



Energiebesparing met langere golflengten

Danja Brandsma-Razzon, Jos Paul, Caterina Carpineti, Anouk van den Bosch, Jaco den Bakker, Mark van Hoogdalem, Helena Buijs, Anna Okula, Agnieszka Agiewka, Khanh Pham, Gert Vletter, Bram van Haaster, Justyna Wicek, Puspa Khanal Joshi & Kees Weerheim



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat

In deze studie wordt onderzocht of langgolvlige Elektromagnetische (EM) straling met een frequentie van 1-15MHz effect heeft op de fysiologie van tomaat, komkommer en anthurium. Dit wordt gedaan met behulp van modulatoren, die volgens gebruikers, in de lichtarme wintermaanden een positief effect hebben op de plantengroei. Dit zou tot energiebesparing kunnen leiden. Er zijn in deze studie twee proefopstellingen gemaakt waaronder een hoge draadteelt in de kas en een teelt in klimaatcellen. Er werden echter geen duidelijke effecten gevonden van de EM straling geproduceerd door de modulatoren op de fysiologie van de plant. De verschillen die wel gevonden werden in groei en fotosynthese waren niet in het voordeel van de EM- behandeling en leek in de kasproef eerder een effect te zijn van verschil in lichtintensiteit. Of langgolvlige EM straling met een frequentie van 1-15 MHz een effect heeft op de plantengroei is echter moeilijk te concluderen. De veldsterkte die gegenereerd werd door de modulatoren was laag en kwam niet overeen met eerder gepubliceerd onderzoek. Op basis van deze studie lijkt langgolvlige EM straling met een frequentie van 1-15 MHz en een veldsterkte van 0,125 nT geen duidelijke bijdrage te leveren aan de energiebesparing in de glastuinbouw.

Abstract

This study investigates whether long-wave electromagnetic (EM) radiation with a frequency of 1-15 MHz has an effect on the physiology of tomato, cucumber and anthurium. This is done using modulators, which according to users, have a positive effect on plant-growth during the low-light winter months. This could lead to energy saving. Two test setups were created in this study, of which a highwire cultivation in the greenhouse and a cultivation in climate cells. However, no clear effect was found of EM radiation produced by the modulators on the physiology of the plant. The differences that were found in growth and photosynthesis were not in favor of the EM- treatment and in the greenhouse the difference seemed to be rather due to a difference in light sum. Whether long-wave EM radiation with a frequency of 1-15MHz has an effect on plant growth is difficult to conclude. The field strength generated by the modulators was low and did not correspond with previously published research. Based on this study, long wave EM radiation with a frequency of 1-15MHz and a field strength of 0.125 nT is not making a clear contribution to saving energy in the greenhouse horticulture sector.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1372

Projectnummer: 3742357400

DOI: <https://doi.org/10.18174/679804>

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



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



KAS ALS
ENERGIEBRON



THE NEXT DIMENSION IN
LED GROW LIGHTS

Disclaimer

© 2025 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 vervaelvoudigd, 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

Voorwoord	5
Samenvatting	7
1 Introductie	9
1.1 Aanleiding en doel van deze studie	9
1.2 Het EM-spectrum	9
1.3 Welke golflengtes hebben een effect op de plant?	10
1.4 Vragen en hypothesen	11
1.5 Indeling van het verslag	11
2 Deel 1: Kasproef komkommer en tomaat	12
3 Materiaal en methoden	13
3.1 Plant materiaal	13
3.2 Opstelling	13
3.3 Behandeling met de modulatoren van bedrijf A	14
3.4 Klasklimaat en belichting	17
3.5 Irrigatie en nutriënten	18
3.6 Gewasbeheer	18
3.7 Plantmetingen	19
3.7.1 Destructieve oogst	19
3.7.2 Metingen komkommer	19
3.7.3 Metingen tomaat	19
3.7.4 Fotosynthese en huidmondjesgeleiding	20
3.7.5 Efficiëntie van de fotosynthese	20
3.7.6 Genexpressie	20
3.8 Statistische analyse	21
4 Resultaten Kasproef komkommer & tomaat	22
4.1 Gerealiseerd klimaat	22
4.2 Plantengroei	23
4.2.1 Een kortere stengel bij komkommer en tomaat in de EM-behandeling.	23
4.2.2 Aantal bladeren aan de plant en totale bladproductie.	25
4.3 Productie	27
4.4 Status van de plant.	31
4.5 Fotosynthese en huidmondjesgeleiding	32
4.6 Geen duidelijke verschillen in de efficiëntie van de fotosynthese	33
4.7 Genexpressie	35
5 Tussentijdse discussie Kasproef	36
5.1 Er is geen duidelijk effect van EM straling van 1-15 MHz op de groei, ontwikkeling en opbrengst van komkommer en tomaat	36
5.2 Geen eenduidig effect van de EM-modulatoren op de plant fysiologie	37
6 Deel 2: Experimenten Klimaat cellen	38
7 Materiaal en methoden	39
7.1 Plant materiaal	39
7.2 Opstelling en behandelingen	39
7.3 EM-Metingen	41
7.4 De klimaatcellen	42

7.5	Klimaat en belichting	43
7.6	Planning en plantmetingen	43
7.6.1	Plant metingen Anthurium	43
7.6.2	Wekelijkse metingen tomaat	44
7.6.3	Fotosynthese en huidmondjesgeleiding	44
7.6.4	Efficiëntie fotosynthese en pigment metingen	45
7.6.5	VisionSysteem	45
7.7	Statistische analyse	46
8	Resultaten Klimaatcellen Anthurium en tomaat	47
8.1	Klimaat realisatie	47
8.2	Plantengroei Anthurium	47
8.3	Fotosynthese Anthurium	49
8.4	Chlorofyl fluorescentie en pigmenten Anthurium	49
8.5	Plantmetingen tomaat	50
8.6	Pigment metingen en efficiëntie van de fotosynthese	52
9	Discussie	54
9.1	Heeft EM straling effect op groei?	54
9.2	Heeft EM straling effect op de fotosynthese en huidmondjesgeleiding?	54
9.3	Geen verschil in expressie van <i>HY5</i> , de hoofdregelaar van licht gestuurde processen	55
9.4	Geen duidelijk effect van behandeling met de modulatoren op de pigmenten in het blad	55
10	Conclusies en aanbevelingen	56
	Literatuur	57
	Appendix	59

Voorwoord

Voor u ligt het verslag; Energiebesparing met langere golflengten. Dit verslag is tot stand gekomen door de inzet van vele collega's en betrokkenen die ik hierbij hartelijk wil bedanken. Het gebruik van langgolvlige elektromagnetische straling voor het beïnvloeden van plantprocessen is een controversieel onderwerp. Er zijn veel tegenstrijdige studies gepubliceerd, en de vraag blijft nog steeds of, en zo ja hoe, dit de plantengroei en fysiologische processen beïnvloed. In dit verslag hebben wij een zo goed mogelijke experimentele opzet gemaakt om dit te kunnen testen. Onze expertise is in teelt en plant fysiologie en daarom zullen we in dit verslag geen mogelijke natuurkundige verklaringen leveren. Helaas is de projectleider, wegens wisselen van baan, niet bij de afronding van het project betrokken geweest. We hebben in dit verslag alle resultaten zo goed mogelijk verwerkt en beschreven en hopen dat het recht doet aan de tijd en energie die in deze studie is gestoken. De leverancier van de modulatoren heeft er voor gekozen om in deze studie anoniem te blijven en wordt daarom aangeduid met de naam bedrijf A.

Danja Brandsma-Razzon

Samenvatting

De kortgolvlige elektromagnetische (EM) straling is essentieel voor de groei en ontwikkeling van de plant. Het is echter onduidelijk of langgolvlige EM straling met een frequentie van 1-15 MHz ook de plantengroei kan beïnvloeden. Bedrijf A is sinds een aantal jaren bezig om juist dit te onderzoeken. Dit wordt gedaan met behulp van modulatoren die EM straling genereren met een frequentie van 1-15MHz. Gebruikers van deze modulatoren rapporteren positieve effecten op de groei met name in de lichtarme wintermaanden. Dit zou de energiebesparing in de glastuinbouw kunnen bevorderen. In deze studie is gekeken of langgolvlige EM straling met frequentie van 1-15MHz daadwerkelijk effect hebben op de groei en fysiologie van de plant. De studie is opgedeeld in twee delen:

In het eerste deel is gekeken wat het effect is van EM straling op de groei en fysiologie van twee hogedraad gewassen, komkommer en tomaat in twee verschillende kas compartimenten. Hierbij werden geen duidelijke verschillen geobserveerd met uitzondering van een verschil in plant lengte. De plantlengte van zowel komkommer als tomaat was significant lager in de EM-behandeling. Ook de oogst van komkommer was significant lager in de EM-behandeling. Dat dit het resultaat was van de modulatoren is onwaarschijnlijk. Het verschil ontstond voornamelijk in de laatste 5 weken, waarbij de lichtsom in de EM-afdeling bijna 10% lager was dan in de controle behandeling. Komkommer had naast een lagere oogst en kortere plantlengte ook een lagere fotosynthese en chlorofyl inhoud. Bij tomaat werd een lagere flavonoïde inhoud gevonden wat overeenkomt met eerder gepubliceerd onderzoek.

In het tweede deel is onderzocht of EM straling effect heeft op de groei en fysiologie van anthurium en jonge tomatenplanten die gekweekt worden in klimaatcellen. In dit deel van de studie wordt er gebruikt gemaakt van kooien van Faraday om het aantal herhalingen te vergroten en eventuele effecten van licht en klimaat te kunnen verwaarlozen. Uit deze proef bleek dat er in tegenstelling tot deel 1 van deze studie geen verschil was in de groei van jonge tomatenplanten. Dit ondersteunt de hypothese dat de eerder geobserveerde verschillen in plantlengte niet het gevolg was van de behandeling met EM-straling. Wel werd er in dit deel van de studie een duidelijk kleiner bloemoppervlak gevonden bij anthurium. Ook was de efficiëntie van de fotosynthese lager in Anthurium in de EM- behandeling. Het moet verder onderzocht worden of dit komt door de behandeling met de modulatoren.

Uit de metingen die gedaan zijn aan de modulatoren is gebleken dat de veldsterkte die de modulatoren genereren vele malen lager is dan de veldsterkte in eerder gepubliceerd onderzoek. Het blijft dus de vraag of het uitblijven van duidelijke resultaten het gevolg is van de lage veldsterkte of dat EM straling met een frequentie van 1-15MHz weinig effect heeft op de plantengroei. Dit moet onderzocht worden in een meer fundamenteel onderzoek met meerdere veldsterktes en frequenties. Gebaseerd op deze resultaten lijkt het gebruik van langgolvlige EM straling met een frequentie van 1-15 MHz en een veldsterkte van 0,125 nT geen duidelijke bijdrage te kunnen leveren aan de energiebesparing in de glastuinbouw.

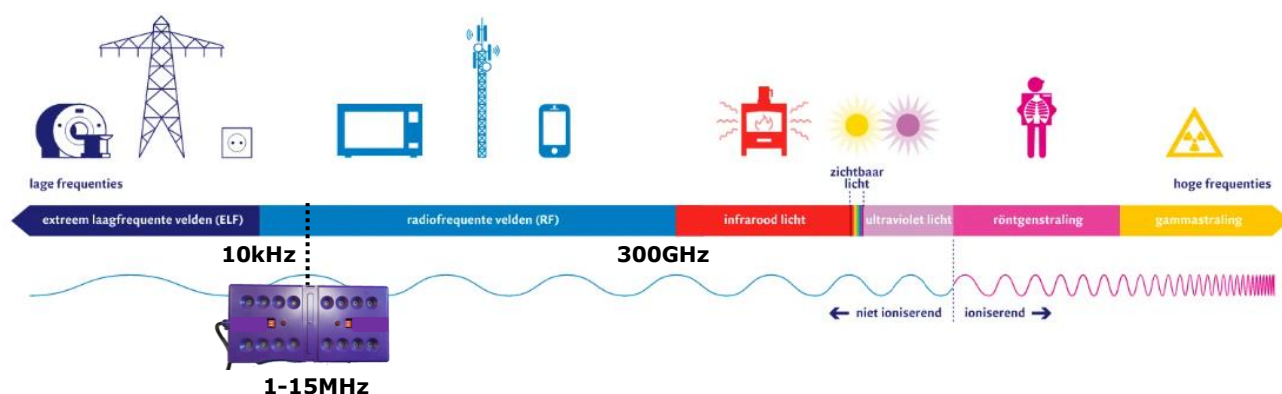
1 Introductie

1.1 Aanleiding en doel van deze studie

Bedrijf A is sinds een aantal jaren bezig met onderzoek naar de effecten van Elektromagnetische (EM) golven met een frequentie van 1-15 MHz op de plantengroei. Sinds 2018 wordt daarin samengewerkt met Bunnik Bromelia die bij gebruik van de modulatoren van bedrijf A positieve effecten op de plantengroei observeerden. Deze modulatoren hebben een vermogen van enkel 5 Watt en zouden juist tijdens de lichtarme wintermaanden voor verbeterde groei zorgen. Dit zou de energiebesparing in de hand kunnen werken en biedt perspectief voor de verduurzaming van de glastuinbouw. Of langgolvlige EM straling met een frequentie van 1-15MHz daadwerkelijk de plantengroei bevordert is tot op heden nog niet getest in een robuuste proefopstelling. Daarom is deze studie opgezet om te achterhalen of de langgolvlige straling geproduceerd door de modulatoren daadwerkelijk een effect hebben op de groei en fysiologische processen van de plant.

1.2 Het EM-spectrum

EM straling is een vorm van energie die zich voortbeweegt in golfbewegingen, waarbij de elektrische en magnetische component gesynchroniseerd zijn. EM straling heeft de snelheid van licht en dit bepaald samen met de frequentie de golflengte. De golflengte kan berekend worden door de snelheid van het licht te delen door de frequentie: $\lambda = C/F$ (λ : golflengte, C: snelheid van licht, F: de frequentie). EM straling met zeer hoge frequenties hebben zoveel energie dat ze atomen kunnen ioniseren. Lagere frequenties omvatten het niet-ioniserende gedeelte van het EM spectrum (Figuur 1). Hieronder valt zichtbaar licht, maar ook radiogolven en microgolven. Zichtbaar zonlicht is EM straling dat van nature voorkomt. In de laatste eeuw zijn er steeds meer soorten EM straling bijgekomen die door mensen worden geproduceerd. Denk hierbij aan communicatie middelen, zoals WIFI en radio, maar ook magnetrons, elektrische verwarming en LEDs. Hoewel EM straling effect heeft op mens, dier en plant, is er weinig bekend over het effect van extreem laagfrequente velden (ELF) en radiofrequente velden (RF). De modulatoren van bedrijf A generen EM straling met een frequentie van 1-15 MHz (λ : 20-300m) en bevinden zich hiermee in het weinig onderzochte RF veld.



Figuur 1 Frequenties van de modulatoren ten opzichte van het elektromagnetisch spectrum. De verschillende frequenties in het EM spectrum, met de extreem laagfrequente velden (EMF), radiofrequente velden (RF), infrarood licht, zichtbaar licht, ultraviolet licht, röntgenstraling, en gammastraling. De modulatoren genereren golflengtes van 1-15 MHz. Dit geeft net iets kortere golven dan ELF velden, maar langer dan microgolven.

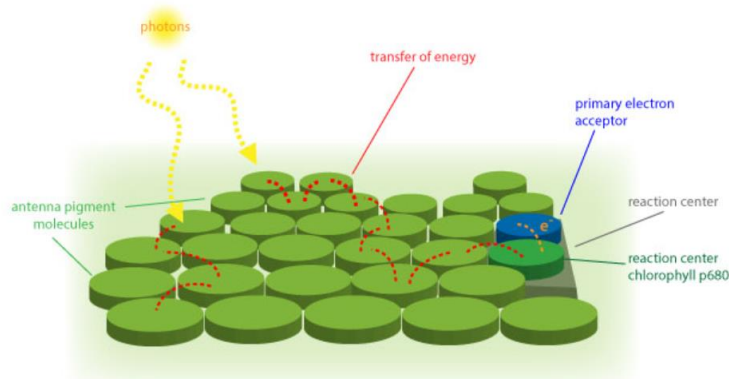
<https://www.kennisplatform.nl/welke-soorten-elektromagnetische-velden-zijn-er/>

1.3 Welke golflengtes hebben een effect op de plant?

Zichtbaar licht (λ : 400-700nm) is een essentieel ingrediënt voor plantengroei. Planten benutten zichtbaar licht voor de aanmaak van suikers. De zogenaamde light-harvesting complexen bestaan uit pigmenten die fotonen, lichtdeeltjes die energie bevatten, opvangen (Figuur 2). Deze energie wordt vervolgens gebruikt voor de eerste stap van de lichtreactie in de fotosynthese. Niet alle golflengtes van het spectrum zijn bruikbaar voor de fotosynthese. Voornamelijk licht uit het blauwe en rode spectrum kan efficiënt worden ingezet.

Naast zichtbaar licht zijn er ook andere golflengtes uit het EM spectrum die de plant kunnen beïnvloeden. Zo kan straling in het ver-rood spectrum door planten gedetecteerd worden met behulp van een fotoreceptor-eiwit; Phytochroom B. Op deze manier kan ver-rood licht de groei en ontwikkeling beïnvloeden (Casson et al., 2009; Demotes-Mainard et al., 2016; Ji et al., 2020). De fotoreceptor UVR8, kan UV-B licht detecteren wat net als ver-rood licht effect heeft op plant fysiologische processen (Jenkins, 2014).

De effecten van EM straling met een lagere frequentie dan ver-rood zijn veel minder bekend. Er zijn studies gedaan bij radiofrequente velden van 300 MHz – 3 GHz waarbij er effecten zijn gevonden op moleculair, cellulair en plantniveau. Het effect hangt af van de golflengte, dosis en duur van de toepassing. In veel gevallen is de toepassing duidelijk stressvol (Vian et al., 2016). Een recente studie was echter gericht op het effect van 7MHz, een frequentie die valt in de range van de modulatoren van bedrijf A. Deze studie liet zien dat EM golven met een frequentie van 7MHz effect hadden op de biologische activiteit van cryptochromen; blauwlichtreceptoren in de plant. Met het gebruik van langgolvlige straling verlengde het hypocotyl van *Arabidopsis* met ongeveer 30% in vergelijking tot de controle behandeling (Albaqami et al., 2020). Dit komt overeen met de observaties van Bunnik Bromelia bij gebruik van de modulatoren, waarbij de plantengroei toenam.



Figuur 2 Light-harvesting complex in de plant.

Een afbeelding van een Light-harvesting complex in de plant. Fotonen worden opgevangen door pigmenten en de energie wordt doorgestuurd naar de reactie centers.

<https://www.visionlearning.com/en/library/biology/2/photosynthesis-i/192>

1.4 Vragen en hypothesen

Om te kunnen testen of langgolvlige straling de plantengroei kan stimuleren en zo bij kan dragen aan de energietransitie zullen we in deze studie focussen op EM straling met een frequentie van 1-15MHz. Om dit te genereren zal gebruik worden gemaakt van de modulatoren van bedrijf A. De volgende vragen hopen we in deze studie te beantwoorden:

Heeft EM straling met een frequentie van 1-15 MHz effect op de fysiologie van de hogedraad gewassen tomaat en komkommer?

De verwachting is dat EM straling van 1-15 MHz een positief effect heeft op de plantengroei. In gesprekken met bedrijf A en observaties van gebruikers van de modulatoren van bedrijf A wordt er verwacht dat dit komt door een toename in huidmondjesgeleiding en daarbij een hogere fotosynthese.

Heeft EM straling met een frequentie van 1-15 MHz effect op de fysiologie van de hogedraad gewassen tomaat en komkommer?

Ook hier wordt verwacht dat EM straling met een frequentie van 1-15 MHz een positief effect heeft op de plantengroei.

1.5 Indeling van het verslag

Dit verslag wordt onderverdeeld in twee delen. Het eerste deel zal de kasproef beschreven worden met een korte introductie, de beschrijving van het materiaal en de methodes, de resultaten en een korte tussentijdse discussie. In het tweede deel zullen de experimenten in de klimaatcellen besproken worden. Hier zal een zelfde opzet gehanteerd worden als in het eerste deel, maar zonder tussentijdse discussie. Het verslag zal eindigen met een overkoepelende discussie gevolgd door een conclusie met aanbevelingen.

2 Deel 1: Kasproef komkommer en tomaat

In de Nederlandse glastuinbouw is het grootste areaal van de groententeelt gereserveerd voor tomaat wat in 2023 1,771 ha besloeg (43% van het totaal). Komkommer komt op de 3^e plaats, na paprika, en beslaat 655 ha, wat ongeveer 16% van het totale areaal voor glasgroenten is.¹ Als het gebruik van langere golflengtes kan bijdragen aan de energiebesparing (H1), dan zijn de winterteelten van tomaat en komkommer één van de belangrijkste teelten om dit toe te passen. Daarom wordt in dit deel van het onderzoek gekeken naar het effect van EM straling met een frequentie van 1-15 MHz op de oogst en fysiologie van komkommer en tomaat.

De volgende vragen zullen in dit deel van de studie onderzocht worden:

Heeft langgolelige EM straling van 1-15 MHz effect op de groei en oogst van twee hogedraad gewassen; komkommer en tomaat?

De hypothese is dat langgolelige EM straling met een frequentie van 1-15 MHz, die gecreëerd wordt door modulatoren van bedrijf A, een positief effect heeft op de plantengroei. Door het bedrijf A en gebruikers worden voornamelijk positieve effecten geobserveerd wanneer de modulatoren tijdens de belichtingsuren aanstaan. De verwachting is dan ook dat na behandeling met de modulatoren de groei en oogst van de komkommer en tomatenplanten toe zal nemen.

Heeft langgolelige EM straling van 1-15 MHz effect op de fotosynthese, huidmondjesgeleiding en pigmenteninhoud van twee hogedraad gewassen; komkommer en tomaat?

Het is de verwachting dat de huidmondjesgeleiding zal toenemen en daarmee ook de fotosynthese. Deze verwachting is gebaseerd op ervaringen uit de praktijk, waar bij gebruikers een kouder gewas wordt geobserveerd. Bij verschillen in fotosynthese kan met behulp van pigmentmetingen gekeken worden of de behandeling ook effect heeft gehad op de chlorofyl inhoud.

¹ <https://longreads.cbs.nl/the-netherlands-in-numbers-2024/what-kind-of-vegetables-do-we-grow-in-our-greenhouses/>

3 Materiaal en methoden

3.1 Plant materiaal

In dit experiment is gekozen voor twee hogedraad gewassen, komkommer en tomaat. Beide gewassen zijn gezaaid op steenwol bij Holland plant (Bergschenhoek, Nederland, www.hollandplant.nl). Komkommer (ras Dee Flexion, Enza Zaden) is gezaaid op 28 november 2023, tomaat op 21 november 2023 (Figuur 3). De tomaat in dit experiment is een cocktailtomaat van het ras DR0607TC (de Ruiter). Er is voor dit ras gekozen omdat deze tomaat relatief hoge temperaturen aan kan, wat in combinatie met de komkommer in 1 compartiment noodzakelijk is. Tevens is dit ras van nature wat generatiever. De plant is getopt bij de plantenkweker op het 2e blad. ze waren nog klein toen ze in de kas kwamen (2 blaadjes op de jonge scheuten). Een maand na zaaien (28 december 2023) zijn beide gewassen verplaats naar het kassencomplex in Bleiswijk (kas 8.01 en 8.04). De planten zijn langs het gat van de steenwol mat gezet. Pas toen de eerste tros ging bloeien zijn ze op het gat geplaatst (week 4). Op het moment dat de derde tros bloeide (week 6) is er een extra stengel bijgemaakt om zoveel mogelijk de praktijk te benaderen.



Figuur 3 Tomaat en komkommer zaailingen.

Een foto van de tomaat en komkommer zaailingen bij Holland plant, een paar dagen voor transport naar Bleiswijk (21 Dec 2023).

3.2 Opstelling

In dit experiment zijn behandelingen gegeven in twee compartimenten van 15m (lengte) bij 9,6m (breedte). In beide compartimenten zijn groeicondities gesimuleerd die gunstig zijn voor de komkommer teelt (zie 3.4). In compartiment 8.04 zijn hier met gebruik van 10 modulatoren van bedrijf A, EM golven van 1-15MHz toegevoegd. Tussen de twee kascompartimenten zitten twee additionele compartimenten waardoor de locaties op 20 m afstand van elkaar gesitueerd zijn. Dit om te voorkomen dat de modulatoren de controle behandeling zou beïnvloeden. De modulatoren zijn aan de wand van de kas bevestigd op 1.7m hoogte boven de goot (Appendix 1). In elk compartiment zijn aan de linkerkant 4 goten geplant met tomaat en aan de rechterkant 3 goten met komkommer op steenwolmatten van 1 meter lang (Appendix 1). De rand rij van tomaat had 24 stengels en de overgebleven rijen 26 planten met elk 2 stengels (Figuur 4). Dit resulteert in een plantdichtheid van $2,6 \text{ stengels m}^{-2}$. In week 6 is een extra stam aangehouden per tomatenplant waardoor de uiteindelijke plantdichtheid op $3,9 \text{ stengels m}^{-2}$ uitkwam.

De rand rij van komkommer had 22 planten en de overige rijen 48 planten wat resulteerde in een gemiddelde plantdichtheid van 2,4 planten m⁻² (Figuur 4).



Figuur 4 Opstelling met 4 rijen tomaat (links) en 3 rijen komkommer (rechts).

3.3 Behandeling met de modulatoren van bedrijf A

Zoals beschreven in 3.2 is in compartiment 8.04 EM-straling toegevoegd met behulp van 10 modulatoren met een vermogen van 5 Watt van bedrijf A. De modulatoren hebben een set van 4 verschillende kanalen met elk hun eigen golflengte (Foto 1). Van beide sets functioneren kanaal 2-4 alleen wanneer kanaal 1 ook aangeschakeld staat. DNV (DNV Netherlands B.V. www.dnv.nl) heeft met behulp van een Narda SRM-3006 Electromagnetic Field Measurement and Analysis System ([Narda * SRM-3006 - frequency-selective EMF measurement up to 29.5 GHz](#)) het spectrum van de verschillende kanalen gemeten (Tabel 1). Omdat kanaal 2-4 alleen functioneren als kanaal 1 ook aanstaat zijn deze altijd gemeten in combinatie met kanaal 1 en is de eerste hoofdfrequentie van kanaal 1 en de twee van kanaal 2-4. Van elk kanaal zijn ook 3 additionele harmonici gemeten. Een harmonische is een veelvoud van de grond frequentie.

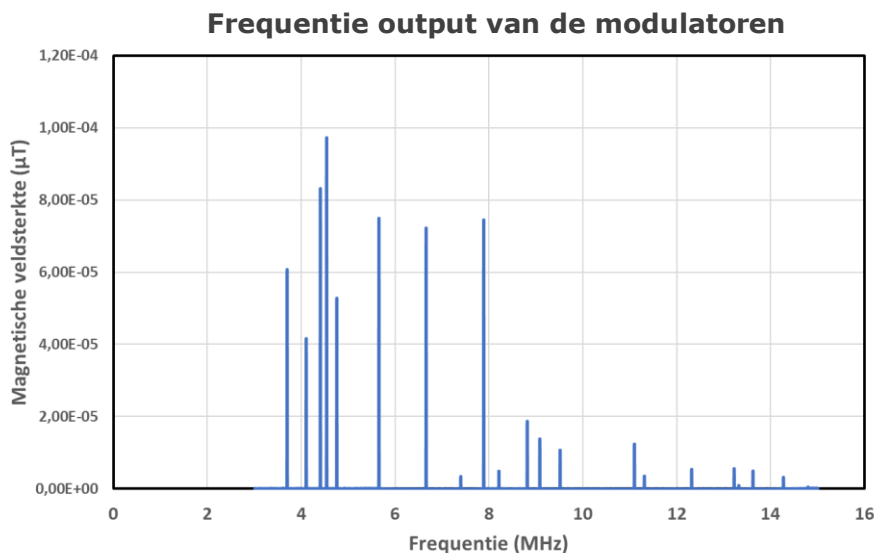


Foto 1 Modulator met twee sets van 4 kanalen.

Tabel 1 De verschillende hoofdfrequenties per set en kanaal plus de harmonici.

Set	Switch	Hoofd-frequentie 1 (MHz)	Hoofd-frequentie 2 (MHz)	1e Harm. (MHz)	1e Harm. (MHz)	2e Harm. (MHz)	2e Harm. (MHz)	3e Harm. (MHz)	3e Harm. (MHz)
1	1	4,1		8,2		12,3		16,4	
	1 & 2	4,1	3,703	8,2	7,406	12,3	11,109	16,4	14,812
	1 & 3	4,1	7,875	8,2	15,75	12,3	23,623	16,4	31,5
	1 & 4	4,1	6,671	8,2	13,342	12,3	20,013	16,4	26,684
2	1	4,406		8,812		13,218		17,624	
	1 & 2	4,406	4,546	8,812	9,092	13,218	13,638	17,624	18,184
	1 & 3	4,406	4,765	8,812	9,53	13,218	14,295	17,624	19,06
	1 & 4	4,406	5,656	8,812	11,312	13,218	16,968	17,624	22,624

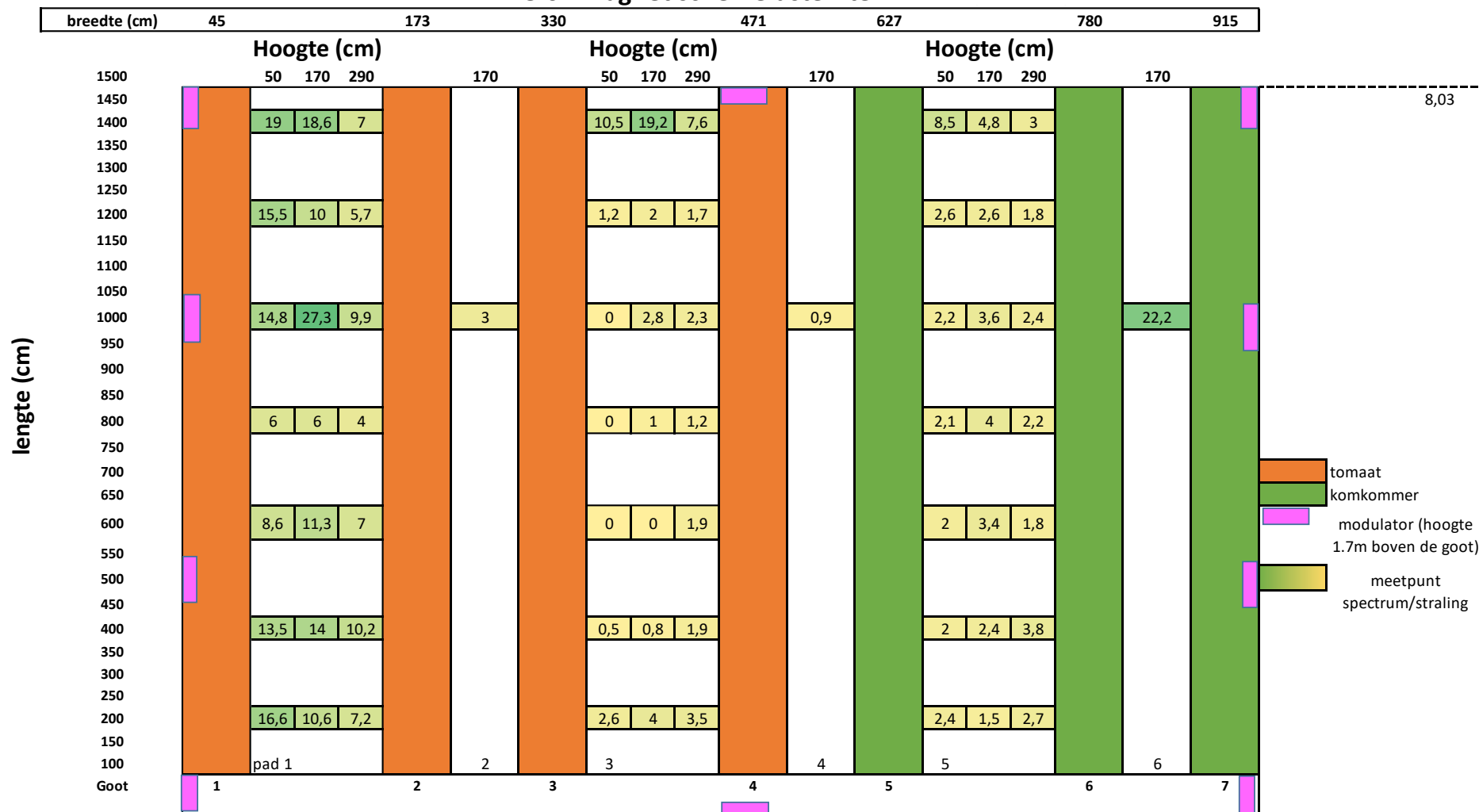
Deze frequenties zijn gemeten voor magnetische veldsterkte (μT) (Figuur 5). In deze proef zijn alle kanalen aangeschakeld geweest. De modulatoren hebben alleen aangestaan tijdens de belichtingsperiode. Om zeker te weten dat de modulatoren aan stonden tijdens de belichtingsperiode en uit tijdens de donkerperiode van de teelt is een sensor in het systeem gepast. Deze bestond uit een lamp aan de buitenkant van het compartiment die aan stond als de modulatoren aanstonden en andersom.



