

Dynamisch belichten van dwergtomaten: grenzen en mogelijkheden

Deelrapport V van project LED licht met de zon mee

Anja Dieleman, Jos Paul, Esmée de Graaf



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat

De toenemende kosten voor elektriciteit maakt het voor de glastuinbouw interessant om op een andere manier te gaan belichten, waarbij lampen aan staan wanneer de prijzen laag zijn en afgeschakeld of gedimd worden wanneer de stroomprijs hoog is. In dit onderzoek is gekeken naar het effect van lichtwisselingen op groei en productie van dwergtomaten. Wanneer het licht iedere 30 minuten aan of uitgeschakeld werd, waren de planten korter, hadden kleinere bladeren, minder vruchten en dus een lagere productie en biomassa. Wanneer de lichtwisselingen per half uur minder extreem waren, was het aantal vruchten wel lager, maar het totale plantgewicht niet. Een lichtverloop gedurende de dag met 's nachts belichting, 's ochtends het licht een uur afgeschakeld en overdag een natuurlijk verloop had geen effect op groei en productie. Ook de groei van planten onder een continue lichtintensiteit of een natuurlijk verloop verschilden niet. Deze resultaten geven aan dat dwergtomaten een groot vermogen hebben lichtwisselingen te integreren.

Abstract

The increasing costs of electricity make it interesting for greenhouse horticulture to use assimilation lighting in a different way, with lamps switched on when prices are low and switched off or dimmed when the electricity price is high. This study examined the effect of light fluctuations on the growth and production of dwarf tomatoes. When the lights were switched on or off every 30 minutes, the plants were shorter, had smaller leaves, fewer fruits and therefore a lower production and biomass. When the light changes every half hour were less extreme, the number of fruits was lower, but the total plant weight was not affected. A light pattern during the day with lighting at night, the lights switched off for an hour in the morning and a natural course during the day had no effect on growth and production. The growth of plants under a continuous light intensity or a natural change did not differ either. These results indicate that dwarf tomatoes have a great ability to integrate light changes.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1359

Projectnummer: 3742312600

DOI: <https://doi.org/10.18174/675961>

Dit project / onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron.



Disclaimer

© 2024 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, wur.nl/plant-research

Kamer van Koophandel-nr.: 09098104 | BTW-nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Adresgegevens

Wageningen University & Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Postbus 644, 6700 AP Wageningen

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen

T +31 (0)317 48 56 06

T +31 (0)317 48 60 01

wur.nl/glastuinbouw

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Probleemstelling	7
1.2 Achtergrondkennis	7
1.3 Onderzoeksvragen	8
2 Materiaal en methodes	9
2.1 Innovatie- en demonstratiecentrum LED belichting	9
2.2 Teelt en behandelingen	9
2.3 Behandelingen	10
2.4 Plantmetingen	12
2.4.1 Destructieve plantmetingen bij de start van de behandelingen	12
2.4.2 Wekelijkse lengtemetingen.	12
2.4.3 Bloeimeting	13
2.4.4 Vruchtoogsten	13
2.4.5 Suikergehalte van de vruchten (°Brix)	13
2.4.6 Fotosynthesemetingen	13
2.4.7 Lichtabsorptie	14
2.4.8 Chlorofylgehalte	14
2.4.9 Destructieve oogst	14
2.5 Biotoetsen	15
2.5.1 Trips	15
2.5.2 Botrytis	16
2.5.3 Meeldauw	16
2.5.4 Statistische analyse	16
3 Resultaten	17
3.1 Klimaat	17
3.2 Plantmetingen	17
3.2.1 Plantgewicht bij start behandelingen	17
3.2.2 Overzicht	17
3.2.3 Planthoogte en bloei	18
3.3 Productie	20
3.3.1 Aantal en gewicht van geoogste vruchten	20
3.3.2 Neusrot	23
3.3.3 °Brix en gemiddeld vruchtgewicht	25
3.4 Destructieve oogst	26
3.5 Fotosynthesemetingen	28
3.5.1 24 h continu metingen met open kamer	28
3.5.2 Puntmetingen met gesloten kamer	29
3.5.3 Aanpassingssnelheid fotosynthese na lichtwisselingen	30
3.6 Lichtabsorptie en chlorofylgehalte	33
3.7 Biotoetsen	34
3.7.1 Trips	34
3.7.2 Botrytis	35
3.7.3 Meeldauw	36

4	Discussie en conclusies	37
4.1	Effect van lichtwisselingen per half uur op groei en productie	37
4.2	Patroon van belichting gedurende de dag	38
4.3	Conclusie	38
Literatuur		39

Samenvatting

In het project "LED licht met de zon mee" wordt gewerkt aan de transitie naar LED belichting om een duurzame, fossielvrije glastuinbouw mogelijk te maken. De stijgende energieprijzen leverden in de sector vragen op over hoe planten om gaan met dynamische belichting: tot welk lichtniveau mag er gedimd worden, mag het licht een deel van de dag afgeschakeld worden, en kan het gewas omgaan met lichtwisselingen? Bij jonge, vegetatieve tomatenplanten is hier onderzoek naar gedaan, waarbij bleek dat wisselende lichtomstandigheden effect kunnen hebben op chlorofylgehalte, fotosynthese en gewicht van de planten. Echter, wanneer een minimaal lichtniveau van tenminste 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ aangehouden werd, waren er geen aantoonbare effecten op groei en plantgewicht. De vraag hierbij was hoe deze resultaten vertaald kunnen worden naar een vruchtdragend gewas. Om deze vraag te beantwoorden is gebruikt gemaakt van dwergtomaten, een teeltsysteem dat tegenwoordig veel gebruikt wordt als "modelsysteem".

Dit onderzoek is uitgevoerd in het IDC LED, een onderzoeksfaciliteit van de business unit Glastuinbouw van Wageningen University & Research en Signify, waarin op 12 tafels planten geteeld kunnen worden onder ieder gewenst lichtrecept. Dwergtomatenplanten werden geplaatst in een behandeling met 16 uur per dag een vaste lichtintensiteit ('Continu') of een patroon dat vergelijkbaar is met het natuurlijke verloop van instraling buiten ('Natuurlijk'). In andere behandelingen wisselde de lichtintensiteit per half uur tussen 0-500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ('Aan/uit'), 62-438 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ('Sterk wisselen') of 188-312 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ('Matig wisselen'). Tenslotte werd er een behandeling toegepast waarin een praktijksituatie met belichting werd nagebootst: vanaf middernacht belichten, dan een uur licht afschakelen (vanwege hoge stroomprijs) en dan gedurende de dag belichting plus 'Natuurlijk' verloop van instraling ('Lichtdip'). De dwergtomaten werden geteeld tot de vruchten geoogst konden worden.

De resultaten laten zien dat de dwergtomaten die werden geteeld in de behandeling 'Matig wisselen' in geen van de eigenschappen (biomassa, lengte, vruchtproductie, fotosynthese) verschilden van de planten die werden geteeld onder een constante lichtintensiteit. Wanneer de lichtwisselingen sterker zijn, werden er wel effecten waargenomen. In de behandeling 'Sterk wisselen' was de totale geproduceerde biomassa lager dan in de behandeling met een constante lichtintensiteit. Het aantal rijpe vruchten dat werd geoogst was lager dan in de 'Continu' licht behandeling, maar dat werd voornamelijk veroorzaakt door een latere start van de productie. Het totaal gewicht van de vruchten (rijp en onrijp) verschilden niet. De totale fotosynthese in de behandeling 'Sterk wisselen' was lager was dan in de behandeling met 'Continu' licht, omdat de fotosynthese in het traject van 250 naar 438 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ niet meer lineair toeneemt. Wanneer het licht ieder half uur af- en aangeschakeld werd, was het totale plantgewicht aan het einde van de proef ruim 40% lager dan in de behandeling 'Continu' licht. De planten waren korter, hadden kleinere bladeren en dus minder lichtonderschepping. Verder splitsten deze planten minder bladeren en minder trossen af, en werden er per tros minder vruchten aangelegd, met als resultaat een lagere productie. De planten in de behandeling waar het licht ieder half uur aan- of uitgeschakeld werd, hadden een lagere plantweerbaarheid, ze waren gevoeliger voor tripsschade en meeldauw, maar er werden geen verschillen gevonden in Botrytis aantasting.

Wanneer het patroon van belichting gedurende de dag wordt vergeleken, blijkt dat er geen verschillen zijn in groei, productie en onderliggende processen tussen de behandelingen 'Continu' licht, 'Natuurlijk' licht en de behandeling die een praktijksituatie nabootst ('Lichtdip'). Of het licht 'Continu' wordt gegeven of met de zon mee heeft geen effect op strekking, biomassa, bloeisnelheid, het aantal geoogste vruchten en gewicht daarvan, en de fotosynthesesnelheid. Wel bleek de behandeling 'Natuurlijk' licht een hogere weerbaarheid had tegen meeldauw dan de behandeling waarbij het licht in de ochtend een uur werd afgeschakeld ('Lichtdip').

De resultaten van deze proef laten zien dat dwergtomaten een grote integratiecapaciteit hebben voor lichtintensiteit binnen een etmaal. Wanneer de totale dagelijkse lichtsom vergelijkbaar is, blijkt dat behandelingen waarbij lichtwisselingen worden toegepast per half uur of als patroon gedurende de dag geen effect hebben op fotosynthese, groei en productie, als er tenminste een minimum lichtniveau wordt aangehouden. Wanneer het licht ieder half uur aan- of afgeschakeld wordt, zijn de planten kleiner, hebben een lagere fotosynthese, minder vruchtzetting en dus een lagere productie en minder biomassa. Wanneer het licht in de ochtend gedurende 1 uur wordt afgeschakeld zonder dat er 'Natuurlijk' licht is, heeft dit geen consequenties voor groei en productie.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Om energiebesparing en klimaatneutrale toepassingen voor all-electric glastuinbouw te kunnen combineren met belichting wordt veel verwacht van efficiëntere belichtingssystemen zoals LEDs. LEDs bieden energetische voordelen (hoge lichtoutput en benutbare warmte) en geven ruimte voor toepassing van dynamische lichtrecepten (lichtkleur is te kiezen en in de tijd te variëren). In de afgelopen jaren is spectrumonderzoek gedaan voor een aantal gewassen, waaruit gebleken is dat er geen generiek spectrum bestaat waar alle gewassen goed bij groeien en ontwikkelen. Wel is het zo dat voor een heel aantal gewassen een "basisspectrum" is vastgesteld, waarbij dat gewas goed groeit en een goede productie heeft. Om de volgende stappen te kunnen zetten in het verbeteren van de effectiviteit van het gebruik van belichting, en daarmee het elektriciteitsgebruik te kunnen reduceren, is meer kennis en een beter begrip nodig van de fysiologische processen die een rol spelen bij het dagritme, morfologie (o.a. bladstand), assimilatenaanmaak en de verdeling van deze assimilaten op plantniveau.

In de eerste maanden van 2022 zijn de energieprijzen sterk gestegen, met als gevolg dat telers anders met hun belichting en verwarming omgaan. De manier waarop verschilt sterk per bedrijf (afhankelijk van bijvoorbeeld de energie situatie van dat bedrijf), en loopt uiteen van later planten, minder belichten, alleen LED gebruiken en SON-T uit laten, op dure uren de lampen uitschakelen, etc. Er zijn bij de telers nog veel vragen wat de consequenties hiervan zijn op het gewas: hoe problematisch is het om een deel van de dag de lampen uit te doen, tot welk lichtniveau mag er gedimd worden, moet het gewas hiervan herstellen en zo ja hoe, etc. Om deze vragen te beantwoorden is in 2022 is een serie experimenten uitgevoerd om de effecten van fluctuerende belichtingsregimes op jonge tomatenplanten te bepalen. Deze experimenten lieten zien dat een minimale hoeveelheid licht ($25 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) gedurende een deel van de tijd voldoende is om groei en ontwikkeling van jonge planten op peil te houden (Dieleman e.a., 2024). In hoeverre deze lage intensiteit ook voldoende is voor groei, ontwikkeling, afrijpingssnelheid, productie en vruchtkwaliteit van vruchtdragende planten is de vraag. Dit onderzoek wordt daarom uitgevoerd met vruchtdragende dwergtomaten.

1.2 Achtergrondkennis

De twee belangrijkste processen die bijdragen aan de toename in plantgewicht (groei) zijn de fotosynthesesnelheid van het blad en de morfologische eigenschappen die lichtabsorptie bepalen. Verreweg de meeste wetenschappelijke literatuur die betrekking heeft op de effecten van fluctuerende lichtomstandigheden op planten is gericht op de snelheid en manier waarop de fotosynthese zich aanpast aan snelle wisselingen in lichtintensiteit (Kimura et al., 2020; Long et al., 2022). Als planten ineens een hogere lichtintensiteit ontvangen, hebben ze ca. 5-10 minuten nodig om weer een stabiele fotosynthesesnelheid te bereiken (Kalaji e.a., 2014), wat leidt tot een verlies aan fotosynthese. Wanneer Arabidopsis-planten werden blootgesteld aan lichtregimes die natuurlijke lichtfluctuaties nabootsten (tot $1500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), hadden ze een lagere fotosynthetische capaciteit dan planten onder constante lichtomstandigheden (Violet-Chabrand et al., 2017) en een lager drooggewicht. Maar Zhang e.a. (2020) vond dat wisselende lichtomstandigheden (5 tot $650 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) geen invloed had op de netto fotosynthesesnelheid van jonge tomatenplanten. In een overzichtsartikel vatten Morales en Kaiser (2020) de resultaten van 43 datasets van 6 onderzoeken samen en concludeerden dat fluctuerende lichtintensiteiten gemiddeld geen invloed had op de fotosynthetische capaciteit van bladeren, uitgedrukt als CO_2 opname bij verzadigend licht. De plantbiomassa was echter fors lager, wat verband zou kunnen houden met de vertraging in de reactie van de fotosynthese op fluctuerende lichtniveaus en de niet-lineaire reactie van de fotosynthese, zoals boven vermeld.

Naast de direct effecten van fluctuerende lichtomstandigheden op fotosynthese, kunnen planten zich ook op een meer structurele manier aanpassen aan variabele lichtomstandigheden door veranderingen bladoppervlakte, bladdikte en chlorofylgehalte. Wanneer slapplanten werden geteeld bij fluctuerende lichtniveaus (elke 15 minuten wisselend tussen 0/400, 40/360, 80/320, 120/280, 160/240 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ of constant 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ gedurende 16 uur, bleek dat de meest extreme wisselingen leidden tot kleinere bladeren, een lager plantgewicht en dikkere bladeren (Bhuiyan en Van Iersel (2021)). Bij jonge tomatenplanten die werden geteeld bij lichtpieken van 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ gedurende 20 s (iedere 5 minuten) waren het bladoppervlak en plantdrooggewicht niet beïnvloed, maar de bladeren waren wel dunner (hogere SLA, bladoppervlakte per m^2) (Kaiser e.a., 2018). Ook Zhang e.a. (2020) vonden dat tomatenplanten onder wisselende lichtomstandigheden dunnere bladeren hadden, maar ook een lager chlorofylgehalte. Samenvattend leiden fluctuerende lichtomstandigheden over het algemeen tot een lager plantgewicht en een lager chlorofylgehalte, maar blijft de fotosynthesecapaciteit onveranderd.

1.3 Onderzoeksvragen

Tot (ruim) een jaar geleden werd belichting gebruikt om een gewenste dagelijkse lichtsom (DLI) te halen, waarbij aan de randen van de dag met de volledige belichtingscapaciteit belicht werd, en in de loop van de dag de lampen werden afgeschakeld op globale straling. Daarbij werden de randen opgezocht van wat het gewas aan kon, in intensiteit en daglengte, omdat in veel gevallen de meeropbrengst de kosten compenseerde. Met de hogere gas- en elektriciteitsprijzen is het denken over deze belichtingsstrategieën radicaal gewijzigd en meer in lijn met de opgave naar een klimaatneutrale glastuinbouw. De basis is nu weer de benutting van het natuurlijke zonlicht en dat daar waar nodig aanvullen met lamplicht. Het streven is nu naar een dynamische strategie, waarbij belicht wordt op de behoefte van het gewas, rekening houdend met de energieprijzen. Om dit op een goede manier te kunnen doen, moeten nog een aantal vragen beantwoord worden:

- Wat is het effect van een dynamisch patroon van belichten gedurende de dag op vegetatieve en generatieve tomatenplanten? Zijn er verschillen met een constante lichtintensiteit?
- Welke plantprocessen worden beïnvloed door variabele lichtintensiteiten? Processen waar naar gekeken zal worden, zijn ontwikkeling (verschijnen 1e bloemtros, en moment van 1e bloemopening), chlorofylgehalte, fotosynthese, plantvorm (bijvoorbeeld bladgrootte voor lichtonderschepping), biomassa en assimilatenverdeling.
- Als er gedimd wordt, tot welk lichtniveau mag dat zijn? De vraag is welke plantprocessen hierbij beperkend zijn.
- Wat betekent een variabel belichtingsregime voor plantweerbaarheid tegen schimmels en plaaginsecten?

Om deze vragen te beantwoorden, is een experiment gedaan waarbij dwergtomaten geteeld werden bij variabele belichtingsregimes, en gedurende de teelt morfologie, fotosynthese, plantweerbaarheid en productie gemeten is. In dit rapport staan de proefopzet (hoofdstuk 2), resultaten (hoofdstuk 3) en conclusies (hoofdstuk 4) van dit onderzoek beschreven.

2 Materiaal en methodes

2.1 Innovatie- en demonstratiecentrum LED belichting

Het onderzoek dat in dit rapport beschreven wordt, is uitgevoerd in het Innovatie en Demonstratiecentrum LED toepassingen in de glastuinbouw (IDC LED), een gezamenlijke onderzoeksfaciliteit van de business unit Glastuinbouw van Wageningen University & Research en Signify. Twee van de afdelingen van het IDC LED zijn speciaal ingericht om onderzoek te doen aan de effecten van (dynamische) lichtspectra op de groei en ontwikkeling van verschillende gewassen, waarvan er in dit onderzoek er een is gebruikt.

