

# Verdamping: hoeveel is ervan nodig en hoe kun je het sturen?

LichtEvent, workshop 4

27-03-2024

Stefan van den Boogaart (Plant Lighting), Stijn Jochems (Delphy) & Nieves Garcia (WUR Glastuinbouw)



# Indeling presentatie

- Het project “Kennisonwikkeling over verdamping”
- Theoretisch kader: verdamping, limiterende factoren
- Onderzoek: op zoek naar de grenzen van verdamping
  - Experimenten chrysant (Plant Lighting)
  - Experiment tomaat (Delphy)
  - Experimenten komkommer (WUR Glastuinbouw)
- Hoe gaan we verder na deze eerste experimenten?
- Vragen en discussie

# Aanleiding project “Kennisonwikkeling over verdamping”

- Bij telen met full LED en minder energie in winter 2022-23 zijn er in de praktijk problemen ontstaan
    - Houdbaarheid Chrysant
    - Slechte doorkleuring vruchten, kroonschimmel (tomaat)
    - Broeikoppen, bolblad, vruchtabortie (komkommer)
    - Bladranden, rotkoppen, bloemkleur... (diverse gewassen)
  - De problemen worden toegeschreven aan lagere verdamping
  - Het kunnen toelaten van hogere RV's bespaart energie
- ➔ er is meer kennis nodig over (grenzen van)verdamping (icm LED) bij energiezuinige teelt strategieën

# Samenwerking drie kennisinstellingen

- Plant Lighting: verdamping chrysant (2 teelten)



Hoeveel verdamping, en op welke momenten, is minimaal benodigd voor een goede gewasontwikkeling en houdbaarheid?

- Delphy: verdamping tomaat (1 teelt, lopend)



Leidt lage verdamping in de dagperiode tot kwaliteitsproblemen en productieverlies? Kan een andere EC dit verbeteren?

- WUR Glastuinbouw: verdamping komkommer (1 teelt, 2<sup>e</sup> lopend)



Nachtverdamping (1 teelt) onder gecontroleerde omstandigheden / dag en nachtverdamping (lopend)

# Theoretisch kader van verdamping en de energiebalans

# Waarom moet een gewas verdampen?

- Om CO<sub>2</sub> op te kunnen nemen voor assimilatie? **Nee**
  - Als de huidmondjes open zijn, kan een blad CO<sub>2</sub> opnemen. Dat gaat via diffusie, waarbij de CO<sub>2</sub>-concentratie in het blad lager moet zijn dan buiten het blad.
  - Maar, als de huidmondjes open zijn, hoeft een blad nog niet altijd te verdampen...
- Is energie nodig om te kunnen verdampen? **Ja**
  - Verdamping is een energiedreven proces.
  - De overgang van vloeibaar naar gasvormig water kost 2450 Joule energie per ml water.
  - Energietoevoer kan via straling en via convectie ( $T_{\text{lucht}}$  warmer dan  $T_{\text{blad}}$ ).
  - Dus verdamping kost energie!
- Moeten we verdamping dan zoveel mogelijk vermijden? **Nee**

Verdamping is nodig voor:

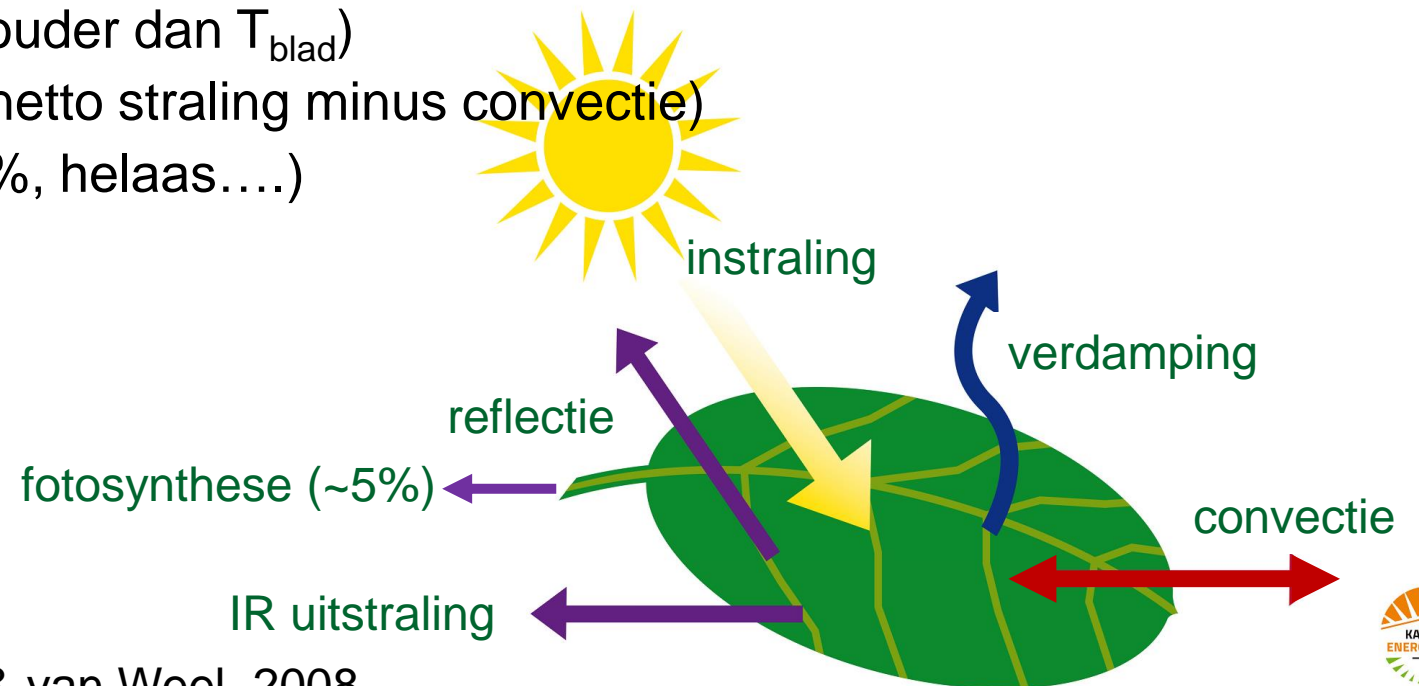
  - Transport calcium en andere minder mobiele nutriënten via de houtvaten.
  - Transport hormonen.
  - Koeling (als het te warm is...!)
- Dus hoe meer verdamping, hoe beter? **Nee**
  - Balans tussen noodzaak (transport) en overmaat (energieverspilling).

## Wat weten we over verdamping?

- Weten we hoeveel een gewas moet verdampen om binnen veilige grenzen te telen? **Nee**
- Weten we op welke momenten van de dag een gewas moet verdampen? **Nee**
  - Is nachtelijke verdamping belangrijk? Of vooral overdag?
  - Mag verdamping een gedeelte van de dag wel heel laag zijn?
  - Maakt het teeltstadium nog uit?
  - Bladeren alleen bovenin of ook onderin gewas?

# Energiebalans bepaalt de verdamping

- Energiebalans wordt opgesteld door:
  - Inkomend:
    - Straling (straling zon en IR-straling van kasdek, scherm, verwarmingsbuizen)
    - Convectiewarmte ( $T_{\text{lucht}}$  warmer dan  $T_{\text{blad}}$ )
  - Uitgaand:
    - Straling (reflectie van straling zon en lampen, en IR-uitstraling van gewas naar scherm of kasdek)
    - Convectiewarmte ( $T_{\text{lucht}}$  kouder dan  $T_{\text{blad}}$ )
    - Verdamping (berekening netto straling minus convectie)
    - Fotosynthese (slechts ~5%, helaas....)





# Wat heeft nog meer invloed op verdamping?

- Luchtbeweging
  - energieoverdracht tussen kaslucht en gewas beïnvloedt convectie-energie voor verdamping.
  - dit kan twee kanten uit!
- Luchtvochtigheid (RV)
  - Geen invloed op stralingsgedreven verdamping.
  - Wel invloed op convectieverdamping ('natte bol verdamping'): hogere RV → lager VD → minder drijvende kracht voor verdamping → blad warmt op → minder overdracht energie kaslucht naar blad.
- EC?
  - Vooral bij erg hoge EC in de mat beperking verdamping?

