Diffuus licht en lightspectrum in relatie tot bestuiving, zetting en insecten bij tomaat

Litratuuronderzoek in opdracht van Koppert Biological Systems

Jan Janse

Rapport WPR-702

Referaat

In opdracht van Koppert Biological Systems is een deskstudie uitgevoerd naar effecten van diffuse kasdekken en kasbedekkingsmaterialen met een verschillend lichtspectrum op bestuiving en zetting bij tomaat. De informatie hierover in de literatuur bleek beperkt.

Onder diffuus glas neemt de productie toe door grovere en soms meer vruchten, maar het is onbekend of dit mede veroorzaakt wordt door een betere zetting. Rode en parelmoeren netten boven het gewas bevorderen de productie. Gele en parelmoeren netten reduceren de virusaantasting door respectievelijk minder activiteit en afstoting van de schadelijke insecten. Een hogere lichtabsorptie van UV-licht verhoogt de bescherming tegen schadelijke insecten, maar kan wel het zoekgedrag van predatoren en hommels verminderen.

Abstract

On behalf of Koppert Biological Systems, a desk study has been carried out on effects of diffuse greenhouse coverings and coverings with a different light spectrum on pollination and seed setting in tomatoes. The information in the literature was found to be limited.

Under diffuse glass, production increases by bigger and sometimes more fruits, but it is unknown whether this is partly due to a better seed setting. Red and pearl netting above the crop does increase production. Yellow and pearl nets reduce the virus attack by less activity and rejection of harmful insects. Higher UV-light absorption increases the protection against harmful insects, but may reduce the search behavior of predators and bumblebees.

Rapportgegevens

Rapport WPR-702

Projectnummer: 3742238300

DOI nummer: <https://doi.org/10.18174/424934>

Disclaimer

© 2017 Wageningen Plant Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wur.nl/plant-research. Wageningen Plant Research.

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Diffuus licht	9
	2.1 Direct en diffuus licht	9
	2.2 Haze en F-scatter	10
	2.3 Lichttransmissie	10
	2.4 Diffuus glas	10
	2.5 Diffuus plastic film	11
	2.6 Diffuse coating	11
	2.7 Diffuse schermen	11
	2.8 Krijten	11
3	Effecten van diffuus licht op het gewas	13
	3.1 Lichtdoordringing in het gewas	13
	3.2 Fotosynthese-efficiëntie	13
	3.3 Lichtverdeling	14
	3.4 Planttemperatuur	14
	3.5 Foto-inhibitie	15
	3.6 Productie onder een diffuus kasdek	16
	3.7 Diffuse coating, krijten en schermen	17
4	Invloeden van het lightspectrum	19
	4.1 Foto-selectieve kasbedekking	19
	4.1.1 Foto-selectieve netten en productie	19
	4.1.2 Foto-selectieve netten en schadelijke insecten	21
	4.1.3 NIR reflectie	21
	4.1.3.1 Hoge temperaturen en bestuiving door hommels	22
	4.1.4 UV-straling	22
	4.1.4.1 UV en schadelijke insecten	22
	4.1.4.2 UV en predatoren	22
	4.1.4.3 UV en hommels	23
	4.1.4.4 UV en plantgroei en productie	23
	Literatuur	25

Samenvatting

Bij nieuwbouw kiezen steeds meer tomatentelers in Nederland en ook het buitenland voor diffuus glas. In een literatuurstudie is nagegaan welk effect een diffuus kasdek of een kasdek met een afwijkend lichtspectrum heeft op bestuiving en zetting bij tomaat. Tevens is informatie verzameld over de invloed van het lichtspectrum op insecten en hommels. De deskstudie is uitgevoerd in opdracht van Koppert Biological Systems. Helaas was de hoeveelheid gevonden informatie met betrekking tot het onderwerp beperkt.

Lichtverstrooiing

De mate van diffusiteit of lichtverstrooiing wordt wel uitgedrukt in haze of F-scatter. Het aandeel van diffuus licht van de totale straling is sterk afhankelijk van het gebied waar wordt geteeld en de periode van het jaar. In een gematigd klimaat is een hoge lichtdoorlatendheid van het kasdek belangrijk i.v.m. de productie. Direct licht kan diffuus gemaakt worden door middel van diffuus glas, plastic film, beweegbaar scherm of het aanbrengen van een coating op het dek. Vooral in een mediterraan klimaat worden kassen gekrijt om de warmtestraling buiten de kas te houden en het licht diffuus te maken.

Positieve effecten van diffuus licht

Diffuus licht dringt dieper door in het gewas, geeft een betere horizontale lichtverdeling, verhoogt de fotosynthese, verlaagt bij hoge instraling de koptemperatuur en daarmee ook de kans op foto-inhibitie. Bij tomaat kan er met diffuus glas een productieverhoging tot zo'n 10% worden gerealiseerd, mits de lichttransmissie van het kasdek op hetzelfde niveau blijft. De vruchten worden duidelijk grover, maar soms worden er ook meer vruchten geoogst, wat het gevolg kan zijn van meer gezette vruchten door een betere bloemkwaliteit. Of ook het aantal zaden per vrucht toeneemt onder diffuus glas, is onbekend.

Lichtspectrum

De globale straling door het glasdek kan worden verdeeld in ultraviolette straling (UV), fotosynthetisch actieve straling (PAR) en nabij-infrarood (NIR). De UV-straling kan weer verdeeld worden in drie bandbreedtes, namelijk UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm) en UV-C (100-280 nm). PAR-straling valt binnen de golflengte van 400-700 nm, nabij-infrarood tussen 800 en 2500 nm.

Het lightspectrum in de kas kan worden veranderd met plastic films, schermen en gaas of netten. De kleur van het materiaal beïnvloedt de spectrale lichtdoordringing door de complementaire kleur te absorberen.

Foto-selectieve kasbedekkingsmaterialen

In Israëlisch onderzoek met verschillende kleuren netten, gaven rode en parelmoeren netten een hogere productie bij tomaat dan zwarte en blauwe netten. Dit komt waarschijnlijk door een betere bloemkwaliteit en zetting, betere vruchtuigroei en lagere temperatuur bij veel licht in vergelijking met de gebruikelijke zwarte netten.

Invloed foto-selectieve materialen op ziekten en plagen

Gele en parelmoeren netten reduceren virusaantastingen met wel een factor 2 à 10 t.o.v. rode en zwarte netten. Door lichtreflectie stoten parelmoeren netten insecten af en bij gele netten blijven insecten langere tijd op de netten zitten, waardoor ze het virus minder aan de planten doorgeven.

Insecten gebruiken lichtsignalen om hun prooi of waardplant te vinden. Er is een positief verband tussen de mate van UV-absorptie in het kasdek en bescherming tegen insecten zoals wittevlieg, trips en luis. Beperking van UV in de kas kan echter ook negatief uitwerken op het zoekgedrag van nuttige insecten, zoals predatoren en hommels. Bij hommels nemen de bestuivingsactiviteiten vooral af bij temperaturen boven de 30°C.

1 Inleiding

In Nederland is er de laatste 15 jaar steeds meer aandacht gekomen voor het effect van diffuus of verstrooid licht op de productie en kwaliteit van glasgroenten. Het in 2004 uitgekomen rapport van Hemming *et al.* (2004) heeft hieraan zeker bijgedragen. Licht kan diffuus gemaakt worden door diffuus glas of plastic film te gebruiken, een diffuus scherm (gedeeltelijk) te sluiten of in de lichtrijke periode van het seizoen diffuse coating op het glas aan te brengen. In warmere gebieden worden bij plastic of glazen kassen vaak krijtmiddelen of modder op de kassen aangebracht om het licht en daarmee de temperatuur in de kassen te verminderen. Nederlandse tomatentelers en ook buitenlandse telers kiezen momenteel bij nieuwbouw in de meeste gevallen voor diffuus glas met een bepaalde diffusiteit.

