennen, zodat ze gebruikt kunnen worden in efficiënte belichtingsstrategieën, zou het wenselijk zijn om meetmethodes te hebben waarmee momentaan de reactie van het gewas op lichtkleuren gemeten kan worden, zoals bijvoorbeeld genexpressie.

## 1.4 Conceptuele kader voor de ontwikkeling duurzame teeltsystemen met LED belichting

In dit project wordt kennis ontwikkeld om te komen tot duurzame teeltsystemen op basis van LED belichting. Duurzaam wordt hier uitgelegd als:

1. Laag elektriciteitsgebruik. LEDs worden ingezet als een energie-efficiënte lichtbron, waarbij de verschillende lichtkleuren verschillen in efficiëntie.
2. Effectieve lichtbenutting door het gewas. Verschillende lichtkleuren beïnvloeden groei, biomassaproductie, morfologie, lichtonderschepping en daarmee de efficiëntie van het licht-gebruik door het gewas. Omdat gewassen en rassen kunnen verschillen in hun reacties op lichtkleuren worden in dit onderzoek verschillende typen gewassen en meerdere rassen gebruikt.
3. Gewasgezondheid. Een duurzaam teeltsysteem is een systeem met een gewas dat weerbaar is tegen ziektes en plagen, en waarin de inzet van natuurlijke vijanden effectief is.

Deze drie pijlers van een duurzaam systeem moeten begrepen worden (via onderliggende plantmetingen, metingen aan plantweerbaarheid, etc.) en vervolgens geïntegreerd worden tot een systeem waarin de lichtspectra die beperkend zijn voor een van de drie pijlers weggehaald worden en er een systeem overblijft dat op alle vlakken goed tot uitstekend functioneert. Dan hebben we een duurzaam systeem ontwikkeld.

Om dit duurzame teeltsysteem te realiseren, wordt in dit project een reeks experimenten uitgevoerd, waarmee de volgende onderzoeksvragen beantwoord worden:

1. Wat is het meest geschikte lichtspectrum voor aubergine?
2. In hoeverre is het nodig of gewenst om op verschillende momenten van de dag verschillende spectra te gebruiken (dynamische lichtspectra)?
3. Wat zijn de effecten van LED spectra voor de plantweerbaarheid tegen een reeks belangrijke ziekten en plagen? En is dit effect afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van het gewas?
4. Wat zijn de mogelijkheden voor het verbeteren van de plantweerbaarheid van tomaat, aubergine en chrysant?
5. Wat is zijn de directe effect van LED spectrum op de populatieopbouw en zoekactiviteit van biologische bestrijders?
6. Hoe werkt licht op de plantprocessen die ten grondslag liggen aan gewasgroei en ontwikkeling en aan de weerbaarheid tegen verschillende soorten ziekten en plagen, en is dit snel te meten?
7. Wat is het meest geschikte (dynamische) spectrum voor een duurzaam teeltsysteem voor chrysant?

In de experimenten worden de verschillende onderzoeksvragen over de werkpakketten heen geïntegreerd, om tot een zo duurzaam mogelijk teeltsysteem voor de 3 focusgewassen aubergine, tomaat en chrysant te komen. Tevens wordt zo efficiënt mogelijk gebruik gemaakt van kasruimte en arbeid door het combineren van experimenten.



## 2 Publicaties

De resultaten van dit project zijn op onderstaande wijze gecommuniceerd:

In vakbladen:

Velden, P. van, Dieleman, A., Weerheim, K., 2019.

Spectrumproef aubergine doet telers verbazen. Lichtbehandelingen laten flinke verschillen zien in groei en productie. *Onder Glas* 16 (11): 8-9

Beukel, M. van den, Streminska, M., Leiss, K., Kruidhof, M., 2019.

Interdisciplinair onderzoek naar een weerbaar teeltsysteem. *Kas Magazine* 1: 58-61

Kierkels, T., Kruidhof, M., Leiss, K., Dieleman, A., 2020,

LED-kleur heeft invloed op plantweerbaarheid en gedrag natuurlijke vijanden. *Onder Glas* 17 (5): 28-29.

Sleegers, J., Neefjes, H., Dieleman, A., 2020.

Lichtevent 2020 in het teken van LED. Maatwerk vereist met LED licht. *Vakblad voor de bloemisterij* 8: 33

Sleegers, J., Dieleman, A., e.a., 2020.

Led lampen als enige lichtbron. *Vakblad voor de Bloemisterij* 42: 20-23.

Sleegers, J., Dieleman, A., e.a., 2020.

Verrood is sleutel tot full-led. Rood en blauw voor sommige gewassen te beperkt. *Vakblad voor de Bloemisterij* 42: 24-25.

Lier, A. van., Dieleman, A., e.a., 2020.

Gebrek aan kennis, uniformiteit en transparantie in LED-markt. Lichtprestaties in kas komen niet altijd overeen met gedane beloftes. *Onder Glas* 17 (12): 7-9.

LED Magazine, Dieleman, A., 2020.

'De belangen zijn enorm, zekerheid is key'. Subsidie geen wondermiddel voor uitrol led in glastuinbouw (interview met Anja Dieleman). *LED magazine* 29: 26-29.

Kierkels, T., Leiss, K., Kruidhof, M., 2020.

LED-kleur heeft invloed op natuurlijke vijanden en plantweerbaarheid. Onderzoek in tomaat, aubergine, paprika, chrysant en braam. *Onder Glas*, 17 (5): 28-29.

Arkesteijn, M., Kruidhof, M., 2020.

Plagen en bestrijders gedragen zich anders bij verschillende lichtkleuren. Invloed op plagen, predatoren en plantweerbaarheid. *Onder Glas* 18 (2): 14-15

Arkesteijn, M., Leiss, K., 2021.

Lichtspectrum beïnvloedt niet alleen groei, maar ook plantweerbaarheid. Verrood en UV-B spelen een rol in weerbaarheid tegen ziekten. *Onder Glas* 18 (2): 12-13

Lier, A. van, Dieleman, A., e.a., 2021.

Great lack of knowledge, uniformity and transparency in LED market: Lighting performance does not always live up to promises. In *Greenhouses*, 10 (3): 7-9

Kierkels, 2021, Dieleman, A., 2021.

Door verrood licht daalt bladgewicht en stijgt het totale vruchtgewicht. Lessen uit drie jaar belichtingsproeven komkommer. *Onder Glas* 18 (5): 36-37

Op websites:

<https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/spectaculaire-productiestijging-door-optimaal-lichtspectrum-aubergine>. 13 november 2019.

<https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2021/01/26/glastuinders-tonen-meer-belangstelling-voor-led>

<https://www.hortidaily.com/article/9198926/a-lot-is-possible-but-there-is-a-lot-left-to-learn-as-well/>

[https://www.kasalsenergiebron.nl/content/research/Samenvatting\\_resultaten\\_LED\\_op\\_biologische\\_plaagbestrijding.pdf](https://www.kasalsenergiebron.nl/content/research/Samenvatting_resultaten_LED_op_biologische_plaagbestrijding.pdf)

Wetenschappelijk artikel:

Dieleman, J.A., Kruidhof, H.M., Weerheim, K., Leiss, K., 2020.

LED Lighting Strategies affect Physiology and Resilience to Pathogens and Pests in Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Frontiers in Plant Sciences*. doi: 10.3389/fpls.2020.610046



### 3 Onderzoeksfaciliteit: IDC LED

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



**Figuur 3.1** Overzicht van chrysantengewassen op verschillende tafels in het IDC LED waarop per tafel het lichtspectrum geregeld kan worden.

#### 3.1 IDC LED - kasinrichting en klimaatregeling

Het IDC LED is een kasafdeling van 144 m<sup>2</sup> (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 3.2** De koelunit met uitblaasslurf, de hoge druk nevel leiding (werkend op de foto) en de schermen op 25 en 80%.

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

Het klimaat wordt geregeld door een ISII-klimaatcomputer (Hoogendoorn). Per teelt die er uitgevoerd is, werden de klimaatinstellingen aangepast. Uitgangspunt in dit project is een belichte teelt onder winterse condities, waarbij ongeveer 80% van het licht dat de planten krijgen afkomstig is van de lampen en ongeveer 20% van de zon. Om dit te realiseren, zijn waar nodig de koelinstallatie en de schermen gebruikt. Er wordt zuivere CO<sub>2</sub> 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/m<sup>2</sup>. In combinatie met de lampenplanfond wordt zo de intensiteit van het zonlicht beperkt tot het gewenste niveau. De hoeveelheid inkomend zonlicht wordt gemeten boven het lichtplafond van elke tafel door middel van een PAR lijnsensor (Apogee). Bij elk experiment wordt de gerealiseerde hoeveelheid zonlicht berekend door het invallende licht te vermenigvuldigen met de transmissiefactor van het lampenplafond bij de gemeten planthoogte. Hetzelfde wordt gedaan voor de hoeveelheid gegeven LED licht wat ook uitdooft afhankelijk van de lamp-plantafstand waarbij het referentiepunt een lamp-plantafstand van 50 cm is.

**Tabel 3.1**

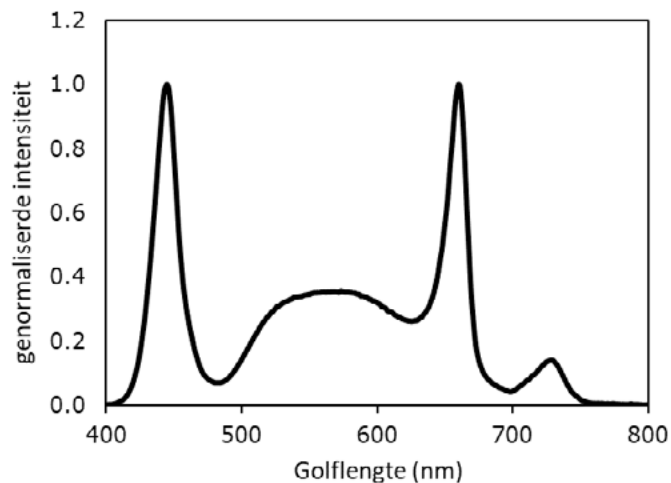
*Uitdoving van de hoeveelheid inkomend zonlicht boven de teelttafels en hoeveelheid lamplicht vanaf het referentiepunt op 50cm onder de lampen.*

|           | Afstand onder de lampen (cm) |            |            |
|-----------|------------------------------|------------|------------|
|           | 50                           | 100        | 150        |
| Zonlicht  | 45.4 ± 0.3                   | 55.8 ± 0.3 | 62.9 ± 0.4 |
| LED licht | 0                            | 24.7 ± 0.6 | 40.9 ± 0.5 |

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.

## 3.2 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). 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 3.3** Lichtspectrum van LED modules in het IDC LED, waarbij de 4 kanalen zijn aangeschakeld.



## 4 Effect van lichtspectra op groei, productie en plantweerbaarheid in aubergine

### 4.1 Inleiding

In vruchtgroentegewassen zoals tomaat en komkommer wordt de afgelopen jaren steeds meer en steeds intensiever belicht. Ook bij auberginetelers is belichting een onderwerp dat de interesse heeft. De ontwikkelingen op het gebied van belichting gaan snel en ook LED belichting wordt bij steeds meer telten toegepast. Een voordeel van LED belichting is dat het elektriciteit efficiënter omzet in licht in vergelijking met SON-T en daarmee energiezuiniger is. Een ander voordeel is dat met LEDs gebruik gemaakt kan worden van de effecten van specifieke lichtkleuren zoals verrood licht op de groei van het gewas. Ook bij aubergine willen de telers nu graag weten hoe het gewas geteeld zou kunnen worden onder energiezuiniger belichtingssystemen op basis van LED belichting, via full LED of hybride belichting. Daarbij is de keuze van lichtspectrum belangrijk. Immers, bij een aantal gewassen zoals tomaat, alstroemeria, chrysant, bramen, frambozen en komkommer is door WUR onderzoek gedaan naar de effecten van lichtspectrum op groei, ontwikkeling, strekking, bloei en plantvorm, waarbij grote effecten zijn gevonden. In dit project wordt nagegaan wat voor de opkweek en de eerste fase van de teelt (tot vroege productie) voor aubergine het meest geschikte lichtspectrum is. Vervolgens zal dit spectrum worden toegepast in een volledige teelt (buiten dit project).

### 4.2 Teelt en behandelingen

In dit experiment wordt onderzocht hoe verschillende (LED) lichtspectra de groei, ontwikkeling en productie van aubergineplanten beïnvloeden, wat het effect van deze spectra op plantweerbaarheid is, en het gedrag van biologische bestrijders. Deze proef is uitgevoerd in zomer en najaar van 2019 (juli – oktober), onder “winterse condities” in de kas, dus lage niveaus zonlicht en korte dagen met natuurlijk licht. Het teveel aan zonlicht werd weggeschermd, en er is gekoeld om de gewenste temperatuur te handhaven.

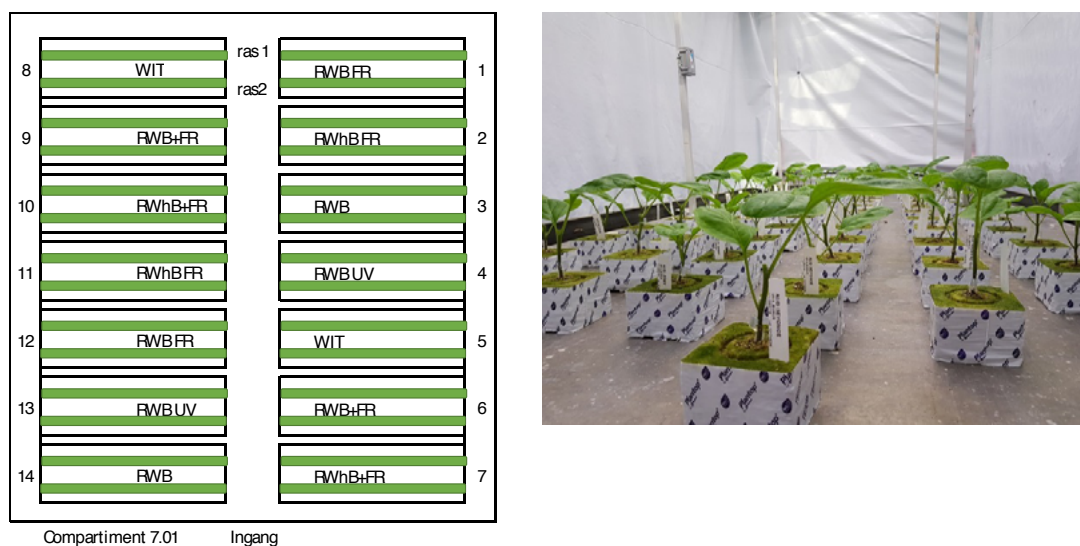
**Tabel 4.1***Overzicht gegevens experiment aubergine.*

|                               |                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gewas                         | Aubergine, geënt/getopte planten, twee stengels per plant                                                                                                                             |
| Rassen                        | Tracey, Beyoncé en Lemmy in de opweekfase, Tracey en Beyoncé in de productiefase                                                                                                      |
| Zaaidatum                     | Beyoncé en Tracey: 14 juni 2019, Lemmy: 17 juni 2019                                                                                                                                  |
| Entdatum                      | 3 juli 2019, onderstam Kaiser                                                                                                                                                         |
| Datum toppen                  | Beyoncé en Tracey: 15 juli 2019, Lemmy: 18 juli 2019                                                                                                                                  |
| Plantdatum (start experiment) | 16 juli 2019                                                                                                                                                                          |
| Plantdichtheid                | Opweek: fase 1: 20 en fase 2: 6 planten/m <sup>2</sup> , teeltfase: 3 planten/m <sup>2</sup>                                                                                          |
| Substraat en watergift        | Steenwolblokjes (Grodan Plantop), eb- en vloedsysteem in de opweekfase<br>Steenwolmatten (Grodan Vital), watergift via druppelaars                                                    |
| Hoogte van het lampenplafond  | 1.70 m                                                                                                                                                                                |
| Lichtintensiteit              | Oplopend van 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ naar 140 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (30 augustus 2019) naar 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (16 september 2019) |
| Belichtingsduur               | 18 uur (middernacht tot 18:00 uur)                                                                                                                                                    |
| Lichtbehandelingen            | Zie schema hieronder                                                                                                                                                                  |
| Temperatuurinstellingen       | Start van de teelt: 22 °C (d/n),                                                                                                                                                      |
| Schermsstrategie              | Donkerdoek: LS Obscura<br>Energiedoek: LS Ultra                                                                                                                                       |
| CO <sub>2</sub> concentratie  | 600 ppm, verhoogd naar 800 ppm                                                                                                                                                        |
| Einde experiment              | Destructieve oogsten op 9 oktober (Beyoncé) en 14 oktober (Tracey)                                                                                                                    |

**Tabel 4.2***Toegepaste lichtbehandelingen (in  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ).*

| Behandeling | Naam             | Blauw | Groen | Rood | FR (verrood) | Totaal |
|-------------|------------------|-------|-------|------|--------------|--------|
| 1           | RWB (referentie) | 5     | 5     | 90   | 0            | 100    |
| 2           | RWB UV           | 5     | 5     | 90   | 0            | 100    |
| 3           | RWB FR           | 5     | 5     | 75   | 15           | 100    |
| 4           | RWhB FR          | 15    | 5     | 65   | 15           | 100    |
| 5           | RWB+FR           | 5     | 5     | 90   | 15           | 115    |
| 6           | RWhB+FR          | 15    | 5     | 80   | 15           | 115    |
| 7           | WIT              | 30    | 35    | 35   | 0            | 100    |

Schematische weergave van de behandelingen over de tafels (links) en de rassen over de tafels in de opkweekfase (rechts):



## 4.3 Metingen

### 4.3.1 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO<sub>2</sub> en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt (behandeling RWB UV), en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer.

### 4.3.2 Plantmetingen

Aan het einde van de opkweekfase is een destructieve oogst gedaan (Tracey en Beyoncé op 9 augustus, Lemmy op 12 augustus), waarbij van 3 planten per tafel (n=2, 6 planten per behandeling) van de drie rassen plantlengte, bladoppervlakte en vers- en drooggewichten van bladeren en stengels gemeten zijn. Specifiek bladoppervlak (Specific leaf area, SLA, maat voor de bladdikte) werd bepaald door bladoppervlakte per plant te delen door het bladdrooggewicht.

Gedurende de productiefase zijn in alle behandelingen bloemetjes gelabeld om de uitgroeiduur te bepalen (van bloei tot vruchtoogst). In de periode 11 september tot 14 oktober werden twee maal per week vruchten geoogst en werden de aantallen vruchten en het versgewicht per tafel bepaald. Wekelijks werd van een deel van de vruchten het drogestofpercentage bepaald door ze te drogen in een droogstoof bij 80°C gedurende tenminste 3 dagen. Bij de eind destructieve oogst (op 14 oktober) werden drie planten per tafel (n=2, 6 planten per behandeling) destructief geoogst, en werden plantlengte, bladoppervlakte en vers- en drooggewichten van vruchten, bladeren en stengels gemeten zijn. Specifiek bladoppervlak (Specific leaf area, SLA, maat voor de bladdikte) werd bepaald door bladoppervlakte per plant te delen door het bladdrooggewicht. De drogestofverdeling tussen stengels, bladeren en vruchten werd bepaald door de data van de destructieve eind oogst te gebruiken, en de gegevens van de droge stof productie van de geoogste vruchten (versgewicht vermenigvuldigd met droge stof percentage van de vruchten).

### 4.3.3 Fotosynthese en fluorescentiemetingen

Op 25 september en 10 oktober werden lichtresponscurves gemeten van 4 Tracey bladeren (per tijdstip per behandeling) in de behandelingen RWB en RWB+FR. De metingen werden gedaan aan het bovenste volledig uitgestrekte blad (meetoppervlakte 6 cm<sup>2</sup>) met een LI-6800 draagbare fotosynthesemeter met een fluorescentiemeetkamer. Het lichtspectrum tijdens de metingen was 10% blauw en 90% rood licht. De blokt temperatuur was 25 °C, CO<sub>2</sub> concentratie was 600 ppm en de VPD was 0.9 kPa. De gebruikte lichtintensiteiten waren 1500, 1200, 1000, 800, 600, 400, 300, 200, 100, 50 and 0 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. De fluorescentie werd gemeten met een meurfaseprotocol, met 8000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> rood licht in 3 fases met een totale duur van 0.9 s.

Het effect van de lichtintensiteit op de fotosynthesesnelheid kan beschreven worden met onderstaande functie (Farquhar *et al.* 1980):

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

waarin:

$A_{ss}$  : Bruto CO<sub>2</sub> opnamesnelheid (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

$A_{\max}$  : asymptotische waarde van de netto CO<sub>2</sub> opnamesnelheid bij hoog lichtniveau (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

$R_d$  : respiratie (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (in deze formule heeft een negatieve waarde)

$\varepsilon$  : initiële lichtbenuttingsefficiëntie (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> / μmol PAR m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

$\Theta$  : krommingsfactor

$R$  : fotosynthetisch actieve straling (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

Elke fotosyntheselichtresponscurve werd gefit op deze hyperbool, en er werd een statistische analyse uitgevoerd (ANOVA) voor alle parameters van deze lichtresponscurve.

### 4.3.4 Populatie ontwikkeling *Amblyseius swirskii*

Voor de roofmijt *Amblyseius swirskii*, is het effect van 4 lichtspectra (RWB, RWB UV, RWB + FR en wit (zie Tabel 3) op de populatiegroei en op de verticale verdeling van de roofmijten over de aubergineplanten onderzocht. Zes planten op elk van de twee tafels van bovengenoemde LED behandelingen zijn gebruikt voor dit experiment (n = 2, 12 planten per behandeling). Om planten met een enkele stengel te verkrijgen, is één van de stengels van elk van deze plant is getopt. *Amblyseius swirskii* is 23 dagen na het planten geïntroduceerd aan de basis van de stengel (80 roofmijten/ planten). Op dezelfde dag, en in elke daarop volgende week, werd Typha stuifmeel (Nutrimite®, Biobest) gelijkmatig verdeeld over de gehele plant. Vervolgens werden er 55 dagen na planten van elke plant drie bladeren geoogst, elk van een verschillende hoogte; 1 blad van laag A (1e en 2e jongst volgroeide blad), 1 blad van laag B (3e en 4e jongst volgroeide blad) en 1 blad van laag C (5e en 6e jongst volgroeide blad). Op elk blad werd het aantal *A. swirskii* eitjes, nimfen en adulten geteld. Op de effecten van LED behandeling en bladpositie, en de interactie hiertussen, op het totale aantal roofmijt individuen (eitjes + nimfen + adulten) is een statistische toets (GLMM) losgelaten.

#### 4.3.5 Biotoetsen meeldauw, botrytis en trips

Aan het einde van de opkweekfase (vegetatief) op 08 augustus als ook in de productie (generatief) fase op 30 september zijn er elk een bio-toets met bladponsjes uitgevoerd om de effecten van de verschillende lichtbehandelingen op ziekten en plagen te onderzoeken. Hiervoor zijn echte meeldauw als een obligaat biotroof, botrytis als een necrotroof en trips als plaaginsect gekozen. Voor elk bio-toets zijn 6-8 planten per tafel at random gekozen. Van de onderste stengel is het 9<sup>de</sup> blad geteld vanaf onderen bemonsterd waarbij 3 bladponsjes elk van een diameter van 5 cm zijn genomen. De ponsjes zijn in petrischalen met een bodemlaag van 1% wateragar gelegd om de ponsjes vers te houden. Vervolgens zijn de ponsjes elk met een concentratie van  $10^5$  sporen/ml meeldauw (*Oidium neolycopersicon*)  $10^6$  sporen/ml botrytis (*Botrytis cinerea*) geïnoculeerd of met 5 adulte tripsen (*Frankliniella occidentalis*) geïnfecteerd. De petrischalen met de ponsjes zijn in een klimaatkamer bewaard bij 20°C en 60% RV. Vier dagen na inoculatie is de botrytisschade als diameter verbruining met behulp van een schuifpui gemeten en 5 dagen na inzetten is de trips schade visueel als doorschijnende zilverschade in mm<sup>2</sup>. De meeldauw infectie is 10 dagen na inoculatie met behulp van de Spencer Index gemeten met een score van: 0 geen schade, 1: 1% van het blad geïnfecteerd, 2: 2-5 % van het blad geïnfecteerd, 3: 6-20% van het blad geïnfecteerd, 4: 20-40% van het blad geïnfecteerd en 5: meer dan 40% van het blad geïnfecteerd. Naast inoculatie is tegen het einde van de productiefase een spontane meeldauwinfectie opgetreden. Daarom zijn de hele planten op 23 september middels de Spencer Index op natuurlijke infectie beoordeeld. Voor trips zijn de bladponsjes geïnfecteerd met elk 5 adulte Californische tripsen (*Frankliniella occidentalis*) en is na 5 dagen de zilverschade in mm<sup>2</sup> gemeten. Data zijn met een twee-factoriele ANOVA met ras en lichtbehandelingen als factoren geanalyseerd.

### 4.4 Resultaten

#### 4.4.1 Klimaat

Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas gedurende de proef was 22.0°C met een dag/nacht temperatuur van 22.8°C en 19.8°C respectievelijk, een VPD van 3.4 kPa en een CO<sub>2</sub> concentratie van 631 ppm.

De planten werden geplaatst bij een lichtintensiteit van de LED lampen van 100 µmol/m<sup>2</sup>/s, dat geleidelijk werd verhoogd naar 140 µmol/m<sup>2</sup>/s (op 30 augustus) en vervolgens naar 180 µmol/m<sup>2</sup>/s op 16 september, bij een daglengte van 18 uur. Voor de twee behandelingen met verrood licht waren de PFD waarden respectievelijk 115, 161 en 207 µmol/m<sup>2</sup>/s. Tijdens de proef kregen de planten een lichtsom (DLI, daily light integral) van zon- en lamplicht samen van 8.6 mol/m<sup>2</sup>/dag. De bijdragen van het LED licht en zonlicht aan de DLI waren 79 en 21% respectievelijk voor de vegetatieve fase, en 88 en 12% voor de generatieve fase. Over het hele experiment gemiddeld kwam 14% van de DLI van het zonlicht, en 86% van de lampen.

#### 4.4.2 Gewasgroei, -ontwikkeling en productie

##### 4.4.2.1 Opkweekfase

Op 15 en 18 juli werden de jonge planten van Tracey, Beyoncé en Lemmy getopt, en begon de opkweekfase onder de lichtbehandelingen. De plantontwikkeling ging snel, en in de week van 12 augustus werden de planten te groot om op steenwolblokjes geteeld te worden en eindigde de opkweekfase met een destructieve oogst. Het effect van de behandelingen op plantvorm is in onderstaande figuur te zien.

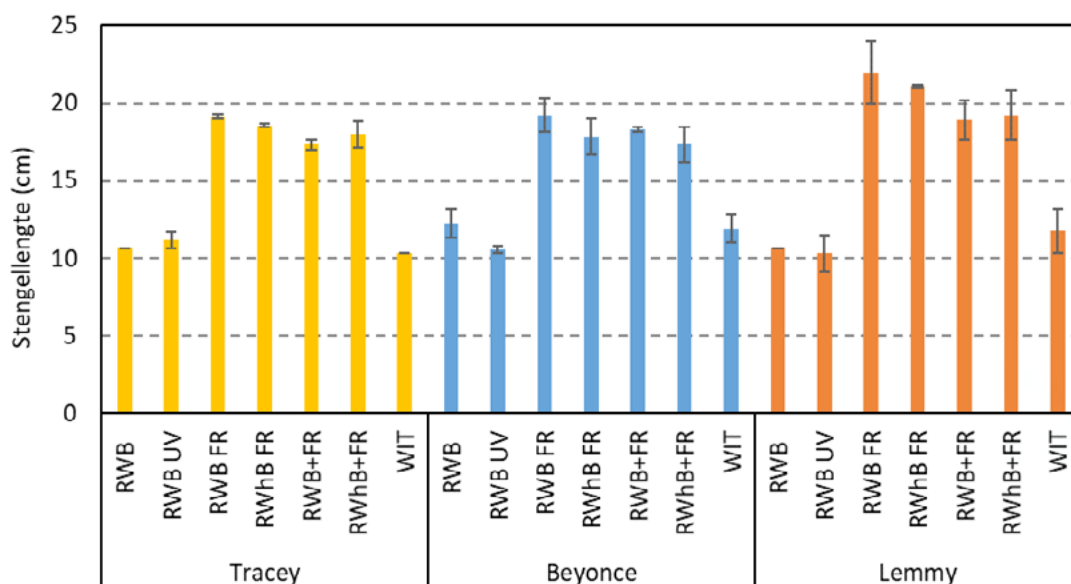




**Figuur 4.1** Effect van de lichtbehandelingen op de plantvorm aan het einde van de opkweekfase.

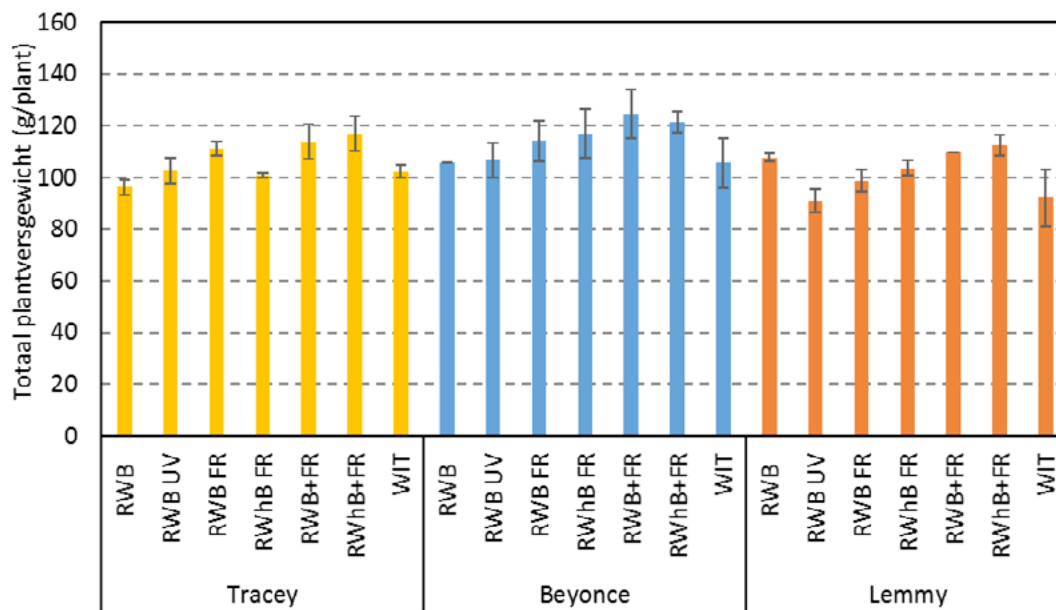
Aan het einde van de opkweekfase werden 3 planten per tafel (dus 6 planten per behandeling) destructief geoogst, en werd plantlengte, bladoppervlakte, vers- en drooggewichten van bladeren en stengels bepaald. Uit deze gegevens werd ook het specifieke bladoppervlakte ( $\text{m}^2$  bladoppervlakte per g drooggewicht; een maat voor de bladdikte) berekend.

De planten waren aan het einde van de opkweekperiode aantoonbaar langer bij de behandelingen met verrood licht dan zonder verrood. Dit effect is duidelijk te zien in alle drie geteste rassen (Figuur 4.2). Bij Lemmy geldt dat de behandelingen waarbij verrood niet extra is gegeven (RWB FR en RWbB FR) aantoonbaar langer zijn dan de behandelingen met extra verrood licht (+FR).



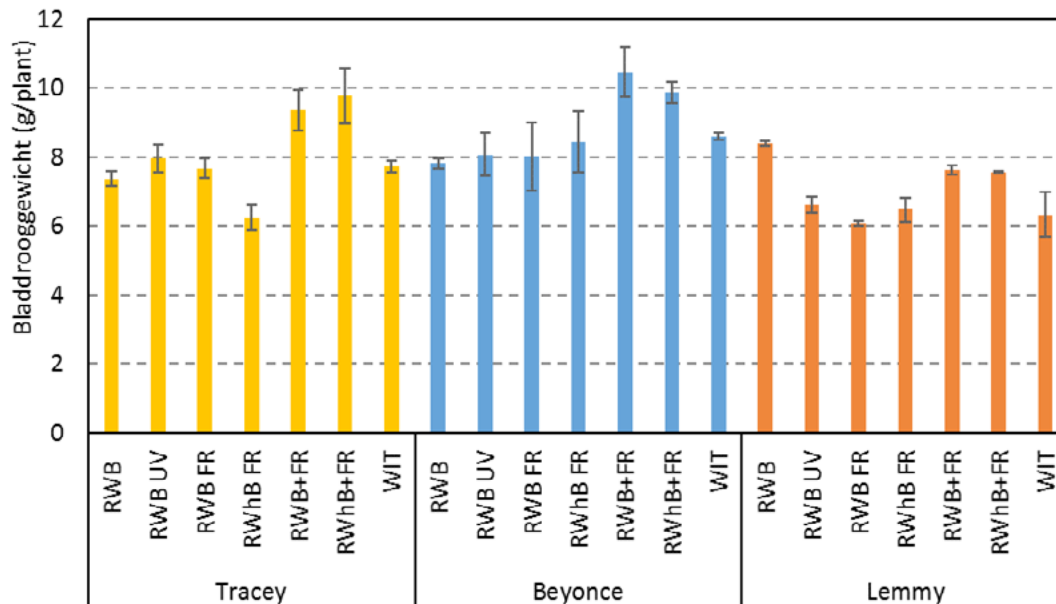
**Figuur 4.2** Effect van de lichtbehandelingen op de stengellengte van de rassen Tracey, Beyoncé en Lemmy aan het einde van de opkweekfase ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Bij de destructieve oogst werden vers- en drooggewichten van de stengels en bladeren bepaald. Het totale versgewicht van de planten was het hoogst voor de behandelingen met extra verrood licht (+FR). Voor Tracey was de behandeling RWB+FR aantoonbaar zwaarder dan RWB, RWB UV en WIT. Voor Lemmy was de behandeling RWbB+FR aantoonbaar zwaarder dan RWB UV en WIT en voor Tracey was de behandeling RWbB+FR zwaarder dan RWB. De overige behandelingen verschilden niet significant in versgewicht.



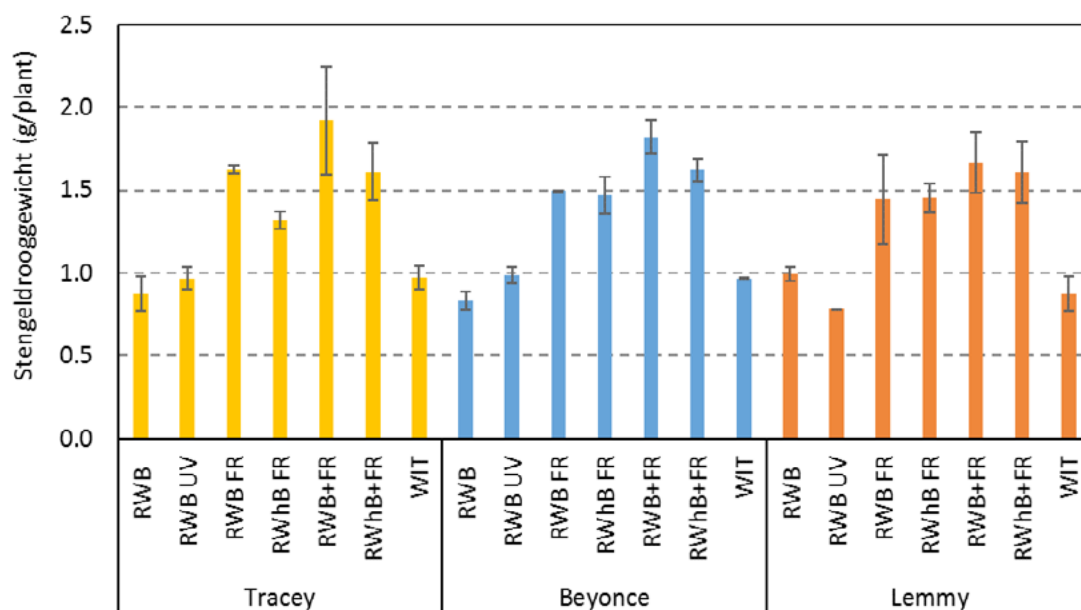
**Figuur 4.3** Effect van de lichtbehandelingen op het totale versgewicht van de rassen Tracey, Beyoncé en Lemmy aan het einde van de opweekfase (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

In de drooggewichten van de bladeren is te zien dat de behandelingen waarbij extra verrood licht werd gegeven (+FR) een aantoonbaar hoger drooggewicht hadden (met uitzondering van Lemmy, waarbij de RWB het hoogste bladdrooggewicht had).



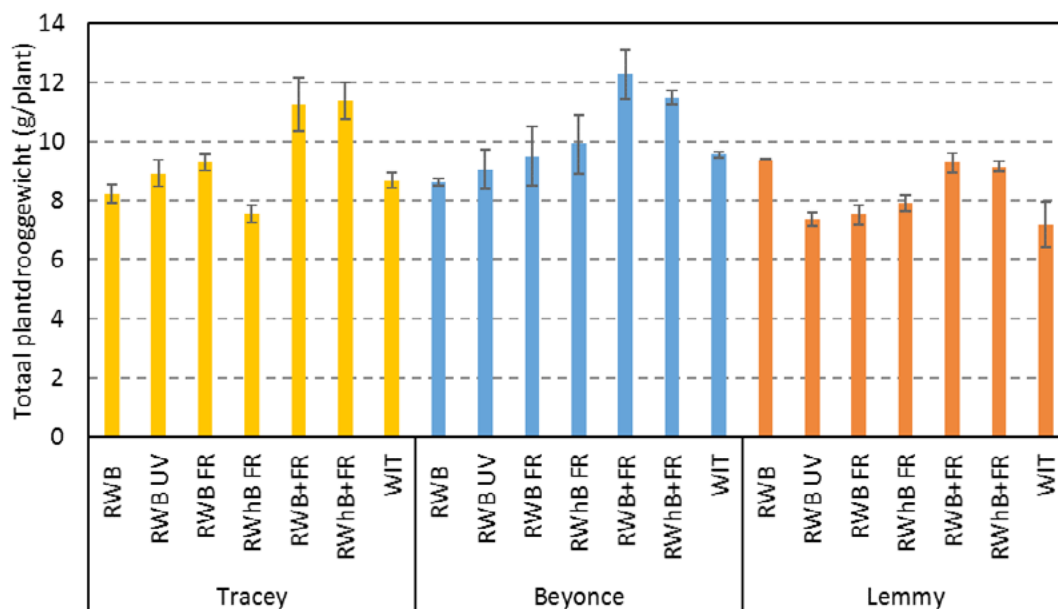
**Figuur 4.4** Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de bladeren van de rassen Tracey, Beyoncé en Lemmy aan het einde van de opweekfase (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Zoals in figuur 4.2 te zien was, zijn de planten in alle behandelingen met verrood licht meer gestrekt dan in de behandelingen zonder verrood licht. Dat is ook terug te zien in de drooggewichten van de stengels, die voor deze vier behandelingen met verrood licht aantoonbaar hoger zijn dan de behandelingen RWB, RWB UV en WIT (Figuur 4.5).



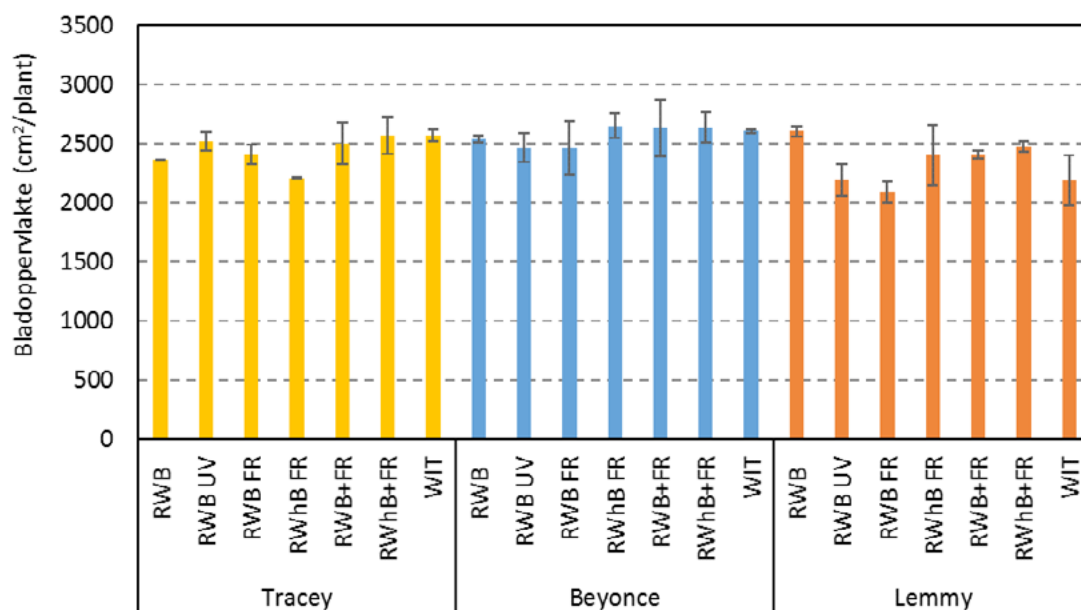
**Figuur 4.5** Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de stengels van de rassen Tracey, Beyoncé en Lemmy aan het einde van de opkweekfase (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

In de drooggewichten van de planten is te zien dat de behandelingen waarbij verrood licht extra werd gegeven (+FR) een aantoonbaar hoger drooggewicht van bladeren en stengels hadden, en daarmee ook een hoger aantoonbaar hoger plantdrooggewicht dan de overige vijf behandelingen. Het totale plant drooggewicht verschilde niet tussen de behandelingen RWB, RWB UV, WIT, RWB FR en RW/hB FR (Figuren 4.4, 4.5 en 4.6).



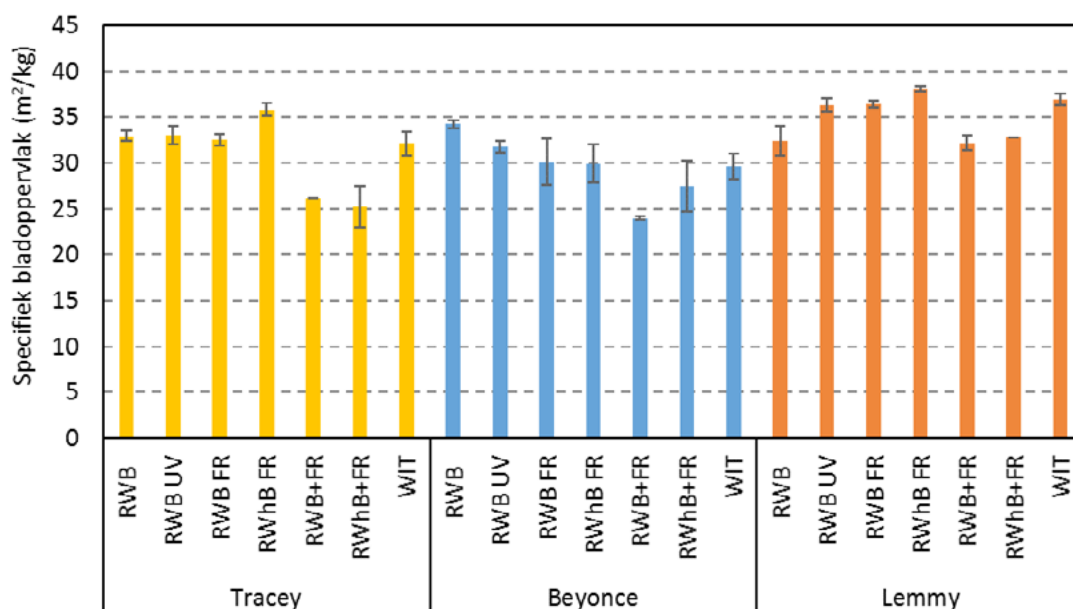
**Figuur 4.6** Effect van de lichtbehandelingen op het totaal plantdrooggewicht van de rassen Tracey, Beyoncé en Lemmy aan het einde van de opkweekfase (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Het bladoppervlak per plant verschilt voor de rassen Beyoncé en Tracey niet significant tussen de verschillende behandelingen. Bij Lemmy is het bladoppervlakte in de behandelingen RWB en RWB+FR aantoonbaar hoger dan in RWB UV, RWB FR en WIT (Figuur 4.7).



**Figuur 4.7** Effect van de lichtbehandelingen op het bladoppervlak per plant van de rassen Tracey, Beyoncé en Lemmy aan het einde van de opkweekfase ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Het bladoppervlakte gedeeld door het drooggewicht van de bladeren is een maat voor de bladdikte (specifieke bladoppervlakte). De behandelingen met extra verrood licht hebben een lager specifiek bladoppervlak dan de overige behandelingen (met uitzondering van RWB bij Lemmy), dus minder oppervlakte per gewicht, en dus dikkere bladeren (Figuur 4.8). Bij Beyoncé is het patroon vergelijkbaar, maar zijn de verschillen tussen de behandelingen minder duidelijk.



**Figuur 4.8** Effect van de lichtbehandelingen op het specifieke bladoppervlak ( $m^2/kg$  drooggewicht) (maat voor de bladdikte) per plant van de rassen Tracey, Beyoncé en Lemmy aan het einde van de opkweekfase ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

#### 4.4.2.2 Productiefase

De eerste aubergines konden geoogst worden op 11 september, waarbij opviel dat de behandelingen met extra verrood en daarna de behandelingen met verrood licht het verste waren in ontwikkeling. Van deze behandelingen werd dus ook als eerste geoogst. De totale vruchtproductie over de periode 11 september tot en met 14 oktober was het hoogst voor de behandeling RWB+FR, en vervolgens voor de behandeling RWhB+FR. Ook de behandelingen waar verrood in plaats van PAR licht werd gegeven was de productie hoger dan voor de behandelingen zonder verrood licht. Voor Tracey en Beyoncé gold beiden dat er een enorme productiestijging werd gerealiseerd ten opzicht van de referentie (RWB), van respectievelijk 92 en 61% (behandeling RWB+FR).

Tabel 4.3

*Effect van de lichtbehandelingen op de productie (kg/m<sup>2</sup>) in de periode 11 september tot en met 14 oktober 2019 voor de rassen Tracey en Beyoncé (n=2). Verschillende letters geven significante verschillen in productie aan.*

| Behandeling | Beyoncé | Tracey | Significantie |
|-------------|---------|--------|---------------|
| RWB         | 2.9     | 3.2    | a             |
| RWB UV      | 3.3     | 3.4    | ab            |
| RWB FR      | 4.2     | 4.4    | c             |
| RWhB FR     | 4.2     | 4.5    | c             |
| RWB+FR      | 5.5     | 5.2    | e             |
| RWhB+FR     | 5.0     | 4.9    | d             |
| WIT         | 3.3     | 3.8    | b             |



Deze productieverschillen worden veroorzaakt door het aantal geoogste vruchten, bepaald door zowel de zetting als de uitgroeiduur, en het gemiddeld vruchtgewicht van de geoogste vruchten.

Er waren duidelijke verschillen te zien in de uitgroeiduur (Tabel 4.4). Het aantal dagen dat de vruchten nodig hadden tussen bloei en oogst was het laagst voor de behandelingen met een aandeel verrood licht. Het maakte daarbij niet uit of het verrode licht extra werd gegeven of ten koste van een deel van het PAR licht was. De uitgroeiduur was het langst voor de behandelingen wit licht en RWB UV. De verschillen in uitgroeiduur liepen op tot 7 dagen tussen de behandelingen, een toename van 39%.

Tabel 4.4

*Effect van de lichtbehandelingen op de uitgroeiduur (in dagen) van geoogste vruchten van de rassen Tracey en Beyoncé (n=2). Verschillende letters geven significante verschillen in productie aan.*

| Behandeling | Beyoncé | Tracey | Significantie |
|-------------|---------|--------|---------------|
| RWB         | 21      | 23     | bc            |
| RWB UV      | 23      | 24     | c             |
| RWB FR      | 18      | 21     | ab            |
| RWhB FR     | 18      | 20     | ab            |
| RWB+FR      | 19      | 20     | ab            |
| RWhB+FR     | 17      | 18     | a             |
| WIT         | 21      | 25     | c             |

Het aantal geoogste vruchten was voor beide rassen het hoogst voor de behandeling RWB+FR, iets hoger dan voor de behandeling RWhB+FR. In het aantal geoogste vruchten is wel verschil te zien tussen de behandelingen waarbij verrood licht wel of niet een deel van het PAR licht vervangt (dus de behandelingen FR of +FR). In de referentiebehandeling werd het laagste aantal vruchten geoogst (Tabel 4.5) met het laagste gemiddelde vruchtgewicht (Tabel 4.6).

**Tabel 4.5**

*Effect van de lichtbehandelingen op het aantal geoogste vruchten in de periode 11 september tot en met 14 oktober 2019 van de rassen Tracey en Beyoncé (n=2). Verschillende letters geven significante verschillen in productie aan.*

| Behandeling | Beyoncé | Tracey | Significantie |
|-------------|---------|--------|---------------|
| RWB         | 33      | 40     | a             |
| RWB UV      | 37      | 40     | ab            |
| RWB FR      | 44      | 49     | c             |
| RWhB FR     | 44      | 49     | c             |
| RWB+FR      | 55      | 57     | e             |
| RWhB+FR     | 51      | 52     | d             |
| WIT         | 37      | 43     | b             |

Het gemiddeld versgewicht van de geoogste aubergines zou rond de 300 g moeten liggen. Voor de meeste behandelingen is dit goed gelukt, al zijn de vruchten in de referentiebehandeling (RWB) gemiddeld wel wat lichter geoogst, evenals RWB UV en WIT (Tabel 4.6).

**Tabel 4.6**

*Effect van de lichtbehandelingen op de het gemiddeld vruchtgewicht (g) van geoogste vruchten van de rassen Tracey en Beyoncé (n=2). Verschillende letters geven significante verschillen in productie aan.*

| Behandeling | Beyoncé | Tracey | Significantie |
|-------------|---------|--------|---------------|
| RWB         | 279     | 254    | a             |
| RWB UV      | 289     | 269    | ab            |
| RWB FR      | 300     | 286    | bc            |
| RWhB FR     | 302     | 293    | bc            |
| RWB+FR      | 318     | 290    | c             |
| RWhB+FR     | 310     | 300    | c             |
| WIT         | 284     | 280    | ab            |

Naast een hogere productie, hebben de behandelingen met verrood licht ook een hoger droge stof percentage in de vruchten (tabel 4.7), al verschilt het percentage in RWhB FR niet aantoonbaar van de behandelingen WIT, RWB en RWB UV.

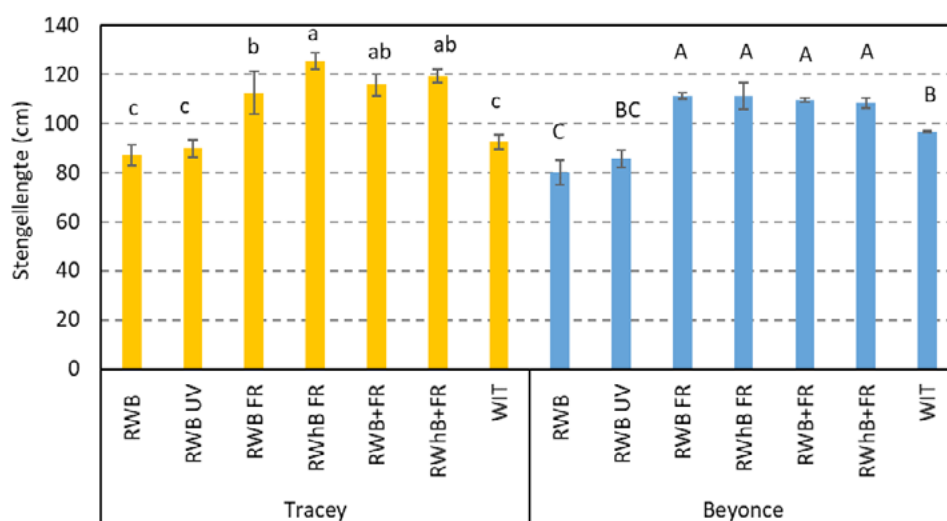
Tabel 4.7

Effect van de lichtbehandelingen op het droge stof percentage van vruchten geoogst in de periode 11 september tot en met 4 oktober 2019 voor de rassen Tracey en Beyoncé ( $n=2$ ). Verschillende letters geven significante verschillen in productie aan.

| Behandeling | Beyoncé | Tracey | Significantie |
|-------------|---------|--------|---------------|
| RWB         | 4.9     | 4.9    | a             |
| RWB UV      | 5.0     | 4.9    | a             |
| RWB FR      | 5.3     | 5.2    | b             |
| RWhB FR     | 5.0     | 5.3    | ab            |
| RWB+FR      | 5.3     | 5.1    | b             |
| RWhB+FR     | 5.2     | 5.3    | b             |
| WIT         | 5.1     | 5.0    | ab            |

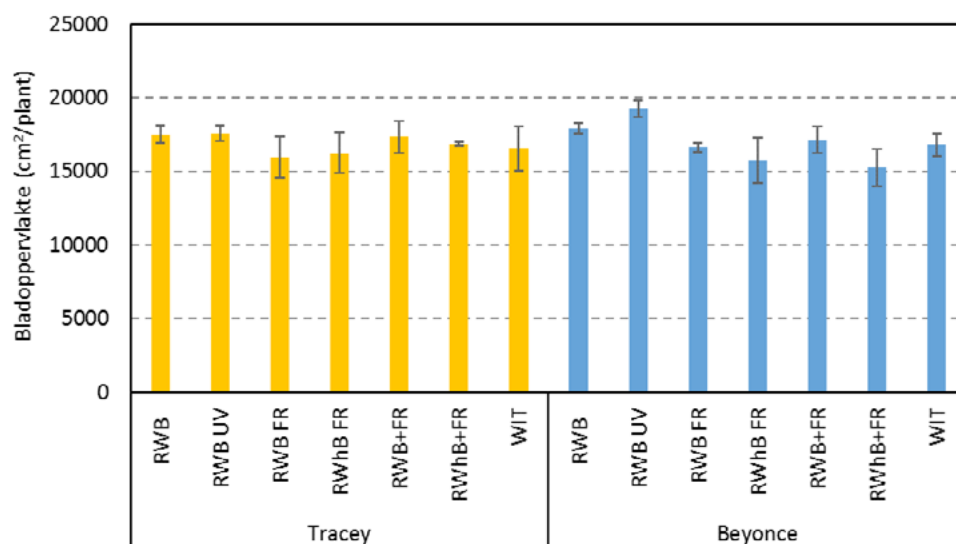
De aubergineplanten werden half oktober destructief geoogst, waarbij vers- en drooggewichten van stengels, bladeren en vruchten aan de planten werden bepaald, evenals lengte en bladoppervlakte. Door de drooggewichten van de reeds geoogste vruchten op te tellen bij de overige gewichten, is de verdeling van de geproduceerde droge stof over de verschillende organen bepaald.