Het IDC LED II (kasafdeling 7.02) is een afdeling van 144 m² (9.6 m bij 15 m), één tralie met dubbele nok, doorlopende nokluchting en helder glas. De afdeling is uitgerust met een energiescherm (LS Ultra) en een verduisteringsscherm (LS Obscura). De gevels zijn uitgerust met verduisteringsschermen. Er is mogelijkheid om te koelen via een warmtewisselaar en verdeelslurf. De slurf hangt midden in de lengte richting van de kas, onder de centrale goot. In deze kas staan twee rijen van ieder 6 tafels van 3,96 meter bij 1,77 meter met een gesloten bodem. De bodem heeft een structuur met gootjes zodat drainwater uit potten of matten naar de zijkanten van de tafel wordt afgevoerd.

Boven alle tafels hangen rekken met dynamische LED modules (Philips GreenPower LED productie Dynamic, generatie 3) geplaatst. Deze modules zijn instelbaar in de kanalen blauw (piek bij 446 nm), wit (breed spectrum met hoog aandeel groen licht met piekmissie bij 571 nm), rood (660 nm) en verrood (729nm). Het regelsysteem dat hier bij hoort, maakt het mogelijk (bijna) ieder gewenst spectrum (dynamisch) in te stellen op afstand. De hoogte van de rekken bleef gedurende de teelt gelijk, waarmee de lichtintensiteit bij de top van het gewas gedurende de teelt toenam. Om lichtvervuiling tussen de behandelingen te voorkomen, was rondom de tafels wit folie opgehangen.

Het klimaat wordt geregeld door een ISII-klimaatcomputer (Hoogendoorn). Het gerealiseerde klimaat is gemeten met de geventileerde regel meetbox die boven tafel 3 aan de rechterkant van de kas hing. Daarnaast is op elke tafel een draadloze temperatuur en luchtvochtigheidssensor (30 MHz) geïnstalleerd op 1 meter boven de tafel.

2.2 Teelt en behandelingen

Dit onderzoek is uitgevoerd met dwergtomatenplanten. Tien dagen na zaai werden ze in het IDC LED geplaatst, en op het moment dat ze ca. 3 echte bladeren hadden werden de lichtbehandelingen gestart.

Tabel 2.1 *Overzicht teeltgegevens experimenten tomaat.*

Gewas en ras	Dwergtomaat, ras: "plum tomato red", Vreughdenhil Young Plants, De Lier, Holland
Zaaidatum en omstandigheden	30 mei 2023, steenwol plug T252 tray, schone planten opkweek
Plantdatum	Vrijdag 9 juni 2023
Start experiment	Maandag 19 juni 2023
Plantdichtheid	Na oppotten: 66,7 planten/m ² (steenwolblokken tegen elkaar) Vrijdag 16 juni: 11,3 planten/m ² (in ruit verband afstand 30 cm tussen rij, 38 cm in rij)
Teeltstrategie	Dwergtomaten telen en vruchten oogsten (2x/week). Metingen tijdens de teelt fotosynthese, chlorofyl, weerbaarheid. Destructieve eind oogst. Dieven onder de splitsing zijn verwijderd. Later zijn dieven boven de splitsing ook verwijderd. In laatste stadium kwamen er veel dieven door, hiervan zijn de bloemen en soms het groeipunt verwijderd.
Substraat en watergift	Steenwol Cultilene rootmaxx, 10x15x6,5 (lxbxh), 22x27 mm plantgat. Watergift eb en vloed
Hoogte van het lampenplafond	1.95 cm boven tafels
Lampen	Philips GreenPower LED productie Dynamic, generatie 3
Lichtintensiteit (PAR)	Zie behandelingen, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ van 9 juni tot 3 juli en gemiddeld 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ van 3 juli tot 31 augustus
Lichtspectrum	Verdeling blauw/groen/rood/verrood als percentage van PAR: 10/10/80/10%
Daglengthe	18 uur
Lichtbehandelingen	Zie 2.3 lichtbehandelingen
Temperatuurstellingen	Temperatuur 21/19 °C (dag/nacht) van 9 tot 28 juni Temperatuur 22/20 °C (dag/nacht) van 28 juni tot 31 augustus Er is koeling aanwezig in het compartiment.
Instellingen bevochtiging	Van begin proef tot 18 juli bevochtigen tot 85% RV tijdens belichting periode en geen bevochtiging tijdens de nacht, op 18 juli aangepast naar 80% tijdens de belichting periode en 75% tijdens de niet belichte periode.
Scherminstrategie	Donkerdoek permanent gesloten, alleen een kier van maximaal 2%. Niet in de middag om direct licht op de tafels te voorkomen.
CO ₂ concentratie	600 ppm tijdens belichting periode
Einde experiment	31 augustus 2023

2.3 Behandelingen

Om lichtschade aan de jonge planten te voorkomen, werd gedurende de eerste twee weken geteeld bij gemiddeld 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht, en werd daarna de gemiddelde lichtintensiteit verhoogd naar 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

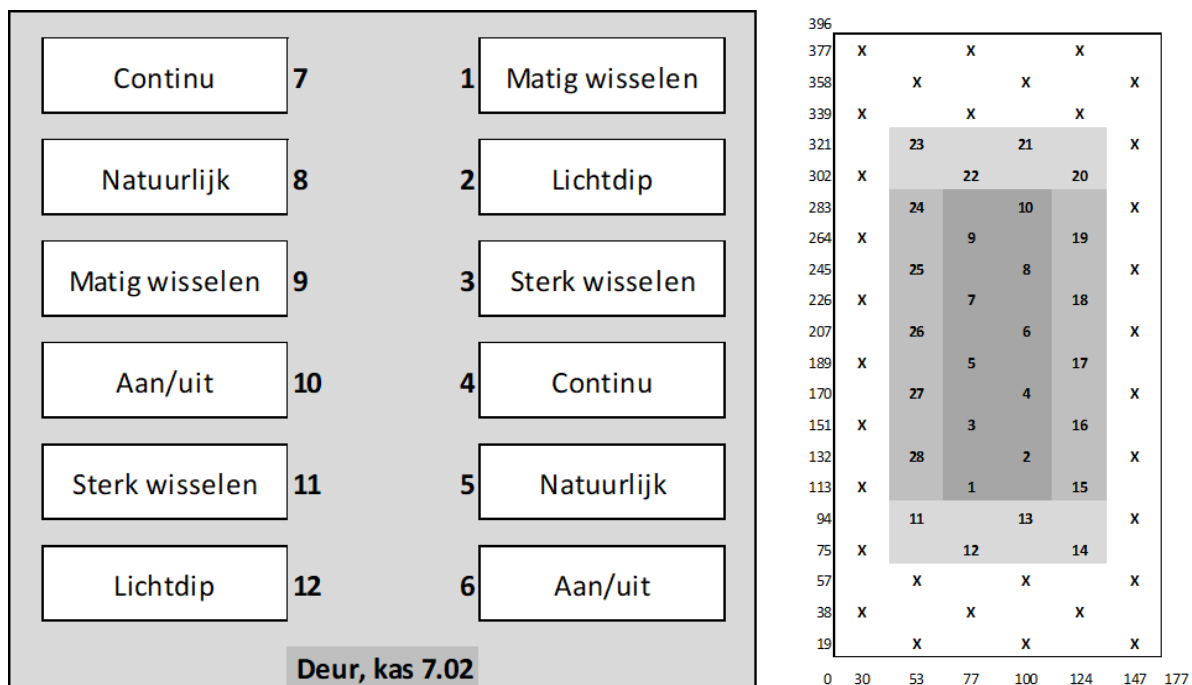
Lichtbehandelingen voor de eerste twee weken van het experiment

1. **'Continu'**. Continu licht, 18 uur per dag 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (DLI is 11.7 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{dag}$)
2. **'Aan/uit'**. Licht aan/uit per 30 minuten. Hierbij wisselen we gedurende 18 uur ieder half uur tussen 360 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
3. **'Sterk wisselen'**. Hoog/laag licht per 30 minuten. Hierbij wisselen we gedurende 18 uur ieder half uur tussen 315 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 45 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
4. **'Matig wisselen'**. Hoog/laag licht per 30 minuten. Hierbij wisselen we gedurende 18 uur ieder half uur tussen 225 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
5. **'Natuurlijk'**. Op- en afbouwend licht: volgt natuurlijk verloop. Totale DLI vergelijkbaar met overige behandelingen.
6. **'Lichtdip'**. Nabootsen van omstandigheden in een belichte teelt. Begint met aantal uren constante intensiteit belichting, dan toevoeging van licht volgens natuurlijk verloop. De belichting wordt in de ochtend onderbroken door een periode van 2 x 30 minuten donker ("hoge energieprijzen"), dus licht wordt teruggebracht naar 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (totale DLI vergelijkbaar met overige behandelingen).

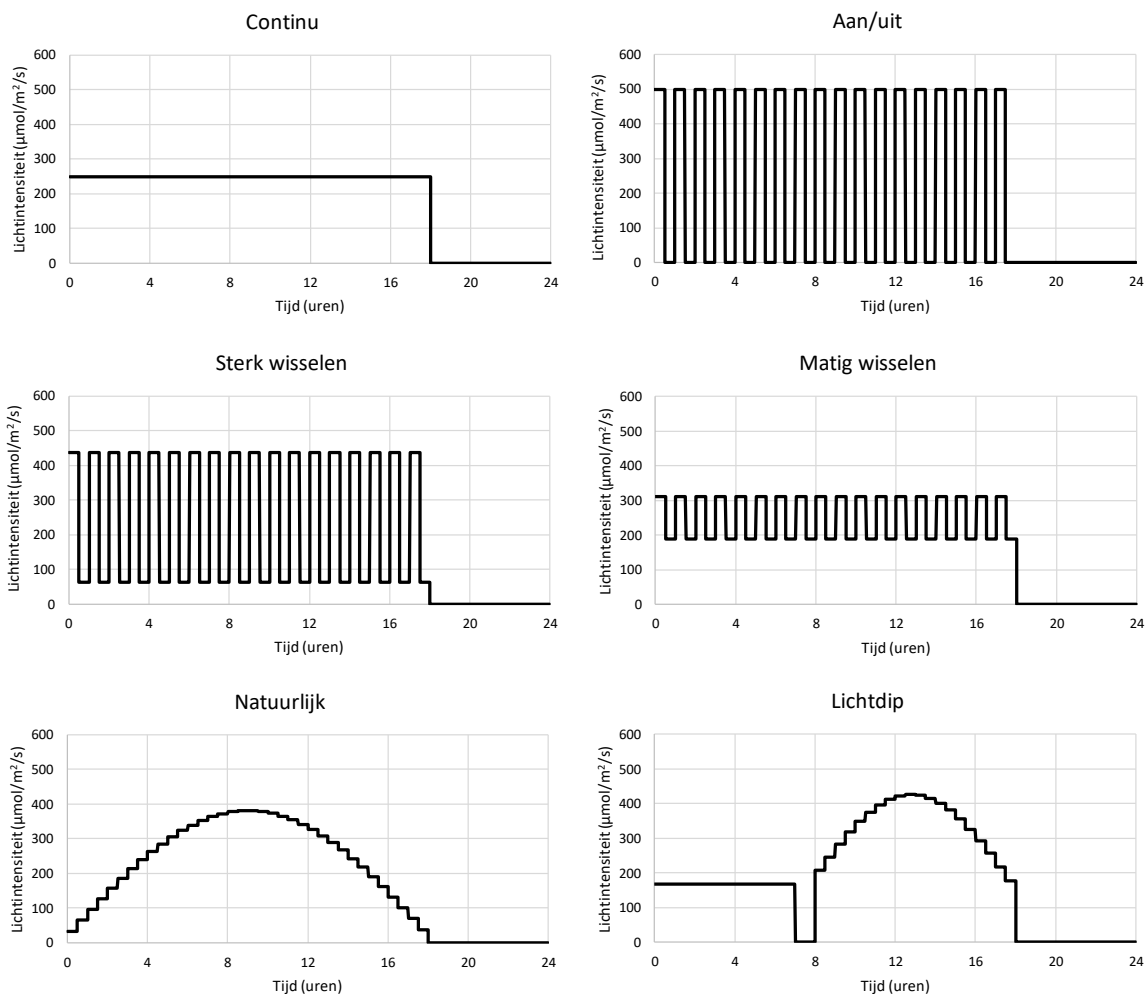
Lichtbehandelingen voor de rest van de teelt

1. **'Continu'**. Continu licht, 18 uur per dag $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (DLI is $16.2 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{dag}$)
2. **'Aan/uit'**. Licht aan/uit per 30 minuten. Hierbij wisselen we gedurende 18 uur ieder half uur tussen $500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en $0 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
3. **'Sterk wisselen'**. Hoog/laag licht per 30 minuten. Hierbij wisselen we gedurende 18 uur ieder half uur tussen $438 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en $62 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
4. **'Matig wisselen'**. Hoog/laag licht per 30 minuten. Hierbij wisselen we gedurende 18 uur ieder half uur tussen $312 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en $188 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
5. **'Natuurlijk'**. Op- en afbouwend licht: volgt natuurlijk verloop. Totale DLI vergelijkbaar met overige behandelingen.
6. **'Lichtdip'**. Nabootsen van omstandigheden in een belichte teelt. Begint met aantal uren constante intensiteit belichting, dan toevoeging van licht volgens natuurlijk verloop. De belichting wordt in de ochtend onderbroken door een periode van 2×30 minuten donker ("hoge energieprijzen"), dus licht wordt teruggebracht naar $0 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (totale DLI vergelijkbaar met overige behandelingen).

De verdeling van de behandelingen over de tafels in de kas, en de verdeling van de planten over de tafels staat weergegeven in figuur 2.1. Een schematische weergave van de lichtintensiteiten over de dag per behandeling wordt ook weergegeven in figuur 2.2.



Figuur 2.1 Links: lay-out van de kas en de plaatsing van de behandelingen. Rechts: lay-out van de verdeling van de planten over de tafels. Planten 1-10 werden gebruikt voor vruchtoogsten en destructieve eindoogst. Planten 11-14 en 20-23 werden gebruikt voor metingen van chlorofylgehalte, lichtabsorptie en voor de biotoetsen, en aan planten 15-19 en 24-28 werden fotosynthesemetingen gedaan.



Figuur 2.2 Verloop van de lichtintensiteit gedurende de dag per behandeling in het tweede deel van de teelt.

2.4 Plantmetingen

Gedurende de teelt zijn metingen gedaan aan plantgewichten (start en einde van de proef), plantlengtes en aantallen en gewichten van de geoogste vruchten. Verder is de lichtabsorptie van de bladeren en een aantal fotosynthesekarakteristieken gemeten. In de paragrafen hieronder staan de plantmetingen uitgebreid beschreven.

2.4.1 Destructieve plantmetingen bij de start van de behandelingen

Op 21 juni, twee dagen na de start van de lichtbehandelingen, zijn van 6 planten van de tafels met continu of natuurlijk licht, die toen ongeveer de grootte hadden van de planten op 19 juni, de volgende parameters gemeten: lengte, aantal bladeren (tenminste 5 cm lengte), bladoppervlakte en versgewicht en drooggewicht van bladeren en stengel.

2.4.2 Wekelijkse lengtemetingen.

Wekelijks werd de lengte van twee planten per tafel (planten 5 en 6) gemeten.

2.4.3 Bloeimeting

Van de 10 middelste planten per tafel (plantnummers 1-10) werd op 30 juni en 4 juli het aantal trossen en het aantal open bloemen per tros geteld.

2.4.4 Vruchtoogsten

Gedurende de teelt werden twee keer per week de rijpe vruchten geoogst van 10 planten per tafel (plantnummers 1-10) tot het moment van de destructieve eind oogst. Per tafel werd het aantal geoogste vruchten geteld en werd het totaal vers- en drooggewicht van de vruchten gemeten. Aan het begin van de teelt trad neusrot op. Daarom zijn de vruchten met neusrot, beginnende neusrot en zonder neusrot apart gemeten. Het drooggewicht van de vruchten (niet open gesneden) werd gemeten na 5-7 dagen in een droogstoof bij 80°C.

2.4.5 Suikergehalte van de vruchten (°Brix)

Op 5 oogstmomenten inclusief de laatste vruchtoogst (ten tijde van de destructieve eind oogst) werd per tafel van 30 rijpe vruchten de °Brix waarde gemeten. De °Brix waarde is een maat voor het gehalte aan oplosbare stoffen, met name suikers en is daarmee een inschatting van het suikergehalte. De vruchten werden na de oogst 2-4 dagen bewaard in een koelcel bij 20 °C en een RV van 80%. Na bewaring werden de tomaten gemalen en werden ten minste 3 °Brix metingen per monster gedaan met een handheld refractometer (Mettler Toledo).

2.4.6 Fotosynthesemetingen

Gedurende het onderzoek zijn verschillende typen fotosynthesemetingen gedaan in verschillende behandelingen, waarbij de keuze voor de behandelingen afhing van de vraag en de wijze waarop deze vraag met fotosynthesemetingen beantwoord kon worden.

2.4.6.1 Continue fotosynthesemetingen gedurende 24 uur

In de behandelingen Continu licht en Natuurlijk licht werd gedurende 24 uur de momentane fotosynthesesnelheid gemeten met een Li-6400 draagbare fotosynthesemeter met een open bladkamer (geen lichtbron gebruikt, meetoppervlakte 2x3 cm, 6 cm²). Per herhaling (tafel) zijn 2 planten gemeten, waarvan 3 metingen per behandeling geanalyseerd werden (twee metingen waren niet stabiel). Deze fotosynthesemetingen zijn uitgevoerd van 10 tot 14 juli 2023 met 2 fotosynthesemeters, aan het topblad van blad 6. De metingen werden uitgevoerd op een vaste hoogte vanaf de tafel. De CO₂ concentratie tijdens de metingen was ingesteld op 600 ppm, licht, temperatuur en RV werden niet ingesteld. Matching werd automatisch iedere 15 minuten gedaan, en er werd 1 maal per 15 minuten gelogd.

