

LED-verlichting in kassen

Dit artikel is een samenvatting van het rapport 'Onderzoek naar invloed stralingswarmte en spectrale effecten LED-belichting', uitgevoerd in het kader van het energieprogramma 'Kas als Energiebron' van het ministerie van EL&I en Productschap Tuinbouw. Het is één van de onderzoeken in dit programma, waarin wordt gewerkt aan de energiedoelstelling die met de overheid en het bedrijfsleven is vastgesteld in het convenant 'Schone en Zuinige agrosectoren'. Er wordt gewerkt aan verschillende transitiepaden om deze doelstelling te bereiken. Energiezuinige belichting is één van de oplossingsrichtingen. Het onderzoek is uitgevoerd door Tuinbouw Techniek Ontwikkeling (TTO), TNO en Proeftuin Zwaagdijk.

Redactie: D. (Dennis) Medema
(d.medema@tuinbouw.nl)

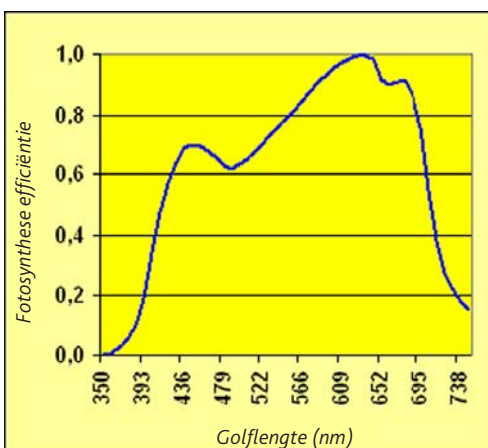
LED-belichting is mondiaal bezig aan een opmars om conventionele lichtbronnen als gloei-, halogeen en tl-lampen te vervangen. Per opgenomen Watt straalt een LED-lamp relatief meer (zichtbaar) licht uit. De meest gebruikte groeilampen in de glastuinbouw zijn SON-T (hogedruk gas discharge

natrium) lampen. In een SON-T lamp wordt ongeveer 22% van de energie omgezet in licht, de rest gaat verloren als warmte. In een LED-lamp wordt veel meer energie omgezet in licht. LED-belichting werd in 2008 geïntroduceerd in de tuinbouw, waarbij als uitgangspunt gold de betere energie-efficiëntie en het voorkomen van lichthinder. De gedachte was ook dat er bespaard kon worden door alleen licht toe te dienen met een golflengte waaruit de plant maximale fotosynthese kan behalen. Uitgangspunt was dat de plant de efficiëntste fotosynthese heeft bij rood licht. In het verleden is veel onderzoek verricht naar belichting en de wijze waarop de plant omgaat met de verschillende lichtkleuren. Planten groeien al miljarden jaren onder het spectrum van de zon en hebben zich hierop geëvolueerd. Het is algemeen bekend dat de fotosynthese van een plant plaatsvindt in het golflengtegebied tussen 400 en 700 nm, uitgedrukt in het 'plantactiespectrum'. De fotosynthese komt binnen het plantactiespectrum het best tot stand rond de 640 nm (rood

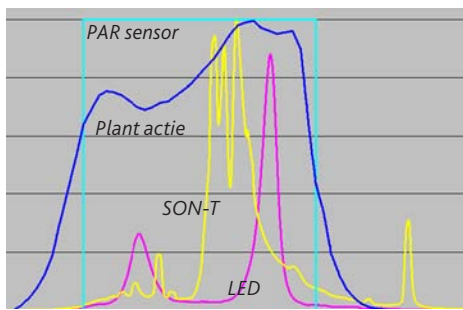
licht), zoals weergegeven in figuur 1.