Op verzoek van Koppert Biological Systems heeft Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw, een literatuurstudie uitgevoerd naar de effecten van het diffuus maken van de kasbedekking bij tomaat. Getracht is in de literatuur informatie te verzamelen over effecten van diffuus licht op lichttransmissie en -verdeling, (kop)temperatuur en bestuiving en vruchtzetting van tomaten. Daarnaast is ook enige informatie verzameld over de beïnvloeding van het lichtspectrum via kasdekmaterialen en coatings in relatie tot het gewas, de hommellactiviteit en het optreden van ziekten en plagen.

Via de Bibliotheek van Wageningen University & Research is gezocht naar literatuur over het onderwerp in de volgende databestanden:

- Staff publications.
- Library Catalogue.
- Groenekennis.
- CAB Abstracts.

Tijdens het zoekproces zijn verschillende (combinaties van) zoektermen gebruikt. Steeds zijn zoektermen gecombineerd met tomaat:

- Greenhouse.
- Diffuse light – diffuus – diffuse film.
- Reduced light – light reduction – light intensity – shade – shading – white wash.
- Bombus terrestris - bumble bee – hommelt – fruit set – (pollination).

Gezocht is naar literatuur van de afgelopen 20 jaar.

Verder is gebruik gemaakt van gegevens uit eigen archief met betrekking tot diffuus licht en lichtspectrum.

Er zijn 434 referenties gevonden, waarvan zeer veel publicaties niet relevant waren. Uiteindelijk zijn er 80 overgehouden die zijn doorgenomen en waarvan een aantal gebruikt kon worden voor deze literatuurstudie.

De hoeveelheid beschikbare informatie in de literatuur over diffuus licht in relatie tot tros- en bloemkwaliteit en vruchtzetting bleek echter zeer beperkt te zijn. Hoogstwaarschijnlijk is hiernaar nog niet of nauwelijks specifiek onderzoek verricht.

2 Diffuus licht

2.1 Direct en diffuus licht

Het binnenvallende licht in kassen wordt niet regelmatig verdeeld. Een hoog opgaand gewas zoals tomaat heeft veel bladmassa, waardoor de verticale lichtverdeling niet optimaal is. Bovenin het gewas onderscheppen de bladeren veel licht, vaak meer dan voor de fotosynthese gebruikt kan worden en kan ook de temperatuur bij veel zon relatief hoog oplopen. In de diepere bladlagen van de planten dringt het licht veel minder door, zodat de onderste bladeren nauwelijks bijdragen aan de fotosynthese en de groei.

Het aandeel in de totale straling van diffuus of direct licht is sterk afhankelijk van het gebied. Zo heersen er in Nederland, Zuid Italië en Arizona resp. een gematigd zeeklimaat, een Middellandse zeeklimaat met milde winters en een semi-woestijn klimaat. De totale lichtsom per jaar in deze gebieden is resp. ongeveer 3700, 5300 en 6700 MJ/m². Het aandeel van het directe licht over een geheel jaar is gemiddeld resp. 20-40, 40-60 en 70-85% (Hemming, Mohammadkhani en Dueck, 2008).

In sommige jaren, o.a. in 2011, kan het aandeel directe straling onder Nederlandse omstandigheden echter oplopen tot ongeveer 50%. In de wintermaanden is er relatief veel diffuse straling (Dueck *et al.* 2012a).

Figuur 1 Het gemiddelde, maximum en minimum aandeel aan diffuse straling van de totale globale straling van 1990 t/m 2010 gemeten in Wageningen. De waarden zijn een gemiddelde van 4-wekelijkse periodes (Dueck *et al.* 2012a).

Zoals te zien is in de Figuur 1, is het aandeel van de diffuse straling in de wintermaanden relatief hoog.

Kasdekmaterialen en schaduwschermen kunnen worden gebruikt om de directe straling van de zon in de kas diffuus te maken. Vroeger werd in Nederland hiervoor vaak gehamerd glas als kasdek materiaal gebruikt. Dit zorgde voor meer diffuse straling in de kas, maar de ruiten waren erg breukgevoelig. Grotendeels naar aanleiding van onderzoek uitgevoerd door Wageningen University & Research, is er vanaf ca. 2007 bij telers steeds meer belangstelling gekomen voor kasdek- en schermmaterialen die het licht diffuus maken. Het lichtverstrooiend vermogen en de lichttransmissie van verschillende materialen bij lichtinval onder verschillende invalshoeken (hemisferische lichttransmissie) zijn hierbij belangrijke eigenschappen (Hemming *et al.* 2004).

2.2 Haze en F-scatter

Een maat voor de diffusiteit of lichtverstrooiing is de haze. De haze is een Engels begrip en beschrijft het uiterlijk van een materiaal in de termen van mat, dof of troebel. Het percentage haze geeft aan hoeveel procent van het loodrecht invallende licht meer dan 2° afbuigt. Een materiaal met een haze van bijv. 0.4 kan 40% van het directe licht omzetten in diffuse straling. De haze zegt echter niets over de mate van spreiding van het licht. Dus de haze-waarde geeft wel aan hoeveel licht er wordt afgebogen, maar niet hoe sterk het licht wordt afgebogen. Door Wageningen University & Research is recent daarom een nieuwe methode ontwikkeld om de verdeling over de verstrooiingshoeken te meten, uitgedrukt in de F-scatter. De haze en de F-scatter hoeven niet parallel te verlopen. Momenteel is nog onbekend hoe een tomatengewas reageert op een hogere F-scatter bij eenzelfde haze. Dit zal onderzoek uit moeten wijzen, maar de verwachting is dat dit positief zal zijn (Swinkels, 2014; Kierkels, 2017a).

2.3 Lichttransmissie

Het diffuus maken van materialen gaat altijd ten koste van de lichtdoorlatendheid van de fotosynthetisch actieve straling ofwel PAR-straling (Hemming, Mohammadkhani en Dueck, 2008). Licht is een zeer belangrijke factor voor de fotosynthese en dus productie. Uit onderzoeken met kastomaten geteeld in Nederland en landen met vergelijkbare klimaatomstandigheden, blijkt dat 1% meer licht ongeveer 0.7% tot 1% meer productie betekent (Marcelis *et al.* 2004). Bij meer licht worden de tomaten grover, kan de plant in principe meer tomaten ofwel een hogere plantbelasting aan, en kan ook de zetting beter zijn (tenzij de omstandigheden niet te extreem zijn), waardoor er meer stuks kunnen worden geoogst.

De lichtdoorlatendheid van glas kan verbeterd worden door gebruik te maken van ijzerarm basismateriaal c.q. zand, waardoor wit glas wordt verkregen, en door het aanbrengen van één- of tweezijdige anti-reflectie coating. Hierdoor wordt een lichtwinst gerealiseerd van resp. 1-2 en 5-8%. Daarnaast kan lichtwinst tot wel 10-15% worden bereikt door het vuil op het dek er al te wassen (Hemming, 2011).

Condens op diffuus glas vormt vaak een waterfilm, terwijl zich op helder glas meestal grote druppels vormen. Dit laatste is negatief voor de lichttransmissie. Door Wageningen University & Research is recent een methode ontwikkeld om de hemisferische lichtdoorlatendheid van glas zowel met als zonder condens te meten. Uit de metingen kwam naar voren dat als het glas nat is, diffuus glas vaak een hogere lichttransmissie en helder glas juist een lagere transmissie heeft in vergelijking met glas gemeten in een droge toestand (Swinkels, 2014; Kierkels, 2017a).

