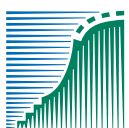




Effecten van diffuus licht op komkommer

Resultaten van een teelt experiment

Silke Hemming, Raymond Jongschaap, Jan Janse & Tom Dueck





Effecten van diffuus licht op komkommer

Resultaten van een teelt experiment

Silke Hemming, Raymond Jongschaap, Jan Janse & Tom Dueck

© 2007 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, 6708 PD Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Materialen en Methoden	7
2.1 Onderzoekskassen	7
2.2 Kasdekmaterialen	7
2.3 Teeltsysteem	9
2.4 Kasklimaat en gewastemperatuur	10
2.5 Lichtintensiteit en lichtverdeling in het gewas	10
2.6 Fotosynthese, SPAD en RuBisCo	11
2.7 Gewasmorfologie	12
2.8 Productie en kwaliteit	13
3. Resultaten en discussie	15
3.1 Kasklimaat en gewastemperatuur	15
3.2 Lichtintensiteit en lichtverdeling in het gewas	17
3.3 Fotosynthese, SPAD en RuBisCo	22
Fotosynthese	22
SPAD (chlorofyl) bepalingen	24
RuBisCo	25
3.4 Gewasmorfologie	27
3.5 Productie en kwaliteit	29
4. Conclusies	33
5. Aanbevelingen	35
6. Literatuur	37

Samenvatting

In het kader van het programma 'Kas als Energiebron' zijn een aantal transitiepaden gedefinieerd, waaronder het transitiepad 'licht'. Hierin is de wens uitgesproken om optimaal gebruik te kunnen maken van het natuurlijke licht in Nederlandse kassen. Tegen deze achtergrond is in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en het Productschap Tuinbouw (PT) door Wageningen UR Glastuinbouw een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van productieverhoging door de relatieve hoeveelheid diffuus licht in de kas te verhogen.

In kassen wordt het binnenvallende zonlicht niet regelmatig verdeeld. Hoogopgaande gewassen zoals tomaat of komkommer hebben veel bladmassa. De verticale lichtverdeling in deze gewassen is niet optimaal. De bovenste bladeren onderscheppen veel licht en minder licht dringt in diepere lagen van het gewas, zodat de onderste bladeren nauwelijks bijdragen aan de fotosynthese en groei. Bij paprika bijvoorbeeld zorgen de bovenste 40% van de bladeren voor de fotosynthese van de hele plant. Als licht van boven naar beneden beter kan worden verdeeld, zal er naar verwachting, de fotosynthese-efficiëntie van de plant stijgen. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door het licht diffuus te maken.

In een experiment werd het effect van diffuus licht op een komkommersgewas onderzocht. Komkommer 'Shakira' werd hiervoor onder een helder en een diffuus kasdek materiaal geteeld van april tot juli 2006. Onder het diffuse kasdek materiaal was het lichtniveau gemiddeld ca. 4% lager dan onder het heldere kasdek materiaal. Het kasklimaat was vergelijkbaar tussen beide behandelingen. Tijdens stralingsrijke periodes was het de gewastemperatuur gemiddeld boven in het gewas 0.2 tot 0.8°C warmer onder het heldere kasdek materiaal ten opzichte van het diffuse kasdek materiaal. Aan de andere kant was het tijdens stralingsrijke periodes onder in het gewas gemiddeld rond 0.4°C kouder.

Aan het begin van de teelt wordt zowel in de heldere als ook in de diffuse kasafdelingen niet al het licht onderschept door het gewas. Pas na drie weken werd meer dan 85% van het licht onderschept en was er een verschil in lichtonderschepping te meten tussen de twee behandelingen. Op heldere dagen werd gemiddeld meer licht door het gewas onderschept onder het diffuse kasdek materiaal dan onder het heldere kasdek materiaal. Vooral de middelste bladlagen onderscheppen meer licht als het diffuus is. Bij bewolkt weer wordt zowel door het gewas onder het heldere kasdek materiaal als ook door het gewas onder het diffuse kasdek materiaal even veel licht onderschept. Er is geen verschil in lichtverdeling te zien. De wijze van lichtonderschepping door het gewas verschilt in de loop van de dag. Terwijl in de ochtend en namiddaguren meer licht wordt onderschept onder het diffuse kasdek materiaal door de middelste en onderste bladlagen, is dit tijdens de late ochtenduren en rond de middag andersom.

Een vergelijkbaar beeld vertoont een analyse van de fotosynthese van het gewas onder diffuus licht. Bij 'normale lichtomstandigheden ($500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) vertonen de stambladeren in het midden van het gewas (bladlaag 3) een hogere fotosynthesesnelheid onder diffuus licht. Ook bij de zijloten ligt de fotosynthesesnelheid bij diffuus licht significant hoger voor het jongste blad (bladlaag 3). Bij verzadigende lichtomstandigheden ($1250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ligt de fotosynthesesnelheid bij directe lichtomstandigheden in alle bladlagen hoger.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat in de middelste bladlagen meer licht geabsorbeerd werd EN de fotosynthesesnelheid iets hoger was en daarom ook een hogere assimilatieproductie het gevolg was als het licht diffuus werd aangeboden. Op momenten dat de hoeveelheid licht tegen het verzadigingspunt aan lag, kreeg het gewas meer licht in de helderde compartimenten, echter had dit weinig additioneel effect op de assimilatieproductie. Wellicht spelde ook de gewastemperatuur, welke op deze momenten onder het helderde kasdek materiaal opliep een rol.

Erbij komt dat onder diffuse omstandigheden de hoogste chlorofylconcentraties in het bovenste en middelste deel van het gewas werden gevonden, terwijl onderin het gewas de chlorofylconcentraties lager waren ten opzichte van een situatie waarin het invallende licht niet diffuus werd gemaakt.

Het is conform de theorie, dat fysiologisch ouder bladmateriaal dat dieper in het gewas minder licht aangeboden krijgt, minder RuBisCo, een voor het fotosyntheseproces essentieel eiwit, bevat en minder fotosynthetische activiteit vertoont. De trend is dat onder diffuse omstandigheden, de RuBisCo-gehalten in alle lagen hoger liggen en minder afnemen over de diepte in het gewas dan onder omstandigheden met veel direct licht. Dit zou kunnen komen doordat over de dag genomen, diffuus licht in de middelste en onderste lagen van het gewas beter wordt geabsorbeerd, waardoor RuBisCo actief kan blijven bijdragen aan de fotosynthese in deze plantendelen en niet wordt afgebroken voor transport naar meer belichte delen in de top van de plant.

Morfologische parameters wijzen uit, dat het gewas onder diffuus licht minder vegetatief, maar meer generatief groeit. Zo hebben de planten onder diffuus licht een iets lagere LAI en een wat hogere SLA (dunnere bladeren). Vanaf juni nam de fractie geoogste vruchten t.o.v. de plantbiomassa onder het invloed van diffuus licht sneller toe dan onder meer direct licht, de plant werd generatiever.

Het resultaat van meer diffuus licht was dat de productie van komkommer positief werd beïnvloed door diffuus licht. Het aantal kilo's werd onder het diffuse kasdek materiaal met 4.3% verhoogd, het aantal komkommervruchten nam zelfs met 7.8% toe. Gemiddeld waren de vruchten dus iets kleiner. In beide afdelingen met het diffuse kasdek materiaal was de lichttransmissie ca. 4% minder t.o.v. de twee afdelingen met het heldere kasdek materiaal. Bij een gelijke lichttransmissie zou het verschil in productie tussen beide behandelingen nog groter zijn geweest. Wanneer de productie in de diffuse afdeling wordt berekend met 4% meer licht, zou de geschatte totale meerproductie bij diffuus licht op 7.8% in kilo's en 11% in aantallen komkommers komen. Deze positieve effecten op de productie zouden worden bereikt als leveranciers in staat zouden zijn om een diffuus kasdek materiaal te produceren dat geen lichtverlies veroorzaakt.

Ook de kwaliteit van de geoogste komkommers werd regelmatig beoordeeld. De kleur van komkommers als gevolg van meer diffuus licht was iets lager dan onder meer direct licht. Een iets slechtere vruchtkleur had echter blijkbaar geen invloed op de houdbaarheid na de oogst.

Samenvattend kan worden gesteld dat diffuus licht en daarmee diffuse kasdek materialen een positief invloed hebben op de productie van komkommer, zeker op de onderzochte zomerteelt van komkommer. Het positieve effect van diffuus licht kan worden verklaard door een veranderde lichtdoordringing in het gewas en een verbeterde fotosynthesecapaciteit. De plant kan diffuus licht beter benutten dan direct licht. Verder zorgt een diffuus kasdek materiaal voor lagere gewastemperaturen vooral boven in het gewas zodat het fotosyntheseproces op een optimaler niveau kan verlopen. Het is wenselijk om diffuse kasdek materialen te ontwikkelen welke een hoge lichtverstrooiing hebben gecombineerd met een minimaal lichtverlies. Concreet betekend dit dat materialen worden gezocht met een lichtverstrooiing van minimaal 50% zoals hier gerealiseerd in het onderzoek met gelijktijdig een lichtdoorlatendheid van minimaal 90% bij loodrecht en 82% bij diffuus invallend licht. De lichtdoorlatendheid mag niet verder teruglopen, omdat anders de winst van een diffuus kasdek materiaal klein wordt, vooral in de winterperiode waar de hoeveelheid licht dat de kas binnenkomt vaak de beperkende factor is. In deze maanden is een lichtverstrooiend kasdek materiaal eigenlijk minder belangrijk, omdat het natuurlijke licht als gevold van bewolking toch grotendeels diffuus is, het is echter ook niet schadelijk als de lichtdoorlatendheid maar hoog genoeg is. De meeste voordelen zijn met een diffuus kasdek materiaal in de late voorjaars-, zomer- en vroege najaars maanden te halen, wanneer het natuurlijke licht vaak direct is en wanneer er een te hoge directe instraling onwenselijk is voor gewassen. In een eerdere studie (Hemming et al. 2005) werden reeds de economische perspectieven van een diffuus kasdek materiaal in kaart gebracht. Deze studie had uitgewezen dat bij een meeropbrengst van 5% een diffuus kasdek materiaal zeker rendabel is. Diffuse kasdek materialen hebben naar verwachting ook potenties voor andere gewassen, zoals tomaat en paprika, of een aantal snijbloemen zoals roos. Een vervolgonderzoek van Wageningen UR Glastuinbouw met potplanten is reeds in gang gezet. Ook dit onderzoek zal in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit worden uitgevoerd.

Door het licht diffuus te maken wordt het natuurlijke licht beter benut en de gewasopbrengst verhoogd, wat voor de energie-efficiëntie in Nederlandse kassen voordelig is.

1. Inleiding

In het kader van het programma 'Kas als Energiebron' zijn een aantal transitiepaden gedefinieerd, waaronder het transitiepad 'licht'. Hierin is de wens uitgesproken om optimaal gebruik te kunnen maken van het natuurlijke licht in Nederlandse kassen. Tegen deze achtergrond is in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en het Productschap Tuinbouw (PT) door Wageningen UR Glastuinbouw een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van productieverhoging door de relatieve hoeveelheid diffuus licht in de kas te verhogen.

In kassen wordt het binnenvallende zonlicht niet regelmatig verdeeld. Hoogopgaande gewassen zoals tomaat en paprika hebben veel bladmassa. De verticale lichtverdeling in deze gewassen is niet optimaal (Figuur 1). De bovenste bladeren onderscheppen veel licht, meer dan gebruikt kan worden voor fotosynthese en veel minder licht dringt in diepere lagen van het gewas, zodat de onderste bladeren nauwelijks bijdragen aan de fotosynthese en groei. Bij paprika bijvoorbeeld zorgen de bovenste 40% van de bladeren voor de fotosynthese van de hele plant.

Als licht van boven naar beneden beter kan worden verdeeld, zal er naar verwachting, de fotosynthese-efficiëntie van de plant stijgen. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door het licht diffuus te maken.

Naast de verticale lichtverdeling in de kas is ook de horizontale lichtverdeling belangrijk voor een gelijkmatige groei. In de plantenopwek en bij lage gewassen is de lichtverdeling in de kas, vooral op stralingsrijke dagen met veel direct licht, niet optimaal (Figuur 2). Direct zonlicht geeft namelijk slagschaduwen die door de kasconstructie en aanwezige installaties worden veroorzaakt. Sommige planten krijgen dan veel instraling en laten sneller stress- en verbrandingschade zien. Andere planten staan continu in de schaduw en ontvangen veel minder licht, ze vertonen daardoor een slechte groei en blijven in hun ontwikkeling achter. Voor een gezond en uniform gewas is een regelmatige lichtverdeling essentieel. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door diffuus licht.

Verder is uit wetenschappelijk onderzoek bekend dat sommige planten diffuus licht beter kunnen benutten voor de fotosynthese op grond van verschillende mechanismen. Bijvoorbeeld zijn epidermis cellen in staat op invallend licht te focuseren tot op een meervoud van de intensiteit van de invallende straling (Vogelmann et al., 1996). De lensvormige epidermis cellen van sommige planten kunnen het invangen van diffuus licht verhogen door het verkleinen van de spiegelreflectie, die optreedt als licht met een kleine invalshoek het bladoppervlak bereikt (Lee 1986). Andere planten hebben een hoger aandeel sponsachtige mesofylcellen, die in staat zijn om de lichtverstrooiing intern in het blad te verhogen. Deze intercellulaire reflectie verhoogt de interne licht absorptie en daarmee de fotosynthese (DeLucia et al., 1996).

Kasdekmaterialen en schaduwschermen kunnen worden gebruikt om in de kas binnenkomende zonnestraling diffuus te maken door een verschillende breking van de invallende lichtstralen. Deze materialen zijn in staat om het licht te verstrooien, voor het menselijk oog lijken deze materialen minder doorzichtig (Figuur 3), dat hoeft voor de planten echter niet het geval te zijn. Vroeger werd veelal gehamerd glas als kasdek materiaal gebruikt. Dit glas zorgde voor meer diffuse straling in de kas. Omdat dit glas veel schade gaf door breuk als gevolg van hagel is het nauwelijks nog in de tuinbouw te vinden. Nieuwbouwkassen worden gedekt met glad en doorzichtig floatglas. Hierdoor ontvangen de planten vooral in de zomermaanden veel direct licht. De laatste tijd ontstaat meer en meer de vraag naar diffuus makende kasdek- en schermmaterialen. Het lichtverstrooiend vermogen en de lichtdoorlatendheid van verschillende materialen bij lichtinval onder verschillende invalshoeken zijn belangrijke eigenschappen bij de beoordeling van diffuse kasdek- en schermmaterialen. De eigenschappen van reeds bekende materialen is inmiddels door Wageningen UR – Glastuinbouw onderzocht (Hemming et al. 2005). Het voor de Nederlandse tuinbouw optimale materiaal moet echter nog worden ontwikkeld. Hiervoor zijn de technische mogelijkheden aanwezig, toeleveranciers hebben innovaties op het gebied van diffuse materialen inmiddels opgepakt.