■ LICHTSPECTRUM

De hoeveelheid groeilicht wordt uitgedrukt in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Dit staat gelijk aan het aantal fotonen licht dat uitgezonden wordt in het gebied tussen de 400 en 700 nm. Het 'verrode' licht (700-780 nm) en het infrarode licht (>780 nm) wordt hierin dus niet meegenomen. Het deel van het licht tussen 700 en 780 nm wordt niet gemeten door een standaard PAR-sensor. Maar dit deel is vanuit het plantactiespectrum bezien wel relevant en wordt dus op de een of andere manier ingezet bij de fotosynthese. Het deel van het licht voorbij 780 nm draagt weliswaar niet direct bij aan de fotosynthese, maar de plant absorbeert dit wel waardoor plantdelen opwarmen. De absorptiecoëfficiënt van het blad wordt beïnvloed door de golflengte van het infrarode licht, de kleur van het blad en de samenstelling van het blad. Over de gewenste temperatuurverschillen tussen de top van het gewas, de vruchten



-Figuur 1- Efficiëntie van fotosynthese (Mc Cree curve 1972)



-Figuur 2- Spectrum verschillende lichtbronnen in nm

en de wortels bestaan (mede vanuit de semigesloten teelt) veel vragen. Telers met traditionele teelten hebben geleerd om met temperatuurverschillen om te gaan, zoals snelle temperatuursverlagingen bij de start van de donkerperiode of langzaam opwarmen. De temperatuur van de plant als geheel

beïnvloedt direct de behoefte aan assimilaten, waarbij een te lage of te hoge temperatuur een overschot of tekort aan assimilaten kan veroorzaken. Onder normale omstandigheden geldt dat een temperatuurverhoging van een plantorgaan een snellere ontwikkeling en een hogere 'sink'-sterkte geeft voor dat orgaan door een verhoogde activiteit van enzymen.

PROBLEMATIEK

Ten tijde van de introductie hebben TNO, Fytagoras en Ladon op kleine schaal onderzoek gedaan naar het gebruik van LED-verlichting. Dit onderzoek werd in het teeltseizoen 2008/2009 opgevolgd door een onderzoek met Son-T als referentie. Telersvereniging TTO en DLV Plant hebben destijds moeten constateren dat met alleen rode en blauwe LED de productie 20% lager lag dan bij Son-T. Er werd geconstateerd dat het gewas onder LED door

het gebrek aan infrarode straling een verminderde ontwikkelingssnelheid had. Daarnaast was de blad- en gewasopbouw onder rode en blauwe LED's afwijkend ten opzichte van Son-T. De volgende feiten zijn daarbij interessant:

- volgens de literatuur wordt ongeveer 31% van de uitgestraalde energie van een Son-T lamp in het spectrum tot 780 nm uitgestraald (zichtbaar licht);
- volgens toeleveranciers wordt van een Son-T armatuur 50% van de elektrische energie opgezet in infrarode stralingswarmte (>780 nm); de overige warmte komt vrij als convectie warmte.

Daarnaast is het onbekend wat het effect is van het verschuiven van het aangeboden spectrum van een Son-T ten opzichte van een LED-belichting met 90% rood en 10% blauw licht (voorgaande onderzoeken hadden reeds aangetoond dat men met 100% rood licht niet kon telen en dat een minimum aan blauw licht de ergste tekortkomingen kon compenseren). Zo wordt er bijvoorbeeld bijna geen licht toegediend tussen de 500 en 600 nm (groen-geel) en licht tussen de 700 en 780 nm (verrood licht). In figuur 1 is met behulp van het 'plantactiespectrum' te zien dat de plant in deze gebieden wel actief is. Er is relatief veel onderzoek gedaan naar de efficiëntie van lichtkleuren op fotosynthese, maar minder naar het effect van lichtkleuren op stuurprocessen in de plant. Denk hierbij aan strekking van de plant, opening van de huidmondjes, vorming van plantcellen etc. Voor wat betreft de fotosynthese is aangetoond dat rode en blauwe LED's volstaan, echter is nog onvoldoende bekend over het juiste spectrum van de stuurprocessen.

