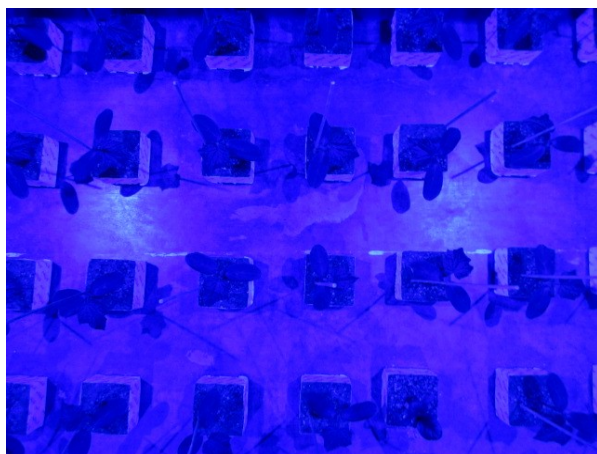


Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen II: De stap tot energiebesparing in de praktijk



Juni 2013

S.W. Hogewoning en G. Trouwborst

Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen II: De stap tot energiebesparing in de praktijk

Juni 2013

S.W. Hogewoning en G. Trouwborst

Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik

info@plantlighting.nl
www.plantlighting.nl

REFERAAT

S.W. Hogewoning en G. Trouwborst. 2013. Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen II: De stap tot energiebesparing in de praktijk. Plant Lighting B.V., Bunnik. 47p.

Uw sector investeert in dit project via het Productschap  Tuinbouw

PT projectnummer: 14921



Ministerie van Economische Zaken



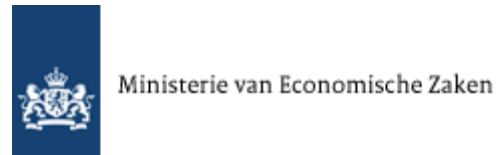
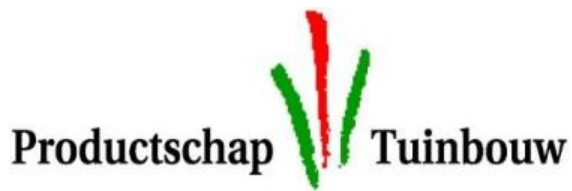
© 2013 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door een bijdrage vanuit Plantum, de branchevereniging voor bedrijven uit de sector plantaardig uitgangsmateriaal. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Inhoudsopgave

SAMENWERKENDE PARTIJEN	5
SAMENVATTING.....	6
DANKWOORD.....	8
1 INLEIDING EN DOELSTELLING.....	9
1.1 Achtergrond: Een nieuwe benadering van belichten	9
1.2 Aanleiding huidige onderzoek.....	10
1.3 Probleemstelling en doelstellingen	13
1.3.1 Versnelde opkweek	13
1.3.2 Compacte plant	13
1.3.3 Vervolgteelt uitgangsmateriaal.....	14
1.3.4 Doelstellingen samengevat.....	14
1.3.5 Leeswijzer.....	15
2 FYSIOLOGISCHE ACHTERGRONDEN.....	16
2.1 Algemene uitleg over stuurlicht.....	16
2.2 Beïnvloeding plantontwikkeling met stuurlicht overdag.....	17
2.3 Beïnvloeding plantontwikkeling met stuurlicht aan het begin van de nacht	17
2.4 Complexiteit van stuurlicht kan een voordeel zijn.....	18
3 MATERIAAL EN METHODEN OPKWEK EN VERVOLGTEELT	19
3.1 Plantmateriaal en proefopzet opkweek.....	19
3.2 Vervolgteelt	23
4 RESULTATEN EN DISCUSSIE	24
4.1 Klimaat opkweek.....	24
4.2 Versnelde opkweek: paprika	25
4.3 Versnelde opkweek: komkommer	28
4.3.1 Opkweek december: 'Venice'	28
4.3.2 Opkweek januari: 'Proloog'	30
4.4 Compactere plantvorm komkommer 'Venice'	33
4.5 Vervolgteelt	36
5 STURING OP PLANTVORM IN RELATIE TOT ENERGIEVERBRUIK	38
5.1 Versnelde opkweek op basis van SON-T + Verrood	38
5.2 Sturing op compacte plantvorm.....	40
6 ALGEMENE DISCUSSIE EN CONCLUSIES.....	41
6.1 Versnelde opkweek voor komkommer en paprika?	41
6.2 Compacte plantvorm komkommer onder blauw licht.....	42
6.3 Sturen op zowel compactheid als strekking met dezelfde lamp?.....	42
6.4 De fytochroombalans als sleutelfactor om plantvorm te sturen.....	42
6.5 Samenvattende conclusies.....	44
REFERENTIES.....	45
BIJLAGE 1. VERVOLGTEELT BIJ SULABRA	47

Samenwerkende partijen



Kwekerij De Springplank

Kwekerij Sulabra B.V.

Kwekerij Sandeland



Samenvatting

Inleiding

Belichting van gewassen vraagt een aanzienlijk gedeelte van de totale energiebehoefte van de Nederlandse glastuinbouw. Dat maakt een efficiëntere lichtbenutting voor de gewasgroei zowel vanuit economisch oogpunt als uit maatschappelijk oogpunt wenselijk. Bij belichte teelten dient het lamplicht meestal als *groeilicht*, met behulp waarvan het gewas extra assimilaten kan aanmaken om voldoende productief te blijven. Daarnaast heeft licht een functie als *stuurlicht*. De term stuurlicht duidt op het beïnvloeden van planteigenschappen en processen met veelal lage intensiteiten licht. De spectrale samenstelling ('kleur') van het licht en het tijdstip van belichten hebben vaak een sterke invloed op de werking van stuurlicht. Plantvorm en bloei zijn bekende factoren die gevoelig kunnen zijn voor stuurlicht.

Door rekening te houden met de samenhang tussen groeilicht en stuurlicht kunnen gewassen op een efficiëntere manier belicht worden. Bij een open gewasstructuur, zoals in de opkweek, wordt een (groot) gedeelte van het licht niet door het gewas onderschept. Sturing op een plantvorm waardoor licht efficiënter onderschept wordt, biedt mogelijkheden voor een snellere teelt. Zo kan energie bespaard worden. Anderzijds kan een compactere plantvorm juist wenselijk zijn, bijvoorbeeld met het oog op een verlengde opkweek.

Doelstellingen

Hoofddoel 1: Energiebesparing door een snellere opkweek van uitgangsmateriaal van vruchtgroenten. Snellere opkweek bespaart stookkosten en belichtingsuren. De randvoorwaarde was een praktisch toepasbaar belichtingssysteem: Een combinatie van de bestaande SON-T installatie plus een beperkte hoeveelheid verrood stuurlicht. Tevens is de mogelijkheid voor versnelde opkweek via een speciale toepassing van blauw licht beproefd.

Hoofddoel 2: Sturen op een compactere plantvorm. Hiermee kan de teler een te snel dichtgroeïend gewas remmen en wordt perspectief voor verlengde opkweek geboden. De randvoorwaarde was een praktisch toepasbaar belichtingssysteem: Een combinatie van bestaande SON-T installatie plus een beperkte hoeveelheid blauw stuurlicht.

Nevendoel: Monitoring van de eventuele gevolgen van de verschillende belichtingsbehandelingen in de opkweek op de gewaskwaliteit tijdens de vervolgteelt bij de kweker.

Proefopzet

Behandelingen in de opkweek van december en januari, alle behandelingen werden in tweevoud uitgevoerd. Bij paprika werden alleen de eerste vier behandelingen uitgevoerd.

Nr.	Behandeling	Reden
1	SON-T	Controle
2	SON-T&VR+	Versnelde opkweek: Lage dosis verrood
3	SON-T&VR++	Versnelde opkweek: Hoge dosis verrood
4	SON-T&VR(nacht)	Versnelde opkweek: Nabelichting verrood
5	SON-T&blauw+	Compacte plant
6	SON-T&blauw++	Compacte plant
7	SON-T&blauw(nacht)	Versnelde opkweek: Nabelichting blauw

Paprika (*Capsicum annuum* cv. 'Nagano') en komkommer (*Cucumis sativus* cv. 'Venice' en 'Proloog'), respectievelijk een gemakkelijk en moeizaam strekkend komkommerras, werden opgekweekt onder diverse lichtbehandelingen. De basisbelichting was naast het daglicht 37.5 en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T voor respectievelijk paprika en komkommer. Wat betreft het aanvullende stuurlicht waren behandelingen 5 en 6 gericht op een compactere plantvorm, de overige behandelingen op een versnelde opkweek (zie bovenstaande Tabel).

Samenvattende conclusies

- Bij Paprika leidde verrood tot 32% meer lengtegroei. De effecten op de ontwikkelingssnelheid (bladoppervlakte, aantal bladeren) waren verder minimaal.
- Het verrood-effect op lengtegroei biedt bij paprika mogelijkheden om de belichtingsinstallatie volledig in zetten (75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) in plaats van op halve kracht (37.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Mogelijk kan zo een betere plantkwaliteit en een teeltversnelling en daarmee een energiebesparing gerealiseerd worden.
- Bij Komkommer resulteert toegevoegd verrood in een versnelde opkweek van 12.5% en 16.7% voor respectievelijk 'Venice' en 'Proloog'.
- De oorzaak van de spectrale effecten op snellere groei is niet een verhoogde fotosynthese per oppervlakte blad, maar een plantvorm die efficiënter is in het onderscheppen van licht. Daarom is vooral bij gewassen met een open structuur voordeel te halen uit dit type belichtingsstrategie.
- De planten opgegroeid onder SON-T + verrood (onderzoek '12/'13) vertoonden een vergelijkbare plantopbouw met de planten opgegroeid onder LED rood/blauw/verrood (onderzoek '11/'12). De combinatie SON-T + verrood kost veel minder energie.
- De fytochroombalans, getalsmatig uitgedrukt als PSS-waarde, is de sleutelfactor voor de spectrale effecten op een snellere groei.
- Versnelde opkweek gaat gepaard met een 'openere' plantvorm.
- Wens van de klant in plantvorm is cruciaal voor implementatie van versnelde opkweek door toepassing verrood licht in de praktijk. Versnelde opkweek zal interessanter zijn voor moeizaam strekkende gewassen dan voor makkelijk strekkende gewassen/rassen.
- Het compacter houden van planten door middel van het toevoegen van blauw licht aan SON-T is mogelijk. Het is nog onduidelijk in welke mate een hogere intensiteit SON-T dezelfde effecten kan geven. Als hiervoor niet heel veel meer μmol SON-T nodig zijn dan de gebruikte μmol blauw, dan is het waarschijnlijk energetisch efficiënter om een compacte plant te kweken met meer SON-T licht dan met toegevoegd blauw licht.
- De grote verschillen in plantvorm van het uitgangsmateriaal leidden niet tot opvallende verschillen in uitgroei en productie bij de komkommerteler. Versnelde opkweek biedt opkweekbedrijven dus voordelen, terwijl de gevolgen voor de vruchtgroentekweker neutraal zijn.

Dankwoord

Dit onderzoek werd ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van EZ en het Productschap Tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt dankzij een substantiële bijdrage vanuit Plantum. We bedanken Lemnis Lighting voor het leveren van LED-belichting. We zijn Plantenkwekerij van der Lugt B.V., Kwekerij De Springplank, Kwekerij Sulabra B.V. en Kwekerij Sandeland erkentelijk voor hun steun (teeltruimte en arbeid) en gastvrijheid.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage en inzet: onderzoekscoördinatoren Leo Oprel (EZ) en Dennis Medema (PT) van het programma 'Kas als Energiebron' en Claudia den Braver van Plantum. Peter de Jong heeft in samenwerking met zijn collega's van Plantenkwekerij van der Lugt een grote bijdrage geleverd aan technische aspecten van het onderzoek. Jilles Koornneef, Ewald de Koning, Leo van der Stoep, Jos Bregman, Ruud van den Akker, Bert van der Lugt en overige medewerkers van Plantenkwekerij van der Lugt worden ook hartelijk bedankt voor hun inzet. Dank aan de kwekers Harry Vollering en Aad van der Helm (Kwekerij De Springplank), Jurjen van Dijken (Sulabra B.V.) en Geert van de Sande (Kwekerij Sandeland) voor hun begeleiding van de vervolgteelt van het uitgangsmateriaal op hun bedrijven. Jan Peter Hock en Rien van Og (Lemnis Lighting), dank voor jullie steun t.a.v. de LED-belichting. Thijs Gipmans (Gipmans Planten) en Kees Vijverberg (Fa. C. & R. Vijverberg) worden bedankt voor hun bijdrage aan de BCO.

Juni 2013

Sander Hogewoning, Govert Trouwborst & Sander Pot

1 Inleiding en doelstelling

1.1 Achtergrond: Een nieuwe benadering van belichten

Belichting van gewassen vraagt een aanzienlijk gedeelte van de totale energiebehoefte van de Nederlandse glastuinbouw. Dat maakt een efficiëntere lichtbenutting voor de gewasgroei zowel vanuit economisch oogpunt als uit maatschappelijk oogpunt wenselijk. Bij belichte teelten dient het lamplicht meestal als *groeilicht*. Het schaarse natuurlijke daglicht in de winter levert onvoldoende energie voor de benodigde gewasfotosynthese om de gewenste productieniveaus te halen. Met behulp van het groeilicht is het gewas in staat om de extra suikers ofwel assimilaten te maken om voldoende productief te blijven. Daarnaast wordt lamplicht ingezet als *stuurlicht*. De term stuurlicht duidt op het beïnvloeden van planteigenschappen en processen met veelal lage intensiteiten licht. De spectrale samenstelling ('kleur') van het licht en het tijdstip van belichten hebben vaak een sterke invloed op de werking van stuurlicht. Plantvorm en bloei zijn bekende factoren die gevoelig kunnen zijn voor stuurlicht (zie ook hoofdstuk 2).

Groeilicht en stuurlicht worden vaak los van elkaar benaderd. De werkelijk is gecompliceerder (zie Hogewoning, 2013). Ten eerste stralen groeilampen licht uit met een spectrale samenstelling die sterk afwijkt van het kleurenspectrum van natuurlijk daglicht. Daarmee levert groeilicht niet alleen energie voor de fotosynthese, maar stuurt het ook lichtkleur-gevoelige processen in de plant. Anderzijds kan een lage intensiteit stuurlicht de plantvorm zo beïnvloeden dat daglicht en lamplicht beter door het gewas worden onderschept en daarmee zorgt voor een efficiëntere benutting van het groeilicht. Door rekening te houden met de samenhang tussen groeilicht en stuurlicht kunnen gewassen op een efficiëntere manier belicht worden.

Tot voor kort was er vrijwel geen keuze ten aanzien van de lichtbron voor groeilicht in de tuinbouw: De hogedruk natriumlamp (SON-T) was de enige reële optie, vanwege de relatief lage kosten en vooral de relatief hoge efficiëntie in $\mu\text{mol PAR}$ output per Joule energie-input. Sinds kort zijn groeilicht-armaturen op basis van LED's beschikbaar die vrijwel allemaal rode LED's combineren met een klein aandeel blauwe LED's. Deze kleurencombinatie is gebaseerd op het feit dat rode LED's (1) energetisch efficiënt zijn ($\mu\text{mol PAR/Joule}$) en (2) tot een relatief hoge momentane fotosynthesesnelheid per oppervlakte blad leiden, vergeleken met andere lichtkleuren (McCree, 1972; Inada, 1976; Hogewoning et al. 2012b). Het kleine aandeel blauw is nodig om de fotosynthese ook op langere termijn goed te laten functioneren (Matsuda et al. 2004; Hogewoning et al. 2010b). Naast de veel gebruikte LED's die rood of blauw licht uitstralen is er een ruim assortiment aan andere kleuren beschikbaar. De verschillende specifieke kleuren die LED's kunnen uitstralen bieden interessante perspectieven voor optimalisatie van gewasbelichting: De juiste balans tussen energetische efficiëntie van de lichtbron, effectiviteit voor het aandrijven van de fotosynthese en stuurlicht-reacties kan worden gezocht voor verschillende typen teelten.

1.2 Aanleiding huidige onderzoek

De gecombineerde effecten van groeilicht en stuurlicht vormen de basis van het huidige onderzoek. Het gaat hier om de beïnvloeding van de plantmorfologie (plantvorm) met de spectrale samenstelling van licht. Het doel is een efficiëntere belichting. De effecten van lichtkleur op de plantmorfologie beïnvloeden de lichtonderschepping van een plant sterk. Hiermee wordt ook de totale gewasfotosynthese en dus de groei sterk beïnvloedt. Productie wordt immers niet alleen door de fotosynthesesnelheid per oppervlakte blad bepaald, maar door een combinatie van fotosynthesesnelheid en totale bladoppervlakte.

