

Basiskennis verdamping komkommer

Deelverslag 4 van het project "Kennisonwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast"

Caterina Carpineti, Jos Paul, Nieves García Victoria, Danja Brandsma, Jaco den Bakker, Anna Okula, Gert Vletter



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat

Met als doel het effect te onderzoeken van continu lage verdamping tijdens de nacht op plant afwijkingen en productie is een experiment met komkommer uitgevoerd in twee daglichtloze ruimtes in de "Vertical Farm" van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. Tussen cellen is een verschil aangebracht in de nacht VD om in één van de cellen de nachtverdamping te beperken; overdag waren de omstandigheden in beide cellen gelijk. De verdamping werd gekwantificeerd met weeggoten. Een 59% lager VD in de nacht heeft de nachtverdamping met 43% verlaagd, en had ook een licht remmend effect op de verdamping overdag (6%). Dit verschil kan niet worden verklaard uit verschillen in huidmondjes dichtheid of grootte. De geremde nacht verdamping heeft de opname van calcium of andere elementen niet beperkt. Er zijn geen afwijkingen aan het gewas geconstateerd. De productie en kwaliteit waren in beide afdelingen gelijk, mogelijk omdat de verdamping overdag niet was geremd. In vervolg experimenten zal geremde verdamping worden afgewisseld in nacht en dag om meer te leren over effecten en momenten van minimale verdamping. Dit experiment was onderdeel van het samenwerkingsproject tussen WUR, Delphy en Plant Lighting "Kennisontwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast", met financiering van het programma Kas als Energiebron.

Abstract

An experiment with cucumber was carried out in two cells of the "Vertical Farm" of Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. The aim was to learn more about effects of continuously low transpiration during the night on plant development and production. A difference in the night VD between cells was created to limit night transpiration in one of the cells. Equal conditions were applied in both cells during the day. Transpiration was quantified with weighing gutters. A 59% lower VD at night reduced nighttime transpiration by 43% and slightly reduced the daytime transpiration by 6%. This difference cannot be explained by differences in stomatal density or size between the treatments. The limited night transpiration did not affect the absorption of calcium or other elements. No crop abnormalities were observed. Production and quality were the same in both treatments, possibly because transpiration during the day was not limited. In follow-up experiments, further limitation of transpiration will be applied alternating night and day to learn more about effects and moments of minimal transpiration. This experiment is part of the collaborative project between WUR, Delphy and Plant Lighting "Knowledge development about transpiration: from fundamental to applied", funded by the program "Greenhouse as Source of Energy".

Rapportgegevens

Rapport WPR-1343

Projectnummer: 3742346900

DOI: <https://doi.org/10.18174/670275>

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



Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur



Disclaimer

© 2024 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Glastuinbouw
Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, wur.nl/plant-research
Kamer van Koophandel-nr.: 09098104 | BTW-nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

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

Adresgegevens

Wageningen University & Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
wur.nl/glastuinbouw

Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
T +31 (0)317 48 60 01
wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Voorwoord	5
Samenvatting deelproject 4	7
1 Inleiding hoofdproject	9
1.1 Project structuur en indeling deelrapporten	9
1.2 Aanleiding voor het hoofdproject	9
1.3 Samenwerking drie kennisinstellingen	9
1.4 Algemene kennisvragen	10
1.5 Doelstelling	10
2 Inleiding deelproject 4, Basiskennis verdamping komkommer	11
3 Materialen en methoden	12
3.1 De teeltcellen	12
3.1.1 Klimaatregeling	12
3.1.2 Belichting	13
3.1.3 Fertigatie	13
3.2 Proefopzet, teelt en metingen	13
3.2.1 Gewas	14
3.2.2 Voeding en watergift strategie	15
3.2.3 Klimaatinstellingen en belichting	15
3.2.4 Behandelingen	16
3.2.5 Gewasbeheer	16
3.2.6 Plantmetingen	16
4 Resultaten	19
4.1 Klimaatrealisatie	19
4.2 Verdamping, wateropname en huidmondjes	20
4.2.1 Met het ProDrain systeem	20
4.2.2 Dagelijkse wateropname	20
4.2.3 Op kweekcel niveau	21
4.2.4 Huidmondjesgeleiding	21
4.2.5 Huidmondjesdichtheid en -grootte	22
4.2.6 Huidmondjes functie onder droogtestressomstandigheden	22
4.2.7 Fotosynthese	23
4.3 Oogst en kwaliteit	24
4.3.1 Vruchtgewicht en -lengte	25
4.3.2 Drogestofgehalte van vrucht	26
4.3.3 Uitdroging van vrucht na de oogst en houdbaarheid	26
4.4 Gewasgroei en -ontwikkeling	26
4.4.1 Stengellengte	27
4.4.2 Bladontwikkelingssnelheid	28
4.4.3 Destructieve oogst van de planten	28
4.4.4 Voedingsstoffensamenstelling	30
5 Discussie	32
6 Conclusies en aanbeveling voor vervolg	34
Literatuur	35

Bijlage 1	White paper Verdamping	36
Bijlage 2	Samenvatting experimenten chrysant, deelproject 3, Plant Lighting	39
Bijlage 3	Samenvatting experiment tomaat, deelproject 5, Delphy	40

Voorwoord

Onderzoek doen we nooit alleen, want het vereist een goede samenwerking tussen onderzoekers, gewasverzorgers, technische diensten, financierders en adviseurs. Bij het project "Kennisonwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast" is er naast samenwerking binnen kennisinstellingen, een samenwerking opgezet tussen drie verschillende kennisinstellingen: Wageningen UR Glastuinbouw, Delphy-Improvement Centre en Plant Lighting.

Met een gezamenlijke opdracht van het programma Kas als Energiebron, namelijk meer kennis te ontwikkelen over het onderwerp "verdamping" onder de huidige winter teeltomstandigheden, heeft iedere kennisinstelling experimenten uitgevoerd met een ander gewas (respectievelijk Komkommer, Tomaat, en Chrysant), daarbij antwoorden gevend op andere onderzoeksvragen, en begeleid door een andere groep van experts. Door de bevindingen en ervaringen van iedere kennisinstelling met elkaar te delen, is de gedachte en de ervaring zover, gaat de kennisontwikkeling sneller.

Deze samenwerking wordt voortgezet, na de afronding van dit project, in de vorm van een PPS (Publiek-Private Samenwerking) met als titel "Verdamping en vochtbalans van plant en kas in een energiezuinige teelt".

De auteurs van alle deelrapporten willen graag het programma "Kas als Energiebron", via zijn coördinatoren Marjolijn van Valkenhoef, Dennis Medema en Robert Solleveld, bedanken voor het stimuleren van deze samenwerking en voor de financiering.

Tevens een woord van dank voor de telers van de Begeleidingscommissies, die betrokken zijn geweest bij de verschillende experimenten. Dank aan de collega's van Wageningen UR Glastuinbouw die aan dit experiment hebben gewerkt (Danja Brandsma, Johan van der Eijk, Anna Okula, Gert Vletter, Jaco den Bakker), voor hun bijdrage aan het resultaat. Dank aan de collega's van Delphy-IC (Stijn Jochems, Brigit den Bakker, Silvester de Nooijer) en van Plant Lighting (Stefan van den Boogaart, Martijn Wiekens, Sander Hogewoning) voor de prettige en vruchtbare samenwerking.

Samenvatting deelproject 4

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 verdampingsnelheden 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 (CO₂ 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 geredde 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.

1 Inleiding hoofdproject

1.1 Project structuur en indeling deelrapporten

Het project "Kennisonwikkeling over verdamping: van fundamenteel naar toegepast" bestaat uit 4 deelprojecten: een inventarisatie en experimenten bij drie kennisinstellingen, ieder met een ander gewas. Per Deelproject is er een apart deelrapport uitgegeven (behalve voor Deelproject 1: de projectleiding en organisatie). Ieder deelrapport begint met deze gezamenlijke inleiding en bevat als bijlage een samenvatting van de overige deelrapporten. In de volgende paragrafen lichten we eerst de aanleiding, structuur en algemene onderzoeksvragen van het volledig project toe (secties 1.2 tot 1.5) waarna we inleiden het experiment behorende bij Deelproject 4 met komkommer wat is uitgevoerd door Wageningen UR-Glastuinbouw (Hoofdstuk 2).

De structuur is hieronder schematisch weergegeven.



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). Het afgelopen jaar 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. In de praktijk en in proeven is gebleken dat energiezuinig telen problemen kan geven die waarschijnlijk gerelateerd zijn aan onvoldoende gewasverdamping ('activiteit'). Immers, verdamping is een energie-gedreven proces, en minder energietoevoer verlaagt de verdamping met mogelijk negatieve gevolgen. Vochtbeheersing en gewasverdamping zijn hierdoor van groter belang geworden. In het white paper: Kennisonwikkeling over verdamping van kasgewassen hebben de kennisinstellingen (Plant Lighting, Delpy Improvement Centre en Wageningen UR-Glastuinbouw) gezamenlijk beschreven welke stappen nodig zijn om meer inzicht te krijgen in verdamping (Zie Bijlage 1), en welke kennisvragen er zijn.

1.3 Samenwerking drie kennisinstellingen

De belangen voor de sector zijn groot en de vragen zijn complex. Daarom werken in dit onderzoek de kennisinstellingen Delphy Improvement Centre, Plant Lighting en Wageningen UR Glastuinbouw op uitnodiging van Kas als Energiebron samen. De kennis gerelateerd aan dit thema en uitkomsten van dit project worden met elkaar en de sector gedeeld om op een verantwoorde manier snel adviezen aan de sector te kunnen geven.

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

Hoewel in het verleden al veel onderzoek is gedaan naar verdamping, is het belangrijk om een aantal van deze vragen in te kaderen en te beantwoorden onder de huidige teeltomstandigheden, dat is in de wintersituatie, met gebruik van LED belichting en meerdere schermdoeken. De verdamping is in eerder onderzoek niet altijd gekwantificeerd, maar vaak modelmatig berekend.

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 "standaard" sturen op een hogere verdamping.

1.5 Doelstelling

Doel van het hoofdproject is het reduceren van de energie-input, met behoud van groei en gewas/productkwaliteit door sturing en nauwkeurige controle van de verdamping bij toepassing van systemen zoals actieve ventilatie en hoog-isolerende schermssystemen in belichte (LED) systemen.

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, oplopen tot meer dan 5 m³/m² aan aardgas. Minder noodzaak tot ventileren beperkt bovendien verlies van CO₂.

Hiertoe is het belangrijk kennis op te doen over waar, wanneer en hoeveel de minimale verdamping van een plant of plantdeel moet zijn. Deze kennisontwikkeling is gewas overstijgend omdat het plantfysiologische processen betreft die voor meerdere glastuinbouwgewassen relevant zijn.

2 Inleiding deelproject 4, Basiskennis verdamping komkommer

De focus van dit deelproject ligt op de effecten van het beperken van de nachtverdamping op de gewasgroei en ontwikkeling en de opname van water en mineralen bij komkommer.

De proefopzet is zo ontworpen om te begrijpen of continu lage verdamping tijdens de nacht plantaandoeningen en/ of verminderde productie kunnen veroorzaken. En laat zien of een lagere verdamping gedurende de nacht van invloed is op de verdampingcapaciteit gedurende de dag.

De opzet is zodanig gekozen dat we deze hypothesen kunnen bevestigen of ontkrachten, en concreet antwoord kunnen geven op de volgende onderzoeksvragen:

1. Zorgt een hoge RV / laag VD tijdens de nacht voor een lagere gewasverdamping tijdens de nacht?
2. Heeft dit ook effect op de verdamping tijdens de dag?
3. Heeft een Hoge nachtelijke RV effect op de huidmondjes dichtheid en grootte?
4. Hebben de jonge bladeren een andere verdamping dan de oudere bladeren?
5. Zorgt een hoge RV/ laag VD tijdens de nacht voor problemen met de groei van het gewas?
6. Is de opname van mineralen (w.o. calcium) lager bij een Hoge nachtelijke RV/ laag VD?
7. Heeft een verhoogde nacht RV / verlaagde VD een (negatief) effect op de productie?

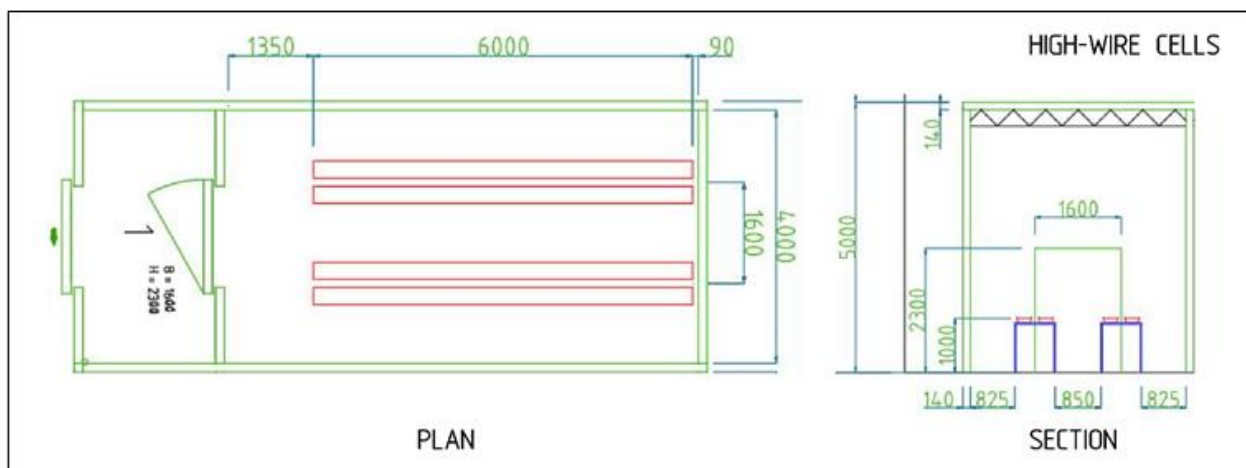
De teelt is uitgevoerd tussen september en december 2023 in twee daglichtloze ruimtes (klimaatkamers) waar maximale controle over de teeltomstandigheden kan worden bereikt onafhankelijk van het buitenklimaat. Hierdoor is het mogelijk om korte opeenvolgende teelten met elkaar te vergelijken zonder telkens een referentie afdeling te moeten inrichten. Een aantal van deze korte teelten worden in het lopend, vervolg onderzoek "Verdamping en vochtbalans van plant en kas in een energiezuinige teelt" uitgevoerd.

