

Aubergine: effecten van fotoperiode, lichtspectrum en intensiteit

Deelrapport III in project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor
praktische toepassing in de kas”



Augustus 2022

S.A.J. van den Boogaart, W.A. Kunz, G. Trouwborst en S.W. Hogewoning

Aubergine: effecten van fotoperiode, lichtspectrum en intensiteit

Deelrapport III in project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor
praktische toepassing in de kas”

Augustus 2022

S.A.J. van den Boogaart, W.A. Kunz, G. Trouwborst en S.W. Hogewoning

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

REFERAAT

S.A.J. van den Boogaart, W.A. Kunz, G. Trouwborst en S.W. Hogewoning. 2022. Aubergine: effecten van fotoperiode, lichtspectrum en intensiteit. Deelrapport III in project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas”. Plant Lighting B.V., Bunnik. 45p.



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Stichting
Kennis in je Kas



©ignify



© 2022 Plant Lighting B.V.

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

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

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	5
DANKWOORD	7
1 INLEIDING.....	8
2 ALGEMENE MATERIAAL EN METHODEN	12
3 PROEFRONDE 1.....	16
4 PROEFRONDE 2.....	20
5 PROEFRONDE 3.....	24
6 PROEFRONDE 4.....	31
7 PROEFRONDE 5.....	34
8 PROEFRONDE 6.....	39
9 CONCLUSIES EN SLOTBESCHOUWING.....	43
REFERENTIES	45
BIJLAGE	46

Samenvatting

Introductie en doestelling

Aubergine wordt tot nu toe nog niet succesvol jaarrond met belichting geteeld. Uit metingen in een recente kasproef bleek dat het fotosynthese-systeem van de bladeren onder belichting zwaar wordt beschadigd. Zonder een oplossing van dit probleem is jaarrond teelt van aubergine bij voorbaat kansloos. De hypothese is dat een combinatie van fotoperiode, lichtspectrum en lichtintensiteit een rol spelen. Immers bij een lange natuurlijke daglengte in de zomer functioneren de bladeren wel goed. Het hoofddoel is om tot een belichtingsstrategie te komen waarbij aubergine wel jaarrond en energiezuinig geteeld kan worden.

Uitvoering

Er zijn zes proefrondes uitgevoerd in klimaatkamers van Plant Lighting. Het doel is om aubergine jaarrond te kunnen telen, waarbij in de winter gebruik wordt gemaakt van full-LED-belichting. Bij voorkeur bij een lange daglengte, omdat er dan minder lampvermogen nodig is en de warmtevraag dan makkelijker fossielvrij ingevuld kan worden. De eerste vier proefrondes werden uitgevoerd met ras 'Tracey'. Dit waren korte teelten met 8 behandelingen (8*1.2m²) per proefronde. In de 5^e en 6^e proefronde werden twee rassen aubergine langduriger geteeld op 20m², zodat er 7 weken geoogst kon worden. De fotosynthese is intensief gemeten.

Resultaten per proefronde

Proefronde 1: Wat is het effect op het lichtrendement en fotosynthese van daglengte (12 en 18 uur), lichtintensiteit/lichtsom, en lichtspectrum (zonlicht versus LED R/B)?

- Het bleek dat daglengte, lichtspectrum en lichtintensiteit alle drie effect hebben op het optreden van schade. Een combinatie van een lange daglengte (18 uur) en een R/B spectrum gaf de meeste schade. Ook een lange daglengte zonlicht en een korte daglengte R/B gaf schade, waarbij met een hogere lichtintensiteit de schade toenam. Twaalf uur daglengte met een zonlichtspectrum leverde nauwelijks schade op. Belichten met een zonlichtspectrum is energetisch niet efficiënt, dus een eenvoudiger spectrum is wenselijk.

Proefronde 2: Er is nagegaan welke delen van het zonlichtspectrum schade voorkomen of verergeren (ontbreken UV-B, UV-A en/of Verrood bij 16 uur daglengte getoetst), en bij welke daglengte schade gaat optreden (12/14/16/18 uur bij kunstmatig zonlicht).

- Het bleek dat daglengte een grote invloed heeft op de mate van schade. Uiteindelijk ontstond zelfs bij 12 uur daglengte nog enige schade.
- Het ontbreken van UV-B, UV-A en/of verrood in zonlicht had geen effect op de mate van schade (bij 16h).

Proefronde 3A: In de zomer is er geen schade aan aubergine in de kas en is er een lange daglengte. Daarom is ook het effect van de opbouw van de lichtintensiteit getoetst: belichting in één keer aan/uit in ochtend/avond en direct een hoge lichtsom, versus stapsgewijs licht opbouwen in ochtend/avond en opbouwen van de lichtsom gedurende de proef. Dit bij twee daglengtes (12 en 16 uur).

- Starten met een lager lichtsom gaf bij 12 en zelfs bij 16 uur daglengte geen schade. Vanaf het verhogen van de lichtsom ontstond snel schade (afname CO₂-opname), zelfs bij 12 uur. Dit doet vermoeden dat de source-sink balans een rol speelt bij het ontstaan van schade aan het fotosynthese-systeem. Daarom is in proefronde 4 nagegaan wat het effect van het opschakelen van licht is gedurende de groei- en ontwikkelingsperiode.

Proefronde 3B: Wat is het effect van rassen op de schade (getoetst bij 15 en 18 uur daglengte)?

- Het ras bepaalt mede het schadebeeld. Onder 18 uur daglengte bleef geen van de 10 getoetste rassen vrij van schade. Onder 15 uur daglengte was er een duidelijk ras-effect en waren er een aantal rassen die nauwelijks schade vertoonden.

Proefronde 4: Wat is het effect van belichting met een lager aandeel rood licht (meer wit t.o.v. rood) en van verrood? Dit is getoetst bij een lage lichtintensiteit in de eerste fase van de teelt om vroege schade te beperken (inzicht proefronde 3A) bij 16 uur daglengte.

- Bij een lichtniveau van 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR was er nauwelijks schade. Vanaf het opschakelen van de lichtintensiteit naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR ontstond er tijdelijk forse schade. Dit herstelde grotendeels naarmate de teelt vorderde (toename sinksterkte?). Het spectrum-effect was beperkt. De schade was het minst groot bij laag rood + verrood.

Proefronde 5 (langere tijd in productie): Wat is het effect van een rustigere en snellere stapsgewijze opbouw van lichtintensiteit (lichtsom) bij 16 uur daglengte op de schade en de productie van de rassen Tracey (schade-gevoelig) en RZ 10-127 (redelijk ongevoelig)?

- Een snellere opbouw van de lichtsom gaf enige schade bij Tracey. Echter, de schade was beperkt en sneller opschakelen gaf wel een hogere (en goede) productie.
- Bij RZ 10-127 werd er geen schade waargenomen in beide behandelingen.

Proefronde 6 (langere tijd in productie): Wat is het effect van lichtspectrum (aandeel rode/witte LED) op de fotosynthese-schade en productie bij 16 uur daglengte bij een 'snelle opbouw' van de lichtsom van de rassen Tracey (schade-gevoelig) en RZ 10-127 (redelijk ongevoelig)?

- Opnieuw is bevestigd dat Tracey veel gevoeliger is voor fotosynthese-schade dan RZ 10-127. Het spectrum lijkt hier maar beperkt invloed op te hebben. Wel was de dip in bladfotosynthese minder diep onder bij een hoger aandeel wit licht ten koste van rood.
- Bij RZ 10-127 trad onder beide spectra geen fotosynthese-schade op.
- De productie was het hoogst bij RZ 10-127 en ook goed met 1.1 kg/m²/week.

Voor de praktijk is duidelijk geworden dat fotosynthese-schade aan Tracey onder belichting moeilijk te voorkomen is. Daarom lijkt dit ras niet geschikt voor de belichte teelt. Echter, met rassen welke ongevoeliger zijn voor de schade, zoals RZ 10-127, in combinatie met het juiste opschakelregime en spectrum, was het al mogelijk om in de klimaatcel productievolumes van ruim 1.1 kg/m²/week te realiseren bij 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR belichting. Dit zijn zeer redelijke producties onder winterse omstandigheden gegeven de intensiteit belichting. Op basis van deze uitkomsten lijkt de belichte aubergineteelt in Nederland teeltkundig gezien haalbaar.

Dankwoord

Dit rapport geeft de resultaten weer van een onderzoek naar de effecten van verschillende strategieën belichting van aubergine (daglengte, spectrum, lichtintensiteit). Het onderzoek vond gedurende 6 proefronden plaats in klimaatcellen van Plant Lighting.

De eerste vier proefrondes zijn onderdeel van het project “fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas I” en de laatste twee proefrondes zijn onderdeel van het project “fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas II”. Dit onderzoek is ondersteund door het programma ‘Kas als Energiebron’, gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland. Het onderzoek is mede gefinancierd door Stichting Kennis in je Kas, de gewascoöperatie Aubergine en Signify. Het plantmateriaal voor de verschillende teeltrondes werd gesponsord door Plantise. Rijk Zwaan, Enza Zaden en de Bayer Vegetables (De Ruiter) worden bedankt voor het leveren van zaden voor de rassenproef.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage in de BCO: De auberginetelers Peter de Jong (Auberginekwekerij De Jong), Luuk van Duijn (Gebr. Van Duijn), Jan van der Harg (van der Harg) en Frank Groenewegen (Greenbrothers), en vanuit Signify plantspecialist Charlotte Pijnenburg. John Hendriks (Plantise) wordt bedankt voor het organiseren van het plantmateriaal. Joke Vreugdenhil (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. Siemen Reijnders heeft als stagiair vanuit de HAS Den Bosch een belangrijke bijdrage geleverd aan proefronde 6. Siemen wordt bedankt voor zijn goede inzet en voor de prettige samenwerking. Als laatste willen we de onderzoekskoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

Augustus 2022,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

1.1 Kader energiezuinige belichting tuinbouwbreed

Voor een glastuinbouwsector met een gezonde toekomst staan we voor een aantal uitdagingen. Voor de marktpositie en arbeidsinvulling is een jaarrond zo gelijk mogelijke productie aantrekkelijk. Vanuit duurzaamheidsoogpunt mag het energieverbruik niet te hoog zijn, en wordt er gestreefd naar fossielvrij en klimaatneutraal. Verder wordt het middelenpakket steeds kleiner, waardoor het belang van weerbaar telen en biologische bestrijding toeneemt. Een oplossing voor het één kan het ander ogenschijnlijk in de weg kan staan. Dat vraagt een geïntegreerde kijk op het geheel. Om vooruit te komen zijn deelonderzoeken nodig naar de specifieke vragen die spelen, om uiteindelijk de kennis van die deelgebieden weer zo te combineren dat het geheel kloppend is. In het ideale scenario wordt daglicht zo effectief mogelijk benut, door gebruik te maken van hoog doorlatende kassen en diffuus licht. Ook warmte moet zo min mogelijk worden verspild (isolatie, slim gebruik van schermdoeken, warmte/koude opslag). Desalniettemin zal er voor een jaarrond hoge productie licht tekort zijn bij de meeste teelten. Immers, als er in december gemiddeld 3 mol/m²/dag licht buiten is, en het gewas vraagt 15 mol/m²/dag, dan kom je niet onder belichting uit. Als toch belicht moet worden, dan zo zuinig mogelijk. En op zo'n manier dat de belichting de warmtevraag grotendeels invult, en er ook geen te veel aan warmte is waardoor CO₂ verloren gaat via beluchting. LED biedt in dit kader grote kansen: de efficiëntste armaturen (armaturen met een groot aandeel rood) bereiken tegenwoordig rond de 3.7 µmol output per Joule input, tegenover 1.85 µmol/J bij SON-t. Zo kan een gelijke intensiteit belichting worden gerealiseerd met de helft minder elektra. De keuze van LED biedt keuze in kleurenspectrum. Daarmee kan de gewasontwikkeling worden gestuurd, en het heeft ook invloed op plantweerbaarheid en gedrag van plagen, predatoren en micro-organismen. Waarbij vooral niet vergeten moet worden dat in een kas de combinatie LED en daglicht kansen biedt: waar LED iets te kort komt kan het aanwezige daglicht mogelijk de oplossing bieden (met daglicht de nacht in? beperken daglengte LED?). Idealiter wordt de belichting zo ingezet dat het gewas goed ontwikkelt en produceert, weerbaarheid wordt gestimuleerd en predatoren goed functioneren. Het ideale scenario klinkt mooi, maar de benodigde kennis ontbreekt nog grotendeels. Dit deelonderzoek beoogt kennis te ontwikkelen over de effecten van licht (daglengte, spectrum en intensiteit) en ras-eigenschappen op de lichtbenuttingsefficiëntie voor fotosynthese en groei bij aubergine.

1.2 Aubergine

Aubergine wordt tot nu toe niet succesvol onder belichting geteeld. Uit metingen in een kasproef (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2021) bleek dat het fotosynthese-systeem van de bladeren onder belichting zwaar wordt beschadigd. Dit resulteerde dan ook in een veel lagere productie in de wintermaanden. De gerealiseerde productie was met gemiddeld 0.58

kg/m²/week in de periode van week 51 t/m week 7 ruim de helft van de productie die vooraf was berekend. Zonder een oplossing voor dit probleem is jaarrond teelt van aubergine bij voorbaat kansloos. De hypothese is dat een combinatie van daglengte, lichtspectrum en lichtintensiteit een rol spelen. Immers bij een lange natuurlijke daglengte in de zomer functioneren de bladeren wel goed. Dit bleek ook uit controlemetingen in de praktijk in een periode met een lange natuurlijke daglengte (± 17 uur) en hoge instraling (tabel 1). De gemeten fotosynthesesnelheden waren zelfs bijzonder hoog in vergelijking tot andere kasgewassen. Dit geeft aanleiding tot de vraag welke factoren bij een winterteelt onder belichting anders zijn dan in een onbelichte aubergineteelt. Hier ligt mogelijk een verklaring voor de fotosynthese-schade en de sleutel tot de oplossing van het probleem. Eerdere onderzoek naar schade aan het fotosynthese-apparaat bij aubergine (en tomaat en paprika) is in een literatuurstudie samengevat in deelrapport II in het kader van dit project (Boonman en Hogewoning, 2022).

Het hoofddoel is om de factoren die schade aan het fotosysteem veroorzaken onder belichting te achterhalen, en om uiteindelijk tot een belichtingsstrategie te komen waarbij aubergine wel jaarrond en energiezuinig geteeld kan worden.

Tabel 1. Fotosynthese parameters van een onbelicht gewas in de praktijk (Auberginekwekerij De Jong). Gemeten door Plant Lighting BV op 16 juni 2021, bij een lange natuurlijke daglengte (~17 uur), 30 graden overdag en veel instraling. Gemeten bij 800 ppm CO₂. Er bleek geen enkele beperking of schade aan het fotosysteem te zijn. Er was een hoge huidmondjesgeleiding, dus goede mogelijkheden tot verdamping. Zelfs bij 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR was de lichtbenutting voor de fotosynthese (ΦPSII) nog hoog, dus er was geen licht stress. NB de donkerademhaling was vrij hoog door de hoge bladtemperaturen.