TNO en TTO hebben daarom het onderzoek in 2009/2010 op dezelfde schaal voortgezet, waarbij de nadruk meer op de effecten in de teelt lag dan op de technische ontwikkeling. Het was onbekend wat het effect van deze kleuren was op de stuurprocessen in de plant. Doelstelling van het onderzoek was om te analyseren hoe het licht spectrum en de inzet van stralingswarmte de groei en plantontwikkeling van een tomatengewas onder LED-belichting beïnvloedde. Onderzoeksvragen waren:

- wat is de invloed van stralingswarmte op de bladtemperatuur in verhouding tot de ruimtetemperatuur?
- wat is het effect van stralingswarmte op groei, bladafplitsing en zetting?
- hebben de lichtkleuren tussen 500 en 600 nm (groen/geel) effect op de groei en ontwikkeling?
- beïnvloeden de lichtkleuren tussen 500 en 600 nm (groen/geel) slechts de fotosynthese of hebben de lichtkleuren invloed op

PAR

Het gedeelte van het licht tussen 400 en 700 nm gebruiken planten hoofdzakelijk voor de fotosynthese en wordt daarom (in het Engels) photosynthetic active radiation (PAR) genoemd.

UV

Het zogenaamde UV-B (300-315 nm) en het UV-A (315-400 nm) zijn verantwoordelijk voor degradatie van cellen. UV-straling heeft vooral invloed op de fotomorfogenese en kleuring van planten. Een klein gedeelte van de UV-straling wordt ook gebruikt voor de fotosynthese en groei van planten.

NIR & FIR

Nabij infrarood (NIR) (680-3.000 nm) is het deel van het zonnenspectrum dat nauwelijks gebruikt wordt door de planten; het wordt voornamelijk omgezet in warmte. Het stralingsgedeelte van 700 tot 800 nm wordt 'verrood' genoemd. Dit draagt bij aan de fotomorfogenese, vooral de stengelstrekking en het fotoperiodisme van planten. Ver infrarode straling (FIR) met golflengten van 3.000 tot 100.000 nm is niet het gevolg van directe zoninstraling, maar is warmtestraling.

Daglengte en licht/donker-cycli

Daglengte is belangrijk voor alle fotoperiodische processen in de plant. Over de optimale daglengte bestaat voor tomaat geen duidelijkheid. Een vuistregel is dat bij daglengten van meer dan 14 uur het effect van het licht op de groei en productie de laatste uren afneemt. Op een lange dag gaan meer suikers naar de bladeren. Een korte dag stimuleert de generatieve groei; de bloemtros wordt dan eerder aangelegd. Naarmate de dag langer duurt dan 17 uur neemt de kans op chlorose, afwijkingen, minder groei en productie toe. Phytochroom kan worden vergeleken met het uurwerk van een gewas, de zogenaamde circadian klok (biologische klok). Het begin van de nacht is de 'reset'. Vele experimenten tonen aan dat er ritmestoornissen kunnen ontstaan in het sluitingsmechanisme van de huidmondjes bij andere lichtkleuren/intensiteiten/-cycli. Dit in vergelijking met natuurlijke omstandigheden.

Relatie licht tot aanpassingen, fotosynthese, groei en ontwikkeling

Theoretisch kan een plant alle fotonen met golflengten tussen 400 en 700 nm gebruiken voor fotosynthese, maar de efficiëntie waarmee dit gebeurt is niet gelijk. De hoeveelheden chlorofyl en carotenoiden in een blad zijn afhankelijk van de lichtkwaliteit waarin het blad zich heeft kunnen ontwikkelen. Naast chlorofyl bevat blad ook andere pigmenten, o.a. caroteen met absorptiespectra in het blauw-groene deel. Fotomorfogenese is het proces dat leidt tot de vorm, kleur en bloei van de plant. Dit is voor een deel genetisch vastgelegd maar wordt ook door licht gestuurd. De samenstelling van licht is van invloed op de morfologische ontwikkeling van de plant. Om dat te sturen hebben planten een aantal fotoreceptoren (anthocyanen) ontwikkeld.

de sturing van plantprocessen, zoals bladaf-splijting en zetting?