3 Materialen en methoden

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in twee cellen uit het gebouw van de "Vertical Farm" van de Business Unit Glastuinbouw van Wageningen University & Research in Bleiswijk. Deze cellen zijn ingericht voor hoge draad teelten. Een van de voordelen van deze cellen is dat ze luchtdicht zijn, en ingericht met een groot aantal sensoren en meters, waardoor het mogelijk is om, naast het kwantificeren van de verdamping, een energiebalans, een CO₂ balans en een vochtbalans op te stellen om de effecten van de gekozen klimaatinstellingen te bepalen.

3.1 De teeltcellen

Beide cellen bestaan uit drie compartimenten: de sluis, de kweekcel en een ruimte voor de technische installaties. Voordat u de kweekcel betreedt, moet u door de sluis, een ruimte van 2,1 x 4,0 m. De kweekcel is 7,5 x 4,0 m met een hoogte van 5,86 m. De twee hoge draad cellen bevatten 4 teeltgoten van 6 m lengte, in twee sets van twee goten (Figuur 1).



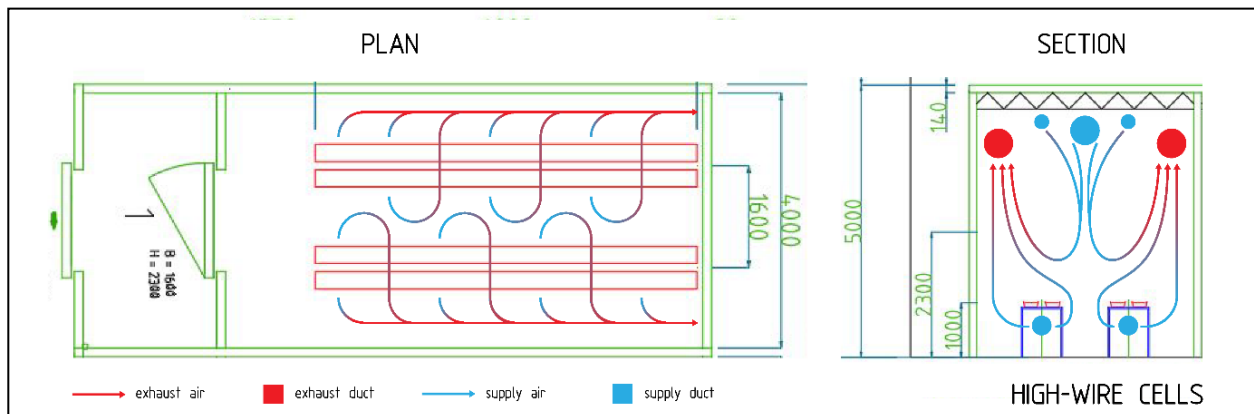
Figuur 1 Schematische weergave van de hoge draad cellen van de "Vertical Farm". De afmetingen worden weergegeven in mm.

3.1.1 Klimaatregeling

De klimaatregeling gebeurt via een klimaatcomputer waarop Synopta draait. De temperatuur kan worden geregeld met een marge van 0,5 °C, de relatieve vochtigheid met een marge van 2,5% en de CO₂-concentratie met een nauwkeurigheid van 50 ppm. Elke cel heeft een eigen HVAC-unit, met een ventilator, verwarming en koeling. In alle cellen wordt de lucht continu gerecirculeerd in de cellen (zie Figuur 2). De lucht die uit de teeltruimte wordt afgezogen, wordt in de technische ruimte weer op de juiste temperatuur, vochtigheid en CO₂-gehalte gebracht. De lucht wordt via buizen onder de teeltgoten ingebracht (Figuur 2), en via slangen boven de ledverlichting afgezogen. Er zijn ventilatoren geïnstalleerd om de luchtbeweging in de cellen te vergroten, en een bevochtigingssysteem om de luchtvochtigheid verder te verhogen.

3.1.2 Belichting

In de hoge draad cellen zijn GreenPower LED top lighting modules DR/W/LB en far-red LED-modules (Philips lampen, Signify) geïnstalleerd. De toplighting modules DR/W/LB hebben een maximale intensiteit van $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en zijn volledig dimbaar. De verrood (FR) LED-modules hebben een maximale intensiteit van $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en kunnen op 0%, 50% of 100% worden ingesteld. LED's worden aangestuurd via het Philips GrowWise systeem (Signify).



Figuur 2 Klimaatbeheersing in de hoge draad cellen van de "Vertical Farm" via aan- en afvoer van lucht en luchtverplaatsing. De aanvoer van lucht is aangegeven in blauw, de afvoer van lucht in rood.

3.1.3 Fertigatie

De fertigatie-unit kan de gewenste voedingsoplossingen mengen, waarbij de concentraties van de afzonderlijke voedingsstoffen kunnen worden geselecteerd (macronutriënten NH_4 , K, Na, Ca, Mg, NO_3 , Cl, S, HCO_3 , P en Si, micronutriënten Fe, Mn, Zn, B, Cu en Mo). Het systeem werkt met pH- en EC-sensoren en niveausensoren, zodat de hoeveelheid voedingsoplossing kan worden bewaakt. Het ProDrain-systeem (Ridder) wordt toegepast in twee goten, waarmee de hoeveelheid irrigatie en de hoeveelheid drain wordt gemeten, evenals het gewicht van de steenwolmatten en de planten, zodat de biomassa van het gewas en de wateropname en verdamping kunnen worden gemonitord.

3.2 Proefopzet, teelt en metingen

Jonge komkommerplanten werden gedurende 83 dagen onder volledig gecontroleerde omstandigheden gekweekt in de twee hoge draad cellen (HWC's) van de Business Unit Glastuinbouw van Wageningen Research in Bleiswijk.

Een overzicht van de proefopstelling wordt weergegeven in Tabel 1 en Figuur 3. Details over gewas, teelt en metingen zijn te vinden in de volgende subhoofdstukken.

Tabel 1 Overzicht proef.

Gewas	Komkommer
Cultivar	Dee Flexion (Enza Zaden)
Start materiaal	Jonge plant met 1 echt blad, vermeerderd uit zaad in kas gedurende 11 dagen in steenwol blokken
Transplant datum (start proef)	28 September 2023
Plantdichtheid	2.2 stelen/m ²
Teeltstrategie	Hoge draad teelt van planten (enkel stam) die in een carrousel ronddraaien
Substraat	Steenwol matten (Cultilene)
Eind proef	20 December 2023



Figuur 3 Links: plattegrond van de plantenverdeling in de HWC. Rode vierkanten geven de meetplanten weer. Rechts: foto van volledig ontwikkelde planten (DAT 50= 50 dagen na verplanten).

3.2.1 Gewas

Voor het onderzoek is een komkommer gewas cv. Dee Flexion uit zaad geteeld. Dit ras is gekozen vanwege zijn resistentie tegen meeldauw. De zaden zijn op steenwol blokken in een kleine kas tot kieming gebracht in Bleiswijk. Na 11 dagen werden jonge planten in de HWC's gebracht. Planten hadden één ontvouwd blad met een gemiddelde oppervlakte van 16 cm², een gemiddelde hoogte van 5,4 cm, gemiddeld vers gewicht van 0,69 g en droge stof gehalte van 12% (Figuur 4). Bij het verplanten in de cel werden de planten behandeld met Previcur als preventieve maatregel tegen pythiuminfectie en werden ze op de goten geplaatst, maar nog niet in contact met de verzadigde steenwolmatten. Acht dagen na het verplanten (DAT 8) werden de planten in contact geplaatst met het bewaterde substraat.



Figuur 4 Verplanten naar de HWCs (11 dagen na kieming).

3.2.2 Voeding en watergift strategie

Elke plant kreeg water via een druppelaar en de irrigatievolumes werden gestuurd om een drain van 30% te bereiken. Er werd een standaard voedingsoplossing gebruikt voor het jonge plantstadium wat is afgeleid uit de BemestingsAdviesBasis (Tabel 2). Per dag een irrigatiebeurt tot het moment van eerste bloei, waarna het aantal beurten wordt aangepast aan de hand van de drainvolumes. In het vruchtzettingsstadium werd het voedingsrecept gewijzigd voor generatief gewas met een EC van 3,2, een pH van 5,4. Samenstelling van gift en drain water werd wekelijks geanalyseerd. Vanaf 54 DAT werd de EC van het irrigatiewater verlaagd tot 2,8 vanwege een toename van de gemeten drain-EC boven het setpoint van 3,5.

Tabel 2 Voedingsschema's (het schema waarmee het substraat is volgedruppeld en de tweede het schema waarmee wordt gestart als de planten op de mat gaan).

schema	Hoofdelementen (mmol/l)									Spoorelementen (µmol/l)						
	EC	pH	NH ₄	K	Mg	NO ₃	Cl	SO ₄	P	Si	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
voldruppel	3.2	5.8	0	8	3.4	21.5	0	4.3	1.8	0.7	25	10	5	30	1	0.5
start	3.5	5.7	0.7	12	3.1	27.4	0	2.3	1.2	0.7	25	10	5	30	0.7	0.5

3.2.3 Klimaatinstellingen en belichting

De algemene klimaatinstellingen zijn bepaald op basis van eerder onderzoek met komkommer in de gesloten hoge draad cellen, en afgestemd met de Begeleidings Commissie zodat de gekozen instellingen zoveel mogelijk overeenkomen met de praktijk gedurende een winterdag.

In beide cellen werd de temperatuur overdag ingesteld op 24,5 °C (licht aan) en 's nachts op 21,5 °C (licht uit).

CO₂ werd alleen tijdens de belichtingsperiode toegediend om een setpoint van 600 ppm te behouden.

Klimaatinstellingen werden toegepast vanaf het verplanten. De overgang van nacht naar dag en viceversa vond plaats in 3 uur rond de verandering in licht aan/uit.

Een fotoperiode van 16 uur werd toegepast vanaf het verplanten in beide cellen. Gezien het zeer jonge stadium bij transplantatie werd de dagelijkse lichtintegraal (DLI) verhoogd in 4 stappen tot het uiteindelijke setpoint van 16,5 mol m⁻² d⁻¹ op 230 cm van de goot (Tabel 3).

Tabel 3 Overzicht licht setpoints tot en met vruchtzettingsstadium.

Licht stap	DAT (dagen na verplanten)	PPFD setpoint (µmol m ⁻² s ⁻¹)	Lichtsom (mol m ⁻² d ⁻¹)	Uren FR
1	0	120	6,9	5
2	19	174	10	7
3	22	226	13	8
Eind	29	286	16,5	8

In beide cellen werden planten blootgesteld aan hetzelfde lichtspectrum met de samenstelling: 7% blauw; 6% groen; 87% rood; en 12% extra verrood (1,96 mol/m² dag voor de laatste lichtstap).

Dit spectrum is gekozen omdat het beste heeft gepresteerd in eerdere onderzoeken met komkommer, zowel in de gesloten cellen als in de kas. In de praktijk wordt het ook gebruikt. Vanwege de vaste licht intensiteit van de verroodmodules in de cellen (ze zijn niet dimbaar) worden de belichtingsuren van deze golfengte berekend om de juiste hoeveelheid FR licht per dag te bieden en werden deze gegeven tijdens het tweede deel van de fotoperiode.

3.2.4 Behandelingen

Om omstandigheden te creëren waarbij de verdamping in de nacht wordt beperkt, en zo onze hypothesen te kunnen toetsen, maken we in een van de twee cellen gebruik van een hoge RH 's nachts van 95% (een lage VD van 0,8 g/kg). Overdag hanteren we een relatieve vochtigheid van 75% in beide behandelingen. De nacht RV in de referentieafdeling wordt ook wat verhoogd in vergelijking met de dag. De nacht RV en VD per afdeling zijn:

- Referentie (HWC 1): nachtvochtigheid van 88% dus een VD van 2 g/Kg
- Hoge nachtelijke RV (HWC2): nachtvochtigheid van 95% dus een VD van 0,8 g/Kg

Een overzicht van het uiteindelijke setpoint onder de behandeling Referentie en behandeling hoge nachtelijke RV is opgenomen in Tabel 4.

Tabel 4 Overzicht behandelingen.

Behandeling	HWC 1		HWC 2	
	Referentie		Hoge RV nacht	
Periode	Licht (22:00-14:00)	Donker (14:00-22:00)	Licht (22:00-14:00)	Donker (14:00-22:00)
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 ₂	600 ppm	No setpoint	600 ppm	No setpoint
Licht (230 cm vanaf de mat)	286 μmol/s/m ² PAR (vast spectrum, 7%B, 6%G, 87%R), DLI 16,5 mol 68 μmol/s/m ² verrood van 6:00-14:00, 2 mol = 12% van DLI			

3.2.5 Gewasbeheer

Om de samenstelling van de lucht in de cellen zo min mogelijk te beïnvloeden om zo de CO₂-opname door het gewas te kunnen berekenen, waren de cellen slechts 3 dagen per week toegankelijk (maandag, woensdag, vrijdag). Daarom is 3 keer per week vruchten geoogst; bladeren werden 2 keer per week gesnoeid en gewasbehandeling zoals het snoeien van zijstelen, vruchtdunning en het laten zakken van het gewas werd 3 keer per week uitgevoerd.

Bladeren werden onderaan de plant tot aan de groeiende komkommer afgesneden. De vruchten van de eerste 5 bladoksels van alle planten werden gedund. Daarna werd een strategie voor vruchtdunning op basis van de berekende lichtgebruiksefficiëntie (grammen versgewicht van vrucht geproduceerd per mol licht) en resulteerde in om en om één vrucht aan en een vrucht gedund.

Enmaals per week werd het gewas gescout. Bij het verplanten vertoonden enkele planten trips, dus *A. swirskii* werd in beide behandelingen geïntroduceerd om de besmetting te beheersen.

3.2.6 Plantmetingen

Een overzicht van alle plantmetingen met de frequentie is weergegeven in Tabel 5.

Aan het begin van de proef werden 4 meetplanten op elke goot gemarkeerd en onderscheiden door een verschillend gekleurde draad (zie plattegrond in Figuur 3). Elke week werd het verse en droge gewicht van gesnoeide bladeren en geoogste komkommers gemeten op meetplanten. Vanaf DAT 27 werd de wekelijkse plantontwikkeling gemonitord als het aantal nieuwgevormde bladeren en stengelgroei. De vruchtontwikkeling werd vanaf DAT 50 ook gemonitord als het aantal dagen tussen bloei en oogst. Vanaf DAT 41 werd de lengte van de geoogste komkommer gemeten. Om een indicatie te krijgen van de kwaliteit van de komkommers, werd het drogestofgehalte (DMC) berekend voor elke oogst.