In een eerder onderzoek zijn de potenties van het gebruik van meer diffuus en minder direct licht in de Nederlandse kassuinbouw onderzocht (Hemming et al. 2005). Er is in kaart gebracht welke eisen te stellen zijn aan een lichtverstrooiend kasdek- of schermmateriaal. De lichtdoordringing in verschillende gewassen tijdens verschillende groeistadia onder verschillende seizoenen is met behulp van plantengroeimodellen geanalyseerd.

In de voorliggende studie zijn experimenten op semi-praktijkschaal uitgevoerd om tot een vergelijking van diffuse kasdekmaterialen met heldere materialen bij een hoogopgaand gewas (komkommer) te komen. Ook zullen de resultaten worden gebruikt voor validatie van de theoretische modellen, die in de voorafgaande studie werden gebruikt. Het onderzoek moet antwoord geven op de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is de lichtdoordringing en fotosynthese in verschillende bladlagen van het gewas als gevolg van lichtverstrooiende kasdekmaterialen in de praktijk?
- Verandert de veroudering en de lichtadaptatie van de onderste bladeren in het gewas als deze diffuus licht aangeboden krijgen?
- Veranderen klimaatparameters zoals luchtvochtigheid, kasluchttemperatuur, gewastemperatuur, raamstand of CO₂-concentratie, en wat zijn de gevolgen hiervan voor de energie-efficiëntie?
- Kan door diffuus licht een hogere opbrengst worden gerealiseerd?
- Wat is het minimale lichtverstrooiend vermogen van de kasdekmaterialen en wat het maximaal te tolereren lichtverlies?
- Moet de huidige teeltwijze worden aangepast aan de veranderde lichtomstandigheden (teeltperiode, plantdichtheid, bladplukken)?

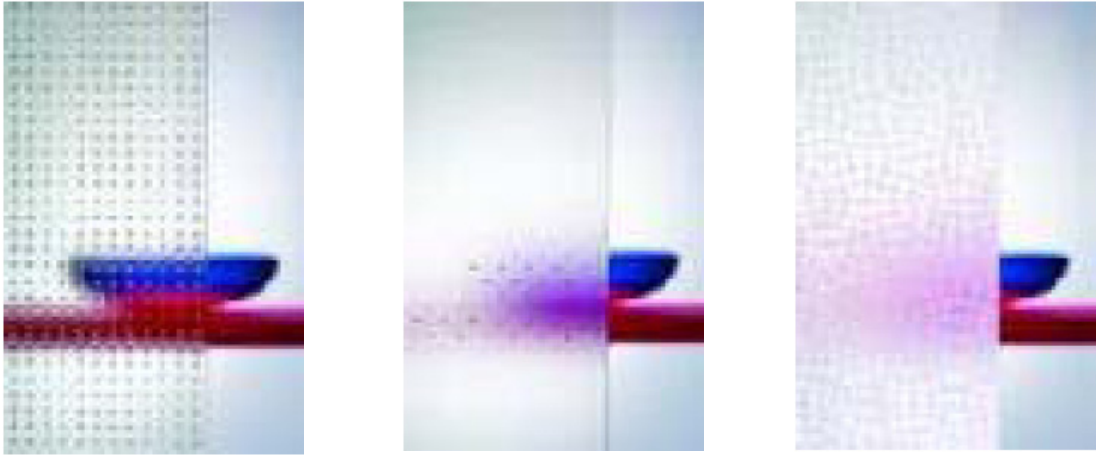
In de voorliggende studie zijn eerste onderzoeksresultaten van het effect van diffuus licht in een kas weergegeven. Het onderzoek werd uitgevoerd met komkommer tijdens het voorjaar en de zomer 2006.



Figuur 1. Verticale lichtverdeling in gewassen mogelijk verbeterd door diffuus licht, meer licht onderin het gewas en meer bijdrage van onderste bladlagen aan fotosynthese?



Figuur 2. Horizontale lichtverdeling in gewassen mogelijk verbeterd door diffuus licht, minder slagschaduw en uniformer gewas?

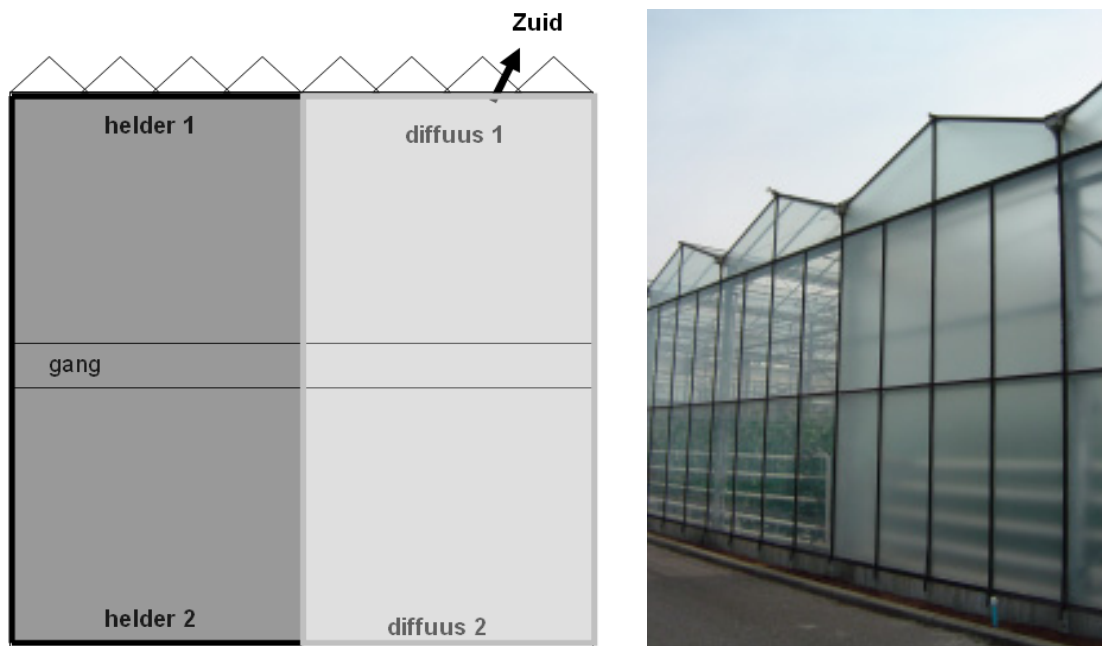


Figuur 3. Nieuwe transparante materialen zijn in staat om direct licht om te zetten in diffuus licht, lichtverstrooiing van deze materialen kan verschillend zijn (links 15%, midden 50%, rechts 80%) bij een vergelijkbare lichtdoorlatendheid.

2. Materialen en Methoden

2.1 Onderzoekskassen

Op het proefbedrijf van PPO Glas is op de locatie Naaldwijk een experiment met komkommers uitgevoerd. Er werd gebruikt gemaakt van vier gelijke kasafdelingen van elk 150 m². De kassen hebben een nokoriëntatie in richting Zuid/Zuid-Oost naar Noord/Noord-West en liggen in een blok met een gangpad in het midden (Figuur 4). Er zijn twee behandelingen aangebracht, twee afdelingen met een diffuus kasdek materiaal en twee afdelingen met een helder kasdek materiaal. De twee herhalingen liggen elk aan de zuidkant en aan de noordkant. De afdelingen zijn volledig van elkaar gescheiden. Het klimaat van elke afdeling kan apart worden geregeld.



Figuur 4. Onderzoekskassen en experimentele set-up.

2.2 Kasdekmaterialen

In het experiment werd een helder kasdek materiaal vergeleken met een diffuus kasdek materiaal. Hiervoor werd een heldere en een diffuse folie op het glas van de bestaande kasafdelingen geplakt. Dit heeft tot gevolg dat de totale lichttransmissie in de proef lager was dan in de praktijksituatie. Omdat het echter gaat om een vergelijking van twee behandelingen kunnen wél de nodige conclusies worden getrokken.

Als lichtverstrooiend materiaal is gekozen voor F-Clean diffuus van Asahi Glass Europe BV, omdat het materiaal een hoge lichttransmissie en een hoge lichtverstrooiing vertoont. Als vergelijkingsmateriaal is gekozen voor F-Clean in een heldere uitvoering welke een ongeveer vergelijkbare lichttransmissie heeft, tenminste voor direct invallend licht. De twee foliematerialen werden gelamineerd met een optisch heldere lijm met een zeer hoge transparantie en vervolgens van buiten op de ruiten van de bestaande kasafdelingen geplakt.

Zowel de gevels als ook het dak van de twee diffuse afdelingen inclusief het dak van de tussen liggende gang werden beplakt met de diffuse folie. Ook de scheidingswand tussen de diffuse en de heldere afdelingen werden beplakt met de diffuse folie, dit om te voorkomen dat in de ochtenduren direct licht op het proefveld kon komen.

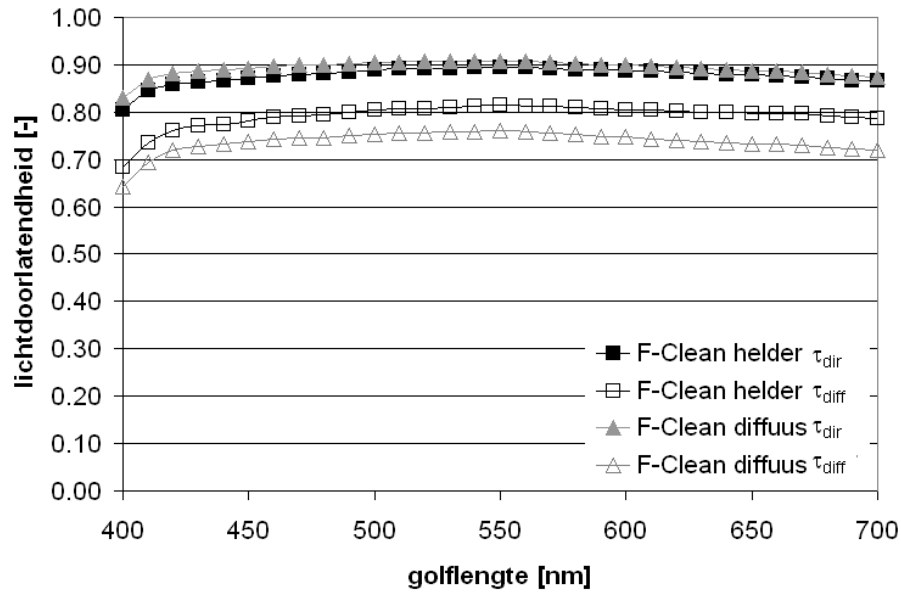
In de heldere afdelingen werden alle buitenliggende gevels en het dak inclusief het dak van de tussen liggende gang beplakt met de heldere folie. Om te voorkomen dat diffuus licht op het proefveld in de heldere afdelingen valt, ligt het proefveld zo ver mogelijk af van de scheidingswand van de twee behandelingen.

De materiaalcombinatie glas met F-Clean diffuus heeft, gemeten volgens NEN 2675, een PAR transmissie voor loodrecht opvallend licht van 89.5% en een PAR transmissie voor diffuus invallend licht van 74.1%. Daarentegen heeft de combinatie glas met F-Clean helder een PAR transmissie voor loodrecht opvallend licht van 88.0% en van 79.5% voor diffuus invallend licht. Deze waarden laten zien dat het diffuse materiaal bij loodrecht opvallend licht een iets hogere lichtdoorlatendheid heeft, maar vooral voor diffuus invallend licht meer dan 5% in lichttransmissie achteruit gaat. Het spectrum van de twee materiaalcombinaties voor direct en diffuus opvallend licht wordt weergegeven in Figuur 6.

De lichtverstrooiing (Haze) van het diffuse materiaal was 51.9%.



Figuur 5. Helder en diffuus kasdek materiaal op onderzoekskassen.



Figuur 6. PAR transmissie bij directe, loodrechte lichtinval en bij diffuse lichtinval op twee combinaties van kasdekmaterialen: Glas met een heldere folie (F-Clean helder) en glas met een diffuse folie (F-Clean diffuus).

2.3 Teeltsysteem

Als modelgewas voor het onderzoek werd komkommer gekozen, omdat de duur van een zomerteelt relatief kort is, en omdat er resultaten van een modelmatig studie (Hemming et al. 2005) beschikbaar waren. Het onderzoek is uitgevoerd tijdens de voorjaar- en zomermaanden, omdat uit vooronderzoek gebleken is dat in deze periode de grootste effecten te verwachten zijn.

De komkommers ras Shakira (Figuur 7) stonden in 18 teeltrijen met een plantdichtheid van 3.5 planten per m². De komkommers zijn geteeld op steenwol, met een gemiddeld pH van 5.3 en een gemiddeld EC van 3. Plantdatum was 18 april 2006, op 9 mei hadden de planten de draad bereikt, ze werden getopt, twee zijloten groeien verder, het teelteinde was op 26 juli 2006. Het groeiprincipe van de komkommers is ook weergegeven in Figuur 10. De eerste bloei in de zesde oksel was na 10 dagen, de eerste bloem in de zestiende oksel werd vastgesteld na 16 dagen. De eerste oogst vond plaats op 9 mei.



Gewas op 19 april 2006, plantdatum



Gewas op 25 april 2006, 1 week oud



Gewas ca. 2 weken oud, eerste bloemen op 29 april 2006



Gewas ca. 3-4 weken oud, eerste vruchten op 9 mei 2006

Figuur 7. Teeltsysteem en gewasgroei.

2.4 Kasklimaat en gewastemperatuur

In de vier kasafdelingen werden de volgende klimaatgegevens bijgehouden:

- Temperatuur droge bol [°C]
- Temperatuur natte bol [°C], relatieve luchtvochtigheid [%]
- CO₂-concentratie [ppm]
- Raamstand [%]
- Globale straling [W/m²]
- PAR licht [μmol/m²/s]
- Gewastemperatuur [°C]

Metingen werden in alle vier kasafdelingen continue uitgevoerd en de gemiddelde gegevens om de 15 minuten opgeslaan. De gewastemperatuur werd over een periode van twee weken van 12 juli t/m 26 juli 2006 bovenin en onderin het gewas gemeten met behulp van vier IR-camera's van Growlab Hogendoorn. Data werden om de 5 minuten opgeslaan.