Vooraf bij relatief 'open gewassen', zoals uitgangsmateriaal en in het algemeen in de eerste fase van de teeltcyclus, wordt veel licht niet door de bladeren onderschept en gaat verloren. Daardoor is de totale lichtonderschepping door het gewas beperkend voor de gewasfotosynthese. Daarom lijkt het stimuleren van een plantvorm die gunstig is voor de lichtonderschepping vooral kansrijk bij een open gewasstructuur, waarbij relatief veel licht niet op het gewas valt en dus verloren gaat. Dit geldt voor zowel natuurlijk daglicht als licht van groeilampen. Meer lichtonderschepping geeft als het ware een 'rente op rente effect'; het extra onderschepte licht geeft de energie om meer groei te realiseren, waardoor nog meer licht wordt onderschept.

Klimaatkamerproeven 2009-2010

In klimaatkamerproeven in 2009 en 2010 is gebleken dat jonge gewassen veel sneller groeien onder kunstmatig daglicht dan onder eenzelfde intensiteit licht van reguliere groeilampen. De ontwikkeling van komkommer werd vergeleken onder SON-T, TL en kunstmatig zonlicht. Na 2 weken groei onder een intensiteit van 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ was de biomassa (drogestof) van de planten opgegroeid onder kunstmatig daglicht respectievelijk 1.6 en 2.3 keer hoger dan voor SON-T en TL (Hogewoning et al. 2010a). In een opvolgende proef werd in een klimaatkamer de kassituatie in de winter gesimuleerd door een achtergrond van kunstmatig daglicht aan te vullen met verschillende typen groeilicht. Jonge tomatenplanten groeiden aanzienlijk sneller onder 100% kunstzonlicht, vergeleken met een gelijke lichtintensiteit bestaande uit 50% kunstzonlicht aangevuld met 50% SON-T of een combinatie van rode en blauwe LED's (Hogewoning et al. 2012a). In beide proeven waren de verschillen volledig toe te schrijven aan een plantvorm die een veel efficiëntere lichtonderschepping mogelijk maakte, gekenmerkt door een grotere, vlakke bladeren, langere bladstelen en meer stengelstrekking.

Kasproef 2011-2012

De proeven in de klimaatkamers lieten spectaculaire effecten onder kunstzonlicht zien. Kunstzonlicht-lampen zijn een belangrijke stap voorwaarts voor onderzoek, omdat daarmee mogelijk geworden is om onder geconditioneerde omstandigheden een kassituatie te simuleren (van Ieperen et al. 2012). Toepassing van dit soort lampen in commerciële kasteelten lijkt geen reële optie, vanwege de inherent lage energie-efficiëntie van kunstzonlicht ($\mu\text{mol PAR}/\text{Joule}$).

De praktijk is gebaat bij een praktisch toepasbaar lightspectrum dat minder complex is dan kunstzonlicht, maar wel de positieve effecten van kunstzonlicht op gewasgroei teweeg

brengt. Daarom is in de winter van 2011-2012 een kasproef bij Plantenkwekerij van der Lugt te Bleiswijk opgezet om te achterhalen of zoiets daadwerkelijk mogelijk is. In deze proef is de groei en ontwikkeling van jonge komkommer- en tomatenplanten onder een aantal typen belichting vergeleken. Als referentie dienden enerzijds de twee behandelingen SON-T en LED rood/blauw, waarbij de gebruikelijke gedrongen plantvorm verwacht werd. Anderzijds was er een referentie met kunstzonlicht, dat de 'ideale' respons zou moeten geven. De experimentele behandelingen bestonden uit LED rood/blauw/verrood en zwavel-plasmalicht.

De hypothese aangaande LED rood/blauw/verrood was dat SON-T en LED rood/blauw lampen (vrijwel) geen verrode golflengten uitstralen. Verrood licht stuurt de balans van de fytochromen in de plant (zie ook hoofdstuk 2). Fytochromen zijn fotoreceptoren die de hormoonhuishouding van planten sterk beïnvloeden en daardoor een sterke invloed kunnen uitoefenen op de plantvorm (Whitelam en Halliday, 2007). De verhoudingen rood, blauw en verrood waren zo berekend dat de balans van de fytochromen gelijk zou moeten zijn als onder natuurlijk of kunstmatig daglicht. Deze balans is berekend middels een PSS-model (photochrome photostationary state) waarover Plant Lighting beschikt. De hypothese aangaande de zwavel-plasmalamp was dat deze lampen een breed continu spectrum uitstralen waarin alle golflengten uit het PAR-gebied (400-700 nm) vertegenwoordigd zijn, hoewel de verhoudingen wel anders zijn dan in een echt zonlichtspectrum.



Foto 1. Kasproef 2011-2012 bij Plantenkwekerij van der Lugt. Bijbelichting met $75 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED rood/blauw (links) en LED rood/blauw/verrood (rechts). De lichtverliezen zijn bij de linkerfoto veel groter dan bij de rechterfoto. Let ook op de stand van het blad. (foto 16 december 2011, 14 dagen na start belichting en 6 dagen voor aflevering).

De conclusie uit de kasproef van 2011-2012 was dat de verrode golflengten de sleutel zijn tot een plantvorm vergelijkbaar met die onder een daglichtspectrum. De planten bijbelicht met LED

rood/blauw/verrood waren zwaarder (tot 21% meer drooggewicht t.o.v. SON-T). Ook waren ze verder in hun ontwikkeling dan de SON-T en LED rood/blauw controle (15% meer bladeren, 23-26% meer bladoppervlakte). De verschillen waren te verklaren door een plantvorm die efficiënter was in het onderscheppen van licht, gekenmerkt door langere bladstelen en stengels en een vlakkere bladoriëntatie (zie Foto 1). Evenals in de eerdere proeven verschilde de fotosynthese per oppervlakte blad niet. Zie voor een uitgebreid verslag van deze proef Hogewoning et al. (2012a).

De behandeling LED rood/blauw/verrood toonde dus aan dat een snellere opkweek mogelijk is. De plantvorm is door de verrode golflengten wel veel minder compact, hetgeen mogelijk nadelig kan zijn tijdens transport. De behandeling LED rood/blauw zonder verrood leidde juist tot een compactere plantvorm dan SON-T. De compactere plantvorm wekte ook de interesse van de telers, onder andere vanwege mogelijkheden voor een verlengde opkweek.

1.3 Probleemstelling en doelstellingen

De doelstelling van dit onderzoek is tweeledig. Het eerste gedeelte is gericht op het praktijkrijp maken van een concept voor versnelde opkweek, het tweede richt zich op sturing op een compactere plantvorm.

1.3.1 Versnelde opkweek

De vraag naar uitgangsmateriaal van vruchtgroenten kent een grote piek in de wintermaanden. Juist gedurende die wintermaanden vraagt het verwarmen en belichten van de teelt veel energie. In een kortere tijd eenzelfde plantkwaliteit realiseren kan daarom een grote *energiebesparing* opleveren. Het belichtingsonderzoek 2011-2012 was vooral gericht op de ontwikkeling van kennis over de delen van het zonlichtspectrum die belangrijk zijn voor een versnelde opkweek. Echter, de LED rood/blauw/verrood lampen waarmee de versnelde opkweek gerealiseerd is, verbruikten 59% meer energie per micromol dan SON-T lampen (zie 1.2 & Hogewoning et al. 2012a). Wellicht weegt de besparing aan stookkosten door de versnelde teelt alsnog op tegen het hogere elektriciteitsverbruik per micromol. Desalniettemin maakt het energieverbruik in combinatie met de forse investeringen voor een compleet LED-belichtingssysteem de drempel voor praktijktoepassing hoog.

De eerste doelstelling van het huidige belichtingsonderzoek opkweek (2012-2013) is het praktijkrijp maken van de inzichten uit de voorafgaande onderzoeken. Hierbij is energiebesparing een voorwaarde. Het uitgangspunt is dat in combinatie met SON-T veel minder verrood licht, en dus veel minder energie, nodig is om de gewenste plantrespons te realiseren dan in combinatie met rode LED's. Dit uitgangspunt berust op de hypothese dat de fytochroombalans (PSS) in de plant bepalend is voor de gunstige effecten van het verrode licht op de opkweeksnelheid. Een verdere onderbouwing van deze hypothese volgt in hoofdstuk 2. Indien een bestaande SON-T installatie in combinatie met een beperkte aanvulling verrood LED-licht de gewenste gewasrespons oplevert, dan lijkt praktijktoepassing realiseerbaar.

Controle opkweeksnelheid

Behalve een snellere opkweek biedt *een grotere controle* over de snelheid van de opkweek grote voordelen: De planning luistert zeer nauw, omdat op een afgesproken datum een kwalitatief goede plant geleverd moet worden aan de klant. Ondanks dat de opkweekbedrijven de teelt goed kunnen sturen, heeft het weer, en dan met name de instraling, nog altijd invloed op de ontwikkelingssnelheid van de planten. Idealiter kan de teler de ontwikkelingssnelheid van het gewas volledig controleren, zonder concessies te moeten doen aan de kwaliteit.

1.3.2 Compacte plant

De tweede doelstelling van het huidige belichtingsonderzoek opkweek (2012-2013) is gericht op de inzet van stuurlicht ter bevordering van een compactere plantvorm. Sturing op een versnelde opkweek met verrood licht leidt tot een minder compacte plantvorm. In

combinatie met weersomstandigheden die de groei bevorderen kunnen de planten te groot worden op de geplande afleverdatum. In dat geval is een mogelijkheid om de uitgroei te remmen zeer wenselijk. De mogelijkheid tot 'gas geven en remmen' met stuurlicht geeft de teler grote controle over het teeltproces. Bovendien biedt een compactere plantopbouw wellicht kansen voor een verlengde opkweek. Dit laatste is een geheel andere gedachterichting dan versnelde opkweek, maar biedt mogelijk ook kansen voor energiebesparing. Immers, als het afleveren van plantgoed in een verder ontwikkelingsstadium opkweektijd bij de vruchtgroentekweker bespaart, dan wordt op een veel grotere oppervlakte energie bespaard. De effecten van blauw stuurlicht als aanvulling op de SON-T belichting worden hiertoe onderzocht (onderbouwing volgt in hoofdstuk 2).

1.3.3 Vervolgteelt uitgangsmateriaal

De focus van het belichtingsonderzoek 2012-2013 is sturing van de ontwikkeling van jonge vruchtgroenteplanten in de opkweek. Wat betreft uitgangsmateriaal speelt echter nog een belangrijke(re) vraag mee: Hoe presteren de jonge planten na aflevering bij de vruchtgroenteteler? Vorig jaar zijn jonge komkommerplanten vanuit verschillende belichtingsbehandelingen gevolgd bij een komkommerkweker. De grote verschillen in plantvorm op het moment van afleveren werden geleidelijk kleiner en de effecten op het uiteindelijke resultaat waren minimaal. De conclusie was dat versnelde opkweek vooral gunstig kan zijn voor de opkweekbedrijven en verder weinig gevolgen heeft voor de vervolgteelt. Vanwege het belang van voldoende goede prestatie van het plantgoed tijdens de vervolgteelt is dit jaar de vervolgteelt wederom gemonitord.

1.3.4 Doelstellingen samengevat

Hoofddoel 1: Energiebesparing door een snellere opkweek van uitgangsmateriaal van vruchtgroenten. Snellere opkweek bespaart stookkosten en belichtingsuren.

- *Randvoorwaarde:* Een praktisch toepasbaar belichtingssysteem.
- *Aanpak:* Combinatie van bestaande SON-T installatie met een beperkte hoeveelheid verrood stuurlicht. Tevens is de mogelijkheid voor versnelde opkweek via een speciale toepassing van blauw licht beproefd.
- *Wetenschappelijke uitdaging:* Toetsing van de hypothese dat het PSS model¹ geschikt is als voorspeller voor de plantvorm, zodat vooraf berekend kan worden wat het effect van verschillende verhoudingen lichtbronnen zal zijn.

Hoofddoel 2: Sturen op een compactere plantvorm. Hiermee kan de teler een te snel dichtgroeïend gewas remmen en wordt perspectief voor verlengde opkweek geboden.

- *Randvoorwaarde:* Een praktisch toepasbaar belichtingssysteem.
- *Aanpak:* Combinatie van bestaande SON-T installatie met een beperkte hoeveelheid blauw stuurlicht.

¹ Met het PSS-model kan voor iedere spectrale samenstelling van licht het effect op de fytochroombalans in de plant berekend worden. De fytochroombalans heeft een groot effect op o.a. de plantvorm (zie hoofdstuk 2).

- *Wetenschappelijke uitdaging:* Toetsing van de hypothese dat er een sterk contrast is tussen twee manieren van belichting met blauw. De ene manier moet compactere planten geven, de andere manier het tegenovergestelde effect. Dit biedt kansen voor versnellen en remmen van de uitgroei met één lichtkleur.

Nevendoeel: Monitoring van de eventuele gevolgen van de verschillende belichtingsbehandelingen in de opkweek op de gewaskwaliteit tijdens de vervolgteelt bij de komkommer- en paprikakweker.

1.3.5 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 vervolgt met een korte uiteenzetting van de fysiologische achtergronden van deze proef, maar kan eventueel worden overgeslagen. In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe de kasproef is opgezet. In hoofdstuk 4 worden de resultaten besproken. Hoofdstuk 5 omvat een analyse van de gevolgen van verschillende manieren van belichten voor het energieverbruik en kan eventueel worden overgeslagen. In hoofdstuk 6 worden de resultaten bediscussieerd en worden de belangrijkste conclusies puntsgewijs weergegeven.

2 Fysiologische achtergronden

Licht is zowel een *energiebron* voor de groei en ontwikkeling van planten (assimilatielicht) als een *informatiebron* over de omgeving van planten (stuurlicht). De doelstellingen van dit onderzoek zijn gebaseerd op de sturende effecten van licht. Met betrekking tot een versnelde opkweek is de achterliggende gedachte dat de plantvorm zo gestuurd wordt dat het licht efficiënter onderschept wordt. Op die manier wordt indirect ook de effectiviteit waarmee *lichtenenergie* voor groei benut wordt vergroot. Met betrekking tot het sturen op een compactere plantvorm is juist sprake van de tegenovergestelde plantrespons.

2.1 Algemene uitleg over stuurlicht

De informatie over de omgeving van de plant wordt doorgegeven via speciale pigmenten in planten, zogenaamde *fotoreceptoren*. Deze fotoreceptoren zijn gevoelig voor de spectrale samenstelling van licht. Afhankelijk van die spectrale samenstelling worden signalen afgegeven die de hormoonhuishouding in de plant reguleren. De balans van de verschillende hormonen (o.a. auxine, gibbereline, cytokinine, abscisinezuur) reguleert allerlei processen in de plant, zoals strekking, verdeling van assimilaten tussen verschillende plantorganen, bloei-inductie, afrijpingsnelheid en veroudering.

Er zijn drie groepen fotoreceptoren bekend: *cryptochromen*, *fototropinen* en *fytochromen*. De cryptochromen en fototropinen zijn beiden gevoelig voor golflengten van het UV tot het blauw/groene gedeelte van het kleurenspectrum (zie Ahmad, 2001). Het lichtspectrum heeft via de cryptochromen invloed op onder andere de biologische klok van een plant en de stengelstrekking. Fototropinen zijn onder andere betrokken bij de groei van planten richting het licht ('fototropisme') en opening van de huidmondjes.

Naar de werking van fytochromen is tot dusverre veruit het meeste onderzoek verricht. Er zijn velen aantal verschillende klassen fytochromen en het werkingsmechanisme is zeer complex. Daarom volgt hieronder slechts een beperkte uitleg over het mechanisme voor zover er een verband is met dit onderzoek. Fytochromen zijn gevoelig voor het volledige spectrum (UV tot verrood), maar reageren vooral sterk op rode en verrode golflengten (Fig. 1). Rood licht wordt voornamelijk geabsorbeerd door de Pr-vorm (inactieve vorm) van fytochroom en verrood licht door de Pfr-vorm (actieve vorm) van fytochroom. Als gevolg van de absorptie van rood licht wordt Pr omgezet in Pfr en omgekeerd wordt Pfr door absorptie van verrood licht weer omgezet in Pr. Op die manier bepaalt het lichtspectrum de fytochroom-balans, de zogenaamde 'phytochrome photostationary state' (PSS). De PSS heeft een grote invloed op de hormoon-huishouding van de plant. Die hormoonhuishouding is weer bepalend voor belangrijke ontwikkelingsprocessen in de plant, zoals kieming van zaden, bloemknopontwikkeling (lange dag en korte dag planten), stengelstrekking, okselknopuitloop en veroudering (zie o.a. Whitelam en Halliday, 2007; Pot en Trouwborst, 2011; Trouwborst *et al.* 2010ab, 2012, van Ieperen en Heuvelink, 2012).