HET ONDERZOEK

Indien er kunstmatig licht wordt gegeven aan een plant, is het van belang dat het (elektrisch opgewekte) licht zo goed mogelijk aansluit op de wensen van een plant. Het is dus niet per definitie zo dat wanneer het spectrum van de zon nagebootst wordt, dit de meest efficiënte wijze van belichten is. Onderzoek zal dit moeten aantonen, waarbij er grofweg twee methoden van onderzoek zijn:

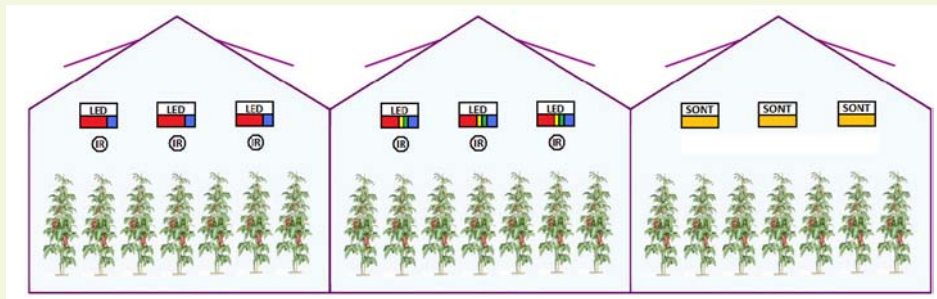
1. men neemt het spectrum van de zon en bepaalt vervolgens welke minimale lichtbehoefte er is over het gehele spectrum (dus niet alleen het plantactiespectrum);
2. men begint met de twee efficiëntste kleuren voor fotosynthese, te weten rood en blauw, en bepaalt door middel van onderzoek welke minimale golflengten ontbreken om de plant goed te laten groeien.

De eerste methode is tijdrovend en werd pas gedurende het LED-onderzoek praktisch mogelijk gemaakt door de komst van een goed functionerende plasmalamp medio winter 2009. Een plasmalamp maakt het mogelijk om het spectrum van de zon nagenoeg geheel na te bootsen.

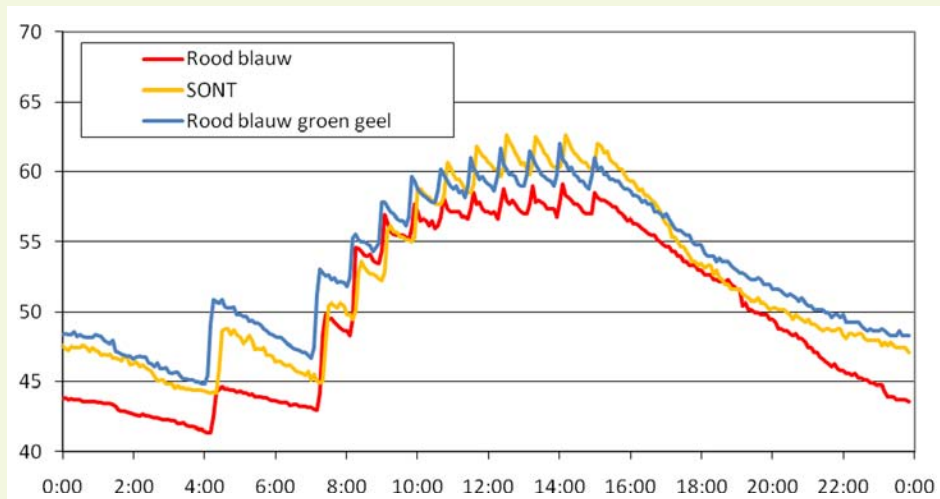
Voor dit onderzoek is de tweede methode ingezet. Het onderzoek in het Fieldlab in teeltseizoen 2008/2009 heeft zich gericht op het toepassen van rood en blauw licht. De ervaring van het vorige onderzoek toonde aan dat de plant weliswaar geteeld kan worden onder rood en blauw licht, maar dat er waarschijnlijk nog enkele aanvullingen nodig zijn in het spectrum. Hierbij was de indicatie dat de ontwikkelingsnelheid van de plant negatief beïnvloed wordt door het ontbreken van stralingswarmte. Voorafgaand aan het onderzoek is door TNO/TTO uitgebreid overwogen om het onderzoek te richten op specifieke plantfysiologische deelprocessen (in bijv. klimaatkamers) of juist door een geïntegreerde aanpak onder praktijkomstandigheden. Voor de laatste optie is gekozen, waarbij het van belang was om alle factoren gelijk te houden en alleen op het gebied van de onderzoeksvragen te variëren. Er is gekozen voor onderzoek in de vergelijkbare, separaat stuurbare kascompartimenten die ook in 2008/2009 gebruikt zijn.