Op DAT 32 en 74 werd een monster van oude bladeren (gesnoeid van de onderkant van de plant) en jonge bladeren (blad nr. 4-5) van niet-meetplanten opgestuurd voor nutriëntanalyse om te onderzoeken of de verschillende verdampingsnelheden het nutriënttransport naar jonge en oude bladeren zouden beïnvloeden. Aan het einde van het experiment (DAT 83) werden bladeren, stengel en vruchtmonsters naar het laboratorium gestuurd om de nutriëntverdeling naar de verschillende bovengrondse organen te berekenen.

3.2.6.1 Gasuitwisselingsmetingen in bladeren

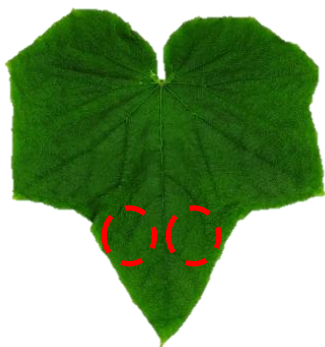
Op DAT 61 en 62 werd de gasuitwisseling in het blad gemeten voor beide behandelingen gedurende de dag met Li-6800 uitgerust met een gesloten kamer met een opening van 6 cm². In de kamer werden de omstandigheden gehandhaafd op een luchttemperatuur van 24,5 °C, een relatieve vochtigheid van 75% en 600 ppm CO₂. Zowel het jonge blad (blad nr. 4) als het volledig ontwikkelde blad (blad nr. 12) werden gemeten en de lichtintensiteit in de kamer werd ingesteld op respectievelijk 275 μmol m⁻² s⁻¹ en 185 μmol m⁻² s⁻¹ met een lichtspectrum van 90% rood en 10% blauw. Er werden zes bladeren per fase per behandeling gemeten. Er werden vijf metingen per blad uitgevoerd na het bereiken van stabiliteit. Er werd getest of er ook metingen konden worden uitgevoerd tijdens de nachtperiode, maar de apparaten waren niet in staat om de gevraagde vochtigheid te bereiken (88% en 95%).

3.2.6.2 Bladuitdrogingsmetingen

Op DAT 64 werden bladdehydratiemetingen uitgevoerd op oude bladeren om te evalueren of de verschillende klimaatomstandigheden de bladstructuur en het waterverliesvermogen zouden hebben beïnvloed. In totaal werden 6 bladeren per behandeling van niet-gemeten planten die op de rechter goten (niet op de ProDrain) waren gegroeid, afgesneden en in een zak gedaan om naar een ruimte met constante omstandigheden te worden gebracht (20 °C, een RV van 65% en een lage lichtintensiteit van 14 μmol/m² s gemeten op tafelniveau). Bladstelen werden verwijderd en bladeren werden op een rooster geplaatst zodat lucht zowel aan de boven- als onderkant van het blad kon bewegen. Het individuele bladgewicht werd elke 5 minuten geregistreerd gedurende het eerste uur, vervolgens elke 10 minuten gedurende de overige 40 minuten, vervolgens elke 15 minuten gedurende 45 minuten, vervolgens elke 40 minuten gedurende de volgende 4 metingen en aan het einde werden er 2 metingen gedaan om het uur. Het drooggewicht van de bladeren werd gemeten en het relatieve watergehalte (RWC%) werd op elk tijdstip berekend. Metingen werden herhaald op DAT 81, zowel op oude als jonge bladeren.

3.2.6.3 Huidmondjesdichtheid en -grootte

Om de huidmondjes te tellen en te meten werden in beide compartimenten afdrucken gemaakt met de "stempelmethode" (Sampson, 1961) met behulp van siliconenrubber (Xanthopren L Blue en Elastomer activator). De afdrucken werden gemaakt op DAT 81 van 12 individuele planten tussen de niet-gemeten planten. Van elke plant werd een volgroeid blad geselecteerd ongeveer 1 blad boven de laagste vrucht. De afdrucken werden genomen aan beide zijden van de bladeren (komkommerbladeren zijn amfistomatisch, dat wil zeggen dat ze huidmondjes hebben zowel op de boven als de onder epidermis) waarbij de locatie van de afdrucken voor elk blad vergelijkbaar was (Figuur 5). Negatieven van de rubberen afdrucken werden gemaakt met transparante nagellak en op een microscoopglasje gemonteerd met plakband. De negatieven werden geanalyseerd met behulp van een ZEISS Microscope Axio met een 5x vergrotingsreusstuk en een 20x vergrotingsobjectief. Foto's werden genomen met de ZEISS AxioCam 105 gemonteerd op de microscoop met behulp van de 0,63x camera-adapter en verwerkt in het ZEN 3.2 (Blue edition) programma. Het aantal cellen en het aantal huidmondjes werden geteld voor elke foto en aangepast voor het totale oppervlak (in aantal huidmondjes per mm) in ImageJ (Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, VS, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018). De grootte van de huidmondjes werd geanalyseerd voor 8 monsters van de abaxiale zijde van het blad per behandeling. Dit werd gedaan in ImageJ met behulp van de *Oval*, elliptische of penseel selectietool. De grootte van de huidmondjes per blad werd gegeven in μm² en was een gemiddelde van 6 representatieve huidmondjes per monster.



Figuur 5 Komkommerblad dat de locatie van de huidmondjesafdrucken aangeeft.

3.2.6.4 Houdbaarheid van vrucht

Op DAT 81 werd het vers gewicht (FW) van 10 individuele komkommers per behandeling gemeten en werden de komkommers onder constante omstandigheden van 13°C en 85% RV geplaatst voor een houdbaarheid proef. Na 4, 11 en 18 dagen in opslag wordt het vers gewicht opnieuw bepaald en het uiterlijk beoordeeld.

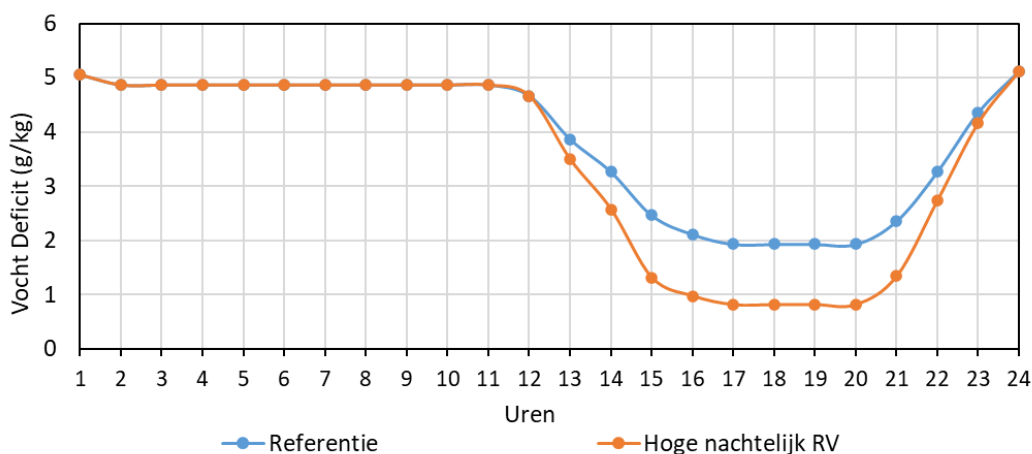
Tabel 5 Overzicht van alle plantmetingen.

Meting	Niveau	Apparaat	Frequentie
Verdamping	Gewas	ProDrain	Elke 5 minuten
Dagelijks verdampt water	Gewas	Ontvochtigingssysteem	Dagelijks
Huidmondjesgeleiding en bladassimilatiesnelheden	Jong en oud blad	Fotosynthese meters (LI-6800)	Puntmetingen (eenmalig)
Bladtemperatuur	Jong en oud blad	LAT sensoren	Continue metingen (gedurende 2 weekenden)
Relatief watergehalte	Jong en oud blad van niet-meetplanten en niet-ProDrain	Weegschalen	Tweemaal
Aantal huidmondjes en grootte (bladafdrukken)	Volwassen blad		Eenmaal
Voedingsstoffsamenstelling (mineralen analyse)	Jong en oud blad van niet-meetplanten en niet-ProDrain	Laboratorium analyses	Tweemaal + destructieve oogst.
	Samenstelling van gift- en drainwater		Wekelijks
	Andere organen		Destructieve oogst
Ontwikkeling: #bladeren en stengellengte	Meetplanten	-	Wekelijks
Afgebroken vruchten: #	Meetplanten	-	Wekelijks
Gesnoeide bladeren: #, versgewicht (FW), droog gewicht (DW), bladoppervlakte (LA)	Meetplanten	-	Twee keer per week: # en FW Een keer per week: DW en LA
Geogste komkommers: aantal, versgewicht (FW), droog gewicht (DW), lengte	Komkommers van meetplanten	-	Drie keer per week: # en FW Een keer per week: DW en lengte
Houdbaarheid van komkommers en vochtverlies van vrucht tijdens opslag	Komkommers van meetplanten	-	Destructieve oogst

4 Resultaten

4.1 Klimaatrealisatie

Van transplantatie tot destructieve oogst werden komkommers gekweekt onder een VD van 4,64 g/kg gedurende de dag. Vanwege de verschillen in VD-setpoint gedurende de nacht, was de gerealiseerde 24-uurs gemiddelde VD onder referentiebehandeling 2,22 g/kg en de gerealiseerde VD onder hoge nachtelijke RV-behandeling was 1,31 g/kg. In Figuur 6 wordt de gerealiseerde VD in 24 uur gepresenteerd (nachtperiode was tussen 14:00 en 22:00).



Figuur 6 Cyclisch vocht deficit realisatie tijdens de proef.

De gemiddelde klimaatrealisatie is weergegeven in Tabel 6. Gemiddelde nacht VPD was 0,35 Kpa voor de referentie en 0,19 Kpa voor de hoge nachtelijke RV.

Tabel 6 Gemiddelde dag- en nachtklimaatrealisatie met standaarddeviatie.

Behandeling	Dag				Nacht			
	Temperatuur (°C)	RV (%)	CO ₂ (ppm)	VD (KPa)	Temperatuur (°C)	RV (%)	CO ₂ (ppm)	VD (KPa)
Referentie	24.4 ± 0.4	75.8 ± 2.3	671 ± 67	2.31 ± 0.04	21.7 ± 0.4	86.4 ± 2.8	737 ± 80	2.25 ± 0.05
Hoge nachtelijke RV	24.4 ± 0.4	76.1 ± 3.0	658 ± 64	2.32 ± 0.05	21.7 ± 0.4	92.8 ± 3.5	706 ± 93	2.41 ± 0.05

Het klimaat in elke cel werd gemeten met een klimaat meetbox die laag in het bladpakket werd geplaatst, ongeveer 70 cm van de goot. In de praktijk worden meetboxen rond de eerste bloeiende vrucht geplaatst. Om een indicatie te hebben van het gerealiseerde klimaat op dat niveau, ongeveer 150 cm boven de goot, werd in elke cel vlak voor de destructieve oogst een tweede meetbox geïnstalleerd. Meting met volledige oogst was slechts één dag mogelijk voordat een deel van de planten werd verwijderd vanwege de destructieve oogst en er werden geen significante verschillen gevonden in klimaatrealisatie.

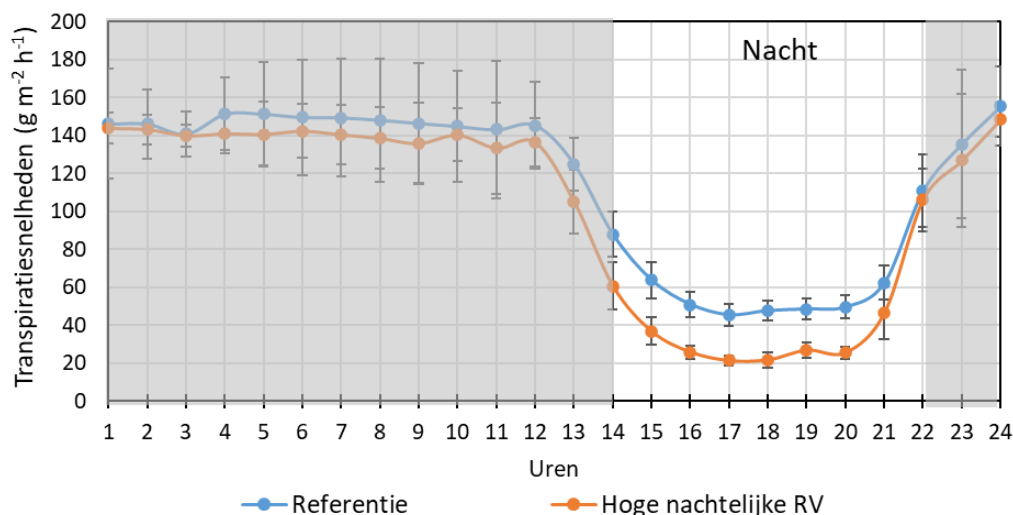
4.2 Verdamping, wateropname en huidmondjes

Verdampingsnelheid en wateropname werden gemeten met verschillende methoden tijdens het experiment:

- Het ProDrain-systeem berekende de verdampingsnelheid en wateropname als een gewichtsverandering op basis van de irrigatie en drainage en het gewicht van het gewas en van de matten. Dit levert 5min-waardegegevens op;
- De dagelijkse wateropname werd berekend op het niveau van de groeikamer als de hoeveelheid geïrrigeerd water minus de hoeveelheid afgevoerd water;
- Het dagelijks verdampte water werd berekend op het niveau van de groeikamer, de hoeveelheid water verwijderd door het ontvochtigingssysteem minus de hoeveelheid water toegevoegd door het bevochtigingssysteem.

4.2.1 Met het ProDrain systeem

Voor het ProDrain-systeem worden 5min-waarden gemiddeld per uur gepresenteerd in Figuur 7. De nachtelijke transpiratiesnelheden tijdens generatieve groei waren gemiddeld $63 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ voor Referentie en $41 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ voor Hoge nachtelijke RV (-44%). Het verschil in gerealiseerde nachtelijk VD was 59%. Overdag werd een gemiddelde transpiratie van $145 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ gerealiseerd onder referentieomstandigheden en een gemiddelde van $137 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ onder hoge nachtelijke RV (-6%).