2.4 Diffuus glas

Glas kan laag (haze ca. 10-30%), gemiddeld (haze rond de 50%) of hoog diffuus (haze ca. 70% en hoger) zijn. Glas kan diffuus gemaakt worden tijdens het glasproductieproces door het aanbrengen van structuren op het glas als het nog vloeibaar is. Dit is het zogenaamde figuurglas. Bij figuurglas ontstaan dan bijvoorbeeld piramidevormen (zie Figuur 2). Mat diffuus glas wordt gemaakt door het uitgeharde glas te etsen, waardoor het een oppervlakkige bubbeltjesstructuur krijgt.

Figuur 2 Voorbeelden van figuurglas.

2.5 Diffuus plastic film

Veel kassen in zuidelijke landen zijn gedekt met een plastic film. Er is op dit moment een grote variatie aan materialen, diffusiteit, lichttransmissie en snelheid van veroudering van het plastic kasbedekkingsmateriaal. Plastic films zijn vaak in meer of mindere mate diffuus.

2.6 Diffuse coating

Het is voor tomatentelers niet snel rendabel om bestaande kassen over te dekken met diffuus glas. Een andere mogelijkheid is echter om ca. begin mei een diffuse coating op het kasdek aan te brengen en dit weer ca. begin september te laten verwijderen. De toepassing van een diffuse coating gebeurt in Benelux-landen eigenlijk alleen bij te generatieve gewassen, zoals snoeptomaatjes en Coeur de boeuf. Voordat de coating erop gebracht wordt, staat het gewas al vaak wat generatief. Als het te open dreigt te worden, kan een diffuse coating worden aangebracht. Door het toepassen van een diffuse coating daalt de lichttransmissie wel met zo'n 4 à 5%, maar het kan voor erg generatieve gewassen toch positief uitpakken, mede door een betere groei en waarschijnlijk ook bloemkwaliteit (Kierkels, 2017b).

Leveranciers van diffuse coatings zijn o.a. Hermadix, Mardenkro en het Franse bedrijf Sudlac.

2.7 Diffuse schermen

Beweegbare transparante schermen worden overdag bij lage temperaturen en lichtintensiteiten gebruikt om energie te besparen, maar ook bij hoge instraling om zonlicht meer of minder tegen te houden en daarmee de planttemperatuur minder hoog op te laten lopen. Er is een grote diversiteit aan schermmaterialen te koop met grote verschillen in mate van diffusiteit, lichttransmissie en vochtdoorlatendheid (zie o.a. site Ludvig Svensson).

Bij het gewas tomaat wordt er onder Nederlandse omstandigheden bij veel instraling niet snel een scherm dichtgetrokken. In gesloten toestand onderschept een diffuus gesloten scherm al gauw 20% van het PAR-licht. Een tomatengewas kan meestal goed omgaan met veel instraling. Zoals al eerder is aangegeven, gaat minder licht bij tomaat al snel ten koste van de productie, in ieder geval onder Nederlandse omstandigheden.

2.8 Krijten

In een mediterraan klimaat wordt nog vaak gekrijt of wordt zelfs modder aangebracht op het plastic om de lichthoeveelheid en daarmee de temperatuur in de kas minder hoog op te laten lopen. Door een plastic kas te krijten neemt de lichttransmissie met ongeveer 50% af. Dit is uiteraard afhankelijk van de aangebrachte hoeveelheid.

Figuur 3 In mediterrane klimaten wordt wel modder op de tunnelbedekking aangebracht om de temperatuur in periodes met veel instraling minder hoog op te laten lopen. Het lichtverlies is groot.

3 Effecten van diffuus licht op het gewas

3.1 Lichtdoordringing in het gewas

Als direct licht diffuus wordt gemaakt, dringt het licht dieper door in een gewas, bijv. bij tomaat (Hemming *et al.* 2007; Shahak, 2014).

Dit kwam ook naar voren bij metingen op een zonnige dag in een onderzoek van Dueck *et al.* (2012a). De resultaten van de metingen zijn te zien in Figuur 4.

Figuur 4 Lichtonderschepping in het tomatengewas gemeten op een zonnige dag bij de referentie met helder glas (Ref) en diffuus glas met een haze van 45 en 71% (Dueck *et al.* (2012a).

Onder het diffuus glas komt dus meer licht op de bladeren halverwege de plant dan bij helder glas. Op een donkere dag is er echter geen verschil in lichtdoordringing: het licht is dan immers al diffuus.

3.2 Fotosynthese-efficiëntie

Diffuus licht doet de fotosynthese-efficiëntie middenin het gewas stijgen (Hemming *et al.* 2004). Dit is door Dueck *et al.* (2012a) ook gevonden in een onderzoek met tomaat (Figuur 5).

Figuur 5 Potentiële fotosynthese ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) middenin het gewas bij de referentie met helder glas (Ref) en diffuus glas met een haze van 45 en 71% (Dueck *et al.* 2012a).

Onder diffuus glas is er halverwege de plant dus een hogere fotosynthesecapaciteit aanwezig dan onder helder glas. In de figuur is te zien dat dit toeneemt naarmate de diffusiteit van het licht hoger is. Dat betekent dat wanneer er meer bladeren lager in het gewas door licht worden bereikt, er meer fotosynthese plaats zal vinden. Omdat er inderdaad meer licht doordringt dieper in het gewas, leidt dit tot meer fotosynthese, groei en productie. Ook Chen *et al.* (2014) berekenden voor hogedraadkomkommers een hogere fotosynthese bij diffuus licht halverwege de plant.

3.3 Lichtverdeling

Zoals al eerder is vermeld, dringt diffuus licht dieper door in het gewas en kan het licht dus beter over de plant worden verdeeld, wat positief is voor de fotosynthese.

Naast de verticale verdeling in de kas is ook de horizontale lichtverdeling van belang voor een gelijkmatige groei. Op stralingsrijke dagen met veel direct licht geeft het directe zonlicht als gevolg van de kasconstructie en aanwezige installaties, slagschaduwen. Sommige planten krijgen dan veel instraling en kunnen daardoor sneller stressverschijnselen, bijvoorbeeld door het oplopen van de planttemperatuur, laten zien.

In het al eerder aangehaalde onderzoek van Dueck *et al.* (2012a), zijn de horizontale verschillen in lichtintensiteit in de kas tussen helder en diffuus glas duidelijk te zien (Figuur 6). De lichtintensiteit is onder diffuus glas veel gelijkmatiger. De lokale verschillen onder helder glas zijn vooral te wijten aan kasconstructies en mogelijk ook apparatuur die in de kas hangt en schaduwwerking geeft.

Figuur 6 Horizontale lichtverdeling gemeten bovenin het gewas bij de referentie met helder glas (links) en de behandeling met diffuus glas met een haze van 71% (Dueck *et al.* 2012a).

Een erg hoge instraling op de plantkop kan de plant niet goed verwerken, omdat de bladfotosynthese bij hoge instralingsniveaus niet helemaal lineair verloopt, maar wat naar beneden afbuigt. Dit wordt o.a. veroorzaakt door foto-inhibitie (zie par. 3.5), (Heuvelink en Kierkels, 2011; Elings, 2012).

3.4 Planttemperatuur

Uit Nederlands onderzoek bleek dat met diffuus glas bij eenzelfde lichttransmissie als bij helder glas, de kooptemperatuur bij hoge instraling lager bleef. Onder helder glas kan de kooptemperatuur tot bijna 6°C boven de ruimtetemperatuur oplopen. Bij diffuus glas is dit maar 1°C hoger tot zelfs 2°C lager dan de ruimtetemperatuur (Dueck *et al.* 2012a; 2012b). In Figuur 7 is de planttemperatuur bovenin het gewas weergegeven. In komkommer zijn bij veel zon bovenin de plant ca. 2°C hogere temperaturen geconstateerd onder helder dan onder diffuus glas (Janse *et al.* 2012). Zie Figuur 8.