# Hoe verdamping te stimuleren?

- Meer luchtbeweging realiseren.
  - Meer energieoverdracht van kaslucht naar blad (meer 'natte bol verdamping').
  - Kost warmte als je RV niet laat oplopen.
    - Tenzij je vocht afvoert met latent warmteterugwinning (kost wel elektriciteit).
- Hoger vochtdeficiet door lagere RV en/of hogere kasluchttemperatuur.
  - Meer energieoverdracht van kaslucht naar blad (meer 'natte bol verdamping').
  - Kost warmte om meer vocht af te voeren.
    - Tenzij je vocht afvoert met latent warmteterugwinning (kost wel elektriciteit).
- Minder uitstraling door meer schermen/low e-glas.
  - Let wel op: ook minder vochtafvoer door condensatie tegen glas.
    - Hoe kan je vocht beheersen zonder energievoordelen teniet te doen?
- Meer belichten.
  - Meer stralingsenergie.
  - Nb vervangen SON-T door LED geeft bij een gelijke intensiteit PAR juist minder straling, want LED straalt alleen PAR uit en SON-T straalt PAR en nabij-infrarood (NIR) uit.

Kennisontwikkeling over verdamping:  
van fundamenteel naar toegepast

Experimenten Chrysant



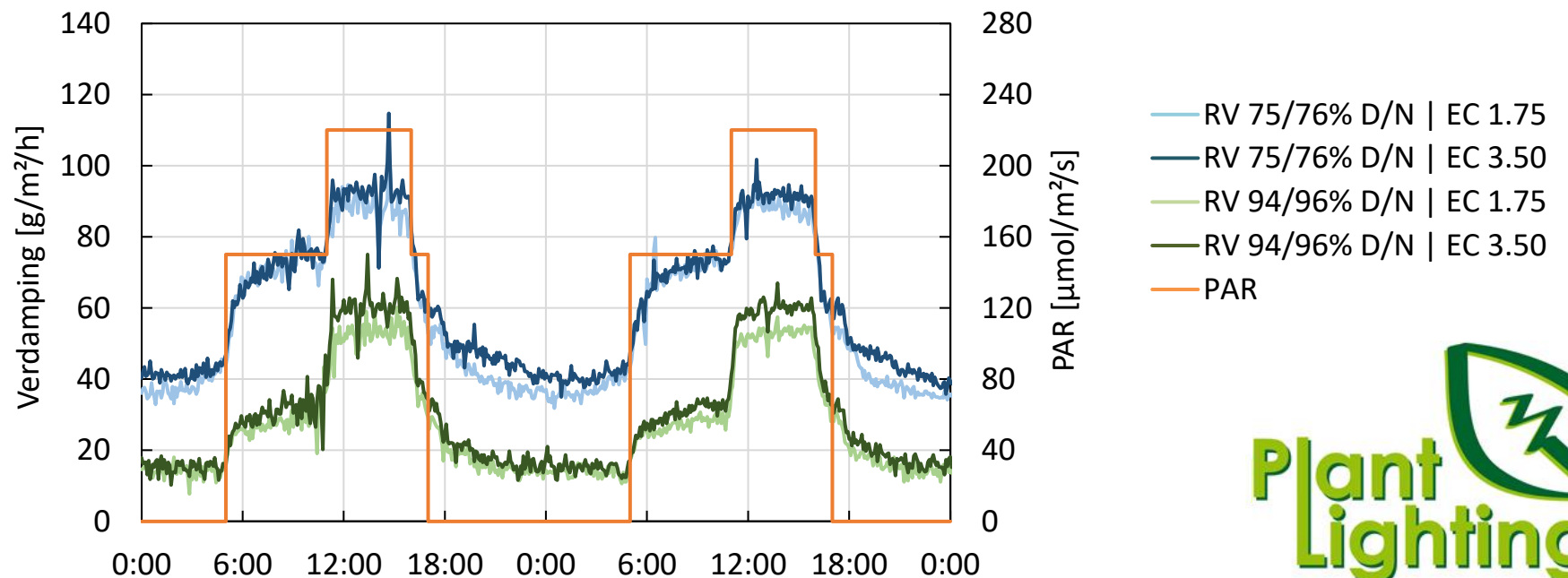
## Uitvoering chrysanten verdampingsonderzoek



- Onderzoeksvraag: Hoeveel verdamping, en op welke momenten, is minimaal benodigd voor een goede gewasontwikkeling en houdbaarheid?
- Verdampingsproeven in twee klimaatcellen bij Plant Lighting te Bunnik.
  - Dit biedt de mogelijkheid om gelijktijdig verschillende klimaatcondities te toetsen.
- Teeltsystemen die volledig rusten op weegschalen, om zo de verdamping over de tijd te kunnen monitoren.
- Onderzoek naar contactloze meting verdamping met sensoren.

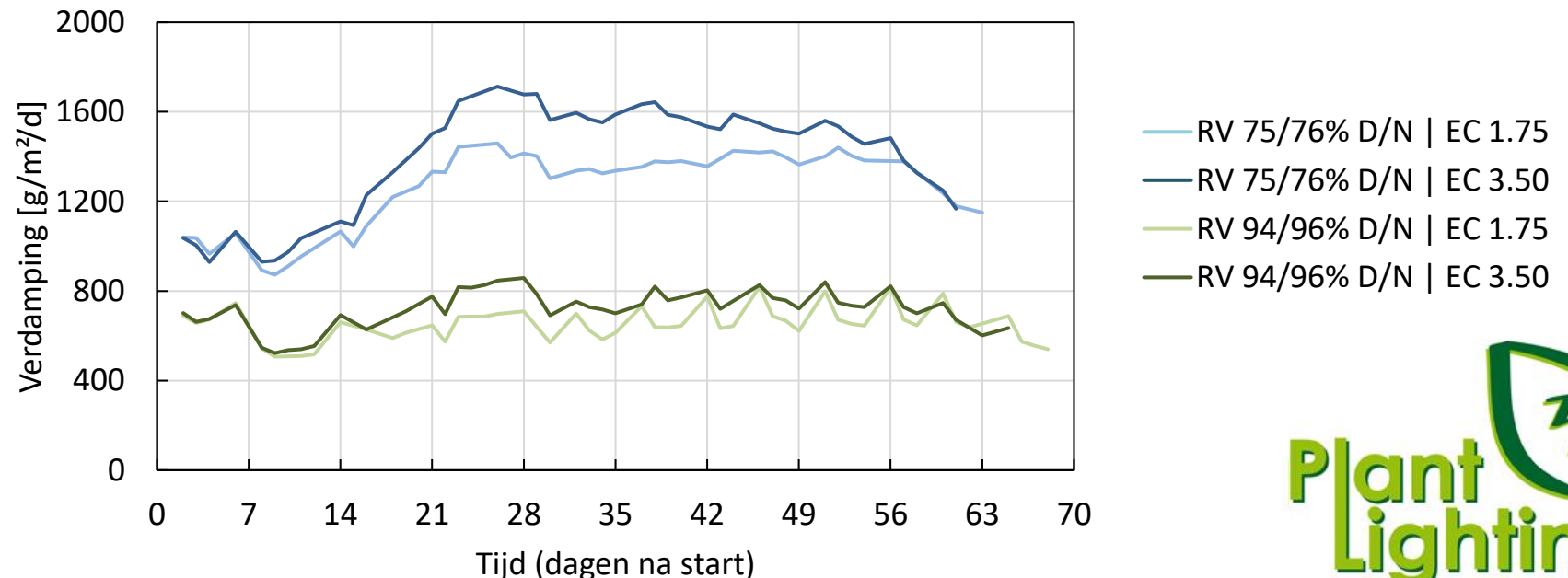
# Verdamping op uurbasis bij verschillende RV's en EC's

- Reageert de verdamping van een chrysantengewas snel op wijzigingen in het klimaat?
  - Ja, waarbij deze sneller opschaalt dan afschaalt.
- Is het aandeel nachtelijke verdamping verwaarloosbaar?
  - Nee, in deze proef is 1/3 van de totale verdamping in de nacht gerealiseerd.
- Verdamping kan flink gereduceerd worden door onder een hoge RV te telen.
  - NB straling en luchtuitwisseling zijn gelijk tussen behandelingen, dus het verschil zit in convectie.
- De behandelingen met een hoge giet EC hebben iets meer verdamping.