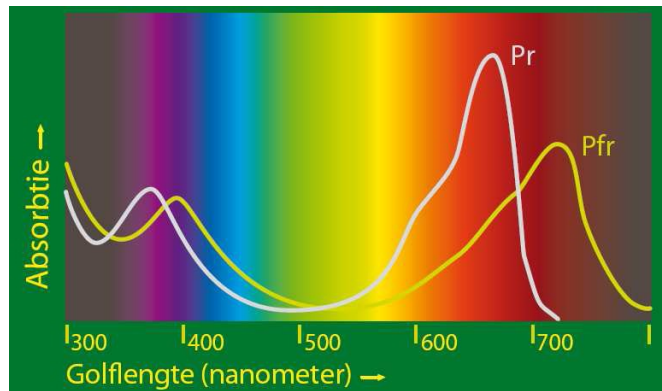


Fig. 1. Indicatieve illustratie van de spectrale gevoeligheid van de inactieve (Pr) en actieve (Pfr) vorm van fytochroom. Het lichtspectrum stuurt de balans tussen deze twee verschillende vormen van fytochromen en kan via een modelberekening uitgedrukt worden in een waarde: de PSS (phytochrome photostationary state). De PSS waarde heeft een sterke invloed op gewasontwikkeling.

2.2 Beïnvloeding plantontwikkeling met stuurlicht overdag

Een lichtspectrum met een groter aandeel verrode golflengten stuurt de PSS richting lagere waarden, dus relatief meer inactief fytochroom (Pr). Hierdoor wordt onder andere de remmende werking op de aanmaak van de hormonen auxine en gibbereline verlaagd, waardoor o.a. strekking, generativiteit en apicale dominantie worden bevorderd. Een lichtspectrum met een klein aandeel verrood licht t.o.v. het aandeel rood licht stuurt juist op een hoge PSS-waarde en dus relatief meer actief fytochroom (Pfr). Actief fytochroom remt juist de aanmaak van de hormonen die o.a. strekking bevorderen en leidt tot meer vertakking (o.a. Keuskamp et al. 2010). Het 1^e hoofddoel om tot een versnelde opkweek te komen is gebaseerd op de fytochroombalans (zie hoofdstuk 1.3).

De aanmaak van het strekkingsbevorderende hormoon gibbereline wordt niet alleen via de fytochroombalans gestuurd, maar ook via de cryptochromen: het UV en blauwe golflengtegebied remt de aanmaak van gibberelinen via de cryptochromen (Whitelam en Halliday, 2007). Hierop is het 2^e hoofddoel gebaseerd (zie hoofdstuk 1.3).

2.3 Beïnvloeding plantontwikkeling met stuurlicht aan het begin van de nacht

Zoals hierboven omschreven wordt de fytochroombalans overdag in sterke mate bepaald door de spectrale samenstelling van het licht. In het donker wordt het actieve fytochroom (Pfr) zowel omgezet in inactief fytochroom (Pr), als afgebroken. Eén en ander wordt inzichtelijk gemaakt in Fig. 2.

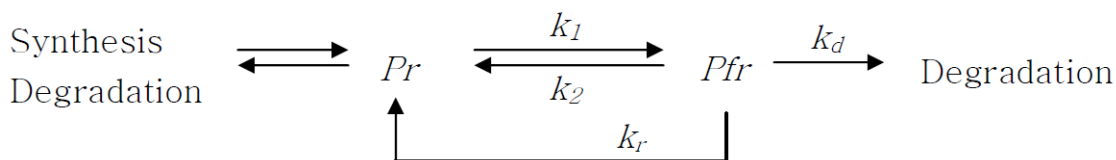


Fig. 2. Schema voor de dynamiek van de fytochroomomzetting. Pr en Pfr geven de concentraties van beide vormen aan. K_1 en K_2 zijn de omzettingsconstanten (rate constants) en zijn afhankelijk van het lichtspectrum. K_r is de omzettingsconstante in het donker. In het donker wordt tevens Pfr afgebroken (K_d). Pr kan of bijgemaakt of afgebroken worden. De omzettingssnelheid in het licht is afhankelijk van de absorptie door Pr en Pfr en hoe effectief het geabsorbeerde licht wordt gebruikt voor de reactie (Bron: Bae en Choi, 2008).

Een korte puls met een relatief lage intensiteit verrood licht aan het begin van de nacht versnelt de afbraak van actief fytochroom (Pfr). Een intensiteit van minder dan een micromol kan al effectief zijn en kan resulteren in effecten vergelijkbaar met een hoge dosis verrood overdag (o.a. Fankhauser en Casal, 2004; Dubois et al., 2008). Een korte puls van een zeer lage dosis verrood biedt natuurlijk grote praktische voordelen ten opzichte van een hogere dosis overdag, omdat dit veel minder lampen en energieverbruik vergt. Echter, in de literatuur beschreven experimenten leverden niet altijd grote verschillen op en zijn mogelijk afhankelijk van het type gewas, de cultivar en de daglengte, waarbij de effecten het grootst lijken bij een kortere daglengte (Lund et al. 2008). Belichting met verrood aan het begin van de nacht is onderdeel van de proef (zie hoofdstuk 3), omdat bij een gunstige werking praktijktoepassing zeer aantrekkelijk is. Het vergt immers minimale investeringen en het energieverbruik is verwaarloosbaar. Het is echter lastig om van te voren in te schatten in hoeverre deze behandeling succesvol kan zijn.

2.4 Complexiteit van stuurlicht kan een voordeel zijn

De *interactie* tussen de drie genoemde fotoreceptoren (cryptochromen, fototropinen en fytochromen) is complex en mogelijk worden in de toekomst nog meer fotoreceptoren ontdekt. Daarom is het soms lastig te voorspellen hoe een stuurlichtbehandeling uiteindelijk uitwerkt op een gewas. Het volgende voorbeeld voor blauw licht geeft een heldere illustratie van de complexiteit van de interactie tussen de verschillende fotoreceptoren: Blauw licht staat wijd verbreid bekend om zijn remmende effect op strekking (via cryptochroom). Echter, wanneer een gewas belicht wordt met puur blauw licht, dan kunnen planten juist een extreme tegengestelde reactie laten zien (Hogewoning en van Ieperen, 2008, ongepubliceerd). De extreme strekking die plaats kan vinden onder 100% blauw licht komt waarschijnlijk doordat een nauwe bandbreedte rond 450 nanometer binnen het blauwe golflengtegebied een fytochroombalans stimuleert dat dezelfde kant uit gaat als bij verrood licht. Dit is ook te zien in Fig. 1. Zo ontstaat de situatie dat het blauwe licht aan de cryptochromen een signaal geeft tot strekkingsremming (remming gibbereline) en aan de fytochromen een signaal geeft tot strekking (aanzet tot aanmaak gibbereline). Blijkbaar overheerst het fytochroomsignaal over het cryptochroomsignaal als het lightspectrum 100% blauwe golflengten bevat. Op basis van de verschillen in uitwerking van blauw licht overdag (aanvulling blauw; remming strekking) en 's nachts (100% blauw; strekking) kan een teler mogelijk met eenzelfde lamptype het gewas op twee tegengestelde manieren sturen. Dit is meegenomen in de proef (zie hoofdstuk 3).

3 Materiaal en Methoden opkweek en vervolgteelt

3.1 Plantmateriaal en proefopzet opkweek

In december 2012 werd de proef gestart bij Plantenkwekerij van der Lugt te Bleiswijk. De kasafdeling was 480m² (6.4m breed en 75m lang) en lag op de zuidwesthoek van het perceel. De proef draaide mee met de commerciële teelt voor enkele klanten van van der Lugt (zie hoofdstuk 3.2 vervolgteelt). De gangbare praktijkomstandigheden (klimaatsinstellingen, teelt op betonvloer, bemesting etc.) werden dus gehandhaafd.

Opkweek december (Paprika en Komkommer 'Venice')

Paprika (*Capsicum annuum* cv. 'Nagano') en komkommer (*Cucumis sativus* cv. 'Venice'; een gemakkelijk strekkend ras) werden op steenwol gezaaid onder standaard teeltomstandigheden. Op 8 december werden de planten in de proef ingezet. Voor Paprika was dit 28 dagen na zaaien en voor komkommer was dit 7 dagen na zaaien. Gedurende de proef werd voor beide gewassen het standaard teeltregime voor het desbetreffende gewas aangehouden (temperatuursinstellingen, voedingsoplossing, etc.). De plantdichtheid van komkommer was 18 planten/m² en van paprika 20 planten/m².



Foto 2. Startstadium paprika (28 dagen na zaaien) en komkommer (7 dagen na zaaien).

Extra proef: Opkweek januari (Komkommer 'Proloog')

Bij de opkweek in januari werd alleen komkommer (*Cucumis sativus* cv. 'Proloog'; een moeizaam strekkend ras) gebruikt. Planten gezaaid op 19 december werden op 28 december in de proef ingezet. Na vijf dagen (2 januari) werden er planten van hetzelfde ras onder de drie behandelingen met verrood gezet (Tabel 1). Deze planten waren 3 dagen later gezaaid (22 december). In het kader van de doelstelling om met verrood licht een versnelde opkweek te bewerkstelligen, kon zo beproefd in hoeverre met verrood-belichting in een kortere opkweektijd toch het plantgewicht van de controleplanten bereikt kan worden. De plantdichtheid was 16 planten/m².

Proefopzet

Bij de komkommerplanten werden er zeven behandelingen in tweevoud uitgevoerd (14 proefvakken verdeeld over twee kappen). Bij paprika waren er 4 behandelingen in tweevoud (8 proefvakken binnen één kap). De basisbelichting was naast het daglicht $75 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T (400V, 600W) bij komkommer. Bij paprika stond slechts de helft van de SON-T armaturen aangeschakeld ($37.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). De proefvakken waren netto 2m bij 2m groot.

Hoofddoelstelling 1 is gericht op energiebesparing door een snellere opkweek (zie hoofdstuk 1.3.4). Ter toetsing van de hypothese dat met het PSS model een hiervoor geschikt lightspectrum kan worden samengesteld zijn een aantal verrood-behandelingen uitgevoerd (nummers 1,2,3,4 in Tabel 1). De hoeveelheid verrood van de behandeling VR+ (PSS= 0.78) is zo berekend dat een fytochroombalans tussen dat van daglicht (PSS= 0.72) en SON-T (PSS= 0.85) in benaderd zou moeten worden (PSS= 0.78). Bij VR++ was de dosis verrood 50% hoger (PSS= 0.75). Zowel bij VR+ als VR++ schakelden de verrood-lampen tegelijk met de SON-T aan en uit. Bij de nabelichting met verrood schakelden de verrood-lampen rond zonsondergang aan en drie uur later weer uit.

Hoofddoelstelling 2 is juist gericht op een compactere plantvorm. Hiertoe zijn de behandelingen met blauw licht uitgevoerd (nrs 1, 5 en 6 in Tabel 1). De lampen schakelden tegelijk met de SON-T aan en uit. De nabelichting met blauw licht aan het begin van de nacht was juist gericht op versnelde opkweek, evenals de verrood behandelingen (nr. 7 in Tabel 1). De lampen gingen in dit geval een uur na zonsondergang aan en twee uur later weer uit.



Foto 3. Aluminium profielen uitgerust met de verrood-lampen.

De toegevoegde belichting was uitgevoerd met aluminium profielen die uitgerust waren met retrofitlampen van Lemnis Oreon (zie Foto 3 en de voorkant van dit rapport). De bijbehorende lightspectra zijn weergegeven in Fig. 3. Boven de controle-behandelingen was een 'dummy'-rek bevestigd, dat wil zeggen een aluminium profiel zonder lampen. Dit om uit te sluiten dat beschaduwing door het aluminium profiel de proefresultaten zou kunnen beïnvloeden. De SON-T-belichting stond aan van 0:00-16:00 uur en werd overdag uitgeschakeld bij een instraling boven $\sim 200\text{W}/\text{m}^2$. Hierdoor stond de SON-T ongeveer 74% en 60% van de tijd aan voor respectievelijk de opkweek in december en januari.

Tabel 1. Overzicht van de verschillende behandelingen (allen in tweevoud uitgevoerd). Bij paprika werden alleen de eerste vier behandelingen uitgevoerd.

Nr.	Behandeling	Reden	PSS combi lichtbronnen
1	SON-T	Controle	0.855
2	SON-T&VR+	versnelde opkweek: Lage dosis verrood	0.782
3	SON-T&VR++	versnelde opkweek: Hoge dosis verrood	0.754
4	SON-T&VR(nacht)	versnelde opkweek: Nabelichting verrood	0.167
5	SON-T&blauw+	Compacte plant	0.851*
6	SON-T&blauw++	Compacte plant	0.849*
7	SON-T&blauw(nacht)	versnelde opkweek: Nabelichting blauw	0.541

* De PSS van planten onder blauw licht is minder relevant omdat het blauwe licht voornamelijk werkt op het cryptochroom. Zie hoofdstuk 2 voor nadere uitleg.

Tabel 2. Lichtintensiteit van de verschillende lichtbronnen bij komkommer en paprika. De belichting stond maximaal 16 uur per dag aan, De nabelichting stond van zonsondergang tot 3 uur daarna aan.

Nr.	Behandeling	Dosis komkommer ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Dosis paprika ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
1	SON-T	75	37.5
2	VR+	10	5
3	VR++	14.5	7
4	VR(nacht)	2.5	2.5
5	Blauw+	8	
6	Blauw++	12.5	
7	Blauw(nacht)	4	

De proefvakken waren spectraal van elkaar gescheiden door middel van een ruime afstand van 8 meter ‘randplanten’ tussen de plots (Foto 4). Hierdoor was versturende overlap van licht uit de verschillende proefvakken uitgesloten. De proefplots waren netto 4m² groot en bevatten dus 64-80 planten.



Foto 4. De proefvakken zijn van elkaar gescheiden door een ruime afstand van 8m ertussen.

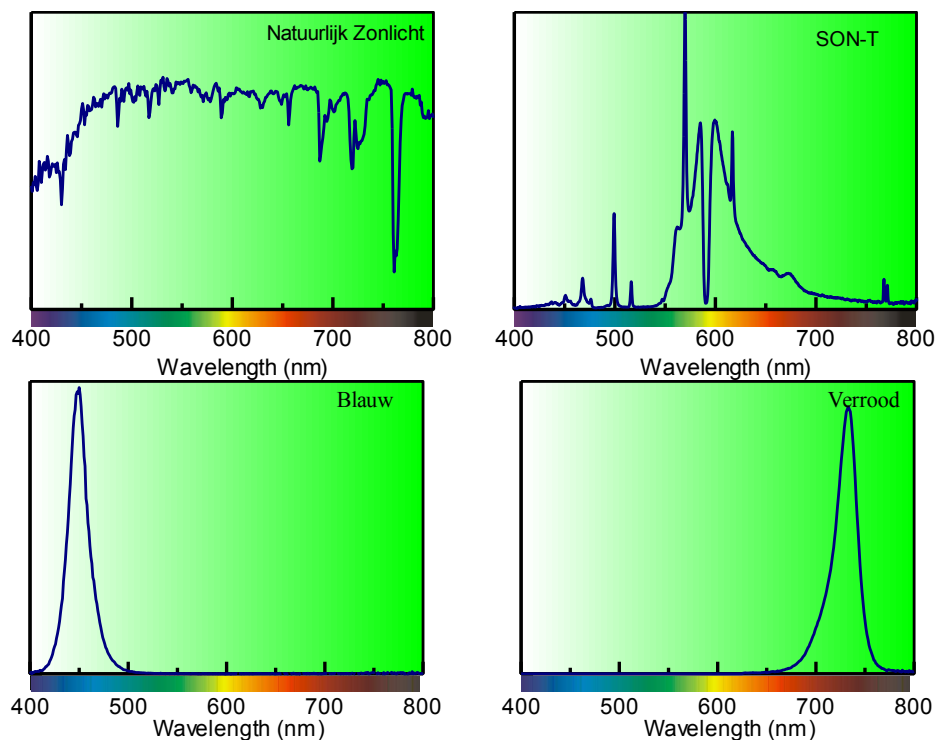


Fig. 3. Spectrale samenstelling van natuurlijk daglicht (linksboven) en van de gebruikte lampen.