2.5 Lichtintensiteit en lichtverdeling in het gewas

Om het verloop van de stralingsintensiteit in de vier kasafdelingen bij te houden werden de stralingsgegevens boven het gewas op traliehoogte gemeten met behulp van PAR Lite sensoren en solarimeters CM10 van Kipp & Zonen BV. De stralingsdata werden elke 20 seconden opgeslagen met behulp van een datalogger Datataker 600. Ook de stralingsgegevens buiten werden bijgehouden. Er werd een PAR Lite sensor op de nok van de onderzoekskassen geïnstalleerd, verder werd er gebruik gemaakt van de data van de solarimeter van de centrale weertoren van het proefstation Naaldwijk. Gemeten werden binnen en buiten:

- Globale straling [W/m²]
- PAR licht [μmol/m²/s]

Om de lichtverdeling in het gewas te analyseren werden op verschillende momenten (vlak voor de destructieve oogsten) en op verschillende tijden over de dag metingen van de lichtverdeling in gewas uitgevoerd. Metingen werden uitgevoerd met behulp van het sunscan systeem van Delta-T Ltd. (Figuur 8). Metingen werden gedaan op:

- verschillende afstanden in het gewas van de stengel
- verschillende hoogtes in het gewas
- verschillende plaatsen in de kas
- bewolkte en heldere dagen
- verschillende tijdstippen op een dag



Figuur 8. Meting lichtverdeling in het gewas.

2.6 Fotosynthese, SPAD en RuBisCo

Fotosynthese

De fotosynthese-capaciteit bij twee lichtniveau's werd gemeten met een draagbare fotosynthesemeter (LCpro+, ADC, Hoddesdon, Verenigd Koninkrijk) met een bladkamer van 6.25 cm². Het zijn dus géén actuele fotosynthese metingen. De actuele fotosynthese is namelijk sterk afhankelijk van de heersende klimaatcondities en is variabel gedurende de dag met name als het lichtniveau varieert. Door te meten onder vaste klimaatcondities in de bladkamer (Figuur 9) wordt de fotosynthese *capaciteit* gemeten; dat wil zeggen dat de hoeveelheid CO₂ die het blad opneemt (en vervolgens kan gebruiken om suikers van te produceren) gemeten wordt onder deze specifieke condities. Dit maakt het mogelijk om alle metingen gedurende de dag en in de verschillende kasafdelingen onderling te vergelijken.

Metingen werden gedaan aan bladeren in 4 lagen van het gewas bij een 'normaal' lichtniveau (465 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en bij een 'maximaal' lichtniveau (1250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). De metingen werden uitgevoerd op een volgroeid blad, dat niet beschadwd wordt door bovenliggende bladeren. In de bladkamer stroomt lucht met een constante snelheid langs het blad. Uit het verschil van de hoeveelheid CO₂ van de ingaande en uitgaande lucht wordt de netto fotosynthese berekend. De condities in de bladkamer werden ingesteld. Met een externe lichtbron werd 465 of 1250 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$ op het blad gegeven, de CO₂ concentratie in de bladkamer was 700 ppm, de temperatuur was 21°C, en de relatieve luchtvochtigheid van de uitgaande lucht was circa 85%.

De fotosynthese-capaciteit is iedere 2 weken gemeten. De metingen duurden circa 10 minuten per plant. Er werd iedere keer aan een andere plant gemeten. Na elke meting werd de apparatuur verplaatst naar een andere kasafdeling, zodat de fotosynthese-capaciteit gedurende een dag in kaart gebracht werd in elke kasafdeling.



Figuur 9. Metingen fotosynthesecapaciteit in verschillende bladlagen.

SPAD

De hoeveelheid chlorofyl in het blad werd geschat door de lichttransmissie te meten door het blad met een SPAD 50 meter (Minolta). Aan elk blad werd het gemiddelde van 6 metingen gebruikt.

RuBisCo

Bij 2 specifieke ontwikkelingsstadia van het gewas zijn de 4 verschillende bladlagen van de komkommerplanten bemonsterd voor de bepaling van het eiwitgehalte ($\mu\text{g g}^{-1}$) en het RuBisCo-gehalte ($\mu\text{g g}^{-1}$). Daarvoor werden per bladlaag 6 ponsen uit een representatief blad uit de betreffende laag genomen en in vloeibaar stikstof van $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ getransporteerd om vervolgens in een vriezer van $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ bewaard te worden tot de analyse plaatsvond. De monsternamen werden in duplo gedaan, waarbij het duplo-monster uit een andere plant kwam.

Voor de eiwit- en RuBisCo-bepalingen werd aan een extractiebuffer 50 mM Tris pH 8, 10 mM EDTA, 30 mM DTT, 0.3 M NaCl, vlak voor gebruik 10 $\mu\text{l/ml}$ protease inhibitor cocktail (Sigma P9599) toegevoegd. Het bladmateriaal werd gemalen in $\text{N}_2(\text{l})$, aan ongeveer 200 mg poeder 500 μl extractiebuffer (ijskoud) toegevoegd en gevortexed tot een homogeen mengsel en op ijs bewaard. De samples werden 5 minuten gecentrifugeerd (140000 rpm) bij 0 graden. Het supernatant werd in een schone ep gegeven. Het werd 10 minuten gecentrifugeerd bij 0 graden. Het tweede supernatant werd in een schone ep gegeven en bewaard in -20 graden.

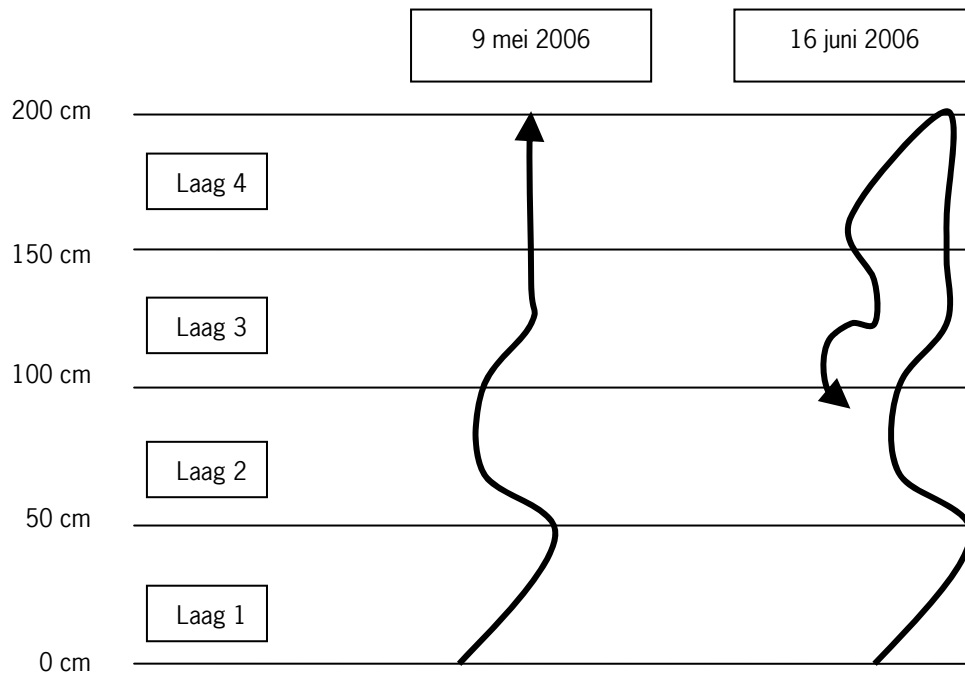
2.7 Gewasmorfologie

Om veranderingen in de gewasmorfologie als gevolg van diffuus licht te onderzoeken zijn op verschillende tijdstippen planten destructief geoogst (Figuur 11). Oogstdata waren: 19 April, 25 April, 3 Mei, 9 Mei, 23 Mei, 13 Juni, 27 Juni, 11/12 Juli.

Bij de destructieve oogst werden 4-12 planten per behandeling geanalyseerd. Bij deze analyse werd een plant opgedeeld in 4 bladlagen (Figuur 10). De volgende parameters werden op alle oogstdata geanalyseerd:

Aantal bladeren per bladlaag per plant [-]

- Versgewicht bladeren, stengel en vruchten apart per bladlaag per plant [g]
- Drooggewicht bladeren, stengel en vruchten apart per bladlaag per plant [g]
- Drogestofgehalte bladeren, stengel en vruchten apart per bladlaag per plant [g]
- Bladoppervlak per bladlaag per plant [m^2]
- LAI per plant (leaf area index) [-]
- SLA per plant (specific leaf area) [g m^{-2}]



Figuur 10. Schematische voorstelling van het ontwikkelingsstadium van de komkommerplanten op 9 mei en 16 juni 2006 met de bijbehorende gewashoogtes en de betreffende bladlagen. De pijl geeft de groei richting van de stam (en op 16 juni de zijloot) aan en daarbij de leeftijd van oud naar jong.



Figuur 11. Metingen destructieve oogstparameters.

2.8 Productie en kwaliteit

Oogstrijpe vruchten werden drie tot vier keer per week geoogst. Oogstrijpe vruchten zijn vruchten met een gewicht van 410-510 g (veertigers). Bij de oogst is gekeken naar de plantbelasting van het gewas, d.w.z. als er veel vruchten aan de plant hingen, zijn deze wat eerder meegenomen om de plant te ontlasten.

De vruchten werden ingedeeld in twee klassen, t.w. klasse 1 vruchten die geschikt zijn voor de export v.w.b. vorm en kleur, en klasse 2 vruchten die niet geschikt zijn vanwege afwijkende vorm of kleur. Vruchten gingen vervolgens een houdbaarheidsproef in, waarbij ze bewaard werden bij 20°C en 80% RV. Als de vruchten tijdens de bewaarperiode zo sterk verkleurden dat ze onverkoopt waren of rot werden, was het einde van de houdbaarheidsperiode bereikt. De houdbaarheid werd in dagen uitgedrukt.

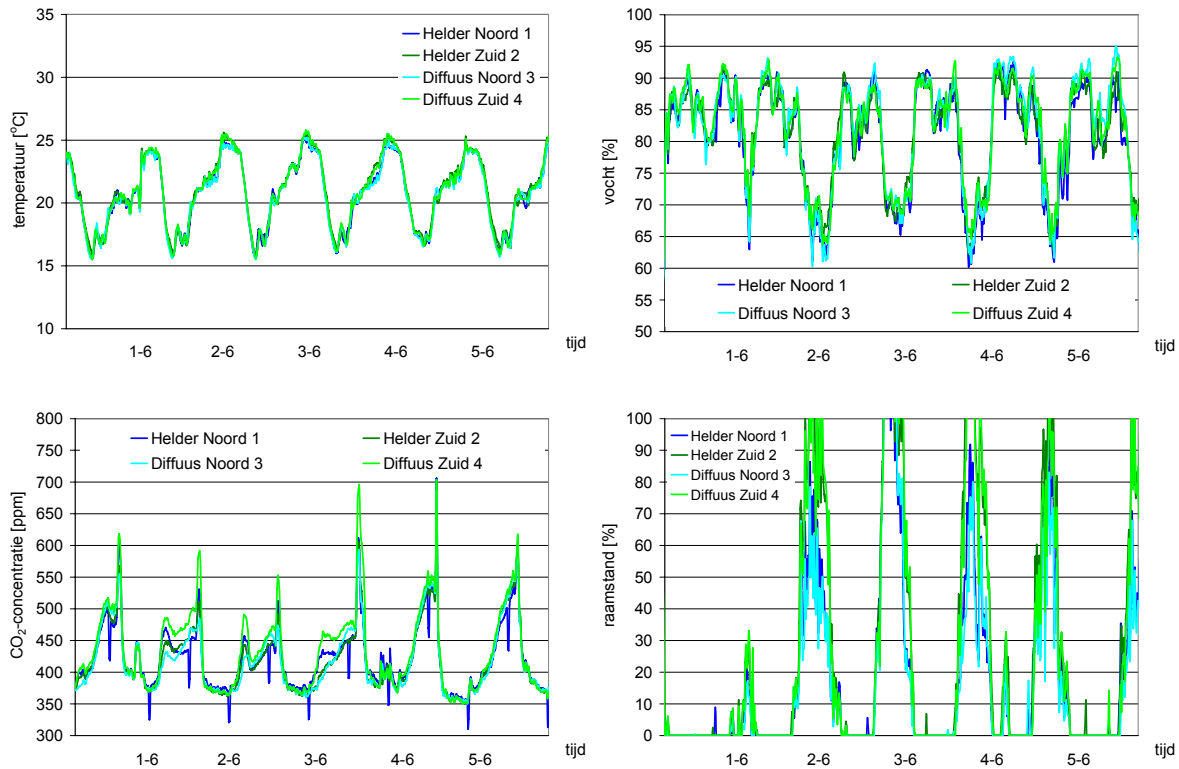
3. Resultaten en discussie

3.1 Kasklimaat en gewastemperatuur

Het kasklimaat tijdens het experiment was gekarakteriseerd door de gegevens in Tabel 1. Er was geen verschil in kasluchttemperatuur, vochtgehalte van de lucht of CO₂-concentratie tussen de twee afdelingen met een helder kasdek materiaal vergeleken met de twee afdelingen met een diffuus kasdek materiaal. Er was wel een verschil tussen de twee afdelingen aan de Noordkant van het kascomplex vergeleken met de twee afdelingen aan de Zuidkant. Zowel de heldere als ook de diffuse afdeling aan de Zuidkant van het kascomplex waren gemiddeld overdag wat warmer en vochtiger (Tabel 1 en Figuur 12). De luchtramen stonden gemiddeld 7% meer open dan aan de Noordkant. Tijdens de nachturen waren er geen verschillen in de gemeten kasklimaatparameters.