Evenals bij de tussentijdse oogst, aan het einde van de vegetatieve fase, is de lengte van de stengels het hoogst voor de behandelingen met verrood licht (Figuur 4.9).



**Figuur 4.9** Effect van de lichtbehandelingen op de stengellengte van de rassen Tracey en Beyoncé bij de destructieve eind oogst ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. De letters geven de statistische verschillen per ras aan.

Er zijn geen significante verschillen in bladoppervlakte tussen de behandelingen, voor geen van beide rassen (Figuur 4.10). Er zijn ook geen verschillen gevonden in specifiek bladoppervlakte (SLA), een maat voor de blad dikte (in  $\text{m}^2/\text{kg}$ ) (data niet gepresenteerd).



**Figuur 4.10** Effect van de lichtbehandelingen op het bladoppervlak van de rassen Tracey en Beyoncé bij de destructieve eendoogst ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Bij de destructieve eendoogst is het plantdrooggewicht bepaald, en daarbij zijn de berekende drooggewichten van de geoogste vruchten opgeteld. Het totale gewicht was het hoogste voor de behandelingen waarbij verrood licht extra werd gegeven (Tabel 4.8). Deze behandelingen hadden een vergelijkbaar PAR niveau als de behandeling RWB, maar strekten meer (meer lichtonderschepping aan het begin van de teelt) en hadden een kortere uitgroei duur van de vruchten, dus een hogere productie. Ondanks het feit dat in het WIT ook verrood licht zit (26%) is de biomassa vergelijkbaar met de referentie (RWB). Waarschijnlijk wordt het positieve effect van verrood licht hier teniet gedaan door het lagere PAR niveau (74% van de referentie).

De behandelingen waarin verrood licht werd gegeven staken een groter deel van deze biomassa in de vruchten, ten koste van het aandeel drooggewicht in de bladeren. Voor Beyoncé was er geen verschil in het aandeel assimilaten in de stengel, voor Tracey waren er wel verschillen (Tabel 4.8).

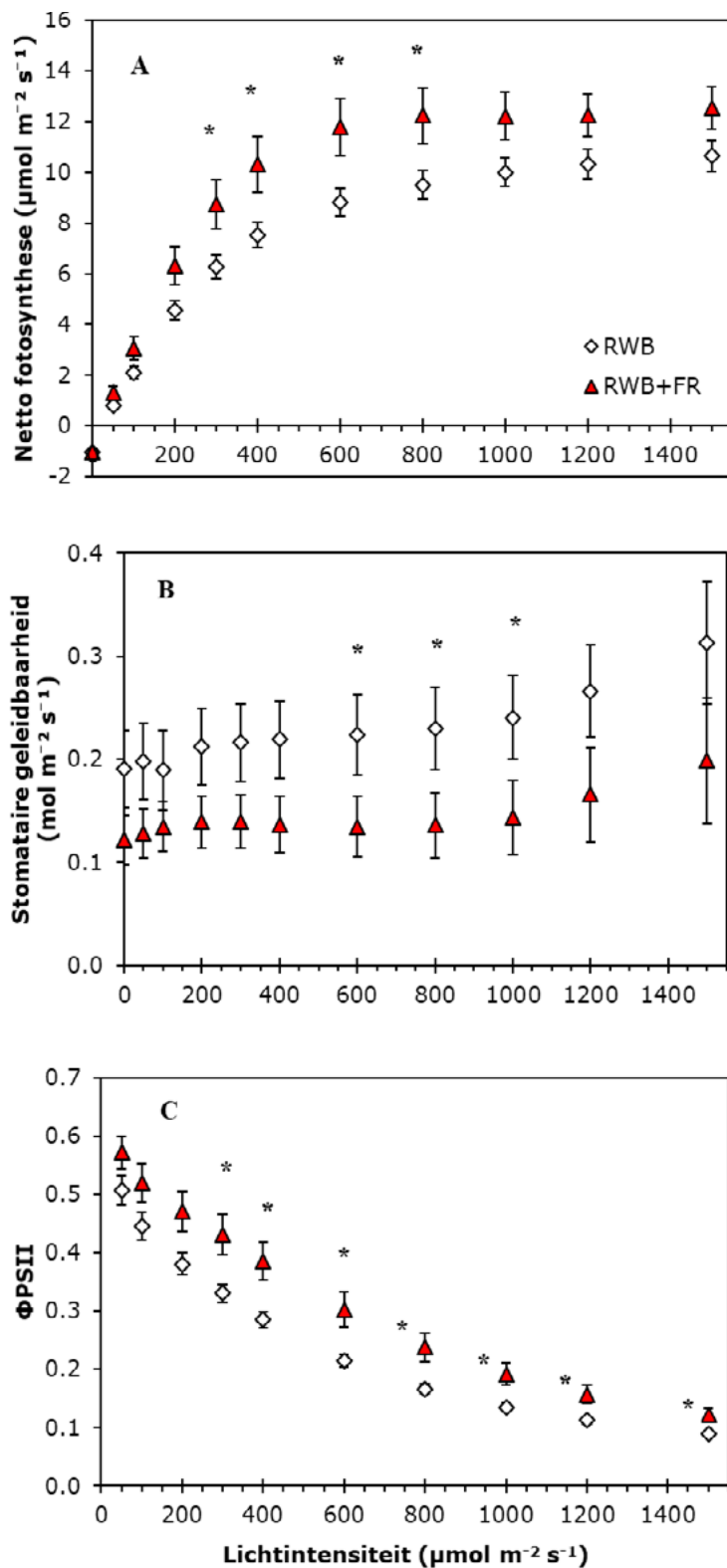


Tabel 4.8

Effect van de lichtbehandelingen op het totale plant drooggewicht (inclusief geoogste vruchten) bepaald bij de destructieve eindogst op 14 oktober 2019, en de verdeling van deze biomassa over de bladeren, stengel en vruchten voor de rassen Tracey en Beyoncé ( $n=2$ ). Verschillende letters geven per ras significante verschillen aan.

| Ras     | Behandeling | Totale biomassa (g/plant) | Aandeel in bladeren (%) | Aandeel in stengel (%) | Aandeel in vruchten (%) |
|---------|-------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Beyoncé |             |                           |                         |                        |                         |
|         | RWB         | 157 d                     | 43 a                    | 15 a                   | 42 b                    |
|         | RWB UV      | 181 cd                    | 42 a                    | 15 a                   | 43 b                    |
|         | RWB FR      | 198 bc                    | 32 b                    | 17 a                   | 51 a                    |
|         | RWhB FR     | 193 c                     | 33 b                    | 17 a                   | 50 a                    |
|         | RWB+FR      | 241 a                     | 30 b                    | 16 a                   | 54 a                    |
|         | RWhB+FR     | 222 ab                    | 31 b                    | 16 a                   | 52 a                    |
|         | WIT         | 174 cd                    | 40 a                    | 17 a                   | 43 b                    |
| Tracey  |             |                           |                         |                        |                         |
|         | RWB         | 159 d                     | 38 a                    | 16 bc                  | 45 b                    |
|         | RWB UV      | 165 d                     | 39 a                    | 16 c                   | 45 b                    |
|         | RWB FR      | 203 bc                    | 31 b                    | 17 bc                  | 52 a                    |
|         | RWhB FR     | 201 bc                    | 28 b                    | 20 a                   | 52 a                    |
|         | RWB+FR      | 218 ab                    | 30 b                    | 18 abc                 | 52 a                    |
|         | RWhB+FR     | 229 a                     | 31 b                    | 19 ab                  | 50 a                    |
|         | WIT         | 180 cd                    | 38 a                    | 17 bc                  | 45 b                    |

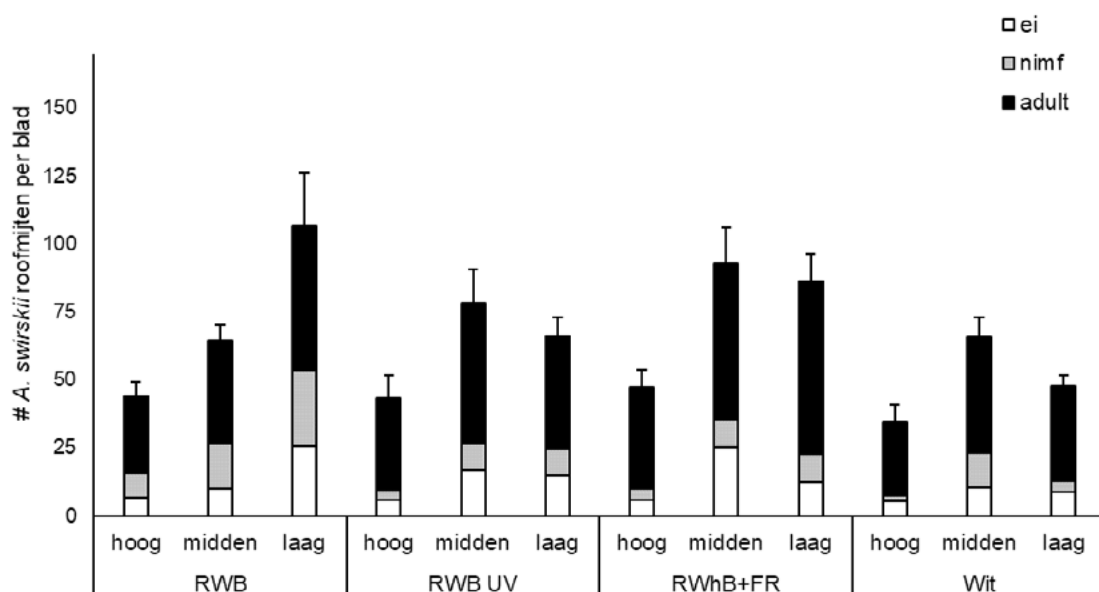
Gedurende de proef zijn er in september en oktober lichtresponscurves gemeten voor het ras Tracey. Hierbij wordt een blad ingeklemd in de meetkamer van de (draagbare) fotosynthesemeter, en wordt de  $\text{CO}_2$  opname gemeten. Uit de analyse van deze metingen blijkt dat het toevoegen van verrood licht aan het RWB spectrum geen effect had op de vier parameters die de functie van de lichtresponscurve beschrijven ( $P = 0.49$  voor  $A_{\text{max}}$ ,  $P = 0.69$  voor  $R_d$ ,  $P = 0.44$  voor  $\mathcal{E}$  en  $P = 0.19$  voor  $\Theta$ ; figuur 4.11A). Als de metingen per lichtintensiteit worden vergeleken tussen de behandeling, blijkt dat de fotosynthese significant hoger was voor de behandeling met additioneel verrood licht tussen 300 en 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $P = 0.041$ ). Stomataire geleidbaarheid was lager in de behandeling met additioneel verrood licht tussen 600 en 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $P = 0.047$ ) (Figuur 4.11B). Tussen 300 en 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  was de  $\Phi\text{PSII}$  tot 43% hoger in de behandeling RWB+FR vergeleken met RWB ( $P = 0.019$ ). De gemeten fotosynthesesnelheden waren laag, hetgeen te maken kan hebben met de bladkwaliteit tijdens de proef. Er was bladvergeling opgetreden op het moment van de metingen. Tussen 600 en 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  was de stomataire geleidbaarheid hoger in de RWB behandeling, vergeleken met de behandeling met additoneel verrood licht (RWB+FR), maar de fotosynthese was juist lager, hetgeen aangeeft dat de stomataire geleidbaarheid niet de beperkende factor was.



**Figuur 4.11** Effect van de lichtbehandelingen RWB en RWB+FR op het verloop van (A) de netto fotosynthese, (B) stomataire geleidbaarheid en (C)  $\Phi\text{PSII}$  bij een reeks lichtintensiteiten ( $0\text{-}1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) van een bovenste volgroeide blad van Tracey. Significante verschillen tussen behandelingen zijn aangegeven met \*.

#### 4.4.3 Populatieopbouw *A. swirskii*

Er was geen significant effect van de lichtbehandelingen op de omvang die de populatie van *A. swirskii* 4.5 weken na introductie op aubergine had bereikt ( $P = 0.99$ ; Figuur 4.12). De bladpositie had wel een significant effect op het aantal roofmijt individuen per blad ( $P < 0.001$ ), met lagere aantallen roofmijten per blad op de bovenste bladeren (gemiddeld 42 roofmijten/blad) in vergelijking met de bladeren in het middelste en onderste laag (gemiddeld respectievelijk 74 en 73 roofmijten/ blad). De lichtbehandeling had echter geen effect op de verdeling van de roofmijten over de verschillende bladlagen.



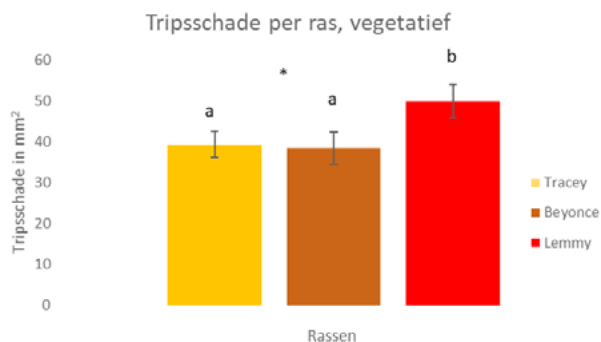
**Figuur 4.12** Effect van de lichtbehandelingen RWB, RWB UV, RWhB+FR en Wit op het gemiddeld aantal *Amblyseius swirskii* individuen per blad ( $\pm$  standaard afwijking van het gemiddelde), onderverdeeld in aantal eieren, nymfen en adulten, in de bovenste, middelste en onderste bladlagen ( $n=2$ ; 12 planten per behandeling).

Er werd in deze proef geen effect van lichtspectrum op de populatiegroei van *A. swirskii* gevonden. Dit in tegenstelling tot onze hypothese dat *A. swirskii* zich sneller zou ontwikkelen onder een lichtspectrum met een hoog aandeel groen licht, hetgeen was gebaseerd op het gegeven dat roofmijten voornamelijk licht in het groene en UV-A gedeelte van het spectrum kunnen waarnemen. Onze resultaten verschillen van de ongepubliceerde Canadese studie van Les Shipp, welke laat zien dat *A. swirskii* zich sneller onder SON-T lampen ontwikkelt in vergelijking met rood-blauwe LEDs (Buitenhuis *et al.* 2015). Mogelijk was er in deze studie sprake van een hogere temperatuur in het gewas onder SON-T in vergelijking met LED, en heeft *A. swirskii* daar van kunnen profiteren. De studie van Zilahl-Balogh *et al.* (2007) liet zien dat de eileg-frequentie van de roofmijt *A. cucumeris* lager was bij hogere lichtintensiteit. Dit effect leek sterker bij een relatief lage temperatuur (20 °C) en korte dag condities (8 uur licht) dan bij relatief hogere temperatuur (24 °C) en lange dag condities (16 uur licht). We kunnen daarom de mogelijkheid niet uitsluiten dat het effect van lichtspectrum op *A. swirskii* afhankelijk is van temperatuur en daglengte. De toevoeging van UV-B aan het spectrum had geen negatief effect op de roofmijt populatie, en ook niet op de verdeling van de roofmijten over de verschillende bladlagen. In alle vier de lichtbehandelingen waren er minder roofmijten aanwezig op de bovenste bladlaag in vergelijking met de lagere bladlagen. Dit komt overeen met de bevindingen van Messelink *et al.* (2006).

#### 4.4.4 Biotoeetsen

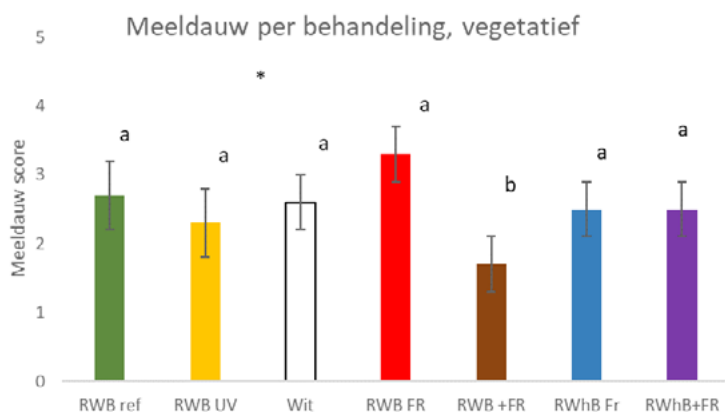
##### 4.4.4.1 Opkweekfase

Voor meeldauw en botrytis waren er geen verschillen in de rasgevoeligheid, terwijl het ras Lemmy significant meer tripsschade liet zien dan de rassen Tracey en Beyoncé (Figuur 4.13).

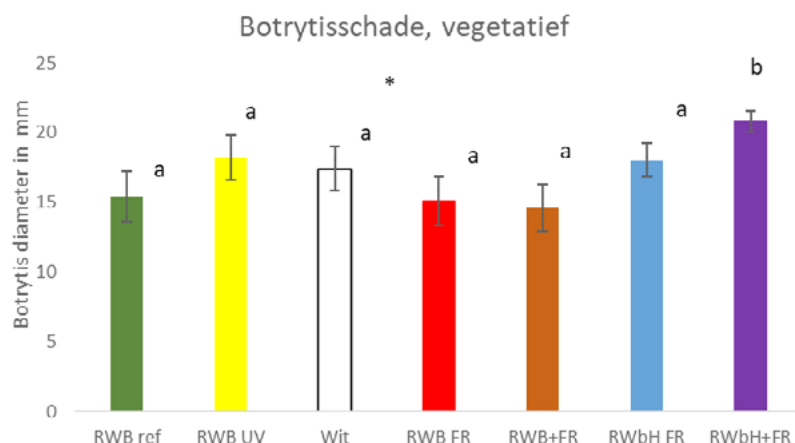


**Figuur 4.13** Effect ras op tripsschade in de opkweekfase. Verschillende letters geven significante verschillen aan binnen het gewas bij \*  $p \leq 0.05$ . Data zijn de gemiddelden met standaardfout.

De meeldauwinfectie was significant lager bij de behandeling RWB+FR (Figuur 4.14). Infectie met botrytis was beduidend hoger onder een hoog blauw+FR behandeling (Figuur 4.15). Het is bekend dat behandeling met FR de plantenafweer via de salicylzuur route, welke actief is tegen biotrofe schimmels, aanschakelt. In tegenstelling wordt de afweer via de jasmonzuur route welke actief is tegen necrotrofe schimmels vermindert. Een significant effect van lichtbehandeling op trips is niet gevonden.

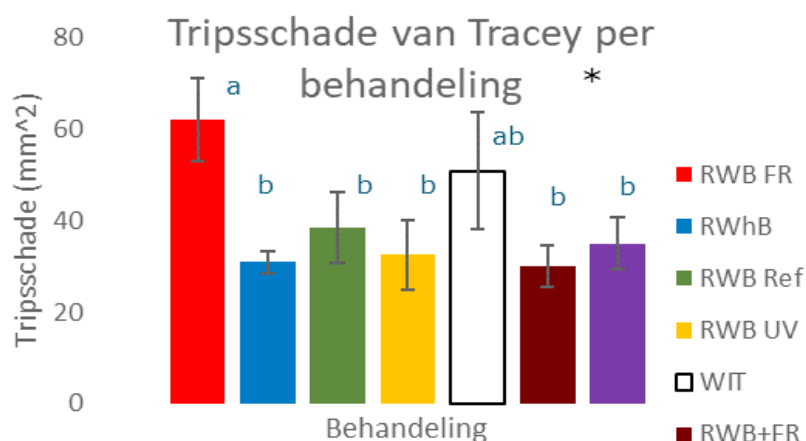


**Figuur 4.14.** Effect lichtbehandelingen op meeldauw in de opkweekfase. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen een gewas bij \*  $p \leq 0.05$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.



**Figuur 4.15** Effect lichtbehandelingen op meeldauw in de opweekfase. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen een gewas bij \*  $p \leq 0.05$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

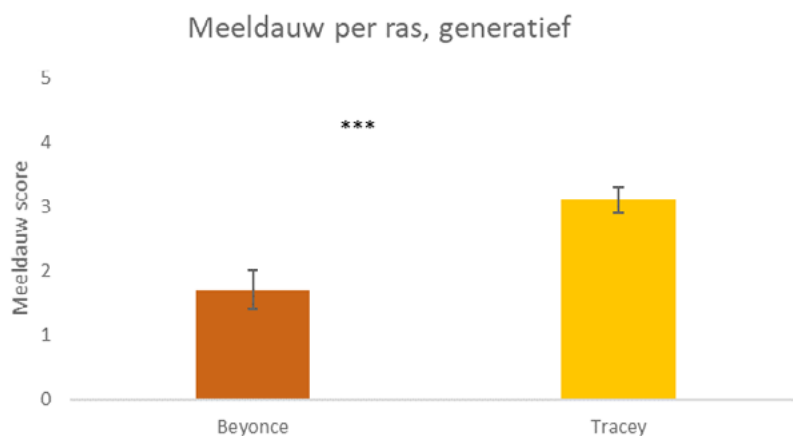
Tripschade was in het algemeen niet verschillend tussen de lichtbehandelingen, maar een significante interactie tussen ras en behandeling liet zien dat alleen het ras Tracey onder verrood licht gevoeliger was voor tripschade in vergelijking tot de referentie (Figuur 4.16).



**Figuur 4.16** Effect lichtbehandelingen op tripsschade in de opweekfase. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen een gewas bij \*  $p \leq 0.05$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

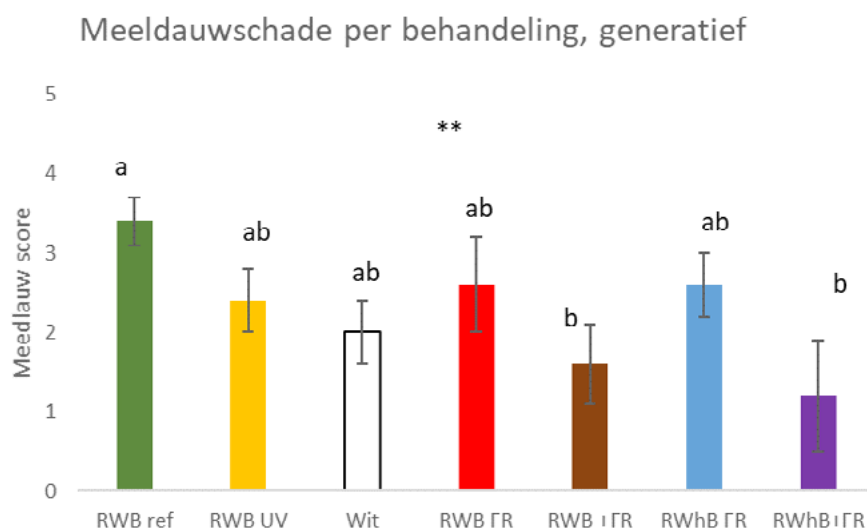
#### 4.4.4.2 Productiefase

Het ras Tracey vertoonde significant meer meeldauwinfectie vergeleken met het ras Beyoncé (Figuur 4.17). Er zijn geen rasverschillen gevonden in botrytis of trips schade.

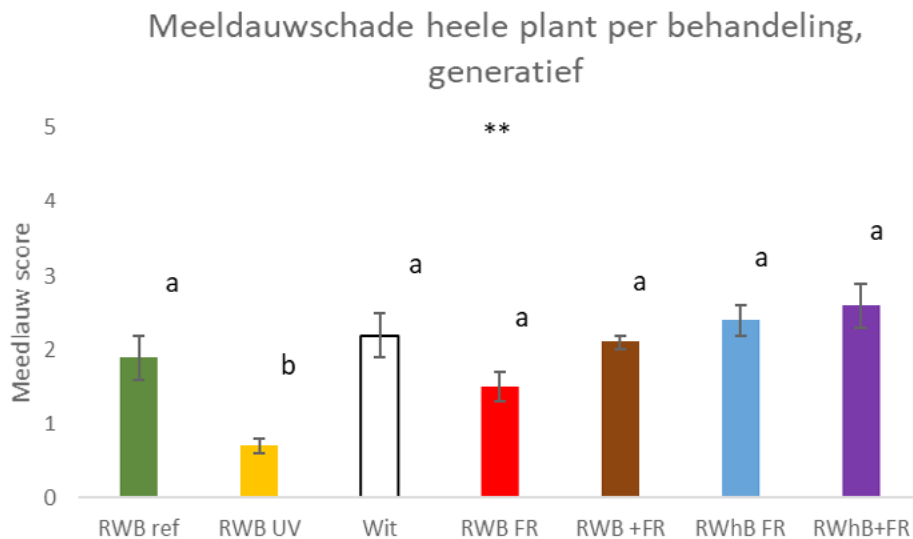


**Figuur 4.17** Effect ras op meeldauw infectie in de productiefase. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen een gewas bij \*\*\*  $p \leq 0.001$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

Lichtbehandeling met extra FR zoals WB + FR en RWhB +FR hadden een significant effect op plantweerbaarheid tegen meeldauw in de bladtoets (Figuur 4.18). Dit was helaas niet het geval in de bepaling van de natuurlijke meeldauw infectie aan hele planten, waar UV licht een sterk significant effect op plantweerbaarheid had (Figuur 4.19). Deze verschillen in uitkomst zouden verklaard kunnen worden doordat de natuurlijke infectie een andere meeldauw dan *Oidium neolycopersion* zou kunnen zijn geweest en dat de natuurlijke infectie niet op een gecontroleerde manier is toegediend maar toevallig is verspreid. Maar het sterke UV-effect is wel op beide herhalingen die een rechts, die ander links in de kas op hun verschillende posities terug te vinden. Verder zou het kunnen zijn dat oud en jong blad verschillend reageert vooral ook gezien de kortere tijdsduur dat jong blad blootgesteld was aan de lichtbehandelingen. Dit zou kunnen verklaren waarom geen effect van de behandelingen met extra verrood licht in de hele planten geobserveerd is. Verder zou het kunnen zijn dat het effect op weerbaarheid, gebaseerd op het aanmaken van bepaalde metabolieten in een bladponsje, tot tegenstelling van een intacte hele plant, niet tot uitdrukking kan komen. Het laatste is niet uit te sluiten, maar een verhoogde plant weerbaarheid gebaseerd op fenolen is eerder succesvol door bio-toetsen met bladponsjes aangetoond (Escobar-Bravo *et al.* 2018). Aannemelijker is het dat het UV licht naast een indirect ook een direct effect op de spontaan optredende meeldauw infectie gehad zou kunnen hebben. Ook zou het relevant zou kunnen zijn dat de ponsjes met een te hoge concentratie inoculum geïnfecteerd waren welke te sterk was om een weerbaarheidseffect van de UV behandeling in de bladponsjes zichtbaar te maken.

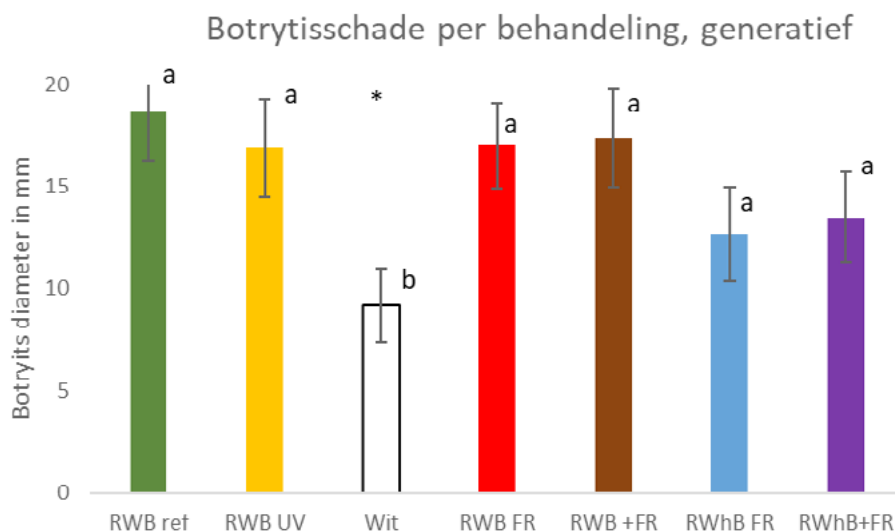


**Figuur 4.18** Effect lichtbehandelingen op meeldauw in de productiefase gemeten als bladtoets. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen een gewas bij \*\*  $p \leq 0.01$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.



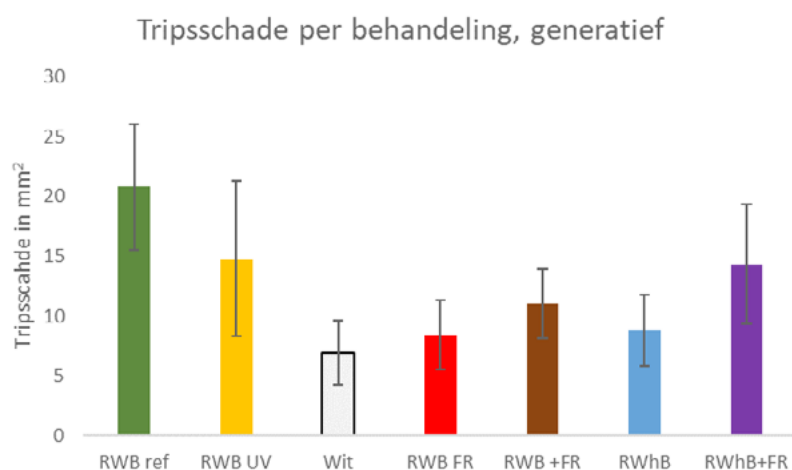
**Figuur 4.19** Effect lichtbehandelingen op meeldauw in de productiefase gemeten als natuurlijke infectie van de hele plant. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen een gewas bij  $** p \leq 0.01$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

Wit licht had een significant verlagend effect op de gemeten botrytisaantasting (Figuur 4.20).



**Figuur 4.20** Effect lichtbehandelingen op botrytis in de productiefase gemeten als natuurlijke infectie van de hele plant. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen een gewas bij  $* p \leq 0.05$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

Tripsschade leek het laagste in de behandeling met wit licht in tegenstelling tot de meest schade in behandeling met het referentie licht (Figuur 4.21). Helaas waren deze verschillen net niet significant omdat de standaardfouten relatief groot waren. Dit zou er mee te maken kunnen hebben, dat voor het onderzoek van de populatieopbouw *A. swirskii*, een natuurlijke vijand van trips, in de toets uitgezet waren. De adulte roofmijten zijn weliswaar voor inzet van de tripstoets verwijderd, maar de aanwezigheid van eitjes op de bladponsjes en daarmee het uitkomen van mijten, die zich van trips voeden, is bij de hoge dichtheid aan roofmijten die gebruikt is, aannemelijk.



**Figuur 4.21** Effect lichtbehandelingen op tripsschade in de productiefase. Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

Voor de opkweek- en productiefasen samengenomen zijn er geen verschillen in ras gevoeligheid van de rassen Tracy en Beyoncé in relatie tot botrytis en trips, terwijl het ras Tracy in de generatieve fase gevoeliger is voor meeldauw dan in de vegetatieve fase. Er lijkt een trend te zijn dat behandeling met RWB+FR plantweerbaarheid tegen meeldauw in beide fasen verhoogd. Van behandelingen met additioneel verrood licht is bekend dat ze de plantweerbaarheid via de salicylzuurroute, welke tegen biotrofe schimmels actief is, aanschakelen. Daarnaast is er een indicatie dat in de generatieve fase UV behandeling een verlagend effect op meeldauwinfectie zou kunnen hebben. Om dit duidelijk te krijgen zijn aparte toetsen voor het indirecte en directe effect van UV, als ook toetsen met oud en jong blad nodig. Voor botrytis lijken er geen consistente resultaten op het effect van weerbaarheid in de twee fasen. Terwijl er een verhoogd effect op gevoeligheid van hoog blauw +FR in de opkweek fase te zien was, is er een duidelijk verlagend effect van wit licht in de productiefase geconstateerd. Zoals al genoemd is, activeert verrood licht de plantweerbaarheid voor biotrofe schimmels door salicylzuur wat antagonistisch op de plant weerbaarheid voor necrotrofe schimmels, zoals botrytis, werkt. Een trend van verhoogde plantweerbaarheid bij wit licht tegen trips is zowel in de opkweek- als in de productiefase gevonden. Wit licht bevat het hoogste aandeel blauw licht in de toegepaste behandelingen. Blauw licht kan de concentratie van fenolen en flavonoiden verhogen (Ouzounis *et al.* 2015). Het is bekend dat deze metabolieten betrokken zijn bij plantweerbaarheid tegen trips (Leiss *et al.* 2011).

## 4.5 Conclusies

Het toevoegen van verrood licht aan een LED lightspectrum blijkt in aubergine de productie sterk te verbeteren en de totale plant biomassa die gevormd wordt te verhogen. Dit geldt ook als het verrode licht niet additioneel gegeven wordt, maar in plaats van een deel van het PAR licht. Deze productietoename wordt veroorzaakt doordat in aanwezigheid van verrood licht een hoger aandeel van de droge stof die geproduceerd wordt terug te vinden is in de vruchten, door een kortere uitgroeiduur van de vruchten en daarmee een hoger aantal geoogste vruchten. In het ontwerp van duurzame belichtingsstrategieën op basis van LED belichting is het effect van het lightspectrum op ziektes, plagen en hun natuurlijke vijanden cruciaal. Het toevoegen van verrood licht aan het lightspectrum verminderde de plantweerbaarheid voor botrytis, maar verhoogde de weerbaarheid tegen meeldauw. Het lightspectrum had geen effect op de ontwikkeling van de populatie van *A. swiskii* of de plantweerbaarheid tegen trips.





## 5 Dynamische lichtspectra gedurende de nacht

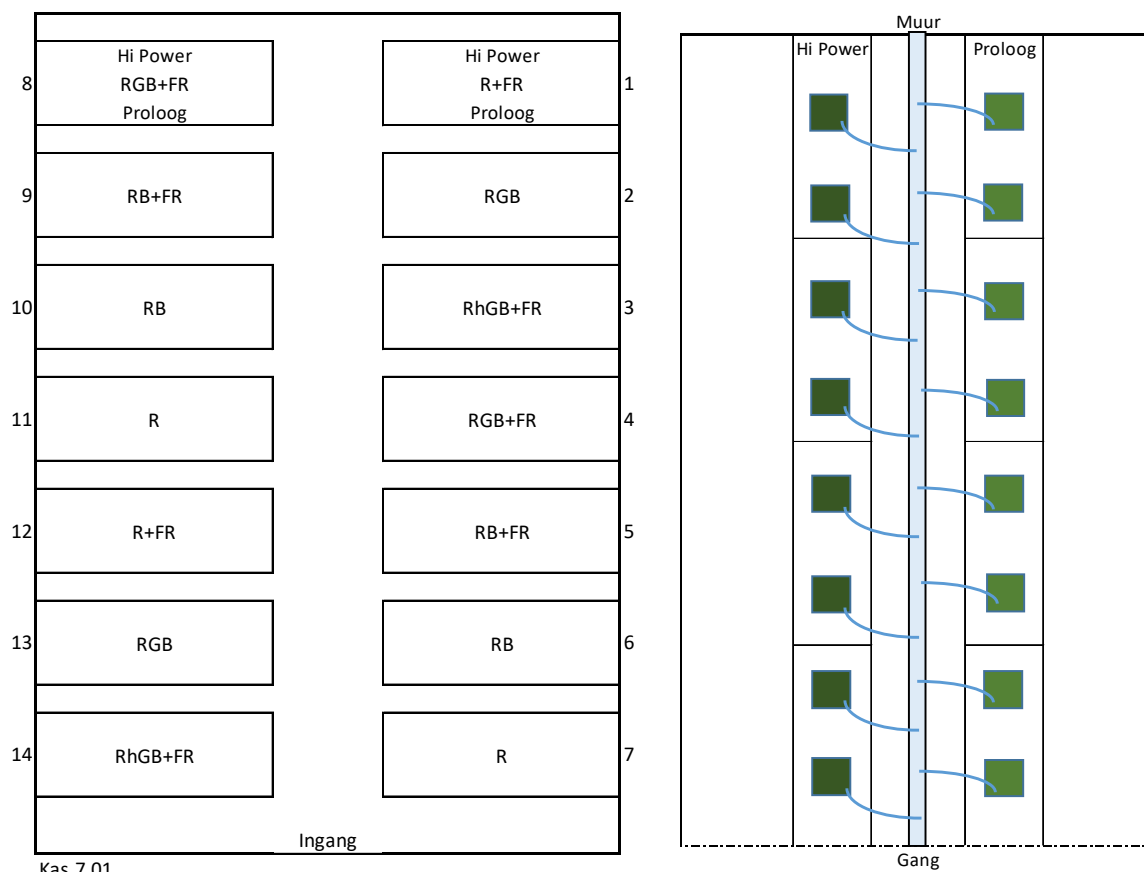
### 5.1 Inleiding

In het project "LED licht bij zonlicht" zijn een aantal dynamische belichtingsstrategieën toegepast, waarbij het spectrum in de nacht verschilde van het lichtspectrum van de lampen tijdens de dag (in aanwezigheid van zonlicht). Die resultaten laten zien dat de dynamische lichtspectra effecten hadden op het gewas, die niet het gemiddelde waren van de twee spectra. Het effect van het nachtspectrum lijkt (soms) groter dan van het dagspectrum. Dat betekent dat er mogelijkheden zijn de belichtingsstrategie te verbeteren, met name door het nachtspectrum bij te stellen.

In deze proef werden jonge komkommerplanten gedurende 5 weken geteeld, onder een aantal dynamische lichtspectra. Het nachtspectrum is als uitgangspunt genomen, waarbij het simpelste spectrum (alleen rood licht) stapsgewijs werd uitgebreid met blauw, groen en verrood licht. Dat maakt het mogelijk te bepalen wat het minimaal benodigde lichtspectrum is gedurende de nacht, en hoe dit het totale lichtspectrum gedurende de dag en nacht kan verbeteren.

### 5.2 Teelt en behandelingen

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gewas                         | Komkommer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Rassen                        | Hi Power en Proloog                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Zaaidatum                     | 4 februari 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Plantdatum (start experiment) | 20 februari 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Plantdichtheid                | 2.2 planten/m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Teeltstrategie                | Op iedere tafel (7.2 m <sup>2</sup> ) werden komkommerplanten van de twee genotypes geplant in twee rijen van ieder 4 steenwolmatten van 1 m. Op elke rij stonden 8 planten, 1 genotype per rij. De planten werden aan de draad geteeld, verbonden aan een rek op de tafels, en draaiden in een carroussel.<br>Bladeren werden van onder af gesnoeid om 15-18 bladeren aan de plant te laten. Alle zijscheuten werden verwijderd. Beneden oksel 5 werden alle bloemen weggehaald, vanaf oksel 6 werd om en om een vrucht aangehouden. |
| Substraat en watergift        | Steenwol en druppelaars                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Hoogte van het lampenplafond  | 1.85 m boven de tafel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Lichtintensiteit              | gemiddeld 201 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (50 cm onder de lampen)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Daglengthe                    | 00.00 – 09.00: LED (nacht spectra)<br>09.00 – 18.00: LED (dag spectrum) + zonlicht<br>18.00 – 00.00: donker                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Lichtbehandelingen            | Zie tabel hieronder                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Scherminstrategie             | Donkerdoek: open in 3 stappen van 9:00-9:30 en sluit tussen 17:30-18:00<br>Energiedoek: sluit bij 500 W/m <sup>2</sup> globale straling                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Einde experiment              | 26 maart 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |



**Figuur 5.1** Links: lay-out van de kas en plaatsing van de behandelingen. Rechts: layout van de tafels.

**Tabel 5.1**

*Samenstelling van de lichtbehandelingen in de nacht (in %).*

| Behandeling | Naam           | Blauw | Groen | Rood | FR (verrood) | PAR | Totaal |
|-------------|----------------|-------|-------|------|--------------|-----|--------|
| 1           | R (referentie) | 0     | 0     | 100  | 0            | 100 | 100    |
| 2           | RB             | 20    | 0     | 80   | 0            | 100 | 100    |
| 3           | RGB            | 10    | 10    | 80   | 0            | 100 | 100    |
| 4           | R+FR           | 0     | 0     | 100  | 20           | 100 | 120    |
| 5           | RB+FR          | 20    | 0     | 80   | 20           | 100 | 120    |
| 6           | RGB+FR         | 10    | 10    | 80   | 20           | 100 | 120    |
| 7           | RhGB+FR        | 20    | 20    | 60   | 20           | 100 | 120    |

**Tabel 5.2**

*Samenstelling van het lightspectrum in aanwezigheid van zonlicht (dag) (in %).*

| Behandeling | Naam   | Blauw | Groen | Rood | FR (verrood) | PAR | Totaal |
|-------------|--------|-------|-------|------|--------------|-----|--------|
| 1           | RGB+FR | 10    | 10    | 80   | 20           | 100 | 120    |

Tabel 5.3

Gerealiseerde samenstelling van het licht in de behandelingen.

| Light spectrum<br>(LED + Sun) | Spectrale samenstelling (%) |    |    |    | Intensiteit per lichtkleur ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) |    |     |    | Intensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) |     | Verhoudingen |      |      |      |
|-------------------------------|-----------------------------|----|----|----|---------------------------------------------------------------------|----|-----|----|------------------------------------------------------|-----|--------------|------|------|------|
|                               | B                           | G  | R  | FR | B                                                                   | G  | R   | FR | PAR                                                  | PFD | R:FR         | B:R  | B:G  | R:G  |
| R                             | 8                           | 9  | 71 | 12 | 22                                                                  | 24 | 194 | 34 | 240                                                  | 274 | 5.7          | 0.11 | 0.91 | 8.07 |
| RB                            | 15                          | 9  | 64 | 12 | 42                                                                  | 24 | 174 | 34 | 240                                                  | 274 | 5.1          | 0.24 | 1.74 | 7.24 |
| RGB                           | 12                          | 12 | 64 | 12 | 32                                                                  | 34 | 174 | 34 | 240                                                  | 274 | 5.1          | 0.18 | 0.94 | 5.11 |
| R+FR                          | 7                           | 8  | 66 | 18 | 22                                                                  | 24 | 194 | 54 | 240                                                  | 294 | 3.6          | 0.11 | 0.91 | 8.07 |
| RB+FR                         | 14                          | 8  | 59 | 18 | 42                                                                  | 24 | 174 | 54 | 240                                                  | 294 | 3.2          | 0.24 | 1.74 | 7.24 |
| RGB+FR                        | 11                          | 12 | 59 | 18 | 32                                                                  | 34 | 174 | 54 | 240                                                  | 294 | 3.2          | 0.18 | 0.94 | 5.11 |
| RhGB+FR                       | 14                          | 15 | 52 | 18 | 42                                                                  | 44 | 154 | 54 | 240                                                  | 294 | 2.9          | 0.27 | 0.95 | 3.50 |

## 5.3 Metingen

### 5.3.1 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur,  $\text{CO}_2$  en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt (behandeling RWB UV), en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer.

### 5.3.2 Plantmetingen

Aan het begin van de proef werd een destructieve oogst gedaan aan 10 planten per ras, waarbij plantlengte, aantal bladeren, bladoppervlakte en drooggewicht van de plant gemeten werd.

Gedurende de teelt werd plantlengte twee keer gemeten om de strekking te volgen en de lichtsom bij de top van de plant te berekenen.

Vanaf het moment dat de planten 18 bladeren hadden, werden bladeren weggehaald. Vanaf week 4 van de teelt, werden iedere 3 dagen de onderste drie bladeren per plant weggehaald, en werd daarvan bladoppervlakte, vers- en drooggewicht bepaald.

In week 5 werden de gehalten aan chlorofyl en favonolen bepaald met behulp van een Dualex meter, aan de bovenste volledig uitgestrekte bladeren van drie planten per cultivar per tafel. Van dat blad werd ook de lengte van het bladsteeltje gemeten.

In week 5 van de teelt werden de planten destructief geoogst. Plantlengte, aantal bladeren en internodiën, bladoppervlakte, vers- en drooggewichten van bladschijven, bladsteeltjes, stengel en vruchten werden gemeten aan drie planten per ras per tafel.

### 5.3.3 Gewasgezondheid middels biotoetsen

Aan het einde van het experiment (week 5, 23 maart) zijn er bio-toetsen met bladponsjes uitgevoerd om de effecten van de verschillende lichtbehandelingen op ziekten en plagen te onderzoeken. Hiervoor zijn echte meeldauw als een obligaat biotroof, botrytis als een necrotroof en trips als plaaginsect gekozen. Voor elk bio-toets zijn 10 planten per tafel willekeurig gekozen. Van de top van de stengel, beginnend met het eerste vlakke blad, werd van het 9<sup>de</sup> blad steeds 3 bladponsjes met een diameter van 5 cm genomen. De ponsjes werden in petrischalen met een bodemlaag van 1% wateragar gelegd om de ponsjes vers te houden. Vervolgens zijn de ponsjes elk met een concentratie van  $10^5$  sporen/ml meeldauw (*Podospaera xanthii*),  $10^6$  sporen/ml botrytis (*Botrytis cinerea*) geïnoculeerd of met 5 adulte tripsen (*Frankliniella occidentalis*) geïnfecteerd. De petrischalen met de ponsjes werden in een klimaatkamer bewaard bij 20 °C en 65% RV. Zes dagen na inoculatie werd de botrytisschade als diameter verbruining met behulp van een schuifmaat gemeten en 5 dagen na inzetten is de tripsschade visueel als doorschijnende zilverschade in mm<sup>2</sup> gemeten. De meeldauw infectie werd na 13 dagen als aantal meeldauw spots gemeten. Data zijn met een twee-factoriele ANOVA met ras en lichtbehandelingen als factoren geanalyseerd.

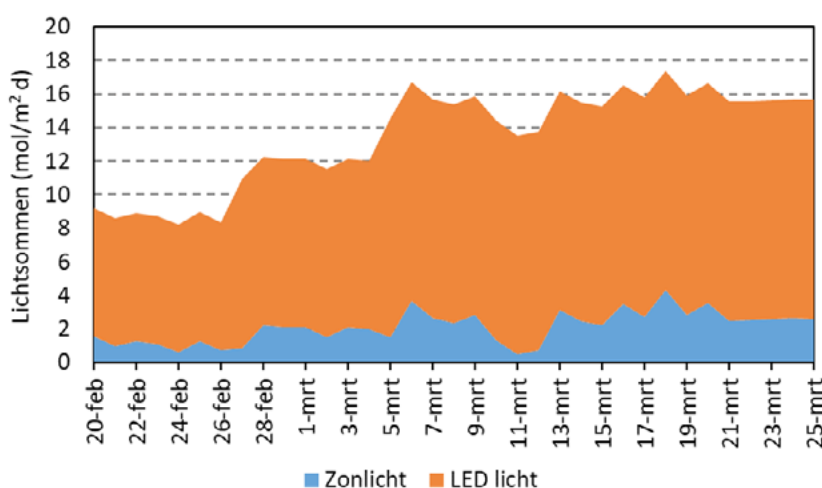
## 5.4 Resultaten

### 5.4.1 Klimaat

Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas gedurende de proef was 22.6 °C, 69% RV en 644 ppm CO<sub>2</sub>.

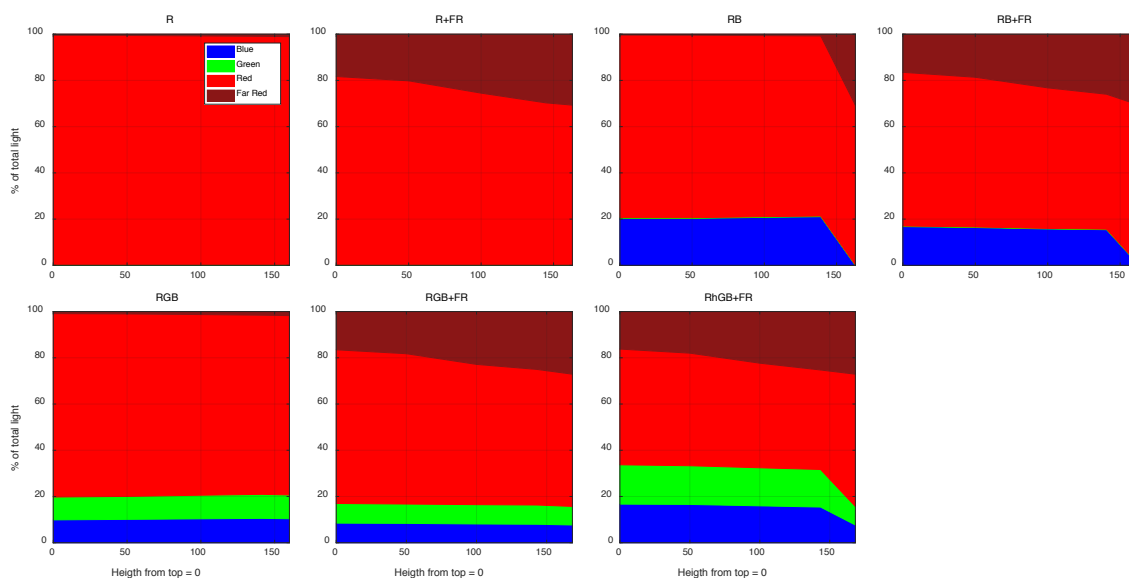
Op een aantal tafels waren temperatuur en luchtvochtigheidssensoren geplaatst, om te kijken of er verschillen waren in het klimaat per behandeling. Er werden geen significante verschillen gevonden in relatieve luchtvochtigheid ( $p=0.970$ ) en gerealiseerde temperatuur ( $p=0.634$ ) per tafel.

Van de totale lichtsom die de planten ontvingen, was gemiddeld 15% afkomstig van de zon, en 85% van de lampen. Gedurende de teelt, nam de lichtsom van de lampen toe, omdat de planten strekten en daarmee dichterbij de LED modules kwamen (Figuur 5.2).



**Figuur 5.2** Gerealiseerde lichtsom tijdens de teelt (gemiddelde van 14 tafels).

Met de spectrale lijnsensor, ontwikkeld binnen het project "Inzicht in LED licht en zonlicht", is op verschillende hoogtes de spectrale samenstelling van het licht gemeten. Daarin is duidelijk te zien dat het aandeel verrood licht toeneemt op grotere afstand van de lampen, en dat het aandeel blauw en rood licht afneemt (Figuur 5.3).

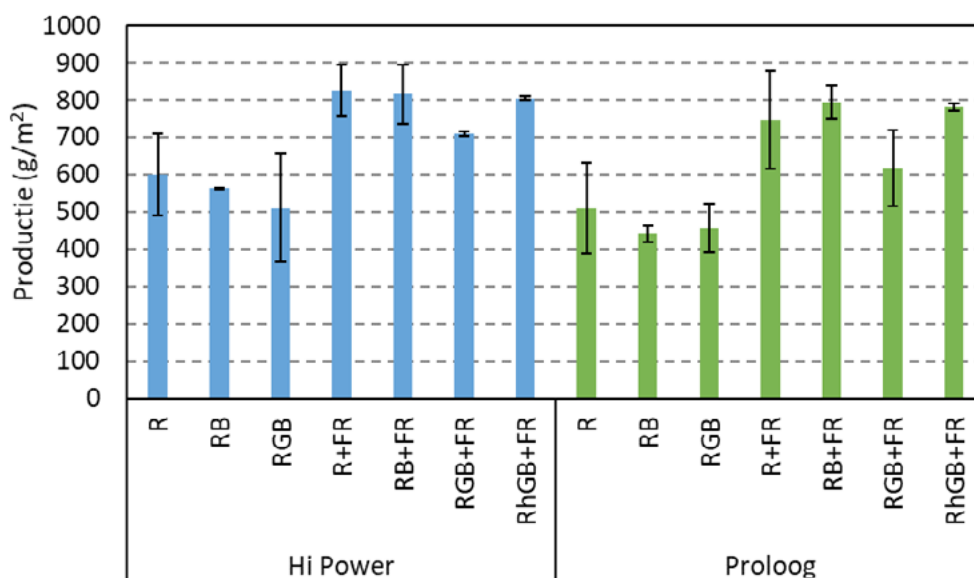


**Figuur 5.3** Verdeling van het lichtspectrum in de verschillende lichtbehandelingen op verschillende afstanden vanaf de lampen, gemeten met de spectrale lijnsensor.

## 5.4.2 Gewasgroei, -ontwikkeling en productie

### 5.4.2.1 Productie

Aan het einde van de teelt (dagen 34, 35 en 36 na planten) konden in alle behandelingen vruchten geoogst worden. Er waren geen statistische verschillen in oogst (Figuur 5.4), maar het leek dat de behandelingen met verrood licht een hogere vroege productie hadden dan de behandelingen zonder verrood licht (Figuur 5.5). Gemeten over de totale productieperiode waren er geen verschillen in aantallen geoogste vruchten of gemiddeld vruchtgewicht.



