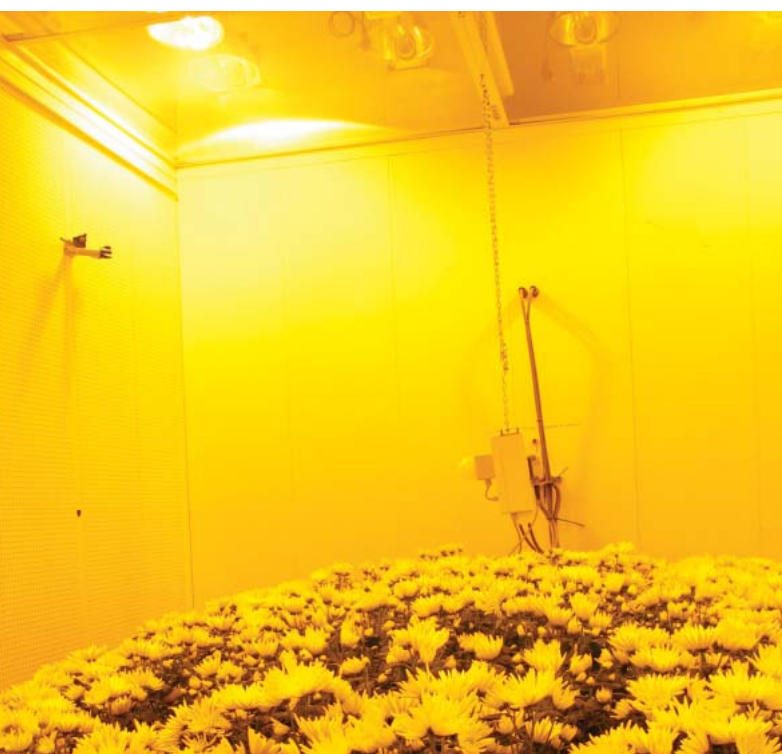


Is een μmol een μmol ?

Groei en ontwikkeling van chrysant geteeld onder SON-T belichting en onder LED belichting

Esther Meinen, Leo Marcelis, Johan Steenhuizen & Tom Dueck





Is een μmol een μmol ?

Groei en ontwikkeling van chrysanthe geteeld onder SON-T belichting en onder LED belichting

Esther Meinen, Leo Marcelis, Johan Steenhuizen & Tom Dueck

© 2009 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



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit



Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1 Inleiding	5
2 Materialen en methoden	7
2.1 Plantmateriaal en teelt	7
2.2 Belichting	7
2.3 Behandelingen	8
2.4 Metingen	8
3 Resultaten en discussie	11
3.1 Algemeen	11
3.2 Klimaat	11
3.3 Belichting	12
3.3.1 Lichtintensiteit	12
3.3.2 Spectrum	12
3.3.3 Bladtemperatuur	13
3.3.4 Fotosynthese	14
3.3.5 Lichtabsorptie	17
3.3.6 Verdamping	18
3.3.7 Grondtemperatuur	19
3.3.8 Reactietijd	19
3.3.9 Destructieve oogst	20
3.3.10 Nutriënten	24
3.3.11 Overzicht van de resultaten	25
4 Algemene discussie	27
5 Conclusies	29
6 Vervolgonderzoek	31
7 Literatuur	33
Bijlage I. Voedingsoplossing chryasant	1 p.
Bijlage II. Foto's van chryasant	1 p.
Bijlage III. Nutriëntenanalyses	1 p.

Voorwoord

De belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw is sterk toegenomen de afgelopen jaren. Bij verschillende glastuinbouwbedrijven zijn 'proefvakken' met LED belichting geïnstalleerd omdat producenten van LED lampen beweerden dat er minder LED lampen geïnstalleerd hoeven worden voor eenzelfde effect op het gewas als de traditionele belichting met SON-T lampen. Op grond van resultaten uit deze praktijkproeven echter was dit moeilijk vast te stellen; er ontstond behoefte aan een goede vergelijking van LED lampen met SON-T lampen op de groei en ontwikkeling van gewassen.

In het kader van het programma 'Kas als Energiebron' is in opdracht van het Ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw door Wageningen UR Glastuinbouw onderzoek gedaan naar effecten van een gelijke hoeveelheid licht (μmol fotonen) van SON-T en LED-belichting op de fotosynthese, groei en ontwikkeling van chrysant. De resultaten van dit onderzoek worden in dit rapport weergegeven.

De LED lampen zijn beschikbaar gesteld en geïnstalleerd door Lemnis Lighting, en de planten door Paul de Gelder van Deliflor Chrysanten B.V. (Maasdijk). Het lichtplan voor de SON-T belichting is opgesteld door Hortilux (Sjaak Vergeer). Ruud Maaswinkel heeft het experiment regelmatig bezocht en geadviseerd over de teelt. Ik wil hen allen bedanken voor hun inbreng, discussies en prettige samenwerking.

Esther Meinen
Wageningen UR Glastuinbouw
September 2009

Samenvatting

De belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw is sterk toegenomen de afgelopen jaren. Bij verschillende glastuinbouwbedrijven zijn 'proefvakken' met LED belichting geïnstalleerd. Producenten van LED lampen beweren dat er minder LED lampen geïnstalleerd hoeven worden voor eenzelfde effect op het gewas als de traditionele belichting met SON-T lampen. Maar op grond van resultaten uit praktijkproeven was dit lastig vast te stellen; er ontstond behoefte aan een goede vergelijking van LED lampen met SON-T lampen op de groei en ontwikkeling van gewassen.

Om LED lampen en SON-T lampen te vergelijken is een experiment uitgevoerd in klimaatkamers zonder daglicht-toetreding. Alle klimaatcondities waren gelijk, alleen de belichting was verschillend. Twee klimaatkamers hadden SON-T belichting en twee klimaatkamers hadden LED belichting, met een hoge en een lage lichtintensiteit. De LED belichting bestond voor 96% uit rode lampen (664 nm) en 4% blauwe lampen (450 nm). De gemiddelde lichtintensiteiten in de klimaatkamers bedroegen 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (hoog) of 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (laag) en waren gelijk voor SON-T en LED. In de klimaatkamers werden chrysanten ('Anastasia') geteeld van bewortelde stek tot oogstbare tak.

Al direct na de start van het experiment bleek dat niet alleen het spectrum van de lampen verschillend was tussen de behandelingen. Ook de bladtemperatuur was verschillend en was 0.8°C (lage intensiteit) tot 1.3 °C (hoge lichtintensiteit) hoger in de kop van het gewas bij de klimaatkamers met SON-T belichting vergeleken met LED belichting. SON-T lampen hebben naast PAR straling ook warmtestraling, wat een hogere bladtemperatuur tot gevolg had het bovenste deel van het gewas.

De reactietijd van de chrysanten geteeld onder LED belichting was 10 tot 14 dagen langer (resp. hoge en lage lichtintensiteit) vergeleken met SON-T belichting. De ontwikkeling van de planten tot oogstbare takken was dus aanzienlijk langer. Maar het versgewicht van de takken bij de oogst was gelijk voor takken geteeld bij SON-T belichting en takken geteeld onder LED belichting. Chrysanten geteeld onder hoge lichtintensiteit waren zwaarder (144 g per tak) dan chrysanten geteeld onder lage lichtintensiteit (103 g per tak). De stelen van de takken geteeld onder LED belichting waren iets korter en dunner vergeleken met takken geteeld onder SON-T belichting. Verder was het aantal bloemen en knoppen iets groter van planten geteeld onder LED belichting, maar de drooggewichten van bloemen en knoppen waren gelijk aan die van planten geteeld onder SON-T belichting.

De grootste groeiverschillen waren zichtbaar bij de overgang van lange dag naar korte dag. Bij planten geteeld onder LED belichting kwam 'bol blad' voor en bij planten geteeld onder SON-T in de eerste fase van de teelt niet. Planten geteeld onder SON-T belichting hadden gemiddeld één blad meer en het bladoppervlak (ook uitgedrukt per blad) was groter dan het bladoppervlak van planten geteeld onder LED belichting. Een groter bladoppervlak in deze eerste fase van de teelt leidt tot meer lichtonderschepping in het gewas en daarmee tot een grotere drogestofproductie. De netto actuele bladfotosynthese was hoger bij chrysanten geteeld onder SON-T belichting met hoge lichtintensiteit vergeleken met planten geteeld onder LED belichting. Bij de lage lichtintensiteit was de netto fotosynthese wel gelijk. Dit is een opmerkelijk resultaat aangezien onderzoeken met andere gewassen lieten zien dat de netto fotosynthesesnelheid hoger is bij rood licht vergeleken met andere lichtkleuren (metingen verricht bij afzonderlijke lichtkleuren, maar de planten opgekweekt onder een breder spectrum). Mogelijk was in dit onderzoek het spectrum van de LED belichting niet optimaal om planten langdurig onder te telen.

Uit dit experiment is gebleken dat chrysanten zijn te telen onder SON-T belichting en onder LED belichting (zonder daglicht), waarbij het eindgewicht van de geoogste takken gelijk is. Planten geteeld onder SON-T belichting ontwikkelden sneller een gesloten gewas en hadden een kortere reactietijd. Naast spectrale verschillen was ook de bladtemperatuur verschillend tussen de behandelingen.

1 Inleiding

De belangstelling voor LED belichting in de glastuinbouw is sterk toegenomen de afgelopen jaren. Er worden grote voordelen verwacht van LED belichting zoals een lager energieverbruik en een betere stuurbaarheid van de teelt. Eenenander hangt wel af van de technische eisen op het gebied van LED technologie en de kennis over effecten van LED belichting op planten. De traditionele hogedruk natriumlampen (SON-T) hebben een vast spectrum, maar met LED lampen is het mogelijk precies de gewenste lichtkleur te geven. Toepassing van LED lampen geeft dus de mogelijkheid deze als groeilicht en als stuurlicht in te zetten.

Bij verschillende glastuinbouwbedrijven (tomaat, komkommer, paprika, roos) zijn 'proefvakken' met LED belichting geïnstalleerd. Maar een goede vergelijking maken tussen de LED lampen en de reguliere assimilatiebelichting met SON-T lampen is niet mogelijk bij deze 'proefvakken'. Ten eerste was de lichtintensiteit van de LED lampen veelal anders dan de lichtintensiteit van de SON-T lampen. Ten tweede waren andere factoren of teelthandelingen vaak niet gelijk. Om een gefundeerde uitspraak te kunnen doen over verschillende lamptypen is het belangrijk dat de lichtintensiteiten gelijk zijn. De respons van planten op licht is niet-lineair, daarom is het beter om meerdere lichtintensiteiten te testen.

In de praktijk wordt assimilatiebelichting gebruikt als bijbelichting naast zonlicht. Alleen bij toepassing 's nachts is de assimilatiebelichting de enige lichtbron. Overdag is het aandeel zonlicht, afhankelijk van het seizoen, vaak vele malen groter dan het aandeel assimilatiebelichting. In veel teelten wordt assimilatiebelichting veelal gebruikt om de dagen langer te maken en worden de lampen overdag bij voldoende instraling uitgeschakeld.

In dit experiment is er voor gekozen om een zuivere vergelijking te maken van LED lampen en SON-T lampen zonder zonlicht. Daarom is het experiment uitgevoerd in klimaatkamers met volledig identieke omstandigheden, behalve de belichting. Dit terwijl in andere projecten LED belichting in kassen is onderzocht (bijvoorbeeld onderzoek bij Zuurbier rozen, Red Star trading, Dingemans en Wageningen Universiteit). In dit onderzoek werden in twee klimaatkamers SON-T lampen geïnstalleerd en in twee andere klimaatkamers werden LED lampen geïnstalleerd. LED belichting was een combinatie van 96% rode belichting (664 nm) en 4% blauwe belichting (450 nm). De bandbreedtes van de LED lampen waren redelijk breed; totaal circa 100 nm. De lichtintensiteiten in het fotosynthetisch actieve gebied (PAR, van 400 tot 700 nm) waren identiek tussen de klimaatkamers met LED belichting en met SON-T belichting. Op deze manier kan een uitspraak worden gedaan over de effectiviteit van 1 μmol LED licht en 1 μmol SON-T licht op de gewasgroei. De groei van planten wordt echter niet alleen bepaald door de CO_2 opname onder invloed van licht en verdere assimilatie. Het spectrum van het licht kan invloed hebben op de ontwikkeling en morfologie van het gewas. Dit proces wordt fotomorfogenese genoemd, wat leidt tot de uiteindelijke vorm, kleur en bloei van de plant (Kendrick en Kronenberg, 1994). Planten hebben fotoreceptoren die gevoelig zijn voor verschillende golflengtegebieden: fytochroom (rood, verrood), receptoren voor blauw licht (cryptochroom, fototropinen) en voor UV-A. De verhouding tussen rood en verrood licht is belangrijk voor de vorm waarin het fytochroom zich bevindt (actieve of inactieve vorm). Ook blauw licht kan de vorm waarin het fytochroom zich bevindt enigszins beïnvloeden. Dit aspect van stuurlicht speelt een rol in dit experiment door de spectrale verschillen tussen SON-T belichting en LED belichting.