Verwacht mag worden dat diffuus kasbedekkingsmateriaal bij een relatief lange periode met hoge instraling minder stress in de kop geeft en daardoor bij tomaat een positieve invloed heeft op de trosontwikkeling (o.a. aantal bloemen) en op de bloem- en stuifmeelkwaliteit. Bij hoge etmaaltemperaturen (hoger dan 25°C) zal namelijk vooral de kwaliteit van het stuifmeel sterk achteruit gaan (Janse, 2017).

Figuur 7 Bladtemperatuur gedurende het verloop van één dag (2 augustus 2011) met veel zon in de referentie met helder glas en met diffuus glas, waarbij de haze resp. 45 en 71% was (Dueck et al. 2012a).

Figuur 8 Kas- en planttemperatuur van komkommer onder helder en diffuus glas: bij veel zon is de planttemperatuur onder helder glas ongeveer 2°C hoger dan onder diffuus glas (Janse et al. 2012).

3.5 Foto-inhibitie

Met behulp van chlorofylfluorescentie-metingen kan het functioneren van het fotosynthesesysteem worden nagegaan (de fotosynthese-efficiëntie). De parameter daarvoor is de F_v/F_m verhouding. Bij een gezond, goed functionerend blad is de fotosynthese-efficiëntie ca. 0.8. Tijdens een warme, zonnige dag hebben Dueck et al. (2012a) op verschillende tijdstippen van de dag metingen bij tomaat verricht, zowel bovenin als halverwege het gewas (zie Figuur 9).

Figuur 9 Verloop van de straling en foto-inhibitie van bladeren middenin en bovenin het gewas onder helder glas (Ref) en diffuus glas met een haze van 45 en 71% gedurende een warme zonnige dag (Dueck et al. 2012a).

In de figuur is zichtbaar dat er bij de fotosynthese-efficiëntie bovenin het gewas tussen ongeveer 12 en 15 uur een dip zit. Dit gebeurt als de instraling ineens sterk gaat stijgen. Als de instraling boven de 800 W/m^2 uitkomt, daalt de Fv/Fm verhouding tot onder de 0.65. Er treedt dan onder (veel) direct licht foto-inhibitie op, doordat het blad die hoeveelheid aan lichtenergie niet kan verwerken en schade ontstaat aan het fotosynthesesysteem. Onder diffuus licht treedt foto-inhibitie echter niet of nauwelijks op (Dueck *et al.* 2012a).

Figuur 10 Trossen onder direct licht (links) en diffuus licht (rechts).

3.6 Productie onder een diffuus kasdek

Jongschaap *et al.* (2006) berekenden met een fotosynthesemodel dat de fotosynthese bovenin de plant onder een diffuus dek met 0.5% afnam, maar dat het licht dieper doordrong in het gewas, waardoor de totale fotosynthese bij tomaat in de winter, zomer en herfst toenam met resp. 1.4, 3.5 en 2.6%. Het berekende effect is dus in de zomer met relatief veel direct licht het hoogst.

In 2011 is door WUR Glastuinbouw een onderzoek uitgevoerd in kassen gedekt met diffuus glas met een haze variërend van 45 tot 71% in vergelijking met helder glas (0% haze). De lichttransmissie was bij alle behandelingen ongeveer gelijk. De hoogste haze gaf ook de hoogste productie, namelijk een meerproductie van 11% (Figuur 10). Deze meerproductie werd grotendeels veroorzaakt door een hoger gemiddeld vruchtgewicht en daarnaast ook door iets meer vruchten.

Figuur 11 Cumulatieve productie van tomaten in kassen met diffuus glas met een verschillende haze variërend van 45 tot 71% in vergelijking met helder glas (Dueck *et al.* 2012a).

De diffuse coating gaf ondanks een lichtverlies van 6% in deze proef uiteindelijk toch een meerproductie van bijna 5%. Hiervoor is voornamelijk nog geen goede verklaring te geven.

Dat de vruchten in bovengenoemd onderzoek onder diffuus glas grover waren, heeft waarschijnlijk niet zozeer te maken met een betere zetting en dus meer zaad in de vruchten, maar komt hoogstwaarschijnlijk vooral door een hogere fotosynthese en dus productie van meer assimilaten, waardoor de aan de plant hangende vruchten groter werden. Als de verzamelde gegevens in dit onderzoek nader worden geanalyseerd, blijkt echter dat bij hoog diffuus (haze 62 en 71%) er ook iets meer vruchten (ca. 0.5 vrucht/week) waren gevormd, dus dat er meer gezette vruchten zijn geweest dan bij helder glas. De gewassen stonden in deze diffuse afdelingen ook wat sterker generatief met sterkere trossen en bloemen. De diffuse coating en de lage haze van 45% gaven niet méér gezette vruchten dan onder helder glas; het gewas was bij deze behandelingen ook vegetatiever dan bij hoog diffuus. Mede door het aanhouden van iets hogere temperaturen was er aan het einde van de teelt bij hoog diffuus wel 0.5 tros meer gevormd dan bij helder glas en laag diffuus. Het droge stofgehalte en de refractie van de vruchten was bij diffuus glas niet hoger dan bij helder glas (Dueck *et al.* 2012a).

Volgens Li *et al.* (2014) kwam de berekende fotosynthese onder diffuus glas met een haze van 71% uit op een verhoging van 7.2% in vergelijking met helder glas. Van deze hogere productie werd resp. 33, 21, 23 en 13% verklaard uit een betere horizontale verdeling van het licht, betere doordringing van het licht in het gewas, hogere fotosynthese halverwege het gewas en een hogere LAI. Het belangrijkste blijkt dus de egalere horizontale verdeling van het licht te zijn.

In een onderzoek op Proefcentrum Hoogstraten in 2016 met diffuus glas met een relatief lage haze van 20% en eenzelfde lichttransmissie als helder glas, realiseerde men bij tomaat een totale meerproductie van 3% (bij eenzelfde lichttransmissie). In het donkere voorjaar ontstond er een productieachterstand van 4%, maar in de zomer werd 7% meer geoogst. Het is niet duidelijk of verschillen in zetting hierbij een rol speelden (Moerkens, 2017).

In eerdere Belgische proeven uitgevoerd in 2011 t/m 2013 met diffuus glas met een ruim 3% lagere lichttransmissie dan helder glas, vond Pinxteren (2014) vooral na perioden met veel zon (=veel direct licht) een meerproductie onder diffuus glas t.o.v. helder glas. Dit kwam door meer grofheid van de vruchten. Ook in dit artikel wordt er geen melding gemaakt van zettingsverschillen tussen helder en diffuus glas.

3.7 Diffuse coating, krijten en schermen

Zoals al eerder is vermeld wordt er in landen rondom de Middellandse Zee vaak krijt op de plastic film van kassen aangebracht om de kastemperatuur bij veel instraling en hoge buitentemperatuur te reduceren. Hiermee wordt de bladtemperatuur in de kop sterk verlaagd en hoge temperaturen (boven de 30°C) komen dan veel minder voor (Abreu en Menesis, 2000; Kittas *et al.* 2012). Dit zal positief zijn voor de stuifmeelkwaliteit en daarom voor de zetting en kan het aantal goede vruchten per plant doen stijgen (Kittas *et al.* 2012; Janse, 2017).

In de Benelux is het bij tomaat uitzonderlijk dat het dek gekrijt (white wash) wordt. Dit gebeurt mogelijk een enkele keer in oude, lage kassen bij te weinig gewas en zeer hoge buitentemperaturen.

Volgens fabrikant Mardenkro zouden de coatings redufuse en redufuse IR (warmtewerend) de bestuiving door middel van hommels verbeteren (site Mardenkro).

Een vast scherm of schaduwnet neemt ook licht weg en zal vaak leiden tot een lagere productie, maar de hoeveelheid verkoopbare vruchten kan wel hoger zijn door o.a. minder gescheurde vruchten, neusrot en zonnebrand. Onder erg warme omstandigheden zal er onder schaduwnetten ook minder bloemabortie optreden (Gent, 2007; Kittas *et al.* 2012).