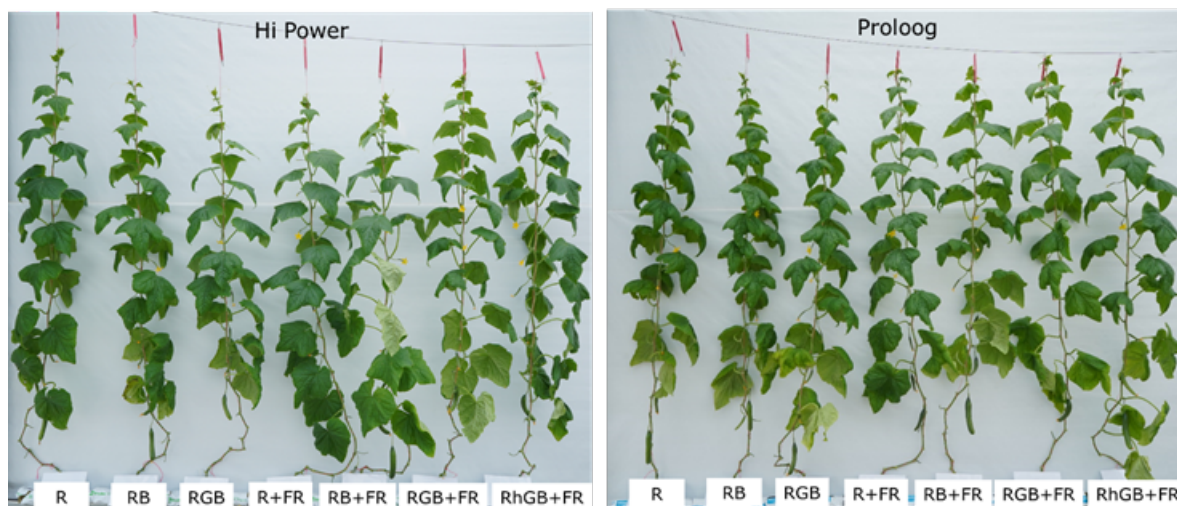
**Figuur 5.4** Effect van de lichtbehandelingen op de productie (g/m<sup>2</sup>) van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.



**Figuur 5.5** Foto van de oogst van komkommers van de eerste oogstdag, 34 dagen na planten. Deze komkommer zijn geoogst van tafels 1-7, herhaling 1 van de twee.

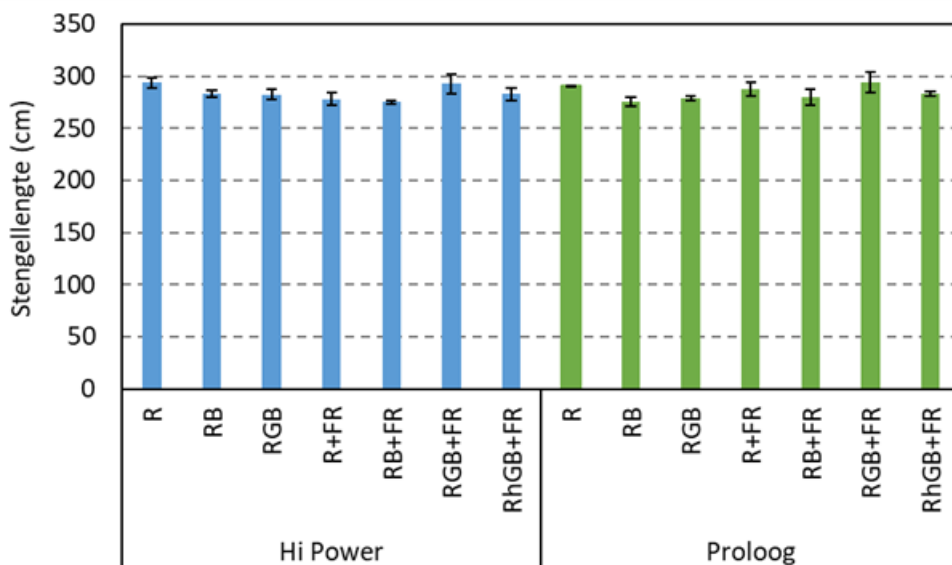
#### 5.4.2.2 Groei en ontwikkeling

Na 36 dagen teelt, werden de planten destructief geoogst. Op dat moment was er duidelijk een effect te zien van de nachtspectra op de morfologie van de planten. De behandeling waarbij in de nacht alleen rood licht gegeven werd, had kortere bladsteeltjes en meer afhangend blad, dan de behandelingen met verrood licht (figuur 5.6).



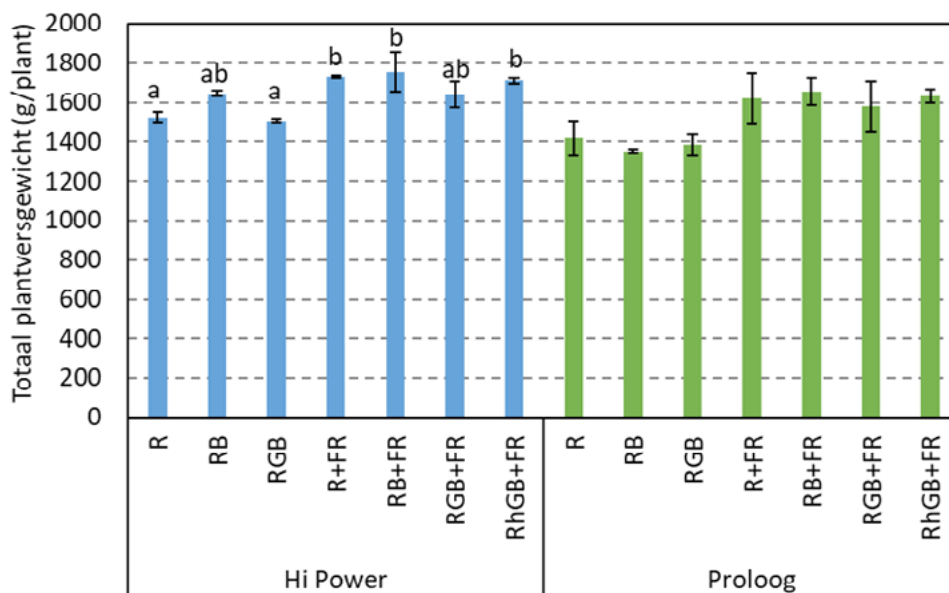
**Figuur 5.6** Plant architectuur na 36 dagen teelt.

Er was geen duidelijk effect van het lichtspectrum tijdens de nacht op de strekking van de plant. De totale plantlengte was bij beide rassen niet significant verschillend tussen de behandelingen (Figuur 5.7).



**Figuur 5.7** Effect van de lichtbehandelingen op de stengellengte van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

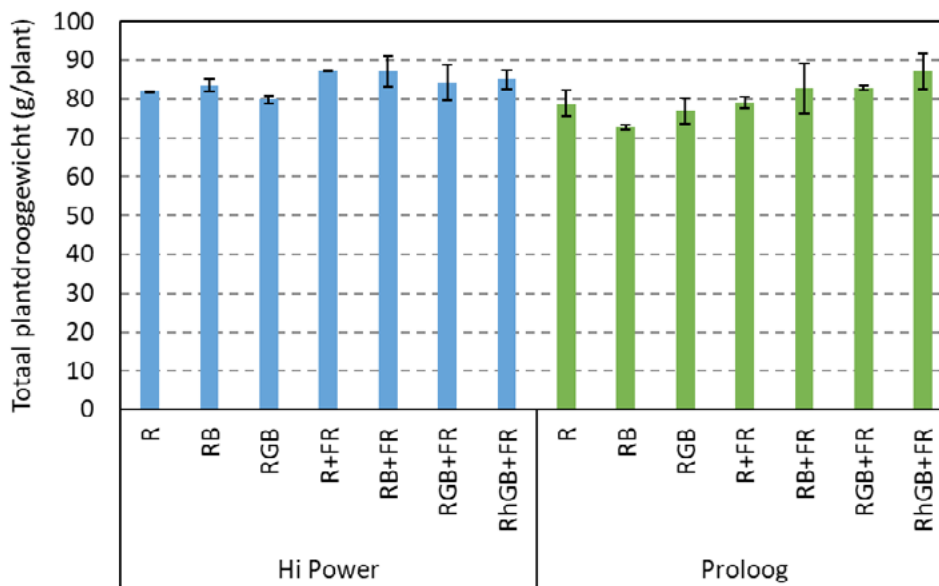
Om het totale plantgewicht te kunnen bepalen, zijn de gewichten van de geplukte bladeren en geoogste vruchten opgeteld bij de metingen van de destructieve eindoogst. Hieruit bleek dat het totale plant versgewicht hoger was als verrood aan het spectrum was toegevoegd (Figuur 5.8). Echter, dit gold alleen voor Hi Power, niet voor Proloog. De behandelingen met verrood (behalve RGB+FR) waren gemiddeld 14% zwaarder vergeleken met de referentie ( $p<0.039$ ). De behandeling RGB verschilde niet significant van de behandeling met alleen rood licht in de nacht (R), ook niet als FR werd toegevoegd (RGB+FR). De gegevens van beide rassen samen lieten zien dat de behandelingen RB+FR gemiddeld 16% meer versgewicht geproduceerd hadden dan de referentie ( $p<0.006$ ).



**Figuur 5.8** Effect van de lichtbehandelingen op de totaal plantversgewicht van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

De resultaten van het plantdrooggewicht laten vergelijkbare effecten zien (Figuur 5.9). Echter, de verschillen tussen de behandelingen bleken hier niet significant te zijn.





**Figuur 5.9** Effect van de lichtbehandelingen op de totaal plantdrooggewicht van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Niet alleen de totale biomassaproductie bij de verschillende lichtbehandelingen is belangrijk, maar ook de verdeling van deze biomassa over de verschillende organen. De behandelingen met verrood licht bleken meer biomassa in de bladstelen en de stengels te hebben, en naar verhouding minder in de bladeren dan de behandelingen zonder verrood licht (Tabel 5.4). Dit is een bekend effect van verrood licht, namelijk dat er meer assimilaten naar de stengel gaan, ten koste van de bladeren. In dit geval is het bijzonder dat het aandeel van de biomassa in de vruchten niet aantoonbaar verschillend is, al is de tendens wel dat er in aanwezigheid van verrood licht meer assimilaten naar de vruchten gaan.

**Tabel 5.4**

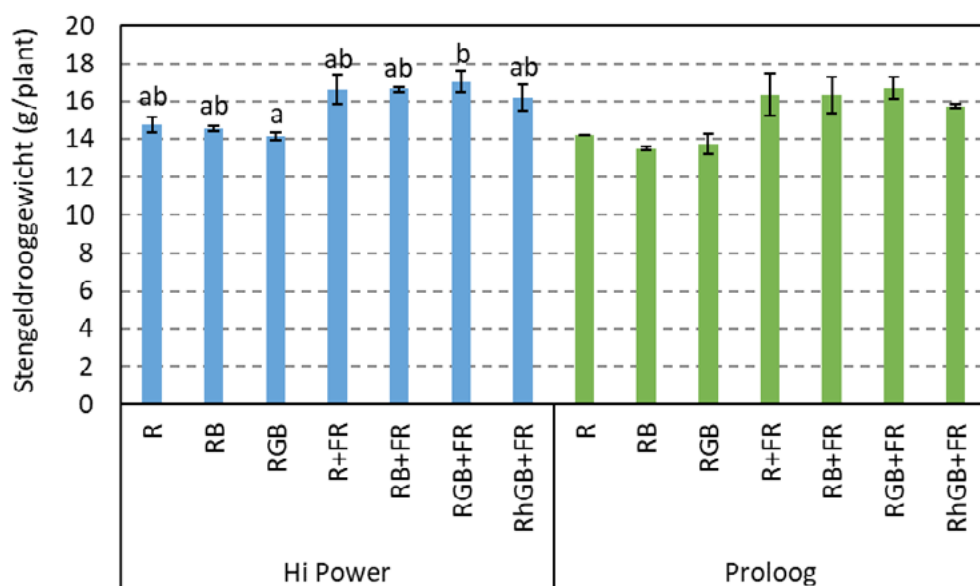
Droge stof verdeling over de verschillende plantorganen. Letters laten statistische verschillen zien tussen de behandelingen ( $p < 0.05$ ).

| Hi Power | Vruchten | Bladeren             | Stengel | Bladstelen |
|----------|----------|----------------------|---------|------------|
| R        | 27.9%    | 45.1% <sup>a</sup>   | 18.0%   | 9.0%       |
| RB       | 28.9%    | 44.5% <sup>ab</sup>  | 17.5%   | 9.1%       |
| RGB      | 27.1%    | 46.2% <sup>a</sup>   | 17.7%   | 9.1%       |
| R+FR     | 31.5%    | 39.6% <sup>bc</sup>  | 19.0%   | 9.9%       |
| RB+FR    | 31.8%    | 39.0% <sup>c</sup>   | 19.2%   | 10.0%      |
| RGB+FR   | 27.3%    | 41.0% <sup>abc</sup> | 20.3%   | 11.3%      |
| RhGB+FR  | 29.0%    | 41.7% <sup>abc</sup> | 19.1%   | 10.2%      |

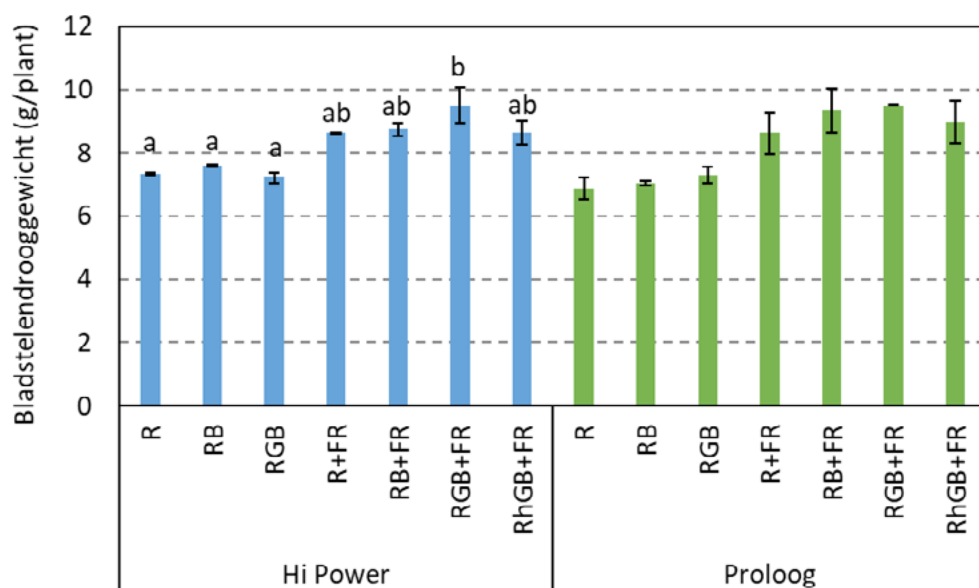
| Proloog | Vruchten | Bladeren             | Stengel | Bladstelen          |
|---------|----------|----------------------|---------|---------------------|
| R       | 27.9%    | 45.3% <sup>abc</sup> | 18.1%   | 8.7% <sup>a</sup>   |
| RB      | 24.1%    | 47.7% <sup>a</sup>   | 18.6%   | 9.7% <sup>ab</sup>  |
| RGB     | 25.8%    | 46.8% <sup>ab</sup>  | 17.9%   | 9.5% <sup>ab</sup>  |
| R+FR    | 24.3%    | 44.1% <sup>abc</sup> | 20.7%   | 10.9% <sup>bc</sup> |
| RB+FR   | 26.6%    | 42.3% <sup>bc</sup>  | 19.8%   | 11.3% <sup>c</sup>  |
| RGB+FR  | 25.2%    | 43.1% <sup>abc</sup> | 20.2%   | 11.5% <sup>c</sup>  |
| RhGB+FR | 30.6%    | 41.0% <sup>c</sup>   | 18.1%   | 10.3% <sup>bc</sup> |

Wanneer verrood licht werd toegevoegd aan het nachtspectrum, was het drooggewicht van de stengels hoger (Figuur 5.10), ondanks dat de stengellengte nauwelijks beïnvloed werd. Voor Hi Power is dit verschil wel significant verschillend (RGB+FR ten opzichte van RGB), voor het ras Proloog niet.

Ook bij de bladsteeltjes was dit effect te zien: wanneer verrood wordt toegevoegd aan het nachtspectrum, is het gewicht van de bladstelen hoger (Figuur 5.11), maar dit verschil is alleen bij Hi Power significant.

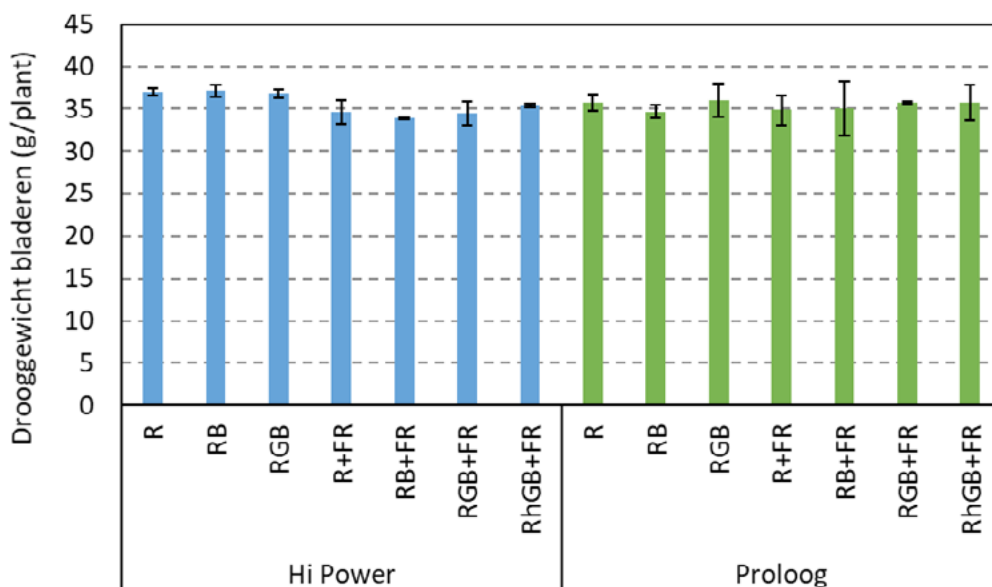


**Figuur 5.10** Effect van de lichtbehandelingen op de stengeldrooggewicht van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.



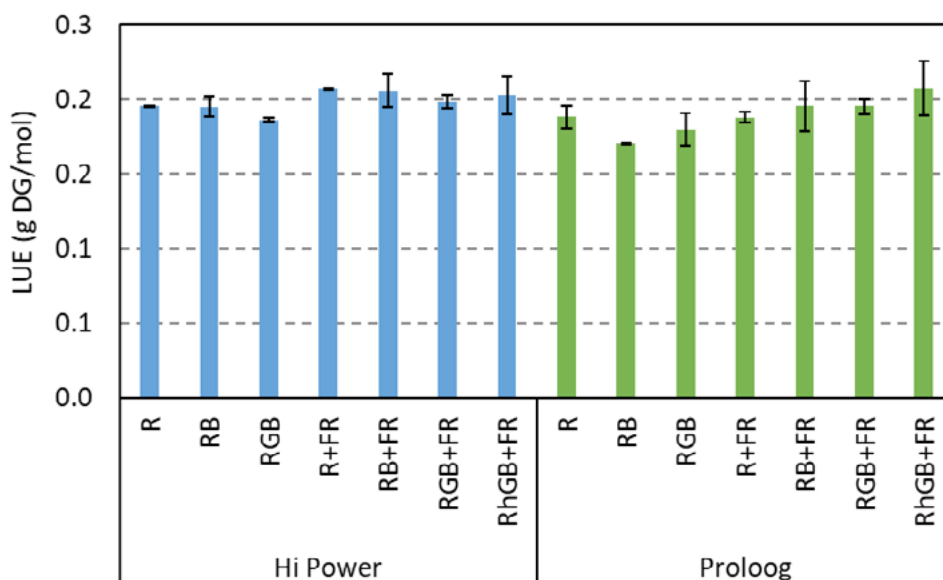
**Figuur 5.11** Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de bladsteeltjes van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Het effect van de behandelingen op het bladgewicht was tegenovergesteld van dat op de gewichten van stengels en bladstelen. De behandelingen zonder verrood licht hadden een significant hoger versgewicht van de bladeren (figuur niet getoond), al was het effect van de behandelingen op het drooggewicht van de bladeren niet significant (Figuur 5.12).



**Figuur 5.12** Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de bladeren van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ) (blad aan de plant + geplukt blad). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

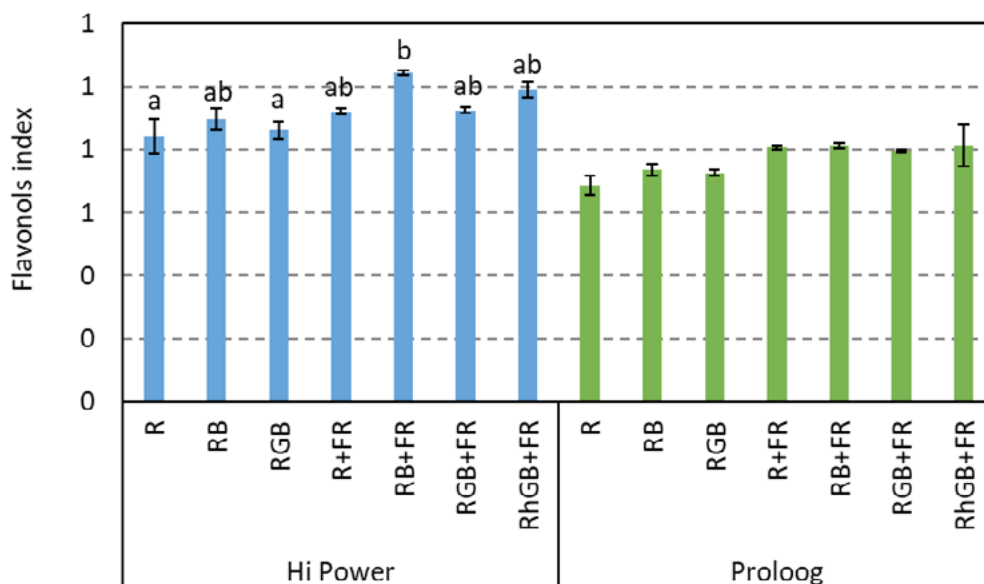
Het totale bladoppervlak was niet significant verschillend tussen de behandelingen, al leek het bladoppervlakte voor de behandelingen zonder verrood licht wel hoger dan met verrood licht, met name bij Hi Power. Ook de lichtbenuttingsefficiëntie (Light use efficiency, LUE), berekend als het aantal gram droge stof dat gevormd is per mol licht (zonlicht en lamplicht) verschilde niet significant tussen de behandelingen (Figuur 5.13).



**Figuur 5.13** Lichtbenuttingsefficiëntie van de van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ), berekend als gram droge stof gevormd per mol licht (integraal van PAR + verrood licht). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Gedurende de proef, 33 dagen na de start van de teelt, werden ook de gehalten van een aantal pigmenten in het blad gemeten. De chlorofyl index gemeten met de Dualux is een goed inschatting van het chlorofyl gehalte in het blad, dat niet significant bleek te verschillen tussen de verschillende behandelingen.

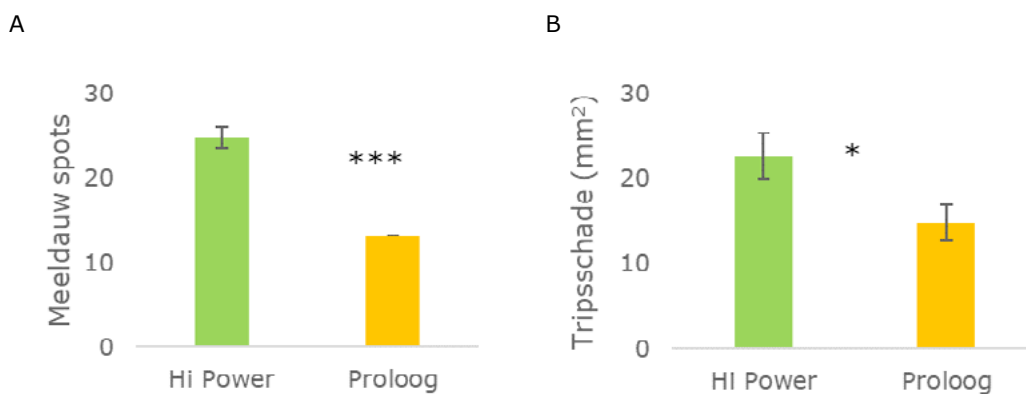
De flavonolen index bleek wel significant te verschillen tussen behandelingen voor het ras Hi Power, met een 24% hogere flavonolen index in de behandeling RB+FR vergeleken met de referentie en RGB (Figuur 5.14).



**Figuur 5.14** Effect van de lichtbehandelingen op de flavonolen index van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

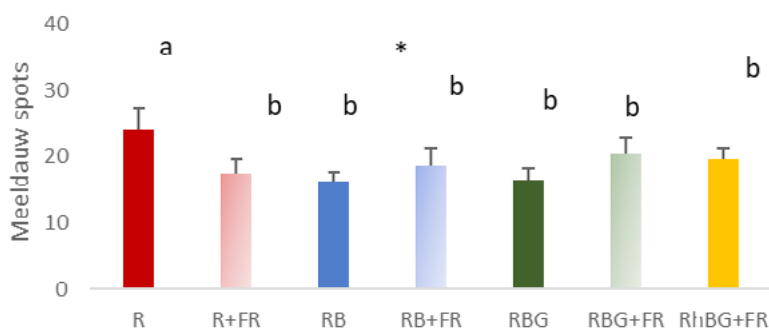
#### 5.4.3 Biotoetsen

De twee rassen, Hi Power en Proloog, verschilden niet in gevoeligheid voor botrytis, terwijl het ras Hi Power significant meer meeldauw- en tripsschade vertoonde dan het ras Proloog (Figuur 5.15).



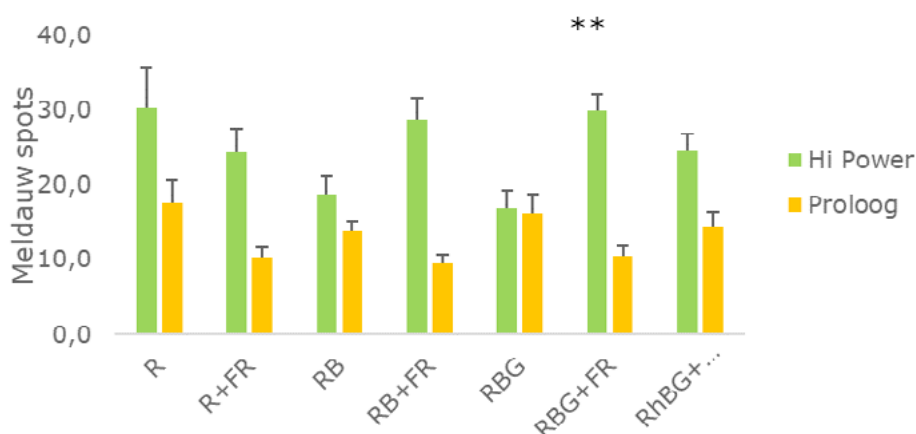
**Figuur 5.15** Effect van het ras op meeldauw (A) en trips (B). \* betekent significante verschillen bij  $p \leq 0.05$  en \*\*\* bij  $p \leq 0.001$ . Data tonen gemiddelden met standaardfout.

De meeldauwinfectie was significant hoger bij de behandeling met rood licht in de nacht (R) voor beide rassen, vergeleken met alle andere behandelingen (Figuur 5.16).



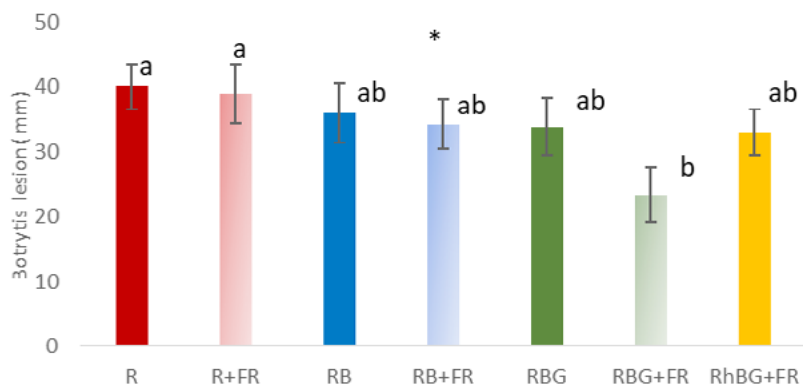
**Figuur 5.16** Effect lichtbehandelingen op meeldauw. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen bij \*  $p \leq 0.05$ . Data tonen gemiddelden met standaardfout.

Een significante interactie tussen ras en lichtbehandeling laat zien dat alleen bij het ras Proloog alle behandelingen met FR (behalve RhBG + FR) een verlagend effect op de meeldauwinfectie hebben vergeleken met de behandelingen zonder FR (Figuur 5.17). Van behandelingen met verrood (+FR) is bekend dat ze de plant weerbaarheid via de salicylzuurroute, welke tegen biotrofe schimmels actief is, aanschakelen.



**Figuur 5.17** Effect lichtbehandelingen op meeldauw per ras. \*\* betekent significante verschillen bij  $p \leq 0.01$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

De infectie met botrytis was significant lager in de behandeling RBG +FR (Figuur 5.18). Dit is een verrassend resultaat omdat een antagonistisch effect van FR op botrytis te verwachten was. Hierbij kan mogelijk een rol spelen dat het hier alleen gaat om een nachtspectrum met verrood licht, wat zou kunnen verklaren dat wij in tegenstelling tot de behandelingen waar gedurende de hele lichtperiode verrood licht gegeven werd (bij aubergine, zie hoofdstuk 4) geen verhoging van botrytis bij FR behandelingen zien.



**Figuur 5.18** Effect lichtbehandelingen op botrytis. Verschillende letters betekenen significante verschillen binnen bij \*  $p \leq 0.05$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

Er werd geen significant effect van de lichtbehandelingen in de nacht op tripsschade gevonden, hetgeen mogelijk te maken heeft met de relatief hoge variatie in schade binnen de behandelingen.

## 5.5 Conclusies

In dit experiment is onderzocht hoe het nachtspectrum er uit moet zien bij komkommer, bij een standaard LED lichtspectrum van blauw, groen, rood en verrood licht als er natuurlijk licht is. De veronderstelling was dat het toevoegen van blauw en groen licht aan alleen rood licht in de nacht een positief effect zou hebben op de groei van het gewas. Dit bleek niet het geval te zijn: de totale biomassa en de vruchtproductie bleken vergelijkbaar. Wanneer verrood licht aan het lichtspectrum werd toegevoegd, was de vruchtproductie (niet significant) hoger, en verschoof de biomassaverdeling van de bladeren naar de vruchten en stengels. Alle effecten van de aangelegde veranderingen in het spectrum in de nacht op de groei, ontwikkeling en morfologie van komkommer bleken beperkt. Wel was het zo dat het toevoegen van blauw, groen en/of verrood licht de plantweerbaarheid tegen meeldauw verhoogde, ten opzichte van alleen rood licht geven gedurende de nacht. Het toevoegen van verrood licht in de nacht aan een spectrum RBG bleek de infectie met botrytis te verlagen. Dit gold niet voor het toevoegen van verrood licht aan alleen rood of rood/blauw licht.

In dit experiment is gewerkt met een "dag" spectrum van 10% blauw licht, 10% groen licht, 80% rood licht, met de toevoeging van 20% verrood licht. De verwachting was dat het nachtspectrum een aantoonbaar effect zou hebben op de groei en ontwikkeling van komkommer. Uit de resultaten blijkt dat de tendens is dat het toevoegen van met name verrood licht in de nacht positief is voor de groei en productie in komkommer. Daarmee is er geen reden om in het nachtspectrum af te wijken van het dagspectrum met grotendeels rood licht, en aandelen blauw, groen en verrood licht daarnaast.

## 6 Verrood licht gedurende deel van de dag

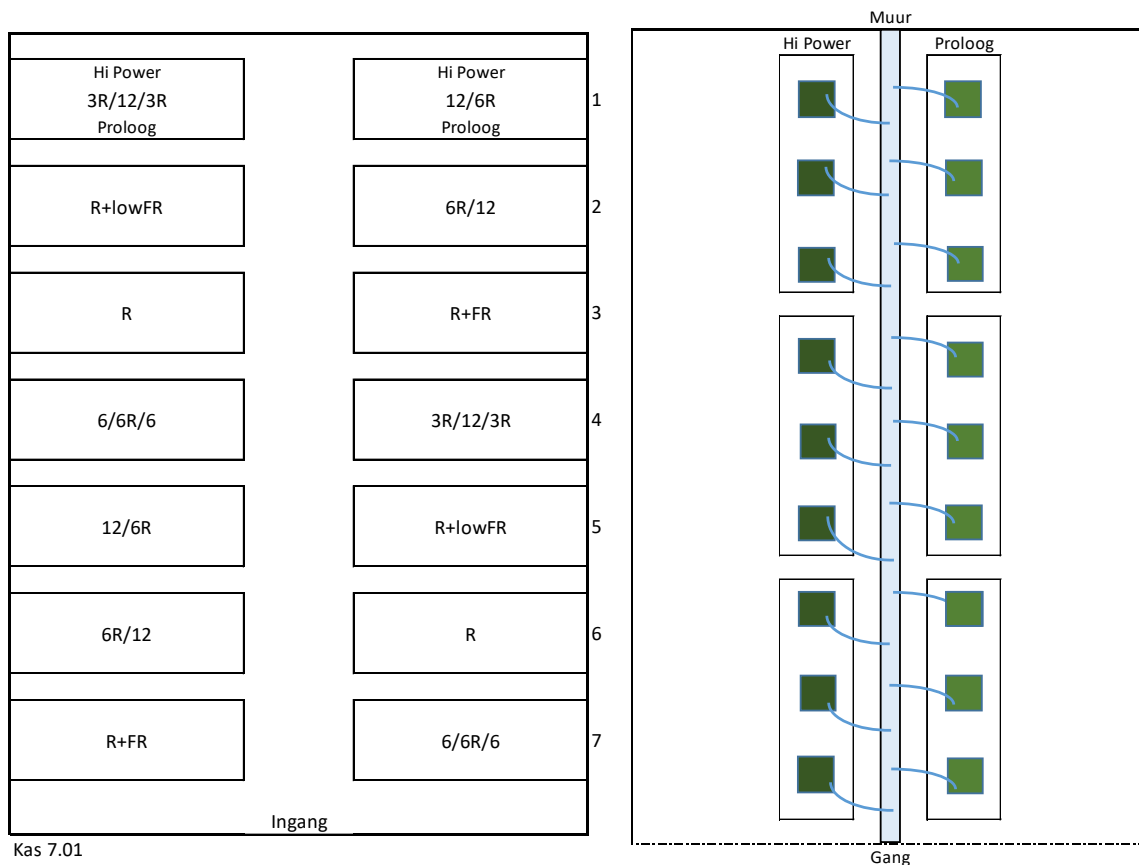
### 6.1 Inleiding

In de proef die beschreven is in hoofdstuk 4 bleek dat het toevoegen van blauw of groen licht aan het nachtspectrum niet positief is voor totaal plantgewicht, en dat de productie dan zelfs iets lager uitvalt. Dat betekent dat in principe van deze drie kleuren in de nacht rood voldoende is. Echter, het toevoegen van verrood licht in de nacht heeft wel een positief effect op groei en productie. De vraag is in hoeverre dit verrode licht vooral effect heeft in de nacht, of dat het ook overdag nodig is als aanvulling op het lichtspectrum in aanwezigheid van zonlicht. Daarom wordt in dit hoofdstuk een proef beschreven die deze vragen tracht te beantwoorden, voortbouwend op de resultaten van hoofdstuk 4 met komkommer.

### 6.2 Teelt en behandelingen

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gewas                         | Komkommer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Rassen                        | Hi Power, Proloog                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Zaaidatum                     | 17 maart 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Plantdatum (start experiment) | 2 april 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Plantdichtheid                | 2.5 planten/m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Teeltstrategie                | Op iedere tafel (7.2 m <sup>2</sup> ) werden komkommerplanten van de twee genotypes geplant in twee rijen van ieder 4 steenwolmatten van 1 m. Op elke rij stonden 9 planten, 1 genotype per rij. De planten werden aan de draad geteeld, verbonden aan een rek op de tafels, en draaiden in een carroussel.<br>Bladeren werden van onder af gesnoeid om 15-18 bladeren aan de plant te laten. Alle zijscheuten werden verwijderd. Beneden oksel 5 werden alle bloemen weggehaald, vanaf oksel 6 werd om en om een vrucht aangehouden. |
| Substraat en watergift        | Steenwol en druppelaars                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Hoogte van het lampenplafond  | 1.85 m boven de tafel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Lichtintensiteit              | Gemiddeld 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (50 cm onder de lampen)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Daglength                     | 00.00 – 09.00: LED (nachtspectrum)<br>09.00 – 18.00: LED (dagspectrum) + zonlicht<br>18.00 – 00.00: donker                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Lichtbehandelingen            | Zie onderstaande tabel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Scherminstrategie             | Donkerdoek: open in 3 stappen van 9:00-9:30 en sluit tussen 17:30-18:00<br>Energiedoek: sluit bij 500 W/m <sup>2</sup> globale straling                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Einde experiment              | 7 mei 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |





**Figuur 6.1** Links: lay-out van de kas en plaatsing van de behandelingen. Rechts: layout van de tafels.

**Tabel 6.1**

Samenstelling van de lichtspectra die zijn toegepast (in %).

| Naam      | Blauw | Groen | Rood | FR (verrood) | PAR | Totaal |
|-----------|-------|-------|------|--------------|-----|--------|
| R         | 0     | 0     | 100  | 0            | 100 | 100    |
| R+FR      | 0     | 0     | 100  | 20           | 100 | 120    |
| R+laagFR* | 0     | 0     | 100  | 14           | 100 | 114    |

\*Planten in de behandeling R+laagFR ontvangen op 24 uren basis een zelfde hoeveelheid FR licht als de behandelingen 6R/12, 12/6R, 6/6R/6 en 3R/12/3R (waar maar gedurende 2/3 van de belichtingsduur FR gegeven wordt)

**Tabel 6.2**

Samenstelling van de lichtspectra over de dag, die het lichtspectrum gedurende 24 h beschrijven. De kleuren verwijzen naar de lichtspectra in de vorige tabel.

| Naam     | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
|----------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| R+FR     |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| R        |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 6R/12    |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 12/6R    |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 6/6R/6   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 3R/12/3R |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| R+lowFR  |   |   |   |   |    |    |    |    |    |

Nacht (0:00 – 9:00)      Dag (9:00 – 18:00)

## 6.2.1 Klimaat- en plantmetingen

### 6.2.1.1 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO<sub>2</sub> en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt, en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer.

### 6.2.1.2 Plantmetingen

Aan het begin van de proef werd een destructieve oogst gedaan aan 10 planten per ras, waarbij plantlengte, aantal bladeren, bladoppervlakte en drooggewicht van de plant gemeten werd.

Gedurende de teelt werd plantlengte twee keer gemeten om de strekking te volgen en de lichtsom bij de top van de plant te berekenen.

Vanaf het moment dat de planten 18 bladeren hadden, werden bladeren weggehaald. Vanaf week 4 van de teelt, werden iedere 3 dagen de onderste drie bladeren per plant weggehaald, en werd daarvan bladoppervlakte, vers- en drooggewicht bepaald.

In weken 3 en 5 werden de gehaltes aan chlorofyl en favonolen bepaald met behulp van een Dualox meter, aan de bovenste volledig uitgestrekte bladeren van drie planten per cultivar per tafel. Van dat blad werd in week 5 ook de lengte van het bladsteeltje gemeten.

In week 5 van de teelt werden de planten destructief geoogst. Plantlengte, aantal bladeren en internodiën, bladoppervlakte, vers- en drooggewichten van bladschijven, bladsteeltjes, stengel en vruchten werden gemeten aan drie planten per ras per tafel.

## 6.2.2 Biotoetsen voor meeldauw, botrytis en trips

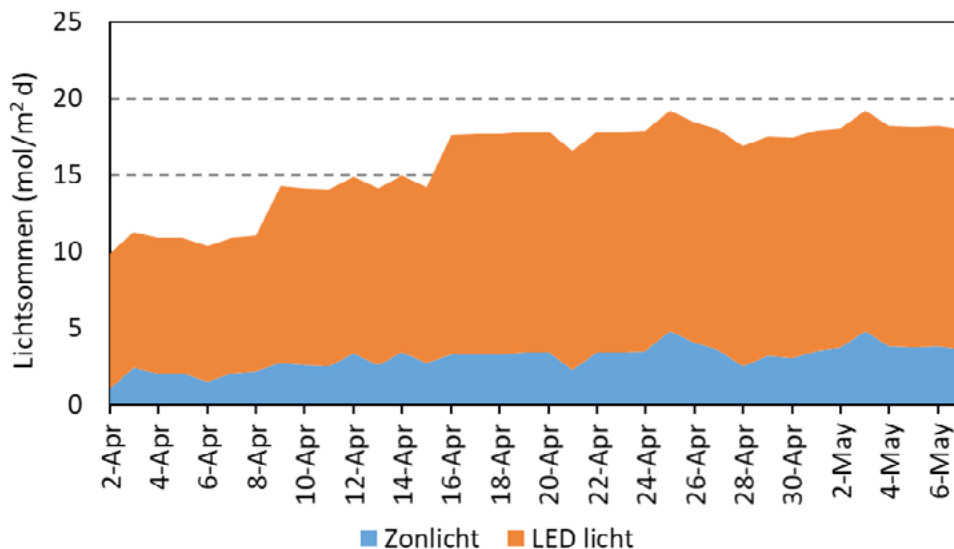
Aan het einde van de vegetatieve fase op 28 april zijn er bio-toetsen met bladponsjes uitgevoerd om de effecten van de verschillende lichtbehandelingen op ziekten en plagen te onderzoeken. Hiervoor zijn echte meeldauw als een obligaat biotroof, botrytis als een necrotroof en trips als plaaginsect gekozen. Voor elk bio-toets zijn 10 planten per tafel at random gekozen. Van de top van de stengel, beginnend met het eerste vlakke blad, is het 9<sup>de</sup> blad geteld voor bemonstering, waarbij 3 bladponsjes elk van een diameter van 5 cm zijn genomen. De ponsjes zijn in petrischalen met een bodemlaag van 1% wateragar gelegd om de ponsjes vers te houden. Vervolgens zijn de ponsjes elk met een concentratie van 10<sup>5</sup> sporen/ml meeldauw (*Oidium neolycopersicon*) 10<sup>6</sup> sporen/ml botrytis (*Botrytis cinerea*) inoculeert of met 5 adulte tripsen (*Frankliniella occidentalis*) geïnfecteerd. De petrischalen met de ponsjes zijn in een klimaatkamer bewaard bij 20 °C en 65% RV. Zes dagen na inoculatie is de botrytis schade als diameter verbruining met behulp van een schuifpui gemeten en 5 dagen na inzetten is de trips schade visueel als doorschijnende zilverschade in mm<sup>2</sup>. De meeldauw infectie is 13 dagen als aantal meeldauw spots gemeten. Data zijn met een twee-factoriele ANOVA met ras en lichtbehandelingen als factoren geanalyseerd.

## 6.3 Resultaten

### 6.3.1 Klimaat

Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas tijdens de proef was 22.7 °C, 72% RV en 634 ppm CO<sub>2</sub>.

Met de temperatuur en RV sensoren op de afzonderlijke tafels was het mogelijk na te meten of er klimaatverschillen tussen de behandelingen waren. Uit de data bleek dat er geen significante verschillen in gerealiseerd RV ( $p=0.920$ ) en gerealiseerde temperatuur ( $p=0.706$ ) waren tussen de behandelingen. Het aandeel zonlicht op de totale lichtsom in dit experiment was 19%, en dus 81% licht van de lampen. De lichtsom bij de kop van de plant nam toe gedurende de teelt, omdat de planten bij het strekken dichterbij de LED lampen kwamen, en dus meer licht ontvingen (Figuur 6.2).



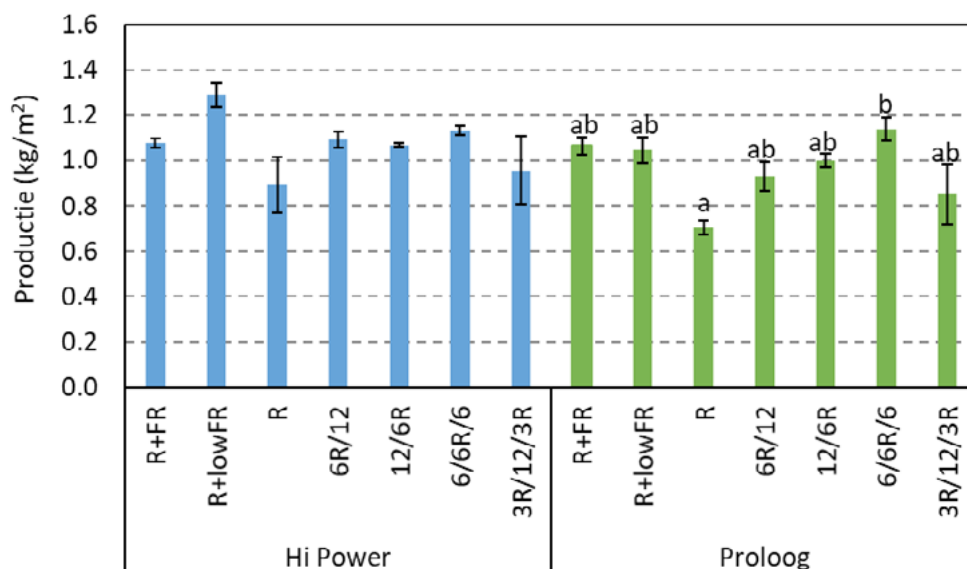
**Figuur 6.2** Gerealiseerde lichtsommen per dag tijdens de teelt. Gemiddelde van 14 tafels.

### 6.3.2 Gewasgroei, -ontwikkeling en productie

#### 6.3.2.1 Productie

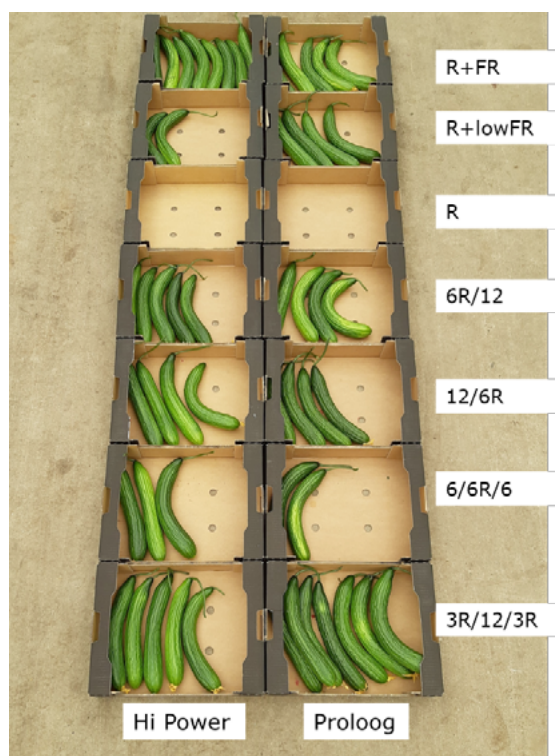
In de laatste twee weken van de teelt (op dagen 29, 30, 33, 35 en 36) konden er vruchten geoogst worden bij alle behandelingen. De productie was het laagst in de behandeling die alleen rood licht kreeg (naast het zonlicht), en het hoogst bij de behandeling die aan de randen van de dag verrood licht kreeg (6/6R/6) (Figuur 6.3). Deze verschillen waren alleen significant voor Proloog. De productie in de behandeling met alleen rood licht was 38% lager dan in 6/6R/6.

Statistische analyse van alle productiedata liet zien dat de behandelingen met continu verrood licht (R+FR, R+laagFR) en met verrood licht aan het begin en einde van de dag (6/6R/6) een significant hogere productie hebben dan de behandelingen R en met R aan het begin en einde van de dag (3R/12/3R). Er is geen productieverschil tussen de behandeling met 14 of 20  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  FR. De resultaten geven wel aan dat FR met name van belang is aan het begin van de belichtingsperiode (zonder zonlicht) en aan het einde van de belichtingsperiode (in aanwezigheid van natuurlijk zonlicht).



**Figuur 6.3.** Effect van de lichtbehandelingen op de productie (kg/m<sup>2</sup>) van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Een van de redenen van de lagere productie in de behandeling met alleen rood licht (R) is de vertraging in productie. De eerste serieuze oogst in die behandeling was 5 dagen later dan de andere behandelingen.



**Figuur 6.4** Foto van de oogst in alle behandelingen bij de eerste dag dat geoogst kon worden, na 29 dagen teelt. Geoogste komkommers van herhaling 1 (tafels 1-7).

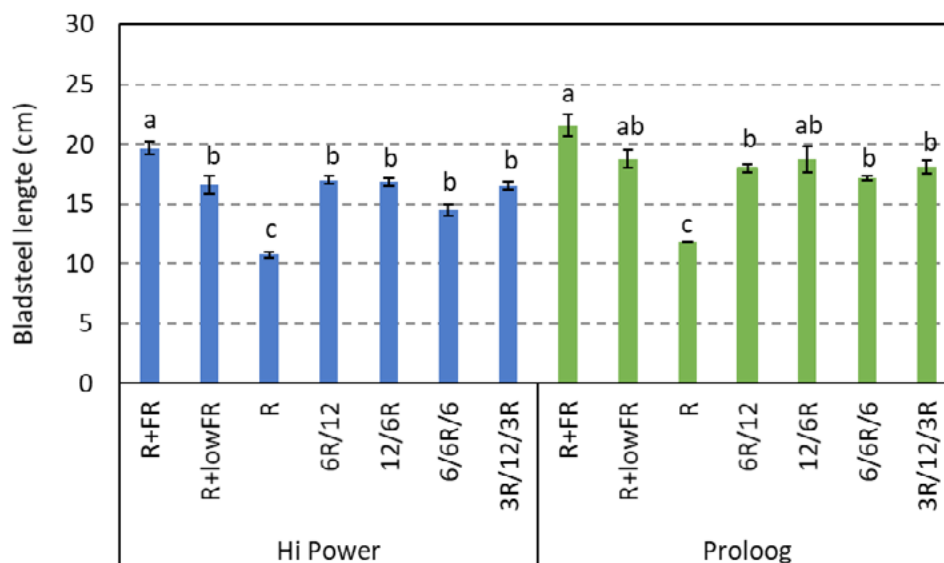
### 6.3.2.2 Groei en ontwikkeling

Na 36 dagen teelt werd een aantal planten destructief geoogst. Net als in de vorige proef waren de planten in de behandeling met alleen rood licht (R) korter dan de andere behandelingen, en hadden zij een bladstand met meer afhangende bladeren, dan in de behandelingen waarin ook een deel van de dag verrood licht werd gegeven (Figuur 6.5).



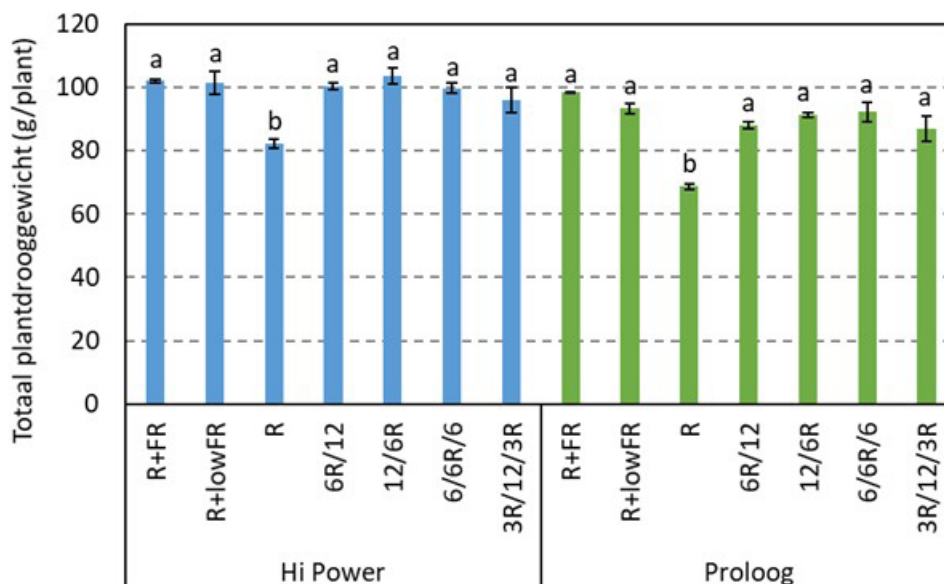
**Figuur 6.5** Plantarchitectuur na 36 dagen teelt. Hi Power planten zijn gesnoeid op 15 bladeren vanaf de top, Proloog planten op 14 bladeren vanaf de top.

Er was geen aantoonbaar verschil in plantlengte tussen de verschillende lichtbehandelingen. De plantlengte en het aantal internodiën van de planten in de behandelingen R, R+FR en R+laagFR leek lager dan in de overige behandelingen, maar deze verschillen waren niet significant. Er waren wel verschillen te zien in de lengtes van de bladsteeltes. De planten in de behandeling met alleen rood licht hadden de kortste bladstelen, de planten in de behandeling R+FR hadden de langste bladstelen (Figuur 6.6). Het verschil tussen deze behandelingen was 8 cm, een verschil van 45%.



