

Licht op LED's: Effecten van lichtkleur op de fotosynthese

Momenteel verschijnen er veel berichten in de media over LED's als een nieuwe optie voor assimilatiebelichting in kassen. Een belangrijk voordeel zou zijn dat deze lampen alleen die kleur licht aan planten aanbieden waar ze effectief gebruik van maken voor de fotosynthese. Bij Wageningen Universiteit (vakgroep Tuinbouwketen) wordt in samenwerking met Plant Dynamics al een aantal jaren onderzoek gedaan naar de effecten van de lichtkleur op de fotosynthese met gebruik van LED-lampen. In dit artikel aandacht voor de effecten van de lichtkleur op de lichtabsorptie en de verwerking door planten in de fotosynthese.

TEKST EN BEELD: SANDER HOGEWONING, GOVERT TROUWBORST EN WIM VAN IEPEREN

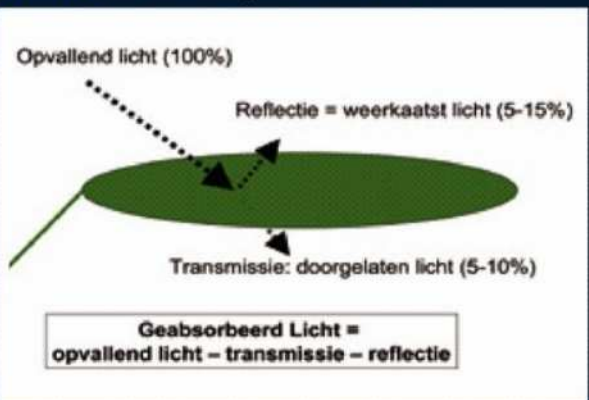
Het valt de onderzoekers op dat zowel de media als de bedrijven die LED-armaturen verkopen, de informatie vaak fout voorstellen of door elkaar halen. Feit is dat er zo een verkeerde indruk ontstaat over de mogelijkheden die deze lampen nu al kunnen bieden. Het gevolg is dat telers op basis daarvan verkeerde beslissingen nemen. De hoogste tijd dus om helderheid te verschaffen. In de Onder glas-uitgave van januari 2008 schreven we over de te optimistisch voorgestelde lichtefficiëntie van de huidige generatie LED's in relatie tot hun energieverbruik. In dit artikel gaan we in op de fysiologie: de effecten van de lichtkleur op de lichtabsorptie en verwerking door planten in de fotosynthese. We willen hier een aantal misverstanden over de soms geclaimde wonderlijke werking van LED's in kassen uit de wereld helpen.

Efficiëntie per lichtkleur?

Om tot een goed inzicht te komen wat een gewas met licht doet, is het belangrijk licht voor te stellen als een stroom lichtdeeltjes (fotonen). De kleur van het licht wordt bepaald door de golflengte van de fotonen.

Waar zitten de efficiëntieverschillen voor de fotosynthese per kleur dan in? Voor het beantwoorden van deze vraag is het van belang stap voor stap door het proces te gaan. Er zijn twee hoofdstappen.

FIGUUR 1. De lichtabsorptie van een blad



Wat gebeurt er met de lichtdeeltjes die een blad bereiken. Een deel gaat door het blad heen (= transmissie) en een deel wordt weerkaatst (= reflectie).

1. Het opvangen van het licht: lichtabsorptie.

Gewoonlijk worden niet alle lichtdeeltjes die een blad bereiken geabsorbeerd. Een deel gaat door het blad heen (= transmissie) en een deel wordt weerkaatst (= reflectie). In figuur 1 is duidelijk te zien wat er gebeurt. Een belangrijke vraag is nu of de kleur (= golflengte) van de lichtdeeltjes invloed heeft op deze verliezen.

2. De verwerking van de geabsorbeerde lichtdeeltjes in de fotosynthese.

Daarbij is een belangrijke vraag of de kleur van de geabsorbeerde lichtdeeltjes invloed heeft op de efficiëntie van de fotosynthese: zijn er per lichtkleur gelijke of verschillende aantallen geabsorbeerde lichtdeeltjes nodig voor dezelfde fotosynthese?

Stap 1: Licht absorptie

Bladeren absorberen lichtdeeltjes niet heel verschillend per lichtkleur. Een hardnekkig en veel gehoord misverstand is dat alleen de kleuren rood en blauw effectief zijn voor fotosynthese. Een blad is groen. Daarom denken veel mensen dat een plant groen licht geheel weerkaatst en die kleur dus niet gebruikt. Dit is onzin; en toch is het misverstand wel begrijpelijk.

De belangrijkste pigmenten in een blad die licht opvangen voor de fotosynthese zijn chlorofyl a en chlorofyl b, vaak aangeduid met de verzamelnaam 'bladgroen'. Deze pigmenten weerkaatsen licht in het groene deel van het spectrum en geven het blad daardoor zijn groene kleur.