Figuur 5 Magnetische veldsterkte van de verschillende EM-golven geproduceerd door de modulator. De magnetische veldsterkte (μT) van de verschillende frequenties van EM-golven (MHz) die geproduceerd worden door de modulator van bedrijf A. De veldsterkte is gecorrigeerd voor de ruis in de meting ($1,2 \cdot 10^{-6} \mu\text{T}$).

Tijdens de teelt (4 januari 2024) is door DNV bepaald wat de magnetische veldsterkte (dBA/m) is van de EM-straling in kas 8.01 en 8.04 met de Narda SRM-3006. Dit is gemeten op verschillende plekken in de kas (Figuur 6). Als controle metingen is de veldsterkte ook in kas 8.01-8.03 gemeten tussen rij 1 en 2, op 10 m diepte en op 170cm hoogte. In kas 8.01 (de controle kas) en 8.02 is er geen magnetisch veld gemeten anders dan de ruis (-133 dBA/m). Alleen in kas 8.03 naast de modulatoren in kas 8.04 is een signaal van $22,2 \text{ dBA/m}$ gemeten. Aan het eind van het groeiseizoen (22 mei 2024) is de EM veldsterkte opnieuw gemeten om uit te sluiten dat het gewas hier invloed op heeft. Er zijn toen nauwelijks tot geen verschillen gemeten. De sterkte van het magnetische veld valt volgens DNV ruim onder de norm volgens de Europese richtlijnen voor blootstelling aan EM-velden in werksituaties (RICHTLIJNEN VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD, 2013). Deze ligt voor 10MHz op ongeveer $0,2 \mu\text{T}$, terwijl met de modulatoren de maximale veldsterkte die gemeten is in de kas $0,125 \text{ nT}$ is, welke ruim onder de grenswaarde zit voor mensen (een factor 1000).

8.04 Magnetische Veldsterkte



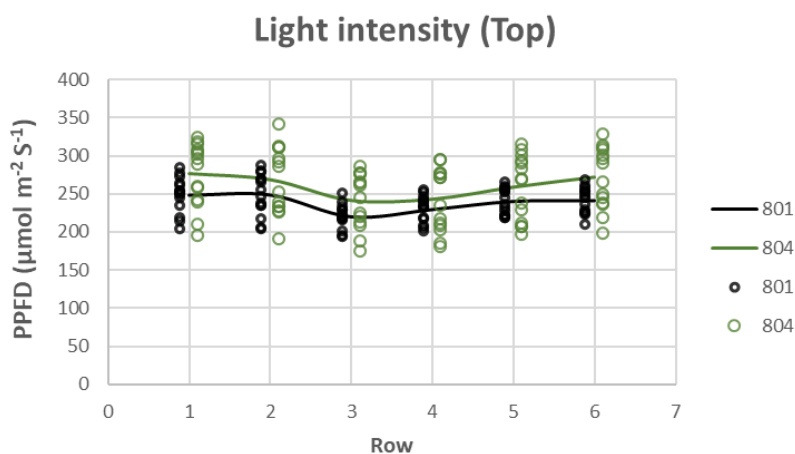
Figuur 6 Magnetische veldsterkte op verschillende plekken in compartiment 8.04.

De magnetische veldsterkte in dB/m op verschillende plekken in compartiment 8.04. De meting is uitgevoerd op 3 verschillende hoogtes in de kas (50, 170 en 290 cm), in verschillende rijen (tussen rij 1 en 2, tussen rij 3 en 4, tussen rij 5 en 6) en op 7 verschillende plekken (2, 4, 6, 8, 10, 12 en 14 m diepte). Tussen rij 2 en rij 3, rij 4 en 5 en rij 6 en 7 is 1 keer gemeten op 170cm hoogte en 10 m diepte. Hoe groener de kleur van de cel, hoe sterker de magnetische veldsterkte op die plek. De veldsterkte is hier weergegeven gecorrigeerd voor de ruis (-133 dB/m).

3.4 Klasklimaat en belichting

Er is naar gestreefd om het klasklimaat en de belichting zijn zo goed mogelijk gelijk te houden tussen de twee compartimenten om eventuele neveneffecten uit te sluiten. Beide compartimenten zijn uitgerust met een energiebesparend scherm: Luxous 1147 FR en een verduisteringsdoek; Obscura 9950 FR W beide van het merk Ludvig Svensson (<https://www.ludvigsvensson.com/nl/climate-screens/>). Het donkerscherm was gesloten van zonopgang tot zonopgang. Het energiescherm was de gehele dag dicht, maar mocht open bij een stralingsniveau buiten van 200 watt en sloot weer bij een stralingsniveau van 150 watt. Het gevelscherm is tot begin februari dicht gehouden in verband met gelijkheid van de afdelingen. Na begin februari zijn de gevelschermen open tussen zonopgang en zonsondergang.

Beide compartimenten hebben 20 lampen op 4,75m hoogte van de grond (Appendix 2). Alle lampen zijn van MechaTronix type; MechaTronics COOLSTACK BOOST DUAL 5RBHW+FR HC (type1). De lampen hebben een dimbare optie voor het PAR en FR spectrum. In het begin van de teelt was compartiment 8.04 iets hoger in licht, wat naderhand weer is bijgesteld. Het FR spectrum is ingesteld op 100%. De PAR intensiteit is gemeten met de Jeti Specbos 1m onder de lampen. Er waren geen duidelijke verschillen tussen de lichtintensiteit in beide compartimenten (Figuur 7).



Figuur 7 Lichtintensiteit in de twee compartimenten.

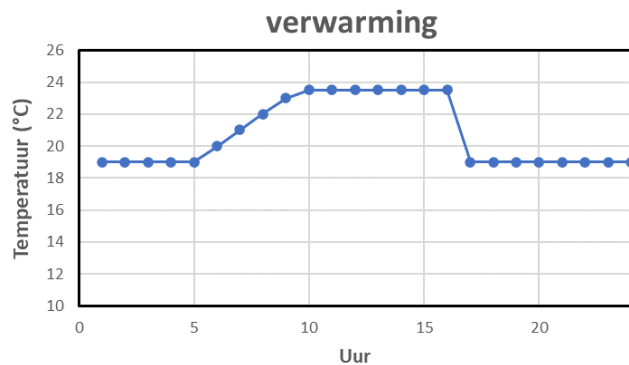
De lichtintensiteit in de twee verschillende compartimenten 8.01 (in zwart) en 8.04 (in groen) 1m onder de lampen. De individuele metingen zijn weergegeven als cirkels en de lijn is een gemiddelde van de verschillende datapunten ($n=14$).

Tijdens het groeiseizoen wordt met een PAR sensor van Apogee

(<https://www.apogeeinstruments.com/quantum/>) constant de PAR gemeten ter hoogte van de top van het tomatengewas. Er is gestart met een belichtingsperiode van 10 uur. De komkommer werd hierbij de leidende factor, omdat deze veel harder groeien dan de tomaat. Bij de eerste bloei van komkommer is er overgeschakeld naar 12 uur belichting. 10 dagen later werd dit 15 uur en na de eerste oogst van de komkommer de maximale belichtingsduur van 18 uur toegepast. Hierdoor heeft de tomaat meer licht ontvangen dan in de conventionele teelt, maar in combinatie met de voor tomaat hoge temperaturen heeft dit de groei niet negatief beïnvloed. Vanaf begin april is er krijt op het dak gespoten om zo ca. 60% van het buitenlicht weg te halen. Dit is gedaan om winterse condities te creëren waarbij het rendement van de modulatoren het grootst zou zijn. De belichting ging uit bij een verwachte PARsom van 17 mol.

Tijdens de belichtingsuren is een temperatuur van 23,5°C graden aangehouden en 19°C graden tijdens de donkerperiode. In de figuur hieronder staat de verwarmingstemperatuur zoals die is ingesteld bij de belichtingsperiode van 10 uur (6.00 – 16.00) (Figuur 8). Op het moment van een langere belichtingsperiode wordt ook de periode van de verwarmingstemperatuur van 23,5 graden verlengd.

Tijdens het groeiseizoen zijn actuele temperaturen, RV en PAR constant gemeten en opgeslagen in LetsGrow ([LetsGrow.com](https://lets-grow.com) - Data Driven Growing - Optimaliseer uw resultaten).



Figuur 8 Verwarmingssetpoint in de twee kascompartimenten.

3.5 Irrigatie en nutriënten

De watergift van de tomaten en komkommer was geheel apart stuurbaar in zowel hoeveelheid als nutriëntensamenstelling (EC/pH). De watergift van de tomaten van beide compartimenten kwam uit dezelfde voorraadbak en hebben ook dezelfde hoeveelheid water gehad. De komkommers in beide compartimenten hebben ook dezelfde hoeveelheid water gehad en kwam uit een andere voorraadbak. De watergift wordt bepaald aan de hand van een watergehaltemeter bij zowel tomaat als komkommer. Per tomatenplant zijn er twee druppelaars geïnstalleerd. Elk komkommerplant had 1 druppelaar. De nutriënten werden tijdens het groeiseizoen wekelijks gecontroleerd met gift en drain analyses. De gift werd daarna aangepast naar de streefwaarden indien de analyses daar aanleiding voor gaven.



Figuur 9 Twee druppelaars per tomatenplant.

3.6 Gewasbeheer

Alle stengels worden ondersteund met gewasdraad en ringen, waarbij de meetplanten een afwijkende kleur draad hebben om verwarring te voorkomen. Het gewas wordt 1 keer per week (tomaat) en 3 keer per week (komkommer) ingedraaid, afhankelijk van de groeisnelheid. Bij komkommer zijn ongeveer 20 bladeren aangehouden per plant. Om dit in een volgroeid gewas te behouden zijn er twee keer per week 3-4 bladeren per plant verwijderd onderin het gewas. Bij de eerste 4 internodiën zijn de bloemen/vruchtjes verwijderd. Pas bij de 5^e internode is de eerste bloem/vrucht verder ontwikkeld. Rijpe vruchten zijn in week 4-8 drie keer per week geoogst en gewogen en in week 9 tot het einde van de proef 4 keer per week. Bij tomaat is de bestuiving van de vruchten handmatig gedaan door middel van trillen van trossen met een trilapparaat. Dit om beïnvloeding van hommels op de komkommerplanten te voorkomen.

Tot week 14 zijn de trossen gesnoeid op de 14^e vrucht/bloem, vanaf week 14 was dit op de 12^e bloem/vrucht. 1 keer per week zijn de rijpe tomatentrossen geoogst en gewogen.

3.7 Plantmetingen

3.7.1 Destructieve oogst

Bij binnenkomst van het gewas heeft de eerste destructieve meting plaats gevonden. Per gewas zijn voor 10 planten de volgende metingen gedaan: de plantlengte is bepaald (cm), het vers gewicht (FW) van de scheut (g), het aantal bladeren en het totale bladoppervlak (cm²) en het drooggewicht (DW, mg). Voor de bepaling van het drooggewicht is de plant in een papieren zak in de oven gedroogd bij 80°C voor 3 dagen. Het percentage van het droog gewicht (DW%) is berekend met de volgende formule:

$$DW\% = \frac{DW}{FW} \cdot 100\%$$

Op 11 april 2024 is er een tussentijdse destructieve oogst gedaan met 6 van de meetplanten van komkommer en 9 meetplanten van tomaat per behandeling. De destructieve eind oogst van de overgebleven planten vond plaats op 15 mei 2024. Voor deze destructieve metingen zijn naast de lengte, het aantal bladeren, bladoppervlak, FW, DW en DW% ook de volgende metingen gedaan: Aantal internodiën, aantal vruchten aan de plant, vers en drooggewicht van de vruchten (g), vers en drooggewicht van de stam (g) en het vers en drooggewicht van de bladstelen (g).

3.7.2 Metingen komkommer

In dit experiment zijn er voor komkommer per behandeling 12 verschillende meetplanten over een periode van 16-20 weken gevolgd. In week 16 zijn de helft van deze planten destructief geoogst (3.7.1) waardoor er in de laatste 4 weken (week 16-20) 6 meetplanten over waren. Bij de meetplanten zijn wekelijks de toename in plant lengte, de hoeveelheid nieuwgevormde bladeren en vruchten, de verwijderde bladeren boven en onderin het gewas, het aantal bladeren boven de nieuwste bloem, aantal vruchten onder de nieuwste bloem, aantal geoogste vruchten en het gewicht van de geoogste vruchten gemeten.

Twee keer per week zijn de geoogste bladeren van de meetplanten gemeten voor vers gewicht. 1 keer per maand is hiervan ook het drooggewicht en bladoppervlak bepaald. In week 5 tot 15 is om de week de LAI (Leaf Area Index) geschat aan de hand van de bladlengte van alle komkommerbladeren aan 6 verschillende planten per behandeling. Om dit te kunnen schatten zijn er in week 5, 20 bladeren per behandeling geoogst, waarvan de bladlengte en het oppervlak is bepaald. Hieruit is de relatie tussen bladlengte en bladoppervlak bepaald aan de hand van een trendline. Deze formule is gebruikt om in de daaropvolgende metingen het bladoppervlak per plant te bepalen. Dit is gebruikt om de LAI per behandeling te berekenen (in blad- per grondoppervlak, m² m⁻²). Als laatst zijn 3 keer per week de nieuwgevormde vruchten gelabeld om de rijpingssnelheid te bepalen.

3.7.3 Metingen tomaat

Bij tomaat zijn er in week 1-6, 12 meetplanten per behandeling gevolgd. In week 7-15 kwamen daar 6 meetplanten bij voor een totaal van 18 meetplanten per behandeling. In week 16 zijn de helft van deze meetplanten destructief geoogst (3.7.1), waardoor de laatste 4 weken 9 meetplanten per behandeling zijn gemeten.

Elke week zijn de toename in lengte, het aantal nieuwgevormde bladeren, aantal geoogste bladeren, de kopdikte, het nummer van de bloeiende tros, nummer van de gezette tros, bladlengte ter hoogte van de bloeiende tros, aantal geoogste trossen en het gewicht van de geoogste trossen bepaald. Het aantal bladeren aan de plant is rond de 20 bladeren per plant gehouden en elke week zijn er ongeveer 3-6 bladeren per plant verwijderd. Hiervan is het vers gewicht bepaald en 1 keer per maand ook het drooggewicht en bladoppervlak.

3.7.4 Fotosynthese en huidmondjesgeleiding

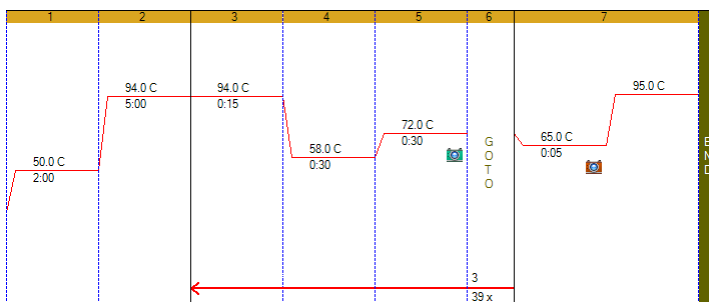
De fotosynthese en huidmondjesgeleiding is in week 8 gemeten met de LICOR-6800 met een open kamer. De meting is gedaan voor 10 verschillende planten per behandeling voor zowel komkommer als tomaat tussen 09:00 en 11:00 's ochtends (3 uur na aanschakelen van het licht) 8 weken na planten. Bij de meting is rekening gehouden met het lichtniveau door altijd op dezelfde hoogte te meten in het gewas. Voor tomaat kwam dit neer op $95 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ongeveer 0,5 m onder de kop op bladnummer 6-7). Voor komkommer was dit $105 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (bladnummer 6-8). Tijdens de metingen was er geen licht van buiten en was er alleen LED belichting. De RV is tijdens de metingen gelijk gehouden op 80% RV bij een temperatuur van 25°C voor beide gewassen.

3.7.5 Efficiëntie van de fotosynthese

In week 15 en week 20 is de efficiëntie van de fotosynthese van tomaat en komkommer blad geanalyseerd met de LICOR-6800 aan de hand van chlorofyl fluorescentie.

3.7.6 Genexpressie

12 weken na planten is per soort van 6 planten per behandeling om 12:00u een stukje vrucht en een stukje blad geoogst op 170 cm hoogte (Alleen het komkommerblad is geoogst op 290 cm hoogte). Het materiaal is ingevroren in vloeibaar stikstof en bewaard bij -80°C tot verdere analyse. Na het malen van de samples is het RNA geïsoleerd met RNeasy Plant Mini Kit (5) van Qiagen (Cat. No. / ID: 74904). Voor het protocol zie: [RNeasy Plant Mini Kit \(EN\) - QIAGEN](#). De RNA concentratie is gemeten met de Nanodrop daarna is de kwaliteitscontrole gedaan met behulp van en gel-elektroforese. cDNA synthese is uitgevoerd m.b.v. QuantiTect Rev. Transcription Kit (50) van Qiagen (Cat. No. / ID: 205311). Voor het protocol zie: [QuantiTect Reverse Transcription Kit \(EN\) - QIAGEN](#). Hierbij is 500 ng RNA gebruikt voor cDNA synthese waar totaal 20 ul cDNA is gemaakt (volgens protocol). Een verdunning van 1/10 is gemaakt voor verdere qPCR. De PCR is uitgevoerd met GoTaq® qPCR mastermix van Promega (cat. no A6001) in Bio-Rad CFX96 Real-Time PCR Thermal System <https://nld.promega.com/products/pcr/qpcr-and-rt-qpcr/qpcr-kits/?tabset0=0&catNum=A6001>. De primers gebruikt in de run staan in onderstaande tabel (Tabel 2). Het volgende programma (3 steps) is uitgevoerd in de RT-PCR (Figuur 10).



3 steps qPCR, Tan 58 C

Figuur 10 Uitgevoerde run in de RT-qPCR.

De uitgevoerde run in de RT-qPCR. De eerste stap is 50°C voor 2 min, waarna de temperatuur onmiddellijk naar de 94°C is gebracht voor 5 min. Daarna hebben er 39 cycles plaats gevonden van elk 94°C voor 15 sec, 58°C voor 30 sec en 72°C voor 30 seconden. Als laatst is er een stap geweest van 65°C voor 5 sec en 95°C tot het einde van de run.

De expressie is bepaald met behulp van de Cq waarden en de volgende formule:

$$\text{Expressie} = 2^{-\Delta\Delta Cq}$$

Waarbij $\Delta\Delta Cq$ is berekend als volgt: $\Delta Cq = Cq_{\text{gene of interest}} - Cq_{\text{house keeping gene}}$ en $\Delta\Delta Cq = \Delta Cq_{\text{sample}} - \text{gemiddelde } (\Delta Cq_{\text{controle behandeling}})$.

Tabel 2 Primers gebruikt in RT-qPCR.

Gene	Forward primer (5'-3')	Reverse primer (5'-3')	Reference
UBI3 (tomaat) (housekeeping gene)	GCCGACTACAACATCCAGAAGG	TGCAACACAGCGAGCTTAACC	(Liu et al., 2018)
HY5 (tomaat)	AGCTGGGACTCAAAGGAAGA	TCTTCCTCTCCCTTGCTTGT	(Liu et al., 2018)
UBQ (komkommer) (housekeeping gene)	CACCAAGCCCAAGAAGATC	TAAACCTAATCACCACCAGC	(Yan et al., n.d.)
HY5.1 (komkommer)	GTCAGTCGTATGCGCTCGAGT	TGCCCTTTCTTCCAACCTCGC	(Liang et al., 2021)

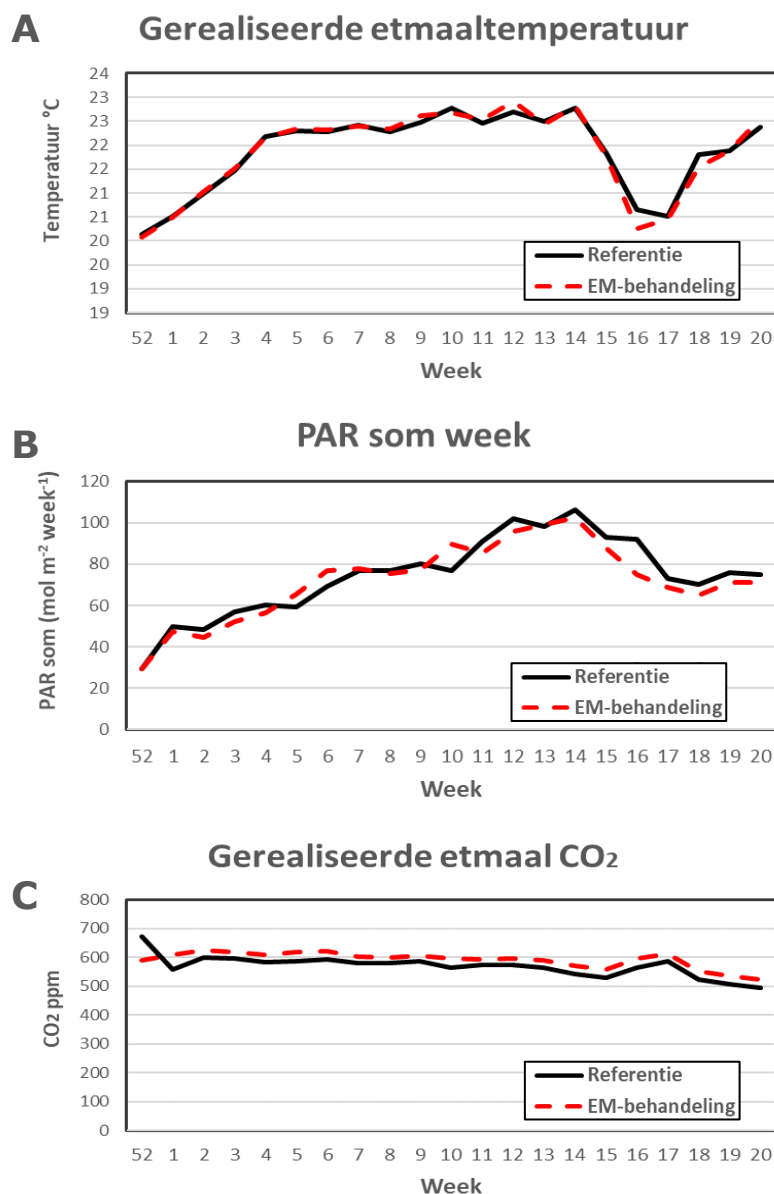
3.8 Statistische analyse

De data is geanalyseerd met behulp van IBM SPSS Statistics Data Editor. Voor elke dataset is de verspreiding van de data geanalyseerd met behulp van QQ plots en de Shapiro-Wilk Test. Bij een normale verdeling is de gelijkheid van varianties getest met Levene's test ($P < 0,05$ geen gelijke varianties). Vervolgens is met een onafhankelijke student T-test bepaald of gemiddelden significant verschillend zijn tussen de twee behandelingen (Two-sided). Wanneer de data niet normaal verdeeld is, zijn de datapoints gerankt en is de significantie van de verschillen geanalyseerd met behulp van een Chi-Square test. Significantie tussen de twee behandelingen per meetpunt worden weergegeven met een * en errorbars tonen de standard error. Bij herhaalde metingen over tijd is naast de normale student T-test gebruik gemaakt van de repeated measures ANOVA om de significantie van de verschillen tussen twee behandelingen te bepalen over het gehele groeiseizoen ($P < 0.05$).

4 Resultaten Kasproef komkommer & tomaat

4.1 Gerealiseerd klimaat

Om de behandelingen goed te kunnen vergelijken is er gestreefd om het klimaat in de twee compartimenten zo gelijk mogelijk te houden. De etmaaltemperatuur en etmaal CO_2 waren in beide compartimenten vrijwel gelijk (Figuur 11A&C). De CO_2 concentratie in de compartimenten was tijdens het hele groeiseizoen rond de 600 ppm, waarbij de CO_2 concentratie gemiddeld 22 ppm hoger was in de EM-behandeling (591 ppm in EM-behandeling vs 569 ppm in de controle) (Figuur 11C). De CO_2 meter had een standardfout van 40 ppm, dus was dit geen meetbaar verschil. De gerealiseerde temperaturen lagen dicht bij elkaar en het gemiddelde van de twee compartimenten verschilde enkel $0,01^\circ\text{C}$ ($21,87^\circ\text{C}$ in de controle vs. $21,86^\circ\text{C}$ in de EM-behandeling) (Figuur 11A). De PAR som in beide behandelingen is tijdens het seizoen toegenomen.



Figuur 11 Klimaat realisatie in de twee compartimenten.

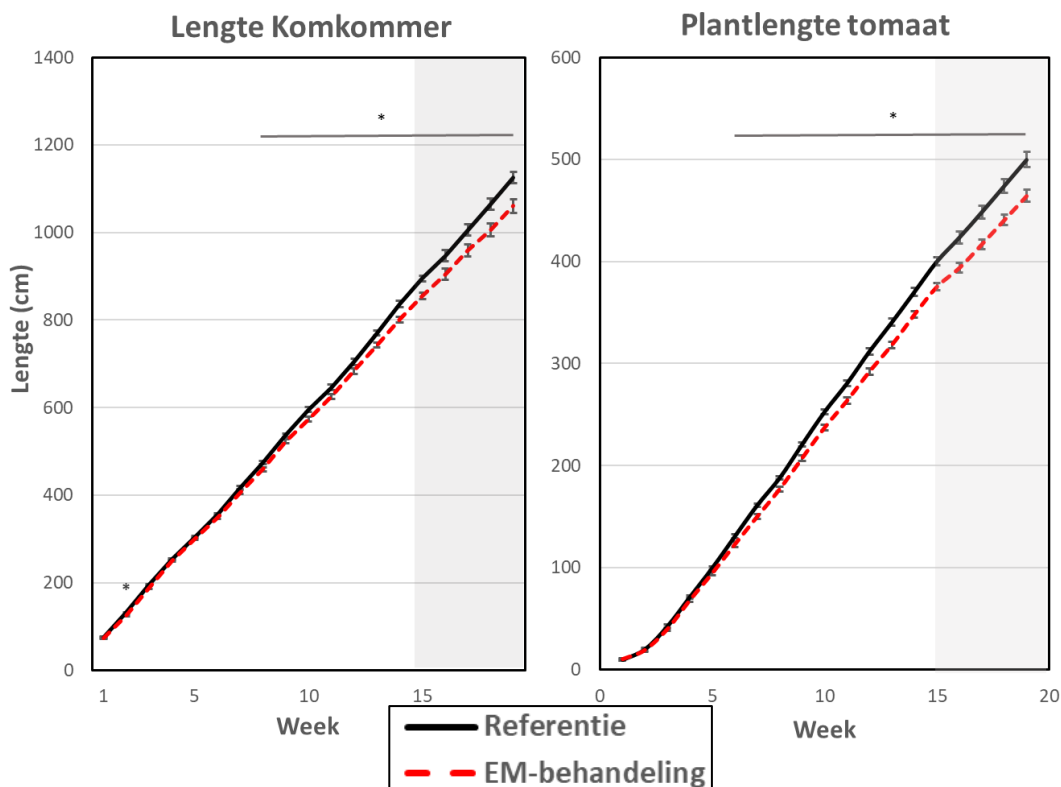
A: De gerealiseerde etmaaltemperatuur ($^\circ\text{C}$), B: de PAR som ($\text{mol m}^{-2} \text{ week}^{-1}$) en C: de etmaal CO_2 (ppm) in het compartiment met (EM-behandeling) en zonder modulatoren (Referentie). De gemiddelden waarden zijn weergegeven per week.

In de laatste 5 weken is besloten de PAR som te verlagen, omdat volgens bedrijf A het effect van de modulatoren voornamelijk zichtbaar is bij een lagere lichtintensiteit. Om dit te testen is het dak van de kas gekrijt, met als resultaat een verlaging van 20-24 mol m⁻² week⁻¹ PAR (21-25%) in de laatste 5 weken ten opzichte van de 5 weken daarvoor. Over het gehele groeiseizoen heeft de EM-behandeling 44 mol (3%) minder PAR ontvangen in vergelijking tot de controle behandeling. Dit kwam voornamelijk door de laatste 5 weken waarin de PAR som werd verlaagd. Hier ontving de EM-behandeling 34 mol (9%) minder PAR ten opzichte van de controle behandeling. In de eerste weken (tot week 15) was dit slechts 10 mol (1%) minder PAR. Dit bleek deels door een storing te komen (op 19-22 april 2024) met de lampen waarbij compartiment 8.04 minder licht kreeg.