**Figuur 6.6** Effect van de lichtbehandelingen op de lengtes van de bladstelen van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Aan het einde van de proef werden planten destructief geoogst, en werd het gewicht van de geoogste vruchten en geplukte bladeren daar bij opgeteld. Dat levert een getal op voor de totale biomassa die in een behandeling is gevormd. Deze resultaten laten zien dat het toevoegen van verrood licht aan het spectrum leidt tot een hoger plant drooggewicht dan alleen rood licht geven (R) (Figuur 6.7). Het plantdrooggewicht in de behandeling met alleen rood licht is tot 25% lager dan in de andere behandelingen. Gemiddeld over de twee rassen was de totale biomassaproduktie lager in de behandeling 3R/12/3R dan in R+FR, hetgeen overeenstemt met de verschillen in produktie tussen die behandelingen.



**Figuur 6.7** Effect van de lichtbehandelingen op de totaal plantdrooggewicht van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Wanneer de resultaten van de droge stof verdeling gemiddeld worden over beide rassen blijkt dat er een significant verschil is ( $p<0.026$ ). In de behandelingen 6/6R/6 en R+laagFR was een aantoonbaar hoger aandeel van de assimilaten in de vruchten te vinden vergeleken met de behandelingen met alleen rood licht (R), 3R/12/3R en 6R/12. Deze behandeling R+FR verschilde niet van een van de andere behandelingen in aandeel van de assimilaten in de vruchten.

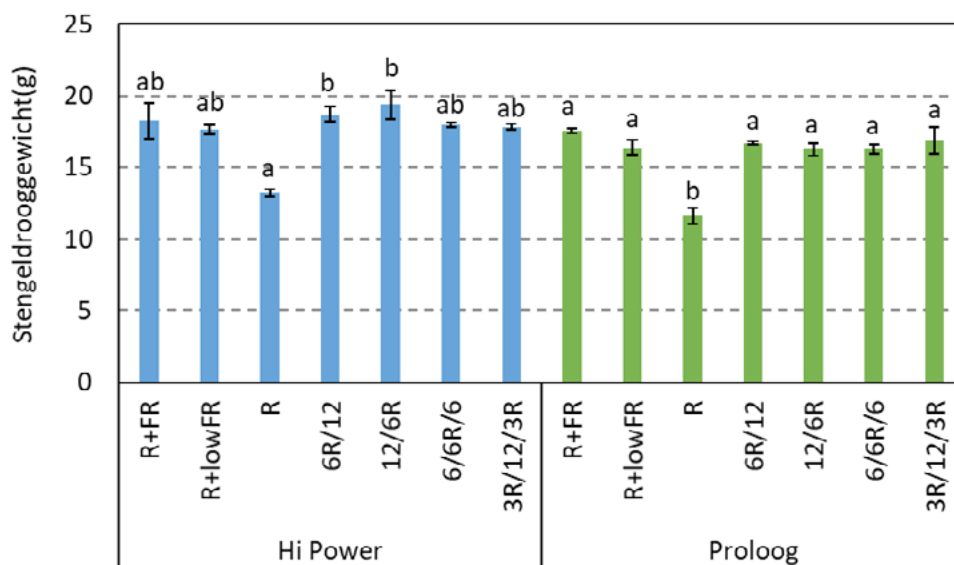
Het aandeel van de assimilaten in de bladeren was het hoogste in de behandeling met alleen rood licht ( $p<0.001$ ). In de behandelingen R en 3R/12/3R was het aandeel van de assimilaten in de bladeren hoger dan in R+laagFR en 6/6R/6. Het aandeel van de assimilaten in de bladsteeltjes was juist het laagst voor de behandeling met alleen rood licht (R). Alle behandelingen met verrood licht hadden langere bladstelen, en een hoger aandeel van de assimilaten in de bladsteeltjes ( $p<0.001$ ). Er was geen aantoonbaar effect van de behandelingen op het aandeel van de assimilaten in de stengel.

**Tabel 6.3**

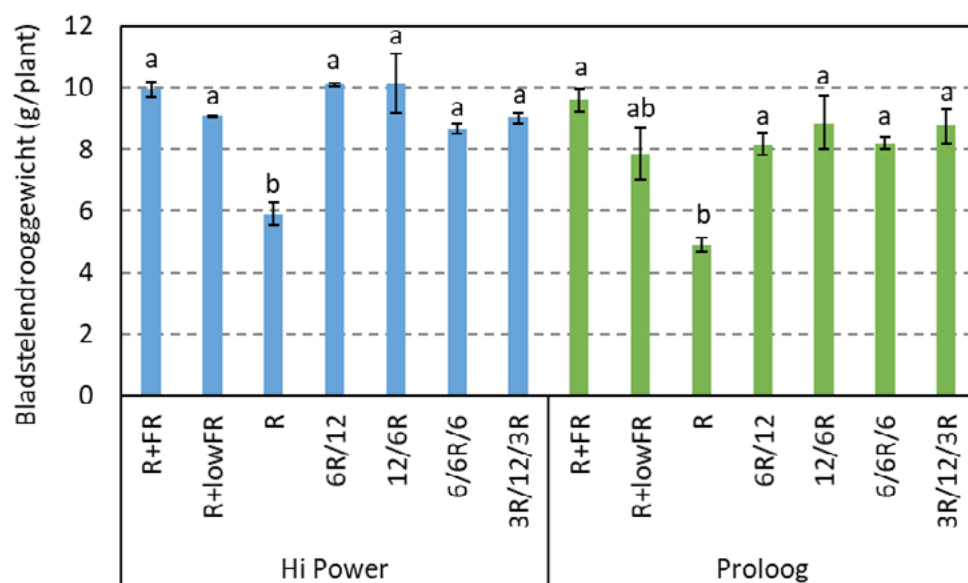
*Droge stof verdeling over de verschillende plantenorganen, gemiddeld voor de rassen Hi Power en Proloog. Verschillende letters geven statistische verschillen aan per plantorgaan ( $p<0.05$ ).*

|          | Vruchten             | Bladeren             | Stengel | Bladstelen         |
|----------|----------------------|----------------------|---------|--------------------|
| R+FR     | 34.8% <sup>abc</sup> | 37.5% <sup>abc</sup> | 17.9%   | 9.8% <sup>b</sup>  |
| R+laagFR | 36.8% <sup>c</sup>   | 37.1% <sup>a</sup>   | 17.5%   | 8.7% <sup>ab</sup> |
| R        | 31.2% <sup>a</sup>   | 45.1% <sup>d</sup>   | 16.5%   | 7.2% <sup>a</sup>  |
| 6R/12    | 32.0% <sup>a</sup>   | 39.6% <sup>bc</sup>  | 18.8%   | 9.7% <sup>b</sup>  |
| 12/6R    | 33.0% <sup>ab</sup>  | 38.9% <sup>abc</sup> | 18.3%   | 9.8% <sup>b</sup>  |
| 6/6R/6   | 36.0% <sup>bc</sup>  | 37.4% <sup>ab</sup>  | 17.8%   | 8.8% <sup>ab</sup> |
| 3R/12/3R | 31.4% <sup>a</sup>   | 39.8% <sup>c</sup>   | 19.1%   | 9.7% <sup>b</sup>  |

Het is duidelijk dat de toevoeging van verrood licht een positief effect heeft op drooggewichten van stengels en bladstelen. Voor beide cultivars bleek de behandeling met alleen rood licht het laagste drooggewicht van stengel en bladstelen te hebben (Figuren 6.8 en 6.9).

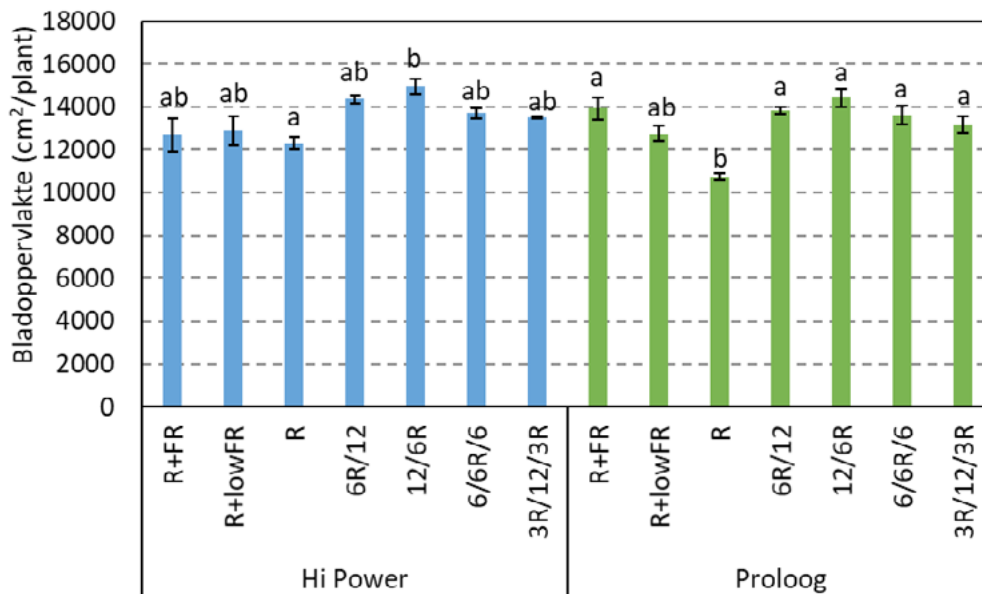


**Figuur 6.8** Effect van de lichtbehandelingen op de stengeldrooggewicht van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.



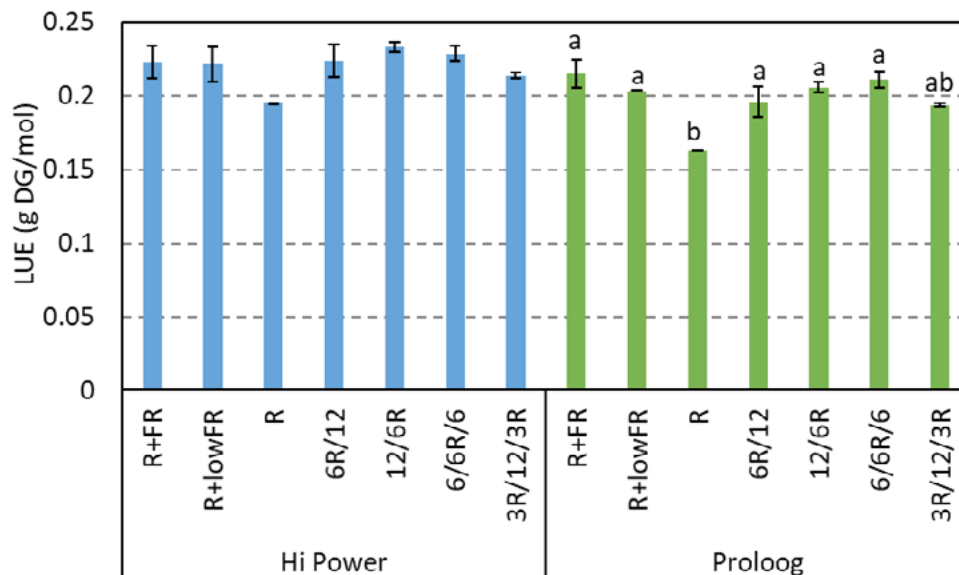
**Figuur 6.9** Effect van de lichtbehandelingen op het drooggewicht van de bladstelen van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Het bladgewicht (zowel vers- als drooggewicht) bleek niet aantoonbaar te verschillen tussen de behandelingen. Het bladoppervlakte bleek wel te verschillen ( $p < 0.001$ ). Alle behandelingen met verrood licht (behalve R+laagFR) hadden een aantoonbaar hoger bladoppervlakte dan de behandeling met alleen rood licht (R) (Figuur 6.10). In de cultivar Hi Power was de behandeling R alleen aantoonbaar lager dan de behandeling 12/6R.



**Figuur 6.10** Effect van de lichtbehandelingen op de bladoppervlakte van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

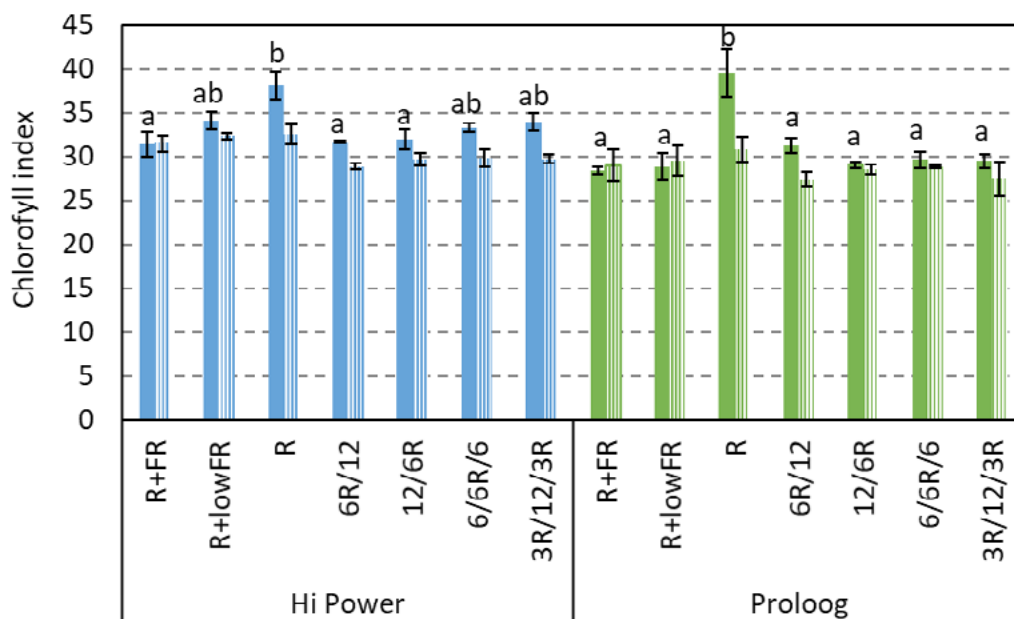
De lichtbenuttingsefficiëntie (light use efficiency, LUE) werd berekend op basis van de totale lichtsom van PAR licht en FR licht. Alleen voor Proloog waren er significante verschillen in LUE, al was het patroon voor Hi Power hetzelfde (Figuur 6.11). In Proloog had de behandeling met alleen rood licht (R) de laagste lichtbenuttingsefficiëntie, vergeleken met de behandeling met verrood licht (behalve 3R/12/3R).



**Figuur 6.11** Lichtbenuttingsefficiëntie (light use efficiency, LUE) van de verschillende lichtbehandelingen, berekend als biomassa per mol PAR+FR licht.

Na 21 dagen teelt was er een verschil in bladkleur te zien, zowel tussen behandelingen als tussen bladeren van een zelfde plant. Daarom werden de chlorofylgehalten gemeten aan blad nummer 6 en 13 (ongeveer 1 week ouder dan blad 6 geteld vanaf de top van de plant). De oudere bladeren, die er ook donkerder uitzagen dan de jongere bladeren hadden een hogere chlorofylindex dan de jongere bladeren. De metingen aan blad 13 lieten zien dat bladeren in de behandeling met alleen rood licht (R) een hogere chlorofylindex hadden dan in alle behandelingen met verrood licht (Figuur 6.12).

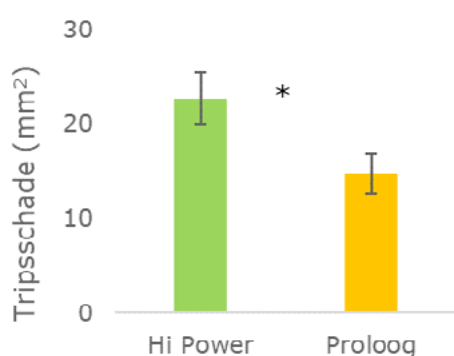




**Figuur 6.12** Effect van de lichtbehandelingen op de chlorofyll index van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De dichte kolommen geven de metingen aan aan blad 13, de gestreepte kolommen de metingen aan het jongere blad 6 geteld vanaf de top van de plant. De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

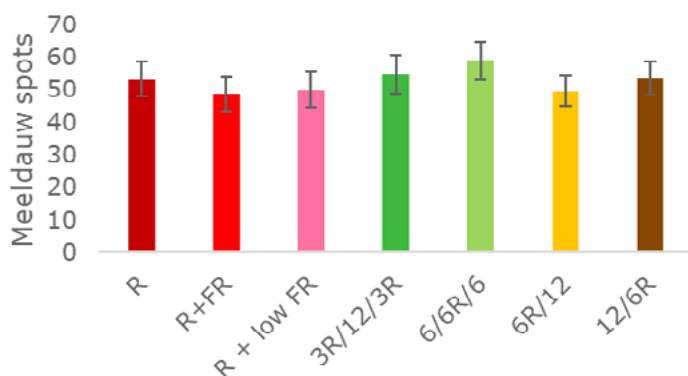
### 6.3.2.3 Biotoetsen

Het ras Hi Power vertoonde significant meer tripschade vergeleken met het ras Proloog (Figuur 6.13). Dit komt overeen met resultaten van eerdere komkommertoetsen met deze rassen. Ook de mate van trips aantasting is vergelijkbaar tussen deze twee toetsen. Er waren geen rasverschillen in botrytis en meeldauw infectie. Ook in de eerste komkommerproef (zie paragraaf 5.4.3) waren er geen ras verschillen voor botrytis aantasting, wel was het ras Hi Power gevoeliger voor meeldauw dan het ras Proloog. Dit verschil werd nu niet gevonden. Wellicht waren de sporen voor de meeldauwinfectie voor de eerste toets afkomstig van een net nieuw opgezette meeldauwkweek en was de infectie toen in het geheel minder sterk.



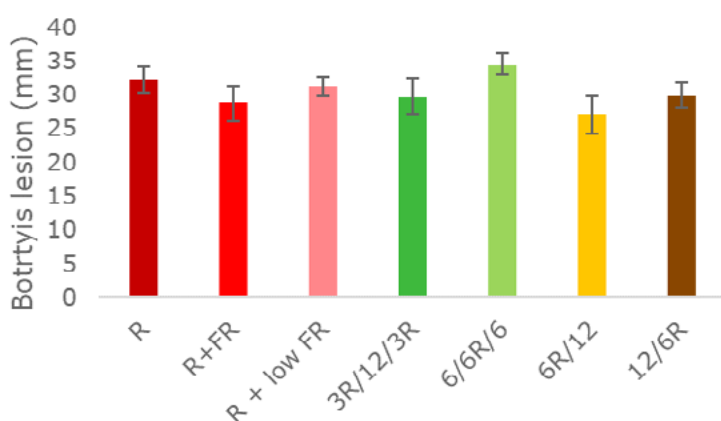
**Figuur 6.13** Effect van het ras op tripsschade. \* betekent significante verschillen bij  $p \leq 0.05$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

In tegenstelling tot de eerste komkommer toets vertoonde de behandeling met R geen verhoogde meeldauw aantasting. In beide rassen waren alle behandelingen even zwaar aangetast. De infectie was ongeveer drie keer zo hoog vergeleken met de eerste komkommer toets (zie paragraaf 5.4.3) (Figuur 6.14). Het lijkt dat bij zware aantasting het effect van FR behandeling op verlaging van meeldauw infectie, zoals eerder gezien bij het ras Proloog, niet effectief is. Vandaar dat een verlaging van FR ook geen effect liet zien. Dynamische spectra met alleen R en zonder FR hebben geen verlagend effect op meeldauw infectie.



**Figuur 6.14** Effect van de lichtbehandelingen op de meeldauw infectie. Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

Dynamische spectra met verschillende tijdsperioden van R en FR hadden geen effect op botrytis (Figuur 6.15). Dit is in overeenstemming met de resultaten uit de eerste komkommer toets. Het lijkt erop dat spectra waar alleen nachts R of FR gegeven wordt of dynamische spectra met een kortere R belichtingsperiode niet tot toename van een botrytis infectie leiden. De sterkte van infectie was vergelijkbaar met de eerste toets.



**Figuur 6.15** Effect van de lichtbehandelingen op de botrytis infectie. Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

Een significant effect van lichtbehandeling op trips is niet gevonden, wellicht was de variatie binnen de behandelingen ook in deze toets relatief hoog. Dit is in overeenkomst met de eerste toets.

Samenvattend op basis van de twee uitgevoerde komkommer toetsen lijkt het erop dat een nachtelijke behandeling van komkommer met FR meeldauw infectie kan verlagen, maar dat dit afhankelijk is van het ras en van de infectiedruk. Tegelijkertijd verhoogt een nachtelijke FR behandeling het risico van botrytis infectie niet, onafhankelijk of FR de hele nacht of een deel van de nacht gegeven wordt. Geen van de behandelingen had een effect op tripschade.

## 6.4 Conclusies

In de komkommerproef die beschreven staat in hoofdstuk 4 bleek dat het toevoegen van verrood licht aan het nachtspectrum een positief effect heeft op groei en productie. De vraag is in hoeverre dit verrode licht vooral effect heeft in de nacht, of dat het ook overdag nodig is als aanvulling op het lichtspectrum in aanwezigheid van zonlicht. Daarom is een vervolgonderzoek uitgevoerd waarbij gedurende de dag alleen belicht is met rood of verrood licht, en waarbij afwisselend met blokken van 3 of 6 uur rood en verrood licht werd belicht.

Uit de productiedata bleek dat er geen verschil in productie was tussen de behandelingen waarbij de hele belichtingsperiode 14 of 20  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  FR gegeven werd. De resultaten geven wel aan dat FR met name van belang is aan het begin van de belichtingsperiode (zonder zonlicht) en aan het einde van de belichtingsperiode (in aanwezigheid van natuurlijk zonlicht). Het verrode licht is van belang voor het bladoppervlak. Alle behandelingen met verrood licht (behalve continu 14  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  FR) hadden een aantoonbaar hoger bladoppervlak dan de behandeling met alleen rood licht (R). Het totale plantdrooggewicht was in de behandeling met alleen rood licht tot 25% lager dan in de andere behandelingen. Gemiddeld over de twee rassen was de totale biomassa-productie lager in de behandeling 3R/12/3R, waarbij verrood werd gegeven aan het einde van de nacht (zonder zonlicht) en begin van de dag (met zonlicht) dan in R+FR, hetgeen overeenstemt met de verschillen in productie tussen die behandelingen. De behandeling 6/6R/6, waarbij verrood licht aan het begin van de nacht en einde van de dag werd gegeven had een aantoonbaar hoger aandeel van de assimilaten in de vruchten vergeleken met de behandelingen met alleen rood licht (R), 3R/12/3R (FR einde nacht, begin van de dag) en 6R/12 (FR aan einde van de nacht en gedurende de dag).

Uit de biotoetsen blijkt dat een nachtelijke behandeling met FR meeldauw infectie kan verlagen, maar dat dit afhankelijk is van het ras en van de infectiedruk. Tegelijkertijd verhoogt een nachtelijke FR behandeling het risico van botrytis infectie niet, onafhankelijk of FR de hele nacht of een deel van de nacht gegeven wordt. Geen van de behandelingen had een effect op trips schade. Dat betekent dat het effect van FR in de nacht positief of neutraal is, maar niet negatief voor de gewasgezondheid.

De conclusie uit de plantmetingen is dat een komkommernewas gedurende de belichtingsperiode zeker een periode FR licht in het spectrum nodig heeft voor een goede groei en productie. Daarbij is het FR het meest effectief als het gedurende de hele belichtingsperiode gegeven wordt, of tenminste aan het begin van de belichtingsperiode (als er nog geen zonlicht is) en aan het einde van de belichtingsperiode (als het dag is).

## 7 Effect van verrood behandelingen op groei, weerbaarheid, en genexpressie in tomaat

### 7.1 Inleiding

In een aantal vruchtgroentegewassen is aangetoond dat het toevoegen van verrood licht aan het spectrum een positief effect heeft op bladstand, lichtonderschepping, aanmaak van assimilaten en verdeling daarvan naar de vruchten, en daarmee productie. Over het algemeen wordt het verrode licht dan gedurende de hele belichtingsperiode gegeven. De vraag is of dit altijd nodig is, zowel voor het gewas, als in het kader van het invullen van de meest energiezuinige belichtingsstrategie. In het experiment dat in dit hoofdstuk wordt beschreven, wordt getest wat de meest effectieve strategie is voor het gewas. Daartoe is onderzocht wat het effect is van het toepassen van verrood licht op verschillende momenten van de dag op de groei en plantweerbaarheid van tomatenplanten. Nu is het zo dat het effect van lichtbehandelingen pas bepaald kan worden, als de effecten op het gewas te zien zijn, wat dagen (strekking) of weken (productie, assimilatenverdeling) kan duren. Deze effecten op het gewas zijn het resultaat van complexe mechanismen die in de plant plaats vinden. Het meten van deze veranderingen met behulp van moleculaire technieken zou het mogelijk kunnen maken effecten van (licht)behandelingen in een vroeg stadium te bepalen en te voorspellen.

### 7.2 Teelt en behandelingen

In dit experiment wordt onderzocht hoe de toepassing van verrood licht op verschillende momenten van de dag en gedurende verschillende duren de groei, ontwikkeling en productie van tomatenplanten kan beïnvloeden, en wat het effect van deze lichtrecepten op plantweerbaarheid is. Om het effect van de behandelingen vroegtijdig te kunnen bepalen, kijken we ook naar de genen die betrokken zijn bij de weerbaarheid tegen ziekten en plagen en fysiologische processen zoals de genen die betrokken zijn in het suikermetabolisme. Om de genexpressie en het effect van de behandelingen goed te kunnen volgen, hebben we gekozen voor een teelt zonder zonlicht. Daarnaast wilden we het expressiepatroon van het gen over de dag volgen, daarom hebben we om praktische redenen voor de bemonstering gekozen voor een teelt met een daglengte van 12 uur.

Tabel 7.1

*Overzicht gegevens experiment tomaat.*

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gewas                         | Tomaat, geënt/getopte op de 2 <sup>de</sup> blad, 1 stengel per plant                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Rassen                        | Extension (onderstam Maxifort)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Zaaidatum                     | 9 september 2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Plantdatum (start experiment) | 22 oktober 2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Plantdichtheid                | Opkweek: 4 planten/m <sup>2</sup> , teeltfase: 2.5 planten/m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Teeltstrategie                | Op elke tafel (7,2 m <sup>2</sup> ) staan tomatenplanten op 2 rijen van 13 planten en twee planten in het midden. Op de eerste dag werden de planten gevaccineerd tegen het pepinomozaïekvirus met PMV-01. Na twee weken werden 10 planten per tafel bemonsterd en verwijderd. Vervolgens werden de overige 18 planten in twee rijen verdeeld en op steenwolmatten met een lengte van 1 meter geplaatst. De planten werden ondersteund door een draad verbonden aan een frame dat op tafel staat en de planten in een carrousel laat bewegen. Na 5 weken werden de bladeren gesnoeid tot een blad boven de eerste tros, na zes weken werden de bladeren gesnoeid tot de 2 <sup>e</sup> tros en drie weken later werden nog 5 bladeren weggehaald. Alle zij scheuten werden verwijderd. |
| Substraat en watergift        | Steenwolblokjes (Cutilene, Hr), eb- en vloedsysteem in de opkweekfase<br>Steenwolmatten (Grodan Vital), watergift via druppelaars                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Hoogte van het lampenplafond  | 1.85 m boven tafels                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Lichtintensiteit              | Gemiddeld 170 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (50 cm onder de lampen), na 8 november 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (86 cm onder de lampen)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Belichtingsduur               | 12 uur (7:00 tot 19:00 uur)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Lichtbehandelingen            | Zie schema hieronder                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Temperatuurinstellingen       | Start van de teelt: 20 dagen: 22/20°C (d/n), 15 dagen 24/18°C (d/n), 35 dagen 21/17°C (d/n).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Schermmstrategie              | Donkerdoek was permanent gesloten om zonlicht buiten te sluiten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| CO <sub>2</sub> concentratie  | 600 ppm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Einde experiment              | Destructieve oogst op 16 januari 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Tabel 7.2

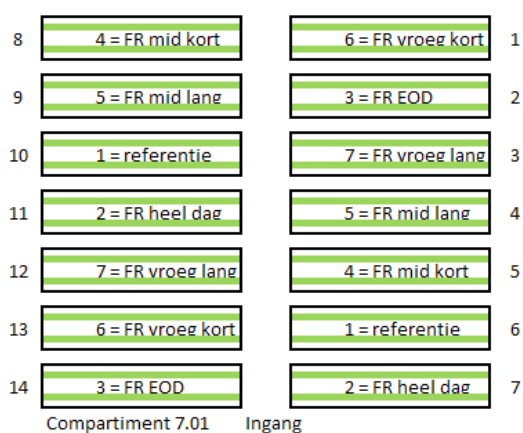
*Toegepaste lichtbehandelingen (in  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ).*

| Behandeling | Naam       | Blauw | Groen | Rood | FR (verrood) | PAR | Totaal |
|-------------|------------|-------|-------|------|--------------|-----|--------|
| 1           | Referentie | 30    | 10    | 160  | 0            | 200 | 100    |
| 2           | Met FR     | 30    | 10    | 160  | 40           | 200 | 140    |

Tabel 7.3

*Lichtsom per behandeling.*

| Behan-<br>deling | Naam          | Code   | Tijdstip RWB | Tijdstip<br>verrood | Dag periode<br>(uren) | FR ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) | DLI RWB<br>( $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ) | DLI verrood<br>( $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ) |
|------------------|---------------|--------|--------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                | Referentie    | R      | 7:00-19:00   | -                   | 12                    | 0                                          | 8.64                                            | -                                                   |
| 2                | FR hele dag   | FR     | 7:00-19:00   | 7:00-19:00          | 12                    | 40                                         | 8.64                                            | 1.73                                                |
| 3                | FR EOD        | FR EOD | 7:00-19:00   | 19:00-22:00         | 12 + 3u FR            | 40                                         | 8.64                                            | 0.43                                                |
| 4                | FR mid kort   | FR MK  | 7:00-19:00   | 13:00-14:00         | 12                    | 40                                         | 8.64                                            | 0.14                                                |
| 5                | FR mid lang   | FR ML  | 7:00-19:00   | 12:00-15:00         | 12                    | 40                                         | 8.64                                            | 0.43                                                |
| 6                | FR vroeg kort | FR VK  | 7:00-19:00   | 7:00-8:00           | 12                    | 40                                         | 8.64                                            | 0.14                                                |
| 7                | FR vroeg lang | FR VL  | 7:00-19:00   | 7:00-10:00          | 12                    | 40                                         | 8.64                                            | 0.43                                                |

**Figuur 7.1** Schematische weergave van de behandelingen over de tafels.

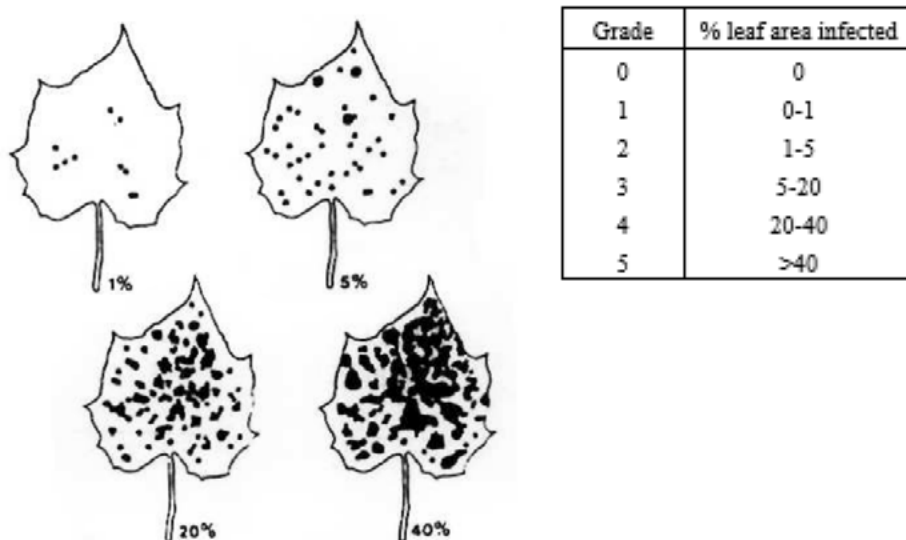
## 7.3 Metingen

### 7.3.1 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur,  $\text{CO}_2$  en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt, en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer.

### 7.3.2 Plantmetingen

Tijdens het experiment werd wekelijks van 8 planten per tafel stengellengte en stengeldiameter (20 cm onder de groei punt) gemeten. Deze metingen zijn uitgevoerd van 24 oktober 2019 tot 2 januari 2020. Het drooggewicht van geplukte bladeren werd bepaald. Aan het einde van het experiment werden drie van de acht planten van de wekelijkse metingen destructief geoogst. Stengellengte, totaal aantal bladeren, aantal bladeren onder de eerste tros, aantal bladeren tussen de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> tros, aantal trossen en aantal vruchten aan de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> tros werden bepaald. Drooggewichten van stengel, bladeren, 1<sup>e</sup> tros, 2<sup>e</sup> tros en de overige trossen werden gemeten. De eerste 3 volledig gestrekte bladeren geteld vanaf de top werden gescoord op het voorkomen van oedeem met behulp van de schaal in figuur 7.2.



**Figuur 7.2** Schaal gebruikt voor de beoordeling van oedeem (Wurmsn en Ah Chee, 2011).

### 7.3.3 Biotoeetsen meeldauw, botrytis en trips

Aan het einde van de vegetatieve fase (op 4 december 2019) zijn er bio-toetsen met bladponsjes uitgevoerd om de effecten van de verschillende lichtbehandelingen op ziekten en plagen te onderzoeken. Hiervoor zijn echte meeldauw als een obligaat biotroof, botrytis als een necrotroof en trips als plaaginsect gekozen. Voor elk biotoets zijn 10 planten per tafel willekeurig gekozen. Het derde of vierde gestrekte blad van boven is voor bemonstering genomen waarbij 3 afzonderlijke deelbladjes zijn gebruikt. De bladjes zijn in petrischalen met een bodemlaag van 1% wateragar gelegd om de ponsjes vers te houden. Vervolgens zijn de ponsjes met een concentratie van  $10^5$  sporen/ml meeldauw (*Oidium neolycopersicon*) of  $10^6$  sporen/ml botrytis (*Botrytis cinerea*) geïnoculeerd of met 5 adulte tripsen (*Frankliniella occidentalis*) geïnfecteerd. De petrischalen met de ponsjes zijn in een klimaatkamer bewaard bij 20°C en 65% RV. Zes dagen na inoculatie is de botrytis schade als diameter van de verbruining met behulp van een schuifmaat gemeten en 6 dagen na inzetten is de tripsschade visueel als doorschijnende zilverschade in mm<sup>2</sup> gemeten. De meeldauw infectie is 13 dagen na inoculatie als aantal meeldauw spots gemeten. Data zijn met een een-factoriele ANOVA met lichtbehandelingen als factor geanalyseerd.

### 7.3.4 Genexpressie

In dit onderzoek is genexpressie analyse uitgevoerd op bladmonsters van tomatenplanten doormiddel van qPCR (quantitative Polymerase Chain Reaction). Na twee weken behandeling werden tomatenbladeren verzameld voor genexpressie op verschillende tijdstippen van de dag, te weten 7:00; 10:00; 13:00; 16:00 en 19:00 uur. Op ieder tijdstip werden er steeds van twee planten per tafel twee deelblaadjes genomen van het bovenste volledig uitgestrekte blad. Deze werden vervolgens bij elkaar gevoegd. Een meetmonster bestond dus uit in totaal vier deelblaadjes. De planten zijn slechts één keer bemonsterd en vervolgens aan het einde van de bemonsteringsdag van de tafel gehaald. Elk monster werd onmiddellijk in vloeibare stikstof gebracht en bij -80 °C bewaard.

Voor de RNA extractie werden de monsters gevriesdroogd bij -55 ° C bij 0,05 mbar gedurende 48 uur. Gevriesdroogd bladmateriaal werd overgebracht naar 1,5 ml Eppendorfs en verpulverd tot een fijn poeder. Daarna werd 20 mg fijn plantmateriaal overgebracht naar een andere set Eppendorfs. Vervolgens werden monsters behandeld volgens de RNeasy Minikit (Qiagen). De gebruikte lysisbuffer was de RLC-buffer met 10 µL β-Mercaptoethanol / 1 ml RLC. De kwaliteit en concentratie van RNA werd bepaald met een spectrofotometer. Daarnaast werd de kwaliteit van het RNA ook beoordeeld door een aliquot op een agarose gel te runnen en te kleuren met ethidiumbromide. Daarna werd een aliquot van 0,8 µg gebruikt voor de cDNA-synthese met de Quantitect Reverse Transcription Kit (Qiagen, volgens de fabrikant protocol). qPCR reacties zijn uitgevoerd met een CFX Connect™ Real-Time PCR Detection System in combinatie met SYBR® Green qPCR mix en resultaten zijn geanalyseerd met behulp van CFX Maestro™ software (allen Bio-Rad, Hercules, CA, USA). Expressie van target genen (t.o.v. expressie referentie gen *UBI3*) is berekend met de  $\Delta\Delta C_t$  methode (Livak and Schmittgen, 2001). De primers die gebruikt zijn staan in tabel 7.4 en zijn allemaal eerder gebruikt in gepubliceerd onderzoek (zie kolom 'Bron').

Tabel 7.4

Primers gebruikt voor genexpressie analyse.

| Gen (ID)                                    | Bron                     | Forward primer          | Reverse primer         |
|---------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Referentie: <i>UBI3</i><br>(Solyc01g056940) | Liu <i>et al.</i> 2017   | GCCGACTACAACATCCAGAAGG  | TGCAACACAGCGAGCTTAACC  |
| <i>HY5</i><br>(Solyc08g061130)              | Liu <i>et al.</i> 2017   | AGCTGGGACTCAAAGGAAGA    | TCTTCCTCTCCCTTGCTTGT   |
| <i>YUC8</i><br>(Solyc06g008050)             | Zhang <i>et al.</i> 2018 | ACATCTTCCACCCTCTCTTTACT | TGAAAGCAGAACACGGGC     |
| <i>NPR1</i><br>(Solyc10g079750)             | He <i>et al.</i> 2020    | GCGATATTCCAACCTATA      | TAGATTCAAATACACCATTC   |
| <i>PPO-D</i><br>(Solyc08g074680)            | Alba <i>et al.</i> 2015  | GCCCAATGGAGCCATATC      | ACATTCGATCCACATTGCTG   |
| <i>JIP-21</i><br>(Solyc03g098790)           | Alba <i>et al.</i> 2015  | ACTCGTCCTGTGCTTTGTCC    | CCCAAGAGGATTTTCGTTGA   |
| <i>SWEET11</i><br>(Solyc03g097870)          | Feng <i>et al.</i> 2015  | CTACGCACCAAAGAAAGCCAG   | GTCTCACAATGCCTAAGGGAGC |
| <i>SWEET12</i><br>(Solyc03g097590)          | Feng <i>et al.</i> 2015  | ACCAAACAAAGCCAGGGTCC    | TCTCACAATGCCTAAGGGTGC  |

## 7.4 Resultaten experiment tomaat

### 7.4.1 Klimaat

Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas was 20.8 ° C, 75% RV en 591 ppm CO<sub>2</sub> voor de periode 22 oktober tot en met 16 januari. In tabel 7.5 staan de gerealiseerde etmaaltemperaturen, relatieve luchtvochtigheid en CO<sub>2</sub> gemiddeld per teeltmaand.



Tabel 7.5

Gerealiseerde etmaal temperaturen, relatieve luchtvochtigheid en CO<sub>2</sub> per teeltmaand.

| Periode         | Etmaal temperatuur | RV | CO <sub>2</sub> |
|-----------------|--------------------|----|-----------------|
| 22 okt – 22 nov | 21.5               | 71 | 597             |
| 22 nov – 22 dec | 21.4               | 75 | 593             |
| 22 dec – 16 jan | 19.2               | 79 | 584             |

## 7.4.2 Gewasgroei en ontwikkeling

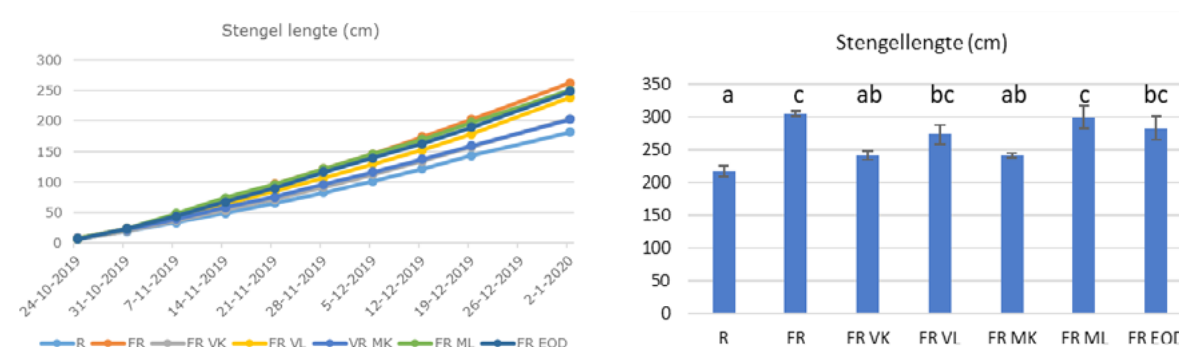
### 7.4.2.1 Stengellengte

Op 8 november 2019, 2 weken na aanvang van de behandelingen, vond de eerste bemonstering plaats en werden 10 planten per tafel verwijderd (zie figuur 7.3). Al na twee weken was een duidelijk effect van de verrode behandeling op de plantlengte zichtbaar. De planten in de behandelingen met de hele dag verrood, en FR ML, waarbij FR gedurende drie uur midden op de dag werd gegeven, waren het meest gestrekt.

Dit effect werd ook teruggevonden bij de destructieve eind oogst (Figuur 7.4). De planten uit de FR hele dag, FR vroeg lang, FR midden lang en FR EOD waren aantoonbaar langer dan de referentie behandeling. Bij de FR hele dag behandeling werd FR 12 uur gegeven, bij de andere drie behandelingen slechts 3 uur. Dit geeft aan dat het mogelijk is om een zelfde effect te bereiken met een kortere duur van FR belichting. Er was geen aantoonbaar verschil in plantlengte tussen FR vroeg lang, FR midden lang en FR EOD. Dit geeft aan dat het moment van belichten met FR geen invloed heeft op de strekking (figuur 7.4).



**Figuur 7.3** Representatief beeld van één tomatenplant per behandeling na twee weken kweken. FR MK: FR midden kort, FR ML: FR midden lang, R: referentie, FR: FR hele dag, FR VL: FR vroeg lang, FR VK: FR vroeg kort, FR EOD: FR Einde van de dag.



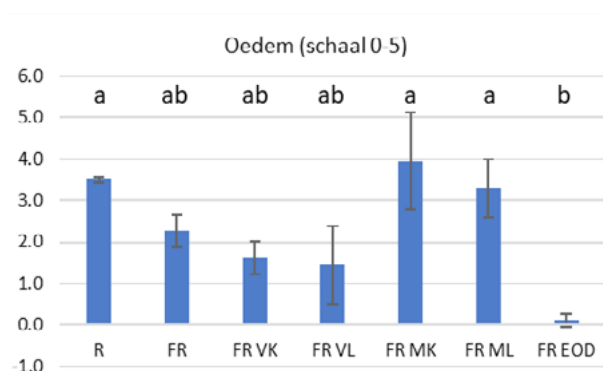
**Figuur 7.4** Effect van de behandelingen op de stengellengte: wekelijkse metingen (links) en aan het einde van de teelt (rechts), (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. FR VK: FR vroeg kort, FR EOD: FR Einde van de dag, FR VL: FR vroeg lang, FR ML: FR midden lang, FR MK: FR midden kort, R: referentie, FR: FR hele dag. Verschillende letters geven significante verschillen aan ( $p < 0.05$ ).

#### 7.4.2.2 Oedeem

Tijdens de teelt werd de vorming van oedeem op de bladeren waargenomen, leidend tot verdroging en afsterven van het blad. Tijdens de destructieve oogst werd de omvang van het oedeem op de planten beoordeeld. Hiervoor werden de drie volgroeide bladeren vanaf de top gescoord met een schaal van 0-5 (Figuur 7.5). De mate van oedeem werd beïnvloed door de lichtbehandelingen. Het toevoegen van FR aan het lichtspectrum (NB: in deze proef werd het zonlicht volledig weggeschermd, dus de planten ontvingen alleen het lichtspectrum van de LEDs), verminderde het optreden van oedeem (Figuur 7.6). Op basis van de score van oedeem, bleek dat wanneer FR in de ochtend gegeven werd, het optreden van oedeem verminderde naar 1.6 en 1.4 voor FR vroeg kort en FR vroeg lang respectievelijk, vergeleken met 3.5 voor de referentie. Verreweg de minste oedeem was te zien in de behandeling FR EOD, waar de score gemiddeld 0.1 was.



Figuur 7.5. Schaal om oedeemsymptomen te scoren. Van 0 (geen oedeem zichtbaar) tot 5 (ernstige symptomen met dode bladeren).



**Figuur 7.6.** Effect van de behandelingen op de oedeem. Links: Gemiddeld oedeem symptomen op de drie volgroeide bladeren vanaf de top (links) ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters betekenen significante verschillen ( $p<0.05$ ). Rechts: Representatief beeld van één tomatenplant per behandeling aan het einde van de teelt.

#### 7.4.2.3 Plantontwikkeling

Het aantal bladeren onder de eerste tros, het aantal bladeren tussen de eerste en tweede tros en het totale aantal trossen verschilden niet tussen de behandelingen. Het enige significante verschil was het totaal aantal aangelegde bladeren, dat lager was voor de referentie en voor de behandeling FR MK dan voor FR en FR VK (tabel 7.6)

**Tabel 7.6***Aantal bladeren en trossen.*

| Behandelingen | Aantal bladeren     | Aantal bladeren onder eerste tros | Aantal bladeren tussen eerste en tweede tros | Aantal trossen |
|---------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------|
| R             | 33.2 <sup>a</sup>   | 7.0                               | 3.0                                          | 9.8            |
| FR            | 37.5 <sup>d</sup>   | 7.3                               | 3.3                                          | 10.8           |
| FR VK         | 36.8 <sup>cd</sup>  | 7.5                               | 3.0                                          | 9.8            |
| FR VL         | 35.3 <sup>bc</sup>  | 7.2                               | 3.2                                          | 10.0           |
| FR MK         | 34.5 <sup>ab</sup>  | 7.2                               | 2.8                                          | 9.5            |
| FR ML         | 36.3 <sup>bcd</sup> | 7.2                               | 2.7                                          | 10.2           |
| FR EOD        | 36.5 <sup>bcd</sup> | 6.8                               | 3.0                                          | 9.5            |

**7.4.2.4 Productiefase**

Aan het einde van het experiment waren de vruchten nog niet rijp, daarom zijn er geen productiegegevens, maar wel gegevens van de eerste twee trossen (Tabel 7.7). In de praktijk zouden deze trossen gesnoeid zijn tot vijf vruchten per tros. Dit is in ons experiment niet gedaan, zodat het aantal vruchten per tros verschilde tussen behandelingen. De gewichten van de eerste en tweede tros bleken niet aantoonbaar te verschillen tussen de behandelingen (Tabel 7.7).

**Tabel 7.7***Effect van de behandelingen op het gemiddeld vruchtgewicht (g) van de eerste en tweede tros (n=2).*

| Behandeling | Aantal vruchten 1 <sup>e</sup> tros | Gemiddeld vruchtgewicht 1 <sup>e</sup> tros | Aantal vruchten 2 <sup>e</sup> tros | Gemiddeld vruchtgewicht 2 <sup>e</sup> tros |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| R           | 9.3                                 | 73.2                                        | 8.2                                 | 57.7                                        |
| FR          | 11.0                                | 74.8                                        | 9.8                                 | 58.0                                        |
| FR VK       | 10.0                                | 73.4                                        | 8.8                                 | 58.4                                        |
| FR VL       | 10.0                                | 67.6                                        | 9.5                                 | 59.2                                        |
| FR MK       | 9.2                                 | 68.5                                        | 9.3                                 | 55.8                                        |
| FR ML       | 10.8                                | 60.8                                        | 9.8                                 | 49.5                                        |
| FR EOD      | 9.3                                 | 72.9                                        | 9.0                                 | 51.9                                        |

Aan het einde van de proef werden de planten destructief geoogst, en werden drooggewichten van de stengels, bladeren en vruchten gemeten. Totale plantbiomassa werd bepaald door het drooggewicht van de bladeren die tijdens de teelt geplukt waren hierbij op te tellen, en de verdeling van de biomassa over de verschillende organen werd berekend (Tabel 7.8). De assimilatenverdeling werd mede bepaald door het optreden van oedeem tijdens de proef, wat in sommige behandelingen ernstiger was dan in anderen. Dit was bijvoorbeeld het geval voor de behandeling FR EOD, die significant verschilde van de referentie (Figuur 7.6). In de andere behandelingen waren oedeemsymptomen niet significant verschillend. Het totale plantgewicht was het hoogste voor de behandeling waarbij verrood licht de hele dag werd gegeven (Tabel 7.8). Deze behandeling resulteerde in een groter aandeel van de biomassa in de stengel en vruchten, ten koste van het aandeel drooggewicht in de bladeren (tabel 7.8). De totale hoeveelheid verrood licht dat planten per dag ontvingen was bij deze behandeling hoger ( $1.73 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ ) dan bij de andere behandelingen met verrood licht. De totale biomassa in de behandelingen FR VK, FR VL, FR MK en FR ML was niet significant verschillend van de referentie. Bovendien was voor FR VK en FR MK de verdeling van de biomassa over de organen ook niet significant verschillend van de behandeling met alleen rood licht. In de planten die de FR VL en FR ML behandelingen ontvingen, waar gedurende 3 uur verrood licht werd toegediend, was het aandeel van de vruchten in de totale biomassa het grootst, ten koste van de bladeren. Dit suggereert dat drie uur FR belichting en/of  $0.43 \text{ mol/m}^2/\text{d}$  voldoende is om de droge stof verdeling tussen bladeren en vruchten te beïnvloeden. Het moment van de dag waarop de FR belichting wordt gegeven, lijkt geen invloed te hebben op de droge stof verdeling.

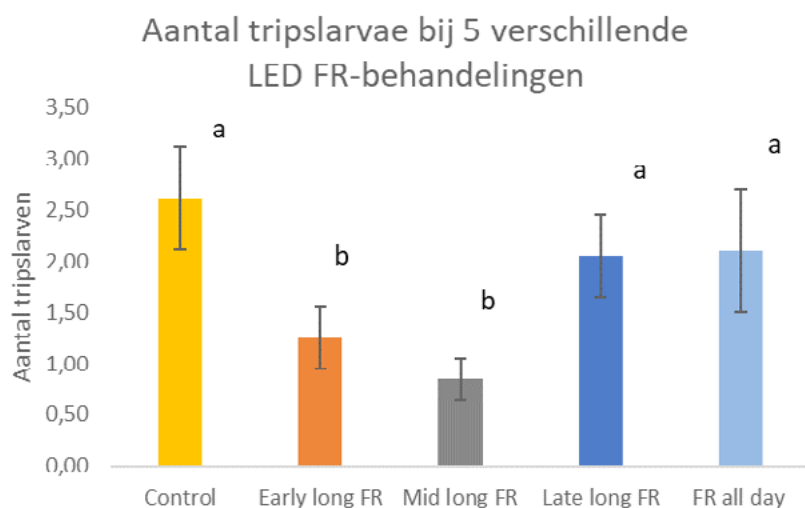
**Tabel 7.8**

*Effect van de lichtbehandelingen op het totale plant drooggewicht (inclusief gesnoeide bladeren) bepaald bij de destructieve eind oogst op 16 januari 2020, en de verdeling van deze biomassa over de bladeren, stengel en vruchten/trossen ( $n=2$ ). Verschillende letters geven significante verschillen aan.*

| Behandelingen | Totale biomassa (g/plant) | Aandeel in bladeren (%) | Aandeel in stengel (%) | Aandeel in vruchten (%) | Oedeem (Schaal)   |
|---------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| R             | 186.7 <sup>abc</sup>      | 43.7 <sup>a</sup>       | 46.3 <sup>a</sup>      | 9.9 <sup>a</sup>        | 3.5 <sup>a</sup>  |
| FR            | 216.3 <sup>d</sup>        | 37.1 <sup>c</sup>       | 49.9 <sup>c</sup>      | 12.9 <sup>b</sup>       | 2.3 <sup>ba</sup> |
| FR VK         | 204.1 <sup>cd</sup>       | 43.2 <sup>a</sup>       | 46.3 <sup>a</sup>      | 10.5 <sup>a</sup>       | 1.6 <sup>ba</sup> |
| FR VL         | 196.7 <sup>bc</sup>       | 40.6 <sup>b</sup>       | 47.0 <sup>a</sup>      | 12.4 <sup>b</sup>       | 1.4 <sup>ba</sup> |
| FR MK         | 172.5 <sup>a</sup>        | 42.1 <sup>ab</sup>      | 47.0 <sup>a</sup>      | 10.9 <sup>a</sup>       | 3.9 <sup>a</sup>  |
| FR ML         | 184.2 <sup>ab</sup>       | 40.7 <sup>b</sup>       | 45.5 <sup>ab</sup>     | 13.8 <sup>b</sup>       | 3.3 <sup>a</sup>  |
| FR EOD        | 200.4 <sup>bcd</sup>      | 42.8 <sup>ab</sup>      | 44.4 <sup>b</sup>      | 12.8 <sup>b</sup>       | 0.1 <sup>b</sup>  |

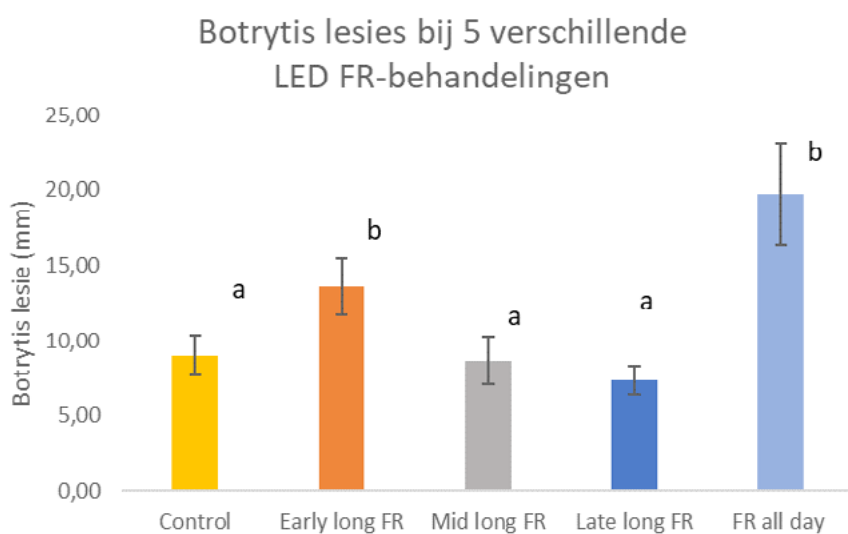
#### 7.4.3 Biotoetsen

Er is tijdens het experiment geen trips schade geconstateerd. Wel werd geconstateerd dat relatief veel tripsen "klompvoetjes" vertoonden, een soort verzameling van verbruinde klompjes aan hun poten, wat mogelijk tot een hoge trips sterfte leidde. De trips larven die gevonden werden, werden geteld. Op de planten die waren behandeld met 3 uur FR in de ochtend of in de middag werden significant minder larven waargenomen dan op de planten die de controle en de andere FR-behandelingen ontvingen (Figuur 7.7). Hoewel de seks-ratio in een tripskweek gewoonlijk ten gunste van de vrouwtjes verschoven is, zijn hier niet alleen vrouwtjes ingezet en was hun leeftijd niet gestandaardiseerd.



