

Hoe wordt jaarrond productie in paprika rendabel?

Vooronderzoek naar het effect van lichtspectrum



November 2019

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

Hoe wordt jaarrond productie in paprika rendabel?

Vooronderzoek naar het effect van lichtspectrum

November 2019

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

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

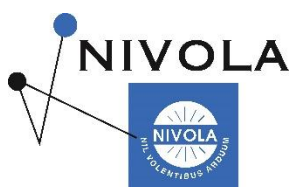
REFERAAT

S.A.J. van den Boogaart, S.W. Hogewoning, G. Trouwborst, & A. Krause. 2019. Hoe wordt jaarrond productie in paprika rendabel? Vooronderzoek naar het effect van lichtspectrum. Plant Lighting B.V., Bunnik. 25p

Financiers:



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Gewascoöperatie Paprika

© 2019 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 mogelijk gemaakt door bijdragen vanuit de gewascoöperatie paprika, Signify, Nunhems, Sakata en Nivola. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

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

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	5
DANKWOORD.....	6
1 ACHTERGROND EN DOEL.....	7
2 MATERIAAL EN METHODEN.....	9
2.1 Plantmateriaal, teeltgegevens en klimaat.....	9
2.2 Belichtingsbehandelingen	10
2.3 Teeltschema	15
2.4 Metingen	16
2.5 Tijdlijn proef	16
3 RESULTATEN	17
3.1 Gewasontwikkeling.....	17
3.2 Bladfotosynthese.....	19
3.3 Eindoogst.....	21
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	23
REFERENTIES.....	24
BIJLAGE 1: FOTOSYNTHESE METINGEN 20 H/D BELICHTING.....	25

Samenvatting

Om in de toekomst paprika van hoge kwaliteit jaarrond en fossielvrij te kunnen telen, is er op verschillende vlakken kennisontwikkeling nodig. In een eerdere kasproef (2018-2019) bleken de internodia van paprika onvoldoende te strekken. Dit rapport geeft de resultaten weer van een vooronderzoek naar de effecten van het lightspectrum op de groei en ontwikkeling van paprika, uitgevoerd onder geconditioneerde omstandigheden in de klimaatkamers van Plant Lighting te Bunnik. Hierbij is een winterteelt gesimuleerd met zonlichtsimulatie en bijbelichting met verschillende spectra assimilatiebelichting:

1. SON-T + LED RB + verrood (10%).
2. SON-T + LED RB + verrood (20%)
3. SON-T + LED RB + verrood (40%)
4. SON-T + LED RB + verrood (lage dosis begin nacht)
5. LED RB + verrood (PSS-waarde gelijk aan behandeling 2)
6. Zonlicht-simulatie

De proef is gedurende 12 weken uitgevoerd in de zomer van 2019, zodat van de ontwikkelde kennis gebruikt gemaakt kon worden in de kasproef die in september 2019 in het Improvement Centre van start ging. Uit de proef is het volgende naar voren gekomen:

- Alle behandelingen haalden een hele redelijke productie voor een teelt onder gesimuleerde winterse omstandigheden (863 tot 1002 gram per m² per week). Voorzichtigheid is geboden bij het trekken van conclusies t.a.v. gemeten verschillen in productie tussen behandelingen, want door de beperkte schaal (2 m² per behandeling) en teeltduur (6 weken oogstperiode) kan toeval hierbij een rol spelen.
- Meer strekking wordt bereikt met meer verrood. De PSS-waarde (balans actief/inactief fytochroom) lijkt hier de drijvende factor te zijn. Echter, de toename in strekking tussen 10% en 40% verrood is nog steeds klein (van 4.1 naar 4.8 cm per internodium). Zeker gezien de investeringen en het elektraverbruik benodigd voor zoveel verrode LED-belichting. Verrood aan het begin van de nacht leverde niet meer lengte op dan hybride + 10% verrood. Het zonlicht spectrum gaf wel veel meer strekking (5.9 cm per internodium).
- 18 of 20 h/dag belichting leverde geen schade op aan het fotosysteem. Echter, de CO₂-opname lag wel beduidend hoger bij 16 h/d dan bij de 18 en 20 h/d belichting. Dit komt door de huidmondjesgeleidbaarheid die veel hoger was bij 16 h/dag. Of dit echt aan de daglengte ligt, of komt doordat de 16 h/dag belichting eerder in de teelt was (7 weken na start) en eigenschappen van het blad al waren aangelegd bij de plantenkweker, dient nader onderzocht te worden.

Voor de kasproef volgend op dit onderzoek is gekozen voor een hybride belichting met 20% verrood, en een spectrum waar een gedeelte van het rode licht vervangen is door aanvullend wit LED-licht en minder verrood, zodat de PSS-waarde gelijk blijft. De 40% behandeling strekte weliswaar meer, maar de economische (on)haalbaarheid hiervan is ook meegewogen.

Dankwoord

Dit rapport is uitgevoerd in het kader van het project “Hoe wordt jaarrond productie van paprika rendabel? Op weg naar toepassing in de praktijk”. Het project bestaat uit het hier omschreven vooronderzoek uitgevoerd in de zomer van 2019, en een kasproef lopend in de periode september 2019-september 2020. De projectuitvoering is een samenwerking tussen Delphy Improvement Centre en Plant Lighting.

Dit onderzoek is ondersteund door het programma ‘Kas als Energiebron’, gefinancierd door het Ministerie van LNV en Glastuinbouw Nederland, en door de gewascoöperatie paprika. Verder hebben Signify, Nunhems, Sakata en Nivola bijgedragen aan dit onderzoek, waarvoor dank. Plantenkwekerij van der Lugt willen we bedanken voor het leveren van de planten voor dit onderzoek.

De begeleidingscommissie (o.a. paprikatelers Cees Vijverberg, Luc van den Bosch & Wouter Overgaag, Pascal van de Sande, en Charlotte Pijnenburg & Piet Hein van Baar van Signify) en teeltadviseur Jeroen Zwinkels (Delphy) worden bedankt voor hun teeltadviezen. Projectpartners Lisanne Schuddebeurs, Jeroen Boonekamp en Tristan Marcal Balk (Delphy Improvement Centre) worden bedankt voor de prettige samenwerking. Joke Vreugdenhil (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor de BCO-coördinatie. Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

November 2019,

Sander Hogewoning

1 Achtergrond en doel

Om in de toekomst paprika van hoge kwaliteit jaarrond en fossielvrij te kunnen telen, is er op verschillende vlakken kennisontwikkeling nodig. Enerzijds is er de plantkundige uitdaging om jaarrond kwalitatief hoogwaardige paprika's te kunnen telen. In dit kader zijn er vragen over de effecten van lichtspectrum op de gewasontwikkeling en sturing van de assimilatenbalans. Anderzijds moet een jaarrond paprikateelt ook worden geplaatst binnen het toekomstig fossielvrije kader.

De eerste uitdaging is om een efficiënte belichtingsstrategie te ontwikkelen. Dit houdt in dat we met een minimale elektra input aan belichting een maximale productie moeten realiseren. Dit vraagt onder andere om verdere kennisontwikkeling over het juiste lichtspectrum voor paprika. In de afgelopen kasproef van 2018-2019 in het Improvement Centre te Bleiswijk werd er een duidelijk productie verschil waargenomen tussen de belichtingsbehandelingen (Helmus-Schuddebeurs et al. 2020). De hybride belichting met extra verrood heeft 10 tot 15% meer geproduceerd dan de overige 3 lichtbehandelingen (Hybride ; LED + verrood ; LED). Het feit dat de hybride belichting met extra verrood het beste resultaat geeft wijst in de richting van het spectrum als belangrijke factor om een goed resultaat in de winter te krijgen. Als we nu kijken wat de oorzaak is achter deze hogere productie, dan is dit hoofdzakelijk toe te schrijven aan het feit dat er meer vruchten zijn geoogst. Dit wekt tot dusver de indruk dat dit gewas kan omgaan met een hogere plantbelasting in relatie tot de overige behandelingen. Het werkingsmechanisme hierachter is nog niet bekend, maar het lijkt erop dat behalve sturen op source/sink-balans er overige randvoorwaarden zijn voor een optimale lichtbenutting van de plant. Naast productie moet in paprika ook extra aandacht zijn voor de gewasontwikkeling. In de afgelopen proef was vooral de strekking van de internodia een aandachtspunt: Net niet voldoende in de qua productie meest succesvolle hybride + verrood behandeling, en ruim onvoldoende in de drie andere behandelingen. Onvoldoende strekking van de internodia geeft een probleem in de arbeid (indraaien, snoeien), en mogelijk ook problemen met vruchtvorm wanneer deze te dicht op elkaar zitten en elkaar daardoor verdrukken.

