Effecten van de ParXtra modulator op de groei van potplanten

Kees Weerheim, Puspa Khanal Joshi

Vertrouwelijk
Rapport WPR-1230

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat
In dit onderzoek is het effect onderzocht van een apparaat dat elektromagnetische (EM) golven uitzendt op de groei van sier-ananas en anthurium planten. Er worden positieve effecten gevonden op de groei en ontwikkeling van anthurium planten die verklaard kunnen worden door een toename in fotosynthese en bladoppervlakte. Bij sier-ananas is er ook een positief effect op biomassatoename gevonden maar een duidelijke verklaring hiervoor ontbreekt, omdat het effect op het CAM fotosynthese mechanisme niet volledig in kaart gebracht is. Een mogelijke verklaring is dat de EM golven de genexpressie beïnvloeden. Hiervoor is diepgaander onderzoek noodzakelijk. Deze technologie kan positief bijdragen aan verduurzaming van de glastuinbouwsector en verhoging van het teeltrendement.

Abstract
This study investigated the effect of a device that emits electromagnetic (EM) waves on the growth of ornamental pineapple and anthurium plants. Positive effects are found on the growth and development of anthurium plants that can be explained by an increase in photosynthesis rate and leaf area. A positive effect on biomass increase has also been found in ornamental pineapples, but a clear explanation for this is lacking, because the effect on the CAM photosynthesis mechanism has not been fully measured. One possible explanation is that EM waves affect gene expression. This requires more in-depth research. This technology can make a positive contribution to increase the sustainability of the greenhouse horticulture sector.

Rapportgegevens

Vertrouwelijk Rapport WPR-1230
Projectnummer: 3742343800

Disclaimer

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.
Kamer van Koophandel nr.: 09098104
BTW nr.: NL 8113.83.696.B07
Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.
Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0)10 - 522 51 93
glastuinbouw@wur.nl
wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Samenvatting **5**

1 Inleiding **7**

1.1 Aanleiding 7
1.2 Doel 7

2 Materiaal en methoden **8**

2.1 Experimentele opzet 8
2.2 Modulator 9
2.3 Startmeting 9
2.4 Verklarende metingen 10
2.5 Eindmeting 10
2.6 Dataverwerking 10

3 Resultaten en conclusies **11**

3.1 Resultaten 11
3.1.1 Klimaat 11
3.1.2 Groei en biomassaproductie sier-ananas 12
3.1.3 Groei en biomassaproductie Anthurium 14
3.2 Fotosynthese en fluorescentie 17
3.2.1 Fotosynthese open meetkamer 17
3.2.2 Fotosynthese gesloten meetkamer 18
3.2.3 Fluorescentie 19
3.2.4 Bladtemperatuur 20
3.3 Discussie 21
3.4 Conclusies 22

Literatuur **23**

Samenvatting

De ParXtra modulator is een apparaat wat elektromagnetische golven uitzendt die mogelijk een effect hebben op plantengroei. Het doel van dit onderzoek was om te bepalen of er positieve effecten waren op plantengroei en wat mogelijke fysiologische verklaringen zijn voor deze effecten.

Het onderzoek vond plaat op een locatie van Bunnik Bromelia, op de Mijnsherenweg (Aalsmeer) in afzonderlijke proefkassen. De proef werd uitgevoerd in de winter met potanthurium en sier-ananas (een bromeliasoort) en duurde 14 weken. Na 9 weken is er een beoordeling gedaan met het Aris camerasysteem en werden er verschillen in groei gevonden. Vervolgens zijn er fotosynthese en fluorescentie metingen uitgevoerd, en aan het einde van de experimenten zijn er destructieve plantmetingen uitgevoerd, naast een beoordeling met een automatisch fenotyperingsapparaat.

Uit deze metingen blijkt dat gedurende het experiment de biomassa in droge stof van sier-ananas en anthurium is toegenomen met respectievelijk 19% en 47%. Daarnaast bleek bij de metingen aan sier-ananas dat de planthoogte toenam met 20% ten opzichte van de referentiebehandeling. Bij anthurium werd een hoger bladoppervlakte waargenomen vanaf de zijkant (20%). Het aantal bladeren was 15.5 in de referentie behandeling in vergelijking met 16.8 in de ParXtra behandeling. De mate van doorworteling in de kluit was hoger 11% hoger in de ParXtra behandeling met een score van 3.6 in vergelijking met 3.2 in de referentiebehandeling, en het aantal scheuten was vergelijkbaar met een gemiddelde van 2.2 per plant. Ook werden er verschillen in aantal en grootte van de bloemen gevonden. Het aantal bloemen was 4.7 in de referentiebehandeling ten opzichte van 5.9 in de ParXtra behandeling. Het verschil in bloemoppervlakte was relatief gezien hoger: 132 cm^2 en 183 cm^2 in respectievelijk de referentie- en ParXtra behandeling. Naast de positieve resultaten zijn er geen negatieve effecten waargenomen van de ParXtra behandeling in vergelijking met de referentie.

De verklarende metingen aan anthurium laten zien dat de bladfotosynthese hoger is in de behandeling met de ParXtra modulatoren. De tendens naar een grotere huidmondjesopening is een aannemelijke verklaring voor de toename in bladfotosynthese. Een mogelijke verklaring voor het werkingsmechanisme hierachter is een effect van elektromagnetische golven op de genexpressie die indirect de signalering tussen het fotosynthese apparaat en huidmondjes beïnvloedt. Om dit vast te stellen is verder onderzoek nodig.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het bedrijf ParXtra heeft een modulator ontwikkeld, dat elektromagnetische (EM) golven uitzendt in de bandbreedte van 1-15 MHz. Er is bij een reeks gewassen, onder andere bij sier-ananas en pot anthurium, aangetoond dat dit de groei bevordert, met name wanneer de planten onder lage lichtniveaus of assimilatiebelichting geteeld worden. Het werkingsprincipe van de modulator is niet bekend. Eerdere proeven zijn door ParXtra en partners zelf uitgevoerd. Een van de resultaten was dat de planten in de zomer geen baat hadden bij toepassing van de ParXtra modulator, waarschijnlijk omdat de teeltomstandigheden dan optimaal zijn. Om een onafhankelijk oordeel te verkrijgen, wordt in dit project het onderzoek dat is uitgevoerd is door Bunnik Bromelia B.V. begeleid door Stichting Wageningen Research, Businessunit Glastuinbouw en Bloembollen (WUR), die tevens een aantal aanvullende metingen en analyses heeft gedaan.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om in een tweetal proeven het effect van de modulator op de groei en ontwikkeling van potplanten aan te tonen. Het gaat voornamelijk om het effect op de grootte en het gewicht van de planten, en bij gewassen zoals potanthurium ook om het aantal bloemen. Samengevat is het doel om te onderzoeken of de modulator een positief effect heeft op de groeisnelheid en de sierwaarde van potplanten. Omdat in de eerder uitgevoerde proeven vaak een toegenomen groei was waargenomen, is de hypothese dat de modulator de fotosynthese van de plant verhoogt en daarmee de biomassa toename. Het doel is om in dit project de relevante plantprocessen en de plantengroei te bepalen om te begrijpen of en hoe de groei wordt beïnvloedt door de modulator.

