

Basiskennis verdamping chrysant

Deelrapport III in project

“Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast”



Augustus 2024

M. Wiekens, S.A.J. van den Boogaart, G. Trouwborst en S.W. Hogewoning

Basiskennis verdamping chrysant

Deelrapport III in project

“Kennisonwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast”

Augustus 2024

M. Wiekens, S.A.J. van den Boogaart, G. Trouwborst en S.W. Hogewoning

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

REFERENTIE

M. Wiekens, S.A.J. van den Boogaart, G. Trouwborst en S.W. Hogewoning. Basiskennis verdamping chrysant. Deelrapport III in project “Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast”. Plant Lighting B.V., Bunnik. 64p.

Financiers:



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Stichting
Kennis in je Kas



Sponsoring:

CLEVERIR

SABER Engineering & Development



© 2024 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is medegefinancierd door Stichting Kennis in je Kas. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Plant Lighting B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoudsopgave

1	INTRODUCTIE	7
1.1	Projectstructuur en indeling deelrapporten	7
1.2	Aanleiding voor het hoofdproject	7
1.3	Samenwerking drie kennisinstellingen.....	8
1.4	Algemene kennisvragen	8
1.5	Introductie chrysant.....	9
1.6	Doelen per proefronde	10
1.7	Begrippen rondom verdamping	11
2	ALGEMENE MATERIAAL EN METHODEN	12
2.1	Teeltcondities.....	12
2.2	Meetmethode verdamping	14
2.3	Metingen	15
2.4	Data-analyse	16
3	PROEFRONDE 1.....	17
3.1	Materiaal en methoden	17
3.2	Resultaten.....	20
3.3	Conclusies proefronde 1.....	29
4	PROEFRONDE 2.....	30
4.1	Materiaal en methoden	30
4.2	Resultaten.....	34
4.3	Conclusies proefronde 2.....	42
5	METEN AAN VERDAMPING	43
5.1	Berekende verdamping op basis van bovenste gewaslaag.....	44
5.2	Berekende verdamping op basis van meerdere gewaslagen.....	45
5.3	Uitdagingen bij het berekenen van de momentane verdamping.....	48
5.4	Conclusie verdamping op basis van de energiebalans.....	50
6	ALGEMENE CONCLUSIES.....	51
	REFERENTIES.....	52
	BIJLAGE I TESTPROCEDURE HOUDBAARHEIDSPROEVEN	53
	BIJLAGE II SAMENSTELLING VAN HET GIFTWATER	54
	BIJLAGE III GIFT- EN DRAINCIJFERS.....	55
	BIJLAGE IV FOTO'S HOUDBAARHEIDSPROEF	57
	BIJLAGE V NUTRIËNTENSAMENSTELLING	59
	BIJLAGE VI NUTRIËNTENBEHOEFTE	60
	BIJLAGE VII SAMENVATTINGEN DEELRAPPORTEN II, IV & V	62

Samenvatting

In de winters van 2021-2022 en 2022-2023 waren de energieprijzen bijzonder hoog. Daarom werden in de chrysantenteelt verschillende energiebesparende maatregelen getroffen (minder belichten, beperkte inzet van buiswarmte en veel schermen) waardoor er relatief vochtig geteeld is. Hierdoor was er minder drijvende kracht voor verdamping. Tegelijkertijd hebben veel chrysantentelers problemen ervaren met de houdbaarheid.

Om te onderzoeken of de houdbaarheidsproblemen voortkwamen uit een gebrekkige verdamping zijn bij Plant Lighting te Bunnik in twee klimaatcellen twee verdampingsproeven met chrysant uitgevoerd. Hierin is de momentane gewichtsafname (verdamping) van het gewas gemeten met behulp van weeggoten. Ook is gewerkt aan een voor de praktijk werkbare methode om de momentane verdamping te bepalen in een vollegrondsteelt via de energiebalans van het gewas.

In de eerste chrysantenteelt zijn de effecten van hoge en lage relatieve luchtvochtigheid (RV) (95/97% en 79/78% D/N) in combinatie met een hoge en lage gift-EC (3.50 en 1.75 mS/cm) op de verdamping en houdbaarheid onderzocht bij cultivars 'Chic' en 'Pina Colada'. Het was mogelijk de verdamping te halveren bij de hoge RV ten opzichte van de lagere RV. Het gewas ontwikkelde zich sterker bij hoge EC, waardoor de LAI groter was en er meer verdamping plaatsvond dan bij lage EC. Bij de eind oogst bleken de huidmondjes uit alle hoge RV behandelingen een gebrekkige sluitingsreactie te hebben, wat resulteerde in een inconsistente houdbaarheid: alleen Chic geteeld bij hoge RV en hoge EC had een beduidend slechtere houdbaarheid dan in de lage RV behandeling. Takken uit de andere hoge RV behandelingen waren even lang houdbaar, ondanks de disfunctionele huidmondjes.

In de tweede teelt is onderzocht of drie uren per dag een lagere RV (81%) in plaats van een continue hoge RV (94/95% D/N) de huidmondjesreactie, en daarmee de houdbaarheid, kon verbeteren. Daarnaast is de verdamping vanuit het substraat en de invloed van luchtbeweging in het gewas op de verdamping onderzocht. In alle behandelingen werd er een gebrekkige sluiting van de huidmondjes gevonden. Opvallend was dat er 25% meer verdamping plaatsvond in de behandelingen met extra ventilatie en 20% meer in de behandelingen met een fluctuerende RV, maar dat de huidmondjesreactie of houdbaarheid daardoor niet verbeterde. Slecht functioneren van de huidmondjes is dus niet altijd direct te koppelen aan slechte houdbaarheid, maar lijkt de kans daarop wel te verhogen.

Verdamping berekend via de energiebalans van de toplaag van het gewas gaf wel de patronen van verdamping over de dag weer, maar kwam onvoldoende overeen met de werkelijk gemeten verdamping voor een betrouwbare kwantitatieve bepaling. Meerdere bladlagen in de energiebalans betrekken geeft mogelijk verbetering en wordt verder onderzocht.

In vervolgonderzoek wordt onderzocht of de houdbaarheidsproblemen ontstaan door een gebrekkige verdamping of door een suboptimaal klimaat. Ook wordt onderzocht op welk moment in de teelt problemen ontstaan die de houdbaarheid beïnvloeden.

Dankwoord

Dit rapport geeft de resultaten weer van onderzoek naar het controleren en meten van verdamping bij chrysant. Daarbij is ook onderzocht wat het effect is van klimaat en verdamping op het vaasleven na oogst. Het onderzoek is uitgevoerd in de klimaatcellen van Plant Lighting.

Het onderzoek is onderdeel van project “Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast”. Dit project is een gezamenlijke opdracht, om meer kennis te ontwikkelen over het onderwerp ‘verdamping’ onder huidige winterteeltomstandigheden. Binnen dit project zijn ook onderzoeken met komkommer (deelrapport IV, WUR-glastuinbouw) en tomaat (deelrapport V, Delphy IC) uitgevoerd.

Dit project is ondersteund door het programma ‘Kas als Energiebron’, gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland/Stichting Kennis in je Kas (Kijk).

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage in de BCO: Martien Vis (Dümmen Orange) en Stefan Zwerink (Royal Van Zanten) worden bedankt voor het leveren van het plantmateriaal en advies. Marrah Pfister (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. De telers uit de gewascoöperatie chrysant bedanken we voor hun proefbezoeken en bijdragen aan de onderzoeksbesprekingen. Gremon Systems wordt bedankt voor ondersteuning bij de realisatie van een betrouwbaar weegsysteem van het gewas. Projectpartners WUR-glastuinbouw (Nieves Garcia, Caterina Carpineti, Danja Brandsma, Jaco den Bakker) en Delphy IC (Stijn Jochems, Alex Klink, Lisanne Schuddebeurs) worden bedankt voor de prettige samenwerking. Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Marjolijn Valkenhoef, Elke van der Stok, Dennis Medema en Robert Solleveld van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

Augustus 2024,

Sander Hogewoning

1 Introductie

1.1 Projectstructuur en indeling deelrapporten

Het project “Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast” bestaat uit 4 deelprojecten: één inventarisatie en drie experimenten, met ieder een ander gewas. Per deelproject is er een apart deelrapport uitgegeven. Ieder deelrapport begint met deze gezamenlijke inleiding en bevat een samenvatting van de overige deelrapporten (Bijlage VII). In de volgende paragrafen lichten we eerst de aanleiding, structuur en algemene onderzoeksvragen van het volledig project toe (hoofdstuk 1.2 t/m 1.4) waarna vervolgens Deelproject 3 chrysant wordt ingeleid (hoofdstuk 1.5 t/m 1.7). De structuur is hieronder schematisch weergegeven (Figuur 1.1).



Figuur 1.1. Structuur van het project “Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel tot toegepast”.

1.2 Aanleiding voor het hoofdproject

De Nederlandse tuinbouwsector heeft de ambitie om in 2040 klimaatneutraal te zijn en tegelijkertijd economisch rendabel te blijven (Convenant energietransitie glastuinbouw 2022-2030). De afgelopen jaren is er in de praktijk, mede vanwege de hoge energieprijzen, al een stap gezet richting lager energieverbruik zowel in de belichte als in de onbelichte teelt. Naarmate kassen beter geïsoleerd worden, wordt de resterende warmtevraag meer en meer bepaald door de verdamping van het gewas. De besparing op energie voor de vochtbeheersing kan, afhankelijk van gewas en teeltomstandigheden, fors oplopen. Minder noodzaak tot ventileren reduceert bovendien verliezen van CO₂. In de praktijk en in proeven is echter gebleken dat energiezuinig telen problemen kan geven die waarschijnlijk gerelateerd zijn aan onvoldoende gewasverdamping (‘activiteit’). Immers, verdamping is een energiegedreven proces, en minder energietoevoer verlaagt de verdamping met mogelijk negatieve gevolgen. Vochtbeheersing en gewasverdamping zijn hierdoor van groter belang geworden.

1.3 Samenwerking drie kennisinstellingen

De belangen voor de sector zijn groot en de vragen zijn complex. Daarom werken in dit onderzoek de kennisinstellingen Plant Lighting, Delphy Improvement Centre en Wageningen UR- Glastuinbouw op uitnodiging van Kas als Energiebron samen. De kennis voorkomend uit dit project wordt met elkaar en met de sector gedeeld.

In dit project is gezamenlijk een eerste invulling gegeven aan het onderzoek. Een gezamenlijk vervolg loopt ondertussen als een PPS (Publiek-Private Samenwerking) met financiering van de Topsector Agri en Food en Glastuinbouw Nederland / Stichting Kijk, met als titel “Verdamping en vochtbalans van plant en kas in een energiezuinige teelt”.

1.4 Algemene kennisvragen

Het doel van het hoofdproject is het reduceren van de energie-input in de glastuinbouw, met behoud van groei en gewas/productkwaliteit door kennisontwikkeling over de grenzen van de benodigde verdamping en het kunnen sturing en meten daarvan. Hoewel in het verleden al veel onderzoek is gedaan naar verdamping, zijn er nog steeds open vragen. Het is belangrijk om een aantal van deze vragen in te kaderen in de huidige teeltomstandigheden in de winter met gebruik van LED belichting en meerdere schermdoeken.

Kennis en controle over verdamping vraagt onderzoek naar de volgende aspecten:

1. Verdamping meetbaar maken.

Voor controle over verdamping moet een tuinder inzicht hebben in de mate van momentane verdamping van het gewas. Dus een betrouwbare, robuuste en werkbare meetmethode voor in de kas is nodig. Er zijn technieken en modellen voor bepaling van verdamping over een langere termijn, en methoden die vooral geschikt zijn voor onderzoek, maar hoe kun je tot een betrouwbare (momentane) toepassing in de dagelijkse praktijk komen?

2. Bepalen van het minimum.

Hoeveel verdamping is wenselijk? Dat is een complexe vraag met meerdere deelvragen: Is verdamping in de nacht nodig? Moet een gewas de hele dag een minimum hoeveelheid verdampen, of is enige uren verdamping al voldoende? En in hoeverre hangt dat van het teeltstadium af? Is er een ‘time-window’ waarbinnen te weinig verdamping problemen geeft?

- Bij gewassen met een gedetermineerde groei (chrysant, tulp) ligt het voor de hand dat verdamping in een bepaalde periode van de teelt bepalend is voor de kwaliteit.
- Bij een gewas met ongedetermineerde groei (komkommer, tomaat, gerbera) zal verdamping gedurende de hele teelt goed gecontroleerd moet worden. Ook de verdamping van verschillende bladlagen is van belang. Gaat het om verdamping van de toplaag van het gewas, het groeipunt of is de verdamping van bladlagen daaronder belangrijk?

3. Relatie verdamping met kasuitrusting en klimaatinstellingen.
Hoe verdamping te sturen in de kas? Wat is de meest energiezuinige en goedkope methode?
4. Alternatieven in plaats van verhoogde verdamping.
Zijn er alternatieven om verdampings-gerelateerde problemen te compenseren? Mogelijk kan dat met voeding, watergift of EC, in plaats van sturen op een hogere verdamping.

1.5 Introductie chrysant

In de winters van 2021-2022 en 2022-2023 werd er ten gevolge van hoge energieprijzen een lage energie-input gerealiseerd in de glastuinbouw. In de chrysantenteelt werd vaak minder belicht, waarbij SON-T belichting niet tot nauwelijks is gebruikt en vooral met niet al te hoge intensiteiten LED is belicht. Ook is er meer geïsoleerd door veel te schermen en is er zo min mogelijk buiswarmte ingezet. Veel telers hebben houdbaarheidsproblemen ervaren, waarbij de bloemen in de doos soms al bedorven of waarvan de houdbaarheid op de vaas slechts enkele dagen betrof, waar normaliter twee weken een gangbare houdbaarheid is. Voor een toekomstbestendige glastuinbouw is energiezuinig telen essentieel, waarbij kwaliteitsbehoud een randvoorwaarde is. Het achterhalen van de oorzaak van de kwaliteitsproblemen is daarom noodzakelijk om energiezuinig telen gangbaar te maken.

Door de lagere energie-input is er in de praktijk vochtiger geteeld. De energiebesparende maatregelen (waaronder minder belichten, beperkt buiswarmte inzetten en veel schermen) hadden als neveneffect dat er minder vocht werd afgevoerd. Door de hogere luchtvochtigheid was er minder drijvende kracht voor verdamping (de VPD was kleiner, het dampdrukdeficit tussen blad en lucht). Tevens was er door de verminderde mate van belichting nog minder stralingsenergie voor verdamping. Verdamping is een energiegedreven proces en is essentieel voor planten. Het zorgt voor koeling van het gewas (en de kas) en faciliteert het transport van minder mobiele nutriënten zoals calcium en verschillende hormonen (De Boer & Volkov, 2003; Ferguson & Bollard, 1976). Calcium is een belangrijk onderdeel van de celwand (White & Broadley, 2003). De beperkte houdbaarheid is mogelijk opgetreden doordat er zo weinig verdampt is dat er een gebrek van calcium is ontstaan. Daarnaast is het mogelijk dat de huidmondjes zich hebben aangepast aan de hoge luchtvochtigheid in de kas en daardoor na de oogst niet meer goed sluiten (disfunctionele huidmondjes; Fanourakis et al., 2020). Een derde mogelijke oorzaak voor de kwaliteitsproblemen is dat er relatief grote houtvaten (xyleem) ontstaan in een langdurig gelijk klimaat. Bij het afsnijden kan door aanzuiging van lucht een embolie ontstaan waardoor de capillaire werking vermindert. Dit effect is minder sterk wanneer er meer kleinere houtvaten aanwezig zijn (Nijssen et al., 2001).

Omdat verdamping een belangrijke rol speelt in de ontwikkeling van een gewas is het van belang om dit op een betrouwbare en reproduceerbare manier (1) te kunnen sturen, (2) te kunnen meten en (3) de effecten ervan op houdbaarheid te achterhalen. In teelten op goten kan verdamping worden gemeten door het systeem op weegschalen te plaatsen. Wegens

praktische beperkingen kunnen weegtechnieken echter niet eenvoudig in de praktijk worden ingepast in vollegrondteelten zoals bij chrysant. Daarom is er een alternatieve meetmethode nodig om de momentane verdamping vast te stellen. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat het patroon van de verdamping van de bovenste gewaslaag per 5-minuten te bepalen is op basis van de energiebalans van het gewas (Voogt & van Weel, 2008; Trouwborst et al., 2019). Deze methode wordt dan ook getoetst en verder verfijnd in dit onderzoek.

Om te onderzoeken of de kwaliteitsproblemen voortkwamen uit een gebrekkige verdamping is een experiment opgezet waarin in twee teelten van chrysant de effecten van de luchtvochtigheid, luchtbeweging en EC van het voedingswater op de verdamping en houdbaarheid zijn onderzocht. Het nevendoeel van dit onderzoek is om de meetmethode van verdamping op basis van de energiebalans verder te ontwikkelen.

1.6 Doelen per proefronde

Het hoofddoel van dit onderzoek was om in twee proefrondes te onderzoeken welke factoren hebben geleid tot de slechte houdbaarheid van chrysant in de praktijk. Dit is van belang om in de toekomst met een lagere energie-input te kunnen telen zonder kwaliteitsproblemen. Per proefronde zijn er verschillende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Proefronde 1:
 - Wat zijn de effecten van continu een lage of een hoge luchtvochtigheid (79/78 of 95/97 % D/N) op de verdamping, gewasontwikkeling en houdbaarheid?
 - Heeft de EC (1.75 en 3.50 mS/cm) van het voedingswater invloed op de verdamping of houdbaarheid? Kan EC wellicht een stuurmiddel zijn om bij een verdampingsbeperkende hoge luchtvochtigheid kwaliteit te beïnvloeden?
- Proefronde 2:
 - Wat is het effect van 3 uur per dag verlagen van de relatieve luchtvochtigheid van 94% naar 81% op de verdamping, gewasontwikkeling en houdbaarheid?
 - Welk effect heeft het verhogen van luchtbeweging onderin het gewas op de verdamping, gewasontwikkeling en houdbaarheid?
 - Wat is het aandeel verdamping vanuit het substraat?
- In beide proefrondes wordt getracht de meetmethode van verdamping aan de hand van de energiebalans van het gewas verder te ontwikkelen.

1.7 Begrippen rondom verdamping

Verdamping is een proces dat onherroepelijk gepaard gaat met energie-overdracht: de omzetting van water van de vloeibare naar de gasvormige fase kost bij kamertemperatuur 2450J per gram (of ml) verdampt water. Om te kunnen verdampen is dus energie nodig. De energiebronnen voor verdamping zijn straling en convectie (wanneer de planttemperatuur lager is dan luchttemperatuur). Daarom worden binnen het begrippenkader van Het Nieuwe Telen de begrippen stralingsverdamping en convectieverdamping gehanteerd. In dit rapport worden deze begrippen ook gebruikt en waar mogelijk gekwantificeerd. Duidelijk moet zijn dat nachtelijke verdamping alleen uit convectieverdamping bestaat (en juist geremd wordt door uitstraling), terwijl overdag stralingsverdamping en convectieverdamping beide een rol spelen en niet zomaar te scheiden zijn.

De verdamping vertoont bij een gegeven windsnelheid en huidmondjesopening een lineaire relatie met de VPD (dampdrukdeficit tussen kaslucht en plant). Bij stralingsverdamping is er een lineaire relatie met de netto door het blad geabsorbeerde straling. Zowel convectie- als stralingsenergie beïnvloeden de planttemperatuur, en daarmee de VPD en daarmee de verdamping. Om een onderscheid te kunnen maken tussen het aandeel convectie- en stralingsverdamping moeten die energiestromen beide worden gemeten.

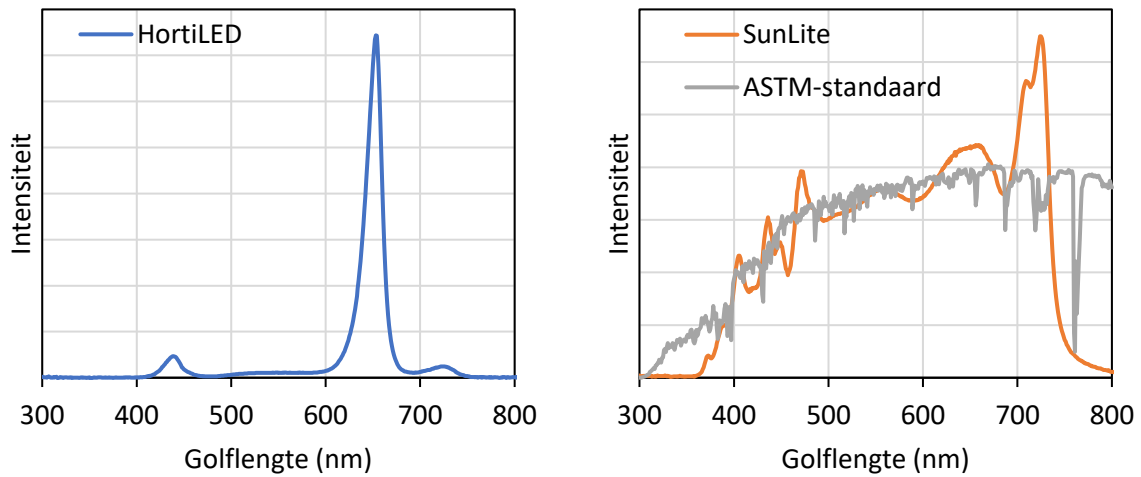
2 Algemene materiaal en methoden

2.1 Teeltcondities

Het onderzoek werd uitgevoerd bij Plant Lighting te Bunnik. In twee klimaatcellen van elk 23 m² (3.33 x 6.90 m) zijn twee chrysantenteelten uitgevoerd (10 oktober 2023 – 18 december 2023 en 21 december 2023 – 5 maart 2024). Het klimaat in de klimaatcellen kon onafhankelijk van elkaar worden ingesteld. Daarnaast zijn de cellen uitgerust met stuur- en dimbare rode (piek 660 nm), witte (6500K), blauwe (piek 450 nm) en verrode (piek 735 nm) LED's (HortiLED 4-channel; Figuur 2.1). Verder beschikken de cellen over een daglichtsimulator (SLHolland Sunlite). Dit is een lichtbron welke het daglicht zeer goed nabootst in het golflengtegebied 360-760 nm en met apart aanstuurbare kanalen voor het UV-A, PAR en verrode golflengtegebied (SunLite, Specialty Lighting Holland; Figuur 2.1). Er is belicht met 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR LED-belichting bestaande uit een RGBVr verhouding van 89/5/6/5% op basis van PAR. Daar bovenop werd 5 uur per dag, tussen 11:00 en 16:00, 70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR winterdaglicht gegeven. Dit is representatief voor de winterperiode in een kas waarbij relatief veel geschermd wordt. De eerste 7 dagen van de proef is er een lange dag aangehouden (20 h/d belichting), hierna is de korte dag ingezet (12 h/d). De totale lichtsom in de lange dag was 12.1 mol/m²/d en in de korte dag 7.7 mol/m²/d. De belichting schakelde altijd om 17:00 uit. Daarnaast is er aan het begin van de teelt direct aan het einde van de dag, om 17:00, met verrood nabelicht (15 minuten, 3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), hoeveel dagen dit betrof in de proefrondes staat verder gespecificeerd in het desbetreffende hoofdstuk.