Dit rapport geeft de resultaten weer van een vooronderzoek naar de effecten van het lichtspectrum op de groei en ontwikkeling van paprika. Het vooronderzoek is onder geconditioneerde omstandigheden uitgevoerd in de klimaatkamers van Plant Lighting te Bunnik. Hierbij is een winterteelt gesimuleerd met zonlichtsimulatie en bijbelichting met verschillende spectra assimilatiebelichting (zie details in hoofdstuk 2). De proef is gedurende 12 weken uitgevoerd in de zomer van 2019, zodat van de ontwikkelde kennis gebruikt gemaakt kon worden in de kasproef die in september 2019 in het Improvement Centre van start ging.

De hoofddoelstelling van dit vooronderzoek in klimaatkamers is te onderzoeken wat het effect is van het lichtspectrum op de strekking van de internodia en de algehele gewasstand. Waarbij de hypothese is dat vooral PSS-waarde bepalend is voor de mate van strekking. De PSS-

waarde staat voor 'phytochrome photostationary state' en is een voor het desbetreffende lichtspectrum berekende waarde van de balans tussen actief en inactief fytochroom in de plant. De verhouding tussen rood en verrood licht heeft een sterke invloed op de PSS-waarde. De effecten op zetting en vruchtontwikkeling zijn ook gemeten, waarbij opgemerkt dat door de beperkte schaal (2 m² per behandeling) en teeltduur (6 weken oogstperiode) toeval een rol kan spelen bij verschillen in productie tussen de verschillende behandelingen. Verder is aandacht besteedt aan het effect van daglengte op de fotosynthese van het gewas.

2 Materiaal en methoden

Er is een onderzoek gedaan gedurende 12 weken. Hieronder wordt de proefopzet puntsgewijs weergegeven:

- Planten van het opkweek bedrijf van der Lugt waren aangeleverd op steenwolblokken, al vertakt en in sommige gevallen al vruchtzetting (zie Foto 1).
- De planten zijn onder gecontroleerde omstandigheden verder gekweekt in 6 klimaat-units van 2 m² netto ieder, welke allen in een klimaatkamer staan bij Plant Lighting B.V. te Bunnik (zie Foto 1).
- Per klimaat-unit waren er 8 planten verdeeld over twee matten per klimaat-unit. Twee stengels per plant, dus 8 stengels per m² (16 stengels per behandeling).
- Temperatuur gemiddeld per etmaal 23 à 24°C (zie ook tabel 2), met minima 's nachts rond 21°C en maxima overdag rond 26°C. Vooral van belang in deze proef is dat de temperatuur tussen de verschillende behandelingen gelijk was.
- RV 70% en CO₂ 800 ppm bij belichting.



Foto 1. Planten in klimaatunits van 1.65m bij 1.25m te Bunnik Plant Lighting. Uitgerust met druppelsysteem en afvoer voor gift/drain bepalingen.

2.1 Plantmateriaal, teeltgegevens en klimaat

Voor de proef is de keuze gemaakt om cv. 'Mavera' te gebruiken, zoals dit ook gebeurt is in de twee kas proeven.

Zie tabel 1 voor specificaties van de teelt en tabel 2 voor de temperatuur per teeltweek.

Tabel 1. Teeltgegevens.

Dichtheid	4 planten per m ² (2 stengels per plant= 8 stengels per m ²)
Substraat	Steenwol (mat Grodan Vital)
Watergift	De watergift is naar behoefte uitgevoerd door een aantal keren per dag te druppelen.
Voeding	EC = 3.0 mS (vanaf dag 69 2.8 mS) pH = 5.3

Tabel 2. Temperatuur gemiddeld gerealiseerd per teeltweek per behandeling.

behandeling	U1	U2	U3	U4	U5	U6
Teeltweek	SON-T+ LED RB + FR (10%)	SON-T+ LED RB + FR (20%)	SON-T+ LED RB + FR (40%)	SON-T+ LED RB + FR (EOD)	LED RB + FR	Zonlicht
2	21.4	21.6	21.8	22.0	21.6	21.4
3	23.1	23.0	23.2	23.3	22.9	23.3
4	23.4	23.4	23.6	23.7	23.3	23.5
5	23.5	23.4	23.6	23.7	23.5	23.4
6	23.5	23.4	23.9	23.7	23.3	23.2
7	24.0	24.1	24.3	24.2	23.8	23.5
8	24.1	24.1	23.9	24.2	23.8	24.2
9	23.3	23.6	23.0	23.4	23.4	23.2
10	23.1	23.7	23.4	23.1	23.1	22.8
11	23.2	23.3	23.3	23.1	22.9	22.8
12	23.7	23.8	23.7	23.1	23.5	23.6
Gemiddeld:	23.3	23.4	23.4	23.4	23.2	23.2

2.2 Belichtingsbehandelingen

Er zijn zes behandelingen uitgevoerd in zes afzonderlijke klimaat-units van 2 m² ieder, allen gesitueerd in dezelfde klimaatcel. Deze opzet maakt het mogelijk om verschillende lichtbehandelingen te realiseren waarbij de overige teeltcondities identiek zijn. De details van de behandelingen staan weergegeven in tabel 2 en verschilden enkel in het lightspectrum van de assimilatiebelichting. De assimilatiebelichting is gerealiseerd met SON-T en LED in verschillende combinaties Rood (660 nm)/Blauw (450 nm)/Verrood (730 nm) in de hybride behandelingen (behandeling 1 t/m 4), met alleen de LED (behandeling 5), en met daglicht-simulatoren (behandeling 6). Zie voor de verhoudingen van de verschillende LED-typen tabel 3. Waarbij in behandeling 4 het verrood niet overdag, maar gedurende het eerste uur van de nacht aan stond met een intensiteit van slechts 5 µmol/m²/s (EOD= end of day).

Tabel 3. Assimilatielicht behandelingen. Het percentage verrood dat staat weergegeven is de intensiteit verrood LED-licht in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ten opzichte van de totale $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR assimilatiebelichting. EOD= end of day. Zie ook de PSS-waarden in Tabel 4.

Assimilatiebelichting	Unit	Zonlicht [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	SON-T [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	LED Rood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	LED Blauw [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	LED Verrood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	EOD [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]
SON-T + LED RB + FR (10%)	U1		80	113	7	20	
SON-T + LED RB + FR (20%)	U2		80	113	7	40	
SON-T + LED RB + FR (40%)	U3		80	113	7	80	
SON-T + LED RB + FR (EOD*)	U4		80	113	7		5
LED RB + FR (zelfde PSS als U2)	U5			188	12	± 60	
Zonlicht	U6	200					

* start 5 min before light off, continue till 1 hour light off

Toelichting behandelingen:

- Behandeling 1 t/m 3: Hybride behandelingen ($200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) aangevuld met oplopende hoeveelheid verrood (respectievelijk 10, 20 en 40%). In de eerdere kasproef (Helmus-Schuddebeurs et al. 2020) kwam de behandeling met het meeste verrood (hybride + 10% verrood) als beste naar voren, maar was strekking van de internodiën nog altijd onvoldoende. In de huidige proef wordt het effect van meer verrood getoetst.
- Behandeling 4: Hybride behandeling met alleen een lage hoeveelheid verrood aan het begin van de nacht. Bij sommige gewassen is dat een effectieve methode om gewasstrekking bevorderen zonder dat dat veel investeringen en elektriciteit vergt.
- Behandeling 5: Full-LED spectrum in plaats van het hybride. Waarbij vergelijkbare PSS-waarde als in behandeling 2. Daarvoor is meer verrood nodig dan bij een hybride spectrum.
- Behandeling 6: Assimilatiebelichting in deze behandeling is vervangen door een evenredige hoeveelheid *kunstmatig* zonlicht toe te voegen.