2 Materiaal en methoden

2.1 Experimentele opzet

Het onderzoek heeft plaatsgevonden op twee locaties van Bunnik Bromelia: op de Mijnsherenweg (Aalsmeer) waar de proefkassen staan, en op de Achterweg (De Kwakel) wat een productielocatie betreft.

Op de Mijnsherenweg is de proef uitgevoerd met twee behandelingen in afzonderlijke proefkassen van 48 m^2. In één kas zijn 9 ParXtra modulatoren geïnstalleerd (afdeling 24), en in de referentie behandeling is er zonder ParXtra modulatoren geteeld (afdeling 22). Tussen de twee kassen in zit een kasafdeling die als een buffer fungeert tussen de twee kassen. In deze proef zijn de ParXtra modulatoren aangeschakeld geweest wanneer er licht aanwezig was in de kas, waarbij de daglengte maximaal 12 uur was.

Op de productielocatie aan de Achterweg was een teelttafel uitgerust met ParXtra modulatoren. Op ruime afstand (>50m) daar vandaan was een tafel geplaatst die niet is uitgerust met ParXtra modulatoren. Ondanks de opzet om de ParXtra modulatoren aan te schakelen gedurende de lichtperiode, bleek dat ze continu aangeschakeld waren geweest door een technische fout (24 uur per dag). Uit de metingen met het Aris camerasysteem bleek dat dit negatief was voor ananas en licht positief voor anthurium, maar omdat de proef niet verlopen is volgens opzet zijn de resultaten niet verwerkt in dit rapport.

De proef werd uitgevoerd met potanthurium en sier-ananas (een bromeliasoort) en duurde 14 weken, van 7 november (week 45) tot 15 februari (week 7). Bij de start zijn ongeveer 1000 planten willekeurig verdeeld over de proefkassen bij een plantdichtheid van 39 planten per m^2. Het klimaat en de watergiftstrategie in de beide proefkassen is hetzelfde ingesteld en gerealiseerd. Wat klimaatstrategie betreft is er gestuurd op een optimale groei en ontwikkeling van potanthurium. De instraling werd daarvoor beperkt tot ongeveer 100 µmol m^{-2} s^{-1} door middel van schermen, bij een daglengte van 10-12 uur en een maximale lichtsom van 5 mol m^{-2} d^{-1}. De lichtsom was leidend in het schakelen van de belichting. Het teeltschema en andere teelthandelingen waren identiek tussen de behandelingen. Bunnik Bromelia heeft met de Hoogendoorn klimaatcomputer de gerealiseerde kasklimaatgegevens gelogd (temperatuur, licht, vochtigheid, CO_2 concentratie, watergift) en deze gegevens zijn aan WUR ter beschikking gesteld.

2.2 Modulator

De modulator genereert een elektromagnetisch veld binnen de bandbreedte van 1-15 MHz en gebruikt daarbij per modulator een vermogen van 3-5 Watt (Figuur 1). De elektrische veldsterkte dicht bij de modulator ligt tussen de 0.5 en 1.5 V/m. Buiten een stroomvoorziening behoeft het apparaat geen onderhoud.

Figuur 1 *Horizontaal gemonteerde modulator in een kasafdeling.*

2.3 Startmeting

Bij de start van de proef is de ingezette proef beoordeeld op 7-11-2022 (week 45), en zijn van de twee plantensoorten 10 planten uit elke kas meegenomen naar de locatie van WUR in Bleiswijk voor een startmeting. Bij de startmeting zijn de volgende kenmerken bepaald:

- Aantal bladeren
- Bladoppervlakte
- Planthoogte
- Versgewicht
- Drooggewicht
- Wortels

Bij potanthurium is verder ook gekeken naar het aantal spruiten/zijscheuten en het aantal bloemen.

2.4 Verklarende metingen

Halverwege de proef (16-1-2023) zijn er metingen uitgevoerd op locatie met het Aris camerasysteem van Bunnik Bromelia. Per behandeling zijn er 40 planten gemeten en is de zijdichtheid (ZD), hoogte (H) en bovendichtheid (BD) bepaald. Met deze waarden is een totaal waarde berekend als maat voor plantgrootte. (BD+(H*45)*1.2+(1.5*ZD)*2.1). Op basis hiervan werd de beslissing genomen om de verklarende metingen en destructieve eindmetingen uit te voeren. Onderzoekers van de WUR hebben op locatie fotosynthese metingen uitgevoerd op de planten in de twee proefkassen aan de Mijnsherenweg. Deze metingen zijn alleen bij potanthurium planten gedaan. De metingen zijn uitgevoerd met de LI-COR LI-6800 met 2 typen meetkamers. De metingen met de open kamer zijn gedaan onder de heersende lichtintensiteit in de kasafdelingen en de geanalyseerde parameters zijn de CO_2 opname, huidmondjesopening en lichtintensiteit. De metingen met de gesloten kamer zijn gedaan bij lichtintensiteiten van 750 tot 0 µmol m^{-2} s^{-1} met een lichtspectrum van 10% blauw en 90% rood licht. Daarnaast zijn er fluorescentie- en bladtemperatuurmetingen onder heersende omstandigheden genomen met de LI-COR LI-600 poro-fluorometer bij beide plantensoorten.

2.5 Eindmeting

Aan het einde van de proef heeft een onderzoeker van WUR van beide soorten planten uit 2 afdelingen 20 planten (2 proefvakken*2 plantensoorten*20 planten) voor de eindmeting meegenomen naar Bleiswijk. Bij de eindmeting van sier-ananas zijn de volgende kenmerken gemeten:

- Aantal bladeren
- Bladoppervlakte
- Planthoogte
- Versgewicht
- Drooggewicht
- Wortels

Bij potanthurium zijn de volgende kenmerken handmatig bepaald:

- Aantal bladeren
- Versgewicht
- Drooggewicht
- Wortels
- Aantal scheuten

Tenslotte zijn er vergelijkende foto’s gemaakt van de planten.

Automatische plantmetingen

Bij de eindmeting zijn 20 potanthurium planten per behandeling met behulp van een fenotyperingsapparaat gemeten. Het apparaat is uitgerust met verschillende camera’s waarmee plantkenmerken niet-destructief kunnen worden bepaald:

- Planthoogte (vegetatief) = hoogste hoogte van het hoogste blad (inclusief hoogte van de pot)
- Planthoogte (generatief) = hoogste hoogte van de hoogste bloem (inclusief pot)
- Plantbreedte
- Bladoppervlakte top/ zij (geprojecteerd)
- Bloemoppervlakte top/ zij (geprojecteerd)
- Aantal bloemen
- Blad oriëntatie

2.6 Dataverwerking

De data zijn statistisch verwerkt in het programma Genstat met behulp van variantieanalyse (ANOVA). Met deze analyse wordt bepaald of de gemiddelden van de twee behandelingen van elkaar verschillen (p-waarde <0.05). In grafieken word de variatie weergegeven met foutbalken die de standaardfout weergeven. Dit geeft de nauwkeurigheid van een berekend gemiddelde aan.

3 Resultaten en conclusies

3.1 Resultaten

3.1.1 Klimaat

De klimaatgegevens zijn in de vorm van dag- en weekgemiddelden verwerkt.