Het experiment werd uitgevoerd met chrysant. Planten werden gekweekt van bewortelde stek tot oogstbare tak bij de verschillende lamptypen. Chrysant heeft als voordeel dat de teeltduur relatief kort is en effecten binnen 14 weken gekwantificeerd kunnen worden. Daarnaast is chrysant gevoelig voor stuurlicht; dat speelt een rol aangezien het spectrum van de twee lamptypes verschillend is. Chrysant is een korte dag plant; dat betekent dat bloei-inductie plaats vindt als de nachten voldoende (onafgebroken) lang zijn (Spaargaren, 1996). In praktijk worden chrysantenstekken eerst enkele weken bij lange daglengtes ('lange dag') geteeld. In relatief korte tijd worden dan alle bladeren aangelegd. Vervolgens wordt er korte daglengte ('korte dag') gegeven, waarbij bloei-inductieplaats vindt en aanleg van bladprimordia stopt. De rest van de teelt wordt deze korte daglengte gehandhaafd.

Doelstelling van het project was om 1 μmol LED licht te vergelijken met 1 μmol SON-T licht op de groei en ontwikkeling van chrysant. Chrysanten zijn geteeld in vier klimaatkamers (SON-T en LED lampen in twee licht-

intensiteiten). Tijdens de teelt is naast de groei ook actuele bladfotosynthese gemeten, respiratie, lichtabsorptie, bladtemperatuur, verdamping, grondtemperatuur, reactietijd en nutriëntensamenstelling bij de eind oogst.

2 Materialen en methoden

2.1 Plantmateriaal en teelt

Bewortelde chrysantenstekken van het ras 'Anastasia' werden geleverd door Deliflor Chrysanten B.V. (Maasdijk) op 21 april 2009. De stekken werden in kisten in potgrond (zonder bark) geplant met een plantdichtheid van 50 planten/m² (12 planten per kist van 40 x 60 cm). In elke klimaatkamer van 9 m² werden 18 kisten geplaatst; elke klimaatkamer had een plantbed met 216 planten. De middelste 6 kisten planten werden gebruikt voor plantmetingen; de andere planten fungeerden als randplanten.

Direct na planten werden de planten opgekweekt onder 'lange dag condities': 20 uur licht; temperatuur overdag 18°C en 's nachts 19°C, 80% RV en 900 ppm CO₂ gedurende 24 uur. Na 20 dagen werd overgegaan naar 'korte dag condities': 11 uur licht, 18°C en 19°C in de nacht, 75 tot 80% RV en 900 ppm CO₂ gedurende 24 uur. De planten kregen gemiddeld 4 keer per week voedingsoplossing (Bijlage I) die op de potgrond werd gebroesd. Tijdens de teelt zijn geen bestrijdingsmiddelen gebruikt en was het gewas gezond.

Vijf weken na planten zijn alle kisten met planten 5 cm uit elkaar geplaatst in alle klimaatkamers. Reden was dat in de behandeling met SON-T belichting, met name de hoge lichtintensiteit, het gewas onderin erg vochtig werd. Door de kisten uit elkaar te schuiven verbeterde de luchtcirculatie onderin het gewas. Door het uit elkaar schuiven van de kisten werd de gemiddelde plantdichtheid 45 planten/m².

2.2 Belichting

In twee klimaatkamers was SON-T belichting geïnstalleerd en in twee klimaatkamers LED belichting met een hoge en een lage lichtintensiteit. Er werden respectievelijk 8 en 4 SON-T lampen opgehangen (SON-T PIA GP 400W/230V, Philips) op een zodanige positie dat de lichtintensiteit redelijk homogeen verdeeld was binnen een klimaatkamer. In twee andere klimaatkamers is LED belichting geïnstalleerd (Lennis Lighting) met 96% rode lampen (664 nm) en 4% blauwe lampen (450 nm). Het aantal LED lampen is zodanig gekozen zodat de lichtintensiteit gelijk was aan de lichtintensiteit in de klimaatkamer met SON-T. De ruimte tussen lampen en gewas was afgescheiden met een heldere glasplaat.

Metingen van het lichtspectrum zijn uitgevoerd met een spectroradiometer (LI-1800, LI-COR). Lichtintensiteiten zijn gemeten met kwantumsensoren (LI-190, LI-COR) op 15 plaatsen per klimaatkamer en op 4 hoogtes onder de lampen. Op basis van de spectrale metingen zijn de metingen van de kwantumsensoren gecorrigeerd voor de kleine variatie in gevoeligheid tussen 400 en 700 nm.



SON-T lamp (links) en de combinatie van rode en blauwe LED lampen in de klimaatkamer (rechts).

2.3 Behandelingen

De teelt vond plaats in vier verschillende klimaatkamers met de volgende belichtingscondities:

1. SON-T hoog: SON-T belichting, 300 $\mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$
2. LED hoog: LED-belichting, 300 $\mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$
3. SON-T laag: SON-T belichting, 150 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$
4. LED laag: LED belichting, 150 $\mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$

De lichtintensiteit op het gewas nam toe tijdens de teelt doordat de afstand tussen gewas en lampen kleiner werd door de groei. De lichtintensiteiten op verschillende gewashoogtes staan bij de resultaten (3.3.1).

2.4 Metingen

Bladtemperatuur

Bladtemperatuur is wekelijks gemeten met een draagbare infrarood camera (Humiport 05 IR, E+E Electronic) aan onbeschadigd blad. Data werden gecorrigeerd voor directe reflectie van warmtestraling. Directe reflectie van warmtestraling werd gekwantificeerd door de temperatuur van een object te meten onder SON-T belichting en nogmaals na volledige afscherming van hetzelfde object van directe lichtinval. Bij LED belichting was er geen reflectie van warmtestraling en was correctie niet nodig.

Op twee momenten in de teelt is tevens de bladtemperatuur gemeten op vier hoogtes in het gewas: onbeschadigd blad, op 25% diepte, 50% diepte en 75% diepte in het gewas. Per keer werd aan 24 verschillende planten gemeten.

Fotosynthese

Op drie momenten tijdens de teelt werden de actuele fotosynthesesnelheid en de respiratiesnelheid gemeten met een LI-6400 draagbare fotosynthesemeter (LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, Nebraska, VS). De eerste metingen werden uitgevoerd tijdens de 'lange dag' condities, één week na planten. Vier weken en zeven weken na starten van de 'korte dag' is ook actuele fotosynthese en respiratie gemeten.

Onbeschadigd en redelijk volgroeid blad (4^e tot 7^e blad van boven) werd in een bladcuvet gebracht van 2 cm². Lucht stroomt met een bepaalde snelheid door de bladcuvet; CO₂ en water worden in de ingaande en uitgaande luchtstroom gemeten. Het CO₂ verschil tussen beide luchtstromen is een maat voor de netto fotosynthesesnelheid. Er werd geen lichtbron gebruikt, maar de actuele fotosynthesesnelheid werd bij de heersende lichtcondities gemeten. De bladcuvettemperatuur werd ingesteld op 18°C; CO₂ concentratie was 900 ppm, en de RV in de bladcuvet was 75 tot 80%.

Bij respirometingen werden bladcuvet en meetblad afgeschermd voor licht, zodat de meting in het donker plaats vond.

Lichtabsorptie

Lichtabsorptie is gemeten op dezelfde dag als de tweede serie fotosynthesemetingen (vier weken na start van de korte dag). Lichtabsorptie werd gemeten met een spectrometer ('Jazz' van het merk Ocean Optics). Een jong en redelijk volgroeid chrysantenblad werd in het apparaat gebracht (destructief) en de reflectie en transmissie werd gemeten tussen 350 en 850 nm. De tijd tussen het afknippen van het blad en de meting was enkele minuten. Het percentage lichtabsorptie van 400 tot 700 nm is berekend voor chrysantenblad onder SON-T belichting en onder LED belichting. Spectrale data van de lampen zijn genormaliseerd op 1 tussen 400 en 700 nm. Vervolgens is per nm licht van de lampen het licht vermenigvuldigd met de lichtabsorptie door het blad. Sommatie van 400 tot en met 700 nm geeft vervolgens het % lichtabsorptie voor SON-T belichting en voor LED belichting.

Verdamping

In elke klimaatkamer is het gewichtsverlies van kisten met 12 planten per kist gemeten gedurende 24 uur. Tijdens deze 24 uur is geen water gegeven. De kisten werden op een balans gezet en het gewicht is geregistreerd op verschillende momenten: direct na plaatsen, einde van de lichtperiode, einde van de donkerperiode en na 24 uur. Op deze manier is de totale verdamping (uit grond en door het gewas) gemeten aan drie kisten per klimaatkamer.

Grondtemperatuur

De temperatuur van de grond is op één dag gemeten, zeven weken na het starten van de korte dag periode met een NTC thermistor (Fenwal) in alle klimaatkamers. In twee kisten per klimaatkamer zijn in totaal vijf sensoren gestoken met een lengte van 10 cm. De sensoren meetten tot halverwege de diepte van de kist. De temperatuur werd elke 5 minuten geregistreerd.

Reactietijd

De reactietijd is het aantal dagen tussen de start van de korte dag periode tot 80% van de planten minstens drie open bloemen had. Het aantal open bloemen per plant is dagelijks geteld aan 48 planten per klimaatkamer.

Destructieve oogst

Er is op drie momenten een destructieve oogst uitgevoerd: bij de start van het experiment, bij de overgang van lange dag naar korte dag, en op het moment dat er bij 80% van de takken drie bloemen open waren. Bij de eerste twee oogsten is het volgende gemeten: lengte, aantal bladeren, bladoppervlakte, vers- en drooggewicht van blad en stengel aan 24 planten per behandeling. Bij de eindoogst is ook het aantal bloemen en knoppen (groter dan 1 cm) geteld en afwijkingen en is het vers- en drooggewicht (70°C) van de bloemen gemeten. Bij de laatste twee oogsten zijn wortelgewichten bepaald van twee kisten per behandeling. Kisten werden omgekeerd en eerst werden de zichtbare wortels aan de zijkant van de kist visueel beoordeeld. Vervolgens werd inhoud van de kist gehalveerd en is de grond er rustig uitgespoeld met leidingwater zodat de wortels zo min mogelijk beschadigd werden. Tijdens het spoelen treedt enig verlies van wortels op; aangenomen wordt dat het verlies bij de vier behandelingen gelijk is. Wortels werden gedroogd (70°C) en drooggewichten werden gemeten.

Nutriënten

Bij de eindoogst is de nutriëntensamenstelling gemeten in de fracties blad, stengel en bloemen. Analyses zijn uitgevoerd aan 24 planten per behandeling, waarbij de fracties van 12 planten zijn samengevoegd tot mengmonsters. De metingen zijn dus in duplo uitgevoerd.

Statistiek

Dit experiment had vier verschillende behandelingen in vier verschillende klimaatkamers. Ondanks het feit dat er aan minstens 6 (fotosynthese), 24 (destructieve oogst) en 48 planten (reactietijd) per behandeling is gemeten had het experiment statistisch gezien geen herhalingen, omdat een behandeling gekoppeld is aan een klimaatkamer. Deze proefopzet levert dus van elke behandeling een gemiddelde waarde op met een standaardfout, waarbij de standaardfout de variatie aangeeft rondom het gemiddelde.

3 Resultaten en discussie

3.1 Algemeen

In klimaatkamers met SON-T belichting en met LED belichting (zonder daglichttoetreding) zijn chrysanten goed te telen. Er was geen verschil te zien in bladkleur van takken opgekweekt bij SON-T belichting en bij LED belichting.