Looptijd proef en oogstmomenten

De oogst van komkommer 'Venice' vond zowel plaats op 24 december 2012 (alle behandelingen) als op de geplande afleverdatum 28 december 2012 (alleen controle en Blauw). Bij paprika zijn alle behandelingen zowel op 28 december 2012 als op de geplande afleverdatum 03 januari 2013 geoogst. Van de extra behandeling, komkommer 'Proloog', zijn alleen de behandelingen met verrood geanalyseerd. De oogst vond plaats op de geplande afleverdatum 18 januari 2013. Zoals op pagina 19 vermeld was bij Proloog de zaai- en uitplanttijd van de verrood-behandelingen een aantal dagen later dan de controle-behandeling. Hierdoor kon het verrood-effect op de opkweeksnelheid naar aanleiding van één oogstdatum bepaald worden.

Van ieder soort/ras zijn 20 planten per behandeling gemeten. De destructieve metingen staan hieronder nader gespecificeerd.

Metingen

Bladfotosynthese werd gemeten met behulp van een Li-6400 draagbare fotosynthesemeter. Kort voor de eind oogst werd bij komkommer 'Venice' in de proefvakken controle, VR++ en blauw++ en bij paprika in de proefvakken controle, VR++ en VR nabelichting de fotosynthese gemeten bij verschillende lichtniveaus (van laag licht tot lichtverzadiging). De procedure die gevolgd is, staat uitgebreid beschreven in Trouwborst *et al.* (2010). De gebruikte CO₂-concentratie was 600 ppm, dit lag op het hetzelfde niveau als dat van de kaslucht. Voor beide soorten werd aan een onbeschadigd blad gemeten.

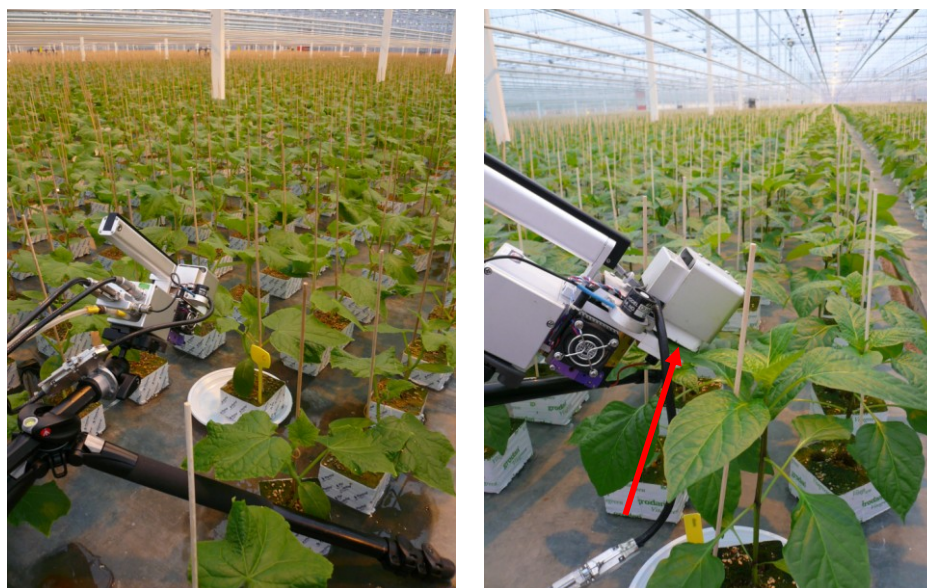


Foto 5. Fotosynthesemeting aan komkommer en paprika met een LI-COR-6400 draagbare fotosynthesemeter voor het meten van de CO₂ opname. In het apparaat kunnen PAR, CO₂, temperatuur en vocht gevarieerd worden. Op deze manier is de fotosynthese response gemeten bij oplopend PAR aan een ingeklemd blad (rode pijl).

Bij de oogst werden de volgende plantkenmerken gemeten:

- Vers- en drooggewicht van bladeren en stengels
- Aantal bladeren en bladoppervlakte
- Stengeldiameter
- Lengte plant en bladsteel
- Aantal en lengte zijtakken (alleen bij paprika)
- Bladgroenindex (SPAD-waarde; alleen bij paprika)

3.2 Vervolgteelt

Op 28 december werden de komkommerplanten 'Venice' van alle behandelingen uitgeplant bij kwekerij 'De Springplank' te Dongen. Op 18 januari zijn de komkommerplanten 'Proloog' naar Sulabra BV te Klazienaveen gegaan. Op deze bedrijven werd de verdere ontwikkeling van deze planten visueel gevolgd.

4 Resultaten en discussie

4.1 Klimaat opkweek

De proef is uitgevoerd gedurende de donkerste periode van het jaar (december/januari). De lichtsommen van het natuurlijke daglicht varieerden tussen de 1 en de 7 mol/m²/dag. De gemiddelde lichtsom was 2.5 mol/m²/dag voor de decemberteelt en 3.5 mol/m²/dag voor de januariteelt. De standaardinstellingen voor de teelt van komkommer en paprika (temperatuur, voedingsoplossing, etc.) zijn aangehouden. De teeltduur van de opkweek vanaf het moment van uitzetten was respectievelijk voor Komkommer 'Venice', 'Proloog' en paprika: 20, 21 en 26 dagen (dus exclusief periode als zaailing).

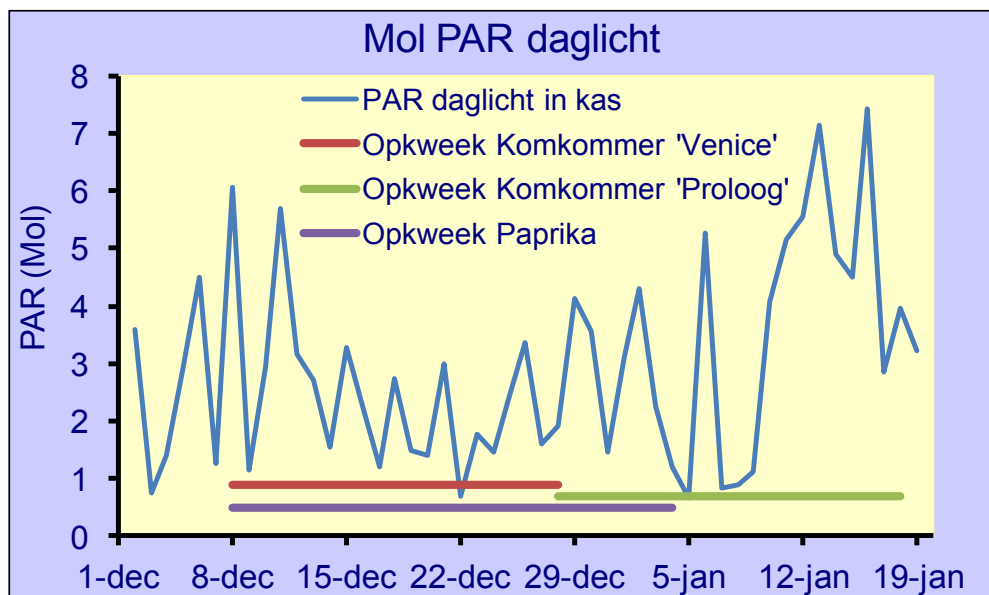


Fig. 4. Lichtsom in mol PAR per m² per dag gedurende de twee opkweekperiodes in december 2012 en januari 2013.

Omdat de instraling van natuurlijk daglicht vergeleken met december groter was in januari en de belichting ook minder vaak aanstond in januari (60% t.o.v. 74% in december), is een groter effect te verwachten van de belichtingsbehandelingen in december. Echter, in januari werd een cultivar ('Proloog') geteeld die moeizamer strekt dan de cultivar in december ('Venice'). In hoofdstuk 4.3.1 en 4.3.2 worden de resultaten voor deze twee cultivars weergegeven, nadat in 4.2 paprika besproken is.

4.2 Versnelde opkweek: paprika

Bij Paprika zijn er vier behandelingen uitgevoerd om te testen of versnelde opkweek met verrood licht mogelijk was (Tabel 1). Na 9 dagen waren de verrood behandelingen al iets langer dan de controle en dit verschil in lengte werd al snel groter (Foto 5).

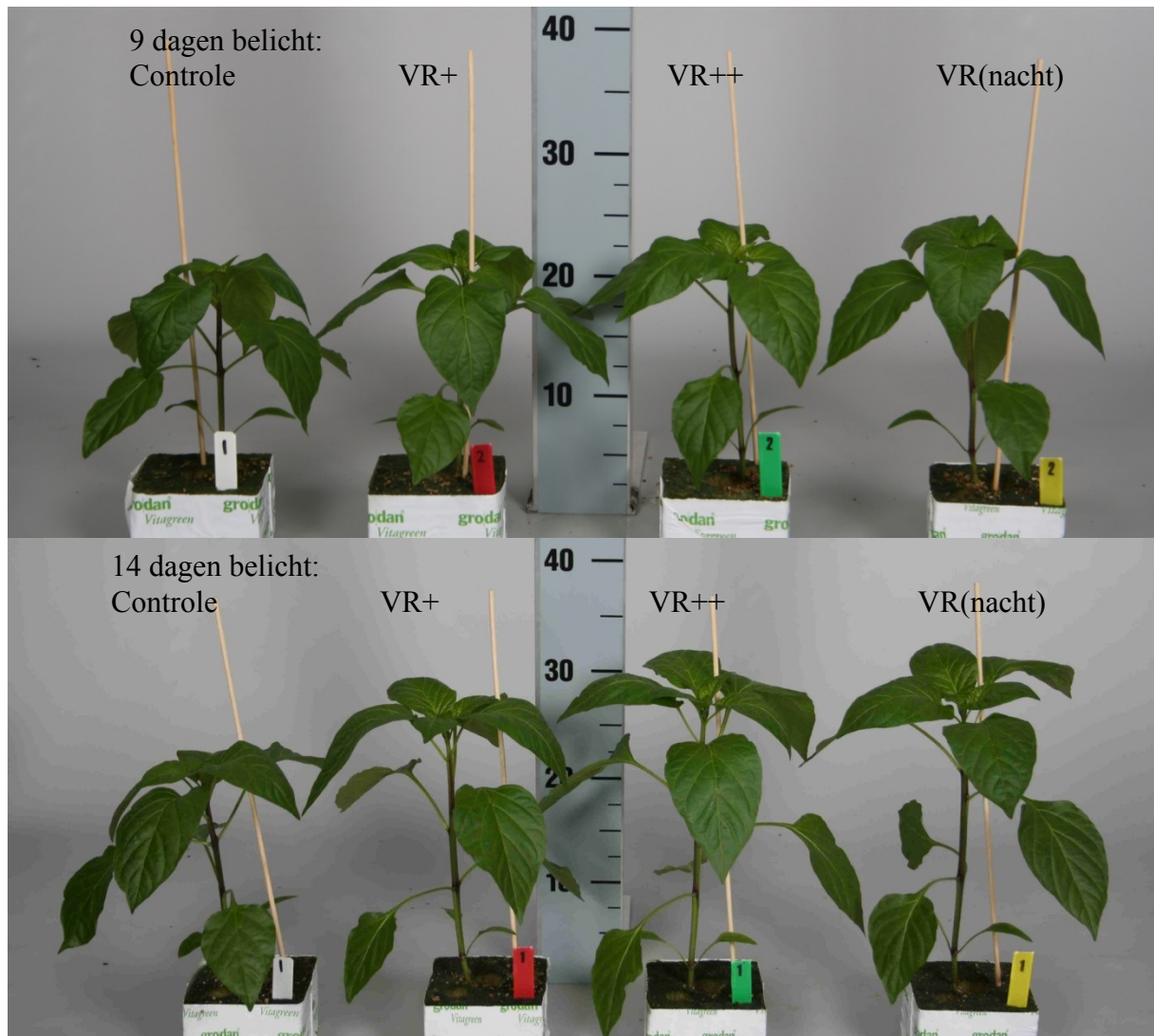


Foto 6. Reactie van de plantvorm van paprika 'Nagano' op bijbelichting met verschillende lichtspectra na 9 en 14 dagen onder de vier behandelingen.

De oogst van paprika werd gedaan na zowel 20 als 26 dagen belichting. In Tabel 3 worden de resultaten weergegeven. Enkele opvallende zaken uit deze tabel:

- Alle verrood-behandelingen waren fors langer dan de controleplanten (19% tot 32%).
- Planten onder VR++ hadden een 13% groter plantgewicht. Dit kwam vooral doordat de stengel 35% zwaarder was. De gemiddelde bladoppervlakte en het aantal bladeren waren ook iets groter bij VR++, maar het verschil met de controle was niet significant.
- Planten onder de verrood nabelichting waren het langst, het bladoppervlak was echter 7% lager. Ook was er minder vertakking (of tragere vertakking!).

- De bladgroen-index van de planten die overdag verrood kregen was 6-7% lager (n.b. niet bij de verrood nabelichting!). Dit had echter geen negatieve gevolgen voor de fotosynthese (Fig. 5).

Tabel 3. Effect van de verschillende lichtspectra op de ontwikkeling van *paprika 'Nagano'*. De getallen zijn gemiddelden van 20 meetplanten. Verschillende letters (a, b, c, d) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; ns=geen significant verschil). Bij significante verschillen is tussen haakjes de toe- of afname weergegeven t.o.v. SON-T.

	SON-T (controle)	SON-T & verrood +	SON-T & verrood ++	Verrood nabelichting
Waarnemingen oogst 28 december 2012 (20 dagen belicht)				
Versgewicht plant (g)	28.0 ^b	29.3 ^b	31.3 ^a (+12%)	28.5 ^b
Drogestof plant (g)	1.84 ^b	1.94 ^b	2.09 ^a (+13%)	1.90 ^b
Drogestof blad (g)	1.19 ^a	1.18 ^a	1.22 ^a	1.11 ^b (-7%)
Drogestof stengel (g)	0.65 ^c	0.77 ^b (+18%)	0.87 ^a (+35%)	0.79 ^b (+22%)
Aantal bladeren	12.4 ^{ns}	13.0 ^{ns}	12.8 ^{ns}	12.5 ^{ns}
Bladoppervlak (cm ²)	822 ^a	822 ^a	849 ^a	767 ^b (-7%)
LMA (g/m ²)	14.5 ^{ns}	14.3 ^{ns}	14.3 ^{ns}	14.5 ^{ns}
Stengeldiameter (mm)	6.4 ^c	6.5 ^{ab} (+3%)	6.6 ^a (+4%)	6.4 ^{bc}
Bladsteellengte (cm)	8.4 ^b	8.5 ^b	8.8 ^a (+5%)	8.6 ^{ab}
Plantlengte totaal (cm)	26.1 ^d	31.0 ^c (+19%)	33.3 ^b (+27%)	34.4 ^a (+32%)
Koplengte (cm)	2.3 ^{ab}	2.3 ^a	2.4 ^a	2.0 ^b
#zijtak voor vertakking	2.6 ^{ns}	2.7 ^{ns}	2.5 ^{ns}	2.5 ^{ns}
#zijtak na vertakking	3.8 ^{ab}	4.2 ^a	3.5 ^{bc}	2.9 ^c (-23%)
Waarnemingen oogst 3 januari 2013 (26 dagen belicht)				
Versgewicht plant (g)	44.4 ^b	44.3 ^b	47.8 ^a (+8%)	43.2 ^b
Drogestof plant (g)	3.10 ^{ab}	3.07 ^b	3.30 ^a	3.07 ^b
Drogestof blad (g)	1.85 ^a	1.73 ^b (-6%)	1.79 ^{ab}	1.68 ^b (-9%)
Drogestof stengel (g)	1.25 ^c	1.34 ^{bc}	1.50 ^a (+21%)	1.39 ^b (+12%)
Aantal bladeren	17.9 ^a	16.9 ^{ab}	16.6 ^b (-7%)	15.4 ^c (-14%)
Bladoppervlak (cm ²)	1195 ^a	1135 ^{ab}	1194 ^a	1085 ^b (-9%)
LMA (g/m ²)	15.5 ^a	15.2 ^{ab}	15.0 ^b (-3%)	15.5 ^a
Stengeldiameter (mm)	6.9 ^{ab}	6.7 ^{bc}	6.9 ^a	6.7 ^c (-2%)
Bladsteellengte (cm)	9.1 ^{ns}	9.0 ^{ns}	9.1 ^{ns}	9.4 ^{ns}
Plantlengte (cm)	32.7 ^c	38.9 ^b (+19%)	41.3 ^a (+26%)	42.2 ^a (+29%)
Koplengte (cm)	5.2 ^{ns}	6.0 ^{ns}	6.2 ^{ns}	4.8 ^{ns}
Bladgroen-index	38.8 ^a	36.2 ^b (-7%)	36.4 ^b (-6%)	38.4 ^a

Het toevoegen van verrood licht (overdag of nacht) had geen effect op de fotosynthese-lichtrespons bij Paprika (Fig. 5). De fotosynthese-capaciteit (gemeten bij hoog licht) was bij komkommer fors hoger dan bij paprika (vergelijk Fig. 5 en Fig. 6 op p. 35).