Tabel 1 *Overzicht van het klimaat in de onderzoeksafdelingen.*

	Temperatuur		Relatief vocht		Parsom		CO_2 concentratie	
Week	**Referentie**	**ParXtra**	**Referentie**	**ParXtra**	**Referentie**	**ParXtra**	**Referentie**	**ParXtra**
46	22.5	22.6	72	68	4.5	4.6	891	771
47	22.3	22.4	70	67	4.8	4.7	860	761
48	22.2	22.3	69	67	4.6	4.5	724	636
49	21.9	22.0	68	66	4.2	4.1	783	696
50	21.6	21.6	64	63	3.9	3.8	1010	927
51	22.1	22.3	71	69	4.3	4.2	717	631
52	22.2	22.4	72	70	4.5	4.4	742	683
1	22.3	22.4	73	70	4.6	4.6	694	627
2	22.7	22.3	74	70	4.5	4.5	693	663
3	22.7	22.1	73	66	4.5	4.4	563	691
4	22.4	22.2	71	68	4.5	4.4	721	681
5	22.6	22.6	73	69	5.0	5.1	768	698
Gemiddeld	**22.3**	**22.3**	**71**	**68**	**4.5**	**4.4**	**764**	**705**

We zien een identieke temperatuur (°C) en vrijwel identieke RV (%) en Parsom (mol^{-2} d^{-1}). De CO_2 concentratie (ppm) wijkt enigszins af in het nadeel van de afdeling met de modulator maar in het licht van de onnauwkeurigheid van CO_2 sensoren zijn dit geen grote verschillen.

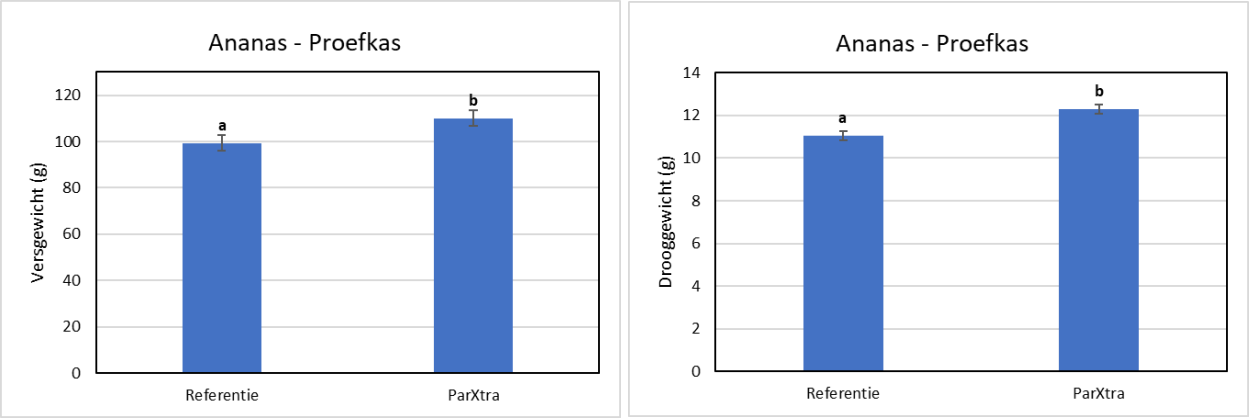
Figuur 2 *Proefopzet van de referentie proefkas.*

3.1.2 Groei en biomassaproductie sier-ananas

Er zijn verschillen gevonden in het versgewicht, drooggewicht en de planthoogte tussen beide behandelingen in sier-ananas. Het versgewicht aan het einde van het experiment in de ParXtra behandeling is 11% hoger met een gewicht van 110 gram ten opzichte van 99 gram in de referentie behandeling (p=0.03) (Figuur 3).

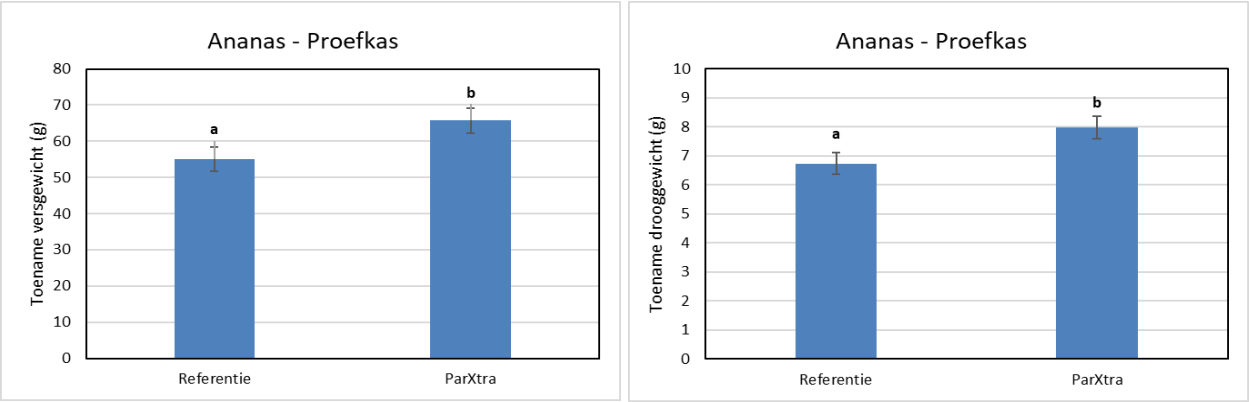
Het versgewicht in de referentie is toegenomen met 55.0 gram terwijl het in de ParXtra behandeling is toegenomen met 65.7 gram. Het verschil in groei was 20% (Figuur 4).

Een vergelijkbaar resultaat is gevonden voor het drooggewicht wat met 19% is toegenomen (p=0.02). Het aantal bladeren en het bladoppervlakte waren niet significant verschillend hoewel de toename in bladoppervlakte 17% hoger was in de ParXtra behandeling. De planten hadden gemiddeld 40 bladeren en een bladoppervlakte van 853 cm^2.



Figuur 3 *Gemiddeld versgewicht (links) en drooggewicht (rechts) per plant bepaald bij de eindmeting.*

De planthoogte in de ParXtra behandeling was 17.4 cm in vergelijking met de referentieplanten die een hoogte hadden van 16.1 cm. (p=0.03). De toename in planthoogte gedurende de proef was respectievelijk 6.7 en 9.0 cm, een verschil van 20%. De mate van doorworteling in de kluit was vergelijkbaar tussen de behandelingen met een score van 3.3 op een schaal van 1-5.