OPZET KASPROEF

Voor de verschillende experimenten waren drie gelijke kascompartimenten op de Demokwekerij Westland ingericht van elk 108 m² (figuur 3). De afdelingen waren compleet separaat stuurbaar en reeds voorzien van uitgebreide sensing. Het ras Timotion



-Figuur 3- Schematische weergave van de kasproef



-Figuur 4- Watergehaltemeting in de verschillende afdelingen (24-12-2009)

werd gezaaid op 28 augustus 2009 en op 14 oktober 2009 in de proefvakken geplant. Op 24 oktober zijn de planten op de mat gezet. In week 51 van 2009 kwam de productie op gang.

Compartment 1: LED Afdeling rood blauw

Afdeling met 100% LED-belichting die watergekoeld was. Naar aanleiding van de ervaringen van vorig jaar van zowel TTO als andere partijen is gekozen voor 7 μ mol blauw licht (7%). Een additionele infraroodinstallatie kon energie toevoegen om de planttemperatuur te beïnvloeden.

Compartment 2: LED Afdeling rood blauw geel groen

Afdeling met 100% LED belichting die watergekoeld was. De bovenbelichting is overeenkomstig de andere LED-afdeling, met als verschil dat er extra kleuren in de armatuur zijn aangebracht om het volledige spectrum van HD natrium na te bootsen. De verhouding tussen de lichtkleuren is als volgt : 76% rood, 7% blauw en 17% groen-geel. Een additionele infraroodinstallatie kon energie toevoegen om de planttemperatuur te beïnvloeden.

Compartment 3: SON-T afdeling

Dit is het referentievak HD natrium, waarin

onder 145 μ mol tomaten werden geteeld. De twee begeleidende telers telen eveneens onder dit lichtniveau, waarbij één teler hetzelfde ras heeft.

STRALINGSWARMTE

De ontwikkelingsnelheid, aanmaak van bladeren en trosaanmaak wordt beïnvloed door de infrarode straling van een Son-T lamp. Het warm maken van de kop met behulp van een buis is zeer omstreven bij kwekers, want buiswarmte is niet dezelfde warmte als stralingswarmte. TTO heeft er in dit tweede onderzoeksjaar voor gekozen om eerst helder te krijgen in hoeverre de stralingswarmte een rol speelt; dus wat is het effect op de productie? Naast LED werd separaat infrarode straling ingebracht in de vorm van IR-stralers. De hoeveelheid stralingswarmte mocht nimmer boven het aandeel stralingswarmte van de Son-T installatie uit komen.

De hoeveelheid stralingswarmte van een Son-T installatie van 145 μ mol met een opgenomen vermogen van 93,5 W (1,55 μ mol/W) is 50% x 93,5 = **47 Watt**. Deze hoeveelheid stralingswarmte bevindt zich in een breed gebied van nabij infrarood tot ver infrarood.

Het onderzoek had als uitgangspunt dat er nimmer meer dan 35% aan stralingswarmte toegediend zou mogen worden, wat **31,5 Watt** betekent aan infrarode straling. Dit uitgangspunt is gekozen uit oogpunt van energiebesparing; indien er teveel elektriciteit wordt toegevoegd is de toepassing economische gezien niet meer realistisch. Verder was het een uitdaging om het gebruik van IR tot een minimum te beperken door het regelen van de installatie. Met een separate installatie om IR op te wekken is het namelijk mogelijk licht en warmte volledig van elkaar los te koppelen.