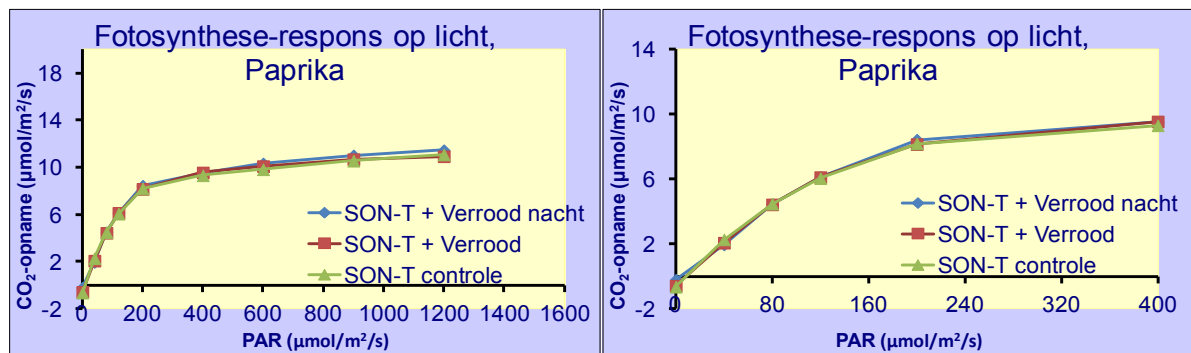


Fig. 5. Fotosynthese-lichtrespons van paprika opgegroeid onder drie verschillende lichtspectra. Figuren links en rechts geven dezelfde metingen weer (rechts alleen voor de lichtintensiteiten die representatief zijn voor wintercondities in Nederlandse kassen).

Kort samengevat:

Verrood heeft een positief effect op stengelstrekking bij paprika, maar een effect op een versnelde opkweek trad alleen in zeer beperkte mate op bij de hoogste dosis verrood. Mogelijk komt dit doordat paprika minder gevoelig is voor verrood.

Wat waarschijnlijk ook een rol speelt is dat het aandeel belichting ($37.5 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ i.p.v. $75 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) ten opzichte van de totale PAR-som te laag is om duidelijke effecten te vinden. Doordat de combinatie SON-T en verrood strekking stimuleert kan paprika mogelijk wel met de volle intensiteit ($75 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) worden belicht. Als dit de teeltduur verkort kan daarmee, ondanks de intensievere belichting, mogelijk toch energie bespaard worden.

4.3 Versnelde opkweek: komkommer

4.3.1 Opkweek december: 'Venice'

Bij komkommer zijn vier behandelingen uitgevoerd met als doel een versnelde opkweek (Tabel 1). In dit hoofdstuk worden de verrood-behandelingen ten opzichte van de controle besproken. De behandeling met nabelichting met blauw licht is ook gericht op versnelde opkweek, maar die behandeling wordt tezamen met de andere, op compactheid gerichte, blauw licht behandelingen besproken in hoofdstuk 4.4. Na 9 dagen waren de verrood behandelingen al duidelijk langer dan de controle en dit verschil werd al snel groter (Foto 7).

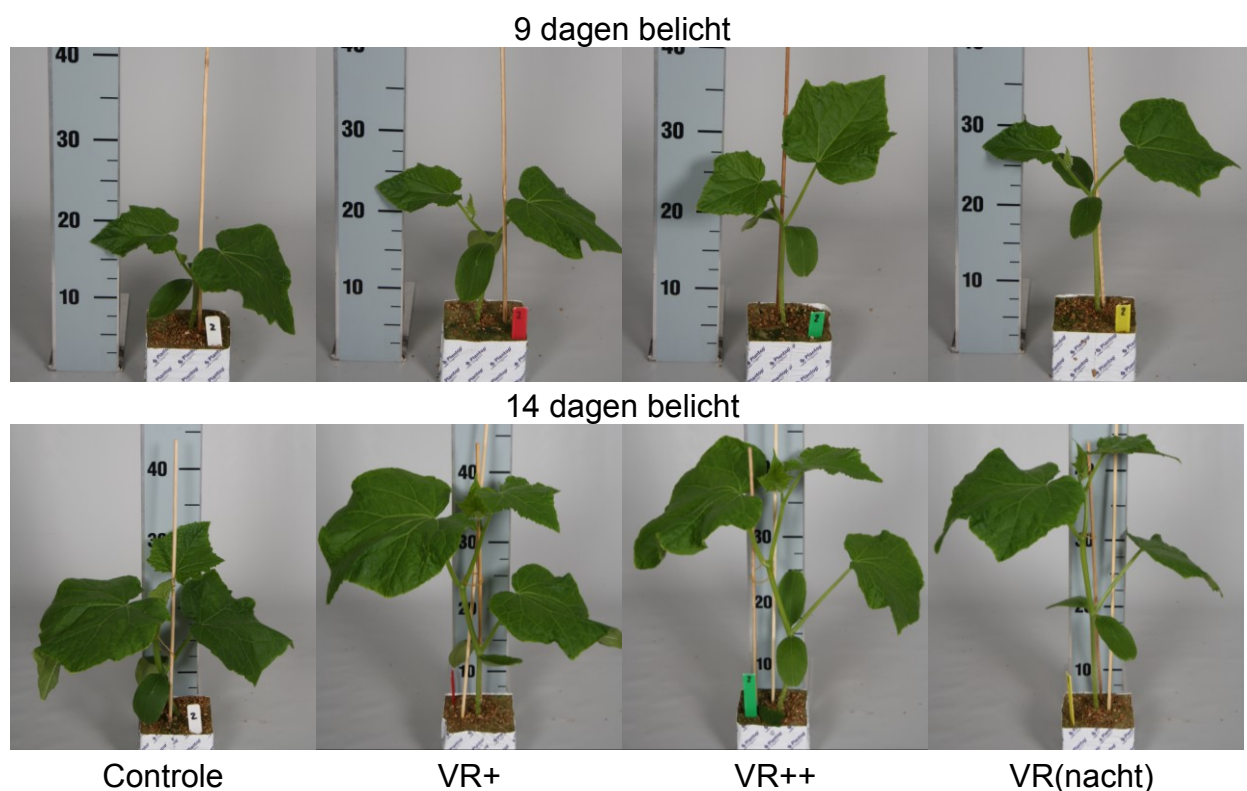


Foto 7. Reactie van de plantvorm van komkommer 'Venice' op bijbelichting met doses verrood licht na 9 en 14 dagen onder de vier behandelingen.

De planten werden geoogst na 16 en 20 dagen belichting. In Tabel 4 worden de resultaten weergegeven. Enkele opvallende zaken uit deze tabel waren:

- De VR+ behandeling doet de ontwikkelingssnelheid van de planten toenemen: 35% meer versgewicht, 22% meer drooggewicht, 11% meer bladeren en 13% meer bladoppervlakte dan de controle.
- Planten onder VR+ en VR++ hebben een plantvorm die gunstig is voor een hogere lichtonderschepping: Langere stengellengte en langere bladstelen.
- In tegenstelling tot de toename in stengellengte leidt VR-nabelichting tot een veel minder grote toename in bladsteellengte (+8%) dan VR+ (+48%) en VR++ (+54%).

- De extra hoge dosis VR++ leidt tot extra stengelstrekking, maar heeft verder geen toegevoegde waarde ten opzichte van VR+ wat betreft de ontwikkelingssnelheid.
- Ondanks de sterke toename in stengelstrekking (vooral hypocotyl: +122%) bij VR-nabelichting was er geen sprake van een snellere plantontwikkeling.
- Een milde dosis verrood overdag (VR+) lijkt dus het meest effectief om een versnelde opkweek te realiseren bij komkommer 'Venice'.

Het toevoegen van verrood licht had bij komkommer, net als bij paprika, geen effect op de fotosynthese-lichtrespons (Fig. 6). Omdat blauw licht wel een effect gaf worden de fotosynthese-resultaten verder toegelicht in hoofdstuk 4.4.

Tabel 4. Effect van de verschillende lichtspectra op de ontwikkeling van komkommer 'Venice' na 16 dagen belichting. De getallen zijn gemiddelden van 40 meetplanten. Verschillende letters (a, b, c, d) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; ns=geen significant verschil). Als er statistisch significante verschillen waren, dan is tussen haakjes de toe- of afname weergegeven ten opzichte van SON-T.

	SON-T (controle)	SON-T & verrood +	SON-T & verrood ++	Verrood nabelichting
Waarnemingen oogst 24 december 2012 (16 dagen belicht)				
Versgewicht plant (g)	29.8 ^c	40.2 ^a (+35%)	41.1 ^a (+38%)	35.0 ^b (+18%)
Drogestof plant (g)	1.76 ^c	2.16 ^a (+22%)	2.24 ^a (+27%)	1.95 ^b (+10%)
Drogestof blad (g)	1.28 ^b	1.40 ^a (+10%)	1.40 ^a (+9%)	1.25 ^b
Drogestof stengel (g)	0.48 ^d	0.75 ^b (+56%)	0.84 ^a (+75%)	0.70 ^c (+46%)
Aantal bladeren	4.3 ^b	4.8 ^a (+11%)	4.8 ^a (+11%)	4.5 ^b
Bladoppervlak (cm ²)	806 ^b	911 ^a (+13%)	902 ^a (+12%)	805 ^b
LMA (g/m ²)	15.9 ^a	15.4 ^b (-3%)	15.5 ^b (-2%)	15.5 ^b (-3%)
Stengeldiameter (mm)	7.2 ^a	6.9 ^b (-4%)	6.6 ^c (-8%)	6.6 ^c (-9%)
Bladsteellengte (cm)	8.2 ^d	12.2 ^b (+48%)	12.7 ^a (+54%)	8.9 ^c (+8%)
Hypocotyllengte (cm)	6.8 ^d	10.3 ^c (+50%)	12.4 ^b (+81%)	15.2 ^a (+122%)
Plantlengte (cm)	26.3 ^c	39.6 ^b (+50%)	46.3 ^a (+76%)	46.3 ^a (+76%)

De controleplanten zijn vier dagen later op de dag van levering (28 december) nogmaals geoogst. Doordat de planten dan nog in hun exponentiële groeifase zitten, is het plantgewicht in die 4 dagen bijna verdubbeld (Tabel 5). Met deze gegevens is de relatieve groeisnelheid² berekend en zijn de plantgewichten op de tussenliggende dagen berekend

² De relatieve groeisnelheid is een term uit de klassieke groeianalyse en drukt uit hoeveel de plant groeit in een bepaalde tijd gegeven z'n eigen gewicht: gram groei per gram plant per tijd.

De 'relatie growth rate' (RGR) wordt als volgt berekend:
$$RGR = \frac{\ln W_1 - \ln W_0}{t_{\text{tijd}}} \quad (W = \text{gewicht, waarbij de index (1 en 0) duidt op het dagnummer van de twee meetmomenten})$$

(Tabel 6). Uit Tabel 6 blijkt dat de controleplanten op dag 18 het gewicht bereiken dat de planten die onder verrood opgroeiden al op dag 16 hadden. De voorsprong door het toepassen van verrood licht was op dag 16 dus twee dagen ($2/16=12.5\%$). Dat is de potentiële teeltversnelling bij komkommer 'Venice'

Tabel 5. Ontwikkeling van komkommer 'Venice' onder SON-T na 16 en 20 dagen belichting. De getallen zijn gemiddelden van 40 meetplanten.

	SON-T (controle) 16 dagen belicht (24 december)	SON-T (controle) 20 dagen belicht (28 december)
Versgewicht plant (g)	29.8	56.3
Drogestof plant (g)	1.76	3.35
Drogestof blad (g)	1.28	2.26
Drogestof stengel (g)	0.48	1.09
Aantal bladeren	4.3	6.0
Bladoppervlak (cm ²)	806	1331
LMA (g/m ²)	15.9	17.0
Stengeldiameter (mm)	7.2	7.4
Bladsteellengte (cm)	8.2	12.1
Hypocotyllengte (cm)	6.8	6.6
Plantlengte (cm)	26.3	45.1

Tabel 6. Berekende exponentiële groei van komkommer 'Venice' onder SON-T van dag 16 tot dag 20. RGR= 'relative growth rate' oftewel relatieve groeisnelheid per dag.

	RGR	Dag 16	Dag 17	Dag 18	Dag 19	Dag 20
Versgewicht plant (g)	0.159	29.8	35.0	41.0	48.0	56.3
Drogestof plant (g)	0.160	1.76	2.07	2.43	2.85	3.35
Bladoppervlak (cm ²)	0.125	806	914	1036	1175	1331

Het toevoegen van verrood licht had bij komkommer, net als bij paprika, geen effect op de fotosynthese-lichtrespons (Fig. 6). Omdat blauw licht wel een effect gaf worden de fotosynthese-resultaten verder toegelicht in hoofdstuk 4.4.

4.3.2 Opkweek januari: 'Proloog'

Als extra proef zijn aansluitend op de opkweek van 'Venice' alle behandelingen nogmaals uitgevoerd bij het komkommerras 'Proloog' (Fig. 4). In tegenstelling tot 'Venice' is 'Proloog' een moeizaam strekkend ras. Bij een moeizaam strekkend ras is versnelde opkweek via sturing van de plantvorm op een efficiëntere lichtonderschepping interessanter dan bij een

gemakkelijk strekkend ras. Dit omdat een nog verdere toename van de strekking bij een gemakkelijk strekkend ras eerder onwenselijk zal zijn.

De proefopzet werd iets gewijzigd:

- Bij paprika en bij komkommer 'Venice' werd een aantal dagen eerder geoogst dan de geplande afleverdatum (zie 4.2 en 4.3.1). Bij komkommer 'Proloog' werd de helft van de planten voor onder de verrood behandelingen drie dagen later gezaaid en vijf dagen later uitgezet onder de verrood behandelingen. Hiertoe werden de proefvakken verrood in tweeën gedeeld (twee maal 2 m² voor de 'jonge' en 'oude' planten).
- Vijf dagen na uitzetten van de 'oude' planten, dus op de dag dat de 'jonge' planten waren uitgezet, gingen de verrood-behandelingen aan. Dus op de afleverdatum stonden de 'jonge' en 'oude' planten beide 16 dagen onder het verrood.

De belichting was gedurende het zaaistadium ook 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en de temperatuur was overdag ook 22°C. Dat de 'jonge' planten twee dagen langer in het zaaistadium stonden, kan dus noch negatieve noch positieve invloed hebben op de ontwikkeling. Wel hebben de 'jonge' planten dus 16 in plaats van 18 dagen verrood-behandeling gehad.

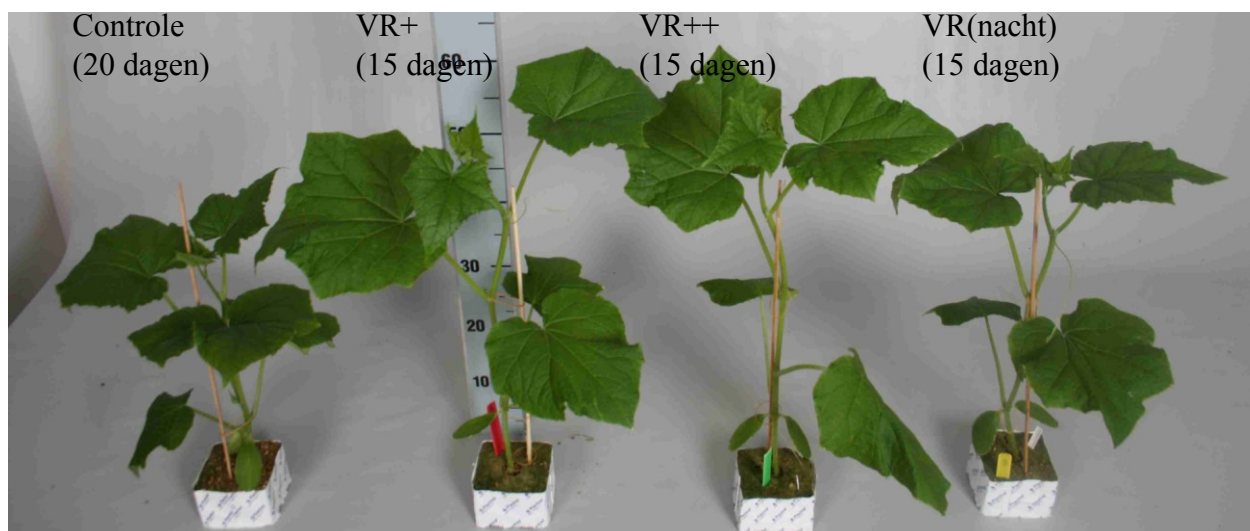


Foto 8. Reactie van de plantvorm van komkommer 'Proloog' op bijbelichting met verschillende toevoegingen van verrood licht (één dag voor de oogst). Opgroeiduur: 15 (verrood) en 20 dagen (controle) na uitzetten; dus 5 dagen verschil in uitplanten, maar het verschil in zaaidatum was 3 dagen.