Boven-/onderstam	PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	CO ₂ -opname [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	g_{sw} [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	ETR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	ΦPSII
Beyonce-Kaiser	0	-4.3	0.62		
	200	8.9	0.68	56	0.67
	500	27.6	0.73	130	0.62
	1000	48.9	0.72	227	0.54
OB1018-Suzuka	0	-3.7	0.75		
	200	9.6	0.79	55	0.66
	500	28.1	0.81	129	0.61
	1000	48.3	0.77	223	0.53
Tracey-Kaiser	0	-3.8	0.61		
	200	9.5	0.65	56	0.66
	500	28.2	0.68	130	0.62
	1000	48.5	0.64	225	0.53

1.3 Doelen per proefronde

Er zijn zes proefrondes uitgevoerd. Het hoofddoel is om aubergine jaarrond en energiezuinig te kunnen telen zonder schade aan het fotosysteem. Waarbij in de winter gebruik wordt gemaakt van full-LED-belichting, bij voorkeur met een lange daglengte. Dit omdat er dan

minder lampvermogen en een lager aansluitvermogen benodigd is, en de warmtevraag gemakkelijker duurzaam in te vullen is dan bij een kortere dag met een hogere intensiteit belichting. De eerste vier proefrondes waren met een korte teelt (tot oogst eerste vrucht) en werden op kleine schaal uitgevoerd met 8 behandelingen (8*1.2m²) per proefronde. In de 5^e en 6^e proefronde werd aubergine langduriger geteeld in een hogere klimaatcel op 19.2 m² netto, zodat er 7 weken geoogst kon worden.

Per proefronde zijn er verschillende onderzoeksvragen geformuleerd. De onderzoeksvragen van een proefronde bouwen steeds voort op de uitkomsten van de proefronde(n) daarvoor. Om de logica achter de opzet per proefronde inzichtelijk te maken staan hieronder in het kort al een aantal uitkomsten per proefronde vermeld.

- Proefronde 1: Wat is het effect op het lichtrendement en fotosynthese van daglengte (12 en 18 uur), lichtintensiteit/lichtsom en spectrum (zonlicht versus LED R/B)?
 - Het bleek dat zowel een langere daglengte als een R/B spectrum ten opzichte van zonlicht meer schade opleverde. Aangezien gebruik van een zonlichtspectrum energetisch niet efficiënt is, is in proefronde 2 nagegaan welke delen van het spectrum voor wel of geen schade zorgen. Tevens is nagegaan bij welke daglengte schade gaat optreden.
- Proefronde 2: Wat is het effect van daglengte (12/14/16/18 uur) bij kunstmatig zonlicht, en welk deel van het zonlichtspectrum (verschil in UV-B, UV-A en/of Verrood) voorkomt of verergert schade aan het fotosynthese-systeem?
 - Het bleek dat daglengte een grote invloed heeft op de hoeveelheid schade die ontstaat, uiteindelijk ontstaat zelfs bij 12 uur daglengte enige schade. Bij 16 uur had ontbreken van UV-B, UV-A en/of verrood in zonlicht geen effect op de mate van schade.
 - Dat ook de 12-uursbehandeling aan het einde van de proef enige schade vertoonde, doet vermoeden dat er nog meer factoren in het spel zijn. Zeker is dat aubergine in de praktijk prima functioneert rondom de langste dag. Vandaar dat er in proefronde 3 proefvarianten zijn gemaakt waarbij het licht langzamer opschakelt in plaats van aan/uit.
- Proefronde 3A: Wat is het effect van de belichtingsstrategie (belichting in één keer aan/uit in ochtend/avond en direct een hoge lichtsom, versus stapsgewijs licht opbouwen in ochtend/avond en opbouwen van de lichtsom gedurende de proef? Dit is getoetst bij twee daglengtes (12 en 16 uur).
 - Starten met een lagere lichtsom gaf bij 12 en 16 (!) uur daglengte geen schade. Het opschakelen van het lichtniveau zorgde voor een snel verval in CO₂-opname, zelfs bij 12 uur.
- Proefronde 3B: Wat is het effect van ras op de schade bij twee daglengtes (15 en 18 uur)?
 - Het ras bepaalt mede het schadebeeld. Onder 18 uur daglengte is er geen ras dat geen schade geeft. Onder 15 uur daglengte zijn er een aantal rassen die slechts beperkte schade geven.

- Proefronde 4: Wat is het effect van belichting met een lager aandeel rood licht (meer wit t.o.v. rood) en van verrood? Dit is getoetst bij een lage lichtintensiteit in de eerste fase van de teelt om vroege schade te beperken (inzicht proefronde 3A) en bij 16 uur daglengte.
 - Onder een lichtniveau van 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR zijn effecten van spectrum beperkt. Door het opschakelen van de lichtintensiteit naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR ontstaat er tijdelijk forse schade, dit herstelt grotendeels naarmate de proef voortduurt (toename sinksterkte?). Daarom is in proefronde 5 verdergegaan met het nagaan wat het opschakelen van licht voor invloed heeft op de schade en productie.
- Proefronde 5 (langere tijd in productie): Wat is het effect van een rustigere en snellere opbouw van lichtintensiteit bij 16 uur daglengte op de schade en de productie van de rassen Tracey (schade-gevoelig) en RZ 10-127 (redelijk ongevoelig)?
 - Een snellere opbouw van de lichtsom gaf enige schade bij Tracey (geen schade bij RZ 10-127). Echter, de schade was beperkt en sneller opschakelen gaf wel een hogere (en goede) productie. Het gebruikte spectrum (hoog aandeel witte LED) is energetisch minder efficiënt, vandaar dat in proefronde 6 is nagegaan of het spectrum minder witte LED mag bevatten.
- Proefronde 6 (langere tijd in productie): Wat is het effect van lichtspectrum (aandeel rode/witte LED) op de fotosynthese-schade en productie bij 16 uur daglengte bij een 'snelle opbouw' van de lichtsom voor de rassen Tracey (gevoelig) en RZ 10-127 (redelijk ongevoelig)?
 - Opnieuw is bevestigd dat Tracey veel gevoeliger is voor fotosynthese-schade dan RZ 10-127. Het spectrum lijkt hier maar beperkt invloed op te hebben. Wel was de dip in bladfotosynthese minder diep onder een hoog aandeel wit licht.
 - Bij RZ 10-127 trad onder beide spectra geen fotosynthese-schade op.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de algemene materiaal en methoden van de proefrondes. In de hoofdstukken 3-8 zijn de proefrondes 1-6 beschreven. In ieder hoofdstuk worden de specifieke onderzoeksvragen beantwoord. Hoofdstuk 9 bevat de conclusies en sluit af met een slotbeschouwing over jaarronde aubergineteelt.

2 Algemene materiaal en methoden

Het onderzoek vond plaats bij Plant Lighting in Bunnik tussen september 2020 en februari 2022. Er waren zes onderzoeksrondes uitgevoerd over een periode van in totaal 70 weken. Waarvan de eerste vier teeltronden in klimaatcabines (2.1) plaatsvonden en de laatste twee in hogere en grotere klimaatcellen (2.2).

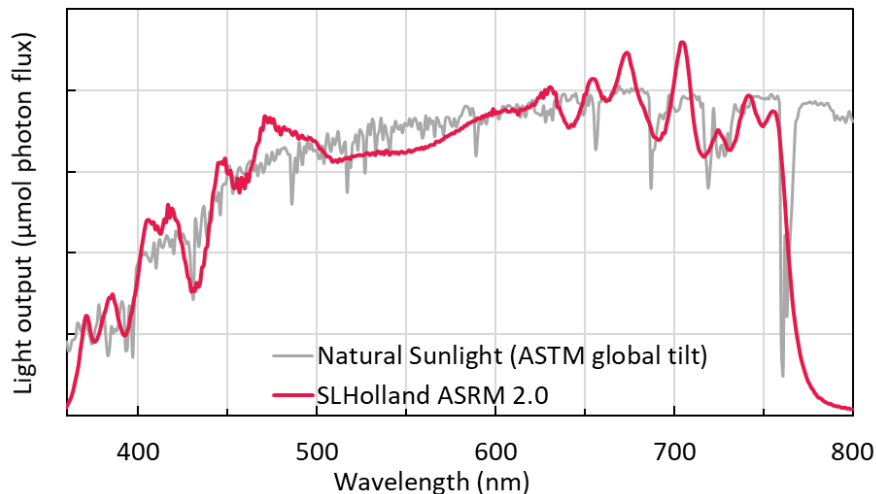
2.1 Proefronde 1 tot en met 4 | Klimaatcabines

De eerste vier proefrondes zijn in een klimaatcel met klimaatcabines uitgevoerd (Foto 1). Deze klimaatcel biedt de mogelijkheid om acht behandelingen per proefronde te creëren. In iedere klimaatcabine kunnen de teeltomstandigheden individueel van elkaar gestuurd worden. Alle cabines zijn uitgerust met stuur- en dimbare rode (piek 660 nm), witte (6500K), blauwe (piek 450 nm) en verrode (piek 735 nm) LEDs. Verder beschikken de cabines over een daglichtsimulator (SLHolland ASRM 2.0). Dit is een lichtbron welke het daglicht zeer goed nabootst in het golflengtegebied 360-760 nm en met apart aanstuurbare kanalen voor het UV-A, PAR en verrode golflengtegebied (Figuur 1). UV-B kon aangevuld worden met speciale TL-armaturen met een hoge UV-B output, dit is standaard in alle zonlicht behandelingen meegegeven, tenzij anders aangegeven.

Iedere teeltronde is gestart met opgekweekt plantmateriaal tot net voor het stadium van oppotten, aangeleverd door Plantise. De eerste vier proefrondes zijn uitgevoerd met het ras Tracey geënt op Kaiser. Tracey kwam uit eerdere onderzoeken naar voren als erg gevoelig voor belichtingsschade en kan dus goed als testgewas functioneren, daarnaast is het een van de grotere commerciële rassen. In de derde proefronde zijn er naast Tracey nog 9 andere rassen getoetst, om te toetsten in welke mate rassen invloed heeft op het schadebeeld.



Foto 1. Impressie van de klimaatcel waarin in totaal 8 klimaatcabines aanwezig zijn.



Figuur 1. Spectrum van daglicht (ASTM standaard; grijze lijn) tegen over dat van de zonlichtsimulator (ASRM 2.0; rode lijn). De lijnen overlappen elkaar over de gehele lijnie, ook in het UV (<400nm) en verrood (>700nm). Het UV, PAR (400-699 nm) en verrood zijn apart van elkaar dimbaar.

2.2 Proefronde 5 en 6 | Klimaatcel

De vijfde en zesde proefronden zijn in een klimaatcel uitgevoerd (Foto 2). Deze klimaatcel biedt de mogelijkheid om twee behandelingen per proefronde te creëren. In de klimaatcel is het mogelijk om jaarrond de winter te simuleren, door het gebruik van een daglichtsimulator (SLHolland Sunlite). Dit is een vergelijkbare lichtbron als in ronde 1 t/m 4 is gebruikt. Daarnaast zijn deze cellen wederom uitgerust met stuur- en dimbare rode, witte, blauwe en verrode LEDs. In de cellen is het ook mogelijk om klimaatomstandigheden zoals deze in de kas zijn na te bootsen.



Foto 2. Impressie van de klimaatcel, de twee behandelingen worden van elkaar gescheiden door middel van een scherm van hoog reflecterend materiaal.

2.3 Fotosynthese metingen

Het belangrijkste doel van de experimenten was het bepalen van de (hoeveelheid) schade die optreedt onder verschillende typen en manieren van belichting in de winterperiode bij aubergine. Uit eerder onderzoek (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2021) bleek dat deze schade voornamelijk bestond uit schade aan fotosysteem II, waardoor het fotosynthese-lichtrendement (Φ PSII) en uiteindelijk de CO₂-opname abnormaal laag werd gegeven de lichtintensiteit in de kas. Om de ontwikkeling van de schade te monitoren zijn er wekelijks metingen verricht met de LI-6800 waarop een fluorometer is geïnstalleerd (LI-COR, USA).

Hiermee kan aan bladeren gasuitwisseling worden gemeten (CO₂ en H₂O), waaruit de assimilatiesnelheid en huidmondjesgeleidbaarheid kunnen worden bepaald. Simultaan wordt met de fluorometer chlorofyl fluorescentie gemeten, waarmee de efficiëntie voor elektronen-transport door fotosysteem II wordt bepaald. Dit elektronentransport (ETR) is de drijvende kracht voor de 'lichtreactie' van de fotosynthese. Door deze metingen simultaan uit te voeren kan, in het geval van een beperking van de fotosynthese, achterhaald worden of dit komt door een probleem met de lichtreactie of met de opening van de huidmondjes.

De wekelijkse metingen bestonden uit het 'screenen', dat wil zeggen kortstondig meten, van jong volgroeide bladeren in de kop van het gewas. Hierbij wordt het blad ingeklemd in de bladkamer van de LI-COR om de CO₂-opname, huidmondjesgeleiding, ETR en Φ PSII van de bladeren in de verschillende behandelingen te bepalen. De metingen zijn uitgevoerd bij een ingestelde lichtintensiteit van 200 μ mol/m²/s PAR (standaard meetlicht 10% blauw en 90% rood) en 800 ppm CO₂.

2.4 Metingen

Naast de wekelijkse fotosynthesemetingen zijn er aan het einde van iedere teeltronde destructieve metingen verricht. Deze metingen bestonden uit het tellen van het aantal gezette vruchten, gewaslangte, vrucht- blad- en stengelgewicht. Daarnaast is tijdens de vijfde en zesde ronde 'regulier' geoogst, hierbij zijn de plantbelasting en oogst bijgehouden.

Verdere details over de proefopzet staan per proefronde weergegeven in hoofdstuk 3 tot en met 8.

3 Proefronde 1

De hoofdvraag van proefronde 1 was: Wat is het effect van daglengte (12 en 18 uur), lichtintensiteit/lichtsom en spectrum (zonlicht versus LED R/B) op het lichtrendement en de fotosynthese van aubergine?

3.1 Materiaal en methoden

Tabel 2 en 3 bevatten de setpoints en tijdslijn van proefronde 1. Tabel 4 bevat de behandelingen van de proef. Er zijn kruiselings 2 daglengtes (12 en 18 uur), 2 spectra (zonlicht en LED R/B) en 2 lichtsommen (6.5 en 9.7 mol PAR/dag) met elkaar vergeleken.

Tabel 2. Setpoints van proefronde 1 tot en met 4.

Parameter	Waarde
Plantmateriaal	Tracey geënt op Kaiser
Temperatuur	23°C etmaal (24/20°C D/N)
Luchtvochtigheid	70/75% D/N
CO ₂	800 ppm
Plantdichtheid	Op de steenwol mat 5 stengels/m ² (6 per cabine). In eerdere groeistadia voordat de planten op de mat gingen werd een hogere plantdichtheid gehanteerd, planten werden gedund op het moment dat ze elkaar beschaduwden.