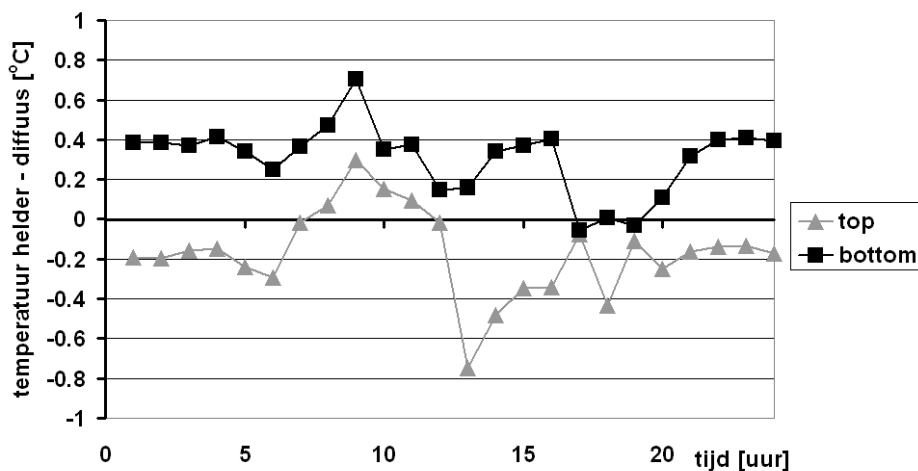
Tabel 1. *Samenvatting kasklimaat tijdens het experiment.*

			Helder	Diffuus	Totaal
Dag	Temperatuur kas	Noord	23,8	23,9	23,8
		Zuid	24,1	24,1	24,1
		Totaal	24,0	24,0	
	Vocht [%]	Noord	68,9	69,7	69,3
		Zuid	75,3	76,6	76,0
		Totaal	72,1	73,2	
	CO ₂ -concentratie	Noord	430,1	414,0	422,1
		Zuid	418,4	436,4	427,4
		Totaal	424,2	425,2	
	Raamstand [%]	Noord	93,3	94,2	93,8
		Zuid	99,6	101,1	100,4
		Totaal	96,5	97,6	
Nacht	Temperatuur kas	Noord	19,1	19,1	19,1
		Zuid	19,1	19,1	19,1
		Totaal	19,1	19,1	
	Vocht [%]	Noord	83,2	84,2	83,7
		Zuid	86,0	85,8	85,9
		Totaal	84,6	85,0	
	CO ₂ -concentratie	Noord	446,1	463,6	454,9
		Zuid	445,2	468,2	456,7
		Totaal	445,6	465,9	
	Raamstand [%]	Noord	43,2	41,9	42,5
		Zuid	42,3	42,8	42,6
		Totaal	42,7	42,4	



Figuur 12. *Kasklimaat (kasluchttemperatuur, vocht, CO₂-concentratie en raanstand) op enkele typische dagen in alle afdelingen tijdens het experiment.*

Ook de gewastemperatuur werd boven en onder in het gewas tijdens een stralingsrijke periode in juli gemeten. Gemiddeld was het in deze periode boven in het gewas 0.2 tot 0.8°C warmer onder het heldere kasdek materiaal ten opzichte van het diffuse kasdek materiaal. Aan de andere kant was het onder in het gewas gemiddeld rond 0.4°C kouder. Omdat de gewastemperatuur niet over de hele groeiperiode is gemeten, kunnen wij geen conclusies trekken over minder stralingsrijke periodes. Het is verwachten dat er dan nog nauwelijks verschillen optreden, omdat de bewolking ook in de heldere afdelingen voor diffuus licht zorgt. De gewastemperatuur zal dan in beide gevallen ongeveer op het niveau van de kasluchttemperatuur liggen.



Figuur 13. *Gemiddelde gewastemperatuur in de loop van de dag boven en onder in het gewas. De figuur laat het verschil van de gewastemperatuur onder het heldere kasdek materiaal min de gewastemperatuur onder het diffuse kasdek materiaal zien.*

3.2 Lichtintensiteit en lichtverdeling in het gewas

Het Nederlandse klimaat wordt gekarakteriseerd door een globale straling van rond 3650 MJ/m² per jaar (Breuer en van de Braak, 1989; Velds et al., 1992). De stralingssom in de zomermaanden is ongeveer tien keer zo hoog als in de wintermaanden. De hoeveelheid directe straling is 1080 MJ/m² jaarrond. In de wintermaanden (oktober t/m maart) is gemiddeld 20% van de straling directe straling, in de zomermaanden (april t/m september) is dit gemiddeld 40%. De hoeveelheid directe straling tijdens de wintermaanden is maar 5.5% van de totale stralingssom jaarrond, in de zomermaanden is dit 24.1%. Het verloop van directe en diffuse straling jaarrond wordt in Tabel 2 weergegeven. Deze getallen laten zien dat in de wintermaanden het licht al van nature hoofdzakelijk diffuus is en dat meeste effecten van een lichtverstrooiend of diffuus kasdek materiaal met name in de voorjaars- zomer en najaarsmaanden verwacht kunnen worden.

Tabel 2. Zonnestraling gemiddeld in Nederland.

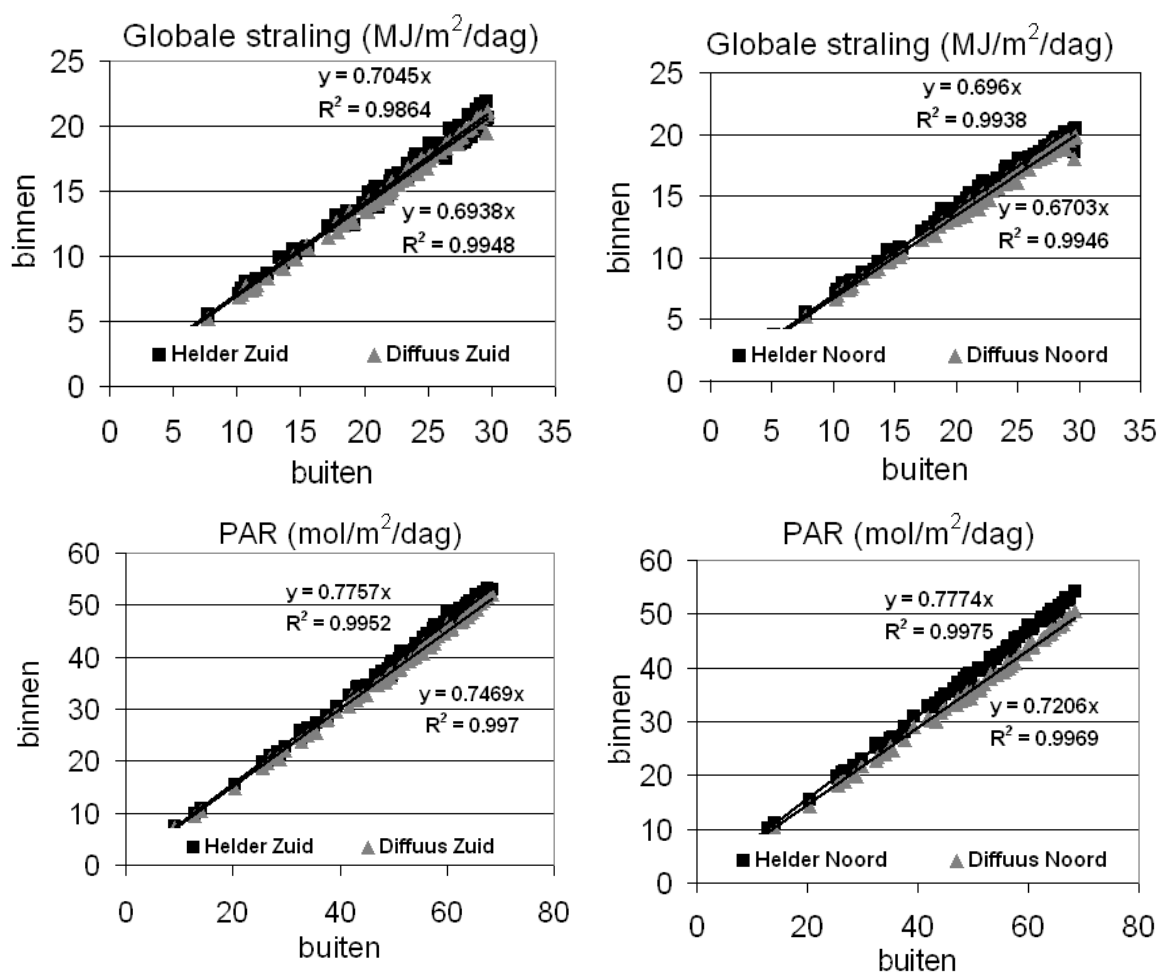
Maand	Globale straling			Direct aandeel [%]	Diffuus aandeel [%]
	totaal [MJ/m ²]	direct [MJ/m ²]	diffuus [MJ/m ²]		
Januari	63	13	50	20.5	79.5
Februari	105	16	89	15.0	85.0
Maart	315	95	220	30.2	69.8
April	299	42	258	13.9	86.1
Mei	568	162	406	28.6	71.4
Juni	552	159	393	28.8	71.2
Juli	597	245	353	41.0	59.1
August	503	148	354	29.5	70.5
September	342	124	218	36.2	63.8
Oktober	164	38	126	23.1	76.9
November	90	26	64	28.9	71.0
December	54	14	40	26.6	73.4
Totaal	3650	1081	2569		
Winter	789	202	588	5.5	16.1
Zomer	2861	880	1981	24.1	54.3

De stralingsgegevens zijn tijdens het experiment zowel buiten de kas op de locatie Naaldwijk als ook binnen in de vier verschillende kasafdelingen continue gemeten. Globale straling en PAR straling tijdens de experimentele periode zijn weergegeven in Figuur 14. In de Zuid-afdelingen van het experimentele kascomplex valt op dat er ruim 1% meer zonnestraling binnen komt in de afdelingen gedekt met een helder kasdek materiaal en ruim 3% meer PAR licht. In de Noord-afdelingen daarentegen zijn deze verschillen groter. Er komt ruim 2% meer zonnestraling binnen en ruim 5% meer PAR-licht. Gezien de karakteristiek van de twee kasdek materialen (Figuur 6), is het verschil tussen het diffuse en heldere kasdek materiaal en tussen de Noord- en de Zuidkant logisch. Bij lagere zonnestand en bewolking (indirect licht) komt er minder straling en PAR licht in de diffuse afdelingen. Aangezien in de afdelingen aan de Noordkant gemiddeld meer indirect licht binnenkomt dan aan de Zuidkant, zijn de verschillen in globale straling en PAR licht groter.

Samenvattend kunnen wij vaststellen dat er in onze experimentele opstelling gemiddeld 4% minder PAR licht en rond 2% minder globale straling was in de diffuse kascompartimenten.

Onder een diffuus kasdek materiaal wordt het licht ook anders verdeeld in de kas. Slagschaduw door constructiedelen van de kas treden minder op (Figuur 15) en de lichtverdeling in het gewas is veranderd (Figuur 16, Figuur 17 en Figuur 18). Aan het begin van de teelt (19 april) wordt zowel in de heldere als ook in de diffuse kasafdelingen niet

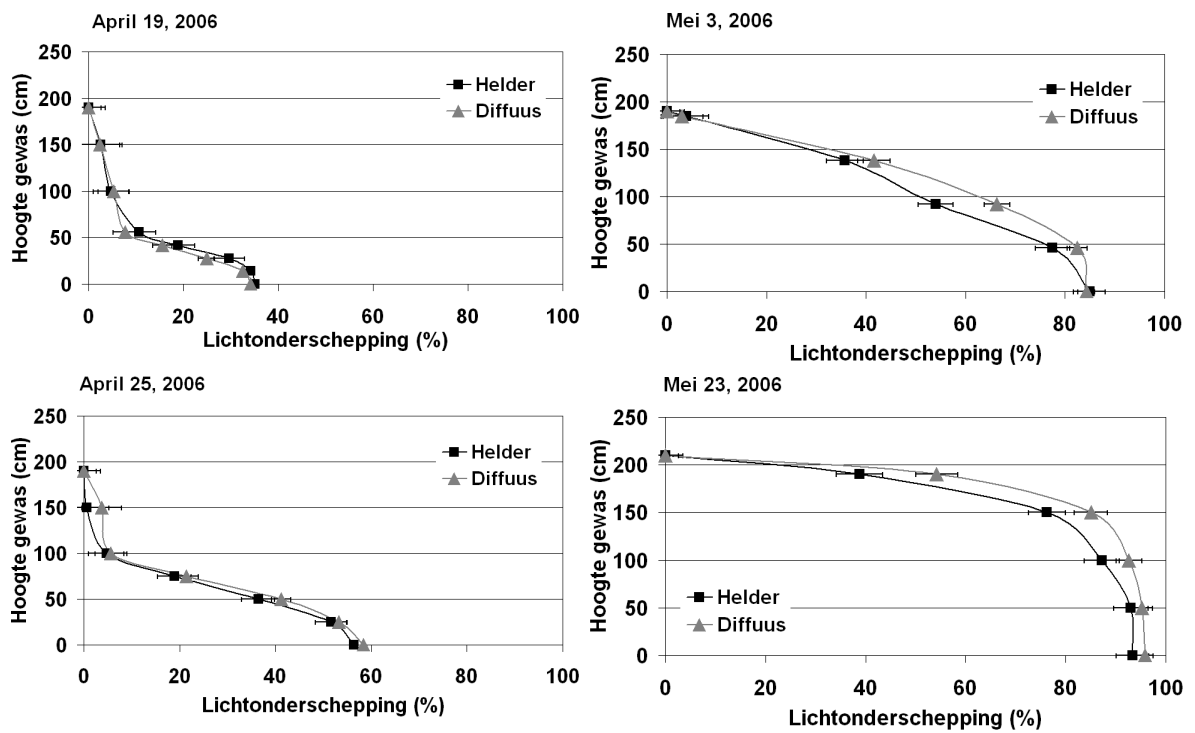
al het licht onderscheept door het gewas. Het gewas is maar rond 50 cm hoog en kan maar tot maximaal 40% van het binnenvallende licht onderscheppen. Er is geen verschil tussen de twee behandelingen. Een week na plantdatum (25 april) is het gewas al 100 cm hoog en kan tot maximaal 60% van het binnenvallende licht onderscheppen, nog steeds zonder zichtbaar verschillend tussen de kasafdelingen. Na drie weken (3 mei), beginnen de curves voor de lichtonderschepping in de verschillende hoogtes van het gewas voor de twee behandelingen uit elkaar te lopen. Het viel op dat bij een totale gewashoogte van rond 200cm in het midden van het gewas (hoogte 50 tot 150 cm) meer licht door de bladeren wordt onderscheept als het licht diffuus was. Het gewas was nu zo dicht dat het 85% van het binnenkomende licht kon onderscheppen. Vanaf 23 mei heeft het gewas zijn maximale hoogte en LAI bereikt. Meer dan 90% van het licht werd onderscheept. Vanaf eind mei valt het op dat er gemiddeld meer licht door het gewas onder het diffuse kasdek materiaal wordt onderscheept door de middelste bladlagen dan onder het heldere kasdek materiaal (Figuur 16).