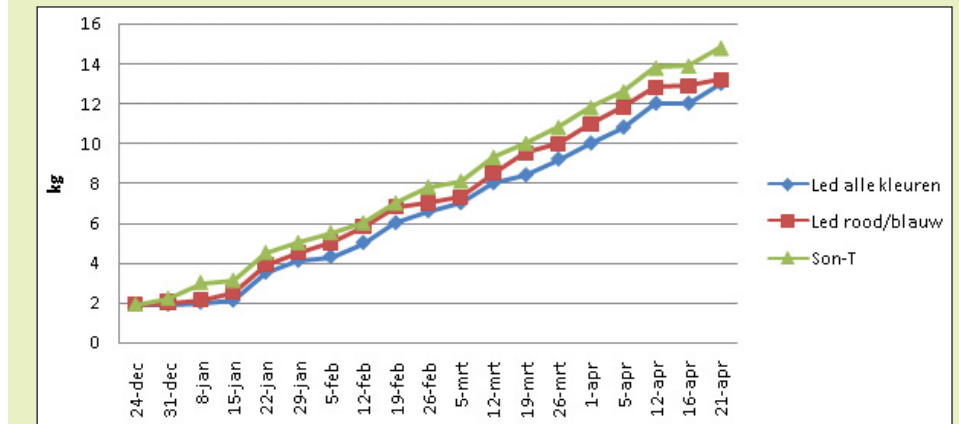
RESULTATEN

Gewasgroei- en ontwikkeling

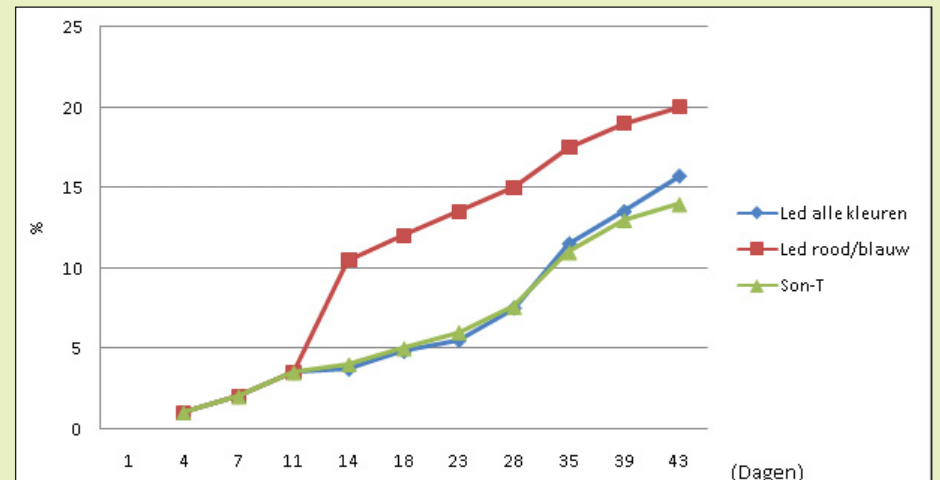
- de Led-afdeling met alle kleuren leek een vegetatievere inslag (meer bladvorming) te hebben in vergelijking met de LED rood-blauw en SON-T;
- zonder IR was naast een vertraging van de zettingssnelheid het gewas visueel donkerder en leken bladeren de neiging te hebben naar binnen te krullen;
- in de LED-afdelingen was de planttemperatuur, zonder infrarood inzet, beduidend lager (0,5 °C tot 2,5 °C) dan de ruimtetemperatuur. Nadat de warmtestralers waren ingeschakeld gingen de gewassen in de LED-afdelingen meer lijken op het gewas in de SON-T afdeling en was de planttemperatuur dichterbij de ruimtetemperatuur gedurende belichting;
- duidelijk uit 'time lapse' films is dat het bewegen van planten anders verloopt. In een behandeling waar rood licht overheerst komen de resultaten, het omhoog staan van bladeren in combinatie met beweging en de ontbrekende strekking in de voornacht, overeen met eerder verrichte onderzoeken;
- het minder bewegen van het gewas wanneer infrarood wordt weggenomen is wellicht direct gelinkt aan de vertraagde groei en ontwikkeling zoals die vorig jaar werd waargenomen. Wellicht is de hoeveelheid beweging gekoppeld aan de activiteit van groei en ontwikkeling.