Elk van de klimaatcellen was opgedeeld in 4 kraanvakken waarin het gewas in leliebroeikisten (60 x 40 x 18 cm) met substraat (Soft Fruits Green, BVB Substrates) werd geteeld. Voor elk kraanvak kon de watergift onafhankelijk worden afgesteld. De kisten rustten op goten waarmee het drainwater per kraanvak werd opgevangen. Aan de buitenkant van de teeltbedden was een zwarte folie gehangen, welke luchtbeweging en lichtonderschepping aan de zijkant van het gewas beperkte en de teelt meer praktijkconform maakte. Ook is aan de binnenzijde van de meetvakken transparante folie gehangen om de luchtbeweging tussen de teeltvakken zo veel mogelijk te beperken. In een commerciële teelt zijn rijen immers ook omgeven door andere rijen. De gehele constructie rustte op weegschalen (Trutina, Gremon systems) (Figuur 2.2; Figuur 2.3; hoofdstuk 2.2). Met de weegschalen is het mogelijk de momentane gewichtsafname (verdamping) per vijf seconden vast te stellen met een resolutie van twee gram. In het kader van dit onderzoek is de verdamping per minuut vastgelegd voor verdere analyse.

Voor dit onderzoek zijn planten van de cultivars Chic (Royal Van Zanten) en Pina Colada (Dümmen Orange) gebruikt. Chic is een enkelbloemige en Pina Colada een dubbelbloemige chrysant. Chic is ook een ras waarin veel kwaliteitsproblemen werden geobserveerd in de winter van 2022-2023. Er is geplant met een netto plantdichtheid van netto 64 pl/m² (53 pl/m² bruto) (Tabel 3.1).



Figuur 2.1. Spectrale verdeling van de gebruikte LED belichting 89/5/6/5 RGBVr (links), de zonlichtsimulatie (rechts) en het ASTM-standaard zonlichtspectrum (rechts).



Figuur 2.2. Impressie van een van de klimaatcellen met daarin Chic (achterin) en Pina Colada (voorin). Het witte licht is voor de foto aangezet, maar dit is normaal paars tijdens de teelt.



Figuur 2.3. Een impressie van de weegschalen waarmee de verdamping over de tijd kon worden bijgehouden. Elk kraanvak bevatte twee weegschalen (4 sets van 2 (= 8) weegschalen per klimaatcel) waar de gehele teeltconstructie op rust.

2.2 Meetmethode verdamping

In deze rapportage is op twee manieren de verdamping berekend, namelijk op basis van weegschalen (Trutina, Gremon systems) en de energiebalansmethode (zie hoofdstuk 5). De gerapporteerde verdamping in hoofdstuk 3 en 4 is gebaseerd op de metingen van de weegschalen. De verdamping bepalen op basis van weegschalen geeft de meest zuivere resultaten, mits aan de juiste randvoorwaarden wordt voldaan. Met de in de proef gebruikte weegschalen is het mogelijk om wijzigingen in gewicht per vijf seconden vast te stellen met een resolutie van twee gram, tot een maximaal gewicht van 400 kg (200 kg per weegschaal). De weegschalen zijn getest met kalibratiegewichten.

Een van de randvoorwaarden om zuiver te meten is dat het systeem volledig 'los' moet staan, zodat al het gewicht ten alle tijden op de weegschalen rust. Dagen met watergift (en drain), wat eens in de ± 5 dagen plaatsvond, zijn om die reden niet meegenomen in de verdampingscijfers. Dit omdat op die dagen de druppelleiding aangesloten moest worden, welke de gewichtsmeting verstoort. Daarnaast is er op het moment van watergift ook een grote toename van gewicht op het systeem, wat op etmaalbasis zou resulteren in een schijnbare negatieve verdamping. De drain werd in lekbakken onder het systeem opgevangen, welke niet op de weegschalen rustten. De drain wordt hierdoor als

gewichtsafname gezien. Gezien er geen onderscheid gemaakt kan worden tussen de gewichtsafname door drain of verdamping zijn op de momenten met drain de weeggegevens nutteloos.

Gewasgroei geeft maar een zeer beperkte bijdrage aan de gewichtsverandering per m² per dag, want enkel de koolstof welke de plant vastlegt uit de lucht kan worden gezien als gewichtstoename. De rest van de elementen en het water, voor suikers en versgewicht, zitten al in het substraat dat wordt gewogen. Voor de gewichtsmeting maakt het dus niet uit of het gewicht ervan in het substraat zit of in het gewas. Gezien het feit dat het bij drooggewichtstoename slechts om enkele g/m²/d gaat, in dit experiment gemiddeld 6.5 g/m²/d ten opzichte van minimaal 600 g/m²/d verdamping, wordt hiervoor niet gecorrigeerd.

2.3 Metingen

- Er zijn regelmatig foto's genomen om de gewasontwikkeling vast te leggen.
- Verdamping is de hele teelt per behandeling geregistreerd en gemonitord met behulp van weeggoten.
- Luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid zijn gedurende de hele teelt gemonitord.
- Bij rijpheid werd een behandeling in één keer geoogst. Hierbij is van 110 bloemtakken per behandeling gemeten:
 - Moment van oogst (reactietijd).
 - Taklengte.
 - Tak versgewicht.
 - Tak versgewicht op veilinglengte (70 cm), waarvan 15 cm ontbladerd.
 - Aantal open bloemen.
 - Huidmondjessluiting na bladpluk per behandeling. Hiertoe is voor een periode van 5 uur de gewichtsafname na plukken geregistreerd van een 20-tal bladeren uit zowel de kop als halverwege het gewas.
 - De houdbaarheid is getoetst door Royal FloraHolland op 40 takken (8 bossen) per behandeling. Het protocol hiervan is te vinden op de website van de Vereniging van Bloemenveilingen in Nederland (VBN). Het vaasleven is met dezelfde methode als voor Intergreen/Superflora getoetst. De testprocedure is te vinden in bijlage I.
 - Van twee representatieve takken per behandeling zijn foto's genomen.
 - Het bladoppervlak (LAI) is gemeten aan 15 takken per behandeling.
 - Tak drooggewicht is gemeten aan 15 takken per behandeling (zelfde sample als voor LAI).
 - In de eerste proefronde is van alle bladeren van 5 takken per behandeling een monster opgestuurd voor een nutriëntenanalyse bij Groen Agro Control. Ook zijn er monsters van het substraat opgestuurd.

- In de eerste proefronde zijn ook metingen verricht aan de fotosynthese met een LI-6800 (LICOR). Er is bij een CO₂-concentratie van 800 ppm en een lichtintensiteit van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR gemeten aan 7-9 bladeren per behandeling.

2.4 Data-analyse

Voor de gerapporteerde gegevens zijn de meetgegevens van de randplanten buiten beschouwing gelaten. Hierdoor zijn de gegevens in dit rapport een betere weerspiegeling van een praktijkteelt.

3 Proefronde 1

3.1 Materiaal en methoden

In de eerste proefronde werd onderzocht of door de verdamping zo veel mogelijk te onderdrukken een ondergrens voor benodigde verdamping voor een goede houdbaarheid kon worden overschreden, waarmee de kwaliteitsproblemen van de winters van 2021-2022 en 2022-2023 konden worden nagebootst. Hiertoe is tussen de klimaatcellen een verschil in relatieve luchtvochtigheid (RV) aangelegd. In beide RV-behandelingen zijn ook twee gift-EC's aangehouden om te toetsen of EC wellicht een stuurmiddel kan zijn om bij een verdampingsbeperkende hoge luchtvochtigheid de kwaliteit te beïnvloeden. De teelt vond plaats tussen 10 oktober en 18 december 2023.

3.1.1 Teeltcondities

In beide cellen werd een etmaaltemperatuur van 19.1 °C aangehouden, met dag/nachttemperaturen van 20.0 en 18.1 °C. Hierdoor was in de periode met lange daglengte de etmaaltemperatuur hoger op 19.7 °C. In de belichte periode werd tot 800 ppm CO₂ gedoseerd (Tabel 3.1). In hoofdstuk 3.1.2 wordt verder ingegaan op de proeffactoren, welke bestonden uit relatieve luchtvochtigheid en gift-EC. In de vierde proefweek is extra folie rondom het gewas aangebracht, om de luchtbeweging in het gewas verder te reduceren (Tabel 3.2). De eerste 8 dagen van de teelt is na de fotoperiode een kwartier nabelicht met verrood licht (3 µmol/m²/s).

Tabel 3.1. Setpoints van de proef, plantdichtheid en watergift.

Parameter	Waarde
Plantmateriaal	Chic (Royal Van Zanten); Pina Colada (Dümmen Orange)
Temperatuur	19.1 °C etmaal, 20.0/18.1 °C D/N
Luchtvochtigheid	79/78% D/N (Lage RV) en 95/97% D/N (Hoge RV)
Gift-EC	1.75 en 3.50 mS/cm
CO ₂	800 ppm
Plantdichtheid	64 pl/m ² netto
Watergift	Naar behoefte (zie bijlage III)

Tabel 3.2. Tijdlijn van de eerste proefronde

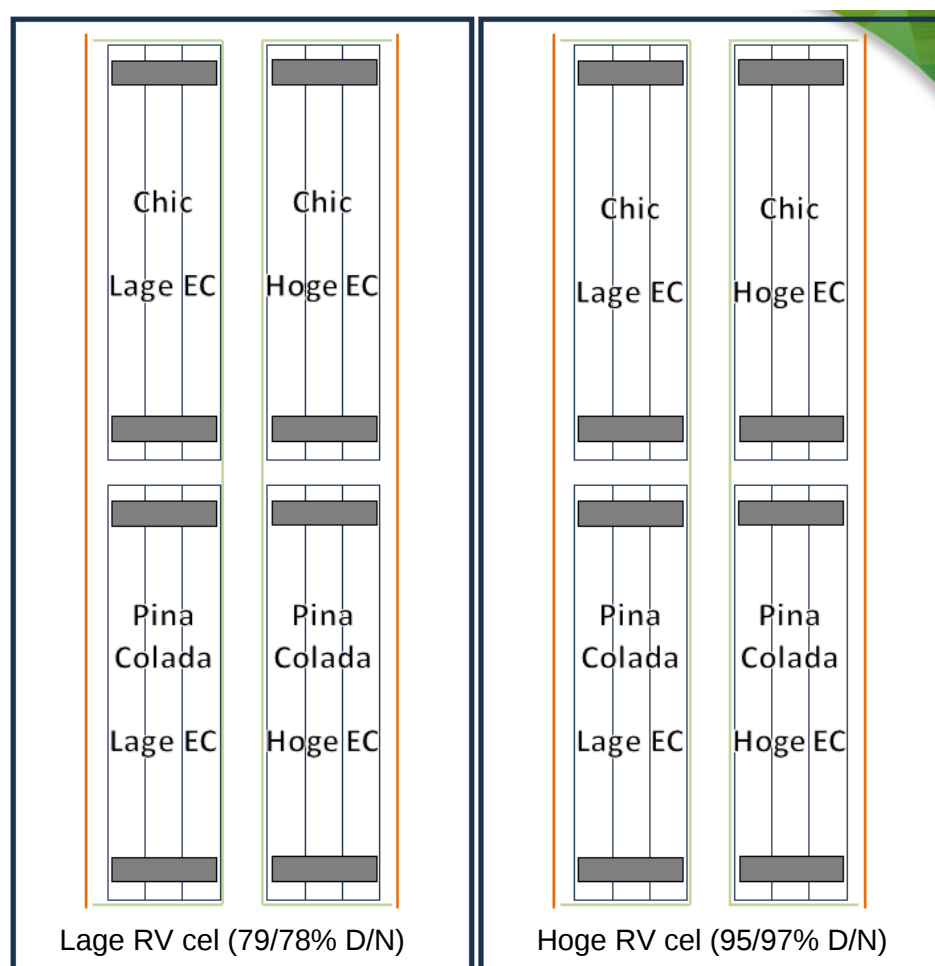
Dagen na start	Gebeurtenis
0	Planten
7	Start korte dag
8	Einde end-of-day verrood
30	Folie opgehangen
44	Hoofdknop weggebroken
62	Eerste oogst
69	Laatste oogst

3.1.2 Behandelingen

Er zijn vier behandelingen getoetst op twee rassen (twee proeffactoren; Figuur 3.1). De behandelingen bestonden uit een hoge of lage RV gecombineerd met een hoge of lage gift-EC (Tabel 3.3). De gemiddelde RV bij hoge RV behandelingen was 96% (95/97% D/N). Bij lage RV was de relatieve luchtvochtigheid 17.5% lager (79/78% D/N). De gift-EC was 1.75 of 3.50 mS/cm. De samenstelling van het voedingswater kan worden gevonden in bijlage II. De frequentie van de watergift was in beide RV behandelingen hetzelfde, maar de hoeveelheid hiervan werd afgestemd op behoefte.

Tabel 3.3. Vier behandelingen in de eerste proefronde. Alle behandelingen werden bij zowel Chic als Pina Colada getoetst.

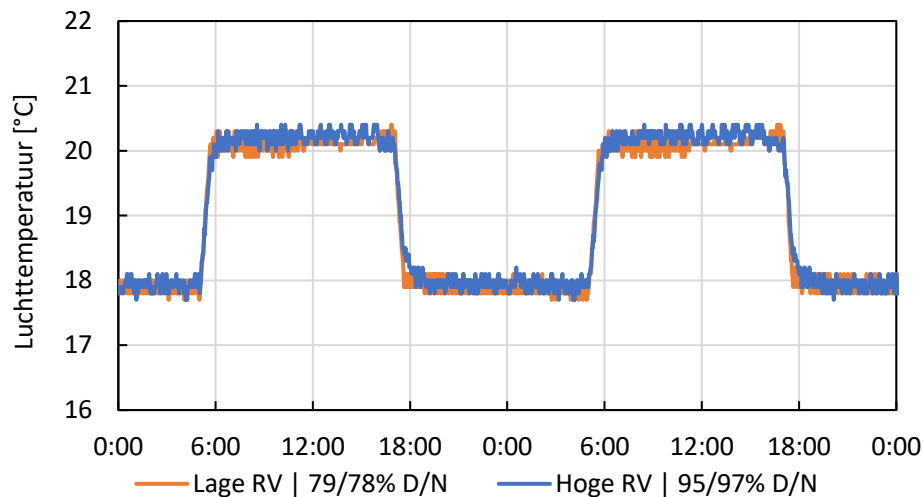
Behandeling	RV [%]	Gift-EC [mS/cm]
Lage RV Lage EC	79/78% D/N	1.75
Lage RV Hoge EC	79/78% D/N	3.50
Hoge RV Lage EC	95/97% D/N	1.75
Hoge RV Hoge EC	95/97% D/N	3.50



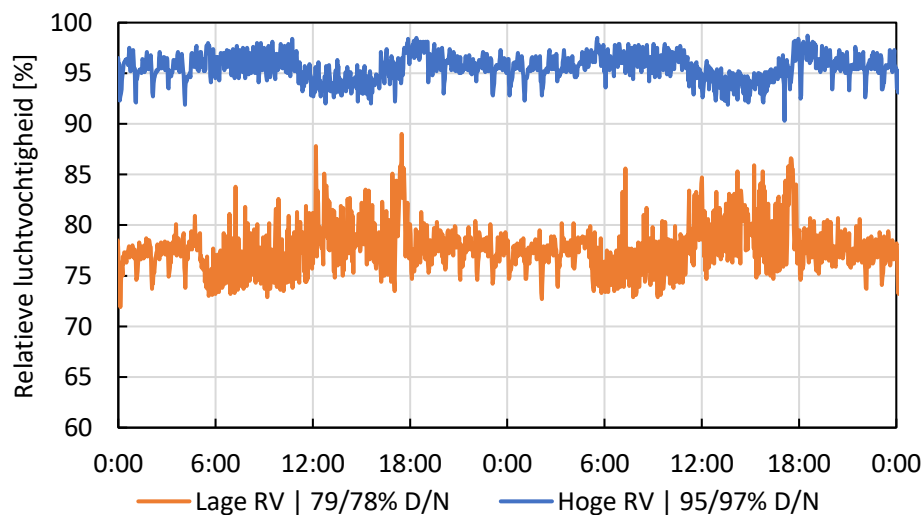
Figuur 3.1. Schematische weergave van de indeling van de eerste proefronde. De donkere (oranje) en transparante (groen) folie is met lijnen afgebeeld. De zwarte kaders geven de wanden van de klimaatcellen weer. Grijs blokken geven de posities van de weegschalen weer.

3.1.3 Gerealiseerd klimaat

Door te telen in klimaatcellen was het mogelijk om ieder etmaal dezelfde teeltcondities te realiseren. De gemiddelde etmaaltemperatuur was 19.1 °C in beide klimaatcellen. De relatieve luchtvochtigheid was 78.5 (78.6/78.4% D/N) en 96.3% (95.4/97.3% D/N) in de lage en hoge RV behandelingen (18% verschil) (Figuur 3.2; Figuur 3.3). Het vochtdeficit (VD) komt bij deze klimaatomstandigheden voor de hoge RV behandeling op 0.81/0.42 g/m³ D/N en voor de lage RV behandeling op 3.76/3.33 g/m³ D/N.



Figuur 3.2. Gerealiseerde temperatuur over twee etmalen voor de hoge RV (blauw) en lage RV (oranje) behandelingen net boven de kop van het gewas.

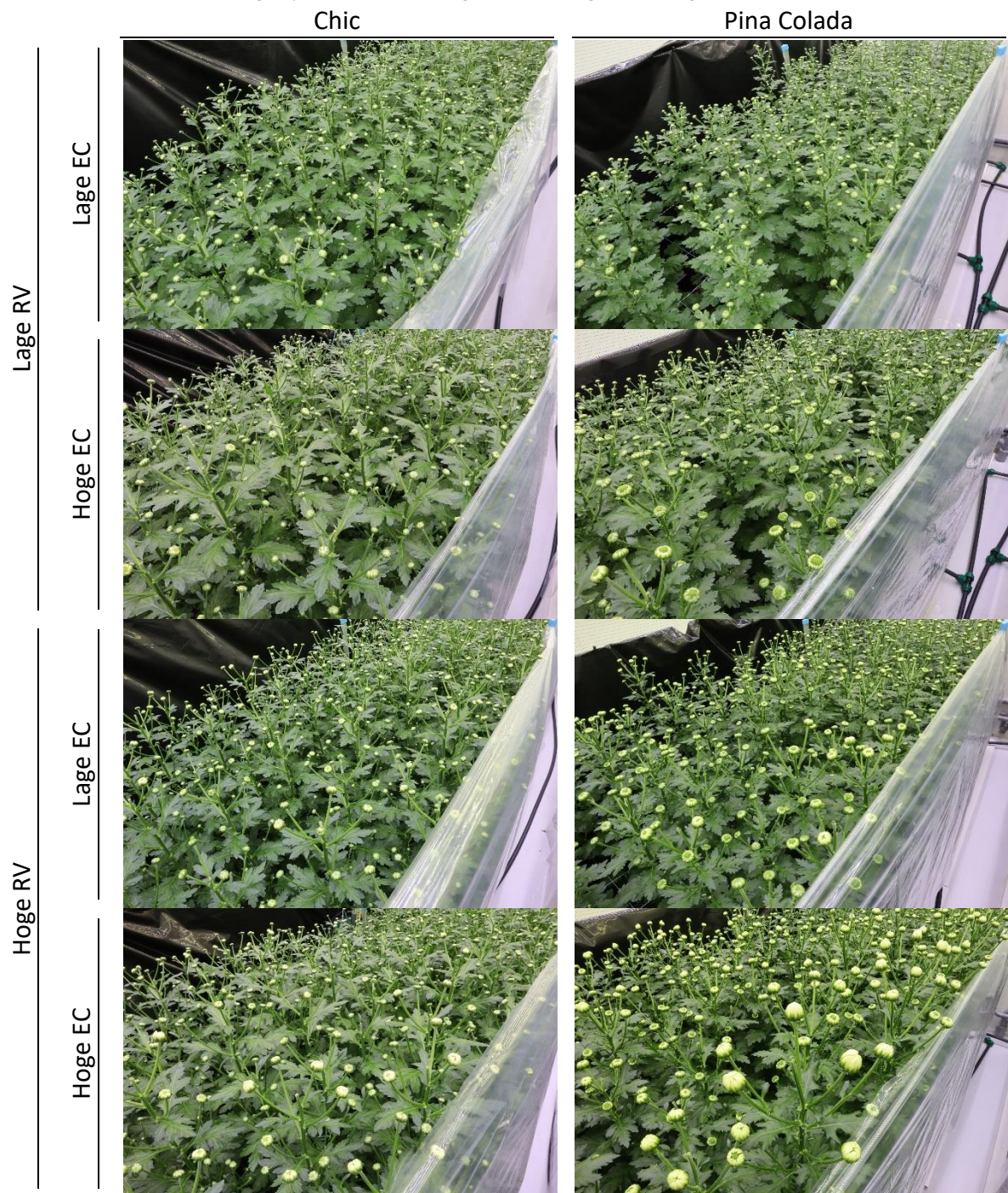


Figuur 3.3. Gerealiseerde RV over twee etmalen voor de hoge RV (blauw) en lage RV (oranje) behandelingen net boven de kop van het gewas.

3.2 Resultaten

3.2.1 Ontwikkeling

Het gewas groeide sneller dicht binnen de hoge EC behandelingen, bij een lage gift-EC bleef het gewas tot aan de eind oogst minder dicht (Figuur 3.4). Dit resulteerde in een hogere LAI bij de hoge gift-EC behandelingen (zie hoofdstuk 3.2.2). Opvallend was dat er veel dood blad onderaan de takken hing bij Chic in de Hoge RV | Hoge EC (Figuur 3.5).



Figuur 3.4. Impressies van het de gewasstand op 50 dagen na start (29 november 2023).



Figuur 3.5. Impressie van bladeren diep in het gewas van het ras Chic uit de behandeling 'Hoge RV | Hoge EC' op het moment van de oogst.

3.2.2 Eindoogst

De teeltduur was 3 tot 5 dagen korter bij lage RV dan bij hoge RV. Mogelijk kon er bij hoge RV nog iets later geoogst worden, omdat het aantal open bloemen ook iets kleiner was (Tabel 3.4).

Voor beide rassen was het takgewicht, de taklengte en de LAI lager binnen de lage EC behandelingen. Ook zag het gewas er op het oog 'schraller' uit (Figuur 3.4; Tabel 3.4). Wel was het drooggewichtpercentage van de takken bij lage EC hoger. De verschillen in lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) op basis van versgewicht zijn hierdoor groter dan wanneer deze op basis van drooggewicht zouden worden uitgedrukt.