De oogstgegevens van de planten staan in Tabel 7. Opvallende zaken waren:

- De 'jonge' planten (drie dagen later gezaaid) onder de verrood-behandelingen zijn 30-40% langer dan de oudere controleplanten.
- Er is nagenoeg geen verschil in plantgewicht tussen de controle en de VR+ behandeling, het bladoppervlak liep nog wel zo'n 10% achter.
- De hoge dosis verrood (VR++) heeft geen toegevoegde waarde ten opzichte van de lage dosis (VR+). Het effect van de hogere dosis verrood lijkt eerder nadelig.

- Planten onder VR+ en VR++ hebben een plantvorm die gunstig is voor een hogere lichtonderschepping: Langere stengellengte en langere bladstelen.

De meetgegevens van de 'oudere' verrood- belichte planten zijn niet weergegeven in de tabel. Wat aan die gegevens opviel was dat de hypocotyllengte van de 'oudere' planten onder verrood een stuk korter was dan van de 'jonge' planten (+30 tot 40% i.p.v. +73 tot 112%). Dus door een paar dagen vanaf uitzetten te wachten met het aanschakelen van het verrood kan de grote lengtetoe name van het hypocotyl sterk worden gereduceerd.

Uit deze gegevens kan worden geconcludeerd dat 'Proloog' door het toepassen van verrood licht op dag 18 na uitzetten een voorsprong van drie dagen heeft (3/18=16.7%).

Tabel 7. Effect van de verschillende lichtspectra op de ontwikkeling van **komkommer 'Proloog'**. De getallen zijn gemiddelden van 20 meetplanten. Verschillende letters (a, b, c, d) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; ns=geen significant verschil). Als er statistisch significante verschillen waren, dan is tussen haakjes de toe- of afname weergegeven ten opzichte van SON-T.

	SON-T (controle) Zaaidatum: 19-12- 2012	SON-T & verrood + Zaaidatum: 22-12- 2012	SON-T & verrood ++ Zaaidatum: 22-12- 2012	Verrood nabelichting Zaaidatum: 22-12- 2012
Waarnemingen oogst 18 januari 2013				
Versgewicht plant (g)	58.5 ^c	56.3 ^{cd}	53.8 ^d (-8%)	50.9 ^e (-13%)
Drogestof plant (g)	3.35 ^b	3.13 ^c (-7%)	3.08 ^{cd} (-8%)	2.91 ^d (-13%)
Drogestof blad (g)	2.14 ^b	1.83 ^c (-14%)	1.80 ^c (-16%)	1.75 ^c (-18%)
Drogestof stengel (g)	1.21 ^{cd}	1.30 ^b (+7%)	1.28 ^{bc}	1.17 ^d
Aantal bladeren	6.8 ^c	6.1 ^d (-11%)	6.0 ^d (-11%)	6.0 ^d (-13%)
Bladoppervlak (cm²)	1299 ^b	1174 ^c (-10%)	1124 ^{cd} (-14%)	1086 ^d (-16%)
LMA (g/m²)	16.5 ^a	15.6 ^b (-5%)	16.0 ^{ab}	16.1 ^{ab}
Bladsteellengte (cm)	12.1 ^d	15.9 ^a (+31%)	15.9 ^a (+31%)	13.1 ^c (8%)
Hypocotyllengte (cm)	5.0 ^e	9.1 ^b (+82%)	10.6 ^a (+112%)	8.7 ^b (+73%)
Plantlengte (cm)	39.4 ^d	55.0 ^b (+40%)	55.0 ^b (40%)	50.8 ^c (+29%)

Kort samengevat:

Bij een makkelijk strekkend ras als 'Venice' kan de opkweek met twee dagen verkort worden en bij een moeilijk strekkend ras als 'Proloog' met drie dagen. Aanvulling van SON-T met een milde dosis verrood geeft een gunstiger resultaat dan een hogere dosis verrood. Nabelichting met verrood geeft meer strekking, maar niet of nauwelijks snellere ontwikkeling. De versnelde opkweek kan verklaard worden doordat onder invloed van verrood licht de plantopbouw gunstiger is voor lichtonderschepping en zo het bladoppervlak versneld toeneemt. Dat geeft een soort 'rente op rente'-effect. De fotosynthese per oppervlakte blad verschilde niet.

4.4 Compactere plantvorm komkommer ‘Venice’

Voor de doelstelling om compacte planten te kweken (zie hoofdstuk 1.3.4), zijn er alleen behandelingen uitgevoerd bij komkommer ‘Venice’. Een nog compactere plantvorm bij de opkweek van paprika niet wenselijk. Er zijn twee behandelingen uitgevoerd om te toetsen of het mogelijk is om via het toevoegen van een lage intensiteit blauw licht te sturen op compactheid (Tabel 1).

Tevens was er een behandeling die aan het begin van de nacht belicht werd met blauw licht. De (theoretische) gedachte hierachter is dat dit evenals ‘verrood’ nabelichting tot een tegengestelde reactie zou moeten leiden. De uitgebreide oogstanalyse is alleen uitgevoerd bij komkommer ‘Venice’ omdat ‘Proloog’ toch al een moeizaam strekkend ras is. De behandelingen met compacte planten bij de extra proef met komkommer ‘Proloog’ zijn wel visueel gevolgd gedurende de vervolgteelt bij Sulabra BV (zie hoofdstuk 5).

Na 15 dagen belichting was duidelijk zichtbaar dat de blauw-nabelichting meer strekking vertoonde (‘verrood’-reactie). De behandeling met blauw++ was duidelijk compacter dan de controle (Foto 7).

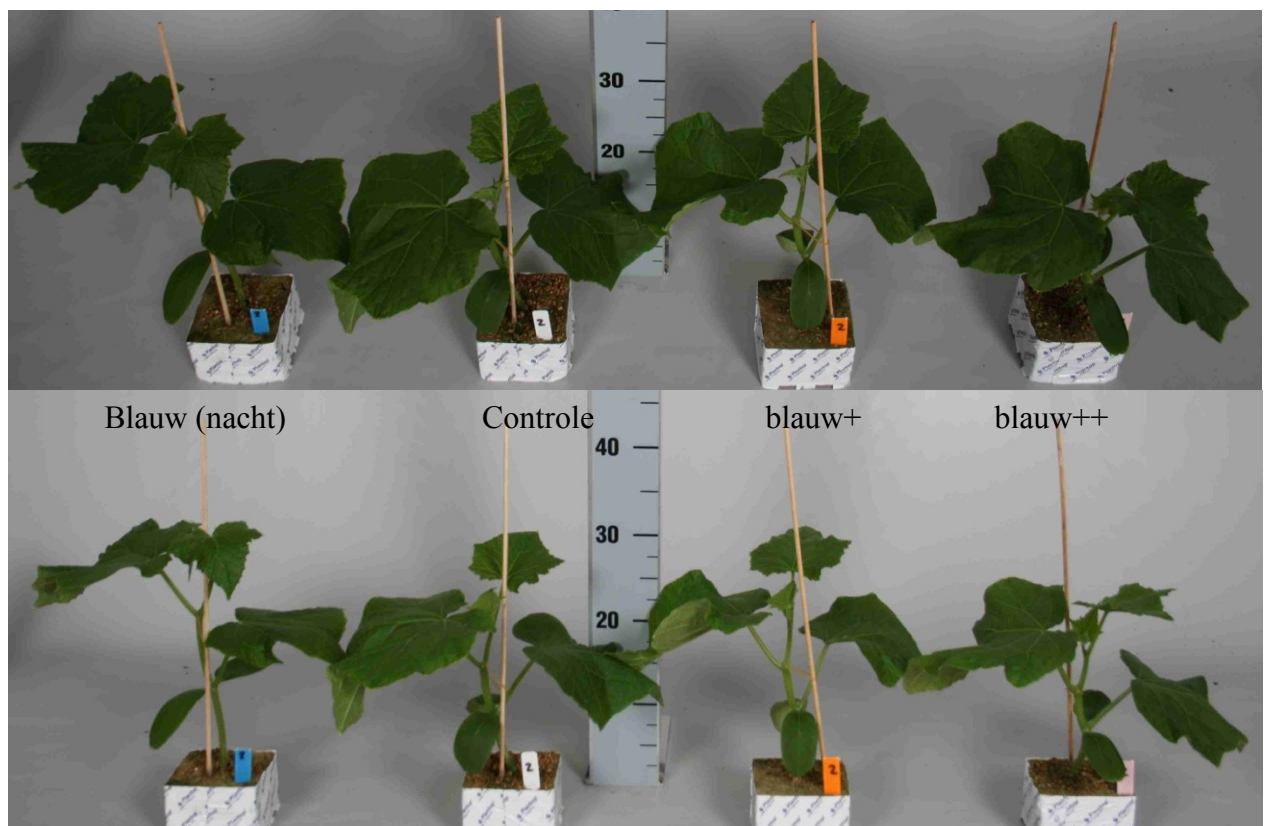


Foto 9. Reactie van de plantvorm van komkommer ‘Venice’ op bijbelichting met verschillende doses blauw licht na 15 dagen belichting. Te zien is dat de blauw-nabelichting een ‘verrood’-reactie geeft en blauw++ tot een compactere plantvorm leidt.

De oogst van komkommer ‘Venice’ werd gedaan na 16 en 20 dagen belichting. In Tabel 8 worden de resultaten weergegeven. Enkele opvallende zaken uit deze tabel waren:

- Planten opgegroeid onder blauw + en blauw ++ waren respectievelijk 4% en 11% korter, terwijl de stengel 6- 8% dikker was. Een mild compactere plantvorm dus.
- De planten waren ook 7-9% zwaarder, hetgeen verklaard wordt door een grotere bladmassa per oppervlakte blad (LMA). De bladoppervlakte en ontwikkelingssnelheid verschilde verder niet van de controle.
- De planten onder blauw(nacht) vertoonden een mild 'verrood-effect' (14% langere planten).

Tabel 8. Effect van de verschillende lichtspectra op de ontwikkeling van *komkommer 'Venice'*. De getallen zijn gemiddelden van 40 meetplanten. Verschillende letters (a, b, c, d) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; ns=geen significant verschil). Als er significante verschillen waren, dan is tussen haakjes de toe- of afname weergegeven t.o.v. SON-T.

	SON-T (controle)	SON-T & Blauw +	SON-T & Blauw ++	Blauw nabelichting
Waarnemingen oogst 24 december 2012 (16 dagen belicht)				
Versgewicht plant (g)	29.8 ^b	32.0 ^a (+7%)	32.6 ^a (+9%)	31.3 ^a (+5%)
Drogestof plant (g)	1.76 ^c	1.88 ^b (+7%)	1.97 ^a (+12%)	1.80 ^{bc}
Drogestof blad (g)	1.28 ^c	1.40 ^b (+9%)	1.47 ^a (+15%)	1.29 ^c
Drogestof stengel (g)	0.48 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.51 ^{ns}
Aantal bladeren	4.3 ^{ns}	4.3 ^{ns}	4.3 ^{ns}	4.4 ^{ns}
Bladoppervlak (cm ²)	806 ^{ns}	822 ^{ns}	836 ^{ns}	808 ^{ns}
LMA (g/m2)	15.9 ^c	17.0 ^b (+7%)	17.6 ^a (+11%)	16.0 ^c
Stengeldiameter (mm)	7.2 ^c	7.6 ^b (+6%)	7.8 ^a (+8%)	7.1 ^c
Bladsteellengte (cm)	8.2 ^{ns}	8.3 ^{ns}	8.3 ^{ns}	8.5 ^{ns}
Hypocotyllengte (cm)	6.8 ^{bc}	7.0 ^b	6.5 ^c	8.0 ^a (+17%)
Plantlengte (cm)	26.3 ^b	25.3 ^c (-4%)	23.6 ^d (-11%)	30.1 ^a (+14%)
Waarnemingen oogst 28 december 2012 (20 dagen belicht)				
Versgewicht plant (g)	56.3 ^b	-	60.7 ^a (+8%)	-
Drogestof plant (g)	3.35 ^b	-	3.64 ^a (+9%)	-
Drogestof blad (g)	2.26 ^b	-	2.50 ^a (+11%)	-
Drogestof stengel (g)	1.09 ^b	-	1.14 ^a (+5%)	-
Aantal bladeren	6.0 ^{ns}	-	6.0 ^{ns}	-
Bladoppervlak (cm ²)	1331 ^{ns}	-	1379 ^{ns}	-
LMA (g/m2)	17.0 ^b	-	18.1 ^a (+7%)	-
Stengeldiameter (mm)	7.4 ^b	-	8.1 ^a (+10%)	-
Bladsteellengte (cm)	12.1 ^{ns}	-	12.1 ^{ns}	-
Hypocotyllengte (cm)	6.6 ^a	-	6.0 ^b (-9%)	-
Plantlengte (cm)	45.1 ^a	-	41.5 ^b (-8%)	-

Wederom valt op dat slechts 4 dagen langere groei (20 i.p.v. 16 dagen) het plantgewicht bijna verdubbelt. Zie ook hoofdstuk 4.3.1 hierover.

In tegenstelling tot verrood licht resulteerde het toevoegen van blauw licht bij komkommer in een 14% hogere fotosynthese-capaciteit dan SON-T (Fig. 6). Echter, in de winter is de fotosynthese-snelheid bij de wat lagere lichtintensiteiten praktisch relevanter dan de fotosynthese-capaciteit bij een verzadigend (hoog) lichtniveau. Bij 120 en 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ was het verschil in fotosynthese-snelheid tussen SON-T (controle) en SON-T + blauw minder dan 10%. De hogere fotosynthese (Fig. 6) per oppervlakte blad kan worden verklaard doordat de bladeren dikker waren (hogere LMA; zie Tabel 8).

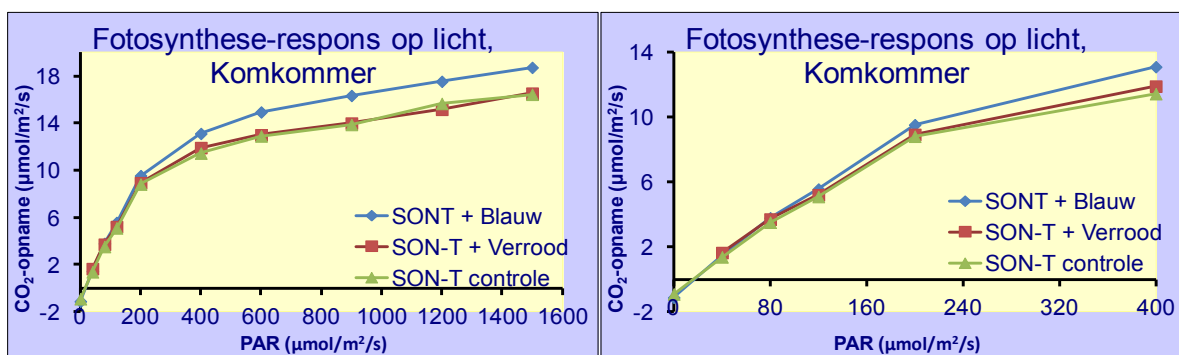


Fig. 6. Fotosynthese-lichtrespons van komkommer onder drie verschillende lichtspectra. Figuren links en rechts geven dezelfde metingen weer, maar rechts alleen voor de lichtintensiteiten die representatief zijn voor wintercondities in Nederlandse kassen.