Start van de teelt



Einde van de teelt (beide SON-T belichting)

Na vijf weken telen bleek dat de de onderste bladeren onderin het gewas vochtig bleven in de klimaatkamers met SON-T belichting, vooral bij de hoge lichtintensiteit. De kisten in alle 4 klimaatkamers zijn op dat moment 5 cm uit elkaar geschoven om meer luchtbeweging onderin het gewas te realiseren zodat het beter kon drogen. Toch bleek het blad onderin het gewas bij SON-T belichting te vergelen en te verdorren.

Aan het begin van de teelt waren in de klimaatkamers met LED belichting veel planten met een aantal gekrulde bladeren, ook wel 'bol blad' genoemd: bladranden zijn in de lengterichting naar binnen gekruld. BIJ SON-T belichting werd dit in het begin van de teelt niet waargenomen. Halverwege de teelt en bij de eind oogst waren dergelijke bolle bladeren bij alle behandelingen te zien.

Vier weken na starten van de korte dag bleek dat er split was opgetreden bij veel planten, zowel bij SON-T als bij LED belichting: de hoofdstengel met knop bleef achter in lengtegroei vergeleken met de zijtakken. Bij de eind oogst was het percentage planten met split gelijk bij belichting met SON-T en LED.

3.2 Klimaat

Temperatuur, RV en CO₂ werden elke 10 minuten tijdens de teelt gemeten met een meetbox in elke klimaatkamer. Het gerealiseerde klimaat was nagenoeg gelijk in de vier klimaatkamers (Tabel 1).

Tabel 1. *Gerealiseerd klimaat in de 4 klimaatkamers; alle 10 minuten data van de hele teelt zijn gemiddeld.*

Lichtintensiteit	Lamp	Temperatuur (°C)	CO ₂ (ppm)	RV (%)
Hoog	SON-T	18.5	899	78
	LED	18.5	902	79
Laag	SON-T	18.5	908	78
	LED	18.5	897	78

Temperatuurdata zijn etmaalgemiddeldes; de temperatuur overdag was 18°C en 's nachts 19°C (setpoints). De variatie (bandbreedte) rondom de gemiddeldes was bij de temperatuur circa 0.5°C, 30 ppm voor CO₂ en 5% bijna de RV.

3.3 Belichting

3.3.1 Lichtintensiteit

In Tabel 2 staan de lichtintensiteiten gemeten op verschillende momenten tijdens de teelt (en daarmee op verschillende hoogtes in de klimaatkamer).

Tabel 2. *Lichtintensiteit ($\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$) op verschillende momenten in de teelt in de 4 klimaatkamers, direct boven het gewas.*

Lichtintensiteit	Lamp	Start teelt	Midden in teelt	Einde teelt
Hoog	SON-T	260	306	332
	LED	269	307	325
Laag	SON-T	132	155	172
	LED	138	154	163

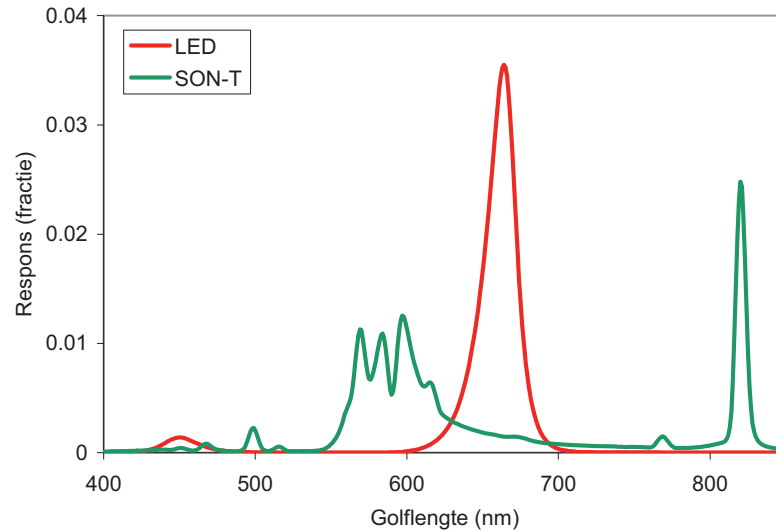
De gemiddelde lichtintensiteiten tussen de klimaatkamers met LED belichting en met SON-T belichting komen redelijk overeen. De verschillen zijn gemiddeld kleiner dan 5%; dit is tevens de nauwkeurigheid van de kwantumsensor.

3.3.2 Spectrum

In Figuur 1 is het spectrum weergegeven van de belichting in klimaatkamers met SON-T belichting en met LED belichting. Het licht tussen 400 en 700 nm wordt PAR licht genoemd (photosynthetically active radiation) en wordt gebruikt voor fotosynthese.

LED belichting heeft 2 duidelijke pieken bij 664 nm (rood) en bij 450 nm (blauw). Het aandeel blauw (400-500 nm) van het totale PAR licht bedraagt bij LED belichting 4.3%, en 95.6% is rood licht (600-700 nm).

Het spectrum van SON-T lampen is duidelijk anders; het spectrum is breder en heeft vooral pieken tussen 570 en 600 nm. Het aandeel rood (600 tot 700 nm) is veel kleiner dan bij LED belichting en bedraagt 42%. Het aandeel blauw bedraagt 5%. Daarnaast bevat SON-T belichting ook nabij infrarode straling (NIR 800-3000 nm), zoals deels in Figuur 1 te zien is. NIR straling wordt door planten niet voor fotosynthese gebruikt, maar omgezet in warmte.



Figuur 1. Spectrum van LED belichting en SON-T belichting. De lichtintensiteit in μmol is als fractie per nm aangegeven van de totale lichtintensiteit tussen 400 en 850 nm.

De verhouding tussen rood licht (600-700 nm) en verrood licht (700-800 nm), aangegeven met R/VR, is van invloed op de fytochromrespons van planten (Kendrick en Kronenberg, 1994) en is van invloed op de morfogenese. De mate van reactie van de plant op R/VR is afhankelijk van de plantensoort. Over het algemeen leidt een lage R/VR tot stengelstrekking en wordt de vorming van zij scheuten geremd. Bij natuurlijk licht is de R/VR afhankelijk van zonnestand en bewolgingsgraad en varieert tussen 1.1 en 3.0. Zowel SON-T lampen als de LED lampen in deze proef hebben vooral rood licht, waardoor de rood/verrood verhouding hoger is dan van zonlicht. Bij de SON-T belichting bedraagt de R/VR 4.6 en bij de LED belichting 239 bij LED belichting, waar verrood nagenoeg ontbreekt. Door de hoge R/VR zal bij beide lamptypen het fytochrom zich voornamelijk in de actieve vorm bevinden, wat kan leiden tot een compacte plantvorm.

Een andere definitie van het evenwicht waarin de vormen van fytochrom zich bevinden wordt ook wel PSS genoemd (phytochrome photostationary state). Door de verschillende absorptiespectra van beide vormen van fytochrom is PSS afhankelijk van het spectrum. Van Ieperen *et al.* (2009) hebben PSS berekend voor verschillende spectra. De PSS voor SON-T lampen bedraagt 0.87; rode LED lampen 0.89; blauwe LED lampen 0.51 en combinatie LED lampen rood/blauw 50/50 0.87. PSS daalt dus pas aanzienlijk als er erg veel blauw licht aanwezig is. Gezien de spectrale samenstelling is deze chrysantenproef zijn er geen grote verschillen te verwachten tussen PSS bij beide behandelingen.

3.3.3 Bladtemperatuur

De bladtemperatuur van onbeschadwd blad van chrysant is wekelijks gemeten en weergegeven in Tabel 3.

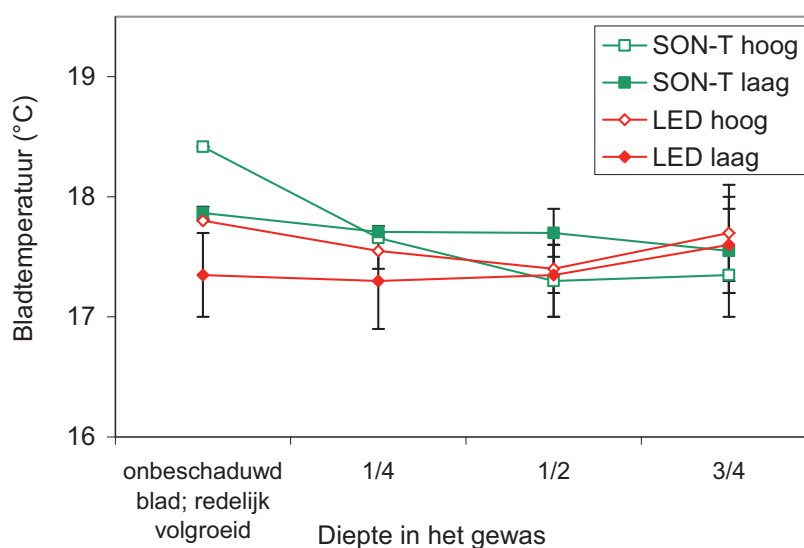
De bladtemperatuur van chrysant is bij SON-T belichting hoger dan bij LED belichting; 1.3°C bij hoge lichtintensiteit en 0.8°C bij lage lichtintensiteit. Dit zijn aanzienlijke verschillen, terwijl de luchttemperaturen gelijk waren in de vier klimaatkamers (Tabel 1).

Op twee dagen is op vier hoogtes in het gewas de bladtemperatuur gemeten: onbeschadwd, jong en redelijk volgroeid blad boven in het gewas (10% gewasdiepte), op 25% gewasdiepte, halverwege het gewas en op 75% gewasdiepte. In Figuur 2 is het temperatuurverloop in het gewas weergegeven. (De bladtemperatuur van het onbeschadwde blad is niet exact gelijk aan de bladtemperatuur in Tabel 3, omdat de data van Figuur 2 op 2 dagen zijn gemeten en de data van Tabel 3 op negen verschillende dagen).

Tabel 3. Bladtemperatuur (°C) van jong, redelijk volgroeid en onbeschaduwd chrysantenblad. Data zijn gemiddelden van negen meetdagen (met standaardfout), waarop elke meetdag 24 bladeren zijn gemeten.

Lichtintensiteit	Bladtemperatuur (°C)	
	SON-T	LED
Hoog	18.9 ± 0.1	17.6 ± 0.1
Laag	18.0 ± 0.1	17.2 ± 0.1

Uit Figuur 2 blijkt dat de bladtemperatuur bij SON-T belichting hoger is dan bij LED belichting in het bovenste deel van het gewas. In het onderste deel van het gewas zijn de bladtemperaturen gelijk aan elkaar.



Figuur 2. Bladtemperatuur van chrysant gemeten op vier gewasdieptes.

Uit deze bladtemperatuurmetingen blijkt dat in dit experiment niet alleen het spectrum verschillend was tussen de behandelingen, maar ook de bladtemperatuur in het bovenste gedeelte van het gewas. De luchttemperatuur was gelijk in de klimaatkamers, maar de aanwezigheid van NIR straling in SON-T lampen heeft de bladtemperatuur bij de twee behandelingen met SON-T belichting verhoogd in het bovenste deel van het gewas. Een hogere bladtemperatuur in het bovenste deel van het gewas (inclusief groeipunt) verhoogt de bladafplitsingssnelheid en de uitgroei van het bladeren (Jongschaap *et al.* 2009).

De standaard infraroodmeters die in de glastuinbouw worden gebruikt meten de temperatuur van een heel bladerdek van het gewas. Deze meten dus ook deels lager gelegen bladeren. De hierboven gepresenteerde metingen laten zien dat er tussen de bladeren onderling de nodige variatie zit (Figuur 2).

3.3.4 Fotosynthese

De actuele netto bladfotosynthesesnelheid van chrysant is gemeten in de vier klimaatkamers bij actuele lichtcondities. Tijdens de metingen was de temperatuur van de bladcuve ingesteld op 18°C. Maar bij de SON-T

klimaatkamers was de bladtemperatuur toch maximaal 0.3 °C hoger dan bij de LED belichting. Deze verschillen zijn echter erg klein om effect te hebben op de netto fotosynthese. De huidmondjesgeleidbaarheid was tijdens de metingen vergelijkbaar (gemiddeld tussen 0.14 en 0.23 mol/m²/s en daarmee niet beperkend voor CO₂ opname).