Een beweegbaar scherm t.o.v. een vast krijtscherm kan voordelen bieden, omdat dit alleen gebruikt hoeft te worden als het echt nodig is. Een vast krijtscherm is namelijk ook aanwezig is als er weinig licht is, o.a. aan het begin en einde van de dag.

In een in 2013 uitgevoerd onderzoek door The Andalusian Institute for Research and Training for Agriculture's greenhouse unit (IFAPA) en Svensson kwam naar voren dat er met een SLS 50F Harmony scherm zo'n 28% meer licht was dan met een vast krijtscherm of whitewashing. De stijging in productie bedroeg daarbij 25%. Uit de publicatie is niet op te maken of de productiestijging vooral door een hoger vruchtgewicht kwam of ook door een betere zetting en dus meer tomaten of beide. Het scherm werd gesloten boven een globale straling van 800 W/m² en een temperatuur van 28°C (site Ludvig Svensson).

Figuur 12 Een voorbeeld van een beweegbaar scherm en het gebruik van krijt op de kas.

In een ander Spaans onderzoek werd een extern beweegbaar scherm alleen bij hoge instraling gebruikt en dit werd vergeleken met een ongeschermd kasafdeling. Door te schermen werd 32% van de totale lichthoeveelheid weggenomen, maar de productie van verkoopbare tomaten was in beide afdelingen gelijk. Ongeschermd gaf echter 2 à 4 maal zoveel neusrotte vruchten (Lorenzo *et al.* 2003).

Dat de '1 op 1' relatie tussen licht en productie bij tomaat niet altijd opgaat, blijkt uit het onderzoek uitgevoerd door Klaring en Krumbein (2013). Zij berekenden met een groeimodel dat de droge stofproductie ten opzichte van de controle met respectievelijk 50 en 28% af zou moeten nemen, als licht werd weggeschermd indien de hoeveelheid PAR-licht buiten de kas boven respectievelijk de 640 en 1280 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ kwam.

De totale lichtreductie in PAR t.o.v. de controle was bij deze behandelingen 57 en 34%, maar de gemeten vermindering in geproduceerde hoeveelheid drogestof was in het onderzoek maar respectievelijk 31 en 19%. De plant past zich dus deels aan, o.a. door dunnere bladeren te maken.

De hoeveelheid drogestof en suikers in de vruchten werd niet verminderd door het wegnemen van het licht. Het zuurgehalte werd wel hoger. Het artikel vermeldt niet of ook het aantal vruchten of de zetting werd beïnvloed door het wegschermen van het licht.

Door de gedeeltelijke aanpassing van het tomatengewas aan de omstandigheden, is de met een groeimodel berekende productie als gevolg van lichtreductie soms lager dan in werkelijkheid wordt gerealiseerd.

4 Invloeden van het lichtspectrum

De globale straling die door het glasdek gaat, kan worden verdeeld in ultraviolette straling (UV), fotosynthetisch actieve straling (PAR) en nabij-infrarood (NIR). De UV-straling kan weer verdeeld worden in drie bandbreedtes, namelijk UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm) en UV-C (100-280 nm). PAR-straling valt binnen de golflengte van 400-700 nm, nabij-infrarood tussen 800 en 2500 nm. NIR-straling wordt maar beperkt door planten geabsorbeerd, maar vooral door installaties en kasconstructiedelen, wat weer voor opwarming van de kaslucht zorgt (Hemming *et al.* 2006).

Het lichtspectrum kan worden veranderd met plastic films, schermen en gaas of netten. De kleur van het materiaal beïnvloedt de spectrale lichtdoordringing door de complementaire kleur te absorberen.

Aangenomen wordt dat planten specifieke lichtreceptoren bezitten voor golflengtes uit het UV-B gebied van het zonnespectrum. Fototropinen en cryptochromen zijn receptoren voor blauw licht en fytochromen voor rood en verrood licht. Veranderingen in het lichtspectrum beïnvloeden o.a. de lengtegroei, vorming van zij scheuten en kleur van bladeren en bloemen (Hemming, 2011).

Uit recent led-belichtingsonderzoek bij tomaat uitgevoerd door Wageningen University & Research, blijkt bijvoorbeeld dat verrood licht de volgende effecten heeft: langere planten, een lichtere kleur van het blad, iets snellere trosontwikkeling, wat hogere fotosynthesesnelheid en het percentage assimilaten dat naar de vruchten gaat wordt verhoogd, wat leidt tot een hogere productie (Boonekamp, 2017).

4.1 Foto-selectieve kasbedekking

In mediterrane gebieden worden vaak netten of gaas boven de gewassen toegepast om de hoeveelheid licht en daarmee de temperatuur te reduceren. Foto-selectieve netten hebben lichtverstrooiende en/of reflecterende toevoegingen. Ze schermen verschillende delen van het zonlicht (UV, PAR en hogere golflengtes) eruit en/of maken direct licht min of meer diffuus. Hierdoor kunnen verschillende effecten op de fysiologie van de plant ontstaan (o.a. Lamnatou en Chemisana, 2013a; Shahak, 2014).

4.1.1 Foto-selectieve netten en productie

In een onderzoek door Ilic *et al.* (2012) is het effect van een zwart, parelmoeren, rood en blauw net op de productie en kwaliteit van tomaat onderzocht. De lichtreductie van de netten bedroeg 40 en 50%. De tomaten onder de rode en parelmoeren netten met een lichtreductie van 40% produceerden betrouwbaar meer kilo's dan onder de blauwe en zwarte netten. Dit werd veroorzaakt door zowel meer als zwaardere vruchten. Bij 40% lichtreductie was de productie hoger dan bij 50%. De onderzoekers suggereren dat de meerproductie bij de rode en parelmoeren netten waarschijnlijk kwam door een betere bloemkwaliteit en zetting, betere vruchtuigroei en lagere temperatuur in de zomermaanden t.o.v. de zwarte netten. Dit zou het gevolg kunnen zijn van het grotere aandeel diffuus licht in de foto-selectieve netten.

Bij paprika's vonden Shahak *et al.* (2008) en Shahak (2014) afhankelijk van het proefjaar en de kleur van het net (rood, geel of parelmoer), bij de foto-selectieve netten in vergelijking met het standaard gebruikte zwarte net (lichtreductie 30 à 40%) een 15 - 35% hogere productie. Dit was vooral het gevolg van meer vruchten/m². De oorzaak van de meerproductie moet volgens deze onderzoekers gezocht worden in de gewijzigde kwaliteit van het licht, de hogere lichtverstrooiing (diffusiteit) en de gewijzigde spectrale samenstelling van het licht (zie ook Figuur 13).

Figuur 13 (A) De relatieve hoeveelheid doorgelaten direct en diffuus licht per golflengte bij 4 verschillende netten ten opzichte van het buitenlicht en (B) de hoeveelheid energie per golflengte van het verstrooide licht onder de verschillende gekleurde netten (Shahak et al. 2008).

De rode, gele en parelmoeren kleur laten vooral het diffuse licht door in met name het groene, rode en verrode deel van het spectrum ten opzichte van het UV en de blauwe golflengte.

Figuur 14 Verschillende foto-selectieve netten toegepast in Israëlisch onderzoek in kassen en plastic tunnels (Ilic en Fallik, 2017).

4.1.2 Foto-selectieve netten en schadelijke insecten

Uit o.a. Israëlisch onderzoek blijkt dat netten die een parelmoeren of gele kleur hebben, de aantasting door virussen die overgebracht worden door zuigende insecten met wel een factor 2 tot 10 verminderen ten opzichte van zwarte en rode schaduw gevende netten. Waarschijnlijk komt dit doordat niet-persistente virussen die binnen 1-2 uur overgebracht moeten worden om effectief te zijn, door het ontbreken van bepaalde kleuren vertraagd aan andere planten worden doorgegeven en daarom minder worden verspreid (Ben-Yakir *et al.* 2012).