Wetenschappers hebben in het verleden de lichtabsorptie van zuiver chlorofyl a en b bekeken en inderdaad absorberen zuiver chlorofyl a en b beide alleen goed in het blauwe en rode deel van het licht spectrum (zie figuur 2).

Bladeren absorberen licht van alle kleuren

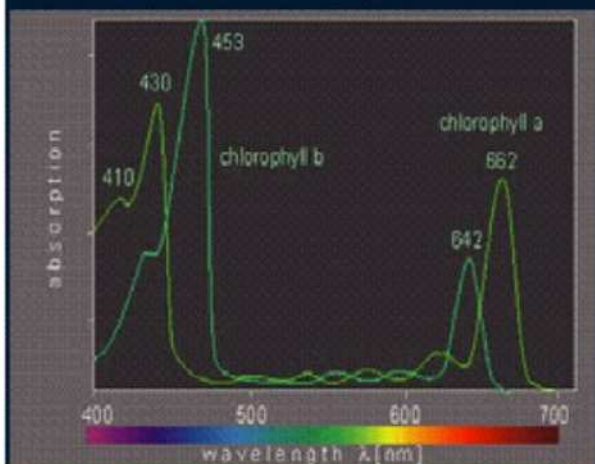
Als we de lichtabsorptie per lichtkleur van levende bladeren echter meten, krijgen we een heel ander beeld (zie figuur 4). In plaats van sterke absorptiepieken in blauw en rood, absorbeert een blad goed in het gehele zichtbare licht spectrum (400 - 700 nm). Dit komt doordat een blad ook andere pigmenten bevat die licht absorberen voor de fotosynthese zoals carotenoiden. Deze absorberen licht optimaal bij andere kleuren dan chlorofyl.

Daarnaast is chlorofyl in een levend blad verbonden met andere moleculen, waardoor het absorptiespectrum van chlorofyl verandert. Door deze brede absorptie van alle lichtkleuren kan een

Licht op LED's: Effecten van lichtkleur

Vervolg van
pagina 43

FIGUUR 2. De absorptie per lichtkleur van de belangrijkste fotosynthetisch actieve pigmenten in zuivere vorm, chlorofyl a en b



Deze grafiek kan tot grote verwarring leiden, omdat een levend blad (zie figuur 4) licht heel anders absorbeert dan pigmenten die gezuiverd zijn in een laboratorium. De gezuiverde pigmenten absorberen alleen goed in het rode en blauwe deel van het lightspectrum.

plant optimaal gebruik maken van zonlicht. Een eerste conclusie is dus dat bladeren licht van alle kleuren goed absorberen met slechts geringe efficiëntie verschillen tussen lichtkleuren. De iets lagere absorptie van groen licht door een blad komt door een iets hogere reflectie en transmissie van groene lichtdeeltjes (figuur 3 en 4).

Absorptie verschilt nauwelijks per lichtkleur

De iets lagere lichtabsorptie van groene lichtdeeltjes door individuele bladeren, wordt in een gewas nauwelijks teruggevonden. In een gewas is het verlies door transmissie namelijk verwaarloosbaar klein, omdat een gewas bestaat uit meerdere bladlagen. Het weinige licht dat de top bladlaag van het gewas doorlaat (0-10% in een donkergroen blad, kleur afhankelijk; in lichtgroene bladeren iets meer) absorberen de diepere bladlagen vrijwel volledig.

In een gewas gaat alleen het gereflecteerde licht van de bovenste laag bladeren verloren en dat verlies is voor geen van de lichtkleuren erg groot. Overigens geldt daarbij dat we gereflecteerd licht alleen als verloren moeten beschouwen bij plaatsing van de lampen boven het gewas.

Bij belichten tussen het gewas, zullen de omliggende bladeren het gereflecteerde licht vrijwel geheel absorberen. In dat geval is lichtkleur helemaal niet meer van invloed op de absorptie door een gewas. Hier liggen in de toekomst duidelijk mogelijkheden voor LED's.

Stap 2: Verwerking van geabsorbeerd licht

Tussen de verschillende lichtkleuren zitten dus slechts kleine verschillen in lichtabsorptie door het gewas. Nu komt de vraag over het proces in het blad na de absorptie. Leidt het geabsorbeerde licht van verschillende kleuren tot verschillende fotosynthese? In de jaren zeventig hebben verschillende wetenschappers dit

uitgebreid onderzocht door planten van een groot aantal verschillende soorten te belichten met verschillende lichtkleuren, en daarbij de absorptie en fotosynthesesnelheid te meten. Uit dit gedateerde onderzoek bleek al dat planten alle kleuren in het zichtbare licht gebruikten voor fotosynthese.