Tabel 3. Tijdslijn proefronde 1.

Datum	Dagen na start	Gebeurtenis
15-10-2020	-15	Aankomst young-plants Tracey geënt op Kaiser Planten op blok gezet in de klimaatcabines 12 h/d 100 µmol zonlicht
20-10-2020	-10	Planten getopt op de eerste 2 bladeren (2 scheuten per plant)
30-10-2020	0	Lichtbehandelingen gestart (tabel 3)
17-11-2020	18	Planten op de mat
14-12-2020	45	Beëindiging proef + destructieve eindmeting

Tabel 4. Behandelingen van proefronde 1. Alle behandelingen ontvingen behalve de belichting ook winterdaglicht, van 08:00-16:00, in totaal 2.3 mol/m²/d PAR.

Behandeling	Spectrum	Belichtingsduur [h/d]	Lichtintensiteit [µmol/m ² /s]	Lichtsom (excl. 2.3 mol winterlicht) [mol/m ² /d]
12 uur R/B*	LED R/B	12	150	6.5
12 uur R/B	LED R/B	12	225	9.7
18 uur R/B	LED R/B	18	100	6.5
18 uur R/B	LED R/B	18	150	9.7
12 uur zonlicht	Zonlicht-simulatie	12	150	6.5
12 uur zonlicht	Zonlicht-simulatie	12	225	9.7
18 uur zonlicht	Zonlicht-simulatie	18	100	6.5
18 uur zonlicht	Zonlicht-simulatie	18	150	9.7

*De verhouding R/B was 95/5.

3.2 Resultaten

Foto 3 en 4 brengt de fotosynthese-schade visueel in beeld. Figuur 2 laat het verloop van de CO₂-opname over de tijd zien. Bij 200 μmol/m²/s PAR en 800 ppm CO₂ is een waarde voor de CO₂-opname van 10-11 μmol/m²/s normaal. Dit is alleen het geval voor de behandeling met 12 uur zonlicht. Wanneer schade werd geconstateerd was deze heviger in de behandelingen met de hogere lichtintensiteiten. Een verlaagde fotosynthese lag in alle gevallen aan een verlaagd lichtrendement (ΦPSII) en daarom wordt in Figuur 2 alleen fotosynthese (CO₂-opname), en niet ΦPSII en huidmondjesgeleidbaarheid, getoond. De huidmondjesopening was doorgaans goed voor de gegeven omstandigheden, namelijk een geleidbaarheid rond de 0.2 mol/m²/s.

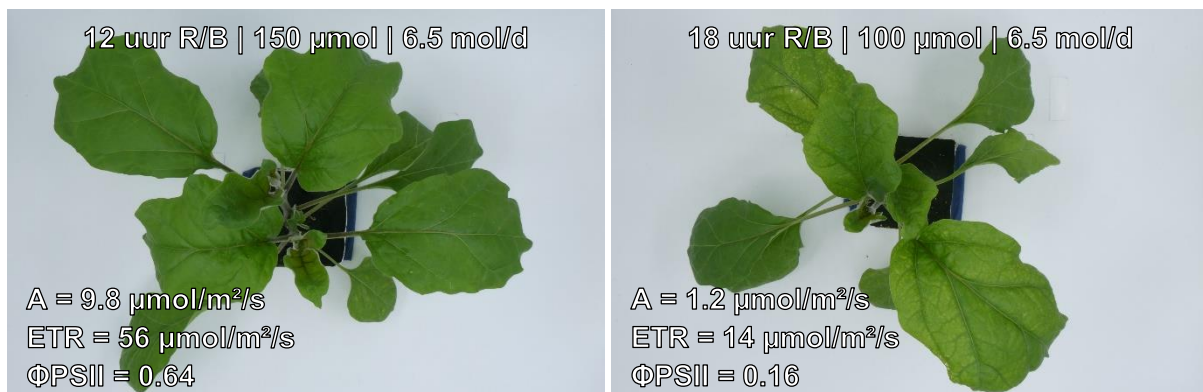
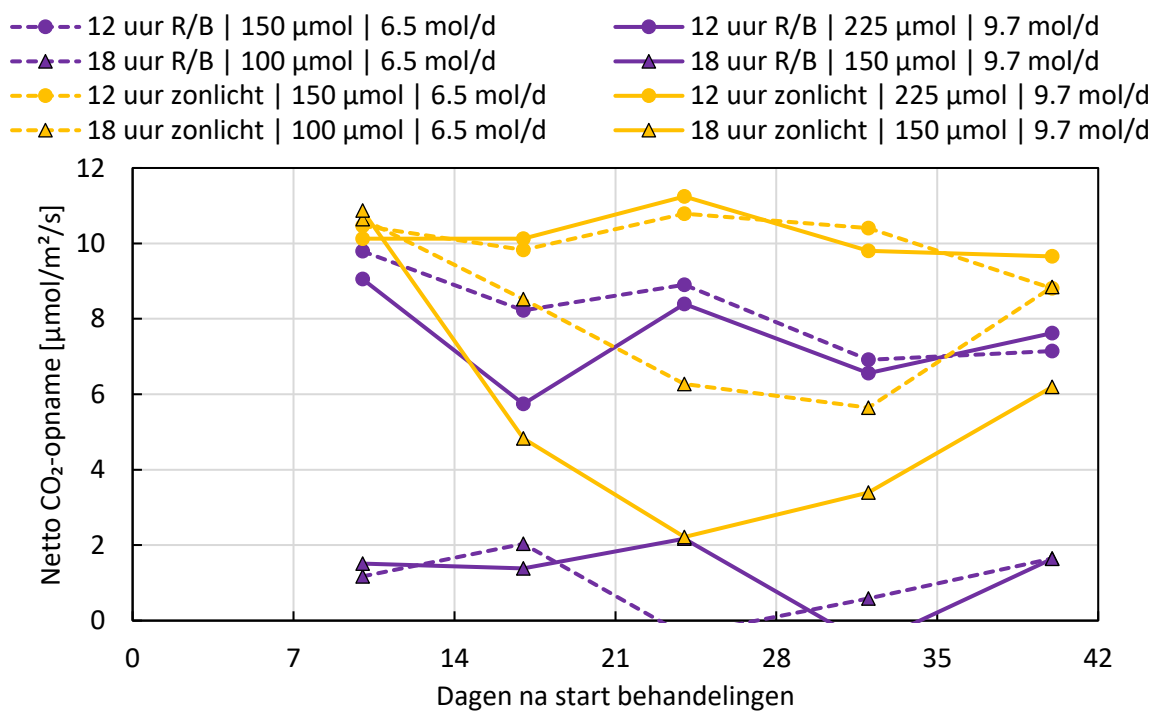


Foto 3. Planten en fotosynthese-parameters 10 dagen na start van de behandelingen in proefronde 1. Chlorose is al zichtbaar in de 18-uurs behandeling (rechts).



Figuur 2. Effect van lichtspectrum en daglengte op het verloop van de CO₂-opname gemeten bij 200 μmol/m²/s PAR en 800 ppm CO₂ in proefronde 1. Een waarde voor de CO₂-opname van 10-11 μmol/m²/s laat een normaal functionerend blad zien. n=3 per meetpunt, bij de laatste metingen (9-dec) n=5.

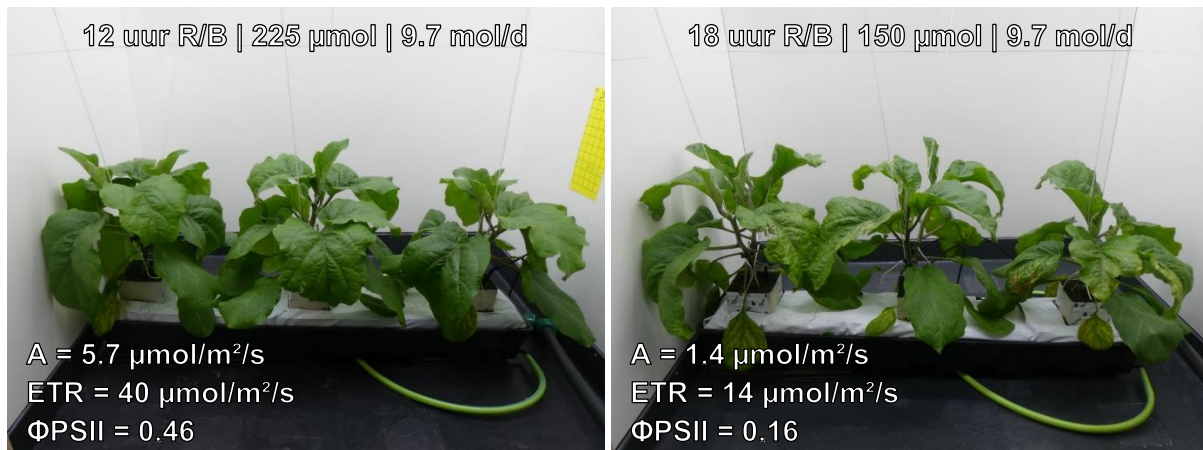


Foto 4. Planten en fotosynthese-parameters 17 dagen na start van de behandelingen in proefronde 1.

Tabel 5 geeft de destructieve eindmeting weer. De volgende zaken vallen op:

- Het aantal vruchten en de vruchtgewichten laten eenzelfde patroon zien als de fotosynthese metingen:
 - 18 uur R/B heeft een slechte vruchtzetting en laag gewicht.
 - 12 uur R/B en 18 uur zonlicht hebben een vergelijkbare vruchtzetting en gewicht.
 - 12 uur zonlicht functioneert het beste.
 - 9.7 mol/m²/d versus 6.5 mol/m²/d levert niet meer vruchten, maar wel een hoger (vrucht)gewicht.
 - Belichting met een zonlichtspectrum geeft veel meer lengtegroei dan LED R/B.

Tabel 5. Destructieve eindmeting proefronde 1. NB deze getallen moeten gezien het geringe aantal meetplanten van 3 (6 stengels) niet kwantitatief worden geïnterpreteerd.

Behandeling	Vruchten [#/m ²]	Plantlengte [cm]	Vrucht- gewicht [kg/m ²]	Blad- gewicht [kg/m ²]	Stengel- gewicht [kg/m ²]	Totaal- gewicht [kg/m ²]
12h R/B 150 µmol	9	59	0.66	1.87	0.51	3.03
12h R/B 225 µmol	8	58	1.08	2.14	0.55	3.76
18h R/B 100 µmol	2	55	0.17	1.26	0.33	1.75
18h R/B 150 µmol	3	60	0.11	1.84	0.43	2.39
12h zonlicht 150 µmol	10	95	0.84	1.78	0.79	3.40
12h zonlicht 225 µmol	10	91	1.51	2.00	0.91	4.43
18h zonlicht 100 µmol	8	83	0.78	1.75	0.67	3.20
18h zonlicht 150 µmol	9	86	1.01	1.78	0.72	3.52

3.3 Conclusies

Wat is het effect van daglengte (12 en 18 uur), lichtintensiteit/lichtsom en spectrum (zonlicht versus LED R/B) op het lichtrendement en de fotosynthese?

- Het gewas reageert zeer snel op de belichtingsbehandelingen.
 - Na 9 dagen was er al flink visuele (en meetbare) schade in de 18 uur R/B behandeling.
 - Na 16 dagen was er ook schade in de 12 uur R/B en 18 uur zonlicht behandelingen.
- Een combinatie van spectrum en belichtingsduur lijkt bepalend voor het optreden of voorkomen van schade.
 - De 12 uur R/B gaat achteruit maar de 12 uur zonlicht gaat prima.
 - De 18 uur zonlicht reageert niet zo slecht als de 18 uur R/B.
 - Deze observaties zijn zowel zichtbaar in de fotosynthese- als de destructieve metingen (vrucht- en plantgewicht).

Aangezien bijbelichten met zonlichtlampen energetisch niet efficiënt is, is in proefronde 2 nagegaan of het positieve effect van het kunstmatig zonlicht vooral gezocht moet worden in de aanwezigheid van UV-A, UV-B en/of verrood.

4 Proefronde 2

De hoofdvraag van proefronde 2 was: Wat is het effect van daglengte (12/14/16/18 uur) bij kunstmatig zonlicht, en welk deel van het zonlichtspectrum (verschil in UV-B, UV-A en/of verrood) zorgt voor meer of minder schade aan het fotosynthese-systeem?

4.1 Materiaal en methoden

Tabel 2 (vorig hoofdstuk) en 6 bevatten de setpoints en tijdslijn van proefronde 2. Tabel 7 bevat de behandelingen van de proef. De eerste 4 behandelingen werden uitgevoerd om alleen het effect van daglengte nader te toetsen. De tweede vier behandelingen zijn uitgevoerd om na te gaan hoe het zonlichtspectrum vereenvoudigd kan worden zonder dat er schade aan het fotosynthese-systeem ontstaat. Ligt het positieve effect van kunstmatig zonlicht aan UV-A, UV-B en/of verrood?

Tabel 6. Tijdslijn proefronde 2.

Datum	Dagen na start	Gebeurtenis
30-11-2020	-15	Aankomst young-plants Tracey geënt op Kaiser Planten op blok gezet in de klimaatcabines 12 h/d 100 μmol zonlicht
07-12-2020	-8	Planten getopt op de eerste 2 bladeren (2 scheuten per plant)
15-12-2020	0	Lichtbehandelingen gestart (tabel 7)
28-12-2020	13	Planten op de mat
04-02-2021	51	Beëindiging proef + destructieve eindmeting

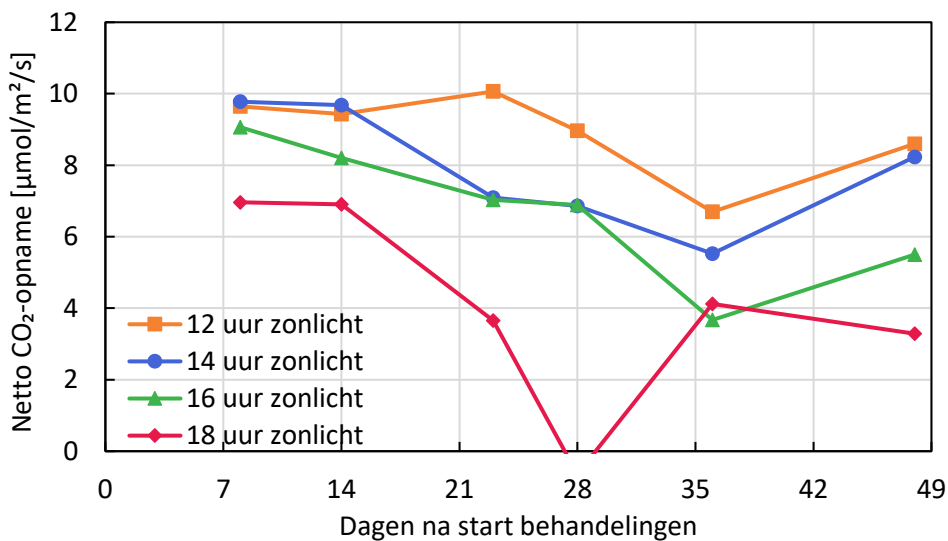
Tabel 7. Behandelingen van proefronde 2. Alle behandelingen ontvingen winterdaglicht, van 08:00-16:00, in totaal 2.3 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ PAR.