2.4.6.2 Puntmetingen met gesloten kamer

Om na te gaan wat de fotosynthesesnelheden bij de verschillende lichtniveaus gedurende de dag zijn en op basis daarvan een inschatting te maken van de gemiddelde fotosynthese in deze behandelingen, werd de fotosynthesesnelheid gemeten met een gesloten kamer (Met lichtbron, LI-6800-01A, meetoppervlak 2 cm²) gedurende twee tijdblokken (8:00-11:00 en 14:00-17:00) bij onderstaande behandelingen en bij de corresponderende lichtniveaus:

- 'Continu' 250 µmol/m²/s
- 'Aan/uit' 500 µmol/m²/s en 0 µmol/m²/s
- 'Sterk wisselen' 438 µmol/m²/s en 62 µmol/m²/s
- 'Matig wisselen' 312 µmol/m²/s en 188 µmol/m²/s

Per herhaling en per lichtniveau werd aan 6 planten gemeten, dus per behandeling en per lichtniveau werd aan 12 planten gemeten. De metingen zijn uitgevoerd van 18 tot 21 juli 2023 met twee draagbare fotosynthesemeters, aan een blaadje van een blad op of net na de splitsing. De metingen zijn uitgevoerd ten minste 5 minuten na het aanpassen van het lichtniveau. De lichtbron in de fluorescentiekop werd ingesteld op 90% rood licht (piek 625nm) en 10% blauw licht (piek 475 nm). De overige instellingen waren: 300 µmol/m²/s flow snelheid, 0.1 kPa press valve, 8000 rpm ventilatiesnelheid, 75% relatieve luchtvochtigheid, 23.5-24 °C luchttemperatuur en 600 ppm [CO₂].

Zodra de omgeving en de fotosynthese snelheid stabiel waren na het aanklikken van de bladkamer werden de fotosynthesesnelheid en huidmondjesgeleidbaarheid 6x gelogd binnen 30 seconden.

2.4.6.3 Fotosynthese aanpassingssnelheid (3h) met open kamer

Om na te gaan hoe snel de fotosynthese zich aanpast aan een verandering in lichtniveau, werd de fotosynthesesnelheid gedurende 3 uur gemeten bij onderstaande behandelingen:

- 'Aan/uit'
- 'Sterk wisselen'
- 'Matig wisselen'

De fotosynthesemetingen zijn uitgevoerd aan een deelblad van een blad net na de splitsing van 2 planten per herhaling, dus 4 planten per behandeling. De metingen zijn uitgevoerd op dezelfde hoogte vanaf de tafel en zelfde afstand vanaf de rand. De metingen zijn uitgevoerd van 25 tot 28 juli 2023 met 2 draagbare fotosynthesesystemen (LI-6800 met een open kamer (geen lichtbron) van 2x3 cm, is 6 cm²). Metingen zijn gestart 15 minuten na een wisseling in lichtniveau, rond 8:15 en rond 11:15. De instellingen waren: 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ flow snelheid, 0.1 kPa press valve, 8000 rpm ventilatiesnelheid, temperatuur geen instelling, RV geen instelling, 600 ppm [CO₂]. Er werd iedere 10 seconden gelogd, en matching werd automatisch iedere 10 minuten gedaan.

2.4.7 Lichtabsorptie

Op 11 juli 2023 is van alle tafels van de planten met nummers 11, 13, 20 en 22 het topblad verzameld van blad 7 of 8. De verzamelde blaadjes werden apart verpakt in plastic zakken met daarin natte tissues om uitdroging te voorkomen. Na een nacht in de koelkast (4 °C) werd per blaadje de reflectie en transmissie in stappen van 5 nm tussen 350-750nm gemeten met een spectrofotometer (Lambda 950 US/VIS, PerkinElmer, Waltham, MA, United States). De absorptie per blad werd berekend als 1 – transmissie – reflectie. Op basis van deze data werd vervolgens de absorptie per lichtbehandeling berekend op basis van het gegeven spectrum en de lichtintensiteit.

2.4.8 Chlorofylgehalte

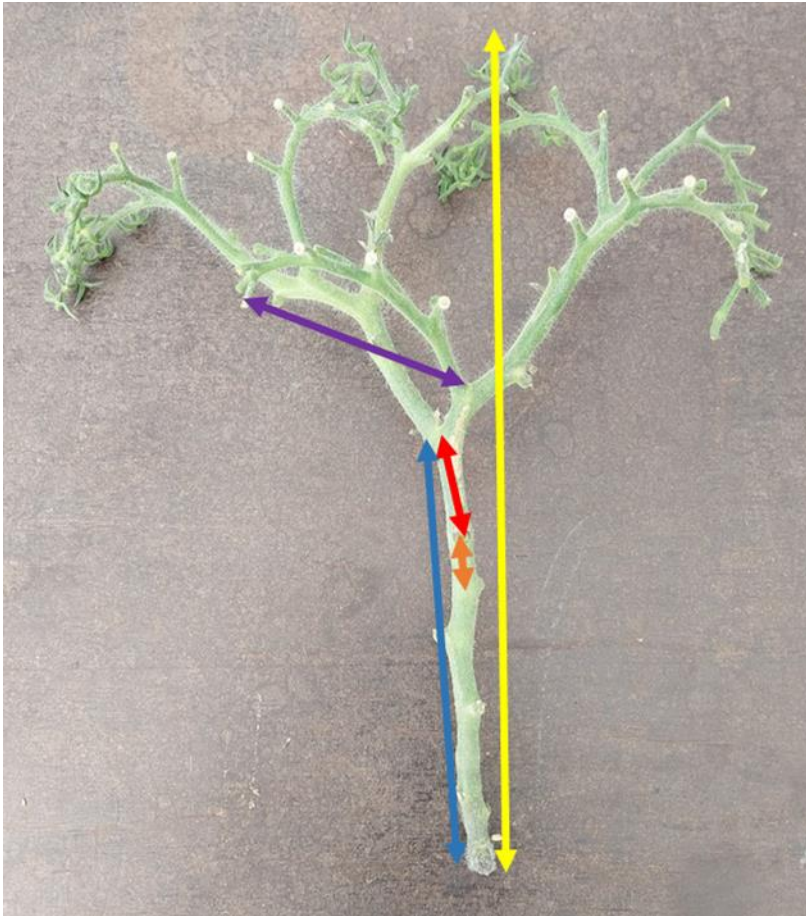
Het chlorofylgehalte werd twee maal tijdens de proef gemeten. Op 12 juli werd gemeten aan het topblad van blad 7 en 8 van plant 12, 14, 21 en 23. Omdat deze blaadjes vaak beschaduwd werden door een ander blad of naar beneden gericht waren, werd op 4 augustus gemeten aan een (niet beschaduwd) zijbladje van plant 11, 13, 20 of 23. Als geen geschikt blad beschikbaar was, werd plant 12, 14, 21 of 23 gebruikt. Per blad werden twee metingen uitgevoerd waarvan de gemiddelde waarde is gebruikt in analyse. De metingen zijn uitgevoerd met pigment meter (MPM-100 multiple pigment meter, Opti-Sciences). De meter meet de transmissie bij 720 nm en 850 nm en op basis van een model wordt hiermee het chlorofylgehalte bepaald.

2.4.9 Destructieve oogst

Bij de destructieve eind oogst zijn van iedere plant de zijscheuten verwijderd. Van de zijscheuten onder de splitsing werd het gewicht niet meegenomen in de plantmetingen. Zijscheuten boven de splitsing zijn gemeten, maar zonder bloemen en eventuele vruchten. Van planten 1-10 van iedere tafel zijn per plant de volgende kenmerken gemeten:

- Planthoogte (zie figuur 2.3, gele lijn)
- Lengte tot de splitsing (zie figuur 2.3, blauwe lijn)
- Internodium lengte boven (zie figuur 2.3, rode lijn) en onder (zie figuur 2.3, oranje lijn) het eerste blad onder de splitsing
- Bladlengte en breedte- van eerste blad onder de splitsing
- Aantal bladeren onder de splitsing
- Aantal bladeren boven de splitsing
- Bladoppervlakte
- Aantal trossen
- Lengte onderste tros (zie figuur 2.3, paarse lijn, maar uitgestrekt)
- Versgewicht en drooggewicht van de bladeren
- Versgewicht en drooggewicht van de stengel inclusief trosstelen

Per tafel zijn van plant 1-10 aantal rijpe en niet rijpe vruchten geteld en daarvan is apart vers- en drooggewicht gemeten. De destructieve eind oogst is uitgevoerd op twee dagen waarbij per dag een herhaling per behandeling werd gemeten.



Figuur 2.3 Een tomatenplant waarvan de bladeren verwijderd zijn bij de destructieve eind oogst. De gele pijl geeft de plantlengte aan, de blauwe pijl de hoogte tot de splitsing, de paarse pijl de tros lengte, de rode en oranje pijlen de internodiumlengtes respectievelijk boven en onder het blad onder de splitsing.

2.5 Biotoetsen

Om te bepalen wat een dynamisch belichtingsregime voor plantweerbaarheid tegen schimmels en plaaginsecten betekent, werden per tafel 8 planten gebruikt voor biotoetsen (dus 16 planten per lichtbehandeling). 4,5 week na de start van het experiment (7,5 week na zaaien) werd van de planten het achtste (volgroeide) blad van onderen bemonsterd. Hierna werd 1 deelblad gebruikt voor de biotoets trips, 1 deelblad voor *Botrytis* en 1 deelblad voor meeldauw. De biotoetsen werden als volgt uitgevoerd:

2.5.1 Trips

Het deelblad werd op een laag 1% water agar gelegd in een 280 cc plastic bakje met het steeltje in de agar tegen uitdroging. Per bakje werden vijf volwassen Californische tripsen (*Frankliniella occidentalis*) op het blad geplaatst en het bakje werd afgesloten met een deksel met gaas. Bakjes werden weggezet bij 19°C onder constant licht. Na 8 en 12 dagen werd de hoeveelheid tripsschade in mm² geteld. Daarnaast werd na 12 dagen het aantal aanwezige tripsen op het blad geteld.

2.5.2 Botrytis

Voor *Botrytis* werd het deelblad in een petrischaal met 1% water agar gelegd. *Botrytis* werd voor 10 dagen op Potato Dextrose Agar (PDA) opgekweekt bij 22°C. De kweek werd hierna voor minstens 1 nacht geïncubeerd onder UV-licht om spoorvorming te stimuleren. $1 \cdot 10^6$ sporen/mL werden gedurende 2 uur bij kamertemperatuur weggezet, hierna werden 2 druppels van 2 µL op de bladeren gepipetteerd (nerven vermijdt en 1 druppel aan beide kanten van de hoofdnerf). Petrischalen werden weggezet bij 19°C onder constant licht. 2 en 5 dagen na inoculatie werden de ontstane laesies opgemeten (de langste diameter in centimeters). Het gemiddelde van de twee laesies werd gebruikt voor analyse.

2.5.3 Meeldauw

Het deelblad werd in een petrischaal met 1% water agar gelegd. Eén spray (150-200 µL) met $1 \cdot 10^4$ - $1,5 \cdot 10^4$ sporen/mL werd op het deelblad gespoten. Petrischalen werden weggezet bij 19°C onder constant licht. 9 en 13 dagen na inoculatie werden het aantal meeldauw spots op de bladeren geteld.

2.5.4 Statistische analyse

Statistische analyses werden uitgevoerd met behulp van IBM SPSS Statistics 25 software. Om verschillen tussen de lichtbehandeling op de weerbaarheid tegen de verschillende ziekten/plagen te evalueren werden General Linear Models gegenereerd voor alle biotoetsen apart. De zogenoemde goodness-of-fit werd bepaald door de residuals te onderzoeken op eventuele schendingen van normaliteit. Per biotoets werden voor de vergelijkingen one-way Analysis of Variance (ANOVA) uitgevoerd. Daaropvolgende Tukey post-hoc-tests werden op de modellen toegepast om eventueel aanwezige significante levels tussen de behandelingen te bepalen. Een significantieniveau van $p \leq 0,05$ werd gebruikt. In het geval de residuals niet normaal verdeeld waren werd een niet-parametrische Kruskal-Wallis toets uitgevoerd.

3 Resultaten

3.1 Klimaat

Gedurende de teelt werd een gemiddelde etmaal temperatuur gerealiseerd van 23.4 °C, met een gemiddelde dagtemperatuur van 23.9 °C en een gemiddelde nachttemperatuur van 21.7 °C. De maximale temperatuur die (in augustus, op een zonnige dag) werd gerealiseerd was 29.5 °C. De luchtvochtigheid was gemiddeld 75%, met een RV gedurende de dag van 77% en in de nacht van 71%. De CO₂ concentratie in de periode dat werd belicht was gemiddeld 624 ppm, en zakte weg naar ca. 430 ppm in de nacht als er niet werd gedoseerd.

3.2 Plantmetingen

3.2.1 Plantgewicht bij start behandelingen

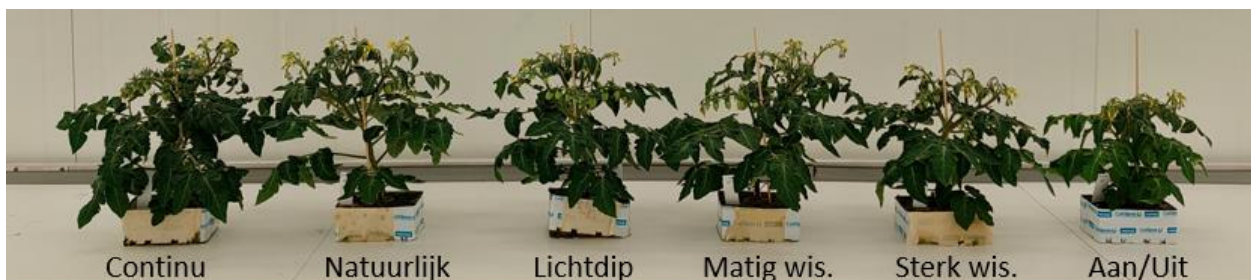
Aan het begin van het experiment werd van 6 planten per tafel in de behandelingen Continu licht en Natuurlijk licht de lengte, plantgewicht en bladoppervlakte gemeten. De planten waren gemiddeld 6 ± 0.15 cm lang, hadden 4 bladeren en een bladoppervlakte van 75 ± 2 cm. De versgewichten van de bladeren, stengels en totale plant waren respectievelijk 2.7, 0.9 en 3.6 ± 0.1 g, en de drooggewichten van de bladeren, stengels en totale plant waren 0.3 , 0.07 en 0.38 ± 0.01 g.



Figuur 3.1 Plant bij de start van de behandelingen.

3.2.2 Overzicht

Tijdens de teelt bleken er duidelijke verschillen te ontstaan in plantopbouw tussen de behandelingen. De planten in de behandeling 'Aan/uit' waren duidelijk korter dan in de andere behandelingen, met kortere bladeren en minder groene nerven. De planten in de behandeling 'Sterk wisselen' waren ook korter dan de andere behandelingen, met een meer open structuur (figuren 3.2 en 3.3).



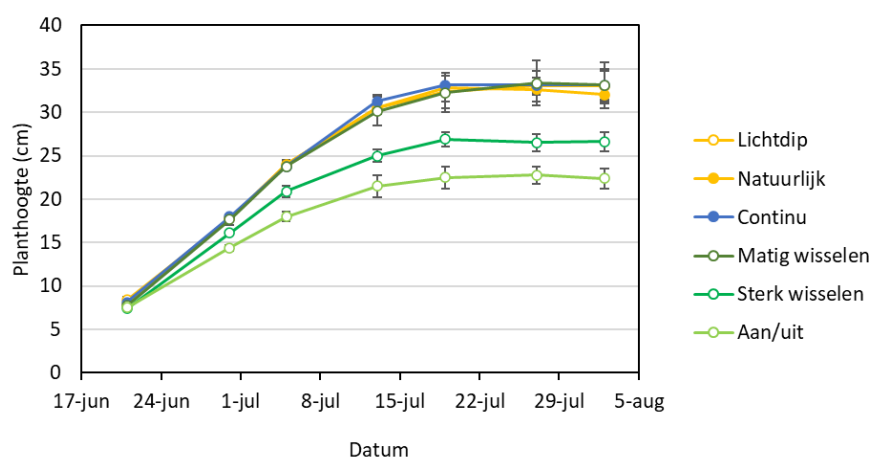
Figuur 3.2 Overzicht van de dwergtomatenplanten opgegroeid onder dynamische lichtbehandelingen (NB de volgorde van de behandelingen is anders dan in de meeste figuren) op 13 juli 2023.



Figuur 3.3 Overzicht van de dwergtomatenplanten opgegroeid onder dynamische lichtbehandelingen op 31 juli 2023.

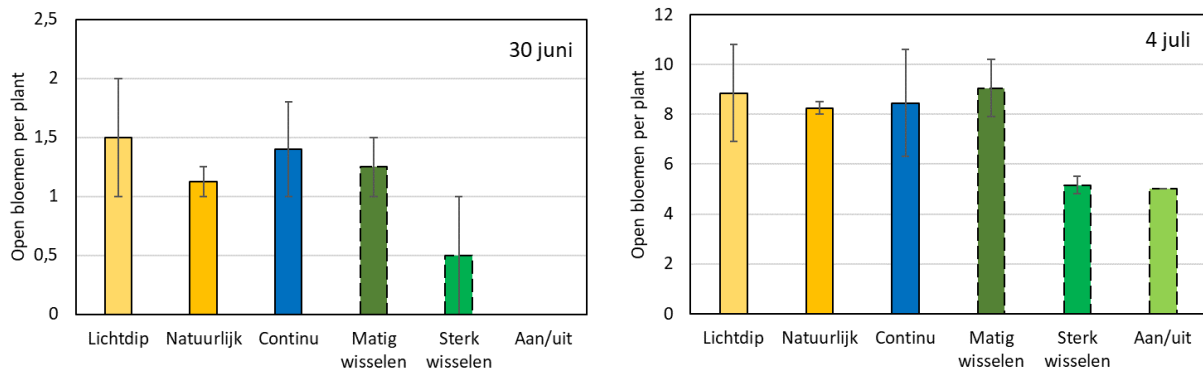
3.2.3 Planthoogte en bloei

Tijdens het experiment werd de planthoogte wekelijks gemeten vanaf 21 juni. Vanaf 19 juli was de planthoogte ongeveer stabiel en zijn de metingen getopt. Uit de plantmetingen is duidelijk te zien dat de planthoogtes tijdens de teelt voor de meeste behandelingen vergelijkbaar zijn. De planten in de behandeling 'Sterk wisselen' zijn korter dan in de behandelingen 'Continu', 'Natuurlijk', 'Lichtdip' en 'Matig wisselen'. De planten in de behandeling waar het licht ieder half uur 'Aan/uit' werd geschakeld zijn duidelijk het kortst, met ca. 22 cm planthoogte ten opzichte van ca. 33 cm in de meeste behandelingen (figuur 3.4).