4.2 Plantengroei

4.2.1 Een kortere stengel bij komkommer en tomaat in de EM-behandeling.

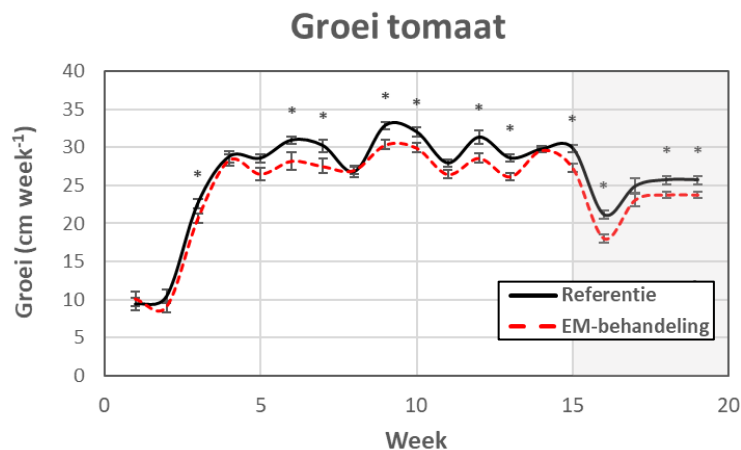
Bij binnenkomst hadden de komkommerplanten een lengte van 29,3 cm en 7 bladeren (Appendix 3). De tomatenplanten waren bij binnenkomst vrij klein en hadden een gemiddelde lengte van 8,6 cm en slechts 2 bladeren (Appendix 3). De stengel van zowel tomaat als komkommer was significant korter in de EM-behandeling. Dit verschil was bij komkommer significant vanaf week 8 en voor tomaat vanaf week 6. In week 19 was de stengel van komkommer gemiddeld 64,7cm korter ($P=0.011$) in de EM-behandeling en voor tomaat was dit 35,4 cm ($P<0.002$). In totaal hebben er twee destructieve eind oogsten plaats gevonden (week 15 en week 20), waarbij de helft van de planten werden gemeten voor stengellengte, vers- en droge stof gewicht (Appendix 4). Hoewel de stengel in week 15 voor zowel komkommer als tomaat korter was in de EM-behandeling was dit voor beide niet significant ($P=0,371$ en $P=0,067$). In week 20 was de stengellengte voor komkommer en tomaat significant korter waarbij bij komkommer een verschil van 59,8 cm ($P=0,011$) werd gemeten en bij tomaat een verschil van 55,7 ($P=0,035$) in het voordeel van de controle behandeling (Appendix 4). Hoewel de stengel lengte duidelijk korter was in de EM-behandeling was er geen significant verschil in vers gewicht, droge stof gewicht en drooggewicht percentage (DW%) van de stengel bij zowel komkommer als tomaat in week 20 (Appendix 4). Wel werd er in week 15 een hoger drogestof gewicht van de stengel gevonden bij tomaat ($P=0,011$) en een hoger DW% van de stengel bij komkommer ($P=0,018$) in de EM-behandeling (Appendix 4).



Figuur 12 Een kortere stengel bij komkommer en tomaat in de EM-behandeling.

De lengte (cm) van komkommer ($n_{\text{week}1-15}=12$, $n_{\text{week}16-20}=6$) en tomaat ($n_{\text{week}1-6}=12$, $n_{\text{week}7-15}=18$, $n_{\text{week}16-20}=9$) tijdens het groeiseizoen. Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.

Bij tomaat lijkt de reductie in stengellengte veroorzaakt te worden door structureel minder groei (cm week^{-1}) in de EM-behandeling (Figuur 13). In 11 van de 19 weken was de groei van tomaat significant lager in de EM-behandeling ten opzichte van de controle ($P < 0.05$). Bij komkommer was dit verschil minder duidelijk en was de groei 7 van de 19 weken lager in de EM-behandeling (Appendix 5). Hier viel wel op dat aan het einde van het seizoen bij het krijten van de kas het verschil groter leek te zijn. In de eerste 15 weken was de gemiddelde groei van komkommer 2,2 cm per week minder in de EM-behandeling, maar in de laatste 4 weken was dit gemiddeld 4cm per week minder dan de controle behandeling. Omdat door bedrijf A werd geopperd dat de modulatoren beter werken bij lager lichtniveau is gekeken wat de correlatie was de wekelijkse toename in plantlengte en de PAR som in het betreffende compartiment (Appendix 6). Er werd echter geen duidelijke relatie gevonden tussen de plantengroei en PAR som in de betreffende week. De groei van tomaat en komkommer leek onder lagere condities in de EM-behandeling ook geen duidelijke voordelen op te leveren voor de plantengroei.



Figuur 13 Minder lengtegroei tomaat in de EM-behandeling.

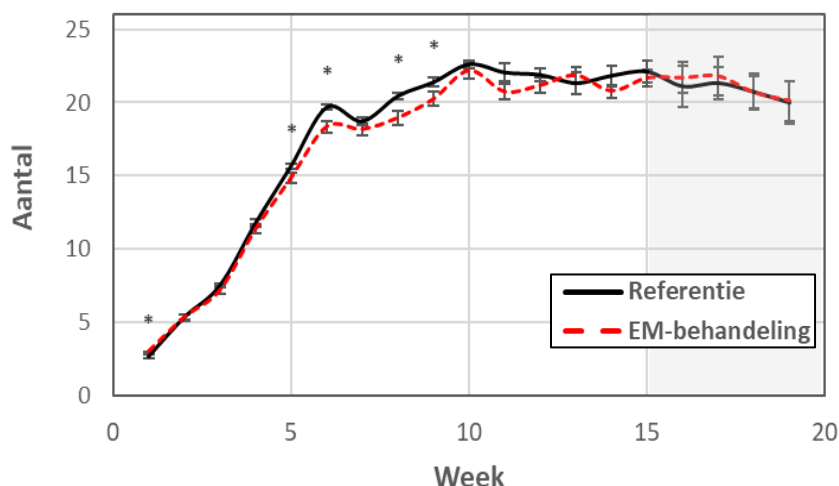
De groei van tomaat in cm week^{-1} in de controle en EM-behandeling. Error bars tonen standard error ($n_{\text{week1-6}}=12$, $n_{\text{week7-15}}=18$, $n_{\text{week16-20}}=9$) en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.

4.2.2 Aantal bladeren aan de plant en totale bladproductie.

Bladeren produceren suikers voor de groei en ontwikkeling van de plant. Het aantal bladeren en bladoppervlak kan dan ook een groot effect hebben op de groei. Tijdens de proef is het aantal bladeren aan de plant tussen de twee behandelingen zo veel mogelijk gelijk gehouden. Bij tomaat zaten er in totaal meer bladeren aan de plant in de EM-behandeling in week 1 en minder in week 5, 6, 8 en 9. In de rest van het groeiseizoen waren het aantal bladeren aan de plant vergelijkbaar (Figuur 14). Er was in week 6-8 ook een significant verschil in de hoeveelheid geproduceerde bladeren per week. In week 6 en 8 was het aantal bladeren minder in de EM-behandeling en in week 7 was dit lager voor de controle (Appendix 7). Het totaal aantal geproduceerde bladeren was significant lager in de EM-behandeling wat aan het eind van het groeiseizoen 2,8 minder bladeren opleverde ten opzichte van de controle planten (Appendix 8). De hoeveelheid geoogste bladeren is zoveel mogelijk gelijk gehouden tussen de twee behandelingen maar in week 13 zijn er significant minder bladeren gepluk in de EM-behandeling en in week 14 significant minder in de controle (Appendix 7).

Er was geen duidelijk verschil in bladlengte tussen de twee behandelingen en alleen in week 15 was de gemiddelde bladlengte significant korter in de EM-behandeling (Appendix 9). Hoewel het gemiddelde bladoppervlak lager was in de EM-behandeling was dit alleen significant in week 19 (Appendix 10).

Aantal bladeren aan de plant tomaat

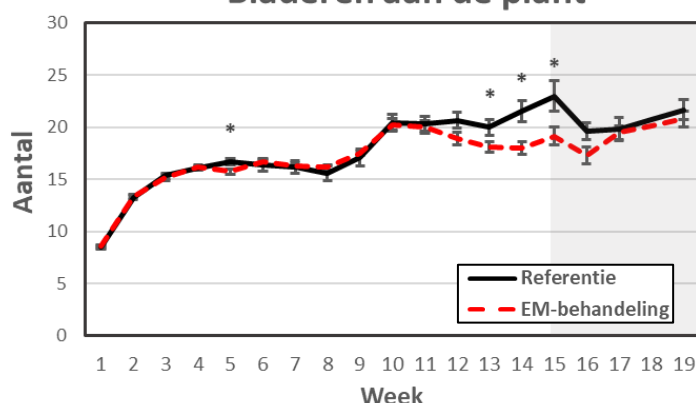


Figuur 14 Aantal bladeren aan de plant.

Het aantal bladeren aan de plant bij tomaat in de controle en EM-behandeling. Error bars tonen standard error ($n_{\text{week1-6}}=12$, $n_{\text{week7-15}}=18$, $n_{\text{week16-20}}=9$) en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.

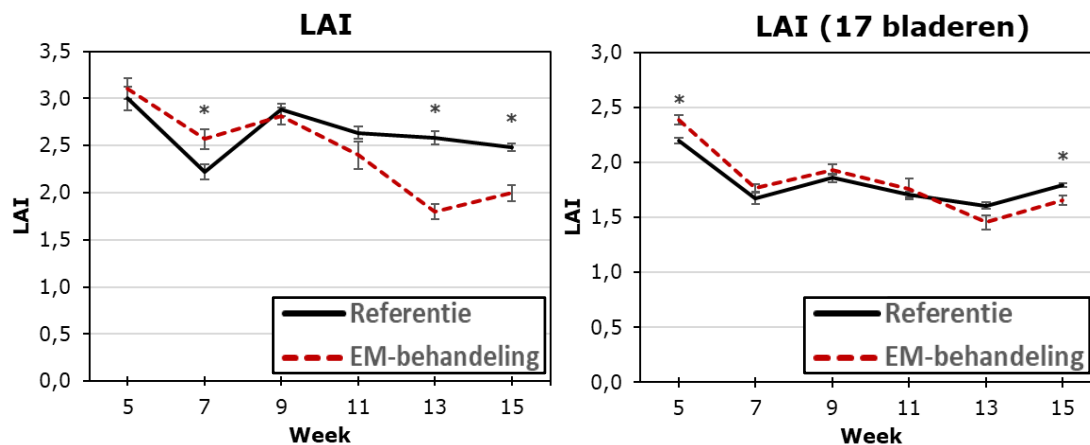
Bij komkommer was het aantal bladeren aan de plant net als tomaat vrijwel gelijk tijdens het groeiseizoen met uitzondering van week 5 en week 13-15 waar het aantal bladeren significant lager was in de EM-behandeling (Figuur 15). In week 13-15 was er een korte periode waarin er gemiddeld 3,6 minder bladeren aan de plant zaten ten opzichte van de controle behandeling. Dit was ook terug te zien in de berekende LAI (bladoppervlak per grondoppervlak) (Figuur 16). Om de LAI te kunnen berekenen is aan het begin van het seizoen de correlatie tussen bladoppervlak en lengte bepaald. Er was een duidelijke correlatie tussen bladlengte en bladoppervlak bij komkommer ($R^2=0,9754$) zonder duidelijke verschillen tussen de bladeren van de referentie en EM-behandeling (Appendix 11). Alle meetpunten zijn samengevoegd en de volgende formule is gecalculeerd om de LAI te berekenen aan de hand van de bladlengte: $LAI=0.6096 \text{ bladlengte}(\text{totaal})^{2,0825}$.

Bladeren aan de plant



Figuur 15 Aantal bladeren aan de plant bij komkommer.

Het aantal bladeren aan de plant bij tomaat in de controle en EM-behandeling. Error bars tonen standard error ($n_{\text{week1-15}}=12$, $n_{\text{week16-20}}=6$) en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.



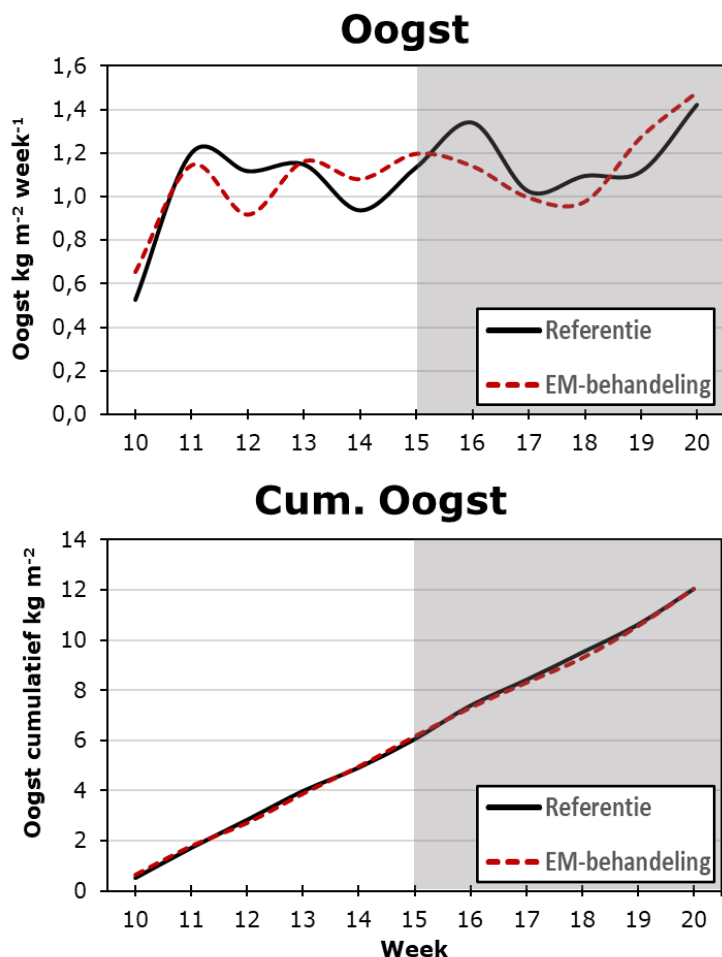
Figuur 16 LAI komkommer.

De Leaf Area Index (LAI: bladoppervlak (m^2) per grondoppervlak (m^2)) van komkommer voor alle bladeren (links) en alleen voor de bovenste 17 bladeren (rechts). De LAI is berekend aan de hand van de bladlengte en de correlatie met het bladoppervlak. Error bars tonen standard error ($n=6$) en significante verschillen worden aangeduid met *.

Er waren significante verschillen in LAI tussen de twee behandelingen. In week 7 was de LAI in de EM-behandeling iets hoger in vergelijking tot de controle en in week 13 en 15 was het significant lager dan de controle behandeling (Figuur 16). Het verschil in LAI was kleiner wanneer er alleen gekeken werd naar de bovenste 17 bladeren. De LAI was gemiddeld 0,6 lager in week 13 en 15 wanneer er de volledige plant werd gemeten en 0,1 bij alleen de bovenste 17 bladeren. In deze periode was er geen duidelijk verschil in het aantal geproduceerde bladeren, met uitzondering van week 14, waar de planten in de EM-behandeling gemiddeld 0,9 bladeren minder produceerde dan bij de controle (APPENDIX 8). Ook was er in deze periode geen duidelijk verschil in het aantal verwijderde bladeren, behalve in week 12, waarin gemiddeld 1,2 oude bladeren meer werden verwijderd en in week 15 waarin gemiddeld 0,7 meer jonge bladeren werden verwijderd in de EM-behandeling ten opzichte van de controle (Appendix 12). Toch werd er in de periode van week 12-15 cumulatief 0,9 blad minder geproduceerd en 2,7 bladeren meer verwijderd, waardoor er in week 15 gemiddeld 3,6 minder bladeren aan de plant zaten in de EM-behandeling (Figuur 15). De totale bladproductie aan het eind van het groeiseizoen was echter niet significant verschillend tussen EM- en de controle behandeling (Appendix 8).

4.3 Productie

Om te kijken of de modulatoren een effect hebben op de productie van tomaat en komkommer is de wekelijkse oogst gewogen en de totale productie berekend van alle meetrijen. Bij tomaat varieerde het aantal en het gewicht van de geoogste vruchten sterk, maar cumulatief was er geen duidelijk verschil in productie tussen de EM- en controle behandeling (Figuur 17, Appendix 13). In de controle is een totaal van $12,04 \text{ kg m}^{-2}$ geproduceerd ten opzichte van $12,03 \text{ kg m}^{-2}$ in de EM-behandeling. Het gemiddelde trossgewicht bleef gedurende het groeiseizoen gelijk, maar in week 11 was deze zichtbaar lager voor de EM-behandeling (Appendix 14).



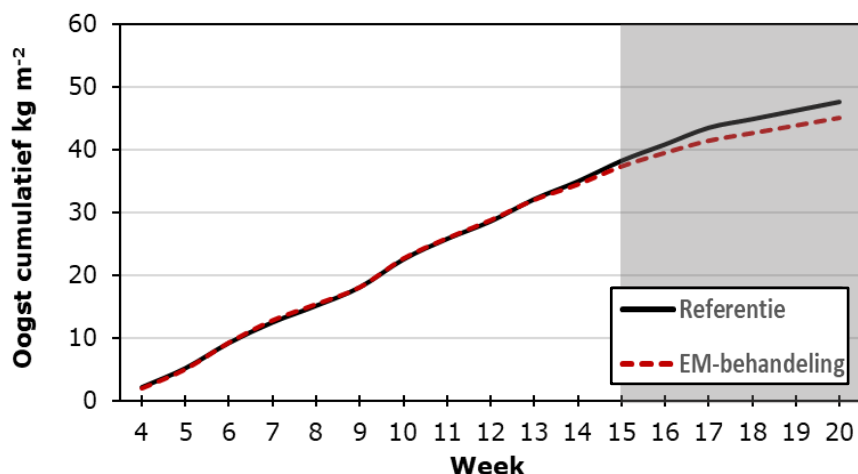
Figuur 17 Oogst tomaat.

De oogst van tomaat in $\text{kg m}^{-2} \text{ week}^{-1}$ en de totale oogst (cumulatief) in kg m^{-2} in de referentie en EM-behandeling in week 10 tot 20. In het gemiddelde is de rand rij niet meegenomen.

De productie van komkommer was 2,6 kg lager in de EM-behandeling. Dit verschil ontstond voornamelijk in de laatste fase van het experiment toen de PAR som naar beneden ging (Figuur 18). Het aantal geoogste vruchten per week, het gemiddelde vrucht gewicht en de wekelijkse oogst van komkommer was voornamelijk aan het eind van het experiment (week 12-19) lager in de EM-behandeling (Appendix 15). Dit liep gelijk met de tijd met de lagere LAI (week 13-15) en PAR som (week 16-20) in de EM-behandeling.

Omdat er geen duidelijke verschillen waren tussen de twee behandelingen was de vraag of er misschien een verschil zat tussen de rijen. De hypothese was dat de meetrijen dichter bij de modulatoren meer produceerden. Daarom is er gekeken naar de totale productie per meetrij in zowel tomaat als komkommer (Tabel 3). De middelste rij waar de meetplanten zich bevinden is als referentie genomen waar de productie optimaal is (100%). Het percentage van de productie in de andere meetrijen is weergegeven ten opzichte van de middelste rij. Er is geen duidelijk voordeel van dichter op de modulatoren groeien. Bij komkommer is de productie iets lager dichter bij de modulatoren ten opzichte van de controle (76% ten opzichte van 87% bij de controle) en bij tomaat is dit vrijwel gelijk (83% ten opzichte van 81%).

Cum. oogst komkommer



Figuur 18 Cumulatieve oogst van komkommer.

De cumulatieve oogst van komkommer in kg m^{-2} in week 4-20 in de controle en EM-behandeling. In het gemiddelde is de randrij niet meegenomen.

Wanneer alleen de productie van de meetplanten werd gemeten waren er geen significante verschillen totaal geproduceerd vruchtgewicht per plant bij zowel komkommer als tomaat (Figuur 19). Hoewel de productie van komkommer en tomaat lager leek te zijn in de EM-behandeling in week 20 was dit niet significant. Ook was er geen duidelijk verschil in vers gewicht verdeling van de stengel, bladeren en vruchten tussen de twee behandelingen. Het totaal geproduceerde vers gewicht leek lager in de EM-behandeling in week 20, maar dit verschil was niet significant (Appendix 16).

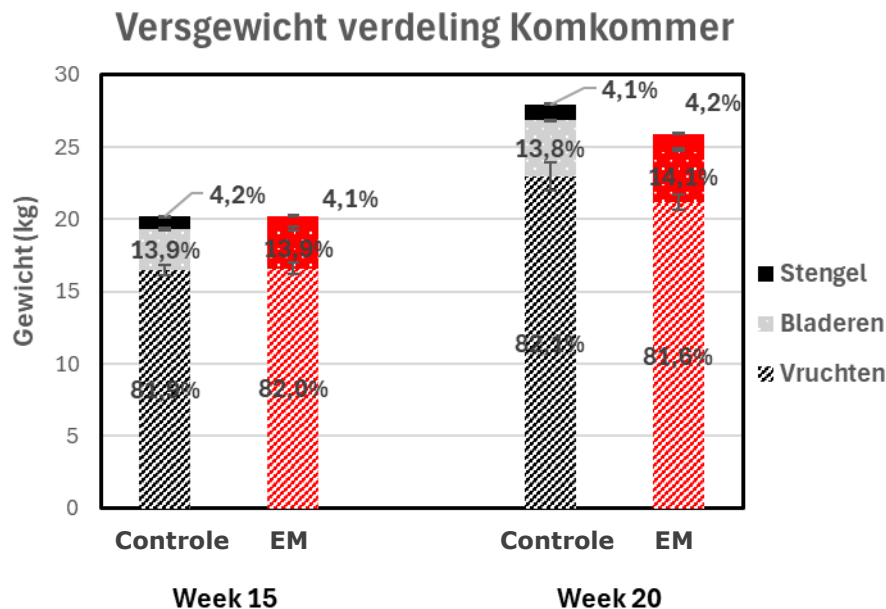
Tabel 3 Totale oogst per rij in kg m^{-2} en % ten opzichte van middelste rij in week 20 voor tomaat en komkommer.

Komkommer

Rij	Controle		EM-behandeling	
	kg m^{-2}	%	kg m^{-2}	%
5	47,0	74%	45,8	77%
6	63,7	100%	59,9	100%
7	55,4	87%	45,7	76%

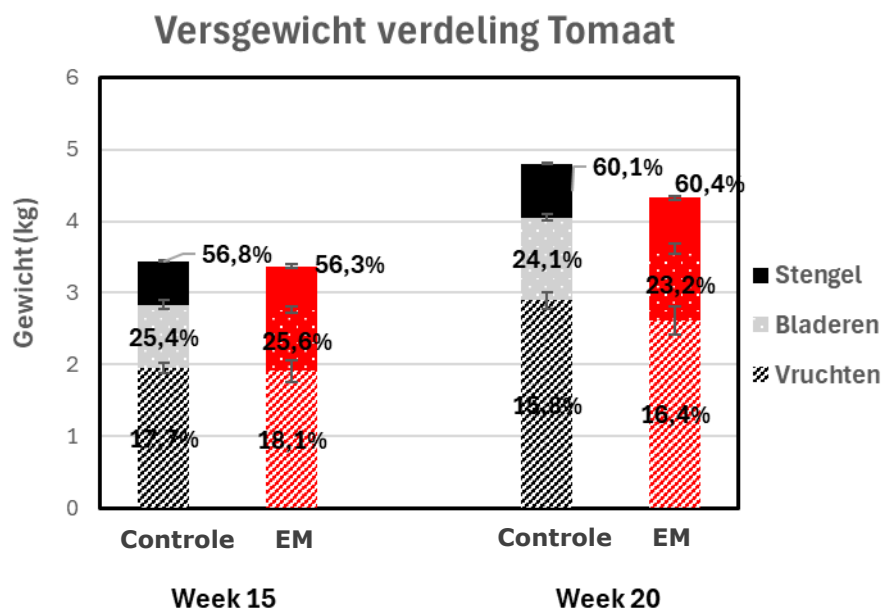
Tomaat

Rij	Controle		EM-behandeling	
	kg m^{-2}	%	kg m^{-2}	%
1	13,5	81%	13,5	83%
2	12,1	73%	12,3	75%
3	16,7	100%	16,3	100%
4	12,1	73%	12,1	74%



Figuur 19 Verdeling van vers gewicht in komkommer.

De verdeling van vers gewicht (kg en %) van komkommerplanten in week 15 en 20 in de controle (zwart/grijs) en EM-behandeling (rood). Het vers gewicht is onderverdeeld in stengel (dicht), bladeren (gestipt) en vruchten (gestreept). De percentages ten opzichte van het totale gewicht worden weergegeven per orgaan. Error bars tonen standard error (n=6) en significante verschillen worden aangeduid met *.

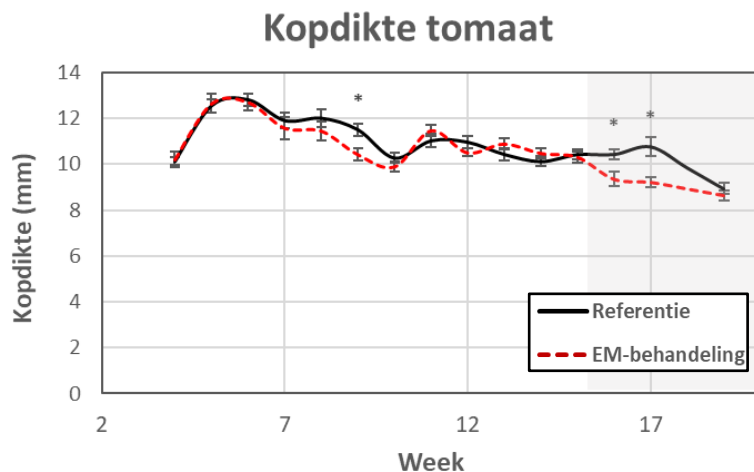


Figuur 20 Verdeling van vers gewicht in tomaat.

De verdeling van vers gewicht (kg en %) van tomaat in week 15 en 20 in de controle (zwart/grijs) en EM-behandeling (rood). Het vers gewicht is onderverdeeld in stengel (dicht), bladeren (gestipt) en vruchten (gestreept). De percentages ten opzichte van het totale gewicht worden weergegeven per orgaan. Error bars tonen standard error (n=6) en significante verschillen worden aangeduid met *.

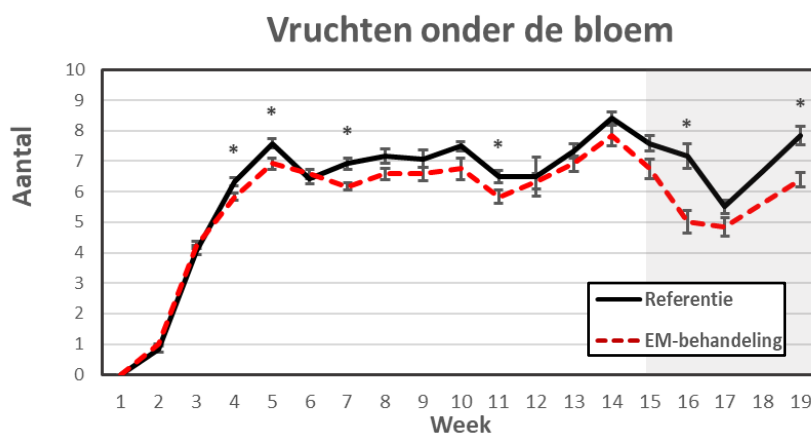
4.4 Status van de plant.

Wekelijks is ook de ontwikkeling en status van de plant bijgehouden door te kijken naar kopdikte, zettingsnelheid, bloeisnelheid en rijpingsnelheid bij tomaat. Er was echter geen duidelijk verschil tussen de twee behandelingen in kopdikte en alleen in de laatste paar weken was de kopdikte iets dunner in de EM-behandeling (Figuur 21). Er waren geen duidelijke verschillen in zettings-, bloei- en rijpingsnelheid bij tomaat (Appendix 17). Met uitzondering van een enkele week, zonder duidelijke voordelen voor de EM-behandeling. De bladlengte van tomaat was ook niet significant verschillend tussen de twee behandelingen. Alleen in week 16 was deze iets langer in de controle behandeling (Appendix 18).



Figuur 21 Kopdikte van tomaat door het groeiseizoen heen. De kopdikte van tomaat (mm) van de EM- en controle behandeling. Error bars tonen standard error ($n_{\text{week1-15}}=12$, $n_{\text{week16-20}}=6$) en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.

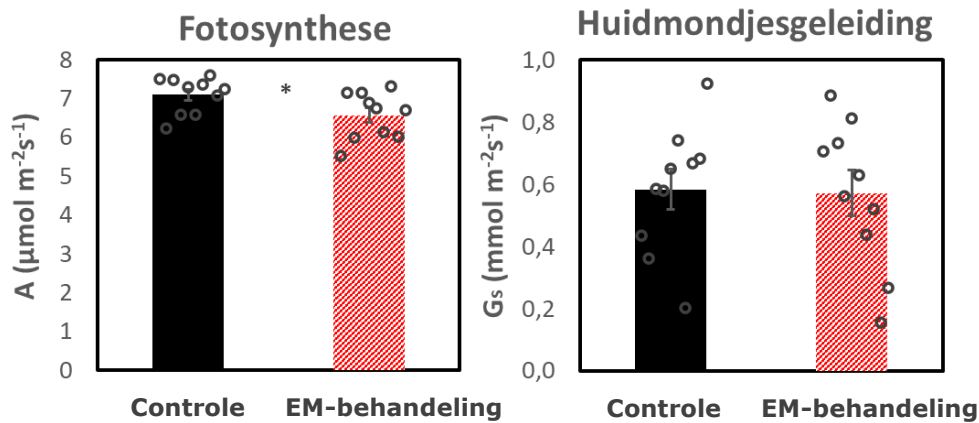
Bij komkommer is gekeken naar het aantal vruchten onder de bloeiende bloem en het aantal bladeren boven de bloeiende bloem. Hoewel het aantal vruchten onder de bloeiende bloem minder leek te zijn in de EM-behandeling was dit alleen significant voor week 3, 4, 6, 10, 16 en 19. Het aantal bladeren boven de bloeiende bloem was niet significant verschillend met uitzondering van week 14 (Appendix 19).



Figuur 22 Aantal vruchten onder de bloeiende bloem van komkommer. Het aantal vruchten onder de bloeiende bloem van komkommerplanten in de controle en EM-behandeling. Error bars tonen standard error ($n_{\text{week1-15}}=12$, $n_{\text{week16-20}}=6$) en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.

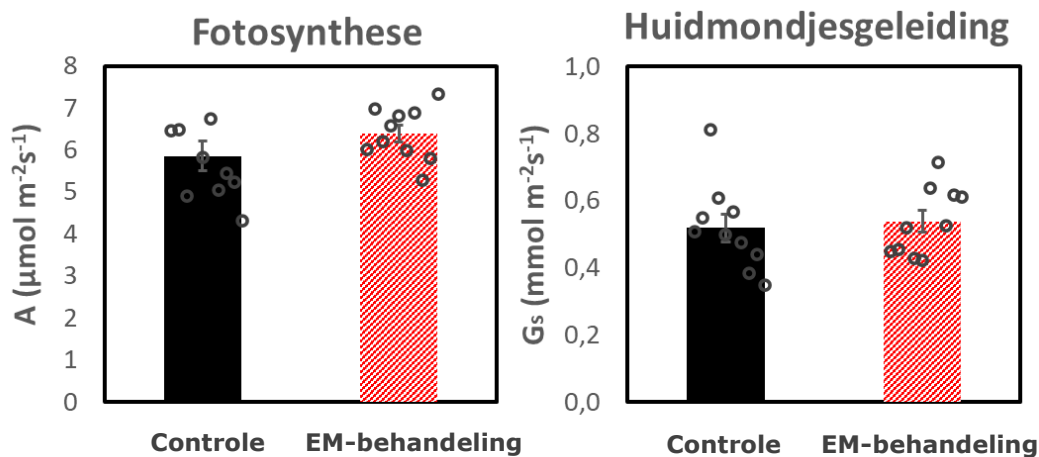
4.5 Fotosynthese en huidmondjesgeleiding

Er is een klein significant verschil in fotosynthese gemeten bij komkommer in week 8. In de controle meting was dit $7,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en bij de EM-behandeling $6,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Er zijn geen significante verschillen geobserveerd in huidmondjesgeleiding bij komkommer en er was een vrij grote spreiding van de individuele datapunten (Figuur 23). Ook bij tomaat was er in week 8 geen duidelijk verschil in huidmondjesgeleiding. Hier liet de fotosynthese ook geen duidelijke verschillen zien (Figuur 24).