De oorzaak bij geel ligt hoogstwaarschijnlijk in het feit dat gele netten insecten aantrekken, waardoor een groot gedeelte van de insecten voor een bepaalde periode bovenop de netten blijven zitten.

De bescherming tegen insecten door het parelmoeren net is het gevolg van lichtreflectie door het net, waardoor insecten worden afgestoten (Shahak, 2014).

4.1.3 NIR reflectie

Methoden om de warmte buiten de kas te houden zijn: een waterlaag in of op het dek, vaste materialen met NIR-filter, zoals in plastic films, op het glas of met beweegbare schermen.

Warmtestraling (=NIR) wegfilteren via een coating op het glas heeft als voordeel dat de hitte buiten de kas wordt gehouden door de NIR-straling te reflecteren, terwijl NIR-reflecterende pigmenten in PE-plastic films minder effectief zijn en de PAR-straling fors verminderen.

In de winter is het uitfilteren van de warmtestraling echter ongewenst omdat de warmte dan goed gebruikt kan worden (Hemming *et al.* 2005).

Afhankelijk van de aangebrachte concentratie wordt de lichtdoorlatendheid door verschillende krijtsoorten ('white washes') meer of minder sterk verlaagd.

Plastic films met NIR-filters halen ca. 25% van de warmtestraling eruit, terwijl dit bij glas met NIR-coating 50-70% is. Door NIR straling eruit te halen, gaat de verdamping van de plant ook omlaag: bij 100% NIR-filtering is er een vermindering tot 30% en bij 50% nog 10 à 15%. De plant hoeft immers minder te koelen (Hemming *et al.* 2006).

Een kasdek dat de warmtestraling terugkaatst zou de hommelseactiviteit positief kunnen beïnvloeden (zie par. 4.1.3.1).

4.1.3.1 Hoge temperaturen en bestuiving door hommels

Palma *et al.* (2008) vonden een negatieve correlatie tussen de hoogte van de temperatuur en de bevlieging van de tomatenbloemen door de hommel *Bombus impatiens*. Vooral bij een hogere temperatuur dan 30°C nam de bestuivingsactiviteit af.

Kwon en Saeed (2003) constateerden in hun onderzoek bij het gebruik van de aardhommel *Bombus terrestris* ook een afname in de foerageeractiviteiten bij een temperatuur van 32°C. Bij hoge temperaturen moeten de werkers van de hommels vooral het broed koelen (Vogt 1986; O'Donnell en Foster, 2001; Weidenmüller *et al.* 2002).

Daarentegen concludeerden Al-Attal *et al.* (2003) in hun onderzoek in één van de Golfstaten dat er binnen een temperatuurrange van 17 – 42°C overdag en 2 - 14°C gedurende de nacht, géén problemen met hommelsebezoek van tomatenbloemen waren.

Palma *et al.* (2008) konden geen effect aantonen van de luchtvochtigheid of de instraling in de kas op het vlieggedrag van hommels.

4.1.4 UV-straling

4.1.4.1 UV en schadelijke insecten

Insecten gebruiken lichtsignalen om hun prooi of waardplant te vinden. Er is een positief verband tussen de mate van UV-absorptie in het kasdek en bescherming tegen insecten. Dit komt enerzijds doordat insecten niet worden aangetrokken tot kassen die gedekt zijn met plastic films of netten die UV-blokkers bevatten en dus minder de kassen binnendringen. Anderzijds doordat toch binnenkomende insecten zich door het ontbreken van UV slecht kunnen oriënteren, waardoor ze minder vliegen en actief zijn. Dit heeft ook tot gevolg dat plantaantastingen door virussen die overgebracht worden door bijv. de tabakswittevlieg (*Bemisia tabaci*), (o.a. TYLCV), en trips (o.a. TSWV), veelal duidelijk minder optreden (Antignus *et al.* 2001; González *et al.* 2004; Diaz en Fereres, 2007; Ben-Yakir *et al.* 2014).

Mutwiwa *et al.* (2005) vonden dat de kaswittevlieg (*T. vaporariorum*) minder voorkwam in tunnels met een lage UV-transmissie in vergelijking met tunnels met een hoge UV-transmissie van het plastic.

In Engels onderzoek met verschillende soorten plastic films vonden Doukas en Payne (2007) dat de komkommerplanten onder UV-doorlatende films veel meer luisaantasting vertoonden dan onder UV-absorberende plastic films.

In een onderzoek van Kigathi en Poehling (2012) konden tripsen vanuit een zwarte doos kiezen tussen een tunnel met of zonder UV-blokkers. Rond de 90% van de trips koos voor de tunnel bedekt met UV-doorlatend folie.

González *et al.* (2004) vonden dat er 16 tot 82% minder tripsen voorkwamen onder een plastic film met UV-blokker dan bij de referentie met UV-transmissie.

Hemming (2011) is van mening dat andere factoren zoals temperatuur, luchtvochtigheid, lichtcondities, hygiëne en plantvitaliteit echter belangrijker om ziekten en plagen te reduceren, dan een verandering van het lichtspectrum.

4.1.4.2 UV en predatoren

Chiel *et al.* (2006) concludeerden in hun onderzoek dat *Diglyphus isea* en *Aphidius colemani* hun prooi evengoed konden vinden bij wel of geen UV-blokkers in de plastic kasbedekking, maar *Eretmocerus mundus* werd door het ontbreken van UV wel belemmerd in het zoekgedrag.

4.1.4.3 UV en hommels

Hommels gebruiken UV-straling om bloemen waar te nemen. In een aantal onderzoeken is de hommelactiviteit onderzocht bij een verschillende mate van UV-transmissie van het kasdek.

González *et al.* (2004) zagen in experimenten met verschillende plastic films boven meloenen dat er met UV-blokkers duidelijk minder hommels overbleven (50 tot 75% minder) en de zetting dus minder was dan in de referentie zonder UV-blokker.

Morandin *et al.* (2001) concludeerden in hun onderzoek in kassen, dat hommels bijna 2 keer zo actief waren onder PE-plastic met veel UV-transmissie dan onder verschillende PE-plasticsoorten met UV-absorptie. Ook verdwenen er minder hommels naar buiten via de ventilatieopeningen van de ramen als UV-licht werd doorgelaten. Waarschijnlijk ervaren hommels minder contrast tussen raamopeningen en plastic met een hoge UV-lichtdoorlatendheid.

Ook Frans onderzoek uitgevoerd door Lagier (2004), wees uit dat een UV-doorlatende plastic film positief uitwerkte op de hommelactiviteit en dus de zetting.

Daarentegen zijn in andere onderzoeken geen negatieve effecten van UV op de hommelactiviteit naar voren gekomen. Zo vonden Vatsanidou *et al.* (2011) dat er in de kas geen verschil was in hommelactiviteit tussen PE folies met 0 en 3% UV-absorptie.

In een onderzoek met plastic kunstbloemen, die hetzelfde spectrum hadden als tomatenbloemen, is nagegaan wat de zoektijd was van hommels met en zonder UV. Hommels bleken de bloemen zowel met als zonder UV waar te kunnen nemen. De hommels bleken snel te kunnen leren om op deze kunstbloemen onder de verschillende omstandigheden met dezelfde efficiëntie te vliegen (Dyer en Chittka, 2004).

In een kleinschalige proef met kleine kasjes waren de hommels (*Bombus impatiens* Cresson) niet minder actief onder UV-absorberend folie dan onder UV-doorlatend folie (Morandin, Laverty en Gegeer, 2002). Dit was in tegenstelling tot de verwachting van de onderzoekers en tot de resultaten van de hiervoor genoemde proef van Morandin *et al.* (2001) op praktijkschaal. Mogelijk is dit het gevolg van de proeven in kleine kasjes, waardoor er geen duidelijke effecten van UV-verschillen konden worden waargenomen.