Behandeling	Spectrum	Belichtingsduur [h/d]	Lichtintensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Lichtsom (excl. 2.3 mol winterlicht) [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$]
12 uur zonlicht	Zonlicht	12	225	9.7
14 uur zonlicht	Zonlicht	14	193	9.7
16 uur zonlicht	Zonlicht	16	169	9.7
18 uur zonlicht	Zonlicht	18	150	9.7
16 uur zon min UV-B	Zonlicht -UV-B	16	169	9.7
16 uur zon min UV-B&A	Zonlicht -UV-B&A	16	169	9.7
16 uur zon min verrood	Zonlicht -verrood	16	169	9.7
16 uur zon enkel PAR	Zonlicht enkel PAR	16	169	9.7

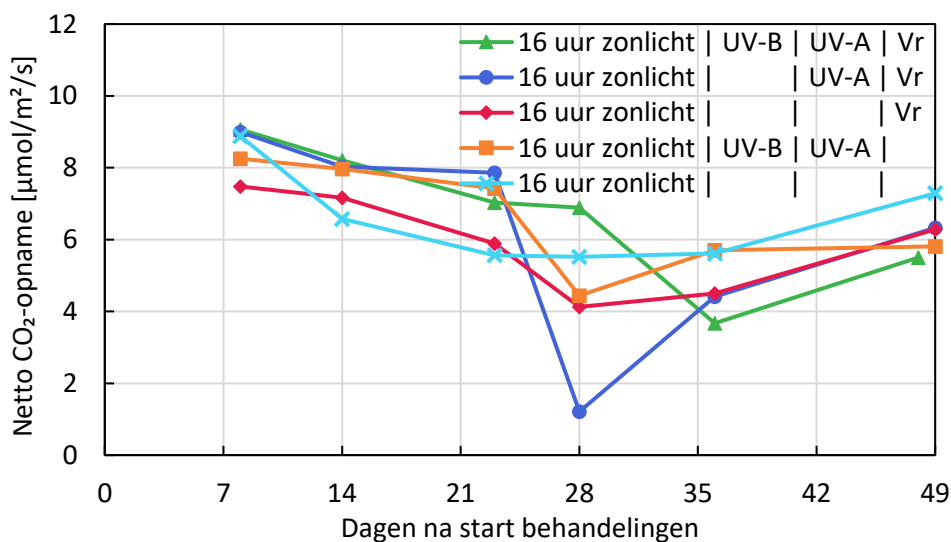
4.2 Resultaten

Figuur 3 laat de resultaten zien van het effect van de daglengte op de CO_2 -opname. Bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 800 ppm CO_2 is een waarde voor de CO_2 -opname van 10-11 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ normaal. Dit is alleen het geval voor de behandeling met 12 uur zonlicht. Opmerkelijk is ook dat de 12-uurs behandeling op 20 januari minder presteert. Op 1 februari verschillen 12 en 14 uur daglengte nauwelijks, beide behandelingen vertonen beperkte schade. Foto 5 laat een

impressie van het gewas zien op dag 50: Vooral de 18-uursbehandeling draagt beduidend minder zware vruchten. Daglengte heeft dus een overtuigend effect op de mate van schade die ontstaat. Dezelfde trend tekent zich af in de destructieve eindmetingen (Tabel 8): Naarmate de daglengte langer wordt dan 12 uur, is het vrucht- en plantgewicht lager. Dit is opmerkelijk, omdat 'Tracey' in de praktijk rond de langste dag prima functioneert (Tabel 1). Wel verloopt de lichtintensiteit dan meer als een sinus overdag in plaats van in één keer aan of in één keer uit. Het weglaten van delen van het zonlichtspectrum (UV-A, UV-B en/of verrood) bij 16 uur daglengte leverde geen noemenswaardige effecten op ten opzichte van de controle behandeling (Figuur 4).



Figuur 3. Effect van daglengte op het verloop van de CO₂-opname gemeten bij 200 µmol/m²/s PAR en 800 ppm CO₂ in proefronde 2. Een waarde voor de CO₂-opname van 10-11 µmol/m²/s laat een normaal functionerend blad zien (n=3-6 per behandeling en meetdag).



Figuur 4. Effect van het weglaten van UV-A, UV-B en/of verrood op het verloop van de CO₂-opname gemeten bij 200 µmol/m²/s PAR en 800 ppm CO₂ in proefronde 2. Een waarde voor de CO₂-opname van 10-11 µmol/m²/s laat een normaal functionerend blad zien (n=3-6 per behandeling en meetdag).



Foto 5. Effect van daglengte op de vruchtdracht van aubergine (foto 50 dagen na start van de behandelingen). Duidelijk is te zien dat de 18-uursbehandeling minder vruchtdracht heeft. NB foto's zijn op moment van eind oogst genomen, dit is waarom er blad is geplukt.

Tabel 8. Destructieve eindmeting proefronde 2. NB deze getallen moeten gezien het geringe aantal meetplanten van 3 (6 stengels) niet kwantitatief worden geïnterpreteerd.

Behandeling	Vruchten [#/m ²]	Plantlengte [cm]	Vrucht- gewicht [kg/m ²]	Blad- gewicht [kg/m ²]	Stengel- gewicht [kg/m ²]	Totaal- gewicht [kg/m ²]
12 uur zonlicht	14	110	2.11	2.22	1.09	5.42
14 uur zonlicht	13	103	1.87	2.06	0.98	4.90
16 uur zonlicht	12	106	1.69	2.07	0.97	4.72
18 uur zonlicht	10	105	0.68	1.90	0.85	3.43
16 uur zon	12	106	1.69	2.07	0.97	4.72
16 uur zon min UV-B	13	110	1.74	1.99	0.92	4.64
16 uur zon min UV-B&A	14	105	1.61	1.94	0.91	4.45
16 uur zon min verrood	10	87	1.56	2.17	0.78	4.51
16 uur zon enkel PAR	8	88	1.40	2.17	0.74	4.32

4.3 Conclusies

Wat is het effect van daglengte (12/14/16/18 uur) bij kunstmatig zonlicht en welk deel van het zonlichtspectrum (verschil in UV-B, UV-A en/of verrood) zorgt voor minder schade aan het fotosynthese-systeem?

- Daglengte is bepalend voor de fotosynthese-efficiëntie:
 - 12 uur belichting geeft de beste resultaten, gevolgd door 14, 16 en 18 uur.
 - Ook 12 uur laat na verloop van tijd enige schade zien die weer lijkt te herstellen.
- Zowel het ontbreken van UV-B, UV-A en/of verrood lijken geen invloed te hebben op voorkomen of verergeren van de schade bij 16 uur belichting.
- De gemeten patronen van fotosynthese komen overeen met het gemeten vruchtgewicht.
- De plantlengte is beduidend korter in de behandelingen waar verrood ontbreekt.

De constatering dat het ontbreken van UV-B, UV-A en/of verrood de schade onder 16 uur niet voorkomt of verergert, en ook dat de 12-uursbehandeling aan het einde van de proef enige schade vertoonde, doet vermoeden dat er nog meer factoren in het spel zijn. Zeker is dat aubergine in de onbelichte praktijkteelt prima functioneert rondom de langste dag (16-17 uur licht). Vandaar dat in proefronde 3 er proefvarianten zijn gemaakt waarbij het licht langzamer opschakelt in plaats van aan/uit.

5 Proefronde 3

De hoofdvraag van proefronde 3 was:

- 3A: Wat is het effect van de belichtingsstrategie (belichting in één keer aan/uit in de ochtend/avond en direct een hoge lichtsom, versus stapsgewijs licht op-afbouwen in ochtend/avond ('rustige' op-afschakeling van het fotosysteem) en opbouwen van de lichtsom gedurende de proef om te meer te belichten naarmate er meer assimilatenvraag is)? Dit is getoetst bij twee daglengtes (12 en 16 uur).
- 3B: Wat is de gevoeligheid van verschillende rassen voor de schade bij twee daglengtes (15 en 18 uur)?

5.1 Materiaal en methoden

Tabel 2 (hoofdstuk 3), 9 en 10 bevatten de setpoints en tijdslijn van proefronde 3A en 3B. Tabel 11 en 12 bevatten de behandelingen van de proef. De eerste 4 behandelingen waren gericht op het al dan niet op- en afbouwen van de dagelijkse lichtintensiteit (Figuur 6) en de totale lichtsom over de dagen heen (Figuur 5). Behandeling 5 en 6 waren gericht op de rasgevoeligheid voor schade en werden uitgevoerd met LED R/B bij 15 en 18 uur daglengte. Onder LED R/B zijn 10 rassen gescreend:

- Rijk Zwaan: 10-127, Beyonce, OB1018, Rosheen, Tracey
- Enza Zaden: Black Gem, Bartok, Pamela, Lemmy
- De Ruiter: Scorpio

Tabel 9. Tijdslijn proefronde 3 (belichtingsproef).

Datum	Dagen na start	Gebeurtenis
10-02-2021	-2	Aankomst young-plants Tracey geënt op Kaiser Planten op blok gezet in de klimaatcabines 12 h/d 100 μ mol zonlicht
12-02-2021	0	Lichtbehandelingen gestart (tabel 11)
02-03-2021	18	Planten op de mat
18-03-2021	34	Lichtverhoging in de opschakel behandelingen
08-04-2021	55	Beëindiging proef + destructieve eindmeting

Tabel 10. Tijdslijn proefronde 3 (rassenproef).

Datum	Dagen na start	Gebeurtenis
05-02-2021	-26	Rassen gezaaid in de klimaatcabine, opgekweekt onder 12 h/d 100 μ mol zonlicht
19-02-2021	-12	Zaailingen op blok gezet
03-03-2021	0	Lichtbehandelingen gestart (tabel 12)
26-03-2021	23	18 h/d RB behandelingen geruimd
21-04-2021	49	Beëindiging proef

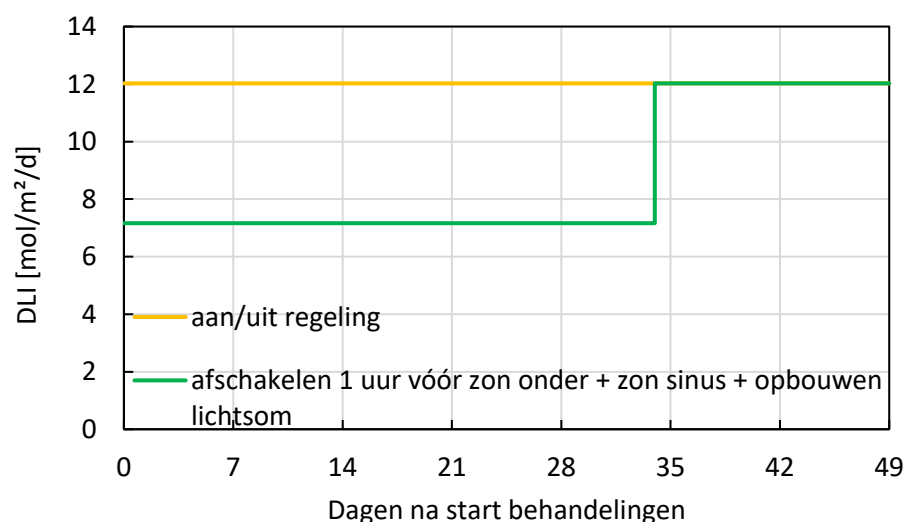
Tabel 11. Behandelingen van proefronde 3 (belichtingsproef). Alle behandelingen ontvingen winterdaglicht, de aan/uit behandelingen van 08:00-16:00 en de opbouw behandelingen van 09:00-17:00, in totaal ontvingen ze 2.3 mol/m²/d PAR winterdaglicht. Zie figuur 6 voor visualisatie van de behandelingen.

Behandeling	Spectrum	Belichtingsduur [h/d]	Lichtintensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Lichtsom (excl. 2.3 mol winterlicht) [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$]
12 uur h/d aan/uit	Zonlicht	12	225	9.7
12 uur h/d opbouw	Zonlicht	12	123/245*	4.9/9.7*
16 uur h/d aan/uit	Zonlicht	16	169	9.7
16 uur h/d opbouw	Zonlicht	16	90/180*	4.9/9.7*

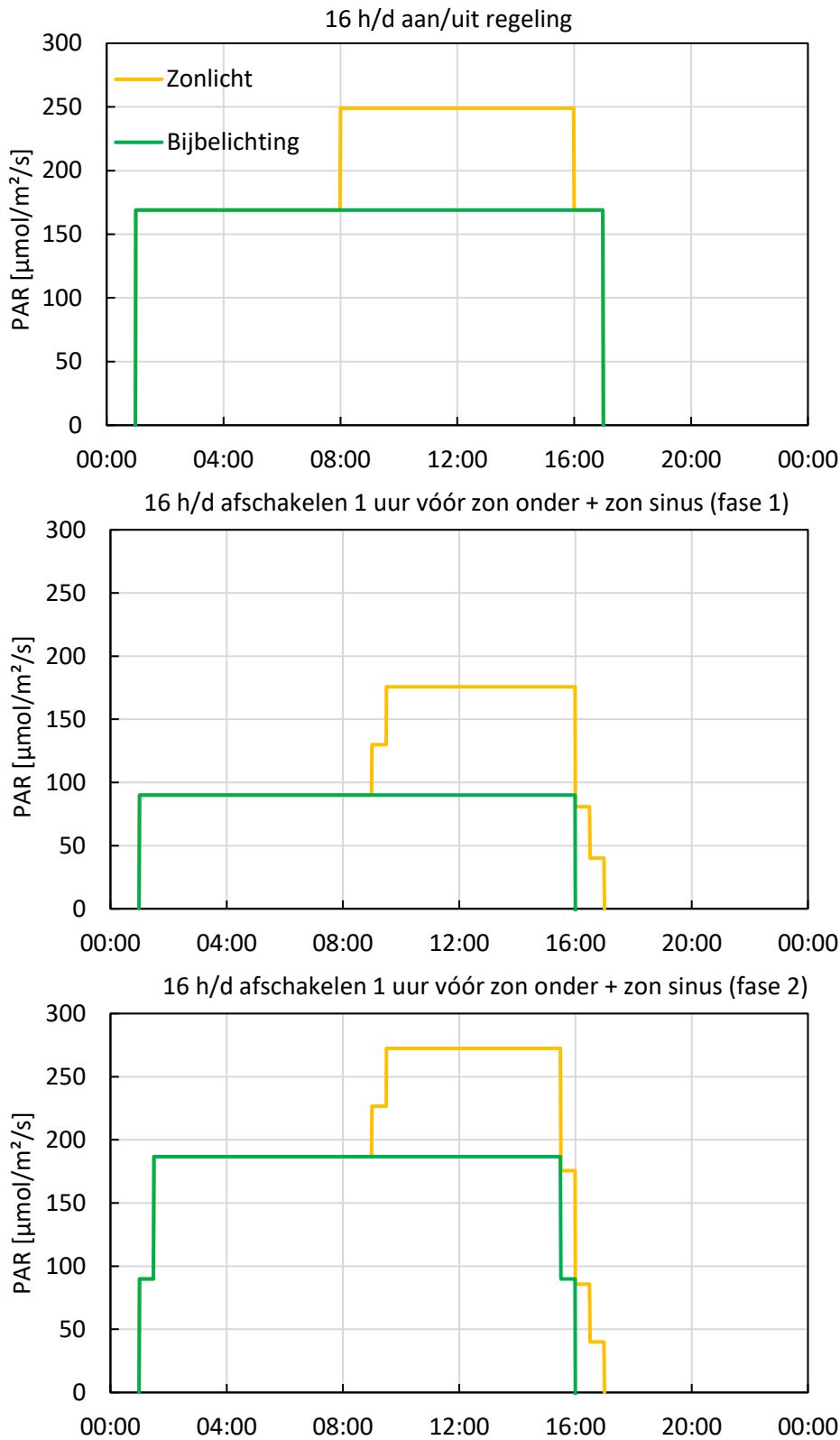
*De opbouw behandelingen zijn gestart met een lagere lightsom (50%) tegen over de aan/uit behandelingen, de lichtintensiteit is verhoogd op dag 34 na start van de proef. Vanaf dag 34 is de intensiteit iets hoger om te compenseren voor het op- en afbouwen van de lichtintensiteit in ochtend en avond, zodat de lightsom gelijk blijft.