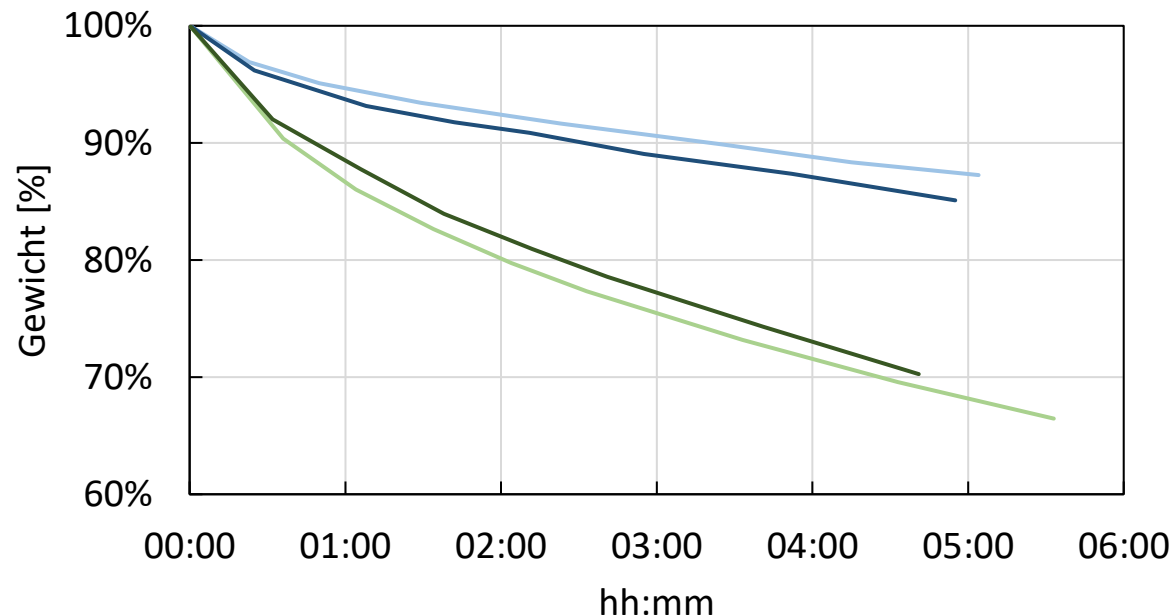
# Verdamping op dagbasis bij verschillende RV's en EC's

- Resulteert gewasgroei in meer verdamping?
  - Ja, in de eerste weken wanneer volop blad wordt aangelegd neemt de verdamping nog toe.
    - NB eerste 7 dagen wordt bij chrysant een lange dag gegeven (fors hogere lichtsommen).
- Verschillen in verdamping tussen de hoge en lage EC behandelingen zijn duidelijker zichtbaar in de dagelijkse verdampingspatronen.
  - Hoge EC behandelingen beginnen in de tweede week meer te verdampen.
    - Dit komt zeer waarschijnlijk door het feit dat deze planten meer groei ondervinden, grover blad.
- Verdamping neemt af nadat bloemen open gaan (lage RV was de bloemontwikkeling verder).



# Huidmondjestest van bladeren uit verschillende RV's en EC's

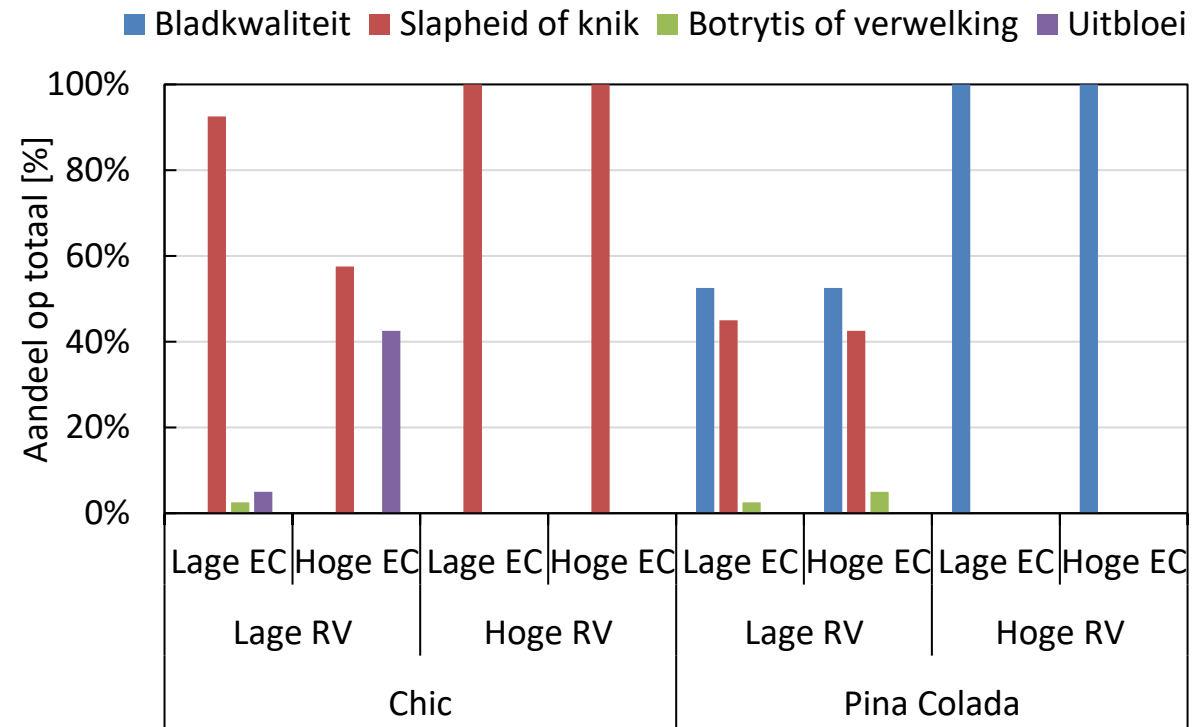
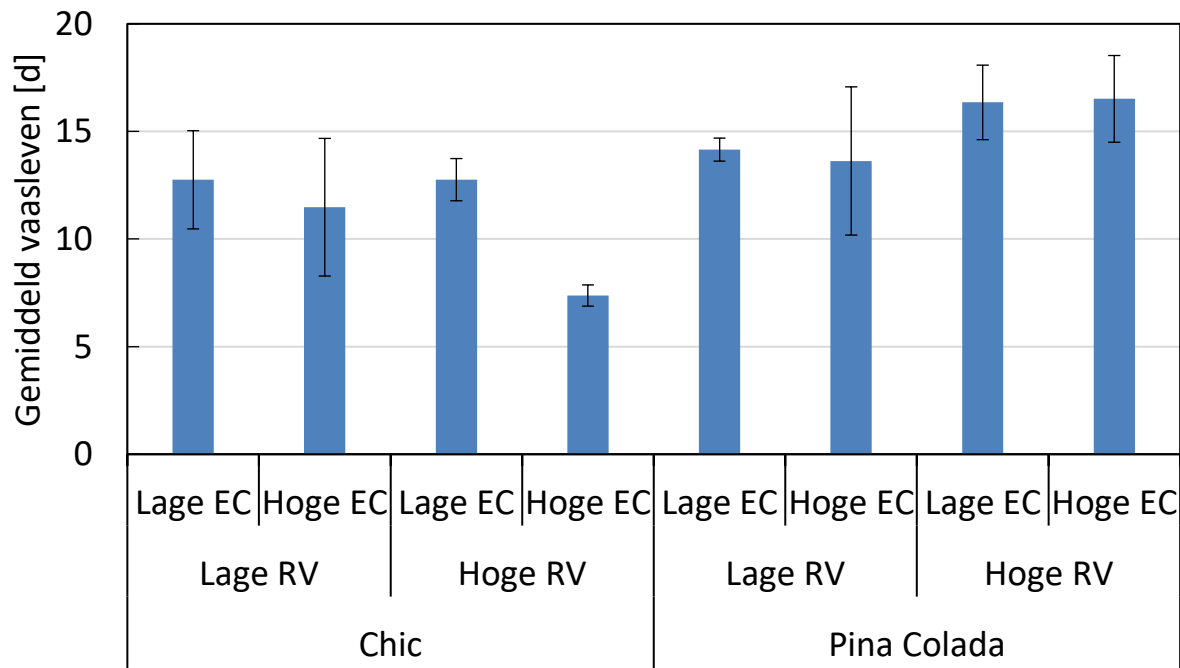
- Huidmondjestest wordt uitgevoerd door geplukt blad bij huiskamercondities te bewaren en deze frequent te wegen.
- Verliezen bladeren geteeld bij een hoge RV meer of minder vocht?
  - Meer, door acclimatisatie van de huidmondjes aan de hoge RV sluiten deze niet (goed) meer. Mogelijk dus dysfunctionele "luie" huidmondjes.
- De lage EC behandelingen, welke ook minder blad hadden, resulteerde niet in beter functionerende huidmondjes.



— RV 75/76% D/N | EC 1.75  
— RV 75/76% D/N | EC 3.50  
— RV 94/96% D/N | EC 1.75  
— RV 94/96% D/N | EC 3.50

# Vaasleven

- Resulteert het telen bij een hoge RV in een beter of slechter vaasleven?
  - Soort afhankelijk. Chic lijdt er wel onder.
- Reden van afschrijving wordt sterk bepaald door de RV.
  - Bij Chic | Hoge RV wordt alles op slapheid afgeschreven.
  - Bij Pina Colada is houdbaarheid in alle behandelingen goed.