Magnani *et al.* (2007) testten 3 plastic films die vooral verschilden in doorlatendheid van UV-A binnen de golflengtes van 360 – 380 nm. De hommelactiviteiten bij de verschillende plasticsoorten varieerden wat per seizoen. De onderzoekers concludeerden dat niet alleen de verschillen in UV verantwoordelijk konden zijn voor de verschillen in hommelactiviteit. Een plastic film die gestabiliseerd was met een biologische UV-absorberende stof (HALS-NOR), liet langdurig geen UV door, maar haalde een hoge productie en leek zeker niet minder gezette vruchten te geven.

Het advies is echter om, voordat plastic films of netten in kasdekken worden toegepast, kasbedekkingsmaterialen goed te onderzoeken op o.a. het effect op hommels voor de bestuiving. Tevens zouden ze getest moeten worden op biologische bestrijders van plagen, tenminste als er biologische bestrijding toegepast gaat worden (Lamnatou en Chemisana, 2013b).

4.1.4.4 UV en plantgroei en productie

González *et al.* (2004) vonden in hun onderzoek met verschillende plastic films, dat een enkellaags plastic film met UV-absorberende eigenschappen een hogere productie gaf bij tomaat ten opzichte van een kas bedekt met UV-doorlatende plastic folie.

In een onderzoek van Van Rijssel en Romascher (2005) werd UV-absorberend folie op glas geplakt. Dit reduceerde de hoeveelheid UV en de lichttransmissie t.o.v. glas met respectievelijk 20 à 30% en 10%. Bij de waarnemingen in de 2^e helft van het jaar had het opplakken van de plastic film, ondanks het lichtverlies, geen invloed op de productie, kwaliteit en groeisnelheid bij tomaat.

Daarentegen zagen Marchetti *et al.* (2013) dat als UV-licht werd tegengehouden, de plant een lagere productie gaf. Een lichte hoeveelheid UV leek echter wel positief voor de productie en soms ook voor de kwaliteit.

Gegevens over bestuiving of zetting konden niet worden achterhaald.

Kittas *et al.* (2006) beproefden in tomaat het effect van 3 plastic films met een UV-transmissie van 5% (normaal), 3 en 0%. Minder UV gaf iets langere planten en verhoogde de productie aan drogestof van de plant. De LAI was duidelijk hoger, wat betekent dat de plant beter kan koelen bij veel instraling. Ook Marchetti *et al.* (2013) vonden een sterkere vegetatieve groei van de tomatenplanten bij minder UV-transmissie van het kasdek.

Daarnaast is bekend dat UV (met name UV-B) in rode slasoorten zorgt voor meer roodkleuring via een hoger anthocyaangehalte. Het geeft de sla ook een meer intense, bittere smaak, wordt het flavonoïde gehalte (anti-oxidant gehalte) verhoogt (Krizek, Britz and Mirecki, 1998; Kittas *et al.* 2004), geeft UV dikker, maar kleiner blad en zorgt het voor minder sporenvorming van valse meeldauw (Wargent, Taylor en Paul, 2006). De UV-transmissie is bij diffuus glas vaak hoger dan bij helder glas. Daarom kiezen telers van rode slatypen bij nieuwbouw vaak voor diffuus glas.

Literatuur

Abreu, P. E. en J. F. Meneses, 2000.

Influence of soil covering, plastic ageing and roof whitening on climate and tomato crop response in an unheated plastic Mediterranean greenhouse. *Acta Hort.* 534: 343-350.

Antignus, Y., D. Nestel, S. Cohen en M Lapidot, 2001.

Ultraviolet-deficient greenhouse environment affects whitefly attraction and flight-behavior. *Entomological Society of America* 30:394-399.

Boonekamp, G., 2017.

Tomaat stopt energie van verrood licht in de vruchten. Productiewinst van 15 procent is haalbaar. *Groenten & Fruit*, 14 april 2017, p. 26-27.

Al-Attal, Y. Z., M. A. Kasrawi en I. K., Nazer, 2003.

Influence of pollination technique on greenhouse tomato production. *Sultan Qaboos University Journal for Scientific Research Agricultural Sciences* 8(1):21-26 (abstract).

Ben-Yakir, D., Y. Antignus, Y. Offir en Y. Shahak, 2012. Optical Manipulations of insect pests for protecting agricultural crops. *Acta Hort.* 956:609-616.

Chen, T-E., M. Henke, P. H. B. de Visser, G. Buck-Sorlin, D. Wiechers, K. Kahlen, H. Stutzel, 2014.

What is the most prominent factor limiting photosynthesis in different layers of a greenhouse cucumber canopy? *Annals of Botany* 114(4):677-688.

Diaz, B.M. en A. Fereres, 2007.

Ultraviolet-blocking materials as a physical barrier to control insect pests and plant pathogens in protected crops. *Pest Technology Entomologist* 1:85-95.

Doukas, D. en C.C. Payne, 2007.

The use of ultraviolet-blocking films in insect management in the UK; effects on naturally occurring anthropod pest and natural enemy populations in a protected cucumber crop. *Annals of Applied Biology*, 151:221-31.

Dueck, T., J. Janse, F. Kempkes, T. Li, A. Elings en S. Hemming, 2012a.

Diffuus licht bij tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw, rapport GTB-1158, 58 p.

Dueck, T. J. Janse, T. Li, F. Kempkes en B. Eveleens, 2012b.

Influence of diffuse glass on the growth and production of tomato. *Acta Hort.* 956:75-82.

Dyer, A.G. en L. Chittka, 2004.

Bumblebee search time without ultraviolet light. *J. Exp. Biol.* 207:1683-1688.

Elings, A., 2012.

Horizontale lichtverdeling belangrijker dan verticale lichtverdeling. Diffuus licht: dieper of breder de kas in? *Onder Glas* 9(6/7):17-19.

Gent, M.P.N., 2007.

Effect of shade on quality of greenhouse tomato. *Acta Hort.* 747:107-112.

González, A., Y. García-Alonso, E. Epsí, A. Fontecha en A. Samerón, 2004.

Viral diseases control with UV-blocking films in greenhouses of Southern Spain. *Acta Hort.* 659:331-338.

Hemming, S., T. Dueck, N. Marissen, R. Jongschaap, F. Kempkes en N. ten Braak, 2004.

Diffuus licht. Het effect van lichtverstrooiende kasdekmaterialen op kasklimaat, lichtdoordringing en gewasgroei. Rapport 557 *Agrotechnology & Food Innovations B.V.*, 97 p.

Hemming, S., 2011.

Use of natural and artificial light in horticulture – interaction of plant and technology. *Acta Hort.* 907:25-36.

Hemming, S., F. Kempkes, N. van der Braak, T. Dueck en N. Marissen, 2005.

Filtering natural light at the greenhouse covering - better greenhouse climate and higher production by filtering out NIR? *Acta Hort.* 2005:711:411-416.

Hemming, S., F. Kempkes, N. van der Braak, T. Dueck en N. Marissen, 2006.

Greenhouse cooling by NIR-reflection. *Acta Hort.* 719:97-105.

Hemming, S., T. Dueck, J. Janse en F. van Noort, 2007.

The effect of diffuse light on crops. *Acta Hort.* 801:1293-1300.

Hemming, S., V. Mohammadkhani en T. Dueck, 2008.

Diffuse greenhouse covering materials – Material technology, measurements and evaluation of optical properties. *Acta Hort.* 797:469-475.