Tabel 12. Behandelingen van proefronde 3 (rassenproef). Alle behandelingen ontvingen winterdaglicht, van 08:00-16:00, in totaal ontvingen ze 2.3 mol/m²/d PAR winterdaglicht.

Behandeling	Spectrum	Belichtingsduur [h/d]	Lichtintensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Lichtsom (excl. 2.3 mol winterlicht) [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$]
15 uur R/B	LED R/B 95/5	15	180	9.7
18 uur R/B	LED R/B 95/5	18	150	9.7



Figuur 5. Verschil in opbouw lightsom bij of 12 uur (behandeling 1 versus behandeling 2) of 16 uur (behandeling 3 versus behandeling 4).

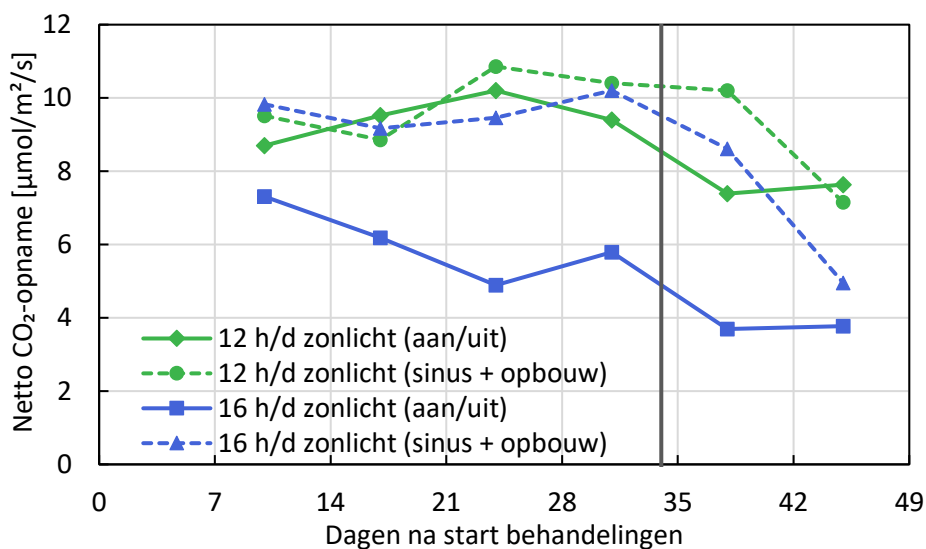


Figuur 6. Verloop van de lichtintensiteit over de dag voor beide 16-uurs behandelingen. Doordat in de ene behandeling 16 uur wordt bijbelicht en in de andere behandeling 15 uur wordt bijbelicht, verschilt de intensiteit om zo op een gelijke lichtsom uit te komen. Voor de 12-uurs behandelingen waren de patronen gelijk maar met hogere lichtintensiteiten zodat de lichtsom gelijk was aan de 16 uur fotoperiode (tabel 11).

5.2 Resultaten

Figuur 7 geeft de resultaten weer van 12 en 16 uur daglengte bij twee methoden van opschakelen. Te zien is dat de aan/uit-regeling bij 16 uur forse fotosynthese-schade geeft, terwijl de bladeren bij 16 uur sinus + opbouw in eerste instantie goed blijven functioneren (zie ook foto 6). Op den duur ontstaat in alle behandelingen een kleine (12 uur) tot grotere mate (16 uur) van schade nadat de lichtsom is verhoogd op dag 34. Dit bevestigt de resultaten van proefronde 1 en 2 dat er ook bij 12 uur belichting met een zonlichtspectrum op den duur enige schade kan ontstaan, maar dat de schadegevoeligheid groter is bij een langere daglengte. Onder een daglengte van 16 uur is er duidelijk minder schade door met sinus+opbouw te werken. Bij 12 uur daglengte lijkt dit alleen maar de eerste dagen na de verhoging in lichtsom (dag 34) minder negatief te zijn (dag 38 na start). Dat er na dag 34 een algehele afname van de lichtbenutting voor fotosynthese plaats vindt, suggereert dat een te vroege verhoging van de lichtintensiteit en/of dagsom PAR een groot negatief effect heeft. Dit suggereert dat source-sinkbalans een rol speelt in het ontstaan van de schade. In proefronde 5 en 6 wordt hier verder op ingegaan.

Tabel 13 geeft de eindoogst weer: Geen verschillen in aantal vruchten, ook het verschil in vruchtgewicht is minimaal. Dit suggereert dat desondanks de gereduceerde fotosynthese efficiëntie van de 16 h/d (aan/uit) behandeling deze nog voldoende assimilaten voor de eerste vruchten kan produceren. 12 h/d (aan/uit) is het zwaarste door de hoge lichtsom vanaf start experiment en de minimale schade aan het fotosysteem.



Figuur 7. Effect van methode van licht opschakelen (zie figuur 5 en 6) op het verloop van de CO₂-opname gemeten bij 200 µmol/m²/s PAR en 800 ppm CO₂ in proefronde 3A. Een waarde voor de CO₂-opname van 10-11 µmol/m²/s laat een normaal functionerend gewas zien. Op dag 34 is de lichtintensiteit verhoogd in de opbouw behandelingen (n=5 per behandeling en meetdag).



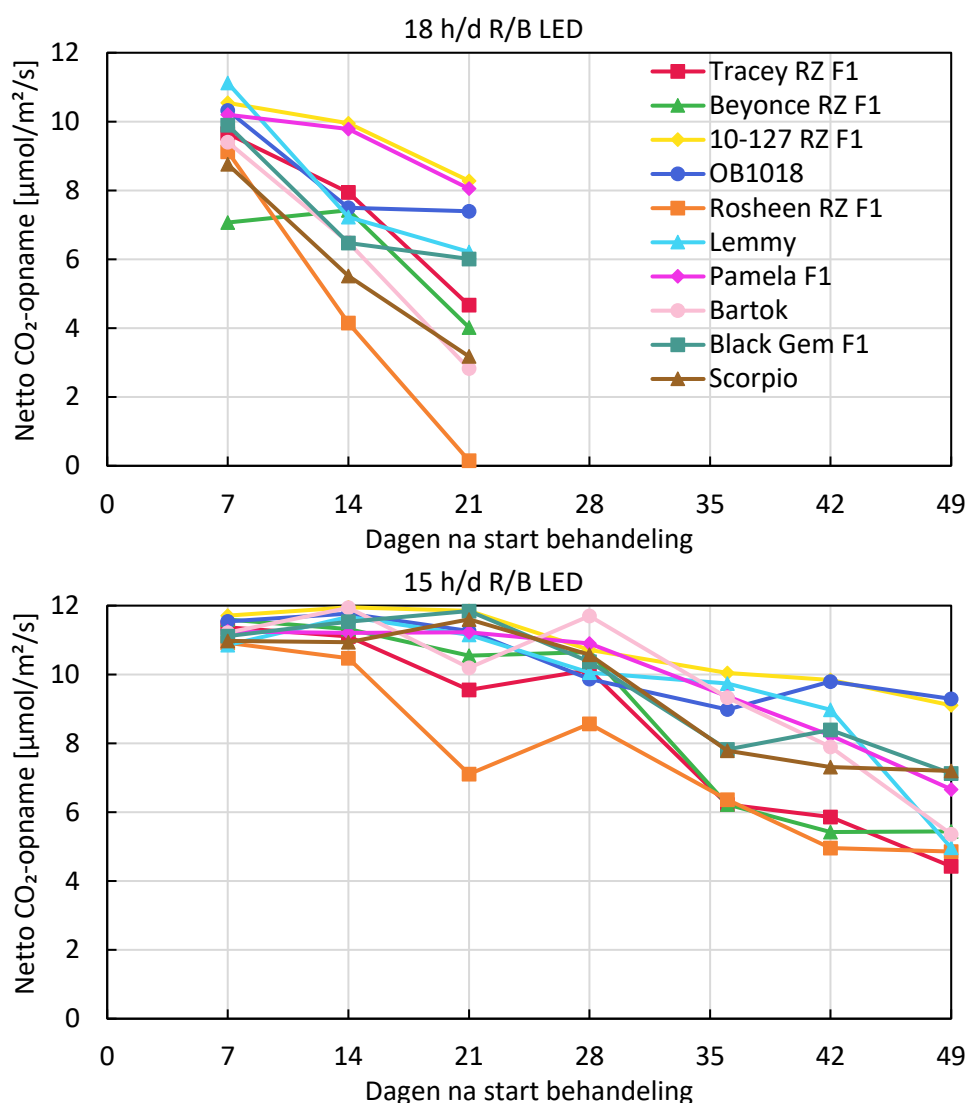
Foto 6. Visuele impressie effect van effect belichtingsstrategie 16 uur aan/uit (boven) versus sinus + opbouw (onder), 25 dagen na start behandelingen.

Tabel 13. Destructieve eindmeting proefronde 3A. NB deze getallen moeten gezien het geringe aantal meetplanten van 3 (6 stengels) niet kwantitatief worden geïnterpreteerd.

Behandeling	Vruchten [#/m ²]	Plantlengte [cm]	Vrucht- gewicht [kg/m ²]	Blad- gewicht [kg/m ²]	Stengel- gewicht [kg/m ²]	Totaal- gewicht [kg/m ²]
12 h/d zonlicht (aan/uit)	15	116	1.29	2.45	1.68	5.42
12 h/d (sinus + opbouw)	15	110	1.14	2.21	1.31	4.66
16 h/d zonlicht (aan/uit)	15	114	1.13	2.27	1.40	4.80
16 h/d (sinus + opbouw)	15	121	1.39	2.24	1.37	5.00

De rassenscreening (Figuur 8) liet een helder patroon zien:

- 18 uur daglengte LED-R/B zorgt in de meeste rassen voor een snel verval in CO₂-opname. Deze behandeling is dan ook na 21 dagen afgebroken: 3 weken na de start van het experiment (24-03) had Rosheen RZ F1 zelfs geen positieve CO₂-opname meer.
- 15 uur daglengte met LED-R/B geeft veel minder schade dan 18 uur LED R/B, de CO₂-opname startte bij de meeste behandelingen ruim boven de 11 μmol/m²/s.
 - Het verval in CO₂-opname startte bij een aantal rassen vanaf de derde week.
 - Vanaf de vierde week lieten alle rassen een verval in CO₂-opname zien, maar bij RZ 10-127 en OB1018 was het verval minimaal. Controle-ras Tracey blijkt juist relatief schade-gevoelig, de lichtbenutting halveerde uiteindelijk bij dit ras.



Figuur 8. Effect van ras onder 18 uur (boven) en 15 uur (onder) daglengte met LED R/B op de CO₂-opname gemeten bij 200 μmol/m²/s PAR en 800 ppm CO₂ in proefronde 3B. Een waarde voor de CO₂-opname van 10-11 μmol/m²/s laat een normaal functionerend gewas zien (n=5 per behandeling en meetdag).

5.3 Conclusies

Wat is het effect van de belichtingsstrategie (belichting in één keer aan/uit in de ochtend/avond en direct een hoge lichtsom, versus stapsgewijs licht op-afbouwen in ochtend/avond en opbouwen van de lichtsom gedurende de proef om te meer te belichten naarmate er meer assimilatievraag is) bij twee daglengtes (12 en 16 uur)?

- 16 h/d zonlicht aan/uit vertoont vanaf het eerste meetpunt al schade.
- 16 h/d zonlicht sinus + opbouw presteert in de eerste weken (tot het verhogen van het licht) even goed als de 12 h/d zonlicht behandelingen.
- Beide sinus + opbouw behandelingen vervallen in fotosynthese-efficiëntie kort nadat de lichtintensiteit verhoogd is, maar bij 16 uur is het verval groter dan bij 12 uur daglengte.

Vooraf het ontstaan van schade kort na verhoging van de lichtintensiteit/ lichtsom suggereert sterk dat de source-sink-relatie invloed heeft: een overmaat aan source geeft meer schade. Daglengte is dus niet zondermeer bepalend voor de schade, maar een langere daglengte maakt het gewas wel gevoeliger voor schade. Bij een lager lichtniveau is 16 uur daglengte nog goed mogelijk. Vandaar dat in proefronde 4 opnieuw wordt ingestoken op een 16-urige daglengte bij een lager lichtniveau en verschillende lichtspectra.

Hoe reageren verschillende rassen op de schade bij twee daglengtes (15 en 18 uur) LED R/B?

- Het ras bepaalt mede de mate van schade. Onder 18 uur blijft geen van de rassen vrij van schade en is de schade bij ene aantal rassen zeer ernstig.
- Onder 15 uur doet Rosheen RZ F1 het bijzonder slecht. Beyonce vertoont een vergelijkbaar schadepatroon als Tracey. 10-127 RZ F1 en OB1018 doen het daarentegen relatief goed en vertonen nauwelijks schade aan het fotosynthese-apparaat.

6 Proefronde 4

De hoofdvraag van proefronde 4 was: Wat is het effect van belichting met een lager aandeel rood (meer wit LED-licht t.o.v. rood) en van verrood? Met als doel om tot een praktisch toepasbaar (betaalbaar) spectrum te komen waarbij zo min mogelijk schade ontstaat. Dit is getoetst met een lichtintensiteit die de eerste fase van de teelt lager blijft dan in de vorige proefronden (voorkomen hoge source/sink ratio in onbelast gewas) en bij 16 uur daglengte.