De spectra welke gerealiseerd zijn in de proef staan weergegeven in Figuur 1. Deze spectra zijn gemeten in een unit zonder plantmateriaal. De hoeveelheid verrood is gedurende de proef bijgesteld (dag 55 van het experiment; tabel 4).

Tabel 4. De PSS-waarden die bij de verschillende behandelingen horen. PSS=phytochrome photostationary state, wat een berekende waarde is voor de verwachte balans tussen actief en inactief fytochroom onder de verschillende spectra assimilatiebelichting.

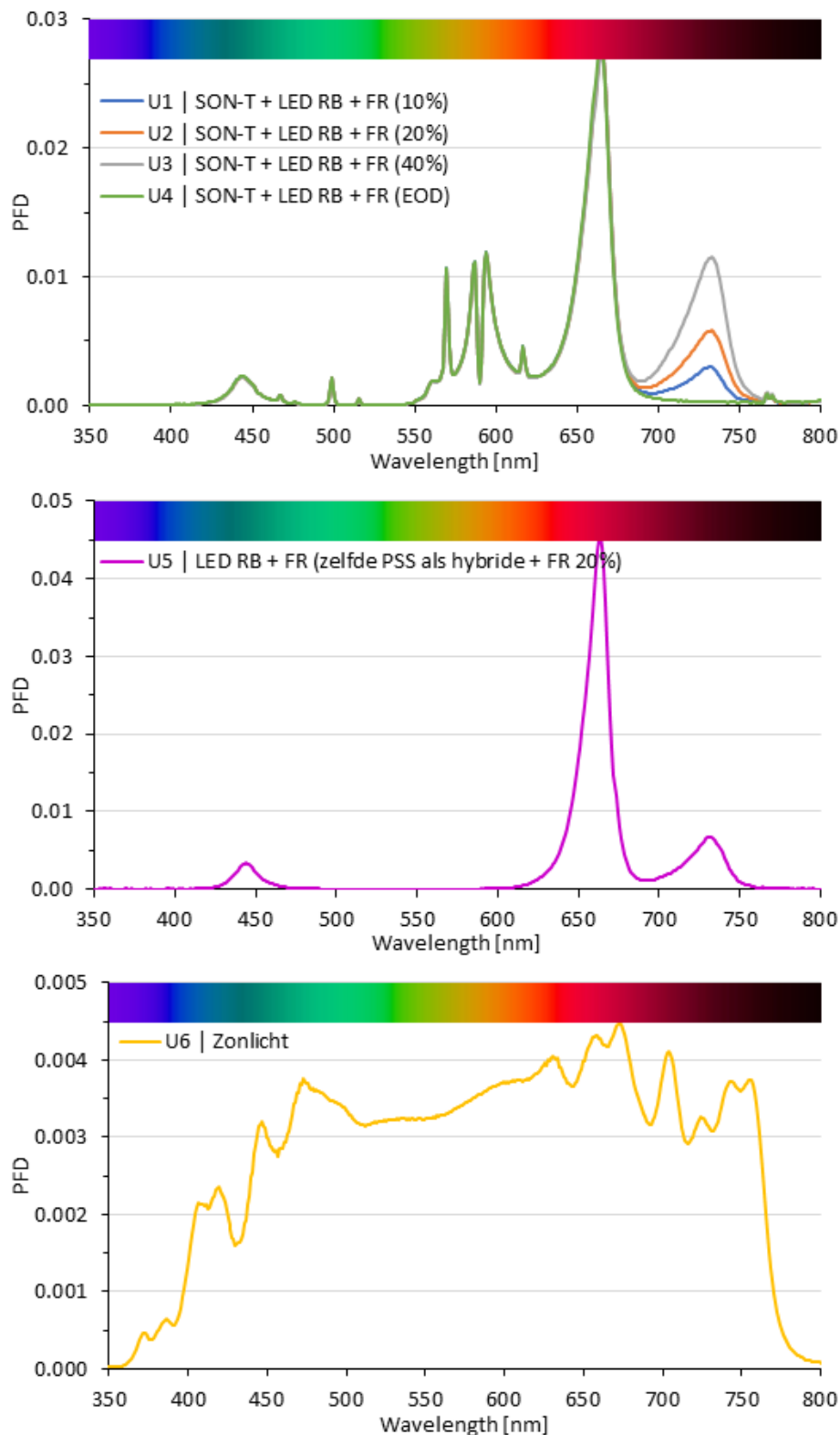
	Tot dag 55	Na dag 55
U1 SON-T + LED RB + FR (10%)	0.852	0.846
U2 SON-T + LED RB + FR (20%)	0.832	0.817
U3 SON-T + LED RB + FR (40%)	0.796	0.783
U4 SON-T + LED RB + FR (EOD*)	0.877	0.877
U5 LED RB + FR (zelfde PSS als U2)	0.831	0.824
U6 Zonlicht	0.718	0.718

* start 5 min before light off, continue till 1 hour light off

In iedere behandeling was behalve de assimilatiebelichting ook daglichtsimulatie. Dit is gerealiseerd met dezelfde op LED gebaseerde Artificial Sunlight Research Modules (SLHolland, Breda) als gebruikt voor de assimilatiebelichting in behandeling 6. Zie het spectrum in Figuur 1 en de belichtingsdetails in tabel 5. Hiermee is een belichte kasteelt gesimuleerd, waarbij het daglicht net als bij planting in het najaar in de kas afnam: Van 7 naar 3 naar 2 mol daglicht/m² per dag in respectievelijk teeltweek 1, teeltweken 2 t/m 5, en teeltweken 6 t/m 12. Er is dus versneld afgebouwd naar een wintersituatie in de kas.

Tabel 5. Settings van het zonlichtsimulatoren gedurende de proef. Dit geldt voor alle zes de behandelingen. NB de zonlichtbehandeling (U6) krijgt hierop nog 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ extra als assimilatiebelichting.

Week 1			Week 2 t/m 5			Week 6+		
Tijd	Intensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Zonlicht [mol]	Tijd	Intensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Zonlicht [mol]	Tijd	Intensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Zonlicht [mol]
05:00	40	0.14	08:00	40	0.14	08:30	30	0.11
06:00	130	0.47	09:00	80	0.29	09:30	50	0.18
07:00	180	5.83	10:00	120	2.16	10:30	100	1.44
16:00	130	0.47	15:00	80	0.29	14:30	50	0.18
17:00	40	0.14	16:00	40	0.14	15:30	30	0.11
18:00	0	0.00	17:00	0	0.00	16:30	0	0.00
Fotoperiode [u/d]	Zonlicht [mol/d]	Zonlicht [mol/w]	Fotoperiode [u/d]	Zonlicht [mol/d]	Zonlicht [mol/w]	Fotoperiode [u/d]	Zonlicht [mol/d]	Zonlicht [mol/w]
13	7.06	49.4	9	3.02	21.2	8	2.02	14.1



Figuur 1. Lichtspectra van de assimilatiebelichting in de proef. Boven: de hybride behandelingen welke onderling enkel in verrood variëren. U4 heeft in dit figuur geen verrood piek, omdat deze overdag geen verrood ontvangt, enkel een uur nadat het PAR licht is uitgeschakeld (begin nacht). Midden: de full-LED behandeling met eenzelfde PSS als U2. Onder: zonlichtsimulatie met een lichtspectrum van natuurlijk daglicht (golflengtegebied 360-760 nm). Deze lichtbron is ook gebruikt in de andere behandelingen om het daglicht/zonlicht van de winter na te bootsen.



Foto 2. Proefopstelling: paprika onder verschillende lichtspectra in klimaatunits van 2 m² ieder in een klimaatcel van Plant Lighting te Bunnik. Uitgerust met druppelsysteem en afvoer voor gift/drain bepalingen. Foto door VidiPhoto.