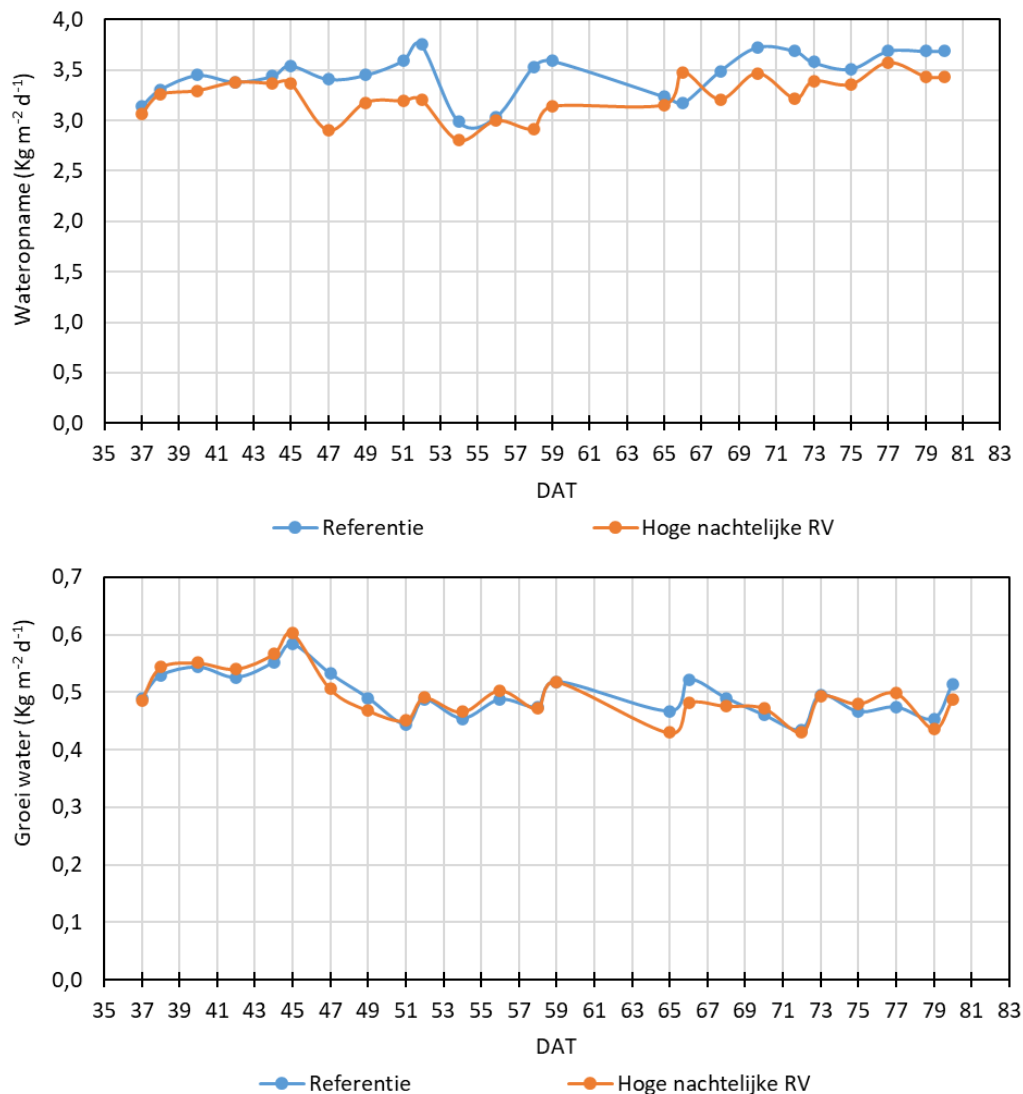


Figuur 7 Gemiddelde verdamping berekend door de ProDrain met standaarddeviatie van het gemiddelde met dagen als herhaling ($n=26$). De dag periode is grijs gemaakt en is bedoeld voor kwalitatieve vergelijking in deze proef.

Tijdens generatieve groei (Figuur 8) transpireerden planten gemiddeld $3,0 \text{ kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ onder Referentiebehandeling en $2,7 \text{ kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ onder Hoge nachtelijke RV-behandeling.

4.2.2 Dagelijkse wateropname

De dagelijkse wateropname was ook 10% lager onder de behandeling Hoge nachtelijke RV vergeleken met Referentie. Gemiddeld hadden planten een wateropname van 212 en $200 \text{ ml m}^{-2} \text{ mol}^{-1}$ onder respectievelijk Referentie- en Hoge nachtelijke RV. Planten in beide behandelingen gebruikten gemiddeld $0,5 \text{ kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ water om te groeien. Dit komt overeen met het feit dat er geen verschillen werden gevonden in het totale verse gewicht aan het einde van het experiment.



Figuur 8 De totale dagelijkse hoeveelheid verdampt water (boven), de wateropname (midde n) en het water dat gebruikt wordt voor de groei (onder) tijdens de generatieve fase, berekend door het ProDrain-wegingssysteem voor goten.

4.2.3 Op kweekcel niveau

Uit de gegevens van de luchtbehandelingsunit werd de dagelijkse hoeveelheid verdampt water berekend. Dit is een minder nauwkeurige manier om gewasverdamping te berekenen, omdat het is gebaseerd op tellers en niet op weegschalen. Met deze berekening, over dezelfde dagen als in de vorige berekening (Figuur 7), was de gemiddelde hoeveelheid verdampt water voor Referentie 2,92 L m⁻² d⁻¹, terwijl dit in Hoge nachtelijke RV 2,83 L m⁻² d⁻¹ was.

4.2.4 Huidmondjesgeleiding

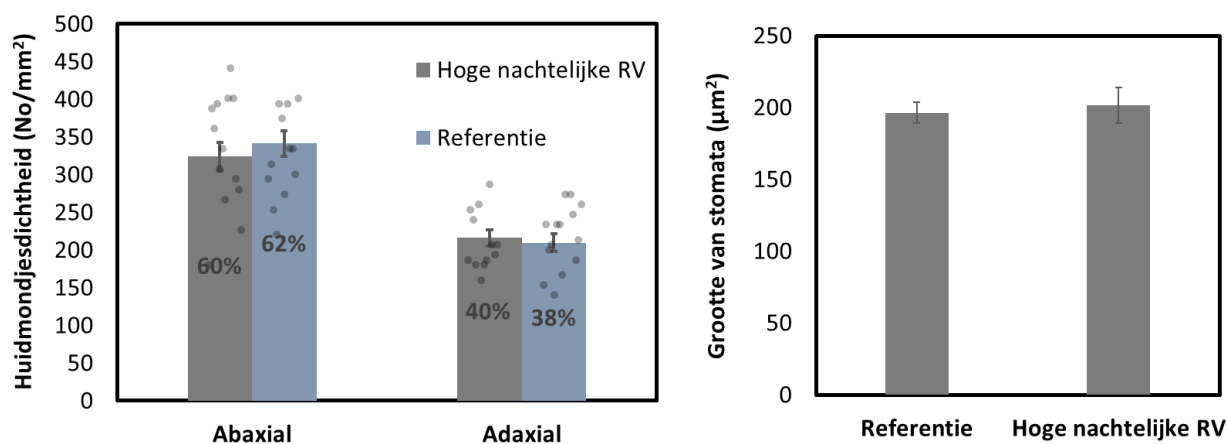
Op DAT 61 en 62 werden huidmondjes geleidingsmetingen (gsw) uitgevoerd op zowel jonge als volwassen bladeren onder beide behandelingen overdag. In overeenstemming met de resultaten van de ProDrain werden lagere huidmondjes geleidingswaarden gevonden onder behandeling met hoge nachtelijke RV (Tabel 7). De geleiding was 10% lager voor volwassen bladeren, maar niet significant lager, terwijl jonge bladeren een 22% lagere geleiding hadden ($p=0,001$).

Tabel 7 Gemiddelde huidmondjes geleiding gemeten met Li-Cor 6800 overdag met standaardfout van het gemiddelde ($n = 12$).

Behandeling	Volwassen blad	Jonge blad
	gsw ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	gsw ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Referentie	0.63 ± 0.02	0.48 ± 0.02
Hoge nachtelijke RV	0.57 ± 0.03	0.39 ± 0.01

4.2.5 Huidmondjesdichtheid en -grootte

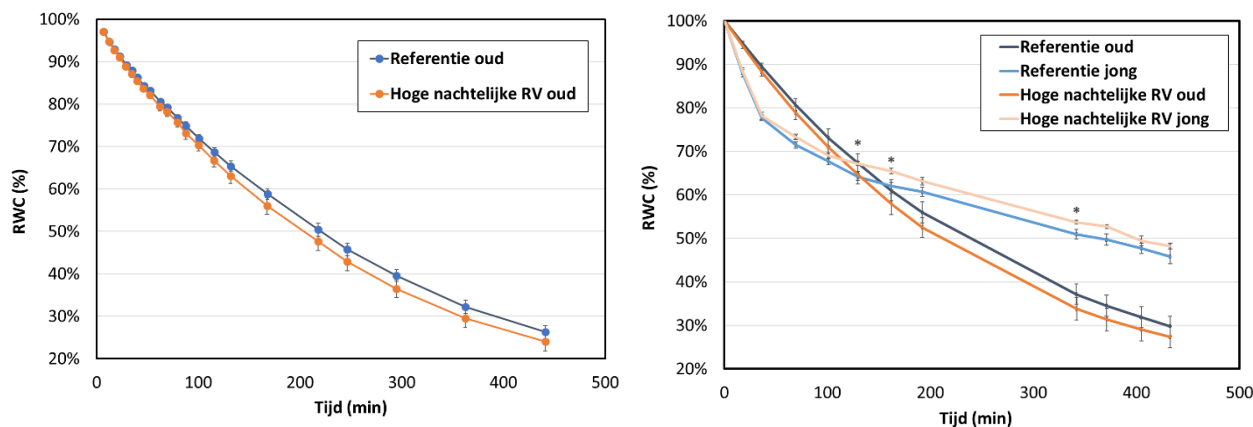
Om te begrijpen of verschillen in huidmondjesgeleiding kunnen worden verklaard door een verschillende hoeveelheid huidmondjes of verschillen in grootte van de huidmondjes, zijn afdrucken gemaakt van beide zijden van het blad. Er zijn geen verschillen gevonden in het aantal huidmondjes en de verdeling op de abaxiale (onder) en adaxiale (boven) zijde van de bladeren tussen de twee behandelingen (Figuur 9, links). Resultaten komen overeen met waarden gerapporteerd door Bakker (1991) met komkommers die onder gecontroleerde omstandigheden werden gekweekt bij een gemiddelde VPD van 1,0 KPa waarbij de totale hoeveelheid huidmondjes 523 per vierkante millimeter was. Ook werd de grootte van 6 willekeurig geselecteerde huidmondjes op 8 verschillende afdrucken gemeten en er werd geen verschil gevonden tussen de behandelingen (Figuur 9, rechts).



Figuur 9 Huidmondjesdichtheid (links) gemeten aan beide zijden van het blad. Percentages tonen de distributie van huidmondjes aan elke zijde en balken tonen de standaardfout van het gemiddelde. Grootte van huidmondjes (rechts) gemeten op 6 willekeurig geselecteerde huidmondjes met balken die de standaardfout van het gemiddelde tonen.

4.2.6 Huidmondjes functie onder droogtestressomstandigheden

Om mogelijke verschillen in huidmondjesrespons op een sluitingsstimulus (droogtestress) te bepalen, werd de snelheid bepaald waarmee afgesneden bladeren water verloren tijdens blootstelling aan licht en lage relatieve vochtigheid (65%). Als proxy voor huidmondjesresponsen op uitdroging werd het relatieve watergehalte van geogste bladeren gemeten gedurende 420 minuten (Figuur 10). Oude bladeren werden twee keer gemeten en er werd geen verschil gevonden tussen de twee meetmomenten. Op DAT 81 werden ook jonge bladeren gemeten. Er werd geen verschil gevonden tussen de behandelingen, wat aangeeft dat de teelt onder Hoge nachtelijke RV/ laag VD de capaciteit van de huidmondjes om te reageren op droogtestress niet beïnvloedt, in ieder geval maakt het niet erger dan de referentieomstandigheden (met hogere nachtelijke transpiratie). In feite verloren de oude bladeren van beide behandelingen bijna 80% van hun watergehalte zeer geleidelijk binnen 440 minuten. De respons van jonge bladeren is iets anders dan die van oude bladeren (de jonge bladeren verliezen sneller water tot ca. 75% van het water gehalte en gaan daarna langzamer uitdrogen dan de oude bladeren). Na ca. 120 minuten hebben zowel de jonge als de oudere bladeren ca. 65% van hun water verloren.



Figuur 10 Blad uitdroging gemeten als relatief watergehalte (RWC %) in de loop van de tijd. Links: meting van oude bladeren op DAT 64. Rechts: meting van zowel oude als jonge bladeren op DAT 81. Foutbalken op de grafieken tonen standaarddeviatie (n=6).

4.2.7 Fotosynthese

Hoewel de huidmondjes geleiding lager was onder hoge nachtelijke RV tijdens de fotoperiode, was dit niet beperkend voor fotosynthese (Tabel 8). Volwassen bladeren hadden een gemiddeld assimilatie-niveau van $10,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($p=0,4$) en jonge bladeren van $9,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($p=0,2$). Hoewel volwassen bladeren werden gemeten bij 33% lagere lichtintensiteit, hadden ze nog steeds een 20% hogere assimilatiesnelheid.

Tabel 8 Gemiddelde bladassimilatie-niveaus gemeten met Li-Cor 6800 met standaardfout van het gemiddelde (n= 12).

Behandeling	Volwassen bladeren	Jonge bladeren
	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Referentie	$10,8 \pm 0,1$	$9,2 \pm 0,1$
Hoge nachtelijke RV	$10,8 \pm 0,1$	$9,0 \pm 0,2$

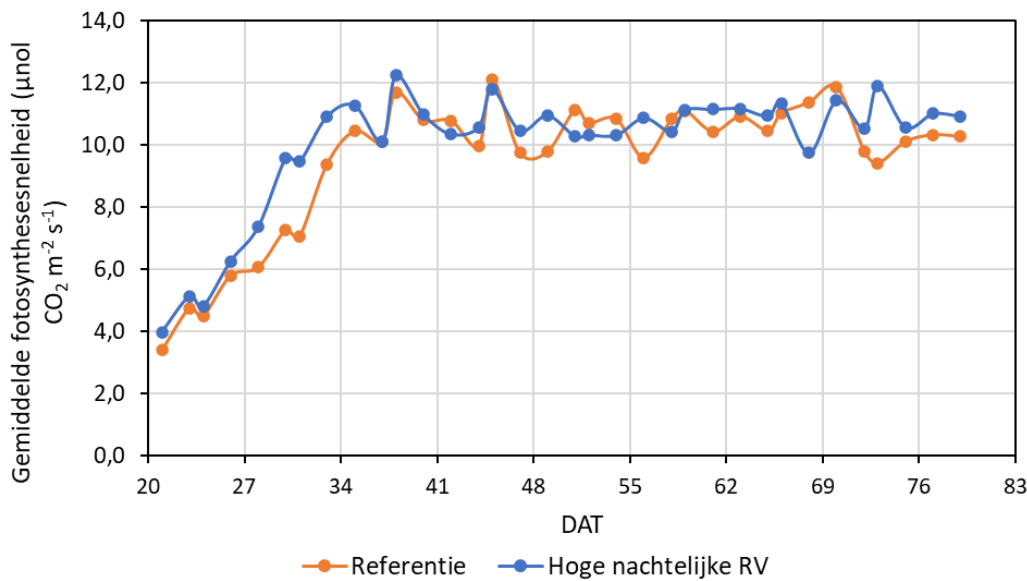
De fotosynthese van gewassen werd ook gemeten op het niveau van de groeikamer, dankzij het feit dat de faciliteiten luchtdicht zijn.