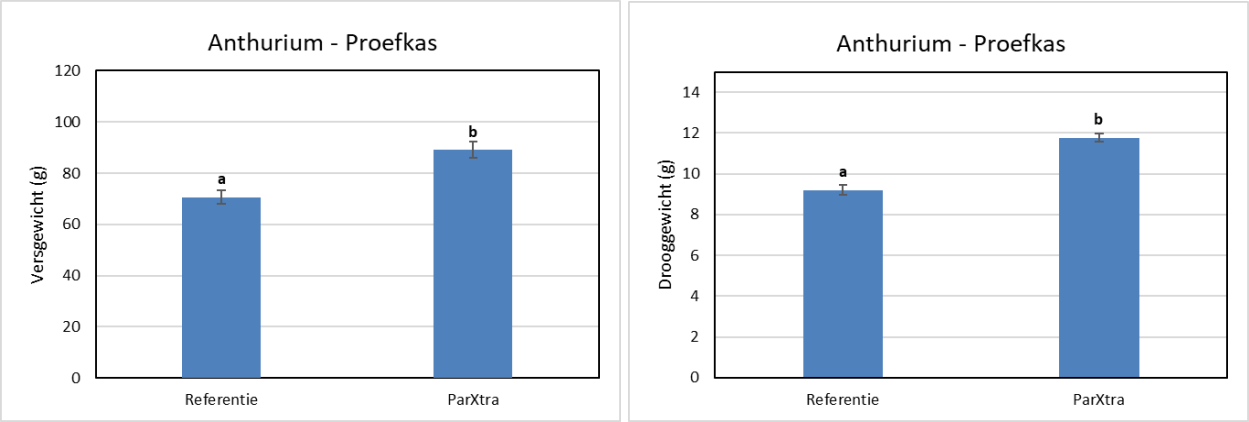


Figuur 4 *Gemiddelde toename in versgewicht (links) en drooggewicht (rechts) gedurende de proef.*

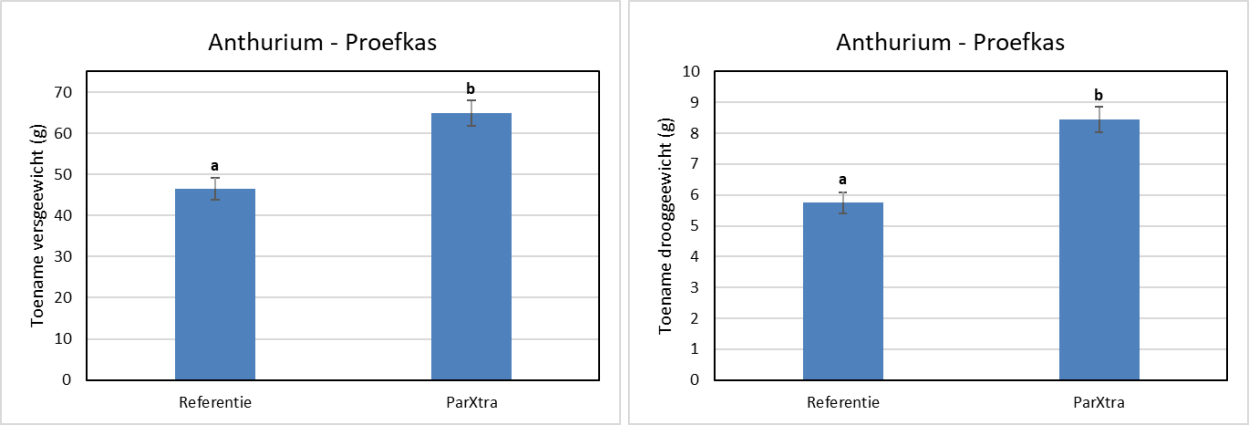
Figuur 5 *Vergelijking tussen een plant uit de referentiebehandeling (links) en de ParXtra behandeling (rechts).*

3.1.3 Groei en biomassaproductie Anthurium

Voor Potanthurium zijn er ook verschillen gevonden in vers- en drooggewicht. Het gemiddelde versgewicht was respectievelijk 71 en 89 gram voor planten uit de referentiebehandeling en de ParXtra behandeling, een verschil van 26% ($p<0.001$) (Figuur 6). Voor drooggewicht werden vergelijkbare resultaten gevonden. Het drooggewicht aan het einde van de proef was respectievelijk 9.2 en 11.8 gram in de referentie- en ParXtra behandeling, een verschil van 28% ($p<0.001$). De toename in versgewicht was respectievelijk 46.4 en 64.9 gram, een verschil van 40%. Gecorrigeerd voor het drooggewicht aan de start van het experiment was de toename 5.7 en 8.4 gram, een verschil van 47%. De mate van doorworteling in de kluit was hoger 11% hoger in de ParXtra behandeling met een score van 3.6 in vergelijking met 3.2 in de referentiebehandeling, en het aantal scheuten was vergelijkbaar met een gemiddelde van 2.2 per plant.

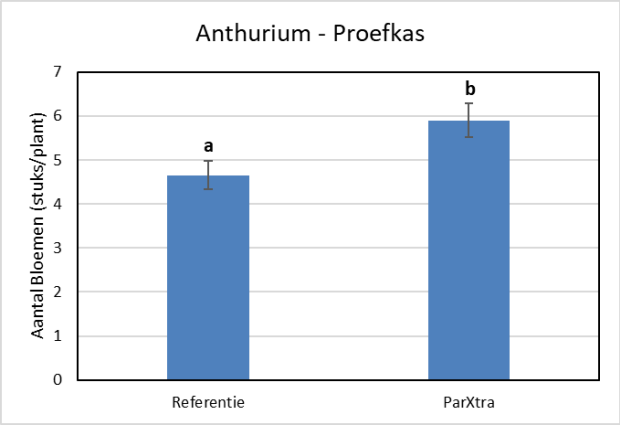


Figuur 6 *Gemiddeld versgewicht (links) en drooggewicht (rechts) per plant bepaald bij de eindmeting.*



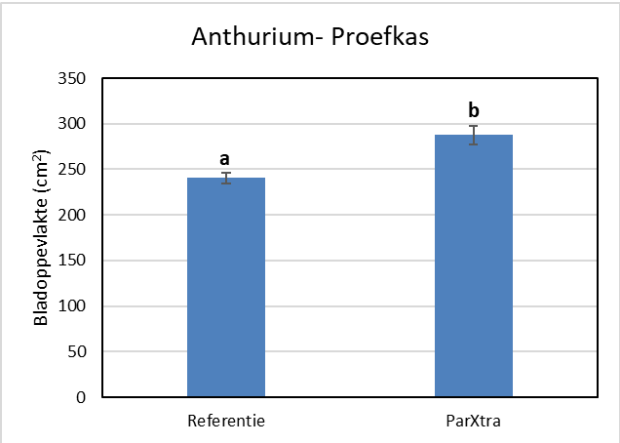
Figuur 7 *Toename van versgewicht (links) en drooggewicht (rechts) gedurende de proef bij potanthurium.*

Hoewel het geprojecteerde bladoppervlakte vanaf de bovenkant gezien licht hoger is in de ParXtra behandeling, zijn de verschillen niet significant. De oppervlakte is gemiddeld 417 en 448 cm^2 voor respectievelijk de referentie en ParXtra behandeling. Het oppervlakte gemeten vanaf de zijkant is wel significant 20% hoger met respectievelijk 240 en 288 cm^2 ($p<0.001$)(Figuur 9). Het aantal bladeren is significant hoger waarbij de planten uit de ParXtra behandeling gemiddeld 16.8 bladeren hadden en de planten uit de referentie 15.5 ($p=0.046$).