# Samenvatting verdampingsonderzoek chrysant (tot op heden)

## Verdamping:

- Een lage RV is een sterke aanjager van de verdamping, bijna een verdubbeling van verdamping op etmaal basis t.o.v. hoge RV.
  - Gelijke straling, dus convectie onder laag RV veel hoger.
- Een lage EC zorgde voor een gelimiteerde groei/ontwikkeling van het gewas.
  - Dit resulteerde(indirect) in minder verdamping.

## Naoogst kwaliteit:

- Visuele takkwaliteit bij oogst in alle behandelingen ok
  - Verdampingstest bladeren: huidmondjesprobleem onder hoge RV
- Vaasleventest laat wel goede houdbaarheid zien m.u.v. Chic Hoge RV/Hoge EC

## Is de houdbaarheid een verdampingsprobleem of een klimaatsprobleem?

- In de vervolg rondes wordt dit verder uitgezocht.

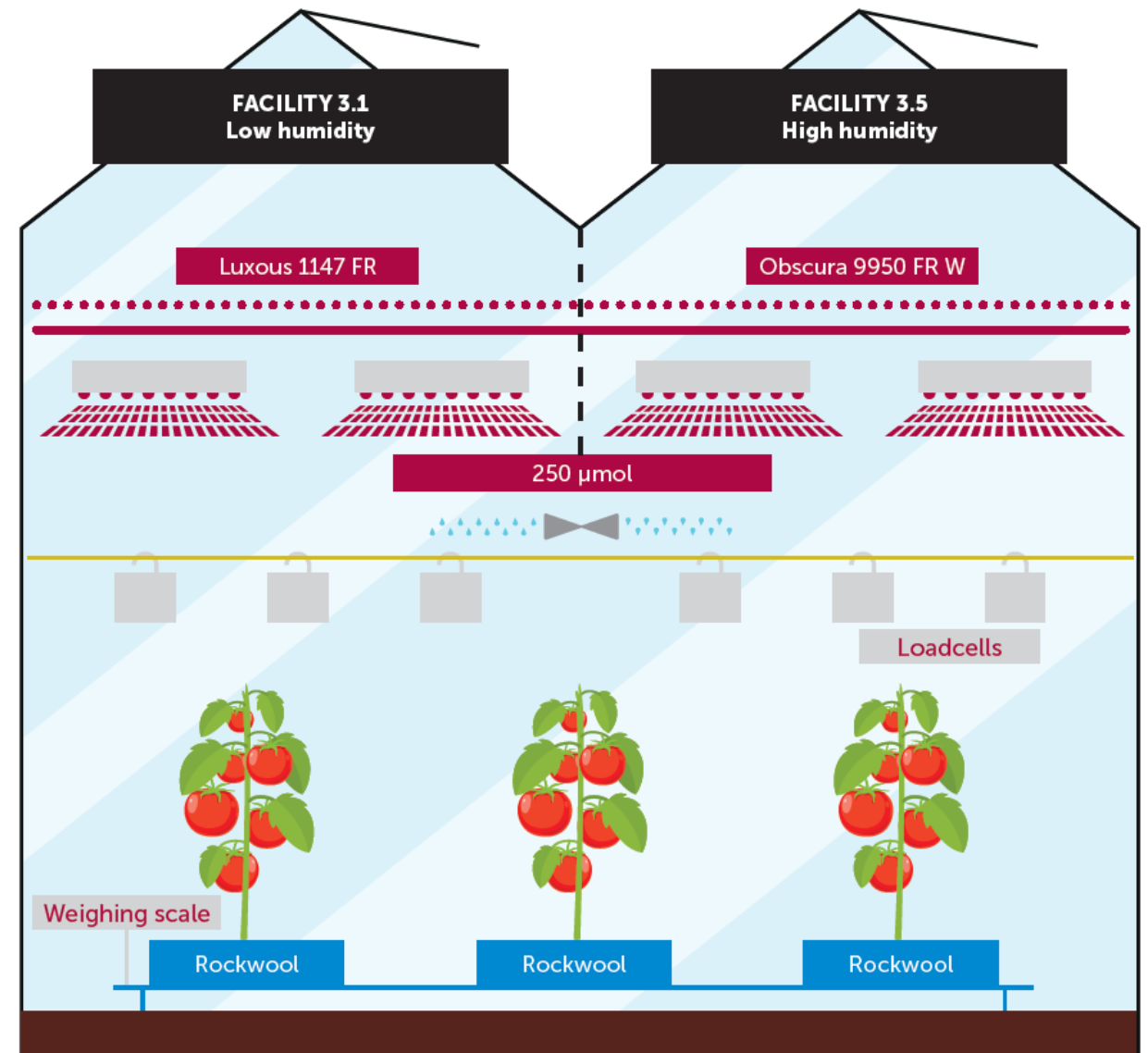
# Kennisonontwikkeling over Verdamping Proef in Full-LED Tomaat



Worldwide Expertise for Food & Flowers

# Aanpak - Uitrusting

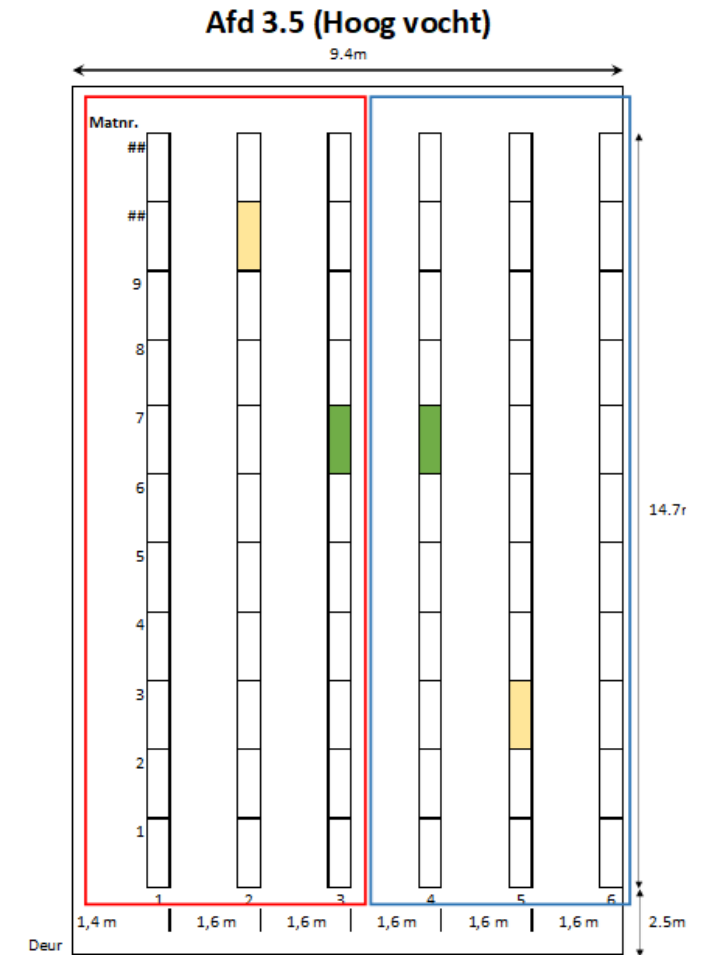
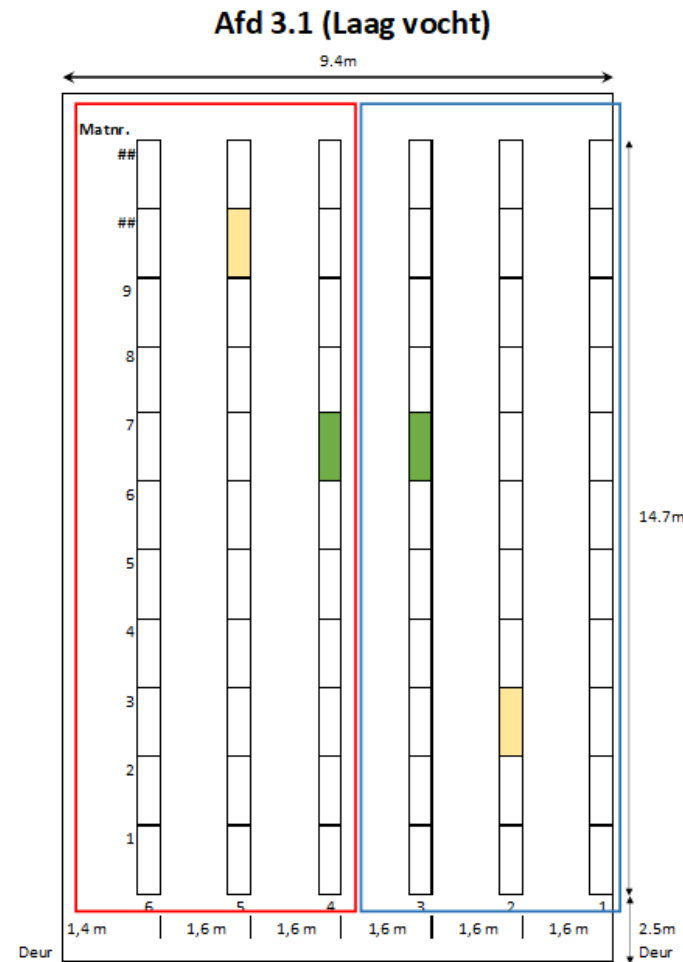
- ✦ Full-LED teelt tomaat
- ✦ Ras Perimos (Enza)
- ✦ 3 stengels/m<sup>2</sup> (nu 3.5)
- ✦ Eerste teeltperiode gelijke omstandigheden
- ✦ Leidt lagere verdamping tot kwaliteitsproblemen en productieverlies?
- ✦ Wat is daarbij de rol van EC?