Om de betrouwbaarheid van de methode te testen, werd de volgende vergelijking uitgevoerd: de gesimuleerde totale biomassa-productie (berekend op basis van de cumulatieve netto suikerproductie van de CO_2 -opname) is vergeleken met de geaccumuleerde biomassa (berekend op basis van de cumulatieve verse groei, als gewogen met de ProDrain) vermenigvuldigd met de gewas-droge stof gehalte (0,040 in Referentie en 0,042 in Hoge nachtelijke RV). Beide metingen werden uitgevoerd vanaf DAT 21. Deze twee berekeningen worden weergegeven in Tabel 9 samen met de totale biomassa gemeten aan het einde van het experiment.

Tabel 9 Berekeningen en metingen van de biomassa-productie.

	Gesimuleerde biomassa-productie (g/m^2)	Biomassa- accumulatie uit ProDrain (g/m^2)	Gemeten biomassa tijdens het experiment (g/m^2)
	Van DAT 21	Van DAT 21	Van zaad
	Alle organen	Bovengronds	Bovengronds
Referentie	1027	1079	1148
Hoge nachtelijke RV	1083	1126	1169

De fotosynthesesnelheid van het gewas, berekend op basis van de gemeten CO₂-opname per groeikamer, wordt weergegeven in Figuur 11. In tegenstelling tot de meting op bladniveau wordt deze fotosynthesesnelheid uitgedrukt per eenheid teeltoppervlak.

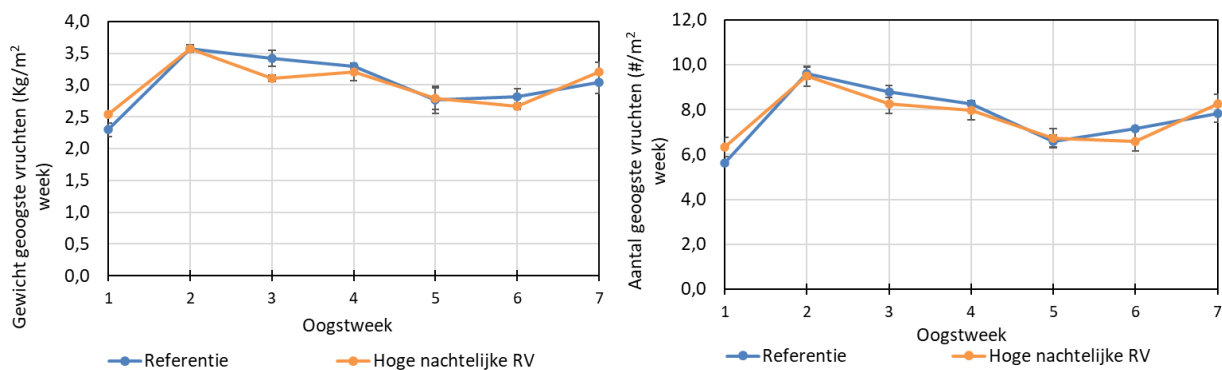


Figuur 11 Gemiddelde fotosynthesesnelheid berekend op het niveau van de groeikamer en uitgedrukt per eenheid teeltoppervlak.

4.3 Oogst en kwaliteit

De eerste vruchtoogst vond plaats 34 dagen na het verplanten en er werden in totaal 22 oogsten (3 per week) uitgevoerd tot de laatste destructieve oogst. Er werden geen verschillen gevonden tussen de behandelingen. In totaal werden respectievelijk 22,0 en 21,8 kg per m² komkommer geoogst onder de Referentie- en Hoge nachtelijke RV-behandeling. Dit werd gedaan met in totaal 56 en 55,7 geoogste vruchten per vierkante meter in respectievelijk de Referentie- en Hoge nachtelijke RV-behandeling. De gerealiseerde wekelijkse oogst was gemiddeld 7,7 vruchten/m² na de vruchtsnoei-strategie (Figuur 12). Rond week 5 van de oogst werden er afgebroken vruchten opgemerkt onder beide behandelingen. Dit viel samen met een hoge drain-EC gemeten in de voorgaande weken. Tijdens deze weken werd een lagere "selectiviteit" van het gewas waargenomen, wat betekent dat de groei van de vruchten op de plant minder afhankelijk was van het ontwikkelingsstadium van de vrucht zelf (sommige jongere vruchten waren groter dan oudere vruchten). Dit fenomeen kan leiden tot abortie van de oudere vruchten.

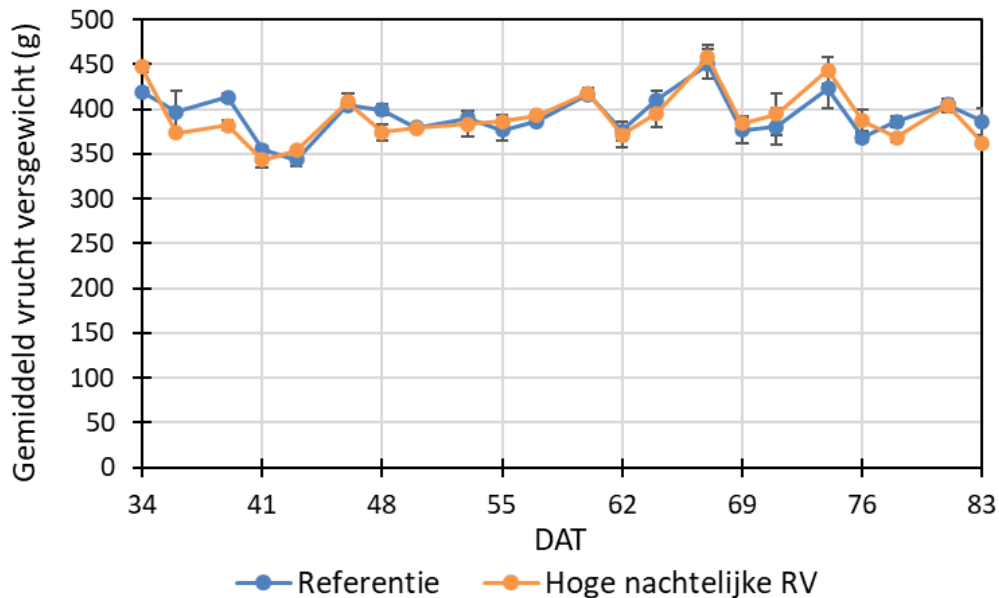
De gerealiseerde lichtbenuttingsefficiëntie van het vrucht bedroeg 22,5 gram versgewicht per mol licht.



Figuur 12 Wekelijkse oogst uitgedrukt in aantal vruchten per m² (links) en als totaal geoogst gewicht per m² (rechts) met standaardfout van het gemiddelde (n=2).

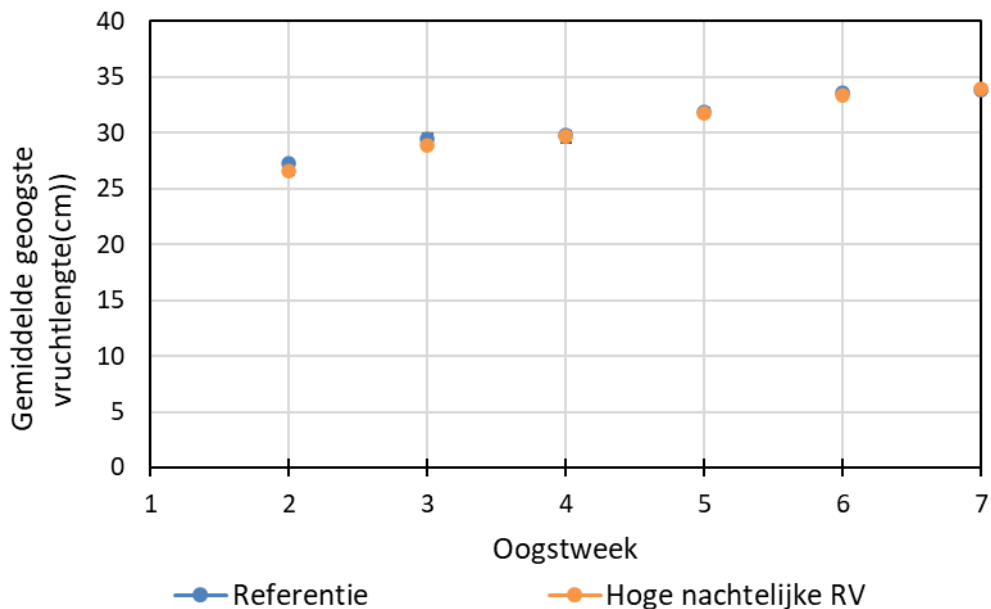
4.3.1 Vruchtgewicht en -lengte

Het vruchtgewicht bij de oogst verschilde niet tussen de behandelingen en bedroeg gemiddeld 392 gram (Figuur 13).



Figuur 13 Gemiddeld versgewicht van geoogst vrucht met standaardfout van het gemiddelde (n=2).

Vanaf week 2 van de oogst werd de vruchtlengte gemeten. Voor beide behandelingen bleef de vruchtlengte toenemen tot week 6, toen deze gemiddeld 34 cm bedroeg (Figuur 14). Tegelijkertijd nam ook de vruchtontwikkelingstijd toe. Vruchten die in week 3 werden geoogst, hadden gemiddeld 10,5 dagen nodig van bloei tot oogst, terwijl vruchten die in week 6 werden geoogst gemiddeld 12 dagen nodig hadden.



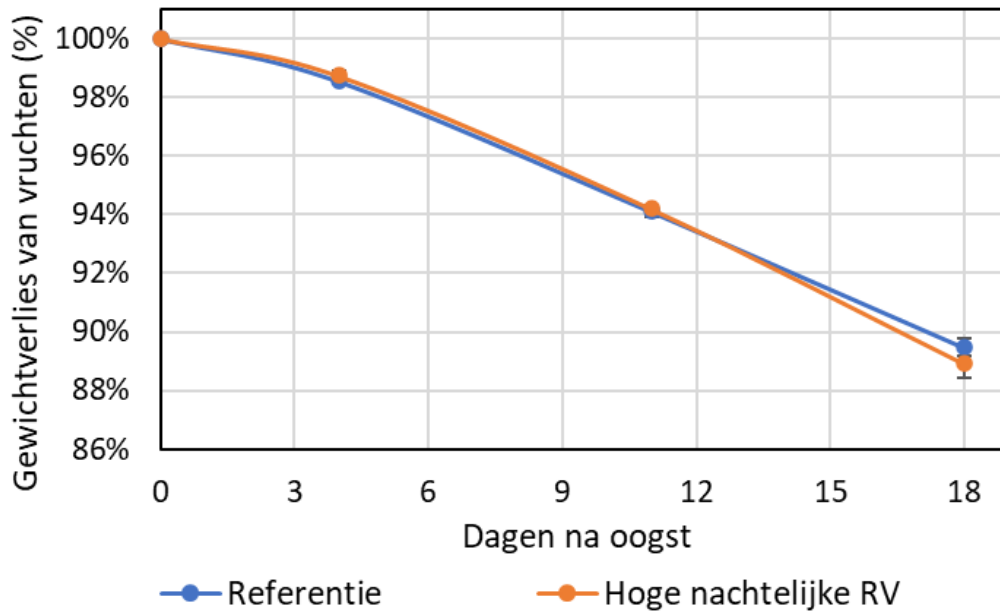
Figuur 14 Gemiddelde geoogste vruchtlengte met standaardfout van het gemiddelde (n=2).

4.3.2 Drogestofgehalte van vrucht

Gedurende de gehele teelt werd er geen verschil in drogestofgehalte tussen de behandelingen gevonden, met een gemiddelde van 3,5%.

4.3.3 Uitdroging van vrucht na de oogst en houdbaarheid

Als extra test voor de kwaliteit van het vrucht werd het gewichtsverlies van het vrucht na de oogst gescoord tot 18 dagen na de oogst (Figuur 15). Er werden geen verschillen gevonden tussen de behandelingen. Het vrucht was na 18 dagen 11% van het gewicht verloren en de schilkleur begon geler en gevlekt te worden, dit was in vruchten van beide behandelingen gelijk.



Figuur 15 Gemiddeld gewichtsverlies van vrucht na 4, 11 en 18 dagen oogst (n=10), uitgedrukt in percentage van het verse gewicht van het vrucht bij de oogst (gewicht op dag 0= 100%).

4.4 Gewasgroei en -ontwikkeling

Tijdens de proef werden geen verschillen waargenomen in de morfologie en groei van de planten onder beide behandelingen (Figuur 16).



Figuur 16 Links is Referentie, rechts is Hoge nachtelijke RV; het kleurverschil is te wijten aan de camera, aangezien hetzelfde lichtspectrum en dezelfde intensiteit werden toegepast.