Slechts geringe efficiëntieverschillen

Figuur 5 geeft de relatieve efficiëntieverschillen aan waarmee verschillende lichtkleuren het fotosyntheseproces aandrijven en dus voor groei zorgen. Deze verschillen zijn enigszins gewas afhankelijk en mogelijk ook afhankelijk van groei omstandigheden. In grote lijnen geldt deze figuur echter altijd.

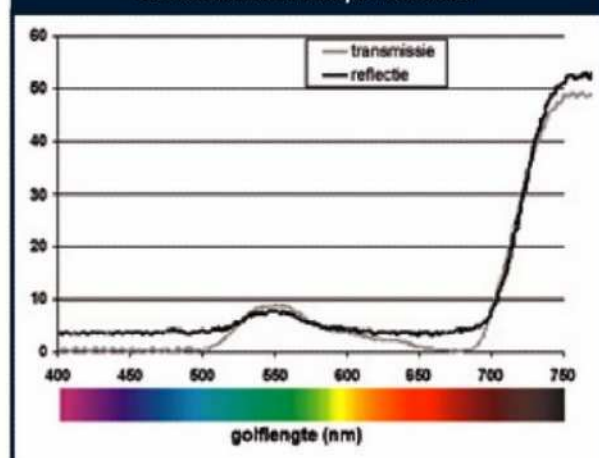
In deze figuur is duidelijk te zien dat planten vooral blauw geabsorbeerd licht (400 tot 520 nm) wat minder efficiënt gebruiken dan rood geabsorbeerd licht (600 tot 680 nm). Dit komt ondermeer doordat bladeren ook zogenaamde niet-fotosynthetisch-actieve pigmenten bevatten. Dat zijn stoffen die licht absorberen, maar de lichtenergie vervolgens niet voor fotosynthese gebruiken. Deze pigmenten dienen voornamelijk als bescherming van het blad tegen schade door teveel licht. Vooral blauw licht wordt gedeeltelijk geabsorbeerd door deze niet-fotosynthetisch actieve pigmenten.

Zodra rood licht richting verrood gaat (boven de 680 nm) neemt de fotosynthese-efficiëntie snel af. Hetzelfde gebeurt beneden de 400 nm (op figuur 5 niet te zien). Vandaar dat we het bij PAR-licht (Photosynthetically Active Radiation) altijd over het gebied tussen 400 en 700 nm hebben.

Beperkte voordelen met specifieke lichtkleuren

Het staat dus al vast dat gewassen redelijk efficiënt omgaan met alle kleuren licht. Verhalen en berekeningen die gebaseerd zijn op de bewering dat planten niet of zeer inefficiënt gebruik maken van geel, groen en oranje licht voor de fotosynthese

FIGUUR 3. De lichtreflectie en lichttransmissie van een komkommerblad per lichtkleur



Reflectie en transmissie zijn in het groen iets hoger dan in de rest van het spectrum, maar nog altijd klein. Bedenk daarbij dat in een gewas het meeste transmissielicht door een onderliggende bladlaag geabsorbeerd wordt en dus niet verloren gaat, zoals reflectielicht dat de kas uitstraalt.

groen licht

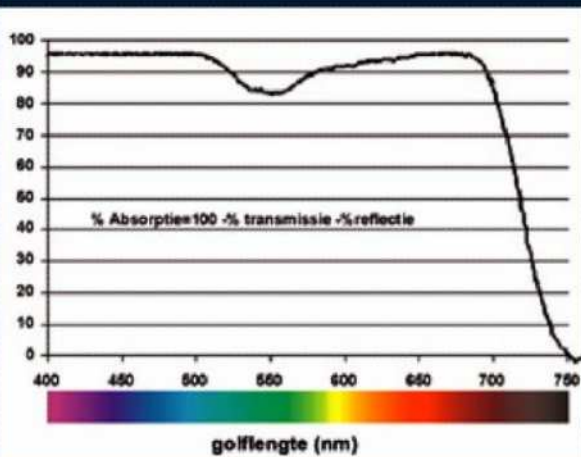
bovenste laag bladeren

verschillen in fotosynthese

blauw minder efficiënt

even efficiënt

FIGUUR 4. De lichtabsorptie per lichtkleur van een komkommerblad



Deze figuur komt tot stand door 100% min de reflectie min de transmissie te nemen. Het verschil met de absorptie van zuiver chlorofyl (figuur 2) is erg groot. Hele bleke, lichtgroene bladeren zullen groen licht minder goed absorberen dan de weergave in deze grafiek. Daar moet vooral bij bepaalde siergewassen rekening mee gehouden worden.

horen in het rijk der fabelen thuis.

Hetzelfde geldt voor de suggestie dat planten met veel minder licht van de 'juiste' specifieke kleur (zoals bij LED's) dezelfde fotosynthese kunnen behalen als met meer licht van een breedband (veel kleuren) lichtbron (zoals SON-T).