2.3 Teeltschema

Gedurende de teelt is de het zonlicht afgebouwd om een najaars-planting in de kas te simuleren (zie Tabel 5). De lichtsom gerealiseerd met assimilatiebelichting is juist stapsgewijs opgebouwd. Dit is op zo'n manier gedaan dat de te verwachten assimilatie van het gewas in balans is met de toenemende vraag naar assimilaten door het toenemende aantal ontwikkelende vruchten per m² tot aan het moment van eerste oogst. Hiertoe is een teeltschema gemaakt waarbij de doelstelling een zetting van 4 vruchten per m² per week is (om de week zetting op iedere stengel). In het geval dat meer vruchten zetten, werden die weggedund. Vanaf het moment van oogst worden er wekelijks evenveel vruchten geoogst als dat er nieuwe vruchten zetten, waardoor de plantbelasting en dus de assimilatenvraag nagenoeg gelijk blijft.

In Tabel 6 staat het teeltschema weergegeven. Waarbij opgemerkt dat dit de geplande teelt is en niet de gerealiseerde teelt (volgt in hoofdstuk 3). Te zien is dat de belichtingsduur van de assimilatiebelichting oploopt tot ruim 20 uur per dag vanaf teeltweek 8. Desalniettemin is er maximaal 18 uur per dag belicht, om eventuele schade aan het fotosynthese-apparaat in het blad door een te lange belichtingsduur te voorkomen. Bij tomaat is bekend dat dit kan optreden bij belichting langer dan 18 uur per dag (Velez-Ramirez, 2014). De laatste twee weken van de teelt is wel 20 uur per dag belicht. Dit om te kunnen meten of er inderdaad schade optreedt (zie hoofdstuk 2.4).

Tabel 6. Het teeltplan van de proef. Hierin is te zien wat de gewenste plantbelasting (aantal vruchten per m²) is en hoeveel belichting er naar verwachting voor nodig is om deze te voorzien van de benodigde hoeveelheid assimilaten. Vanaf de 8^e week van de teelt is er eigenlijk een te kort aan belichtingsuren. Om eventuele schade door een te lange belichtingsperiode te voorkomen is maximaal 18 uur per dag belicht tot en met week 10. De laatste twee weken van de teelt is wel 20 uur per dag belicht, met als doel te meten of daardoor schade optreedt (hfd. 3.2 Bladfotosynthese).

Week	Vrucht/stengel [#]	Vrucht/plant [#]	Plantbelasting/m² [#]	Zetting/week/m² [#]	Totale		Bijbelichting nodig		Belichtingsduur
					lichtbehoefte [mol/m²/w]	Daglicht [mol/m²/w]	Bijbelichting [mol/m²/w]	op 200 µmol/m²/s [u/d]	
1	0.0	0	0	0	32	49	-18	0:00	LED/SON-T uit
2	0.5	1	4	4	44	21	22	4:26	6:30-11:00
3	1.0	2	8	4	56	21	34	6:49	5:00-12:00
4	1.5	3	12	4	68	21	46	9:13	3:30-12:45
5	2.0	4	16	4	80	21	58	11:36	2:00-13:45
6	2.5	5	20	4	92	14	78	15:23	0:30-16:00
7	3.0	6	24	4	104	14	90	17:47	0:00-18:00
8	3.5	7	28	4	116	14	102	20:10	0:00-18:00
9	3.5	7	28	4	116	14	102	20:10	0:00-18:00
10	3.5	7	28	4	116	14	102	20:10	0:00-18:00
11	3.5	7	28	4	116	14	102	20:10	22:00-18:00
12	3.5	7	28	4	116	14	102	20:10	22:00-18:00

2.4 Metingen

- Er zijn regelmatig foto's gemaakt om de verschillen in gewasstand vast te leggen.
- Luchttemperatuur werd gedurende de teelt gemonitord: streven was om de etmaaltemperatuur zoveel mogelijk gelijk te houden tussen de verschillende behandelingen.
- Er zijn minimaal wekelijks vruchttellingen gedaan, en een teveel aan gezette vruchten werd gedund om te voldoen aan het teeltplan (zie schema Tabel 6.).
- Oogst (aantal vruchten en vruchtgewicht) is bij gehouden.
- De lengte van de internodia is gemeten door aan de internodia 15-20 vanaf de splitsing te meten. Deze internodia zijn ontwikkeld bij 18 h/dag belichting. Daarnaast is ook het aantal internodia geteld.
- Breedte * lengte vruchten (gedurende de laatste 2 weken van de proef).
- Lichtresponscurves van de fotosynthese zijn gedurende driemaal tijdens de proef gemeten: na een week 16 uur belichting (teeltweek 6), na 4 weken 18 uur belichting (teeltweek 10) en na twee weken 20 uur belichting (einde teeltweek 12).
 - De metingen zijn uitgevoerd met de Li-6800 fotosynthesemeter (Li-Cor, USA), waarbij CO₂ was ingesteld op 800 ppm en de bladtemperatuur op 24 °C.
 - Er is gemeten aan onbeschaduwde, volgroeide bladeren bovenin het gewas.
 - Uit deze metingen komt naar voren hoe CO₂ opname (assimilatie), de lichtreactie van de fotosynthese (electron transport rate oftewel ETR) en huidmondjesgeleidbaarheid op licht reageren.
- Bij het beëindigen van de proef zijn van verschillende plantorganen vers- en drooggewicht gemeten (stengel inclusief gedeelte onder de splitsing, blad, rijpe vruchten en onrijpe vruchten).

2.5 Tijdslijn proef

In tabel 7 staan de belangrijkste teelthandelingen vermeld.

Tabel 7. Tijdslijn proef.

Datum	Dag	Handeling
19-06-2019	0	Planten gearriveerd en direct op de mat gezet
26-06-2019	7	Eerste vruchtzetting
02-08-2019	44	Eerste rijpe vrucht geoogst, gewas vanaf deze periode ook in 'balans'
13-09-2019	86	Einde proef, tevens meetmoment drooggewichten plantorganen

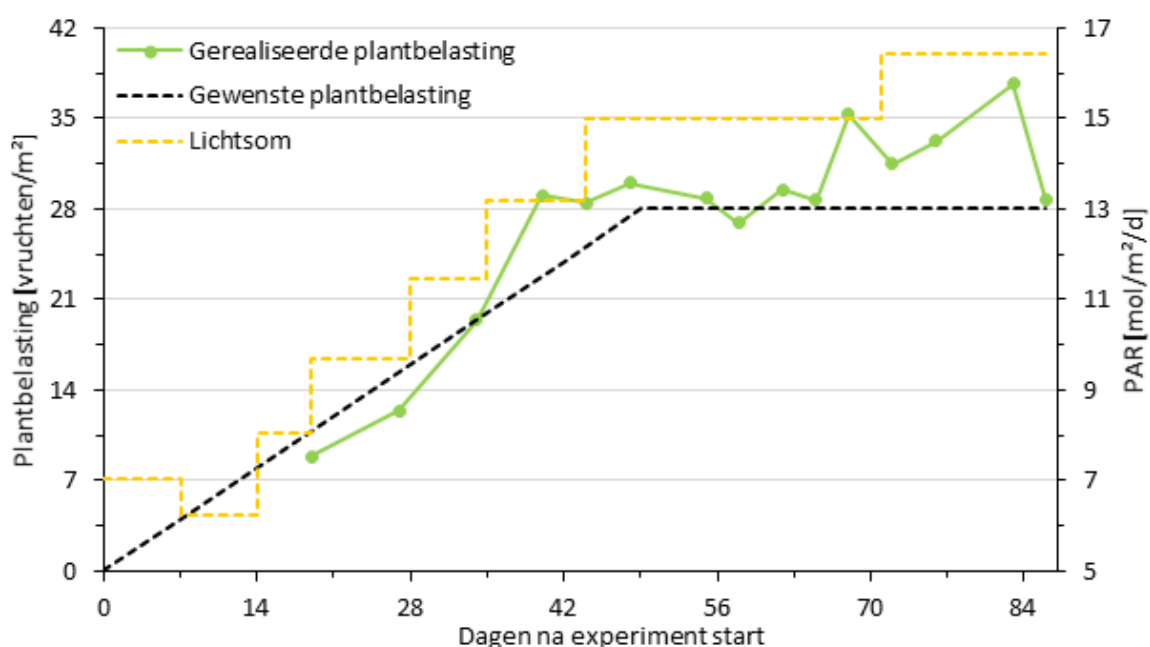
Volgend op deze proef is op 19 september 2019 een vervolgonderzoek naar jaarrond belichte paprika gestart in een onderzoekskas van 1000 m² in het Improvement Centre te Bleiswijk. Dat onderzoek valt binnen hetzelfde project als het hier gerapporteerde onderzoek, en zal na afloop apart worden gerapporteerd.