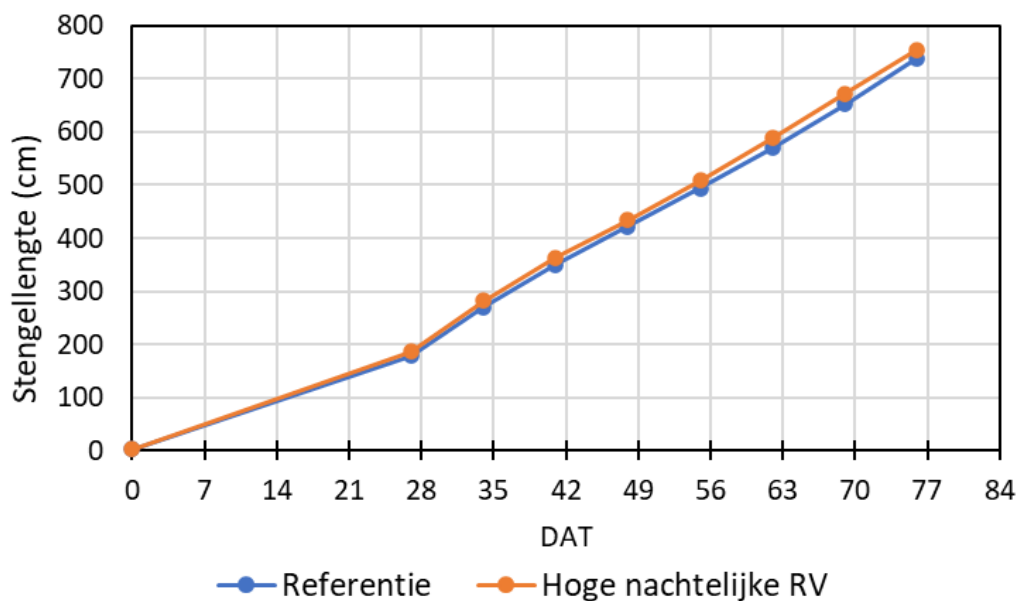
In week 8 van de teelt werd schade aan de jonge bladeren gevonden door mijten (Figuur 17). Dit kwam waarschijnlijk door de te hoge toepassing van biologische bestrijding tegen trips die voedende mijten bevatte, aangezien er geen mijtenplaag werd gevonden.



Figuur 17 Schade aan bladeren door vraatmijten.

4.4.1 Stengellengte

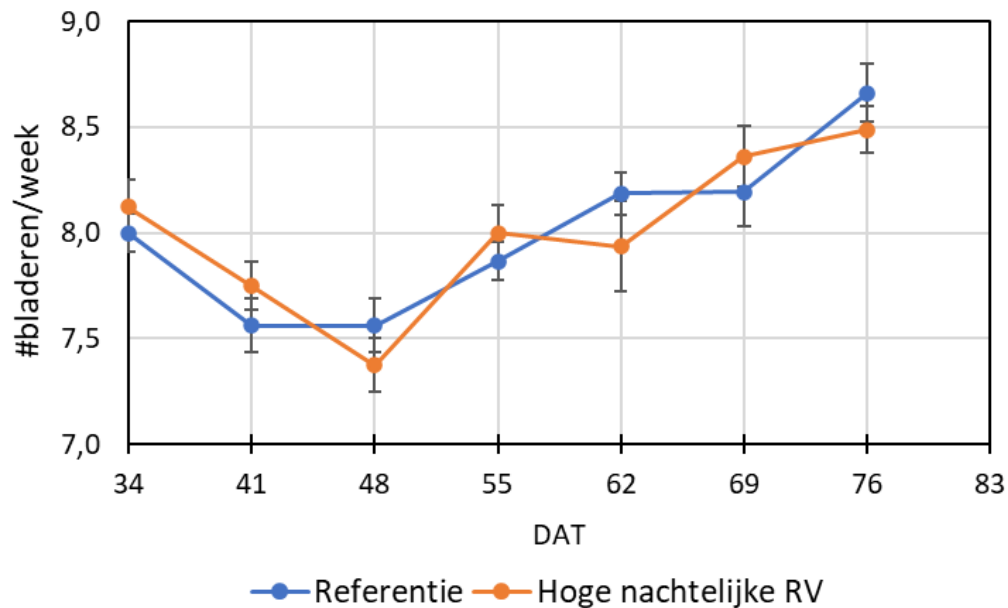
Na een maand telen in de cellen werden wekelijkse metingen van de gewasontwikkeling uitgevoerd. Op DAT 27 en 34 hadden planten die onder Hoge nachtelijke RV-behandeling waren gegroeid 5% langere stengels vergeleken met referentiebehandeling (Figuur 18). Dit verschil nam af in de loop van de tijd en was bij destructieve oogst slechts 2% (811 cm voor referentieplanten en 829 cm voor Hoge nachtelijke RV-planten). De gemiddelde internodiënlengthe was 10 cm.



Figuur 18 Ontwikkeling van de stengellengte met standaardfout van het gemiddelde ($n=2$).

4.4.2 Bladontwikkelingssnelheid

De bladontwikkelingssnelheid varieerde tussen 7,5 en 8,5 bladeren per week (Figuur 19). De laagste waarden werden gemeten rond DAT 44, de periode waarin een hoge drain-EC werd geregistreerd.

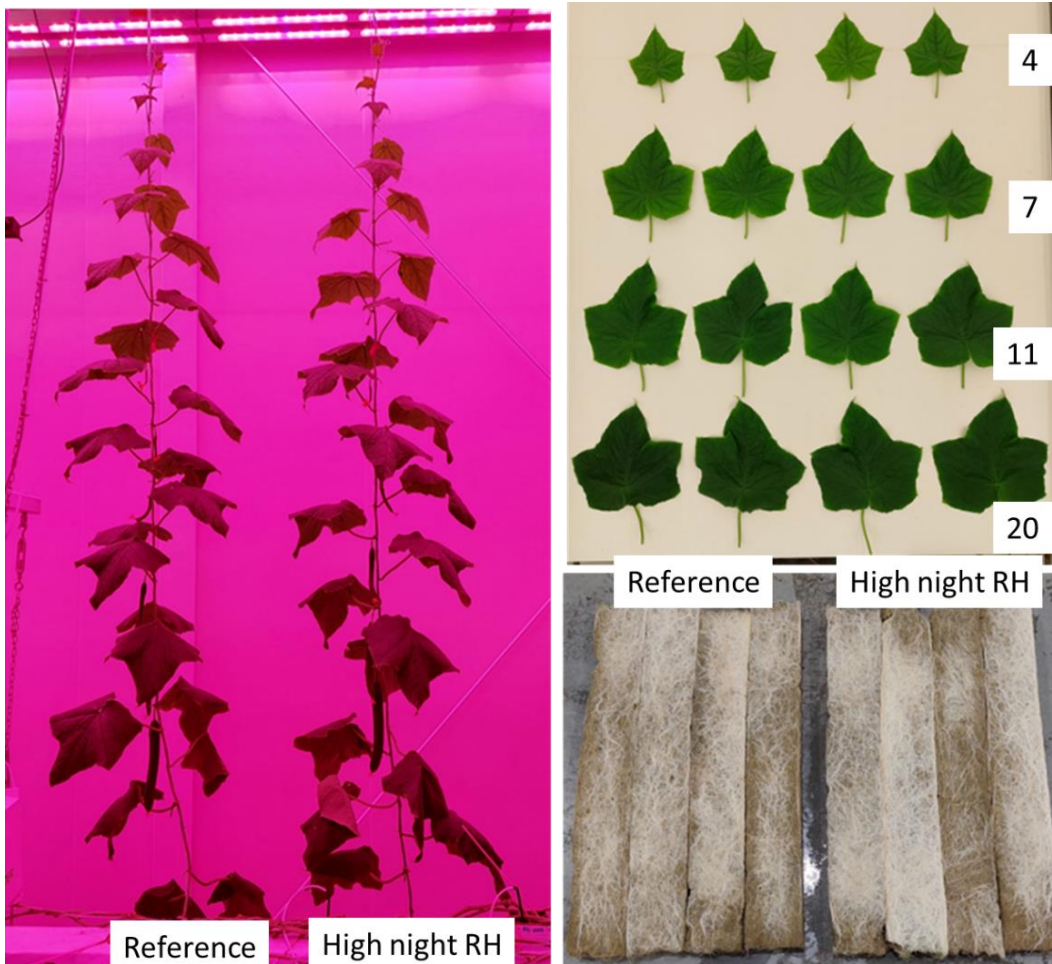


Figuur 19 Bladontwikkelingssnelheid met standaardfout van het gemiddelde ($n=2$).

4.4.3 Destructieve oogst van de planten

Aan het einde van het experiment, op DAT 81, werden de planten destructief gemeten. De resultaten zijn samengevat in Tabellen 9, 10 en 11.

Zoals te zien is, werden er geen significante verschillen gevonden in het aantal internodiën en het aantal bladeren op de planten. Het bladoppervlak was 4% lager voor de planten van de hoge nachtelijke RV-behandeling, en het specifieke bladoppervlak was 2% lager, maar beide niet significant (Tabel 10). Er werd geen verschil waargenomen in de beworteling (Figuur 20). De gemiddelde bladoppervlakte-index (LAI) werd berekend voor een plant met 20 bladeren, en was voor beide cellen 2,2.



Figuur 20 Vergelijking van plant, bladeren en wortels bij destructieve oogst.

Tabel 10 Gemiddelde plantmetingen bij destructieve oogst met standaardfout van het gemiddelde ($n=2$).

Behandeling	aantal internodiën	Bladoppervlakte (cm ² /plant)	Aantal bladeren	Specific leaf area (cm ² /g)
Referentie	81.1 ± 1.1	13368 ± 402	25.1 ± 0.4	384 ± 6.3
Hoge nachtelijke RV	80.9 ± 1.5	12865 ± 378	24.4 ± 0.4	375 ± 5.3

Er werd een tendens waargenomen bij destructieve oogst naar 6% lager bovengronds versgewicht van planten die onder hoge nachtelijke RV-behandeling werden gekweekt. Dit werd waargenomen in alle organen behalve in de stengel die een 5% hoger versgewicht had vergeleken met Referentie (Tabel 11).

Tabel 11 Gemiddelde verse plantgewichtmetingen bij destructieve oogst met standaardafwijking van het gemiddelde ($n=2$).

Behandeling	Bovengronds vers gewicht (g)	Blad vers gewicht (g)	Bladstelen vers gewicht (g)	Stengel vers gewicht (g)	Vers vruchtgewicht (g)
Referentie	1271.9 ± 25.2	245.3 ± 8.6	135.2 ± 5.0	507.0 ± 10.2	384.3 ± 1.4
Hoge nachtelijke RV	1194.4 ± 20.5	236.3 ± 7.6	128.1 ± 7.3	530.0 ± 23.8	299.9 ± 18.2

Vergelijkbare trends werden waargenomen voor het drooggewicht van de verschillende bovengrondse organen. Het bovengrondse drooggewicht was 3% lager onder behandeling met hoge nachtelijke RV (Tabel 12).

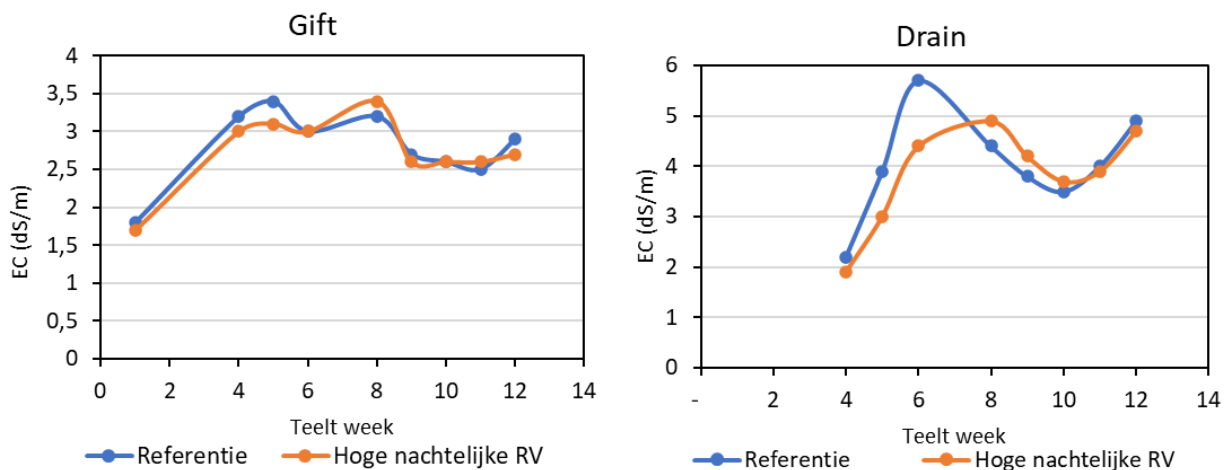
Tabel 12 Gemiddelde metingen van het droge gewicht van de plant bij destructieve oogst met standaardafwijking van het gemiddelde ($n=2$).

Behandeling	Bovengronds drooggewicht (g)	Blad drooggewicht (g)	Bladstelen drooggewicht (g)	Drooggewicht stengel (g)	Drooggewicht van vrucht (g)
Referentie	91.6 ± 3.3	34.8 ± 1.6	5.4 ± 0.3	35.0 ± 1.3	16.4 ± 0.1
Hoge nachtelijke RV	89.1 ± 2.1	34.4 ± 0.6	5.2 ± 0.4	36.2 ± 1.9	13.3 ± 0.8

Aan het einde van het experiment werd de gehele geproduceerde droge biomassa opgeteld, wat resulteerde in $1148,2 \pm 30,3$ g/m² onder referentieomstandigheden en $1169,5 \pm 7,1$ g/m² onder hoge nachtelijke RV-omstandigheden. De licht benuttingsefficiëntie (LBE) was respectievelijk 0,84 g droge stof/mol en 0,85 g droge stof/mol voor referentie- en hoge nachtelijke RV.

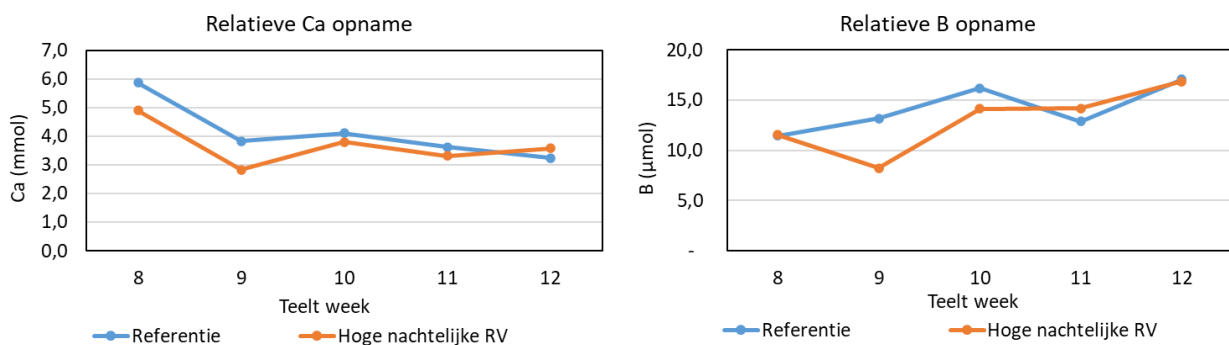
4.4.4 Voedingsstoffensamenstelling

De EC van het irrigatiewater (gift) en van de drain werd wekelijks gemonitord (Figuur 21). Een eerste toename in de drain EC werd gemeten rond week 6 met een snellere toename onder behandeling Referentie waarschijnlijk vanwege de hogere hoeveelheid verdampt water per dag. De Gift-EC werd dus verlaagd tot 2,6 wat slechts een tijdelijk effect had.