# Opzet

Laag vocht, Lage EC	Hoog vocht, Lage EC
Laag vocht, Hoge EC	Hoog vocht, Hoge EC

- Weeggoot
- Telplanten
- EC behandeling 1
- EC behandeling 2

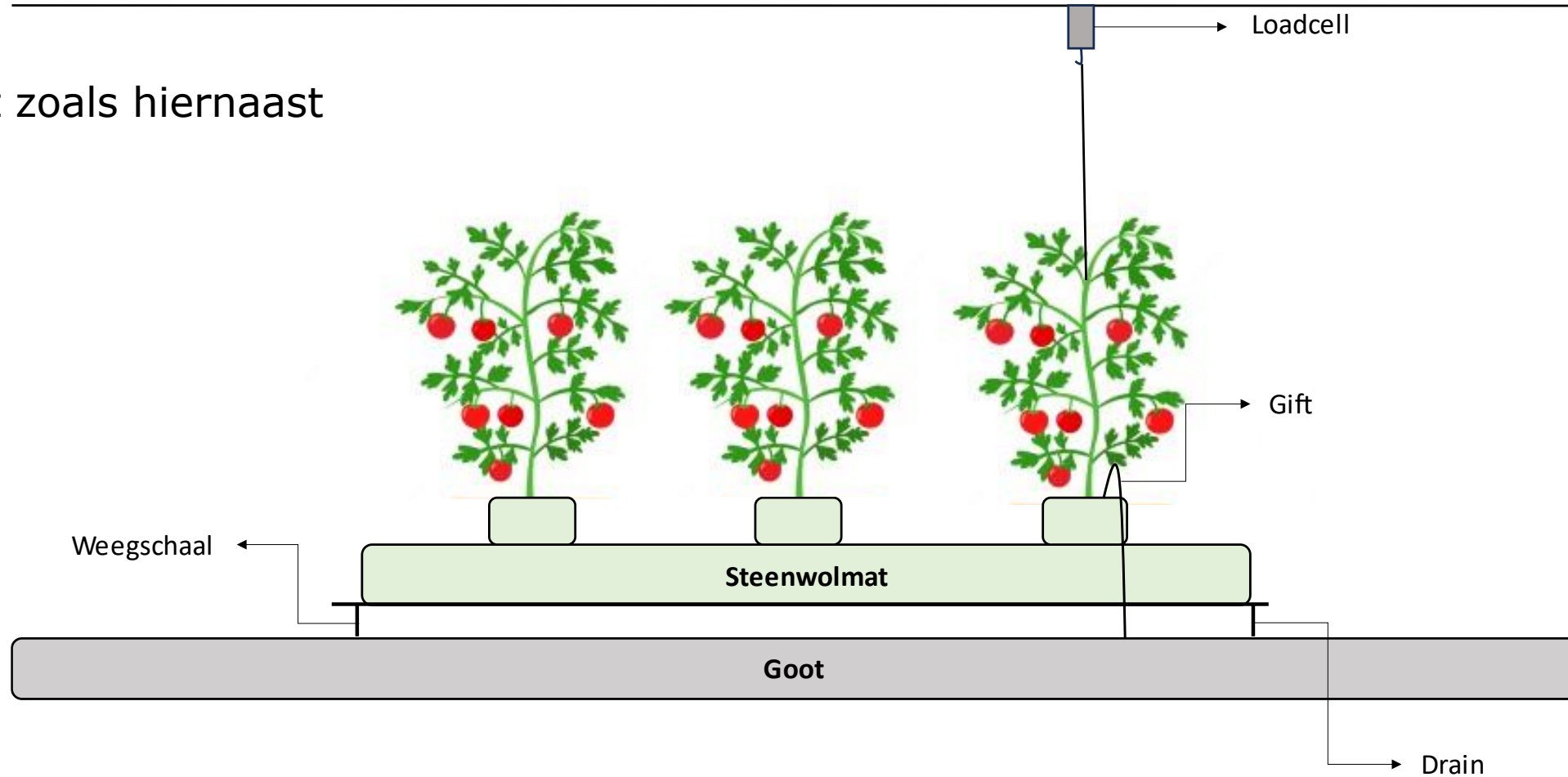


# Metingen

- ✦ Verdamping
  - Middels opzet zoals hiernaast

- ✦ Microklimaat
  - Kop
  - Rijpe tros
  - Tussen kop en tros

- ✦ EC, VWC, T

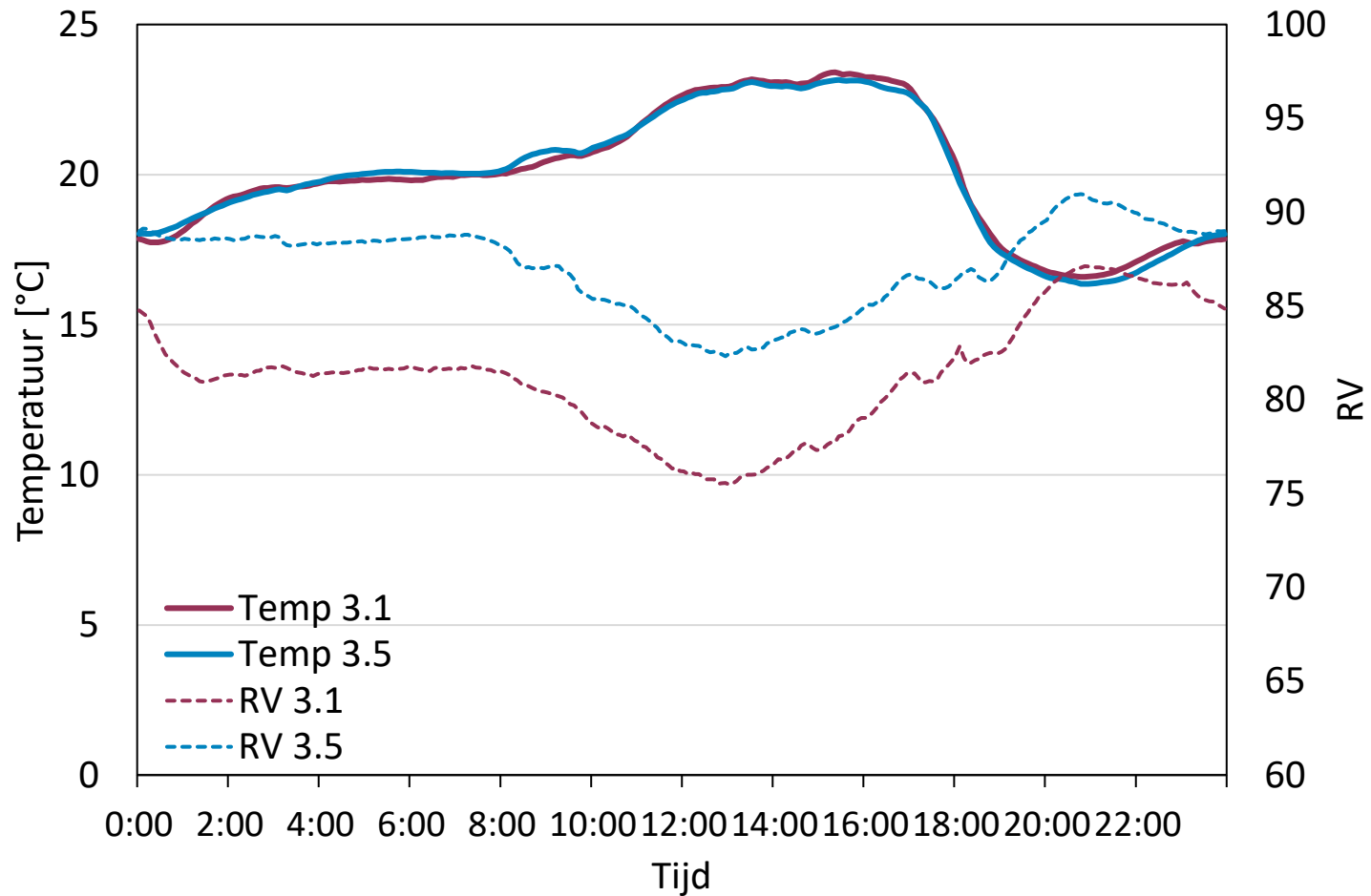


# Sensoren



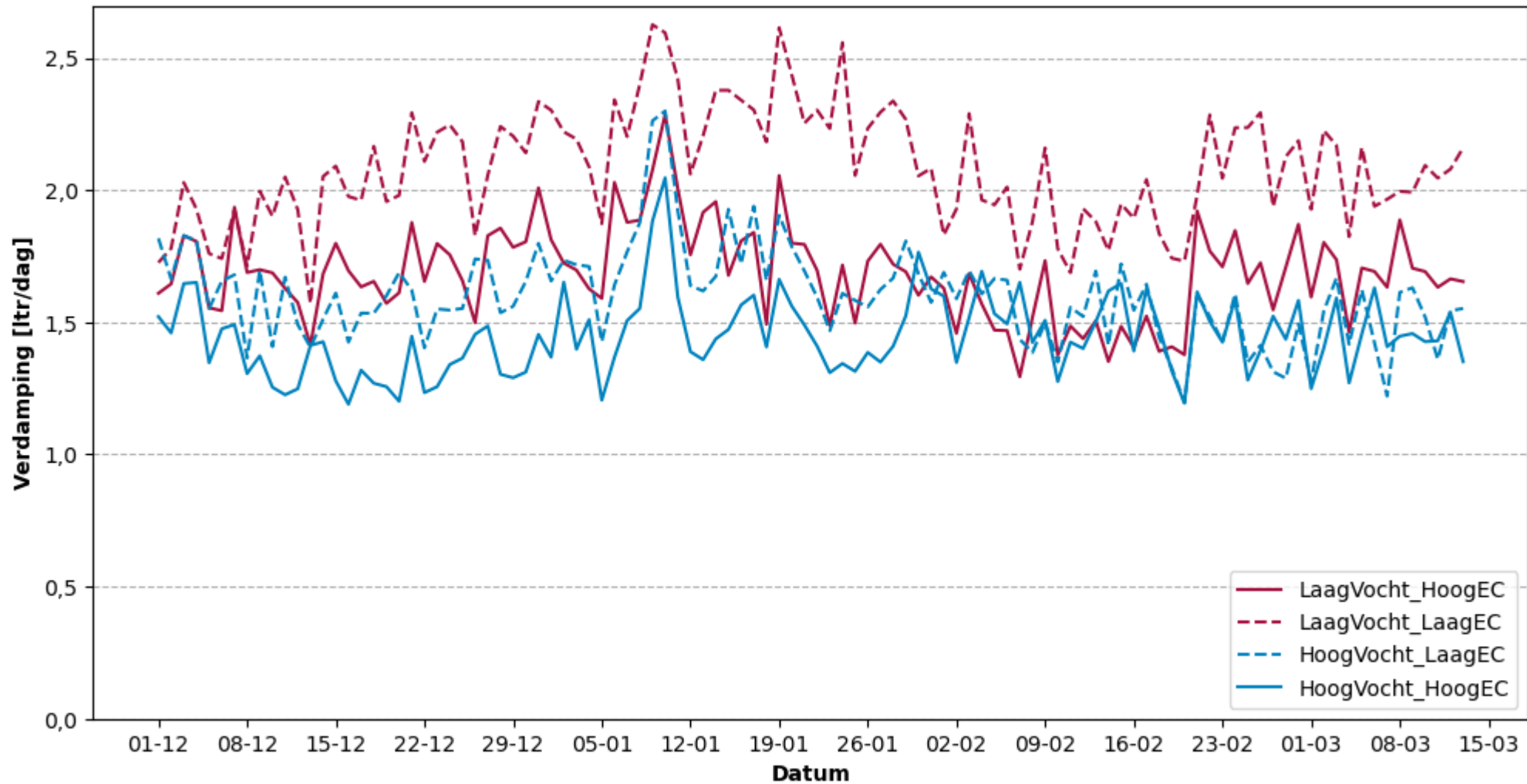
# Resultaten - klimaat

✦ Vanaf start inzet vochtverschillen t/m vandaag



	3.1	3.5	3.1	3.5
	RV	RV	T	T
Onb. Nacht	86	89	17,42	17,07
Bel. Nacht	82	88	19,75	19,68
Overdag	78	85	22,15	21,99

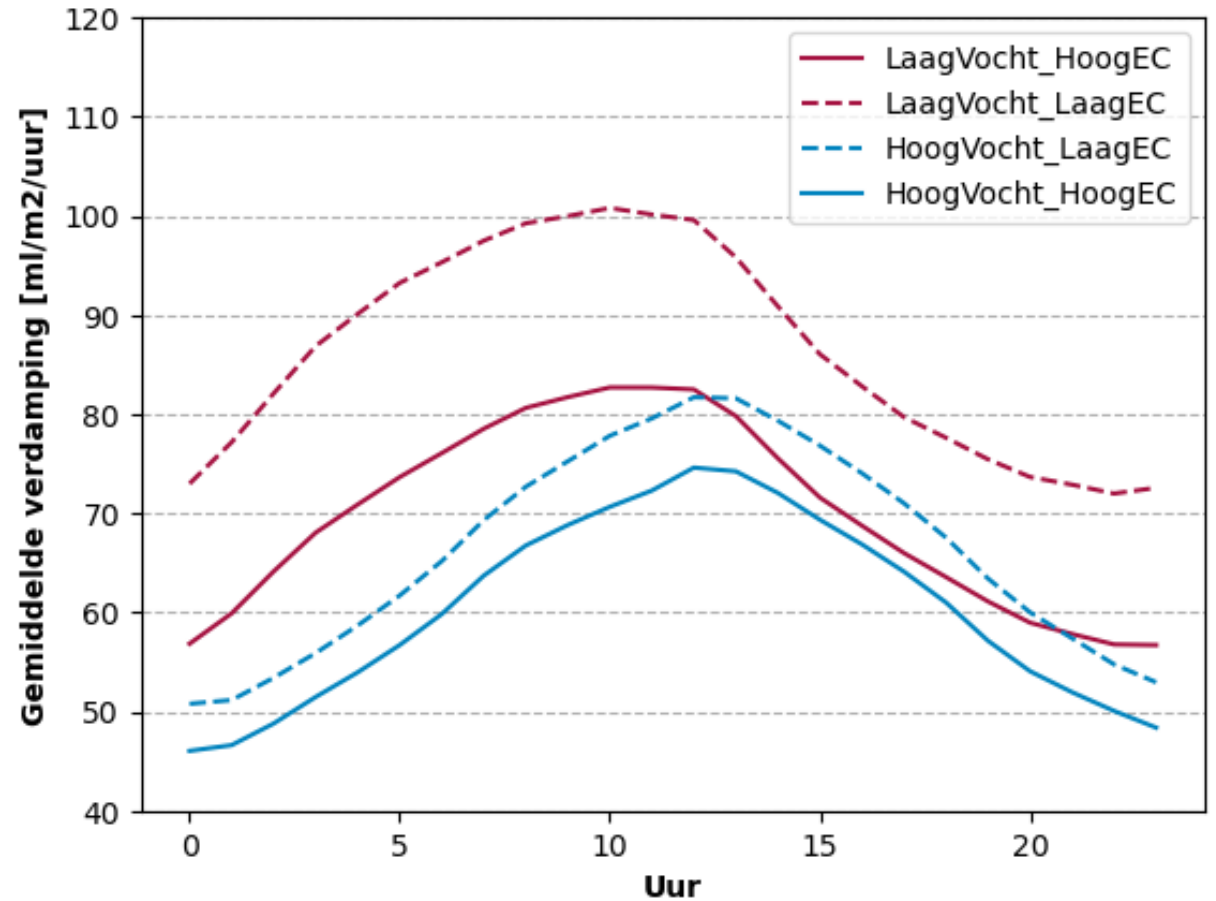
# Resultaten – verdamping per dag





# Resultaten – verdamping op de dag

- ✦ Zelfde trend
- ✦ Laag vocht – Lage EC meeste verdamping
- ✦ Hoog EC is beperkend bij laag vocht