Tabel 4. Netto actuele bladfotosynthesesnelheid (μmol CO₂/m²/s) van chrysant onder LED belichting en SON-T belichting. Data bij lange dag condities zijn gemeten één week na planten (n=6 met se). Data gemeten bij korte dag condities zijn na vier weken en zeven weken na starten van korte dag gemeten (n=21 tot 25; met se). Het chrysantenblad was onbeschaduwd en jong; circa 4^e (lange dag) tot 7^e blad (korte dag) geteld vanaf groeipunt. Condities in de bladkamer: 18°C, 900 ppm CO₂, RV 75-80%.

Fase van de teelt	Lichtintensiteit	Lamp	Lichtintensiteit (μmol/m ² /s)	Netto fotosynthese (μmol CO ₂ /m ² /s)
Lange dag	Hoog	SON-T	249	9.19 ± 0.20
		LED	249	8.12 ± 0.12
	Laag	SON-T	124	4.72 ± 0.24
		LED	125	4.57 ± 0.14
Korte dag	Hoog	SON-T	259	9.99 ± 0.25
		LED	260	9.24 ± 0.15
	Laag	SON-T	144	5.77 ± 0.10
		LED	144	6.07 ± 0.07

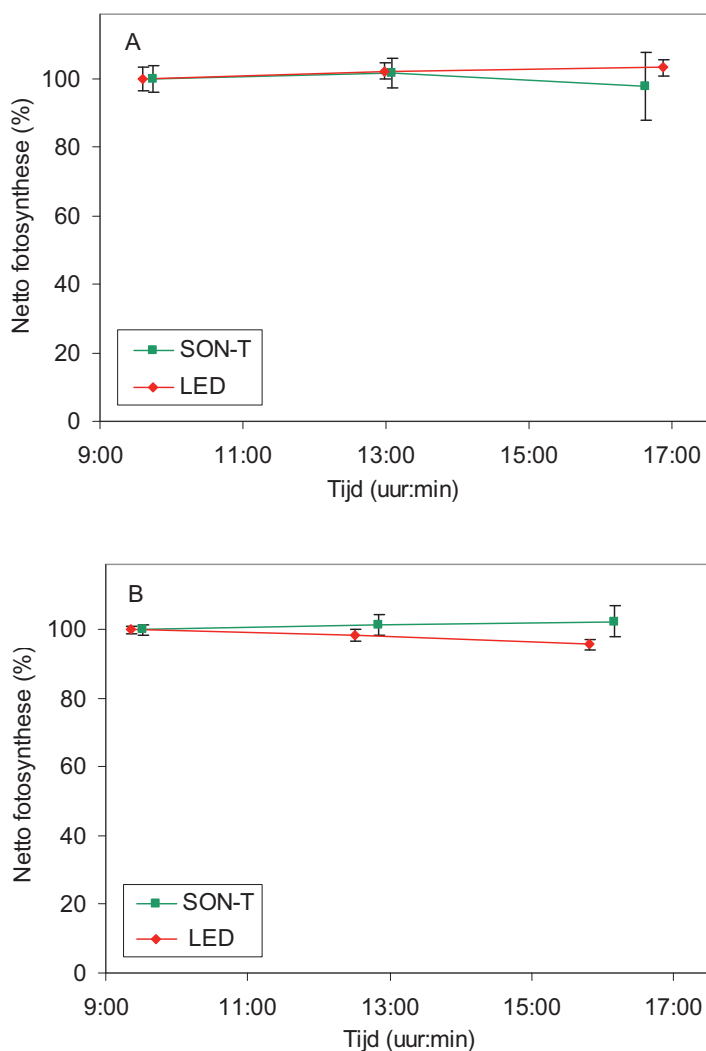
De netto fotosynthesesnelheid van chrysant bedraagt bij SON-T belichting gemeten bij hoge lichtintensiteit en lange dagcondities 9.2 μmol/m²/s en is bij LED belichting met 8.1 μmol/m²/s lager. Ook bij de korte dag is de netto fotosynthese hoger onder SON-Tbelichting (Tabel 4). Bij lage lichtintensiteiten zijn deze verschillen minder duidelijk. Bij lange dag is de netto fotosynthese bij SON-T belichting iets hoger dan bij LED belichting en bij korte dag is het andersom. Deze verschillen zijn echter klein. Het gebeurt vaker dat verschillen in netto fotosynthese niet gevonden worden bij lage lichtintensiteiten en wel bij hogere lichtintensiteiten. Een lichtresponscurve verloopt namelijk niet lineair; bij lage lichtintensiteiten is er een lineair verband maar er treedt een verzadiging op bij hogere lichtintensiteiten. De fotosynthese kan in het lineaire traject kan gelijk zijn, terwijl verschillen in fotosynthese pas zichtbaar worden bij hogere lichtintensiteiten.

Het is een verrassend resultaat dat de actuele fotosynthese hoger is bij SON-T belichting vergeleken met LED belichting. Over het algemeen is de kwantumefficiëntie (CO₂ opname per geabsorbeerd foton) hoger bij rood licht dan bij andere lichtkleuren (McCree, 1972). In het project 'Fotosynthese-efficiency bij verschillende golflengten' (Jan Snel, WUR Glastuinbouw, mondelinge mededeling) is in het traject tussen 400 nm en 720 nm de fotosynthese gemeten bij roos en tomaat en is het actiespectrum (CO₂ opname per opvallend foton) en de kwantumefficiëntie bepaald. Uit deze metingen bleek dat in het rode deel van het spectrum de kwantumefficiëntie het hoogst was. Het spectrum van de LED belichting heeft relatief meer rood licht dan het spectrum van SON-T. Op basis hiervan werd verwacht dat de fotosynthese hoger zou zijn bij LED belichting. Het is mogelijk dat het spectrum van de LED belichting met het optimum van 664 nm van het rode licht voor chrysant niet optimaal is. Paradiso *et al.* (2009) hebben voor roos berekend dat 680 nm een stuk gunstiger is voor roos dan 645 nm.

In dit experiment zijn chrysanten opgekweekt onder LED belichting en actuele fotosynthese is onder dezelfde belichting gemeten. In het hierboven genoemde onderzoek is de kwantumefficiëntie bepaald aan planten die onder een breder spectrum waren opgekweekt; fotosynthese werd echter gemeten bij smalbandlicht. Uit onderzoek van Hogewoning *et al.* (in voorbereiding) bleek dat als komkommerplanten onder uitsluitend rood licht werden opgekweekt, de fotosynthese is verstoord. Als echter 7% blauw werd toegevoegd aan het rode licht tijdens de opkweek waren er geen problemen meer. Het is mogelijk dat het spectrum waaronder de chrysanten zijn opgekweekt niet optimaal was voor een goede fotosynthese, ondanks de aanwezigheid van 4% blauw licht. Blauw

licht is belangrijk voor de vorming van chlorofyl, de ontwikkeling van chloroplasten, de opening van stomata, de synthese van enzymen en de 24-uurs cyclus van de fotosynthese en fotomorfogenese. De minimale hoeveelheid blauw die nodig is voor een normale groei en ontwikkeling is verschillend per plantensoort. Mogelijk is in dit experiment het spectrum van de LED lampen minder gunstig geweest voor chrysant dan het spectrum van SON-T lampen. Uit metingen aan een rozengejas bij Zuurbier Rozen leek de fotosynthesecapaciteit juist iets hoger als LEDs gebruikt werden als bijbelichting vergeleken met SON-T lampen. Hier werden LEDs echter als bijbelichting gebruikt en was het totale spectrum wel aanwezig.

Netto fotosynthese is gemeten op verschillende momenten tijdens te dag. In Figuur 3 is het verloop tijdens de dag aangegeven en is het eerste meetpunt op 100% gezet. Er is enige fluctuatie van de fotosynthese variërend tussen 96% en 103%. Er is geen duidelijk verloop gedurende de dag; tussen 9 uur en 17 uur is de fotosynthese constant zowel onder SON-T belichting als onder LED belichting.



Figuur 3. Netto actuele bladfotosynthesesnelheid ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) van chrysant gedurende de dag bij hoge lichtintensiteit (A) en lage lichtintensiteit (B) uitgedrukt als percentage van de eerste meting. Elk meetpunt is het gemiddelde van 6 met se. Condities in de bladkamer: 18°C, 900 ppm CO_2 , RV 75-80%, lichtintensiteit 255 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (A) en 144 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (B). Daglichtperiode was van 7:00 uur tot 18:00 uur (korte dag).

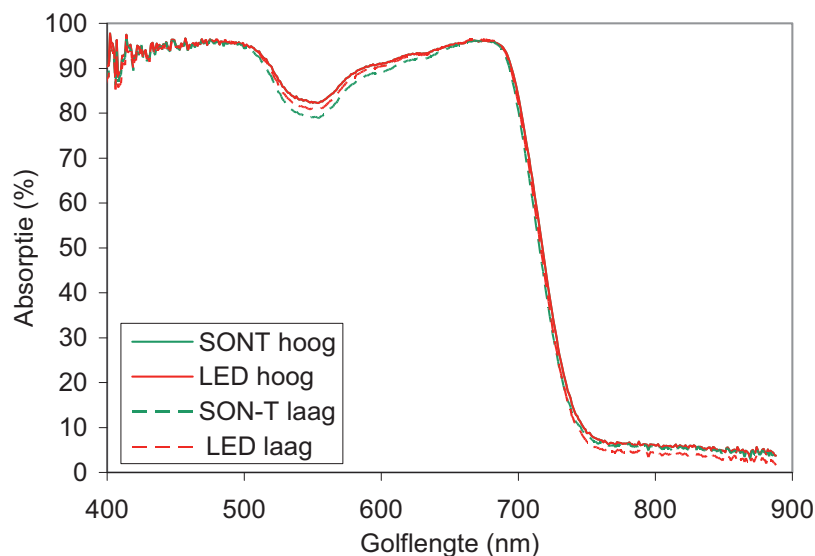
Er zijn geen verschillen gevonden in respiratie tussen blad van planten die bij SON-T werd opgekweekt en planten die onder LED belichting werden gekweekt (Tabel 5).

Tabel 5. Gemiddelde respiratiesnelheid ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) van chrysant onder LED belichting en SON-T belichting. Data bij lange dag condities zijn gemeten 1 week na planten ($n=6$ met se). Data gemeten bij korte dag condities zijn na vier weken en zeven weken na starten van korte dag gemeten ($n=9$ tot 11; met se). Het chrysantenblad was onbeschaduwd en jong; circa 4^e (lange dag) tot 7^e blad (korte dag) geteld vanaf groeipunt. Condities in de bladkamer: 18°C, 900 ppm CO₂, RV 75-80%, donker.

Daglengthe	Lichtintensiteit	Lamp	Respiratiesnelheid ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)
Lange dag	Hoog	SON-T	1.34 ± 0.09
		LED	1.44 ± 0.21
	Laag	SON-T	1.06 ± 0.11
		LED	0.96 ± 0.12
Korte dag	Hoog	SON-T	1.13 ± 0.18
		LED	1.02 ± 0.08
	Laag	SON-T	0.77 ± 0.06
		LED	0.79 ± 0.11

3.3.5 Lichtabsorptie

De lichtabsorptie door chrysantenblad opgekweekt onder SON-T lampen is gelijk aan die van chrysantenblad opgekweekt onder LED belichting (Figuur 4). De kleine verschillen rond 550 nm bij lage lichtintensiteit vallen binnen de spreiding (se niet gepresenteerd voor de leesbaarheid van de figuur).



Figuur 4. Lichtabsorptie van chrysanten blad van verschillende golflengten. Chrysantenblad was afkomstig van planten geteeld onder SON-T belichting en LED belichting bij twee lichtintensiteiten ($n=10$).

Uit de spectrale metingen van de lampen en de lichtabsorptie door het blad is de lichtabsorptie van de fotosynthetisch actieve straling berekend voor planten onder SON-T en onder LED belichting (Tabel 6).

Tabel 6. *Lichtabsorptie door chrysantenblad (%) berekend voor SON-T belichting en LED belichting.*

Lichtintensiteit	Lamp	Absorptie (%)
Hoog	SON-T	91
	LED	95
Laag	SON-T	89
	LED	95

Gemiddeld werd 90% van het SON-T licht geabsorbeerd en 95% van het LED licht werd geabsorbeerd. De netto fotosynthese gepresenteerd in Tabel 4 is uitgedrukt in opgenomen hoeveelheid CO₂ per opvallend foton licht. Blad onder LED belichting absorbeert een groter deel van het licht dan blad onder SON-T belichting (Tabel 6). Op basis hiervan is een hogere fotosynthesesnelheid te verwachten onder LED belichting. Als de fotosynthesedata echter worden omgerekend naar CO₂ opname per geabsorbeerd foton (kwantumefficiëntie), dan worden de verschillen in fotosynthesesnelheid tussen SON-T en LED belichting juist nog groter bij de hoge lichtintensiteit. Bij de lage lichtintensiteit blijven de verschillen binnen de spreiding.