**Figuur 7.7** Effect van de lichtbehandelingen op het aantal tripslarvae per ras. Data tonen gemiddelden met standaardfout. Verschillende letters betekenen significante verschillen ( $p < 0.05$ ).

De behandelingen met FR gedurende de hele dag en met 3 uur FR in de ochtend leidden tot een significante toename van botrytis lesies. Een behandeling van 3 uur FR in de middag of in de avond had geen significant effect op de botrytis aantasting (Figuur 7.8).



**Figuur 7.8** Effect van de lichtbehandelingen op de botrytis infectie. Data tonen gemiddelden met standaardfout. Verschillende letters betekenen significante verschillen ( $p < 0.05$ ).

Uit deze resultaten blijkt dat 3 uur verrood licht in de ochtend leidt tot een toename in botrytis schade, maar dat dit niet het geval is indien de 3 uur verrood licht in de middag of in de avond wordt gegeven. Behandeling met FR kan de gewasopbrengst verhogen maar leidt in de meeste gevallen tot een toename van botrytis infectie. In tomaat is aangetoond dat dit wordt veroorzaakt door een verminderde reactiviteit van de jasmonzuur afweerroute, die voor botrytis als necrotrofe schimmel belangrijk is. Afname van de jasmonzuur concentratie, als ook inactivatie van fytochroom B, leiden tot een toename van oplosbare suikers in de bladeren en een betere voeding van de botrytis schimmel (Courbier *et al.* 2020). Fytochroom B wordt door rood licht geactiveerd en door FR omgezet in een inactieve vorm. Door een FR behandeling vroeg in de ochtend wordt de nacht verlengd zodat geen actief fytochroom B meer aanwezig is. Vandaar dat een behandeling met FR in de ochtend tot een toename in botrytis leidt in tegenstelling tot een behandeling in de middag en de avond. Door de behandelingsduur met FR te verkorten en deze 's middags of 's avonds te geven lijkt het dat een verhoging van de gewasproductie bereikt kan worden zonder de botrytis infectie te verhogen.

Hoewel de gemiddelde kiemingspercentage voor meeldauw inoculatie 50% was (4 herhalingen), werd er in geen van de behandelingen meeldauwinfectie gevonden.

#### 7.4.4 Genexpressie

Uit de meetresultaten blijkt dat verrood licht effect heeft op processen als stengelstrekking, droge stof verdeling en de gevoeligheid van tomaat voor botrytis. Deze effecten van verrood licht zijn mogelijk het gevolg van veranderingen in expressie van genen die een rol spelen in onderliggende fysiologische processen in de plant zoals bijvoorbeeld celstrekking of het aan-/uitschakelen van de planteigen afweer. Zo is bijvoorbeeld bekend dat verrood licht van invloed is op hypocotyl lengte omdat het de expressie van genen kan beïnvloeden die een rol spelen bij celstrekking (zie bijvoorbeeld Mizuno *et al.* 2015).

Om het effect van verrood licht op genexpressie te bepalen zijn op verschillende tijdstippen op de dag bladmonsters genomen van planten die een controle behandeling (R) of de hele dag verrood licht behandeling (FR) ontvingen. Genexpressie is steeds in twee bladmonsters per behandeling per tijdstip geanalyseerd (twee herhalingen) doormiddel van qPCR. De variatie tussen de herhalingen bleek soms groot. Daarom tonen de grafieken losse datapunten en geen gemiddelden.

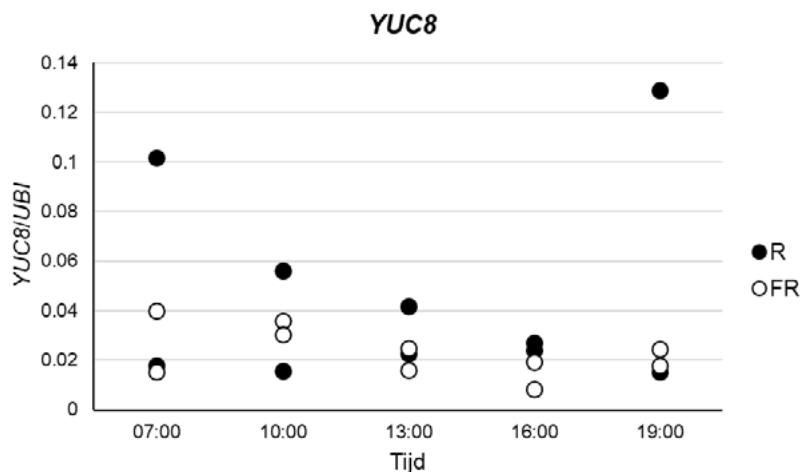
Door genexpressie te analyseren hopen we:

- Inzicht te krijgen in de oorzaken/onderliggende mechanisme van geobserveerde verandering in het gewas onder invloed van toegevoegd verrood licht.
- te kunnen bepalen of genexpressie gebruikt kan worden om het effect van een lichtbehandeling (op een specifiek tijdstip) op het gewas te kunnen voorspellen.

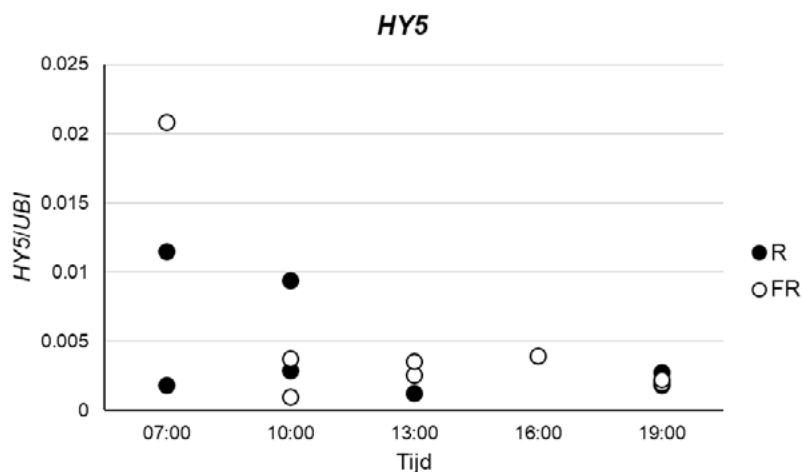
Omdat het niet mogelijk is om expressie van alle genen van tomaat te bestuderen zijn er op basis van de resultaten van de plantmetingen een aantal genen geselecteerd die betrokken zijn bij celstrekking, suikertransport en weerbaarheid.

De genen *YUC8* en *HY5* zijn beiden betrokken bij celstrekking. *YUC8* codeert een enzym dat betrokken is bij aanmaak van het strekkingshormoon auxine. Een verhoogde expressie van *YUC8* is daarom een indicatie voor strekking (Rosado *et al.* 2019). In tegenstelling tot *YUC8* is verhoogde expressie van *HY5* een indicatie voor minder strekking. *HY5* codeert een belangrijk regeleiwit (transcriptiefactor) dat o.a. strekking remt door auxine synthese en signalering te remmen.

In de figuren 7.9 en 7.10 staan de resultaten van de genexpressieanalyse van respectievelijk *YUC8* en *HY5*. Door de variatie tussen de herhalingen is het moeilijk conclusies trekken over het effect van de FR behandeling op genexpressie. In sommige bladmonsters lijkt expressie van *YUC8* hoger onder de controle behandeling (Figuur 7.9). Dit is tegen de verwachting in aangezien de langere stengels onder FR (Figuur 7.4) duiden op meer strekking, en een mogelijk hogere expressie van *YUC8*. Daarnaast was de verwachting dat *HY5* expressie in bladmonsters van planten die de FR behandeling ontvingen lager zou zijn dan in de controle planten. Dit wordt ook niet ondersteund door de resultaten (Figuur 7.10).



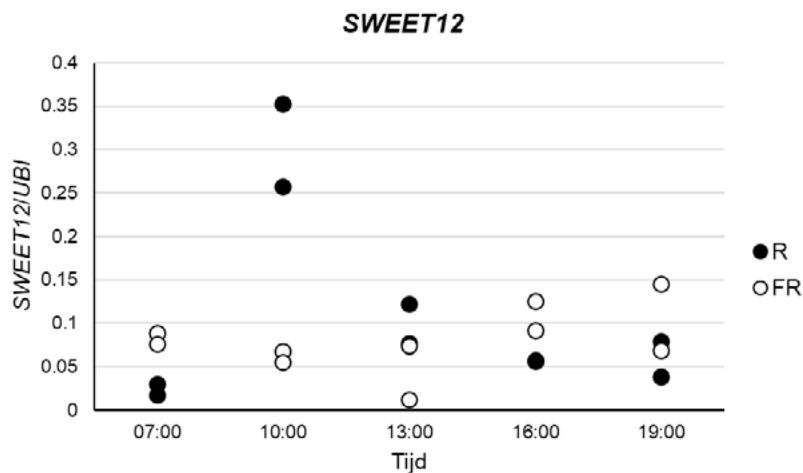
**Figuur 7.9** Effect van het verrood licht (FR) op de genexpressie van YUC8. Datapunten tonen expressie van YUC8 relatief t.o.v. expressie UBI (referentiegen) in bladmonsters genomen op verschillende tijdstippen. Per behandeling zijn voor ieder tijdstip twee bladmonsters geanalyseerd.



**Figuur 7.10** Effect van het verrood licht (FR) op de genexpressie van HY5. Datapunten tonen expressie van HY5 relatief t.o.v. expressie UBI (referentiegen) in bladmonsters genomen op verschillende tijdstippen. Per behandeling zijn voor ieder tijdstip twee monsters geanalyseerd.

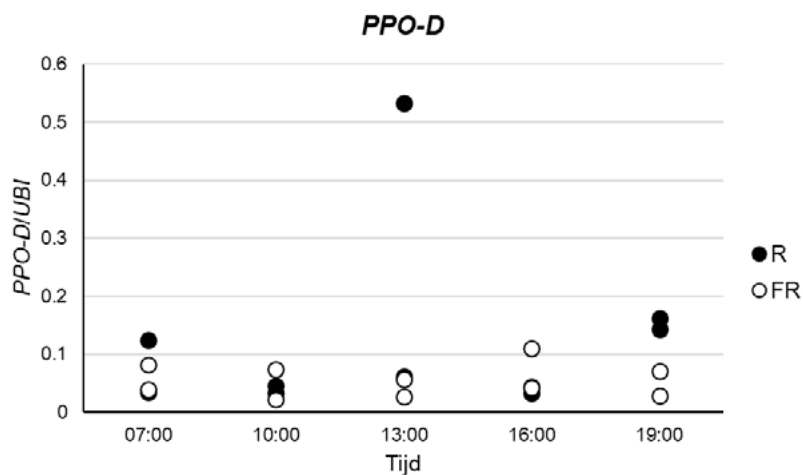
Uit de resultaten in tabel 7.8 blijkt dat in planten die minstens 3 uur lang verrood licht ontvingen de vruchten een groter aandeel van de totale biomassa vormden, wat ten koste van de biomassa van de bladeren ging, dan in planten die geen of maar een uur verrood licht ontvingen. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een toename in transport van suikers vanuit bladeren naar de vruchten. Een gen dat betrokken is bij dit proces is *SWEET12*. Dit gen codeert een suiker transporter eiwit dat betrokken is bij de export van suikers uit blad, zodat het daarna naar de vruchten kan worden getransporteerd. Verhoogde expressie van *SWEET12* is dus mogelijk een indicatie van een toename in transport van suikers van bladeren naar vruchten.

Uit de resultaten in figuur 7.11 blijkt dat op sommige tijdstippen *SWEET12* expressie in FR behandelde planten inderdaad iets verhoogd is, maar om 10:00 uur is deze juist veel lager. Het effect van FR op expressie van *SWEET12* lijkt dus afhankelijk van het moment op de dag. Dit in tegenstelling tot het effect van FR op droge stof verdeling, waarbij de verdeling verschuift ten gunste van de vruchten, ongeacht het moment van de dag dat FR wordt toegepast.



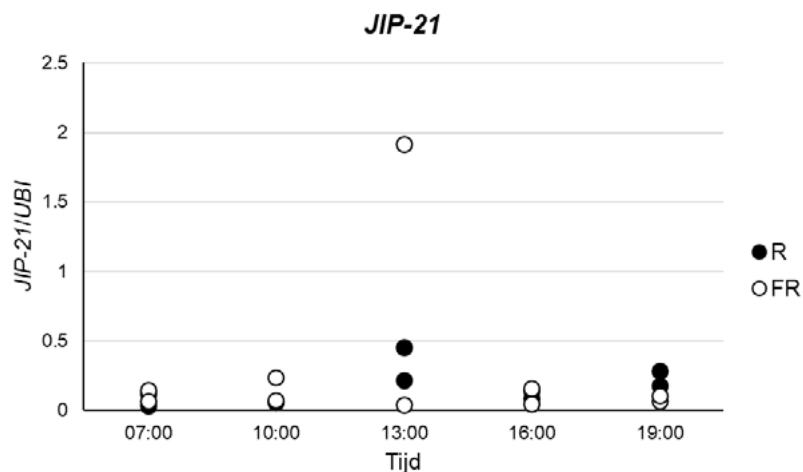
**Figuur 7.11** Effect van het verrood licht (FR) op de genexpressie van SWEET12. Datapunten tonen expressie van SWEET12 relatief t.o.v. expressie UBI (referentiegen) in bladmonsters genomen op verschillende tijdstippen. Per behandeling zijn voor ieder tijdstip twee monsters geanalyseerd.

De resultaten in figuur 7.8 duiden erop dat het toedienen van verrood licht in de ochtenduren de plant gevoeliger maken voor botrytis. Dit hangt mogelijk samen met een verminderde jasmonzuur productie of signaleringsactiviteit en/of een hoger suikergehalte in het blad. Als indicatie voor activiteit van de jasmonzuur afweeroute hebben we gekeken naar de expressie van twee genen waarvan is aangetoond dat hun expressie vaak wordt gestimuleerd als de jasmonzuur afweeroute wordt aangeschakeld: *PPO-D* (Polyphenol-oxidase-D) en *JIP-21* (Jasmonate-inducible protein 21) (Alba *et al.* 2015). Het effect van de FR behandeling op expressie van zowel *PPO-D* (Figuur 7.12) en *JIP-21* (Figuur 7.13) lijkt over het algemeen zeer beperkt en duiden niet direct op een sterke onderdrukking van de jasmonzuur afweeroute in de ochtend of op enig ander moment van de dag. Opvallend zijn de afwijkende genexpressieniveaus in enkele monsters om 13:00 genomen. Hier is geen duidelijke verklaring voor.



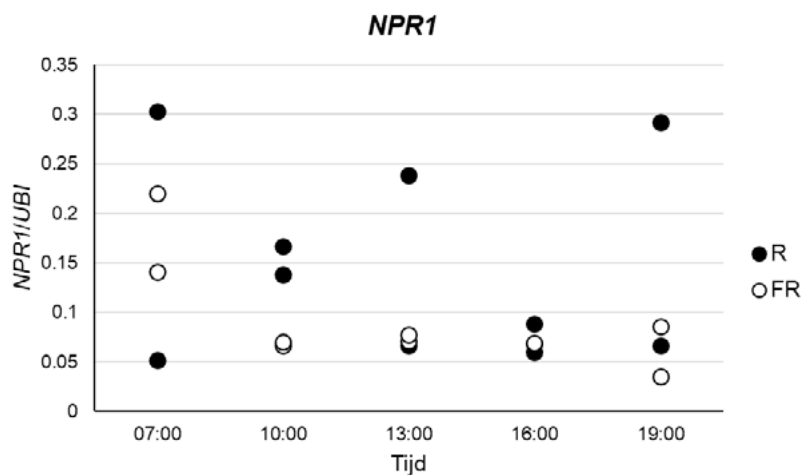
**Figuur 7.12** Effect van het verrood licht (FR) op de genexpressie van PPO-D. Datapunten tonen expressie van PPO-D relatief t.o.v. expressie UBI (referentiegen) in bladmonsters genomen op verschillende tijdstippen. Per behandeling zijn voor ieder tijdstip twee monsters geanalyseerd.





**Figuur 7.13** Effect van het verrood licht (FR) op de genexpressie van JIP-21. Datapunten tonen expressie van JIP-21 relatief t.o.v. expressie UBI (referentiegen) in bladmonsters genomen op verschillende tijdstippen. Per behandeling zijn voor ieder tijdstip twee monsters geanalyseerd.

Tot slot hebben we naar de expressie van *NPR1* gekeken in de bladmonsters. De expressie van dit gen geeft een indicatie van de activiteit van de salicylzuur (SA) afweerroute, die een belangrijke rol speelt in de reactie op biotrofe ziekteverwekkers zoals meeldauw en roest (Alba *et al.* 2015). In Figuur 7.14 is te zien dat er soms grote variatie zit in expressie van het gen tussen de herhalingen, wat het lastig maakt om conclusies aan deze resultaten te verbinden. Wel is voor enkele tijdstippen de expressie van *NPR1* hoger in één of beide bladmonsters van de planten die geen verrood licht ontvingen (controle; R), wat er op zou kunnen duiden dat onder deze lichtcondities de SA afweerroute sterker geactiveerd is.



**Figuur 7.14** Effect van het verrood licht (FR) op de genexpressie van NPR1. Datapunten tonen expressie van NPR1 relatief t.o.v. expressie UBI (referentiegen) in bladmonsters genomen op verschillende tijdstippen. Per behandeling zijn voor ieder tijdstip twee monsters geanalyseerd.

## 7.5 Conclusies

Met de experimenten beschreven in dit hoofdstuk is onderzocht wat het effect is van het toepassen van verrood licht op verschillende momenten van de dag op de groei en plantweerbaarheid van tomatenplanten. Daarnaast is het effect hiervan op expressie van verschillende genen die betrokken zijn bij onderliggende plantprocessen geanalyseerd. Dit laatste met het doel om meer inzicht te krijgen in de mechanismen via welke verrood licht op bepaalde momenten van de dag plantgroei en weerbaarheid beïnvloed en om te onderzoeken of het mogelijk is om effecten van lichtbehandelingen op plantgroei en weerbaarheid te kunnen voorspellen op basis van genexpressie.

Onze resultaten laten zien dat toepassen van verrood licht resulteert in tomatenplanten met langere stengels. Hierbij lijkt het niet uit te maken op welk moment van de dag het verrode licht wordt toegepast, maar de hoeveelheid maakt wel uit. Het toedienen van 40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  verrood licht gedurende 1 uur, ongeacht het moment van de dag, resulteerde namelijk niet in langere stengels. Daarentegen zorgde toedienen van 40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  verrood licht gedurende de hele dag of 3 uur, ongeacht het moment van de dag, wel in planten met langere stengels. Opvallend hierbij was dat er geen verschil was in stengellengte tussen planten die 3 uur lang verrood licht ontvingen en planten die de hele dag verrood licht ontvingen. Toedienen van verrood licht resulteerde ook in een verandering in de verdeling van biomassa ten gunste van de vruchten (deze vormde een groter deel van de totale plant biomassa). Net als bij het effect van verrood op strekking lijkt de hoeveel verrood licht die wordt toegepast hierbij van belang, en niet het moment waarop het wordt toegepast. Het effect van verrood op biomassa verdeling werd namelijk alleen geconstateerd in planten die de hele dag, of gedurende 3 uur verrood licht ontvingen, ongeacht het moment.

Toepassen van verrood licht bleek ook effect te hebben op de vorming van oedeem en de weerbaarheid tegen botrytis. Hierbij bleek het moment van de dag waarop verrood licht wordt toegepast wel degelijk van belang. Zo vertoonden planten die verrood licht aan het einde van de dag ontvingen nauwelijks oedeemschade. Verrood licht toedienen in de ochtend, maar niet midden op de dag, resulteerde in minder oedeemschade dan controle condities zonder verrood licht. Daarentegen bleek de toepassing van verrood licht in de ochtend juist een negatief effect te hebben op de weerbaarheid van planten tegen botrytis.

Van een aantal genen is de expressie geanalyseerd in bladmonsters van planten die gedurende de hele dag verrood licht ontvingen en van planten die geen verrood licht ontvingen (controle). De variatie tussen de herhalingen maakt het vaak moeilijk om eenduidige conclusies te trekken op basis van onze analyses. Mogelijk is dit een gevolg van de oedeemschade die veel planten opliepen tijdens het experiment, maar in verschillende mate. De stress die deze schade veroorzaakt kan direct van invloed zijn op moleculaire processen in de plant, waaronder de expressie van genen. Sommige genen lijken echter wel degelijk gevoelig voor het toepassen van verrood licht, zoals het suikertransport gen *SWEET12* en het afweergen *NPR1*. maar is dit afhankelijk van het moment op de dag. Door de variatie tussen herhalingen en de wisselende effecten van verrood licht op expressie van sommige genen over de dag is het niet goed mogelijk om te bepalen of de veranderingen in groei en afweer van het gewas het gevolg zijn van veranderingen in expressie van de geanalyseerde genen, of dat deze genen hier mogelijk een rol in spelen. Daarnaast blijken de geselecteerde genen geen duidelijke voorspellers voor de effecten van verrood licht op de groei en afweer in tomaat. Zo zorgt voor op sommige tijdstippen toepassing van verrood licht voor hogere expressie van *SWEET12* en op andere tijdstippen juist voor een lagere genexpressie, terwijl het effect van verrood licht op de verdeling van assimilaten juist onafhankelijk lijkt van het moment van de dag.



# 8 Effecten van lichtspectrum op ziekte- en plaagontwikkeling in tomaat

## 8.1 Inleiding

In dit experiment hebben we het effect van 7 verschillende lichtspectra getoetst op de ontwikkeling van ziektes en plagen in de twee tomatencultivars "Moneymaker" en "Extension". Als plagen hebben we 3 soorten meegenomen, namelijk tabakswittevlieg (*Bemisia tabaci* biotype Q), mineermot (*Tuta absoluta*), en Californische trips (*Frankliniella occidentalis*). Deze plagen hebben alle drie een andere voedingsstrategie. Tabakswittevliegen voeden zich met het floeemsap van de plant. De overvloed aan suikers die ze met het floeemsap binnenkrijgen scheiden ze voor een groot deel weer af via honingdauw. De larven van de mineermot *T. absoluta* boren in de bladeren en voeden zich met bladmoes. Hierdoor ontstaan blaasvormige gangen. Californische trips prikt de plantencellen aan en voedt zich met de inhoud hiervan. Hierdoor ontstaat (zilver)schade. De ziektes die zijn getoetst zijn Botrytis en meeldauw. Hiervoor zijn echte meeldauw als een obligate biotroof en botrytis als een necrotroof gekozen.

Het doel van de proef was om te toetsen welke verschillen in ziekte- en plaagontwikkeling optreden wanneer

1. een basisspectrum ('RWB'; bestaande uit 90% rood, 5% blauw en 5% groen licht) wordt afgezet tegen ofwel een 'wit' lichtspectrum ('wit'; bestaande uit 35% rood, 30% blauw en 35% groen licht) ofwel een variatie op het RWB basisspectrum waarbij 10% van het rode licht is vervangen door extra blauw licht (RWbB)
2. de RWB en de RWbB spectra worden afgezet tegen dezelfde spectra waaraan 15% verrood licht is toegevoegd, en
3. het RWB basisspectrum wordt afgezet tegen hetzelfde spectrum waaraan elke dag gedurende 30 minuten tijdens het middaguur een lagere of hogere dosis UV-B licht wordt toegevoegd.

Hierbij zijn alle lichtspectra tegen een achtergrond van een lage intensiteit natuurlijk zonlicht toegediend.

De toetsen met tabakswittevlieg (*B. tabaci*), mineermot (*T. absoluta*) en echte meeldauw (*O. neolycopersicon*) zijn uitgevoerd op hele planten die onder de respectievelijke lichtspectra stonden. In dit geval zijn zowel de directe effecten van het spectrum op de plantbelagers als de indirecte effecten van het lichtspectrum via de plantweerbaarheid verlopen meegenomen. Additioneel aan bovenbeschreven toetsen met echte meeldauw zijn er voor meeldauw ook bladtoetsen in petrischalen uitgevoerd. De bladpansen waren afkomstig van planten die onder de respectievelijke lichtspectra waren geteeld, maar de toetsen zelf vonden plaats in een klimaatkamer met voor alle behandelingen gelijke lichtomstandigheden. In dit geval zijn dus enkel de indirecte effecten van lichtspectrum die via plantweerbaarheid verlopen meegenomen. Voor Californische trips en botrytis zijn op vergelijkbare wijze ook bladtoetsen in petrischalen uitgevoerd. Om ook de directe effect van lichtkleuren op de ontwikkeling van botrytislesies te kunnen evalueren, zijn er voor deze pathogeen ook bladtoetsen uitgevoerd in petrischalen die werden teruggeplaatst onder de lichtspectra van de desbetreffende behandeling.

Insecten en mijten kunnen geen licht in het rode (en verrode) gedeelte van het lichtspectrum waarnemen. Derhalve ervaren ze een lichtspectrum met een groot aandeel rood licht ten koste van groen (en blauw) licht als een lagere lichtintensiteit. Voor verschillende dag-actieve insecten is aangetoond dat een reductie in de waargenomen lichtintensiteit gepaard gaat met een lagere activiteit, wat zich mogelijk vertaalt in een lagere eileg en een tragere ontwikkeling. We verwachtten daarom dat tabakswittevlieg gemiddeld een lager aantal eitjes zou leggen – en de rupsen van *T. absoluta* zich minder snel zouden ontwikkelen – onder het RWB basisspectrum dan onder het 'witte' lichtspectrum, en dat het RWhB spectrum hier tussenin zou zitten. Verder is het bekend dat het toevoegen van verrood aan het spectrum een schaduwrespons in de plant kan genereren, wat tot een toename in de (lengte)groei kan leiden en tevens kan resulteren in een lagere afweer tegen ziektes en plagen. We verwachtten daarom dat de toevoeging van verrood aan het spectrum zou kunnen leiden tot een snellere ontwikkeling van ziektes en plagen. Wanneer planten worden blootgesteld aan UV-B straling maken ze stoffen aan, zoals fenolen en flavonoiden, welke de plant niet alleen beschermen tegen schadelijke straling, maar ook kunnen helpen in de verdediging tegen ziektes en plagen. Onze verwachting was daarom dat planten die onder een lichtspectrum met extra UV-B licht hadden gegroeid een verhoogde weerbaarheid tegen ziektes en plagen zouden hebben.

## 8.2 Materiaal en methoden

### 8.2.1 Teelt

Het experiment is uitgevoerd in de periode half mei tot en met eind juli 2020. Tomatenplanten cv. Moneymaker en cv. Extension zijn gezaaid in steenwolpluggen in week 21. In verband met logistische redenen is een deel van de planten die is gebruikt voor de biotoetsen met tabakswittevlieg een week later gezaaid (week 22) en zijn de planten voor de biotoets met meeldauw op hele planten twee weken later gezaaid (week 23). Twee weken na zaaien zijn ze verspeend in 10x15 cm steenwolblokken en verplaatst naar het IDC LED (kasafdeling 7.01). De watergift vond plaats met een eb en vloed systeem. De daglengte was 18 uur, en de LED lampen stonden aan van 0.00 uur tot 18.00 uur. Gedurende een periode van 9 uur per dag waren de planten tevens blootgesteld aan lage intensiteit natuurlijk zonlicht. Hiervoor werd het donkerdoek in 3 stappen geopend tussen 9.00 en 9.30 uur, en werd het donkerdoek in 3 stappen gesloten tussen 17.30 en 18.00 uur. Voor de lichtspectra met additioneel UV-B licht werden de UV-B lampen vanaf week 24 elke dag van 12.00 tot 12.30 uur aangezet. Bij een instraling van 500 Watt natuurlijk zonlicht werd het energiedoek gesloten. De temperatuurinstelling gedurende de dag was 20.5 °C, en gedurende de nacht 18.5 °C, de RV was ingesteld op 60% en de CO<sub>2</sub> concentratie was 600 ppm. Figuur 8.1 geeft een impressie van de tomatenplanten op de teelttafels in week 26.

### 8.2.2 Behandelingen

De toegepaste lichtspectra staan weergegeven in tabel 8.1. De intensiteit van het PAR spectrum was voor alle spectra gelijk, en op een afstand van 100 cm onder de lampen gemiddeld 120  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . In het IDC LED staan 14 teelttafels met elk een afmeting van 4m x 1.8 m met in het midden een gangpad. Aan iedere zijde van het gangpad waren de 7 LED behandelingen 'random' over de 7 teelttafels verdeeld, waardoor elke LED behandeling op 2 teelttafels werd uitgevoerd. Elke tafel was verdeeld in 6 blokken, om rekening te houden met verschillen in gerealiseerde lichtintensiteit tussen het midden en de uiteindes van elke tafel. Voor elke soort biotoets zijn er per behandeling 12 tomatenplanten cv. Moneymaker en 12 tomatenplanten cv. Extension gebruikt, behalve voor de biotoets met Botrytis onder direct LED licht waarvoor per behandeling 6 planten zijn gebruikt. Voor de analyse van de gegevens zijn steeds 3 behandelingssets onderscheiden, welke de 3 belangrijkste onderzoeksvragen reflecteren:

Behandelingsset 1: RWB, RWhB, wit.

Behandelingsset 2: RWB, RWB UV, RWB hUV.

Behandelingsset 3: RWB, RWhB, RWB+FR, RWhB+FR.

Tabel 8.1

*Toegepaste lichtbehandelingen.*

| Behandeling | Naam    | Blauw (%) | Groen (%) | Rood (%) | Verrood (%) | UV-B (KJ/m <sup>2</sup> /d) | PAR (%) | Totaal (%) |
|-------------|---------|-----------|-----------|----------|-------------|-----------------------------|---------|------------|
| 1           | RWB     | 5         | 5         | 90       | 0           | 0                           | 100     | 100        |
| 2           | RWB+FR  | 5         | 5         | 90       | 15          | 0                           | 100     | 115        |
| 3           | RWhB    | 15        | 5         | 80       | 0           | 0                           | 100     | 100        |
| 4           | RWhB+FR | 15        | 5         | 80       | 15          | 0                           | 100     | 115        |
| 5           | RWB UV  | 5         | 5         | 90       | 0           | 0.34                        | 100     | 100        |
| 6           | RWB hUV | 5         | 5         | 90       | 0           | 0.68                        | 100     | 100        |
| 7           | WIT     | 30        | 35        | 35       | 0           | 0                           | 100     | 100        |



**Figuur 8.1** Impressie van de teelttafels met tomatenplanten van 3 LED spectra (boven: RWB, midden: RWhB, onder: 'wit') op 24 juni (week 26).

### 8.2.3 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO<sub>2</sub> en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt (behandeling RWB UV), en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer.

#### 8.2.4 Plantmetingen

Vier weken na verspenen en plaatsing van de planten onder de verschillende lichtspectra, is de destructieve eindoogst uitgevoerd. Hiervoor zijn voor 6 planten per ras per tafel de planthoogte, aantal bladeren en drooggewicht van blad en stengel bepaald.

#### 8.2.5 Biotoetsen

*Tuta absoluta* biotoets. In week 26 is gestart met de biotoets van de mineermot *Tuta absoluta*. Hiervoor zijn planten gebruikt die in week 21 zijn gezaaid, en in week 23 zijn verspeend en onder de verschillende lichtspectra gezet. Op elke plant zijn 4 *T. absoluta* eitjes van dezelfde leeftijd geïntroduceerd, verdeeld over 4 bladeren. Om logistieke redenen is de introductie van de eitjes uitgevoerd in 3 etappes verdeeld over 3 dagen. Op woensdag 24 juni zijn de eerste 8 planten per behandeling (2 Moneymaker en 2 Extension planten per tafel), op donderdag 25 juni de tweede 8 planten per behandeling en op vrijdag 26 juni de laatste 8 planten per lichtbehandeling met *T. absoluta* eitjes geïnoculeerd. Tijdens de biotoets bleven de planten op de teelttafels onder de lichtspectra staan. Twaalf dagen na het plaatsen van de eitjes op de planten zijn de larven uit de bladeren van elke plant verzameld en individueel gewogen (zie figuur 8.2A). Het gewicht is als maat voor de ontwikkelingssnelheid gebruikt, waarbij zwaardere rupsen een snellere ontwikkelingstijd vertegenwoordigen. Voor de statistische analyse is per plant het gemiddelde rupsgewicht berekend.

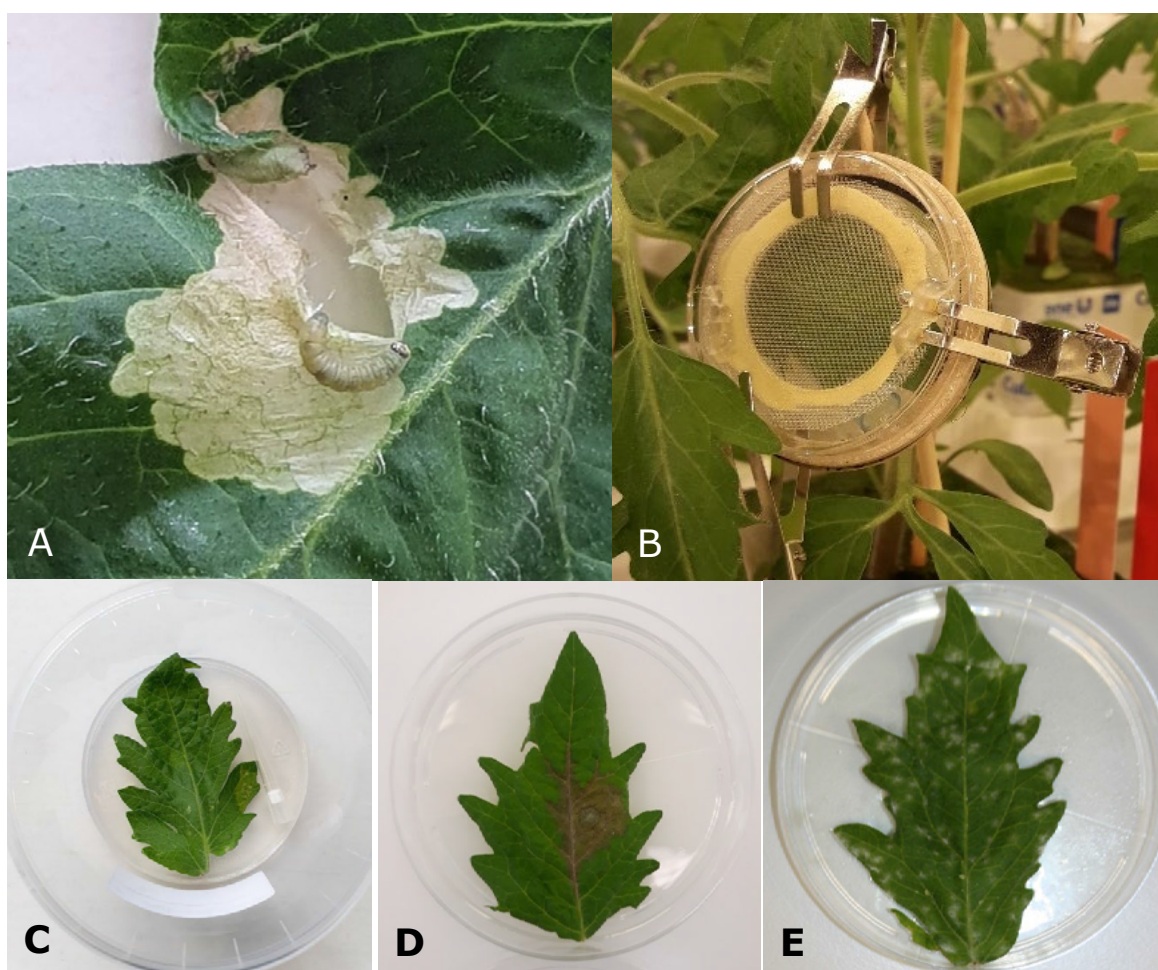
*Bemisia tabaci* biotoets. In week 27 is de eerste helft van de biotoetsen met tabakswittevlieg ingezet. Hiervoor zijn planten gebruikt die in week 21 zijn gezaaid. In week 28 is de tweede helft van de biotoetsen met tabakswittevlieg ingezet. Hiervoor zijn planten gebruikt die in week 22 zijn gezaaid. Voor deze biotoets is gebruikt gemaakt van zogenaamde clipkooitjes met een diameter van 5.5 cm (zie figuur 8.2B). Op elke tomatenplant is 1 clipkooitje bevestigd aan het jongst volgroeide blad, en de planten bleven tijdens de biotoets op de teelttafels onder de lichtspectra staan. In elk clipkooitje zijn 20 tabakswittevlieg vrouwtjes, van 5-7 dagen oud, geïntroduceerd. Na een periode van 5 dagen zijn de wittevlieg vrouwtjes verwijderd, en is het aantal dode en levende vrouwtjes geteld. Daarnaast is geverifieerd of alle geïntroduceerde wittevliegen inderdaad vrouwtjes waren. Vervolgens is het aantal wittevlieg eitjes geteld. Uit deze gegevens is het aantal wittevlieg-eitjes per levend vrouwtje per dag berekend.

Bladtoetsen met *Frankliniella occidentalis*, *Oidium lycopersicon* en *Botrytis cinerea*. Hiervoor zijn planten gebruikt die in week 21 zijn gezaaid. In week 27 zijn de deelblaadjes van het jongst volgroeide blad van elke plant gebruikt voor de bladtoetsen. De deelblaadjes zijn in petrischalen met een bodemlaag van 1% wateragar gelegd om de ponsjes vers te houden. Vervolgens zijn de ponsjes elk met respectievelijk 5 adulte tripsen (*Frankliniella occidentalis*), 0.2 ml sporenoplossing van meeldauw (*Oidium lycopersicon*) met een concentratie van  $0.5 \times 10^5$  sporen/ml, of een 2 µl druppel sporenoplossing van botrytis (*Botrytis cinerea*) met een concentratie van  $10^6$  sporen/ml geïnoculeerd. De petrischalen zijn vervolgens in een klimaatkamer bij 20°C en 65% RV geplaatst. Een gedeelte van de petrischalen is teruggeplaatst op de teelttafels in het IDC LED onder hetzelfde lichtspectrum als waar de plant van de desbetreffende behandeling was opgekweekt. Voor de botrytis biotoets is zowel 3 dagen als 6 dagen na inoculatie de diameter van de botrytis lesie op elke bladpons opgemeten met behulp van een schuifliniaal (zie figuur 8.2D). Voor de gegevensanalyse zijn de data van 6 dpi gebruikt. Voor de bladtoets met meeldauw is 12 dagen na inoculatie het aantal meeldauw spots bepaald (zie figuur 8.2E). Hierbij is tevens het bladoppervlakte van elk blad bepaald, waarna het aantal meeldauw spots per cm<sup>2</sup> is berekend. Voor de biotoets met Californische trips is na 7 dagen de tripsschade visueel beoordeeld als het aantal mm<sup>2</sup> doorschijnende zilverschade (zie figuur 8.2C). Voor de cultivar Extension was het lastig om de tripsschade goed te beoordelen door de aantasting met oedeem. Daarom zijn alleen de gegevens van de cultivar Moneymaker meegenomen in de analyse.



Hele plant biotoetsen met *Oidium lycopersicon*. De hele plant biotoetsen met echte meeldauw (*Oidium lycopersicon*) zijn uitgevoerd op planten die in week 23 zijn gezaaid. Op 9 juli (week 28) zijn van elke plant de samengestelde bladeren 3, 4 en 5 (geteld van onderen) geïnoculeerd met 0.4 ml sporenoplossing van echte meeldauw met een concentratie van  $3 \times 10^5$  sporen/ml. Om te voorkomen dat de sporen op andere planten terecht zouden komen, zijn de planten elk in isolatie geïnoculeerd (zie figuur 8.3). Direct na inoculatie is de RV van de kas ingesteld op 90%. Na 24 uur is de RV weer teruggebracht naar 60%. Het kiemingspercentage van de sporen dat is gebruikt voor de inoculatie van 46-47%. Elf dagen na inoculatie is het aantal meeldauw spots per samengesteld blad beoordeeld. Hierbij is alleen het vijfde samengestelde blad, geteld van onderen, van de cultivar Moneymaker meegenomen in de beoordeling. De kwaliteit van het blad van de cultivar Extension was dusdanig aangetast door oedeem dat deze niet is meegenomen in de evaluatie (zie Figuur 8.4).

De statistische analyses zijn uitgevoerd met een 'lineair model' in het programma R. Waar nodig is er een datatransformatie toegepast, om een normale verdeling van de data te garanderen. Gegevens zijn per cultivar en per behandelingsset geanalyseerd. Verschillen tussen de afzonderlijke lichtspectra zijn getoetst met een posthoc Tukey test.



**Figuur 8.2** **A.** Blaasvormige gang, waaruit een *T. absoluta* rups is gehaald om te worden gewogen tijdens de evaluatie 12 dagen na het plaatsen van de *T. absoluta* eitjes op de tomatenplanten. **B.** Clipkooitje (diameter 5.5 cm) gebruikt voor de biotoets met tabakswittevlieg. **C.** Biotoets Californische trips; deelblaadje van tomaat cv Money maker met tripsschade. **D.** Biotoets botrytis; deelblaadje van tomaat cv Money maker met een botrytis lesie (6 dpi). **E.** Biotoets meeldauw; deelblaadje van tomaat cv Money maker met meeldauw spots (12 dpi).



**Figuur 8.3.** Links: Inoculatie van hele tomatenplanten cv Money maker met een sporenoplossing van echte meeldauw (*O. neolycopersicon*). Rechts: meeldauw spots op tomaat cv Moneymaker tijdens het evaluatiemoment 12 dagen na inoculatie.



**Figuur 8.4** Tomaat cv Extension met oedeem.

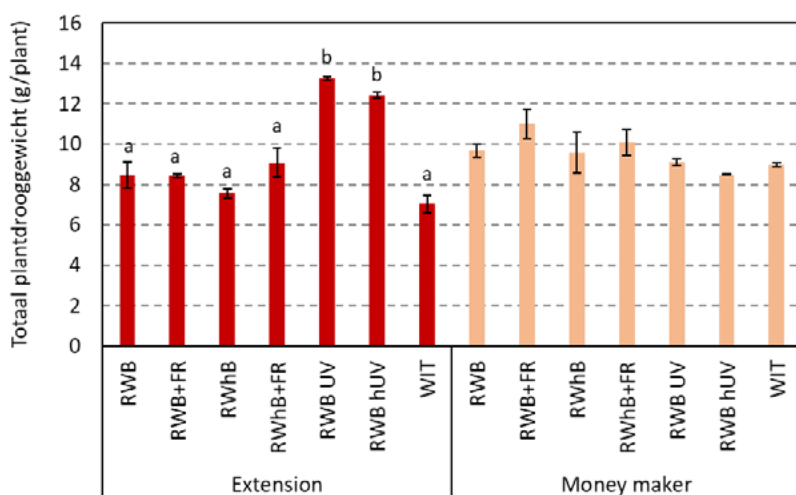
## 8.3 Resultaten

### 8.3.1 Klimaat

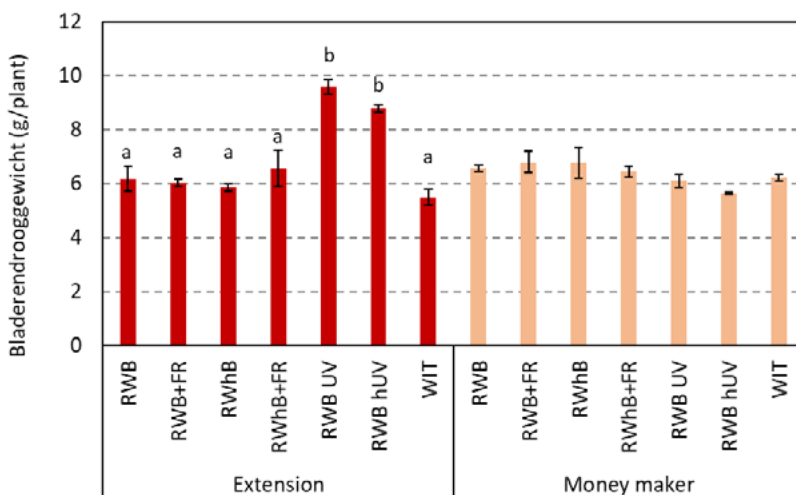
Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas was 22.5 °C, 71% RV en 600 ppm CO<sub>2</sub>. Van de totale lichtsom gedurende de teelt was 22% afkomstig van de zon, en 78% van de LED lampen.

### 8.3.2 Gewasgroei & -ontwikkeling

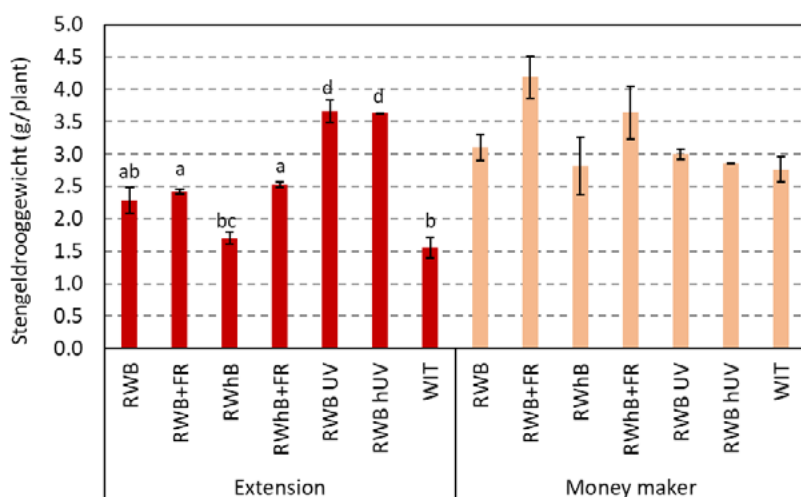
Na 4 weken teelt werden de planten destructief geoogst. Cv Extension had last van oedeem verschijnselen op het blad, in alle behandelingen behalve degenen met UV licht ( $P < 0.001$ ). Dit leidde tot een hogere plantgewicht ( $p < 0.01$ ) voor de behandelingen RWB UV en RWB hUV voor Extension (Figuur 8.5). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat in alle andere behandelingen blad afgestorven was vanwege oedeem, en een lagere ontwikkelingssnelheid. Het ras Moneymaker was nauwelijks aangetast door oedeem, en er waren geen aantoonbare verschillen in plantgewicht tussen de behandelingen (Figuur 8.5). De tendens was dat de behandelingen met UV een lager plantgewicht leken te hebben, terwijl de behandeling met FR een hoger plantgewicht had vergeleken met de referentie.



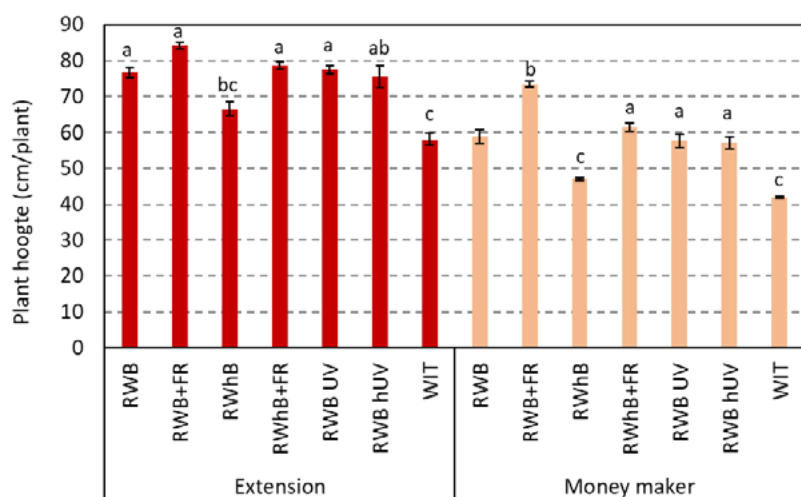
**Figuur 8.5** Totaal drooggewicht (g/plant) voor tomaat cv. Extension en tomaat cv. Moneymaker 4 weken na verspenen en plaatsing van de planten onder de verschillende lichtspectra. Balken geven gemiddelde waarden  $\pm$  standaardfout weer. Verschillende letters boven de balken geven significante verschillen weer ( $P < 0.05$ ).



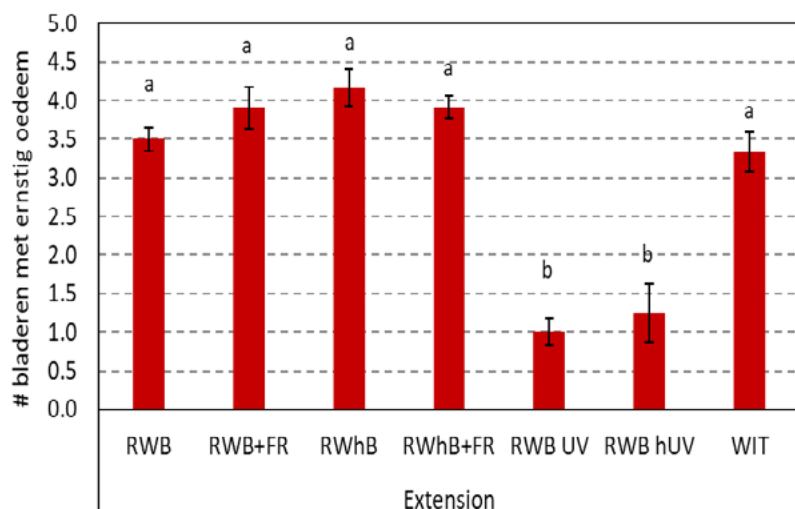
**Figuur 8.6** Drooggewicht blad (g/plant) voor tomaat cv. Extension en tomaat cv. Moneymaker 4 weken na verspenen en plaatsing van de planten onder de verschillende LED spectra. Balken geven gemiddelde waarden  $\pm$  standaardfout weer. Verschillende letters boven de balken geven significante verschillen weer ( $P < 0.05$ ).



**Figuur 8.7** Drooggewicht stengel (g/plant) voor tomaat cv. Extension en tomaat cv. Money maker 4 weken na verspenen en plaatsing van de planten onder de verschillende LED spectra. Balken geven gemiddelde waarden  $\pm$  standaardfout weer. Verschillende letters boven de balken geven significante verschillen weer ( $P < 0.05$ ).



**Figuur 8.8** Hoogte planten (cm) voor tomaat cv. Extension en tomaat cv. Money maker 4 weken na verspenen en plaatsing van de planten onder de verschillende LED spectra. Balken geven gemiddelde waarden  $\pm$  standaardfout weer. Verschillende letters boven de balken geven significante verschillen weer ( $P < 0.05$ ).



**Figuur 8.9** Percentage bladeren met ernstig oedeem voor tomaat cv. Extension 4 weken na verspenen en plaatsing van de planten onder de verschillende lichtspectra. Balken geven gemiddelde waarden  $\pm$  standaardfout weer. Verschillende letters boven de balken geven significante verschillen weer ( $P < 0.05$ ).