6.1 Materiaal en methoden

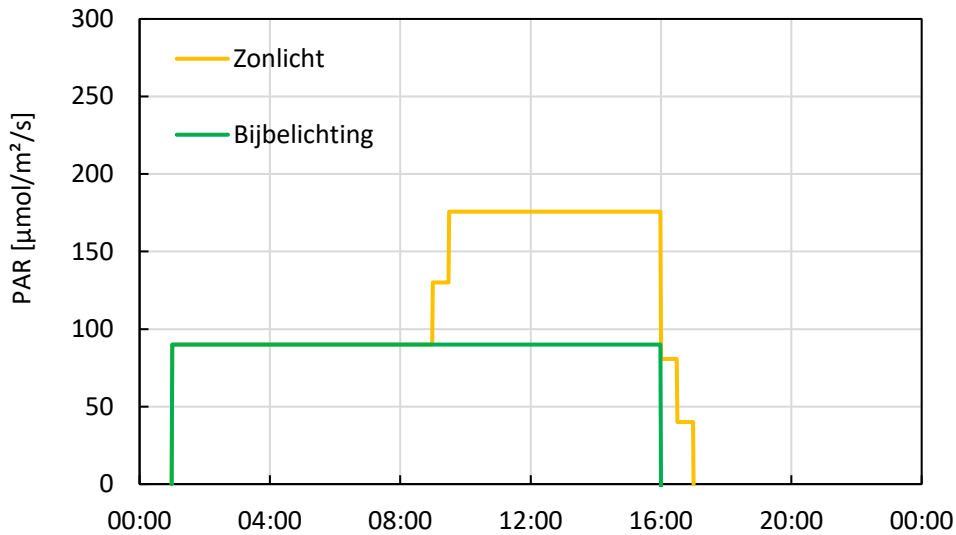
Tabel 2 (hoofdstuk 3) en 14 bevatten de setpoints en tijdlijn van proefronde 4. Tabel 15 bevat de behandelingen van de proef. Kruiselings werd de hoeveelheid witte LED (0% of 60%) en wel of geen verrood uitgevoerd. Aangezien verrood een groter effect heeft op de fytochromabalans (PSS; Sager *et al.* 1988) van de planten bij voornamelijk witte LED ten opzichte van voornamelijk rode LED, is er gekozen om de PSS gelijk te houden door de hoeveelheid verrood bij de witte LED te verminderen. De proef werd in duplo uitgevoerd.

Tabel 14. Tijdlijn proefronde 4.

Datum	Dagen na start	Gebeurtenis
08-04-2021	-15	Aankomst young-plants Tracey geënt op Kaiser Planten op blok gezet in de klimaatcabines 12 h/d 100 μmol zonlicht
15-04-2021	-8	Planten getopt op de eerste 2 bladeren (2 scheuten per plant)
23-04-2021	0	Lichtbehandelingen gestart (tabel 15)
17-05-2021	24	Planten op de mat
27-05-2021	34	Lichtintensiteit naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verhoogd
18-06-2021	56	Beëindiging proef + destructieve eindmeting

Tabel 15. Behandelingen van proefronde 4 (belichtingsproef). Alle behandelingen ontvingen winterdaglicht, van 09:00-17:00, in totaal 2.3 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ PAR. Het patroon van de belichting staat weergegeven in Figuur 9.

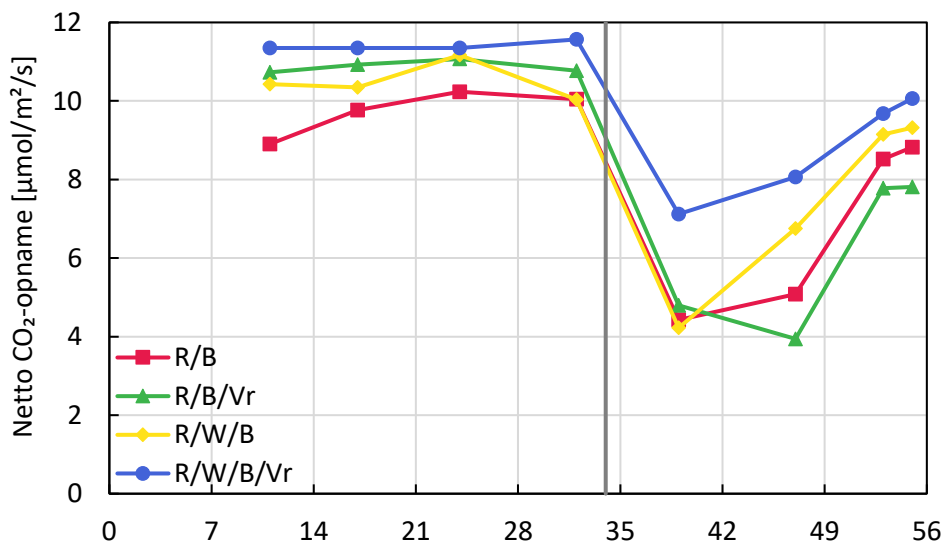
Behandeling	Spectrum in % PAR R/W/B/Vr	PSS	Lichtintensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Lichtsom (excl. 2.3 mol winterlicht) [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$]
LED R/B	95/0/5/0	0.89	90/135	4.9/7.3
LED R/B/Vr	95/0/5/30	0.82	90/135	4.9/7.3
LED R/W/B	30/60/10/0	0.87	90/135	4.9/7.3
LED R/W/B/Fr	30/60/10/10	0.82	90/135	4.9/7.3



Figuur 9. Patroon zonlicht en bijbelichting gedurende de eerste fase van de proef.

6.2 Resultaten

Figuur 10 geeft de resultaten weer van proefronde 4. Duidelijk is te zien dat alleen LED R/B bij 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR bijbelichting (lichte) schade geeft, maar dat de echte schade wordt veroorzaakt door verhoging van de lichtintensiteit van 90 naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR bijbelichting. Na drie weken is er een sterk herstel in de CO_2 -opname. Dit valt samen met een toename in de plantbelasting. Het type belichting lijkt slechts beperkt verschil te maken, maar de behandeling laag rood/hoog wit + verrood vertoonde het minste schade (in beide duplo-behandelingen-in figuur 10 staat het gemiddelde per 2 duplo-behandelingen). De destructieve eindmetingen (Tabel 16) lieten nauwelijks verschillen tussen de behandelingen zien.



Figuur 10. Effect van lichtspectrum op het verloop van de CO_2 -opname gemeten bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 800 ppm CO_2 in proefronde 4. Een waarde voor de CO_2 -opname van 10-11 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ laat een normaal functionerend gewas zien. Op dag 34 na start werd de lichtintensiteit opgeschakeld naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR ($n=10$ per behandeling en meetdag).

Tabel 16. Destructieve eindmeting proefronde 4. NB deze getallen moeten gezien het geringe aantal meetplanten van 3 (6 stengels) niet kwantitatief worden geïnterpreteerd.

Behandeling	Vruchten [#/m ²]	Plantlengte [cm]	Vrucht- gewicht [kg/m ²]	Blad- gewicht [kg/m ²]	Stengel- gewicht [kg/m ²]	Totaal- gewicht [kg/m ²]
R/B	13.3	87	1.43	1.68	0.60	3.70
R/B/Vr	11.7	102	1.88	1.41	0.63	3.91
R/W/B	12.5	92	1.74	1.69	0.63	4.05
R/W/B/Vr	12.1	98	1.59	1.55	0.65	3.80

6.3 Conclusies

Proefronde 4: Wat is het effect van belichting met een lager aandeel rood (meer wit LED-licht t.o.v. rood) en van verrood, terwijl de lichtintensiteit in de eerste fase van de teelt laag blijft (wel 16 uur daglengte)? Met als doel om tot een praktisch toepasbaar (betaalbaar) spectrum te komen waarbij zo min mogelijk schade ontstaat.

- Onder een lichtniveau van 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR zijn effecten van spectrum beperkt, hoewel LED R/B net een iets lagere fotosynthese heeft dan de andere behandelingen. Door het opschakelen van de lichtintensiteit naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR loopt de fotosynthese efficiency fors terug, maar dit herstelt grotendeels naarmate de proef voortduurt (toename plantbelasting) en lijkt minder afhankelijk van spectrum.
 - Breedband (laag rood/hoog wit) + verrood doet het wel iets beter dan de overige behandelingen. Dit was consequent gemeten in beide behandelingen (de proef was in duplo uitgevoerd).

De belichtingsintensiteit (in relatie tot sinksterkte) lijkt een dus een bepalende rol te spelen bij het ontstaan en weer verminderen of verdwijnen van de schade aan het fotosysteem, meer nog dan het spectrum. In de volgende twee opschalingsproeven is het effect van het langzaam toe laten nemen van de lichtsom op het schadepatroon en de productie nader onderzocht in langer lopende teelten.

7 Proefronde 5

De hoofdvraag van proefronde 5 was: Wat is het effect van een rustigere en snellere opbouw van lichtintensiteit bij 16 uur daglengte op het ontstaan en verloop van schade en op de productie van het gewas? Deze proef werd uitgevoerd in een 21 m² klimaatkamer met voldoende hoogte voor een hogedraad teelt waarin een langere periode geoogst kon worden (Foto 7).



Foto 7. Impressie van de klimaatkamer gebruikt in proefronde 5 en 6.

7.1 Materiaal en methoden

Tabel 17 bevat de tijdslijn van de proef. De proef werd met twee rassen uitgevoerd: Tracey (gevoelig voor schade) en RZ 10-127 (toleranter), beide geënt op Kaiser. Er werden twee behandelingen uitgevoerd: twee variaties in opbouw van lichtsom (Figuur 12). Het 'beste' spectrum van proefronde 4 werd hiervoor gebruikt: R/W/B/VR (respectievelijk in %PAR: 30/60/10/10; PSS≈0.82) van 1:00-16:00. Als achtergrond werd opnieuw een daglichtsimulatie winter uitgevoerd (09:00-17:00 daglicht, 2.3 mol/m²/d PAR). De totale daglengte was dus 16 uur en de belichting ging uit 1 uur voor 'zon onder' (daglichtsimulatoren uit).

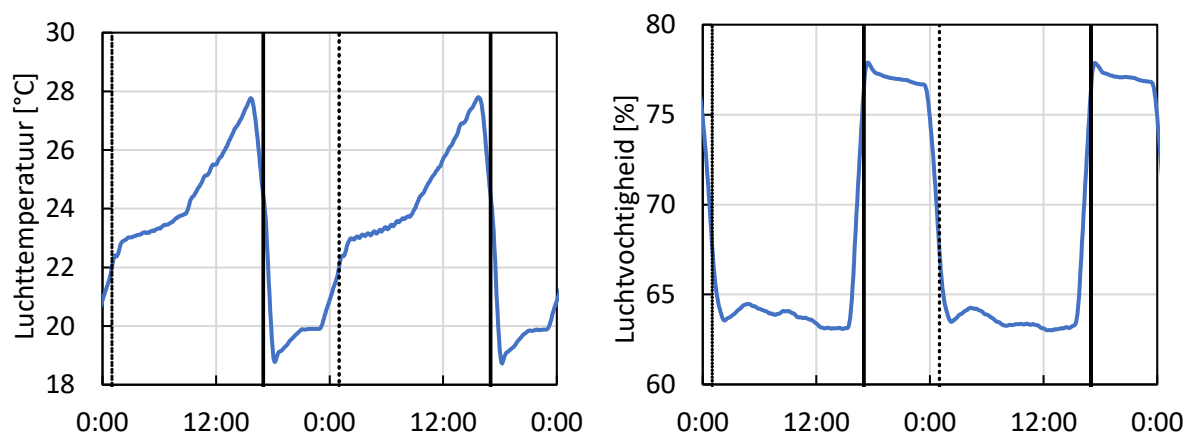
De temperatuurverschillen tussen dag en nacht zijn op dag 43. Na start van de behandelingen verhoogd van 3 graden DIF naar 9 graden DIF op aanraden van de begeleidende telers, met als doel om meer generatief gewas te telen. Om dezelfde reden is vanaf die dag gestart met blad plukken, door middel van het tweede blad per vrucht weg te breken. De watergift werd afgestemd op een drain van 30%, het voedingswater werd gegoten met een EC van 3.6 en een pH van 5.5. De analyse van het voedingschema is te vinden in bijlage I.

Tabel 17. Tijdslijn proefronde 5.

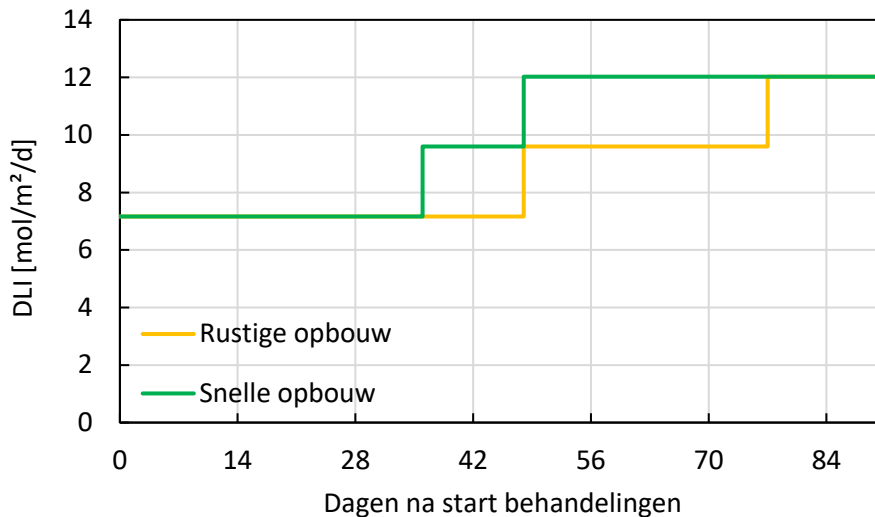
Datum	Dagen na start	Gebeurtenis
05-07-2021	-17	Aankomst young-plants Tracey geënt op Kaiser & 10-127 RZ geënt op Kaiser Planten op blok gezet in de klimaatcel 12 h/d 100 μmol zonlicht
12-07-2021	-10	Planten getopt op de eerste 2 bladeren (2 scheuten per plant)
22-07-2021	0	Lichtbehandelingen gestart
04-08-2021	13	Planten op de mat
27-08-2021	36	Lichtintensiteit snelle opbouw behandeling naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verhoogd
03-09-2021	43	Klimaat regime aangepast naar DIF van 9 i.p.v. 3 graden
03-09-2021	43	Blad geplukt, d.m.v. het tweede blad per vrucht weg te breken
08-09-2021	48	Lichtintensiteit rustige opbouw behandeling naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verhoogd Lichtintensiteit snelle opbouw behandeling naar 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verhoogd
07-10-2021	77	Lichtintensiteit rustige opbouw behandeling naar 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verhoogd
29-10-2021	99	Beëindiging proef + destructieve eindmeting

Tabel 18. Setpoints van proefronde 5 en 6.