Als er in een gewas geteeld onder LED belichting meer licht geabsorbeerd wordt door de bovenste onbeschaduwde bladeren, dan komt er dus relatief minder licht beschikbaar (door transmissie en reflectie) voor onderliggende bladlagen zoals bij SON-T lampen. De relatie tussen fotosynthesesnelheid en licht is bij lage lichtintensiteiten lineair; bij hogere intensiteiten buigt de curve af en treedt verzadiging op. Bij hogere lichtintensiteiten is het voor de totale gewasfotosynthese dus ongunstig als er relatief veel licht door het bovenste blad wordt geabsorbeerd. De totale gewasfotosynthese is hoger als een deel van het licht ook andere bladlagen bereikt en hiermee bijdragen aan de gewasfotosynthese.

3.3.6 Verdamping

Van drie kisten per klimaatkamer met twaalf planten per kist is het gewichtsverlies gemeten (Tabel 7).

Tabel 7. *Gewichtsverlies van een kist met twaalf chrysanten (g) bij SON-T belichting en LED belichting met hoge en lage lichtintensiteit (n=3 met se).*

Lichtintensiteit	Lamp	Lichtperiode	Donkerperiode	Etmaal
Hoog	SON-T	0.43 ± 0.03	0.28 ± 0.03	0.71 ± 0.06
	LED	0.42 ± 0.01	0.35 ± 0.03	0.77 ± 0.03
Laag	SON-T	0.30 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.53 ± 0.03
	LED	0.33 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.59 ± 0.04

De verdamping van de kisten met grond en planten bedraagt gemiddeld 0.74 g per etmaal bij hoge lichtintensiteit en is gelijk bij LED en SON-T belichting. Bij lage lichtintensiteit is de verdamping lager en bedraagt gemiddeld 0.56 g

per etmaal. Ook hier is nauwelijks verschil tussen SON-T belichting en LED belichting. Zoals verwacht is de verdamping tijdens de dag hoger dan tijdens de nacht.

Aangezien de bladtemperatuur lager was van de planten geteeld onder LED belichting, werd er tevens een lagere verdamping verwacht bij LED belichting. Blijkbaar reageert de plant toch anders en dit behoeft nader onderzoek.

3.3.7 Grondtemperatuur

De temperatuur in de kisten is gemeten toen het gewas al bloemknoppen had (zeven weken na starten van de korte dag) en bleek vrijwel gelijk te zijn tussen de vier klimaatkamers. Het maximale verschil was 0.2°C.

Bij de start van de teelt was de bodembedekking door het gewas ver onder de 100% en konden de warmtestralen van de SON-T lampen ook de bodem bereiken. Vanaf de start van de teelt tot volledige bodembedekking is de grond bij de SON-T belichting waarschijnlijk warmer geweest dan bij LED belichting. Uit later uitgevoerde temperatuurmetingen (na het experiment) bleek dat zonder een gewas erboven de bodemtemperatuur bij SON-T circa 0.5°C hoger was dan bij LED.

3.3.8 Reactietijd

Het aantal open bloemen per tak is dagelijks geteld aan 48 planten per behandeling. Op het moment dat 80% van de takken minstens drie open bloemen had, is de teelt van deze behandeling gestopt. In Tabel 8 is de reactietijd (aantal dagen vanaf start van de korte dag behandeling tot oogstbaar stadium) aangegeven.

Tabel 8. Reactietijd chryasant (dagen van start korte dag tot de eind oogst) opgekweekt bij SON-T belichting en LED belichting bij 2 lichtintensiteiten (n=48).

Lichtintensiteit	Lamp	Reactietijd (dagen)
Hoog	SON-T	63
	LED	73
Laag	SON-T	66
	LED	80

De reactietijd van planten opgekweekt onder SON-T belichting is korter dan onder LED belichting; bij hoge lichtintensiteit is de reactietijd 10 dagen korter en bij lage lichtintensiteit 14 dagen als planten opgekweekt worden onder SON-T belichting vergeleken met LED belichting. (Ter illustratie staan in Bijlage II foto's van de vier behandelingen vlak voor de eind oogst van de behandeling met SON-T belichting met hoge lichtintensiteit). De reactietijd is de som van de tijd tot bloei-initiatie en de tijd van bloei-initiatie tot uitgegroeide bloem. Spectrale verschillen waren gedurende de hele teelt aanwezig. Het is dus niet aan te geven of verschillen in beide fasen zijn opgetreden of in één van de twee fasen.

De aanzienlijke verschillen in reactietijd tussen de twee lamptypen kan een gevolg zijn van spectrum en/of van verschillen in bladtemperatuur. De invloed van temperatuur op de reactietijd is een optimumcurve en afhankelijk van de cultivar. De optimale temperatuur, waarbij de reactietijd het kortst is ligt rond de 18 °C (Carvalho en Heuvelink, 2001; Van der Ploeg en Heuvelink, 2006). De gevoeligheid van de temperatuur op de reactietijd is niet heel groot rond 18°C. Pas bij temperatuurverschillen rond 3°C kan de verlenging van de reactietijd 15 dagen zijn, afhankelijk van de cultivar (van der Ploeg en Heuvelink, 2006). Van der Ploeg *et al.* (2009) vonden dat de reactietijd 4 tot 17 dagen langer kon zijn als teeltemperatures 3 tot 4°C lager waren, afhankelijk van de cultivar. Dit zijn echter grotere

temperatuurverschillen dan vastgesteld in het hier gepresenteerde onderzoek. Gevonden verschillen in dit experiment in reactietijd kunnen dus maar deels verklaard worden door verschillen in bladtemperatuur.

De kortere reactietijd bij hoge lichtintensiteit vergeleken met lage lichtintensiteit (3 dagen bij SON-T en 7 dagen bij LED) is eerder gerapporteerd voor chrysaant (Andersson, 1990).

Literatuur over de invloed van het spectrum op reactietijd is niet gevonden. Wel kan het spectrum de ontwikkeling en architectuur van het gewas beïnvloeden en daarmee dus ook de reactietijd. Na de lange dag periode bleek dat het bladoppervlak bij planten geteeld onder LED belichting kleiner was vergeleken met het bladoppervlak van planten geteeld onder SON-T belichting. Dit gecombineerd met het mogelijk niet optimale spectrum van de LED belichting voor fotosynthese (paragraaf 3.3.4) kan hebben geleid tot een vertraagde groei en ontwikkeling.

3.3.9 Destructieve oogst

3.3.9.1 Bovengronds

3.3.9.1.1 *Overgang van lange dag naar korte dag*

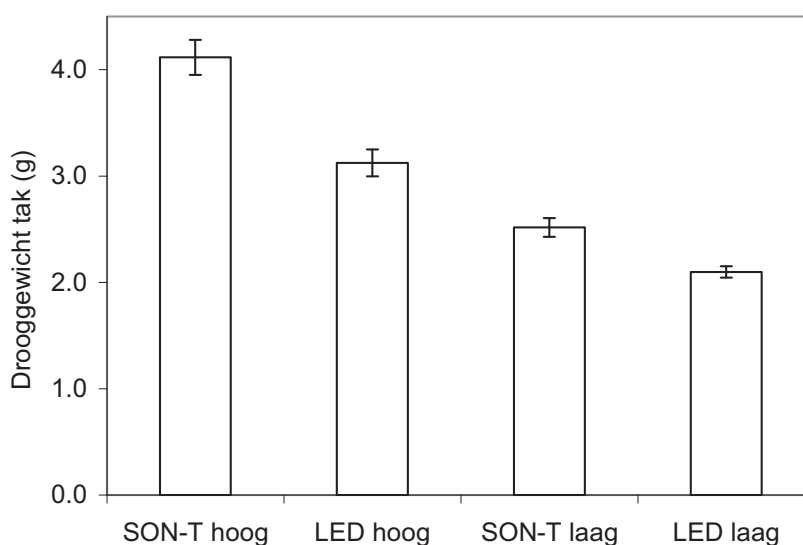
De bewortelde stekken waren 11 cm lang en hadden 9 bladeren op het moment van planten. Na 20 dagen werd overgegaan van een lange dag naar een korte dag periode. Planten waren op dat moment 21.3 cm lang bij de hoge lichtintensiteit en gemiddeld 22.4 cm bij lage lichtintensiteit en daarmee iets langer. Planten opgekweekt onder SON-T belichting hadden gemiddeld één blad meer dan planten opgekweekt onder LED belichting (Tabel 9). Het bladoppervlak was aanzienlijk groter bij planten opgekweekt onder SON-T belichting vergeleken met planten opgekweekt onder LED belichting; bij hoge lichtintensiteit was het bladoppervlak 25% groter en bij lage lichtintensiteit 18%. Dit grotere bladoppervlak is niet alleen veroorzaakt door één extra blad; het oppervlak per blad is ook groter. Het is bekend dat de spectrale samenstelling van het licht invloed kan hebben op het bladoppervlak van chrysaant. Mortensen en Strømme (1987) vonden een kleiner bladoppervlak bij blauw licht. Hemming *et al.* (2004) zien bij tuinbouwgewassen dat de hoeveelheid blauw licht of de verhouding blauw/rood van invloed is op bladgrootte; extra rood licht geeft groter blad. LED belichting bevat juist relatief meer rood, terwijl het bladoppervlak kleiner is en correspondeert dus niet met deze bevindingen. In onderzoek van Whealy, Nell en Barrett (1987) is een toename van het bladoppervlak per blad gemeten bij verhoogde temperatuur. Bij teelttemperaturen van 30/26°C was het bladoppervlak 22% tot 33% groter (afhankelijk van de cultivar) vergeleken met teelttemperaturen van 22/18°C. In ons experiment waren de bladtemperaturen in de kop van het gewas maximaal 1.3°C hoger bij SON-T belichting en daarmee aanzienlijk kleiner. Het is de vraag of de gevonden verschillen in bladoppervlak daarmee verklaard kunnen worden.

Het bladoppervlak per gram bladgewicht (specific leaf area) is gelijk voor chrysaanten geteeld onder SON-T en LED belichting. Blad van chrysaanten geteeld onder lage lichtintensiteit is dunner vergeleken met blad van chrysaanten geteeld onder hoge lichtintensiteit. Drogestofpercentages van blad, stengel en spruit is gelijk van planten geteeld onder beide lamptypen, maar is lager bij planten geteeld onder lage lichtintensiteit (data niet gepresenteerd).

Tabel 9. *Destructieve oogst chrysant bij overgang van lange dag naar korte dag; lengte, internodiën, bladoppervlakte en drooggewichten (n=24 met se).*

	Hoge lichtintensiteit		Lage lichtintensiteit	
	SON-T	LED	SON-T	LED
Lengte (cm)	21.4 ± 0.4	21.2 ± 0.4	22.0 ± 0.3	22.7 ± 0.4
Aantal bladeren	21.3 ± 0.3	20.2 ± 0.4	20.8 ± 0.3	19.7 ± 0.2
Bladoppervlakte (cm ²)	616 ± 17	493 ± 14	534 ± 13	452 ± 10
Specific leaf area (m ² /kg)	23.7 ± 0.5	25.5 ± 0.6	33.3 ± 0.4	33.8 ± 0.3
Drooggewichten (g)				
Bovengronds	4.12 ± 0.17	3.12 ± 0.13	2.52 ± 0.09	2.10 ± 0.05
Blad	2.62 ± 0.10	1.96 ± 0.07	1.61 ± 0.05	1.34 ± 0.03
Stengel	0.95 ± 0.04	0.82 ± 0.04	0.67 ± 0.02	0.60 ± 0.02
Zijscheuten	0.55 ± 0.04	0.34 ± 0.03	0.24 ± 0.02	0.15 ± 0.01

Planten opgekweekt onder SON-T belichting waren zwaarder dan planten opgekweekt onder LED belichting (Figuur 5), zowel blad, stengels en zijscheuten zijn zwaarder (Tabel 9).