- Heuvelink, E. en T. Kierkels, 2011.
Bovenin inleveren om onderin meer te winnen. Betere lichtdoordringing betekent meer productie. *Onder Glas* 8(6/7):16-17.
- Ilić, Z.S., L. Milenković, L. Stanojević, D. Cvetković en E. Fallik, 2012.
Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. *Sci. Hortic.*, 139:90-95.
- Ilic, Z.S. en E. Fallik, 2017.
Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 139:79-90.
- Janse, J., 2017.
Bloei, bestuiving en vruchtzetting van tomaten. Literatuurstudie in opdracht van Koppert Biological Systems. Rapport GTB-5142, 44 p.
- Janse, J., S. Moerenhout, F. Kempkes en T. Dueck, 2012.
Vroege komkommerteelt onder diffuus glas. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, GTB-1183, 34 p.
- Jongschaap R. E. E., T. A. Dueck, N. Marissen, S. Hemming en L. F. M. Marcelis, 2006.
Simulating seasonal patterns of increased greenhouse crop production by conversion of direct radiation into diffuse radiation. *Acta Hort.* 718:315-322.
- Kierkels, T., 2017a.
Eerste ervaring met anticondenscoating: meer licht in de kas. Objectief meten lichtdoorlatendheid nat kasdek nu mogelijk. *Onder Glas* 14(6/7):7-9.
- Kierkels, T., 2017b.
Delen teeltgegevens versnelt opbouw van kennis over diffuus kasdek. *Onder Glas* 14(6/7):12-13.
- Kigathi, R. en H.M. Poughling, 2012.
UV-absorbing films and nets affect the dispersal of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Applied Entomology*, 136(10):761-771.
- Kittas, C., Ch. Papaioanou, D. Obeid, N. Katsoulas en M. Tchamitchian, 2006.
Effect of two UV-absorbing greenhouse-coverings films on growth and yield of a tomato soilless crop. International symposium of the CIGR in new trends in farm buildings, May 2-6, 2004, Evora, Portugal.
- Kittas, C., N. Katsoulas, N. Rigakis, T. Bartzanas en E. Kitta, 2012.
Effects on microclimate, crop production and quality of a tomato crop grown under shade nets. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(1):7-12.
- Klaring, H.P. en A. Krumbein, 2013.
The effect of constraining the intensity of solar radiation on the photosynthesis, growth, yield and product quality of tomato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(5):351-359.
- Kwon, Y. J. en S. Saeed, 2003.
Effect of temperature on the foraging activity of *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) on greenhouse hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Appl. Entom. Zool.* 38, 275-280.
- Krizek, D.T., S.J. Britz en R.M. Mirecki, 1998.
Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiol. Plant.* 103:1-7.
- Lagier, J., 2004.
Transmission of UV by plastic films covering greenhouses and pollination of tomato by bumblebees. *PHM Revue Horticole*. 463: 45.
- Lamnatou, C en D. Chemisana, 2013a.
Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: Fluorescent solar concentrators, photoselective and other materials. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27:175-190.
- Lamnatou, C en D. Chemisana, 2013b.
Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: Fresnel lenses, NIR- and UV-blocking materials. *Renewable and sustainable energy reviews*, 18:271-87.
- Li, T., E. Heuvelink, T.A. Dueck, J. Janse, G. Gort en L.F.M. Marcelis, 2014.
Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: quantifying the contributing factors. *Annals of Botany* 114(1):145-156.
- Lorenzo, P., M.C. Sanchez-Guerrero, E. Medrano, M.L. Garcia, I. Caparros, M. Gimenez, 2003.
Effect on microclimate, water use efficiency, and yield of a tomato crop grown under different salinity levels of the nutrient solution. *Acta Hort.*, 609:181-186.

- Magnani, G., F. Filippi, M. Pinzauti, M. Bonora, M. Calderisi, 2007.
Activity of bumblebees: (*Bombus terrestris* L.) on tomato grown under differently stabilized covering films. *Coltura Protette* 36(8): 73-83 (abstract).
- Marcelis, L., G. Broekhuijsen, E. Meinen, L. Nijs en M. Raaphorst, 2004.
Lichtregel in de tuinbouw; 1% = 1% productie? *Plant Research International*, Nota 305, 90 p.
- Marchetti, L., F. Filippi, D. Remorini, G. Magnani, 2013.
Tomato yield under differently stabilized covering thermal films. *Coltura Protette* 42(9):56-66 (abstract).
- Moerkens, R, 2017.
Tomaat heeft meer baat bij diffuus glas dan paprika. *Proeftuinnieuws*, 24 februari 2017, p. 24-25.
- Morandin, L.A., T.M. Lavery, P.G. Kevan, S. Khosla, en L. Shipp, 2001.
Bumble bee (*Hymenoptera: Apidae*) activity and loss in commercial tomato greenhouses. *Can. Entomologist* 133(6): 883-893.
- Morandin, L.A., T.M. Lavery en R.J. Gegear, 2002.
Effect of greenhouse polyethylene covering on activity level and photo-response of bumble bees. *Can. Entomologist* 134:539-549.
- Mutwiwa, U.N., C. Borgemeister, B. von Elsner, H-J. Tantau, 2005.
Effects of UV-absorbing plastic films on greenhouse whitefly (*Homoptera: Aleyrodidae*). *Journal of Economic Entomology* 98:1221-1228.
- O'Donnell, S. en R.L. Foster, 2001.
Thresholds of response in nest thermoregulation by worker bumble bees, *Bombus bifarius* nearticus (*Hymenoptera: Apidae*). *Ethology* 107:387-399.
- Palma, G., J. J. G. Quezada-Euán, V. Reyes-Oregel, V. Meléndez en H. Moo-Valle, 2008.
Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* and mechanical vibration (*Hym.: Apoidea*). *J. Appl. Entomol.* 132:79-85.
- Pinxteren, D., 2014.
Drie jaar onderzoek rond diffuus licht bij tomaat: het verdict. *Proeftuinnieuws*, 3 januari 2013, p. 10-13.
- Shahak, Y., E. Gal, Y. Offir en D. Ben-Yakir, 2008.
Photoselective shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Hort.* 797:75-80.
- Shahak, Y, 2014.
Photoselective netting: an overview of the concept, R&D and practical implementation in agriculture. *Acta Hort.* 1015:95-102.
- Swinkels, G-J., 2014.
Haze-factor maakt plaats voor F-scatter. *KAS magazine*, januari 2014, p. 24-27.
- Van Rijssel, E. en Y. Romasher, 2005.
Toepassingsmogelijkheden pigmentfolie. *Materiaaleigenschappen van de fotoselectieve pigmentfolie van Floralum en teelteffecten op roos en tomaat. Rapport PPO Glastuinbouw*, 28 p.
- Vatsanadou, A., Bartzanas, T., Papaioannou en C. Kittas, 2011.
Efficiency of physical means of IPM on insect population control in greenhouse crops. *Acta Hort.* 893:1247-1254.
- Vogt, F.D., 1986.
Thermoregulation in bumble bee colonies. I. Thermoregulatory versus brood maintenance behaviors during acute changes in ambient temperature. *Physiol. Zool.* 59:55-59.
- Wargent, J. J., A. Taylor en N.D. Paul, 2006.
UV supplementation for growth regulation and disease control. *Acta Hort.* 711:333-338.
- Weidenmüller, A., C. Kleinedam en J. Tautz, 2002.
Collective control of nest climate parameters in bumble bees colonies. *Animal Behavior* 63(6):1065-1071.
- Ben-Yakir, D., Y. Antignus, Y. Offir en Y. Shahak, 2014.
Photoselective nets en screens can reduce insect pests and diseases in agricultural crops. *Acta Hort.* 1015:95-102.

Internet:

- <http://www.ludvigsvensson.com/nl-climatescreens/nieuws/productnieuws/innovatief-systeem-verhoogt-opbrengst-door-meer-licht-te-geven>
- https://www.redusystems.nl/nl/innovatie/betere-kwaliteit-met-redufuse-coatings?utm_source=RS-1704-GEN&utm_medium=email

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

Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport WPR-702

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen WUR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en WUR hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort WUR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.