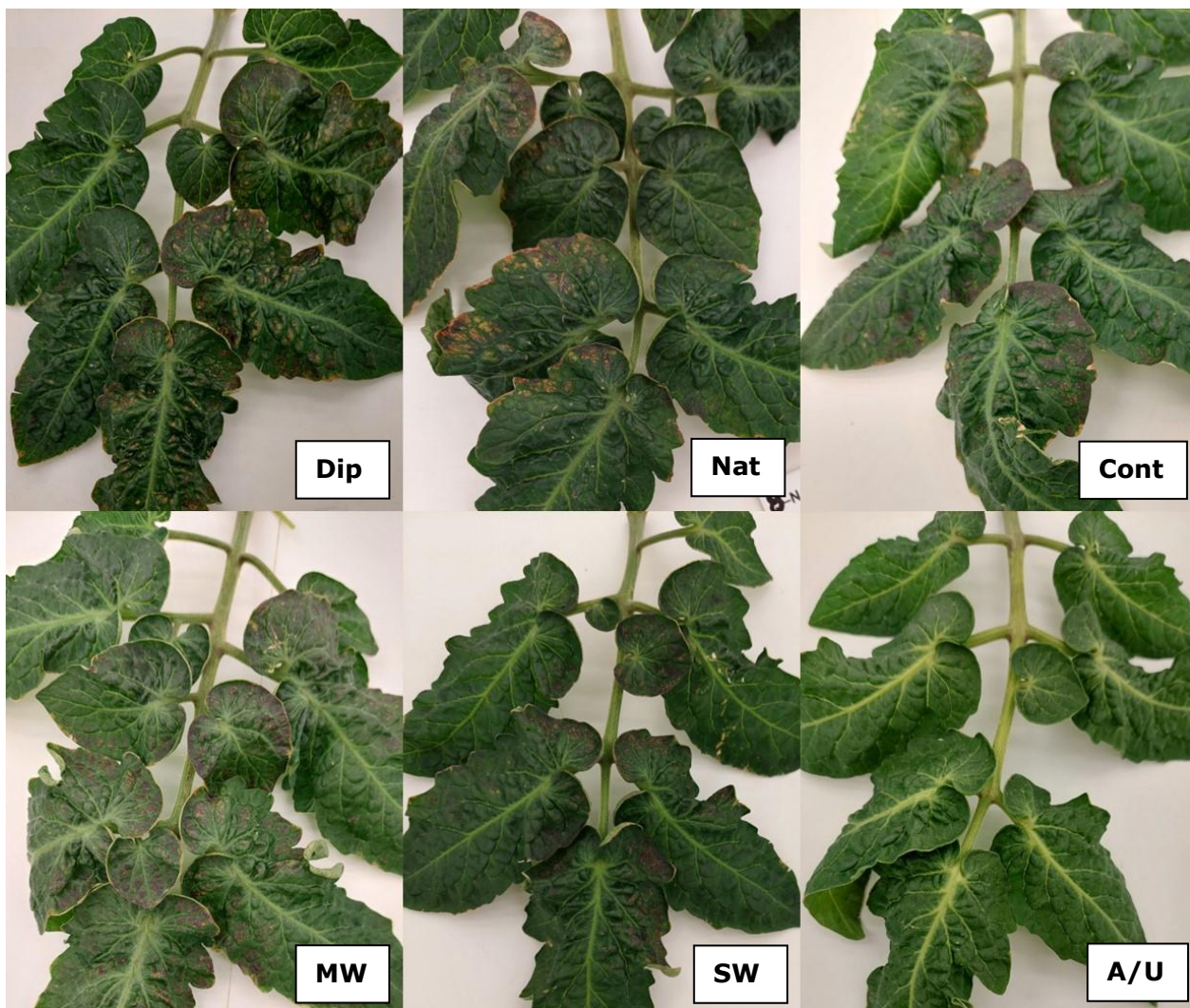
Figuur 3.4 Verloop van de planthoogte van dwergtomatenplanten bij dynamische belichtingsbehandelingen gedurende de teelt.

Op 30 juni en 4 juli is het aantal open bloemen per tros en per plant geteld. Het totaal aantal open bloemen per plant van de 10 meetplanten per tafel is vergeleken tussen de tafels. Het aantal open bloemen leek op 30 juni lager in de behandeling 'Aan/uit' dan in de overige behandelingen, hoewel deze verschillen statistisch niet significant zijn. Op 4 juli te zien dat het aantal bloemen in zowel de behandeling 'Aan/uit' als in 'Sterk wisselen' lager leken te zijn dan in de andere behandelingen (figuur 3.5). Deze verschillen zijn niet significant door de grote verschillen tussen de herhalingen. De lichtbehandelingen zijn gestart op 19 juni, dus dat betekent dat er in 11 dagen tijd al een effect was op de bloei van de planten.



Figuur 3.5 Aantal open bloemen per plant gemeten op 30 juni (links) en 4 juli (rechts) bij dynamische belichtingsbehandelingen gedurende de teelt.

Tijdens de proef trad duidelijk zichtbare bladveroudering op, met name in de oude bladeren (figuur 3.6). Op de foto's in figuur 3.6 is te zien dat de bladeren onder de splitsing in een aantal behandelingen verschijnselen vertoonden, terwijl er bij de bladeren boven de splitsing nauwelijks bladveroudering te zien was (niet op de foto's). Er was een duidelijk verschil tussen de behandelingen: 'Aan/uit' toonde geen bladveroudering, 'Sterk wisselen' heel weinig en andere behandelingen hadden wel duidelijk bladveroudering en geen duidelijk verschil tussen de behandelingen.

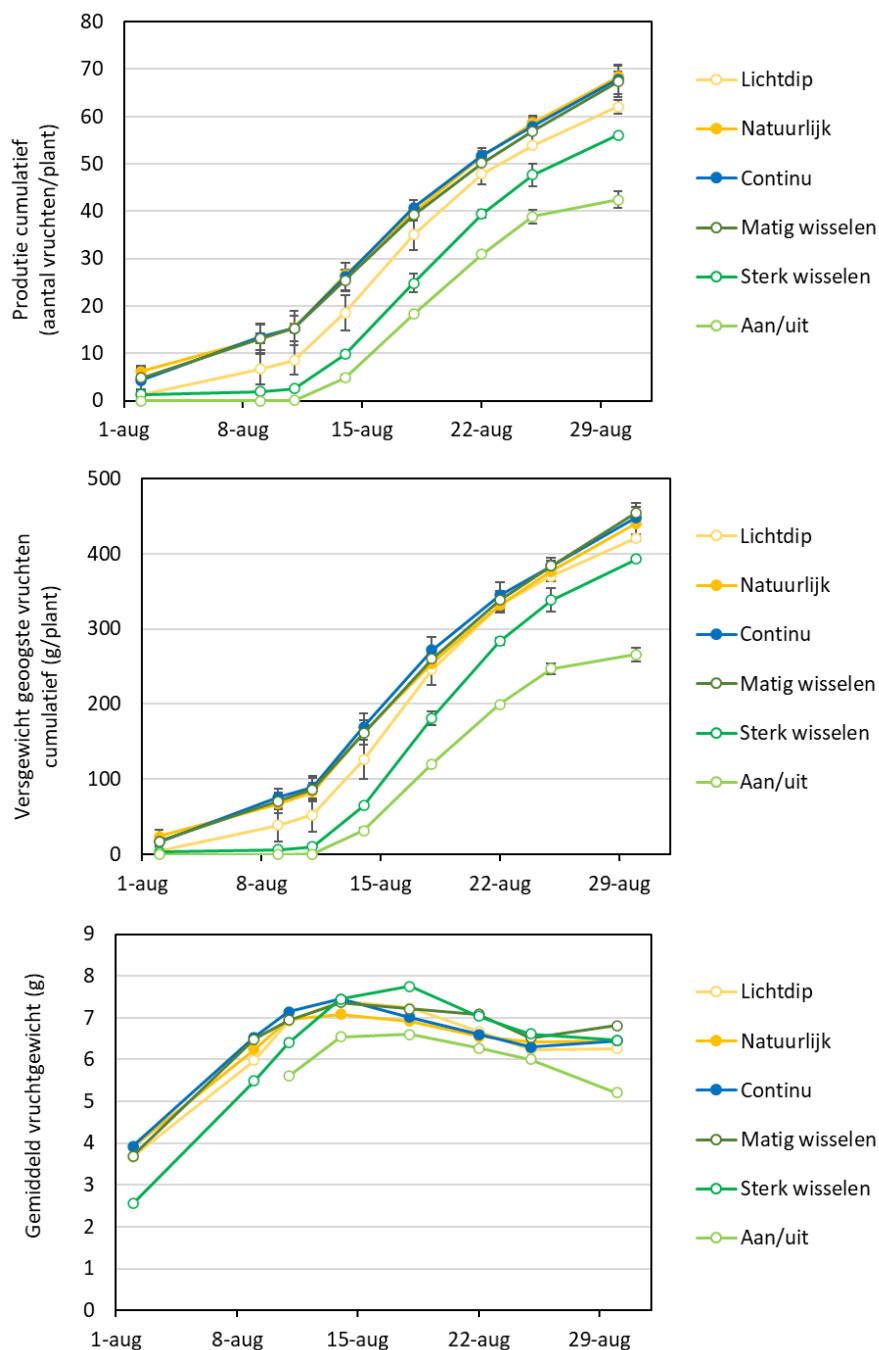


Figuur 3.6 Weergave van het eerste blad onder de splitsing van dwergtomatenplanten bij een aantal dynamische belichtingsbehandelingen: 'Lichtdip' (Dip), 'Natuurlijk' (Nat), 'Continu' (Cont), 'Matig wisselen' (MW), 'Sterk wisselen' (SW) en 'Aan/uit' (A/U) gedurende de teelt.

3.3 Productie

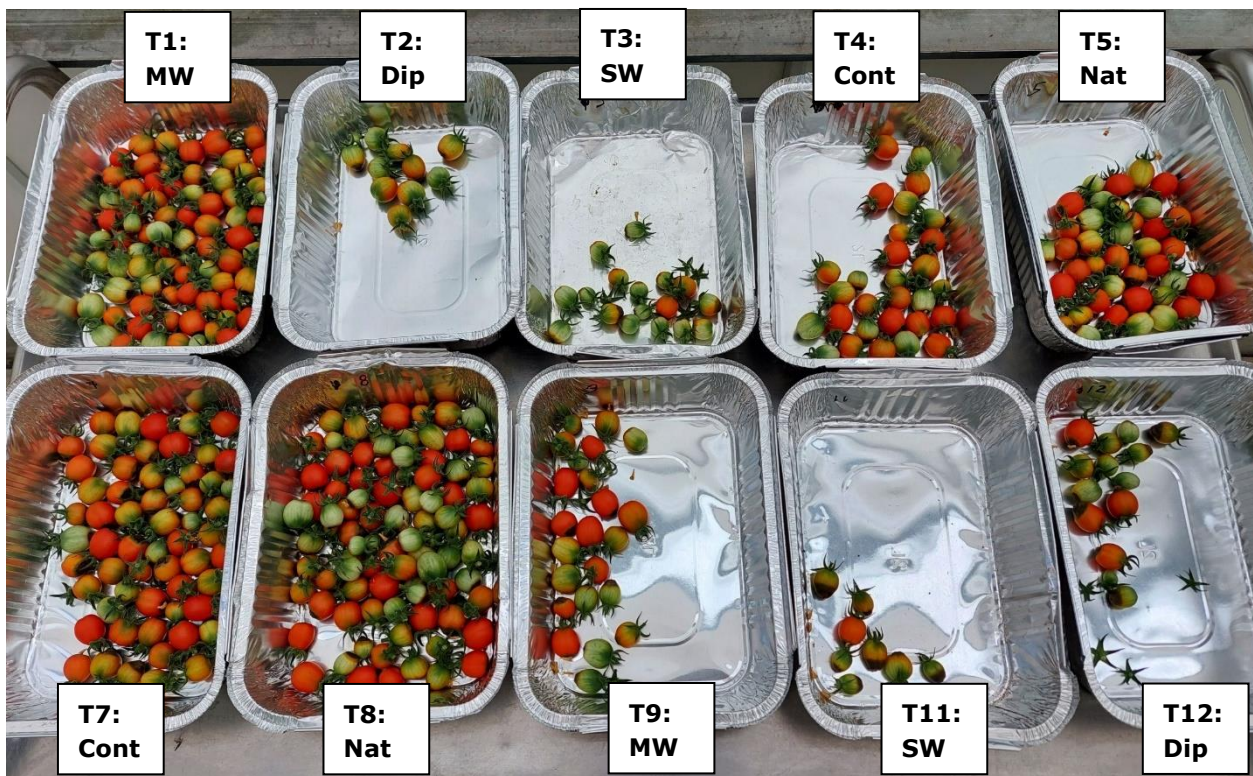
3.3.1 Aantal en gewicht van geoogste vruchten

De eerste rijpe vruchten werden geoogst op 2 augustus, iets meer dan twee maanden na zaaien (zaaidatum 30 mei). Bij de behandeling 'Aan/uit' werden de eerste vruchten echter pas op 14 augustus geoogst (figuur 3.7 boven). Tot 14 augustus werden in de behandeling 'Sterk wisselen' ook maar enkele vruchten per tafel geoogst en werden de eerste vruchten ook pas rond 14 augustus geoogst. Ook de behandeling 'Lichtdip' liep achter bij de overige behandelingen, er werden in die behandeling pas op 9 augustus meerdere vruchten per plant geoogst (figuren 3.8, 3.9 en 3.10). De productie in de behandeling 'Aan/uit' nam af richting eind augustus, terwijl er bij de andere behandelingen op dat moment nog volop geoogst werd.

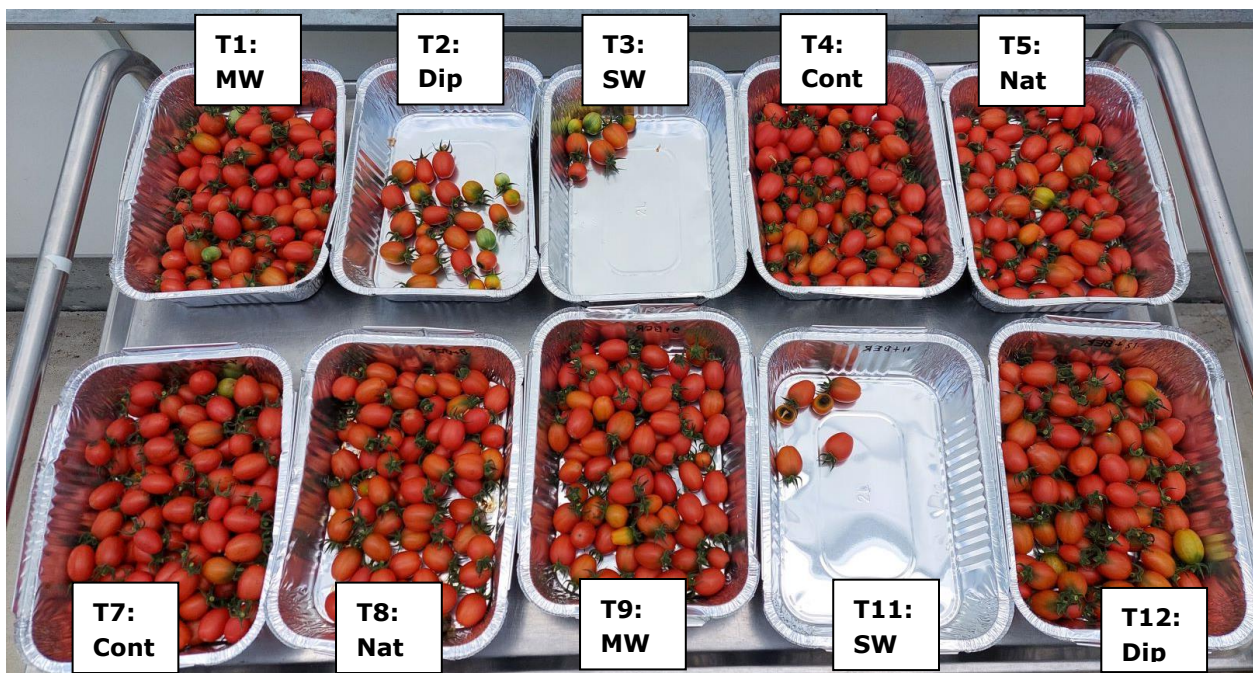


Figuur 3.7 Verloop van het aantal geoogste rijpe vruchten (boven), het geoogste vruchtgewicht (midden) en het gemiddeld vruchtgewicht (onder) van dwergtomatenplanten bij dynamische belichtingsbehandelingen gedurende de teelt.

Het gemiddeld vruchtgewicht van de eerste vruchten die geoogst werden (op 2 augustus) was ca. 4 gram per vrucht, terwijl het vruchtgewicht bij latere oogsten toenam naar ongeveer 7 g/vrucht. De verschillen in gemiddeld vruchtgewicht tussen de behandelingen waren beperkt (figuur 3.7 onder).



Figuur 3.8 Foto van de oogst op 2 augustus van de 10 meetplanten per tafel (T) van de behandelingen 'Lichtdip' (Dip), 'Natuurlijk' (Nat), 'Continu' (Cont), 'Matig wisselen' (MW) en 'Sterk wisselen' (SW). Voor de tafels met de behandelingen 'Aan/uit' (A/U) waren er geen vruchten om te oogsten.