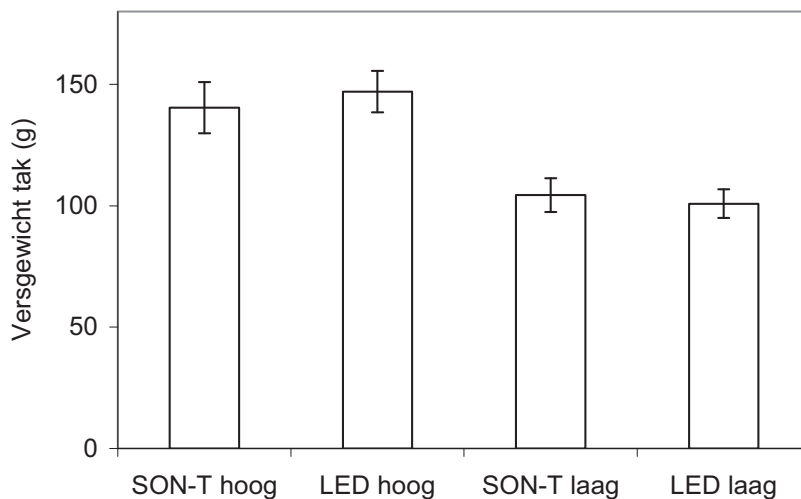


Figuur 5. *Takgewicht (g drooggewicht) van chrysant aan het einde van de 'lange dag periode', opgekweekt onder verschillende lampen en lichtintensiteit (n=24 met se).*

3.3.9.1.2 Eindoogst

De eindoogst vond plaats op het moment dat de takken in het oogstbare stadium waren; dat wil zeggen dat 80% van de planten minstens drie open bloemen had. Dat betekent dat de planten uit de vier klimaatkamers op verschillende dagen werden geoogst, maar wel in een vergelijkbaar stadium waren. De teeltduren waren verschillend en daarmee ook de lichtsommen (Tabel 10). Het versgewicht van de takken bij de hoge lichtintensiteit was gelijk bij SON-T en LED belichting; 140 g en 147 g (Figuur 6). Takken bij de lage lichtintensiteit waren lichter, maar ook gelijk bij beide lamptypen en bedroegen 104 g en 101 g bij respectievelijk SON-T en LED belichting. Ook de drogestofproducties waren vergelijkbaar bij planten opgekweekt onder SON-T en onder LED belichting van de totale spruit en

van bloemen+knoppen. Dus ondanks verschillende teeltduren en lichtsommen was de drogestofproductie gelijk bij SON-T en LED. Bij planten geteeld onder SON-T belichting was het drooggewicht van de stengels iets hoger en het bladgewicht iets lager vergeleken met planten opgekweekt onder LED belichting (Tabel 10).



Figuur 6. Takgewicht (g vergewicht) van chrysant bij de eindogst opgekweekt onder verschillende lampen en lichtintensiteit (n=24 met se).

Planten opgekweekt bij SON-T waren langer dan planten opgekweekt onder LED; 5 cm en 6 cm bij resp. hoge en lage lichtintensiteit (Tabel 10). Ook Khattak *et al.* (1999) vonden een 10% kortere stengellengte van chrysant als verrood licht ontbrak. Het aantal internodiën was juist weer iets hoger bij planten opgekweekt bij LED belichting. Dat betekent dat de internodiënlengte korter was bij planten opgekweekt onder LED belichting. Het aantal bloemen en knoppen is iets hoger bij planten opgekweekt bij LED belichting, zowel bij hoge als bij lage lichtintensiteit (Tabel 10). Maar bij de drooggewichten zijn deze verschillen veel kleiner en zelfs niet aanwezig (lage lichtintensiteit).

Het bladoppervlak is bij planten onder LED belichting groter dan bij planten onder SON-T belichting, veroorzaakt door verdord blad bij de SON-T behandeling (paragraaf 3.1). Bladeren van planten opgekweekt bij lage lichtintensiteit waren dunner (specific leaf area is 39 m²/kg) dan van planten opgekweekt bij hoge lichtintensiteit (specific leaf area is 33 m²/kg). Er is geen effect van lamptype op bladdikte gemeten.

Bij planten geteeld onder SON-T belichting gaat relatief meer drogestof naar de stengel en minder naar het blad vergeleken met planten geteeld onder LED belichting. Visueel was ook al te zien dat de stelen dunner waren van planten geteeld onder LED belichting vergeleken met takken geteeld onder SON-T belichting. De drogestofverdeling binnen de plant naar blad, stengel en bloem(knoppen) is vergelijkbaar bij de twee lichtintensiteiten (Tabel 10).

Tabel 10. *Destructieve eind oogst chrysanthe op het moment dat 80% minstens drie open bloemen had; takversgewicht, lengte, internodiën, bladoppervlakte, drooggewichten, drogestofpercentages en drogestofverdeling (n=24 met se).*

	Hoge lichtintensiteit		Lage lichtintensiteit	
	SON-T	LED	SON-T	LED
Takversgewicht (g)	140.4 ± 10.5	147.0 ± 8.5	104.4 ± 6.9	100.8 ± 5.9
Lengte (cm)	75.9 ± 0.8	70.6 ± 0.9	78.7 ± 0.9	72.3 ± 0.8
Aantal internodiën	37.9 ± 0.7	39.3 ± 0.6	38.1 ± 0.3	41.6 ± 0.5
Aantal bloemen+knop	38.0 ± 3.0	44.2 ± 2.9	26.4 ± 1.6	31.9 ± 2.0
Bladoppervlakte (cm ²)	1388 ± 93	1598 ± 87	1245 ± 72	1429 ± 84
Specific leaf area (m ² /kg)	32.8 ± 0.5	33.2 ± 0.5	39.5 ± 1.4	38.0 ± 0.4
Drooggewichten (g)				
Bovengronds	20.8 ± 1.5	21.5 ± 1.2	12.9 ± 0.8	13.0 ± 0.8
Blad	6.8 ± 0.4	7.7 ± 0.3	4.4 ± 0.2	5.2 ± 0.2
Stengel	9.1 ± 0.6	8.5 ± 0.5	5.2 ± 0.3	4.5 ± 0.3
Bloem en knop	4.9 ± 0.5	5.3 ± 0.4	3.3 ± 0.3	3.3 ± 0.3
Drogestofpercentage (%)				
Bovengronds	14.9 ± 0.3	14.7 ± 0.2	12.4 ± 0.2	12.9 ± 0.1
Blad	9.2 ± 0.1	9.5 ± 0.1	8.1 ± 0.1	8.6 ± 0.1
Stengel	18.1 ± 0.4	18.8 ± 0.3	16.8 ± 0.3	17.5 ± 0.3
Bloem en knop	12.2 ± 0.4	11.3 ± 0.1	10.3 ± 0.1	11.2 ± 0.2
Drogestofverdeling				
% naar blad	33.9 ± 1.0	36.3 ± 0.6	35.0 ± 0.9	41.1 ± 1.1
% naar stengel	44.2 ± 0.4	39.5 ± 0.7	40.3 ± 0.6	34.6 ± 0.6
% naar bloem	21.8 ± 1.2	24.2 ± 0.9	24.7 ± 1.1	24.3 ± 1.0
Totale teeltduur (dagen)*	83	93	86	100
Lichtsom (mol PAR/m ²)	1152	1285	605	692

* Van bewortelde stek tot 80% minstens drie open bloemen had.

Op basis van drie destructieve oogsten, bij planten, overgang van lange dag naar korte dag en de eind oogst, is de groei uitgerekend van de spruit per dag (Tabel 11).

Tabel 11. *Toename drogestof van chrysanthe takken (g/dag) chrysanthe opgekweekt onder SON-T en LED belichting met hoge en lage lichtintensiteit.*

Fase van de teelt	Lichtintensiteit	Lamp		Verhouding groeisnelheid SON-T/LED
		SON-T	LED	
Planten - start korte dag	Hoog	0.20	0.15	1.34
	Laag	0.12	0.10	1.22
Start korte dag - eind oogst	Hoog	0.27	0.26	1.06
	Laag	0.16	0.14	1.17

Gedurende de eerste 20 dagen van de teelt (van planten tot start van de korte dag) groeiden de planten onder SON-T belichting aanzienlijk harder dan de planten onder LED belichting; 34% tot 22% bij resp. hoge en lage lichtintensiteit. Tijdens de laatste periode van de teelt (63 tot 80 dagen) is dit verschil in drogestofproductie per dag nog steeds aanwezig, maar is met 6% en 17% bij resp hoge en lage lichtintensiteit minder groot dan in de lange dag periode. Met name de snellere ontwikkeling van het bladoppervlak bij SON-T belichting leidt direct tot meer lichtonderschepping door het gewas en resulteert vervolgens weer in een hogere drogestofproductie. Ook de netto fotosynthese per m² blad was iets hoger bij SON-T belichting met hoge lichtintensiteit. Dit tesamen leidt tot een hogere groeisnelheid van het gewas.

3.3.9.2 Wortels

Visueel waren er geen verschillen te zien tussen de wortels van planten opgekweekt onder SON-T belichting en onder LED belichting bij overgang van lange dag naar korte dag. Bij de eind oogst waren er geen opvallende verschillen te zien tussen SON-T en LED belichting met hoge lichtintensiteit. Bij lage lichtintensiteit waren er minder wortels zichtbaar bij LED dan bij SON-T belichting. Deze visuele observaties kwamen overeen met de bepalingen van het worteldrooggewicht (Tabel 12). Ook was duidelijk te zien dat bij hogere lichtintensiteit het wortelgewicht veel hoger was dan bij lage lichtintensiteit.

Tabel 12. Drooggewicht van gespoelde wortels (g/plant) van chrysant geteeld bij SON-T en LED belichting bij hoge en lage lichtintensiteit.

Periode	Lichtintensiteit	Lamp	
		SON-T	LED
Start korte dag	Hoog	1.14 ± 0.06	1.08 ± 0.10
	Laag	*	*
Eind oogst	Hoog	3.31 ± 0.66	3.28 ± 0.26
	Laag	1.77 ± 0.07	0.99 ± 0.26

* niet gemeten

Bij de start van de korte dag waren er geen verschillen in drooggewicht van wortels bij chrysanten geteeld onder SON-T lampen en LED lampen. Er waren echter wel verschillen gevonden in drooggewichten van de spruit (Tabel 9). Dat betekent dat de spruit/wortelverhouding hoger geweest is in de behandeling met SON-T belichting.

Ook bij de eind oogst waren geen verschillen in wortelgewichten bij hoge lichtintensiteit. Bij de lage lichtintensiteit was het wortelgewicht echter lager bij planten opgekweekt onder LED belichting. Dat betekent dat de spruit/wortelverhouding bij lage lichtintensiteit hoger is bij chrysanten opgekweekt onder SON-T belichting. Bij de hoge lichtintensiteit was de spruit/wortelverhouding gelijk. Waarom dit zo is blijft onduidelijk.

3.3.10 Nutriënten

In Tabel 13 zijn de nutriëntengehaltes van de takken weergegeven. In Bijlage III zijn de gehalten onderverdeeld in de fracties blad, stengels en bloemen.

Tabel 13. Nutriëntgehaltenes (g/kg of mg/kg drogestof) in chrysantentakken. Gehaltes zijn gemiddeldes van 24 planten.

Element	eenheid	Hoge lichtintensiteit		Lage lichtintensiteit	
		SON-T	LED	SON-T	LED
N	g/kg	31.3	33.9	31.5	36.7
P	g/kg	5.6	6.6	6.3	8.9
K	g/kg	45.6	46.6	49.0	51.1
Ca	g/kg	9.5	9.7	9.5	11.3
Mg	g/kg	2.6	3.0	2.7	3.5
S	g/kg	2.1	2.4	1.9	2.4
Fe	mg/kg	49.9	66.1	50.8	64.0
Mn	mg/kg	110	106	111	128
Cu	mg/kg	8.7	9.6	7.7	11.4
Zn	mg/kg	15.3	28.6	17.2	21.1
Na	mg/kg	355	257	374	329

Bijna alle nutriëntgehaltenes zijn hoger in planten opgekweekt onder LED belichting vergeleken met SON-T belichting (behalve Na en nauwelijks voor K en Mn). Bij N, P en Cu wordt dit veroorzaakt door hogere gehalten in alleen het blad (Bijlage III). Voor Fe en Zn zijn de gehalten in alle fracties verhoogd. Bij Mg en S is er alleen een verhoging in de fracties blad en stengel.