- ✦ Effect EC kleiner bij hoog vocht



# Volledig plaatje verschillen

		Laag vocht		Hoog vocht	
Verdamping		132%		100%	
Gasverbruik		126%		100%	
		Hoge EC	Lage EC	Hoge EC	Lage EC
Verdamping		80%	100%	89%	100%
<b>GVG</b>	[g]	124 (93%)	133 (100%)	118 (96%)	123 (100%)
<b>Brix</b>	[°]	3,09 (104%)	2,96 (100%)	3,13 (111%)	2,83 (100%)
<b>Oogst</b>	[kg/m <sup>2</sup> ]	24,10 (91%)	26,36 (100%)	22,31 (109%)	20,44 (100%)
<b>KG tomaten/m<sup>3</sup> gas</b>		2,31	2,53	2,89	2,71

# Voorlopige conclusie

- ✦ 'Lagere' verdamping leidt niet direct tot problemen m.b.t. vruchtkwaliteit
- ✦ Hoge luchtvochtigheden kan wel leiden tot problemen rondom oedeem
- ✦ Oedeem kan bij hoge luchtvochtigheden leiden tot botrytis
- ✦ Hoge luchtvochtigheden → luchtbeweging des te belangrijker!
- ✦ Volgend onderzoek focussen op hoge luchtvochtigheid/lage verdamping en interactie met luchtbeweging?