Parameter	Waarde
Plantmateriaal	Tracey geënt op Kaiser en 10-127 geënt op Kaiser
Temperatuur	23°C etmaal (24/20°C D/N), overdag oplopend tot 28°C
Luchtvochtigheid	65/75% D/N
CO ₂	800 ppm
Plantdichtheid	5 stengels/m ²



Figuur 11. Luchttemperatuur- en luchtvochtigheids-verloop over twee etmalen. Het forse verschil tussen dag- en nacht temperatuur is ingezet vanaf dag 43. Daarvoor was er een verschil van 3 graden tussen dag en nacht graden. De gestippelde lijn geeft de start van de fotoperiode weer, de doorgetrokken lijn het einde hiervan.

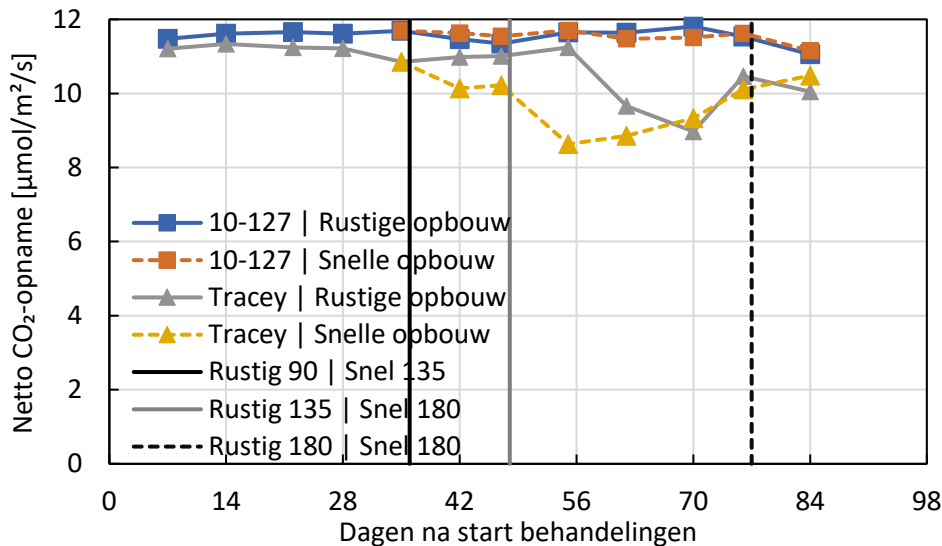


Figuur 12. Opbouw van de lichtsom in proefronde 5. De daglengte was 16 uur door middel van 15 uur bijbelichting van 1:00-16:00 van 90 naar 135 naar 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (lichtsom van respectievelijk 4.9, 7.3 en 9.7 mol PAR/dag) en een daglichtsimulatie winter van 9:00-17:00 en 2.3 mol PAR.

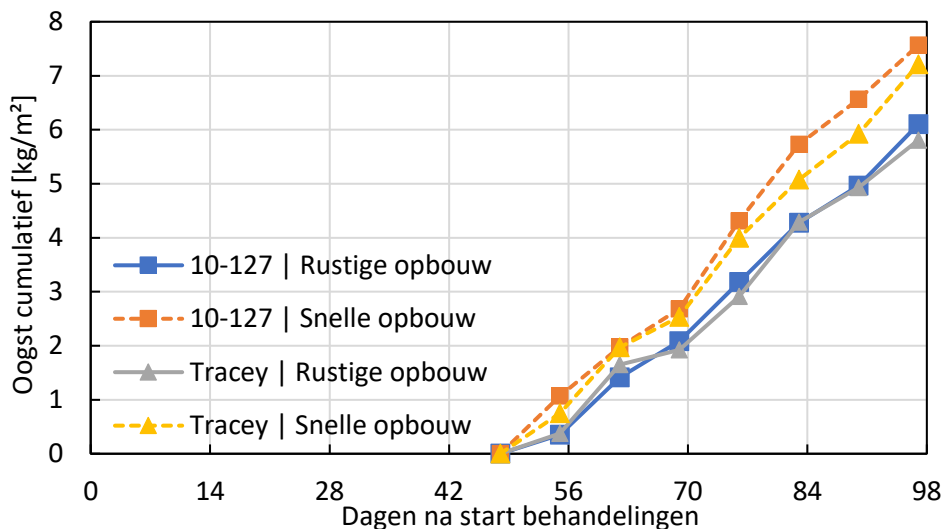
7.2 Resultaten

Figuur 13 geeft de resultaten weer van het verloop van de CO_2 -opname over de tijd. Te zien is dat het probleem van de fotosynthese-schade bij ras 10-127 niet optreedt, ondanks de lichtverhogingen. Dit in tegenstelling tot de resultaten in proefronde 3B (Figuur 8) waarin 10-127 een hele milde schade liet zien bij bladeren in een jonger gewasstadium belicht met 15 uur 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR met een R/B spectrum. Bij Tracey is er wel een kleine reductie in CO_2 -opname te zien die herstelde bij toename van de plantbelasting. De laagst gemeten waardes voor Tracey waren aanmerkelijk hoger dan die gemeten werden in de belichte kasproef in Bleiswijk van 2019/2020 (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2021).

Figuur 14 geeft de bijbehorende oogst weer. De rassen onder de rustige opbouw van de lichtintensiteit (dus een lagere lichtsom) laten duidelijk een lagere oogst zien en Tracey en 10-127 verschillen niet qua oogst. Onder de snelle opbouw vertoonde Tracey nog een matige vorm van schade (Figuur 14), dit lijkt terugvertaald te worden in een stuk lagere oogst dan 10-127. RZ 10-127 liet gedurende de zes oogstweken een gemiddelde productie van 1.1 kg/m^2 zien met een relatief hoog drogestofgehalte van de vruchten van 6.1%.



Figuur 13. Effect van ras en methode van opbouw lichtsom op het verloop van de CO₂-opname gemeten bij 200 µmol/m²/s PAR en 800 ppm CO₂ in proefronde 5. Een waarde voor de CO₂-opname van 10-11 µmol/m²/s laat een normaal functionerend gewas zien. Op dag 36 steeg de lichtintensiteit van de snelle opbouw van 90 naar 135 µmol/m²/s PAR. Op dag 48 steeg de lichtintensiteit van de snelle opbouw van 135 naar 180 µmol/m²/s PAR en van de rustige opbouw van 90 naar 135 µmol/m²/s PAR. Op dag 77 steeg de lichtintensiteit van de rustige opbouw ook naar de 180 µmol/m²/s PAR.



Figuur 14. Cumulatieve oogst van de twee behandelingen en twee rassen. De behandelingen met de rustige opbouw (dus een lagere lichtsom) laten ook een duidelijk lagere oogst zien.

Tabel 19. Destructieve eindmeting proefronde 5.

Behandeling	Plantlengte [cm]	Oogst [kg/m ²]	Onrijpe vruchten [kg/m ²]	Bladgewicht [kg/m ²]	Stengelgewicht [kg/m ²]	Totaalgewicht [kg/m ²]
10-127 Rustige opbouw	197	6.10	0.60	1.45	1.45	9.60
10-127 Snelle opbouw	185	7.57	0.67	1.46	1.48	11.18
Tracey Rustige opbouw	194	5.81	0.77	1.58	1.56	9.72
Tracey Snelle opbouw	195	7.21	0.59	1.56	1.58	10.94

7.3 Conclusies

Wat is het effect van een rustigere en snellere opbouw van lichtintensiteit bij 16 uur daglengte op het ontstaan en verloop van fotosynthese-schade en de productie van het gewas?

- De opbouw van de lichtsom heeft invloed op de schade bij Tracey. Hoe sneller omhoog in intensiteit (en lichtsom) hoe groter de schade. Maar de schade bij Tracey was ook bij de snelle opbouw mild (NB ook bij de 'snelle opbouw' is de lichtsom stapsgewijs verhoogd op basis van toename in plantbelasting gedurende de teelt, zie figuur 12).
- Bij RZ 10-127 werd er geen schade waargenomen (terwijl er wel milde schade was bij proefronde 3B waar gestart werd met een hogere lichtintensiteit).
- Sneller opschakelen gaf een hogere productie dan langzaam opschakelen. Echter de fotosynthese-schade lijkt in mindering van de productie te komen; RZ 10-127 had bij de behandeling met snelle opbouw in lichtsom een hogere productie dan Tracey.

Gezien deze resultaten is in proefronde 6 nogmaals het spectrum onder de loep genomen. In proefronde 5 (deze proefronde) is met een hoog aandeel wit belicht, terwijl een hoger aandeel rood ten koste van wit energetisch gunstiger is. In proefronde 4 bleek dat het effect van het spectrum niet afwezig maar wel beperkt was. Vandaar dat het interessant is om dit in een langer lopende teelt te toetsen. De spectrumproef in proefronde 6 is bewust gedaan met de 'snelle' opbouw van de lichtsom, zodat er meer onderscheidend vermogen wordt bereikt bij Tracey (gevoelige ras).

8 Proefronde 6

De hoofdvraag van proefronde 6 was: Wat is het effect van lichtspectrum (aandeel rode/witte LED) op het ontstaan en het verloop van de fotosynthese-schade en productie bij 16 uur daglengte en een 'snelle opbouw' (zoals in proefronde 5) van de lichtsom? Ook deze proef vond plaats in een 21 m² klimaatkamer (Foto 7).

8.1 Materiaal en methoden

Tabel 20 bevat de tijdlijn van proefronde 6. De volgende behandelingen werden uitgevoerd bij Tracey en RZ 10-127:

- Hoog wit: LED R/W/B/VR (respectievelijk in %PAR: 30/60/10/10; PSS≈0.82; zelfde spectrum als proefronde 5)
- Laag wit: LED R/W/B/VR (respectievelijk in %PAR: 85/10/5/10; PSS≈0.86)

De daglichtsom is via de lichtintensiteit gedurende de teelt verhoogd van 90 naar 135 naar 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR op een vergelijkbare manier als de 'snelle opbouw' in proefronde 5 (Tabel 20).

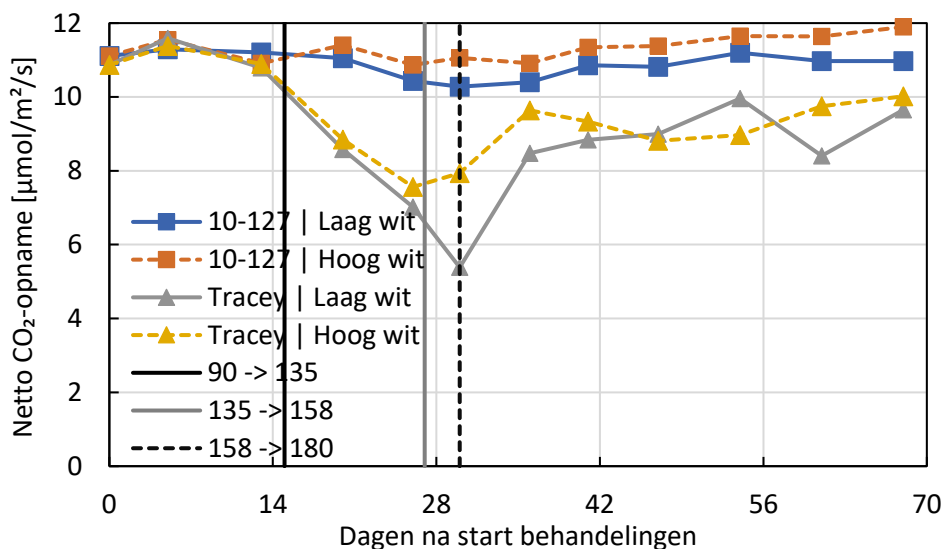
Tabel 20. Tijdlijn proefronde 6.

Datum	Dagen na start	Gebeurtenis
12-10-2021	-36	Aankomst young-plants Tracey geënt op Kaiser & 10-127 RZ geënt op Kaiser Planten op blok gezet in de klimaatcel 12 h/d 100 μmol wit licht
18-10-2021	-30	Planten getopt op de eerste 2 bladeren (doel 2 scheuten per plant)
10-11-2021	-7	Toppen onsuccesvol, ongelijkmatig. Kleinste scheuten weggehaald.
17-11-2021	0	Lichtbehandelingen gestart
18-11-2021	1	Planten op de mat (1 stengel per plant)
02-12-2021	15	Lichtintensiteit van 90 naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verhoogd
14-12-2021	27	Lichtintensiteit van 135 naar 158 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verhoogd
17-12-2021	30	Lichtintensiteit van 158 naar 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verhoogd
28-01-2022	72	Beëindiging proef + destructieve eindmeting

Opnieuw werd er gestuurd op een etmaaltemperatuur van 23°C. Er was een fors verschil tussen dag- en nachttemperatuur (Figuur 11). Er werd water gegeven naar behoefte (EC=2.5 en pH=5.4). Om in beide behandelingen op een drain van 20% te komen, was de watergift onder laag wit 5.7 l/m² en de watergift onder hoog wit 6.9 l/m².