Verdamping

Voor een optimaal functionerende plant is het wenselijk dat de groei en verdamping in balans zijn met de aanvoer van water door de wortels en er dus geen tekort of ophoping optreedt. Wanneer de aanvoer van water onvoldoende is om de verdamping in stand te houden (waterstress) neemt de celspanning (turgor) af. Een consequentie van verlies aan turgor is minder celstrekking, ofwel minder versgroei, kleinere vruchten, kleinere bladeren. Men denkt dat door het reguleren van de huidmondjesopening de plant probeert de fotosynthese te



-Figuur 5- Cumulatieve productie (kg/m²)



-Figuur 6- Procentuele gewichtsafname vrucht (%)

maximaliseren t.o.v. het waterverlies. Het tomatengewas met 'LED alle kleuren' vertoonde een ander wateropnamepatroon. Twee maal werd met twee verschillende methoden voor een periode van vijf weken het watergehalte van het substraat geregistreerd. In figuur 4 is de watergehaltemeter weergegeven. Opvallend patroon was dat het watergehalte gedurende de donker periode in de LED-afdeling rood-blauw rechtlijnig bleef zakken. Dit terwijl de afname in het watergehalte in het substraat in de SON-T afdeling en de LED-afdeling rood-blauw-geel-groen een regulier patroon volgde. Het is lastig om duidelijke oorzaken en gevolgen aan te duiden voor de verschillen in spectra in de proef. Het onderzoeksteam heeft meerdere aanwijzingen gevonden die wijzen op een veranderde waterhuishouding van het gewas en een verstoring van het stomata reguleringsmechanisme.

Productie

In figuur 5 is te zien dat gedurende de gehele oogstperiode het productiecijfer van de Son-T afdeling boven het productiecijfer van de LED-afdelingen lag. Het verschil in cumulatieve productie wordt voornamelijk gemaakt in de periode tot 15 januari. Daarna neemt het niet veel toe gedurende de oogstperiode.

- de eerste oogstweken (t/m tros 3) was een duidelijke stijging waarneembaar in de productie van de Son-T afdeling t.o.v. de productie van beide LED-afdelingen;
- aan het einde van de gehele proefperiode lag het productiecijfer in de Son-T-afdeling 11,4% en 12,2% hoger dan de productie in de LED-afdeling met de kleuren rood en blauw en de LED-afdeling met alle kleuren;
- de gemiddeld hogere weekproductie in de eerste drie weken is o.a. veroorzaakt door de hogere gemiddelde vruchtgewicht bij de planten geteeld onder Son-T belichting;
- gedurende de gehele oogstperiode was het dichtheidscijfer van de vruchten uit de Son-T afdeling hoger dan voor de vruchten uit de LED-afdelingen. Drogestofanalyses vertoonden niet dat het drogestofgehalte in de Son-T vruchten hoger was dan bij de LED-vruchten.

Gewasmetingen

- zonder IR-inzet in de LED-afdelingen begon de zetting trager te verlopen in vergelijking met de SON-T afdeling. Na inzet van IR verliep de zetting in de Led-vakken gelijk aan het SON-T vak;
- in vergelijking met SON-T leek de LED-afdeling rood-blauw gevoeliger voor

- bladrandjes en de LED-afdeling met alle kleurtjes leek minder gevoelig;
- de bladlengte was gemiddeld 3 cm langer in de LED-afdelingen. De gemeten LAI-waarden (Leaf Area Index: aantal m² blade- ren/ m²) waren niet significant verschillend;
- de gemiddelde stengellengte van planten geteeld onder Son-T was aan het einde van de proefperiode hoger dan de stengellengte van de planten geteeld onder LED;
- vruchten uit de LED-afdeling rood-blauw vertoonden een minder lange houdbaarheid.