Kort samengevat:

De planten opgegroeid onder toegevoegd blauw licht zijn iets compacter. Het feit dat deze planten ook zwaarder zijn, kan mede worden verklaard door de iets hogere fotosynthese per bladoppervlak, maar vooral ook door het feit dat er 11% (blauw+) tot 16.7% (blauw++) meer kunstlicht hing. Sturing op compacte plantvorm is dus mogelijk met toegevoegd blauw licht, maar de effecten zijn mild (11% minder lengte bij blauw++). De consequenties voor energie worden besproken in hoofdstuk 5.2.

4.5 Vervolgteelt

Komkommer 'Venice' is op 28 december 2012 uitgeplant bij Kwekerij 'De Springplank' te Dongen. De eerste vrucht is gezet op het 6^e blad, waardoor eventuele behandelingsverschillen zijn weggevallen. Visueel gezien zijn er gedurende het verdere verloop van de teelt geen negatieve of positieve verschillen tussen de planten met de verschillende behandelingsgeschiedenis tijdens de opkweek naar voren gekomen.

Komkommer 'Proloog' is op 18 januari 2013 uitgeplant bij Sulabra BV te Klazienaveen om de uitgroei te vervolgen. Dit betrof planten uit de 7 behandelingen als in Tabel 1 plus de 3 behandelingen met de drie dagen jongere planten uit de verrood-behandelingen. In de kas-afdeling was een vast plastic opgehangen om de RV te verhogen om zo de LAI-ontwikkeling te versnellen. Dit plastic is na ongeveer vier weken weer verwijderd. Tijdens een bezoek op 11 februari 2013 zijn er nog enkele zaken gemeten, deze staan in Bijlage 1.



Foto 10. Vervolgteelt van Komkommer 'Proloog' bij Sulabra B.V in Klazienaveen. De eerste weken van de teelt was er een plastic scherm aanwezig om de bladontwikkeling via een hogere RV te bevorderen.

Observaties en opmerkingen van de teler:

- De behandelingen VR++ en VR+ moesten door langere lengte direct aan het touw worden gezet.
- Vooral VR++ loopt voor ten opzichte van de rest in de kas
- Blauw+: enkele met verdikking in de toenmalige kop (± 50 cm vanaf steenwolblok). Deze planten zijn 'even' apicale dominantie kwijt geweest. Waarschijnlijk door te weinig Calcium (lijkt op broeikop).
- Jong verrood (NB Verrood++/verrood+ en verrood nabelichting hadden alle drie hetzelfde etiket, dus geen onderscheid!): planten stonden hoger op de poot dan de iets oudere planten.
- Bij deze jongere planten was soms de onderste vrucht uitgebroken, terwijl dit niet de bedoeling was ('scholier-effect').

- Eerste vruchtje zit meestal in 6^e of 7^e oksel. Geen onderscheid tussen de behandelingen.
- Door het extra (plastic) scherm en deze tijd (winter) ontstaan lokaal warmtebellen in de kas waardoor drie dagen verschil in ontwikkelingsstadium zomaar kan ontstaan.
- Visuele beoordeling bij eerste oogst (26 februari): Alle behandelingen hebben hun 1^e komkommer gegeven. De grootte van de tweede vrucht is nagenoeg gelijk. Met andere woorden: Ondanks de eerdere verschillen in gewasontwikkeling, lijkt er nu nauwelijks of geen verschil meer in ontwikkeling.
- Wat betreft de planten met een 3 dagen latere zaaidatum is het lastig om een goede conclusie te trekken vanwege het feit dat alle drie de verrood behandelingen eenzelfde etiket hadden. De algehele indruk was dat deze korter opgekweekte planten iets achter liepen op de rest, echter, het grootste deel van de planten kwam uit de behandeling verrood nabelichting, welke ook na opkweek al het meest achter liepen (Tabel 7).

Samenvattend kan de conclusie getrokken dat er nagenoeg geen verschillen waren gedurende de vervolgteelt.

5 Sturing op plantvorm in relatie tot energieverbruik

In onderstaand hoofdstuk wordt het energieverbruik met betrekking tot de twee hoofddoelstellingen uitgewerkt:

- Versnelde opkweek met verrood licht toegevoegd aan SON-T belichting.
- Sturing op compacte planten met toegevoegd blauw licht.

5.1 Versnelde opkweek op basis van SON-T + Verrood

Uit de uren belichting (energie voor belichting) en de stookkosten (energie voor warmte) is berekend wat het aandeel aan energie voor belichting is gedurende de proefperiode. Uit fig. 7 blijkt dat gedurende de proefperiode (donkerste deel van het jaar) het aandeel energie voor belichting bij komkommer rond de 28% lag en bij paprika maar 16%. Gemiddeld over het hele belichtingsseizoen daalt het aandeel energie voor elektriciteit voor komkommer tot zo'n 16% (Hogewoning et al. 2012a). Teeltduurverkorting geeft dus in potentie een forse energiebesparing aan vooral de stookkosten.

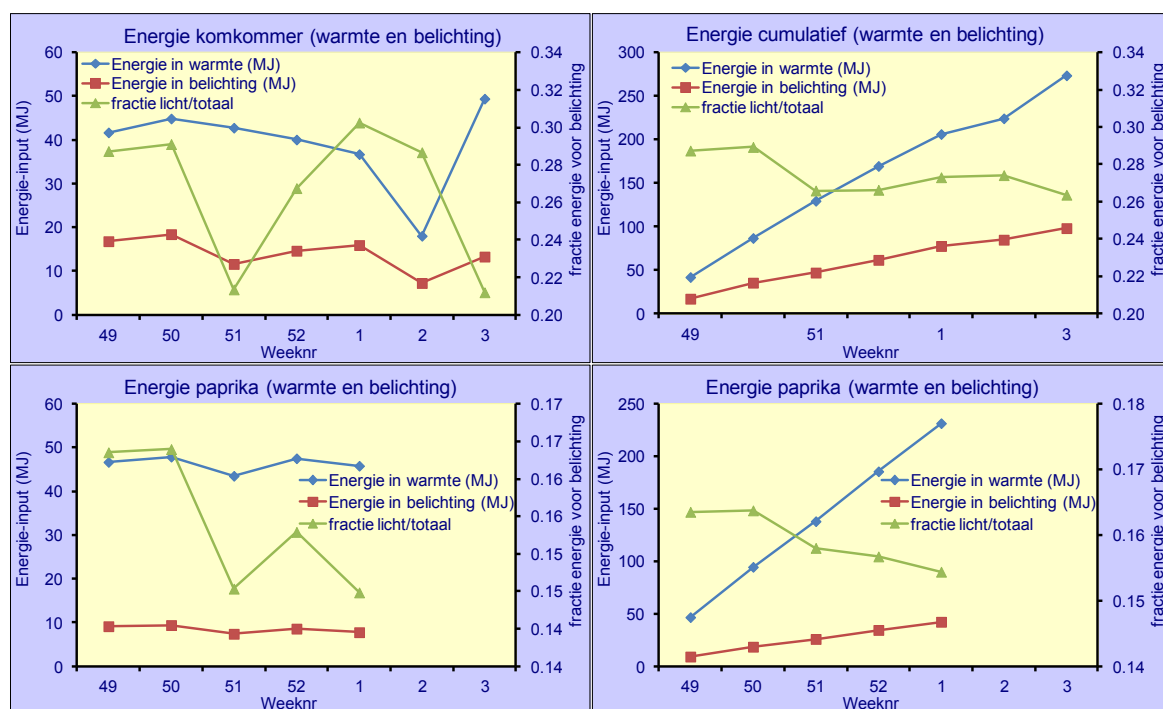


Fig. 7. Energieverbruik per week (links) en cumulatief energieverbruik (rechts) voor belichting en warmte gedurende de winter '12/'13 voor komkommer en paprika bij Plantenkwekerij van der Lugt.

Uit de proef is gebleken dat bij komkommer een teeltduurverkorting van 2 - 3 dagen haalbaar lijkt te zijn, wat overeen komt met een 12.5% tot 16.7% kortere teelt. Ook is gebleken dat bij komkommer een hogere dosis verrood (verrood++) geen toevoegde waarde heeft ten opzichte van de mildere dosis (verrood+). Om teeltduurverkorting na te streven, lijkt een fytochroombalans (PSS) van 0.782 (Tabel 1) dus voldoende te zijn.

In Tabel 9 is voor drie scenario's berekend wat de toename in elektriciteit is bij SON-T-systemen waarbij er een PSS van 0.782 nagestreefd wordt. Het spectrum van de SON-T 1000W (generatie van voor 2012) is bijna gelijk aan dat van de 600W SON-T. Echter, de nieuwste generatie 1000W SON-T (vanaf 2012) verschilt behoorlijk in spectrum en is ook een stuk efficiënter. De PSS van dit lampspectrum is veel lager: 0.82 in plaats van 0.86, dit betekent dat er minder verrood nodig is om de gewenste PSS te bereiken.

Tabel 9. Vergelijking elektraverbruik door toevoeging verrood aan een bestaand 600W systeem (situatie bij van der Lugt tijdens proef), een 1000W SON-T systeem van voor 2012 of het nieuwste 1000W SON-T systeem. Het toegevoegde verrood resulteert in eenzelfde PSS.

	$\mu\text{mol/Joule}$ (systeem efficiëntie incl. reflectorverlies)	Intensiteit ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$)	Elektriciteit (Watt/ m^2)	% extra elektra t.o.v. SON- T	PSS
SON-T 600W					
SON-T 600W	1.56	75	48.1	100%	0.858
Verrood	1.33*	10	7.5	15.6%	0.167
SON+verrood		75 (PAR)	55.6	115.6%	0.782
SON-T 1000W (oud spectrum, generatie van voor 2012)					
SON-T 1000W	1.75	75	42.9	100%	0.861
Verrood	1.33*	10	7.5	17.5%	0.167
SON+verrood		75 (PAR)	50.4	117.5%	0.782
SON-T 1000 Watt (nieuw spectrum, generatie vanaf 2012)					
SON-T 1000W	1.85	75	40.5	100%	0.821
Verrood	1.33*	7.4	5.6	13.7%	0.167
SON-T+verrood		75 (PAR)	46.1	113.7%	0.782

*Lemnis retrofit verrood, 16 $\mu\text{mol/s}$, 12 Watt verbruik.

In de situatie zoals tijdens de proef bij van der Lugt (600W SON-T systeem) is de toename in elektriciteitskosten per branduur door het toevoegen van verrood licht rond de 15% (Tabel 9). Deze verliespost aan elektriciteit wordt gecompenseerd doordat het aantal branduren korter wordt, vanwege de teeltduurverkortening (12.5%-16.7%). De winst in teeltduurverkortening heeft dus alleen een besparend effect op het aandeel energie in de stookkosten. Dit aandeel ligt gedurende het gehele belichtingsseizoen op >80% (Hogewoning et al 2012a). Bij een teeltduurverkortening van 12.5%-16.7% kan er dus een totale energiebesparing van 10%-13.4% ($0.8 \times 12.5\text{-}16.7$) worden gerealiseerd.

Verder is in Tabel 9 te zien dat de toename in elektriciteitsverbruik door het toevoegen van dezelfde benodigde hoeveelheid verrood iets hoger ligt in combinatie met een 1000W SON-T systeem van voor 2012. Dit komt doordat de efficiëntie van deze SON-T lampen hoger is dan de oudere 600W lampen, waardoor het relatieve aandeel in het verbruik door eenzelfde hoeveelheid verrood toeneemt.

Bij een nieuwe 1000W SON-T systeem is een kwart minder verrood nodig om eenzelfde PSS te bereiken. Daarentegen is dit SON-T systeem nog efficiënter (1.85 $\mu\text{mol/Joule}$). Uiteindelijk komt het extra verbruik per branduur door toevoeging verrood iets lager uit dan in de bestaande situatie bij van der Lugt ten tijde van de proef. Uiteindelijk zal de totale potentiële energiebesparing 10%-13.4% door teeltduurverkortening met verrood niet veel toenemen in combinatie met nieuwe 1000W SON-T lampen. Wel is de kwart minder benodigd verrood aantrekkelijk vanwege de lagere benodigde investering.

5.2 Sturing op compacte plantvorm

De resultaten uit hoofdstuk 4.4 laten zien dat het mogelijk is om met blauw stuurlicht compactere planten te kweken. Ook is er een klein voordeel op de bladfotosynthese. Het is echter bekend dat een hogere lichtintensiteit ook gunstig is om planten compact te houden. Hierdoor kan de vraag gesteld worden of hetzelfde resultaat wat nu bereikt is met blauw licht ook niet verkregen kan worden door middel van het verhogen van de lichtintensiteit SON-T. Blauw stuurlicht heeft namelijk een lagere energetische efficiëntie per μmol dan SON-T lampen. In Tabel 10 staat een vergelijking wat het op energiebasis kost om blauw licht toe te voegen en hoeveel extra SON-T hier tegenover staat.

Uit Tabel 10 blijkt dat de toevoeging van blauw stuurlicht bij een bestaand 600W SON-T systeem nauwelijks meer energie kost dan eenzelfde hoeveelheid μmol aan extra SON-T. Echter, bij de nieuwste 1000W SON-T systemen kan tegen eenzelfde elektriciteitsverbruik 30% meer μmol SON-T worden toegevoegd dan de hoeveelheid μmol aan blauw licht. Dit zou veel minder investeringen vergen. Het is niet bekend of eenzelfde mate van sturing op compactheid als bereikt is met blauw stuurlicht, ook bereikt kan worden met toevoeging van een iets hogere dosis SON-T.

Tabel 10. Vergelijking energiekosten voor toevoeging blauw aan een bestaand 600W of 1000W of nieuw 1000W SON-T systeem.

	$\mu\text{mol/watt}$ (systeem efficiëntie incl. reflectorverlies)	Intensiteit PAR ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$)	Elektriciteit (Watt/ m^2)	% extra elektra t.o.v. SON
SON-T 600W				
SON-T 600W	1.56	75	48.1	100%
Blauw	1.43*	12.5	8.7	18%
SON-T+blauw		87.5	56.8	118%
Extra SON-T ipv blauw	1.56	87.5	56.1	117%
SON-T 1000W (nieuw spectrum, generatie vanaf 2012)				
SON-T 1000 W	1.85	75	40.5	100%
Blauw	1.43*	12.5	8.7	22%
SON-T+blauw		87.5	49.3	122%
Extra SON-T ipv blauw	1.85	87.5	47.3	117%

* *Lemnis retrofit blauw: 20 $\mu\text{mol/s}$, 14 Watt verbruik.*

6 Algemene discussie en conclusies

6.1 Versnelde opkweek voor komkommer en paprika?

Paprika

Toegevoegd verrood had een positief effect op de stengelstrekking bij paprika maar versnelde de teelt nauwelijks. Mogelijk komt dit doordat bij paprika het aandeel belichting ($37.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ i.p.v. $75 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ten opzichte van de totale PARsom (daglicht+ lamplicht) te laag is om duidelijke effecten te vinden.

De oorzaak dat paprika maar met de helft van de intensiteit belicht wordt is volgens telers dat paprika onder SON-T belichting moeilijk strekt ('moeilijk van de grond komt'). Verrood kan hier een oplossing voor bieden (tot 32% meer strekking gemeten; zie Tabel 3). Uit hoofdstuk 5.1 blijkt dat het aandeel stookkosten in de energiebehoefte gedurende de opkweek zeer groot is (~85% in de donkerste tijd van het jaar en >90% over het gehele belichtingsseizoen). Als dus de teeltduur aanzienlijk verkort zou kunnen worden door de lichtintensiteit te verdubbelen en aan te vullen met verrood stuurlicht, kan er fors bespaard worden op de stookkosten. Het potentiële voordeel is nog groter als er een overschot aan elektriciteit geproduceerd wordt door de WKK. Immers, de lampen produceren ook warmte. Dit is een concrete kans tot energiebesparing die mogelijk ook nog resulteert in een betere productkwaliteit.

Komkommer

Onder invloed van verrood licht kan de opkweek met twee dagen worden verkort bij een makkelijk strekkend ras als 'Venice' (12.5% energiebesparing op gas). Bij het moeilijker strekkende ras 'Proloog' was de teeltduurverkorting drie dagen (16.7% energiebesparing op gas). Deze versnelde opkweek kon worden verklaard door een versnelde ontwikkeling van het bladoppervlak en een gunstigere plantopbouw voor lichtonderschepping. De fotosynthese per oppervlakte blad verschilde niet. Dit is in lijn met voorgaande onderzoeken naar mogelijkheden voor versnelde opkweek (Hogewoning et al. 2010a & 2012a).