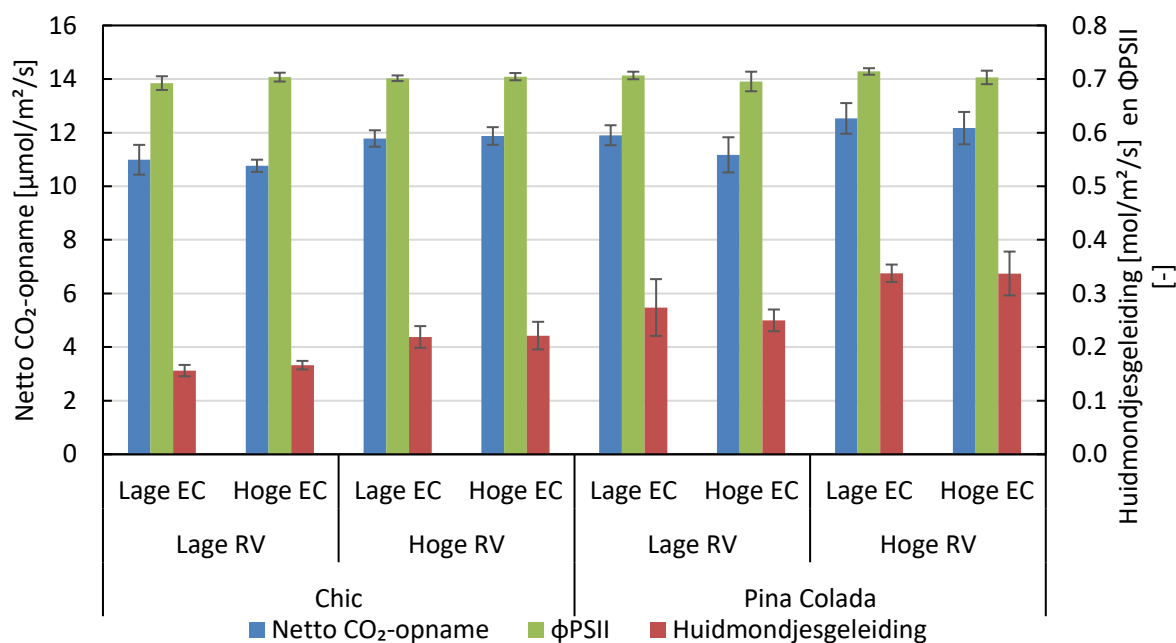
Tabel 3.4. Gegevens van parameters tijdens de eind oogst van beide rassen. De LBE is uitgedrukt in gram versgewicht per mol PAR. N = 109-110.

Parameter	Eenheid	Chic				Pina Colada			
		Lage RV		Hoge RV		Lage RV		Hoge RV	
		Lage EC	Hoge EC	Lage EC	Hoge EC	Lage EC	Hoge EC	Lage EC	Hoge EC
Aantal meettakken	[#]	110	110	110	110	110	109	110	110
Teeltduur	[d]	64	62	69	66	66	66	69	69
Reactietijd	[d]	57	55	62	59	59	59	62	62
Open bloemen	[#]	7.0	7.9	6.9	6.4	6.0	5.2	5.8	4.0
Takgewicht	[g]	56	70	52	75	67	80	64	87
LBE*	[g/mol]	6.8	8.7	5.9	8.8	7.9	9.5	7.2	9.9
Takgewicht (70 cm)	[g]	55	67	52	67	61	69	62	73
LBE (70 cm)*	[g/mol]	6.7	8.3	5.9	7.9	7.3	8.2	7.1	8.3
Taklengte	[cm]	72	77	71	82	74	78	71	82
Drooggewicht tak	[%]	10.8	9.3	11.7	9.4	9.8	8.6	9.8	9.0
Netto LAI	[m ² /m ²]	4.0	5.1	3.5	5.1	3.8	5.0	3.6	4.6

* Op basis van versgewicht

3.2.3 Fotosynthese

De screening van het fotosynthese-eigenschappen van de topbladeren liet geen grote verschillen zien in de netto CO₂-opname of de efficiëntie van fotosysteem II (Φ_{PSII}). Wel was de huidmondjesgeleiding consistent hoger in de behandelingen met hoge RV. Ook was de huidmondjesgeleiding hoger voor Pina Colada dan Chic. De huidmondjesgeleiding was in alle metingen hoger dan 0.15 mol/m²/s, wat inhoudt dat deze geen limiterende factor was voor de netto CO₂-opname bij de gehanteerde lichtintensiteiten in deze proef. De metingen van Φ_{PSII} geven geen indicatie dat er schade was aan het fotosysteem (Figuur 3.6).



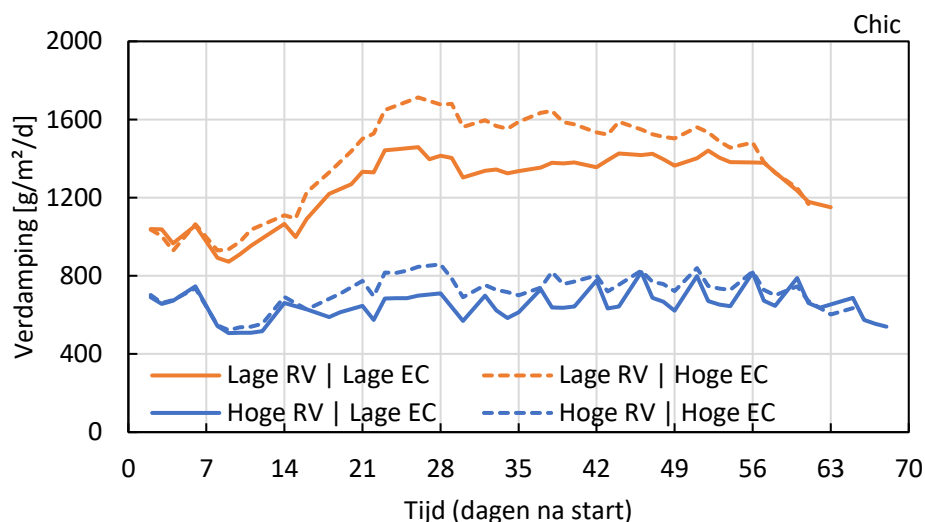
Figuur 3.6. De netto CO₂-opname (blauw), efficiëntie van fotosysteem II (Φ_{PSII} , groen) en huidmondjesgeleiding (oranje) gemeten bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ op proefdag 42. Foutbalken geven de standaarddeviatie weer. N = 7 – 9.

3.2.4 Verdamping

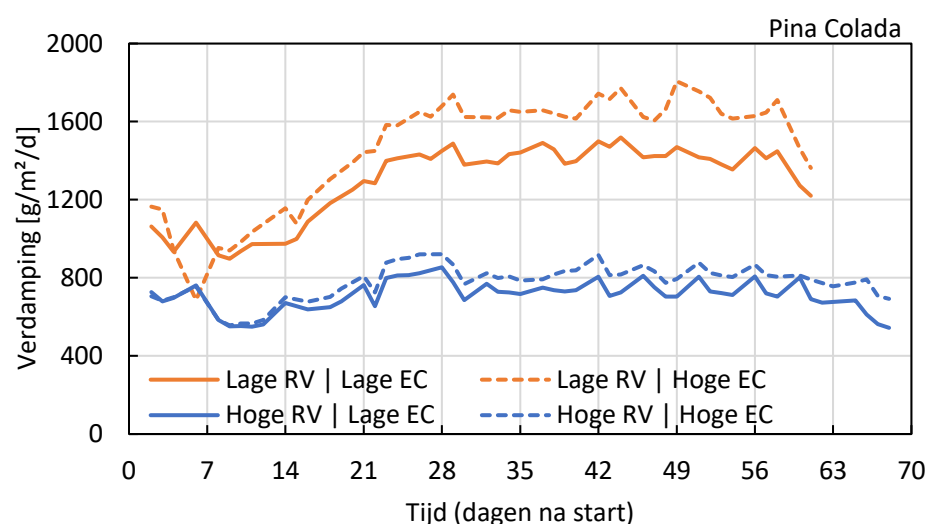
Verdamping op etmaalbasis

Er was bijna tweemaal zoveel verdamping in de hoge RV dan in de lage RV behandelingen. Dit effect was consistent voor beide rassen en beide EC behandelingen. Na de eerste twee proefweken vond er bij hogere gift-EC meer verdamping plaats, dit kwam doordat het bladoppervlak sneller toenam. Bij Chic nam het verschil in de verdamping tussen de EC-behandelingen in de laatste proefdagen weer af (Figuur 3.7; Figuur 3.8). Na de eerste 7 dagen van de teelt was er een afname in de hoeveelheid verdamping te zien. Dit moment viel samen met het omschakelen naar korte dag, waardoor er minder stralingsverdamping was. Daarna was er tot proefdag 25 een toename in verdamping in alle behandelingen.

Het 'zaagtandpatroon' in verdamping (duidelijk te zien in Chic | Hoge RV lijnen) is een vertekend beeld van de verdamping. De verhoogde verdamping is te zien op dagen na watergift, omdat een deel van de drain langzaam uit de teeltkisten loopt en daardoor langere tijd meewoog in de verdamping.



Figuur 3.7. Absolute verdamping per etmaal voor het ras Chic van de behandelingen met lage en hoge RV (oranje en blauw) en lage en hoge EC (doorgetrokken en gestreept).



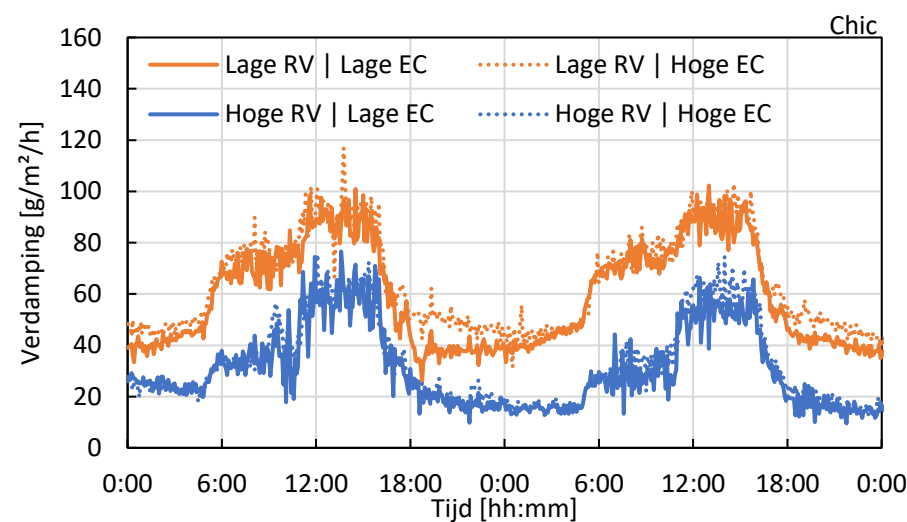
Figuur 3.8. Absolute verdamping per etmaal voor het ras Pina Colada van de behandelingen met lage en hoge RV (oranje en blauw) en lage en hoge EC (doorgetrokken en gestreept).

Patroon van verdamping over het etmaal

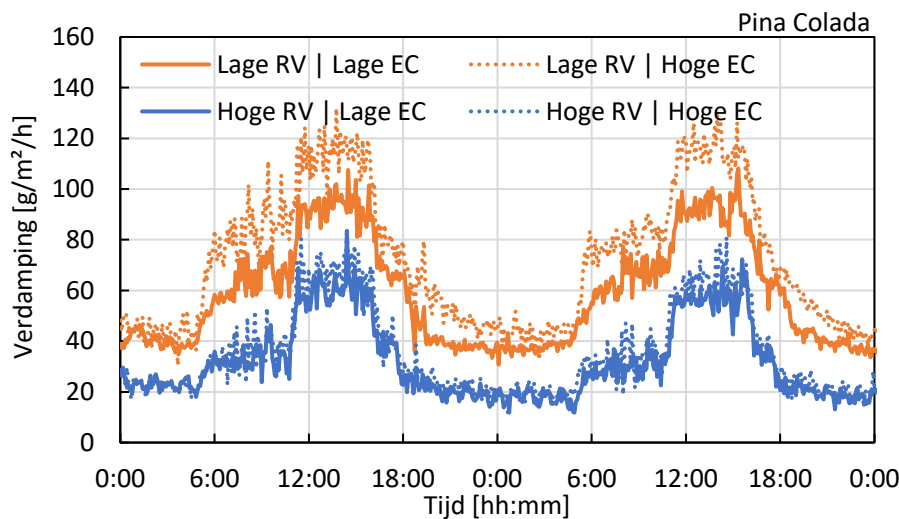
Verdamping vindt plaats over het hele etmaal, maar neemt met de stralingsintensiteit toe. In de hoge RV behandeling nam in de uren met LED-belichting (5:00-17:00 in de korte-dag periode met $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) momentane verdamping met ongeveer $10 \text{ mL}/\text{m}^2/\text{h}$ toe. In de uren met zonlicht (11:00 tot 16:00 uur, $70 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) kwam daar nog 20 tot $30 \text{ mL}/\text{m}^2/\text{h}$ bij. In de nacht was er bij lage RV een verdampingssnelheid van ongeveer $40 \text{ mL}/\text{m}^2/\text{h}$, terwijl dit bij hoge RV gereduceerd werd tot ongeveer $20 \text{ mL}/\text{m}^2/\text{h}$ (Figuur 3.9; Figuur 3.10).

Opvallend was dat de toename in verdamping groter was bij het aanschakelen van de zonlichtlampen dan die bij de LED-belichting (Figuur 3.9; Figuur 3.10). Op basis van de stralingsenergie gegeven het spectrum en de belichtingsintensiteiten zou de toename juist groter moeten zijn bij het inschakelen van de LED-belichting ($28 \text{ W}/\text{m}^2$ voor de LED-belichting en $20 \text{ W}/\text{m}^2$ voor het zonlicht; Tabel 3.5). Een vermoedelijke reden hiervoor is dat de

zonlichtlampen een lagere efficiëntie in μmol uitgestraald PAR-licht per Joule elektragebruik hebben en de klimaatcel daardoor harder moet gaan koelen. Hierdoor wordt ook meer vocht afgevoerd, wat vervolgens door het gewas werd ‘aangevuld’ via verdamping. Ook het feit dat de convectieve verdamping afneemt door een kleiner verschil in lucht-planttemperatuur bij toenemende stralingsintensiteiten kan hieraan bijgedragen hebben (Figuur 5.3).



Figuur 3.9. *Patroon van momentane verdamping over twee etmalen (proefdag 50 en 51) voor het ras Chic van de behandelingen met lage en hoge RV (oranje en blauw) en lage en hoge EC (doorgetrokken en gestreept).*



Figuur 3.10. *Patroon van momentane verdamping over twee etmalen (proefdag 50 en 51) voor het ras Pina Colada van de behandelingen met lage en hoge RV (oranje en blauw) en lage en hoge EC (doorgetrokken en gestreept).*

Tabel 3.5. *Stralingsenergie en de maximaal haalbare verdamping bij 100% omzetting in verdamping van water voor de gebruikte intensiteiten van de LED- en zonlichtsimulatiespectra.*

Parameter	Eenheid	LED-belichting	Zonlichtsimulatie
Intensiteit in PAR (PPFD)	$[\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s PAR}]$	150	70
Intensiteit in PFD	$[\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s PFD}]$	158	88
Energie-inhoud	$[\mu\text{mol PAR}/\text{J PFD}]$	5.05	3.80
Stralingsenergie	$[\text{MJ}/\text{m}^2/\text{h}]$	0.11	0.07
Max. stralingsverdamping	$[\text{mL}/\text{m}^2/\text{h}]$	44	27

3.2.5 Nutriëntensamenstelling

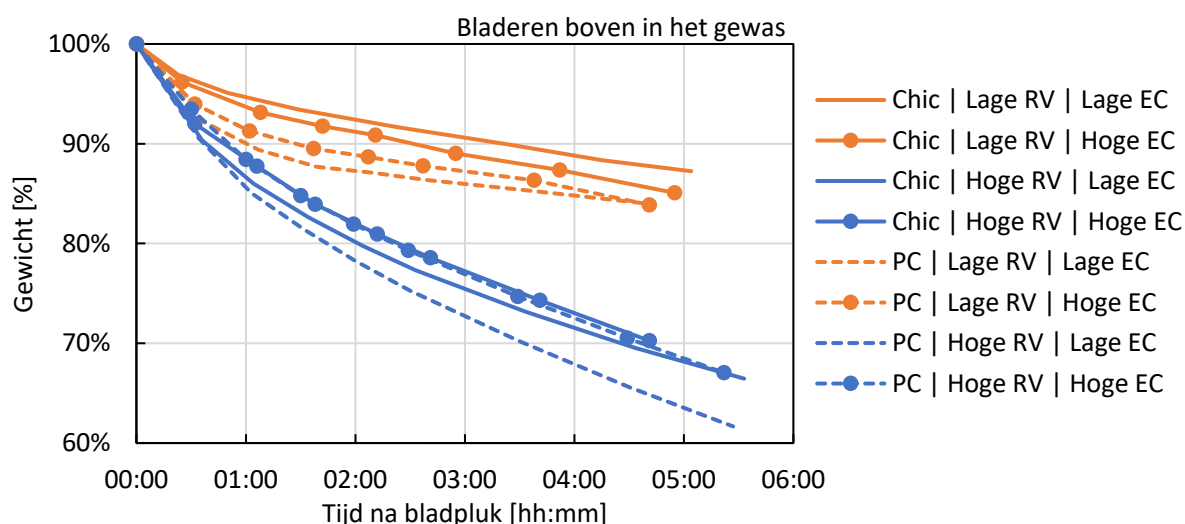
In de bladeren uit de lage EC behandelingen werd op het moment van de eind oogst structureel een lagere hoeveelheid stikstof gevonden. Mogelijk hebben deze planten te weinig stikstof aangeboden gekregen, de drain EC was in de lage EC behandelingen namelijk ook lager. Daarnaast was de verhouding kalium tot calcium in de behandelingen met hoge EC hoger dan bij lage EC (Tabel 3.6). Een volledig overzicht van alle geanalyseerde elementen is te vinden in bijlage V. Daarnaast is er een ruwe berekening uitgevoerd aan de benodigde watergift om te voldoen aan de nutriëntenbehoefte per m², deze staat weergegeven in bijlage VI.

Tabel 3.6. De concentraties totale stikstof en de verhouding tussen kalium en calcium in blad op het moment van de eind oogst. N = 5.

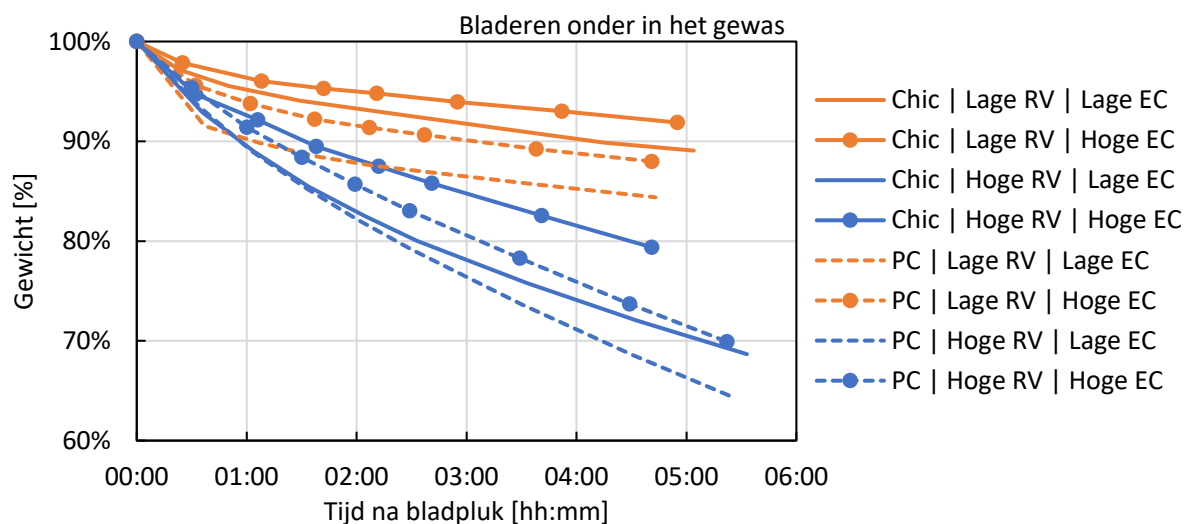
Cultivar	Behandeling	Blad	
		Totale stikstof [mmol/kg DS]	K:Ca verhouding
Chic	Lage RV Lage EC	3247	3.5
	Lage RV Hoge EC	4135	4.6
	Hoge RV Lage EC	2822	2.5
	Hoge RV Hoge EC	3719	3.7
Pina Colada	Lage RV Lage EC	3389	2.8
	Lage RV Hoge EC	4009	4.0
	Hoge RV Lage EC	2926	2.4
	Hoge RV Hoge EC	4038	3.0

3.2.6 Functioneren van de huidmondjes

Bladeren uit de hoge RV behandelingen lieten een grotere afname in gewicht zien na bladpluk dan die uit de lage RV. Dit gaf een indicatie voor het verminderd functioneren van de huidmondjes bij hoge RV (disfunctionele huidmondjes). De verschillen traden zowel op in bladeren onderin het gewas als in bladeren in de top van het gewas (Figuur 3.11; Figuur 3.12). Tussen de twee rassen en de twee verschillende EC-giften is weinig verschil te zien in de sluitingsrespons van de huidmondjes.



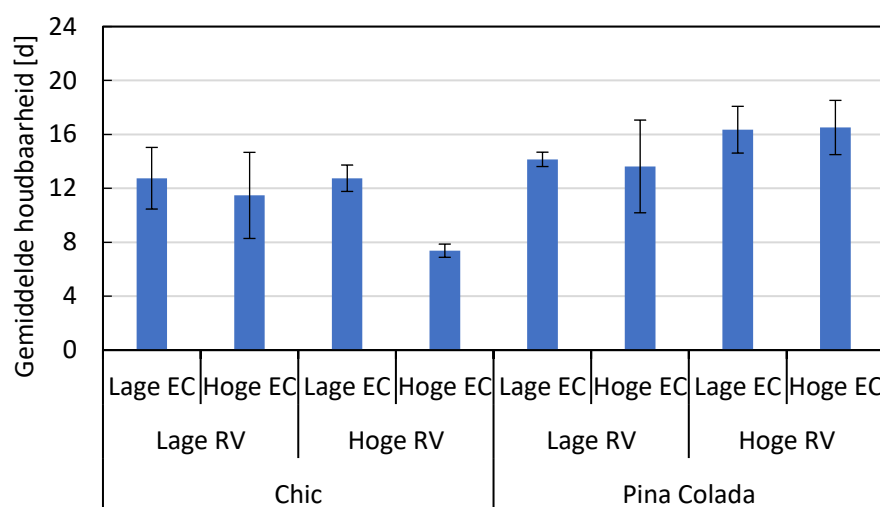
Figuur 3.11. Gewichtsafname over de tijd van geplukte bladeren uit de top van het gewas uit de behandelingen met lage en hoge RV (oranje en blauw), lage en hoge EC (zonder en met bolletjes) voor de rassen Chic en Pina Colada (doorgetrokken en gestreept). Gemeten aan 20 bladeren per behandeling, afkomstig van 10 takken waarvan per tak 2 bladeren zijn geplukt.