Figuur 23 Een lagere fotosynthese in komkommer in week 8 zonder duidelijk effect op de huidmondjesgeleiding.

In week 8 is de fotosynthese (A : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en huidmondjesgeleiding (g_s : $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bepaald met de LI-COR6800 met open kamer bij komkommer (L : $105 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 80%RV, 25°C). Individuele datapunten worden weergegeven met een rondje en errorbars tonen SE ($n=10$). Significante verschillen worden weergegeven met een * ($P<0.05$).

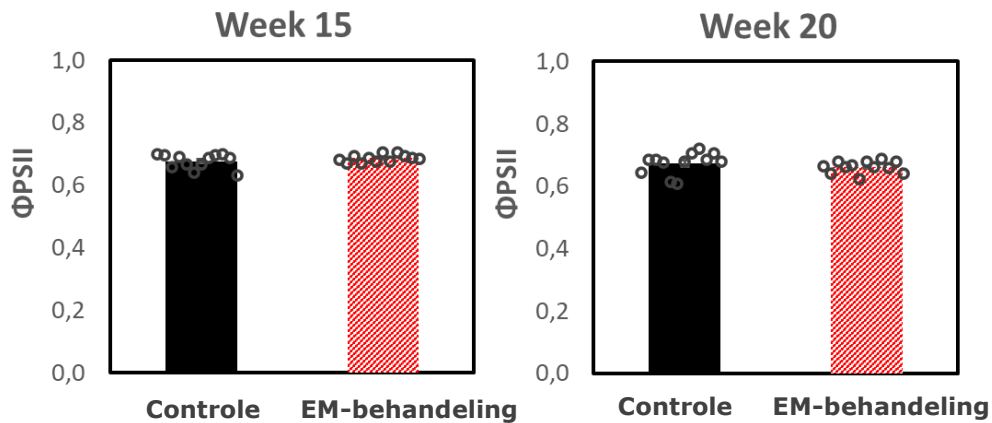


Figuur 24 Geen duidelijk verschil in fotosynthese en huidmondjesgeleiding in week 8 bij tomaat.

In week 8 is de fotosynthese (A : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en huidmondjesgeleiding (g_s : $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bepaald met de LI-COR6800 met open kamer bij tomaat (L : $105 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 80%RV, 25°C). Individuele datapunten worden weergegeven met een rondje en errorbars tonen SE ($n=10$). Significante verschillen worden weergegeven met een * ($P<0.05$).

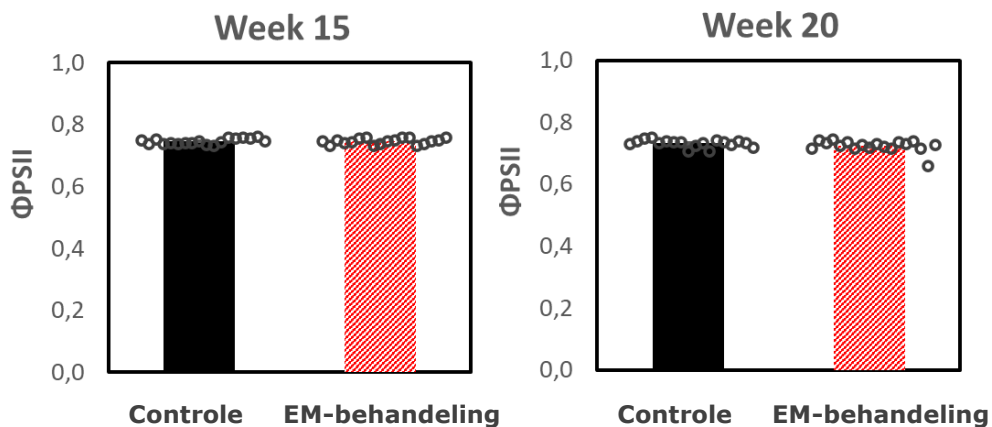
4.6 Geen duidelijke verschillen in de efficiëntie van de fotosynthese

Hoewel de fotosynthese lager was in komkommer werd er zowel bij komkommer als tomaat in week 15 en 20 geen verschil in efficiëntie van de fotosynthese gemeten. De Φ_{PSII} (Proportie licht geabsorbeerd voor de fotosynthese) was niet significant verschillend (Figuur 25). Wel had komkommer een iets lagere chlorofyl inhoud in week 15 in de EM-behandeling (Figuur 27). Bij tomaat was de flavonoïde inhoud lager wat resulteerde in een hogere NFI (Figuur 28).



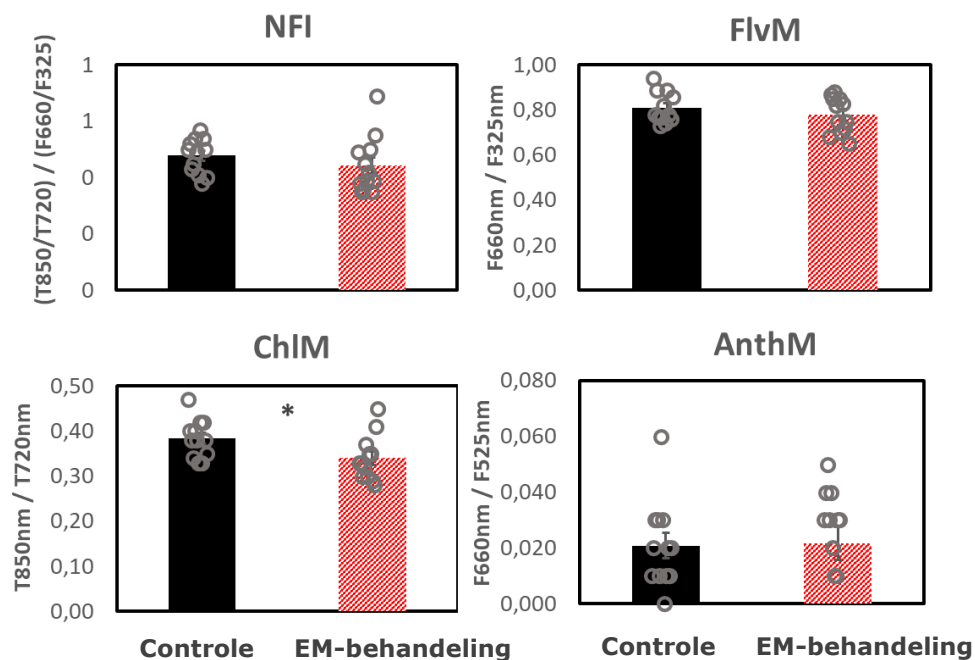
Figuur 25 Efficiëntie van de fotosynthese van komkommer.

De Φ_{PSII} (proportie licht geabsorbeerd voor fotosynthese) van komkommerbladeren in week 15 en week 20. Individuele datapunten worden weergegeven met een rondje en errorbars tonen SE ($n=12$). Significante verschillen worden aangeduid met *.



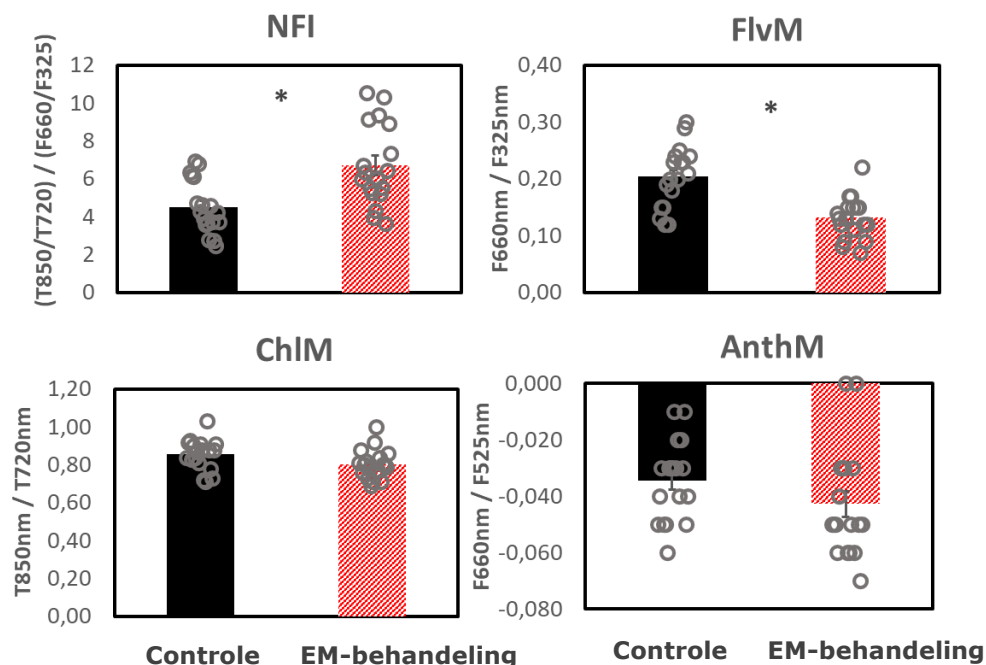
Figuur 26 Efficiëntie van de fotosynthese van tomaat.

De Φ_{PSII} (proportie licht geabsorbeerd voor fotosynthese) van tomatenbladeren in week 15 en week 20. Individuele datapunten worden weergegeven met een rondje en errorbars tonen SE ($n=18$). Significante verschillen worden aangeduid met *.



Figuur 27 Pigmenten in Komkommerblad.

Pigmentmetingen in komkommerblad in week 15 voor de controle en EM-behandeling. Hier weergegeven een benadering van de stikstof-flavonoïde index (NFI: Chlorofyl (T850nm/T720nm) / Flavonoïde (F660 nm / F325 nm)), Flavonoïde inhoud (FlvM: F660 nm / F325 nm), chlorofyl inhoud (ChlM: T850nm/T720nm) en de Anthocyanen inhoud (AnthM: F660nm/F525nm) aan de hand van fluorescentie en blad transmissie van ver rood en infrarood. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen individuele datapunten (n=12). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P < 0.05$).

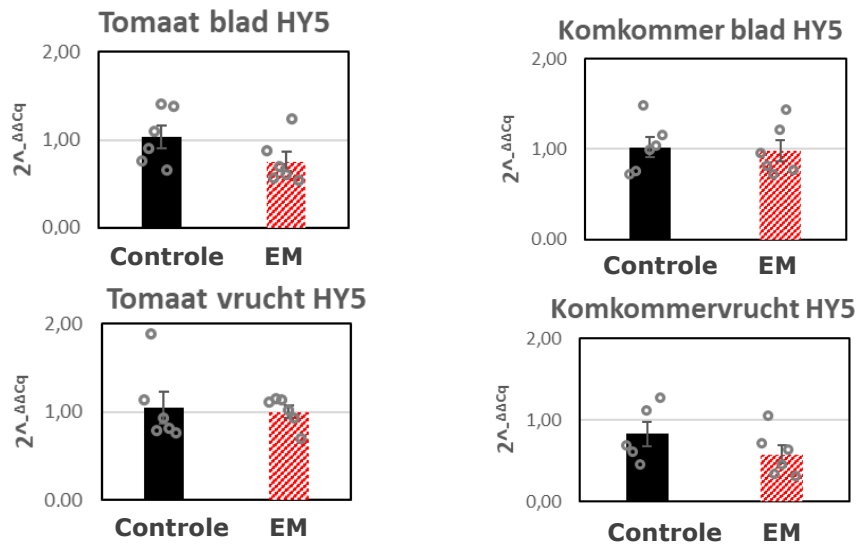


Figuur 28 Pigmenten in Tomatenblad.

Pigmentmetingen in tomatenblad in week 15 voor de controle en EM-behandeling. Hier weergegeven een benadering van de stikstof-flavonoïde index (NFI: Chlorofyl (T850nm/T720nm) / Flavonoïde (F660 nm / F325 nm)), Flavonoïde inhoud (FlvM: F660 nm / F325 nm), chlorofyl inhoud (ChlM: T850nm/T720nm) en de Anthocyanen inhoud (AnthM: F660nm/F525nm) aan de hand van fluorescentie en blad transmissie van ver rood en infrarood. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen individuele datapunten (n=18). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P < 0.05$).

4.7 Genexpressie

HY5 is een eiwit dat verschillende plantprocessen reguleert waaronder de reactie op licht door het verhogen van de huidmondjesgeleiding en het stimuleren van de nutriënten opname en wortelgroei (Abbas et al., 2014; Bhatnagar et al., 2020; Chen, Yao, Gao, Jiang, Harberd, Fu, et al., 2016; Kelly et al., 2021, 2023; Palme et al., 2016). Er was geen duidelijk verschil in HY5 genexpressie in zowel het blad en de vrucht van zowel komkommer als tomaat (Figuur 29).



Figuur 29 Genexpressie HY5 in het blad en de vrucht van tomaat en komkommer in week 12. De genexpressie van HY5 in het blad en de vrucht van tomaat en komkommer in week 12. Het blad en de vrucht zijn geoogst rond 12:00 op 170 cm hoogte (behalve het komkommerblad welke op 290 cm hoogte is geoogst). De expressie is berekend met de $\Delta\Delta Cq$ methode. Individuele datapunten worden weergegeven met een rondje en errorbars tonen SE ($n=6$). Significante verschillen worden aangeduid met *.

5 Tussentijdse discussie Kasproef

5.1 Er is geen duidelijk effect van EM straling van 1-15 MHz op de groei, ontwikkeling en opbrengst van komkommer en tomaat

In dit deel van de studie hebben we gekeken of elektromagnetische (EM) straling met een frequentie van 1-15 MHz effect heeft op de groei, ontwikkeling en opbrengst van twee hogedraad gewassen; komkommer en tomaat. Deze EM straling is geproduceerd met behulp van modulatoren van bedrijf A, die zoals getest in deze studie, verschillende frequenties tussen 1-15MHz produceren (Tabel 1). De verwachting was dat de EM straling geproduceerd door de modulatoren een positief effect zouden hebben op de groei van het gewas. Dit was echter niet terug te zien in de resultaten. Een voorbeeld hiervan is de lengte van zowel komkommer als tomaat, die korter was in de EM-behandeling (Figuur 12). Of dit het gevolg is van de modulatoren of verschillen in klimaat tussen de twee kas compartimenten is niet duidelijk en moet verder onderzocht worden. Vooral omdat het verschil in lengte tussen de twee behandelingen extra duidelijk werd na de verlaging van het lichtniveau in de laatste 5 weken waarbij de het compartiment met de EM-behandeling minder licht ontving dan de controle (Figuur 13, Appendix 5). Toch zou je bij een reductie in lichtintensiteit eerder een gestrekte stengel verwachten. Zo vond Haque et al (2009), dat bij een reductie van 25% van het PAR niveau komkommer ongeveer een 20% langere stengel had ten opzichte van de controle behandeling. Het is opvallend dat het gewicht van de komkommer stengels, hoewel gereduceerd, niet significant verschillend is (Figuur 19). Dit zou kunnen duiden op een dikkere stengel in de EM-behandeling zonder dat het totaal geproduceerde vers- en drooggewicht afnam. Helaas is de stengeldikte, met uitzondering van de kopdikte bij tomaat, niet gemeten. De destructieve metingen die zijn uitgevoerd in week 15 en week 20 laten zien dat er ook geen duidelijk verschil is in het totaal geproduceerde vers gewicht tussen de twee behandelingen bij zowel komkommer als tomaat (Appendix 16).

In week 3 werd er bij komkommer de ziekte crazy roots vast gesteld die veroorzaakt wordt door de bacterie *Agrobacterium rhizogenes* (zie Foto 2). Deze ziekte is waarschijnlijk met het plantmateriaal meegekomen en is na identificatie bestreden door het toedienen van 10% H₂O₂ aan het irrigatiewater. De ziekte was binnen twee weken onder controle zonder grote gevolgen voor de wortelgroei. Omdat de symptomen vrijwel gelijk waren in de twee compartimenten, is het onwaarschijnlijk dat dit de reductie in groei heeft veroorzaakt in de EM-behandeling.



Foto 2 Crazy roots bij komkommer.

Hoewel er bij tomaat geen duidelijk verschil was in oogst (Figuur 17) was de oogst van komkommer significant lager bij komkommer (Figuur 18). Het valt op dat ook dit verschil ontstond in de laatste 5 weken, toen de lichtintensiteit verlaagd werd en er een verschil van totaal 34 mol m⁻² (9%) PAR ontstond in het voordeel van de controle behandeling (Figuur 11). Komkommer is erg gevoelig voor een reductie in PAR. Zo wordt vermeld dat met een reductie van 1 mol m⁻² dag⁻¹ de totale oogst met 0.8 kg m⁻² kan verlagen (Kläring et al., 2012). Wat de reductie in oogst per week is wordt hier niet vermeld, maar dit laat wel zien dat de lichtintensiteit een groot effect heeft op de productie. Omdat de modulatoren voornamelijk een positief effect zouden hebben in tijden met een lage lichtintensiteit, werd de oogst tussen de verschillende rijen vergeleken. De hypothese was dat de rijen dichter bij de modulatoren minder 'last' zouden hebben van de reductie in PAR. De oogst werd in percentages vergeleken met de middelste rij waarin de meetplanten zich bevonden. Er werd echter geen positief effect gevonden op de productie dichter bij de modulatoren. In de EM-behandeling was de opbrengst van komkommer 76% ten opzichte van de middelste rij in vergelijking met 87% bij de controle behandeling (Tabel 3). Dit laat zien dat mocht er een effect van de modulatoren zijn op de opbrengst, dit niet in het voordeel is van de EM-behandeling.

5.2 Geen eenduidig effect van de EM-modulatoren op de plant fysiologie

De hypothese was dat het gebruik van EM straling in de frequentie van 1-15 MHz een positief effect zou hebben op de fotosynthese en huidmondjesgeleiding. In dit deel van de studie werd echter geen positief effect geobserveerd op de huidmondjesgeleiding en alleen bij komkommer werd er significant lagere fotosynthese gemeten in week 8 (Figuur 23). In week 15 werd er ook een lagere chlorofylinhoud gemeten, wat in overeenstemming is met de lagere fotosynthese, maar er was geen effect op de Φ PSII (Figuur 25). De reductie in fotosynthese is tegen de verwachtingen in, maar in lijn met de geobserveerde reductie in oogst, hoewel dit pas later in het seizoen zichtbaar werd (Figuur 18). Of dit komt door de modulatoren moet verder onderzocht worden. In tomaat werd namelijk geen reductie in fotosynthese gemeten (Figuur 24). Bij tomaat werd echter wel een lagere flavonoïde inhoud gemeten in de EM-behandeling, waardoor de NFI index verhoogde. Flavonoïden beschermen de plant tegen verschillende biotische en abiotische stressoren waaronder bescherming tegen UV straling en een hoge licht intensiteit (Ferreira et al., 2021; Samanta & Das, 2011). Een studie van Upadhyaya et al., (Upadhyaya et al., 2022) liet zien dat blootstelling van tomatenplanten aan EM straling met een frequentie van 1800 MHz bij een veldsterkte van 0,19 μ Hz voor een duur van 12, 60 of 120 uur een reductie in flavonoïden inhoud in tomatenbladeren veroorzaakte. Deze resultaten zijn in lijn zijn met onze bevinden bij blootstelling aan een lagere frequentie EM straling van 1-15MHz.

6 Deel 2: Experimenten Klimaat cellen

In het eerste deel van deze studie hebben we gekeken naar het effect van EM straling op twee hogedraad gewassen; komkommer en tomaat. De verwachting was dat met gebruik van de modulatoren van bedrijf A, die EM straling produceren tussen de 1-15 MHz, de groei en opbrengst van zowel komkommer als tomaat zou toenemen. Er was echter geen duidelijk positief effect van de modulatoren op het gewas. Hoewel er een negatief effect leek te zijn op de stengelstrekking, fotosynthese en oogst was het onduidelijk of dit door verschillen in de lichtintensiteit, klimaat of modulatoren komt. Daarom is het van belang dat de proef in meer gecontroleerde condities uitgevoerd kan worden, waarbij er meerdere herhalingen gedaan worden. In dit deel van de studie zal daarom gekeken worden naar het effect van EM straling op de groei en fysiologie van jonge tomatenplanten en anthurium waarbij de proef wordt uitgevoerd in kooien van Faraday in twee verschillende klimaatcellen. Door het creëren van kooien zijn meerdere herhalingen tegelijkertijd mogelijk om zo positioneringseffecten te verminderen.

Een kooi van Faraday, is gemaakt van geleidend materiaal dat het elektrische veld blokkeert. Hierbij speelt de gaaswijdte van de kooi een belangrijke rol, die niet groter mag zijn dan de golflengte van de straling. De kooi zorgt dat de elektrische lading zich zo verdeelt over het omhulsel dat er geen lading in de kooi is. Zonder het elektrische component zullen de magnetische velden zich ook niet kunnen verplaatsen. Uiteraard kan dit ook omgekeerd, waarbij de elektrische generator binnen de kooi wordt geplaatst wat het EM veld binnen de kooi houdt.

De volgende vragen zullen onderzocht worden:

Heeft langgolelige EM straling van 1-15 MHz effect op de groei, fotosynthese, huidmondjesgeleiding en pigmenteninhoud van jonge tomatenplanten?

Als de resultaten van deel 1 van deze studie daadwerkelijk veroorzaakt zijn door de modulatoren zouden we verwachten dat de groei van tomatenplanten minder zal zijn in de EM-behandeling.

Heeft langgolelige EM straling van 1-15 MHz effect op de groei, fotosynthese, huidmondjesgeleiding en pigmenteninhoud van anthuriumplanten?

Volgens bedrijf A zouden de modulatoren een positief effect hebben op de groei, fotosynthese en huidmondjesgeleiding van anthurium. Het is mogelijk dat de effecten van de modulatoren soort afhankelijk zijn en de proef met anthurium zou dit kunnen uitwijzen.

7 Materiaal en methoden

7.1 Plant materiaal

Anthuriums (ras Felicita) is in pluggen met een kokosmengsel opgekweekt door Antura ([Anthura | breeder of anthuriums, orchids and bromeliads](#)). De planten zijn toen overgepot door Bunnik Bromelia (<https://www.bunnikbromelia.nl/>) op een mengsel van 30% StructuurBark, 40% veen en 30% kokosvezel (BPO-C Bromelia Kokosvezel) in een 12cm pot. Daarna zijn ze geselecteerd op grootte en in 3 klassen verdeelt. Bij binnenkomst op de locatie in Bleiswijk zijn de planten gelijkmatig verdeelt over de verschillende behandelingen met uitzondering van de laagste klasse. Voor de meetplanten zijn alleen de planten van de hoogste klasse gebruikt. De middelste klasse zijn gebruikt als randplant.

De tomaat in dit experiment is net als in deel 1 een cocktailtomaat van het ras DR0607TC (de Ruiter). De tomaat is bij elke proef gezaaid in de Vertical Farm en pas na 3 dagen zijn de modulatoren aangeschakeld om eventuele beïnvloeding op de ontkieming te voorkomen (m.u.v. experiment 3). De tomaten zijn gezaaid in steenwolpluggen (tray 252) en opgepot in steenwolblokken van 10x15x6,5 cm (lxbxh, Grodan) (in proef 1) of van 10x10x6,5cm (proef2-3).

7.2 Opstelling en behandelingen

Dit experiment is uitgevoerd in Bleiswijk WUR Glastuinbouw in twee klimaatcellen in de Vertical Farm. Elke klimaatcel heeft twee lagen. Om te voorkomen dat de modulatoren de planten van de controle behandeling kunnen beïnvloeden, is er gekozen om de planten te kweken in kooien van Faraday (Foto 3). Deze kooien zijn gemaakt van een aluminium frame met een oppervlak van 1,7 m² en een hoogte van 1,5m. Alle vlakken van het frame zijn gedicht met Volieregaas met een maaswijdte van 1x1cm. In totaal zijn er 16 verschillende kooien (4 per tafel/laag). In elke klimaatcel zijn 4 kooien met Anthuriums en 4 kooien met tomatenplanten opgesteld waarvan de helft met modulatoren van bedrijf A (Tabel 4). Bij alle experimenten is de modulator horizontaal boven het gewas bevestigd, met uitzondering van het laatste experiment met tomaat, waarbij de modulator verticaal boven het gewas bungelden (Foto 4). De modulator is gekoppeld aan een ML-10K30M accu zodat de kabel van de modulator niet door de kooi heen hoeft.

Tabel 4 Positie van de kooien.

In elke klimaatcel staan 4 kooien met tomaat en vier kooien met anthurium verdeeld over twee lagen. Kooien met een modulator worden aangeduid met een +.

MLC 3					
	4	3	2	1	Deur
Top	Tomaat ⁺	Athurium ⁺	Athurium	Tomaat	
Bottom	Tomaat	Athurium	Athurium ⁺	Tomaat ⁺	

MLC 4					
	4	3	2	1	Deur
Top	Tomaat	Athurium	Athurium ⁺	Tomaat ⁺	
Bottom	Tomaat ⁺	Athurium ⁺	Athurium	Tomaat	



Foto 3 *Kooien van Faraday in de klimaatcel.*

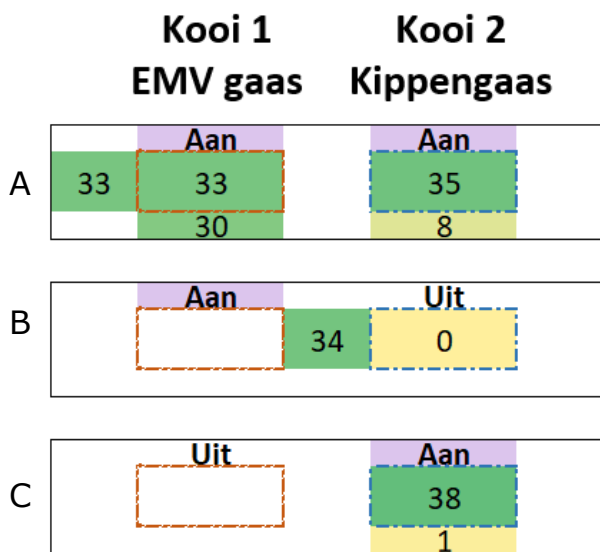


Foto 4 *Modulator oriëntatie.*

Oriëntatie van de modulatoren in de proef. In de eerste experimenten zijn de modulatoren horizontaal boven het gewas bevestigd (links). Alleen in het laatste experiment met tomaat hebben de modulatoren verticaal boven het gewas gehangen (rechts).

7.3 EM-Metingen

De magnetische component van de EM-straling is gemeten door DNV zoals beschreven in 3.3. In het begin zijn er twee verschillende kooien van Faraday getest waarbij 1 kooi omheind is met EMV gaas (Marburg Technic – Marburg Technic) en 1 kooi met kippenkaas. Bij het aanschakelen van de modulator in de kooi met EMV gaas werd duidelijk dat dit gaas de magnetische velden niet blokkeerden (Figuur 30). Buiten de kooi werd een vergelijkbare veldsterkte gemeten als in de kooi (33 vs. 30-34dBA/m) (Figuur 30A&B). Wanneer de modulator in de kooi met kippenkaas uitstond en in de kooi met EMV gaas aan, werd er geen signaal gemeten in de kippenkaaskooi maar wel daarbuiten (Figuur 30B). Dit laat zien dat de kooi met kippenkaas de EM-straling van de modulator tegenhoudt. Wanneer alleen de modulator in kooi 2 aanstond valt de magnetische veldsterkte dat buiten de kooi gemeten wordt in de ruis van de klimaatcel (38 vs 1 dBA/m binnen vs buiten de kooi) (Figuur 30C).

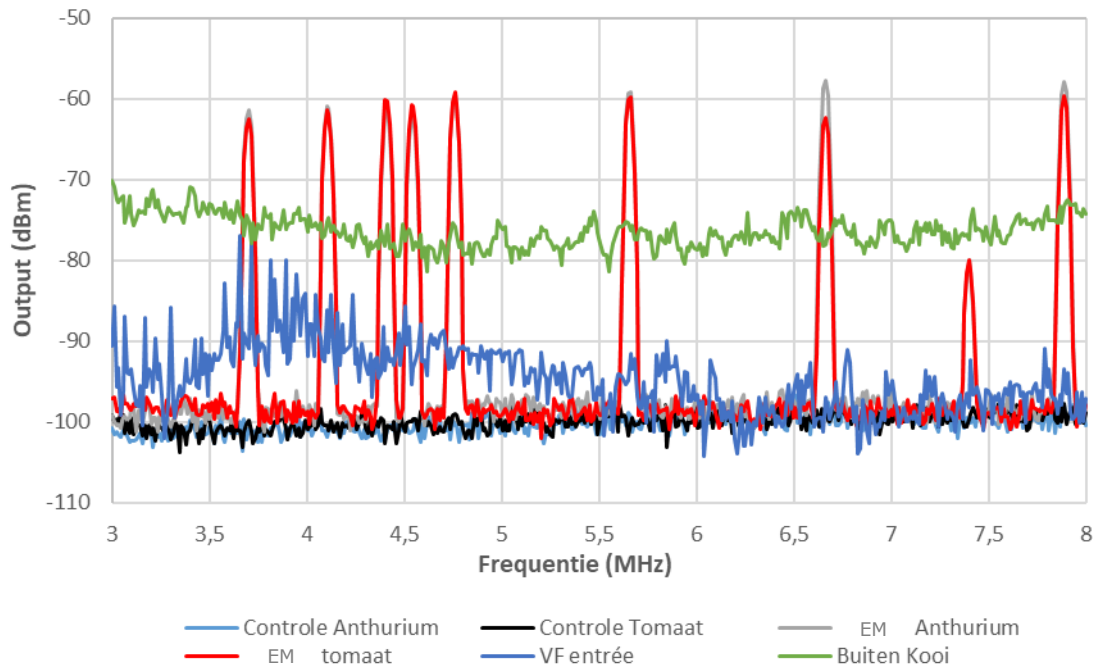


Figuur 30 Magnetische veldsterkte bij verschillende opstellingen (dBA/m) in de klimaatcel.

De magnetische veldsterkte (dBA/m, gecorrigeerd voor de ruis van -140dBA/m) bij verschillende opstellingen in de klimaatcel gemeten met de Narda. Kooi 1 (links) is omheind met EMV gaas en kooi 2 met kippenkaas. De veldsterkte is gemeten in 3 verschillende opstellingen, Kooi 1 & 2 beide modulatoren aan (A), Kooi 1 modulator aan en Kooi 2 modulator uit (B), en Kooi 1 modulator uit en Kooi 2 modulator aan (C).

In deze proef zijn de modulatoren niet aangesloten op het elektriciteitsnet, maar op een accu. Om de magnetische veldsterkte ook te kunnen meten tijdens de proef is er een eenvoudige handoscillator; TinySA spectrum analyser ULTRA (artikel nummer ELE007917, Eleshop B.V.) aangeschaft. Omdat bij de modulatoren een zeer lage magnetische veldsterkte wordt gemeten, was het niet goed mogelijk om dit zonder versterker in kaart te brengen. Het bedrijf Lescrauwaet BV heeft een antenne ontwikkeld die het mogelijk maakt om de magnetische veldsterkte te meten met de TinySA. Deze antenne is een Magnetic Active Loop antenne (ML-10K30M) die frequenties kan meten tussen de 10KHz en 30 MHz. Hiermee is gemeten wat de magnetische veldsterkte is van de verschillende frequenties (dBm) (Figuur 31). Buiten de kooien was er een vrij hoge magnetische veldsterkte, die binnen de kooien niet te meten was. De magnetische veldsterkte van de modulatoren was duidelijk hoger dan de achtergrond (Figuur 31).