Figuur 21 EC-samenstelling van geïrrigeerd water (gift) en drainwater (drain) tijdens het experiment.

Uitgaande van de wekelijkse wateropname werden de relatieve EC-opname en de relatieve opname van passieve elementen (Calcium -Ca- en Borium -B-) berekend. Er werden geen grote verschillen tussen de twee behandelingen. De relatieve EC-opname was 2,2 en 2 tussen week 8 en 12 van de teelt voor respectievelijk Referentie en Hoge nachtelijke RV. De relatieve Ca- en B-opname wordt weergegeven in Figuur 22.



Figuur 22 Relatieve Ca- en B-opname tijdens de weken van generatieve groei.

De elementen samenstelling van de bladeren werd tweemaal geanalyseerd tijdens het experiment (Tabel 14) en bij de destructieve oogst werden alle bovengrondse organen geanalyseerd (Tabel 13). Er werd geen verschil gevonden tussen de behandelingen in de gehalten aan elementen van de bladeren tussentijds noch van de organen bij de uiteindelijke destructieve oogst.

Tabel 13 Gehaltes aan minerale elementen van verschillende plantorganen bij de uiteindelijke destructieve oogst, in mmol (hoofdelementen) of μmol (sporelementen) van het element per kg drooggewicht (ds).

Element	Behandeling	Bladeren	Stam	Petiolen	Vruchten
N (mmol/ kg ds)	Referentie	2940	1350	1620	1680
	Hoge nachtelijke RV	2930	1200	1310	1630
K (mmol/ kg ds)	Referentie	730	1870	2140	1360
	Hoge nachtelijke RV	750	1790	2120	1380
Ca (mmol/ kg ds)	Referentie	1020	329	540	100
	Hoge nachtelijke RV	1020	319	479	100
S (mmol/ kg ds)	Referentie	187	72	122	87
	Hoge nachtelijke RV	203	69	119	87
P (mmol/ kg ds)	Referentie	174	294	252	239
	Hoge nachtelijke RV	184	284	268	255
Mg (mmol/ kg ds)	Referentie	214	82	74	95
	Hoge nachtelijke RV	218	78	70	99
Na (mmol/ kg ds)	Referentie	8,7	13	13	8,7
	Hoge nachtelijke RV	8,7	13	13	8,7
Cl (mmol/ kg ds)	Referentie	36,7	22,6	36,7	28,2
	Hoge nachtelijke RV	28,2	16,9	39,5	33,8
Mn (μmol / kg ds)	Referentie	3620	1270	1060	491
	Hoge nachtelijke RV	3750	1200	1000	550
Zn (μmol / kg ds)	Referentie	474	580	245	291
	Hoge nachtelijke RV	398	630	260	291
Mo (μmol / kg ds)	Referentie	33,4	17,7	21,9	15,6
	Hoge nachtelijke RV	40,7	19,8	25	18,8
Fe (μmol / kg ds)	Referentie	3200	700	600	800
	Hoge nachtelijke RV	2700	1100	600	1100
B (μmol / kg ds)	Referentie	3330	1860	2280	1470
	Hoge nachtelijke RV	3870	1900	2240	1520
Cu (μmol / kg ds)	Referentie	61	105	45,6	47,2
	Hoge nachtelijke RV	77	120	48,8	54

Op bladniveau werd de mineralen samenstelling twee keer gemeten tijdens de teelt op een jong en oud blad. Er werden geen verschillen gevonden in de gehalten aan elementen tussen de behandelingen per bladlaag. Zoals verwacht werden er verschillen gevonden tussen de twee bladlagen. In Tabel 14 worden de hoeveelheden van de meest relevante passief opgenomen nutriënten (Ca, B) en kalium (K) weergegeven.

Tabel 14 Gemiddeld calcium-, borium- en kaliumgehalte van jonge en oude bladeren ($n=2$).

Organen	Behandeling	Ca (mmol/ kg ds)	B (μmol / kg ds)	K (mmol/ kg ds)	K/Ca
Oud blad	Referentie	1050	7000	1550	1,5
	Hoge nachtelijke RV	1045	7050	1425	1,4
Jong blad	Referentie	410	1815	880	2,1
	Hoge nachtelijke RV	409	1810	885	2,2

5 Discussie

In dit experiment met komkommer wat is uitgevoerd onder volledig gecontroleerde condities (twee klimaatkamers, zonder zonlicht) is de focus gelegd op de effecten van een lage VD tijdens de nacht op de verdamping, de gewasgroei en ontwikkeling, de huidmondjes en de opname van water en mineralen.

De resultaten worden hieronder samengevat en besproken aan de hand van de onderzoeksvragen:

1. Zorgt een hoge RV / laag VD tijdens de nacht voor een lagere gewasverdamping tijdens de nacht?

Ja. Om de nachtverdamping te beperken is gebruik gemaakt van een laag VD (59% lager dan de referentie) / verhoogde nacht RV. Dit heeft een duidelijk zichtbaar effect op de verdamping tijdens de nacht (zie Figuur 7). Een verhoogde RV, en dus een lage VD, dempt de verdamping. Bij een lage VD zit de lucht dicht bij verzadiging en kan de plant dus minder goed zijn vocht kwijt (Bange, 1953). Hiermee is de nachtverdamping (in totaal 8 uur) met 43% verlaagd. De laagste nachtelijke verdampingsnelheden ($< 30 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) werden gedurende 5 uur 's nachts bereikt; de minimale gemiddelde verdampingsnelheid was $21 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

2. Heeft dit ook effect op de verdamping tijdens de dag?

Ja. Hoewel een gelijk VD gedurende de dag werd aangehouden in beide behandelingen, werd overdag een gemiddelde transpiratiesnelheid van $145 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ gerealiseerd onder referentieomstandigheden en een gemiddelde van $137 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ onder hoge nachtelijke RV. Dat is een 6% lagere verdamping overdag (zie Figuur 7). Dit is deels te verklaren uit een lagere huidmondjes geleiding (gsw) van vooral de jonge bladeren in de behandeling met hoge nachtelijke RV (Tabel 7) dan in de referentiebehandeling als gemeten overdag; en wellicht ook deels uit een klein verschil in totaal bladoppervlak (gemiddeld kleiner dan 4%) van de plant.

3. Heeft een Hoge nachtelijke RV effect op de huidmondjes dichtheid en grootte?

Nee. Uit de (eenmalige) tellingen zijn geen significante verschillen te zien zijn in het aantal huidmondjes per bladoppervlak van bladeren uit de twee behandelingen (zie Figuur 9), en ook niet in de grootte van de huidmondjes. Dit komt overeen met eerder onderzoek in kassen (Bakker, 1991), daar was ook geen significant verschil gevonden in huidmondjes grote en dichtheid wanneer er een lage RV tijdens de dag en een hoge RV tijdens de nacht werd aangehouden.

Zowel bij komkommer (Bakker, 1991) als bij roos (Fanourakis, 2011) werden meer en grotere huidmondjes gevonden bij een continue (dag en nacht) hoge RV. Een langdurige blootstelling aan een hoge RV kan de huidmondjes ook ongevoelig maken voor sluitingssignalen, waardoor de plant kan uitdrogen (Fanourakis, 2011; Mortensen & Fjeld, 1995; Nejad & Van Meeteren, 2007) na de oogst of na blootstelling aan plotselinge zeer lage EC. In dit onderzoek was er echter geen aantoonbaar verschil in de reactie van de huidmondjes op uitdroging bij beide behandelingen, en waren zowel de jonge als de oude bladeren in beide behandelingen gevoelig voor uitdroging (Figuur 10). Dit laat zien dat de nacht RV en nachttranspiratie wellicht niet relevant zijn voor het functioneren van de huidmondjes.

4. Zorgt een hoge RV/ laag VD tijdens de nacht voor problemen met de groei van het gewas?

Nee. De lagere VD (59% lager dan de referentie) en lagere verdamping (43% lager dan de referentie) tijdens de nacht heeft in dit onderzoek niet geleid tot gewasafwijkingen. Een lage VD wordt vaak in verband gebracht met verschillende gewasproblemen (Zie Deelproject 2, hoofdstuk 5-8). Bij komkommer zijn het ontstaan van bladrandjes, broeikoppen en bol blad een bekend probleem. De huidige theorie is, dat dit ontstaat door verlaagde gewasverdamping. Dit onderzoek laat zien dat het toestaan van een hoge RV en een lage verdamping tijdens de nacht geen negatieve gevolgen heeft voor het gewas. Ook in de praktijk zijn er telers die deze resultaten onderschrijven uit eigen ervaring.

5. *Is de opname van mineralen (w.o. calcium) lager bij een Hoge nachtelijke RV/ laag VD?*

Niet in dit onderzoek. De lagere nacht VD (59% lager dan de referentie) en lagere nachtverdamping (43% lager dan de referentie) hebben niet geleid tot een groot verschil in de opname van calcium in de bladeren (Figuur 22), en bij de eind oogst waren de gehalten aan Calcium en overige elementen gelijk in alle onderzochte organen (Tabellen 13 en 14). Dit kwam overeen met de observatie dat er geen zichtbare gewasproblemen ontstonden.

Een vermindering in verdamping wordt vaak in verband gebracht met calcium tekorten wat weer zou leiden tot bladrandjes en bol blad in komkommer (Zie Deelproject 2, hoofdstuk 5.1 & 5.4). Barker et al., concludeerde dat een hoge RV leidt tot symptomen van calcium tekorten in komkommer, waarbij ook de nacht luchtvochtigheid een grote rol in speelde (Barker et al., 1987; Barker & Sonneveld, 1988). Masuda et al., (1990) lieten zien dat de opname van calcium per liter water twee keer zo hoog was tijdens de nacht dan tijdens de dag (in komkommer en tomaat). Een verminderde verdamping tijdens de nacht zou dus extra effect kunnen hebben op de calcium opname. Dit is niet bij dit onderzoek gebeurd. Mogelijk is dit te verklaren omdat de beperking van de nachtverdamping gepaard ging met dagcondities die niet beperkend waren voor transpiratie (VD= 4,9 g/kg, VPD 0.19 kPa). Hoge wateropnames werden inderdaad gerealiseerd onder beide behandelingen: 3,5 l/m²/d voor Referentie en 3,3 l/m²/d voor Hoge nachtelijke RV, wat overeenkwam met 212 en 200 ml/mol PAR.

In de praktijk (informatie uit de Begeleidingscommissie), worden verdampingsgerelateerde problemen echter pas ondervonden bij wateropname lager dan 100 ml/mol PAR, hoewel dit getal weer cultivar afhankelijk kan zijn. Dit zou betekenen dat de nacht VD pas voor gewasproblemen zorgt als ook de dag verdamping te laag is. Er wordt vaak gespeculeerd of de plant een constante mate van verdamping nodig heeft voor de aanvoer van calcium. Dit onderzoek wijst erop dat geremde verdamping in de nacht niet de calcium opname beperkt. Vervolgonderzoek moet uitweiden of calcium tekorten wel kunnen ontstaan in combinatie met een lage dag VD.

6. *Hebben de jonge bladeren een andere transpiratiesnelheid dan de oudere bladeren?*

Het lijkt erop van wel. Dit voor zover de huidmondjes geleiding een werkelijke mate geeft voor de huidmondjes opening en voor de potentie tot verdamping (want bij een gering verschil in dampdruk kunnen de huidmondjes geheel openstaan zonder dat er veel verdamping is, De Gelder, 2016). Deze observatie is gebaseerd op de beperkte huidmondjes geleidingsmetingen (gsw) die zijn uitgevoerd op zowel jonge als volwassen bladeren onder beide behandelingen overdag. Jonge bladeren hadden een 24% lagere geleiding dan oudere bladeren in de referentiebehandeling, en 32% lagere geleiding dan oudere bladeren in de behandeling met beperkte verdamping in de nacht. In condities waarbij de verdamping heel sterk is beperkt zou dit kunnen verklaren waarom schadeverschijnselen door bij voorbeeld te weinig mineralen aanvoer het eerst te zien zijn in de jonge bladeren. In deze proef was dit niet aan de orde.

7. *Heeft een verhoogde nacht RV / verlaagde VD een (negatief) effect op de productie?*

Nee. Naast dat het gewas geen zichtbare afwijkingen vertoonde met de lagere nacht VD (59% lager dan de referentie) en lagere nachtverdamping (43% lager dan de referentie), heeft dit niet geleid tot verschillen in de gewasgroei, de ontwikkeling van het gewas of de vruchten, de uitgroeiduur van de vruchten van bloem tot oogst, het aantal vruchten of de grootte of het gemiddeld gewicht van de vrucht. Het klein verschil in huidmondjes geleiding dat is gemeten in het nadeel van de behandeling Hoge Nacht RV, heeft niet geresulteerd in verschillen in CO₂-opname: in beide behandelingen is een gemiddelde assimilatiesnelheid van 11 µmol CO₂ per eenheid teeltoppervlak per seconde gemeten. In een onderzoek bij komkommer van Barker et al., (Barker et al., 1987) werd gekeken naar het effect van vier verschillende combinaties van luchtvochtigheid bij dag en nacht. Dit onderzoek concludeerde dat luchtvochtigheid tijdens de dag een groot effect heeft op de uiteindelijke productie, maar dat de nacht luchtvochtigheid hier geen rol in speelt. Dit is in overeenstemming met onze resultaten. Wel werd door Barker et al., beschreven dat de houdbaarheid van de vruchten achteruit ging bij een continue hoge RV. In ons onderzoek had de hoge RV alléén tijdens de nacht ook geen negatief effect op de houdbaarheid (die eenmalig is bepaald).