Figuur 8 *Gemiddeld aantal bloemen per plant.*

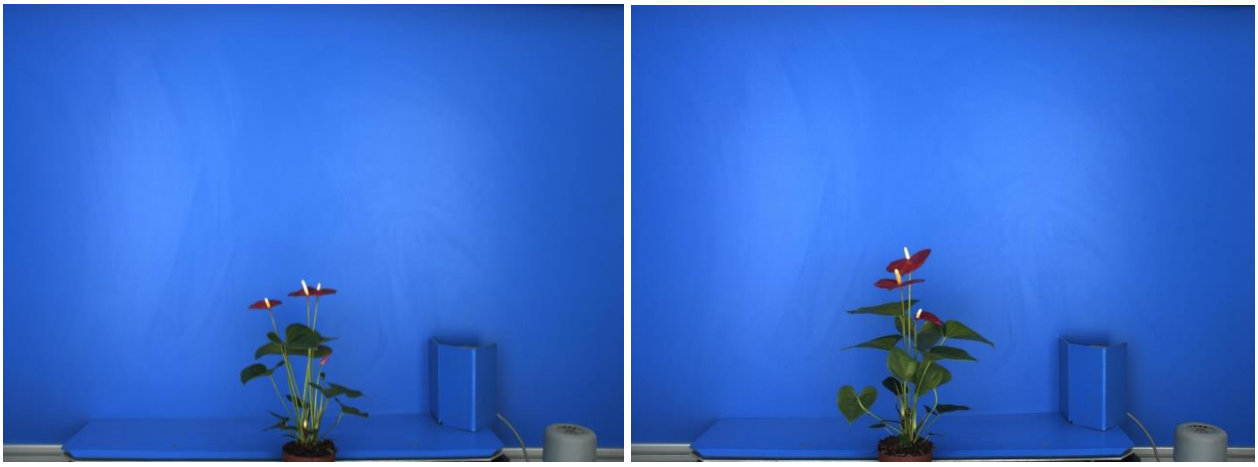
Het bloemoppervlakte en aantal bloemen geteld vanaf de zijkant is significant hoger in de ParXtra behandeling. Het aantal bloemen is respectievelijk 4.7 en 5.9 in de referentie en ParXtra behandeling, een verschil van 26% (p=0.018)(Figuur 8). Het bloemoppervlakte vanaf boven gezien is respectievelijk 132 en 183 cm^2, een verschil van 40% (p=0.002).



Figuur 9 *Bladoppervlakte gemeten vanaf de zijkant door middel van het fenotyperingsapparaat.*

De plantlengte en -breedte en bloemlengte verschilde ook tussen de behandelingen (Figuur 10, Figuur 11). De verschillen zijn klein maar significant. De plantlengte was 30 en 32 cm voor respectievelijk de referentie en ParXtra behandeling, en toename van 8% (p=0.005). De plantbreedte was respectievelijk 29 en 32 cm, een toename van 9% (p=0.004). De bloemlengte is respectievelijk 36 en 38 cm, een toename van 6% (p=0.038).

De bladstand verschilde niet tussen de behandelingen.



Figuur 10 *Zijaanzicht van een anthuriumplant uit de referentie (links) en ParXtra (rechts) behandeling zoals gezien door het plantfenotyperingsapparaat.*

Figuur 11 *Vergelijking tussen een plant uit de referentie behandeling (links) en de ParXtra behandeling (rechts).*

3.2 Fotosynthese en fluorescentie

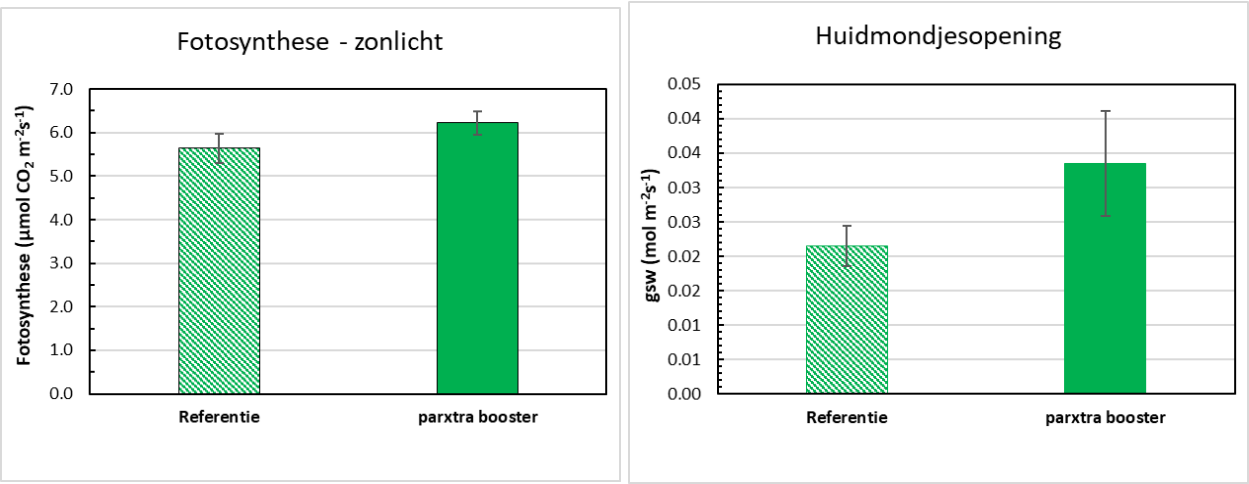
De bladfotosynthese is gemeten op 2 manieren: met een "open" meetkamer en een "gesloten" meetkamer. Een open meetkamer is afgesloten van de buitenlucht waar het blad ingeklemd is en door de transparante bovenkant kan het natuurlijk aanwezige zonlicht en eventuele belichting toetreden. Bij een gesloten meetkamer is er in plaats van een transparante bovenkant een lichtbron aanwezig waarmee het lichtspectrum en -niveau gereguleerd kan worden en alle andere straling grotendeels wordt buitengesloten. In deze lichtbron zit ook een fluorescentie detector waardoor meer informatie met betrekking tot de fotosynthese-efficiëntie verzameld kan worden.

Figuur 12 *De fotosynthese meetapparatuur; links: gesloten kamer met bedieningsconsole, rechts: open kamer met ingeklemd blad.*

Tenslotte is de fluorescentie met een handmeter bepaald waarbij het blad maar heel kort wordt ingeklemd, waarmee ook de sier-ananasplanten met kleinere bladeren gemeten konden worden.

3.2.1 Fotosynthese open meetkamer

De fotosynthese gemeten met de open meetkamer verschilde niet tussen de behandelingen. We zien een tendens naar een hogere fotosynthese in de ParXtra behandeling maar deze is niet significant verschillend (p=0.209) (Figuur 13). De fotosynthese is respectievelijk 5.6 en 6.2 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} voor de referentie en ParXtra behandeling, een verschil van 10%. Het lichtniveau was constant ten tijde van de metingen en was gemiddeld 131 µmol m^{-2} s^{-1} en verschilde niet tussen de behandelingen (p=0.612).