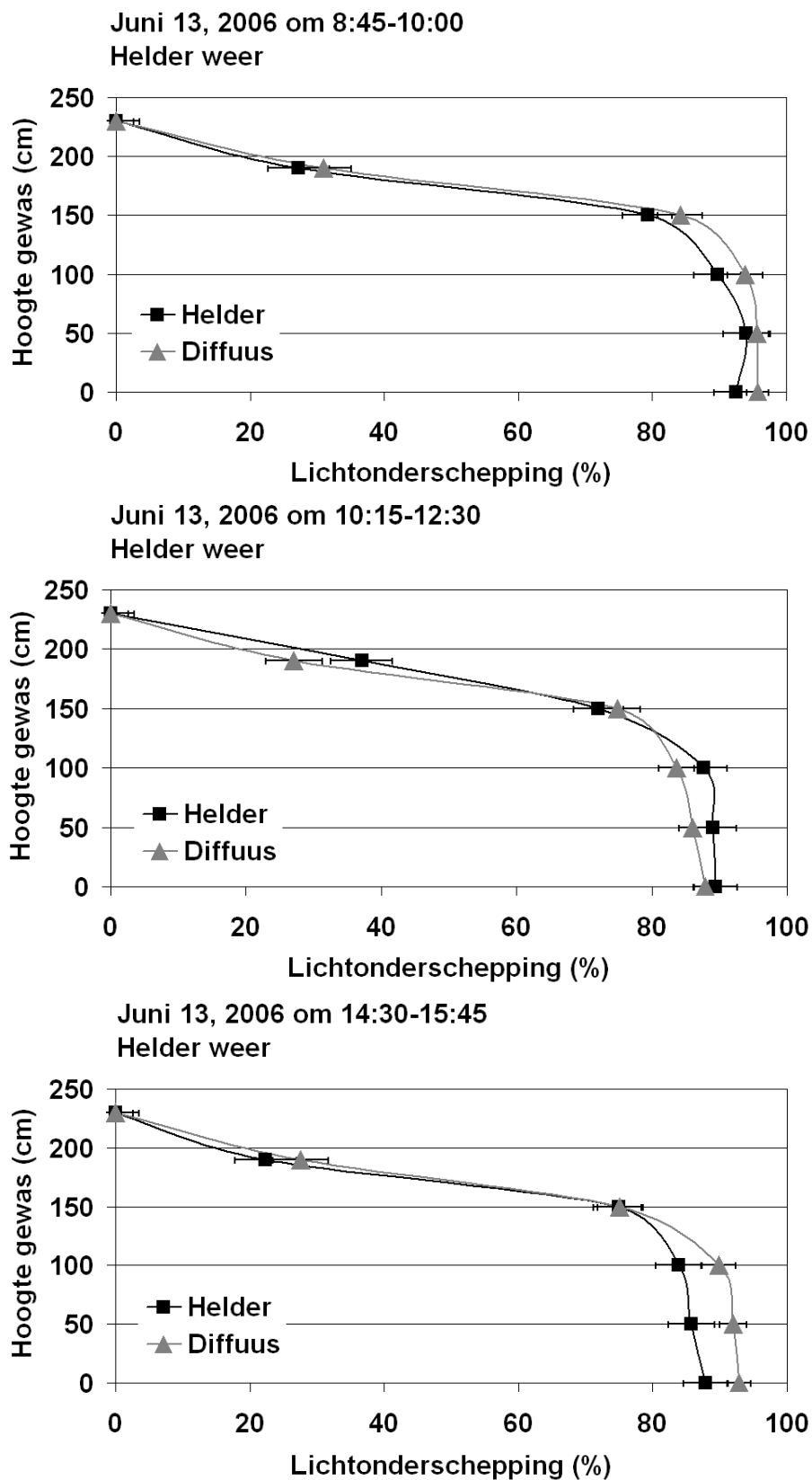
Figuur 14. Globale straling en PAR straling binnen en buiten de verschillende kasafdelingen gedekt met een helder of diffuus kasdek materiaal aan de Noord- en de Zuidkant tijdens het experiment.



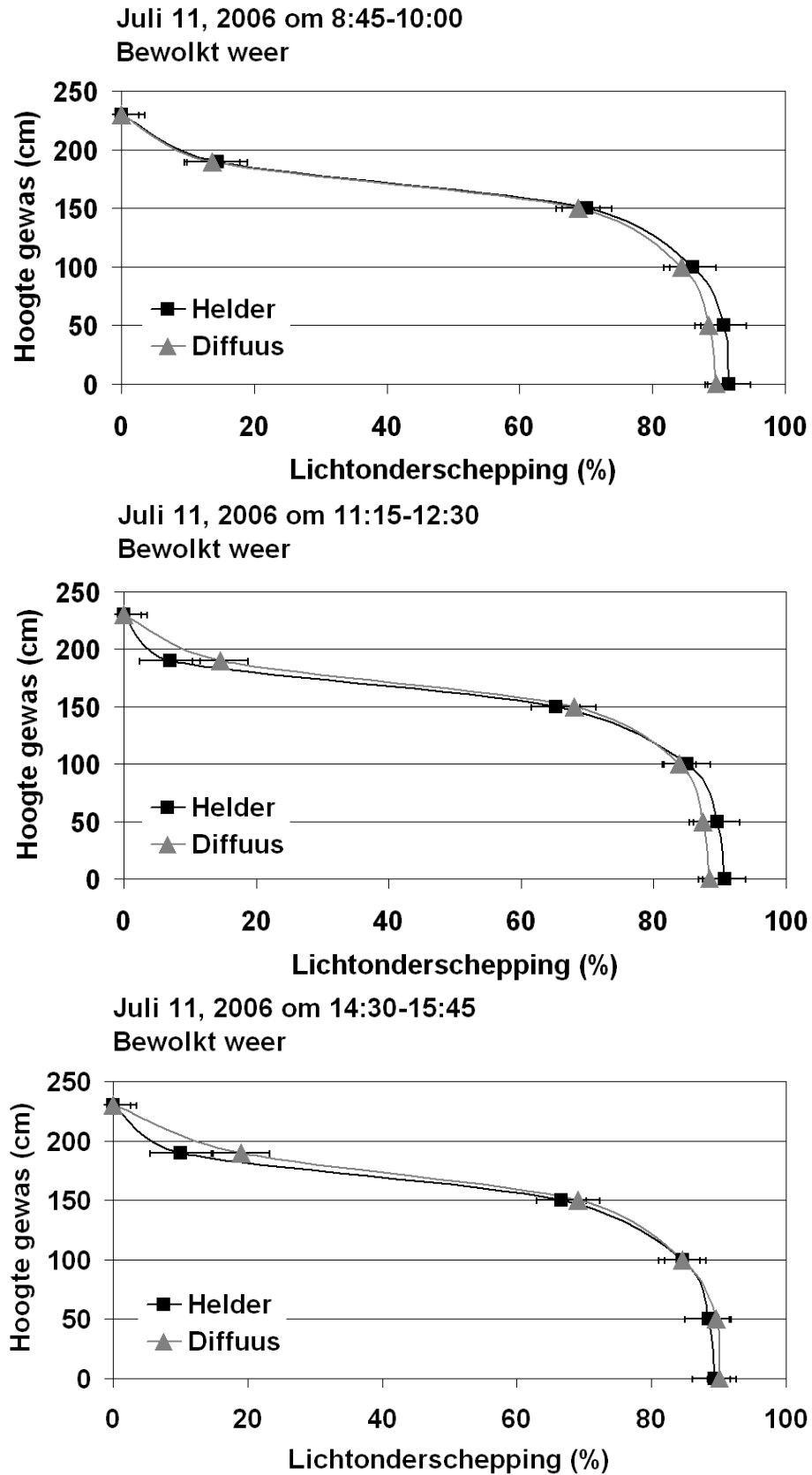
Figuur 15. Lichtdoordringing in het gewas in de heldere en diffuse afdelingen.



Figuur 16. Lichtonderschepping in verschillende hoogtes van het gewas in de heldere en diffuse afdelingen in de loop van de teeltperiode.



Figuur 17. Lichtonderschepping in verschillende hoogtes van het gewas in de heldere en diffuse afdelingen in de loop van de dag bij helder weer buiten (13 juni 2006).



Figuur 18. Lichtonderschepping in verschillende hoogtes van het gewas in de heldere en diffuse afdelingen in de loop van de dag bij bewolkt weer buiten (11 juli 2006).

De wijze van lichtonderschepping door het gewas verschilt in de loop van de dag. Terwijl in de ochtend en namiddag-uren meer licht wordt onderschept onder het diffuse kasdek materiaal, is dit tijdens de late ochtenduren en rond de middag andersom (Figuur 17). Dit kon worden vastgesteld op verschillende meetdagen bij helder weer. Blijkbaar wordt dit ook beïnvloed door de richting van het teeltsysteem bij helder weer. In ons experiment stonden de teeltreijen in de Noord-Zuidrichting. Tijdens de middaguren valt er dus relatief veel licht tussen de rijen van de zijkant in het gewas. Met name in de heldere afdelingen lijkt het licht op deze momenten reeds meer in het midden van het gewas geabsorbeerd te worden vergeleken met de diffuse afdelingen. Op deze momenten op stralingsrijke dagen absorbeert het gewas in de heldere afdelingen dus meer licht, het lichtniveau ligt op deze momenten hoog, tegen het verzadigingspunt voor de fotosynthese aan.

Bij bewolkt weer wordt zowel door het gewas onder het heldere kasdek materiaal als ook door het gewas onder het diffuse kasdek materiaal even veel licht onderschept. Er is geen verschil in lichtverdeling te zien. In totaal wordt rond 90% van het binnenkomende licht onderschept (Figuur 18).

3.3 Fotosynthese, SPAD en RuBisCo

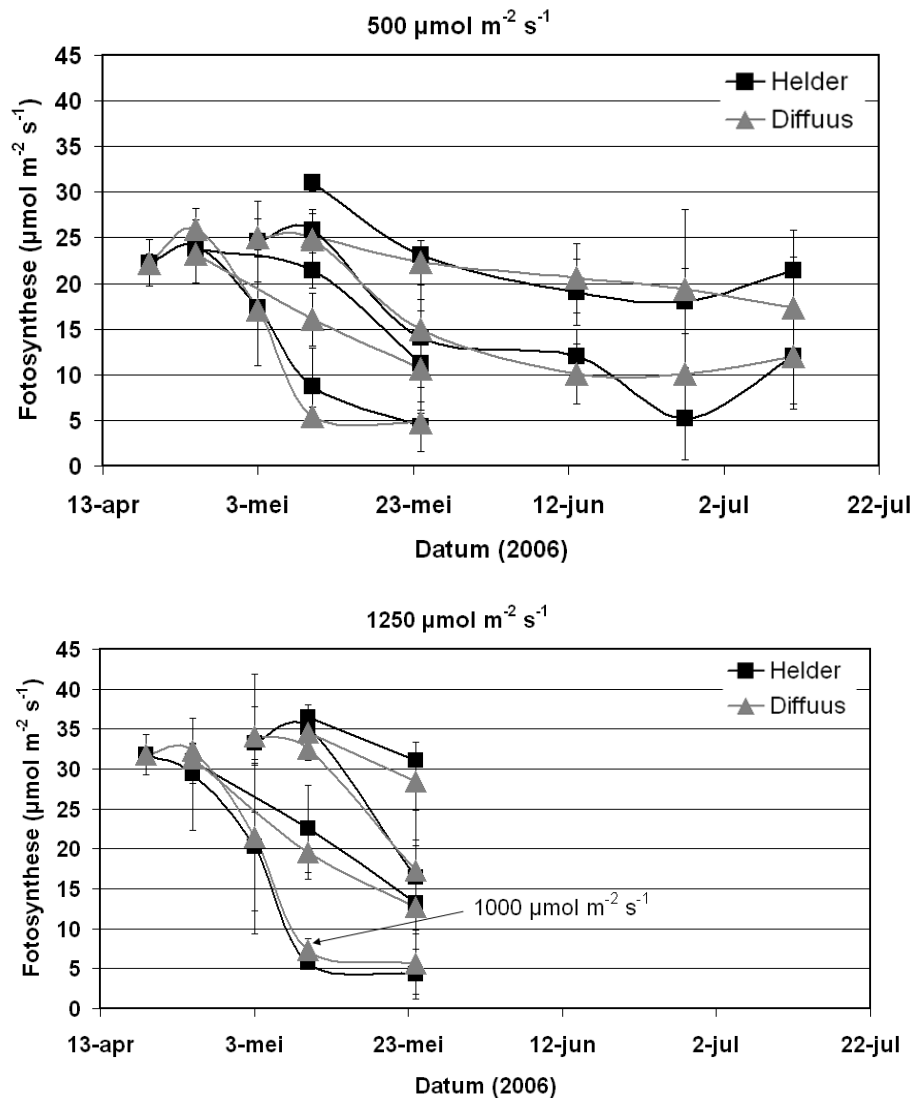
Fotosynthese

Voor de bepaling van de effecten van diffuse straling op de fotosynthesecapaciteit van komkommer is de fotosynthesesnelheid bij 2 lichtniveaus bepaald in verschillende gewasstadia en in de 4 verschillende bladlagen. Vanaf het begin van de proeven is de fotosynthesesnelheid bepaald bij 500 en 1250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in 4 bladlagen. Toen bleek dat de variatie van de fotosynthesesnelheid tussen de planten en bladlagen erg hoog was is overgegaan naar metingen in de bovenste 2 bladlagen bij alleen 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, waardoor het aantal monsternames bij deze intensiteit vergroot kon worden.

Uit figuur 19 wordt duidelijk dat zowel bij gemiddelde lichtomstandigheden (500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) als bij verzadigende lichtniveaus (1250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) er grote variatie bestaat bij de bladeren van één bladlaag, die daardoor niet significant van elkaar verschillen, ook niet tussen de behandelingen diffuus en helder kasdek materiaal. Verschillen tussen de bladlagen waren wel significant ($P < 0.05$).

Tabel 3. Gemiddelde fotosynthesesnelheid ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) tussen 9 mei en 11 juli 2006 in 4 verschillende bladlagen van komkommer bij 500 en 1250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ voor de hoofdstam en de zijloten.