# Kennisontwikkeling over verdamping experiment (en) komkommer

## Hypotheses

- 1- Een lage nacht verdamping leidt tot een lagere passieve opname van calcium.
- 2- Bij een hogere nacht luchtvochtigheid maakt de plant meer huidmondjes aan wat zou kunnen leiden tot een hogere dagverdamping.



# Uitvoering Komkommer onderzoek bij WUR

- Onderzoek in twee hoge draad daglichtloze cellen (18 m<sup>2</sup> teelt per cel)
- Dit biedt de mogelijkheid om verschillende klimaatcondities te toetsen onafhankelijk van het buitenklimaat
- Teeltsystemen op weegschalen, om zo de verdamping over de tijd te kunnen monitoren.
- Mogelijkheid om verdamping, waterbalans en CO<sub>2</sub> balans per teelt te berekenen



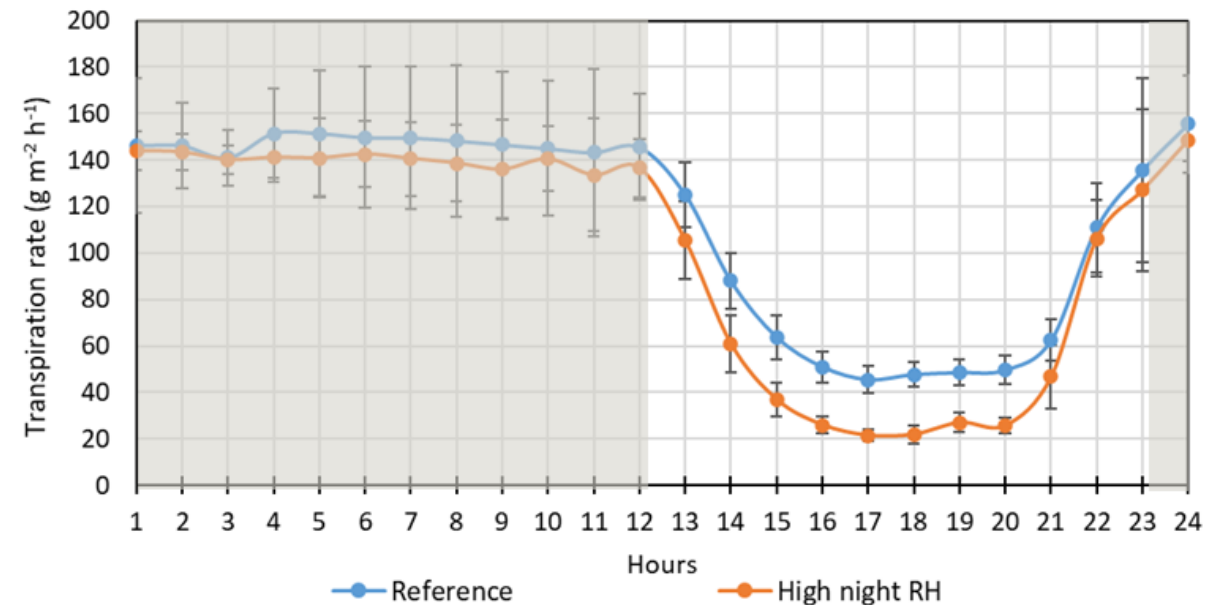
# Opzet eerste proef

- Dee Flexion (Enza), 2,2 pl/m<sup>2</sup>; 1 steel/pl
- Vermeerderd in kas, 13 dagen na zaaien naar de cel
- 2 behandelingen: overdag gelijke VD, 's nachts verschillend

<b>PROEF 1</b>	Cel 1		Cel 2	
Behandeling	Referentie		Hoge nacht RV	
Periode	Licht (16 uur)	Donker (8 uur)	Licht (16 uur)	Donker (8 uur)
Temperatuur	24,5 °C	21,5 °C	24,5 °C	21,5 °C
RV	75 %	88 %	75 %	95 %
VD	4,9 g/kg	2 g/kg	4,9 g/kg	0,8 g/kg
CO <sub>2</sub>	600 ppm	No setpoint	600 ppm	No setpoint
Licht (230 cm vanaf de mat)	286 μmol/s/m <sup>2</sup> PAR (vast spectrum, 7%B, 6%G, 87%R), DLI 16,5 mol 68 μmol/s/m <sup>2</sup> ver rood van 6:00-14:00, 2 mol = 12% van DLI			

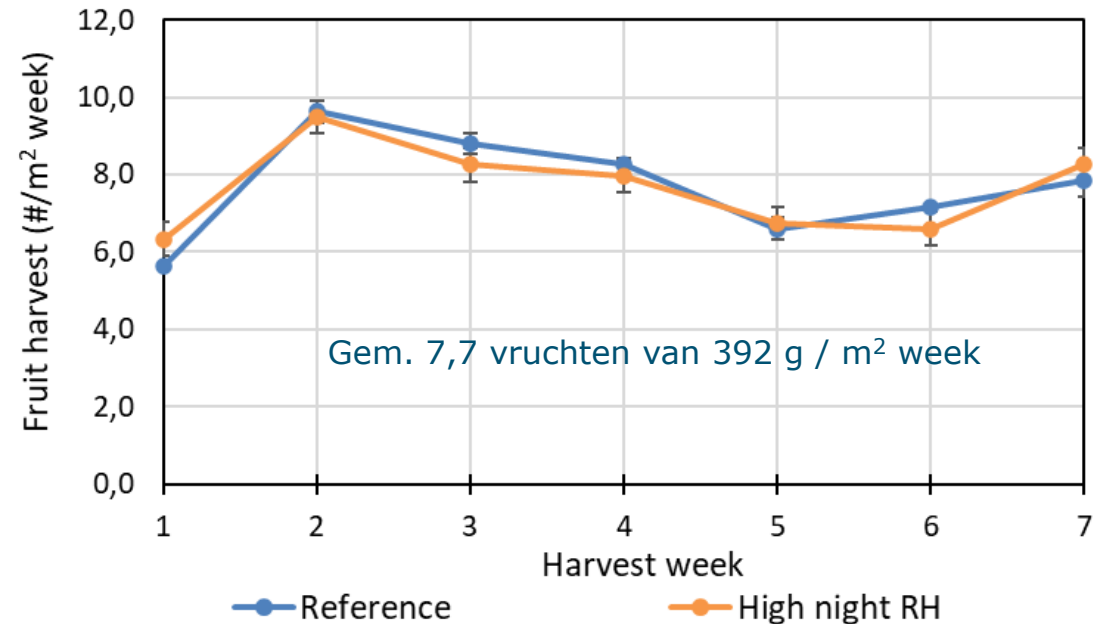
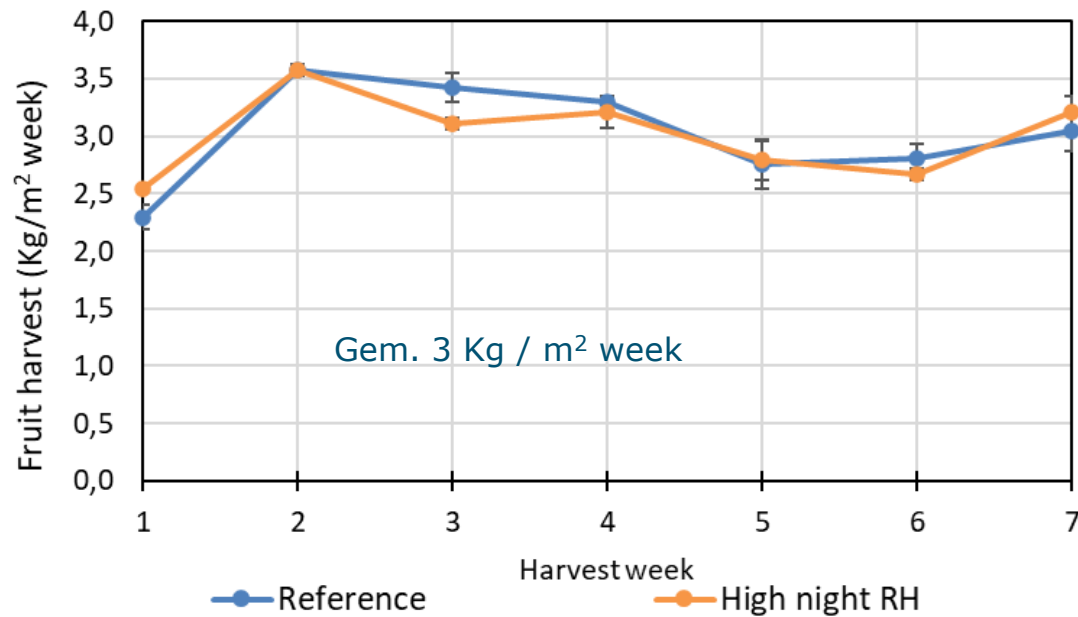
# Resultaten verdamping