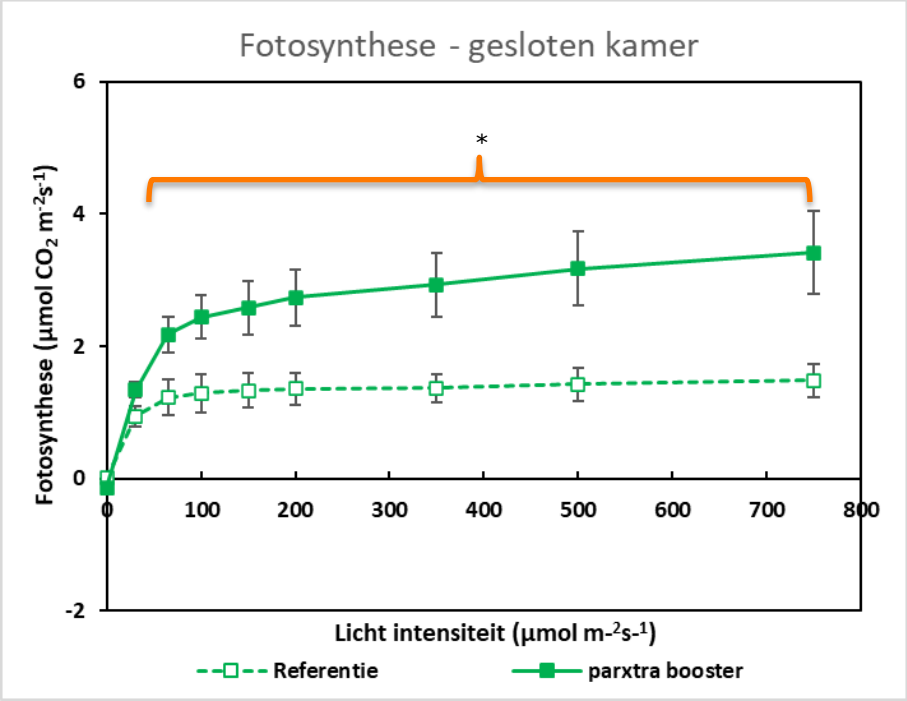


Figuur 13 *Fotosynthese (links) en huidmondjesopening (rechts) onder heersende omstandigheden.*

De huidmondjesopening verschilde niet significant tussen de behandelingen maar er was een tendens naar een grotere huidmondjesopening in de ParXtra behandeling. Er is een grote spreiding tussen de metingen waargenomen.

3.2.2 Fotosynthese gesloten meetkamer

Met behulp van de meting met gesloten kamer kan ook de fotosynthese onder verschillende lichtniveaus bepaald worden in de vorm van een lichtresponse curve (Figuur 14). Deze curve, waarbij de CO_2 assimilatie is uitgezet tegen de lichtintensiteit, is op te delen in 3 stukken: het eerste deel wat een lineaire stijging van de fotosynthese laat zien als gevolg van toenemende lichtintensiteit en het ontbreken van limiterende factoren.



Figuur 14 *Licht response curve gemeten aan anthurium met gesloten kamer. De asterisk duid significante verschillen aan tussen de behandelingen.*

Vervolgens buigt de fotosynthese af, en tenslotte wordt er een plateau bereikt waarbij meer licht niet leidt tot meer fotosynthese omdat er één of meerdere processen limiterend zijn.

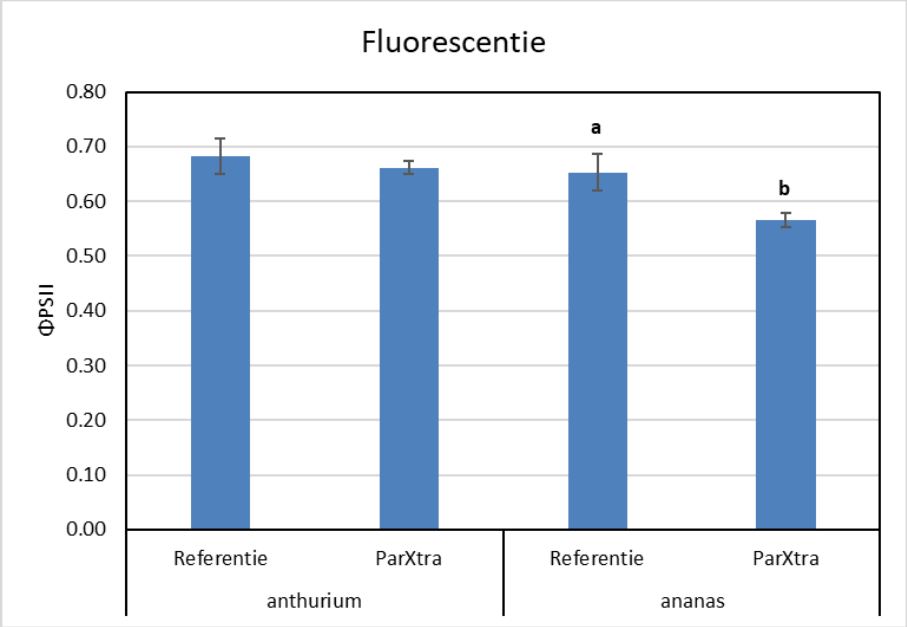
We zien dat de bladeren relatief snel belast zijn en dat de maximale fotosynthese al bij lage intensiteiten wordt bereikt. Vanaf 65-750 µmol m^{-2} s^{-1} wordt er een significant verschil gevonden tussen de behandelingen waarbij de bladeren in de ParXtra behandeling een hogere fotosynthese laten zien. Bij een intensiteit van 100 µmol m^{-2} s^{-1} was de fotosynthese 89% hoger. Net zoals bij de metingen met open kamer werd er een tendens waargenomen naar een grotere huidmondjesopening in de ParXtra behandeling. Deze metingen vonden later op de dag plaats dan de metingen met de open kamer. Een belangrijke factor kan zijn dat het aan het lage lichtniveau geadapteerde gewas gestrest was door de hoge lichtintensiteiten omdat de curve van hoge naar lage intensiteiten wordt genomen. Dit laat onverlet dat onder deze omstandigheden de planten in de ParXtra behandeling een significant hogere fotosynthese laten zien.

3.2.3 Fluorescentie

De fluorescentie is gemeten aan potanthurium en sier-ananas onder het heersende lichtspectrum. Deze meting geeft de efficiëntie van fotosysteem II weer, de eerste schakel in het elektronentransport van fotosyntheseproces. Deze meting is uitgevoerd omdat deze als voordeel heeft dat het blad aan de bovenkant wordt blootgesteld aan de omgevingscondities, dat wil zeggen dat er geen enkele afscherming is zoals bij de open- en gesloten kamer van de fotosynthese apparatuur het geval is. Er wordt een kleiner deel van het blad ingeklemd, waardoor het ook mogelijk is om aan smaller en kleiner blad zoals dat van sier-ananas te meten. Het nadeel van deze methode is dat er geen CO_2 uitwisseling wordt gemeten waardoor fotosynthese alleen benaderd kan worden zonder het effect van de huidmondjesopening (Figuur 15).