Bladlaag	Gewashoogte	Stam				Zijloten			
		500		1250		500		1250	
		Direct	Diffuus	Direct	Diffuus	Direct	Diffuus	Direct	Diffuus
4	150-200 cm	22,5	21,0	33,8	31,5	22,0	22,4	-	-
3	100-150 cm	13,8	14,4	25,8	24,9	11,8	17,4	-	-
2	50-100 cm	16,3	13,4	17,8	16,1	-	-	-	-
1	0-50 cm	6,5	5,1	5,1	6,5	-	-	-	-

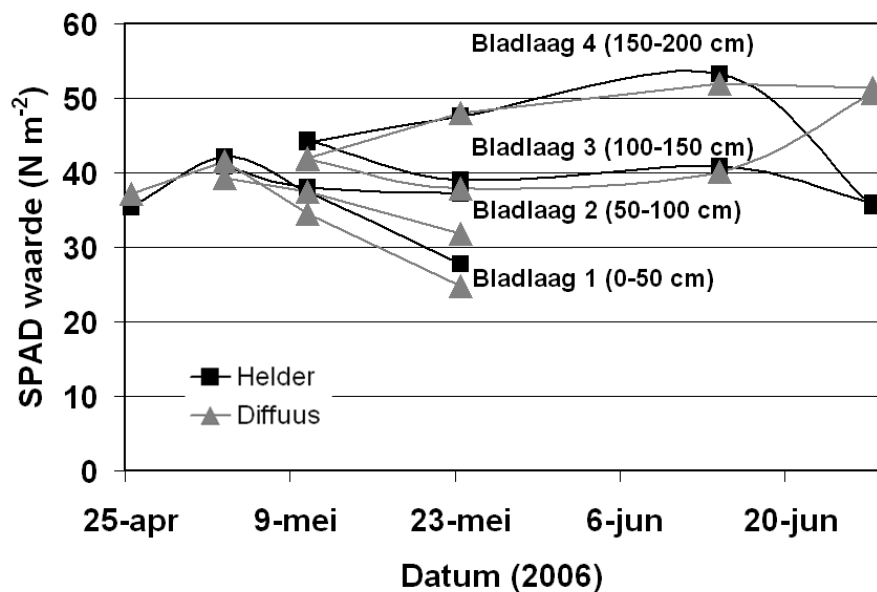


Figuur 19 Verloop van de fotosynthesesnelheid van komkommerbladeren 4-5-6 (laag 1), 8-9 (laag 2), 12-13 (laag 3) en 17 (laag 4) bij 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en 1250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bij directe licht (helder) en bij diffuus licht (diffuus).

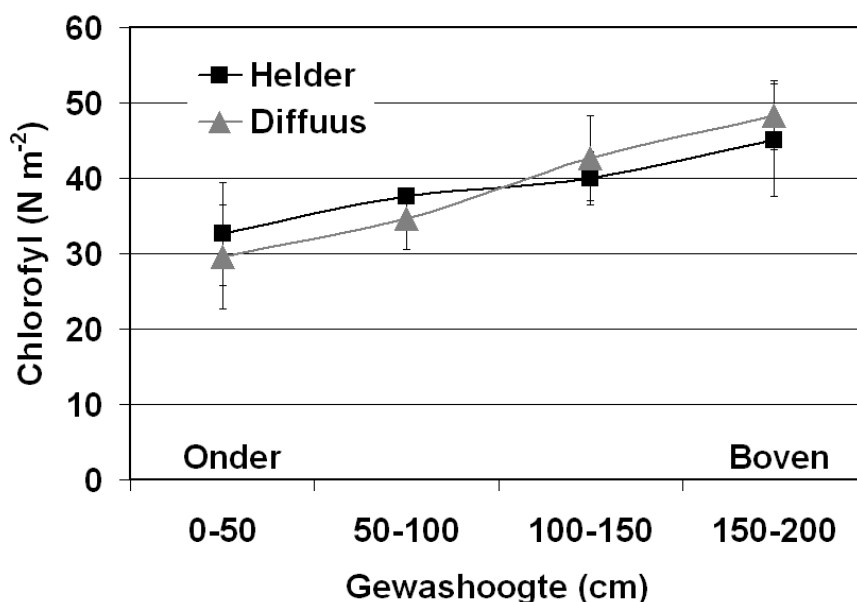
Uit de trendanalyse van de gemiddelde fotosynthesesnelheid blijkt dat er per bladlaag weinig verschil is tussen de behandelingen. Bij 'normale lichtomstandigheden ($500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)' vertonen de stambladeren bij diffuus licht in de bovenste 50 cm van het gewas (bladlaag 4) een iets lagere fotosynthesesnelheid, en de bladeren daaronder (vooral in bladlaag 3) een hogere fotosynthesesnelheid. In de diepere bladlagen (2 en 1) aan de stam ligt de fotosynthesesnelheid bij directe licht weer iets hoger. Dit is ook naar voren gekomen in de modelmatige analyse van de effecten van diffuus licht in een gewas (Hemming et al. 2005). Licht dringt dieper door in het gewas, in deze bladlagen wordt meer licht opgenomen en ook omgezet in fotosynthese (hier zichtbaar in bladlaag 3). Daardoor wordt minder licht in de top geabsorbeerd en neemt daar de fotosynthese licht af. Het netto-effect is echter positief, de plant reageert met een hogere opbrengst. Hieraan dragen blijkbaar ook de zijloten significant bij. Onder diffuse omstandigheden ligt bij de zijloten de fotosynthesesnelheid significant hoger voor het jongste blad (bladlaag 3). Bij verzadigende lichtomstandigheden ($1250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ligt de fotosynthesesnelheid bij directe lichtomstandigheden in alle bladlagen hoger, met uitzondering van de diepste bladlaag 1.

SPAD (chlorofyl) bepalingen

Voor de bepaling van de effecten van directe en diffuse straling op de verdeling van het chlorofyl zijn bij verschillende ontwikkelingsstadia SPAD-metingen uitgevoerd in verschillende bladlagen van het gewas komkommer (Figuur 20). Het is duidelijk te zien dat het blad in bladlaag 2-4 (middelste tot bovenste) bladeren meer chlorofyl bevatten als gevolg van diffuus licht.



Figuur 20. Ontwikkeling van de SPAD waarden ($[chlorofyl] m^2$) per bladlaag over de tijd, voor komkommerbladeren onder direct licht (helder) en onder diffuus licht (diffuus).



Figuur 21. Gemiddelde SPAD-waarden ($=f[chlorofyl] m^2$) per bladlaag vanaf het moment dat de planten de draad bereikt hebben voor komkommerbladeren onder direct licht (helder) en onder diffuus licht (diffuus).

In de trendanalyse over het seizoen (Figuur 21 en Tabel 4) is er een tweedeling te zien tussen het onderste deel van het gewas (laag 1: 0-50 cm en 2: 50-100 cm) en het bovenste deel van het gewas (laag 3: 100-150 cm en 4: 150-200 cm). Onder diffuse omstandigheden worden de hoogste chlorofylconcentraties in het bovenste deel van het gewas gevonden, terwijl onderin het gewas de chlorofylconcentraties lager zijn ten opzichte van een situatie waarin het invallende licht niet diffuus werd gemaakt. Dit beeld wordt ook bevestigd door Tabel 8, waarin zichtbaar is dat de onderste bladeren onder diffuus licht sneller verouderen. Het onderste blad is minder actief door diffuus licht, het wordt sneller geel, het verouderd sneller. Blijkbaar wordt dit ruimschots gecompenseerd door de middelste en bovenste bladeren die jonger en actiever zijn. Deze vertonen een hogere fotosynthese. Het is aanneemelijk dat de onderste bladeren ook minder verdamping laten zien door de geringere activiteit. Dit zou een gewenst effect bij gewassen zoals paprika of andere hoog opgaande gewassen kunnen zijn.

Tabel 4. Gemiddelde SPAD-waarden ($=f(\text{chlorofyl}) \text{ m}^2$) tussen 9 mei en 11 juli 2006 in 4 verschillende bladlagen van komkommer, opgesplitst naar stam en zijloten.

Bladlaag	Gewashoogte	Stam		Zijloten	
		Direct	Diffuus	Direct	Diffuus
4	150-200 cm	45,1	48,4	53,5	53,2
3	100-150 cm	40,0	42,6	44,1	43,5
2	50-100 cm	37,6	34,6	-	-
1	0-50 cm	32,6	29,6	-	-

RuBisCo

Voor de bepaling van de effecten van diffuse straling op het RuBisCo-gehalte in de komkommerbladeren zijn bladeren uit 4 verschillende bladlagen bemonsterd. De eerste bepaling vond plaats op het moment dat de stam de draad bereikt had en de kop getopt werd (9 mei 2006). Op dat moment waren er nog geen zijloten gevormd. De tweede bepaling vond plaats op het moment dat de zijloten die van de top naar beneden hingen gesnoeid werden, ongeveer halverwege de planthoogte (16 juni 2006). Op dat moment waren de bladeren uit de eerste en tweede bladlaag al zodanig vergeeld dat ze niet meer in de analyses konden worden meegenomen.

Tabel 5. Eiwitgehalte (mg g^{-1} versgewicht) \pm SE in 4 verschillende bladlagen van komkommer bij het bereiken van de draad (9 mei 2006) en bij het toppen van de zijloten (16 juni 2006).

Bladlaag	Eiwitgehalte (mg g^{-1} versgewicht) 9 mei 2006				Eiwitgehalte (mg g^{-1} versgewicht) 16 juni 2006			
	Direct		Diffuus		Direct		Diffuus	
	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam
4	-	13,5 \pm 3,0	-	13,6 \pm 5,1	18,4 \pm 6,3	22,0 \pm 8,3	22,5 \pm 8,2	20,5 \pm 9,0
3	-	7,6 \pm 1,9	-	9,7 \pm 2,5	24,0 \pm 10,9	7,0 \pm 1,7	27,1 \pm 3,0	11,0 \pm 7,7
2	-	6,4 \pm 2,6	-	6,6 \pm 1,9	-	-	-	-
1	-	3,5 \pm 2,0	-	5,3 \pm 2,0	-	-	-	-

Tabel 6. *RuBisCo-gehalte (mg g⁻¹ versgewicht) ±SE in 4 verschillende bladlagen van komkommer bij het bereiken van de draad (9 mei 2006) en bij het toppen van de zijloten (16 juni 2006).*

Bladlaag	RuBisCo-gehalte (mg g ⁻¹ versgewicht) 9 mei 2006				RuBisCo-gehalte (mg g ⁻¹ versgewicht) 16 juni 2006			
	Direct		Diffuus		Direct		Diffuus	
	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam
4	-	3,1±2,3	-	3,9±2,2	4,0±2,1	5,4±3,1	5,9±1,9	5,2±3,2
3	-	1,3±1,1	-	1,7±1,6	7,5±3,4	0,9±0,2	6,5±2,2	1,6±1,7
2	-	0,9±0,8	-	1,2±0,8	-	-	-	-
1	-	0,6±0,4	-	0,8±0,6	-	-	-	-

De resultaten van 9 mei 2006 laten een significante trend zien onder zowel directe als onder diffuse lichtomstandigheden, waarbij de eiwitgehalten (mg g⁻¹) (Tabel 5) en de RuBisCo gehalten (mg g⁻¹) (Tabel 6) afnemen met de diepte in het gewas. In de bladeren is het drogestofgehalte ca. 7%, waardoor de eiwitgehalten variëren tussen de 50-380 mg g⁻¹ drooggewicht en de RuBisCo-gehalten variëren tussen de 5-100 mg g⁻¹ drooggewicht.

Het is conform de theorie, dat fysiologisch ouder bladmateriaal dat dieper in het gewas minder licht aangeboden krijgt, minder RuBisCo bevat en minder fotosynthetische activiteit vertoont. Door de hoge standaardafwijkingen (±SE) zijn de verschillen tussen de behandelingen per bladlaag niet significant van elkaar. De trend is dat onder diffuse omstandigheden, de RuBisCo-gehalten in alle lagen hoger liggen en minder afnemen over de diepte in het gewas dan onder omstandigheden met veel direct licht. Dit zou kunnen komen doordat over de dag genomen, diffuus licht in de middelste en onderste lagen van het gewas beter wordt geabsorbeerd, waardoor RuBisCo actief kan blijven bijdragen aan de fotosynthese in deze plantdelen en niet wordt afgebroken voor transport naar meer belichte delen in de top van de plant.

De resultaten van 16 juni 2006 laten zien, dat RuBisCo-gehalten (µg g⁻¹) vooral afnemen met de fysiologische leeftijd van de bladeren: voor de stam geldt dat bladlaag 4 jonger is en een hogere RuBisCo-gehalte heeft dan bladlaag 3 (Tabel 6). Voor de afhanginge zijloot geldt dat de bladeren in bladlaag 3 jonger zijn en een hogere RuBisCo-gehalte vertonen dan die in bladlaag 4 (zie Figuur 10). Het verschil tussen directe en diffuse lichtomstandigheden zijn niet eenduidig in dit stadium. Voor de stam neemt het RuBisCo-gehalte minder af met de diepte in het gewas onder diffuse omstandigheden, maar onder dezelfde omstandigheden is het RuBisCo-gehalte bij de zijloten hoger in laag 3.