Voor de houdbaarheidsproef zijn 60 vruchten per afdeling voor een vaste periode in het donker bewaard bij kamertemperatuur (21 °C). Ze zijn elke vier dagen gewogen (zie figuur 6)

CONCLUSIES

Naar aanleiding van het LED-onderzoek zijn de volgende conclusies te trekken:

- het inbrengen van extra warmte om de bovenste plantdelen op temperatuur te houden is bij LED-belichting een vereiste om de productie op eenzelfde niveau te brengen als bij Son-T;

- infrarode straling zorgt ervoor dat bij LED de planttemperatuur op een zelfde niveau kan worden gehouden als bij Son-T;
- door de inzet van infrarode straling is het mogelijk om de ontwikkelingssnelheid van een tomatengewas onder LED-belichting op een zelfde niveau te houden als Son-T belichting;
- het inbrengen van LED-licht in de golflengten tussen 500 en 600 nm heeft een negatief effect op de productie van het gewas, maar de bladkwaliteit verbeterde;
- LED-belichting kan bladrandjes bij tomaat sterk verminderen;
- LED-belichting zorgt niet voor een verschil in suiker- en drogestofgehalte van de vrucht in vergelijking met Son-T.

Hoewel de focus van het onderzoek lag op de gewasontwikkeling, is na afloop van het onderzoek het energiegebruik in kaart gebracht. Hieruit bleek dat er gemiddeld 35,3 W/m² aan infrarode warmte is toegevoegd. Beoogd was een maximum van 31,5 W/m², wat tweedeerde deel is van het vermogen infrarood dat een Son-T levert. Het hoge gebruik werd enerzijds

veroorzaakt door de extreem koude winter en anderzijds doordat de installatie moeilijk in vermogen terug te regelen was. Door de overmatige inzet van infrarood is in het beschreven onderzoek de efficiëntie van LED verloren gegaan aan de inzet van infrarood. LED ontwikkelt zich echter in snel tempo door en de verwachting is dat in 2013 de efficiëntie van LED (in PAR) 50% hoger is dan die van Son-T. De overtuiging bij zowel onderzoekers als begeleidende telers is dat de LED-belichting, gezien de snelle verbetering van energie efficiëntie, een lichtbron is die zeer interessant kan zijn voor de tuinbouw. Maar eerst zal het warmtevraagstuk opgelost moeten worden. Naar aanleiding van dit onderzoek is het aan te bevelen om verder onderzoek te doen naar infrarood. Daarnaast zal er gekeken moeten worden naar een alternatieve manier van het verwarmen van de bovenste regionen van een plant. Onderzoeksvragen kunnen dan zijn:

- is het mogelijk om op een alternatieve manier dan met infrarode verwarming het gewas te verwarmen?;
- hoe kan het gebruik van infrarood verder verminderd worden ?



GLOBAL AIR SYSTEMS

Heeft u wel eens gedacht aan kunststof luchtbehandelingskasten of plenums? Wij wel. En als u behalve naar aanschafkosten ook naar onderhoudskosten kijkt, zou u dat ook eens moeten doen.

Global Air Systems staat voor:

- kunststof op maat gemaakte luchtbehandelingskasten en plenums
- corrosiebestendig, dus onderhoudsarm
- custom made, voor een energiezuinig rendement
- deelvervanging, te gebruiken voor ieder merk en type luchtbehandelingskast
- energiezuinig
- optioneel: 30 jaar garantie op de omkasting

Durf vooruit te kijken!

Bel: +31(0)416-670700

WWW.ALTENA.COM