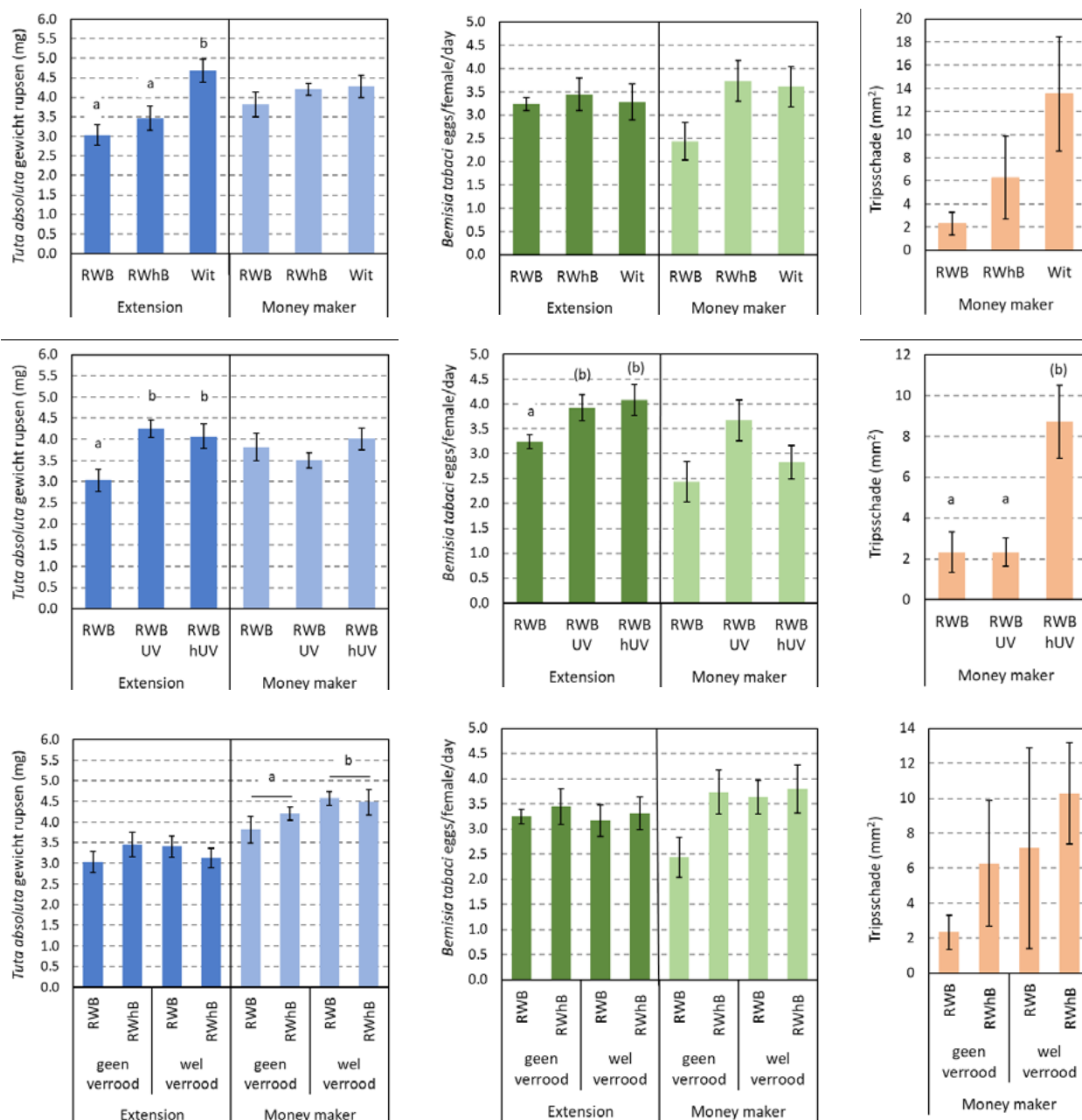


### 8.3.3 Plaagontwikkeling

*Behandelingsset 1.* Het effect van de lichtbehandelingen op het rupsgewicht van *T. absoluta* was significant voor tomaat cv Extension ( $P = 0.001$ ), maar niet significant voor tomaat cv Moneymaker ( $P = 0.458$ ). Het gemiddelde rupsgewicht van *T. absoluta* op tomaat cv Extension was onder het witte lichtspectrum hoger dan onder het RWB ( $P < 0.001$ ) en RWhB spectrum ( $P = 0.024$ ) (Figuur 8.9A1). Het aantal eitjes per levend *B. tabaci* vrouwtje per dag verschilde niet tussen de drie lichtspectra voor zowel tomaat cv Extension ( $P = 0.918$ ) als tomaat cv Moneymaker ( $P = 0.117$ ) (zie Figuur 8.9B1). De zilverschade door *F. occidentalis* op tomaat cv. Moneymaker had een grote spreiding doordat verschillende deelbladeren waren uitgedroogd, wat resulteerde in het wegvallen van een aantal herhalingen. Hierdoor waren de verschillen in gemiddelde tripsschade tussen de 3 lichtspectra niet significant ( $P = 0.11$ ) (zie Figuur 8.9C1).

*Behandelingsset 2.* Het effect van UV-B op het rupsgewicht van *T. absoluta* was significant in tomaat cv Extension ( $P = 0.003$ ), maar niet in tomaat cv Moneymaker ( $P = 0.397$ ). Voor tomaat cv Extension was het gemiddelde rupsgewicht in de behandeling RWB significant lager dan in de behandelingen RWB UV ( $P = 0.004$ ) en RWB hUV ( $P = 0.019$ ) (zie Figuur 8.9A2). Het effect van UV-B op het aantal *B. tabaci* eitjes per levend vrouwtje per dag was marginaal significant voor tomaat cv Extension ( $P = 0.073$ ) en niet significant voor tomaat cv Moneymaker ( $P = 0.112$ ) (zie Figuur 8.9B2). Het effect van UV-B op tripsschade in tomaat cv Moneymaker was marginaal significant ( $P = 0.063$ ) (zie Figuur 8.9B3).

*Behandelingsset 3.* Het effect van toevoeging van extra verrood aan de RWB en RWhB spectra op het rupsgewicht van *T. absoluta* was niet significant voor tomaat cv Extension ( $P = 0.753$ ) maar wel voor tomaat cv Moneymaker ( $P = 0.043$ ). Dit effect van verrood in tomaat cv Moneymaker was onafhankelijk van het lichtspectrum waaraan dit was toegevoegd ( $P = 0.372$ ) (zie Figuur 8.9A3). Het effect van toevoeging van extra verrood op het aantal *B. tabaci* eitjes per levend vrouwtje per dag was voor geen van de tomatencultivars significant (zie Figuur 8.9B3). Ook werd er, door de grote spreiding tussen de herhalingen, geen significant effect van extra verrood licht op tripsschade gevonden in tomaat cv Money maker ( $P = 0.276$ ) (zie Figuur 8.9C3).



**Figuur 8.9** Gemiddeld rupsgewicht *T. absoluta* (A), gemiddeld aantal *B. tabaci* eitjes/vrouwje/dag (B) en gemiddeld mm<sup>2</sup> *F. occidentalis* zilverschade (C) voor de 3 lichtspectra RWB, RWhB en Wit (Behandelingsset 1), RWB spectrum zonder of met 0.34 of 0.64 KJ/m<sup>2</sup>/d UV-B (Behandelingsset 2) en het RWB en RWhB spectrum met en zonder extra verrood licht (Behandelingsset 3). Balken geven de gemiddelde waarden ± standaardfout weer. Verschillende letters boven de balken geven significante verschillen weer ( $P < 0.05$ ). Wanneer de letters tussen haakjes staan is het verschil marginaal significant ( $0.05 < P < 0.10$ ).

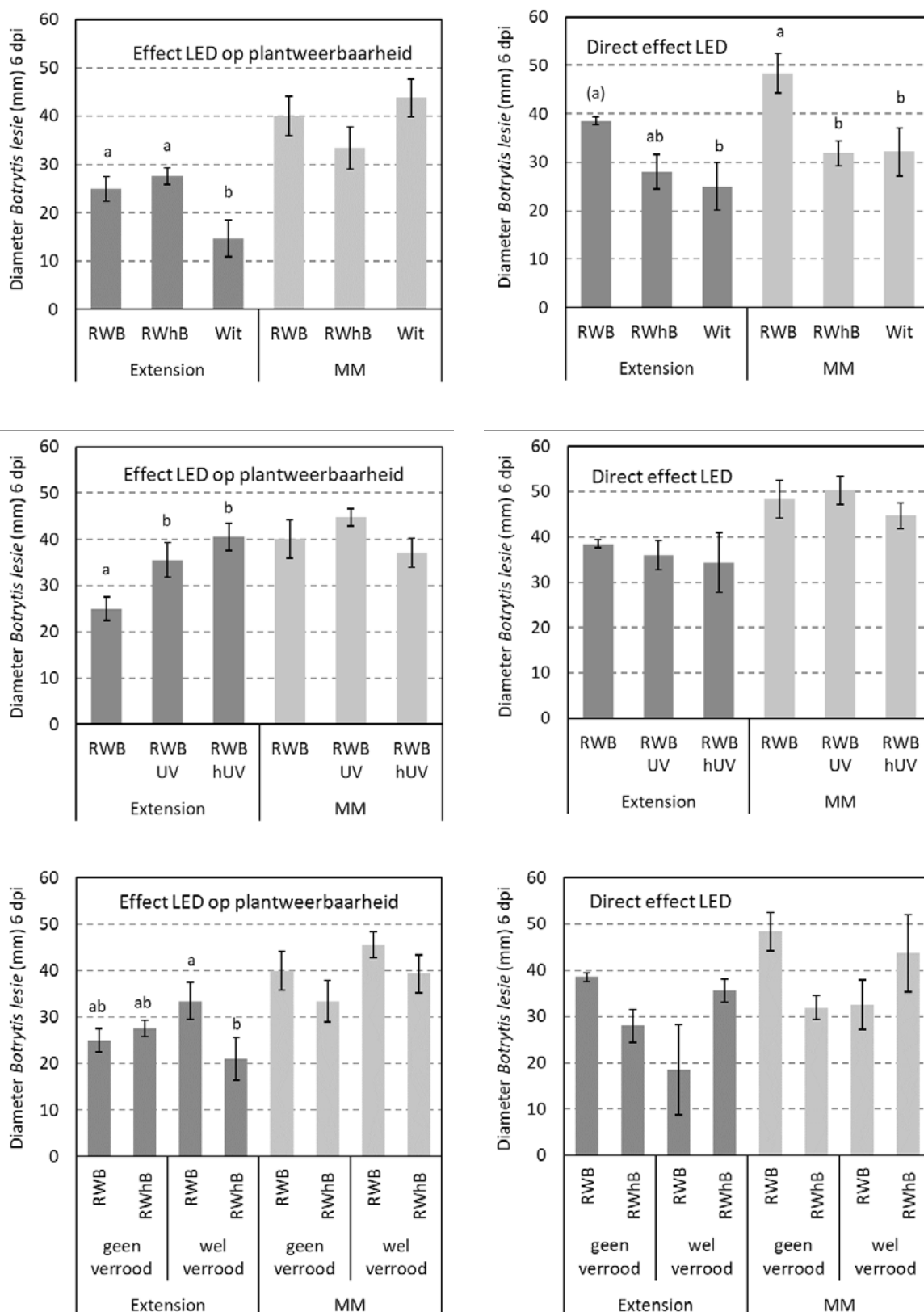
### 8.3.4 Ziekte ontwikkeling

#### 8.3.4.1 Botrytis

*Behandelingsset 1.* Wanneer de bladtoetsen met botrytis (*B. cinerea*) onder gelijke lichtomstandigheden werden uitgevoerd, waardoor alleen de effecten van lichtspectra op de plantweerbaarheid konden worden getoetst, was het effect van de lichtspectra op de diameter van de Botrytis lesions (6 dpi) significant voor tomaat cv Extension ( $P = 0.009$ ), maar niet significant voor tomaat cv Money maker ( $P = 0.222$ ). Voor tomaat cv Extension waren de botrytis lesions op de bladeren van planten die waren opgekweekt onder het RWB of RWhB spectrum significant groter in vergelijking met de botrytis lesions op de bladeren van planten die waren opgekweekt onder het witte lichtspectrum (resp.  $P = 0.043$  en  $P = 0.011$ ; zie Figuur 8.10A1). Wanneer de bladtoetsen onder de desbetreffende lichtbehandelingen werden uitgevoerd, waardoor naast de effecten die via plantweerbaarheid lopen ook eventuele directe effecten van het lichtspectrum op botrytis worden meegenomen, werd voor tomaat cv. Extension een marginaal significant effect gevonden ( $P = 0.064$ ), en voor tomaat cv Money maker een significant effect ( $P = 0.024$ ) (zie Figuur 8.10B1). Voor tomaat cv Extension waren de botrytis lesions onder het RWB spectrum groter dan de botrytis lesions onder het witte spectrum ( $P = 0.062$ ). Voor tomaat cv Money maker waren de botrytis lesions groter onder het RWB spectrum groter dan onder het RWhB spectrum ( $P = 0.037$ ) en het witte lichtspectrum ( $P = 0.040$ ).

*Behandelingsset 2.* Het effect van UV-B op de plantweerbaarheid was significant voor tomaat cv Extension ( $P = 0.004$ ), maar niet significant voor tomaat cv Moneymaker ( $P = 0.241$ ) (zie Figuur 8.10A2). De botrytis lesions waren groter op de bladeren van planten die elke dag gedurende 30 minuten waren blootgesteld aan ofwel 0.34 KJ/m<sup>2</sup>/d UV-B straling ( $P = 0.058$ ) ofwel 0.68 KJ/m<sup>2</sup>/d UV-B straling ( $P = 0.004$ ) in vergelijking met botrytis lesions op bladeren van planten die niet waren blootgesteld aan UV-B straling. De UV-B straling maakte tomaat cv Extension dus minder weerbaar tegen botrytis. Het effect van UV-B op botrytis was voor zowel tomaat cv Extension als tomaat cv Moneymaker niet significant wanneer de directe effecten van UV-B ook werden meegenomen (zie Figuur 8.10B2).

*Behandelingsset 3.* Er werden zowel via plantweerbaarheid als direct geen significante effecten gevonden van toevoeging van extra verrood aan de RWB en RWhB spectra op ontwikkeling van botrytis lesions in tomaat cv Extension en tomaat cv Moneymaker (zie Figuren 8.10A3 en 8.10B3). Voor de plantweerbaarheidstoets waren de botrytis lesions in tomaat cv Extension wel significant groter op de bladeren van planten die onder het RWB spectrum met extra verrood waren opgegroeid dan op de bladeren van planten die onder het RWhB spectrum met extra verrood waren opgegroeid ( $P = 0.034$ ; zie Figuur 8.10A3).

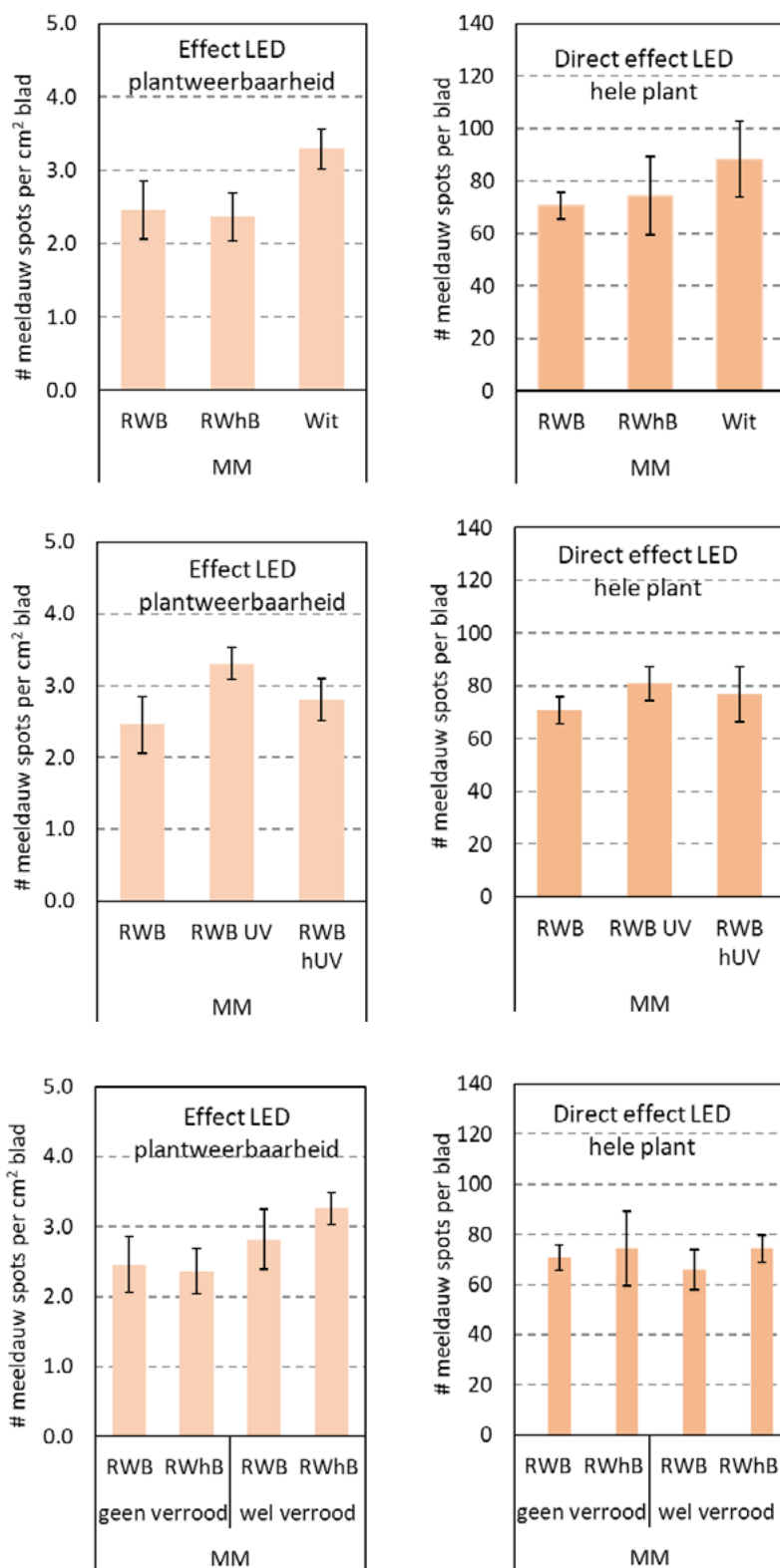


**Figuur 8.10** Diameter van *Botrytis* lesies in bladtoetsen uitgevoerd in een klimaatkamer onder gelijke lichtomstandigheden (A) of onder de lightspectra van de desbetreffende behandeling (B) voor de 3 lichtbehandelingen RWB, RWbB en Wit (Behandelingsset 1), RWB spectrum zonder of met 0.34 of 0.64 KJ/m<sup>2</sup>/d UV-B (Behandelingsset 2) en het RWB en RWbB spectrum met en zonder extra verrood licht (Behandelingsset 3). Balken geven de gemiddelde waarden  $\pm$  standaardfout weer. Verschillende letters boven de balken geven significante verschillen weer ( $P < 0.05$ ). Wanneer de letters tussen haakjes staan is het verschil marginaal significant ( $0.05 < P < 0.10$ ).



#### **8.3.4.2 Meeldauw**

Er zijn voor de toetsen met echte meeldauw (*O. neolycopersion*) voor zowel de plantweerbaarheidstoetsen als voor de toetsen op hele planten waarbij ook de directe effecten van LED werden meegenomen geen significante effecten gevonden voor geen van de behandelingssets en voor geen van de tomatencultivars (zie Figuur 8.11A1-3 en 8.11B1-3).



**Figuur 8.11** Aantal meeldauw spots per cm<sup>2</sup> blad zoals bepaald in de bladtoetsen uitgevoerd in een klimaatkamer onder gelijke lichtomstandigheden (**A**) of het aantal meeldauw spots per samengesteld blad op hele planten onder de LED spectra van de desbetreffende LED behandeling (**B**) voor de 3 lichtspectra RWB, RWbB en Wit (Behandelingsset 1), RWB spectrum zonder of met 0.34 of 0.64 KJ/m<sup>2</sup>/d UV-B (Behandelingsset 2) en het RWB en RWbB spectrum met en zonder extra verrood licht (Behandelingsset 3). Balken geven de gemiddelde waarden ± standaardfout weer. Verschillende letters boven de balken geven significante verschillen weer ( $P < 0.05$ ). Wanneer de letters tussen haakjes staan is het verschil marginaal significant ( $0.05 < P < 0.10$ ).

## 8.4 Conclusies

In het ontwikkelen van lichtspectra voor een duurzame teelt onder LED belichting, is het van groot belang ook te kijken naar de plantweerbaarheid onder die omstandigheden, en naar de ontwikkeling van plagen. In een serie proeven is daarom gekeken naar de ontwikkeling van tabakswittevlieg (*Bemisia tabaci* biotype Q), mineermot (*Tuta absoluta*) en Californische trips (*Frankliniella occidentalis*), en naar de gevoeligheid voor Botrytis en meeldauw in tomaat. Wanneer de spectra RWB, RWhB en Wit worden vergeleken, zagen we een significant hogere groeisnelheid van *Tuta absoluta* rupsen en een hogere eileg (alhoewel niet statistisch significant) van tabakswittevlieg onder Wit licht (met hogere aandelen groen en blauw licht dan in RWB en RWhB). Daarentegen had de toevoeging van verrood licht aan het lichtspectrum, waarvan we verwachtten dat het de plantweerbaarheid zou verslechteren, slechts marginale effecten op deze plagen. De verwachting was verder dat toevoeging van UV-B aan het lichtspectrum de plantweerbaarheid zou kunnen verbeteren. Echter, het gewicht van *Tuta* nam iets toe in Moneymaker onder UV, verder waren er geen aantoonbare effecten van UV licht op plagen. Het verhogen van het aandeel groen licht (Wit spectrum ten opzichte van RWB en RWhB) verminderde de gevoeligheid van tomaat voor Botrytis. In tegenstelling tot de verwachting bleek het toevoegen van UV licht aan het spectrum de gevoeligheid voor Botrytis te verhogen, zodat het oppervlakte van de lesions hoger was dan in de behandeling RWB zonder UV licht. Het toevoegen van verrood licht bleek in dit experiment de plantweerbaarheid voor botrytis en meeldauw niet te beïnvloeden.

## 9 Effecten lichtspectrum op plagen en biologische bestrijders in paprika en chrysant

### 9.1 Inleiding

Het is belangrijk om te weten welke effecten het lichtspectrum heeft op biologische bestrijders. Het is bekend dat lichtintensiteit en -spectrum een invloed kunnen hebben op de activiteit van biologische bestrijders bij het zoeken naar en het eten/parasiteren van plaaginsecten. Insecten en mijten hebben fotoreceptoren waarmee ze licht kunnen waarnemen. Deze fotoreceptoren kunnen zowel in de samengestelde ogen liggen, als in eenvoudige ogen (ocelli). Ze hebben verschillende fotoreceptoren, waarmee ze licht in het UV-A, groene en blauwe gedeelte van het lichtspectrum kunnen waarnemen. De meeste insecten en mijten kunnen echter geen licht in het rode en verrode gedeelte van het lichtspectrum waarnemen (Kelber, 2001; Warrant & Nilsson, 2006). Dit terwijl LED belichting meestal voor een groot gedeelte uit rood licht bestaat, omdat planten rood licht juist heel efficiënt kunnen gebruiken voor de fotosynthese. Hierin verschillen de meeste LED spectra dan ook van het spectrum van SON-T belichting, dat voor een groot deel uit licht in het groene spectrum bestaat.

Onze verwachting is dat natuurlijke vijanden die overdag op zoek gaan naar plaaginsecten, zoals sluipwespen, minder actief zijn onder lichtspectra met weinig voor hen waarneembaar licht. In het KaE project 'LED bij zonlicht' zagen we inderdaad dat de sluipwespsoort *Aphidius ervi* twee keer zoveel bladluizen parasiteerde onder een 'wit' lichtspectrum (met gelijke delen rood, groen en blauw licht) dan bij een rood-blauw LED spectrum (dat bestond uit 95% rood en 5% blauw licht). Dit resultaat kwam overeen met informatie uit de literatuur, waar onder monochromatische condities was aangetoond dat *Aphidius ervi* vrouwtjes niet actief waren bij rood licht, slechts geringe activiteit vertoonden bij blauw licht en (van de zichtbare lichtkleuren) het meest actief waren bij groen licht (Cochard *et al.* 2017). In dit project hebben we dezelfde proef herhaald met twee soorten sluipwespen (*Aphidius ervi* en *Aphidius colemani*) met een klein – maar mogelijk belangrijk - verschil: dit keer hebben we voor het rood-blauwe referentie LED spectrum 5% van het rode licht vervangen door 5% groen licht. Daarnaast hebben we voor *Aphidius ervi* getoetst of een eileg-ervaring in bladluis voor het loslaten van de sluipwespen in de kas de zoek- en parasiteringsactiviteit zowel onder het witte LED spectrum als onder het LED spectrum met 90% rood licht kon verhogen.

Ook *Orius laevigatus* roofwantsen worden direct beïnvloedt door het lichtspectrum. Wang *et al.* (2013) lieten zien dat LED spectrum de ontwikkeling, reproductie en activiteit van *Orius sauteri* kon beïnvloeden. In een eerste verkennende proef (binnen een grote chrysantenproef) in het KaE "LED bij zonlicht" project bleek de eileg door de eerste generatie *Orius* vrouwtjes – toen het chrysantengewas nog in het vegetatieve stadium was – lager uit te vallen bij hogere percentages rood (= niet waarneembaar) licht in het spectrum. Omdat voor deze proef geen officiële herhalingen waren uitgevoerd (1 tafel per lichtbehandeling), is deze proef afgelopen jaar als kooiproef met jonge chrysantenplanten in meerdere herhalingen opnieuw uitgevoerd.

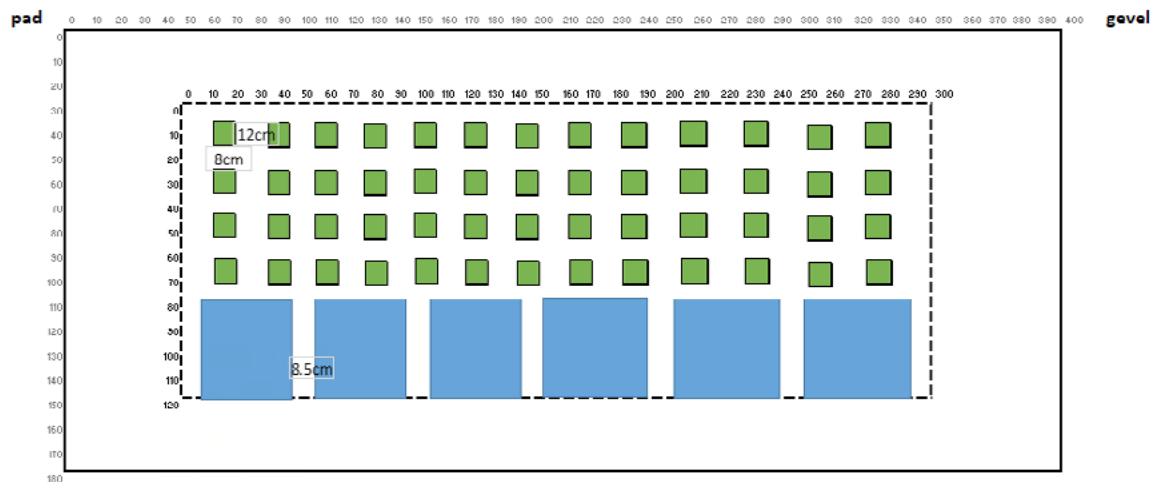
Het effect van lichtspectra op biologische bestrijders moet naast het effect van de spectra op de groei en ontwikkeling van het gewas en van plaaginsecten worden gezet. Voor het gewas paprika, dat als 'vulgewas' is gebruikt in het experiment met de *Aphidius* sluipwespen, is daarom onderzocht wat het effect van het lichtspectrum is op zowel de gewasgroei en -ontwikkeling als op de populatie-ontwikkeling van bladluis (*Myzus persicae*), de ontwikkeling van de rupsen van Turkse mot (*Chrysodeixis chalcites*) en de bladschade door Californische trips (*Frankliniella occidentalis*). Hierbij hebben we gewerkt met twee 'extreme' spectra, namelijk het referentiespectrum met 90% rood licht, 5% groen licht en 5% blauw licht, en het 'witte' spectrum met gelijke delen rood, groen en blauw licht. Om voldoende strekking van het paprikagewas te garanderen, hebben we aan alle PAR spectra 20% verrood licht toegevoegd. Naast het referentie spectrum en het witte lichtspectrum, hebben we een derde spectrum meegenomen dat is ingesteld op een optimale gewasgroei en ontwikkeling van paprika. Dit spectrum bestond uit 68% rood licht, 20% groen licht, 12% blauw licht met aanvullend 20% verrood licht. Tevens hebben we het effect van additioneel UV-B licht, dat elke dag gedurende 30 minuten tijdens het middaguur werd toegediend, getoetst tegen een achtergrond van het referentie spectrum en het 'witte' spectrum. Van dezelfde lichtspectra is ook het effect op Californische trips in chrysant vergeleken.

De effecten van lichtspectra op plagen kunnen zowel direct als via de plantweerbaarheid verlopen. Het lichtspectrum is echter niet de enige factor die invloed kan uitoefenen op de plantweerbaarheid. Naast het spectrum zijn er verschillende andere factoren die de plantweerbaarheid kunnen beïnvloeden. In de afgelopen jaren is duidelijk geworden dat ook roofwantsen de plantweerbaarheid kunnen beïnvloeden, doordat ze eitjes leggen in de plant (*Orius* soorten) en/of ze plantencellen aanprikken om zich te voeden (miride roofwantsen zoals *Macrolophus pygmaeus*). In het KaE project 'LED bij zonlicht' zagen we dat de plantweerbaarheid van de twee chrysantencultivars 'Baltica' en 'Zembla' tegen Californische trips (*Frankliniella occidentalis*) lager was onder een wit spectrum (35% rood, 30% blauw, 35% groen) dan onder een RB (95% rood, 5% blauw) of RGB (75% rood, 10% blauw, 15% groen) spectrum. Wanneer *Orius laevigatus* in grote aantallen (10 vrouwtjes plant) werd ingezet op jonge planten van chrysant cv Baltica en chrysant cv Zembla die 2 weken lang onder de verschillende lichtspectra hadden gegroeid, bleken de planten van beide cultivars een week later onder alle drie deze spectra even weerbaar te zijn geworden tegen Californische trips. Het effect van het lichtspectrum werd hier als het ware door overruled. Omdat 10 *O. laevigatus* vrouwtjes per jonge chrysantenplant een hele hoge dichtheid is, is in dit project getoetst wat het effect van lichtspectrum in de aan- en afwezigheid van lagere *O. laevigatus* dichtheden is op de plantweerbaarheid van chrysant cv Baltica tegen Californische trips.

## 9.2 Materiaal en methoden

### 9.2.1 Teelt en behandelingen

Het experiment is uitgevoerd in de periode van begin augustus tot en met begin oktober 2020 in het IDC LED. Er zijn in deze periode twee gewassen geteeld in het IDC LED, namelijk paprika en chrysant. Een deel van de paprikaplanten stond los op de tafels (52 planten/tafel voor het experiment met *Aphidius* sluipwespen en voor de plantmetingen) en een ander deel van de planten stond in 40x40x60 cm kooien (voor het experiment met bladluis en Turkse mot). Voor het gewas chrysant stonden alle planten in 40x40x60 cm kooien. Zie figuur 9.1 voor de verdeling van de paprika planten en de kooien op de tafels.



**Figuur 9.1** Verdeling van de paprika planten (kleine groene vierkanten) en de kooien met chrysant of paprika (blauwe vierkanten) op de tafels in de IDC LED kas.

Paprikaplanten cv. Maranello zijn de eerste keer gezaaid in steenwolpluggen in week 30. Twee weken na zaaien zijn ze verspeend in 10x15 cm steenwolblokken en verplaatst naar het IDC LED (kasafdeling 7.01). De watergift vond plaats met een eb en vloed systeem.

Stekken van chrysant cv. Baltica zijn mid-augustus 2020 beworteld in standaard perskluiten onder standaard licht-omstandigheden. Tien dagen na de start van de beworteling zijn de bewortelde perskluiten in potten gezet. Twee weken na de start van de beworteling zijn de perskluiten opgepot en in de kooien geplaatst (6 planten per kooi) op de tafels onder de te toetsen lichtspectra in het IDC LED.

Voor de periode van week 32 tot en met week 36 was de daglengte was 18 uur, en de LED lampen stonden aan van 0.00 uur tot 18.00 uur. Gedurende een periode van 9 uur per dag waren de planten tevens blootgesteld aan lage intensiteit natuurlijk zonlicht. Hiervoor werd het donkerdoek in 3 stappen geopend tussen 9.00 en 9.30 uur, en werd het donkerdoek in 3 stappen gesloten tussen 17.30 en 18.00 uur. Voor de lichtspectra met additioneel UV-B licht werden de UV-B lampen vanaf week 24 elke dag van 12.00 tot 12.30 uur aangezet. Bij een instraling van 500 Watt natuurlijk zonlicht werd het energiedoek gesloten. Vanaf 9 september (week 37) is kortedag ingesteld voor de bloei-inductie van chrysant (daglengte 12 uur). De LED lampen stonden aan van 6.00 uur tot 18.00 uur. De kortedag is pas ingesteld nadat de plantmetingen van paprika waren afgerond.

### 9.2.2 Behandelingen

De toegepaste lichtspectra en de verdeling van de verschillende lichtspectra over de teelttafels staan weergegeven in tabel 9.1. In het IDC LED staan 14 teelttafels met elk een afmeting van 4m x 1.8 m met in het midden een gangpad. De intensiteit van het PAR spectrum was voor alle spectra gelijk, en op een afstand van 100 cm onder de lampen gemiddeld 120  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . In tabel 9.2 zijn de gerealiseerde spectrale samenstellingen in de behandelingen weergegeven.

Tabel 9.1

Samenstelling van de lichtbehandelingen en positie op de tafels van het IDC LED.

| Behandeling | Naam        | Tafels   | Blauw (%) | Groen (%) | Rood (%) | Verrood (%) | UV-B (KJ/m <sup>2</sup> /d) | PAR (%) | Totaal (%) |
|-------------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|-------------|-----------------------------|---------|------------|
| 1           | RWB + FR    | 1,7,9,14 | 5         | 5         | 90       | 20          | 0                           | 100     | 120        |
| 2           | RWB + FR UV | 4,12     | 5         | 5         | 90       | 20          | 0.34                        | 100     | 120        |
| 3           | WIT + FR    | 3,5,8,13 | 30        | 35        | 35       | 20          | 0                           | 100     | 120        |
| 4           | WIT + FR UV | 2, 10    | 30        | 35        | 35       | 20          | 0.34                        | 100     | 120        |
| 5           | RW + FR     | 6,11     | 12        | 20        | 68       | 20          | 0                           | 100     | 120        |

Tabel 9.2

Gerealiseerde spectrale samenstellingen in de behandelingen.

| Licht spectrum (LED + Zon) | Spectrale samenstelling (%) |    |    |    | Intensiteit per golflengte (μmol/m <sup>2</sup> /s) |    |     |    | Intensiteit (μmol/m <sup>2</sup> /s) |     | Verhoudingen |      |      |      |
|----------------------------|-----------------------------|----|----|----|-----------------------------------------------------|----|-----|----|--------------------------------------|-----|--------------|------|------|------|
|                            | B                           | G  | R  | FR | B                                                   | G  | R   | FR | PAR                                  | PFD | R:FR         | B:R  | B:G  | R:G  |
| RWB+FR                     | 9                           | 10 | 61 | 19 | 15                                                  | 17 | 102 | 32 | 134                                  | 166 | 3.2          | 0.15 | 0.89 | 5.99 |
| RWB+FR UV                  | 9                           | 10 | 61 | 19 | 15                                                  | 17 | 102 | 32 | 134                                  | 166 | 3.2          | 0.15 | 0.89 | 5.99 |
| WIT+FR                     | 24                          | 28 | 28 | 19 | 40                                                  | 47 | 47  | 32 | 134                                  | 166 | 1.5          | 0.85 | 0.85 | 1.00 |
| WIT+FR UV                  | 24                          | 28 | 28 | 19 | 40                                                  | 47 | 47  | 32 | 134                                  | 166 | 1.5          | 0.85 | 0.85 | 1.00 |
| RW+FR                      | 13                          | 19 | 48 | 19 | 22                                                  | 32 | 80  | 32 | 134                                  | 166 | 2.5          | 0.28 | 0.69 | 2.50 |

### 9.2.3 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt is het kasklimaat (temperatuur, CO<sub>2</sub> en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hing (behandeling RWB UV), en werd bijgestuurd via de Hoogendoorn ISII klimaatcomputer.

### 9.2.4 Plantmetingen

In 4 september 2020 werd de destructieve eind oogst uitgevoerd voor de paprikaplanten. Dit was 6 weken na zaaien en 4 weken nadat de planten onder de desbetreffende LED spectra in het IDC LED zijn geplaatst. De plantlengte, aantal bladeren, bladoppervlakte, vers- en drooggewichten van bladeren en stengels werden gemeten van 10 planten per tafel (20 planten per behandeling).

### 9.2.5 Zoek- en parasiteringsactiviteit *Aphidius* sluipwespen

De zoek- en parasiteringsactiviteit van *Aphidius* sluipwespen zijn onderzocht onder het RWB+FR en het WIT+FR spectrum (zie tabel 9.1 en 9.2). De behandelingen zijn uitgevoerd op 12 tafels, met 6 tafels per lightspectrum. Hierbij zijn ook de tafels met de lightspectra RWB+FR UV en WIT+FR UV gebruikt, maar is de UV-B belichting gedurende de 24-urige foerageerperiode van de sluipwespen niet toegepast. De LED behandelingen zijn toegepast tegen een achtergrond van een lage intensiteit natuurlijk zonlicht. Er is gaas 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.

Er zijn twee soorten sluipwespen getoetst, namelijk *Aphidius ervi* en *Aphidius colemani*. De 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.

Er zijn drie sluipwesp behandelingen meegenomen in het experiment, namelijk a) "naïeve" *A. ervi* vrouwtjes, b) "naïeve" *A. colemani* vrouwtjes, en c) 'getrainde' *A. ervi* vrouwtjes. In combinatie met de twee LED spectra resulteerde dit in 6 behandelingscombinaties. Met 'naïeve' sluipwesp vrouwtjes bedoelen we sluipwesp vrouwtjes die voorafgaand aan de foerageerperiode onder de LED spectra geen eerdere ervaring met het parasiteren van bladluizen hadden opgedaan. Met 'getrainde' sluipwesp vrouwtjes bedoelen we sluipwesp vrouwtjes die voordat ze zijn losgelaten op de tafels onder de LED spectra gedurende 5 minuten de kans hebben gekregen om bladluizen te parasiteren. De training is uitgevoerd door 8 *A. ervi* vrouwtjes tegelijkertijd los te laten in een glazen buisje met daarin een sprietje van een bankerplant (tarwe) met daarop graanluizen (*Sitobion avenae*) (zie Figuur 9.2). De vrouwtjes begonnen vrijwel meteen met het parasiteren van de bladluizen in deze glazen buisjes. Vierentwintig uur na training zijn er voor alle drie de sluipwesp behandelingen op elke teelttafel 8 vrouwtjes sluipwespen losgelaten. Op elke teelttafel stonden 52 (schone) paprikaplanten in een matrix van 13 rijen van 4 planten op een oppervlakte van ongeveer 3m x 0.8 m. Bij de start van de foerageerperiode van de sluipwespen zijn er op elke tafel 10 bankerplanten (wintertarwe (*Triticum aestivum*)) geplaatst met elk gemiddeld 100 graanluizen (*Sitobion avenae* voor de behandelingen met *A. ervi* en *Rhopalosiphum padi* voor de behandelingen met *A. colemani*). Naast de bankerplanten met graanluis stonden er op elke tafel ook nog 10 bankerplanten zonder graanluis. Zie figuur 9.3 en 9.4 voor een weergave van de plaatsing van de bankerplanten met/zonder graanluis tussen de paprikaplanten.

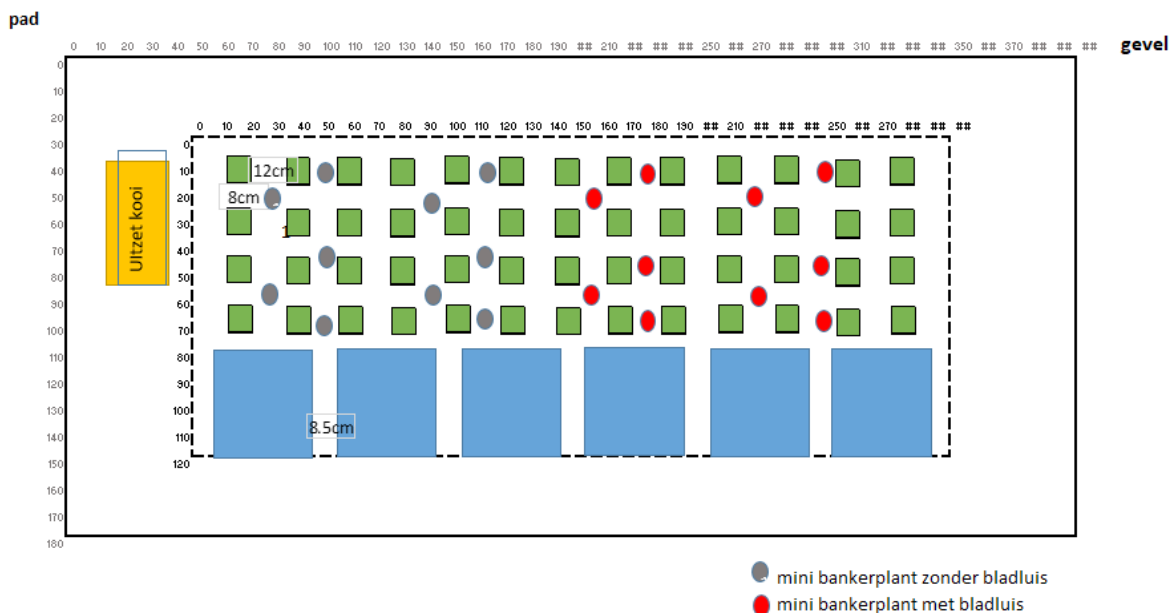
De sluipwespen werden steeds 1-2 uur voorafgaand aan de start van het experiment in de afgesloten potten op de tafels geplaatst, zodat de sluipwespen reeds konden gewennen aan de lichtomgeving. Het loslaten gebeurde steeds rond het middaguur, tussen 11 en 14 uur. Hierbij stonden de glazen potten in kooitjes 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. 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* of *R. padi* 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.

Er zijn steeds twee teelttafels per behandelingscombinatie tegelijkertijd ingezet, en de proef is over een periode van 2 maanden 6 keer herhaald, met steeds 10 dagen tussenpauze tussen elke proef. Per behandelingscombinatie waren er dus 12 herhalingen uitgevoerd. Omdat de helft herhalingen in de tijd niet konden worden gebruikt (te hoge mortaliteit van de sluipwespen en/of een ongewilde besmetting van de paprikaplanten met bladluis (*Myzus persicae*), bleven er echter maar 6 echte herhalingen per behandelingscombinatie over voor de uiteindelijke analyse. De data zijn geanalyseerd met behulp van een GLM met een quasipoisson verdeling in het statistische programma R (versie 3.5.0).





**Figuur 9.3** Boven: training van *A. ervi* sluipwesp vrouwtjes in een glazen buisje met daarin een sprietje wintertarwe met graanluizen. De *A. ervi* vrouwtjes kregen 5 minuten de tijd om de graanluizen te parasiteren. Onder: wintertarwe bankerplanten voor gebruik in het sluipwesp zoek- en parasiterings-experiment.



**Figuur 9.3** Verdeling van de bankerplanten (wintertarwe) met en zonder graanluis over de teelttafels. De sluipwespen werden losgelaten in de uitzetkooi.



**Figuur 9.4** Weergave van de proefopzet voor de sluipwesp experimenten, waarbij bankerplanten (wintertarwe) met en zonder graanluis tussen de matrix van (schone) paprikaplanten op de teelttafels zijn geplaatst, en waarbij gaas over de teelttafels was gespannen om verspreiding van de sluipwespen tussen de tafels te voorkomen.

### 9.2.6 Plaagontwikkeling paprika

In het gewas paprika is het effect van de 5 verschillende LED spectra weergegeven in Tabel 9.1 getoetst op 3 soorten plagen, namelijk bladluis (*Myzus persicae*), Californische trips (*Frankliniella occidentalis*) en Turkse mot (*Chrysodeixis chalcites*). De planten waren gedurende een periode van 4 tot 5 weken opgekweekt onder de verschillende LED spectra op het moment dat de biotoetsen zijn ingezet.

Voor het experiment met *Myzus persicae* zijn er per teelttafel 6 paprikaplanten gebruikt, waarop elk 2 volwassen bladluizen van dezelfde leeftijd in clipkooitjes (5 cm diameter) zijn geplaatst en waarbij een week na de inzet het aantal nakomelingen per bladluis vrouwtje is bepaald. Deze proef heeft geen betrouwbare gegevens opgeleverd, omdat in veel gevallen waren de bladluizen uit de clipkooitjes ontsnapt. De resultaten van deze proef zijn derhalve niet opgenomen in dit rapport.

Voor het experiment met Californische trips is er een bladtoets gedaan om het effect van LED spectrum op de plantweerbaarheid van paprika tegen deze plaag te toetsen. Hiervoor zijn er 5 volwassen tripsen ingezet op een bladpons van 5 cm diameter. Na 1 week is het aantal mm zilverschade bepaald. Helaas was de tripsschade zo slecht zichtbaar dat er geen goede beoordeling kon worden gedaan. De resultaten van deze proef zijn derhalve niet opgenomen in dit rapport.

Voor het experiment met Turkse mot zijn er op 4 planten per teelttafel (RWB+FR, WIT+FR, RW + FR) of 8 planten per teelttafel (RWB+FR UV, WIT + FR UV) elk 3 rupsen van het 1<sup>e</sup> larvale stadium per plant geïntroduceerd. Dit resulteerde in 16 planten per LED behandeling voor alle LED spectra, behalve voor RW+FR (8 planten). Na 9 dagen zijn alle rupsen gewogen op een microbalans.

#### 9.2.7 Eileg van de roofwants *Orius laevigatus* en plantweerbaarheid tegen trips in chrysant

Bij de start van de chrysantenproef stonden er per teelttafel 6 kooien met elk 6 chrysantenplanten. Op 3 dagen en 14 dagen na het plaatsen van de chrysantenplanten in de kooien onder de LED spectra RW+FR, RWB+FR en WIT+FR (zie Tabel 9.1) zijn er volwassen *Orius laevigatus* roofwantsen in de kooien geïntroduceerd, waarbij er per teelttafel in twee kooien een lage Orius dichtheid werd gerealiseerd, in twee kooien een hoge Orius dichtheid werd gerealiseerd en in twee controlekooien geen Orius werd geïntroduceerd. Voor de lage Orius dichtheid is er per introductiemoment 1 Orius paartje per kooi geïntroduceerd, en voor de hoge Orius dichtheid zijn er per introductiemoment 3 Orius paartjes per kooi geïntroduceerd. Op alle planten in de kooien waar Orius is geïntroduceerd is voedsel voor Orius aangebracht in de vorm van hoge-kwaliteit Artemia (cysten van pekelkreeftjes) (Bioartfeed, Biobee) op stukjes post-its (zie Figuur 9.5). Drie weken na het plaatsen van de chrysantenplanten in de kooien onder de desbetreffende LED spectra is het aantal Orius eitjes per plant geteld voor de behandeling met de lage Orius dichtheid en voor de behandeling met de hoge Orius dichtheid van de bovengenoemde 3 LED spectra. Tevens is het effect van de op de plantweerbaarheid tegen Californische trips (*Frankliniella occidentalis*) getoetst door middel van een bladtoets. Hierbij zijn de 9 behandelingscombinaties van LED spectrum (RW+FR, RWB+FR en WIT+FR) en Orius behandelingen (geen Orius, lage Orius dichtheid en hoge Orius dichtheid) meegenomen, en zijn daarnaast de planten van de RWB+FR UV en WIT+FR UV behandelingen zonder Orius geïncorporeerd. Er zijn per behandelingscombinatie van 10-12 planten het jongst volgroeide blad geoogst. Elk blad is vervolgens in een plastic container met een bodem van agar geplaatst, waarop een deksel met tripsgaas is bevestigd. Vervolgens zijn er in elke container 5 volwassen tripsen geïntroduceerd, en is na 1 week het aantal mm<sup>2</sup> tripsschade per blad bepaald.



**Figuur 9.5** Kooi met chrysantenplanten waarin *Orius laevigatus* roofwantsen zijn geïntroduceerd, en waarbij bij elke plant een gelijke hoeveelheid Artemia voedsel voor Orius is aangebracht op stukjes post-its.

## 9.3 Resultaten

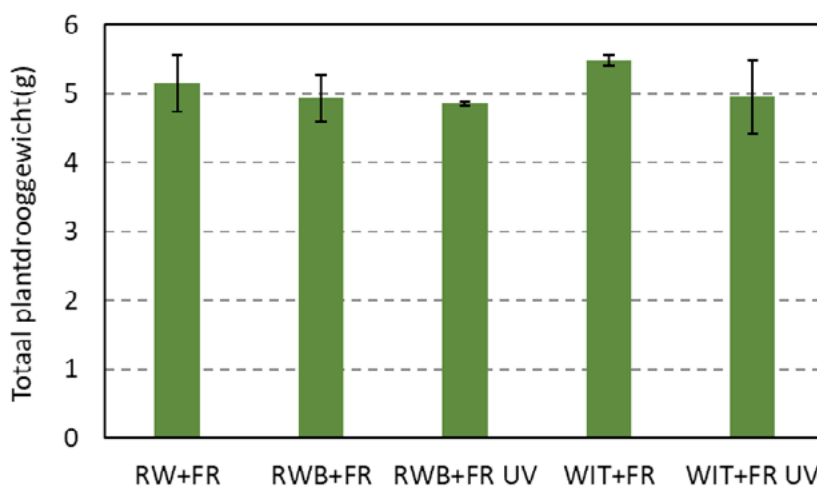
### 9.3.1 Klimaat

Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de kas was 23.1 °C, 73% RV en 572 ppm CO<sub>2</sub>.

### 9.3.2 Gewasgroei, -ontwikkeling

#### 9.3.2.1 Groei en plantgewicht

Uit de destructieve eind oogst na 5 weken teelt bleek dat er geen aantoonbare verschillen waren in plantgewicht tussen de behandelingen (Figuur 9.6).

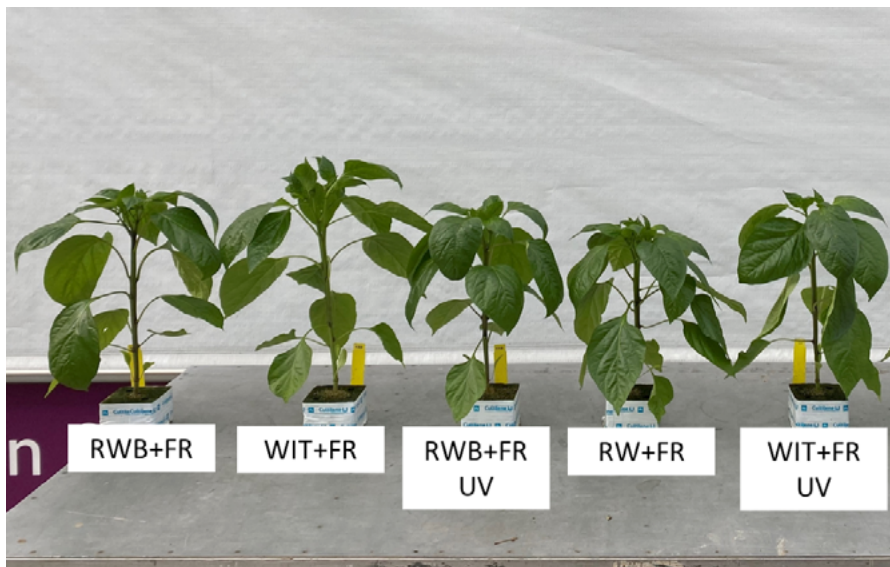


**Figuur 9.6** Effect van de lichtbehandelingen op de totaal plantdrooggewicht aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

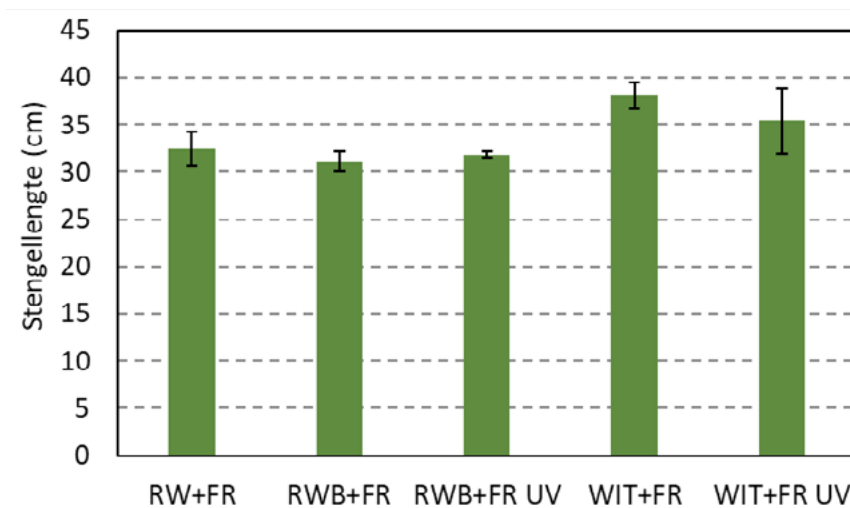
#### 9.3.2.2 Plant architectuur

Ondanks het feit dat de plantgewichten vergelijkbaar waren tussen de behandelingen, waren er wel grote verschillen in plant architectuur tussen de behandelingen (Figuur 9.7). Ondanks het feit dat alle behandelingen 20% verrood licht hadden, waren er duidelijk verschillen in stengelstrekking (Figuur 9.8) en lengte van de bladsteeltjes. De planten in de behandeling WIT+FR waren het langst, met lange bladstelen en horizontaal gepositioneerde bladeren, vergelijkbaar met RWB+FR. Daarentegen was de plantvorm duidelijk anders in de behandelingen met UVB licht. De planten daarin waren korter met een meer afhangende bladstand.