- Is de verdamping beperkt door de hoge nacht RV?
  - In deze proef verlaagd met 34% 's nachts (8 uur) en 6% overdag (16 uur). Per 24 uur ca. 10% minder verdamping.
  - Verdamping was hoog in beide behandelingen (3 en 2.7 l/m<sup>2</sup>/dag)
  - Cel condities (luchtbeweging, ontvochtiging)



# Resultaten gewasgroei en Calcium opname

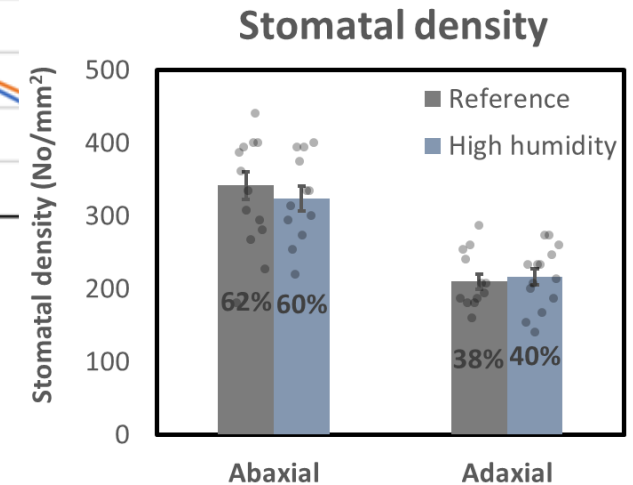
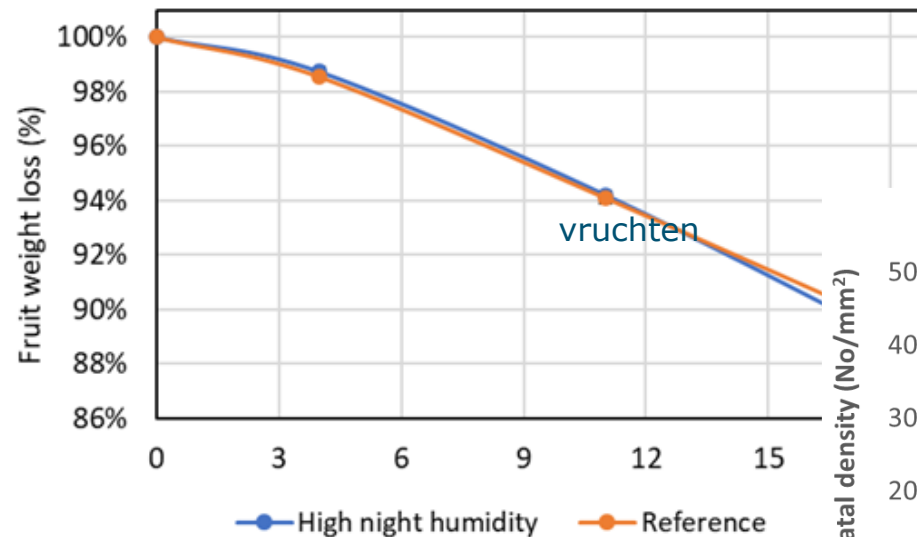
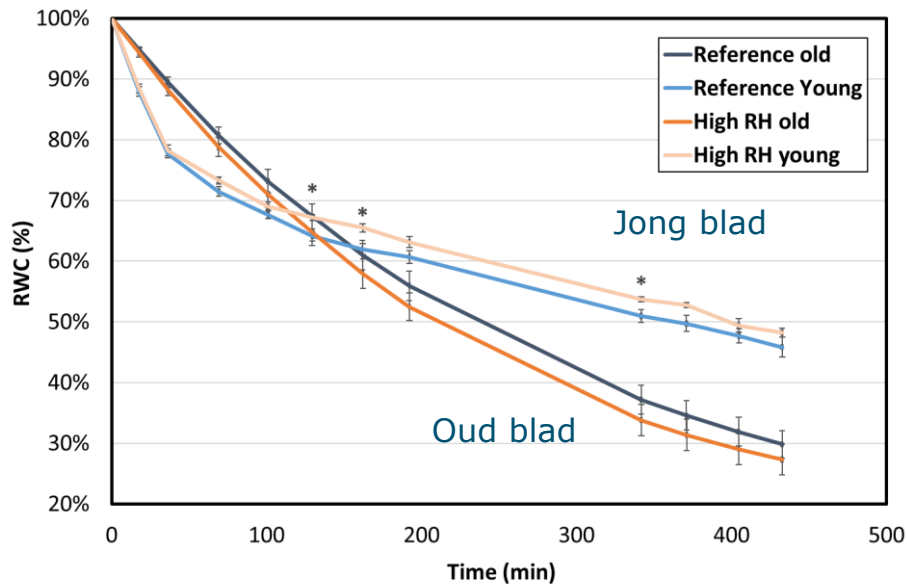
- Heeft deze beperking van de verdamping negatieve effecten voor de opname van elementen, de productie of de kwaliteit?
  - Nee, de productie (in aantal of kg), gewasontwikkeling en de gewasanalyses hebben geen verschillen laten zien.





# Resultaten huidmondjes gedrag en aantal

- Zijn er verschillen in aantal huidmondjes als gevolg van de behandeling? Nee, geen verschillen in aantal (boven of onderkant)
- Er zijn ook geen verschillen gemeten in snelheid van uitdroging van het blad of de vruchten



# Opzet proef 2 (lopend)

- Verdamping verder beperken, 's nachts en overdag

<b>PROEF 2</b>	Cel 1		Cel 2	
Behandeling	Gemiddelde VD		Laag VD	
Periode	Licht (16 uur)	Donker (8 uur)	Licht (16 uur)	Donker (8 uur)
Temperatuur	24,5 °C	21,5 °C	24,5 °C	21,5 °C
RV	85 %	95 %	96 %	95 %
VD	2,9 g/kg	0.8 g/kg	0,9 g/kg	0,8 g/kg
CO <sub>2</sub>	600 ppm	No setpoint	600 ppm	No setpoint
Licht (230 cm vanaf de mat)	286 $\mu\text{mol/s/m}^2$ PAR (vast spectrum, 7%B, 6%G, 87%R), DLI 16,5 mol 68 $\mu\text{mol/s/m}^2$ ver rood van 6:00-14:00, 2 mol = 12% van DLI			

# Eerste resultaten proef 2 (lopend)

- In Cel 1: geen afwijkingen (verdamping 1.5 l/m<sup>2</sup> dag)
- In cel 2: Broeikoppen, bolblad, slechte vruchtontwikkeling bladontwikkeling, misvormde vruchten (verdamping 1.0 l/m<sup>2</sup> dag)



# Vervolgproject PPS “Masterplan verdamping”

- “Verdamping en vochtbalans van plant en kas in een energiezuinige teelt”
  - Doel: goede productie en een goed product telen met zo laag mogelijke energie-input binnen veilige grenzen van verdamping
  - Voortzetting experimenten met deze drie voorbeeldgewassen
  - Meetmethodes verdamping
  - De plantkundige kennis en de meetmethoden omzetten in adviezen voor toepassingen in de tuinbouwpraktijk

# Bedankt voor uw aandacht. Vragen & discussiepunten?

Met dank aan onze collega's

Sander Hogewoning,  
Martijn Wiekens,  
Lisanne Schuddebeurs,  
Brigitte Den Bakker,  
Caterina Carpineti,  
Jos Paul,  
Jaco den Bakker,  
Anna Okula,  
Johan van der Eijk,  
Gert Vletter

**Contact:**  
[nieves.garcia@wur.nl](mailto:nieves.garcia@wur.nl)  
[stefan@plantlighting.nl](mailto:stefan@plantlighting.nl)  
[s.jochems@delphy.nl](mailto:s.jochems@delphy.nl)