3 Resultaten

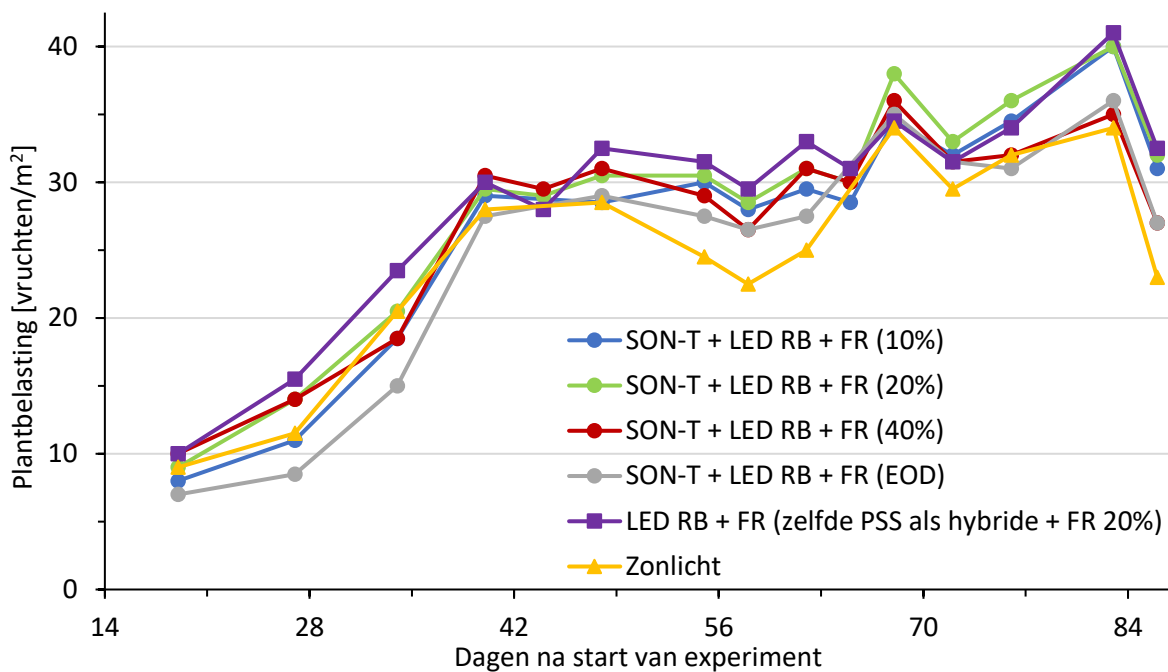
3.1 Gewasontwikkeling

De plantbelasting opbouw (aantal vruchten/m²) zoals deze op voorhand van de proef was berekend (tabel 6) is in grote lijnen gerealiseerd (figuur 4). Het gewas was bij plaatsing in de klimaatcellen al generatief en ruim een week verder in ontwikkeling dan gewenst. De gerealiseerde maximale plantbelasting was daarom ongeveer 1.5 week eerder bereikt dan dat 'gewenst' was, echter is hierop geanticipeerd door het aantal belichtingsuren per dag eerder te doen toenemen. Met vruchtdunning is getracht de plantbelasting op of iets boven de gewenste waarden te krijgen. Verschillen in plantbelasting tussen de behandelingen waren beperkt (figuur 5). Vooral behandeling 4 zonder verrood overdag zette in het begin wat moeizamer vrucht. Ook in de kasproef van 2018-2019 zetten de behandelingen met minder verrood overigens moeizamer vrucht (Helmus-Schuddebeurs et al. 2020).

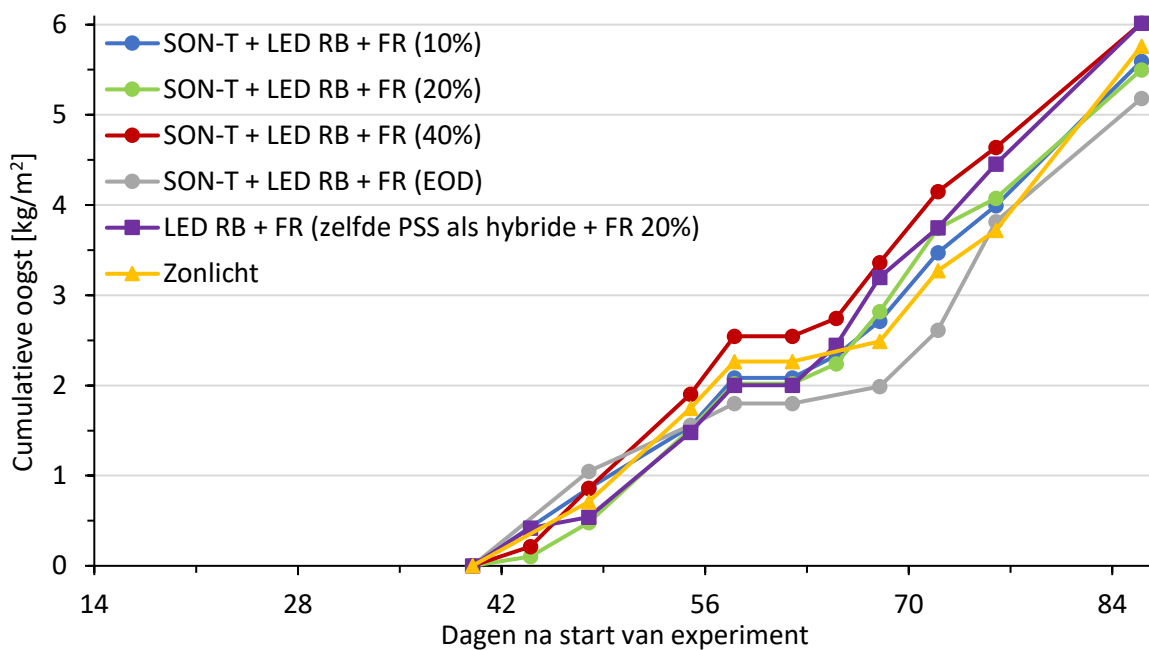
Zowel de hoeveelheid gezette vruchten als de vruchtuittgroeiduur (± 6 weken, zie tabel 8) verschilden weinig tussen de verschillende behandelingen. Ook de productie verschilden weinig (figuur 6), wat impliceert dat ook de gemiddelde vruchtgewichten weinig van elkaar verschilden (gemiddeld 214 gram). Tussen dag 58-62 is een stagnatie van de productie te zien (figuur 6), dit heeft er mee te maken dat er na kort na de start van de eerste vruchtzetting een periode is geweest met minder vruchtzetting. De weekproductie vanaf het moment van oogsten tot het einde van de proef (week 7 t/m 12) lag gemiddeld op 0.95 kg/m²/week. Wanneer de proef (fictief) voor een heel jaar had gelopen, zou de totale productie (onder winterse omstandigheden, met bijbelichting) op 42 kg/m² zijn uitgekomen.



Figuur 1. De gewenste en gerealiseerde plantbelasting (vruchten/m²) gemiddeld voor alle behandelingen, en de realiseerde lichtsom gedurende de proef.



Figuur 2. Plantbelasting (vruchten/m²) voor de zes verschillende behandelingen. Vanaf dag 40 is de gewenste maximale plantbelasting behaald.



Figuur 3. Cumulatieve oogst in kg/m². Opvallend is de behandelingen weinig verschillen in productie. Daarnaast is duidelijke terug te zien dat er een stagnatie van de oogst geweest is rond dag 58. Dit is vanwege een korte periode met slechtere vruchtzetting kort na start van de proef.