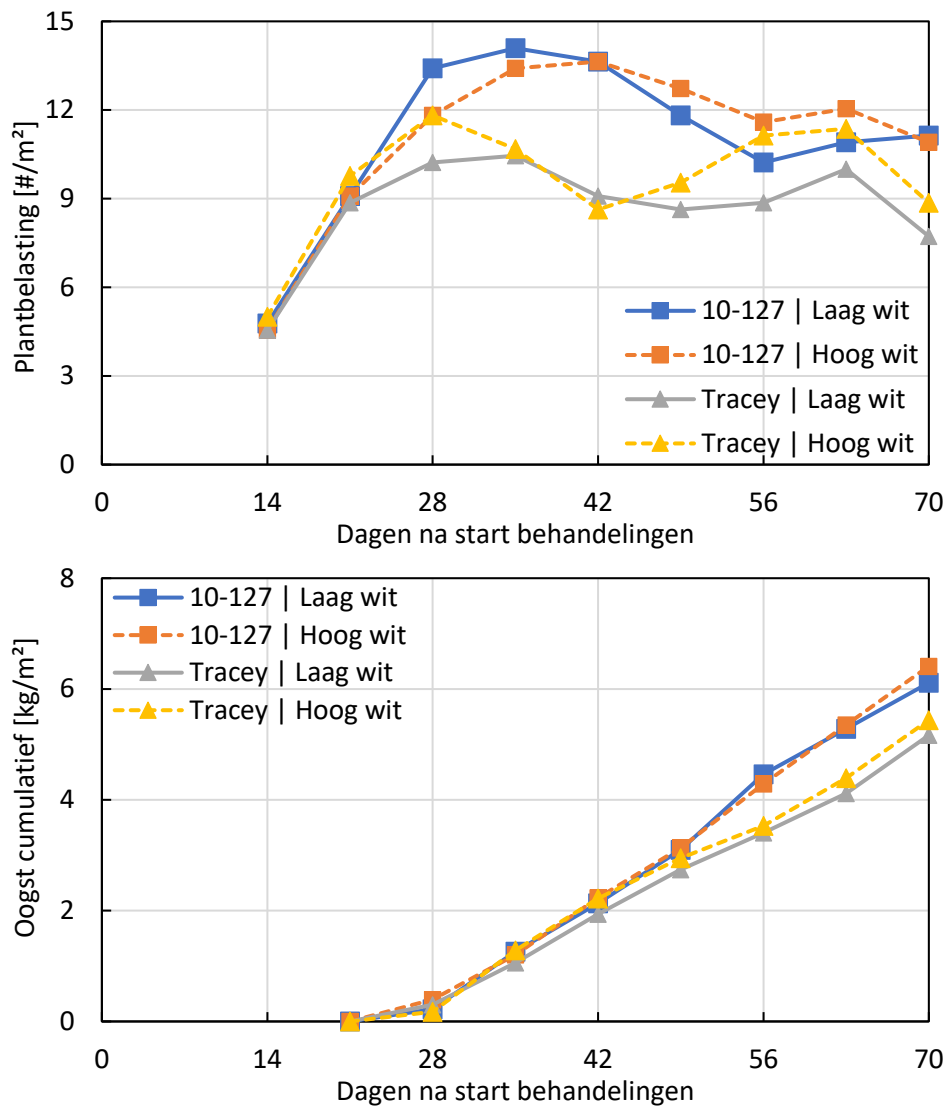
8.2 Resultaten

Figuur 15 geeft de resultaten weer van het verloop van de fotosynthese. Opnieuw is duidelijk dat Tracey wel schade heeft en RZ 10-127 niet ondanks de lichtverhogingen. De opschakeling van 90 naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR resulteerde bij Tracey in een forse schade voor beide spectra, alhoewel onder hoog wit het dal minder diep is (dit valt samen met een iets hogere plantbelasting onder hoog wit; Figuur 16). Verder zijn de verschillen tussen beide spectra beperkt. De schade bij Tracey na de eerste verhoging in lichtintensiteit herstelde na verloop van tijd grotendeels, maar de fotosynthese bleef lager liggen dan die van bladeren van RZ 10-127.



Figuur 15. Effect van ras en lichtspectrum bij eenzelfde opbouw van de lichtsom op het verloop van de CO₂-opname gemeten bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 800 ppm CO₂ in proefronde 6. Een waarde voor de CO₂-opname van 10-11 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ laat een normaal functionerend gewas zien. Op dag 15 steeg de lichtintensiteit van de van 90 naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Op dag 27 steeg de lichtintensiteit van 135 naar 158 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Op dag 30 steeg de lichtintensiteit van 158 naar 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR ($n=10$ per behandeling per meetdag).

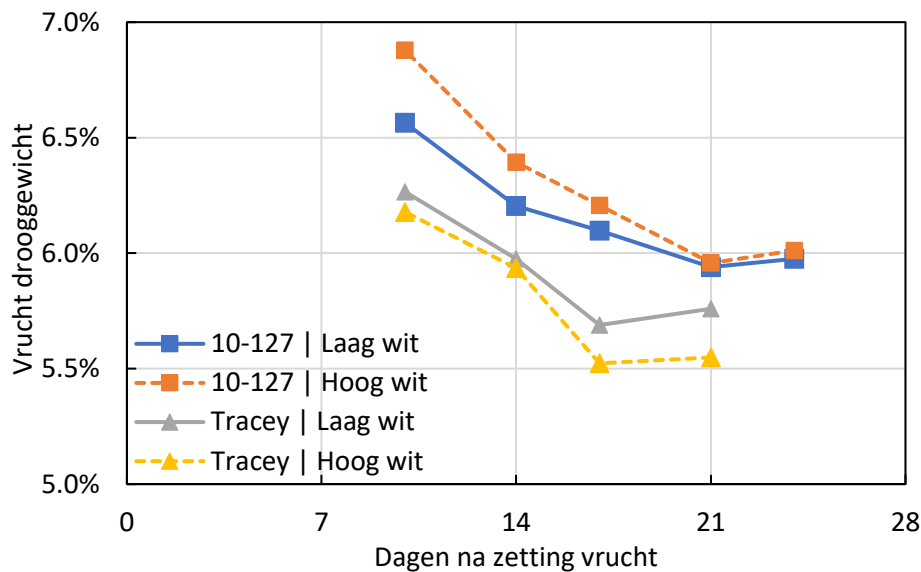
Figuur 16 geeft de plantbelasting en de cumulatieve oogst weer. Ondanks de forse fotosynthese-schade rond dag 30 bij Tracey bleef de plantbelasting van Tracey en RZ 10-127 tot dag 45 ongeveer gelijk en de productie tot ongeveer dag 60. Vanaf dag 49 blijft Tracey achter in productie ten opzichte van RZ 10-127. Dit lijkt voornamelijk te komen door de verlaagde plantbelasting bij Tracey (wat een gevolg kan zijn van de lagere fotosynthese). De productie van RZ 10-127 was ruwweg 1 kg/m²/week en was een fractie lager dan in proefronde 5. Het gemiddeld vruchtgewicht bedroeg ~230g en de uitgroeiduur was gemiddeld 3 weken. Het vruchtdrooggewicht percentage viel vergelijkbaar uit als in ronde 5, namelijk 6% bij oogst (21 dagen na zetting) bij RZ 10-127 (Fig. 17).



Figuur 16. Plantbelasting (boven) en cumulatieve oogst (onder) onder beide spectra en rassen. Opvallend is dat ondanks de fotosynthese-schade bij Tracey de cumulatieve oogst pas rond dag 49 uit elkaar gaat lopen ten opzichte van RZ 10-127. Dit heeft alles te maken met de lagere plantbelasting vanaf dag 35.

Tabel 21. Destructieve eindmeting proefronde 6.

Behandeling	Plantlengte [cm]	Oogst [kg/m ²]	Onrijpe vruchten [kg/m ²]	Bladgewicht [kg/m ²]	Stengelgewicht [kg/m ²]	Totaalgewicht [kg/m ²]
10-127 Laag wit	166	6.11	0.71	1.63	1.22	9.67
10-127 Hoog wit	163	6.41	0.67	1.61	1.26	9.94
Tracey Laag wit	145	5.17	0.60	1.48	1.08	8.33
Tracey Hoog wit	158	5.44	0.77	1.58	1.25	9.04



Figuur 17. Het verloop van het vruchtdrooggewicht over de vruchtuittgroeiduur, gemeten bij eind oogst. Opvallend is dat Tracey naast een lagere (vers)productie ook nog een lager percentage drogestof in de vruchten bevat dan 10-127.

8.3 Conclusies

Wat is het effect van lichtspectrum (aandeel rode/witte LED) op de fotosynthese-schade en productie bij 16 uur daglengte en een 'snelle opbouw' (zoals in proefronde 5) van de lichtsom?

- Opnieuw is bevestigd dat Tracey veel gevoeliger is voor fotosynthese-schade dan RZ 10-127. Het spectrum lijkt hier maar beperkt invloed op te hebben. Wel was de dip in bladfotosynthese minder diep onder een lager aandeel rood/ hoog aandeel wit licht.
- Bij RZ 10-127 trad onder beide spectra geen fotosynthese-schade op.

Voor de praktijk is duidelijk geworden dat fotosynthese-schade aan Tracey onder belichting niet of nauwelijks te voorkomen is. Daarom lijkt dit ras niet geschikt om onder belichting te worden geteeld. Omdat RZ 10-127 geen schade liet zijn onder beide spectra, is duidelijk dat veredeld kan worden op rassen die niet schade-gevoelig zijn. In dat geval is de keuze voor het spectrum ook niet moeilijk meer. Dan gaat energie-efficiëntie boven het aandeel witte LED.

9 Conclusies en slotbeschouwing

9.1 Conclusies proefrondes

Onderstaand overzicht geeft kort de conclusies per proefronde weer.

Proefronde 1:

- 18 uur daglengte geeft (veel) meer fotosynthese-schade dan 12 uur daglengte.
- LED R/B geeft meer schade dan zonlicht, en zelfs onder 12 uur daglengte.
- In geval van schade: meer schade bij hoge lichtsom/lichtintensiteit.

Proefronde 2:

- Hoe langer de daglengte, hoe meer schade. Bij 18 uur was de schade zeer ernstig. Zelfs 12 uur zonlicht liet aan het einde van de proef enige schade zien.
- Het wel of niet ontbreken van UV-B, UV-A en/of verrood aan het zonlicht-spectrum bij 16 h/d had geen effect op het voorkomen of verergeren van de fotosynthese-schade.

Proefronde 3:

- 16 uur daglengte liet meer fotosynthese-schade zien dan 12 uur daglengte.
- 16 uur zonlicht lage lichtsom (sinus-verloop over de dag+ opschakelen) liet geen fotosynthese-schade zien maar 16 uur zon hoge lichtsom (geen sinus over de dag) wel.
- Na het verhogen van de lichtsom ontstaat de schade.
- Er is een duidelijk verschil in schadegevoeligheid tussen rassen.

Proefronde 4:

- De belichtingsintensiteit speelt een sterk bepalende rol op de schade aan het fotosysteem. Verhogen van de lichtsom wordt gevold door schade.
- Breedbandspectrum (hoog wit + verrood) laat minder schade zien dan LED R/B met een hoog aandeel rood, maar intensiteit heeft een groter effect op schade dan spectrum.

Proefronde 5:

- Het raseffect is groot: RZ 10-127 is ongevoelig terwijl Tracey heel gevoelig is. Hoe trager de lichtintensiteit omhooggaat, hoe minder schade er optreedt.
- Bij hele milde schade is toch een goede winterproductie te behalen (1.1 kg/m²/week).

Proefronde 6:

- Opnieuw groot raseffect: RZ 10-127 is ongevoelig terwijl Tracey heel schadegevoelig is. Een verhoging in lichtintensiteit geeft meer schade dan het verschil in spectrum.

Als we de deze 6 proefrondes samenvatten, komen we tot de volgende conclusies:

- De raskeuze is een zeer bepalende factor in de mate van schade.
- Een breedband spectrum (RWBVr) geeft minder schade dan een LED RB spectrum, en de schade wordt erger bij lange(re) daglengte en hogere lichtsom.
- Een lange daglengte van 18 uur gaat nooit goed, dit wordt erger bij LED R/B en een hogere lichtsom.
- Een middellange daglengte (16 uur) lijkt alleen bij een combinatie van rustig opschakelen en de juiste rassen goed te gaan.
- Het lijkt erop dat de source/sink balans een sturende rol in de lichtbenuttingsefficiëntie heeft, waarbij een hoge source (veel licht) vooral bij een onbelast gewas (lage sink) de meeste schade geeft.

9.2 Slotbeschouwing: Aubergine jaarrond?

Het hoofddoel van dit onderzoek was om met een belichtingsstrategie te komen waarbij aubergine wel jaarrond en energiezuinig geteeld kan worden. Uit bovenstaand overzicht is duidelijk geworden dat de factoren daglengte, lichtintensiteit, spectrum en rassen een rol spelen bij een succesvol belichte aubergineteelt.

Voor de praktijk is duidelijk geworden dat fotosynthese-schade aan Tracey onder belichting niet of nauwelijks te voorkomen is. Daarom is dit ras niet geschikt om onder belichting te worden geteeld. Voor de belichte teelt moet dus geselecteerd worden op rassen die niet of minder schadegevoelig zijn. Veredelaars wordt aanbevolen om te screenen op schadegevoeligheid indien veredelt gaat worden op rassen voor de belichte teelt.

Voor wat betreft de keuze tussen een hoog aandeel of laag aandeel witte LED, is—als er geteeld wordt met een minder gevoelig ras als RZ 10-127—de keuze voor het spectrum ook niet moeilijk meer. Dan heeft de betere energie-efficiëntie van een spectrum met een groter aandeel rode LED de voorkeur boven een groter aandeel witte LED. Omdat het effect van lichtintensiteit op het optreden van schade zo groot is, wordt ook bij een schade-ongevoelig ras aangeraden om met toenemende plantbelasting de lichtintensiteit zeer geleidelijk op te bouwen. Met dimbare LED kan dit.

Voor een succesvolle energiezuinige en rendabele jaarrondteelt is meer nodig dan een juist lichtspectrum. Dan gaat het ook naast productprijzen ook om de gasprijzen en de elektriciteitsprijzen. Eén van de nieuwe kansen voor de toekomst is belichten op de onbalans van het elektriciteitsnet. In dat geval zal belichting voornamelijk buiten de spitsuren (ochtend en avond) moeten worden ingezet. Doordat overdag de elektraprijzen lager zijn, zal er meer overdag belicht kunnen worden. Tot nu toe was het meest economische scenario om zo min mogelijk belichting op te hangen en deze een maximaal aantal uren te gebruiken. In een wereld met hoge elektraprijzen (en onbalans) kan het juist interessant worden om juist een hoog vermogen LED op te hangen en deze alleen te gebruiken bij lage stroomprijzen. Dit heeft wel tot gevolg dat de effectiviteit van de belichting (omzetting van mol PAR naar grammen assimilaten) minder efficiënt verloopt door de afbuiging van lichtresponscurve bij meer licht en een lager CO₂-gehalte bij geopende luchtramen. Een eenvoudige gram/mol-benadering is dan minder snel afdoende en er zal dan nagedacht moeten worden om te gaan sturen op assimilaten in plaats van op lichtsom.

Los van de vraag in hoeverre een jaarrond aubergineteelt economisch haalbaar is, lijkt een goede winterproductie teeltkundig mogelijk te zijn met de juiste combinatie van teeltmaatregelen (spectrum, daglengte, schakelen intensiteit) en raskeuze. Dit wordt dan ook getoetst in een kasproef in 2022-2023.

Referenties

- Boonman A en Hogewoning SW (2022)** Schade aan de fotosynthese van Solanaceae bij lange belichtingsduur. Deelrapport II in project 'Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas'. Plant Lighting B.V., 33p.
- Helmus-Schuddebeurs L, Kalkman H, van den Boogaart SAJ, Hogewoning SW (2021)** Aubergine jaaronnd in balans met LED belichting. Delphy Improvement Centre, Bleiswijk. 31p.
- Sager JC, Smith WO, Edwards JL, Cyr KL (1988)** Photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data. *Trans ASAE* **31**: 1882–1889

Bijlage

Nutriënten-/voedingsschema analyse van het gietwater, welke gebruikt is in de 6 proefrondes.

mS/cm	EC	3.6
	pH	5.5
mmol/l	NO_3^-	29.1
	H_2PO_4^-	2.5
	SO_4^{2-}	2.8
	NH_4^+	<0.1
	K^+	8.7
	Ca^{2+}	11.2
	Mg^{2+}	2.7
	Cl^-	0.6
$\mu\text{mol/l}$	Fe	33.1
	Mn	27.0
	Zn	8.8
	B	59.0
	Cu	1.6
	Mo	1.0