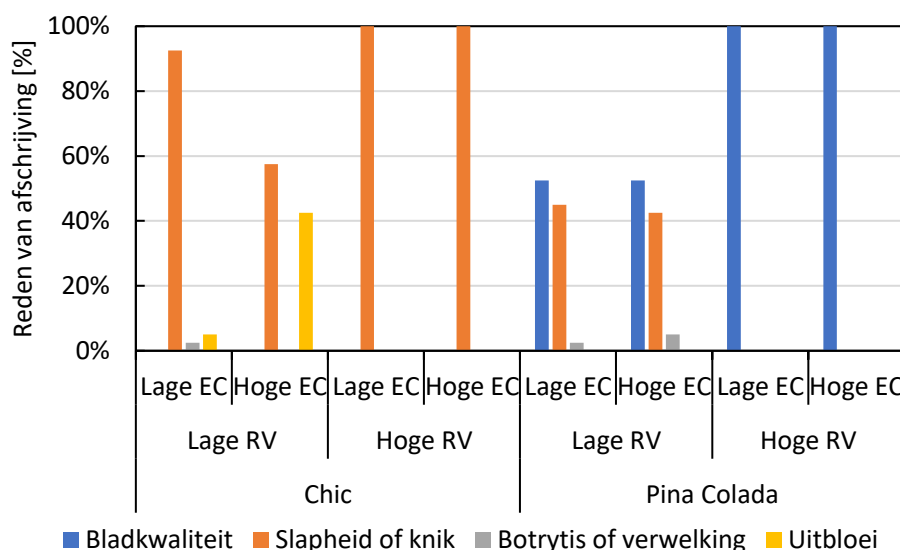
Figuur 3.12. Gewichtsafname over de tijd van geplukte bladeren dieper in het gewas uit de behandelingen met lage en hoge RV (oranje en blauw), lage en hoge EC (zonder en met bolletjes) voor de rassen Chic en Pina Colada (doorgetrokken en gestreept). Gemeten aan 20 bladeren per behandeling, afkomstig van 10 takken waarvan per tak 2 bladeren zijn geplukt.

3.2.7 Houdbaarheid

Van alle houdbaarheidstoetsen werd de houdbaarheid als voldoende bevonden, behalve van bloemtakken uit de 'Hoge RV | Hoge EC' behandeling van Chic (gemiddeld slechts 7 dagen; Figuur 3.13). Chic werd hoofdzakelijk afgeschreven door slapheid van het blad of een knikkende steel. Pina Colada had in alle behandelingen een langere houdbaarheid dan Chic, waarbij er in alle gevallen een voldoende lange houdbaarheid was. De takken uit de hoge RV teeltcondities werden afgeschreven vanwege afnemende bladkwaliteit (geel blad of bruine vlekken). Binnen de lage RV behandelingen was echter vrijwel de helft van de takken afgeschreven om slapheid of knik. Slechts enkele takken werden afgeschreven omwille van botrytis (Figuur 3.14).



Figuur 3.13. De gemiddelde houdbaarheidsduur tijdens de houdbaarheidsproef bij Royal FloraHolland. Foutbalken geven de standaarddeviatie weer. N = 40



Figuur 3.14. De reden van afschrijving in verschillende categorieën tijdens de houdbaarheidsproef bij Royal FloraHolland. N = 40

3.3 Conclusies proefronde 1

In deze eerste proefronde werd onderzocht of door het beperken van de verdamping een ondergrens voor benodigde verdamping voor een goede houdbaarheid kon worden overschreden, waarmee de kwaliteitsproblemen van de winters van 2021-2022 en 2022-2023 konden worden nagebootst. Hiertoe is tussen de klimaatcellen een verschil in relatieve luchtvochtigheid aangelegd. In beide RV-behandelingen zijn ook twee gift-EC's aangehouden om te toetsen of EC wellicht een stuurmiddel kan zijn om bij een verdampingsbeperkende hoge luchtvochtigheid de kwaliteit te beïnvloeden.

Door het hele etmaal een hoge RV (95/97% D/N) aan te houden kon de verdamping worden gehalveerd tegenover een situatie met lagere RV (79/78% D/N). Deze verschillen waren het hele etmaal aanwezig. Hoewel er in de praktijk nooit continu onder zo een hoge RV zoals in dit onderzoek zal worden geteeld, geeft dit wel inzicht in de dynamiek tussen RV en verdamping. Theoretisch kan bij de verdamping onderscheid gemaakt worden tussen een deel stralingsverdamping en een deel convectieverdamping. In deze proef werd er altijd een gelijke hoeveelheid straling aangeboden in de behandelingen. De verschillen in verdamping zijn dus volledig aan de convectieverdamping toe te wijzen. Duidelijk is dat wanneer er problemen ontstaan door gebrekkige verdamping, deze effectief kan worden gestimuleerd door de RV te verlagen. De verhoogde verdamping bij hoge EC tegenover lage EC werd vermoedelijk veroorzaakt door een hogere LAI bij hoge EC. Omdat de planten met een gelijke LAI startten ontstonden de verschillen in verdamping pas na twee weken. De lage EC was vermoedelijk beperkend voor voldoende groei. Dat een hogere LAI voor meer verdamping zorgt, sluit ook aan bij de energiebalansmethode, bij een hogere LAI kan namelijk meer convectieve verdamping plaatsvinden. Het effect van EC op verdamping was groter binnen de lage RV behandelingen, omdat het aandeel convectieve verdamping in de lage RV behandeling groter is.

De constante blootstelling aan een lage of hoge RV heeft ook tot verschillen in huidmondjesreactie geleid. Bij hoge RV werden de huidmondjes disfunctioneel en sloten deze niet meer goed na het plukken van blad. Desalniettemin heeft dit niet tot een consistent slechtere houdbaarheid geleid. Slechts in één van de vier behandelingen, namelijk Chic (Hoge RV | Hoge EC), ontstonden problemen met de houdbaarheid. Hieruit blijkt dat disfunctionele huidmondjes door teelt bij een hoge RV en/of door een lage verdamping wel tot problemen met de houdbaarheid kunnen leiden, maar dat het probleem zich niet noodzakelijkerwijs uit. Wellicht hebben andere factoren, bijvoorbeeld de vaatbundelstructuur, invloed op de kans dat disfunctionele huidmondjes daadwerkelijk tot een slechte houdbaarheid leiden. Een praktische benadering is de stellingname dat functionele huidmondjes een randvoorwaarde zijn om een goede kwaliteit chrysant te kunnen garanderen.

4 Proefronde 2

4.1 Materiaal en methoden

In de tweede proefronde is onderzocht of een dagelijkse korte periode van verlaagde RV bijdraagt aan een verbeterde houdbaarheid na de oogst. Hiertoe werd in beide klimaatcellen een hoge RV aangehouden, waarbij in één van de klimaatcellen drie uur per dag de lage RV uit proefronde 1 werd gehanteerd. In een aantal behandelingen is extra luchtbeweging onder in het gewas gerealiseerd door met ventilatoren lucht te persen door, flexibele, geperforeerde buizen, dit verhoogde de luchtbeweging dieper in het gewas naar 0.05 m/s. Verdamping vanuit het substraat is bepaald door de substraatverdamping uit te sluiten door folie op het substraat te plaatsen. Er is dezelfde belichtingsstrategie aangehouden als in de eerste ronde met 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR LED-belichting tussen 5:00 en 17:00 uur in de korte dag en daar bovenop tussen 11:00 en 16:00 70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR winterdaglicht. De teelt vond plaats tussen 21 december 2023 en 5 maart 2024.

4.1.1 Teeltcondities

De etmaaltemperatuur is met 1 °C verhoogd tot 20 °C (20.9/19.0 °C D/N) ten opzichte van de eerste teelt, om de teeltduur iets te verkorten. In de langedag-periode was de etmaaltemperatuur 20.3 °C. Er is in de tweede ronde in alle behandelingen met een gift-EC van 3.5 mS/cm gegoten, dit gaf namelijk in de eerste proefronde het beste teeltresultaat (Tabel 4.1). Er is vanaf de start van de proef voor een periode van 7 dagen lange dag aangehouden (20 h/d). De eerste 10 dagen van de teelt is na de fotoperiode een kwartier nabelicht met verrood licht (3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

Tabel 4.1. Setpoints van de proef, plantdichtheid en watergift.

Parameter	Waarde		
Plantmateriaal	Chic (Royal Van Zanten); Pina Colada (Dümmen Orange)		
Temperatuur	20.9/19.0 °C D/N (Fluctuerende RV; 20.0 °C etmaal)		
	20.6/18.6 °C D/N (Hoge RV; 19.6 °C etmaal)		
	NB temperatuur verschil tussen behandelingen is ontstaan door een verschil van 0.3°C tussen de luchttemperatuursensoren		
Luchtvochtigheid		Fluctuerende RV	Hoge RV
	05:00-12:00	94.0%	93.8%
	12:00-15:00	80.6%	93.8%
	15:00-17:00	94.0%	93.8%
	17:00-05:00	94.9%	94.5%
CO ₂	800 ppm		
Gift-EC	3.50 mS/cm		
Plantdichtheid	64 pl/m ² netto		
Watergift	Naar behoefte, zie bijlage III		

Tabel 4.2. Tijdlijn van de tweede proefronde.

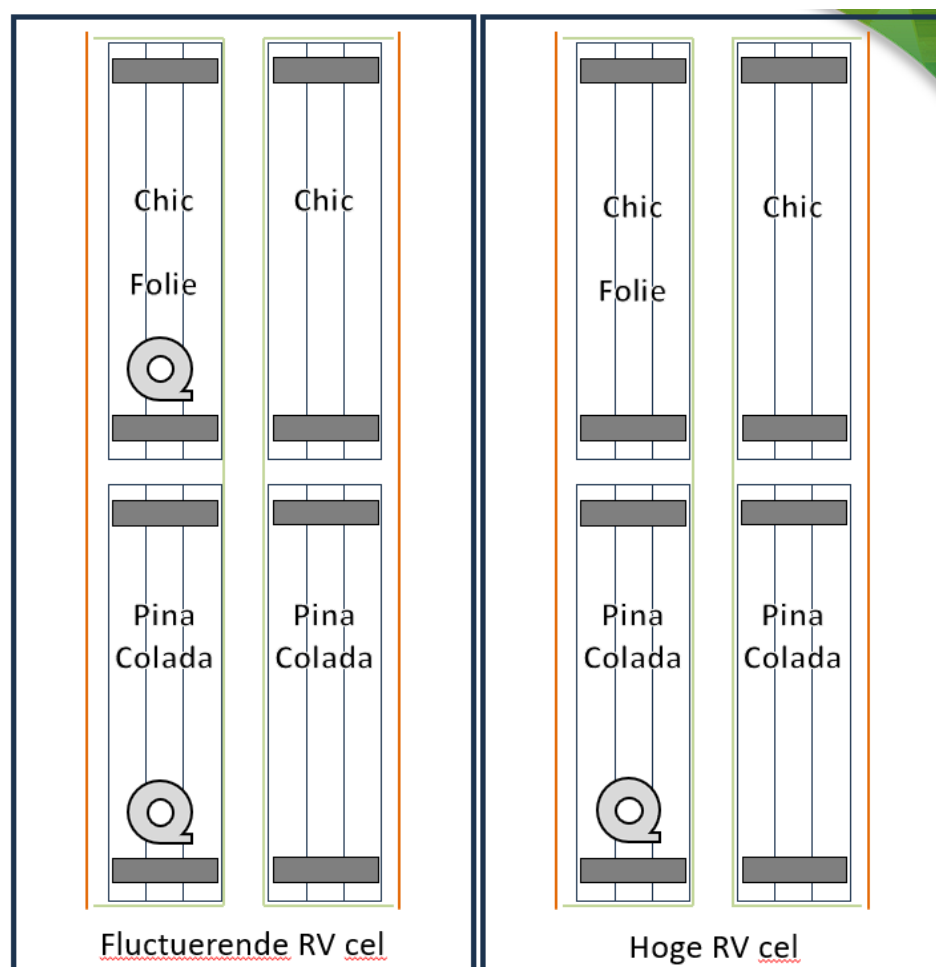
Dagen na start	Gebeurtenis
0	Planten
7	Start korte dag
10	Einde end-of-day verrood
26	Start ventilatie in behandelingen met fluctuerende RV
33	Start ventilatie in behandeling met hoge RV
43	Hoofdknop weggebroken
67	Eerste oogst
75	Laatste oogst

4.1.2 Behandelingen

Alle behandelingen hadden het volledige etmaal een hoge RV zoals in de behandelingen met een hoge RV in de eerste proefronde. In behandelingen met een fluctuerende RV werd tussen 12:00 en 15:00 een relatief vochtpercentage van 80.6% aangehouden. Om het effect van de grondfolie onafhankelijk te kunnen analyseren is ervoor gekozen om in een van de behandelingen geen extra ventilatie in te zetten (Tabel 4.3; Figuur 4.1).

Tabel 4.3. Behandelingen in de tweede proefronde.

Behandeling	Proeffactor(en)
Fluctuerende RV Folie Ventilatie	94% RV D/N, maar van 12:00 - 15:00 80.6% RV + Ventilatie in het gewas en folie op het substraat
Fluctuerende RV Ventilatie	94% RV D/N, maar van 12:00 - 15:00 80.6% RV + Ventilatie in het gewas
Fluctuerende RV	94% RV D/N, maar van 12:00 - 15:00 80.6% RV
Hoge RV Ventilatie	94% RV D/N + Ventilatie in het gewas
Hoge RV Folie	94% RV D/N + Folie op het substraat
Hoge RV	94% RV D/N (Referentie)

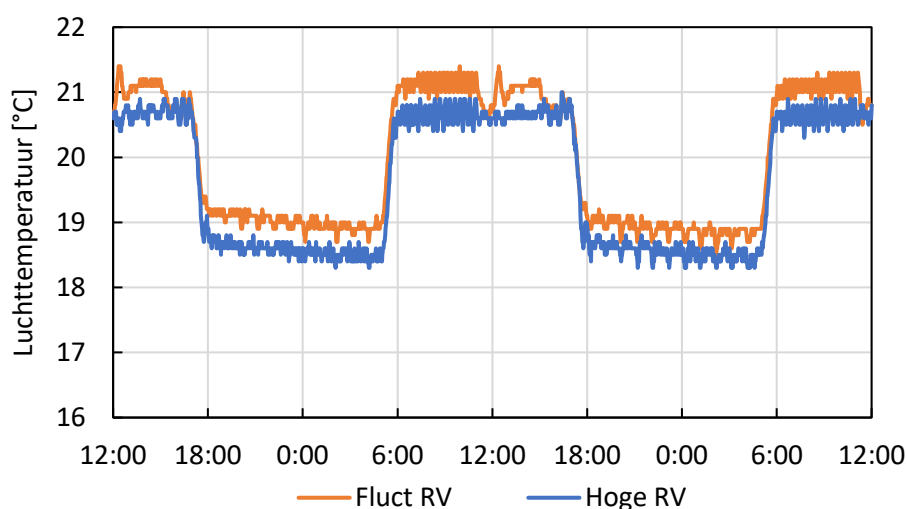


Figuur 4.1. Schematische weergave van de indeling van de proef. De donkere (oranje) en transparante (groen) folie is met lijnen afgebeeld. De zwarte kaders geven de wanden van de klimaatcellen weer. In de vakken met ventilatie zijn pictogrammen van een slakkenhuisventilatoren geplaatst. Grijs blokken geven de posities van de weegschalen weer.

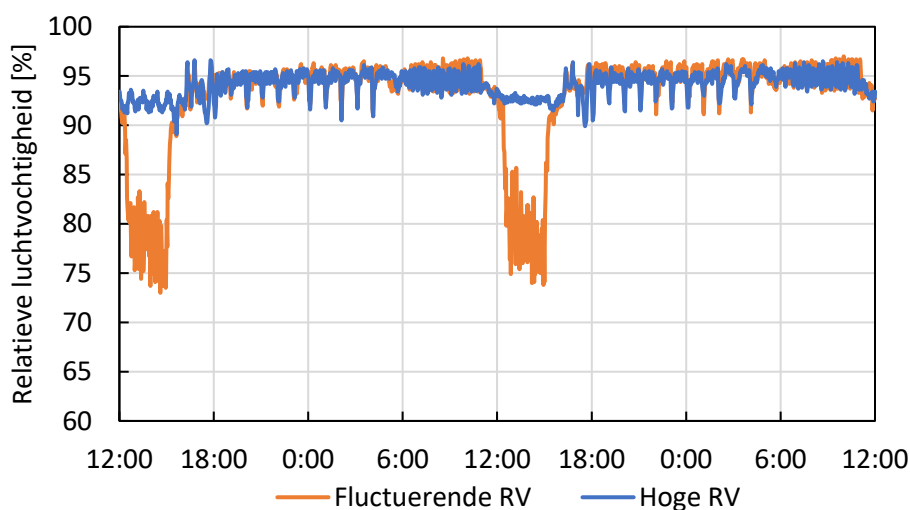
4.1.3 Gerealiseerd klimaat

De gemeten etmaaltemperatuur lag 0.3 °C lager in de klimaatcel met hoge RV dan bij de fluctuerende RV. Dit verschil is ontstaan door een verschil van 0.3 °C tussen de luchttemperatuursensoren. De gemiddelde etmaaltemperaturen en RV's waren 20.0 °C en 92.8% bij fluctuerende RV en 19.7 °C en 94.1% bij hoge RV (Figuur 4.2; Figuur 4.3).

Het vochtdeficit (VD) komt bij deze klimaatomstandigheden voor de hoge RV behandeling op 1.06/0.94 g/m³ D/N en voor de fluctuerende RV behandeling op 1.08/0.95 g/m³ D/N. Dit is exclusief het moment dat de luchtvochtigheid daalde in de fluctuerende RV behandeling, op die momenten was de VD namelijk 3.55 g/m³.



Figuur 4.2. Gerealiseerde luchttemperatuur op dag 16 en 17 na start (6 en 7 januari 2024) voor de hoge (blauw) en fluctuerende (oranje) RV behandelingen.

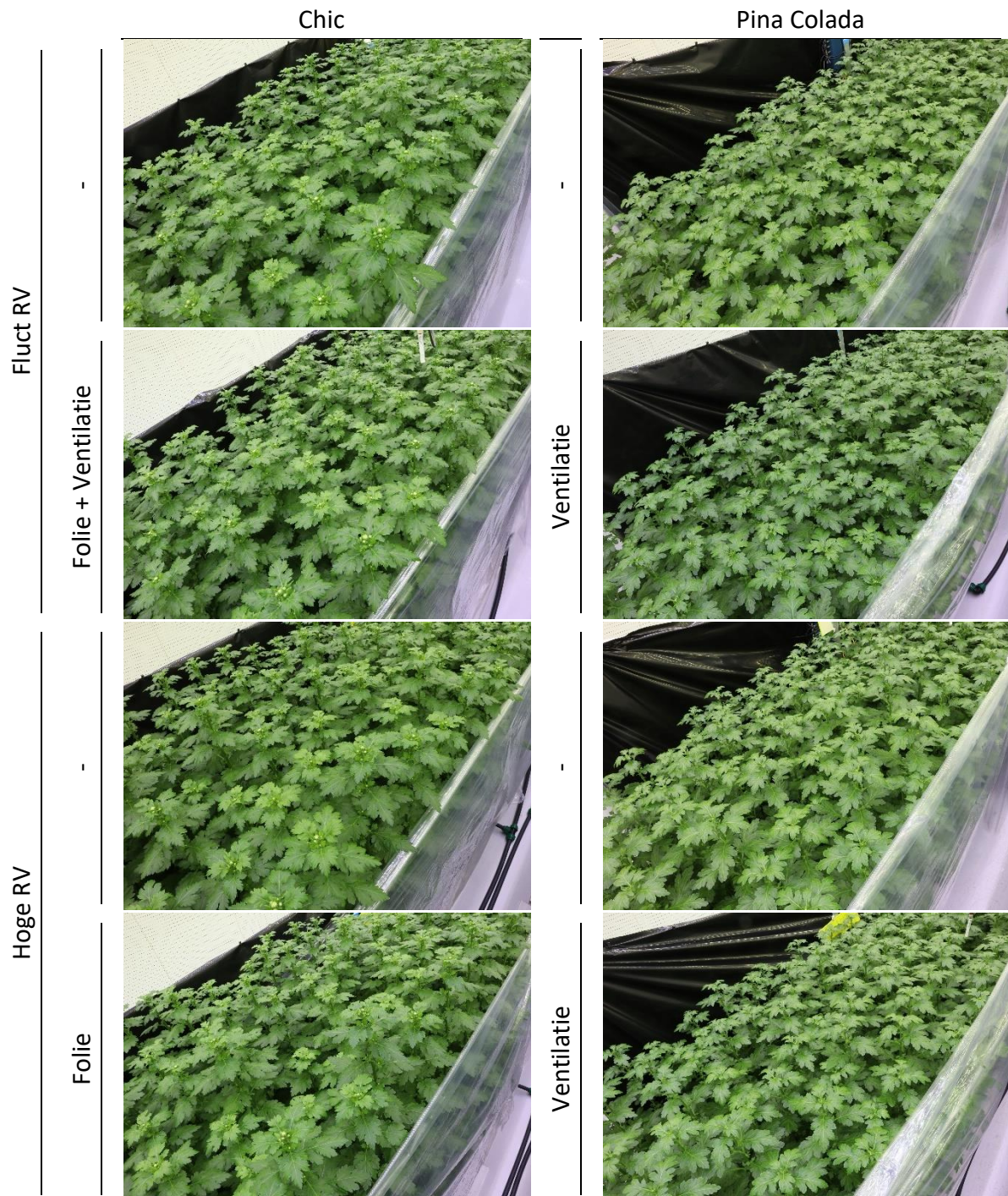


Figuur 4.3. Gerealiseerde relatieve luchtvochtigheid op dag 16 en 17 na start (6 en 7 januari 2024) voor de hoge (blauw) en fluctuerende (oranje) RV behandelingen. Bij fluctuerende RV is een daling in relatieve luchtvochtigheid te zien tussen 12:00-15:00.

4.2 Resultaten

4.2.1 Ontwikkeling

Op het oog was de gewasontwikkeling tijdens de teelt vergelijkbaar tussen de behandelingen (Figuur 4.4). Bij de eind oogst werd er veel dood blad onderin het gewas gevonden bij Chic, net als bij de hoge RV | Hoge EC behandeling in proefronde 1. Ook viel op dat een groot aandeel van de takken holle stengels hadden (Figuur 4.5).



Figuur 4.4. Impressie van de gewasstand in de verschillende teeltvakken op dag 34 na planten.