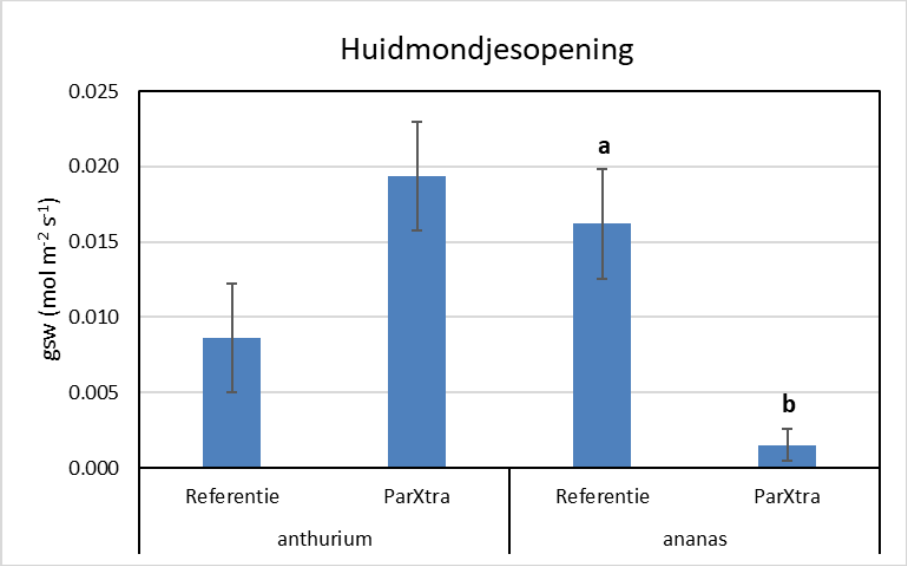
Figuur 15 *Fluorescentiemeter met een sier-ananasblad ingeklemd.*

We zien dat deze fluorescentie aan elkaar gelijk is van anthurium in beide behandelingen (Figuur 16). Het licht wordt dus in de eerste fase van het fotosynthese proces, goed benut. De fluorescentie van sier-ananas is lager in de ParXtra behandeling dan in de referentie behandeling. Ook waren de huidmondjes meer gesloten.



Figuur 16 *Fluorescentie onder heersende omstandigheden.*

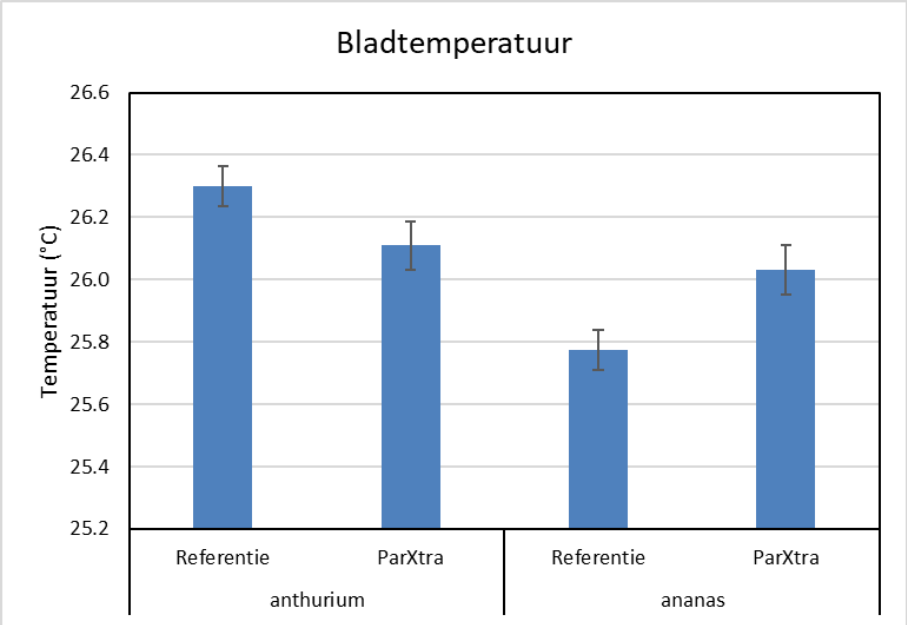
De huidmondjesopening was iets groter bij anthurium in de ParXtra behandeling maar de spreiding is groot waardoor het verschil niet significant is (Figuur 17). Dit ligt in lijn met de fotosynthese metingen.
Bij sier-ananas zien we dat in de ParXtra behandeling de huidmondjes vrijwel helemaal gesloten zijn (p=0.001).



Figuur 17 *Huidmondjesopening gemeten onder heersende omstandigheden.*

3.2.4 Bladtemperatuur

Tegelijkertijd is ook de bladtemperatuur bepaald (Figuur 18). Daarbij is een iets lagere temperatuur gemeten in de ParXtra behandeling bij anthurium, en een iets hogere bladtemperatuur bij sier-ananas. Deze verschillen zijn niet significant en liggen in lijn met de verschillen in huidmondjesopening.



Figuur 18 *De bladtemperatuur gemeten onder heersende omstandigheden.*

3.3 Discussie

Sier-ananas
Het belangrijkste resultaat van de behandeling met de ParXtra modulator is een verschil in plant vers- en drooggewicht aan het einde van de proef van respectievelijk 11% en 12%. Na correctie met het startgewicht zijn de verschillen in groei respectievelijk 20% en 19%. Dit uitte zich in een 20% toename in planthoogte en een tendens naar een groter bladoppervlakte. Deze behandeling leidt dus tot een grotere plant bij dezelfde teeltduur. De planten waren in beide behandelingen van goede kwaliteit. Er is geen verschil waargenomen in de mate van beworteling.

Potanthurium
Ook bij potanthurium werd een groot verschil waargenomen in biomassaproductie tussen de referentie en de ParXtra behandeling. Het vers- en drooggewicht aan het einde van de proef was respectievelijk 26% en 28% hoger in de ParXtra behandeling. Het vers- en drooggewicht na correctie met het startgewicht was respectievelijk 40% en 47% hoger in de behandeling met de ParXtra modulator. De plant was gerekter dan gebruikelijk is, mogelijk door het aanhouden van een hoge plantdichtheid gedurende de proef. Het geprojecteerde bladoppervlakte gemeten vanaf de zijkant is 20% hoger en het aantal bladeren nam toe met 8%. De plantlengte nam toe met 6% terwijl de bloemlengte toenam met 4% in de ParXtra behandeling.

Het aantal bloemen was 26% hoger en de totale bloemoppervlakte was met 40% toename relatief zelfs hoger. De mate van beworteling nam toe met 11% en het aantal scheuten was vergelijkbaar tussen de behandelingen. Naast deze positieve resultaten zijn er geen negatieve effecten waargenomen van de behandeling in vergelijking met de referentie.

Verklarende metingen
Uit de fluorescentiemetingen bij sier-ananas blijkt dat de huidmondjes gesloten zijn rond 14:00 in de ParXtra behandeling, terwijl die in de referentie behandeling open zijn. Dit kan verband houden met het verschil in belichtingsduur dat is toegepast in de behandelingen om de lichtsom gelijk te houden. In de ParXtra behandeling was de daglengte ongeveer 2 uur korter dan in de referentiebehandeling, doordat er later gestart werd met belichten. Hierdoor kan er een faseverschil zijn ontstaan in het verloop van de CAM fotosynthese over het etmaal. In de referentiebehandeling bevonden de planten zich tijdens de meting mogelijk aan het einde van CAM fase 4, waarbij de huidmondjes openen omdat het CO_2 uit het malaat is opgebruikt. In de ParXtra behandeling bevindt de plant zich in fase 3 waar nog CO_2 assimilatie uit malaat fase plaatsvindt. Op basis van de meetdata kan niet geconcludeerd worden wat precies het mechanisme is achter de toegenomen productie. De bladoppervlakte verschilde niet significant tussen de behandelingen maar er was een tendens naar een groter oppervlakte in de ParXtra behandeling. Een mogelijk werkingsmechanisme kan zijn dat de huidmondjesopening ook toeneemt gedurende bepaalde momenten in het etmaal waarbij meer CO_2 opgeslagen kan worden in malaat, waardoor CO_2 assimilatie overdag toeneemt. Een continue meting van fotosynthese over het etmaal of op meerdere tijdstippen gedurende het etmaal is hierbij noodzakelijk om het verloop van het CAM mechanisme, al dan niet beïnvloedt door de ParXtra modulator, in kaart te brengen.