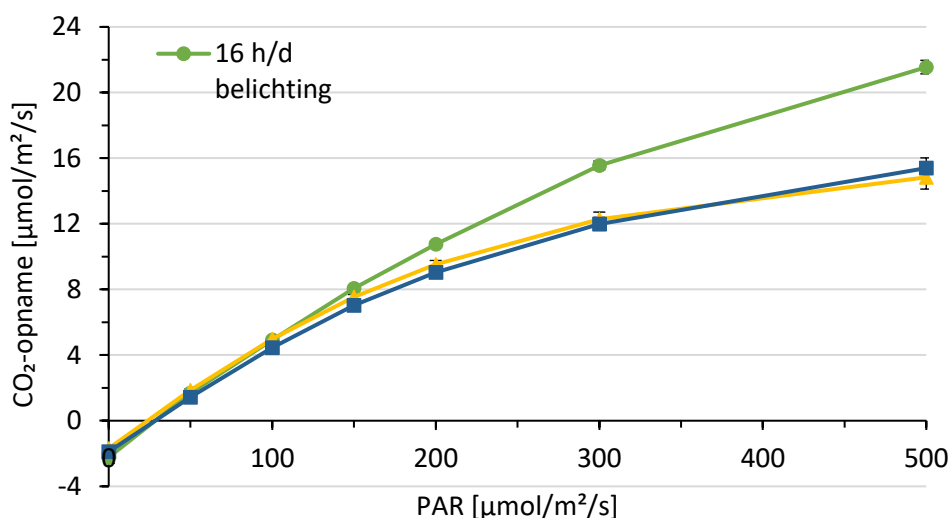
Nb. Het is af te raden om teveel waarde te hechten aan verschillen in productie tussen de behandelingen. Door de kleine schaal van de proef met 2 m² per behandeling en de korte teeltduur, kan toeval een belangrijke rol spelen. Gewasstand, strekking en fotosynthese zijn de belangrijkste te meten parameters in deze proef (zie volgende paragrafen).

3.2 Bladfotosynthese

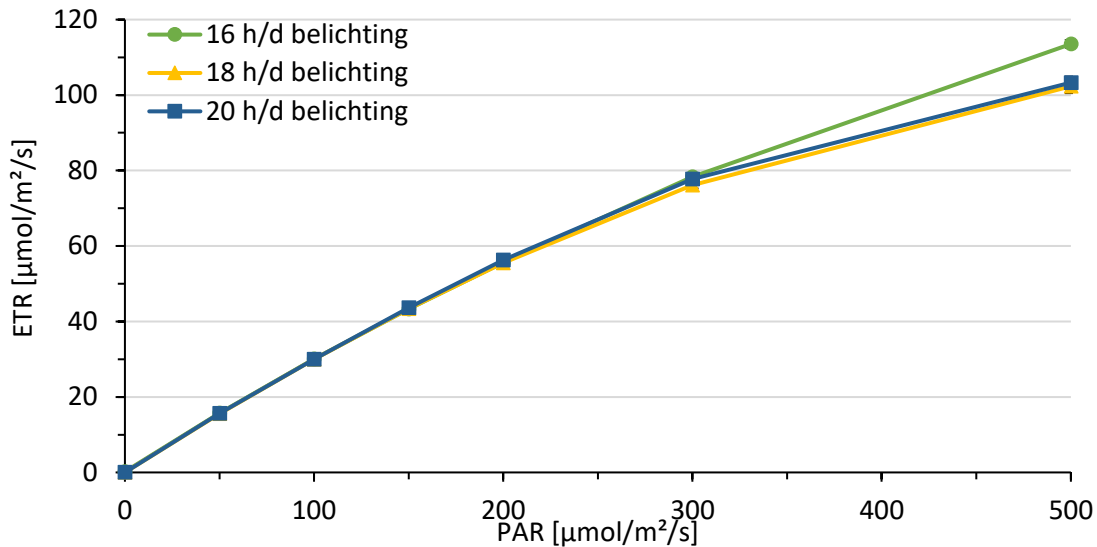
Gedurende een aantal keren tijdens de proef is fotosynthese gemeten aan bladeren in behandeling 1, 3, 5 en 6. Hoofddoel hiervan was om te achterhalen of de fotosystemen schade oplopen bij een lange daglengte, net zoals bij tomaat kan optreden bij belichting >18 uur. Bij deze metingen is zowel aan de donker-reactie (CO_2 -opname) als de lichtreactie (ETR) van fotosysteem II gemeten. Deze twee reacties worden weer indirect beïnvloed door de huidmondjesgeleiding (g_{sw}), waardoor de CO_2 -opname sterker wordt beïnvloed dan de ETR.

Opvallend is dat de CO_2 -opname bij de 16 h/dag belichting aanzienlijk hoger ligt dan bij de 18 en 20 h/dag belichting (figuur 7). Niet alleen bij hele hoge lichtintensiteiten, maar ook bij 200 en zeker bij 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ is er een fors verschil in CO_2 -opname te zien. Dat is de range aan lichtintensiteiten waar de planten in de proef onder groeiden. Echter, de verschillen in ETR zijn veel minder fors tussen de 16, 18 en 20 h/d belichting. De ETR bij 16 h/d belichting loopt pas iets efficiënter boven de 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Er is dus geen schade gemeten aan fotosysteem II na vier weken 18 uur of twee weken 20 uur belichting. Waarom dan toch een lagere CO_2 opname? Dit verschil wordt veroorzaakt door de huidmondjesgeleiding (g_{sw}), welke bij de 18 en 20 h/dag erg laag ligt (figuur 9), zeker voor een productiegewas als paprika. De g_{sw} bij 16 h/d ligt dubbel zo hoog. De lage g_{sw} verklaart ook waarom de ETR iets lager is bij alleen de hogere lichtintensiteiten (500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Figuur 8) bij 18 en 20 h/dag: Een te lage interne CO_2 concentratie in het blad kan namelijk de ETR remmen.

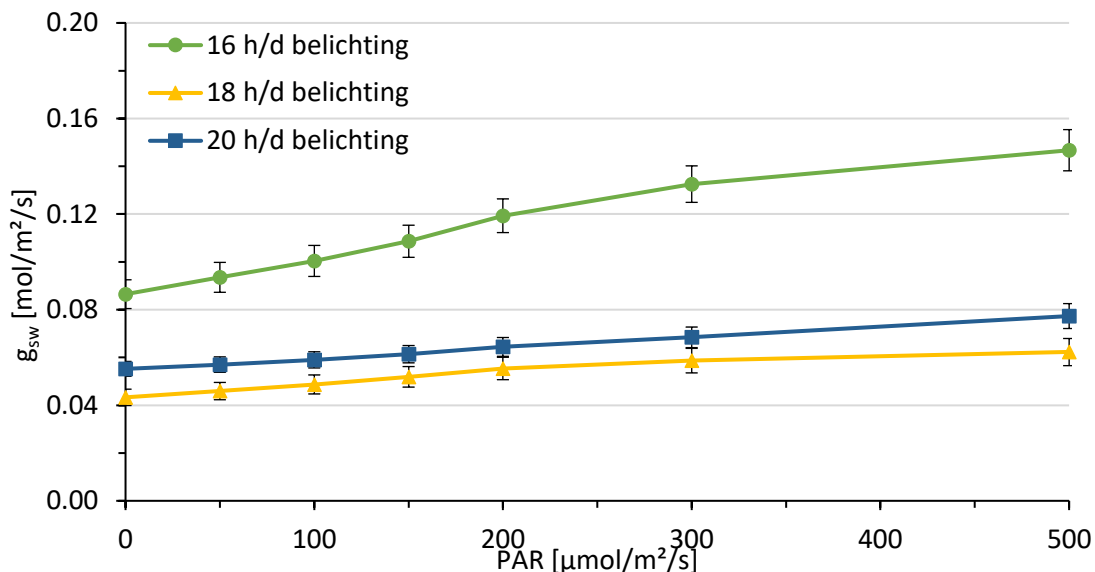
De 16 h/dag belichte bladeren waren eerder gemeten (7 weken na start teelt) dan de 18 of 20 h/dag belichte bladeren. Dit vanwege de stapsgewijze opbouw in belichtingsduur (Tabel 6). Het verschil in g_{sw} is mogelijk ontstaan doordat de bladeren die gemeten zijn in de 16 h/d belichting fase al (ten dele) ontwikkeld waren in de kas bij Plantenkwekerij van der Lugt, waar pieken met een veel hogere intensiteit licht voorkwamen dan in de proef. Tussen de verschillende belichtingsbehandelingen zijn overigens geen verschillen gemeten (Bijlage 1).