Figuur 4.5. Tijdens de eind oogst werd bij beide rassen in alle behandelingen een groot aandeel holle stengels geobserveerd. Links Chic, rechts Pina Colada.

4.2.2 Eind oogst

Tussen de RV behandelingen zat één dag verschil in de teeltduur. Pina Colada werd een week later geoogst dan Chic. De reactietijd van Pina Colada was deze proefronde 6 dagen trager dan in proefronde 1, de oorzaak is onbekend. Er waren geen grote verschillen in LAI tussen de verschillende RV behandelingen, in overeenstemming met de eerste proefronde. Pina Colada ontwikkelde langere takken in de hoge RV behandelingen. Er werd bij Pina Colada in de behandelingen met ventilatie zowel een lager (vers)takgewicht als een hoger drooggewichtpercentage (Tabel 4.4) geconstateerd, wat resulteerde in een vergelijkbaar drooggewicht per tak.

Tabel 4.4. Gegevens van parameters tijdens de eind oogst van beide rassen. De LBE is uitgedrukt in gram versgewicht per mol PAR. N = 102 - 110.

Parameter	Eenheid	Chic				Pina Colada			
		Fluctueerde RV		Hoge RV		Fluctueerde RV		Hoge RV	
		-	Folie + Ventilatie	-	Folie	-	Ventilatie	-	Ventilatie
Aantal meettakken	[#]	110	102	110	110	107	109	110	108
Teeltduur	[d]	67	67	68	68	74	74	75	75
Reactietijd	[d]	60	60	61	61	67	67	68	68
Open bloemen	[#]	5.7	6.5	5.1	5.5	4.2	4.6	4.2	4.1
Takgewicht	[g]	78	77	82	82	92	78	96	90
LBE*	[g/mol]	8.9	8.8	9.3	9.2	9.6	8.2	9.9	9.3
Takgewicht (70 cm)	[g]	63	66	67	66	73	67	73	72
LBE (70 cm)*	[g/mol]	7.3	7.6	7.6	7.5	7.6	7.0	7.6	7.5
Taklengte	[cm]	93	94	96	98	89	85	94	93
Drooggewicht tak	[%]	9.6	10.4	9.4	9.6	8.8	9.7	8.9	9.2
Netto LAI	[m ² /m ²]	6.1	5.0	6.4	5.9	4.7	4.1	4.8	4.3

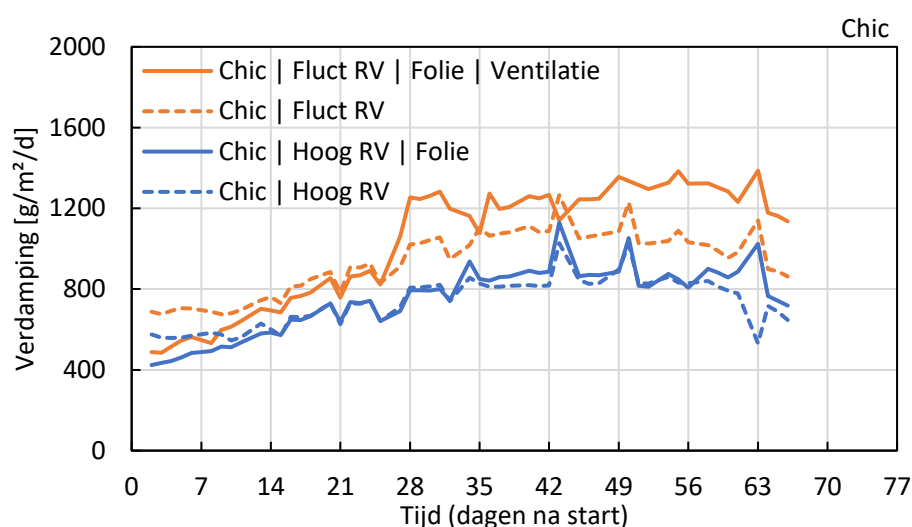
* Op basis van versgewicht

4.2.3 Verdamping

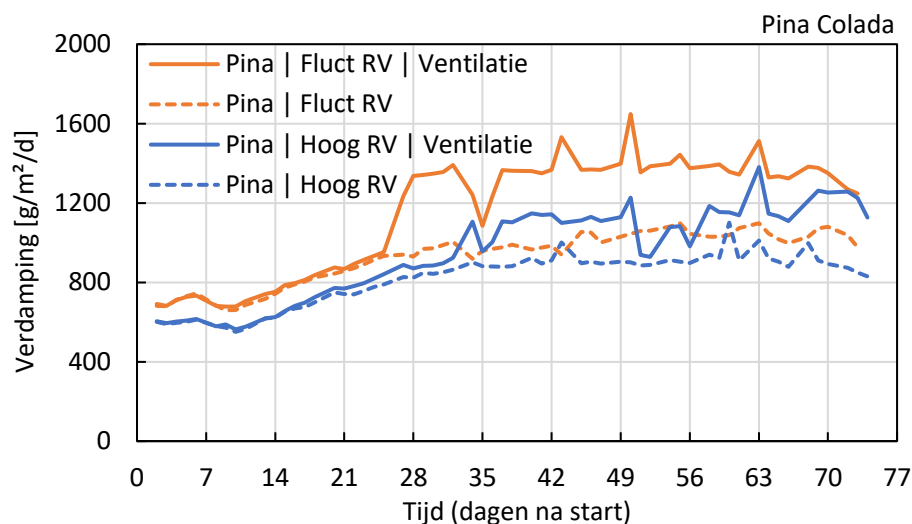
Verdamping op etmaalbasis

De verdamping op etmaalbasis nam de eerste 30 dagen van de teelt gestaag toe. De eerste 15 dagen daarvan was de verdamping in de behandelingen met grondfolie lager, waarna er geen verschil meer zichtbaar was (Figuur 4.6; Figuur 4.7). Bij fluctuerende RV was de verdamping hoger dan die bij hoge RV. In de behandelingen met ventilatie was een grote toename in verdamping te zien vanaf het moment dat de ventilatie werd ingeschakeld (respectievelijk dag 26 en 33 in de fluctuerende en hoge RV behandelingen). Op dag 51 viel de ventilatie uit in de behandeling met ventilatie bij een hoge RV voor Pina Colada. De verdamping daalde daardoor tot dicht bij die van de behandeling zonder ventilatie.

Vooral bij Pina Colada was er na zeven dagen een lichte afname in verdamping zichtbaar, wat overeenkomt met het omschakelen van lange naar korte dag. Net als in de eerste proefronde is er een 'zaagtandpatroon' zichtbaar, wat een artefact is van de drain die na watergift lang doorwerkt. In de laatste proefdagen nam de verdamping af, mogelijk door het openen van het bloemendek dat meer straling reflecteert dan de bladeren (Figuur 4.6; Figuur 4.7).



Figuur 4.6. Absolute verdamping per etmaal voor het ras Chic van de behandelingen met fluctuerende en hoge RV (oranje en blauw) en folie/ventilatie behandelingen (doorgetrokken en gestreept). Ventilatie onder in het gewas is bij Fluct RV | Folie | Ventilatie op dag 26 aangezet.

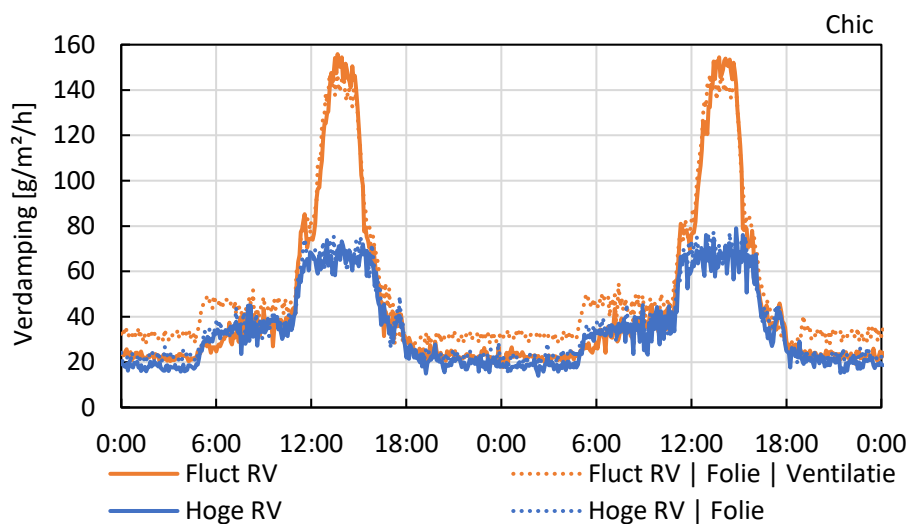


Figuur 4.7. Absolute verdamping per etmaal voor het ras Pina Colada van de behandelingen met fluctuerende en hoge RV (oranje en blauw) en folie/ventilatie behandelingen (doorgetrokken en gestreept). Ventilatie onder in het gewas is bij Fluct RV | Ventilatie op dag 26 aangezet en bij Hoog RV | Ventilatie op dag 33. Op dag 51 waren in de hoog RV | Ventilatie behandeling de ventilatoren uitgevallen, wat leidde tot een directe vermindering van de verdamping.

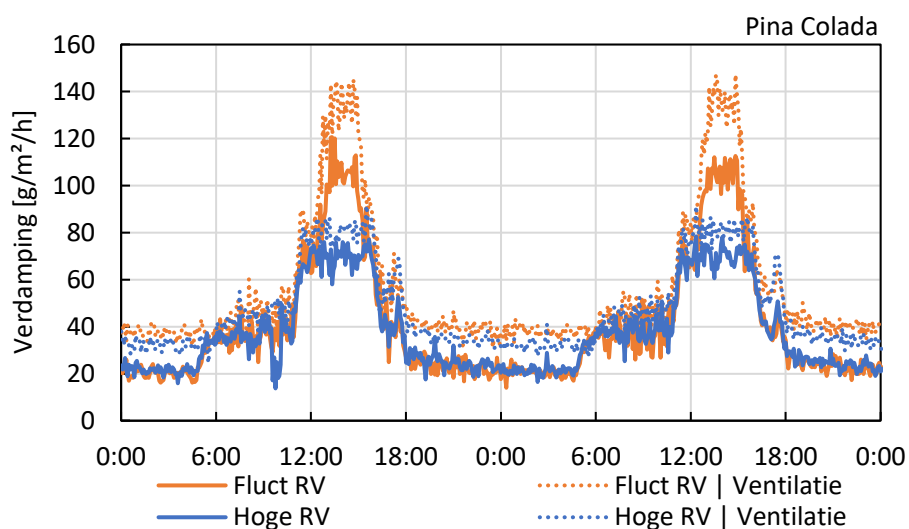
Patroon van verdamping over het etmaal

Net als in de eerste proefronde was de toename in verdampingssnelheid groter bij het aanschakelen van het zonlicht (11:00) dan bij de LED-belichting (5:00). Dit is opvallend, omdat de stralingsenergie van de LED-belichting groter is dan die van het zonlicht (Figuur 4.8; Figuur 4.9).

Bij fluctuerende RV was een vergelijkbare verdampingssnelheid bij Pina Colada te zien in de uren met lagere RV (12:00 – 15:00) als in de lage RV behandeling in proefronde 1. Opvallend genoeg was die toename bij Chic zonder ventilatie hetzelfde als de behandeling met ventilatie, een duidelijke reden hiervoor ontbreekt. Daarbij was de toename in verdamping in de fluctuerende RV zonder ventilatie lager dan de toename in alle andere behandelingen. Voor de overige momenten in het etmaal had de ventilatie een verhogend effect op de verdampingssnelheid (Figuur 4.8; Figuur 4.9).



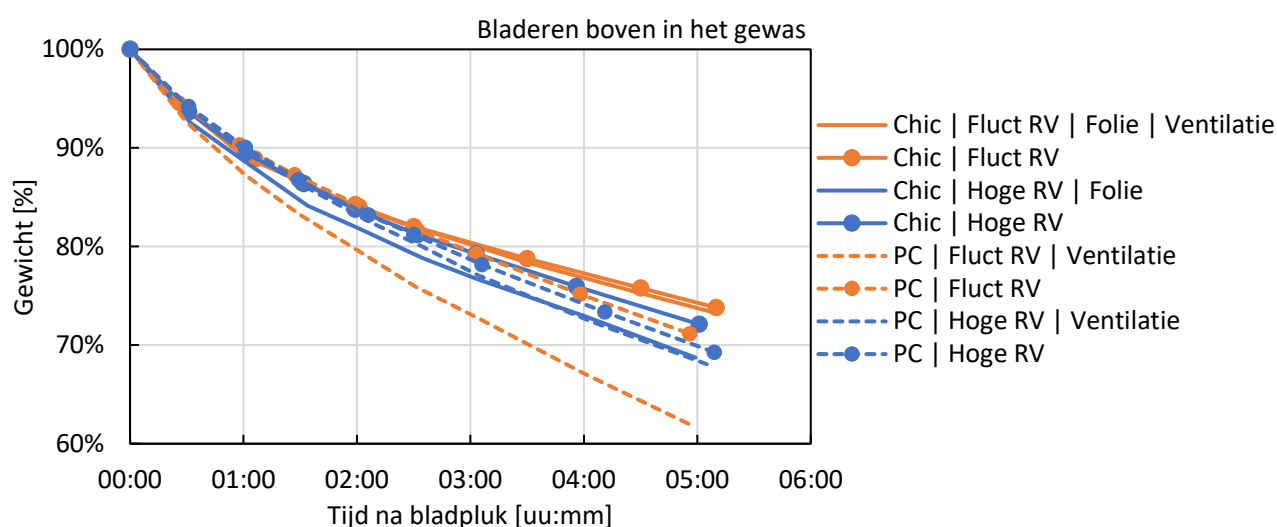
Figuur 4.8. Patroon van momentane verdamping over twee etmalen (proefdag 41 en 42) voor het ras Chic van de behandelingen met fluctuerende en hoge RV (oranje en blauw) en zonder of met ventilatie/folie (doorgetrokken en gestreept).



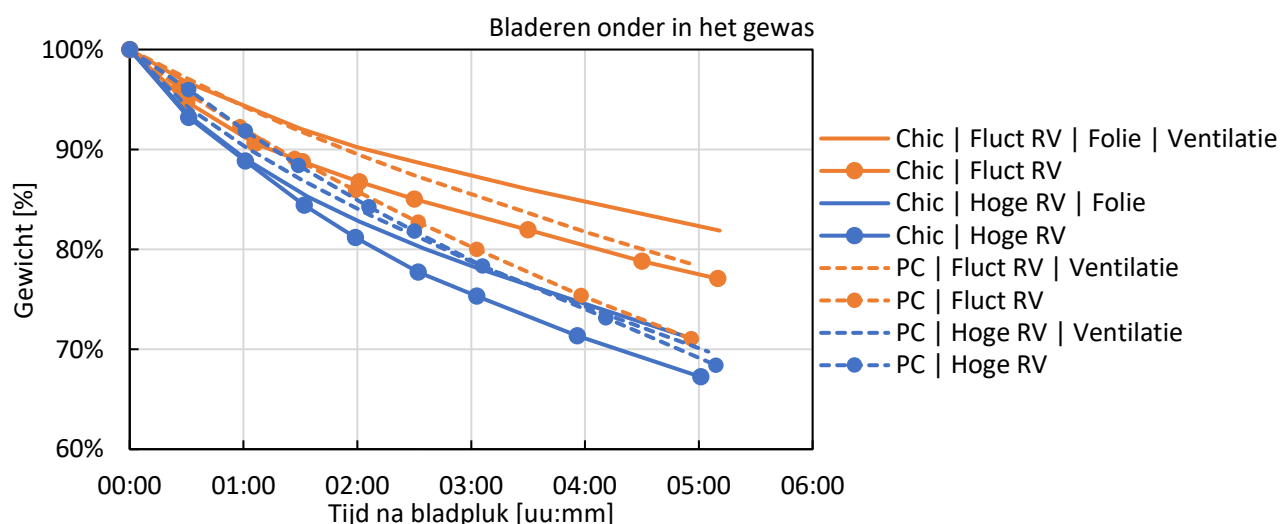
Figuur 4.9. Patroon van momentane verdamping over twee etmalen (proefdag 41 en 42) voor het ras Pina Colada van de behandelingen met fluctuerende en hoge RV (oranje en blauw) en zonder of met ventilatie/folie (doorgetrokken en gestreept).

4.2.4 Functioneren van de huidmondjes

Alle bladeren in deze proefronde lieten na bladpluk een gewichtsafname zien die vergelijkbaar was met die van bladeren uit hoge RV behandelingen van proefronde één. Dit versterkt het vermoeden dat er bij hoge RV disfunctionele huidmondjes ontstaan. Het aanhouden van enkele uren verlaagde RV had geen effect op bladeren in de top van het gewas (Figuur 4.10; vergelijk met Figuur 3.11 vorige proefronde). Bij bladeren dieper in het gewas lijkt de gewichtsafname wel minder snel te gaan door een fluctuerende RV toe te passen, maar nog steeds sluiten de huidmondjes niet zo goed als van de bladeren uit de lage RV behandeling in de eerste proefronde (vergelijk Figuur 4.11 met Figuur 3.11 vorige proefronde).



Figuur 4.10. Gewichtsafname over de tijd van geplukte bladeren in de top van het gewas uit de behandelingen met fluctuerende en hoge RV (oranje en blauw) en met/zonder ventilatie of folie (zonder en met bolletjes) voor de rassen Chic en Pina Colada (doorgetrokken en gestreept). Gemeten aan 20 bladeren per behandeling, afkomstig van 10 takken waarvan per tak 2 bladeren zijn geplukt.

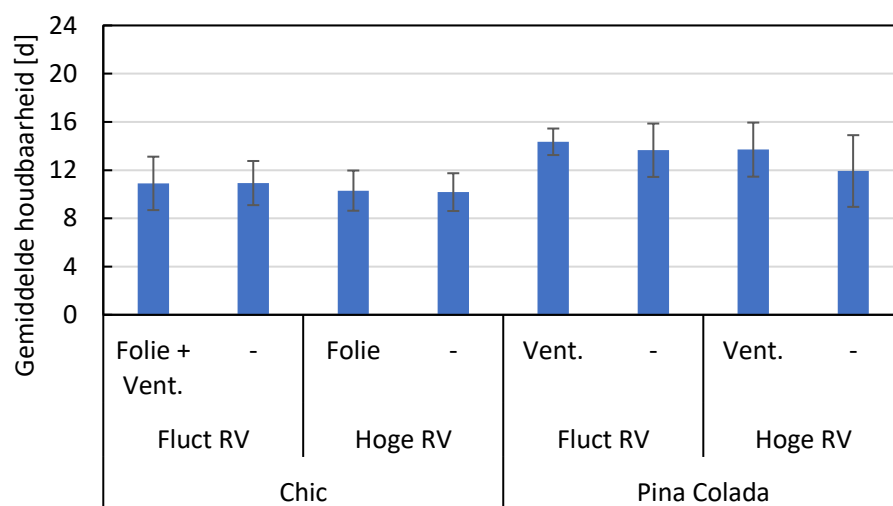


Figuur 4.11. Gewichtsafname over de tijd van geplukte bladeren dieper in het gewas uit de behandelingen met fluctuerende en hoge RV (oranje en blauw) en met/zonder ventilatie of folie (zonder en met bolletjes) voor de rassen Chic en Pina Colada (doorgetrokken en gestreept). Gemeten aan 20 bladeren per behandeling, afkomstig van 10 takken waarvan per tak 2 bladeren zijn geplukt.

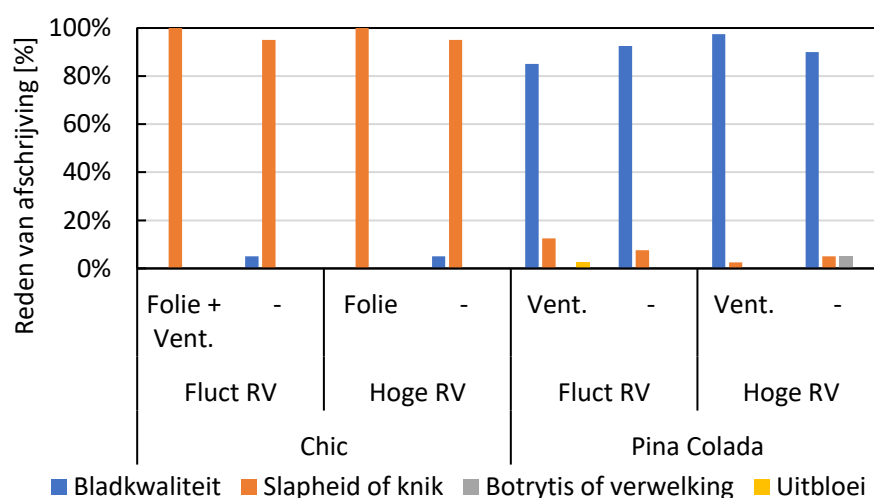
4.2.5 Houdbaarheid

Chic had in alle behandelingen gemiddeld minimaal een houdbaarheid van 10 dagen. Voor Pina Colada lag dit nog hoger met ten minste 12 dagen houdbaarheid. Er waren geen grote verschillen in houdbaarheid tussen de behandelingen, enkel de hoge RV zonder ventilatie lijkt iets lager uit te vallen. Dit is in tegenstelling tot de eerste proefronde, waar Chic bij hoge RV en eenzelfde gift-EC een gebrekkige houdbaarheid had. Pina Colada had in de tweede proefronde wel een wat lagere houdbaarheid bij hoge RV, maar dit was met 12 dagen geen slechte houdbaarheid (Figuur 4.12).

De meeste takken van Chic werden afgeschreven omwille van slap blad of knik, en bij Pina Colada om gebrekkige bladkwaliteit (geel blad of bladvlekken; Figuur 4.13). De reden van afschrijving was daarmee per ras vergelijkbaar met de eerste proefronde.



Figuur 4.12. De gemiddelde houdbaarheid tijdens de houdbaarheidsproef bij Royal FloraHolland. Foutbalken geven de standaarddeviatie weer. N = 40



Figuur 4.13. De reden van afschrijving in verschillende categorieën tijdens de houdbaarheidsproef bij Royal FloraHolland. N = 40

4.3 Conclusies proefronde 2

In de tweede proefronde is onderzocht in welke mate een dagelijkse korte periode van enige uren van verlaagde RV tot een toename van verdamping leidt en of dit bijdraagt aan een verbeterde houdbaarheid na de oogst. Hiertoe werd in beide klimaatcellen een hoge RV aangehouden, waarbij in één van de klimaatcellen drie uur per dag de lage RV uit proefronde 1 werd gehanteerd. Ook is in een aantal behandelingen extra luchtbeweging onder in het gewas gerealiseerd door met ventilatoren lucht door flexibele geperforeerde buizen te persen. Om te bepalen of vanuit het substraat een substantieel aandeel verdamping komt, is in sommige behandelingen folie op de grond geplaatst om verdamping vanuit het substraat uit te sluiten. Zodat de verdamping hiervan vergeleken kan worden met behandelingen met substraatverdamping.