Tabel 7. *RuBisCo-gehalte in eiwit (%) ±SE in 4 verschillende bladlagen van komkommer bij het bereiken van de draad (9 mei 2006) en bij het toppen van de zijloten (16 juni 2006).*

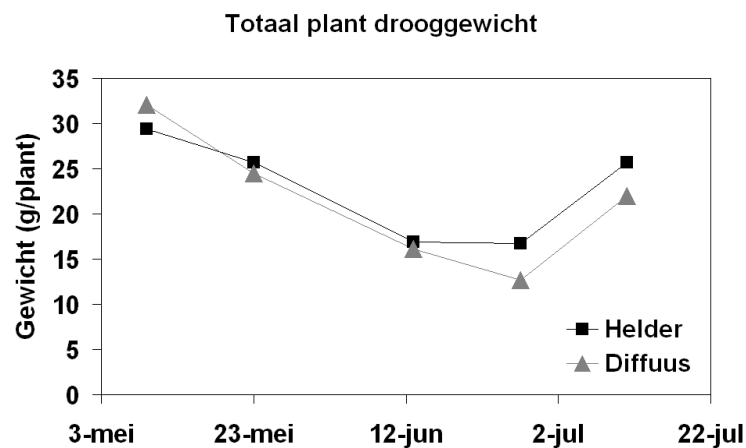
Bladlaag	RuBisCo-gehalte in eiwit (%) 9 mei 2006				RuBisCo-gehalte in eiwit (%) 16 juni 2006			
	Direct		Diffuus		Direct		Diffuus	
	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam	Zijloot	Stam
4	-	20,0±13,2	-	25,3±12,4	20,1±8,0	21,9±7,6	28,2±7,5	21,2±10,1
3	-	14,6±10,2	-	15,2±11,7	31,4±0,3	13,4±2,2	23,6±7,3	11,0± 5,0
2	-	13,4±11,7	-	16,6±10,6	-	-	-	-
1	-	17,6±13,1	-	12,8± 7,1	-	-	-	-

De resultaten van 9 mei 2006 voor het RuBisCo-gehalte in het eiwit (%) laten in eerste instantie zien dat standaardafwijkingen (\pm SE) erg groot zijn, waardoor er per laag tussen de behandelingen geen significante verschillen aangetoond konden worden (Tabel 7). De trend laat echter zien dat de diffuse behandeling in alle lagen een hogere waarde geeft voor de stam, met uitzondering van de diepste laag 1.

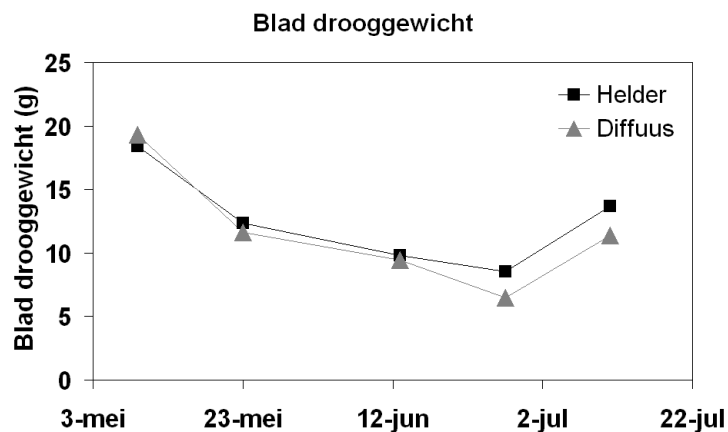
De resultaten van 16 juni 2006 laten eveneens zien dat de standaardafwijkingen (\pm SE) erg groot zijn, waardoor er per laag tussen de behandelingen geen significante verschillen aangetoond konden worden. De trends laten hier zien dat in een later ontwikkelingsstadium van het gewas (bij planten met zijloten), de diffuse behandeling in de bovenste lagen 3 en 4 een lagere waarde hebben voor de stam (Tabel 7). Voor de zijloten is geen eenduidige effect aan te geven tussen de behandelingen: voor de toplaag 4 (met de oudste delen van de zijloten) ligt het RuBisCo-gehalte in het eiwit (%) hoger bij diffuus licht, maar bij de jongere delen van de zijloot in laag 3 is het gehalte hoger.

3.4 Gewasmorfologie

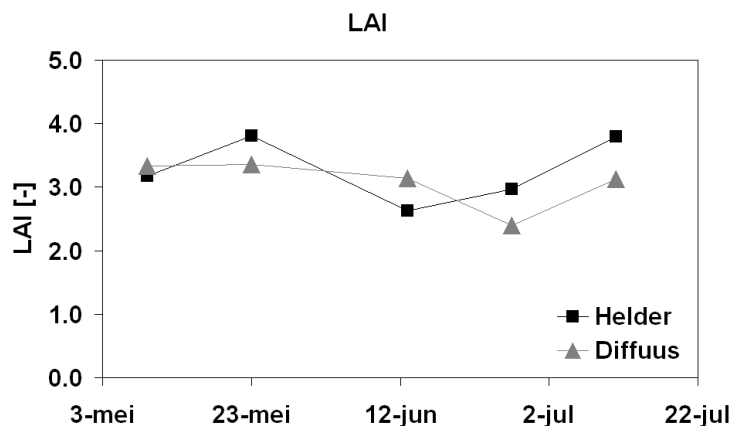
Op 5 tijdstippen tijdens de teelt werd een destructieve oogst uitgevoerd (Figuur 22). Het overall beeld van het komkommernewas is een afname in gewicht in mei en juni. Medio juni wordt de afname in totaal plantgewicht bij direct licht gestopt waarna het in juli weer begint toe te nemen. Bij diffuus licht gaat de afname in totaal plantgewicht door tot juli, waarna het weer toeneemt, maar blijft achter in geproduceerde biomassa bij het gewas dat groeide in direct licht. Het beeld van het blad droog gewicht is identiek aan dat van het plant droog gewicht ().



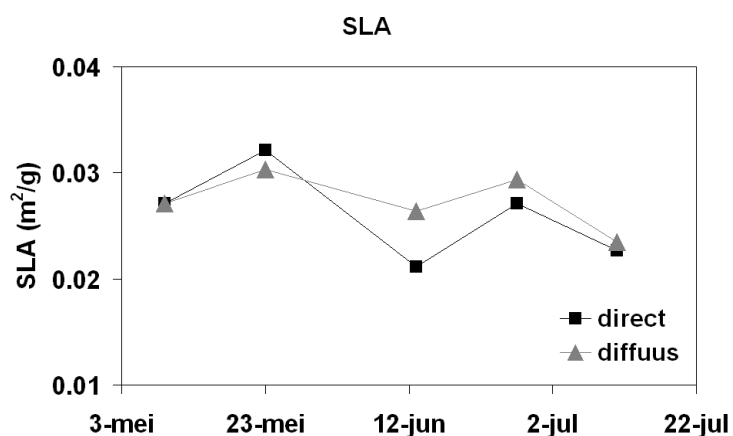
Figuur 22. Totaal plant droog gewicht (g) gedurende de teelt onder direct licht en onder diffuus licht.



Figuur 23. Blad droog gewicht (g) gedurende de teelt onder direct licht en diffuus licht.



Figuur 24. Bladoppervlak per eenheid grondoppervlak (leaf area index, LAI) onder direct licht en diffuus licht.

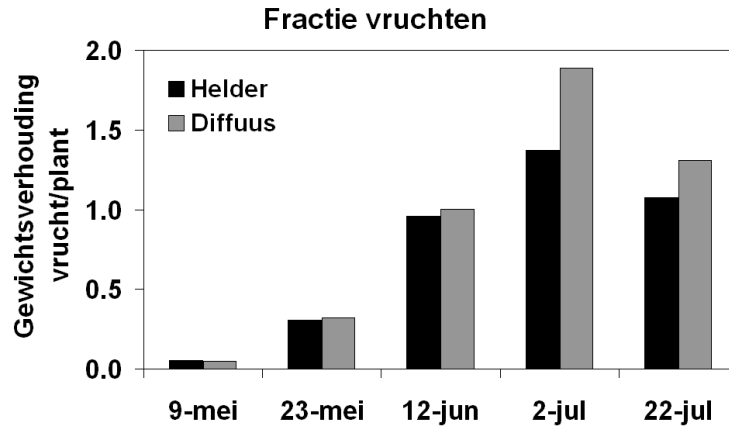


Figuur 25. Specifieke bladoppervlak (SLA) uitgedrukt als m^2/g onder invloed van direct en diffuus licht.

Om een indruk te krijgen van eventuele verschillen in de plant morfologie, die aanwijzingen kunnen geven over het invloed van diffuus licht op het gewas, is een aantal parameters berekend en geanalyseerd. Deze parameters zijn onderdeel van een groei analyse.

Het verschil in LAI (leaf area index) geeft het potentiële fotosynthetische bladoppervlak aan per eenheid grondoppervlak. Het verschil tussen direct en diffuus licht v.w.b. het LAI is niet groot maar veranderd wel iets tijdens het experiment. Behalve op de destructieve oogst van 12 juni, was de LAI bij diffuus licht iets lager dan bij direct licht. Dit bevestigt de resultaten van de geoogste bladbiomassa (); een lagere LAI is gecorreleerd aan een lagere bladbiomassa. Het kan worden verwacht dat het gewas onder diffuus licht minder vegetatief, maar meer generatief groeit.

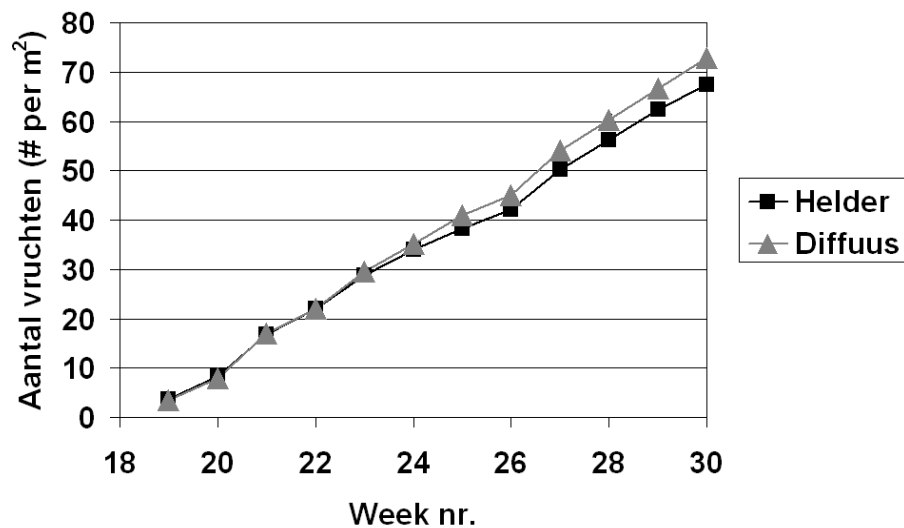
Over het algemeen bleef de SLA (specific leaf area) vanaf juni hoger onder invloed diffuus dan direct licht. Dat betekent dat vanaf het tijdstip dat het gewas aan de draad was, de bladeren onder invloed van diffuus licht relatief groter en/of dunner waren dan onder invloed van direct licht. De verschillen waren niet groot, maar deze tendens werd gedurende de verdere gewasontwikkeling gehandhaafd.



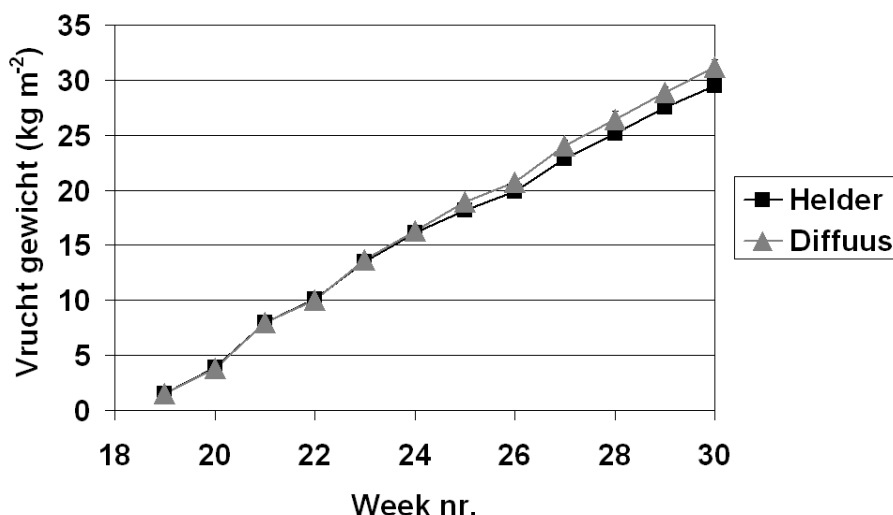
Figuur 26. Het aandeel vruchtgewicht aan het totale plantgewicht onder direct licht en onder diffuus licht.

Wanneer gekeken wordt naar de verhouding van vruchtgewicht en totaal plantgewicht, kan een beeld worden gevormd over de generatieve status van het gewas, en hoe dat eventueel is veranderd in het verloop van het experiment. Vanaf het begin van het experiment werden er steeds meer vruchten geoogst, tot juni nam de fractie vruchten aan de totale plant toe. Er was nog geen verschil tussen de komkommers onder het heldere en onder het diffuse kasdek materiaal. Vanaf de 2^e week van juni nam de fractie geoogste vruchten t.o.v. de plantbiomassa onder het invloed van diffuus licht sneller toe dan onder het heldere kasdek materiaal, de plant werd generatiever.

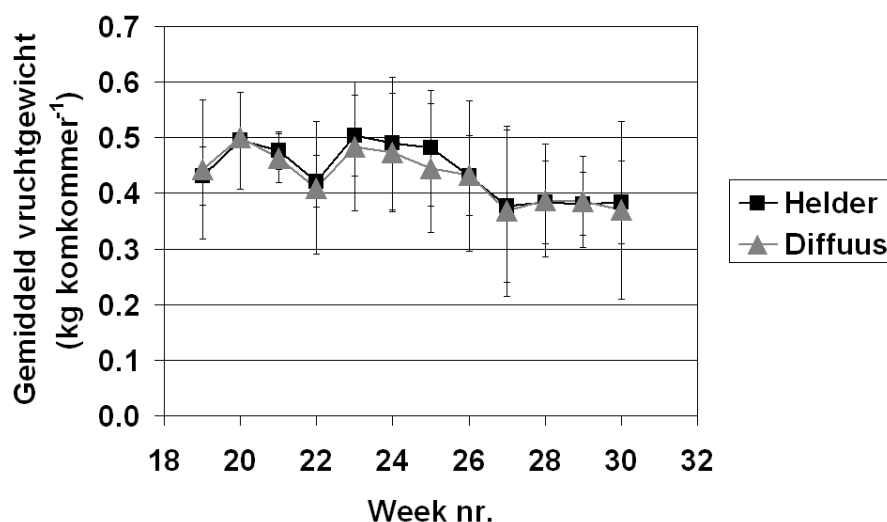
3.5 Productie en kwaliteit



Figuur 27. Aantal geoogste vruchten in de heldere en diffuse afdelingen tijdens de gehele teeltperiode, gemiddeld 7,8% meer vruchten in diffuse afdeling.



Figuur 28. Geogst versgewicht komkommervruchten in de heldere en diffuse afdelingen tijdens de gehele teeltperiode, gemiddeld 4,3% meer vruchtgewicht in diffuse afdeling.



Figuur 29. Gemiddeld vruchtgewicht in de heldere en diffuse afdelingen tijdens de gehele teeltperiode.