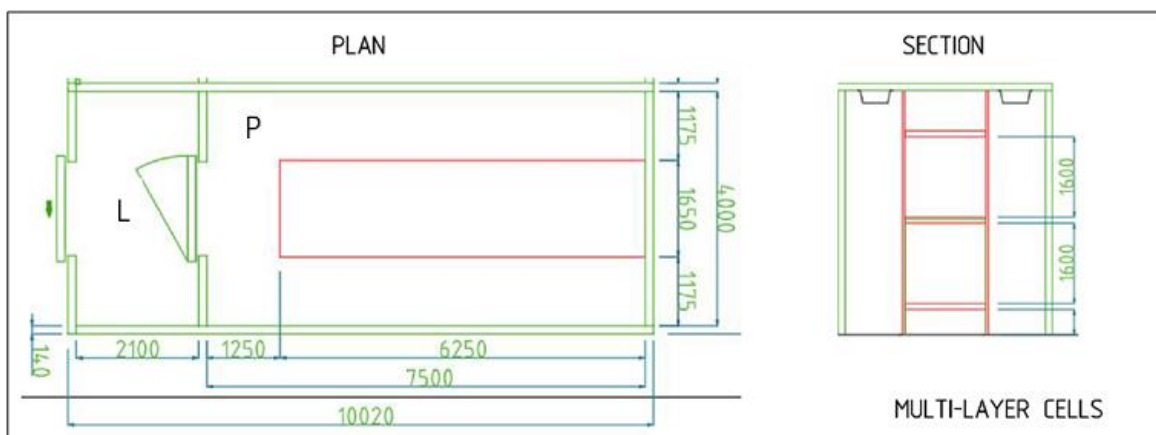
Magnetische veldsterkte (9 augustus 2024)



Figuur 31 Magnetische veldsterkte op verschillende plekken in de Vertical Farm. De magnetische veldsterkte (dBm) gemeten op verschillende plekken in de Vertical Farm met de TinySA.

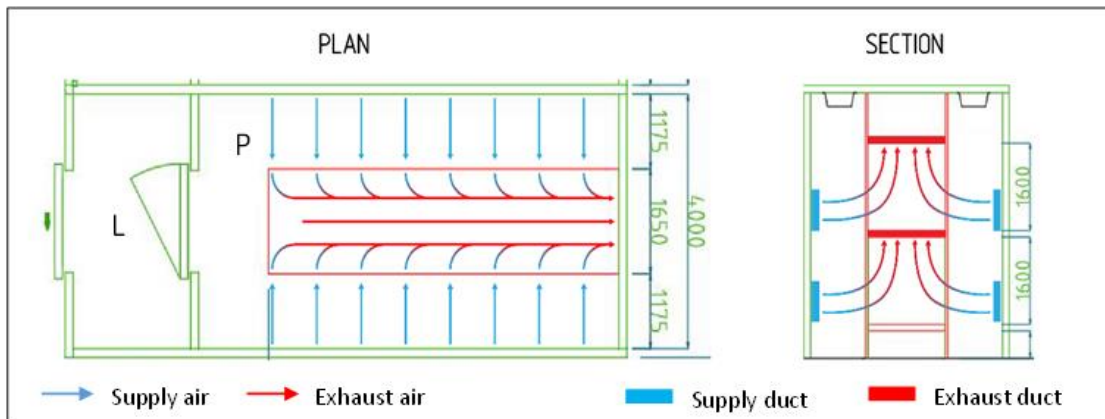
7.4 De klimaatcellen

De klimaatcellen beschikken over twee identieke luchtdichte meerlaagse cellen: MLC3 en MLC4. Elke cel bestaat uit 3 compartimenten: de sluis of voorkamer (L), het productiecompartiment (P) en het technische installatiecompartiment (Figuur 32). Het productiecompartiment heeft een oppervlakte van 30 m² en een volume van 175,8 m³. Het beschikt over 2 productielagen (eb- en vloedtafel) met elk 10,3 m² teeltoppervlak en een vrije hoogte (afstandslaag-lampen) van 1,6 m. Elke laag wordt verlicht door een reeks LED-modules (Philips/Signify GreenPower LED production module 3.0 dynamic) die (per laag) in intensiteit (bovenste laag max. Par-output: 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; onderste laag max. Par-output: 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en in spectrumsamenstelling (blauw, wit, rood en verrood) kunnen worden geregeld met behulp van het GrowWise-systeem.



Figuur 32 De afmetingen van de klimaatcellen (in mm). Van de bovenkant bekeken (link) de voorkamer (L) en productiecompartiment (P) en de doorsnede van P in het rechter figuur.

Cellen zijn luchtdicht en het klimaat wordt geregeld door de Ridder klimaatcomputer met Synopta software. Elke cel heeft zijn eigen HVAC-unit met een ventilator, een verwarmings- en een koelunit. Lucht wordt continu gerecirculeerd in de cel. Afgevoerde lucht wordt geklimatiseerd in het technische installatiecompartiment voor temperatuurvochtigheid en CO₂-gehalte. Geklimatiseerde lucht wordt in de cel ingebracht via geperforeerde kanalen op de zijwanden (Figuur 33 rechts; blauwe kanalen) en per laag afgezogen via luchtkanalen boven de LED-installatie. Een extra vernevelingssysteem met kanalen die bovenop de zijkanalen zijn gemonteerd, maakt verdere vochtigheidsregeling in de cel mogelijk. Elke cel heeft een reservoir met voedingsoplossing van 1000 liter. De irrigatie wordt per laag geregeld op basis van volume of tijd en de voedingsoplossing wordt gemengd door een FertiMix Unit (Ridder).



Figuur 33 Klimaat control in de klimaatcellen via luchttoevoer en luchtbeweging. De luchttoevoer is weergegeven in blauw en de luchtafvoer in rood. Het bovenaanzicht (links) en het zijaanzicht (rechts).

7.5 Klimaat en belichting

Op beide lagen wordt gemiddeld een Daily Light Integral (DLI) van 5 mol/m²d gerealiseerd in de kooien. Het lightspectrum wordt berekend als een mix van 2 mol zonlicht en 3 mol LED-spectrum met een samenstelling van 6%B – 8%G – 86%R – 20%FR. Het toegepaste spectrum zal dus zijn: 16% 19% 66% 26%. Bij 12 uur verlichting wordt het licht ingesteld op 116 µmol/m² s. De twee cellen dienen als herhaling. De setpoints in de MLC zijn ingesteld op een temperatuur van 20/23°C en een RV van 75/85% dag/nacht. De CO₂ is ingesteld op 700ppm tijdens de dag.

7.6 Planning en plantmetingen

7.6.1 Plant metingen Anthurium

Bij binnenkomst (5 augustus 2024) zijn uit elke kooi (8x) 3 planten geanalyseerd voor vers- en drooggewicht (g), aantal bladeren en plantlengte (cm). Uit het vers en droog gewicht is de relatieve waterinhoud van het blad berekend (RWC: (FW-DW)/FW in %). Daarna zijn de modulatoren aangeschakeld in de kooien met de EM-behandeling. Bij 42 dagen na behandeling met EM straling (16 september 2024) is de eerste destructieve oogst uitgevoerd. Hier is het vers- en drooggewicht gemeten van de bladeren en de bloemen, en is het RWC berekend voor het blad. Dit is gedaan voor 10 planten per kooi en in totaal 4 kooien per behandeling. Op 30 oktober 2024, 86 dagen na behandeling met Em straling heeft de laatste destructieve eindoogst plaatsgevonden waarbij de plantlengte (met en zonder bloem, cm), droog- en vers gewicht van de bloemen en bladeren (g), aantal zijtaken, bladeren en bloemen en het bladoppervlak is gemeten (Tabel 5).

Tabel 5 Planning experiment Anthurium.

Experiment Anthurium								
Datum	5-aug	16-sep	7-okt	9-okt	10-11 okt	20-okt	28-okt	30-okt
Dagen behandeling	0	42	63	65	66-67	76	84	86
Activiteit	Modulator aan	Uitdunnen Meting	MPM-100 meting	LI-6800 meting	Licht curve	Plantalyser	LI-800 & MPM-100 meting	Meting
Destructieve oogst	Ja	Ja	nee	nee	nee	nee	nee	Ja
Planten m⁻²	40	30	30	30	30	30	30	30

7.6.2 Wekelijks metingen tomaat

In de klimaatcellen zijn er met tomaat in totaal 3 verschillende experimenten uitgevoerd die elkaar opvolgende (Zie Tabel 6, Tabel 7 en Tabel 8). Hierbij zijn verschillende destructieve metingen gedaan waarbij het vers- en drooggewicht zijn bepaald, de plantlengte, het aantal bladeren en het bladoppervlak.

Tabel 6 Planning experiment 1 tomaat.

Experiment 1 Tomaat							
Datum	2-aug	5-aug	13-aug	22-aug	2-sep	5-sep	10-sep
Dagen behandeling	0	0	8	17	28	31	36
Activiteit	Zaaien	Modulator aan	Oppotten	Verdunnen	Verdunnen	Verdunnen	Verdunnen
Destructieve oogst	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja
Planten m⁻²	1000	1000	67	35	26	15	15

Tabel 7 Planning experiment 2 tomaat.

Experiment 2 Tomaat						
Datum	13-sep	16-sep	24-sep	30-sep	3-okt	14-okt
Dagen behandeling	0	0	8	14	17	28
Activiteit	Zaaien	Modulator aan	Oppotten	Meting	Verdunnen	Verdunnen
Destructieve oogst	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee	Ja
Planten m⁻²	1000	1000	100	100	35	15

Tabel 8 Planning experiment 3 tomaat.

Experiment 3 Tomaat			
Datum	17-okt	28-okt	4-nov
Dagen behandeling	0	11	18
Activiteit	Zaaien	Oppotten	Meting
Destructieve oogst	Nee	Ja	Ja
Planten m⁻²	1000	100	100

7.6.3 Fotosynthese en huidmondjesgeleiding

65 dagen na behandeling is bij anthurium de fotosynthese en huidmondjesgeleiding gemeten met behulp van een LI-COR 6800 met open kamer (Small leaf chamber 3x3 cm, 6800-12A). De meting is uitgevoerd rond de middag (10:45-13:30) waarbij de luchtvochtigheid (RV: 70 ± 0,3%), temperatuur (T: 24 ± 0,01°C) en het licht (Licht: 87 ± 5 μmol m⁻² s⁻¹) zo constant mogelijk zijn gehouden tussen de verschillende metingen. Voor elke kooi (n=4 per behandeling) is een gemiddelde genomen van 3 verschillende planten.

Op dag 66 en 67 zijn met de LI-COR 6800 met gesloten kamer (Fluorometer Chamber 6800-01A) lichtcurves gemaakt voor anthurium. Het klimaat in de gesloten kamer was RV: $70 \pm 0,5\%$ en T: $24 \pm 0,01^\circ\text{C}$ en het lichtniveau is stapsgewijs aangepast van 750 naar 500, 350, 200, 250, 100, 65, 30, 0 en opnieuw naar $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

7.6.4 Efficiëntie fotosynthese en pigment metingen

De pigmenten in het blad zijn gemeten met een MPM-100 multi pigment meter (MPM-100 Multi-Pigment-Meter - ADC Bioscientific). Voor Anthurium is dit gedaan op 7 en 28 oktober 2024, na 63 en 84 dagen behandeling met EM-straling. Bij tomaat is dit gemeten op 9 september 2024 (na 35 dagen behandeling met EM-straling). Beide metingen vonden plaats tijdens de middag (11:00-13:00). De Flavonoïde inhoud (FlvM: F660 nm / F325 nm), chlorofyl inhoud (ChlM: T850nm/T720nm) en de Anthocyanen inhoud (AnthM: F660nm/F525nm) zijn gemeten aan de hand van fluorescentie en blad transmissie van ver rood en infrarood bij de genoemde golflengtes. Uit de ChlM en FlvM meting is de stikstof-flavonoïde index (NFI: ChlM / FlvM) berekend. De LI-600 (Porometer/Fluorometer) is gebruikt om de efficiëntie van de fotosynthese te berekenen aan de hand van chlorofylfluorescentie. Bij anthurium is dit gebeurd op 28 oktober 2024 (na 84 dagen behandeling met EM-straling) en bij tomaat op 9 september 2024 (na 35 behandeling met EM-straling). Beide metingen vonden plaats tijdens de middag (11:00-13:00). Voor deze berekening is de volgende formule gebruikt:

$$\Phi_{PSII} = \frac{F'_m - F_s}{F'_m}$$

Hierbij is F'_m de maximale fluorescentie wanneer alle reactiesystemen 'bezet' zijn. En F_s de steady-state fluorescentie onder huidige licht condities. De berekende Φ_{PSII} is de proportie van het licht dat wordt geabsorbeerd voor de fotosynthese en geeft daarmee een indicatie van de efficiëntie van de fotosynthese (Maxwell & Johnson, 2000).

7.6.5 VisionSysteem

De anthuriumplanten zijn op 16 september en 20 oktober geanalyseerd met behulp van het VisionSysteem (Wageningen UR) (Figuur 34). Hier is gekeken naar de planthoogte, het aantal zijtakken, het aantal bloemen, en het bloem- en bladoppervlak. Het VisionSysteem bestaat uit een lopende band systeem met een camera aan de zij- en bovenkant. De potten worden op de lopende band geplaatst en vastgeklemd tussen twee rubberplaten die in tegengestelde richting bewegen waardoor de plant ronddraait. Er worden in totaal 6 zijopnames gemaakt en de snelheid van de lopende band is ingesteld op 3 zodat de pot precies 1 rondje draait en het totaal aan zijopnames de hele plant in kaart brengt. Vervolgens is met behulp van kleurtypes, het verschil tussen de plant en de achtergrond aangeleerd in de Vision software voor rapid prototyping (<https://www.wur.nl/nl/show/vision-software-voor-rapid-prototyping.htm>). Aan de hand van deze informatie is het systeem in staat de verschillende parameters van de plant te berekenen.



Figuur 34 VisionSysteem.
Een anthuriumplant in het VisionSysteem.

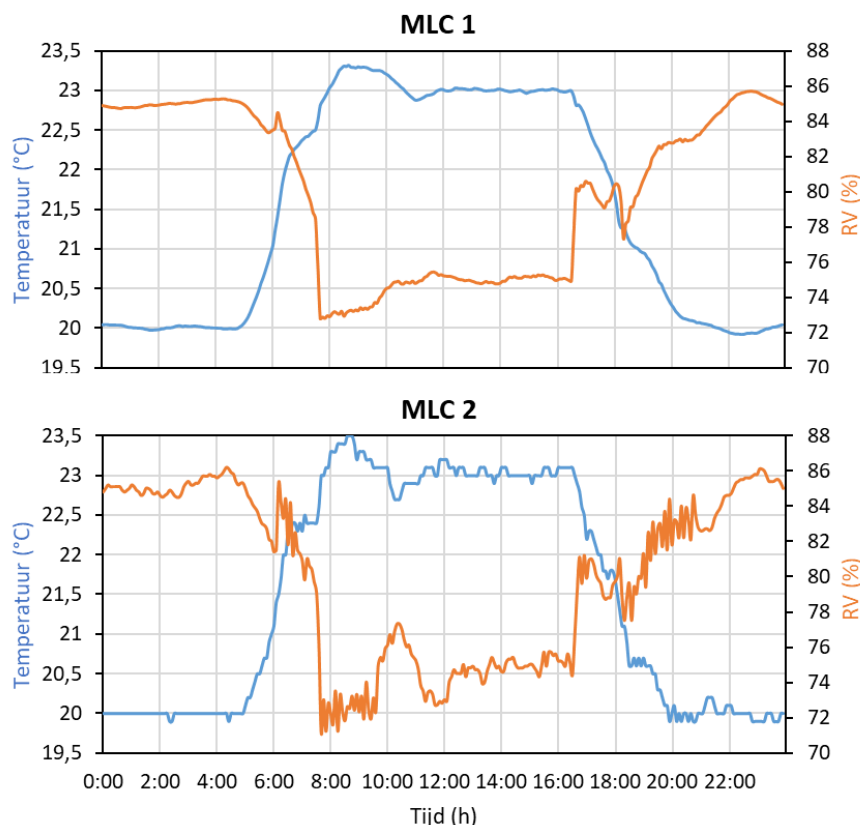
7.7 Statistische analyse

De data is geanalyseerd met behulp van IBM SPSS Statistics Data Editor. Voor elke data-set is de verspreiding van de data geanalyseerd met behulp van QQ plots en de Shapiro-Wilk Test. Bij een normale verdeling is de gelijkheid van varianties getest met Levene's test ($P > 0,05$ is gelijke varianties). Vervolgens is met een onafhankelijke student T-test bepaald of gemiddelde significant verschillend zijn tussen de twee behandelingen (Two-sided). Wanneer de data niet normaal verdeeld is, zijn de datapoints gerankt en is de significantie van de verschillen geanalyseerd met behulp van een Chi-Square test. Bij alle experimenten in de klimaatcellen zijn de kooien als herhalingen genomen waarbij elke herhaling bestaat uit gemiddelde van 9 planten per kooi (tenzij anders vermeld).

8 Resultaten Klimaatcellen Anthurium en tomaat

8.1 Klimaat realisatie

In MLC 2 was de gemiddelde temperatuur en RV iets meer variabel door de dag heen ten opzichte van MLC1 (Figuur 35). Desalniettemin was het gerealiseerde klimaat vrijwel gelijk tussen de twee verschillende MLCs gekeken naar de gemiddelde temperatuur, RV en CO₂ concentraties (Appendix 20).

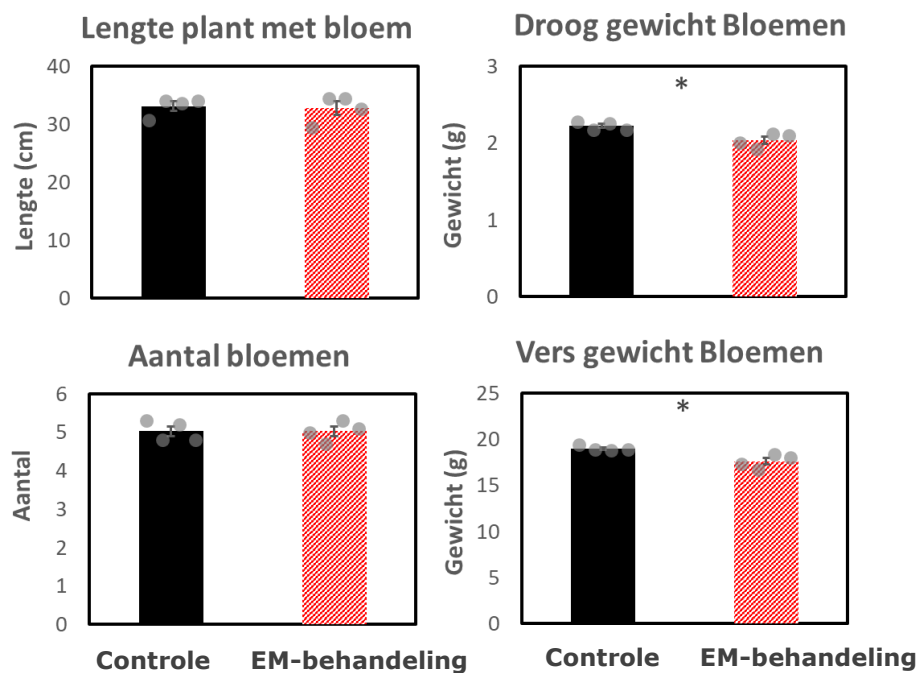


Figuur 35 Gerealiseerde Temperatuur en luchtvochtigheid in MLC1 en MLC2.
De gemiddelde temperatuur (°C) en luchtvochtigheid (%) in MLC1 en MLC2 door de dag heen.

8.2 Plantengroei Anthurium

Bij binnenkomst had de Anthurium een gemiddeld vers gewicht van 14,8 gram, een plantlengte van 17,9 cm en gemiddelde van 15 bladeren (Appendix 21). Na 42 dagen behandeling met EM-straling was er geen significant verschil in vers en drooggewicht van het blad en de bloemen, aantal bloemen en de relatieve waterinhoud van het blad (RWC) in vergelijking met de controle (Appendix 22). Ook in de eindoogst (86 dagen na behandeling met EM-straling, Foto 5) waren er geen duidelijke verschillen in plant lengte, droog- en vers gewicht van het blad, aantal zijtakken en bladeren en bladoppervlak tussen de controle en EM-behandeling (Appendix 23). Hoewel het aantal bloemen en de plant lengte met de bloem niet significant verschillend waren tussen de twee behandelingen was het droog- en vers gewicht van de bloem significant lager in de EM-behandeling (17,6 vs. 19,0 g vers gewicht en 2,0 vs. 2,2 g drooggewicht; Figuur 36).

Dit was ook zichtbaar in de planten die geanalyseerd zijn in het VisionSysteem op 20 oktober (76 dagen na behandeling), waarbij het aantal bloemen tussen de behandelingen niet significant verschilden, maar het bloemoppervlak significant lager was in de EM-behandeling (89,9 vs. 98,8 cm²; Appendix 24). Dit verklaard mogelijk het lagere droog- en vers gewicht van de bloemen in de destructieve eindoogst.



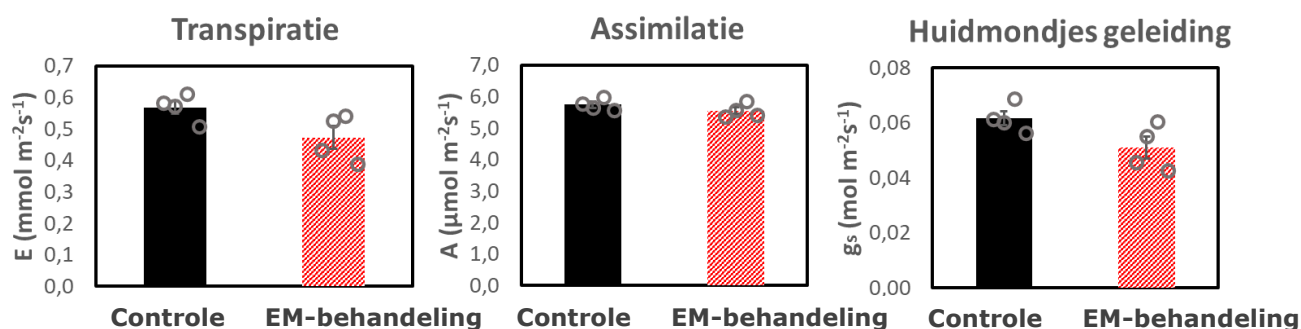
Figuur 36 Een lager bloemgewicht 86 dagen na behandeling met de modulatoren. De plantlengte met bloem (cm), aantal bloemen en het droog- en vers gewicht van de bloemen (g) van anthurium in de controle behandeling en na 86 dagen behandeling met EM straling. Errorbars tonen SE ($n=4$) en significante verschillen worden aangeduid met * ($P<0.05$). Individuele data punten worden weergegeven met een grijs rondje (gemiddelde van 9 planten per kooi).



Foto 5 Eind oogst anthurium 86 dagen na behandeling met EM straling.

8.3 Fotosynthese Anthurium

Omdat er een significant kleiner bloem oppervlak en vers- en drooggewicht van de bloemen is gevonden bij de EM-behandeling zonder negatieve effecten op de vegetatieve delen van de plant (Figuur 36, Appendix 23) is gekeken of dit wellicht komt door een lagere fotosynthese. Er zijn echter geen significante verschillen in transpiratie, huidmondjesgeleiding en assimilatie gevonden bij anthurium tussen de twee behandelingen. Hoewel de transpiratie en huidmondjesgeleiding wel iets lager leek in de EM-behandeling, waren deze verschillen niet significant ($P=0,066$ en $P=0,071$ respectievelijk). Om er zeker van te zijn dat er geen significante verschillen zijn tussen de twee behandelingen is er ook een lichtresponse curve gemaakt. Ook bij verschillende lichtintensiteiten ($0, 30, 65, 100, 150, 200, 350, 500$ en $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) zijn er significante verschillen gevonden tussen de controle en EM-behandeling in fotosynthese en huidmondjesgeleiding (Appendix 25).

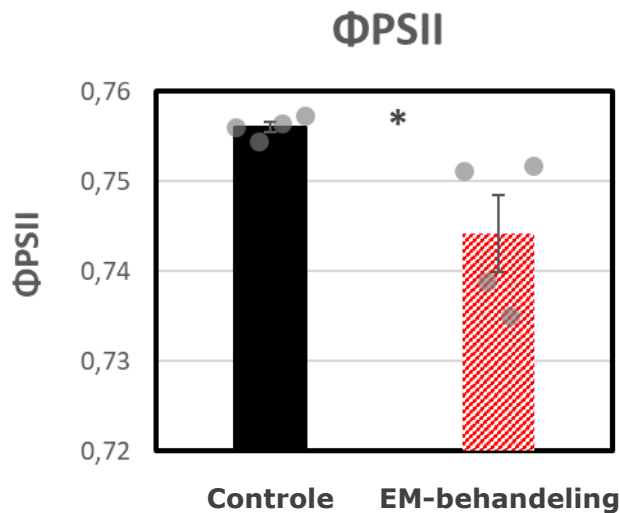


Figuur 37 Geen duidelijke verschillen in fotosynthese en huidmondjesgeleiding bij Anthurium na 65 dagen behandeling met EM-straling.

De transpiratie ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), assimilatie ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en huidmondjesgeleiding ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) van anthuriumplanten na 65 dagen behandeling met EM-straling en de controle. Metingen zijn gedaan rond de middag (10:45-13:30) met de LICOR-6800 (RV: $70 \pm 0,3\%$, T: $24 \pm 0,01^\circ\text{C}$, Licht: $87 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Errorbars tonen SE ($n=4$) en significante verschillen worden aangeduid met * ($P<0.05$).

8.4 Chlorofyl fluorescentie en pigmenten Anthurium

Hoewel er geen significante verschillen zijn gevonden in fotosynthese tussen de twee behandelingen werd er wel een significant lagere ΦPSII gevonden in de anthurium planten die 84 dagen zijn blootgesteld aan de EM-behandeling. De ΦPSII is een indicatie van hoeveel licht er wordt geabsorbeerd voor de fotosynthese (die berekend wordt aan de hand van de maximale- en steady-state chlorofyl fluorescentie) en daarmee een weergave van de efficiëntie van de fotosynthese. Op dag 63 en 84 van de behandeling met de modulatoren is met behulp van de MPM-100 meter ook de chlorofyl-, anthocyanen- en flavonoiden inhoud gemeten. Er waren geen duidelijke verschillen in de inhoud van deze pigmenten in het blad tussen de twee behandelingen. Ook de stikstof-flavonoïde index was niet significant verschillend (Appendix 26).

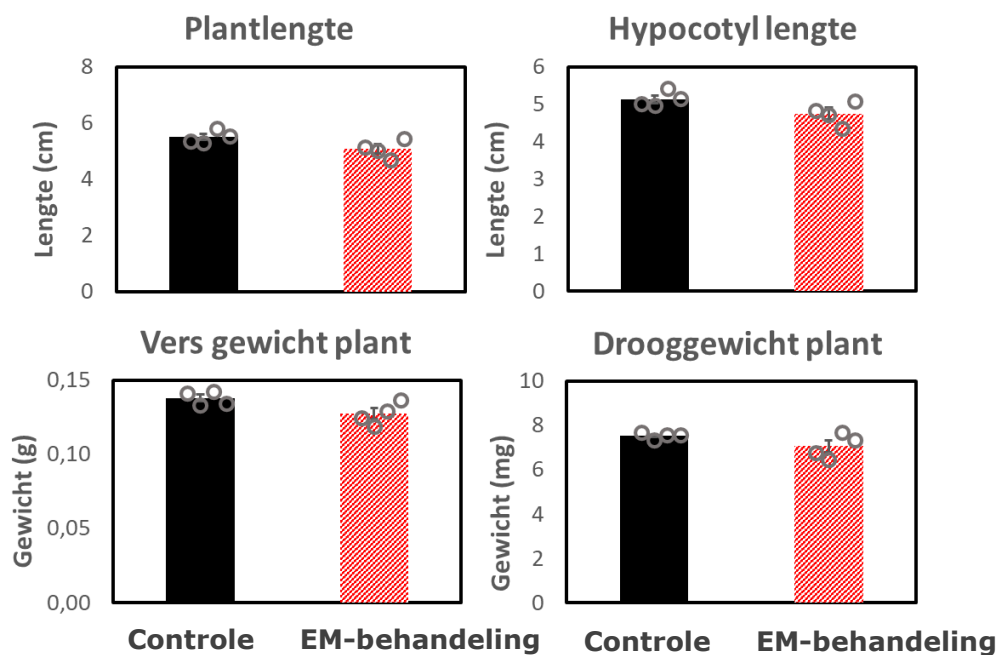


Figuur 38 De efficiëntie van de fotosynthese is significant lager na 84 dagen behandeling met de modulatoren in anthurium.

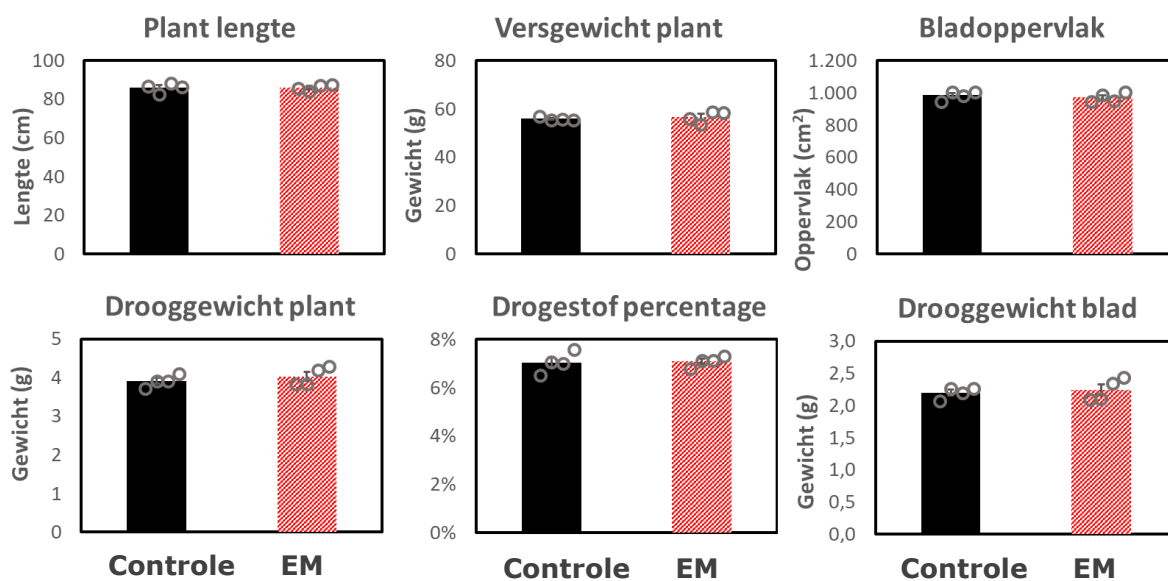
De $\Phi PSII$ van de anthuriumplanten in de controle en na 84 dagen behandeling met EM-straling. De $\Phi PSII$ is gemeten met de LI-COR600 aan de hand van de maximale fluorescentie (F'_m) en de steady-state fluorescentie (F_s). Errorbars tonen SE ($n=4$) en significante verschillen worden aangeduid met * ($P<0.05$). De grijze rondjes laten de gemiddelde van 6 metingen per kooi zien.