Door dagelijks een aantal uren de RV te verlagen wordt de verdamping op deze momenten fors verhoogd. Echter, de resultaten laten zien dat dit geen verbetering gaf in het functioneren van de huidmondjes. Ook in deze behandeling was de sluitingsreactie van de huidmondjes in alle gemeten bladeren disfunctioneel: geen sluitingsreactie na bladplukken. Dit in tegenstelling tot de continu lage RV behandeling uit proefronde 1. Wel leek het erop dat het kort verlagen van de RV in iets beter functioneren van de huidmondjes in de diepere bladlagen resulteert. De houdbaarheid gemeten bij FloraHolland na transportsimulatie was nagenoeg hetzelfde voor de hoge en fluctuerende RV en in geen enkele behandeling opvallend slecht. In 'keukentafelproeven' met chrysanten uit dezelfde behandelingen, die direct na oogst op de vaas gezet zijn was het vaasleven overigens zeer slecht.

Luchtbeweging heeft ook een groot effect op de verdamping van het gewas (25%), en kan een effectief en praktisch inzetbaar middel zijn om de verdamping te stimuleren ondanks een hoge RV. Echter gaf de verhoging geen verbetering in het functioneren van de huidmondjes. Dit resultaat doet de vraag stellen of en in hoeverre verdamping überhaupt bepalend is voor de houdbaarheidsproblemen. Wellicht is vooral het effect van klimaat op het functioneren van de huidmondjes van belang. Vervolgproeven moeten een antwoord op deze vraag mogelijk maken.

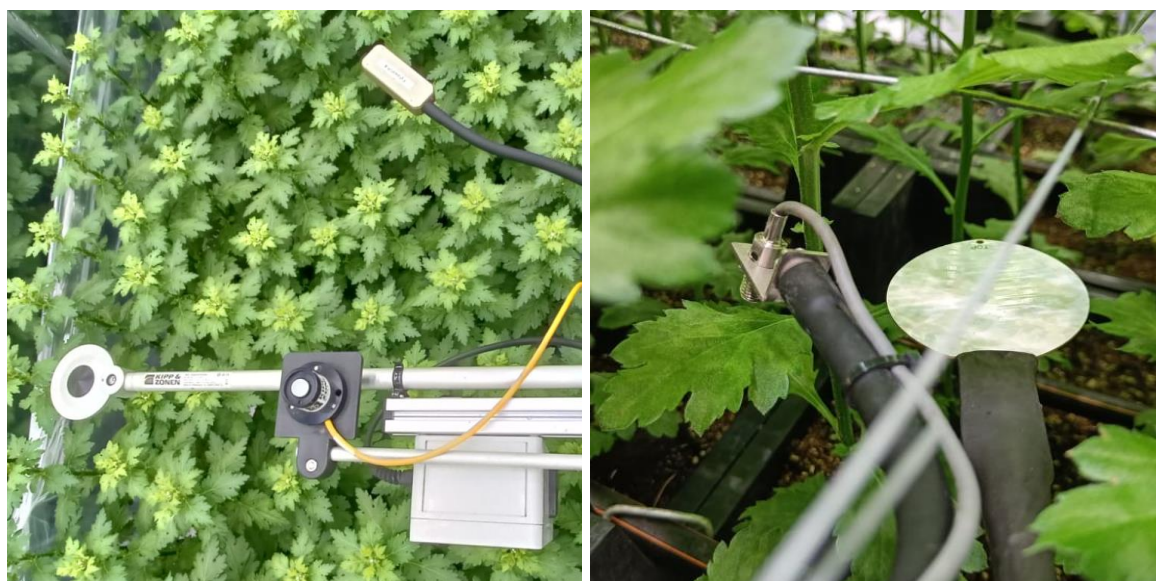
Verdamping vanuit het substraat was alleen meetbaar gedurende de eerste twee teeltweken zolang het gewas nog niet volledig bedekkend was. Verdamping vanuit het substraat had dus maar beperkte invloed op de totale verdamping.

5 Meten aan verdamping

In een vollegrondsteelt zoals chrysant kan de momentane verdamping niet op praktische wijze worden gemeten met weegschalen. Omdat verdamping fysiologisch, maar ook energetisch en klimatologisch een belangrijke rol speelt, is het van belang dat deze op een betrouwbare, robuuste en reproduceerbare manier bepaald kan worden.

In eerder onderzoek is de huidmondjesgeleiding van de bovenste gewaslaag in kaart gebracht met behulp van het stomatasensorconcept (Voogt & van Weel, 2008; Trouwborst et al., 2019). Met deze methode wordt onder andere de momentane verdamping op basis van de energiebalans van het gewas berekend. Hierbij worden energiestromen gemeten en wordt aangenomen dat het verschil tussen de inkomende en uitgaande energie de verdamping is. Deze energiestromen van en naar het gewas bestaan uit de netto straling en convectieve warmteoverdracht. Aan de hand van deze methode is eerder kwalitatief het patroon van de momentane verdamping van de bovenste gewaslaag vastgelegd (Trouwborst et al., 2019).

In de twee experimenten is de meetmethode gebaseerd op dit principe toegepast en verfijnd. De netto straling is gemeten met een netto-stralingsmeter (Kipp & Zonen NR Lite2). Om de convectieve warmteoverdracht te bepalen is de windsnelheid (TSI Inc. model 8475-150-1) en het verschil tussen de blad- en luchttemperatuur van bladeren in de top van het gewas vastgelegd (CleverIR IRsense & Vaisala HMP110). In proefronde 1 is enkel de energiebalans van de bovenste gewaslaag in kaart gebracht (Figuur 5.1, Links). In proefronde 2 zijn ook metingen verricht aan de blad- en luchttemperatuur dieper in het gewas. Hiertoe is een kunstblad (Kunstblad, Saber) gebruikt om de luchttemperatuur vast te stellen en is met infraroodsensoren de bladtemperatuur gemeten (ACE-sensor, CleverIR; Figuur 5.1, Rechts). De verdamping op basis van de weeggoten is als referentie beschouwd. Er is gemeten aan Pina Colada met hoge gift-EC (3.50 mS/cm), zonder ventilatie- of grondfolie behandelingen.



Figuur 5.1. Een impressie van het meetveld van de bovenste gewaslaag (links) en de metingen aan blad- en luchttemperatuur dieper in het gewas met het kunstblad en de ACE-sensor (rechts).

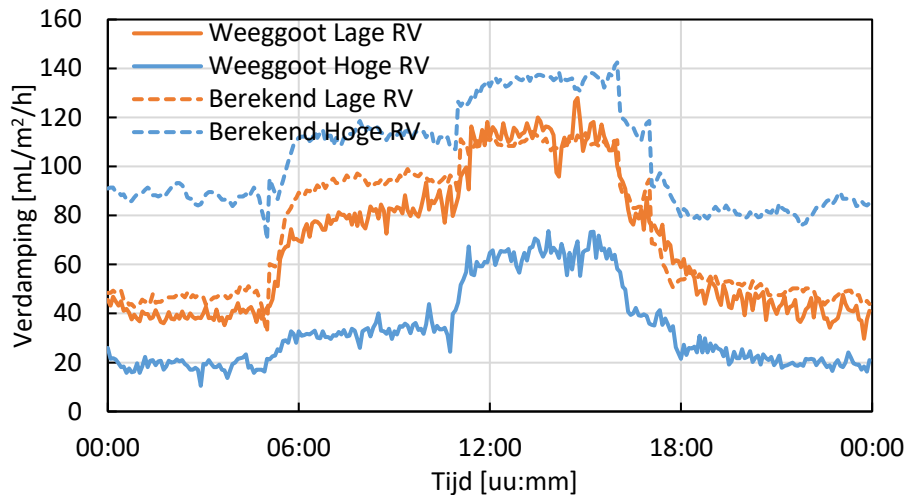
5.1 Berekende verdamping op basis van bovenste gewaslaag

Om de verdamping te berekenen is in de eerste proefronde gerekend met gegevens van enkel de bovenste bladlaag, waarbij de aanname is gedaan dat de parameters voor convectieverdracht hetzelfde zijn voor de diepere bladlagen. Hierbij is aangenomen dat de lichtabsorptiecoëfficiënt 0.85 is, de warmteoverdrachtscoëfficiënt $4.5 \text{ W/m}^2/\text{K}$ is en dat het gewas een totale LAI van $4.8 \text{ m}^2/\text{m}^2$ heeft. De warmteoverdrachtscoëfficiënt is bepaald aan de hand van windsnelheidmetingen (zie hoofdstuk 5.3.3).

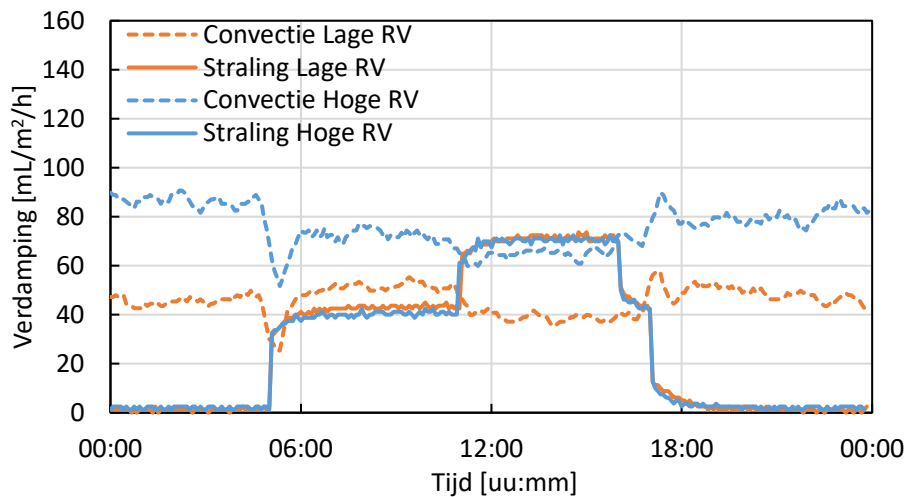
Op 5-minutenbasis is het algemene *patroon* in verdamping vergelijkbaar tussen de meting (weegschalen) en de berekening (Figuur 5.2). Bij veranderingen in lichtintensiteit (5:00; 11:00; 16:00; 17:00) verandert de verdampingssnelheid volgens beide methoden. Wel zijn er grote verschillen in de absolute verdamping. Bij lage RV lag de verdamping op etmaalbasis dicht bij de verdamping op basis van de weeggoten, maar week wel af in de periode wanneer de LED-belichting aan stond (5:00-11:00). Bij hoge RV lag de berekende verdamping echter fors hoger, waarbij twee tot vier keer zoveel als de verdamping gemeten door de weeggoten werd berekend. Dit verschil is te verklaren uit het gegeven dat er voor de convectieve warmteoverdracht alleen op basis van het gemeten temperatuursverschil tussen blad en lucht van blad uit de top van het gewas gerekend is. En dat die warmteoverdracht is geëxtrapoleerd naar de diepere bladlagen. Dit resulteert in een overschatting van de verdamping van de diepere bladlagen.

Figuur 5.3 laat zien dat voor beide RV-behandelingen het grootste aandeel van de berekende verdamping te wijten is aan convectieverdamping. Opvallend is dat de berekende convectieverdamping voor de hoge RV cel hoger is, waaraan ten grondslag ligt dat het gemeten verschil in blad- en luchttemperatuur van de bovenste gewaslaag hoger was dan bij de lage RV. Dit is niet logisch verklaarbaar bij gelijke huidmondjesweerstand en is meermaals vastgesteld met verschillende sensoren, mogelijk verschilde dus de huidmondjesweerstand. Wanneer er een toename in stralingsintensiteit was (5:00; 11:00) nam de convectieve warmteoverdracht iets af. Het omgekeerde was zichtbaar wanneer de stralingsintensiteit afnam (16:00; 17:00).

Vanuit het gegeven dat zowel op 5-minuten als op etmaalbasis grote verschillen worden gevonden tussen de op basis van de energiebalans berekende en met weeggoten gemeten verdamping, kan worden geconcludeerd dat het berekenen van de absolute verdamping van het hele gewas via parameters van enkel de bovenste gewaslaag niet toereikend is om kwantitatief de momentane gewasverdamping vast te leggen. Wel kunnen de algemene patronen van verdamping goed inzichtelijk worden gemaakt.



Figuur 5.2. Verdamping op basis van gewichtsafname via weeggoten (doorgetrokken lijnen) en berekend op basis van de energiebalans van de bovenste gewaslaag (stippellijnen) op dag 53 in proefronde 1.



Figuur 5.3. Berekende verdamping vanuit convectie (stippellijnen) en straling (doorgetrokken lijnen) voor de RV behandelingen op dag 53 in proefronde 1. De totale berekende verdamping is de som van convectie en straling.

5.2 Berekende verdamping op basis van meerdere gewaslagen

De berekende verdamping op basis van enkel de bovenste gewaslaag is dus niet toereikend om de absolute verdamping te bepalen (proefronde 1). Daarom is in proefronde 2 de meting aan de energiebalans uitgebreid met een tweede, diepere, gewaslaag waarbij apart de blad- en luchttemperatuur dieper in het gewas zijn gemeten. Tevens is hierbij de aanname gedaan dat de bovenste gewaslaag alle straling opvangt en er in de diepere gewaslagen alleen verdamping is op basis van convectie.

Hierbij is aangenomen dat de lichtabsorptiecoëfficiënt 0.85 is en de warmte-overdrachtscoëfficiënt $4.5 \text{ W/m}^2/\text{K}$ is voor de bovenste bladlaag welke bestaat uit een LAI van $1.0 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Voor de diepere bladlaag, bestaande uit een LAI van $3.8 \text{ m}^2/\text{m}^2$, is aangenomen dat

deze een warmteoverdrachtscoëfficiënt van $0.7 \text{ W/m}^2/\text{K}$ heeft. Wederom is dit bepaald aan de hand van windsnelheidsmetingen. Door het volgens deze methode te berekenen wordt de overschatting van de verdamping van de diepere bladlagen verholpen. Mogelijk is een gradiënt in warmteoverdrachtscoëfficiënt van het bovenste blad naar onderen nauwkeuriger.

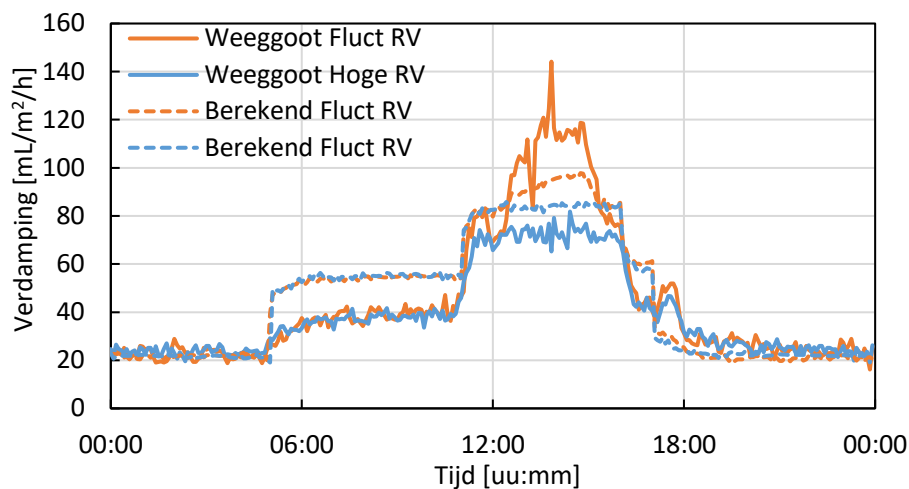
Figuur 5.2 en Figuur 5.3 laten zien dat door de convectie te verlagen (in dit geval door met een lagere warmteoverdrachtscoëfficiënt voor de diepere bladlagen te rekenen vanwege de verlaging in windsnelheid) de hele berekende verdampingslijn 'omlaag' wordt gebracht, waardoor deze dichterbij de gemeten verdamping uit de weegoot komt te liggen. Hiervoor is het noodzakelijk dat zowel de LAI als de windsnelheid bekend is.

Over het hele etmaal bezien was de berekende verdamping 3% hoger in de fluctuerende RV en 14% hoger in de hoge RV behandeling dan de meting met de weegschaal. Echter op 5-minutenbasis weken de berekende en gemeten verdamping op bepaalde momenten sterk af van elkaar. Zo was de forse toename in verdamping op momenten met verlaagde RV nauwelijks zichtbaar in de berekening. Tussen 12:00 en 15:00 was wel enige verhoogde berekende verdamping te zien, maar totaal niet in de mate waarop het meetbaar was met de weeggoten. Waarom dit niet goed meetbaar is, is onduidelijk. Mogelijk werd er op deze momenten toch een hogere luchtbewegingssnelheid, en dus een hogere warmteoverdrachtscoëfficiënt, gerealiseerd, of bladeren net onder de kop van het gewas (niet gemeten) dragen op het moment van de verlaagde RV disproportioneel veel bij aan de verdamping. Maar het lijkt ook onwaarschijnlijk dat het alleen in de luchtbewegingssnelheid en de tweede bladlaag zit, gezien de convectieverdamping op die momenten moet verdrievoudigen om op de juiste verdamping uit te komen. Daarnaast was het opvallend dat de momenten van verlaagde RV zichtbaar waren in de meting van netto straling. Er werd tussen de RV behandelingen namelijk geen verschil in lichtintensiteit gerealiseerd (Figuur 5.4; Figuur 5.5). Mogelijk warmt het plafond van de klimaatcel op deze momenten iets op doordat de ontvochtigers van de klimaatcel vaker aan slaan, deze brengen namelijk warmte in de klimaatcel. Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is er namelijk meer langgolvlige straling vanuit objecten met een hogere temperatuur.

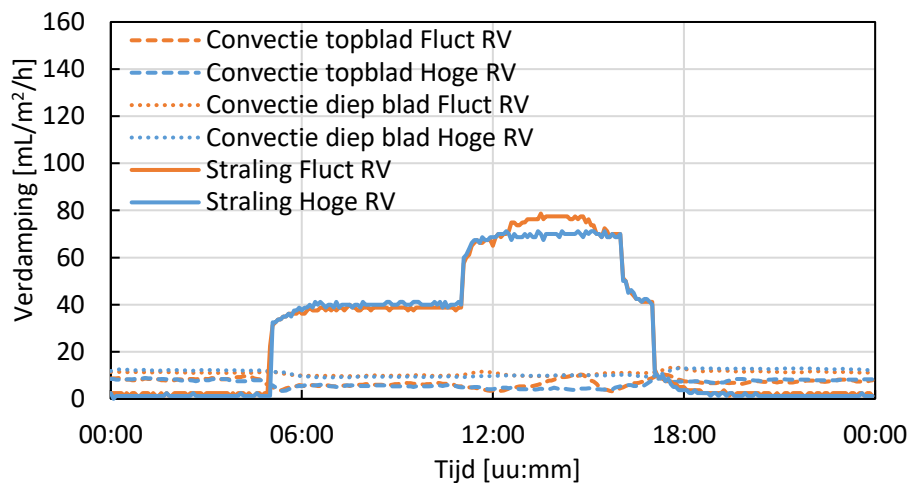
Hoewel het toevoegen van een tweede gewaslaag aan de berekende verdamping een beter beeld geeft van de momentane verdamping dan de berekening op basis van parameters van alleen de bovenste gewaslaag, komt deze nog steeds niet volledig overeen met de meting op basis van weeggoten. In hoofdstuk 5.3 wordt verder uitgeweid over een aantal uitdagingen voor het berekenen van de verdamping op basis van de energiebalans. Het juist parameteriseren van de warmteoverdrachtscoëfficiënt, lichtabsorptiecoëfficiënt en het meten van de temperaturen spelen namelijk een grote rol in de absoluut berekende momentane verdamping.

Het aandeel van straling op de totale energie voor verdamping is in de tweede proefronde aanzienlijk groter dan in de eerste proefronde, waarin convectie een grotere rol speelde. Gemiddeld was 60% van alle verdamping afkomstig van stralingsenergie. In de praktijk zal dit lager zijn, omdat er in een kas ook sprake is van uitstraling. Die uitgaande straling zal eerst

gecompenseerd moeten worden door inkomende straling voordat er netto straling overblijft voor verdamping. Daardoor is het aandeel nachtverdamping in de proef vermoedelijk groter dan bij een gelijke RV en windsnelheid in de praktijk.



Figuur 5.4. De berekende en gemeten (gestreept en doorgetrokken) momentane verdamping op 5-minutenbasis voor de hoge en fluctuerende RV (blauw en oranje) behandelingen in de tweede proefronde.



Figuur 5.5. De berekende momentane verdamping voor de hoge en fluctuerende RV (blauw en oranje) behandelingen verdeeld over stralingsverdamping (doorgetrokken) en convectieve verdamping van bladeren uit de top van het gewas en diep blad (gestreept en stippellijnen).

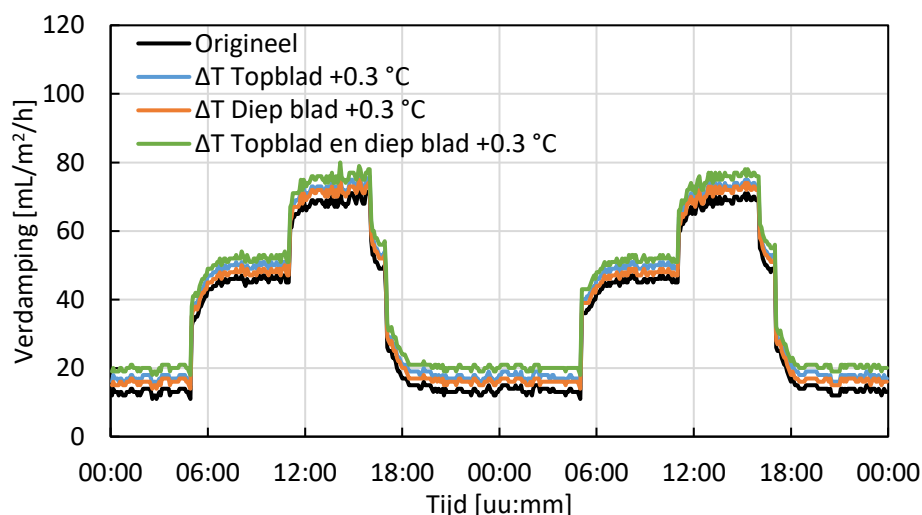
5.3 Uitdagingen bij het berekenen van de momentane verdamping

De berekende verdamping op basis van de energiebalans sloot in absolute zin dus niet altijd goed aan bij de meetgegevens uit de weeggoet (zie hoofdstuk 5.2). Er zijn een aantal parameters in de berekeningen die wellicht kunnen worden geoptimaliseerd. In de volgende paragrafen wordt over de mogelijkheden uitgeweid.