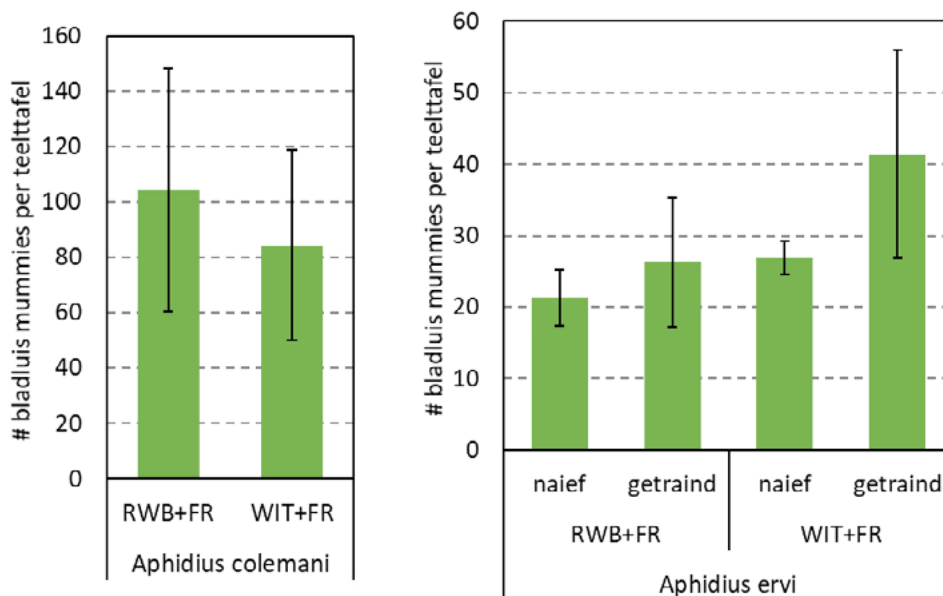
**Figuur 9.7** Plant architectuur na 23 dagen teelt.



**Figuur 9.8** Effect van de lichtbehandelingen op de stengellengte aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

### 9.3.3 Zoek- en parasiteringsactiviteit *Aphidius* sluipwespen

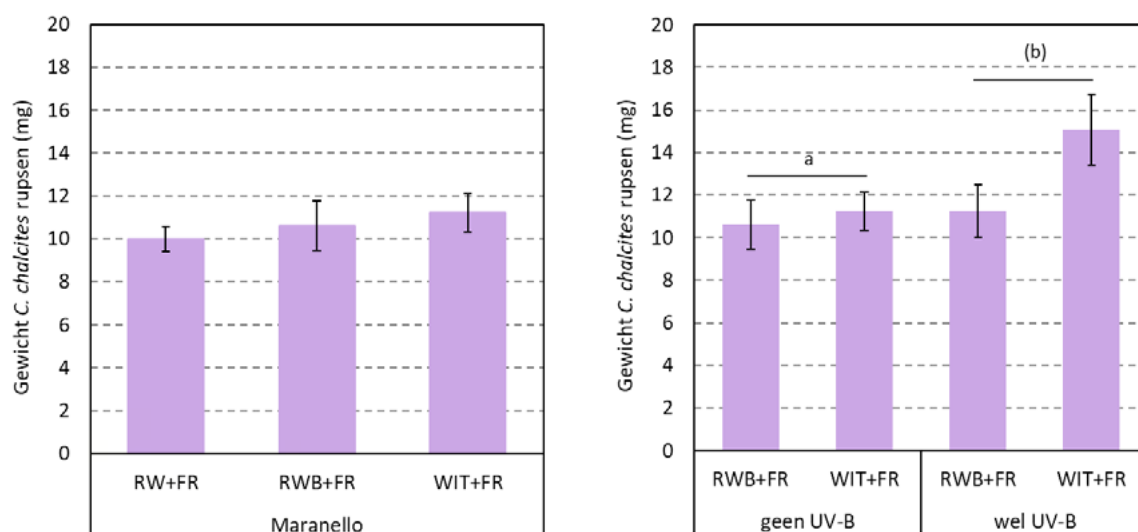
Er zijn geen significante verschillen gevonden in het effect van LED spectrum op de zoek- en parasiteringsactiviteit van naïeve *A. colemani* vrouwtjes (zie Figuur 9.9, links). Ook waren er geen significante verschillen in het effect van training en LED spectrum op de zoek- en parasiteringsactiviteit van *A. ervi* vrouwtjes (zie Figuur 9.9, rechts).



**Figuur 9.9** Parasiteringsgraad (# mummies per teelttafel) onder de RWB+FR of WIT+FR LED spectra voor (naïeve) *A. colemani* vrouwtjes na een 24-urige foerageerperiode (links) en voor naïeve en getrainde *A. ervi* vrouwtjes (rechts).

#### 9.3.4 Plaagontwikkeling paprika

Er zijn geen significante verschillen gevonden in het gewicht van de rupsen van Turkse mot tussen de LED behandelingen RW+FR, RWB+FR en WIT+FR (Figuur 9.10, links). Rupsen die waren opgekweekt op planten onder LED spectra met additionele UV-B straling waren iets zwaarder dan rupsen die op planten onder LED spectra zonder UV-B waren opgekweekt, en dit effect was marginaal significant ( $P = 0.061$ ) (Figuur 9.10, rechts). Het effect van UV-B op het rupsengewicht was niet afhankelijk van de variatie van rood, blauw en groen in het LED spectrum (Figuur 9.10, rechts).



**Figuur 9.10** Rupsengewicht (mg) van Turkse mot na 9 dagen ontwikkeling op paprika cv. Maranello onder een RW+FR, RWB+FR of WIT+FR LED spectrum (links) en in de afwezigheid of aanwezigheid van UV-B straling als supplement bovenop de RWB+FR of WIT+FR LED spectra (rechts).

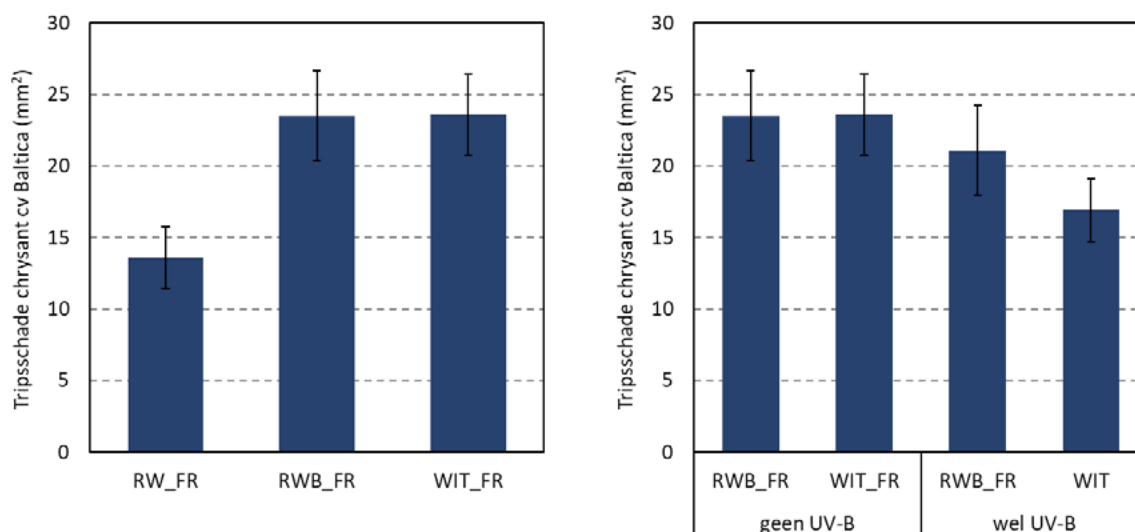
### 9.3.5 Eileg van de roofwants *Orius laevigatus* en plantweerbaarheid tegen trips in chrysant

Er zijn significante verschillen gevonden in de hoeveelheid tripsschade tussen de LED behandelingen RW+FR, RWB+FR en WIT+FR (Figuur 9.11, links). Er was significant minder tripsschade (hogere plantweerbaarheid) op de bladeren van chrysantenplanten die waren opgekweekt onder het RW+FR spectrum in vergelijking met het RWB+FR en WIT+FR spectrum (Figuur 9.10, links).

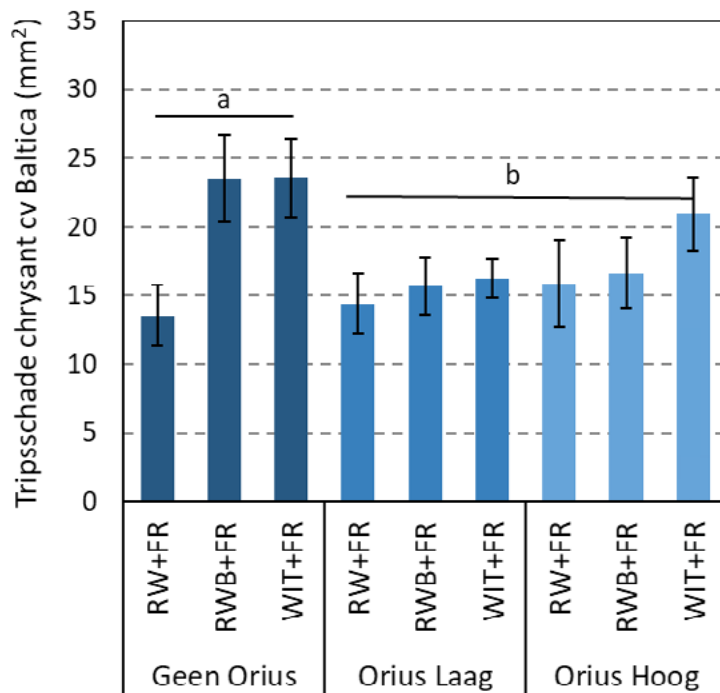
De impact van additionele UV-B straling had geen significant effect op de plantweerbaarheid van chrysant tegen trips (Figuur 9.11, rechts).

De aanwezigheid van *Orius laevigatus* op chrysant had een positieve impact op de plantweerbaarheid van chrysant. De tripsschade was significant lager in de behandelingen met Orius ( $P = 0.047$ ), en dit was onafhankelijk van het LED spectrum. Ook maakte de dichtheid van Orius in de kooien geen verschil voor dit effect (zie Figuur 9.12)

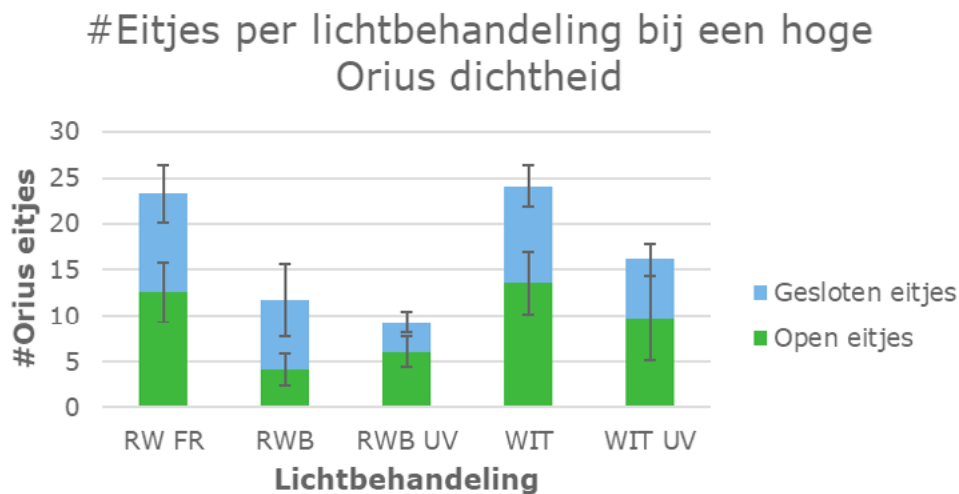
De eileg van Orius werd significant beïnvloedt door het LED spectrum, met ongeveer 2x zoveel eileg onder het WIT+FR spectrum ten opzichte van het RWB+FR spectrum. De eileg van Orius in het RW+FR spectrum was ongeveer gelijk aan het 'witte' LED spectrum. Additionele UV-B bestraling had geen significant effect op de eileg van Orius, al leek er wel een trend te zijn van minder Orius eitjes in de behandelingen met UV-B.



**Figuur 9.11** Tripsschade (mm<sup>2</sup>) van Californische trips op bladeren van chrysantenplanten cv. Baltica die zijn opgekweekt onder een RW+FR, RWB+FR of WIT+FR LED spectrum (links) en in de afwezigheid of aanwezigheid van UV-B straling als supplement bovenop de RWB+FR of WIT+FR LED spectra (rechts).



**Figuur 9.12** Tripsschade (mm<sup>2</sup>) van Californische trips op bladeren van chrysantenplanten cv. Baltica die zijn opgekweekt onder een RW+FR, RWB+FR of WIT+FR LED spectrum a) zonder *Orius laevigatus*, b) bij een lage *O. laevigatus* dichtheid, en c) bij een hoge *O. laevigatus* dichtheid.



**Figuur 9.13** Aantal eitjes van *Orius laevigatus* in de behandeling met een hoge *Orius* dichtheid in de verschillende lichtbehandelingen.

## 9.4 Conclusies

Voor de effecten van lichtkleuren op biologische plaagbestrijding is het belangrijk om de directe effecten en de indirecte effecten – welke via veranderingen in de plantweerbaarheid lopen – apart te beschouwen. Terwijl planten rood licht efficiënt kunnen gebruiken voor de fotosynthese, kunnen mijten en insecten geen licht in het rode en verrode gedeelte van het spectrum waarnemen. Wel hebben mijten en insecten fotoreceptoren voor UV-A en groen licht en kunnen sommige soorten ook blauw licht waarnemen. De verwachting was daarom dat natuurlijke vijanden die overdag op zoek gaan naar plaaginsecten, zoals sluipwespen, minder actief zijn onder lichtspectra met weinig voor hen waarneembaar groen licht.



In het KaE project LED bij zonlicht zagen we inderdaad dat de sluipwespsoort *Aphidius ervi* twee keer zoveel bladluizen parasiteerde onder een 'wit' LED spectrum (met gelijke delen rood, groen en blauw licht) dan bij een rood-blauw LED spectrum (dat bestond uit 95% rood en 5% blauw licht). Dit resultaat kwam overeen met informatie uit de literatuur, waar onder monochromatische condities was aangetoond dat *Aphidius ervi* vrouwtjes niet actief waren bij rood licht, slechts geringe activiteit vertoonden bij blauw licht en (van de zichtbare lichtkleuren) het meest actief waren bij groen licht (Cochard *et al.* 2017).

In het KaE project Duurzame teeltsystemen met LED is dezelfde proef herhaald met twee soorten sluipwespen (*Aphidius ervi* en *Aphidius colemani*) met een klein – maar mogelijk belangrijk – verschil: dit keer was er voor rood-blauwe LED spectrum 5% van het rode licht vervangen door 5% groen licht. Verassend genoeg werden er dit keer voor zowel *Aphidius ervi* als voor *Aphidius colemani* geen verschillen in zoek- en parasiteringsactiviteit gevonden tussen de twee contrasterende LED spectra. De verklaring voor de grote verschillen in resultaat tussen deze twee vergelijkbare experimenten is niet geheel duidelijk.

Het zou kunnen dat de sluipwespen een drempelwaarde hanteren qua hoeveelheid – voor hun waarneembaar – licht. Een recent artikel van Cochard *et al.* (2019) liet zien dat de kans op parasitering van bladluis door *Aphidius ervi* toenam wanneer er aan een spectrum van 100% rood licht >25% blauw licht werd toegevoegd. Een grotere proportie blauw licht (50% blauw, 75% blauw) gaf geen verdere toename van de kans op parasitering. Ook zou het kunnen de gevoeligheid van deze sluipwespen voor licht afhankelijk is van andere factoren, zoals de fysieke gesteldheid van de sluipwesp of overige omgevingsfactoren. Van sluipwespen van wittevlieg (*Encarsia formosa*, *Eretmocerus eremicus*) is bekend dat hun activiteit kan worden beïnvloed door lichtintensiteit (Zilahi-Balogh *et al.* 2006), en daarmee waarschijnlijk ook door het LED spectrum. Bij verder onderzoek naar het effect van LED spectrum op sluipwespen is het belangrijk om verder te onderzoeken of er sprake is van een drempelwaarde van – groen (= goed waarneembaar) – licht of een geleidelijke toename van zoek- en parasiteringsactiviteit met de hoeveelheid groen licht.

Tegen onze verwachting in werd er ook geen effect gevonden van een training van *Aphidius ervi* sluipwespen – bestaande uit een eileg ervaring in graanluis – op de parasiteringsgraad. Uit eerdere publicaties is wel gebleken dat deze sluipwesp soort beter zoekgedrag vertoont na een leerervaring (referenties).

Ook *Orius laevigatus* roofwantsen worden direct beïnvloedt door het LED spectrum. In een eerste verkennende proef (binnen een grote chrysantenproef) in het KaE "LED bij zonlicht" project bleek de eileg door de eerste generatie Orius vrouwtjes – toen het chrysantengewas nog in het vegetatieve stadium was – lager uit te vallen bij hogere percentages rood (= niet waarneembaar) licht in het LED spectrum. Omdat voor deze proef geen officiële herhalingen waren uitgevoerd (1 tafel per LED behandeling), is deze proef afgelopen jaar als kooiproef met jonge chrysantenplanten in meerdere herhalingen opnieuw uitgevoerd. Opnieuw zagen we een duidelijk verschil in eileg tussen de LED spectra, met 2x zoveel eileg onder een 'wit' LED spectrum (35% rood, 35% groen en 30% blauw) ten opzichte van een LED spectrum bestaande uit 90% rood licht (en 5% blauw en 5% groen licht). De eileg van Orius in het RW+FR spectrum (68% rood, 20% groen, 12% blauw) was ongeveer gelijk aan het 'witte' LED spectrum. Additionele UV-B bestraling had geen significant effect op de eileg van Orius, al leek er wel een trend te zijn van minder Orius eitjes in de behandelingen met UV-B. Of de effecten van het LED spectrum op de eileg van *Orius laevigatus* net zo sterk zijn wanneer planten in het generatieve stadium verkeren, en deze roofwantsen voornamelijk in de bloemen zitten en van stuifmeel eten, is nog niet duidelijk. In een gewas als paprika, waar Orius de belangrijkste bestrijder is van Californische trips, wordt Orius ingezet zodra de eerste bloemen verschijnen. In deze eerste fase is een snelle populatie-opbouw van groot belang, en het is goed om te weten welke invloed het LED spectrum hierop heeft.

In het KaE project Duurzame teeltsystemen met LED hebben we de invloed van LED spectrum op de plantweerbaarheid van chrysant tegen Californische trips nogmaals onderzocht. Ditmaal was er aan alle spectra 20% verrood licht toegevoegd, omdat er tegelijkertijd proeven met paprika werden uitgevoerd. Opnieuw zagen we dat de plantweerbaarheid van chrysant tegen Californische trips significant lager was onder het 'witte' LED spectrum ten opzichte van een LED spectrum met een hoger percentage rood licht (68% rood, 20% groen en 12% blauw). Verassend genoeg was de plantweerbaarheid van chrysant bij een LED spectrum met 90% rood licht, 5% blauw licht, 5% groen licht lager dan bij het spectrum met 68% rood, 20% groen en 12% blauw licht. Dit verschil in plantweerbaarheid kan derhalve niet alleen op basis van de verhouding tussen rood en verrood licht worden verklaard. Al deze resultaten samen genomen is het belangrijk om de rol van groen en blauw licht, zowel direct als indirect via de plantweerbaarheid, op plaaginsecten verder te onderzoeken.

Tenslotte was er in het gewas paprika geen effect van verschillende ratio's blauw, groen en rood in het LED spectrum op de ontwikkeling van de rupsen van Turkse mot.



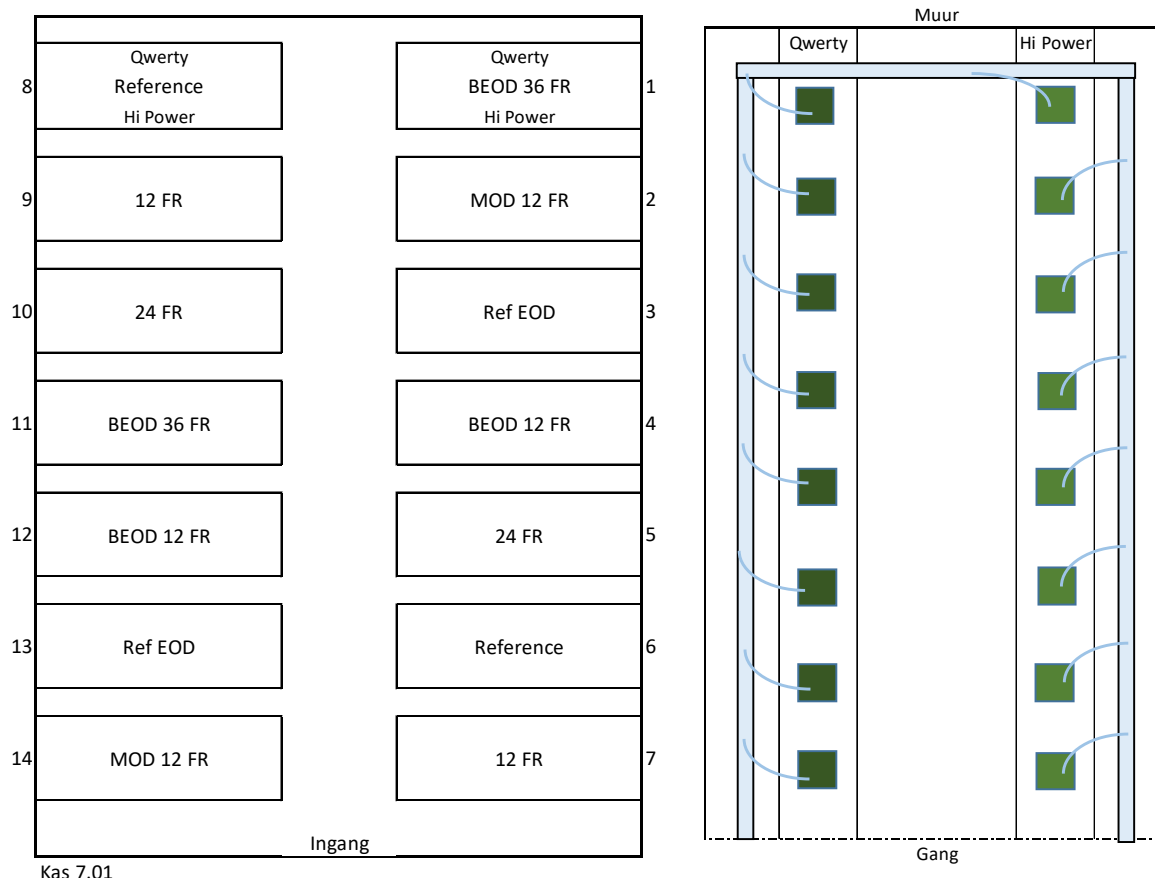
# 10 Verrood licht: respons op intensiteit en moment van de dag

## 10.1 Inleiding

In hoofdstukken 5 en 6 van dit rapport staan experimenten beschreven, waarin voor komkommer het juiste (dynamische) lichtspectrum is onderzocht, waarbij ook gekeken is naar onderliggende processen als plantarchitectuur en lichtonderschepping. Het is duidelijk dat het gewas komkommer veel baat heeft bij een aandeel verrood licht in het spectrum, en dat dit verrode licht zeker aanwezig moet zijn in de nacht (de uren dat er geen zonlicht is). Daarnaast is ook gebleken dat verrood licht aan de randen van de dag een groter effect heeft op de groei en ontwikkeling dan midden op de dag. De vraag die nog open staat is in hoeverre er een "dosis respons effect" is, dus dat een hogere intensiteit verrood licht een sterker (positief) effect heeft. En in hoeverre er interactie is met blauw en groen licht. Tenslotte moet in dit onderzoek de vraag beantwoord worden, net als eerder al gedaan is voor tomaat, in hoeverre een korte periode (30 minuten) met alleen verrood licht na de belichtingsperiode een effect heeft op strekking en assimilatenverdeling in komkommer.

## 10.2 Teelt en behandelingen

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gewas                         | Komkommer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Rassen                        | Hi Power en Qwerty                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Zaaidatum                     | 23 november 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Plantdatum (start experiment) | 8 december 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Plantdichtheid                | 2.2 planten/m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Teeltstrategie                | Op iedere tafel (7.2 m <sup>2</sup> ) werden komkommers van 2 rassen geplaatst, ieder in 1 rij van 4 steenwolmatten van 1 m. In elke rij stonden 8 planten van 1 ras. De planten hingen met gewasdraden aan een frame op de tafel en gingen rond in een carrousel. Een specifieke constructie werd aan de frames gemaakt om de stengels te ondersteunen. De onderste bladeren werden weggehaald, zodanig dat er 15-18 bladeren bleven aan Hi Power en 24-28 bij Qwerty. Alle zijstelen werden weggehaald. Onder node 5 werden alle bloemen weggehaald, vanaf node 6 mocht om en om een bloem blijven staan bij Hi Power. Bij Qwerty werden geen bloemen weggehaald. |
| Substraat en watergift        | Steenwol met druppel irrigatie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Hoogte van het lampenplafond  | 1.85 m boven de tafels                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Lichtintensiteit              | Gemiddeld 100 µmol/m <sup>2</sup> /s PAR (50 cm onder de lampen) met additioneel verrood licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Daglength                     | 00.00 – 09.00: LED<br>09.00 – 18.00: LED + zonlicht<br>18.00 – 00.00: donker                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Lichtbehandelingen            | Zie tabel 10.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Schermsstrategie              | Donkerdoek: open in 3 stappen van 9:00-9:30 en sluit in drie stappen tussen 17:30-18:00<br>Energiedoek: sluit bij 500 W/m <sup>2</sup> globale straling                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Einde experiment              | 21 januari 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



**Figuur 10.1** Links: verdeling van de lichtbehandelingen over de kas, en rechts: indeling van de tafels.

**Tabel 10.1**

*Spectrale samenstelling van het licht in de behandelingen (in % met FR als additioneel).*

| Spectra | Blauw | Groen | Rood | FR (verrood) | PAR | Totaal |
|---------|-------|-------|------|--------------|-----|--------|
| R       | 0     | 0     | 100  | 0            | 100 | 100    |
| R+FR    | 0     | 0     | 100  | 12           | 100 | 112    |
| R+mFR   | 0     | 0     | 100  | 24           | 100 | 124    |
| R+hFR   | 0     | 0     | 100  | 36           | 100 | 136    |
| RGB     | 10    | 10    | 80   | 0            | 100 | 100    |
| RGB+FR  | 10    | 10    | 80   | 12           | 100 | 112    |
| RGB+mFR | 10    | 10    | 80   | 24           | 100 | 124    |
| RGB+hFR | 10    | 10    | 80   | 36           | 100 | 136    |
| FR      | 0     | 0     | 0    | 12           | 0   | 12     |

Tabel 10.2

Verloop van de lichtbehandelingen gedurende 24 uur. De kleuren verwijzen naar de spectra in tabel 10.1.

| Treatment    | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 20 | 21 | 24 |
|--------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 1 Reference  |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 2 12 FR      |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 3 24 FR      |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 4 BEOD 12 FR |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 5 MOD 12 FR  |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 6 BEOD 36 FR |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 7 Ref EOD    |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

Tabel 10.3

Dagelijkse som verrood licht (FR).

| Behandeling | Duur (uren FR) |         | FR ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) |         | FR som (mol) |         | FR som (mol d <sup>-1</sup> ) |
|-------------|----------------|---------|--------------------------------------------|---------|--------------|---------|-------------------------------|
|             | LED            | LED+zon | LED                                        | LED+zon | LED          | LED+zon | Totaal (LED+zon)              |
| Referentie  | 0              | 0       | 0                                          | 0       | 0.0          | 0.5     | 0.50                          |
| 12 FR       | 9              | 9       | 24                                         | 24      | 0.8          | 1.3     | 2.1**                         |
| 24 FR       | 9              | 9       | 48                                         | 48      | 1.6          | 2.1     | 3.6                           |
| BEOD 12 FR  | 3              | 3       | 24                                         | 24      | 0.3          | 0.8     | 1.0*                          |
| MOD 12 FR   | 3              | 3       | 24                                         | 24      | 0.3          | 0.8     | 1.0*                          |
| BEOD 36 FR  | 3              | 3       | 72                                         | 72      | 0.8          | 1.3     | 2.1**                         |
| Ref EOD     | 0              | 0.5     | 0                                          | 24      | 0.0          | 0.5     | 0.54                          |

## 10.3 Klimaat- en plantmetingen

### 10.3.1 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO<sub>2</sub> en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt, en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer.

### 10.3.2 Plantmetingen

Aan het begin van de proef werd een destructieve oogst gedaan aan 10 planten per ras, waarbij plantlengte en aantal bladeren werd gemeten.

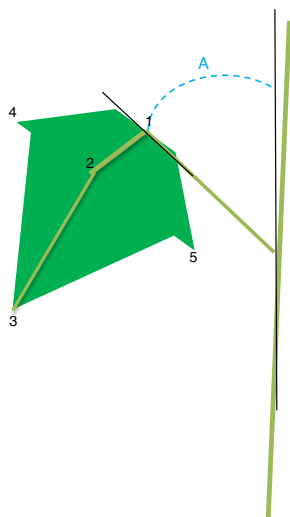
Gedurende de teelt werd plantlengte drie keer gemeten om de strekking te volgen en de lichtsom bij de top van de plant te berekenen.

In de vijfde week van de teelt werd lichtonderschepping gemeten. Vanaf de top werd iedere 50 cm een meting gedaan, op twee posities per ras per tafel.

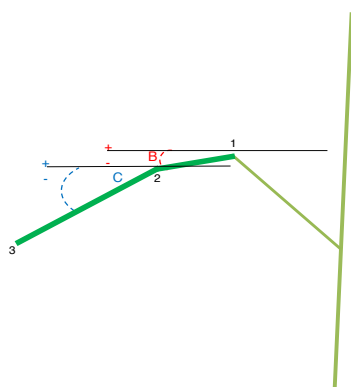
Vanaf het moment dat de planten 18 bladeren (voor Hi Power) en 28 bladeren (voor Qwerty) hadden, werden bladeren weggehaald. Vanaf week 4 van de teelt, werden iedere 3 dagen de onderste drie bladeren (voor Hi Power) of 4 bladeren (voor Qwerty) per plant weggehaald, en werd daarvan bladoppervlakte, vers- en drooggewicht bepaald.

Vanaf week 4 werd de fotosynthese gedurende 24 uur continu gemeten onder het heersende licht. Het meetblad werd zo geselecteerd dat de gemiddelde lichtintensiteit  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  was. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de bladkamer werden niet gestuurd, en de  $\text{CO}_2$  concentratie werd ingesteld op 700 ppm. Twee planten per cultivar van de behandelingen referentie, BEOD 36FR en 24FR werden doorgemeten.

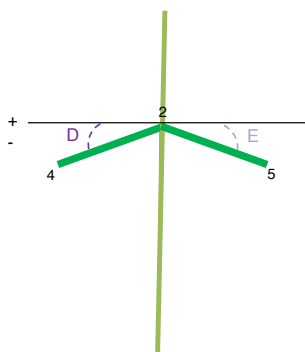
In week 5 werd de chlorofylindex gemeten aan een oud en een jong blad van drie planten per cultivar per tafel. In diezelfde week werden ook de bladhoeken gemeten, samen met de lengte van het bladsteeltje en de lengte en breedte van het blad. Van de bladeren werden de hoek van het blad met de stengel gemeten ("bladsteelhoek") (Figuur 10.2), de hoek van de hoofdnerf ("hoofdnerfhoek"), de hoek van de afhangende punt van het blad ("bladpunthoek") (Figuur 10.3) en de hoek van de zijkant van het blad met de hoofdnerf ("bladzijhoek") (Figuur 10.4).



**Figuur 10.2** Schematische weergave van de (A) bladsteelhoek (links) en weergave hoe deze bepaald werd (rechts).



**Figuur 10.3** Schematische weergave van de (B) hoek van de hoofdnerf (hoofdnerfhoek) en de (C) hoek van de afhangende punt van het blad (bladpunthoek) (links) en weergave hoe deze bepaald werden (rechter foto's).



**Figuur 10.4** Schematische weergave van de (D) hoek van de zijkant van het blad met de hoofdnerf (bladzijhoek) (links) en weergave hoe deze bepaald werd (rechts).

In week 6 van de teelt werden de planten destructief geoogst. Plantlengte, aantal bladeren en internodiën, bladoppervlakte, vers- en drooggewichten van bladschijven, bladsteeltjes, stengel en vruchten werden gemeten aan drie planten per ras per tafel.

### 10.3.3 Biotoetsen

Aan het einde van het experiment, aan het begin van de productiefase, zijn er bio-toetsen met bladponsjes uitgevoerd om de effecten van de verschillende lichtbehandelingen op ziekten te onderzoeken. Hiervoor zijn echte meeldauw als een obligaat biotroof en botrytis als een necrotroof gekozen. Voor elk bio-toets zijn 10 planten per tafel willekeurig gekozen. Van de top van de stengel, beginnend met het eerste vlakke blad, is het 9<sup>de</sup> blad geteld voor bemonstering, waarbij 2 bladponsjes elk met een diameter van 5 cm zijn genomen. De ponsjes zijn in petrischalen met een bodemlaag van 1% wateragar gelegd om de ponsjes vers te houden. Vervolgens zijn de ponsjes elk met een concentratie van  $10^5$  sporen/ml meeldauw (*Podosphaera xanthii*) of  $10^6$  sporen/ml botrytis (*Botrytis cinerea*) geïnoculeerd. De petrischalen met de ponsjes zijn in een klimaatkamer bewaard bij 20 °C en 65% RV. Zes dagen na de inoculatie is de botrytis schade als diameter verbruining met behulp van een schuifmaat gemeten. De meeldauw infectie is na 13 dagen als aantal meeldauw spots gemeten. Data zijn met een twee-factoriele ANOVA met ras en lichtbehandelingen als factoren geanalyseerd.

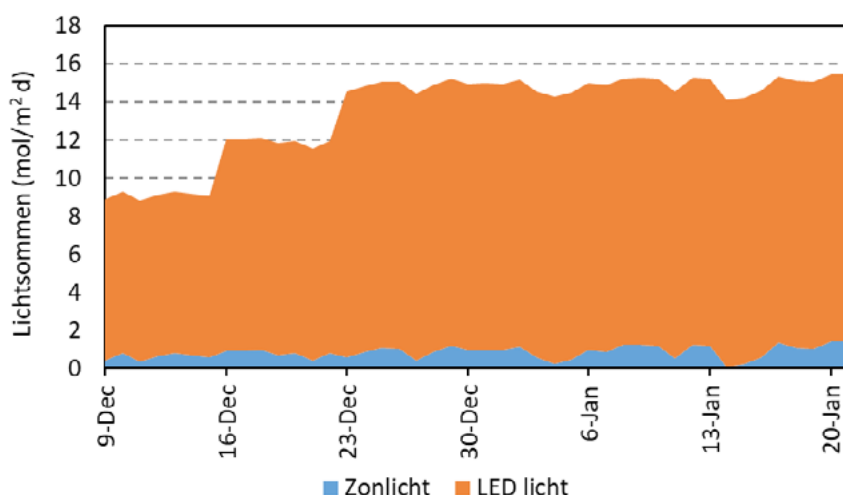
## 10.4 Resultaten

### 10.4.1 Klimaatmetingen

Het gemiddelde klimaat in de kas tijdens dit experiment was 21.4 °C, 81.1% RV en 708 ppm CO<sub>2</sub>. Met de temperatuur-RV sensoren op iedere tafel konden de verschillen in gerealiseerd klimaat per tafel bekeken worden, om te zien of er verschillen waren. Er bleken geen verschillen tussen de behandelingen te zijn in gerealiseerde luchtvochtigheid ( $p=0.511$ ) en temperatuur ( $p=0.254$ ).

De totale lichtsom gedurende de teelt bestond voor 6% uit zonlicht, en voor 94% uit licht van de LEDs (Figuur 10.5).

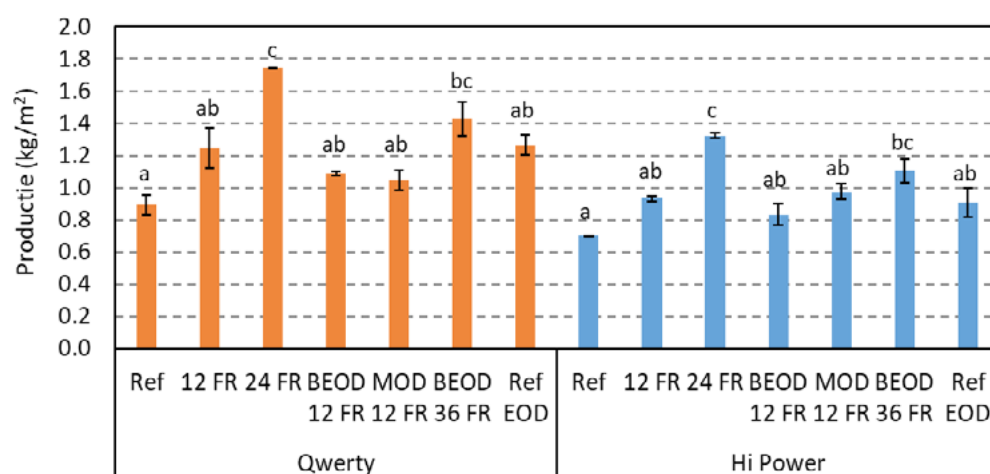




**Figuur 10.5** Gerealiseerde lichtsom gedurende de teelt. Gemiddelde van de 14 tafels in het experiment.

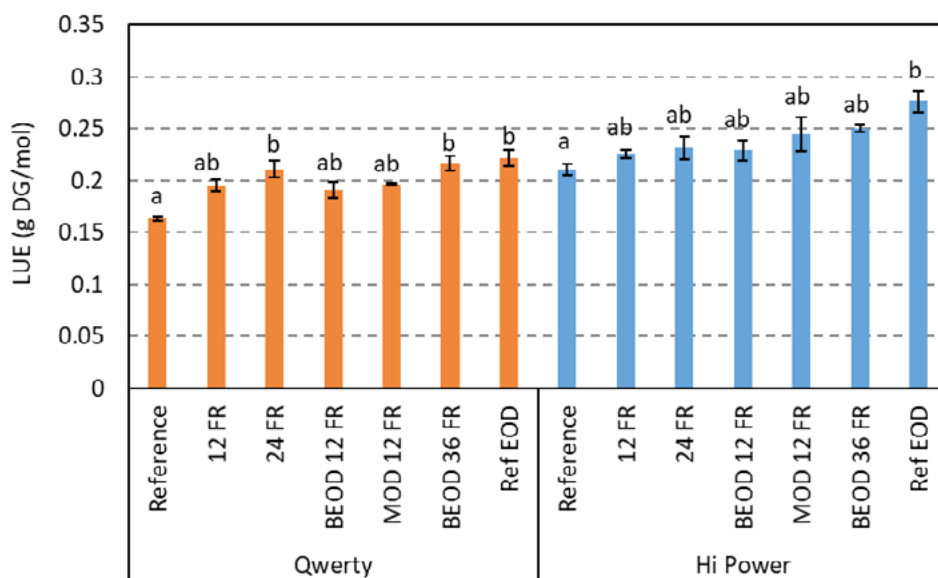
#### 10.4.2 Gewasgroei, -ontwikkeling en productie

Gedurende de teelt werd er 16 keer geoogst voor de cultivar Qwerty en 9 maal voor de cultivar Hi power. De totale productie (in kg/m<sup>2</sup>) vertoonde een duidelijke relatie met de hoeveelheid verrood licht dat was gegeven (Figuur 10.6). In beide rassen had de behandeling 24 FR een hogere productie dan de referentiebehandeling zonder verrood licht (+95% in Qwerty en +88% in Hi Power). In deze behandeling (24 FR), produceerden de planten het grootste aantal vruchten (+65% voor Qwerty en +85% voor Hi Power ten opzichte van de referentie) met een hoger drooggewicht (+100% voor Qwerty en +119% voor Hi Power ten opzichte van de referentie). De behandeling BEOD 36 FR had ook een significant hogere productie in vergelijking met de referentie, terwijl de behandeling 12 FR, die dezelfde verroodsom had als de behandeling BEOD 36 FR (2.1 mol/dag), niet significant versilde van de referentie. Dat betekent dat het niet alleen een effect is van de dosis verrood licht die gegeven wordt, maar ook hoe deze dosis over de dag wordt gegeven. Hierbij is het de vraag of het vooral het tijdstip van de dag is, of dat het effect mede wordt bepaald door het feit dat er die beperkte aantal uren een hogere intensiteit verrood licht wordt gegeven.



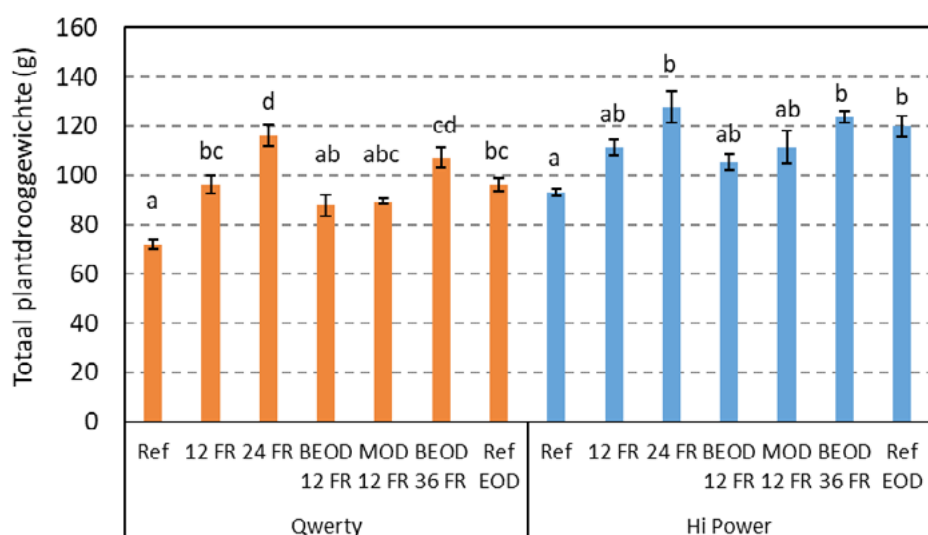
**Figuur 10.6** Effect van de lichtbehandelingen op de productie (kg/m<sup>2</sup>) van de rassen Qwerty en Hi Power aan het einde van de teelt (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Aan het einde van de teelt werd de lichtbenuttingsefficiëntie (LUE, light use efficiency) berekend op basis van de lichtintegraal van PAR+FR en het totale drooggewicht van de bovengrondse delen van de planten. In de cultivar Hi Power, had alleen de behandeling Ref EOD een significant hogere lichtbenuttingsefficiëntie vergeleken met de referentie (+31%) (Figuur 10.7). In de cultivar Qwerty hadden de behandelingen Ref EOD, BEOD 36 en 24 FR een significant hogere lichtbenuttingsefficiëntie dan de referentie (+36%, +33%, +29% respectievelijk).



**Figuur 10.7** Lichtbenuttingsefficiënties van de behandelingen berekend op basis van de lichtsom PAR+FR en de bovengrondse biomassa (drooggewicht). De verticale lijnen geven de standaard afwijking van het gemiddelde aan (sem). Verschillende letters binnen een cultivar geven statistische verschillen aan.

Planten in de referentiebehandeling hadden een lager totaal plantgewicht (inclusief geoogste vruchten en geplukte bladeren) dan de andere behandelingen (Figuur 10.8). Voor Hi Power was dit statistisch lager dan 24 FR (+37%) en BEOD 36 FR (+33%). In Qwerty was het statistisch lager dan alle behandelingen behalve MOD en BEOD 12 FR. De behandeling 24 FR had voor Qwerty een 61% hoger plantdrooggewicht vergeleken met de referentiebehandeling, en deze behandeling was statistisch verschillend (hoger) dan alle andere behandelingen, BEOD 36FR. Dit laat zien dat de groei, uitgedrukt in de productie van drooggewicht gerelateerd is aan de dosis verrood licht dat de planten per dag krijgen (dagelijkse lichtsom FR), met name in cultivar Qwerty. Voor beide cultivars maakt het uit hoe deze dosis verrood licht over de dag gegeven wordt, er is een interactie met het moment van de dag.



**Figuur 10.8** Effect van de lichtbehandelingen op de totaal plantdrooggewicht (g) van de cultivars Qwerty en Hi Power aan het einde van de teelt (n=2). De verticale lijn geeft de standaard afwijking van het gemiddelde aan (sem). Verschillende letters binnen een cultivar geven statistische verschillen aan.

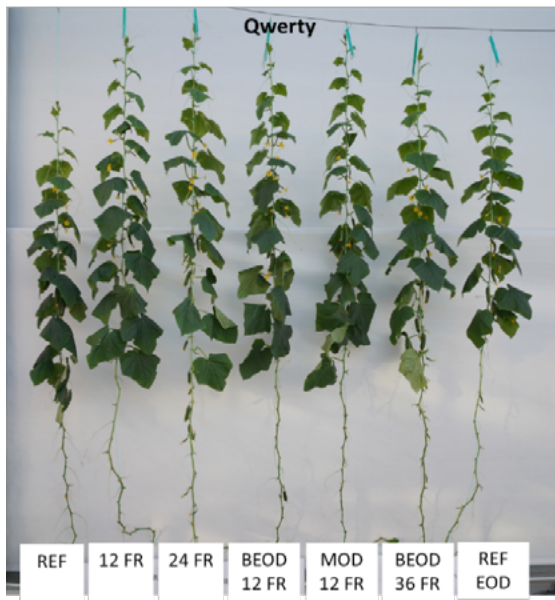
Ook de verdeling van het plantgewicht over de verschillende organen (bladeren, stengels en vruchten) wordt bepaald door de dosis verrood licht die gegeven wordt. In het algemeen zorgt verrood licht er voor dat er meer assimilaten verdeeld worden naar de vruchten, dus een hoger totale vruchtproductie, en naar de stengel en bladsteeltjes ten koste van de bladeren (Tabel 10.4).

**Tabel 10.4**

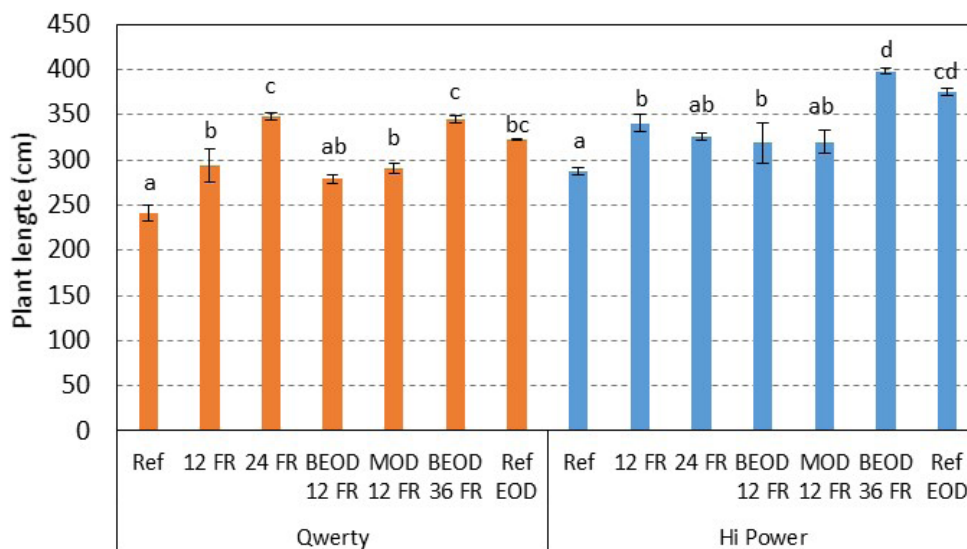
De verdeling van het totale plantgewicht over verschillende organen (n=2). Verschillende letters binnen een cultivar geven statistische verschillen aan.

| Ras/behandelingen | Aandeel in vruchten (%) | Aandeel in bladeren (%) | Aandeel in bladstelen (%) | Aandeel in stengel (%) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Qwerty</b>     |                         |                         |                           |                        |
| Referentie        | 42.4                    | 43.9 a                  | 3.5 a                     | 10.1                   |
| 12 FR             | 48.4                    | 36.8 ab                 | 4.5 abc                   | 10.2                   |
| 24 FR             | 49.5                    | 32.7 b                  | 6.2 d                     | 11.6                   |
| BEOD 12 FR        | 46.3                    | 39.8 ab                 | 3.8 ab                    | 10.1                   |
| MOD 12 FR         | 44.8                    | 40.5 ab                 | 4.2 ab                    | 10.5                   |
| BEOD 36 FR        | 48.2                    | 35.5 b                  | 5.0 c                     | 11.3                   |
| Referentie EOD    | 47.4                    | 37.0 ab                 | 4.6 bc                    | 11.0                   |
| <b>Hi Power</b>   |                         |                         |                           |                        |
| Referentie        | 25.0                    | 53.5 a                  | 6.6 a                     | 14.8 a                 |
| 12 FR             | 25.4                    | 46.5 bc                 | 10.1 cd                   | 17.9 b                 |
| 24 FR             | 29.3                    | 41.3 c                  | 11.1 d                    | 18.3 b                 |
| BEOD 12 FR        | 25.7                    | 49.5 ab                 | 8.1 ab                    | 16.7 ab                |
| MOD 12 FR         | 27.2                    | 48.6 ab                 | 8.6 abc                   | 15.6 ab                |
| BEOD 36 FR        | 29.0                    | 44.2 bc                 | 9.1 bcd                   | 17.7 ab                |
| Referentie EOD    | 27.3                    | 47.2 bc                 | 8.2 abc                   | 17.3 ab                |

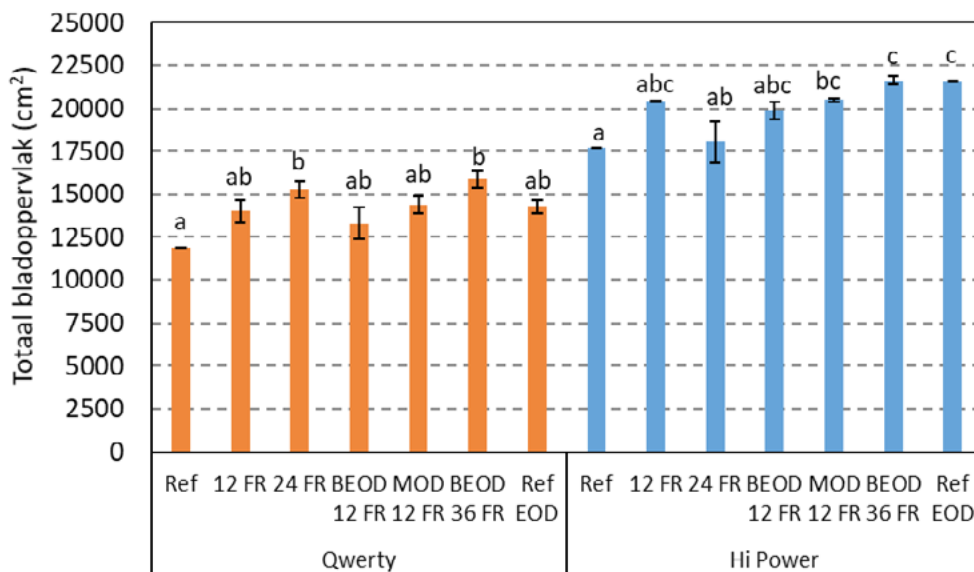
Evenals in eerdere proeven werd gevonden bleek verrood te leiden tot meer stengelstrekking (Figuur 10.10). In Qwerty waren de planten in de behandelingen 24 FR, BEOD 36FR en EOD langer, omdat de afzonderlijke internodiën meer gestrekt waren dan in de referentiebehandeling (zie figuur 10.9). De bladoppervlakte van de behandelingen 24 FR en BEOD 36 FR was ook aantoonbaar hoger dan van de referentie (+29% en +32% respectievelijk) (Figuur 10.11). In de cultivar Hi Power hadden de behandelingen BEOD 36 FR en EOD een vergelijkbaar effect als in Qwerty. In de behandeling 24 FR echter, hadden sommige planten een afwijkende morfologie met misvormde bladeren, dat leidde tot een lager bladoppervlakte, vergelijkbaar met de referentie, en tot een kleiner aantal internodiën, en dus ook kortere planten.



**Figuur 10.9** Plantarchitectuur na 45 dagen telen. Bij Qwerty planten werden ca. 23 bladeren aangehouden, bij Hi Power planten 14 bladeren.

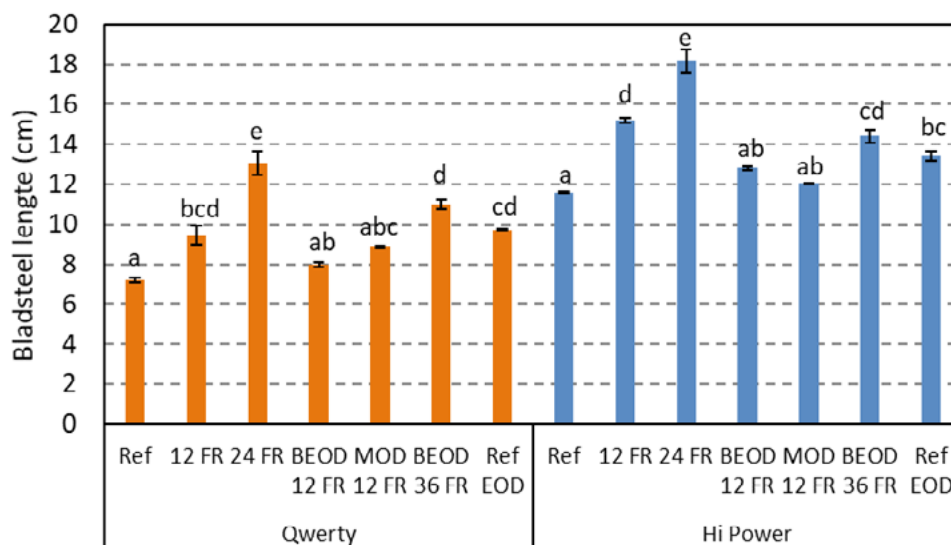


**Figuur 10.10** Effect van de lichtbehandelingen op de plantlengte van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters binnen een cultivar geven statistische verschillen aan.