De productie van komkommer was positief beïnvloed door diffuus licht. Vanaf week 25 nam het cumulatieve vruchtgewicht (aantal geproduceerde kilo's) sneller toe door diffuus licht dan onder het heldere kasdek materiaal. Uiteindelijk heeft dit geresulteerd in een meerproductie onder het diffuse kasdek materiaal van 4,3% (Figuur 28). Het cumulatieve aantal komkommervruchten was als gevolg van diffuus licht zelfs met 7,8% verhoogd (Figuur 27). In week 23 begon het aantal vruchten van de komkommersgewassen als gevolg van meer direct of meer diffuus licht te divergeren. Het aantal vruchten onder het diffuse kasdek materiaal nam vanaf dat tijdstip sneller toe dan onder het heldere kasdek materiaal tot aan het eind van het experiment. De bloei in de diffuse afdelingen gebeurde sneller dan in de heldere afdelingen, gemiddeld 0,3 dag sneller (Tabel 8). De oorzaak van de productie van meer vruchten en meer kilo's als gevolg van diffuus licht is dat de plant sneller en meer generatief wordt, mogelijk speelt ook minder abortie van vruchten in deze behandeling een rol als gevolg van lagere gewastemperaturen.

Het individuele vruchtgewicht van beide behandelingen is nagenoeg gelijk gedurende het experiment. Tussen week 21 tot 26 waren de geogste vruchten onder het heldere kasdek materiaal zwaarder dan onder het diffuse

kasdek materiaal, een verschil van 2,6%. Dit verschil in het voordeel van direct licht weegt niet op tegen de verschillen in productie (kilo's én aantallen), zodat de totale productie als gevolg van diffuus licht het hoogste is.

In beide afdelingen met het diffuus kasdek materiaal was de lichttransmissie ca. 4% minder t.o.v. de twee afdelingen met het heldere kasdek materiaal. Bij een gelijke lichttransmissie zou het verschil in productie tussen beide behandelingen nog groter zijn geweest. Wanneer de productie in de diffuse afdeling wordt berekend met 4% meer licht, zou de geschatte totale meerproductie bij diffuus licht op 7,8% in kilo's en 11% in aantallen komkommers komen. Deze positieve effecten op de productie zouden worden bereikt als leveranciers in staat zouden zijn om een diffuus kasdek materiaal te produceren dat geen lichtverlies veroorzaakt.

Tabel 8. Bloei van bloemen in de 6^e en 16^e oksel, het aantal bladeren onder de draad (afstand pot-gewasdraad ca. 1,90 m), de berekende internodiën lengte, en het aantal dode/gele bladeren onder in het gewas op 15 en 29 mei onder direct licht en onder diffuus licht.

Behandeling	afdeling	Bloei 6 ^e oksel (in dagen)	Bloei 16 ^e oksel (in dagen)	Bladeren onder de draad (aantal)	Afstand tussen internodiën (in cm)	Dode/gele bladeren op 15 mei (aantal)	Dode/gele bladeren op 29 mei (aantal)
Helder	1	10,2	20,1	16,5	11,52	5,5	9,2
Helder	2	10,8	20,4	16,7	11,39	5,1	7,8
Diffuus	3	10,3	20,2	16,3	11,70	6,0	9,0
Diffuus	4	10,2	19,7	16,7	11,38	6,3	9,9
Gemiddeld	helder	10,5	20,2	16,6	11,45	5,4	8,5
Gemiddeld	diffuus	10,2	19,9	16,4	11,54	6,1	9,5

Ook de kwaliteit van de geoogste komkommers werd regelmatig beoordeeld. Hierbij werden de individuele vruchten gescoord op kleur op een schaal van 1 tot 9, waarbij een hoger cijfer een betere, donkere kleur betekent. De kleur van komkommers als gevolg van meer diffuus licht was lager dan onder meer direct licht (score 6,9 in vergelijking met 7,3 bij direct licht) (Tabel 9). Een iets slechtere vruchtkleur had echter blijkbaar geen invloed op de houdbaarheid na de oogst. Er kon geen verschil in de houdbaarheid van komkommervruchten worden gemeten, gemiddeld over de weken 28 en 29 (Tabel 10).

Tabel 9. Beoordeling vruchtkleur (schaal 1-9, waarbij een hoger cijfer een betere kleur betekent) van week 19 tot week 29 onder onder direct licht en onder diffuus licht.

Behandeling	afdeling	19	22	23	25	26	27	28	29	Gemiddeld
Helder	1	7,4	7,8	7,4	7,0	7,3	7,0	7,3	7,0	7,4
Helder	2	7,3	7,6	7,6	7,5	7,0	7,3	7,0	7,3	7,3
Diffuus	3	6,5	6,1	7,0	7,3	7,3	7,0	6,8	6,8	6,8
Diffuus	4	7,1	7,0	6,7	7,3	7,0	6,8	7,0	6,3	6,9
Gemiddeld	helder	7,3	7,7	7,5	7,8	7,1	7,1	7,1	7,1	7,3
Gemiddeld	diffuus	6,8	6,6	6,9	7,3	7,1	6,9	6,9	6,5	6,9

Tabel 10. *Houdbaarheid komkommervruchten in dagen als gevolg van een opgroei onder direct licht en onder diffuus licht.*

Behandeling	kas	Wk 28	Wk 29	Gemiddeld
Helder	1	15,3	19,7	17,4
Helder	2	15,8	18,0	16,9
Diffuus	3	15,3	18,5	16,9
Diffuus	4	16,4	18,1	17,3
Gemiddeld	helder	15,5	18,8	17,2
Gemiddeld	diffuus	15,8	18,3	17,1

4. Conclusies

In een semi-praktijk-experiment kon een positief effect van diffuus licht op een komkommernewas worden vastgesteld. De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Er wordt meer licht onderschept in de middelste bladlagen bij diffuus licht dan bij direct licht.
- Er is een verschil in lichtonderschepping over de dag. Terwijl in de ochtend en namiddagen meer licht wordt onderschept onder het diffuse kasdek materiaal door de middelste en onderste bladlagen, is dit tijdens de late ochtenduren en rond de middag andersom.
- Bij bewolkt weer wordt zowel door het gewas onder het heldere kasdek materiaal als ook door het gewas onder het diffuse kasdek materiaal even veel licht onderschept. Er is geen verschil in lichtverdeling te zien.
- Bij 'normale lichtomstandigheden ($500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) vertonen de stambladeren in het midden van het gewas een hogere fotosynthesesnelheid onder diffuus licht. Ook bij de zijloten ligt de fotosynthesesnelheid bij diffuus licht significant hoger voor het jongste blad. Bij verzadigende lichtomstandigheden ($1250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ligt de fotosynthesesnelheid bij directe lichtomstandigheden in alle bladlagen hoger.
- In de middelste bladlagen werd meer licht geabsorbeerd EN de fotosynthesesnelheid was iets hoger, het gevolg was een hogere assimilatieproductie als het licht diffuus werd aangeboden. Op momenten dat de hoeveelheid licht tegen het verzadigingspunt aan lag, kreeg het gewas meer licht in de helderde compartimenten, echter had dit weinig additioneel effect op de assimilatieproductie. Wellicht speelde ook de gewastemperatuur, welke op deze momenten onder het helderde kasdek materiaal opliep een rol.
- Tijdens stralingsrijke periodes was de gewastemperatuur gemiddeld boven in het gewas warmer onder het heldere kasdek materiaal ten opzichte van het diffuse kasdek materiaal. Aan de andere kant was het tijdens stralingsrijke periodes onder in het gewas iets kouder.
- Onder diffuse omstandigheden werden de hoogste chlorofylconcentraties in het bovenste en middelste deel van het gewas gevonden, terwijl onderin het gewas de chlorofylconcentraties lager waren ten opzichte van een situatie waarin het invallende licht niet diffuus werd gemaakt.
- Fysiologisch ouder blad materiaal dat dieper in het gewas minder licht aangeboden krijgt, bevat minder RuBisCo, een voor het fotosyntheseproces essentieel eiwit. De trend is dat onder diffuse omstandigheden, de RuBisCo-gehalten in alle lagen hoger liggen en minder afnemen over de diepte in het gewas dan onder omstandigheden met veel direct licht.
- Het onderste blad is minder actief door diffuus licht, het wordt sneller geel, het verouderd blijkt sneller. Het kan worden aangenomen dat de onderste bladeren ook minder verdamping laten zien door de geringere activiteit. Dit zou een gewenst effect bij gewassen zoals paprika of andere hoog opgaande gewassen kunnen zijn. De geringere activiteit van de onderste bladeren wordt ruimschots gesompenseerd door de hogere fotosynthese activiteit van de middelste bladeren.
- Het gewas lijkt generatiever te zijn geworden onder invloed van diffuus licht: er is meer productie in aantal vruchten en kilo's geproduceerd, terwijl de bladmassa geringer was.
- Het aantal kilo's komkommers werd onder het diffuse kasdek materiaal met 4.3% verhoogd, het aantal vruchten naam zelfs met 7.8% toe, maar de individuele vruchten waren iets kleiner van stuk.
- De kleur van komkommers als gevolg van meer diffuus licht was iets lager dan onder meer direct licht. Een iets slechtere vruchtkleur had echter blijkbaar geen invloed op de houdbaarheid na de oogst.
- Het positief effect van diffuus licht wordt vermoedelijk veroorzaakt door de integratie van een aantal factoren. Het effect is niet toe te schrijven aan één plantfysiologische factor. De belangrijkste waren een veranderde lichtdoordringing en een veranderde fotosynthesecapaciteit. De plant kan diffuus licht beter benutten dan direct licht. Gelijktijdig is de planttemperatuur vooral tijdens stralingsrijke periodes voordeliger als gevolg van diffuus licht.

Samenvattend kan worden gesteld dat diffuus licht en daarmee diffuse kasdekmaterialen een positief invloed hebben op de productie van komkommer, zeker op de onderzochte zomerteelt van komkommer. Het is wenselijk om diffuse kasdekmaterialen te ontwikkelen welke een hoge lichtverstrooiing hebben gecombineerd met een minimaal lichtverlies. Concreet betekent dit dat materialen worden gezocht met een lichtverstrooiing van minimaal 50% zoals hier gerealiseerd in het onderzoek met gelijktijdig een lichtdoorlatendheid van minimaal 90% bij loodrecht en 82% bij diffuus invallend licht. De lichtdoorlatendheid mag niet verder teruglopen, omdat anders de winst van een diffuus kasdek materiaal klein wordt, vooral in de winterperiode waar de hoeveelheid licht dat de kas binnenkomt vaak de beperkende factor is. In deze maanden is een lichtverstrooiend kasdek materiaal eigenlijk minder belangrijk, omdat het natuurlijke licht als gevolg van bewolking toch grotendeels diffuus is, het is echter ook niet schadelijk als de lichtdoorlatendheid maar hoog genoeg is. De meeste voordelen zijn met een diffuus kasdek materiaal in de late voorjaars-, zomer- en vroege najaarsmaanden te halen, wanneer het natuurlijke licht vaak direct is en wanneer er een te hoge directe instraling onwenselijk is voor gewassen. In een eerdere studie (Hemming et al. 2005) werden reeds de economische perspectieven van een diffuus kasdek materiaal in kaart gebracht. Deze studie had uitgewezen dat bij een meeropbrengst van 5% een diffuus kasdek materiaal zeker rendabel is. Diffuse kasdekmaterialen hebben naar verwachting ook potenties voor andere gewassen, zoals tomaat en paprika, of een aantal snijbloemen zoals roos. Een vervolgonderzoek van Wageningen UR Glastuinbouw met potplanten is reeds in gang gezet. Ook dit onderzoek zal in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit worden uitgevoerd. Door het licht diffuus te maken wordt het natuurlijke licht beter benut en de gewasopbrengst verhoogd, wat voor de energie-efficiëntie in Nederlandse kassen voordelig is.

5. Aanbevelingen

- Onderzoek van moleculaire effecten van diffuus licht in de cel om werkingsmechanismen op fundamenteel niveau te kunnen begrijpen en hieruit conclusies voor de tuinbouwpraktijk te kunnen trekken
- Tuinders moeten opletten bij keuze huidige materialen, deze vertonen wel lichtverlies, wachten tot dat er een geschikt materiaal is.
- Ontwikkeling kasdek materiaal met optimale eigenschappen: minimaal 50% lichtverstrooiing, geen lichtverlies bij diffuse lichtinval, dus op bewolkte dagen (minimaal 82% transmissie bij diffuse lichtinval). Hiermee zijn marktpartijen reeds bezig.
- Onderzoek of een lichtverstrooiend materiaal met een klein lichtverlies ook nog tijdens de wintermaanden een positief of minimaal neutraal effect zal veroorzaken.
- Als een nagenoeg optimaal materiaal ter beschikking is, onderzoek van diffuus licht op grotere schaal nodig in een demonstratiekas, ook bij andere gewassen.

6. Literatuur

- Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak 1989
Reference Year for Dutch Greenhouses. *Acta Horticulturae* 248.
- DeLucia, E.H., K. Nelson, T.C. Vogelmann and W.K. Smith 1996
Contribution of intercellular reflectance to photosynthesis in shade leaves. *Plant, Cell and Environment* 19, 159-170.
- Hemming, S., T. Dueck, N. Marissen, R. Jongschaap en F. Kempkes 2005
Diffus licht - Het effect van lichtverstrooiende kasdekmaterialen op kasklimaat, lichtdoordringing en gewasgroei. Wageningen UR A&F rapport 557, 98 pp.
- Lee, D.W. 1986
Unusual strategies of light absorption in rainforest herbs. In: *Opn the Economy of Plant Form and Function* (ed. T.J. Givnish). AcAMBRIDGE university Press, Cambridge. ISBN 0-521-26296-8, pp. 105-126.
- Nico van de Braak Lee, D.W. 1986
Unusual strategies of light absorption in rainforest herbs. In: *Opn the Economy of Plant Form and Function* (ed. T.J. Givnish). AcAMBRIDGE university Press, Cambridge. ISBN 0-521-26296-8, pp. 105-126.
- Velds, C.A., P.C.T. van der Hoeven, J.M. Koopstra, W.R. Raaf en W.H. Slob 1992
Zonnestraling in Nederland. Thieme-Baarn/KNMI, 170 pp.
- Vogelmann, T.C., J.F. Bormann and D.J. Yates 1996
Focussing light by leaf epidermal cells. *Physiologia Plantarum* 98, 43-56.