De sterkste verhoging is gemeten voor P, Fe en Cu.

Verhoogde gehalten van Mg en Ca zouden veroorzaakt kunnen worden door een verhoogde wateropname en verdamping. Maar in dit onderzoek zijn geen verdampingsverschillen gevonden tussen planten onder LED en onder SON-T belichting.

3.3.11 Overzicht van de resultaten

Een aantal resultaten uit dit onderzoek werden verwacht, maar er zijn ook verrassende resultaten gevonden.

De volgende resultaten werden verwacht en gevonden:

- Het was bekend dat SON-T lampen warmte afgeven. Het was alleen niet duidelijk in hoeverre er bladtemperatuurverschillen zouden ontstaan. In deze proefopstelling waren de lampen namelijk gescheiden van de ruimte waarin de planten werden geteeld. De ruimtetemperatuur werd geconditioneerd op 18°C overdag en 19°C 's nachts. In het experiment was de luchttemperatuur gelijk tussen klimaatkamers met LED belichting en SON-T belichting. Toch was de bladtemperatuur bovenin het gewas hoger door de NIR straling van de SON-T lampen.
- De lichtabsorptie van LED belichting is hoger dan van SON-T belichting en dat werd ook verwacht op basis van het spectrum.

Onverwachte resultaten uit dit onderzoek waren:

- Onder LED belichting was 'bol blad' te zien in begin van de teelt en bij SON-T niet.
- Op basis van de hogere bladtemperatuur werd verwacht dat de verdamping hoger zou zijn van planten onder SON-T belichting. Er werden echter geen verschillen gemeten.
- Op basis van het spectrum werd een hogere netto fotosynthese verwacht onder LED belichting (gemeten aan redelijk jong onbeschadwd blad bovenin het gewas). Het actiespectrum is hoger bij rood licht vergeleken met

andere lichtkleuren en de LED belichting bevatte meer rood licht dan SON-T belichting. In dit onderzoek is echter een hogere netto fotosynthese gemeten onder SON-T belichting.

- Aan het einde van de lange dag periode hadden de planten geteeld onder SON-T belichting grotere bladeren. Op basis van het spectrum was dit niet te verwachten.
- De reactietijd was 10 tot 14 langer onder LED belichting; dit werd niet verwacht. Er werd een hogere netto bladfotosynthesesnelheid verwacht onder LED belichting door het bovenste onbeschaduwde blad. Dit zou kunnen leiden tot een snellere groei. Maar het was nog de vraag of ook de totale gewasfotosynthese onder LED belichting hoger zou zijn, omdat door de hoge lichtabsorptie bovenin het gewas er minder licht op onderliggend blad zou komen.

4 Algemene discussie

In dit onderzoek is de groei en ontwikkeling onderzocht van chrysant opgekweekt onder SON-T belichting en onder LED belichting, beide zonder daglichttoetreding. Om SON-T belichting en LED belichting goed te kunnen vergelijken zijn de lichtintensiteiten (aantal fotonen tussen 400 en 700 nm) gelijk ingesteld. Planten werden gekweekt onder twee lichtintensiteiten: gemiddeld 300 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$ (hoge lichtintensiteit) en 150 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$ (lage lichtintensiteit).

SON-T lampen geven naast PAR ook warmtestraling. Ondanks dat de luchttemperatuur in de klimaatkamers gelijk was, was de bladtemperatuur van het bovenste gedeelte van het chrysanten gewas hoger in de klimaatkamers met SON-T belichting. Bij hoge lichtintensiteit was het verschil in bladtemperatuur 1.3°C en bij de lage lichtintensiteit 0.8°C. Belichting is wel degelijk van invloed op planttemperatuur.

Dat betekent dat in dit experiment twee factoren een rol hebben gespeeld: spectrum van het licht en bladtemperatuur. Ook in de praktijk zal dit een rol spelen als er belicht wordt met SON-T of met LED lampen, met name na zonsopgang. Als tijdens de dag wordt bijbelicht speelt deze warmtestraling uit SON-T lampen een minder grote rol, omdat zonlicht ook warmtestraling bevat en daardoor de kop van het gewas al door zonlicht zal worden opgewarmd. Resultaten die in dit onderzoek worden gepresenteerd moeten dus toegeschreven worden aan een gecombineerd effect van spectrum en temperatuur, waarbij op basis van deze proefopzet niet kan worden ontrafeld welke factor het meest belangrijk is geweest.

Het belangrijkste verschil tussen SON-T belichting en LED belichting is de kortere reactietijd van chrysanten onder SON-T belichting (10 tot 14 dagen) vergeleken met chrysanten geteeld onder LED belichting. Een hogere planttemperatuur leidt over het algemeen tot een hogere ontwikkelingssnelheid en kan daarmee deels deze verschillen in reactietijd verklaren, omdat het bovenste deel van het gewas geteeld onder SON-T belichting een hogere bladtemperatuur had dan planten geteeld onder LED belichting. De bladafsplicingssnelheid neemt toe bij hogere temperaturen tot het optimum van circa 25°C (van der Ploeg en Heuvelink, 2006). Na 20 dagen was er één extra blad aanwezig bij planten geteeld onder SON-T belichting vergeleken met planten geteeld onder LED belichting. Naast bladafsplicingssnelheid kan een verhoging van temperatuur ook leiden tot langere internodiën. Bij de overgang van lange dag naar korte dag waren de stengellengtes echter gelijk (Tabel 9), maar bij de eindogst waren inderdaad de takken geteeld onder SON-T belichting langer dan de takken geteeld onder LED belichting. Hogere temperaturen tijdens de korte dag verhogen alleen de strekking, omdat het aantal internodiën al is vastgelegd in de lange dag periode.

De vraag is in hoeverre het spectrum van invloed is geweest op de andere ontwikkeling van het gewas. Het totale bladoppervlak van planten geteeld onder SON-T belichting was aanzienlijk groter na 20 dagen (einde lange dag periode). De verhouding tussen blauw licht en rood licht kan invloed hebben op bladgrootte (Hemming *et al.* 2004), en meer rood licht leidt tot grotere bladeren (Taiz en Ziegler, 1998). In dit experiment was juist het blad opgekweekt onder SON-T belichting, met relatief minder rood licht dan de LED belichting, groter tijdens de lange dag. Daarnaast was in de eerste fase van de teelt bij LED belichting een deel van het blad gekruld ('bol blad') en niet onder SON-T belichting. Planten onder SON-T belichting onderschepten daardoor meer licht, en konden daarmee meer drogestof produceren.

Gezien het spectrum is te verwachten dat SON-T licht dieper in het gewas doordringt dan LED licht (Taiz en Ziegler, 1998). De LED belichting bestond alleen uit blauw en rood licht met een absorptie van 95% door de individuele bladeren. Dat betekent dat maar maximaal 5% beschikbaar komt voor andere gewaslagen. SON-T licht bevat ook golflengtes die minder goed geabsorbeerd worden (geel/groen licht) en door reflectie en transmissie ook onder liggend blad bereiken en daar gebruikt kunnen worden voor fotosynthese. Deze 90 en 95% lichtabsorptie door individuele bladeren bij resp. SON-T en LED belichting gelden dus niet voor de totale lichtabsorptie door het gewas. Op basis van bovenstaande (groter bladoppervlak bij SON-T belichting, en dieper doordringen van licht in het gewas) en de hogere actuele fotosynthesesnelheid bij SON-T belichting kan een grotere totale drogestof productie verwacht

worden bij planten geteeld onder SON-T belichting vergeleken met planten geteeld onder LED belichting. Doordat de teelt is gestopt op het moment dat ze in het oogstbare stadium waren komt dit niet tot uitdrukking in een hogere drogestofproductie, maar in een kortere teeltduur en dus een kortere reactietijd.

Het vermoeden bestaat dat in dit experiment het spectrum van de LED belichting niet optimaal is geweest om langdurig chrysanten onder te telen. De netto actuele fotosynthese was lager bij chrysanten geteeld onder LED belichting dan van chrysanten geteeld onder SON-T belichting (met hoge lichtintensiteit). Een te kleine hoeveelheid blauw licht kan de fotosynthese enigszins verstoren; mogelijk was 4% blauw net te weinig voor chrysant.

5 Conclusies

Chrysanten zijn geteeld van bewortelde stek tot oogstbare tak in klimaatkamers zonder daglichttoetreding en belicht met SON-T lampen of LED lampen. LED belichting was een combinatie van rode (96%) en blauwe lampen (4%).

In het PAR gebied (fotosynthetisch actieve straling; 400 – 700 nm) was de spectrale samenstelling verschillend van SON-T lampen en van de LED lampen. Maar daarnaast bevat SON-T belichting ook warmtestralen. In dit experiment is gebleken dat door deze warmtestralen de bladtemperatuur 0.8° tot 1.3 °C hoger was in de kop van het gewas geteeld onder SON-T belichting vergeleken met planten geteeld onder LED belichting, ondanks dat de ruimte temperatuur gelijk was. Dat betekent dat gevonden verschillen tussen de lamptypen veroorzaakt kunnen zijn door spectrale verschillen en/of verschillen in bladtemperatuur.

Chrysanten zijn te telen onder SON-T lampen en onder LED lampen zonder daglichttoetreding tot een normaal oogstbaar product.

De netto actuele bladfotosynthese van chrysanten geteeld onder SON-T belichting was bij hoge lichtintensiteit hoger dan de bladfotosynthese van planten geteeld onder LED belichting. Bij lage lichtintensiteit was de bladfotosynthese wel gelijk. Mogelijk was het spectrum met alleen rood licht en met 4% blauw wat te beperkt waardoor groei en ontwikkeling niet maximaal zijn.

In het begin van de teelt ontwikkelde het bladoppervlak zich sneller (meer blad, geen bol blad en een groter opper vlak per blad) van planten geteeld onder SON-T vergeleken met LED belichting.

De reactietijd was 10 tot 14 langer bij chrysanten geteeld onder LED belichting bij respectievelijk hoge en lage lichtintensiteit.

De takgewichten (versgewichten) zijn in het oogstbare stadium gelijk tussen planten geteeld onder SON-T belichting en LED belichting. Takgewichten zijn wel lager als de planten geteeld werden bij lage lichtintensiteit vergeleken met hoge lichtintensiteit.

Het aantal bloemen en knoppen was iets hoger bij planten geteeld onder LED belichting, maar de drooggewichten van bloemen en knoppen waren gelijk.

De drogestofverdeling in de tak bij de eind oogst was verschillend: bij planten geteeld onder SON-T belichting ging relatief meer drogestof naar de stengels en minder naar het blad.

De grootste groeiverschillen zijn gekwantificeerd bij de overgang van de lange dag naar korte dag. Planten geteeld onder SON-T waren zwaarder dan planten geteeld onder LED belichting. Dat betekent dat op het moment van bloei-inductie er groeiverschillen waren. Het bladoppervlak van planten geteeld bij SON-T belichting was groter en planten hadden één blad meer. Dit tezamen resulteert in meer lichtonderschepping en een grotere gewasfotosynthese en daarmee meer drogestofproductie.

De wortelgewichten waren gelijk tussen planten geteeld onder SON-T belichting en onder LED belichting bij overgang van lange dag naar korte dag. De spruit/wortel verhouding was op dat moment dus hoger bij planten geteeld onder SON-T belichting. Bij de eind oogst was dit ook het geval bij planten geteeld bij lage lichtintensiteit. Bij planten geteeld onder hoge lichtintensiteit was de spruit/wortelverhouding gelijk voor SON-T en LED.

Er zijn geen verschillen gevonden in grondtemperatuur en verdamping (beide gemeten bij gesloten gewas).

Bij de meeste nutriënten is het gehalte hoger bij planten opgekweekt onder LED belichting vergeleken met SON-T belichting: N, P, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu en S. De sterkste verhoging is gemeten voor P, Fe en Cu.

In het gepresenteerde onderzoek is 1 μmol SON-T beter dan 1 μmol LED. Er zijn meerdere factoren naast het spectrum van de assimilatiebelichting die bepalen hoeveel rendement er uit een μmol licht is te halen. Dit onderzoek laat zien dat factoren als bladtemperatuur en het totale spectrum waarbij het gewas geteeld wordt van belang is.