Het verschil in biomassaproductie bij anthurium kan verklaard worden door een groter bladoppervlakte in combinatie met een hogere fotosynthese. De hogere fotosynthese kan worden verklaard door een toename in de huidmondjesopening, hoewel beide parameters gemeten met de open fotosynthesekamer niet significant verschillen van elkaar door de grote variatie tussen de bladeren. De metingen met de gesloten kamer laten wel een significant verschil zien tussen de behandelingen. De fluorescentie waarden laten zien dat de plant hoge stress ervaart bij lichtintensiteiten boven de 200 µmol m^{-2} s^{-1}. Dit is zichtbaar in de lichtresponse curves waarbij de fotosynthese al bij lage lichtintensiteiten afvlakt. De waarden zijn ook fors lager dan bij de metingen met de open kamer waarbij ook het tijdstip op de dag een rol kan spelen. De hoge lichtintensiteiten aan de start van de lichtresponse curves leiden waarschijnlijk tot stress aangezien de metingen onder heersende omstandigheden met de open kamer en de fluorometer hogere waarden laten zien. De conclusie op basis van deze metingen is dat het aannemelijk is dat de grotere huidmondjesopening van de planten in de ParXtra behandeling leidt tot een positief effect op de fotosynthese onder de proefomstandigheden.

Het werkingsmechanisme van de ParXtra modulator
Bij eerdere metingen in de zomer kwam ook naar voren dat de huidmondjesopening groter was in de ParXtra behandeling, maar we concludeerden dat de huidmondjesopening in beide behandelingen geen beperkende factor was. In de winter wordt er een veel kleinere huidmondjesopening waargenomen en is het ook aannemelijk dat dat leidt tot een lagere fotosynthese.
Huidmondjesopening wordt gestuurd door licht in het algemeen, en met name blauw licht speelt een belangrijke rol in de aansturing (Dieleman *et al.* 2020).
Het is bekend dat EM golven planten kunnen beïnvloeden op verschillende manieren, op moleculair, cellulair en plantniveau (Vian *et al.*, 2016). Veel onderzoek focust zich echter op hoge frequenties en er is weinig bekend over de effecten van lagere frequenties zoals het midden- en korte golf gebied. Wel is het duidelijk dat blootstelling aan EM golven kan leiden tot veranderingen in genexpressie. In cyanobacteriën is gevonden dat blootstelling aan EM golven leidt tot verlaging van genexpressie van genen die coderen voor eiwitten die onderdeel uitmaken van het fotosyntheseapparaat (Tang *et al.*, 2018).

Een voorbeeld van het effect van verlaagde genexpressie in het fotosyntheseapparaat op verdamping is onderzocht in het kader van efficiënt watergebruik door planten; planten die meer PsbS (Photosystem II Subunit S, onderdeel van het fotosyntheseapparaat) eiwit produceren, laten een lagere huidmondjesopening zien en andersom (Glowacka *et al.*, 2018). De hypothese is dat de reductiestatus van Quinon A (Q_A), een molecuul dat elektronen opvangt in fotosysteem II, een signaleringswerking heeft op de huidmondjesopening. Als er meer licht op de plant valt, wordt de Q_A pool meer gereduceerd en wordt als gevolg daarvan de huidmondjes verder worden geopend om meer CO_2 binnen te laten om de licht- en donkerreacties op elkaar af te stemmen. Dit sluit aan bij eerdere fotosynthesemetingen in de zomer met de gesloten kamer waarbij een tendens naar een meer gereduceerde Q_A pool waargenomen werd. Dit suggereert dat er mogelijk een effect is van de modulator op het signaleringsmechanisme tussen het fotosysteem II en de huidmondjes. De metingen in deze winterproef konden deze waarneming niet onderbouwen door mogelijk teveel stress als gevolg van de relatief hoge lichtintensiteiten in de licht response curves.

3.4 Conclusies

Zowel in sier-ananas als in anthurium is de biomassa in droge stof toegenomen met respectievelijk 19% en 47% in de ParXtra behandeling ten opzichte van de referentie. Daarnaast was de toename in planthoogte 20% groter in de ParXtra behandeling. Bij anthurium werd een 20% hogere bladoppervlakte waargenomen vanaf de zijkant. Het aantal bladeren was 15.5 in de referentie behandeling in vergelijking met 16.8 in de ParXtra behandeling. De mate van doorworteling in de kluit was 11% hoger in de ParXtra behandeling met een score van 3.6 in vergelijking met 3.2 in de referentiebehandeling, en het aantal scheuten was vergelijkbaar met een gemiddelde van 2.2 per plant.
Ook werden er verschillen in aantal en grootte van de bloemen gevonden. Het aantal bloemen was 4.7 in de referentiebehandeling ten opzichte van 5.9 in de ParXtra behandeling. Het verschil in bloemoppervlakte was relatief gezien hoger: 132 cm^2 en 183 cm^2 in respectievelijk de referentie- en ParXtra behandeling.
Er is een tendens waargenomen van een grotere huidmondjesopening in de ParXtra behandeling. De fotosynthesesnelheid van bladeren in de ParXtra behandeling was hoger wanneer deze werd gemeten met de gesloten meetkamer, maar de waarden waren lager dan onder de heersende lichtomstandigheden.

Er zijn grote verschillen gevonden in biomassatoename door toepassing van de ParXtra modulator. De plantensoort, de teeltomstandigheden en de wijze waarop de modulator wordt toegepast kan grote gevolgen hebben voor de effectiviteit hiervan. Deze resultaten bieden perspectief voor verdere toepassing en onderzoek van deze technologie. Het is noodzakelijk dat het werkingsmechanisme beter wordt begrepen om gerichter aan de optimalisatie van de inzet van de ParXtra modulator te kunnen werken. Deze technologie kan bijdragen aan verduurzaming van de glastuinbouw en kan het teeltrendement van diverse teelten verhogen. Validatie van deze resultaten in een robuuste experimentele opzet aan verschillende gewassen met goede onderbouwende metingen zijn nuttig om deze praktijkresultaten te bevestigen.

Literatuur

Dieleman, A., Gelder, A. de, Weerheim, K., Kruidhof, M., Verkerke, W., Garcia, N., Kromwijk, A., Elings, A., Visser, P. de, & Janse, J. (2020).
Denkkader licht : Naar een effectief gebruik van LED belichting in de glastuinbouw. https://doi.org/10.18174/526138.

Głowacka, K., Kromdijk, J., Kucera, K., Xie, J., Cavanagh, A. P., Leonelli, L., Leakey, A.D.B., Ort, D.R., Niyogi, K.K., & Long, S. P. (2018).
Photosystem II Subunit S overexpression increases the efficiency of water use in a field-grown crop. Nature Communications 2018 9:1, 9(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/s41467-018-03231-x.

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.

Vian, A., Davies, E., Gendraud, M., Bonnet, P. (2016).
Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields. https://doi.org/10.1155/2016/1830262.

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

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

Rapport WPR-1230

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten 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.