Figuur 4. CO_2 -opname (donkerreactie) na een periode acclimatisatie van 8 dagen voor 16h/d, 27 dagen voor 18h/d en 13 dagen voor 20h/d aan de hoeveelheid uren belichting per dag. Opvallend hier is dat de periode 16 h/d belichting een hogere CO_2 -opname laat zien. Dit is toe te wijzen aan het feit dat de huidmondjesgeleidbaarheid (figuur 9) op deze meetdag tweemaal zo hoog was dan op de meetdagen na een periode 18 of 20 h/d belichting.



Figuur 5. ETR (electron transport rate oftewel de lichtreactie) na een periode acclimatisatie van 8 dagen voor 16h/d, 27 dagen voor 18h/d en 13 dagen voor 20h/d aan de hoeveelheid uren belichting per dag. Hierin is duidelijk te zien dat er geen schade ontstaat aan fotosysteem II, want de ETR zou dan over de hele linie lager moeten liggen. Vanaf de periode dat de metingen plaatsvonden is het gewas nooit aan een intensiteit hoger dan 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR groeilicht blootgesteld. Dat de ETR bij 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR meetlicht iets lager ligt bij de 18 en 20 h/d belichting kan komen door de gelimiteerde CO_2 -opname (figuur 7), welke veroorzaakt wordt door de lage huidmondjes opening (figuur 9). Een te lage interne CO_2 concentratie in het blad kan namelijk de ETR remmen.



Figuur 6. Huidmondjes opening (g_{sw}) na een periode acclimatisatie van 8 dagen voor 16h/d, 27 dagen voor 18h/d en 13 dagen voor 20h/d aan de hoeveelheid uren belichting per dag. Opvallend hierbij is dat bij de 18 en 20 h/d belichting de huidmondjes opening fors lager ligt dan bij de 16 h/d belichting, wat de oorzaak hiervan is nog onduidelijk. Mogelijk heeft het te maken met lichtadaptatie, de 16 h/d belichting had mogelijk zijn bladeren (waaraan is gemeten op het moment van 16 h/d belichten) al ontwikkeld tijdens de plantopkweek bij van der Lugt, waardoor deze is aangepast op het ontvangen een hogere PAR instraling dan in de klimaatcel wordt gegeven.

3.3 Eindooft

Bij de eindooft waren de meest opmerkelijke verschillen qua gewasstand vooral terug te vinden in de strekking en de verkleuring van de stengels (tabel 8 & figuur 10). De verschillen in gewaslengte tussen de behandelingen zijn ontstaan door een verschil in internodiumlengte. De hoeveelheid internodia was namelijk per stengel (vanaf splitsing) met 24 internodia in alle behandelingen exact gelijk. Dat geeft ook aan dat er geen verschil in ontwikkelingssnelheid was tussen de behandelingen. De internodiumlengte liep geleidelijk op naarmate er meer verrood overdag werd toegediend (10, 20 en 40%), hoewel de toename van 10% naar 40% verrood slechts 18% meer lengte opleverde (van 4.1 naar 4.8 cm per internodium). Verrood aan het begin van de nacht (EOD) leverde niet meer lengte op dan hybride + 10% verrood (maar ook niet minder...). Full-LED strekte evenveel als behandeling 2 (hybride +20% verrood) waarvan de berekende PSS-waarde ook gelijk was. De echte uitschieter in lengte was de 'zonlicht' behandeling, deze resulteerde in maar liefst 5.9 cm per internodium (+44% t.o.v. hybride + 10% verrood overdag), waarbij de andere 5 behandelingen tussen de 4.1 en 4.8 cm per internodium lagen. Opvallend hierbij is dat juist de 'zonlicht' behandeling veel meer strekt, maar toch in absolute zin niet meer drogestof in de stengel investeert.

Verkleuring (anthocyaan vorming) van de stengels lijkt afhankelijk te zijn van de intensiteit verrood overdag: hoe meer verrood (hoe lager de PSS), hoe minder de anthocyaan in de stengels. Dit is een gebruikelijke respons bij gewassen, en is ook bij paprika vaker aangetoond (Trouwborst et al, 2013). Behandeling 4 (EOD far-red) ontvangt geen verrood overdag en is duidelijk het donkerste gekleurd. Behandeling 3 (hybride + 40% far-red) is overduidelijk het lichtste gekleurd.

Verder was er geen opvallend verschil tussen de behandelingen in percentage drogestof van vruchten en blad. Bij 40% verrood was het percentage drogestof van de stengel iets hoger. Het percentage drogestof is hoger bij rijpe dan bij onrijpe vruchten, wat aangeeft dat rijpende vruchten nog steeds aan aanzienlijke sink voor assimilaten vormen. Wat de tuinders-uitdrukking 'je snijdt ze eraan' onderbouwt. De vruchten waren relatief breed t.o.v. de lengte.



Figuur 7. De verkleuring van de stengels (anthocyaan vorming) als effect van de verschillende belichtingsspectra. V.l.n.r. (in paren) U1-U6. Er is een tendens zichtbaar dat naarmate het verrood overdag stijgt (van U1-U3) de stengel lichter van kleur oogt. U4 (EOD far-red, geen verrood overdag) is sterk donkergekleurd.

Tabel 8. De parameters op het moment van het beëindigen van de proef. Opvallend is vooral dat de zonlicht behandeling beduidend meer strekt dan de assimilatiebelichtingsbehandelingen. Het verschil in drooggewicht percentage tussen rijpe en onrijpe vruchten geeft ook inzicht in het feit dat wanneer de vrucht volgroeid is en gaat verkleuren nog steeds aanzienlijke hoeveelheden assimilaten (suikers) naar zich toetrekt en dus toeneemt in drooggewicht. De uiteindelijke verdeling van assimilaten richting de vruchten ten opzichte van de hele plant (inclusief deel tot splitsing, exclusief wortels) varieerde van 55% tot 59% tussen de behandelingen.

	Stem DW	Leaf DW	Ripe fruit DW	Unripe fruit DW	Internodia length	Nodes	Fruit maturation	Fruit height	Fruit width
	[%]	[%]	[%]	[%]	[cm]	[#]	[d] [mm]	[mm]	[mm]
SON-T + LED RB + FR (10%)	16.6	12.4	6.8	5.9	4.1	24	40	75	88
SON-T + LED RB + FR (20%)	17.1	12.5	7.5	5.6	4.4	24	41	75	89
SON-T + LED RB + FR (40%)	18.4	13.1	7.1	5.7	4.8	24	39	75	87
SON-T + LED RB + FR (EOD)	16.1	12.6	7.2	5.6	4.2	24	40	69	83
LED RB + FR (zelfde PSS als hybride + FR 20%)	17.6	12.8	6.9	5.5	4.5	24	41	75	89
Zonlicht	16.9	12.6	7.1	5.7	5.9	24	43	75	87
	17.1	12.7	7.1	5.7	4.6	24	41	74	87

	Stem FW	Leaf FW	Ripe fruit FW	Unripe fruit FW	Stem DW	Leaf DW	Ripe fruit DW	Unripe fruit DW
	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
SON-T + LED RB + FR (10%)	1.37	1.55	5.59	1.57	226	192	396	181
SON-T + LED RB + FR (20%)	1.41	1.58	5.50	1.74	241	198	390	195
SON-T + LED RB + FR (40%)	1.37	1.42	6.01	1.42	251	187	426	162
SON-T + LED RB + FR (EOD)	1.44	1.55	5.18	1.40	232	194	367	157
LED RB + FR (zelfde PSS als hybride + FR 20%)	1.33	1.48	6.01	1.67	233	190	426	185
Zonlicht	1.28	1.42	5.76	1.26	216	179	408	143
	1.36	1.50	5.68	1.51	233	190	402	171