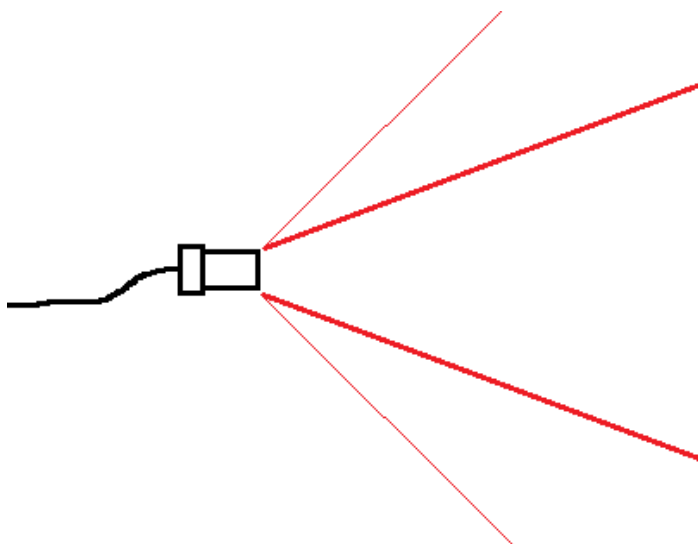
5.3.1 Vaststellen van temperatuurverschillen tussen blad en lucht

De berekende (convectie)verdamping is gevoelig voor kleine verschillen in het temperatuurverschil tussen blad en lucht (ΔT). Bij een afwijking van 0.3 °C kan dit (afhankelijk van de LAI) al een effect hebben van bijna 100 mL/m²/d (Figuur 5.6). Het is dus van belang de metingen van zowel lucht- als bladtemperatuur met de grootst mogelijke zorg uit te voeren. Bij voorkeur met eenzelfde meettechniek met dezelfde ijking.

Bij het meten van blad dieper in het gewas is het daarnaast voor de praktijk ook niet wenselijk om regelmatig de sensorpositie bij te stellen om een enkel blad te meten. In de praktijk is een 'set and forget' aanpak wenselijk. Een optie hiervoor is het gebruik van een sensor met een kleinere kijkhoek. Hiermee kan namelijk gemakkelijker een grotere oppervlakte blad worden gemeten door de sensor horizontaal in het gewas te richten. Bij een kleinere kijkhoek zal met die methode minder snel substraat in het meetveld vallen en bijdragen aan de onbetrouwbaarheid van de meting (Figuur 5.7). In dit onderzoek zijn de ACE-sensoren met een kijkhoek van 46° gebruikt, maar er zijn ook sensoren met een kijkhoek van 16°.



Figuur 5.6. Verschillen in verdampingssnelheid bij kunstmatig ingebouwde afwijkingen in temperatuurmetingen bij een theoretische LAI van 5. Door grotere temperatuurverschillen tussen blad en lucht (ΔT) in te bouwen neemt de verdamping toe over het hele etmaal. Bij kleine verschillen in gemeten temperatuur kan dit al een aanzienlijk effect hebben op de berekende etmaalverdamping.



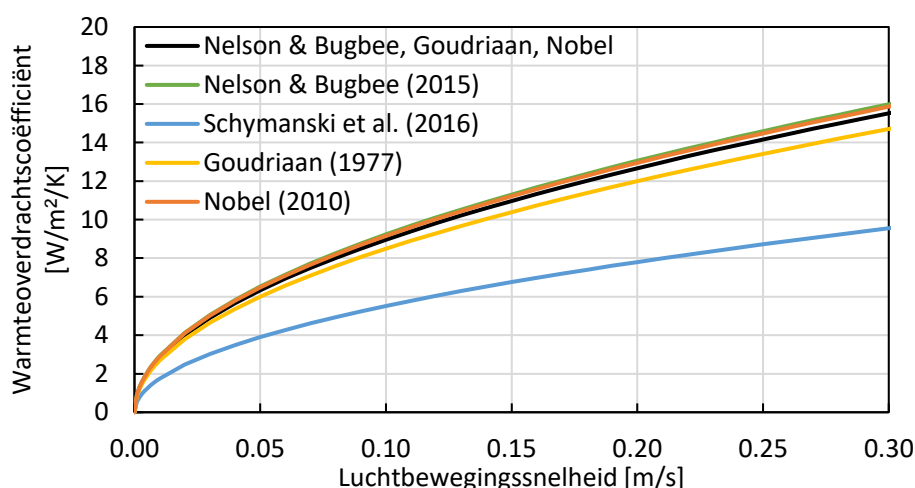
Figuur 5.7. Schematische weergave van de meethoek van een infraroodsensor voor het meten van bladtemperatuur. De sensorkop is weergegeven als zwarte vierkanten. Bij een kleine meethoek (dikke rode lijn) zal er in horizontale positie minder snel substraat in het meetveld vallen dan bij een grotere meethoek (dunne rode lijn).

5.3.2 Lichtabsorptiecoëfficiënt

Waar de warmteoverdrachtscoëfficiënt een belangrijke rol speelt in de convectieve warmteoverdracht, speelt bij de energieoverdracht vanuit netto straling de lichtabsorptiecoëfficiënt een rol. Niet alle straling die op het gewas valt, wordt daadwerkelijk geabsorbeerd. Een deel zal op het substraat terechtkomen via transmissie of reflecteren op de bladeren. Omdat het spectrum hier een effect op heeft, is het bij (belichte) teelten noodzakelijk hier rekening mee te houden. LED-belichting wordt vrij goed geabsorbeerd. Bij veel gewassen is het in de orde van 85-90%, maar bij een dicht gewas als chrysant loopt het waarschijnlijk eerder op tot 90-95%. Straling van de zon of SON-t wordt echter veel slechter geabsorbeerd vanwege het aandeel nabij-infrarood ofwel NIR (Nelson & Bugbee, 2015). Wanneer een groter aandeel licht niet geabsorbeerd wordt zal de lichtabsorptiecoëfficiënt lager zijn. De lichtabsorptiecoëfficiënt is een factor tussen 0 en 1 en is in dit onderzoek op een vaste 0.85 gehouden.

5.3.3 Warmteoverdrachtscoëfficiënt

De overdracht van energie tussen lucht en blad is, behalve van het verschil in temperatuur, afhankelijk van de warmteoverdrachtscoëfficiënt. Deze neemt non-lineair toe bij toenemende luchtbewegingssnelheid. Van drie bekende relaties tussen luchtbewegingssnelheid en warmteoverdrachtscoëfficiënt (Nelson & Bugbee 2015; Goudriaan 1977; Nobel 1975) is een gemiddelde genomen ter toepassing in de energiebalansberekeningen. Hierbij is een vierde verband uit Schymanski et al., (2016) uitgesloten, omdat deze ten opzichte van de overige drie verbanden afweek (Figuur 5.8). Uit de relatie tussen luchtbewegingssnelheid en warmteoverdrachtscoëfficiënt kan worden opgemaakt dat vooral bij lage luchtbewegingssnelheden onder de 0.01 m/s kleine verschillen al een groot effect hebben op de warmteoverdrachtscoëfficiënt. Er is dus maar weinig luchtbeweging nodig om al enige warmteoverdracht tussen blad en lucht te realiseren. Daarom is het belangrijk om de luchtbewegingssnelheid zo nauwkeurig mogelijk vast te leggen. In de proeven zat de luchtbewegingssnelheid bij de bovenste gewaslaag rond de 0.025 m/s, maar dieper in het gewas rond de 0.001 m/s. Kleine afwijkingen in de metingen hebben in deze bandbreedtes een groot effect op de warmteoverdrachtscoëfficiënt en bij windsnelheden lager dan 0.05 m/s wordt de betrouwbaarheid met de gebruikte apparatuur minder goed.



Figuur 5.8. Relatie tussen de luchtbewegingssnelheid en warmteoverdrachtscoëfficiënt volgens Nelson & Bugbee (2015), Schymanski et al., (2016), Goudriaan (1977) en Nobel (2010). In de berekeningen is gebruik gemaakt van een gemiddelde waarde van Nelson & Bugbee, Goudriaan en Nobel.

5.4 Conclusie verdamping op basis van de energiebalans

Verdamping bepalen op basis van de energiebalans kan nuttig zijn om contactloos in een kas patronen van verdamping in beeld te brengen en inzicht te krijgen in de factoren die de verdamping remmen of (overmatig) stimuleren. Een precieze kwantitatieve bepaling van verdamping is op dit moment praktisch (nog) moeilijker toepasbaar, vanwege de hoge mate van nauwkeurigheid waarmee de verschillende parameters moeten worden bepaald. Andere meetmethoden, zoals een andere kijkhoek van de infrarood bladtemperatuur-meting, kunnen hierin mogelijk verbetering in brengen.

6 Algemene conclusies

Chrysantentelers teelden in de winters van 2021-2022 en 2022-2023 met zo min mogelijk energie. In diezelfde winters waren er veel problemen met houdbaarheid van de geoogste bloemtakken. Het hoofddoel van dit onderzoek was om te onderzoeken welke factoren hebben geleid tot de slechte houdbaarheid. De algemene gedachte was dat de verdamping (veel) te laag is geweest. Verdamping is een energiegedreven proces en daarom is het belangrijk om de grenzen van de minimaal benodigde verdamping te weten. Dit is van belang om in de toekomst met een lagere energie-input te kunnen telen zonder kwaliteitsproblemen. De aandacht ging in dit onderzoek uit naar een betrouwbare en reproduceerbare manier om verdamping (1) te kunnen sturen, (2) te kunnen meten en (3) de effecten ervan op houdbaarheid te achterhalen.

In twee proefrondes werden met een hoge RV omstandigheden gecreëerd om de verdamping zo veel mogelijk te onderdrukken, om zo de slechte houdbaarheid uit de praktijk te kunnen nabootsen. Het was mogelijk de verdamping te halveren bij een hoge RV (95%) ten opzichte van een lage RV (79%). Bij de eindoogst bleken de huidmondjes uit alle hoge RV behandelingen een gebrekkige sluitingsreactie te hebben. Dit resulteerde in een inconsistente houdbaarheid met in één behandeling wel een veel slechter vaasleven dan de takken geteeld bij lage RV, maar dat gold niet voor alle hoge RV-behandelingen. In een volgende proef is geteeld bij een hoge RV (95%) en een hoge RV met 3 uur per dag een lagere RV (81%). Tijdens de uren met lagere RV nam de verdamping sterk toe, maar na oogst hadden de bladeren toch wel een gebrekkige sluitingsreactie. Daarnaast is er in behandelingen bij hoge RV waarin meer verdamping is gerealiseerd door middel van extra luchtbeweging ook geen goede sluiting van de huidmondjes gerealiseerd.

De houdbaarheid is dus niet altijd direct te koppelen aan het functioneren van de huidmondjes. Het slecht functioneren van de huidmondjes resulteert namelijk niet direct in een slecht vaasleven. Wel lijkt het erop dat slecht functionerende huidmondjes leidt tot een verhoogde kans op slechtere naoogstkwaliteit. Een praktische benadering is de stellingname dat functionele huidmondjes een randvoorwaarde zijn om een goede kwaliteit chrysant te kunnen garanderen.

Het bovenstaande roept de vraag op of de problemen die in de winters van 2021-2023 naar voren kwamen, wel zijn ontstaan door een gebrekkige verdamping of door een slecht kasklimaat (hoge RV en dood klimaat). Dit wordt verder onderzocht in vervolgonderzoek bij Plant Lighting in het kader van Topsector Tuinbouw en Uitgangsmaterialen. Daarin zal ook het aandeel van de stralingsenergie op de verdamping worden onderzocht en wordt onderzocht op welk moment in de teelt problemen ontstaan die de houdbaarheid beïnvloeden.

Referenties

- De Boer AH & Volkov V** (2003) Logistics of water and salt transport through the plant: structure and functioning of the xylem. *Plant, Cell and Environment* 26, p87-101.
- Fanourakis D, Aliniaefard S, Sellin A, Giday H, Körner O, Nejad AR, Delis C, Bouranis D, Koubouris G, Kambourakis E, Nikoloudakis N, Tniklidis G** (2020) Stomatal behaviour following mid- or long-term exposure to high relative air humidity: A review. *Plant Physiology et Biochemistry*. 52p.
- Ferguson IB & Bollard EG** (1976) The Movement of Calcium in Woody Stems. *Annals of Botany* 40:169, p1057-1065.
- Goudriaan J** (1977) Crop micrometeorology: a simulation study. Wageningen University and Research.
- Nelson JA & Bugbee B** (2015) Analysis of Environmental Effects on Leaf Temperature under Sunlight, High Pressure Sodium and Light Emitting Diodes. *PLoS ONE* 10(10)
- Nijse J, van Meeteren U, Keijzer CJ** (2001) Quantification of emboli by visualization of air filled xylem vessels. *Acta Horti* 543, p245-250.
- Nobel PS** (2010) *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. Amsterdam, Academic Press (2009), pp. 582.
- Schymanski SJ & Or D** (2016) Wind increases leaf water use efficiency. *Plant, Cell & Environment*, 39: p1448–1459.
- Trouwborst G, Voogt J, Reijm P, Hogewoning SW** (2019) Monitoring van huidmondjesopening in de kas: ontwikkeling en validatie. *Plant Lighting*. 68p.
- Voogt J & van Weel P** (2008) Climate Control Based on Stomatal Behavior in a Semi-Closed Greenhouse System 'Aircokas'. Wageningen UR, Department of Greenhouse Horticulture, 6p.
- White PJ & Broadley MR** (2003) Calcium in Plants. *Horticulture Research International*. *Annals of Botany* 92, p487-511.

Bijlage I | Testprocedure houdbaarheidsproeven

Chrysanthemum testprocedure retail

Conditions transportsimulation 1, grower- UK pack station

Duration	3 days
Temperature	5 degrees Celsius
Relative humidity	80-90 %
Packaging	dry, box
Light level	dark

Conditioes transportsimulation 2, Bouquetmaker -> store

Action	trim stems 5 cm, cut flowers to 60 cm, add retail sleeve, pack in Procona
Duration	2 days
Temperature	5 degrees Celsius
Relative humidity	80-90 %
Packaging	Procona, sleeve
Light level	dark
Bucket solution	Chrysal Professional 2 inline

Conditions store simulation

Action	remove cardbox, do not refresh solution, put flowers in testroom
Duration	5 days
Temperature	20 degrees Celsius constant
Relative humidity	60 % +/- 10 %
Packaging	sleeve
Light level	1000 lux, 12 uur per dag
Light colour	Philips TL 84
Bucket solution	Chrysal Professional 2 inline

Conditions consumer phase

Action	remove sleeve & abundant leaves (below vase rim), trim stems 2 cm
	dissolve flower food properly
Number of stems per sample	2 vases x 5 stems each
Duration	max 21 days
Temperature	20 graden Celsius constant
Relative humidity	60 % +/- 10 %
Light level	1000 lux, 12 hrs per day
Light colour	Philips TL 84
Air refreshment	every 2 hours
Air velocity	< 0,5 m/s
Ethylene concentration *	<0,01 ppm,
Vase contents	1 liter Chrysal clear Chrysanthemum solution, no refreshment
	add tap water when 0,25 liter of solution is left in vase

FloraHolland Research & development dpt.

Tabel I.1. Testprocedure voor chrysant zoals Royal FloraHolland deze uitvoert.

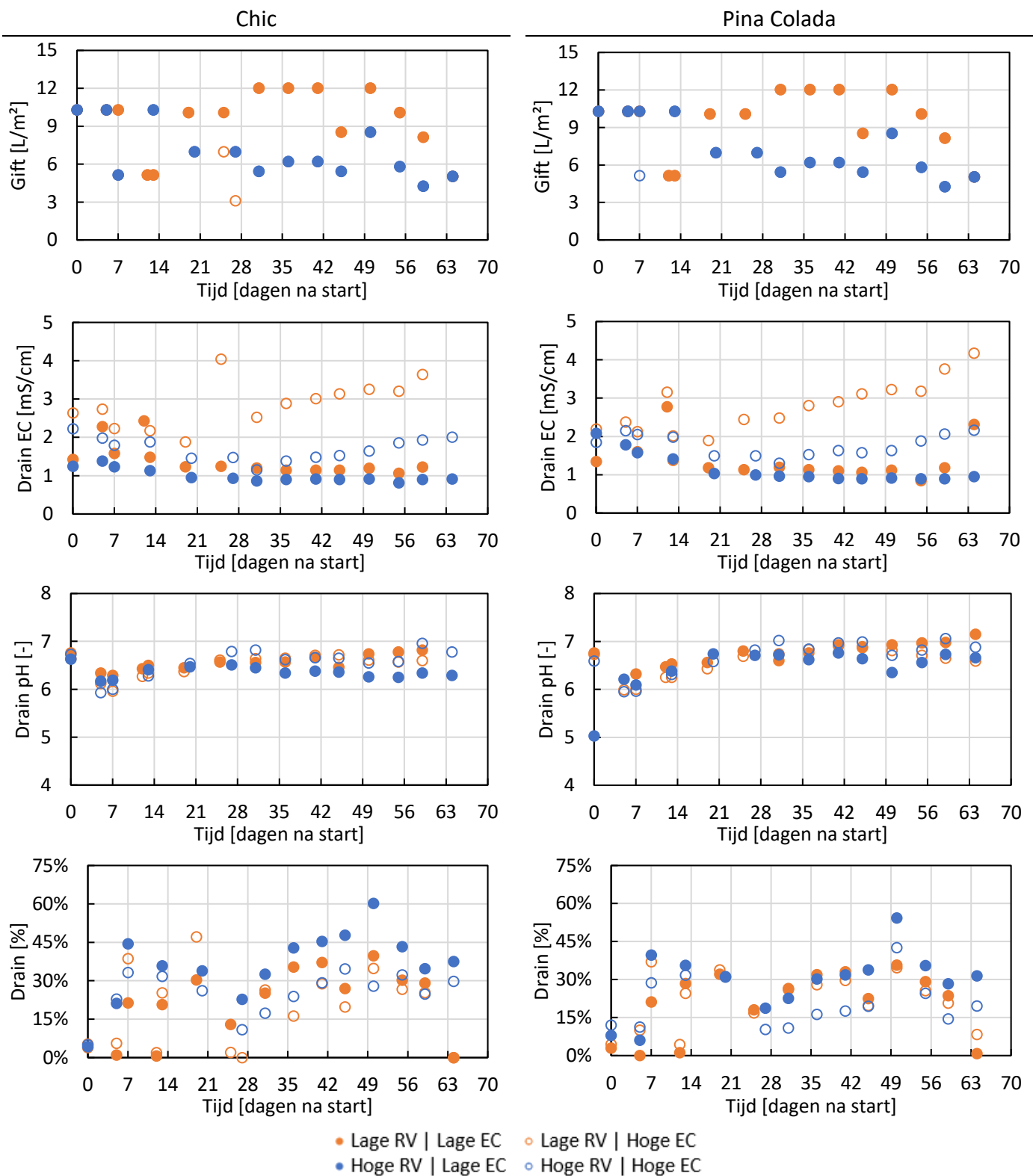
Bijlage II | Samenstelling van het giftwater

Tabel II.1. Samenstelling van het giftwater van beide proefrondes bij een EC van 1.75 (alleen proefronde 1) en 3.50.

Parameter	Eenheid	EC 1.75	EC 3.50
Gift-pH	[-]	6.0	6.0
Gift-EC	[mS/cm]	1.8	3.5
NO ₃ ⁻	[mmol/L]	8.9	17.8
H ₂ PO ₄ ⁻	[mmol/L]	1.3	2.5
SO ₄ ⁻	[mmol/L]	2.3	4.5
NH ₄ ⁺	[mmol/L]	0.3	0.6
K ⁺	[mmol/L]	5.5	11.0
Ca ²⁺	[mmol/L]	3.6	7.3
Mg ²⁺	[mmol/L]	1.9	3.9
Cl ⁻	[mmol/L]	2.2	4.5
Fe	[μmol/L]	26.0	52.0
Mn	[μmol/L]	11.1	22.3
Zn	[μmol/L]	3.6	7.3
B	[μmol/L]	11.9	23.8
Cu	[μmol/L]	1.3	2.5
Mo	[μmol/L]	0.4	0.8