8.5 Plantmetingen tomaat

Er zijn in totaal 3 experimenten uitgevoerd met tomaat in de klimaatcellen. In de eerste twee experimenten heeft de modulator horizontaal boven het gewas gehangen en in het laatste experiment heeft deze verticaal boven het gewas gehangen. In experiment 1 zijn na 8 dagen (Figuur 39), 17 dagen, 28 dagen (Appendix 27) en 36 dagen (Figuur 40) behandeling met EM-straling, de plantlengte, het droog- en vers gewicht en de droge stof percentage van de planten gemeten. Alleen in de laatste meting zijn ook het blad gewicht en oppervlak meegenomen (Foto 6). Er waren geen significante verschillen tussen de EM- en controle behandeling. In experiment 2 zijn opnieuw na 8 dagen, 14 dagen (Appendix 28) en 28 dagen (Figuur 41) behandeling met de modulatoren, de plantlengte, het droog- en vers gewicht en de droge stof percentage van de planten gemeten. Ook in dit experiment zijn geen significante verschillen gevonden. In het laatste experiment zijn na 11 en 18 dagen behandeling met de modulatoren plantmetingen gedaan. Ook hier zijn geen significante verschillen gevonden tussen de controle en EM-behandeling (Appendix 29).



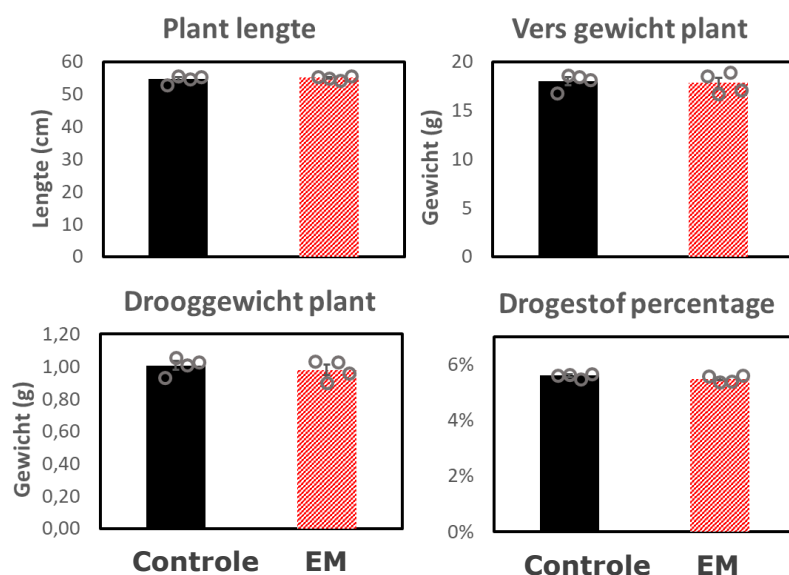
Figuur 39 Plantmetingen tomaten zaailingen na 8 dagen behandeling. De plantlengte (cm), hypocotyl lengte (cm), vers gewicht (g) en drooggewicht (g) van tomaten zaailingen 11 dagen na zaaien en na 8 dagen behandeling met EM straling in vergelijking met de controle. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen de gemiddelden van 9 planten per kooi (n=4). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P < 0.05$).



Figuur 40 Plantmetingen tomaat 36 dagen na behandeling. De plantlengte (cm), het vers gewicht plant (g), drooggewicht plant (g), bladoppervlak (cm²), drogestof percentage (%) en drooggewicht van het blad (g) van 6 weken oude tomatenplanten na 36 dagen behandeling met EM-straling in vergelijking met de controle. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen de gemiddelden van 9 meetplanten per kooi (n=4). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P < 0.05$).



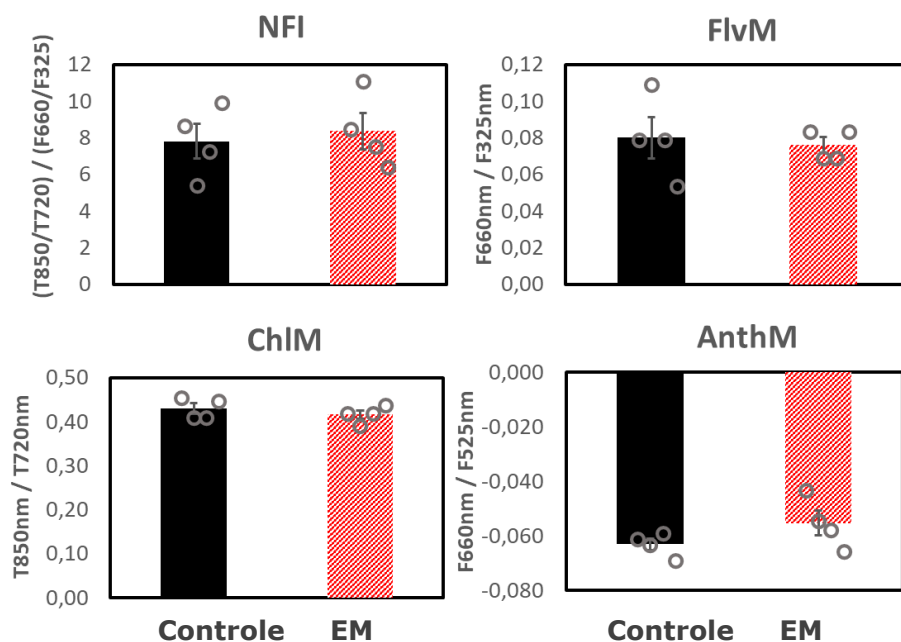
Foto 6 Tomatenplanten aan het eind van experiment 1.



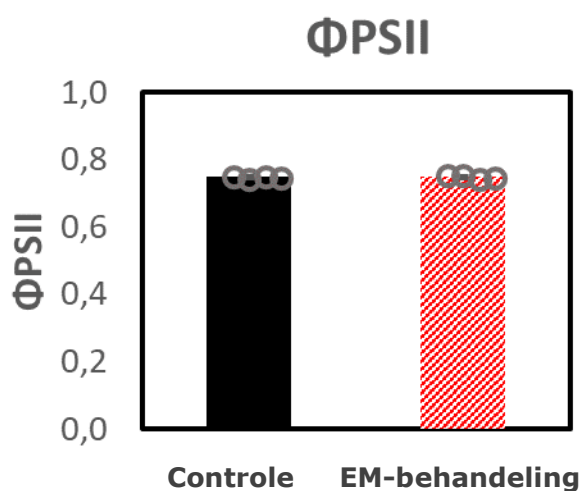
Figuur 41 Geen duidelijke verschillen in experiment 2 na 28 dagen behandeling met EM-straling. De plantlengte (cm), het vers gewicht plant (g), drooggewicht plant (g), en drogestof percentage (%) na 28 dagen behandeling met EM-straling in vergelijking met de controle. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen de gemiddelden van 9 meetplanten per kooi ($n=4$). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P<0.05$).

8.6 Pigment metingen en efficiëntie van de fotosynthese

Hoewel er geen duidelijke verschillen zijn in plantengroei van tomaat tussen de controle en EM-behandeling, is er ook gekeken of er eventueel effect is op de pigmenten en de efficiëntie van de fotosynthese. Daarom zijn de FlvM, ChlM, AnthM en de NFI gemeten met de MPM-100 na 35 dagen behandeling met EM-straling (Figuur 42). Er waren geen significante verschillen tussen de controle en EM-behandeling ($P>0.05$). Ook waren er geen duidelijke verschillen in Φ PSII tussen de twee behandelingen (Figuur 43).



Figuur 42 Pigment metingen in bladeren van tomaat na 35 dagen behandeling. Pigmentmetingen in tomatenblad na 35 dagen behandeling met EM-straling in vergelijking met de onbehandelde controle. Hier weergegeven een benadering van de stikstof-flavonoïde index (NFI: Chlorofyl (T850nm/T720nm) / Flavonoïde (F660 nm / F325 nm)), Flavonoïde inhoud (FlvM: F660 nm / F325 nm), chlorofyl inhoud (ChlM: T850nm/T720nm) en de Anthocyanen inhoud (AnthM: F660nm/F525nm) aan de hand van fluorescentie en blad transmissie van ver rood en infrarood. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen de gemiddelden van 9 meetplanten per kooi (n=4). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P < 0.05$).



Figuur 43 Efficiëntie van de fotosynthese van tomatenplanten na 35 dagen behandeling met EM-straling. De Φ_{PSII} van tomatenplanten in de controle en na 35 dagen behandeling met EM-straling. De Φ_{PSII} is gemeten met de LI-COR600 aan de hand van de maximale fluorescentie (F'_m) en de steady-state fluorescentie (F_s). Errorbars tonen SE (n=4) en significante verschillen worden aangeduid met * ($P < 0.05$). De grijze rondjes laten de gemiddelde van 6 metingen per kooi zien.

9 Discussie

9.1 Heeft EM straling effect op groei?

De verwachting was dat langgolvlige EM straling met een frequentie van 1-15 MHz de plantengroei positief zou beïnvloeden. Deze verwachting is gebaseerd op ervaringen van gebruikers van de modulatoren van bedrijf A, die EM straling genereren in de frequentie van 1-15MHz. In zowel het eerste als het tweede deel van deze studie was er echter geen positief effect van de modulatoren op de groei, en leek juist de groei te zijn verslechterd. Dit werd geobserveerd bij komkommer en tomaat in deel 1 van deze studie en in deel 2 alleen bij anthurium (Figuur 12). De lage oogst en groei van komkommer in de EM-behandeling leek grotendeels te komen door het verschil in lichtniveau, gezien het voornamelijk in de laatste weken ontstond (Figuur 18). De reductie in groei van tomaat in het eerste deel van deze studie kon echter niet herhaald worden in de drie experimenten die in de klimaatcellen zijn uitgevoerd. Daarom is het aannemelijker dat reductie in groei die initieel is geobserveerd in deel 1 van deze studie, net als bij komkommer, het gevolg is van andere factoren dan de behandeling met EM-straling (Figuur 12).

Uit de literatuur lijkt langgolvlige EM straling met andere frequenties wel effect te hebben op de groei van tomaat. In een studie waarin tomatenplanten 48 dagen, 20 minuten per dag bloot werden gesteld aan EM straling met een frequentie van 50Hz bij een veldsterkte van 20, 40 en 60 mT, werden wel positieve effecten gevonden op de groei en productie van tomaat (Jedlička et al., 2015). Hier had de veldsterkte invloed, waarbij 40 mT het grootste effect had op de productie en plantengroei. In de proefopstelling in onze studie werd een maximale veldsterkte (dicht op de modulatoren) van 0,125 nT gemeten, wat ruim 10^8 keer lager is in veldsterkte dan de hierboven genoemde proef. Het positieve effect op de groei in Jedlička et al., was minder in de lagere veldsterktes. Daarbij werd er in die studie gebruik gemaakt van een andere frequentie met langere golven (in het ELF gebied) en was de blootstelling maar 20 minuten per dag in plaats van de gehele belichtingsperiode. In een proef met een lagere veldsterkte (16,8 nT) en met een hogere frequentie (900 MHz, dichtbij de frequenties van de modulatoren van bedrijf A) werd in tomaat bij korte blootstelling (10 min) juist de transcriptie van stres gerelateerde genen gevonden (Roux et al., 2008). Een negatief effect op tomaat werd ook geobserveerd in een studie met toediening van 1800 MHz met een veldsterkte van 190 nT voor 12, 60 of 120 uur (Upadhyaya et al., 2022). Dit zou er op wijzen dat EM straling met Radiofrequenties juist een negatief effect heeft op de tomatengroei.

Bij een studie in komkommer zaailingen werden langere zaailing gevonden en een vertraagde veroudering in het donker (Piera Piacentini et al., 2001). In deze studie werden de planten voor 15 dagen blootgesteld aan 50Hz met een veldsterkte van 0,1 mT, vergelijkbaar met de studie in tomaat waar EM straling met een frequentie van 50Hz ook positieve resultaten liet zien in tomaat (Jedlička et al., 2015). Het is opvallend dat in de ELF range positieve resultaten worden geobserveerd, maar in de RF range juist negatieve resultaten. Wellicht kan dit verklaren waarom behandeling met de modulatoren een negatief effect lijkt te hebben op de bloemgroei van Anthurium (Figuur 38). Er is weinig bekend over het effect van EM straling op de groei van de bloem. Een studie met anjers liet zien dat, een veel hogere veldsterkte in vergelijking tot deze studie (160 mT) juist een positief effect had op de groei van de bloem (Ayesha et al., 2023). Opnieuw werd hier gebruik van vele malen langere golflengtes dan gegenereerd door de modulatoren van bedrijf A. Net als de studie in tomaat en komkommer werd hier een frequentie van 50 Hz gebruikt wat neerkomt op een golflengte van $6 \cdot 10^3$ km.

9.2 Heeft EM straling effect op de fotosynthese en huidmondjesgeleiding?

Er werd geopperd dat de modulatoren een positief effect zouden hebben op de huidmondjesgeleiding en de fotosynthese. Dit werd echter niet teruggevonden in deze studie. Wel leek de fotosynthese in komkommer juist lager te zijn, zonder dat de huidmondjesgeleiding lager was (Figuur 23). Dit zou kunnen komen door een lagere chlorofylinhoud die gemeten werd in komkommer (Figuur 27).

Hoewel in tomaat en anthurium geen significant verschil in fotosynthese werd gemeten (Figuur 24) werd er wel een lagere efficiëntie van de fotosynthese gemeten in anthurium (Figuur 38). Of EM straling effect heeft op de fotosynthese blijft onduidelijk. Wel werd er in cyanobacteria bij blootstelling aan 1.8 GHz bij een veldsterkte van 0.134 μ T wel een lagere expressie gevonden van genen die betrokken zijn bij de fotosynthese (Tang et al., 2018). Bij veldsla werd er een lagere efficiëntie van de fotosynthese gerapporteerd bij blootstelling aan 1.89-1.9, 2.4 en 5 GHz. Dit verschil werd echter alleen geobserveerd in veldproeven en niet bij proeven in de kas (Tran et al., 2023). Gezien er in deze studie geen eenduidige resultaten werden geboekt moet er verder onderzocht worden of de fotosynthese bij een frequentie van 1-15 MHz ook beïnvloed wordt.

9.3 Geen verschil in expressie van *HY5*, de hoofdregelaar van licht gestuurde processen

Het is gepubliceerd dat EM golven van 7MHz (vergelijkbaar met de range waarin de modulatoren van bedrijf A opereren) effect hebben op de groei van planten (Albaqami et al., 2020). Albaqami et al., liet zien dat door *Arabidopsis* planten bloot te stellen aan EM straling van 7MHz er bij blootstelling aan blauwlicht minder fosforylatie plaats vond van Cryptochroom 1 (cry1: een blauw lichtreceptor). Als resultaat was cry1 minder actief wat tot strekking van het hypocotyl leidde. Het effect van cry1 op de strekking is waarschijnlijk het gevolg van een verminderde activiteit van ELONGATED HYPOCOTYL 5 (HY5). HY5 speelt een belangrijke rol in blauwlicht gereguleerde processen waaronder de expressie van veel verschillende soorten genen, de opening van huidmondjes, stengelstrekking en nutriënten opname (Chen, Yao, Gao, Jiang, Harberd, & Fu, 2016; Kelly et al., 2021, 2023; Li et al., 2011; W. Liu et al., 2023). HY5 wordt daarom ook wel de hoofregelaar van lichtprocessen genoemd. In gefosforyleerde staat, kan cry1 binden aan CONSTITUTIVELY PHOTOMORPHOGENIC 1 (COP1) (Gao et al., 2022). Door de binding van cry1 met COP1, die de activiteit van HY5 vermindert, kan HY5 zijn werk doen en licht gereguleerde processen in gang zetten (Bhatnagar et al., 2020; C. C. Liu et al., 2018; S. Liu et al., 2025). In dit onderzoek is gekozen om te kijken naar de expressie van *HY5*. De verwachting was dat de EM golven de activiteit van cry1 zou verminderen en daarmee de activiteit van HY5 zou verlagen. Omdat HY5 zijn eigen expressie reguleert (Abbas et al., 2014), was de verwachting dat *HY5* expressie lager zou zijn in de EM-behandeling. Deze hypothese is gebaseerd op de eerder gepubliceerde resultaten van Albaqami et al. (2020). Uit de plantmetingen kwam echter naar voren dat er geen stengelstrekking had plaats gevonden bij zowel komkommer, anthurium en tomaat van planten die bloot zijn gesteld aan EM golven van 1-15MHz (Figuur 12). Op basis van de functie van HY5 en de eerder gepubliceerde resultaten van Albaqami et al. zouden we wel stengelstrekking verwachten. In het eerste deel van deze studie werd zelfs een kortere stengel gevonden in de EM-behandeling (Figuur 12). Daarbij waren er geen duidelijke effecten op de expressie van *HY5* (Figuur 29). Er hadden in deze studie, naast *HY5*, meerdere genen onderzocht kunnen worden. Hoewel er in de kas groeiverschillen waren, zijn die niet teruggevonden in de experimenten met tomaat in de klimaatkamers. Er is daarom gekozen om deze kostbare metingen niet te doen voor meerdere genen.

9.4 Geen duidelijk effect van behandeling met de modulatoren op de pigmenten in het blad

Hoewel er in deel 1 van deze studie een verlaging van de flavonoïden inhoud werd gevonden bij tomaat (Figuur 28) werd dit in het experiment in de klimaatcellen niet teruggevonden (Figuur 42). Het is dus sterk de vraag of de eerder gevonden resultaten wel het gevolg zijn van de behandeling met de modulatoren. Men zou kunnen beargumenteren dat de planten in het tweede deel van de studie jonger waren in vergelijking tot de planten in het eerste deel van de studie. In een eerder gepubliceerd artikel met EM straling met een frequentie van 1800 MHz bij een veldsterkte van 0,19 μ Hz werd er echter een reductie in flavonoïden inhoud in tomatenbladeren van jonge planten gevonden (Upadhyaya et al., 2022). Dit laat zien dat jonge planten wel degelijk gevoelig zijn voor EM-straling en dat het aannemelijker is dat de eerder gevonden verschillen bij volwassen planten het effect is van andere factoren dan de modulatoren van bedrijf A.

10 Conclusies en aanbevelingen

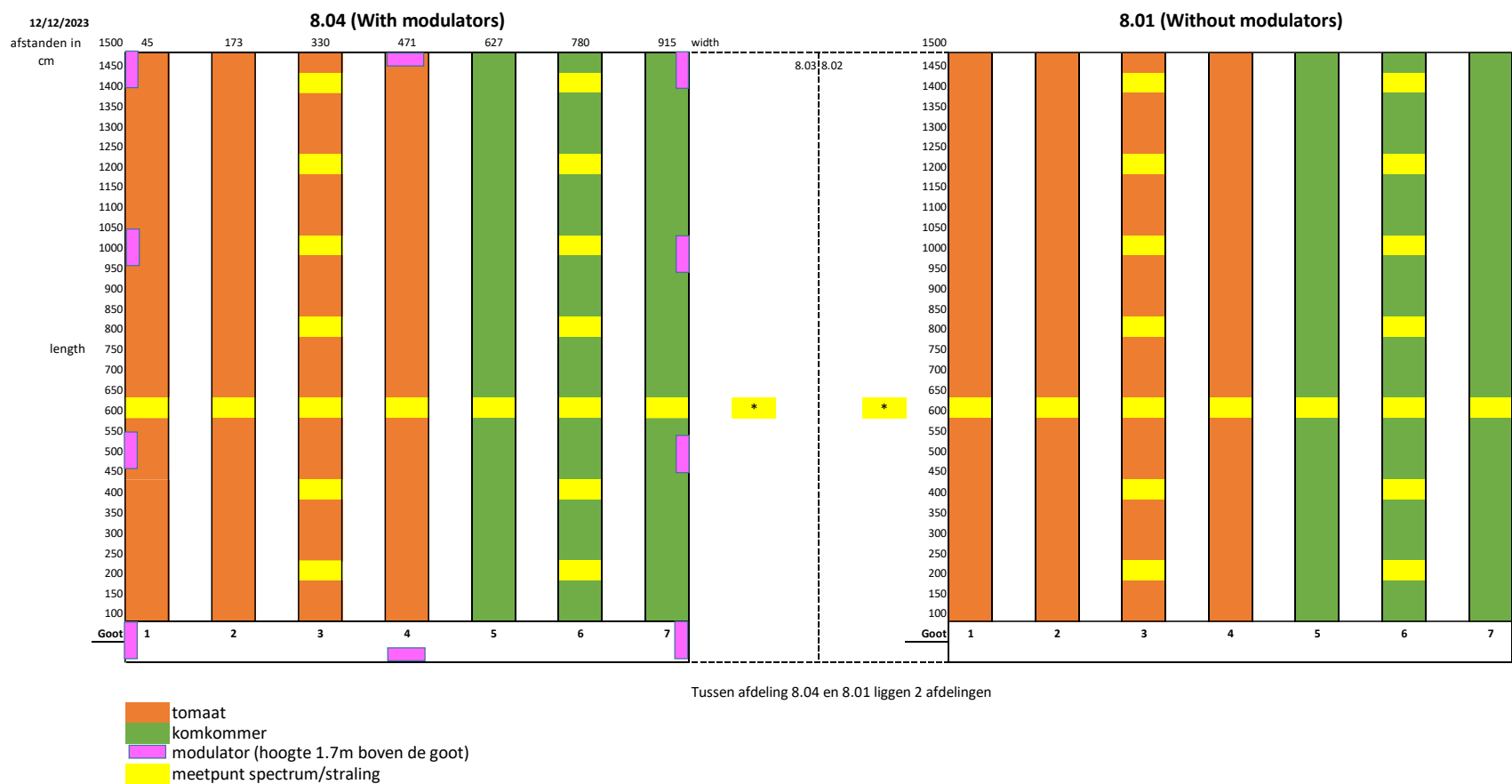
Deze studie laat geen positieve effecten zien van langgolvlige EM straling (1-15MHz) gegenereerd met behulp van de modulatoren van bedrijf A op de groei van tomaat, komkommer en anthurium. Of langgolvlige EM straling met een frequentie van 1-15 MHz een effect heeft op plantengroei is lastig te concluderen aan de hand van dit onderzoek. De veldsterkte die gegenereerd wordt door de modulatoren is vele malen lager dan in andere onderzoekopstellingen. Of langgolvlige EM straling daadwerkelijk de plantengroei kan stimuleren moet onderzocht worden in meer fundamenteel onderzoek met meerdere veldsterktes en frequenties. Gebaseerd op de resultaten in dit onderzoek lijkt het gebruik van langgolvlige EM straling met een frequentie van 1-15 MHz en een veldsterkte van 0,125 nT geen duidelijke bijdrage te kunnen leveren aan de energiebesparing in de glastuinbouw.

Literatuur

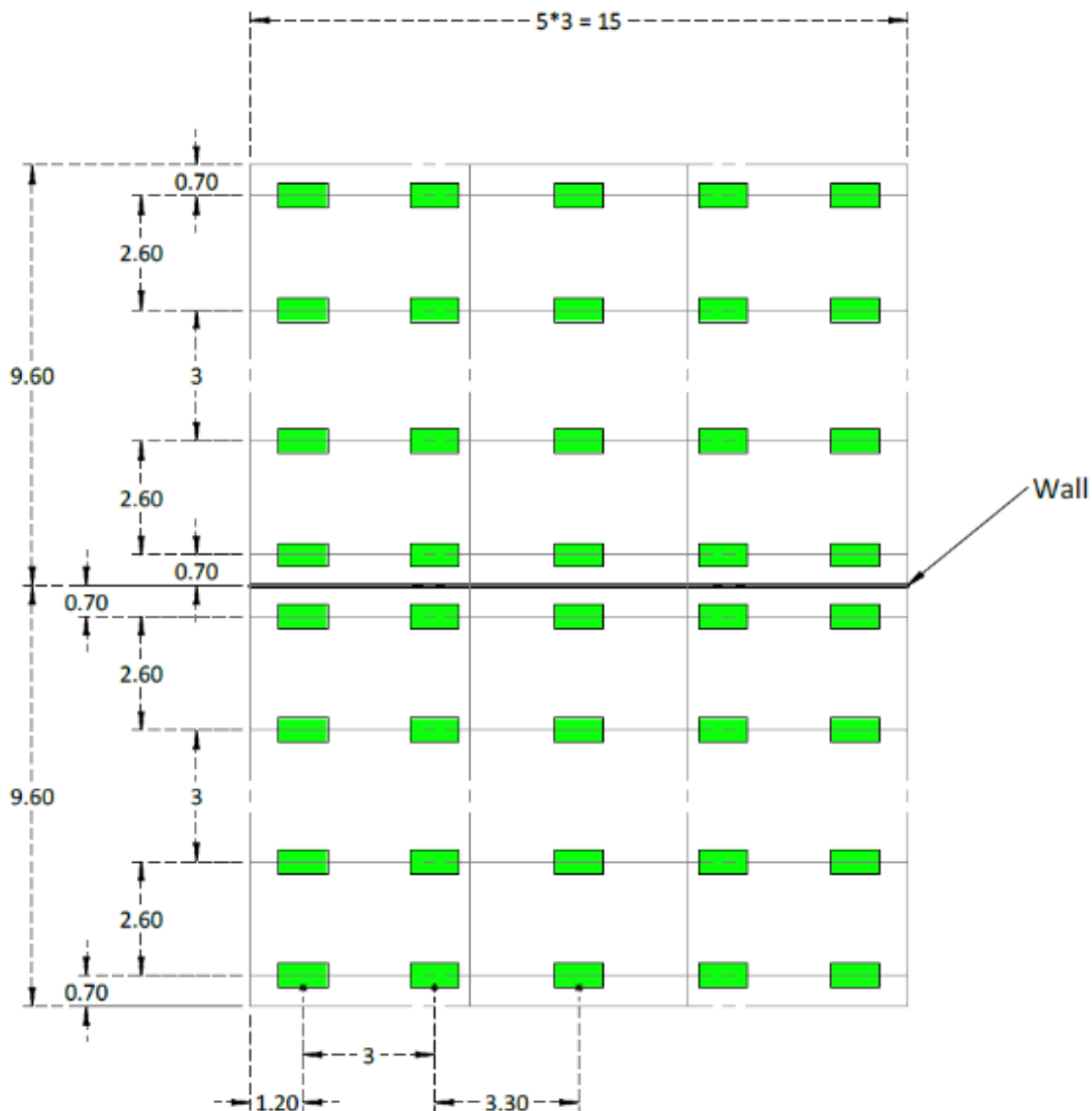
- Abbas, N., Maurya, J. P., Senapati, D., Gangappa, S. N., & Chattopadhyaya, S. (2014). Arabidopsis CAM7 and HY5 physically interact and directly bind to the HY5 promoter to regulate its expression and thereby promote photomorphogenesis. *Plant Cell*, 26(3), 1036–1052. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.122515>
- Albaqami, M., Hammad, M., Pooam, M., Procopio, M., Sameti, M., Ritz, T., Ahmad, M., & Martino, C. F. (2020). Arabidopsis cryptochrome is responsive to Radiofrequency (RF) electromagnetic fields. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67165-5>
- Ayesha, R., Hassan, I., Abbasi, N. A., Hafiz, I. A., & Khan, K. S. (2023). PRE-EXPOSURE IMPACT OF ELECTROMAGNETIC FIELD RADIATION ON CARNATION PLANT GROWTH AND QUALITY CUT FLOWER PRODUCTION. *Pakistan Journal of Botany*, 55(1), 367–377. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-1\(38\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-1(38))
- Bhatnagar, A., Singh, S., Khurana, J. P., & Burman, N. (2020). HY5-COP1: the central module of light signaling pathway. In *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* (Vol. 29, Issue 4, pp. 590–610). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13562-020-00623-3>
- Casson, S. A., Franklin, K. A., Gray, J. E., Grierson, C. S., Whitelam, G. C., & Hetherington, A. M. (2009). phytochrome B and PIF4 Regulate Stomatal Development in Response to Light Quantity. *Current Biology*, 19(3), 229–234. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.12.046>
- Chen, X., Yao, Q., Gao, X., Jiang, C., Harberd, N. P., & Fu, X. (2016). Shoot-to-Root Mobile Transcription Factor HY5 Coordinates Plant Carbon and Nitrogen Acquisition. *Current Biology*, 26(5), 640–646. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.066>
- Chen, X., Yao, Q., Gao, X., Jiang, C., Harberd, N. P., Fu, X., Chen, X., Yao, Q., Gao, X., Jiang, C., Harberd, N. P., & Fu, X. (2016). Shoot-to-Root Mobile Transcription Factor HY5 Coordinates Plant Carbon and Nitrogen Acquisition Report Shoot-to-Root Mobile Transcription Factor HY5 Coordinates Plant Carbon and Nitrogen Acquisition. *Current Biology*, 26(5), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.066>
- Demotes-Mainard, S., P??ron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierrec, J., Pelleschi-Travier, S., Crespel, L., Morel, P., Huch??-Th??lier, L., Boumaza, R., Vian, A., Gu??rin, V., Leduc, N., & Sakr, S. (2016). Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 4–21. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.010>
- Ferreira, M. L. F., Serra, P., & Casati, P. (2021). Recent advances on the roles of flavonoids as plant protective molecules after UV and high light exposure. In *Physiologia Plantarum* (Vol. 173, Issue 3, pp. 736–749). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/ppl.13543>
- Gao, L., Liu, Q., Zhong, M., Zeng, N., Deng, W., Li, Y., Wang, D., Liu, S., & Wang, Q. (2022). Blue light-induced phosphorylation of Arabidopsis cryptochrome 1 is essential for its photosensitivity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 64(9), 1724–1738. <https://doi.org/10.1111/jipb.13331>
- Haque, M. M., Ahmed, J. U., & Miah, M. G. (2009). EFFECT OF DIFFERENT REDUCING LIGHT INTENSITIES ON THE MORPHO-PHYSIOLOGY AND YIELD OF CUCUMBER. 3(1), 9–14.
- Jedlička, J., Paulen, O., & Ailer, Š. (2015). Research Of Effect Of Low Frequency Magnetic Field On Germination, Growth And Fruiting Of Field Tomatoes. *Acta Horticulturae et Regiotecture*, 18(1), 1–4. <https://doi.org/10.1515/ahr-2015-0001>
- Jenkins, G. I. (2014). The UV-B photoreceptor UVR8: From structure to physiology. In *Plant Cell* (Vol. 26, Issue 1, pp. 21–37). American Society of Plant Biologists. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.119446>
- Ji, Y., Nuñez Ocaña, D., Choe, D., Larsen, D. H., Marcelis, L. F. M., & Heuvelink, E. (2020). Far-red radiation stimulates dry mass partitioning to fruits by increasing fruit sink strength in tomato. *New Phytologist*, 228(6), 1914–1925. <https://doi.org/10.1111/nph.16805>
- Kelly, G., Brandsma, D., Egbaria, A., Stein, O., Doron-Faigenboim, A., Lugassi, N., Belausov, E., Zemach, H., Shaya, F., Carmi, N., Sade, N., & Granot, D. (2021). Guard cells control hypocotyl elongation through HXK1, HY5, and PIF4. *Communications Biology*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02283-y>
- Kelly, G., Yaaran, A., Gal, A., Egbaria, A., Brandsma, D., Belausov, E., Wolf, D., David-Schwartz, R., Granot, D., Eyal, Y., Carmi, N., & Sade, N. (2023). Guard cell activity of PIF4 and HY5 control transpiration. *Plant Science*, 328. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111583>

- Kläring, H. P., Klopotek, Y., Schmidt, U., & Tantau, H. J. (2012). Screening a cucumber crop during leaf area development reduces yield. *Annals of Applied Biology*, 161(2), 161–168. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00560.x>
- Li, Z., Zhang, L., Yu, Y., Quan, R., Zhang, Z., Zhang, H., & Huang, R. (2011). The ethylene response factor AtERF11 that is transcriptionally modulated by the bZIP transcription factor HY5 is a crucial repressor for ethylene biosynthesis in Arabidopsis. *Plant Journal*, 68(1), 88–99. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04670.x>
- Liang, Y., Kang, C., Kaiser, E., Kuang, Y., Yang, Q., & Li, T. (2021). Red/blue light ratios induce morphology and physiology alterations differently in cucumber and tomato. *Scientia Horticulturae*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109995>
- Liu, C. C., Chi, C., Jin, L. J., Zhu, J., Yu, J. Q., & Zhou, Y. H. (2018). The bZip transcription factor HY5 mediates CRY1a-induced anthocyanin biosynthesis in tomato. *Plant Cell and Environment*, 41(8), 1762–1775. <https://doi.org/10.1111/pce.13171>
- Liu, S., Wang, Q., Zhong, M., Lin, G., Ye, M., Wang, Y., Zhang, J., & Wang, Q. (2025). The CRY1–COP1–HY5 axis mediates blue-light regulation of Arabidopsis thermotolerance. *Plant Communications*, 101264. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2025.101264>
- Liu, W., Zhang, L., Ma, L., Yuan, H., & Wang, A. (2023). The HY5 transcription factor negatively regulates ethylene production by inhibiting ACS1 expression under blue light conditions in pear. *Horticultural Plant Journal*, 9(5), 920–930. <https://doi.org/10.1016/j.hpi.2022.10.007>
- Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659–668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>
- Palme, K., Teale, W., & Dovzhenko, A. (2016). Plant Signaling: HY5 Synchronizes Resource Supply. *Current Biology*, 26(8), R328–R329. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.02.060>
- Piera Piacentini, M., Fraternali, D., Piatti, E., Ricci, D., Vetrano, F., Dachà, M., & Accorsi, A. (2001). Senescence delay and change of antioxidant enzyme levels in *Cucumis sativus* L. etiolated seedlings by ELF magnetic fields. In *Plant Science* (Vol. 161). www.elsevier.com/locate/plantsci
- RICHTLIJNEN VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD. (2013). Richtlijnen EU bloodstelling EM. *Publicatieblad van de Europese Unie*.
- Roux, D., Vian, A., Girard, S., Bonnet, P., Paladian, F., Davies, E., & Ledoigt, G. (2008). High frequency (900 MHz) low amplitude (5 V m⁻¹) electromagnetic field: A genuine environmental stimulus that affects transcription, translation, calcium and energy charge in tomato. *Planta*, 227(4), 883–891. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0664-2>
- Samanta, A., & Das, S. K. (2011). *Roles of flavonoids in Plants*. <https://www.researchgate.net/publication/279499208>
- Tang, C., Yang, C., Yu, H., Tian, S., Huang, X., Wang, W., & Cai, P. (2018). Electromagnetic Radiation Disturbed the Photosynthesis of *Microcystis aeruginosa* at the Proteomics Level. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18953-z>
- Tran, N. T., Jokic, L., Keller, J., Geier, J. U., & Kaldenhoff, R. (2023). Impacts of Radio-Frequency Electromagnetic Field (RF-EMF) on Lettuce (*Lactuca sativa*)—Evidence for RF-EMF Interference with Plant Stress Responses. *Plants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051082>
- Upadhyaya, C., Upadhyaya, T., & Patel, I. (2022). Attributes of non-ionizing radiation of 1800 MHz frequency on plant health and antioxidant content of Tomato (*Solanum Lycopersicum*) plants. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 15(1), 54–68. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2022.02.001>
- Vian, A., Davies, E., Gendraud, M., & Bonnet, P. (2016). Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields. In *BioMed Research International* (Vol. 2016). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2016/1830262>
- Yan, S., Che, G., Ding, L., Chen, Z., Liu, X., Wang, H., Zhao, W., Ning, K., Zhao, J., Tesfamichael, K., Wang, Q., & Zhang, X. (n.d.). *Different cucumber CsYUC genes regulate response to abiotic stresses and flower development*.