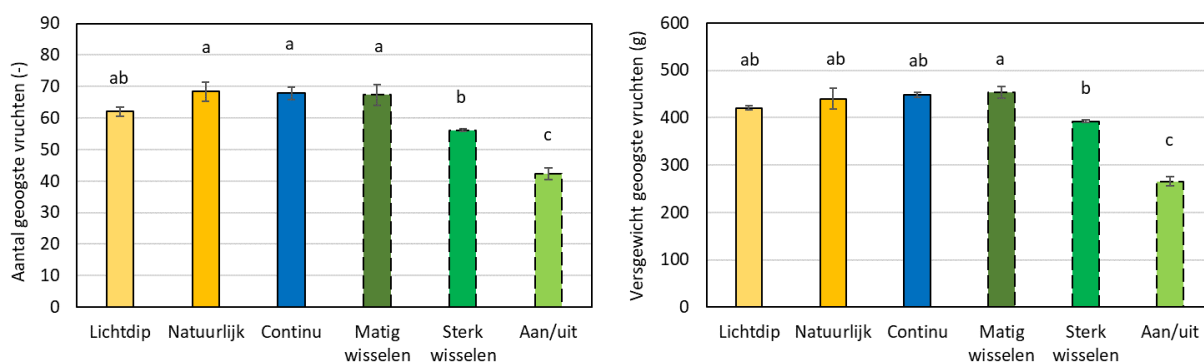


Figuur 3.9 Foto van de oogst op 9 augustus van de 10 meetplanten per tafel (T) van de behandelingen 'Lichtdip' (Dip), 'Natuurlijk' (Nat), 'Continu' (Cont), 'Matig wisselen' (MW) en 'Sterk wisselen' (SW). Voor de tafels met de behandelingen 'Aan/uit' (A/U) waren er geen vruchten om te oogsten.



Figuur 3.10 Foto van de oogst op 14 augustus van de 10 meetplanten per tafel (T) van de behandelingen 'Lichtdip' (Dip), 'Natuurlijk' (Nat), 'Continu' (Cont), 'Matig wisselen' (MW), 'Sterk wisselen' (SW) en 'Aan/uit' (A/U)

Het aantal geoogste rijpe vruchten en het versgewicht daarvan tot en met de eindoogst op 30 augustus verschilde niet tussen de behandelingen 'Lichtdip', 'Natuurlijk', 'Continu' en 'Matig wisselen' (figuur 3.11). Het aantal geoogste rijpe vruchten en het gewicht daarvan was in de behandeling 'Sterk wisselen' lager dan in de behandeling 'Matig wisselen'. De behandeling 'Aan/uit' had verreweg de laagste productie, zowel in aantal als in gewicht (figuur 3.11).



Figuur 3.11 Totaal aantal geoogste rijpe vruchten (links) en totaal versgewicht van de geoogste rijpe vruchten (rechts) bij de destructieve eindoogst bij dynamische belichtingsbehandelingen. De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters in de figuren geven statische aantoonbare verschillen aan ($P < 0.05$).

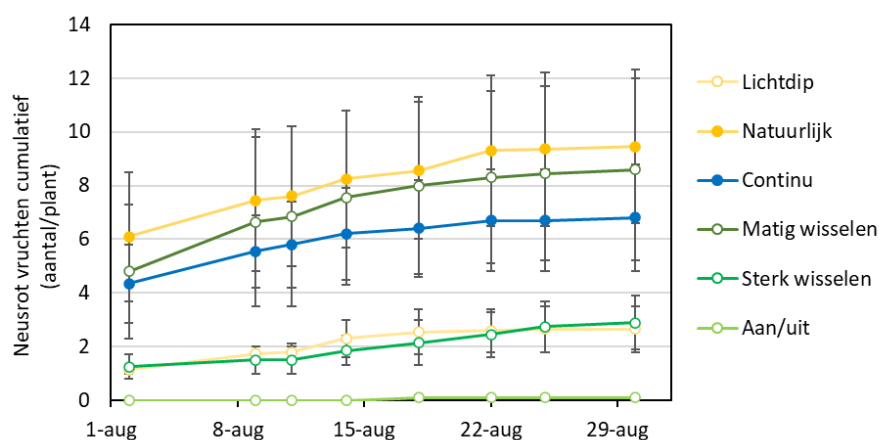
3.3.2 Neusrot

Aan het begin van de teelt had een groot aandeel van de geoogste vruchten neusrot. Van de vruchten met neusrot werden er veel noodrijp, jongere vruchten met neusrot werden namelijk eerder rood dan oudere vruchten zonder neusrot, waardoor ze eerder geoogst moesten worden. De tomaten met neusrot vielen snel van de plant omdat de vruchtsteeltjes ingesnoerd waren (figuur 3.12). Daarom zijn er bij de eerste vruchtoogsten ook niet rijpe vruchten geoogst om te voorkomen dat ze van de plant vielen en niet meer meegerekend konden worden in de oogstdata.

Dat verklaart mede het lage gemiddelde vruchtgewicht in de eerste oogst (figuur 3.7 onder). Later in de teelt kwam er geen nieuwe vruchten met neusrot meer bij. Een opvallend resultaat is dat met name de behandelingen met sterke lichtwisselingen minder vruchten met neusrot hadden dan de behandelingen zonder sterke lichtwisselingen (figuur 3.13). Dit had waarschijnlijk te maken met de watergiftstrategie die (te) lang gelijk is gehouden voor de verschillende behandelingen. De behandelingen met sterke wisselingen hadden minder blad oppervlakte, met name de 'Aan/uit' behandeling en verdampten daardoor minder en kregen bij gelijke watergift dus relatief meer water. Dit suggereert dus dat de behandelingen met meer continu licht te weinig water hebben gehad wat ze vatbaar maakte voor neusrot.



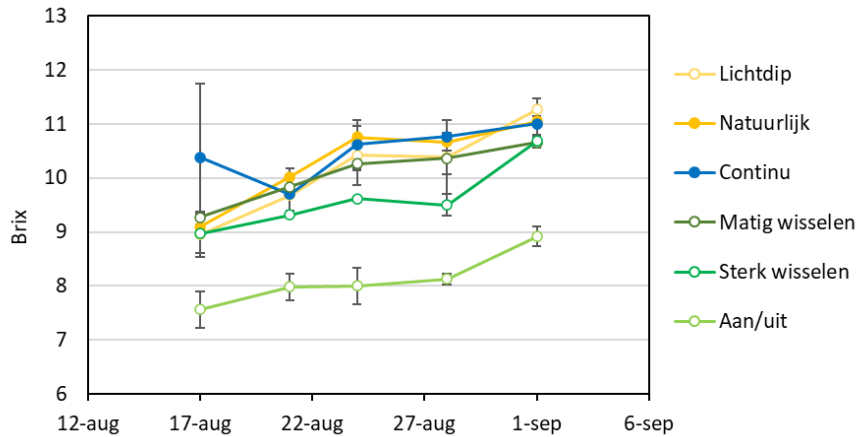
Figuur 3.12 Plant met vruchten met neusrot die eerder afrijpen en insnoeringen in de vruchtsteeltjes waardoor vruchten makkelijk van de plant af vielen.



Figuur 3.13 Cumulatief aantal vruchten met neusrot gedurende de teelt onder de verschillende dynamische lichtbehandelingen. Verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

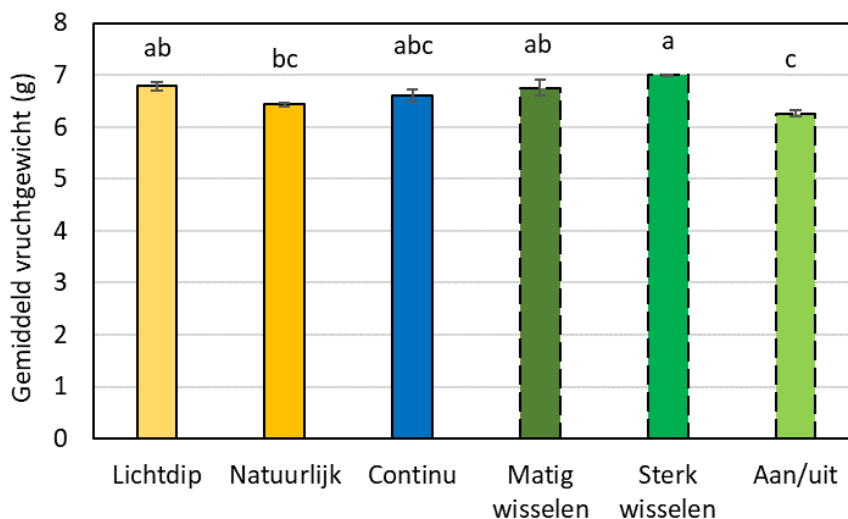
3.3.3 °Brix en gemiddeld vruchtgewicht

Gedurende de teelt werd een aantal maal van de geoogste vruchten de °Brix gemeten, een maat voor het suikergehalte van de vruchten. Tijdens de teelt nam het suikergehalte van de vruchten iets toe (figuur 3.14). De °Brix van de vruchten van de behandeling 'Aan/uit' hadden een aantoonbaar lagere °Brix dan de andere behandelingen. De °Brix van de vruchten uit de behandeling 'Sterk wisselen' was op een aantal momenten lager dan van de andere behandelingen, die onderling niet veel verschilden.



Figuur 3.14 Het verloop van de °Brix van de geoogste vruchten gedurende de teelt onder de verschillende dynamische lichtbehandelingen. Verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Het gemiddeld vruchtgewicht van de geoogste rijpe vruchten verschilden wel tussen de behandelingen, maar deze verschillen waren veel minder groot dan van het aantal geoogste rijpe vruchten. Hieruit blijkt dat de dynamische lichtbehandelingen met name effect hebben op de vruchtzetting en in mindere mate op de uitgroei van de vruchten. Het gemiddeld vruchtgewicht was het laagst voor de behandeling 'Aan/uit', maar verschilde alleen aantoonbaar van de behandelingen 'Sterk wisselen', 'Matig wisselen' en 'Lichtdip' (figuur 3.15). Het gemiddeld vruchtgewicht was het hoogst voor de behandeling 'Sterk wisselen', maar alleen significant hoger dan de behandelingen 'Natuurlijk' en 'Aan/uit'.



Figuur 3.15 Gemiddeld gewicht van de geoogste rijpe vruchten tijdens de teelt bij dynamische belichtingsbehandelingen. De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters in de figuren geven statistische aantoonbare verschillen aan ($P < 0.05$).

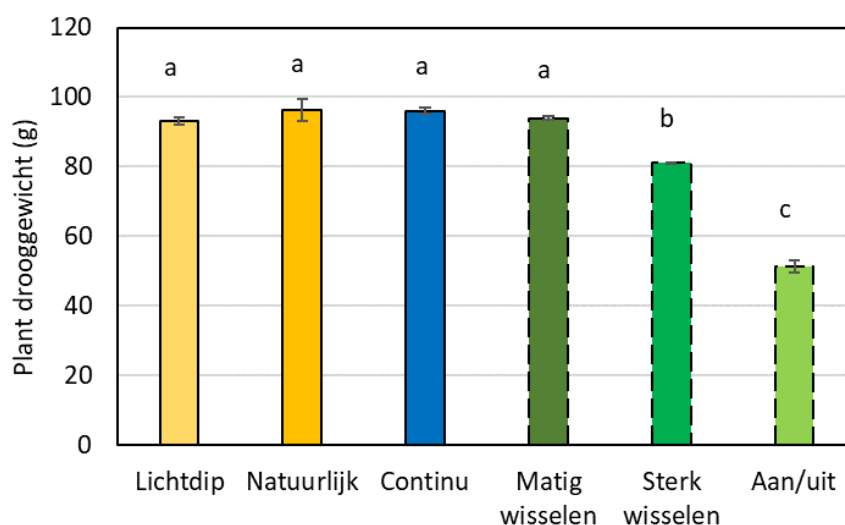
3.4 Destructieve oogst

Op het moment van de destructieve eindoogst (op 30 augustus), was een groot deel van de vruchten al geoogst (zie figuur 3.11), maar er hingen ook nog onrijpe vruchten aan de planten. Bij de eindoogst werden deze geteld en gewogen, en opgeteld bij de reeds geoogste vruchten. Hieruit bleek dat de behandeling 'Lichtdip' het hoogste gewicht had van onrijpe vruchten, gevolgd door 'Natuurlijk', 'Continu' en 'Matig wisselen' (tabel 3.1). Voor deze behandelingen gold dat wanneer rijpe en onrijpe vruchten werden opgeteld, er nagenoeg geen verschil meer was in vruchtproductie. Er bleek alleen een verschil te zijn in snelheid van afrijpen en oogst. Bij de behandelingen 'Sterk wisselen' en 'Aan/uit' hing er ook nog veel gewicht aan onrijpe vruchten aan de plant op het moment van de eindoogst, maar de totale vruchtproductie bleef achter bij de overige behandelingen.

Tabel 3.1 Aantallen en gewichten van rijpe en onrijpe vruchten aan de planten bij de destructieve eindoogst van de proef op 30 augustus 2023, en het totaal aantal en gewicht van de vruchten aan de plant.

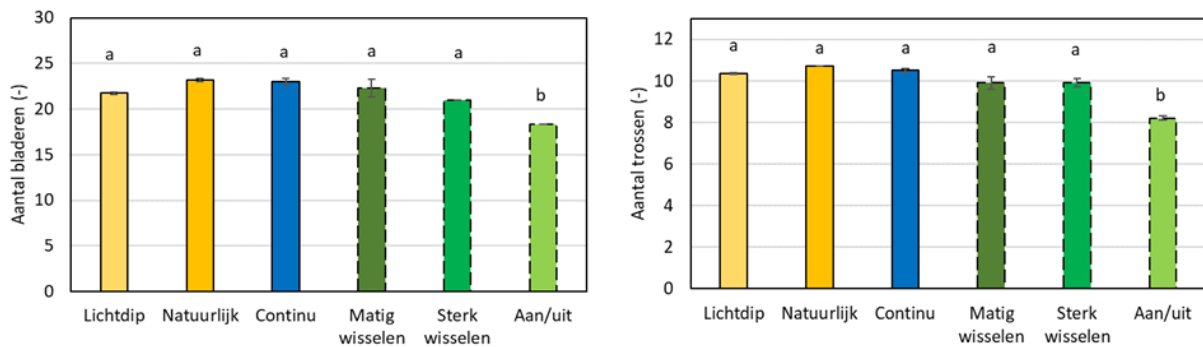
Behandeling	Aantal rijpe vruchten per plant	FW rijpe vruchten per plant	Gemiddeld vruchtgewicht (g/vrucht)	Aantal onrijpe vruchten aan de plant	FW onrijpe vruchten	Gemiddeld vruchtgewicht onrijpe vruchten (g/vrucht)	Totaal aantal vruchten per plant	Totaal FW vruchten per plant
Lichtdip	62 ± 1 ab	421 ± 4 ab	6.8 ab	21 ± 5 a	114 ± 24 a	5.6 a	83 ± 4 ab	535 ± 20 a
Natuurlijk	68 ± 3 a	440 ± 23 ab	6.4 bc	17 ± 1 a	94 ± 7 a	5.4 a	86 ± 2 a	534 ± 15 a
Continu	68 ± 2 a	448 ± 5 ab	6.6 abc	17 ± 4 a	93 ± 24 a	5.7 a	84 ± 2 ab	541 ± 19 a
Matig wisselen	67 ± 3 a	454 ± 12 a	6.7 ab	12 ± 0 a	71 ± 3 a	5.7 a	80 ± 3 ab	525 ± 9 a
Sterk wisselen	56 ± 0 b	393 ± 3 b	7.0 a	20 ± 2 a	113 ± 10 a	5.7 a	76 ± 2 b	506 ± 13 a
Aan/uit	42 ± 2 c	266 ± 9 c	6.3 c	24 ± 0 a	105 ± 3 a	4.4 b	66 ± 2 c	371 ± 6 b

Bij de destructieve eindoogst werden plantlengte, bladoppervlakte, aantal bladeren, aantal trossen, tros lengte, en de vers- en drooggewichten van vruchten, bladeren en stengels bepaald. Om het totaal plantgewicht te bepalen, werden de drooggewichten van bladeren, stengel en vruchten aan de plant opgeteld bij het drooggewicht van de reeds geoogste rijpe vruchten. Hieruit bleek dat de hoeveelheid biomassa die was geproduceerd in de behandelingen 'Lichtdip', 'Natuurlijk', 'Continu' en 'Matig wisselen' vergelijkbaar is, en dat de behandeling 'Sterk wisselen' een lager drooggewicht heeft, en de behandeling 'Aan/uit' aantoonbaar het laagste drooggewicht (figuur 3.16). De verschillen zijn groot: de behandeling 'Aan/uit' heeft bijna 50% minder drooggewicht gevormd dan de behandeling 'Continu'.



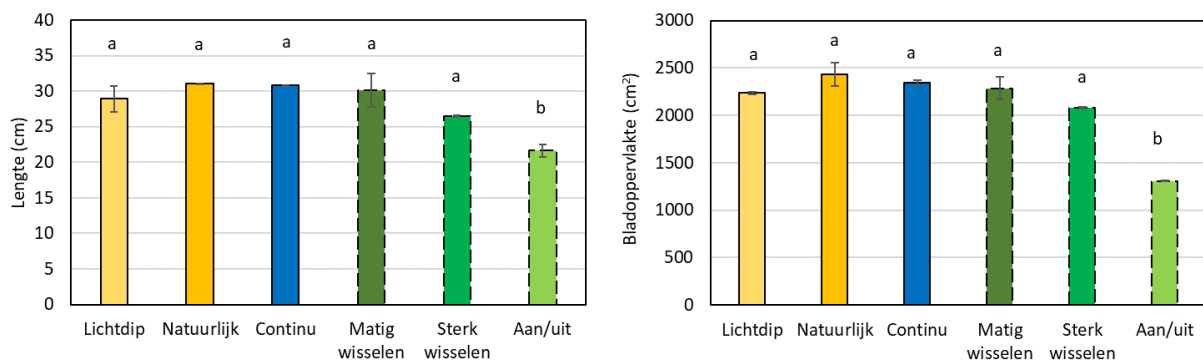
Figuur 3.16 Effect van de lichtbehandelingen op het totale plant drooggewicht (bladeren, stengels, rijpe en onrijpe vruchten) bij de destructieve eindoogst op 30 augustus 2023. De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters in de figuren geven statische aantoonbare verschillen aan ($P < 0.05$).