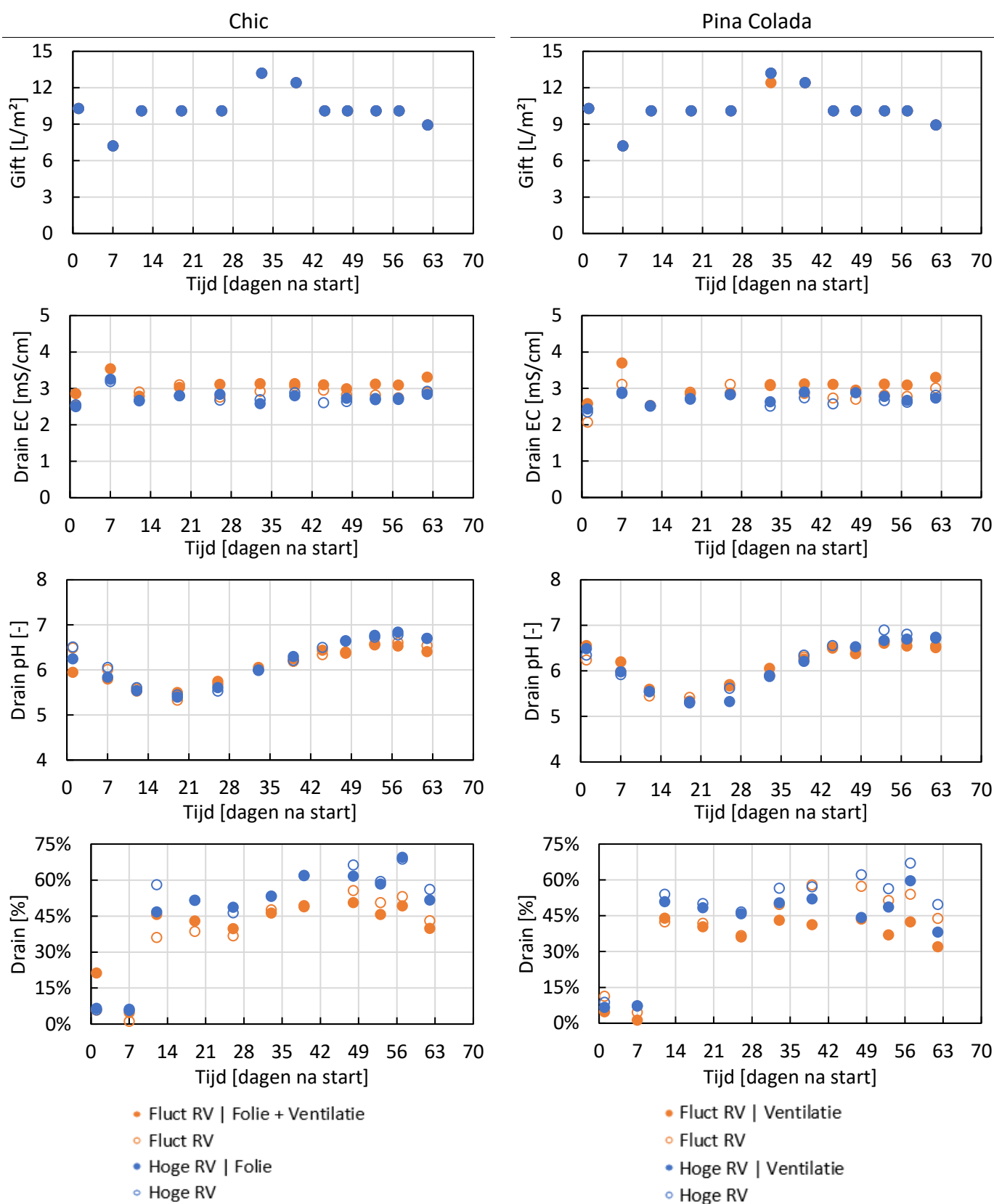
Bijlage III | Gift- en draincijfers

Proefronde 1



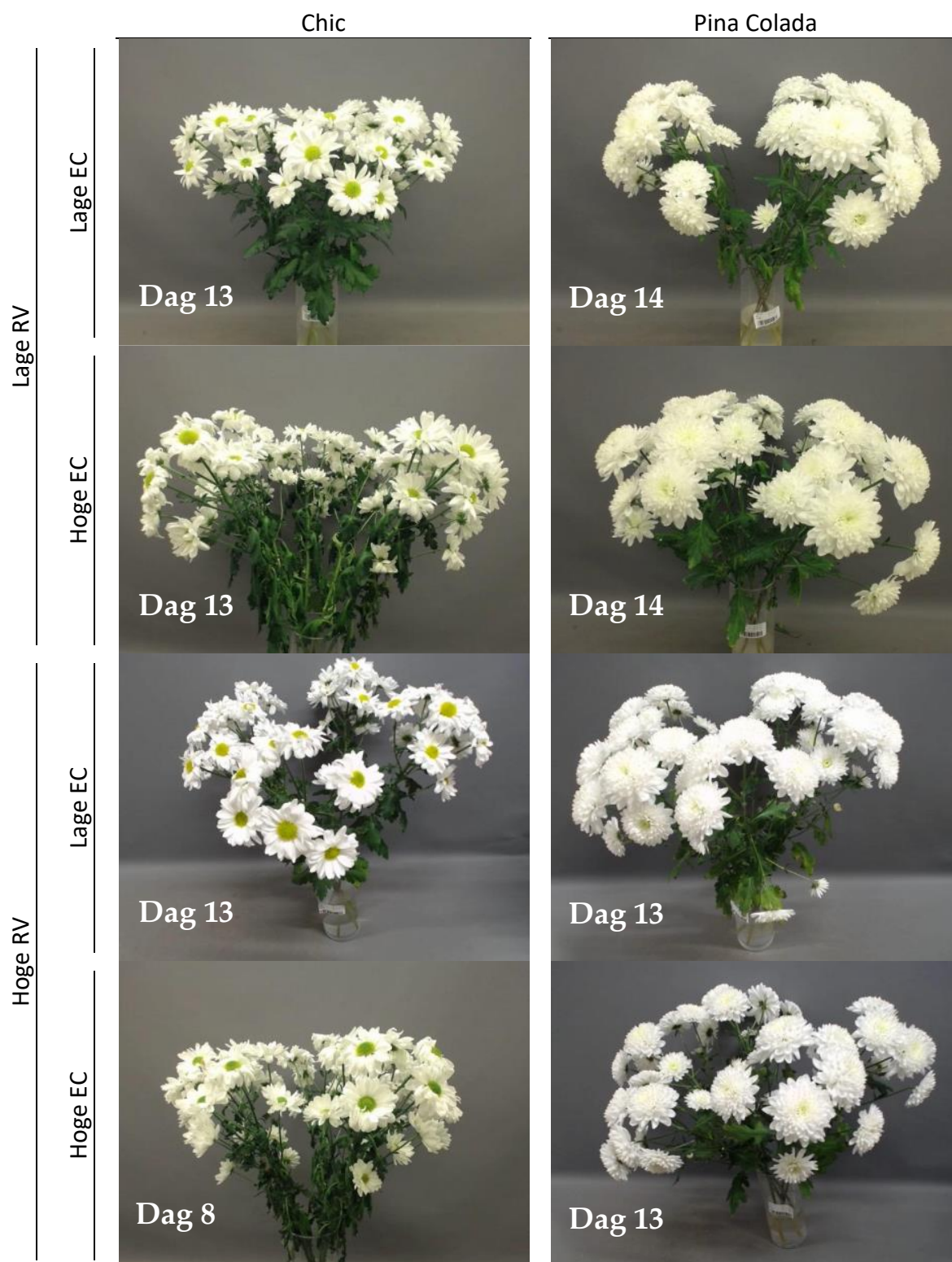
Figuur III.1. Hoeveelheid giftwater en draincijfers over de hele teelt van proefronde 1 bij de hoge en lage RV (blauw en oranje) en de hoge en lage EC (open en gesloten symbolen) behandelingen. Bij de grafiek voor gift zijn niet alle symbolen zichtbaar, omdat binnen een RV behandeling evenveel werd gegoten.

Proefronde 2



Figuur III.2. Hoeveelheid giftwater en draincijfers over de hele teelt van proefronde 2 van hoge en fluctuerende RV (blauw en oranje) en ventilatie en/of foliebehandelingen (open symbolen). Bij de grafiek voor gift zijn niet alle symbolen zichtbaar, omdat binnen een RV behandeling evenveel werd gegoten.

Bijlage IV | Foto's houdbaarheidsproef



Figuur IV.1. Foto's van het moment van afschrijven van vazen in de uitbloeioproef van de eerste proefronde. In de afbeeldingen is met tekst het moment van de foto weergegeven in dagen na start van de consumentenfase.

		Chic	Pina Colada
Fluct RV	-	 Dag 12	 Dag 14
	Folie + Ventilatie	 Dag 12	 Dag 14
Hoge RV	-	 Dag 12	 Dag 14
	Folie	 Dag 14	 Dag 14
		Ventilatie	Ventilatie

Figuur IV.2. Foto's van het moment van afschrijven van vazen in de uitbloeioproef van de tweede proefronde. In de afbeeldingen is met tekst het moment van de foto weergegeven in dagen na start van de consumentenfase.

Bijlage V | Nutriëntensamenstelling

Tabel V.1. Nutriëntensamenstelling van de grondmonsters bij eindooft en van het substraat bij start van de proef. Alle concentraties zijn gecorrigeerd naar een EC van 1.

		[-]	[mS/cm]	[mmol/L]			[μmol/L]												
Behandeling		pH	EC ¹	NH ₄	NO ₃	Cl	K	Na	Ca	Mg	PO ₄	Si	SO ₄	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Chic	Lage RV Lage EC	6.4	0.4	<0.1	<0.1	1.7	2.7	2.7	1.5	0.7	0.5	0.5	2.9	8.3	<0.1	2.4	10.1	0.5	0.2
	Lage RV Hoge EC	6.5	1.1	<0.1	2.3	1.8	2.9	1.1	1.5	0.9	0.5	0.2	2.0	4.7	<0.1	2.5	9.1	0.3	0.1
	Hoge RV Lage EC	6.6	0.3	<0.1	<0.1	1.3	2.7	2.7	1.3	0.7	0.7	0.7	2.7	12.3	<0.1	2.0	8.1	0.3	0.3
	Hoge RV Hoge EC	6.5	0.6	<0.1	0.4	2.0	3.2	2.0	1.3	0.7	0.5	0.4	2.3	5.9	<0.1	1.4	7.1	0.2	0.2
Pina	Lage RV Lage EC	6.5	0.4	<0.1	<0.1	1.4	2.8	2.8	1.4	0.8	0.6	0.6	2.8	11.1	<0.1	1.9	14.1	0.6	0.3
Colada	Lage RV Hoge EC	6.4	1.1	<0.1	2.1	1.7	3.0	1.2	1.5	1.0	0.5	0.2	2.3	4.5	<0.1	1.8	13.1	0.2	0.1
	Hoge RV Lage EC	6.6	0.3	<0.1	<0.1	0.7	2.5	2.9	1.4	0.7	0.4	0.7	2.9	12.9	<0.1	1.4	12.1	0.4	0.4
	Hoge RV Hoge EC	6.6	0.6	<0.1	0.8	1.6	3.2	1.7	1.3	0.8	0.5	0.3	2.5	6.8	<0.1	1.7	11.1	0.2	0.2
Substraat bij start van de proef		5.7	0.5	2.1	4.4	0.8	2.1	1.2	1.0	0.4	0.6	0.4	1.0	8.8	3.3	1.2	15.1	0.2	0.2

¹Originele EC voor omrekening naar een EC van 1.

Tabel V.2. Nutriëntensamenstelling en drogestofpercentage van de bladeren bij de eindooft.

		[%]	[mmol/kg DS]											[μmol/kg DS]			[-]
Behandeling		Droge- stof	Totale stikstof	K	Na	Ca	Mg	SO ₄	P	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Cu	K:Ca	
Chic	Lage RV Lage EC	8.1	3247	1669	<10	479	137	94	159	1.8	1.1	0.6	2.8	22	116	3.5	
	Lage RV Hoge EC	7.0	4135	2033	<10	445	167	115	213	1.7	1.1	0.6	3.4	21	120	4.6	
	Hoge RV Lage EC	9.1	2822	1354	<10	538	115	86	134	1.6	1.0	0.6	2.4	16	96	2.5	
	Hoge RV Hoge EC	7.3	3719	1392	<10	378	118	75	130	2.0	0.8	0.5	2.2	16	122	3.7	
Pina	Lage RV Lage EC	7.2	3389	1351	<10	481	163	61	335	1.3	0.7	0.3	1.8	<10	70	2.8	
Colada	Lage RV Hoge EC	6.1	4009	1747	<10	442	192	67	365	1.3	1.1	0.4	2.1	<10	86	4.0	
	Hoge RV Lage EC	7.2	2926	1648	<10	682	196	66	411	1.6	1.0	0.5	1.9	<10	80	2.4	
	Hoge RV Hoge EC	5.9	4038	1749	<10	590	224	70	297	1.7	1.2	0.5	1.7	<10	98	3.0	

Bijlage VI | Nutriëntenbehoefte

De vraag is geopperd of de minimaal benodigde verdamping te berekenen valt aan de hand van de nutriëntensamenstelling van de plant. Als deze bekend is, kan berekend worden hoeveel liter water met een bepaalde voedingssamenstelling moet worden verdampt. Hierbij wordt dan de aanname gedaan dat de voedingselementen passief met de transpiratiestroom meegaan de plant in. Dit is voor een aantal elementen zeker niet het geval maar de berekening kan wel een indruk geven of de plant theoretisch wellicht met minder water toe kan.

Onderstaande berekening is gemaakt met enkele aannames, namelijk:

- Dat een volledige tak dezelfde nutriëntensamenstelling heeft als het blad (Tabel V.2). Dus takdrooggewicht maal concentratie.
- Dat alle nutriënten die uit het substraat zijn verdwenen, opgenomen zijn door het gewas (Tabel V.1). Dus eindanalyse minus start-analyse en rekening houdend met volume van het substraat.
- Dat alle nutriënten die aangeboden zijn via de voedingsoplossing ook opneembaar zijn (Tabel II.1), geen rekening houdend met de nutriënten in de drain.
- De benodigde nutriënten gedeeld door de concentratie in het gietwater geeft het aantal benodigde liters.

De totale berekende waterbehoefte per element zou niet hoger kunnen uitvallen dan de daadwerkelijk gegeven hoeveelheid voedingsoplossing in deze berekening. Als dat wel zo is, of wanneer het deze behoefte dicht bij de gegeven hoeveelheid ligt kan het zo zijn geweest dat het gewas meer van dit element had kunnen opnemen dan dat er is aangeboden. Dat wil overigens niet zeggen dat het ook direct groeibeperkend is geweest.

De berekening suggereert dat voornamelijk stikstof en kalium en bij Pina Colada ook fosfaat volop worden opgenomen. Bij kalium lijkt er zelfs een grotere behoefte te zijn geweest dan wat er aangeboden werd bij de hoge RV in combinatie met lage EC, waarbij voor Pina Colada dit ook gold voor fosfaat. Voor alle andere elementen en behandelingen was de inhoud van de gift groot genoeg om te voldoen aan de vraag vanuit het gewas.

Tabel VI.I. Totale gerealiseerde watergift per behandeling en de berekende waterbehoefte per element om aan de nutriëntenvraag te voldoen bij het gemeten takgewicht en drogestofpercentage. Er is aangenomen dat de nutriëntensamenstelling van de tak gelijk is aan die van blad en dat de nutriënten in het substraat volledig beschikbaar waren.

Element	Eenheid	Chic	Chic	Chic	Chic	Pina Colada	Pina Colada	Pina Colada	Pina Colada
		Lage RV	Lage RV	Hoge RV	Hoge RV	Lage RV	Lage RV	Hoge RV	Hoge RV
		Lage EC	Hoge EC	Lage EC	Hoge EC	Lage EC	Hoge EC	Lage EC	Hoge EC
Gift	[L/m ²]	141	141	97	97	141	141	102	97
N _{tot}	[L/m ²]	86	86	69	67	104	88	77	88
K	[L/m ²]	118	77	88	57	100	70	110	80
Ca	[L/m ²]	51	25	54	23	55	27	71	40
Mg	[L/m ²]	27	18	23	14	35	22	40	29
S	[L/m ²]	16	11	15	7	11	7	12	8
P	[L/m ²]	38	35	31	23	101	65	110	59
Fe	[L/m ²]	20	14	19	14	18	11	19	16
Mn	[L/m ²]	17	10	13	6	6	11	15	16
Zn	[L/m ²]	67	33	65	32	36	25	44	36
B	[L/m ²]	46	36	30	16	16	14	15	12
Mo	[L/m ²]	21	11	16	9	<6	<6	<6	<6
Cu	[L/m ²]	36	20	30	22	23	15	15	20

Bijlage VII | Samenvattingen deelrapporten II, IV & V

Samenvatting deelproject IV | Verdamping komkommer (WUR)

Dit rapport beschrijft een experiment dat is uitgevoerd tussen september en december 2023 in twee daglichtloze ruimtes (klimaatkamers in de “Vertical Farm” faciliteit van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk, ingericht voor hoge draad teelten) om te begrijpen of continu lage verdampingssnelheden tijdens de nacht plant afwijkingen en/ of verminderde productie kunnen veroorzaken. Voor het beperken van de nachtverdamping is gebruik gemaakt van een hoge RV (een lage Vocht Deficit (VD)) in een van de cellen. De verdamping werd gekwantificeerd met weeggoten. Voor het onderzoek is een komkommer gewas cv. Dee Flexion uit zaad gedurende 83 dagen geteeld bij een temperatuur overdag van 24,5 °C (licht aan) en 's nachts van 21,5 °C (licht uit). Belicht werd gedurende 16 uur per dag met LED lampen (spectrum 7%B; 6%G; 87%R met een intensiteit van 286 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ plus 12% FR), totaal 16,5 mol PAR $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ en 2 mol FR. Overdag hanteren we een relatieve vochtigheid van 75% in beide cellen; de nacht RV was in de referentieafdeling op 88% ingesteld (VD van 2 g/Kg), en in de behandeling Hoge nachtelijke RV op 95% (VD van 0,8 g/Kg). De plantgroei en ontwikkeling, de vruchtontwikkeling en de productie zijn in de tijd nauwkeurig bijgehouden. Op verschillende momenten zijn gewasmonsters geanalyseerd om te onderzoeken of de verschillende transpiratiesnelheden het nutriëntentransport naar jonge en oude bladeren beïnvloeden.

De gasuitwisseling (CO_2 opname) is overdag gemeten. Ook is de huidmondjes dichtheid en grootte en de snelheid van uitdroging van afgesneden bladeren bepaald, om inzicht te krijgen in de invloed van de verschillen in nachtverdamping op het aantal, grootte en werking van de huidmondjes. Bij de laatste oogst is ook de houdbaarheid van vruchten uit beide nachtverdamping behandelingen onderzocht.

Uit de metingen blijkt dat het aanhouden van een 59% lager VD in de nacht de verdamping verlaagt met 43% en heeft ook een licht remmend effect op de verdamping overdag (6%). Dit verschil kan niet verklaard worden uit verschillen in huidmondjes dichtheid of grootte tussen de behandelingen. De geremde verdamping heeft geen negatieve effecten laten zien voor de opname van Calcium of andere elementen uit de voedingsoplossing. Er zijn geen afwijkingen aan het gewas geconstateerd. Gewasgroei en ontwikkeling van het gewas, de uitgroeiduur van de vruchten van bloem tot oogst, het aantal vruchten of de grootte of het gemiddeld gewicht van de vrucht en ook de houdbaarheid van de vruchten waren in beide behandelingen gelijk. Mogelijk zijn er geen negatieve effecten van de verlaagde verdamping in de nacht omdat deze is afgewisseld met dagcondities die niet beperkend waren voor de verdamping (VD 4,9 g/kg). In vervolg experimenten zou de verdamping in de nacht verder kunnen worden beperkt, al dan niet in vergelijking met het beperken ervan overdag om meer te leren over de effecten van minimale verdamping op het gewas en de productie.

Dit experiment is onderdeel van het hoofdproject “Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast”, waar drie kennisinstellingen (Wageningen UR Glastuinbouw, Delphy en Plant Lighting) ieder met een ander gewas (naast Komkommer ook Tomaat en Chrysant) met financiering van het programma Kas als Energiebron aan werken. De werkzaamheden zijn samengevat in 4 afzonderlijke rapporten. De samenwerking is voortgezet in het onderzoeksproject “Verdamping en vochtbalans van plant en kas in een energiezuinige teelt” dat met financiering van de TopSector en Stichting Kijk/ Glastuinbouw Nederland is gestart.

Samenvatting deelproject V | Verdamping tomaat (Delphy)

Om in 2040 klimaatneutraal te zijn en rendabel tomaten belicht te kunnen telen, wordt de overstap naar full-LED belichting gezien als cruciaal. Dit onderwerp wordt onderzocht in verschillende proeven, maar ook in de praktijk worden ervaringen met full-LED belichting opgedaan. Bij de overstap naar full-LED belichting verandert de energiebalans van de kas. LED-belichting weet elektra efficiënter om te zetten in (PAR-) licht, met als gevolg een afname van Nabij-infrarood (NIR). Om dit verlies aan warmtestraling op te vangen wordt vaker geschermd, met een hogere luchtvochtigheid tot gevolg. Deze situatie kan leiden tot een beperkte verdamping en daarmee opname van voldoende water en nutriënten. In het koepelproject “Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel tot toegepast” doen Wageningen UR, Plant Lighting en Delphy Improvement Centre onderzoek naar de invloed van beperkte verdamping in verschillende gewassen. In dit deelproject ligt de focus op de tomatenteelt onder full-LED belichting. Hierin werd onderzocht hoeveel de verdamping beperkt wordt bij een hogere luchtvochtigheid, of de voedingsopname gecompenseerd kan worden door een hogere giet-EC, en of een lagere verdamping leidt tot problemen met vruchtkwaliteit.

Voor dit project zijn twee onderzoekskassen met elk een oppervlakte van 150 vierkante meter identiek uitgerust met full-LED belichting (intensiteit $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), een verduisterscherm, energiescherm, en verticale ventilator. Het ras Perimos (Enza, grove tros) werd geplant op 6 oktober met een stengeldichtheid van 3 stengels per m^2 (2 stengels per plant). De eerste periode van de proef werd er geen verschil gemaakt tussen de twee kassen om het onderzoek te kunnen uitvoeren met een identiek en volbelast gewas. Vanaf 20-11-2023 werd per kas verschil gemaakt in de luchtvochtigheid door middel van ventileren boven gesloten scherm en kieren. In de kas met hoge luchtvochtigheid werd in de belichte nacht en overdag geteeld met een vochtdeficit van $1,5\text{--}2 \text{ g}/\text{m}^3$, in de kas met lage luchtvochtigheid werd geteeld met een vochtdeficit van $3\text{--}3,5 \text{ g}/\text{m}^3$. Daarnaast werden er in elke kas ook twee EC-behandelingen ingezet. Voor de hoge EC werd er een giet-EC van $4,5 \text{ mS}/\text{cm}$ aangehouden en voor de lage EC werd er een giet-EC van $3,5$ aangehouden. De verdamping werd gemeten aan de hand van de weegschaalmethode. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van weegschalen en loadcellen om zo de waterbalans van de plant in kaart te brengen.

De belichting is stapsgewijs opgebouwd tot 17 mol per dag, waarbij er met maximaal 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belicht werd voor maximaal 18 uur. Gedurende de belichte nacht en overdag werden de vochtverschillen aangehouden, waarbij de gewenste temperatuur voor beide kassen hetzelfde was. De etmaaltemperatuur van 20,3°C was in beide kassen gelijk. Het gerealiseerde vochtdeficit in de laag vocht kas was 3,1 g/m³ en in de hoog vocht kas 2 g/m³. Het verschil werd voornamelijk gerealiseerd door te luchten boven een gesloten scherm, bij onvoldoende vochttransport werd gekierd. Daarnaast was er in de laag vocht kas ook meer buis gebruikt (19% meer ten opzichte van de hoog vocht kas). Volgens verwachting verdampten de planten in de laag vocht kas meer dan de planten in de hoog vocht kas (17% meer). Daarbij had de EC invloed op de opname van water. Door de verminderde opname van water door de hogere EC, kon de plant minder verdampen (tussen de 10 en 20%).

In de gewasontwikkelingen werden er weinig verschillen waargenomen. Echter werd er in de donkerste periode oedeem waargenomen, waar door de hoge luchtvochtigheid schimmelpluis (Botrytis) op ontwikkelde. Dit gebeurde voornamelijk aan de randen van de kas. De LAI en later de productie laten de invloed hiervan zien. Cumulatief werd er meer geoogst in de laag vocht afdeling dan in de hoog vocht afdeling, maar dat is vooral te wijten aan de lagere bladoppervlakte als gevolg van de Botrytis-aantasting. In de laag vocht afdeling bleek een lage EC te zorgen voor een hogere productie, maar in de hoog vocht afdeling juist de hoge EC. Het verschil in vocht zorgde niet voor een verschil in Brix van de vruchten, de EC-behandeling wel, waarbij een hogere EC leidde tot een hogere Brix. Vruchten uit de hoog vocht kas werden sneller zacht dan die uit de laag vocht kas. Dat is in lijn met de voedingsopname van de vruchten, waarin de zachtere vruchten een lager calciumgehalte lieten zien.

Het is mogelijk om met hoog vocht/lage verdamping tomaten te telen, echter lijkt het risico op gewasgezondheidsproblemen groter dan de verwachte risico's voor vruchtkwaliteit en productie. Voldoende uniforme luchtbeweging is cruciaal om te kunnen telen bij hogere vochniveaus en beperkte verdamping. Hoe veel luchtbeweging (en hoe) deze gewenst is blijft een discussiepunt, aangezien er veel verschillende methodes bestaan. Daarbij kan te veel luchtbeweging leiden tot een hoger energieverbruik, doordat een hogere verdamping gerealiseerd kan worden dan noodzakelijk is. Dit wordt dan ook verder onderzocht in het vervolgonderzoek.