Appendix



Appendix 1 Een gedetailleerde map van de verschillende compartimenten.
Een map van compartiment 8.01 zonder modulatoren en compartiment 8.04 met modulatoren (in roze). Tomaat (in oranje) worden in de eerste 4 rijen geplant van elk compartiment. De komkommer (in groen) staan in de laatste 3 rijen. In compartiment 8.04 hangen 10 modulatoren aan de zijkant van de kas op 1.7m hoogte boven de goot. In geel worden de locaties aangegeven voor het meten van de straling.



Appendix 2 Opstelling van de lampen in beide compartimenten.
De opstelling van de lampen in beide kascompartimenten (bovenaanzicht).

Appendix 3 Plantmetingen bij komkommer en tomaat aan het begin van het experiment.
Het gemiddelde en de standaardafwijking van de lengte (cm), aantal bladeren en internodiën, het bladoppervlak (cm²), vers en drooggewicht (g) en het percentage droge stof (%) van komkommer en tomaat bij binnenkomst (N=10).

Soort	Lengte (cm)	Bladeren (aantal)	Internodiën (aantal)	Blad oppervlak (cm ²)
Komkommer	29,3 ± 4,1	7,1 ± 0,3	6,8 ± 0,4	1191,5 ± 166,1
Tomaat	8,6 ± 0,4	2 ± 0	2 ± 0	28,1 ± 3,7

Soort	Vers gewicht (g)	Droog gewicht (g)	Percentage droge stof (%)
Komkommer	39,8 ± 6,9	2,5 ± 0,4	6,4% ± 0,1%
Tomaat	1,4 ± 0,2	0,10 ± 0,01	7,3% ± 0,5%

Appendix 4 Destructieve eind oogst van komkommer- en tomatenstengels in week 15 en 20.

De gemiddelde lengte (cm), vers gewicht (g), droge stof gewicht (g) en drooggewicht percentage (DW: %) van komkommer- en tomatenstengels in week 15 en week 20 voor de controle en behandeling. Bij elke parameter wordt het gemiddelde gevolgd door de standaardafwijking. Significante verschillen worden weergegeven met een * (N=6).

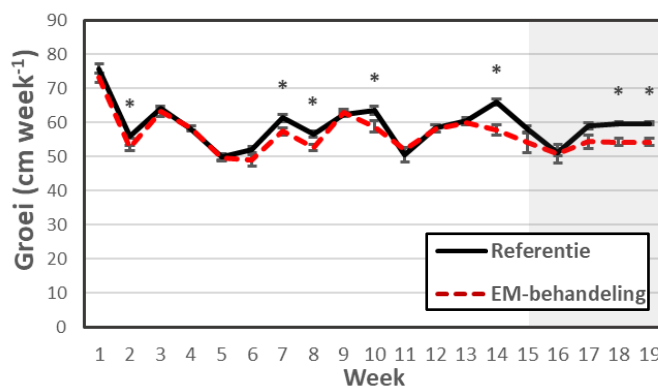
Komkommer

		Lengte (cm)		Stengel vers (g)		Stengel droog (g)		DW %	
Week 15	Controle	915,8	26,8	853,1	45,9	55,3	3,4	6,48%	0,08%
	EM	898,6	26,8	835,0	35,7	55,2	1,8	6,61%	0,09%
	Verskil	17,2		18,0		0,1		-0,13%	*
Week 20	Controle	1235,9	27,3	1139,2	65,6	74,4	4,0	6,5%	0,1%
	EM	1176,1	34,9	1090,5	51,6	71,8	2,7	6,6%	0,1%
	Verskil	59,8	*	48,7		2,6		-0,1%	

Tomaat

		Lengte (cm)		Stengel vers (g)		Stengel droog (g)		DW %	
Week 15	Controle	389,5	19,8	608,3	27,7	79,0	6,4	13,0%	0,5%
	EM	367,8	16,7	602,6	46,6	82,3	6,5	13,7%	0,6%
	Verskil	21,7		5,7		-3,3	*	-0,7%	
Week 20	Controle	538,5	53,1	755,9	33,0	98,0	4,6	13,0%	0,1%
	EM	482,8	17,2	704,0	80,0	92,6	11,0	13,2%	0,5%
	Verskil	55,7	*	51,8		5,5		-0,2%	

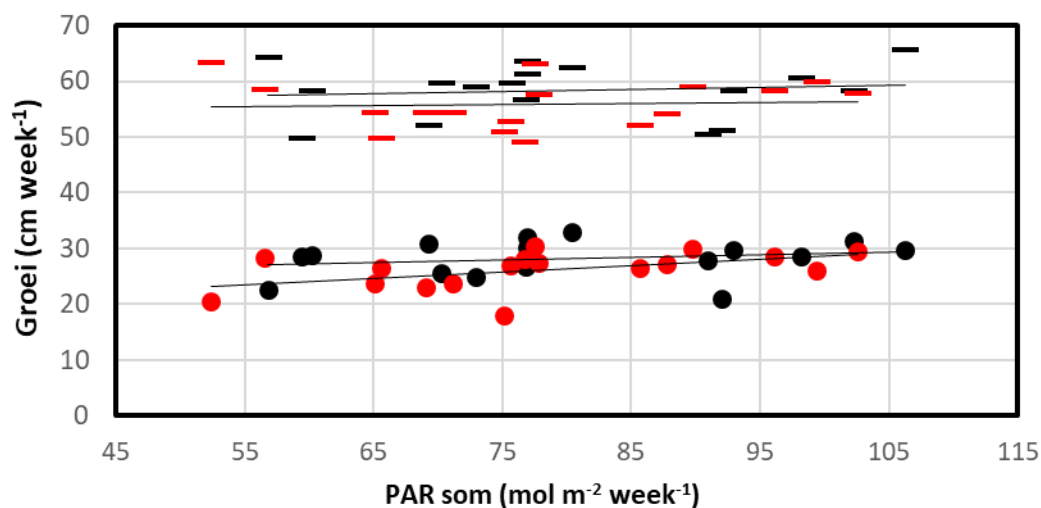
Groei Komkommer



Appendix 5 Groei van komkommer.

De groei van komkommer in cm week^{-1} in de controle en EM-behandeling. Error bars tonen standard error ($n_{\text{week}1-15}=12$, $n_{\text{week}16-20}=6$) en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.

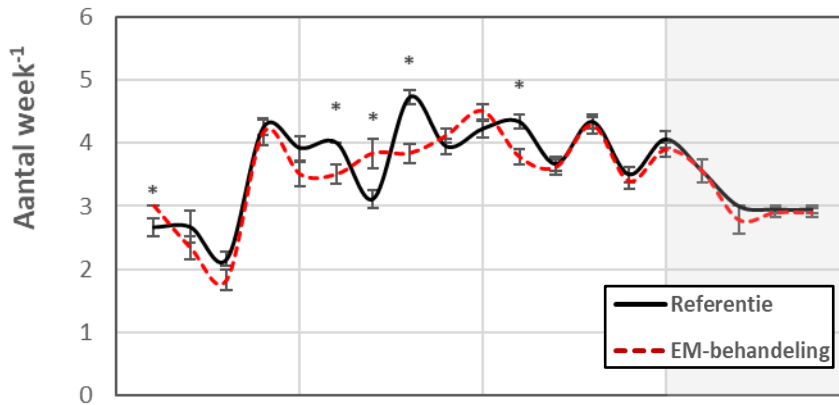
Relatie tussen plantengroei en PAR som



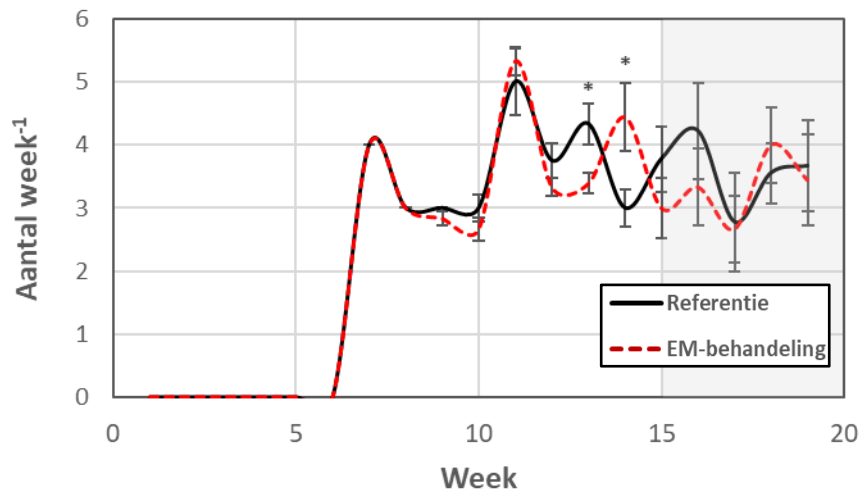
Appendix 6 Geen duidelijke relatie tussen plantengroei en PAR som.

De relatie tussen de wekelijkse toename in plantlengte (cm week⁻¹) en de PAR som (mol m⁻² week⁻¹) in de betreffende week en compartiment voor komkommer en tomaat.

Bladaanmaak tomaat

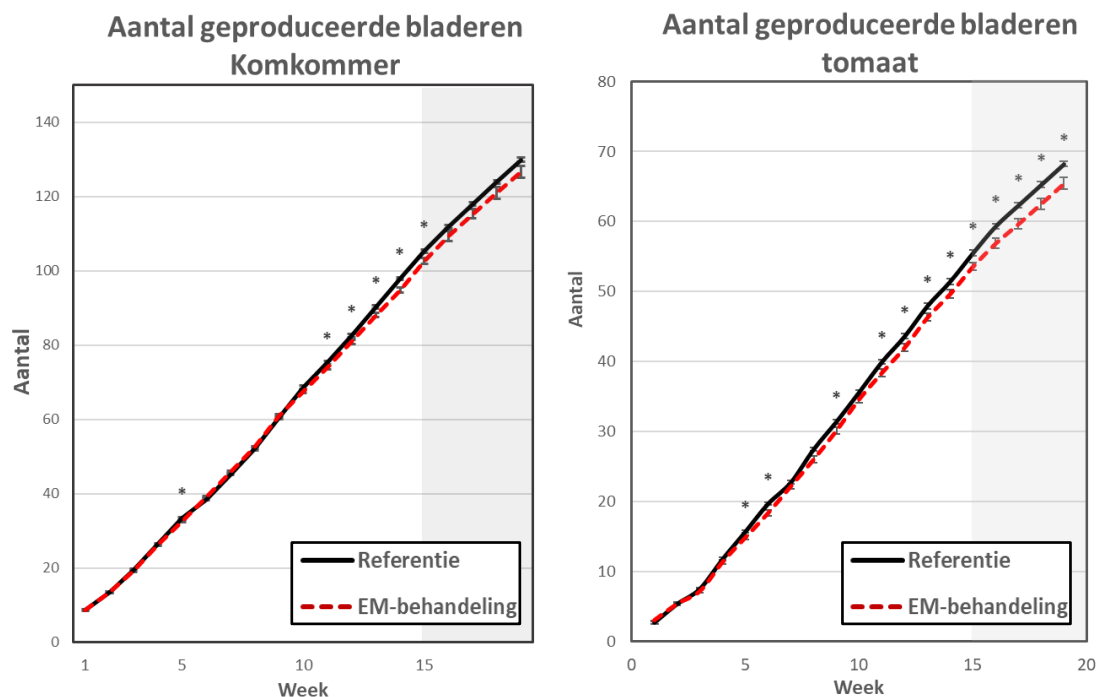


Verwijderde bladeren



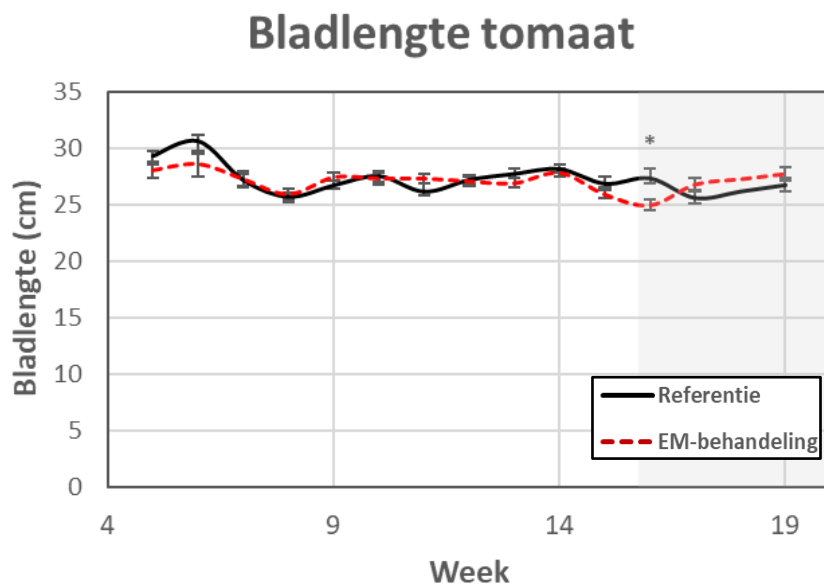
Appendix 7 Bladaanmaak en verwijderde bladeren bij tomaat.

De bladaanmaak (aantal week⁻¹) en verwijderde bladeren (aantal week⁻¹) voor tomaat tijdens het groeiseizoen ($n_{week1-6}=12$, $n_{week7-15}=18$, $n_{week16-20}=9$). Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met * ($P<0.05$). In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.



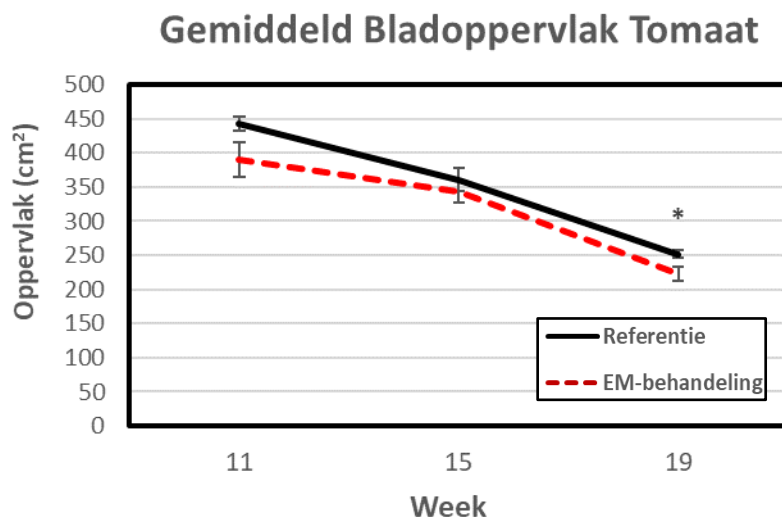
Appendix 8 Aantal geproduceerde bladeren door komkommer en tomaat.

Het totaal aantal geproduceerde bladeren van komkommer ($n_{week1-15}=12$, $n_{week16-20}=6$) en tomaat ($n_{week1-6}=12$, $n_{week7-15}=18$, $n_{week16-20}=9$) tijdens het groeiseizoen. Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.



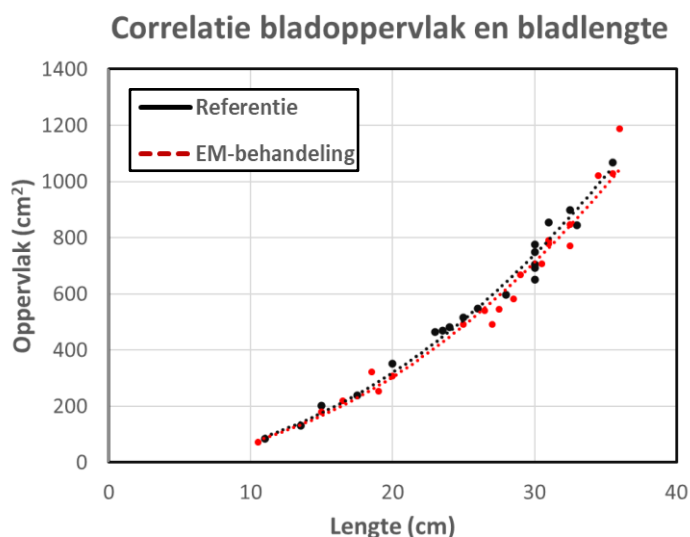
Appendix 9 Bladlengte van tomaat.

De bladlengte (cm) van tomaat tijdens het groeiseizoen ($n_{week1-6}=12$, $n_{week7-15}=18$, $n_{week16-20}=9$). Bladlengte is gemeten van bladeren die 1 week oud zijn. Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.



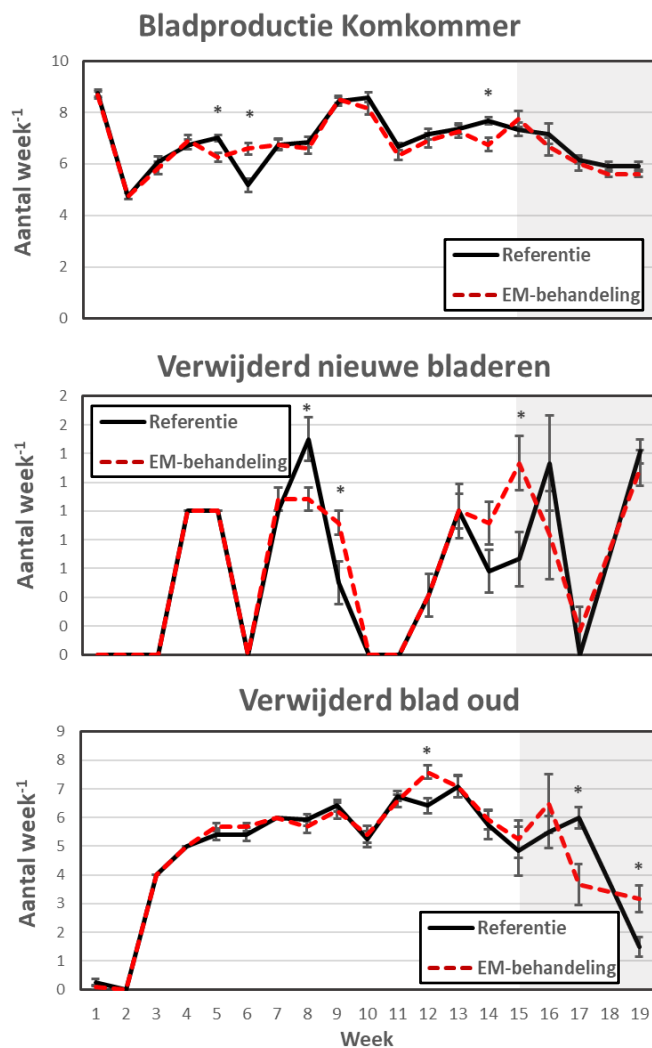
Appendix 10 Gemiddeld Bladoppervlak van tomaat.

Het gemiddelde bladoppervlak (cm²) van tomaat tijdens het groeiseizoen ($n_{week\ 11\&15}=18$, $n_{week19}=9$). De oppervlaktes zijn berekend van de oudste bladeren die in de betreffende week geoogst zijn. Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met *.



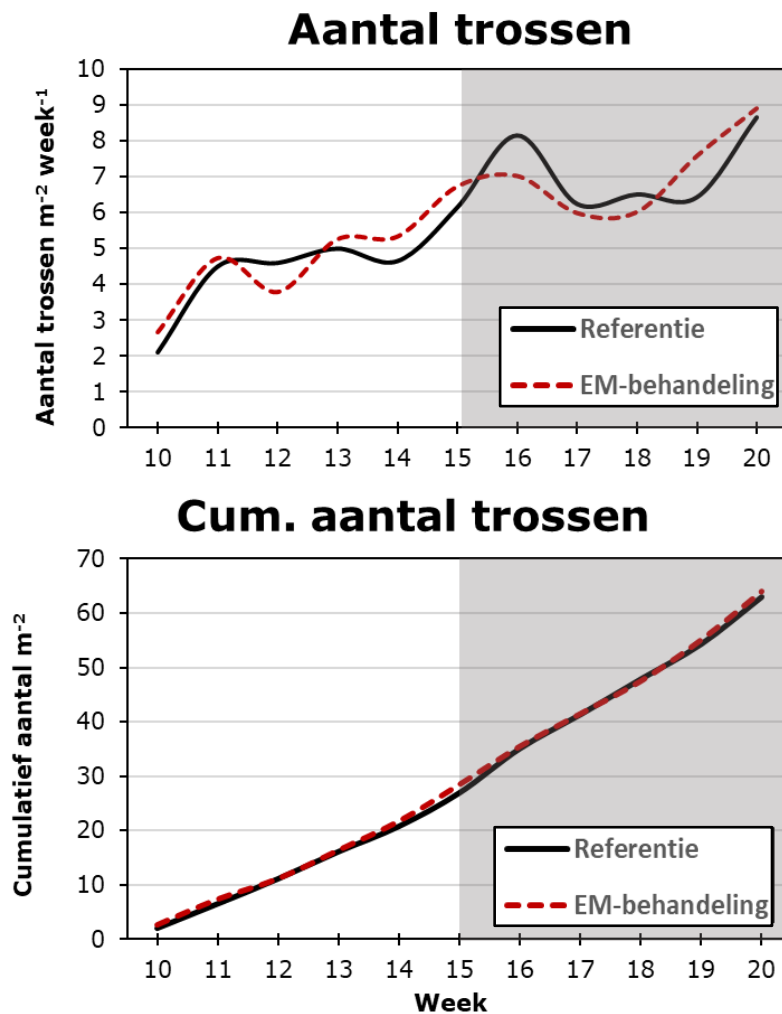
Appendix 11 Correlatie tussen bladoppervlak en bladlengte bij komkommer.

De correlatie tussen het bladoppervlak (cm²) en de bladlengte (cm) bij komkommer in de twee verschillende behandelingen (controle en EM-behandeling). De gestippelde lijn is de trendlijn berekend in Excel.



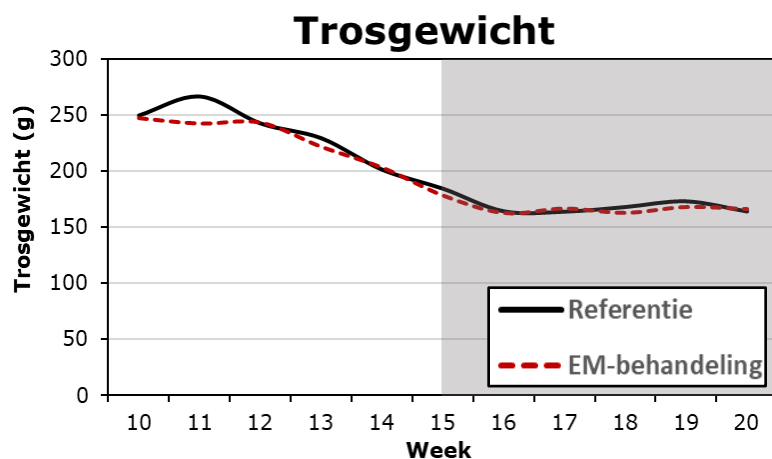
Appendix 12 De productie en verwijderde bladeren van komkommer.

Het aantal geproduceerde bladeren, aantal verwijderde jonge bladeren (nieuw) en het aantal verwijderde oude bladeren van komkommer ($n_{\text{week}1-15}=12$, $n_{\text{week}16-20}=6$) in de controle en EM-behandeling tijdens het groeiseizoen. Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.



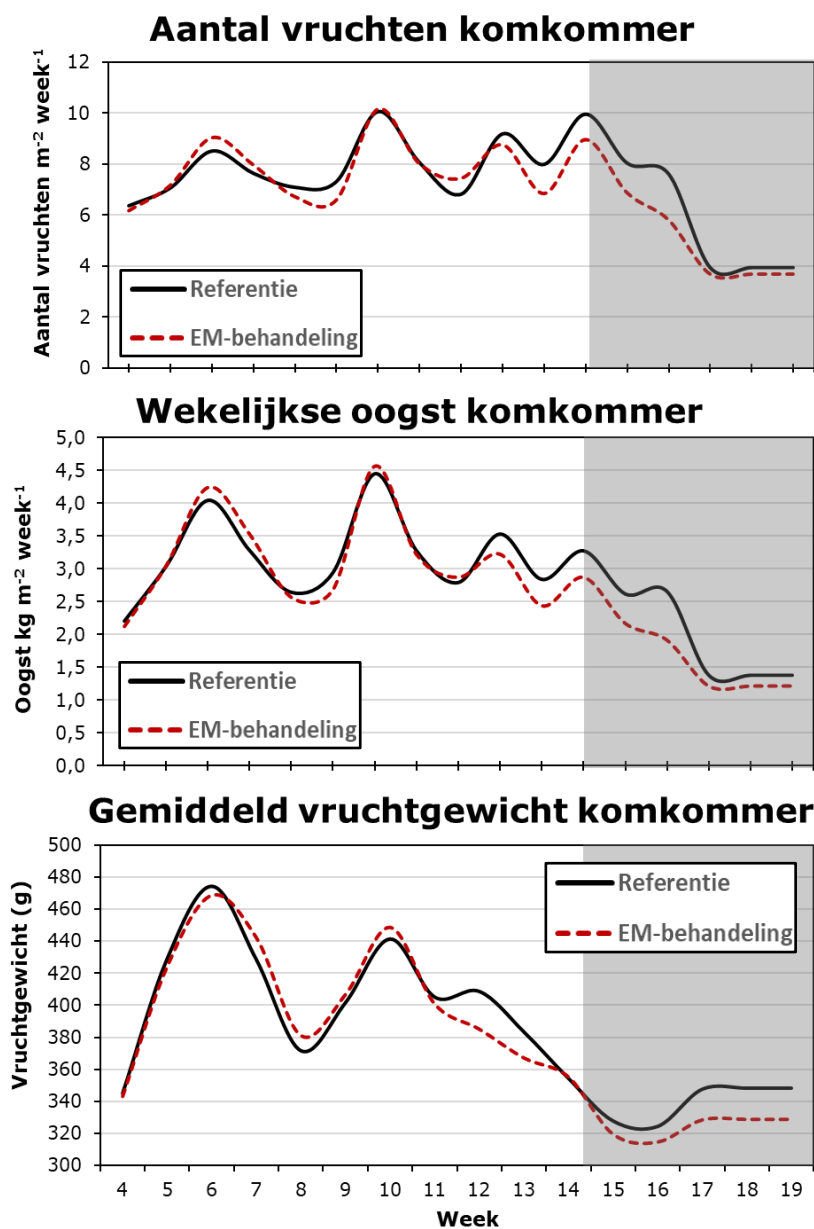
Appendix 13 Trosproductie tomaat.

Het aantal trossen geproduceerd per m^2 per week en het totaal aantal geproduceerde trossen (cumulatief) per m^2 in de referentie en EM-kas van week 10 tot 20. In de berekening is de rand rij weggelaten.



Appendix 14 Trosgewicht tomaat.