De ontwikkelingssnelheid van een (tomaten)plant wordt vaak uitgedrukt in het aantal bladeren of trossen dat gevormd wordt. Bij dwergtomaten zijn deze effecten minder duidelijk, omdat deze op een gegeven moment stoppen met ontwikkelen als de trossen aan het groeien zijn. Maar er zijn wel verschillen tussen de behandelingen in aantal gevormde bladeren en trossen (figuur 3.17). De planten die zijn geteeld in de behandeling 'Aan/uit' hebben minder bladeren en trossen gevormd dan de andere behandelingen. Minder bladeren (die ook kleiner zijn, zie figuren 3.2 en 3.3.) leiden tot minder lichtonderschepping en dus assimilatenaanmaak, en minder trossen leiden tot minder vruchtproductie.



Figuur 3.17 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal gevormde bladeren (links) en trossen (rechts) op moment van de destructieve eendoogst op 30 augustus 2023. De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters in de figuren geven statische aantoonbare verschillen aan ($P < 0.05$).

De lengte van de planten is voor de meeste behandelingen vergelijkbaar, alleen de planten geteeld onder 'Aan/uit' zijn korter dan de overige behandelingen (figuur 3.18), en hebben kleiner bladoppervlakte. Het kleinere bladoppervlak wordt veroorzaakt door een lager aantal afgesplitste bladeren (figuur 3.17) en een kleiner bladoppervlak per blad. De verschillen zijn groot: het bladoppervlak van planten geteeld onder 'Aan/uit' is bijna 50% lager dan in de behandeling met natuurlijk licht.

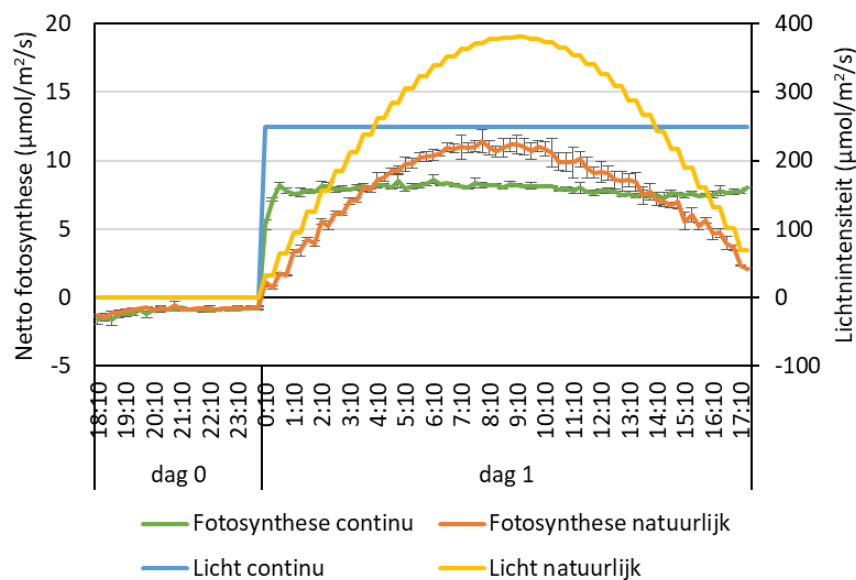


Figuur 3.18 Effect van de lichtbehandelingen op de plantlengte (links) en het bladoppervlak (rechts) op moment van de destructieve eendoogst op 30 augustus 2023. De verticale lijn geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan. Verschillende letters in de figuren geven statische aantoonbare verschillen aan ($P < 0.05$).

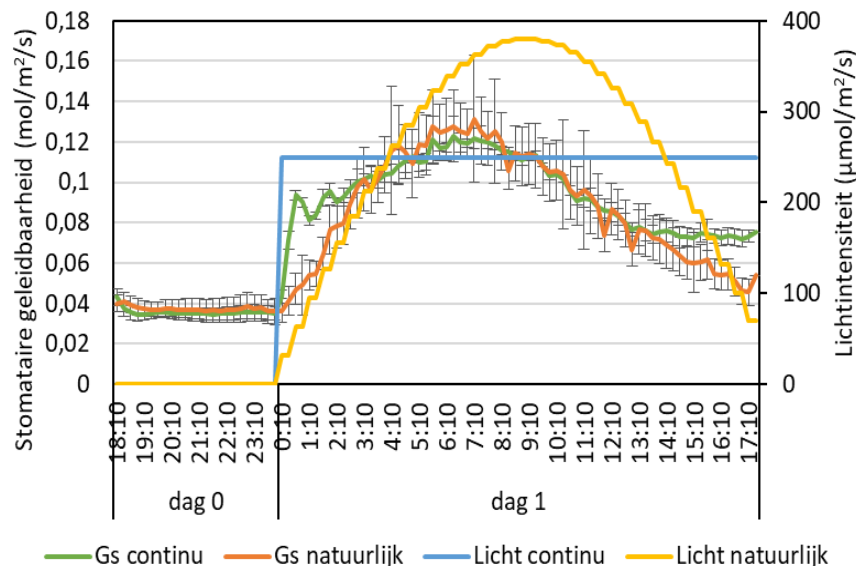
3.5 Fotosynthesemetingen

3.5.1 24 h continu metingen met open kamer

In de behandelingen 'Continu' licht en 'Natuurlijk' licht werd gedurende 24 uur de momentane fotosynthese gemeten waarbij iedere 15 minuten gelogd werd. Wanneer er gedurende de dag een constante lichtintensiteit gegeven wordt, blijft de fotosynthese ook min of meer op het zelfde niveau (figuur 3.19). Wanneer de lichtintensiteit gedurende de dag geleidelijk toe- en afneemt, volgt de fotosynthese ook dit verloop, waarbij te zien is dat bij hoge lichtniveaus de fotosynthese naar verhouding iets achterblijft. Dit wordt veroorzaakt doordat boven lichtniveaus van ca. 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de netto fotosynthese niet meer lineair toeneemt met toenemende lichtintensiteiten. De stomataire geleidbaarheid, een maat voor de huidmondjesopening, neemt toe als het licht aangeschakeld wordt (figuur 3.20). In de behandeling 'Continu' licht, waar het licht in één stap van 0 naar 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ wordt verhoogd, reageert de stomataire geleidbaarheid hierop sterk, en neemt snel toe. In de behandeling 'Natuurlijk' licht, waar de lichtintensiteit geleidelijk toeneemt, neemt ook de stomataire geleidbaarheid geleidelijk toe. Verder volgt de stomataire geleidbaarheid in beide behandelingen een vergelijkbaar patroon gedurende de dag.



Figuur 3.19 Verloop van de netto fotosynthese van bladeren van dwergtomaten gedurende 24 uur in de behandelingen 'Continu' licht en 'Natuurlijk' licht. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan van de fotosynthesemetingen.



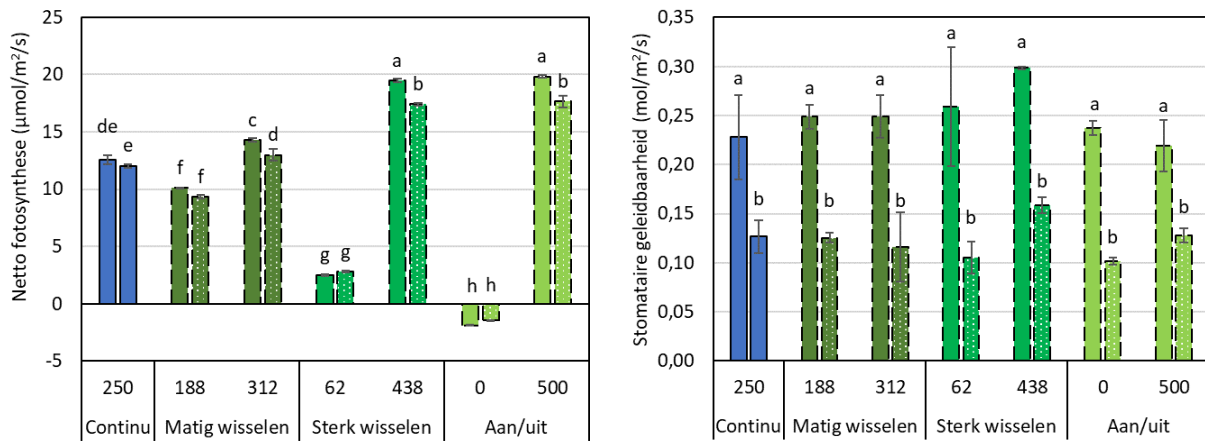
Figuur 3.20 Verloop van de stomataire geleidbaarheid van bladeren van dwergtomaten gedurende 24 uur in de behandelingen 'Continu' licht en 'Natuurlijk' licht. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan van de fotosynthesemetingen.

De gemiddelde netto fotosynthese tijdens de periode waarin belicht wordt, is in de behandelingen 'Continu' en 'Natuurlijk' licht niet aantoonbaar verschillend.

3.5.2 Puntmetingen met gesloten kamer

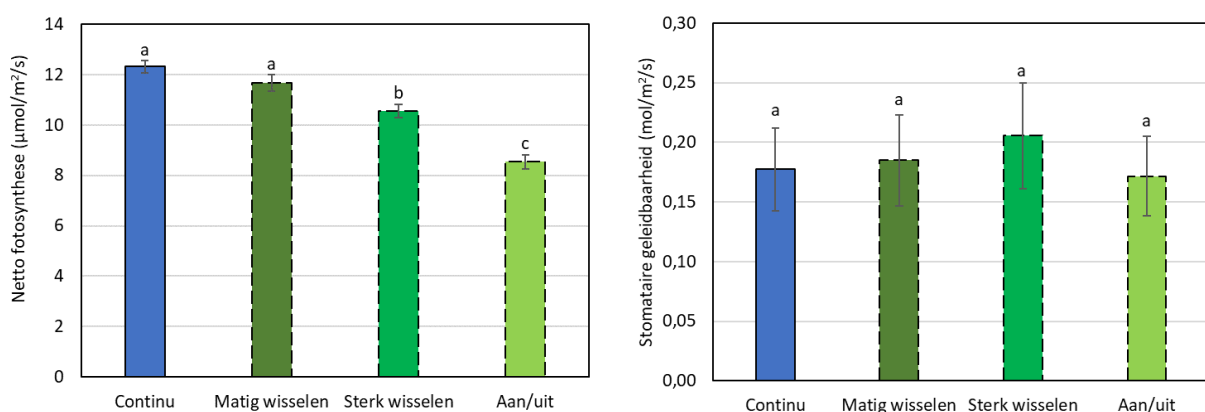
Om te bepalen wat de totale fotosynthese is bij de behandelingen 'Aan/uit', 'Sterk wisselen', 'Matig wisselen' en 'Continu', is tijdens de proef in deze behandelingen de netto fotosynthese gemeten met een gesloten bladkamer. Daarin werd het lichtniveau ingesteld dat op dat moment ingesteld was in die behandeling. Er is gemeten in twee blokken van 8:00-11:00 en 14:00-17:00.

De metingen lieten zien dat er een verschil is in netto fotosynthese tussen de behandelingen. De netto fotosynthese is hoger bij een hoger lichtniveau en negatief wanneer het licht uit stond bij de 'Aan/uit' behandeling (figuur 3.21). In de tweede blok van 14:00-17:00 (gespikkelde kolommen) werd bij hoge lichtintensiteiten een lagere fotosynthese gemeten dan in het eerste tijdsblok 8:00-11:00 (figuur 3.21 links). Bij alle lichtintensiteiten waarbij gemeten werd, bleek dat de stomataire geleidbaarheid (een maat voor de huidmondjesopening) in de middag lager was dan in de ochtend (figuur 3.21 rechts). Het verschil in stomataire geleidbaarheid heeft mogelijk te maken met de hogere temperatuur tijdens de fotosynthesemetingen in de middag dan in de ochtend, en had een effect op de CO₂ opname, dus de fotosynthese.



Figuur 3.21 Netto fotosynthese (links) en stomataire geleidbaarheid (rechts) van bladeren van dwergtomaten geteeld onder de lichtbehandelingen 'Continu', 'Matig wisselen', 'Sterk wisselen' en 'Aan/uit', gemeten bij heersende lichtintensiteit in de ochtend (linkerbalk) en de middag (rechtterbalk, gestippeld). De verticale balk geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

Na het middelen van de fotosynthese en stomataire geleidbaarheid van de twee tijdblokken en van de verschillende lichtniveaus voor de behandelingen met wisselende lichtniveaus, blijkt dat de gemiddelde fotosynthese het hoogste is bij de behandeling met 'Continu' licht en dat deze afneemt wanneer de variatie in lichtniveau toeneemt, maar gemiddelde fotosynthese van 'Matig wisselen' is niet significant lager dan van 'Continu' behandeling (figuur 3.22). Er is geen verschil in de stomataire geleidbaarheid tussen de behandelingen.



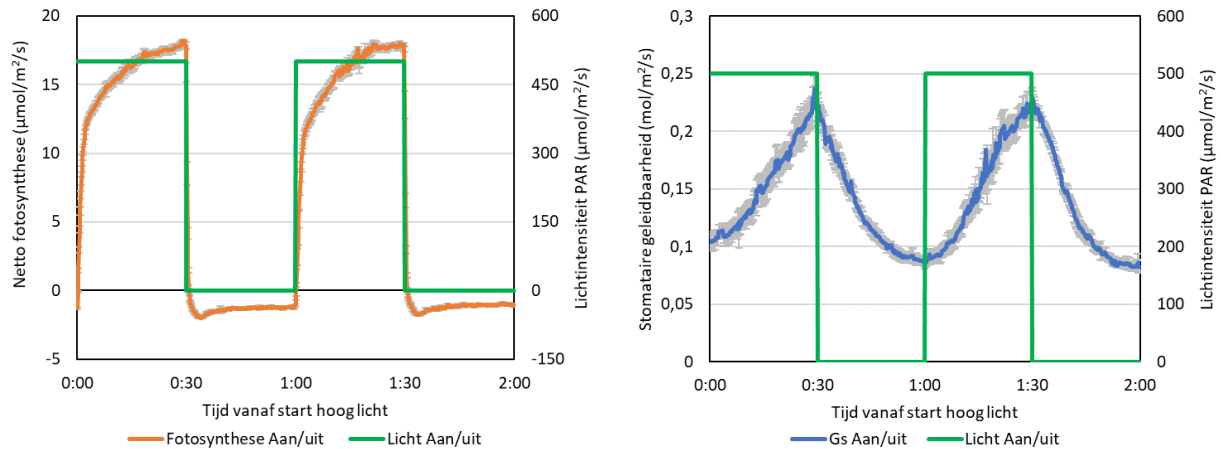
Figuur 3.22 Gemiddelde netto fotosynthese (links) en stomataire geleidbaarheid (rechts) van bladeren van dwergtomaten geteeld onder de lichtbehandelingen 'Continu', 'Matig wisselen', 'Sterk wisselen' en 'Aan/uit'. De verticale balk geeft de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

3.5.3 Aanpassingsnelheid fotosynthese na lichtwisselingen

Om de snelheid van het aanpassen van de fotosynthese op lichtwisselingen te bepalen, is in de behandelingen 'Aan/uit', 'Sterk wisselen' en 'Matig wisselen' gedurende 3 uur in de licht periode de fotosynthese 'Continu' gemeten, waarbij ieder 10 seconden is gelogd. In analyses is gebruikt gemaakt van de data van 2 uur vanaf het moment dat de lichtintensiteit voor de eerste keer verhoogd werd.

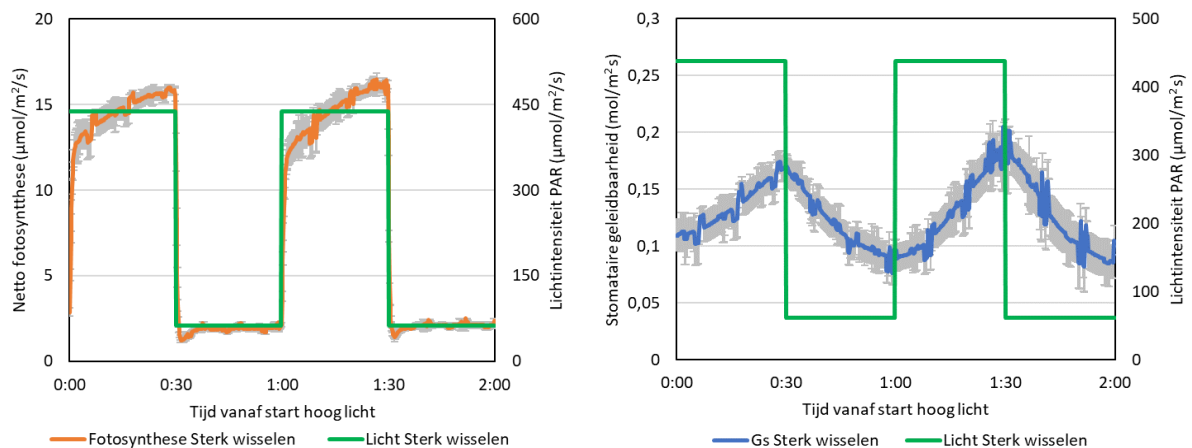
In onderstaande figuren staan de metingen weergegeven voor de behandelingen 'Aan/uit' (figuur 3.23), 'Sterk wisselen' (figuur 3.24) en 'Matig wisselen' (figuur 3.25). In de behandeling 'Aan/uit', waarin het licht ieder half uur wisselde tussen 0 en 500 µmol/m²/s, nam de fotosynthese snel toe als het licht werd aangeschakeld, maar de fotosynthese bereikte geen stabiele waarde binnen 30 minuten (figuur 3.23).