Van de twee verschillende intensiteiten verrood overdag bleek de hogere dosis geen toegevoegde waarde te geven ten opzichte van de lagere dosis. Een hogere dosis gaf geen verdere voorsprong in ontwikkeling, maar leidde wel tot meer strekking (zie o.a. Tabel 4). Meer strekking is niet wenselijk. Blijkbaar hoeft de fytochroombalans uitgedrukt als PSS-waarde niet lager te zijn dan 0.78. Dit is gunstig wat betreft mogelijkheden voor toepassing (minder energieverbruik en lagere investeringen). Verrood in combinatie met de nieuwste generatie 1000W SON-T lampen vergt nog eens een kwart minder verrood vergeleken met oudere SON-T lampen. Dit vanwege de iets andere spectrale samenstelling van de nieuwe SON-T lampen.

Nabelichten met verrood of blauw licht had alleen een positieve invloed op de stengelstrekking en niet of nauwelijks op andere organen (bladoppervlakte en bladsteel). Het blijkt dus dat de PSS op de verschillende plantorganen (hypocotyl, internodiën, bladsteel en bladschijf) een andere, tijdsafhankelijke invloed heeft.

Versnelde opkweek met verrood licht gaat te allen tijde gepaard met een langere, meer open plant. Het onderzoek bij de telers liet zien dat een meer open plantvorm geen nadelen oplevert bij de vervolgteelt. Logistiek gezien kan een minder compacte plantvorm wellicht wel nadelig zijn. Inpassing van verrood licht bij opkweekbedrijven hangt uiteindelijk af van de wensen van de klant over de plantvorm en eigenschappen. Voor moeizaam strekkende gewassen en rassen zal verrood een aantrekkelijker stuurmiddel zijn dan voor makkelijk strekkende rassen.

6.2 Compacte plantvorm komkommer onder blauw licht.

De planten opgegroeid onder de hoogste dosis toegevoegd blauw licht waren 11% korter en hadden een algeheel compactere plantvorm. De lagere dosis had een kleiner effect op de compactheid. De hoeveelheid blauw licht was 16.7% van de totale intensiteit belichting. Omdat blauw licht per μmol meer energie kost dan licht van de nieuwste generatie SON-T lampen, kan met eenzelfde energie-input ook een groter aantal μmol en SON-T worden toegevoegd. Het is bekend dat een hogere lichtintensiteit SON-T ook voor meer compactheid zorgt. Meer SON-T vergt in ieder geval minder investeringen dan toevoeging van blauw licht.

Het is nog niet bekend hoeveel meer SON-T licht nodig is om eenzelfde of groter effect op compactheid te verkrijgen dan met de toegevoegde $12.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ blauw licht in de proef. Het antwoord op deze vraag bepaalt wat energetisch het meest gunstige stuurmiddel is op compactheid.

6.3 Sturen op zowel compactheid als strekking met dezelfde lamp?

Dit onderzoek laat zien dat toegevoegd blauw licht overdag tot een compactere plantvorm leidt. Daarentegen bevordert blauw licht 's nachts juist de stengelstrekking. Een vergelijkbaar effect als verrood nabelichting dus, zij het in mildere mate. Dit is volledig in overeenstemming met de gedachte achter het PSS-model die als hypothese aan dit onderzoek ten grondslag ligt.

Een blauwe lichtbron lijkt dus de ideale kandidaat om met slechts één stuurlichtbron 'gas te kunnen geven' en 'te kunnen remmen'. Echter, de bandbreedte van de reactie (van -11 tot +14% lengteverschil) is naar verwachting te beperkt om hiervoor investeringen te doen. Daarnaast is alleen strekking niet per sé wenselijk als dat niet gepaard gaat met een snellere plantontwikkeling, zoals wel aangetoond met verrood licht overdag. Mogelijk geeft een hogere dosis blauw nabelichting dan de gebruikte $4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ wel een voldoende groot effect.

6.4 De fytochroombalans als sleutelfactor om plantvorm te sturen

In dit onderzoek werd de wetenschappelijke hypothese getoetst of het PSS model geschikt is als voorspeller voor de plantvorm, zodat vooraf berekend kan worden wat het effect van verschillende verhoudingen lichtbronnen zal zijn. In de lijn van dit onderzoek: Levert een

mix van LED rood/blauw plus een hoge dosis verrood dezelfde plantvorm op als een mix van SON-T plus een veel lagere dosis verrood? Daarbij in beide gevallen sturend op een verlaagde PSS-waarde, terwijl het energieverbruik in het laatste geval veel lager is. Uit foto 10 blijkt dat inderdaad het geval te zijn.

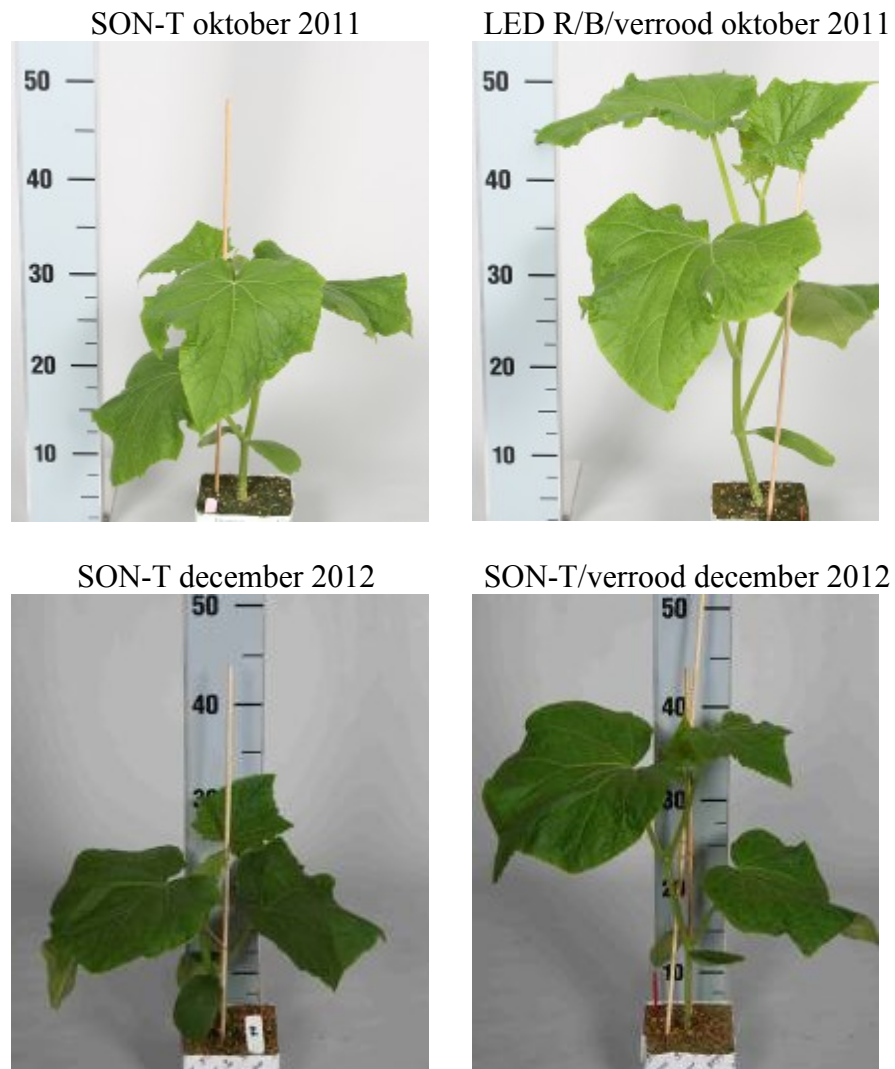


Foto 11. Vergelijk effect plantvorm onder mix van LED rood/blauw plus een hoge dosis verrood ('11) en onder een mix van SON-T plus een veel lagere dosis verrood t.o.v. SON-T referentie. In beide behandelingen met verrood is gestuurd op een lagere PSS.

Concluderend kan gesteld worden dat de fytochroombalans een sleutelfactor is om de plantvorm te beïnvloeden. De modelmatig berekende PSS-waarde voor de verschillende lichtspectra blijkt een goede voorspeller te zijn voor de plantvorm. De balans met de overige golflengten binnen het PAR-gebied (met uitzondering van blauw licht) doet dus voor de plantvorm nauwelijks ter zake. De gecombineerde benutting van belichting als assimilatie- en als stuurlicht biedt nieuwe mogelijkheden voor belichting in de glastuinbouw.

6.5 Samenvattende conclusies

- Bij Paprika is het effect van verrood op versnelde ontwikkeling tijdens de opkweek minimaal. Wel neemt de lengtegroei tot 32% toe.
- Het verrood-effect op lengtegroei biedt bij paprika mogelijkheden om de belichtingsinstallatie volledig in zetten ($75 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) in plaats van op halve kracht ($37.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Mogelijk kan zo een betere plantkwaliteit en een teeltversnelling en daarmee een energiebesparing gerealiseerd worden.
- Omdat het energie-aandeel voor warmte veel groter is dan voor belichting, kan zelfs met een hogere intensiteit belichting fors op energie bespaard worden bij een versnelde opkweek. Dit geldt nog sterker bij een overschot aan elektriciteit uit de WKK (lampen geven immers warmte).
- Bij Komkommer resulteert toegevoegd verrood in een versnelde opkweek van 12.5% en 16.7% voor respectievelijk 'Venice' en 'Proloog'.
- De oorzaak van de spectrale effecten op snellere groei is niet een verhoogde fotosynthese per oppervlakte blad, maar een plantvorm die efficiënter is in het onderscheppen van licht. Daarom is vooral bij gewassen met een open structuur voordeel te halen uit dit type belichtingsstrategie.
- De planten opgegroeid onder SON-T + verrood (onderzoek '12/'13) vertoonden een vergelijkbare plantopbouw met de planten opgegroeid onder LED rood/blauw/verrood (onderzoek '11/'12). De combinatie SON-T + verrood kost veel minder energie, omdat de gewenste fytochroombalans met minder verrood bereikt kan worden.
- De fytochroombalans, getalsmatig uitgedrukt als PSS-waarde, is de sleutelfactor voor de spectrale effecten op een snellere groei.
- Versnelde opkweek gaat gepaard met een 'openere' plantvorm.
- Wens van de klant in plantvorm is cruciaal voor implementatie van versnelde opkweek door toepassing verrood licht in de praktijk. Dit nieuwe belichtingsconcept zal interessanter zijn voor moeizaam strekkende gewassen dan voor makkelijk strekkende gewassen/rassen.
- Het compacter houden van planten door middel van het toevoegen van blauw licht aan SON-T is mogelijk. Het is nog onduidelijk in welke mate een hogere intensiteit SON-T dezelfde effecten kan geven. Als hiervoor niet heel veel meer μmol en SON-T nodig zijn dan de gebruikte μmol en blauw, dan is het waarschijnlijk energetisch efficiënter om een compacte plant te kweken met meer SON-T licht dan met toegevoegd blauw licht.
- De grote verschillen in plantvorm van het uitgangsmateriaal leiden niet tot opvallende verschillen in uitgroei en productie bij de komkommerteler. Versnelde opkweek biedt opkweekbedrijven dus voordelen, terwijl de gevolgen voor de vruchtgroentekweker neutraal zijn.

Referenties

- Ahmad M, Grancher N, Heil M, Black RC, Giovani B, Galland P, Lardemer D. 2002. Action spectrum for cryptochrome-dependent hypocotyl growth inhibition in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 129: 774-785.
- Dubois PG, Olsefski GT, Flint-Garcia S, Setter TL, Hoekenga OA, Brutnell TP. 2010. Physiological and genetic characterization of end-of-day far-red light response in maize seedlings. *Plant Physiology*, 154: 173-186.
- Fankhauser C, Casal JJ. 2004. Phenotypic characterization of a photomorphogenic mutant. *Plant Journal* 39: 747-760
- Hogewoning, S.W. 2010. On the photosynthetic and developmental responses of leaves to the spectral composition of light. *Proefschrift*, Wageningen UR, Wageningen, Nederland.
- Hogewoning, S.W. 2013. Groeilicht versus stuurlicht. *Glastuinbouwtechniek Magazine (GTT)*, maart 2013, 8-10.
- Hogewoning SW, Douwstra P, Trouwborst G, van Ieperen W, Harbinson J. 2010a. An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra. *Journal of Experimental Botany*, 61: 1267-1276.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Maljaars H, Poorter H, van Ieperen W, Harbinson J. 2010b. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, 61: 3107-3117.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Pot CS. 2012a. Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen: Focus op productie en vervolgteelt van uitgangsmateriaal. *Plant Lighting*, Utrecht. 39p.
- Hogewoning SW, Wientjes E, Douwstra P, Trouwborst G, van Ieperen W, Croce R, Harbinson J. 2012b. Photosynthetic quantum yield dynamics: From photosystems to leaves. *The Plant Cell*, 24: 1921-1935.
- Keuskamp DH, Sasidharan R, Pierik R. 2010. Physiological regulation and functional significance of shade avoidance responses to neighbors. *Plant signaling & behavior*, 5: 655-662.
- Inada K. 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant and Cell Physiology*, 17: 355-365.
- Lund JB, Korner O, Aaslyng JM, Blom TJ. 2008. Stem elongation of Chrysanthemum in response to end-of-day light treatments and photoperiod. In: Criley RA, Lee JS eds. *Proceedings of the International Symposium on Ornamentals, Now!*
- Matsuda R, Ohashi-Kaneko K, Fujiwara K, Goto E, Kurata K. 2004. Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light. *Plant And Cell Physiology*, 45: 1870-1874.
- McCree KJ. 1972. Action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9: 191-216.
- Pot CS, Trouwborst G. 2011. LED-tussenbelichting bij Roos: Praktijkonderzoek bij Van den Berg Roses. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 24.
- Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM. 2010a. Haalbaarheid van LED-tussenbelichting bij roos: Praktijkonderzoek op Marjoland. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 35.

- Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM. 2010b. Spectraal effect van LED tussenbelichting op scheutuitloop van roos in de zomer. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 16p.
- Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM. 2012. Knopuitloop bij roos: effecten van stuurlicht en temperatuur. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 33.
- van Ieperen W, Heuvelink E. 2012. *Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie*. Leerstoelgroep Tuinbouwketens, Wageningen University, 36p.
- van Ieperen W, Hogewoning SW, Meinen E. 2012. *Groeilicht met zonlichtlampen*. Leerstoelgroep Tuinbouwketens, Wageningen University, 30p.
- Whitelam G, Halliday K. 2007. *Light and plant development*, Oxford, Blackwell Publishing.

Bijlage 1. Vervolgteelt bij Sulabra

Tijdens bezoek op 11 februari 2013 was van een gedeelte van de planten de kop er al uitgehaald, dus een directe vergelijking in plantlengte was niet meer te maken. Ook was er een 'padeffect' aanwezig waarbij de planten dichtbij het hoofdpad langer waren.

Bij één goot waren de behandelingen om en om met controleplanten op de goot gezet zodat de linkerkant van het V-systeem controle-planten waren en de rechterkant de opeenvolgende behandelingen. Bij deze planten is om een indruk te geven van de lengteverschillen tussen de behandelingen en de controle-planten, de lengte gemeten als verschil tussen links (controle en rechts (behandeling) in de V. De drie dagen jongere planten van onder het verrood hadden een gelijke ontwikkeling als planten die er direct naast staan. Dit staat weergegeven in Tabel 1.

De behandelingen met verrood hadden iets langere en dikkere vruchten (Tabel 2).

Tabel 1. Verschil in lengte tussen behandeling en controle (data 11 februari; 3.5 week na planten)

Behandeling (in volgorde vanaf hoofdpad)	Vershil lengte t.o.v. direct naastliggende controle-planten
verrood laag	Beide net getopt en 0-2 cm uitlopers
verrood hoog	12 cm uitlopers vergeleken met 0-2 cm uitlopers
blauw hoog	Net getopt versus ongetopte controle
blauw laag	Beide ongetopt en gelijke lengte
blauw nabelicht	Beide ongetopt en gelijke lengte
jong verrood	Beide ongetopt en gelijke lengte
verrood nabelichting	Beide ongetopt en 11 cm langer

Tabel 2. Lengte en dikte 1^e vrucht (data 11 februari; 3.5 week na planten)

Behandeling	Lengte (cm)	Dikte (mm)
Controle (positie t.h.v. blauw hoog)	9.6	11.8
verrood laag	11.1	12.5
verrood hoog	11.6	13.9
blauw hoog	9.7	11.5
blauw laag	9.0	11.0
blauw nabelicht	8.3	10.7
jong verrood	8.3	10.3
verrood nabelichting	10.4	13
Controle (positie t.h.v. jong verrood)	7.4	8.5