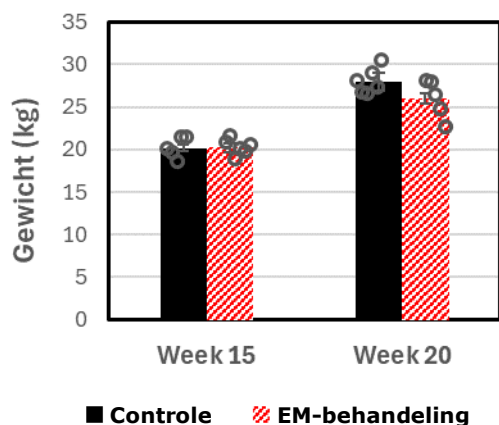
Het gemiddelde trosgewicht (g) in de referentie afdeling en EM-behandeling in week 10 tot 20. In de berekening is de rand rij weggelaten.



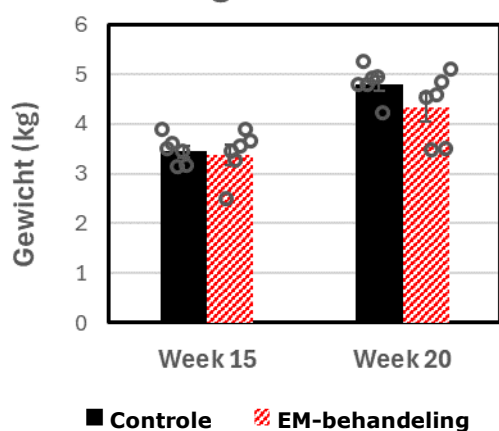
Appendix 15 Vruchtproductie van komkommer.

Het aantal vruchten (aantal m⁻²), wekelijkse oogst (kg m⁻²) en gemiddeld vruchtgewicht (g) van komkommer in de controle en EM-behandeling. In de berekening is de rand rij weggelaten.

Versgewicht Komkommer

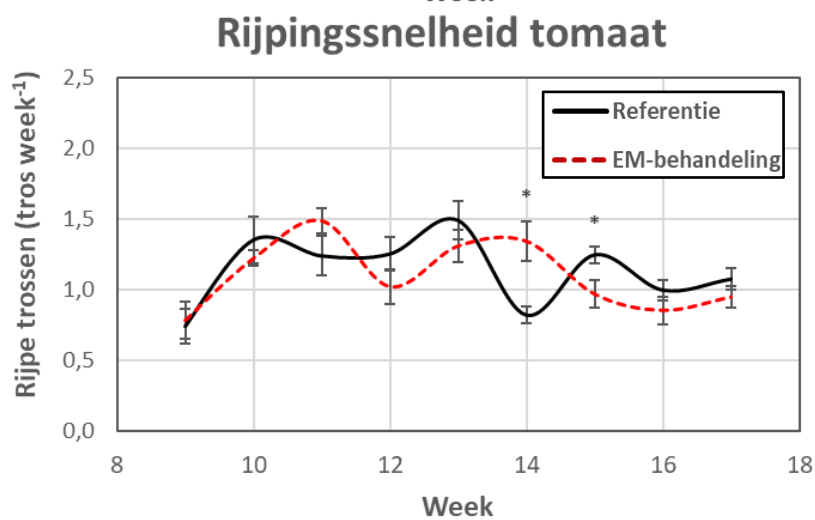
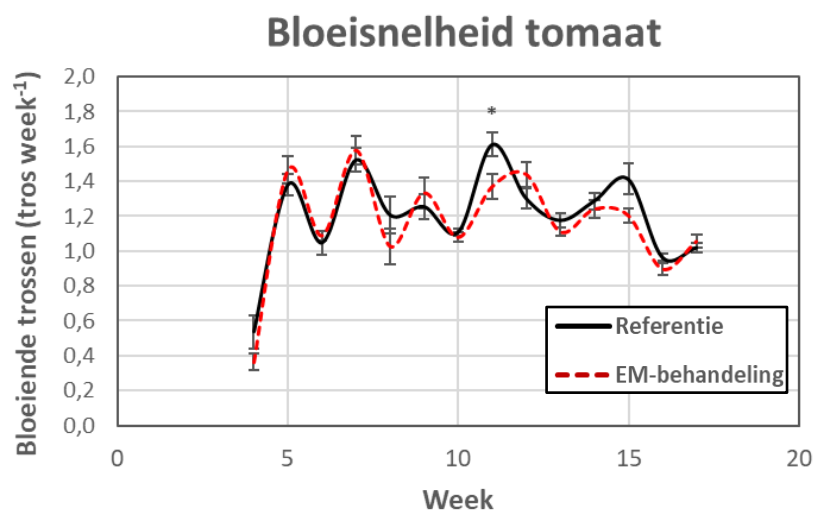
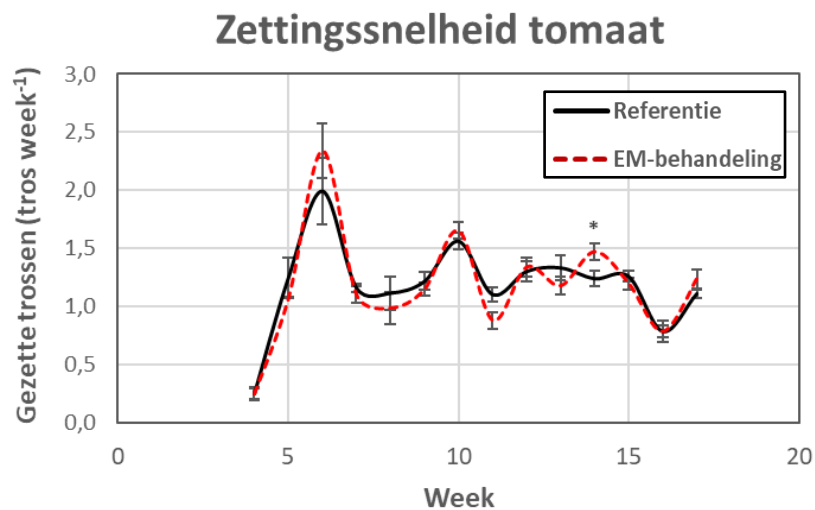


Versgewicht tomaat



Appendix 16 Het totale vers gewicht van tomaat en komkommer in week 15 en 20.

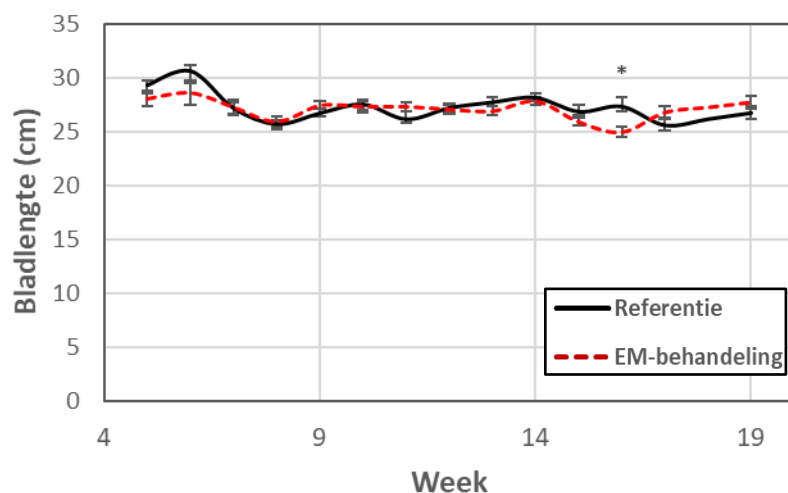
Het totaal geproduceerde vers gewicht (kg) van komkommer en tomaat in week 15 en 20 in de controle en EM-behandeling (N=6). Het gewicht is berekend aan de hand van de destructieve eindoogst en het gewicht van de geplukte vruchten en bladeren door het seizoen heen. Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met *.



Appendix 17 Ontwikkelingssnelheid tomaat.

De ontwikkelingssnelheid in tomaat in de controle en EM-behandeling weergegeven in de zettingssnelheid (tros week⁻¹), bloeisnelheid (tros week⁻¹) en rijpingssnelheid (tros week⁻¹). Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met * ($n_{week1-15}=12$, $n_{week16-20}=6$).

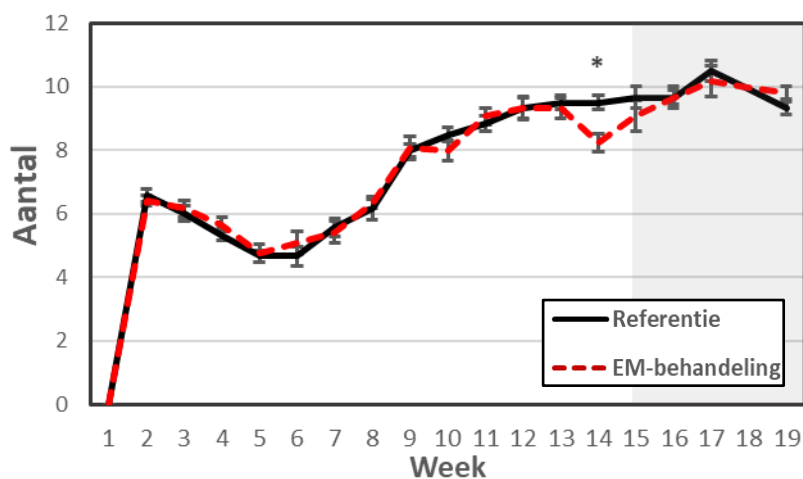
Bladlengte tomaat



Appendix 18 Bladlengte van tomaat.

De bladlengte (cm) van 1 week oude tomatenbladeren in de controle en EM-behandeling. Error bars tonen standard error en significante verschillen worden aangeduid met * ($n_{\text{week1-15}}=12$, $n_{\text{week16-20}}=6$).

Blad boven de bloem



Appendix 19 Aantal bladeren boven de bloem bij komkommer.

Het aantal bladeren boven de bloeiende bloem van komkommerplanten in de controle en EM-behandeling. Error bars tonen standard error ($n_{\text{week1-15}}=12$, $n_{\text{week16-20}}=6$) en significante verschillen worden aangeduid met *. In grijs de periode met een lagere lichtsom door het krijten van de kas.

Appendix 20 Klimaatrealisatie in MLC1 en MLC2.

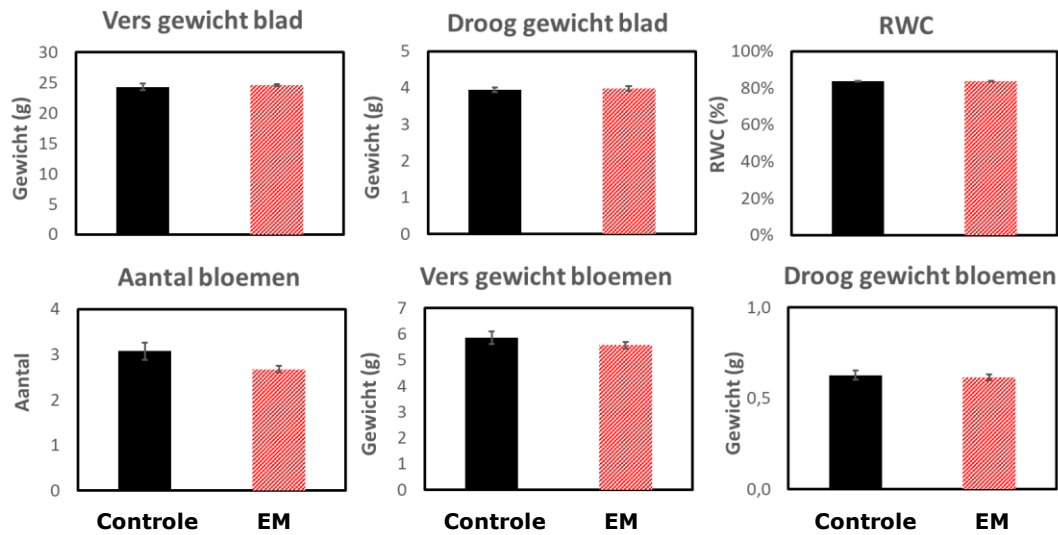
De gemiddelde temperatuur (°C) en luchtvochtigheid (%) in MLC1 en MLC2.

Cell	Day			Night		
	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	CO ₂ (ppm)	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	CO ₂ (ppm)
MLC 1	22,8	76,2	809,7	20,2	84,1	845,2
MLC 2	22,8	76,2	797,8	20,2	84,0	829,6

Appendix 21 Plantmetingen Anthurium.

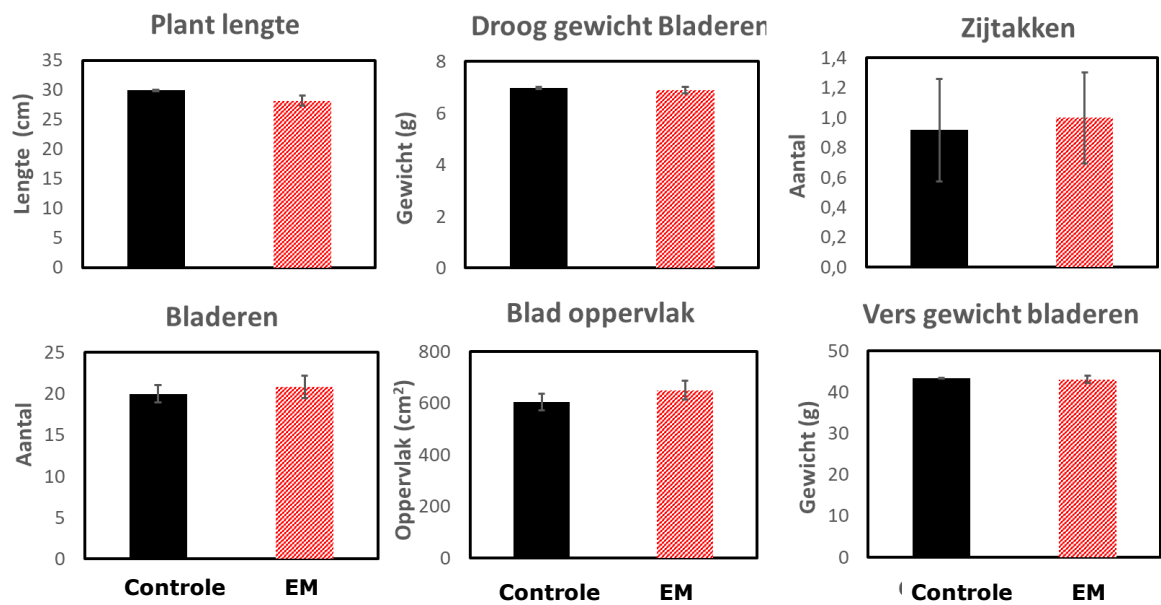
Het gemiddelde vers gewicht (g), drooggewicht (g), percentage droge stof (%), aantal bladeren en plantlengte (cm) van anthuriumplanten bij binnenkomst (5 augustus 2024) met standard deviatie (n=8).

Soort	Vers gewicht (g)	Droog gewicht (g)	Percentage droge stof (%)	Aantal bladeren	Plant lengte (cm)
Anthurium	14,8 ± 1,5	2,4 ± 0,2	16 ± 1	14,8 ± 1,1	17,9 ± 1,2



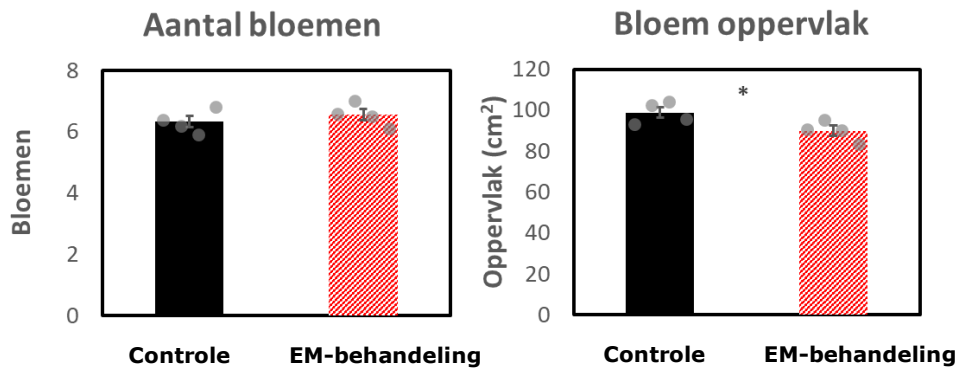
Appendix 22 Plantmetingen anthurium 42 dagen na behandeling met EM-straling.

Het vers gewicht van het blad (g), drooggewicht blad (g), relatieve water inhoud (RWC: %), aantal bloemen, vers gewicht bloemen (g) en drooggewicht bloemen (g) van anthurium in de controle behandeling of 42 dagen behandeling met EM-straling. Errorbars tonen SE (n=4) en significante verschillen worden aangeduid met *.

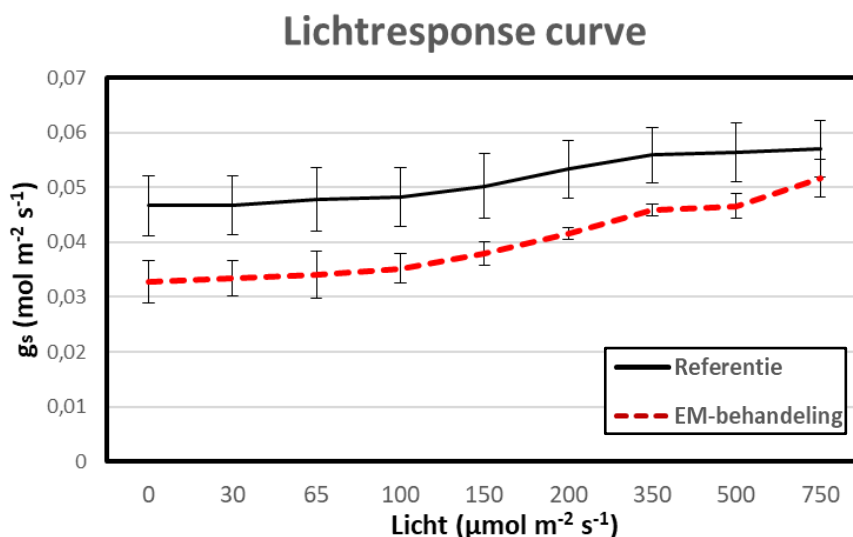
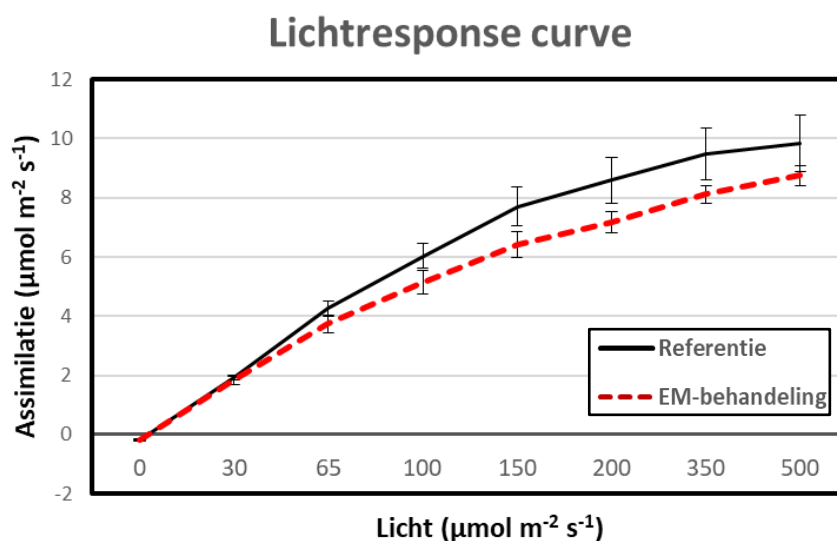


Appendix 23 Plantmetingen van de eindoogst van Anthurium.

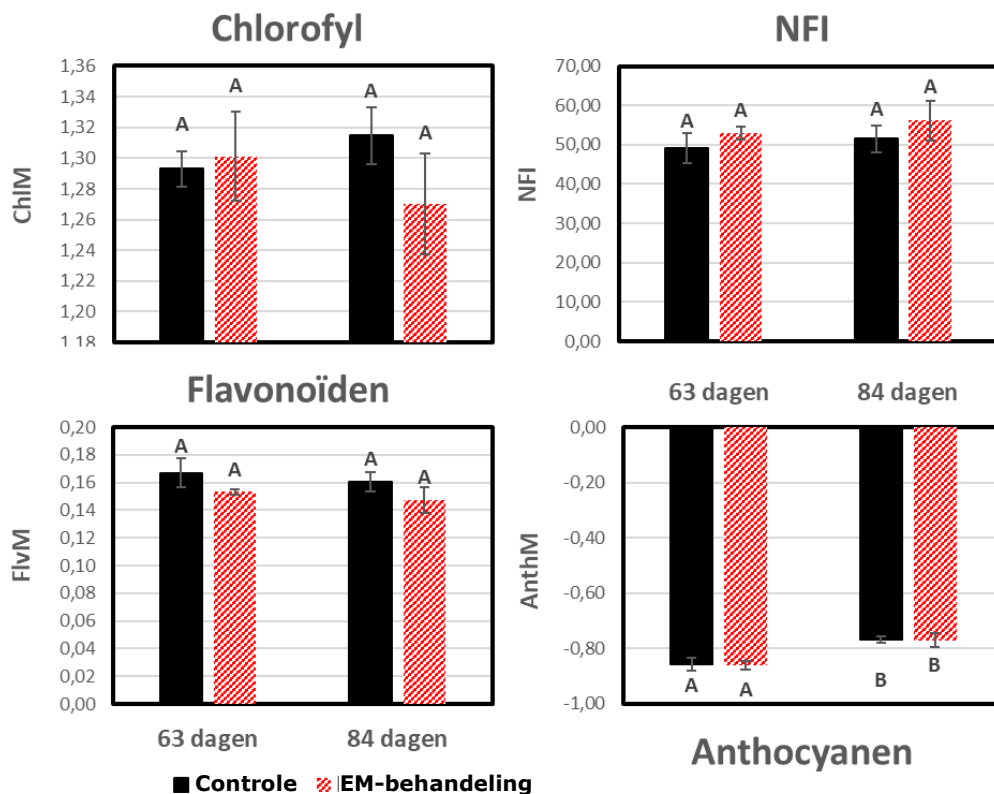
De plantlengte zonder bloem (cm), aantal bladeren, zijtakken, droog- en vers gewicht van de bladeren (g) en het bladoppervlak (cm²) van anthurium in de controle behandeling en na 86 dagen behandeling met EM-straling. Errorbars tonen SE (n=4) en significante verschillen worden aangeduid met *.



Appendix 24 Aantal bloemen en bloem oppervlak 86 dagen na behandeling met EM-straling. Het aantal bloemen en oppervlak (cm²) van anthurium bloemen 86 dagen na behandeling met EM-straling in vergelijking met de controle. De analyse is uitgevoerd met de Plantalyser. Errorbars tonen SE (n=4) en significante verschillen worden aangeduid met *. Individuele datapunten worden weergegeven met een grijs rondje (gemiddelde van 9 planten per kooi).

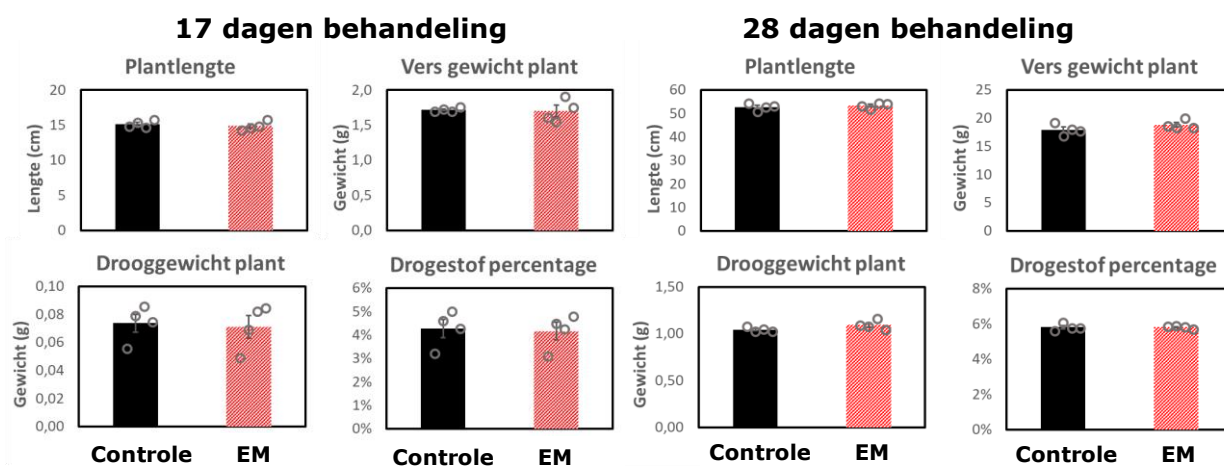


Appendix 25 Assimilatie en huidmondjesgeleiding van anthurium bij verschillende lichtniveaus. De assimilatie (μmol m⁻² s⁻¹) en huidmondjesgeleiding (mol m⁻² s⁻¹) van anthuriumplanten bij verschillende lichtintensiteiten (0, 30, 65, 100, 150, 200, 350, 500 en 750 μmol m⁻² s⁻¹) na 66-67 dagen behandeling met EM-straling in vergelijking met de controle. Metingen zijn uitgevoerd met de LI-COR 6800 (RV: 70 ± 0,5%, T: 24 ± 0,01°C). Errorbars tonen SE (n=3) en significante verschillen worden aangeduid met * (P<0.05).



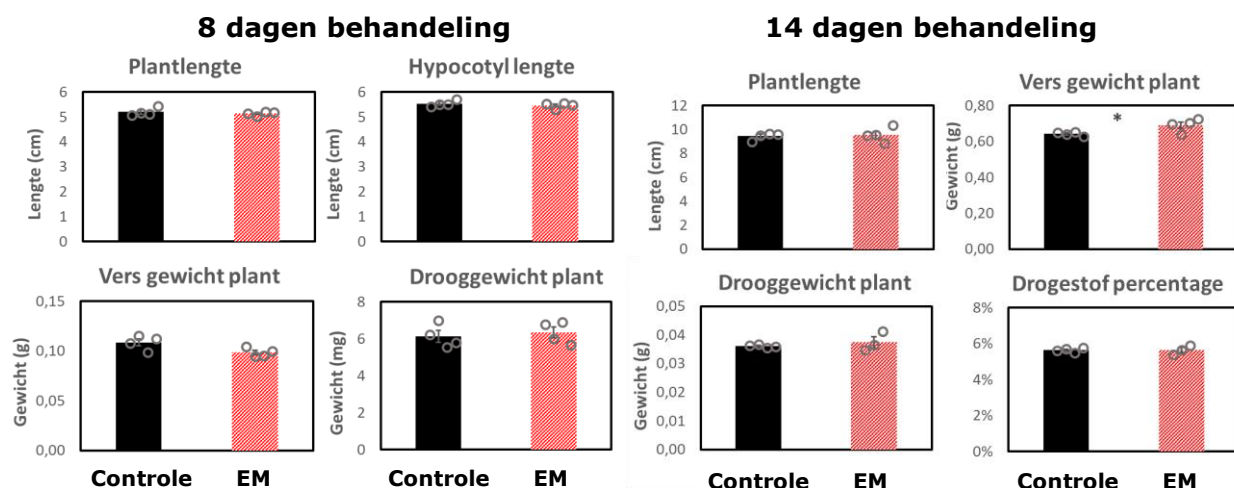
Appendix 26 Pigmentmetingen in anthurium na 63- en 84 dagen EM-behandeling.

Pigmentmetingen in anthuriumblad na 63 en 84 dagen behandeling met EM-straling in vergelijking met de onbehandelde controle. Hier weergegeven een benadering van de stikstof-flavonoïde index (NFI: Chlorofyl (T850nm/T720nm) / Flavonoïde (F660 nm / F325 nm)), Flavonoïde inhoud (FlvM: F660 nm / F325 nm), chlorofyl inhoud (ChlM: T850nm/T720nm) en de Anthocyanen inhoud (AnthM: F660nm/F525nm) aan de hand van fluorescentie en blad transmissie van ver rood en infrarood. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen de gemiddelden van 9 meetplanten per kooi (n=4). Gemiddelden met dezelfde letter zijn niet significant verschillend ($P > 0.05$).



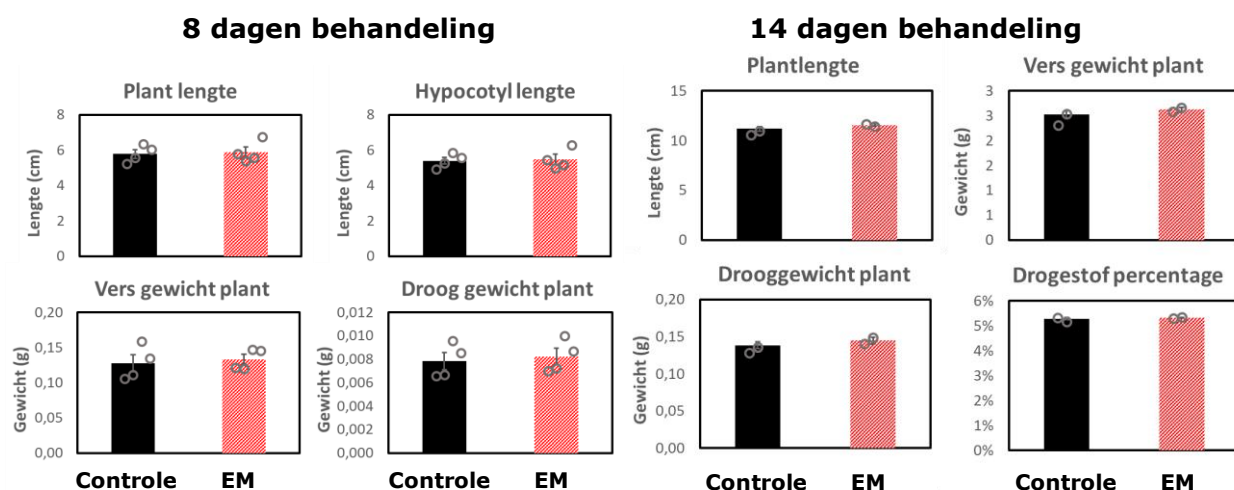
Appendix 27 Plantmetingen experiment 1 tomaat.

De plantlengte (cm), het vers gewicht plant (g), drooggewicht plant (g), en drogestofpercentage (%) na 17 en 28 dagen behandeling met EM-straling in vergelijking met de controle. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen de gemiddelden van 9 meetplanten per kooi (n=4). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P < 0.05$).



Appendix 28 Plantmetingen experiment 2 tomaat.

De plantlengte (cm), het vers gewicht plant (g), drooggewicht plant (g), en droge stof percentage (%) na 8 en 14 dagen behandeling met EM-straling in vergelijking met de controle. En hypocotyl lengte (cm) van zaailingen na 8 dagen behandelingen met EM-straling. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen de gemiddelden van 9 meetplanten per kooi (n=4). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P < 0.05$).



Appendix 29 Plantmetingen experiment 3 tomaat.

De plantlengte (cm), het vers gewicht plant (g), drooggewicht plant (g), en droge stof percentage (%) na 8 en 18 dagen behandeling met EM-straling in vergelijking met de controle. En hypocotyl lengte (cm) van zaailingen na 8 dagen behandelingen met EM-straling. Error bars tonen de standard error en de grijze rondjes tonen de gemiddelden van 9 meetplanten per kooi (n=4). Significante verschillen worden weergegeven met * ($P < 0.05$).

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-1372



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.