Wanneer het licht werd uitgeschakeld, daalde de fotosynthese direct naar een negatieve waarde. Ook de stomataire geleidbaarheid bereikte geen stabiele waarde: in de 30 minuten dat het licht aan stond, bleef de huidmondjesgeleidbaarheid toenemen, en als het licht was afgeschakeld, nam de stomataire geleidbaarheid weer langzaam af.



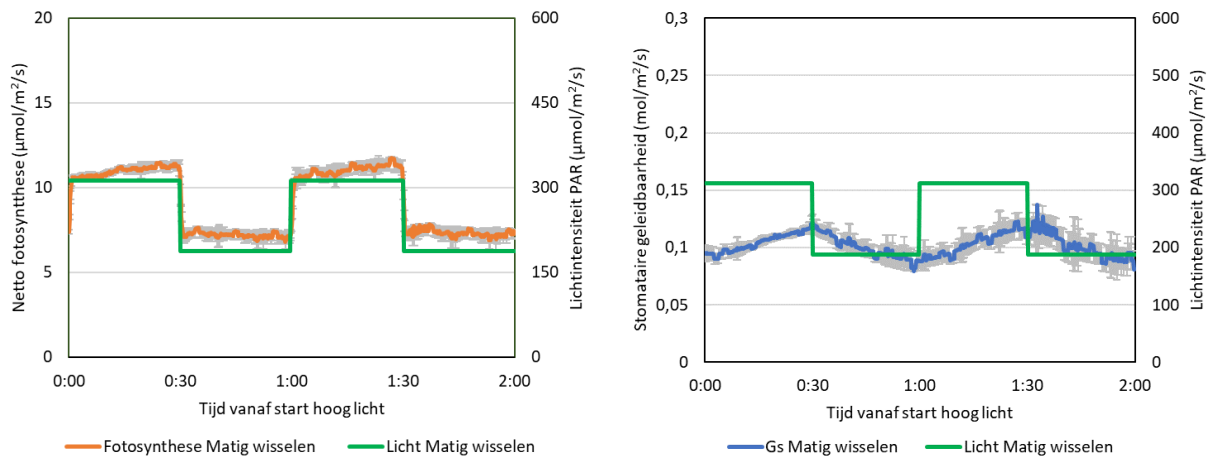
Figuur 3.23 Verloop van de netto fotosynthese (links) en stomataire geleidbaarheid (rechts) van bladeren van dwergtomaten geteeld onder de lichtbehandeling 'Aan/uit' gedurende twee uur, waarbij het licht iedere 30 minuten wisselde tussen 500 en 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

In de behandeling 'Sterk wisselen', waar het licht wisselde tussen 438 en 62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bleef de netto fotosynthese ook toenemen gedurende de 30 minuten dat de lichtintensiteit hoog was en bereikte deze geen stabiele waarde gedurende de 30 minuten licht (figuur 3.24). Evenals in de behandeling 'Aan/uit' bleef de stomataire geleidbaarheid tijdens de lichtwisselingen steeds toe- en afnemen.



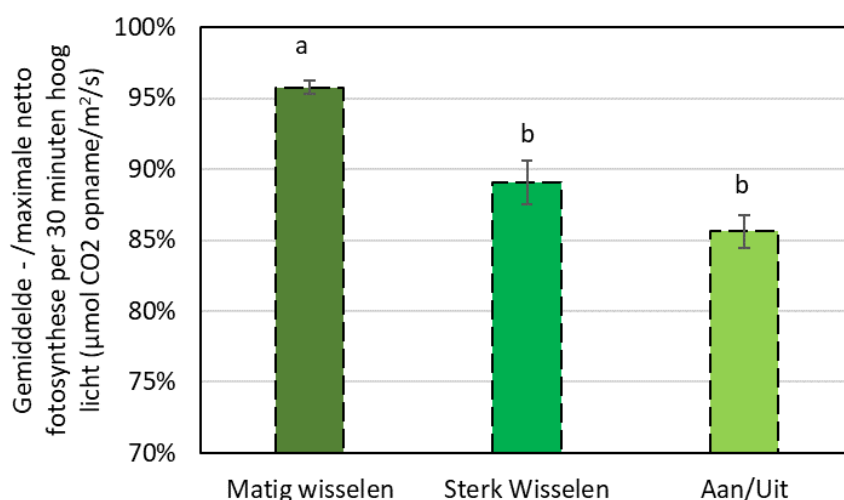
Figuur 3.24 Verloop van de netto fotosynthese (links) en stomataire geleidbaarheid (rechts) van bladeren van dwergtomaten geteeld onder de lichtbehandeling 'Sterk wisselen' gedurende twee uur, waarbij het licht iedere 30 minuten wisselde tussen 438 en 62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

In de behandeling 'Matig wisselen', waar het licht wisselde tussen 312 en 188 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ nam de fotosynthese snel toe wanneer de lichtintensiteit verhoogd werd, en nam vervolgens nog langzaam toe tot de lichtintensiteit weer verlaagd werd (figuur 3.25). Ook in deze behandeling werd de stomataire geleidbaarheid nooit constant, maar bleef mee fluctueren met de lichtwisselingen.



Figuur 3.25 Verloop van de netto fotosynthese (links) en stomataire geleidbaarheid (rechts) van bladeren van dwergtomaten geteeld onder de lichtbehandeling 'Matig wisselen' gedurende twee uur, waarbij het licht iedere 30 minuten wisselde tussen 312 en 188 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

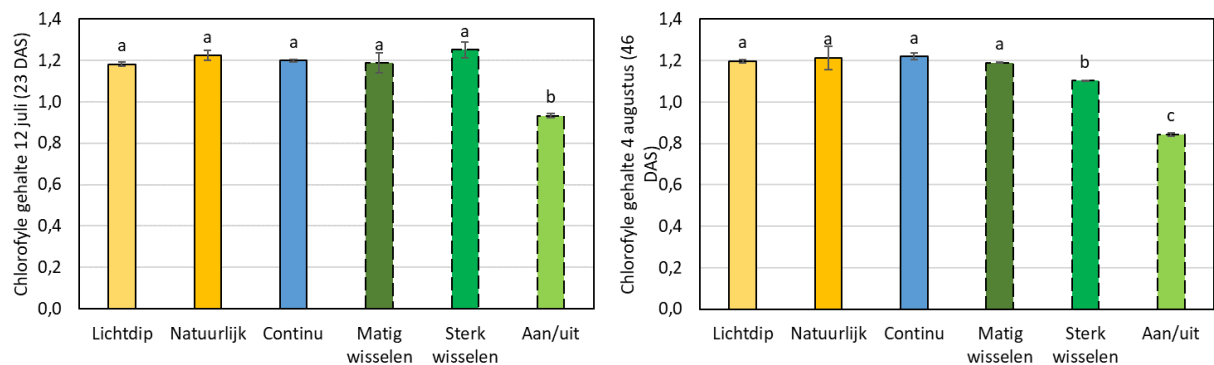
Zoals uit de figuren 3.23 -3.25 bleek, duurt het geruime tijd na de lichtwisselingen voordat de fotosynthese een (min of meer) stabiele waarde bereikt. Om te bepalen wat het verlies aan fotosynthese is door deze aanpassingen, is de gemiddelde fotosynthese tijdens een periode met hoog licht gedeeld door de maximale fotosynthese die tijdens die periode werd gehaald. Op basis van deze berekeningen blijkt dat er meer fotosynthese verloren gaat naarmate de lichtwisselingen sterker zijn (figuur 3.26). In de behandeling 'Matig wisselen' gaat er ongeveer 4% fotosynthese verloren, terwijl dat in de behandeling 'Sterk wisselen' 11% is en in de behandeling 'Aan/uit' 14%.



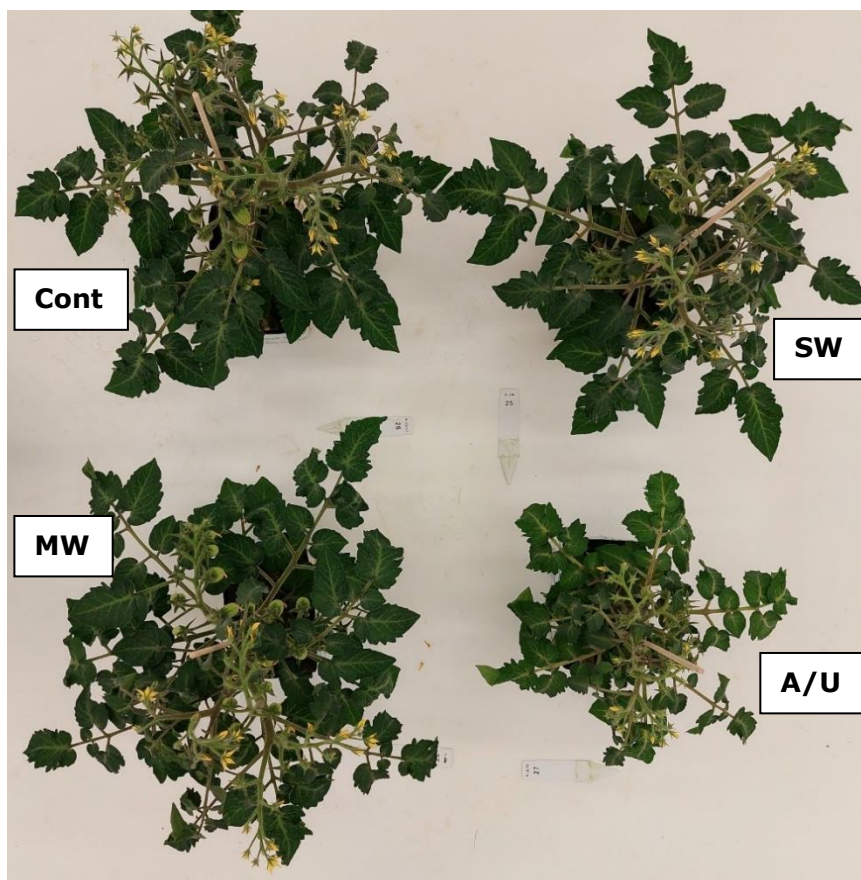
Figuur 3.26 Inschatting van het verlies aan fotosynthese door de aanpassing van de fotosynthese aan lichtwisselingen in de lichtbehandelingen 'Matig wisselen', 'Sterk wisselen' en 'Aan/uit'. Verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan.

3.6 Lichtabsorptie en chlorofylgehalte

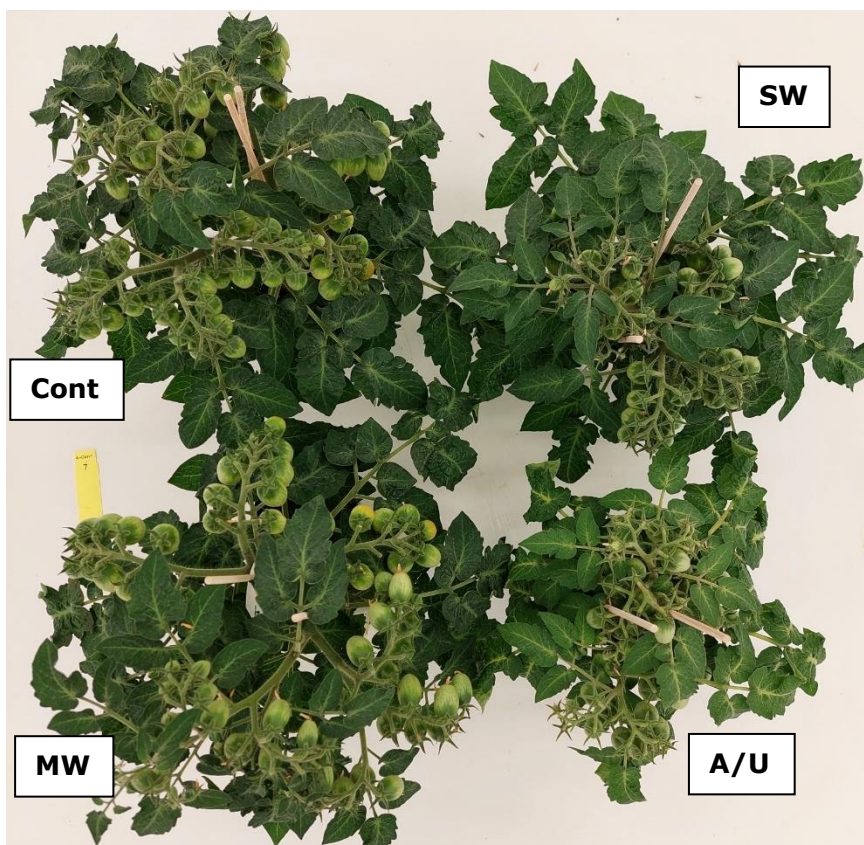
Tijdens de teelt is twee maal het chlorofylgehalte van het blad gemeten, te weten op 12 juli (23 dagen na start behandelingen) en 4 augustus (46 na start behandelingen). Op 12 juli bleken de bladeren van de behandeling 'Aan/uit' een lager chlorofylgehalte te hebben dan de overige behandelingen (figuur 3.27), hetgeen overeenstemt met de visuele waarneming dat alleen deze planten bladeren hadden die iets lichter van kleur waren (figuur 3.28). Op 4 augustus was het chlorofylgehalte van de behandeling 'Aan/uit' het laagst (figuur 3.27), maar was ook het chlorofylgehalte van planten in de behandeling 'Sterk wisselen' lager dan de andere behandelingen, maar hoger dan van 'Aan/uit'. Dit stemt ook overeen met de visuele waarnemingen op 31 juli (figuur 3.29).



Figuur 3.27 Chlorofylgehalte van bladeren van dwergtomaten geteeld in dynamische lichtbehandelingen, gemeten op 12 juli 2023 (linker figuur) en 4 augustus 2023 (rechter figuur). Verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan.



Figuur 3.28 Foto's van bovenaf genomen van dwergtomaten geteeld onder de lichtbehandelingen 'Continu' licht (Cont), 'Matig wisselen' (MW), 'Sterk wisselen' (SW) en 'Aan/uit' (A/U). De foto's zijn genomen op 13 juli 2023.



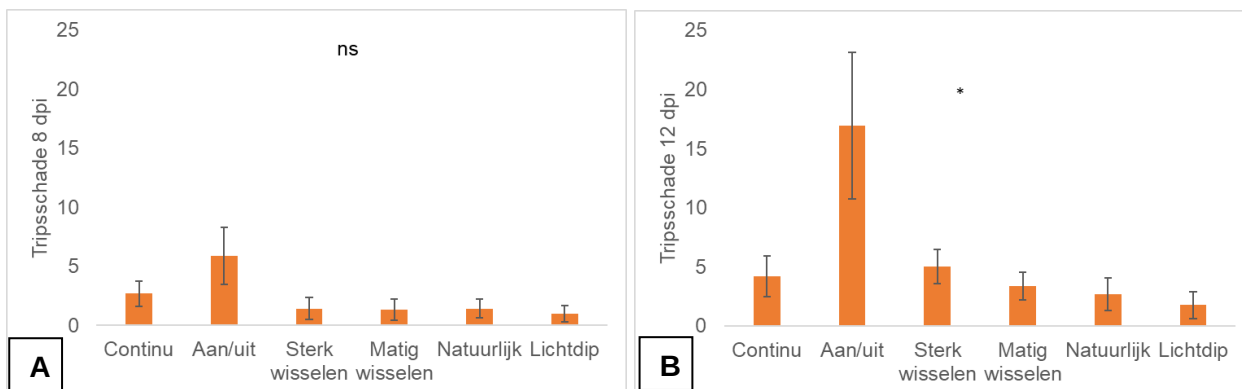
Figuur 3.29 Foto's van bovenaf genomen van dwergtomaten geteeld onder de lichtbehandelingen 'Continu' licht (Cont), 'Matig wisselen' (MW), 'Sterk wisselen' (SW) en 'Aan/uit' (A/U). De foto's zijn genomen op 31 juli 2023.

3.7 Biotoetsen

4,5 week na de start van de lichtbehandelingen werden biotoetsen ingezet om de weerbaarheid tegen trips, *Botrytis* en meeldauw te evalueren.

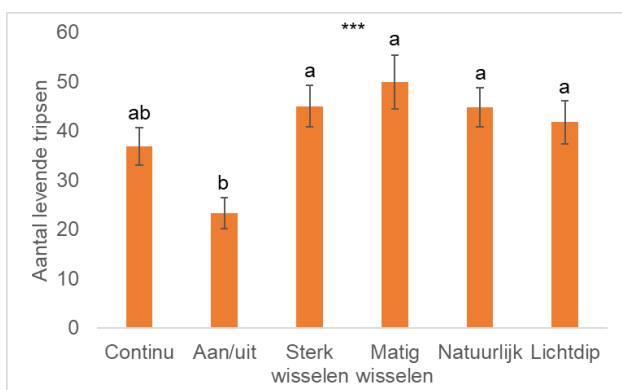
3.7.1 Trips

Bij het beoordelen van de trips biotoetsen bleken de tripsen niet erg actief. De tripsschade werd na 8 en 12 dagen geteld, normaal wordt dit na 6 dagen eenmalig geteld. 8 dagen na inzet was er een zeer beperkte mate van tripsschade te zien. Hierop werden de bakjes nog 4 dagen langer weggezet om eventuele verhogingen in tripsschade te kunnen waarnemen. 8 dagen na het introduceren van de trips was er dan ook geen significant effect van de lichtbehandelingen op de tripsschade waargenomen (figuur 3.30A). De lichtbehandeling 'Aan/uit' liet wel een verhoging van tripsschade ten opzichte van de andere lichtbehandelingen zien, maar de standaard error is hier hoog en een tripsschade van gemiddeld 1,5 mm² bij de andere lichtbehandelingen is zeer laag. De tripsschade 12 dagen na introductie van de tripsen liet een licht significant verschil zien waarbij de behandeling 'Aan/uit' significant de meeste tripsschade heeft ten opzichte van de andere lichtbehandelingen ($p \leq 0.05$, Kruskal-Wallis) (figuur 3.30B). Ook hier is de tripsschade bij de behandelingen erg laag.