Met specifieke lichtkleuren zijn slechts beperkte efficiëntievoordelen op de fotosynthese te behalen. Bij fotosynthese blijft het grotendeels draaien om aantallen lichtdeeltjes. Onze eigen, inmiddels honderden metingen aan planten onder LED-licht, ondersteunen deze conclusie.

Niet alleen rood, maar ook blauw licht

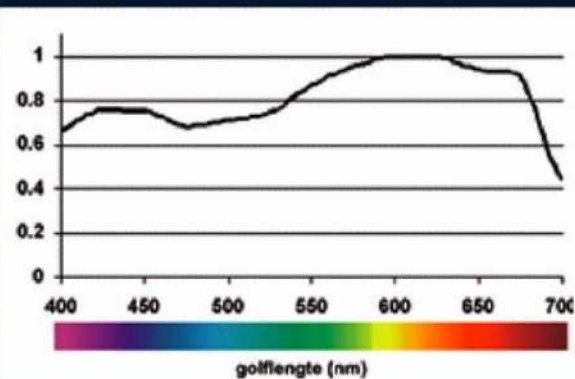
Na het bovenstaande verhaal is de conclusie duidelijk: Rood licht is het efficiëntst voor de fotosynthese, maar eigenlijk zijn alle kleuren in het PAR-gebied vrij efficiënt. Toch kunnen we nu nog niet aanraden om alleen rood licht te gebruiken. De efficiëntiemetingen in figuur 5 zijn gedaan aan bladeren die opgegroeid zijn bij wit licht. Daarbij komt rood het beste uit de bus. Maar dat wil niet zeggen dat planten ook goed functioneren als ze bij alleen maar rood opgroeien.

Uit eerder onderzoek is bekend dat veel planten beter functioneren als ze ook een bepaalde hoeveelheid blauw licht krijgen. Dit heeft onder andere te maken met het openen van de huidmondjes van het blad en de ontwikkeling van de plant.

De vraag is echter of het daglicht in een kas al genoeg blauw licht bevat of niet en of het dus nodig is dat assimilatielampen ook

De auteurs van dit artikel zijn: Sander Hogewoning en Govert Trouwborst (promotie-onderzoekers) en Wim van Leperen (projectleider op het STW-project "LED's in de tuinbouw" bij Wageningen Universiteit). Dit onderzoek wordt financieel ondersteund door technologie stichting STW, de toegepaste wetenschap divisie van NWO, en het technologie programma van het Ministerie van Economische Zaken.

FIGUUR 5. De relatieve efficiëntie waarmee een blad een geabsorbeerd lichtdeeltje gebruikt voor fotosynthese, per lichtkleur



Voor verschillende gewassen kan deze curve wat verschillen. Vooral houtige gewassen gaan vaak wat minder efficiënt om met blauw licht (400 tot 520 nm).

blauw licht uitstralen. Dat is een vraag waarop wij op dit moment volop onderzoek naar doen bij komkommerplanten.

Welke lampen kiezen?

Bij het bepalen of een type assimilatiebelichting efficiënt is, speelt simpelweg de hoeveelheid lichtdeeltjes van een lamp per oppervlakte per watt energie-input de belangrijkste rol. De hoeveelheid lichtdeeltjes wordt gemeten in micromol/m²s (of $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Hierover hebben we het een en ander uitgelegd in het januarinummer.

Een belangrijke boodschap voor de praktijk: Verhalen over LED's die dezelfde productie leveren met maar 25% van het energieverbruik van een hogedruk natriumlamp, zijn aantoonbaar onwaar. Dergelijke verhalen zijn mogelijk zelfs schadelijk voor de glastuinbouw in zowel productietechnische als wellicht ook in bedrijfseconomisch zin. Deze lampen zijn nog altijd minder efficiënt qua output van lichtdeeltjes en veel duurder vergeleken met een gangbare hogedruk natriumlamp.

LED's zou een teler op dit moment wel kunnen inzetten om de plantontwikkeling te sturen met lage lichtintensiteiten van specifieke kleuren, dus als 'stuurlicht'. Als LED's in de toekomst efficiënter worden, kunnen ze wellicht wel een belangrijke rol spelen als assimilatie-belichtingsbron in de glastuinbouw.

Kasgewassen benutten alle kleuren licht vrij efficiënt voor fotosynthese en niet alleen rood en blauw. Daarom is er ook vanuit fysiologisch oogpunt slechts beperkt voordeel te behalen door van het gebruik van specifieke kleuren LED's. Minder licht (fotonen) uit LED-lichtbronnen kan niet leiden tot dezelfde productie als meer licht uit hoge druk natrium lampen (SON-T). Met specifieke lichtkleuren zijn slechts beperkte efficiëntievoordelen op de fotosynthese te behalen.

SAMENVATTING