**Figuur 10.11** Effect van de lichtbehandelingen op de bladoppervlakte van de rassen Hi Power en Proloog aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters binnen een cultivar geven statistische verschillen aan.

In beide rassen hadden de behandelingen 24FR en BEOD 36FR langere bladsteeltjes dan de referentie (Figuur 10.12), met een meer horizontale bladstand (Tabel 10.5).



**Figuur 10.12** Lengte van de bladsteeltjes van een volledig ontwikkeld blad. Voor Hi Power was dit blad 8 of 9, voor Qwerty blad 10 of 11 van boven geteld ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters binnen een cultivar geven statistische verschillen aan.

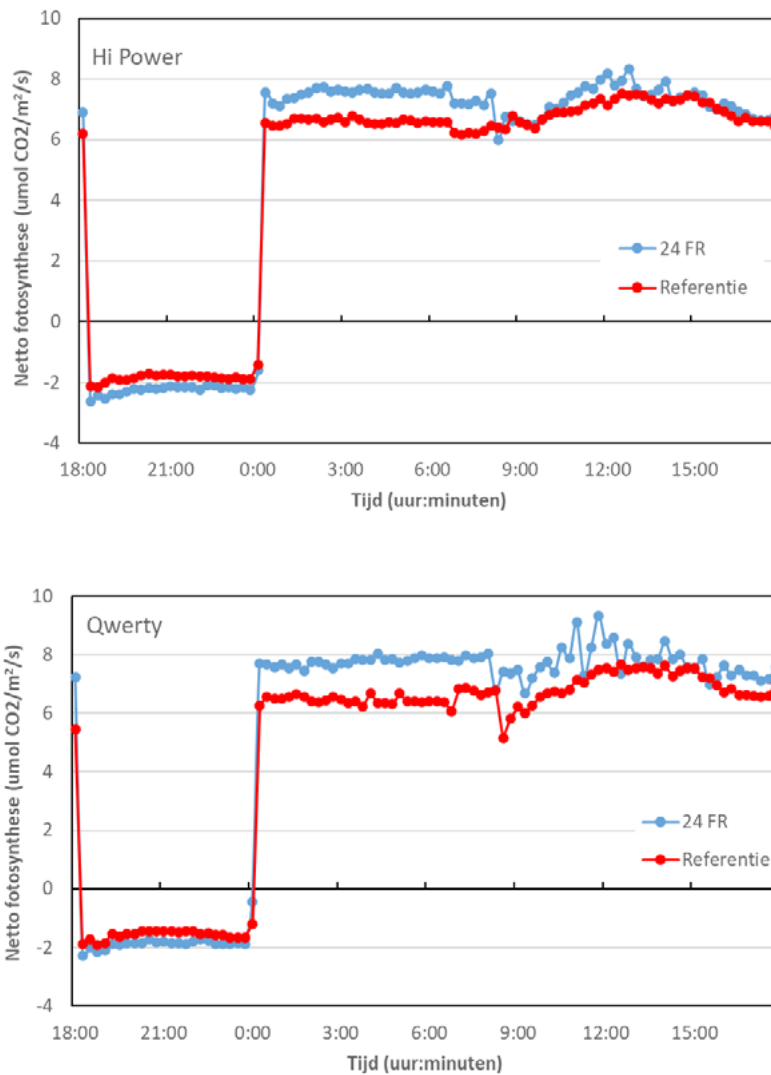
Uit de metingen aan de bladstanden is te zien dat bij Qwerty de behandelingen met een hoger aandeel verrood licht (24 FR ten opzichte van de referentie) een meer horizontale stand hebben van de bladeren ten opzichte van de referentie, waarmee meer licht onderschept zou kunnen worden. Dit blijkt met name uit de kleinere hoofdnerfhoek en bladpunthoek, wat betekent dat het blad minder gebogen staat, maar vlak is (Tabel 10.5). Deze hoeken verschillen niet aantoonbaar tussen de overige behandelingen. In het ras Hi Power zijn geen aantoonbare verschillen in bladhoeken gemeten (Tabel 10.5).

Tabel 10.5

*Bladhoeken gemeten aan bovenste bladeren van komkommerplanten van de cultivars Qwerty en Hi Power. Beschrijving van hoe de bladhoeken gemeten zijn staat in paragraaf 10.3.2 (n=2).*

| Ras/behandelingen | Bladsteelhoek (°) | Hoofdnerfhoek (°) | Bladpunthoek (°) | Bladzijhoek (°) |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Qwerty            |                   |                   |                  |                 |
| Referentie        | 64 a              | 48 a              | 63 a             | 23              |
| 12 FR             | 56 bc             | 45 a              | 64 a             | 21              |
| 24 FR             | 45 d              | 20 b              | 30 b             | 16              |
| BEOD 12 FR        | 60 ab             | 45 a              | 59 ab            | 23              |
| MOD 12 FR         | 56 bc             | 42 ab             | 59 ab            | 27              |
| BEOD 36 FR        | 45 d              | 32 ab             | 49 ab            | 24              |
| Referentie EOD    | 52 cd             | 38 ab             | 57 ab            | 27              |
| Hi Power          |                   |                   |                  |                 |
| Referentie        | 53                | 53                | 78               | 22              |
| 12 FR             | 51                | 29                | 65               | 17              |
| 24 FR             | 36                | 19                | 65               | 20              |
| BEOD 12 FR        | 57                | 54                | 78               | 18              |
| MOD 12 FR         | 53                | 44                | 72               | 22              |
| BEOD 36 FR        | 45                | 28                | 76               | 17              |
| Referentie EOD    | 48                | 39                | 64               | 21              |

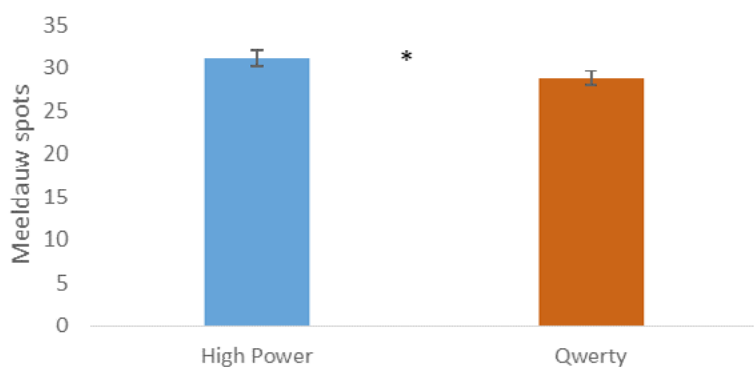
Tijdens de teelt is op een aantal dagen de momentane fotosynthese van bladeren van Hi Power en Qwerty gemeten, om na te gaan of hier verschillen in waren. Bij beide rassen was duidelijk te zien dat de aanwezigheid van verrood licht in het spectrum de fotosynthese verhoogde (Figuur 10.13). Dit is met name duidelijk te zien in de nachturen (van middernacht tot ca. 8 uur in de ochtend) als er alleen lamplicht is. Gedurende de uren overdag, wanneer er ook zonlicht op de planten valt met een aandeel verrood licht, zijn de verschillen tussen de behandelingen 24 FR en de referentie minder groot, hetgeen verwacht kon worden. Tijdens de metingen waren de lichtintensiteiten tussen de behandelingen vergelijkbaar (metingen in de bladkamer zonder lichtbron) ( $P=0.623$ ).



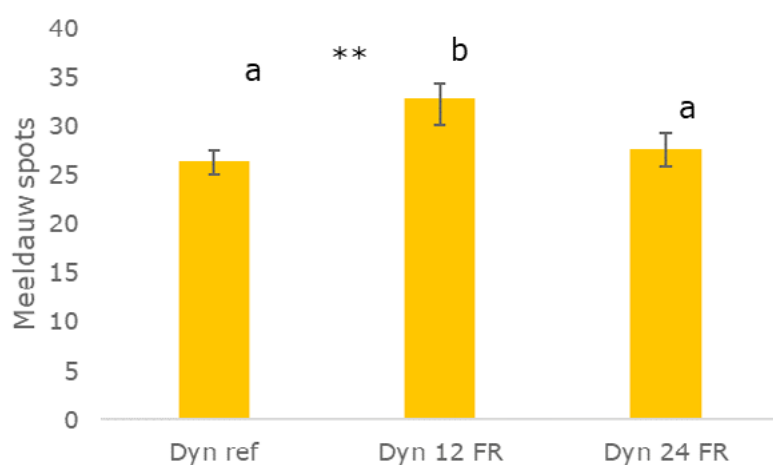
**Figuur 10.13** Verloop van de netto fotosynthese gedurende de dag voor komkommerplanten van de rassen Hi Power (boven) en Qwerty (onder) onder natuurlijk licht condities, met een CO<sub>2</sub> concentratie in de bladkamer van 700 ppm. De metingen zijn gedaan in de behandelingen 24 FR en de referentiebehandeling.

#### 10.4.3 Bio-toesten

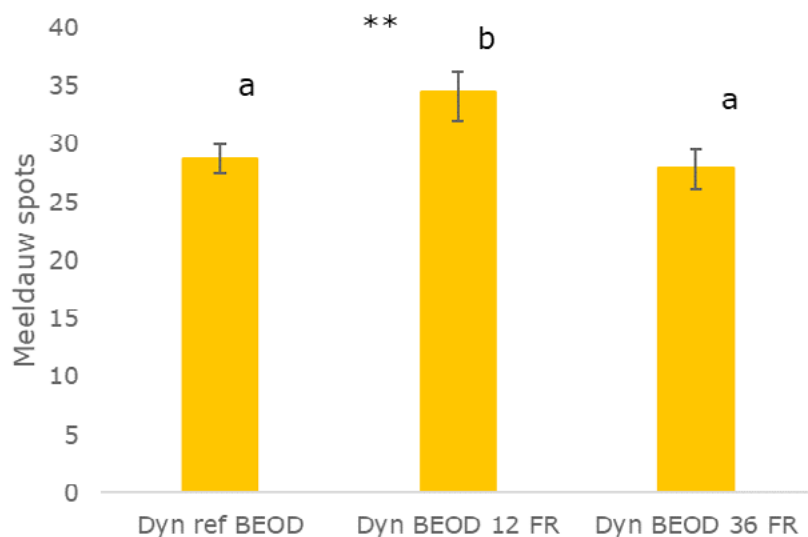
De rassen Qwerty en Hi Power vertoonden geen verschillen in Botrytis schade. Ook de verschillende behandelingen hadden geen invloed op Botrytis aantasting. Hi Power vertoonde meer meeldauw infectie dan Qwerty (Figuur 10.14). De behandeling 12 FR had significant meer schade dan de referentie en 24 FR (Figuur 10.15). Ook de behandeling BEOD 12 FR vertoonde meer schade dan de referentie EOD en BEOD 36 FR (Figuur 10.16).



**Figuur 10.14** Effect van het ras op de meeldauw infectie. \* betekent dat er een significant verschil was ( $p \leq 0.05$ ). Data laten de gemiddelden met standaardfout zien.



**Figuur 10.15** Effect van een aantal lichtbehandelingen op het aantal meeldauw spots. Verschillende letters betekenen significante verschillen bij  $p \leq 0.01$ . Data laten de gemiddelden met standaardfout zien.



**Figuur 10.16** Effect van een aantal lichtbehandelingen op het aantal meeldauw spots. Verschillende letters betekenen significante verschillen bij  $p \leq 0.01$ . Data laten de gemiddelden met standaardfout zien.



Samenvattend blijkt uit deze resultaten dat de intensiteit van het verrode licht en het moment waarop het verrode licht gegeven wordt geen effect heeft op de gevoeligheid van komkommerbladeren voor Botrytis. Daarentegen bleek dat een dynamisch spectrum met 12 FR en de behandeling BEOD 12FR waarbij aan het begin en aan het einde van de dag FR werd gegeven de meeldauw infectie bij komkommer verhoogde.

## 10.5 Conclusie

Uit eerdere hoofdstukken van dit rapport is gebleken dat het gewas komkommer veel baat heeft bij een aandeel verrood licht in het spectrum, en dat dit verrode licht zeker aanwezig moet zijn in de nacht (de uren dat er geen zonlicht is). Daarnaast is ook gebleken dat verrood licht aan de randen van de dag een groter effect heeft op de groei en ontwikkeling dan midden op de dag. De vraag die nog open staat is in hoeverre er een "dosis respons effect" is, dus dat een hogere intensiteit verrood licht een sterker (positief) effect heeft. Verder moet dit onderzoek de vraag beantwoorden in hoeverre een korte periode (30 minuten) met alleen verrood licht na de belichtingsperiode een effect heeft op strekking en assimilatenverdeling in komkommer.

Om deze vragen te beantwoorden is een serie intensiteiten FR licht gegeven, te weten 0, 12 en 24  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Uit de resultaten bleek duidelijk dat een hogere intensiteit FR gedurende de dag leidt toe een hogere biomassaproductie, en een hogere productie van komkommers. Het aandeel assimilaten in de bladeren en stengel nam wel af, maar het aandeel in de komkommers nam niet statistisch betrouwbaar toe.

De volgende vraag was of het mogelijk is om de FR ook anders over de dag te verdelen, dus niet gedurende de hele belichtingsperiode 12  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  FR licht, maar aan de randen van de dag 36  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  verrood licht, zodanig dat de totale FR som gedurende 24 uur hetzelfde is. Omdat geen van de gemeten planteigenschappen aantoonbaar verschilt tussen deze twee behandelingen, kan geconcludeerd worden dat het niet uitmaakt hoe de FR over de dag verdeeld wordt, als de totale FR som maar hetzelfde is. Ook de planteigenschappen die gemeten zijn in de behandelingen BEOD 12 FR en MOD 12 FR, waarbij 12  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  aan het begin en einde van de belichtingsperiode gegeven werd, of midden in de belichtingsperiode, met eenzelfde totale FR som bleken niet betrouwbaar te verschillen. Dat betekent dat het moment waarop FR gegeven wordt niet uitmaakt.

Tenslotte is gekeken naar het effect van een "End of Day" verrood licht behandeling, waarbij na de belichtingsperiode (spectrum zonder verrood licht) nog 30 minuten verrood licht gegeven werd. In veel siergewassen is dit een interessante behandeling, omdat dit strekking en bloei beïnvloedt. In tomaat hebben we ook met deze behandeling geëxperimenteerd, maar dit leverde wel strekking op, maar geen positief effect op de productie. Bij komkommer treedt een vergelijkbaar effect op: wanneer aan het einde van de dag 30 minuten verrood licht gegeven wordt, leidt dit wel tot veel stengelstrekking en een hoger plantdrooggewicht, maar niet tot een aantoonbaar hogere productie van komkommers.

# 11 Daglengte en moment van de dag

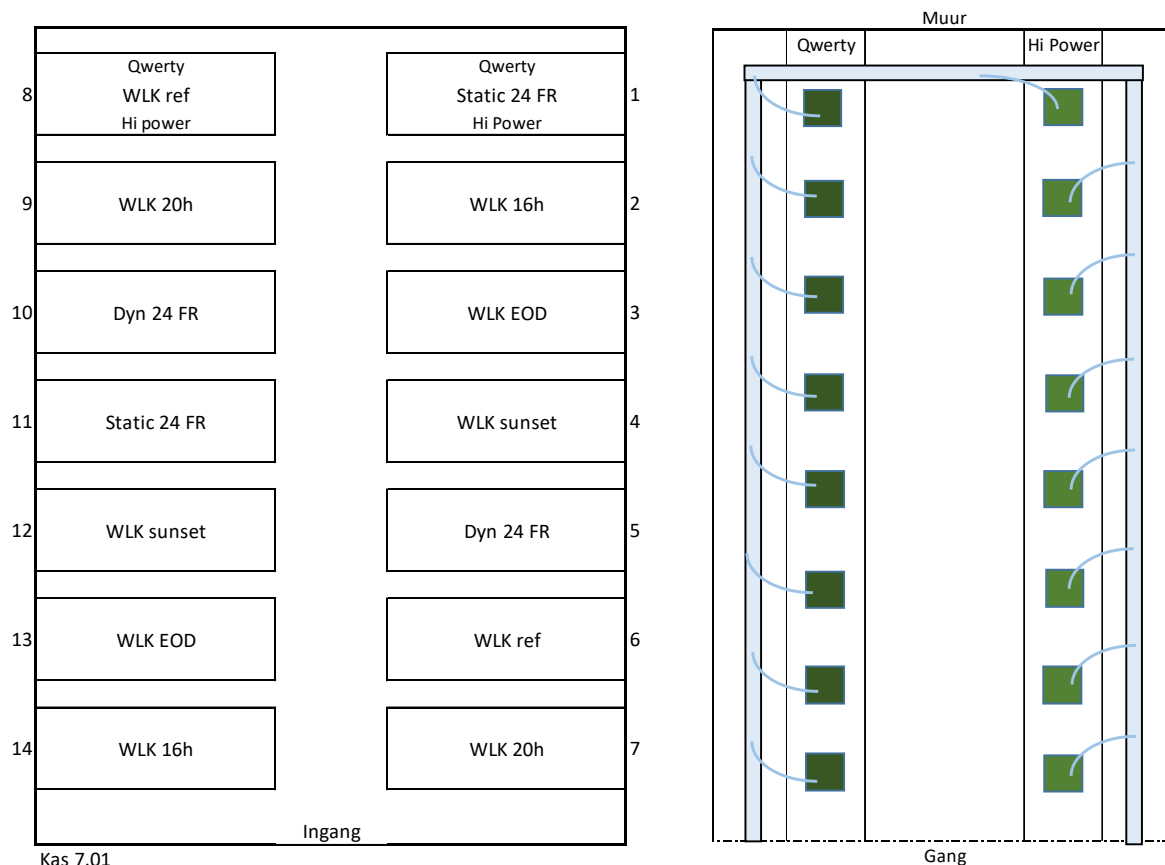
## 11.1 Inleiding

In 2019 werd een spectrumproef met komkommer uitgevoerd in het IDC LED (project "LED licht bij zonlicht"). Uit dit experiment werd het meest het spectrum geselecteerd dat voor het ras Hi Power als beste presteerde, en op basis hiervan werd het spectrum voor de Winterlichtkas bepaald. Dit is een spectrum met 6% blauw licht, 10% groen licht, 74% rood en 10% verrood licht, dat gedurende 18 uur gegeven wordt. Het vertalen van het meest geschikte spectrum voor komkommer op een oppervlakte van 1.8 x 4 meter en een teelhoogte van maximaal 1.8 meter naar een teeltoppervlakte van bijna 500 m<sup>2</sup> gedurende een heel seizoen bleek nog een hele uitdaging. In de Winterlichtkas bleef de productie achter bij de verwachting, en bleek het lastig te zijn de balans generatief/vegetatief gedurende de hele teelt goed te houden. Om dit te verbeteren zijn aanpassingen in gewasmanagement en klimaat nodig, maar mogelijk zijn er ook nog aanpassingen nodig in het lichtspectrum, de daglengte of het moment van de dag dat er belicht wordt. Daar is in deze proef aan gewerkt.

## 11.2 Teelt en behandelingen

Deze proef heeft als doel na te gaan wat het effect is van een aantal belichtingsstrategieën voor komkommer, waarbij het lichtspectrum dat in gebruik is in de Winterlichtkas als basis wordt gebruikt. Een van de factoren die gevarieerd wordt is de belichtingsduur. In de Winterlichtkas wordt 18 uur belicht, en in deze proef gebruiken we zowel een belichtingsperiode van 16 uur (mogelijk een hogere lichtbenuttingsefficiëntie) en een periode van 20 uur, waarvan gedacht wordt dat dit mogelijk te lang is. Verder is een lichtspectrum getest dat in de vorige komkommerproef de hoogste productie had, en vergeleken met het spectrum dat nu in de Winterlichtkas gebruikt wordt.

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gewas                         | Komkommer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Rassen                        | Hi Power, Qwerty                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Zaaidatum                     | 19 januari 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Plantdatum (start experiment) | 2 februari 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Plantdichtheid                | 2.2 planten/m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Teeltstrategie                | Op iedere tafel (7.2 m <sup>2</sup> ) werden komkommers van 2 rassen geplaatst, ieder in 1 rij van 4 steenwolmatten van 1 m. In elke rij stonden 8 planten van 1 ras. De planten hingen met gewasdraden aan een frame op de tafel en gingen rond in een carroussel. Een specifieke constructie werd aan de frames gemaakt om de stengels te ondersteunen. De onderste bladeren werden weggehaald, zodanig dat er 15-18 bladeren bleven aan Hi Power en 24-28 bij Qwerty. Alle zijscheuten werden weggehaald. Onder node 5 werden alle bloemen weggehaald, vanaf node 6 mocht om en om een bloem blijven staan bij Hi Power. Bij Qwerty werden geen bloemen weggehaald. |
| Substraat en watergift        | Steenwol met druppelaars                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Hoogte van het lampenplafond  | 1.85 m boven de tafel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Lichtintensiteit              | Gemiddeld 200 µmol/m <sup>2</sup> /s PAR (50 cm onder de lampen)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Daglengte                     | De daglengte werd wekelijks aangepast:<br>De LEDs brandden van 18 h voor zononder tot 9 uur voor zononder<br>Er was ook zonlicht van 9 uur voor zononder tot zonsondergang<br>Van zonsondergang tot 6 uur na zonsondergang was het donker                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Lichtbehandelingen            | Zie onderstaande tabel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Temperatuurinstellingen       | 22.5°C dag en 20.5°C nacht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Schermsstrategie              | Donkerdoek: open in 3 stappen in een uur vanaf 9.5 uur voor zonsondergang en sluit in drie stappen in een uur vanaf zonsondergang<br>Energiedoek: sluit bij een globale straling van 500 W/m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| CO <sub>2</sub> concentratie  | 700 ppm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Einde experiment              | 25 maart 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



**Figuur 11.1** Links: inrichting van de kas en de posities van de behandelingen. Rechts: inrichting van een tafel.

**Tabel 11.1**

*Spectrale samenstellingen (in %).*

| Spectra     | Blauw | Groen | Rood | FR (verrood) | PAR | Totaal |
|-------------|-------|-------|------|--------------|-----|--------|
| RhGB + FR   | 6     | 10    | 84   | 12           | 100 | 112    |
| RhGB        | 6     | 10    | 84   | 0            | 100 | 100    |
| R + hFR     | 0     | 0     | 100  | 24           | 100 | 124    |
| RhGbB + hFR | 10    | 10    | 80   | 24           | 100 | 124    |
| RGB + hFR   | 5     | 5     | 90   | 24           | 100 | 124    |
| EOD FR      | 0     | 0     | 0    | 12           | 0   | 12     |
| Donker      |       |       |      |              |     |        |
| Zonlicht    |       |       |      |              |     |        |

Tabel 11.2

Toegepaste lichtbehandelingen gedurende 24 uur.

|              |   | LED licht |   |   |   |   |   |   |   | LED + zonlicht |   |    |    |    |    |    |    | Nacht |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|----|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|              |   | 0         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8              | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16    | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| WLK ref      | 1 |           |   |   |   |   |   |   |   |                |   |    |    |    |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |    |
| WLK 20h      | 2 |           |   |   |   |   |   |   |   |                |   |    |    |    |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |    |
| WLK 16h      | 3 |           |   |   |   |   |   |   |   |                |   |    |    |    |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |    |
| WLK zononder | 4 |           |   |   |   |   |   |   |   |                |   |    |    |    |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |    |
| WLK EOD      | 5 |           |   |   |   |   |   |   |   |                |   |    |    |    |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Dyn 24FR     | 6 |           |   |   |   |   |   |   |   |                |   |    |    |    |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Stat 24 FR   | 7 |           |   |   |   |   |   |   |   |                |   |    |    |    |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |    |

Behandeling 4 heeft een daglengte van 18 uur, waarvan 16 uur LED licht (00:00-16:00) en de laatste twee uur alleen zonlicht (16:00-18:00).

Tabel 11.3

Gerealiseerde lichtsommen per behandelingen.

| Behandeling     | Lichtsom zon (PAR +FR) | Lichtsom LEDs (PAR + FR) | Totale lichtsom (PAR +FR) |
|-----------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| WLK referentie  | 56                     | 694                      | 750                       |
| WLK 20 uur      | 54                     | 781                      | 835                       |
| WLK 16 uur      | 53                     | 630                      | 683                       |
| WLK zononder    | 61                     | 694                      | 755                       |
| WLK EOD         | 59                     | 610                      | 670                       |
| Dynamisch 24 FR | 60                     | 779                      | 839                       |
| Statisch 24 FR  | 52                     | 788                      | 840                       |

Omdat de lichtinstellingen in het IDC LED niet ingesteld kunnen worden in afhankelijkheid van het moment van zonsondergang, werden iedere week handmatig de belichtingsperiodes aangepast, zodat de behandelingen afhankelijk bleven van het moment van de zonsondergang. Op deze manier kreeg de behandeling WLK EOD altijd 2 uur daglicht aan het einde van de dag met natuurlijke schemering.

## 11.3 Klimaat- en plantmetingen

### 11.3.1 Klimaatmetingen

Gedurende de teelt wordt het kasklimaat (temperatuur, CO<sub>2</sub> en relatieve luchtvochtigheid) gemonitord via een meetbox, die boven de middelste tafel rechts in de kas hangt (behandeling WLK zononder), en bijgestuurd via de Hoogendoor ISII klimaatcomputer.

### 11.3.2 Plantmetingen

Aan het begin van de proef werd een destructieve oogst gedaan aan 10 planten per ras, waarbij plantlengte en aantal bladeren werd gemeten.

Gedurende de teelt werd plantlengte drie keer gemeten om de strekking te volgen en de lichtsom bij de top van de plant te berekenen.

In de vijfde week van de teelt werd lichtonderschepping gemeten. Vanaf de top werd iedere 50 cm een meting gedaan, op twee posities per ras per tafel.

Vanaf het moment dat de planten 18 bladeren (voor Hi Power) en 28 bladeren (voor Qwerty) hadden, werden bladeren weggehaald. Vanaf week 4 van de teelt, werden iedere 3 dagen de onderste drie bladeren (voor Hi Power) of 4 bladeren (voor Qwerty) per plant weggehaald, en werd daarvan bladoppervlakte, vers- en drooggewicht bepaald.

Vanaf week 4 werd de fotosynthese gedurende 24 uur continu gemeten onder het heersende licht. Het meetblad werd zo geselecteerd dat de gemiddelde lichtintensiteit  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  was. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de bladkamer werden niet gestuurd, en de  $\text{CO}_2$  concentratie werd ingesteld op 700 ppm. Twee planten per cultivar van de behandelingen referentie, BEOD 36FR en 24FR werden doorgemeten.

In week 6 werden ook de bladhoeken gemeten, samen met de lengte van het bladsteeltje en de lengte en breedte van het blad. Van de bladeren werden de hoek van het blad met de stengel gemeten ("bladsteelhoek") (zie voor een weergave van deze meting Figuur 10.2), de hoek van de hoofdnerf ("hoofdnerfhoek"), de hoek van de afhangende punt van het blad ("bladpunthoek") (Figuur 10.3) en de hoek van de zijkant van het blad met de hoofdnerf ("bladzijhoek") (Figuur 10.4).

In week 7 van de teelt werden de planten destructief geoogst. Plantlengte, aantal bladeren en internodiën, bladoppervlakte, vers- en drooggewichten van bladschijven, bladsteeltjes, stengel en vruchten werden gemeten aan drie planten per ras per tafel.

### 11.3.3 Biotoetsen

Aan het einde van het experiment, aan het begin van de productiefase, zijn er bio-toetsen met bladponsjes uitgevoerd om de effecten van de lichtbehandelingen op ziekten te onderzoeken. Hiervoor zijn echte meeldauw als een obligaat biotroof en botrytis als een necrotroof gekozen. Voor elke bio-toets zijn 10 planten per tafel willekeurig gekozen. Vanaf de top van de stengel geteld, beginnend met het eerste horizontale blad, werd het 9<sup>de</sup> blad genomen voor bemonstering, waaruit 2 bladponsjes met een diameter van 5 cm zijn genomen. De ponsjes werden in petrischalen met een bodemlaag van 1% wateragar gelegd om ze vers te houden. Vervolgens zijn de ponsjes elk met een concentratie van  $10^5$  sporen/ml meeldauw (*Podoshiera xanthii*) of  $10^6$  sporen/ml botrytis (*Botrytis cinerea*) geïnoculeerd. De petrischalen met de ponsjes werden in een klimaatkamer bewaard bij 20°C en 65% RV. Zes dagen na inoculatie werd de botrytis schade als diameter verbruining met behulp van een schuifmaat gemeten. De meeldauw infectie is na 13 dagen als aantal meeldauw spots gemeten. Data zijn met een twee-factoriele ANOVA met ras en lichtbehandelingen als factoren geanalyseerd.

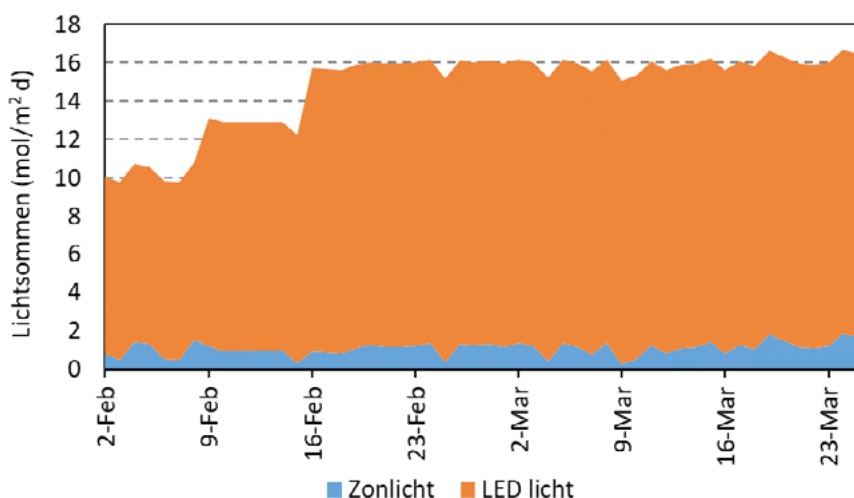
## 11.4 Resultaten

### 11.4.1 Klimaat

Het gerealiseerde klimaat in de kas was 22.0 °C, 81.2% RV en 690 ppm  $\text{CO}_2$ .

Met behulp van de temperatuur – RV sensoren die op iedere tafel waren geplaatst, konden we nagaan of er verschillen in klimaat waren per tafel. De relatieve luchtvochtigheid bleek niet te verschillen tussen de behandelingen ( $p=0.176$ ), maar de temperatuur wel. De behandelingen statisch 24 FR en WLK zononder hadden een 3% hogere gerealiseerde temperatuur vergeleken met de behandeling WLK 16h ( $p=0.041$ ). Er was geen aantoonbaar verschil in de temperatuur tussen deze drie behandelingen en de referentie.

De totale hoeveelheid licht die de planten ontvingen bestond voor 7% uit zonlicht, en voor 93% uit het licht van de LEDs.

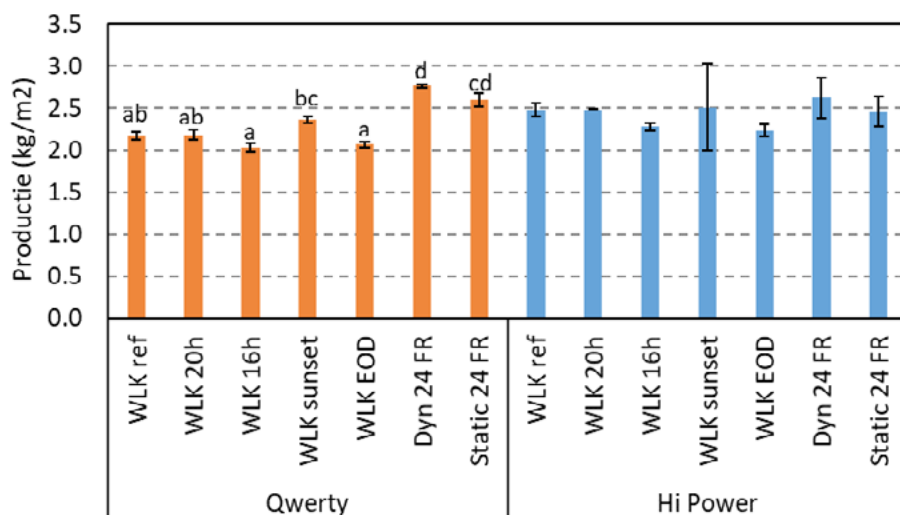


**Figuur 11.3** Gerealiseerde lichtsom gedurende de teelt (PAR licht + FR). Gemiddelde van de 14 tafels in het IDC LED.

#### 11.4.2 Gewasgroei, -ontwikkeling en productie

Aan het einde van de proef was er in Qwerty 23 keer geoogst, en in Hi Power 9 keer. Bij Qwerty leidde het hogere aandeel verrood licht in de behandelingen dynamisch 24 FR en statisch 24 FR in een hogere productie (+28% en +20% respectievelijk) vergeleken met de referentie (met 12% verrood licht).

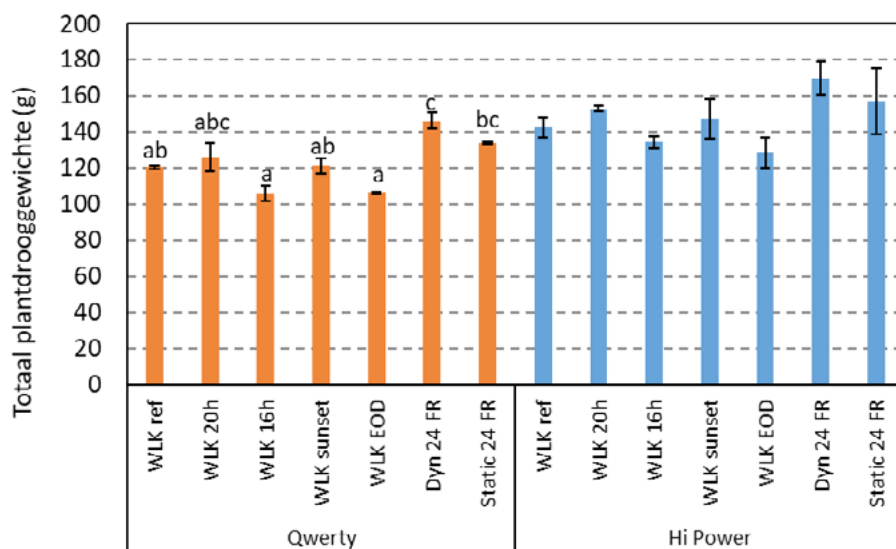
Er was geen aantoonbaar verschil in productie tussen de behandelingen met 16, 18 of 20 uur belichting, ondanks de verschillen in totale lichtsom (Figuur 11.4). Een half uur nabelichten met 12% verrood licht (EOD FR), leidde niet tot een positief effect op de productie.



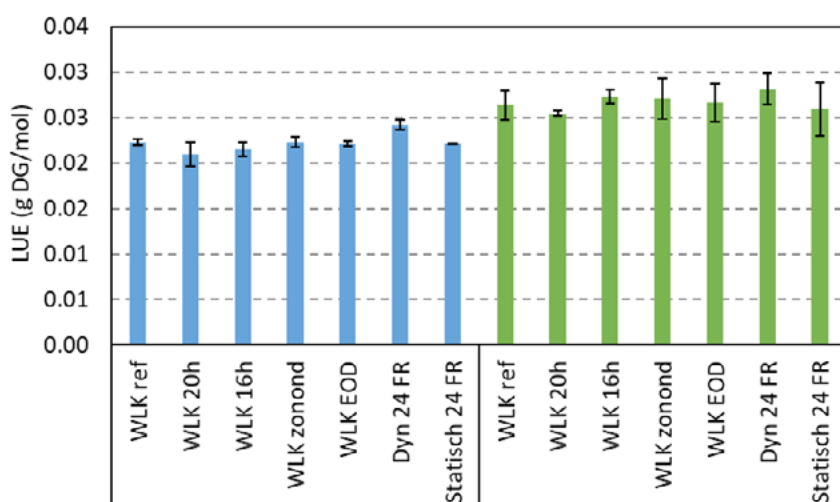
**Figuur 11.4** Effect van de lichtbehandelingen op de productie (kg/m²) van de rassen Qwerty en Hi Power aan het einde van de teelt (n=2). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen binnen een ras aan.

Aan het einde van de proef werd een aantal planten destructief geoogst. Het totale geproduceerde drooggewicht werd bepaald door de drooggewichten van de geoogste vruchten en geplukte bladeren hierbij op te tellen (Figuur 11.5). Voor beide rassen bleek de totale productie van biomassa te correleren met de totale lichtsom (PAR + FR). De behandelingen Dynamisch 24 FR, statisch 24 FR en WLK 20 h hadden gemiddeld een 12% hogere PFD (photon flux density, totaal aantal fotonen in  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , dus inclusief FR) vergeleken met de referentie, en hadden respectievelijk een 20%, 11% en 6% hoger totaal drooggewicht dan de referentiebehandeling.

Er bleek geen aantoonbaar verschil te zijn in de Licht use efficiency (hoeveelheid plant biomassa per mol licht) tussen de behandelingen (Figuur 11.6). Zo hadden de behandelingen WLK 16h en WLK EOD een 10% lagere lichtintegraal (PFD) dan de referentie, en hadden ze ook een ca. 10% lager totaal plantdrooggewicht.



**Figuur 11.5** Effect van de lichtbehandelingen op de totaal plantdrooggewichte (g) van de rassen Qwerly en Hi Power aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen binnen een ras aan.



**Figuur 11.6** Effect van de lichtbehandelingen op Light use efficiency (LUE, lichtbenuttingsefficiëntie) van de rassen Qwerly en Hi Power aan het einde van de teelt ( $n=2$ ). De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters geven statistische verschillen binnen een ras aan.



De verdeling van het plantgewicht over de verschillende organen (vruchten, bladeren, stengel en bladstelen) bleek nauwelijks beïnvloed te zijn door de aangelegde behandelingen. Er werden allen verschillen aangetoond in het aandeel in de bladstelen, dat lager was in de WLK EOD dan wanneer de hele dag 24  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  verrood licht werd gegeven. Er waren geen aantoonbare effecten van de behandelingen op het aandeel van de assimilaten in de vruchten, bladeren of de stengel.

**Tabel 11.3**

*Verdeling van de biomassa over de verschillende organen in de plant (n=2). Verschillende letters binnen een cultivar geven statistische verschillen aan.*

| Ras/behandelingen | Aandeel in vruchten (%) | Aandeel in bladeren (%) | Aandeel in bladstelen (%) | Aandeel in stengel (%) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Qwerty</b>     |                         |                         |                           |                        |
| WLK referentie    | 59.4                    | 24.3                    | 4.1 ab                    | 12.3                   |
| WLK 20h           | 58.3                    | 25.1                    | 4.3 ab                    | 12.4                   |
| WLK 16h           | 57.7                    | 25.2                    | 4.3 ab                    | 12.7                   |
| WLK zononder      | 59.5                    | 24.1                    | 4.3 ab                    | 12.0                   |
| WLK EOD           | 58.2                    | 25.7                    | 3.5 a                     | 12.5                   |
| Dynamisch 24 FR   | 60.0                    | 22.0                    | 4.9 ab                    | 13.1                   |
| Statisch 24 FR    | 57.7                    | 23.0                    | 5.2 b                     | 14.1                   |
| <b>Hi Power</b>   |                         |                         |                           |                        |
| WLK referentie    | 58.5                    | 31.8                    | 8.2 ab                    | 18.6                   |
| WLK 20h           | 58.5                    | 32.0                    | 8.1 ab                    | 18.7                   |
| WLK 16h           | 58.5                    | 30.8                    | 8.6 ab                    | 19.1                   |
| WLK zononder      | 58.4                    | 30.8                    | 8.2 ab                    | 19.0                   |
| WLK EOD           | 58.4                    | 34.0                    | 6.6 a                     | 17.3                   |
| Dynamisch 24 FR   | 58.4                    | 32.3                    | 9.5 b                     | 18.2                   |
| Statisch 24 FR    | 58.3                    | 32.2                    | 10.1 b                    | 18.9                   |

De plantarchitectuur bleek vooral beïnvloed door de hoeveelheid verrood licht, meer dan wanneer deze gegeven werd (Figuur 11.6). In de behandeling WLK EOD bleven de planten korter, met kortere bladstelen en een meer afhankende bladstand (grotere hoofdnerfhoek en bladpunthoeken) vergeleken met de behandelingen met 24 FR (Tabel 11.3). De bladstand was in de behandelingen met 24 FR meer horizontaal, wat zou kunnen leiden tot een hogere lichtonderschepping. De beide rassen verschilden in hun respons op de behandelingen. Waar de grootste effecten die in Hi Power gevonden werden langere bladstelen (Figuur 11.7) en grotere bladhoeken waren bij een hogere intensiteit verrood licht (24FR), bleek dat in Qwerty een meer open plantopbouw werd gezien, voornamelijk vanwege de 15% langere internodiën vergeleken met de referentie.



**Figuur 11.6** Plantarchitectuur na 45 dagen telen. Bij Qwerty planten werden 25 bladeren aangehouden, bij Hi Power planten 19 bladeren.

**Tabel 11.3**

Bladhoeken gemeten aan bovenste bladeren van komkommerplanten van de cultivars Qwerty en Hi Power. De beschrijving van hoe de bladhoeken gemeten zijn staat in paragraaf 10.3.2 (n=2).

| Ras/behandelingen | Lengte bladsteel<br>(cm) | Bladsteelhoek<br>(°) | Hoofdnerfhoek<br>(°) | Bladpunthoek<br>(°) | Bladzijhoek<br>(°) |
|-------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Qwerty</b>     |                          |                      |                      |                     |                    |
| WLK referentie    | 8.3 abc                  | 69                   | 60 a                 | 69 ab               | 24                 |
| WLK 20h           | 7.8 ab                   | 65                   | 60 a                 | 78 a                | 23                 |
| WLK 16h           | 8.2 abc                  | 67                   | 44 ab                | 68 ab               | 20                 |
| WLK zononder      | 7.9 ab                   | 66                   | 54 ab                | 67 ab               | 22                 |
| WLK EOD           | 7.0 a                    | 62                   | 50 ab                | 63 ab               | 25                 |
| Dynamisch 24 FR   | 9.9 bc                   | 60                   | 28 b                 | 38 b                | 14                 |
| Statisch 24 FR    | 10.7 c                   | 53                   | 27 b                 | 42 b                | 15                 |
| <b>Hi Power</b>   |                          |                      |                      |                     |                    |
| WLK referentie    | 13.9                     | 52                   | 39 a                 | 67 ab               | 22                 |
| WLK 20h           | 14.5                     | 55                   | 41 ab                | 71 ab               | 20                 |
| WLK 16h           | 14.9                     | 53                   | 38 a                 | 63 bc               | 23                 |
| WLK zononder      | 14.1                     | 51                   | 40 ab                | 58 bc               | 16                 |
| WLK EOD           | 12.0                     | 54                   | 55 b                 | 79 a                | 30                 |
| Dynamisch 24 FR   | 16.4                     | 53                   | 33 a                 | 50 c                | 19                 |
| Statisch 24 FR    | 16.2                     | 47                   | 32 a                 | 61 bc               | 21                 |

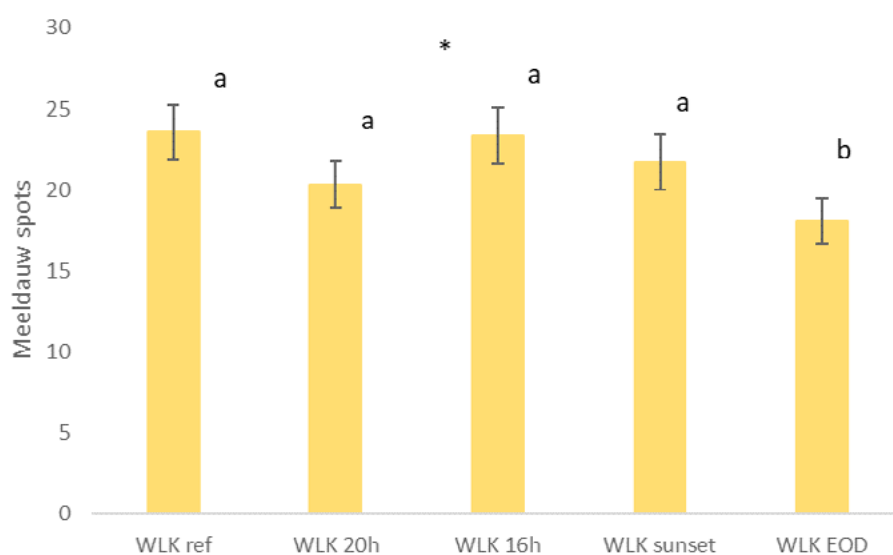


**Figuur 11.7** Overzicht van de bladstelen van blad nummer 13 van Qwerty en blad nummer 9 van Hi Power aan het einde van de proef.

#### 11.4.3 Biotoetsen

Er waren geen verschillen in Botrytis aantasting tussen de rassen Qwerty en Hi Power. Ook de verschillende behandelingen hadden geen invloed op mate van Botrytis aantasting.

De meeldauw infectie verschildte ook niet tussen de twee rassen. Er was wel effect van de lichtbehandeling op het aantal meeldauw spots dat geteld werd: de behandeling FR EOD had significant minder meeldauw infectie dan de referentie, WLK 16 of WLK20 en WLK zononder (Figuur 11.8).



**Figuur 11.8** Effect van de lichtbehandelingen op het aantal meeldauw spots. Verschillende letters betekenen significante verschillen tussen behandelingen bij \*  $p \leq 0.01$ . Data vertonen gemiddelden met standaardfout.

## 11.5 Conclusie

In 2019 werd een spectrumproef met komkommer uitgevoerd in het IDC LED (project "LED licht bij zonlicht". Uit dit experiment werd het meest het spectrum geselecteerd dat voor het ras Hi Power als beste presteerde, en op basis hiervan werd het spectrum voor de Winterlichtkas bepaald. Dit is een spectrum met 6% blauw licht, 10% groen licht, 74% rood en 10% verrood licht, dat gedurende 18 uur gegeven wordt. In dit experiment is nagegaan of de efficiëntie van de belichting te verbeteren zou zijn door aanpassingen in daglengte, lichtspectrum of manier van belichten aan het einde van de dag. De resultaten laten zien dat het verhogen van het aandeel verrood licht van 12% naar 24% leidt tot een toename in productie. Ondanks de verschillen in PAR som, bleek daglengte geen aantoonbaar effect op de productie te hebben. Het verschil in PAR som leidde wel tot verschillen in totale gevormde biomassa, die in dezelfde orde van grootte lagen als het verschil in lichtsom. Uit de omrekening naar lichtbenuttingsefficiëntie bleek dat de LUE van alle behandelingen vergelijkbaar was. De verschillen die gevonden werden in plantarchitectuur, bladstand en stengellengte, werden veroorzaakt door het aandeel verrood licht, en niet door de daglengte en lichtsom. De lengte van FR toediening gedurende de dag bleek geen invloed te hebben op de botrytis infectie. Maar een korte periode van 30 minuten FR bij ingang van de nacht reduceerde de meeldauw infectie. Daarentegen lijkt de periode waarin verrood gedurende de dag gegeven wordt geen invloed te hebben op de meeldauw infectie in komkommer.



# Literatuur

- Alba JM, Schimmel BC, Glas JJ, Ataide LM, Pappas ML, Villarroel CA, Schuurink RC, Sabelis MW, Kant MR. (2015). Spider mites suppress tomato defenses downstream of jasmonate and salicylate independently of hormonal crosstalk. *New Phytologist*, 205(2), 828-840. doi: 10.1111/nph.13075. *New Phytologist*, 205(2), 828-840.
- Buitenhuis, R., Murphy, G., Shipp, L., & Scott-Dupree, C. (2015). *Amblyseius swirskii* in greenhouse production systems: a floricultural perspective. *Experimental and Applied Acarology*, 65(4), 451-464.
- 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.
- Cochard, P., Galstian, T., & Cloutier, C. (2019). The proportion of blue light affects parasitoid wasp behavior in LED-extended photoperiod in greenhouses: increased parasitism and offspring sex ratio bias. *Biological Control*, 133, 9-17.
- Courbier S, Grevink S, Sluijs E, Bonhomme PO, Kajala K, Van Wees SCM, Pierik R. (2020). F ar-red light promotes *Botrytis cinerea* disease development in tomato leaves via jasmonate-dependent modulation of soluble sugars. *Plant Cell and Environment* 43 (11):2 9-2781. doi: 10.1111/pce.13870.
- Escobar-Bravo R, Ruijgrok J, Kim HK, Grosser K, van Dam NM, Klinkhamer PGL, Leiss KA. (2018). Light intensity-mediated induction of trichome-associated allelochemicals increases resistance against thrips in tomato. *Plant and Cell Physiology* 59: 2462-2475. doi: 10.1093/pcp/pcy166.
- Feng CY, Han JX, Han XX, Jiang J. (2015). Genome-wide identification, phylogeny, and expression analysis of the SWEET gene family in tomato. *Gene* 573 (2): 261-72. doi: 10.1016/j.gene.2015.07.055.
- He M, Shah Jahan M, Wang Y, Sun J, Shu S, Guo S (2020). Compost amendments based on vinegar residue promote tomato growth and suppress bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*. *Pathogens* 9(3): 227.
- Kelber A. (2001) Receptor based models for spontaneous colour choices in flies and butterflies. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 99, 231-244.
- Leiss KA, Choi YH, Verpoorte R, Klinkhamer PGL. (2011). An overview of NMR-based metabolomics to identify secondary plant compounds involved in host plant resistance. *Phytochemistry Reviews* 10: 205-216. doi: 10.1007/s11101-010-9175-z
- Li J, Sima W, Ouyang B, Wang T, Ziaf K, Luo Z, Liu L, Li H, Chen M, Huang Y, Feng Y, Hao Y, Ye Z. (2012). Tomato SIDREB gene restricts leaf expansion and internode elongation by downregulating key genes for gibberellin biosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 63 (18): 6407-6420. doi: 10.1093/jxb/ers295.
- Liu C-C, Chi C, Jin L-J, Zhu J, Yu J-Q, Zhou Y-H. (2008). The bZip transcription factor HY5 mediates CRY1a- induced anthocyanin biosynthesis in tomato. *Plant Cell and Environment* 41:b1762-1775. <https://doi.org/10.1111/pce.13171>
- Messelink GJ, Van Steenpaal SE, Ramakers PM (2006). Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *BioControl*, 51(6), 753-768.
- Mizuno T, Oka H, Yoshimura F, Ishida K, Yamashino . (2015). Insight into the mechanism of end-of-day far-red light (EODFR)-induced shade avoidance responses in *Arabidopsis thaliana*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 79(12), 1987-1994. doi: 10.1080/09168451.2015.1065171.
- Ouzounis T, Parjikolaei BR, Frette X, Rosenqvist E, Ottosen CO. (2015) Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavanoids, and pigments in *Lactuca sativa*. *Frontiers in Plant Science* 6, article 19. doi: 10.3389/fpls.2015.00019
- Rosado D, Trench B, Bianchetti R, Zuccarelli R, Rodrigues Alves FR, Purgatto E, Segal Floh EI, Silveira Nogueira FT, Freschi L, Rossi M. (2019). Downregulation of PHYTOCHROME-INTERACTING FACTOR 4 Influences Plant Development and Fruit Production. *Plant Physiology* 181 (3): 1360-1370. doi: 10.1104/pp.19.00833.

- Wang S, Tan XL, Michaud JP, Zhang F, 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.
- Wang Z, Wei X, Yang J, Li H, Ma B, Zhang K, Zhang Y, Cheng L, Ma F, Li M. (2020).  
Heterologous expression of the apple hexose transporter MdHT2.2 altered sugar concentration with increasing cell wall invertase activity in tomato fruit. *Plant Biotechnology Journal* 18(2): 540-552. doi: 10.1111/pbi.13222.
- Warrant E., Nilsson DE (2006)  
Invertebrate vision Preface *Invertebrate vision*. eds. E. Warrant & D.E. Nilssons), pp. XIX-XXI
- Wurms KV. Ah Chee A. (2011)  
Control of powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*) on apple seedlings using anhydrous milk fat and soybean oil emulsions. *New Zealand Plant Protection* 64: 201–208. DOI:10.30843/nzpp.2011.64.5982
- Zhang H, Hu Z, Lei C, Zheng C, Wang J, Shao S, Li X, Xia X, Cai X, Zhou J, Zhou Y, Yu J, Foyer CH, Shi K. (2018).  
A plant phytoalexin peptide initiates auxin-dependent immunity through cytosolic Ca<sup>2+</sup> signaling in tomato. *The Plant Cell* 30 (3): 652-667. doi: 10.1105/tpc.17.00537.
- Zilahi-Balogh GMG, Shipp JL, 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.
- Zilahi-Balogh GMG, Shipp JL, Cloutier C, Brodeur J (2007).  
Predation by *Neoseiulus cucumeris* on western flower thrips, and its oviposition on greenhouse cucumber under winter vs. summer conditions in a temperate climate. *Biological Control*, 40(2), 160-167.





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](http://www.wur.nl/glastuinbouw)

Rapport WPR-1080

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.