Figuur 3.30 Effect van de lichtbehandelingen op tripsschade 8 dagen (A) en 12 dagen (B) na introductie van Californische trips op de deelbladeren van de dwergtomaten. Data zijn gemiddelden van 16 herhalingen met standaardfout.

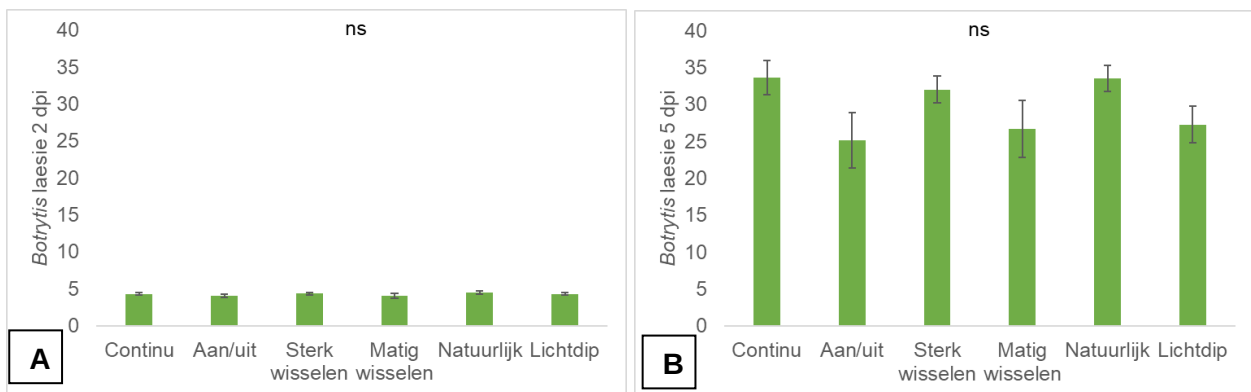
Een opvallende waarneming waren de grote aantallen tripsen in de bakjes. Normaliter worden er bij de beoordeling van tripsschade geen verschillen in aantal tripsen waargenomen. Omdat de toetsen nu langer ingestaan hebben (tot 12 dagen), bleek er wel effect te zijn op het aantal tripsen (reproductie) (figuur 3.31). De behandeling 'Aan/uit' bleek significant minder tripsen te bevatten dan de andere lichtbehandelingen, op de behandeling 'Continu' na ($p \leq 0.001$, ANOVA). Het is mogelijk dat er bij de behandeling 'Aan/uit' minder tripsen zijn omdat er meer tripsschade was. De andere behandelingen zouden minder aantrekkelijk kunnen zijn waardoor de tripsen meer noodzaak zagen om nakomelingen te krijgen en een grotere kans te creëren op voortbestaan.



Figuur 3.3 Effect van de dynamische lichtbehandelingen op het aantal aanwezige levende tripsen in de bakjes geteld 12 dagen na introductie. Data zijn gemiddelden van 16 herhalingen met standaardfout. Verschillende letters geven significante verschillen aan.

3.7.2 Botrytis

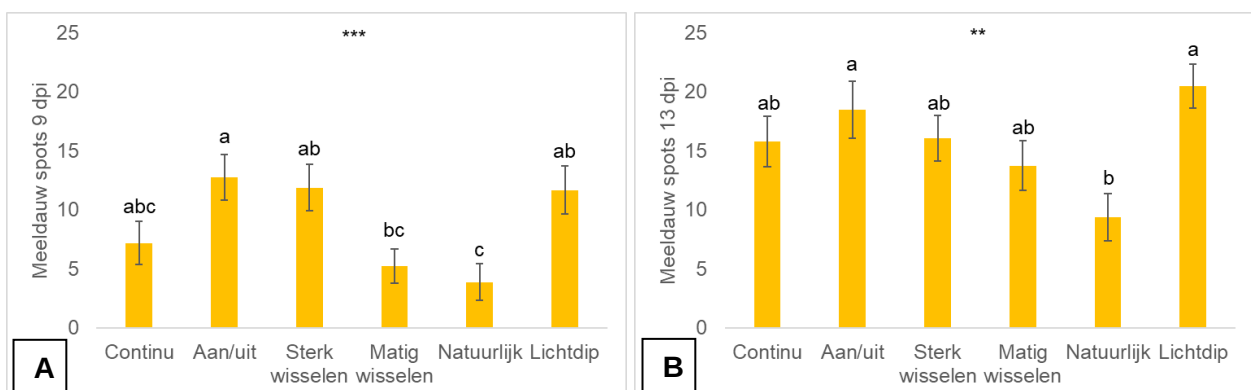
De *Botrytis* reageerde in de biotoets erg snel. Na 2 en 5 dagen werden de *Botrytis* laesies al opgemeten, waar dit gebruikelijk na 3 en 6 dagen gebeurt. Er bleek echter bij zowel 2 als 5 dagen na inoculatie op de deelbladeren geen significant effect in grootte van de laesies tussen de lichtbehandelingen te zijn (figuur 3.32).



Figuur 3.32 Effect van de lichtbehandelingen op *Botrytis laesies* (A) 2 dagen en (B) 5 dagen na inoculatie op de deelbladeren. Data zijn gemiddelden van 16 herhalingen met standaardfout (nulwaarden niet meegenomen ($n=1$ voor 'Aan/uit' en $n=2$ voor 'Matig wisselen')).

3.7.3 Meeldauw

Bij de biotoets voor meeldauw werden spots gescoord 9 dagen en 13 dagen na inoculatie van meeldauw op de deelbladeren. 9 dagen na inoculatie heeft de lichtbehandeling 'Aan/uit' significant meer meeldauwspots dan de lichtbehandelingen 'Matig wisselen' en 'Natuurlijk' ($p \leq 0.001$, ANOVA) (figuur 3.33A). Daarnaast hebben ook de lichtbehandelingen 'Sterk wisselen' en 'Lichtdip' significant meer meeldauw spots dan 'Natuurlijk' ($p \leq 0.001$, ANOVA). Bij 13 dagen na inoculatie zijn alleen de lichtbehandelingen 'Aan/uit' en 'Lichtdip' nog significant verschillend van de lichtbehandeling 'Natuurlijk' ($p \leq 0.01$, ANOVA) (figuur 3.33B).



Figuur 3.33 Effect van de lichtbehandelingen op het aantal meeldauw spots op de deelbladeren (A) 9 dagen na inoculatie en (B) 13 dagen na inoculatie. Data zijn gemiddelden van 16 herhalingen met standaardfout. Verschillende letters geven significante verschillen aan.

4 Discussie en conclusies

In het project "LED licht met de zon mee" wordt gewerkt aan de transitie naar LED belichting om een duurzame, fossielvrije glastuinbouw mogelijk te maken. Om de volgende stappen te kunnen zetten in het verbeteren van de effectiviteit van het gebruik van LED belichting is meer kennis nodig van de fysiologische processen die een rol spelen bij het dagritme, morfologie, assimilatenaanmaak en de verdeling van deze assimilaten op plantniveau. Bij jonge, vegetatieve tomatenplanten is hier onderzoek naar gedaan, waarbij bleek dat wisselende lichtomstandigheden effect kunnen hebben op chlorofylgehalte, fotosynthese en gewicht van de planten. Hierbij gold: hoe sterker het licht wisselt en hoe vaker, des te sterker het effect. Wanneer een minimale hoeveelheid licht wordt gegeven, zijn er geen aantoonbare effecten op groei en plantgewicht (Dieleman e.a., 2024). De vraag die overbleef was hoe deze resultaten vertaald kunnen worden naar een vruchtdragend gewas, waarbij de tomaten een hoge assimilatenbehoefte hebben. Daarom is in deze proef gebruik gemaakt van dwergtomaten, een teeltsysteem dat tegenwoordig veel gebruikt wordt als "modelsysteem" voor geconditioneerde teelt van vruchtgroenten. De dwergtomaten werden blootgesteld aan wisselende lichtomstandigheden, waarbij in alle behandelingen de totale lichtsom hetzelfde was. In voorgaande hoofdstukken staan de resultaten van de metingen van groei en productie beschreven. In dit hoofdstuk worden deze resultaten besproken en worden de implicaties voor de teelt bediscussieerd.

4.1 Effect van lichtwisselingen per half uur op groei en productie

In deze proef werd een reeks lichtwisselingen aangelegd, waarbij de lichtintensiteit constant was gedurende de lichtperiode ('Continu', $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) of iedere 30 minuten matig wisselde in intensiteit (tussen 312 en $188 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), sterk wisselde (tussen 438 en $62 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) of iedere 30 minuten aan- en uitgeschakeld werd (wisselen tussen 500 en $0 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). De dwergtomaten die werden geteeld in de behandeling 'Matig wisselen' verschilden in geen van de eigenschappen (biomassa, lengte, vruchtproductie, fotosynthese) van de planten die werden geteeld onder 'Continu' licht. Dat betekent dat lichtwisselingen waarbij het lichtniveau iedere 30 minuten 25% hoger ligt dan bij 'Continu' licht en daarna 25% lager geen effect heeft op gewasgroei en ontwikkeling.

Wanneer de lichtwisselingen sterker zijn, werden er wel effecten waargenomen. In de behandeling 'Sterk wisselen', waar het licht steeds 75% hoger of 75% lager was dan bij 'Continu' licht, was de totale geproduceerde biomassa lager dan in de behandeling met 'Continu' licht. Het aantal rijpe vruchten dat werd geoogst was lager dan in de 'Continu' licht behandeling, maar dat werd voornamelijk veroorzaakt door een latere start van de productie. Het totaal gewicht van de vruchten (rijp en onrijp) was niet verschillend. Het aantal vruchten was lager, maar dit werd gecompenseerd door een iets hoger gemiddeld vruchtgewicht. Uit de onderliggende metingen bleek dat de fotosynthese in de behandeling 'Sterk wisselen' lager was dan in de behandeling met 'Continu' licht, omdat de fotosynthese in het traject van 250 naar $438 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ niet meer lineair toeneemt.

Wanneer het licht ieder half uur af- en aangeschakeld werd, werd de groei van het gewas sterk geremd. Het totale plantdrooggewicht aan het einde van de proef lag ruim 40% lager dan in de behandeling 'Continu' licht. Dit wordt veroorzaakt doordat de planten korter zijn met kleinere bladeren, en daarom minder licht onderscheppen. Verder splitsten deze planten minder bladeren en minder trossen af, en werden er per tros minder vruchten aangelegd. Daardoor was de productie van deze planten lager dan van alle andere behandelingen. De behandeling 'Aan/uit' was de enige behandeling waarbij het chlorofylgehalte aantoonbaar lager was dan bij de andere behandelingen. Dit is een interessante observatie, want in de proeven met jonge planten was het chlorofylgehalte ook in behandelingen met minder extreme lichtwisselingen lager dan de referentie. In deze proef met dwergtomaten blijkt chlorofylgehalte, zichtbaar als "groenheid" van de plant, niet een vroege indicator voor een verminderde groei.

De behandeling waarbij het licht ieder half uur aan- of uitgeschakeld werd, had ook het meest effect op de plantweerbaarheid. Deze planten bleken gevoeliger voor tripsschade en meeldauw. Het effect van deze behandeling lijkt op het effect van een lagere lichtintensiteit, die leidt tot een verminderde plantweerbaarheid door belemmering van de JA en SA afweerroutes. Voor *Botrytis* gold dat er geen significante effecten tussen de lichtbehandelingen gemeten werden. Aanpassingen van het toepassen van dynamische belichtingsstrategieën leveren voor de weerbaarheid tegen *Botrytis* dus geen beperkingen op.

4.2 Patroon van belichting gedurende de dag

Een groot verschil tussen het telen onder daglichtloze condities (vertical farms) en in teeltsystemen in aanwezigheid van 'Natuurlijk' licht (kassen) is het verloop van de lichtintensiteit gedurende de dag. Waar in vertical farms vaak geteeld wordt met een 'Continu'e lichtintensiteit gedurende de belichtingsperiode, neemt de lichtintensiteit in een kas eerst toe en daarna af volgens een typisch sinusachtig patroon. Daarbij is het zowel in de kas als in vertical farms tegenwoordig zo dat het licht op de duurste uren van de dag gedimd of afgeschakeld wordt. Daarom werden in deze proef ook drie behandelingen vergeleken om te bepalen hoe dit lichtpatroon de groei en productie beïnvloedt. In de behandeling 'Continu' werd 18 uur met $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belicht. In de behandeling 'Natuurlijk' licht, nam de lichtintensiteit geleidelijk toe naar bijna $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en daarna weer geleidelijk af. De behandeling 'Lichtdip' was zoveel mogelijk de weergave van een praktijksituatie, waarin om middernacht werd begonnen met belichten met $180 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, na 7 uur werd dit onderbroken door een uur het licht af te schakelen, en daarna werd er weer belicht met $180 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ waarbij weer extra werd belicht volgens het 'Natuurlijk'e patroon van het zonlicht.

Wanneer de groei en productie van de planten geteeld onder 'Continu' licht en 'Natuurlijk' licht worden vergeleken, blijkt dat er geen verschil is in alle planteigenschappen die zijn gemeten. Of het licht 'Continu' wordt gegeven of met de zon mee heeft geen effect op strekking, biomassa, bloeisnelheid, het aantal geoogste vruchten en gewicht daarvan, en de fotosynthesesnelheid. Wel is het zo dat de behandeling 'Natuurlijk' licht een hoge weerbaarheid had tegen meeldauw, in vergelijking met de behandeling 'Lichtdip'.

Wanneer het verloop van het lichtniveau vergelijkbaar was met een belichte teelt in de kas, bleek dat de dwergtomaten een week later in productie kwamen. Maar dit vertaalde zich niet in een aantoonbaar verschil in productie, ten opzichte van de planten die werden geteeld onder een constante lichtintensiteit. Voor alle andere planteigenschappen bleek ook dat er geen verschillen waren 'Continu' licht.

Het lijkt er op dat een onderbreking van de lichtbehandeling met periodes zonder licht de plantweerbaarheid tegen insecten en biotrofe schimmels zoals meeldauw verlaagt maar geen effect heeft op necrotrofe schimmels, zoals *Botrytis*. Het effect lijkt afhankelijk van het aantal periodes zonder belichting. De grootte van de meeldauwspots nam al toe na een uur licht uit ('Lichtdip', waar de tripsaantasting alleen hoger was in de behandeling 'Aan/uit'.

4.3 Conclusie

De resultaten van deze proef laten zien dat dwergtomaten een grote integratiecapaciteit hebben voor lichtintensiteit binnen een etmaal. Wanneer de totale dagelijkse lichtsom (DLI, daily light integral) vergelijkbaar is, blijkt dat behandelingen waarbij lichtwisselingen worden toegepast per half uur of als patroon gedurende de dag geen effect hebben op fotosynthese, groei en productie, als er tenminste een minimum lichtniveau wordt aangehouden. Wanneer het licht ieder half uur aan- of afgeschakeld wordt, wordt duidelijk een grens overschreden, en wordt de groei geremd, met als resultaat kleinere planten, minder vruchten, een lagere productie en minder biomassa. Wanneer het licht in de ochtend gedurende 1 uur wordt afgeschakeld zonder dat er natuurlijk licht is, heeft dit geen consequenties voor groei en productie.

Literatuur

- Bhuiyan, R. & Van Iersel, M. W. (2021). Only extreme fluctuations in light levels reduce lettuce growth under sole source lighting. *Frontiers in Plant Science*, 12, 619973. Doi: 10.3389/fpls.2021.619973
- Dieleman, J.A., Van Steekelenburg, G., Carpineti, C., Weerheim, K., Noordam, M., Leiss, K., 2024. Dynamisch belichten in jonge tomatenplanten: grenzen en mogelijkheden. WPR rapport 1187.
- Kaiser, E., Matsubara, S., Harbinson, J., Heuvelink, E. & Marcelis, L. F. M. (2018). Acclimation of photosynthesis to lightflecks in tomato leaves: interaction with progressive shading in a growing canopy. *Physiologia Plantarum* 162(4): 506-517. Doi: [10.1111/ppl.12668](https://doi.org/10.1111/ppl.12668)
- Kalaji, H. M., Schansker, G., Ladle, R. J., Goltsev, V., Bosa, K., Allakhverdiev, S. I., Brestic, M., Bussotti, F., Calatayud, A. & Dąbrowski, P. (2014). Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. *Photosynthesis research* 122: 121-158. Doi: 10.1007/s11120-014-0024-6
- Kimura, H., Hashimoto-Sugimoto, M, Iba, K., Terashima, I. & Yamori, W. (2020). Improved stomatal opening enhances photosynthetic rate and biomass production in fluctuating light. *Journal of Experimental Botany* 71: 2339–2350. Doi: 10.1093/jxb/eraa090
- Long, S.P., Taylor, S.H., Burgess, S.J. Carmo-Silva, E., Lawson, T., De Souza, A.P., Leonelli, L. & Wang, Y. (2022). Into the shadows and back into sunlight: photosynthesis in fluctuating light. *Annual Review of Plant Biology* 73(1), 617-648. Doi: 10.1146/annurev-arplant-070221-024745
- Morales, A., and Kaiser, E. (2020). Photosynthetic acclimation to fluctuating irradiance in plants. *Frontiers in Plant Science* 11: 268. Doi: 10.3389/fpls.2020.00268
- Violet-Chabrand, S., Matthews, J. S. A., Simkin, A. J., Raines, C. A. & Lawson, T. (2017). Importance of fluctuations in light on plant photosynthetic acclimation. *Plant Physiology* 173(4): 2163-2179. Doi: 10.1104/pp.16.01767
- Zhang, Y., Kaiser, E., Marcelis, L.F.M., Yang, Q. & Li, T. (2020). Salt stress and fluctuating light have separate effects on photosynthetic acclimation, but interactively affect biomass. *Plant Cell and Environment* 43: 2192-2206. Doi: 10.1111/pce.13810.

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



Wageningen University & Research
BU Glastuinbouw
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
E glastuinbouw@wur.nl
wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1359



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