4 Conclusies en aanbevelingen

De resultaten van dit onderzoek bevestigen de eerdere hypothese. De verwachting was dat naarmate het gewas meer verrood ontvangt (lagere PSS), het beter strekt. Of er ook een effect is op vruchtzetting wordt niet goed duidelijk uit deze proef. Bij geen verrood overdag (EOD) leek de zetting wel moeizamer te gaan. Daarnaast was er de vraag wat het effect is van meer dan 16 h/d belichting op het functioneren van het fotosynthesesysteem. Hieronder de belangrijkste resultaten en conclusies:

- Alle behandelingen haalden een hele redelijke productie voor een teelt onder gesimuleerde winterse omstandigheden (863 tot 1002 gram per m² per week). Voorzichtigheid is geboden bij het trekken van conclusies t.a.v. gemeten verschillen in productie tussen behandelingen, want door de beperkte schaal (2 m² per behandeling) en teeltduur (6 weken oogstperiode) kan toeval hierbij een rol spelen.
- Strecking wordt bereikt met meer verrood. PSS (zie tabel 4) lijkt hier de drijvende factor te zijn: behandeling 2 (hybride + 20% far-red) en behandeling 5 (full-LED met zelfde PSS als behandeling 2) zijn net zo gestrekt. Tussen de hybride behandelingen plus 10%, 20% en 40% verrood zit ook lineaire trend waarbij de stengelstrekking toeneemt. Echter, het effect hiervan is nog steeds klein (van 4.1 naar 4.8 cm per internodium voor 10% vs. 40% verrood). Zeker gezien de investeringen en het elektraverbruik benodigd voor zoveel verrode LED-belichting. Verrood aan het begin van de nacht (EOD) leverde niet meer lengte op dan hybride + 10% verrood. Het zonlicht spectrum gaf wel veel meer strekking (5.9 cm per internodium). Mogelijk is het interessant om een spectrum als basis te gebruiken met een veel lager aandeel rode 660 nm LED's, welke fytochroom sterk activeren (hoge PSS-waarde). Dan is namelijk ook veel minder verrood benodigd om de gewenste PSS-waarde te verkrijgen. Of dat praktisch haalbaar is hangt af van de efficiëntie van LED's die andere golflengten uitstralen.
- 18 of 20 h/dag belichting leverde geen schade op aan het fotosysteem. Echter, de CO₂-opname lag wel beduidend hoger bij 16 h/d dan bij de 18 en 20 h/d belichting. Dit komt door de huidmondjesgeleidbaarheid die veel hoger was bij 16 h/dag dan bij 18 en 20 h/dag. Of dit echt aan de daglengte ligt, of komt doordat het blad wat er gemeten is in de 16 h/dag behandeling al was ontwikkeld bij de plantenkweker dient nader onderzocht te worden.

Voor de kasproef volgend op dit onderzoek is gekozen voor een hybride spectrum (SON-t/LED 80/120 µmol). LED rood/blauw/verrood 20% met een klein beetje wit in twee derde van de kas, en in de overige een derde een spectrum waar een gedeelte van het rode licht vervangen is door aanvullend wit LED-licht en minder verrood, zodat de PSS-waarde gelijk blijft. De 40% behandeling strekte weliswaar meer, maar de economische (on)haalbaarheid hiervan is ook meegewogen. Een zonlichtspectrum is economisch helaas niet haalbaar voor paprikaproductie. Door de gelijke PSS-waarde van de twee spectra wordt aangetoond of een groter aandeel wit (breedband) licht op zich toegevoegde waarde heeft.

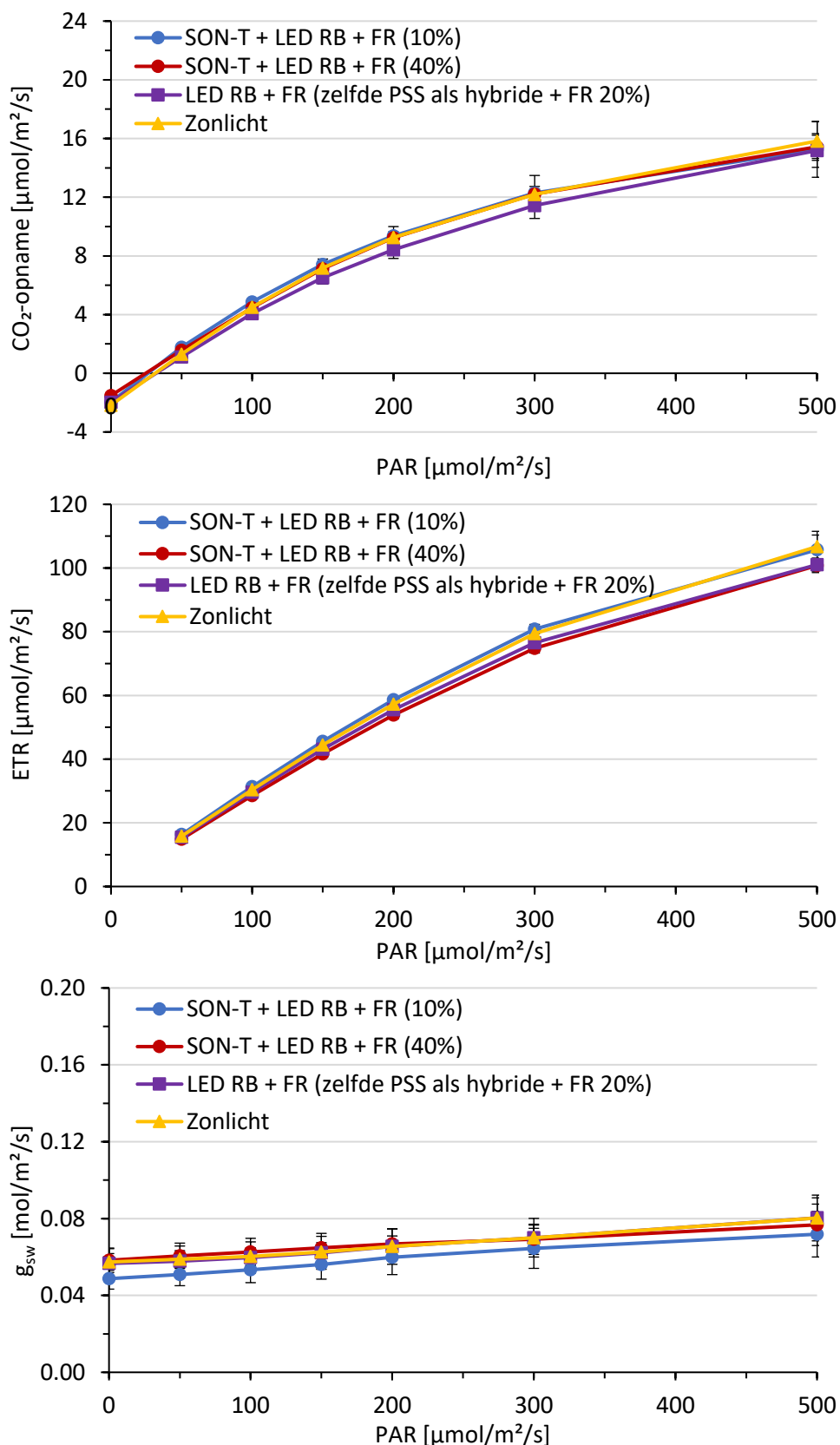
Referenties

Helmus-Schuddebeurs L, Hogewoning SW et al. 2020. Hoe wordt jaarrond productie van paprika rendabel? Toepassing van LED belichting in paprika. Delphy Improvement Centre. *In voorbereiding.*

Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot C.S. 2013. Stuurlicht bij de tijd. Plant Lighting BV, Bunnik. 61p,

Velez-Ramirez AI. 2014. Continuous light on tomato: from gene to yield. Proefschrift Wageningen Universiteit.

Bijlage 1: Fotosynthese metingen 20 h/d belichting



Figuur 8. Parameters van de fotosynthese metingen tijdens de 20 h/d belichtingsperiode. Hierin is duidelijk te zien dat de vier gemeten behandelingen niet van elkaar verschillen.