6 Vervolgonderzoek

In het gepresenteerde onderzoek zijn SON-T lampen en LED lampen vergeleken bij de teelt van chrysant. De gevonden resultaten zijn een gecombineerd effect van spectrale verschillen tussen de lampen en verschillen in bladtemperatuur. Ook in de praktijk spelen beide factoren een rol, vooral als de lampen branden na zonsondergang. De vraag blijft welk spectrum nu ideaal is voor de teelt van chrysant, zonder dat bladtemperatuur hier een rol speelt. Om dat te onderzoeken moet de bladtemperatuur gelijk zijn door bijvoorbeeld de warmtestraling uit de SON-T lampen te filteren en is nieuw onderzoek nodig.

Het gepresenteerde onderzoek laat zien dat lamptype de ontwikkeling en groei kan beïnvloeden. Interessant is de snellere groei van chrysant onder SON-T belichting vergeleken met LED belichting. Met name het bladoppervlak ontwikkelde zich sneller bij planten onder SON-T belichting. Als bekend is welke effecten de spectrale samenstelling van belichting kunnen veroorzaken, dan biedt dit mogelijkheden om het gewas te sturen. Aan het begin van de teelt is een snelle bladontwikkeling van belang om het licht maximaal te onderscheppen. Later in de teelt kunnen andere factoren belangrijk zijn en kan het spectrum van de assimilatiebelichting mogelijk daaraan bijdragen. Er is nog veel onbekend over de invloed van stuurlicht op verschillende gewassen. Bij gebruik van LED belichting is juist interessant om ook aspect 'stuulicht' verder te onderzoeken.

Toepassing van LED vraagt een andere manier van telen en biedt ook de mogelijkheid om anders te telen. De traditionele hoge druk natriumlampen geven ook warmtestraling af, terwijl LED lampen deze warmte niet naar het gewas afgeven (warmte wordt aan de achterkant afgevoerd). Daarnaast is het bij LED belichting ook mogelijk om tussen het gewas te belichten (van Ieperen en Trouwborst, 2007). Vooral bij hogedraadsgewassen is dit interessant, omdat onderin het gewas relatief weinig licht valt. Hogewoning *et al.* (2007) laten zien dat bij tomaat dit onderste blad een lage fotosynthesesnelheid heeft door het weinige licht en niet zozeer door bladveroudering.

Voor de verschillende tuinbouwgewassen is het interessant belichting te optimaliseren met betrekking tot spectrum, plaats van de lampen, daglengte en dit allen in relatie met energieverbruik.

Het ontbreken van warmtestralen van LED lampen heeft grote consequenties voor de planttemperatuur en dan met name voor het groeipunt en andere bovenste plantendelen. Het is onduidelijk hoe de plant zijn temperatuur van groeipunt en bladeren reguleert en behoeft nader onderzoek.

7 Literatuur

- Andersson, N.E., 1990
Effects of level and duration of supplementary light on development of chrysanthemum. *Sci Hort.* 44: 163-169.
- Carvalho, S.M.P., H.Abi-Tarabay, E. Heuvelink, 2005.
Temperature affects Chrysanthemum flower characteristics differently during three phases of the cultivation period. *J. Hort. Sci Biotechnol.* 80(2): 209-216.
- Hemming, S., D. Waaijenberg, G. Bot, P. Sonneveld, F. de Zwart, T. Dueck, C. van Dijk, A. Dieleman, N. Marissen, E. van Rijssel, B. Houter, 2004.
Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw. Rapport 100. Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen.
- Hogewoning, S.W., G. Trouwborst, A.H.C.M. Schapendonk, C.S. Pot, 2007.
Plant Physiological Acclimation to Irradiation by Light-Emitting Diodes (LEDs). *Acta Hort.* 761: 183-192.
- Hogewoning, S.W., W. van Ieperen, G. Trouwborst, J. Harbinson, wordt binnenkort gepubliceerd.
Effect of different red to blue ratios on leaf photosynthesis and related characteristics in cucumber.
- Jongschaap, R.E.E., A. de Gelder, E. Heuvelink, F.L.K. Kempkes, C. Stanghellini, 2009.
Nieuwe vormen van verwarming gewas(delen). Nota 597, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen.
- Kendrick, R.E., G.H.M. Kronenberg (eds.), 2004.
Photomorphogenesis in Plants, 2^e editie. Kluwer Academic Publishers.
- Khattak, A.M., S. Pearson, C.B. Johnson, 1999.
The effect of spectral filters and nitrogen dose on the growth of chrysanthemum cv Snowdon. *J Hort Science and biotechnology*(74/2): 206-212
- McCree, K.J., 1972.
The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agr. Meteorol.* 9: 191-216.
- Mortensen, L.M., E. Strømme, 1987.
Effects of light quality on some greenhouse crops. *Sci Hort* 33: 27-36
- Paradiso, R., E. Meinen, J.F.H. Snel, P. de Visser, W. van Ieperen, S.W. Hogewoning, L.F.M. Marcelis, 200x.
Spectral dependence of photosynthesis and light absorption in rose plants. Submitted.
- Spaargaren, J.J., 1996.
De teelt van jaarrond chrysanten. Aalsmeer: Spaargaren-11. ISBN 90-9009242-0.
- Taiz, L., E. Ziegler, 1998.
Plant Physiology, 2nd ed. L. Taiz & E. Zeiger (eds.) Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, MA, USA.
- Van der Ploeg, A., E. Heuvelink, 2006.
The influence of temperature on growth and development of chrysanthemum cultivars: a review. *J Hort Sci Biotechnol.* 81(2): 174-182.
- Van der Ploeg, A., S.M.P. Carvalho, E. Heuvelink, 2009.
Genotypic Variation in the Response to Suboptimal Temperature at Different Plant densities in Cut Chrysanthemum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 134(1): 31-40.
- Van Ieperen, W., E. Heuvelink, S. Hogewoning, M. Singh (2009). Presentation 6th International Symposium on Light in Horticulture, 15-19 Nov 2009, Japan.
- Van Ieperen, W., G. Trouwborst, 2007.
The application of LEDs as assimilation light source in greenhouse horticulture: a simulation study. *Acta Hort.* 810: 1407-1414.

Bijlage I.

Voedingsoplossing chrysaant

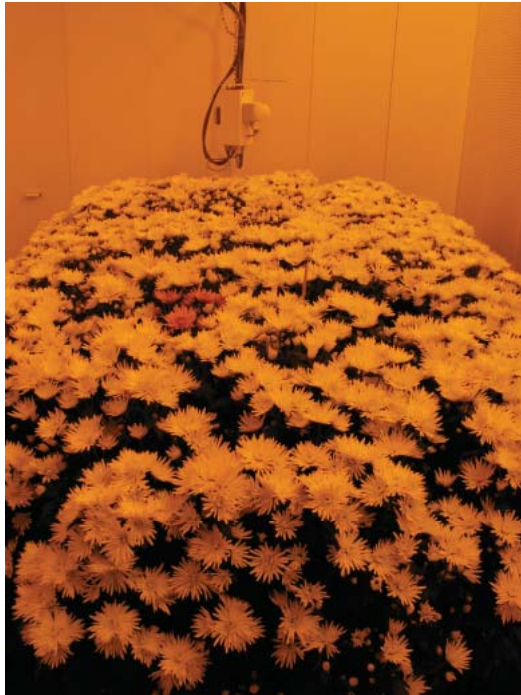
Tabel. Samenstelling van de voedingsoplossing voor chrysaant

Hoofdelementen	mmol/liter	Spoorelementen	µmol/liter
NH ⁴⁺	1.2	Fe ²⁺	25
K ⁺	11.0	Mn ²⁺	10
Ca ²⁺	6.3	Zn ²⁺	5
Mg ²⁺	2.8	B ³⁺	30
NO ₃ ⁻	18.4	Cu ²⁺	0.75
SO ₄ ²⁻	5.1	Mo ⁴⁺	0.50
P ³⁻	1.7		
EC 3.0			
pH 5.5			

Bijlage II.

Foto's van chryasant

Foto's van de vier klimaatkamers na 11 weken telen. De planten onder SON-T belichting met hoge lichtintensiteit zijn hier bijna in het oogstbare stadium.



SON-T hoge lichtintensiteit



LED hoge lichtintensiteit



SON-T lage lichtintensiteit



LED lage lichtintensiteit

Bijlage III.

Nutriëntenanalyses

Tabel. Nutriëntgehaltenes (g/kg of mg/kg drogestof) in de verschillende fracties van chrysant bij de eindogst. Data zijn de gemiddelde gehaltenes met standaardfout van 2 bepalingen; elke bepaling waren mengmonsters van 12 planten.

Element	eenheid	Fractie	Hoge lichtintensiteit		Lage lichtintensiteit	
			SON-T	LED	SON-T	LED
N	g/kg	blad	49.7 ± 0.5	56.3 ± 0.3	50.9 ± 1.7	58.3 ± 0.3
		stengel	17.3 ± 0.1	16.8 ± 0.1	16.8 ± 0.2	17.6 ± 0.1
		bloem	31.4 ± 1.5	28.5 ± 1.4	28.0 ± 0.5	27.4 ± 0.6
P	g/kg	blad	8.5 ± 0.2	10.8 ± 0.3	10.4 ± 0.5	14.8 ± 0.4
		stengel	3.5 ± 0.04	3.6 ± 0.2	3.5 ± 0.05	4.3 ± 0.02
		bloem	5.5 ± 0.2	5.3 ± 0.3	5.0 ± 0.05	5.3 ± 0.2
K	g/kg	blad	70.2 ± 0.6	70.5 ± 1.2	75.9 ± 0.5	74.6 ± 0.7
		stengel	31.4 ± 0.2	31.1 ± 0.7	32.5 ± 2.3	34.2 ± 1.0
		bloem	36.5 ± 1.3	36.4 ± 1.5	37.9 ± 0.5	35.5 ± 1.2
Ca	g/kg	blad	19.8 ± 0.1	19.2 ± 0.2	19.1 ± 0.5	20.3 ± 0
		stengel	3.0 ± 0	3.3 ± 0	3.2 ± 0.2	3.8 ± 0.2
		bloem	6.9 ± 0.2	6.0 ± 0.5	6.4 ± 0.4	6.9 ± 0.2
Mg	g/kg	blad	5.0 ± 0.1	5.3 ± 0	4.9 ± 0	5.9 ± 0
		stengel	0.7 ± 0.01	0.9 ± 0	0.7 ± 0.03	1.0 ± 0.01
		bloem	2.8 ± 0.1	2.8 ± 0.3	2.8 ± 0.01	2.9 ± 0.03
S	g/kg	blad	3.4 ± 0.1	4.1 ± 0.1	3.2 ± 0.1	3.8 ± 0.1
		stengel	0.7 ± 0.01	0.8 ± 0.02	0.7 ± 0.03	0.8 ± 0.01
		bloem	2.6 ± 0.07	2.4 ± 0.18	2.3 ± 0.01	2.4 ± 0.03
Fe	mg/kg	blad	93.0 ± 2	121 ± 14	92.5 ± 3	103 ± 1
		stengel	20.5 ± 2.5	24.5 ± 2.5	17.0 ± 1	24.0 ± 4
		bloem	42.5 ± 3.5	52.5 ± 3.5	47.0 ± 3	55.0 ± 1
Mn	mg/kg	blad	239 ± 13	220 ± 7	232 ± 8	243 ± 1
		stengel	30.0 ± 0	28.5 ± 1.5	32.0 ± 2	31.5 ± 1.5
		bloem	73.0 ± 3	62.5 ± 1.5	71.0 ± 3	69.5 ± 1.5
Cu	mg/kg	blad	9.5 ± 0.5	14.0 ± 0	9.5 ± 0.5	16.0 ± 0
		stengel	8.0 ± 0	6.0 ± 0	6.0 ± 0	6.5 ± 0.5
		bloem	9.0 ± 1	9.0 ± 0	8.0 ± 0	10.5 ± 0.5
Zn	mg/kg	blad	16.0 ± 1	39.0 ± 6	17.5 ± 0.5	21.5 ± 0.5
		stengel	9.0 ± 0	12.0 ± 1	11.0 ± 0	15.0 ± 1
		bloem	27.0 ± 1	40.0 ± 2	27.0 ± 0	29.0 ± 0
Na	mg/kg	blad	89.5 ± 14.5	75.0 ± 7	137 ± 15.5	101 ± 1
		stengel	700 ± 13	576 ± 12	797 ± 49	803 ± 102
		bloem	68.0 ± 61	10.0 ± 5	19.0 ± 6	39.0 ± 15