6 Conclusies en aanbeveling voor vervolg

Uit dit onderzoek met komkommer van het ras Dee Flexion geteeld gedurende 83 dagen onder geconditioneerde, daglichtloze omstandigheden kan worden geconcludeerd dat:

- Het aanhouden van een laag VD (59% lager dan een referentie met een hoger VD) in de nacht (8 uur totaal) kan de nacht verdamping flink verlagen met 43%. De hierbij minimale gemiddelde transpiratiesnelheid was $21 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en dat is behaald gedurende 5 uur per nacht (de uren dat de lage VD echt gerealiseerd is).
- Het aanhouden van de genoemde laag VD in de nacht, heeft ook een remmend effect, hoewel beperkt (6%), op de verdamping overdag.
 - Deels te verklaren uit een lagere huidmondjes geleiding en wellicht ook deels te verklaren uit een klein verschil in totale bladoppervlak.
 - Dit verschil kan niet verklaard worden uit verschillen in huidmondjes dichtheid of grootte tussen de behandelingen.
 - De behandeling met nachtverdamping beperkende omstandigheden hebben ook geen negatief effect op de huidmondjes reactie op uitdroging: bij beide behandelingen waren zowel de jonge als oude bladeren even gevoelig voor uitdroging.
- De lagere huidmondjes geleiding was niet beperkend voor de CO_2 -opname: in beide behandelingen is een gemiddelde assimilatiesnelheid van $11 \mu\text{mol CO}_2$ per eenheid teeltoppervlak per seconde gemeten.
- De lagere VD (59% lager dan de referentie) en lagere verdamping (43% lager dan de referentie) tijdens de nacht heeft in dit onderzoek niet geleid tot verminderde opname van calcium of andere elementen uit de voedingsoplossing.
- De lagere VD (59% lager dan de referentie) en lagere verdamping (43% lager dan de referentie) tijdens de nacht heeft in dit onderzoek niet geleid tot gewasafwijkingen.
- De lagere nacht VD (59% lager dan de referentie) en lagere nachtverdamping (43% lager dan de referentie), heeft niet geleid tot verschillen in productie. Zowel de gewasgroei, de ontwikkeling van het gewas of de vruchten, de uitgroeiduur van de vruchten van bloem tot oogst, het aantal vruchten of de grootte of het gemiddeld gewicht van de vrucht, als de houdbaarheid van de vruchten waren in beide behandelingen gelijk.

Mogelijk omdat de verlaagde nachtverdamping afgewisseld is met dagcondities die niet beperkend waren voor de verdamping (VD $4,9 \text{ g/kg}$), is de dagelijkse wateropname vrij hoog geweest: $3,5 \text{ l/m}^2/\text{d}$ voor de referentie en $3,3 \text{ l/m}^2/\text{d}$ voor de behandeling met lage nacht VD. Dit komt overeen met opnames van 212 en 200 ml water/mol licht. Uit praktijkervaringen blijken problemen met het gewas voor te komen, afhankelijk van het ras, bij een opname van water rond 100 ml per mol licht.

In vervolg experimenten zou de focus kunnen liggen op het nog verder beperken of juist stimuleren van de verdamping in de nacht, al dan niet in vergelijking met het beperken ervan overdag. En dan de effecten op verdamping kwantificeren, met aandacht voor de effecten daarvan op het gewas en de productie.

Literatuur

- Amin, B., Atif, M. J., Wang, X., Meng, H., Ghani, M. I., Ali, M., Ding, Y., Li, X., & Cheng, Z. (2021). Effect of low temperature and high humidity stress on physiology of cucumber at different leaf stages. *Plant Biology*, 23(5), 785–796. <https://doi.org/10.1111/plb.13276>.
- Bakker, J. C. (1991). Effects of humidity on stomatal density and its relation to leaf conductance. *Scientia Horticulturae* 48.3-4 (1991): 205-212.
- Bange, G. G. J. (1953). On the Quantitative Explanation of Stomatal Transpiration. *Acta Botanica Neerlandica* 2.3 (1953): 255-297. (Vol. 2, Issue 3).
- Barker, J. C., & Sonneveld, C. (1988). Calcium deficiency of glasshouse cucumber as affected by environmental humidity and mineral nutrition. *Journal of Horticultural Science*, 63(2), 241–246. <https://doi.org/10.1080/14620316.1988.11515854>.
- Barker, J. C., Welles, G. W. H., & van Uffelen, J. A. M. (1987). The effects of day and night humidity on yield and quality of glasshouse cucumbers. *Journal of Horticultural Science*, 62(3), 363–370.
- De Gelder, A., (2016). Verdamping, balans tussen noodzaak en overmaat”. Kennisinventarisatie en analyses van vocht gerelateerde fenomenen in lopende projecten. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB-1383.
- Fanourakis, D. (2011). Stomatal Response Characteristics as Affected by Long-term Elevated Humidity Levels. PhD thesis, Wageningen University dissertation nr. 5112.
- Locke, A. M., & Ort, D. R. (2014). Leaf hydraulic conductance declines in coordination with photosynthesis, transpiration and leaf water status as soybean leaves age regardless of soil moisture. *Journal of Experimental Botany*, 65(22), 6617–6627. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru380>.
- Masuda, M., Tanaka, T., & Matsunari, S. (1990). Uptake of Water in and Minerals Tomato and during the Day and the Night Cucumber Plants. In *J. Japan. Soc. Hort. Sci* (Vol. 58, Issue 4).
- Mortensen, L. M., & Fjeld, T. (1995). High air humidity reduces the keeping quality of cut roses. *Acta Horticulturae*, 405, 148–155. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.405.18>.
- Nejad, A. R., & Van Meeteren, U. (2007). The role of abscisic acid in disturbed stomatal response characteristics of *Tradescantia virginiana* during growth at high relative air humidity. *Journal of Experimental Botany*, 58(3), 627–636. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl234>.
- Sobrado, M. A. (1994). Leaf age effects on photosynthetic rate, transpiration rate and nitrogen content in a tropical dry forest. *Physiologia Plantarum*, 90(1), 210–215. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02213.x>.

Bijlage 1 White paper Verdamping

White paper: Kennisontwikkeling over verdamping van kasgewassen

juni 2023

Sander Hogewoning, Plant Lighting B.V.

Arie de Gelder & Frank Kempkes, Wageningen UR Glastuinbouw en Bloembollen.

Alex Klink, Delphy Improvement Centre

Achtergrond

De energietransitie (zie energieconvenant van 2022) en de hoge energieprijzen geven beide aanleiding tot zo energiezuinig mogelijk telen in de glastuinbouw. Belichting met LED in plaats van SON-T, optimaal gebruik maken van zonlicht, betere isolatie van de kas, minder ventileren (in combinatie met actieve ontvochtiging), en minder inzet van warmte, verminderen het energiegebruik en dat is goed. Echter, vochtbeheersing en gewasverdamping worden hierdoor wel een grotere uitdaging.

Verdamping en fotosynthese zijn twee essentiële processen voor een plant, waarbij de huidmondjes een belangrijke regulerende functie hebben. Verdamping zorgt ervoor dat er een sapstroom plaatsvindt waarmee nutriënten en suikers worden vervoerd, en heeft een koelend effect op het gewas. Beperken van de verdamping kan door het gedeeltelijk sluiten van huidmondjes, maar dat kan wel negatieve gevolgen hebben voor de CO₂-opname voor de assimilatie. Verdamping kan ook beperkt worden door het dampdrukverschil tussen huidmondjes en lucht te verlagen, zodat huidmondjes wel openblijven om CO₂ op te nemen.

Verdamping en wateropname zijn onderdeel van het totaal van plantprocessen. Van deze processen is de assimilaten balans – verhouding tussen aanmaak van assimilaten en vraag naar assimilaten - van grote invloed op processen als wortelgroei en wortelactiviteit. Via de wortelgroei is er een interactie met de verdamping. Daarom is een geïntegreerde benadering nodig. Rekening moet ook gehouden worden met het feit dat stralingsverschillen verdampingseffecten hebben maar ook temperatuureffecten en dus effecten voor de assimilatenverdeling.

Bij alle processen zijn er effecten op korte termijn, middellange en langere termijn. De verdamping zelf is een korte termijn proces, maar gevolgen voor wortelactiviteit en nutriënten opname zijn middellange en lange termijn. Om korte termijneffecten goed te onderzoeken, moeten de omstandigheden op middellange en lange termijn niet anders worden of een beperkende factor zijn.

Afgelopen winter in de praktijk (en in proeven) is gebleken dat energiezuinig telen problemen kan geven die waarschijnlijk gerelateerd zijn aan onvoldoende gewasverdamping ('activiteit'). Immers, verdamping is een energie-gedreven proces, en minder netto energietoevoer verlaagt daarom de verdamping. Dit uit zich o.a. door een slechte bladkwaliteit (bladpunten, chlorose en/of slappe bladeren), slechte houdbaarheid van snijbloemen, rotkoppen bij gerbera, en problemen met wortelkwaliteit (jonge vruchtgroenten). De fysiologische oorzaken zouden gerelateerd kunnen zijn aan onvoldoende verdamping op zich, de balans worteldruk-verdamping, een beperking van nutriënten-transport en aan huidmondjesgedrag. Bovendien verandert de verdeling van verdamping tussen verschillende gewaslagen door de energiebesparende maatregelen. Kennis over deze processen en hoe hiermee om te gaan is essentieel voor de door-ontwikkeling van energiezuinige teeltstrategieën.

Doelstelling

De doelstelling binnen het 'Masterplan verdamping' is het ontwikkelen van kennis over *hoeveel* verdamping *wanneer, waar* en *waarom* nodig is, voor een goede kwaliteit gewas met hoge productie.

Dit moet tuinders een handvat geven om binnen veilige grenzen te telen met minimale inzet van energie voor verdamping. De volgende aspecten verdienen aandacht, in volgorde van prioriteit:

1. Ontwikkelen van praktische methoden om in de kas 'live' verdamping te meten.
2. Leren wat de grenzen zijn waarbinnen een gewas moet verdampen.
3. Effecten van systemen voor klimaatbeheersing op de verdamping.
4. Zijn er alternatieve methoden om problemen door te lage verdamping te compenseren?

Ad 1. Ontwikkelen praktische methode voor het meten van verdamping

Om op verdamping te kunnen sturen, moet een tuinder inzicht hebben in de gasverdamping. Een methode op basis van fysieke sensoren ondersteund met goede data-analyse is waarschijnlijk werkbaar in de kas. Die methode moet idealiter zo eenvoudig mogelijk zijn en robuust genoeg voor toepassing in de kas.

Uitvoering: Maak een overzicht van alle beschikbare methoden. Valideer de bruikbaarheid van methoden, bijvoorbeeld: Vergelijk verdamping vastgelegd met nauwkeurige weeggoten met berekende verdamping op basis van de energiebalans-methode of sapstroom metingen. Waarbij de mogelijkheid om verdamping op verschillende gewaslagen of van individuele bladeren te kunnen meten zeer wenselijk is, omdat er aanwijzingen zijn dat de juiste verdamping van bepaalde plantdelen van belang is. Nadat een betrouwbare meetmethode is ontwikkeld, kan die kennis in kasproeven en de praktijk worden gevalideerd en toegepast.

Ad 2. Grenzen van verdamping

Om te leren hoeveel een gewas moet verdampen om teeltproblemen te voorkomen, zullen experimenten gedaan moeten worden met verschillende niveaus van verdamping. Daarbij moet gekeken worden naar omstandigheden die problemen voorkomen en die problemen opwekken. Dit onderdeel is complex. Ten eerste zijn er veel vragen. Het gaat er niet alleen om *hoeveel* een gewas moet verdampen. Het is ook belangrijk te weten *wanneer* een gewas moet verdampen en hoeveel dat dan moet zijn. 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, etc.) ligt het voor de hand dat verdamping in een bepaalde periode van de teelt bepalend is voor de kwaliteit, terwijl bij een gewas met ongedetermineerde groei (tomaat, gerbera) verdamping gedurende de hele teelt goed gecontroleerd moet worden. Ook het te oogsten product speelt hierin een rol: een bladrand kan een groter probleem zijn in een siergewas dan in een vruchtgroente. Ook de verdamping van verschillende bladlagen is van belang. Gaat het om verdamping van de toplaag van het gewas, of is ook de verdamping van bladlagen daaronder belangrijk voor bijvoorbeeld houdbaarheid? De problemen die door te weinig verdamping ontstaan moeten ook verklaard worden (nutriëntenbalans, huidmondjesgedrag etc.), zodat gericht aan een oplossing kan worden gewerkt.

Uitvoering: Bovenstaande geeft al aan, dat er veel vragen zijn en veel verschillende mogelijke proeven. In een proefopzet is het belangrijk dat gevarieerd kan worden in verdamping, *zonder* dat tegelijkertijd andere processen te veel worden beïnvloed (meer warmte stimuleert verdamping, maar verhoogt ook de luchttemperatuur en dat is weer onwenselijk, etc.). Dit type onderzoek vraagt dus om goed controleerbare of geconditioneerde omstandigheden, waarin gestuurd kan worden op verschillende niveaus verdamping. Voor verschillende proeven kan een selectie gemaakt worden van gewassen of gewasgroepen, hun specifieke problemen, en de hypothesen over de oorzaak en oplossing van die problemen.

Ad 3. Effecten van systemen voor klimaatbeheersing op de verdamping.

Verwarming, luchtbeweging, verneveling, schermen, ventilatie en belichting beïnvloeden via de energie- en vochtbalansen de verdamping van een gewas. Een goed begrip van de verschillende klimaatsturingstechnieken op verdamping is belangrijk, zodat telers kunnen sturen op voldoende verdamping en onnodige inzet van energie voor verdamping kunnen minimaliseren.

Uitvoering: Een beschrijving van de instrumenten waarmee het kasklimaat gestuurd kan worden en hoe deze de verdamping kunnen stimuleren of remmen, is op basis van bestaande kennis op te stellen. Modellen kunnen ondersteunend zijn om te analyseren hoe verdamping verandert onder invloed van deze instrumenten en het effect dat ze hebben op het kasklimaat. In experimenten kan gevalideerd worden of de modellen de werkelijkheid goed beschrijven en wat de gevolgen voor de energie-input in de kas zijn. Belangrijk is om hierbij ook de andere plant-fysiologische processen die door deze instrumenten beïnvloed worden in kaart te brengen.

Ad 4. Zijn er alternatieve methoden om problemen door een te lage verdamping te compenseren?

Een goed overzicht van de teeltproblemen die aan gebrek aan verdamping worden gekoppeld is wenselijk. Daarbij hoort een analyse of dit de logische verklaring is voor die problemen. Teelt-problemen door gebrek aan verdamping kunnen worden opgelost door te sturen op meer verdamping, maar in de meeste gevallen kost dat energie. Wellicht zijn er ook alternatieve methoden die helpen om problemen te voorkomen of verminderen. Waar de problemen gerelateerd zijn aan te weinig transport van mineralen, kan wellicht gestuurd worden met de voedingssamenstelling. Watergift, EC en worteltemperatuur beïnvloeden de worteldruk. Kortom, kennisontwikkeling op dit gebied is wenselijk.

Uitvoering: Ook hier zijn veel varianten in proeven mogelijk. Voeding en watergift zullen een grote hoeveelheid verschillende gewasresponses kunnen geven. Dus een wildgroei aan proeven waaruit het moeilijk conclusies trekken is, moet worden vermeden. Een proefopzet met ten minste een controlebehandeling en een goede meting van de verdamping is essentieel om de juiste conclusies te kunnen trekken. Het combineren van verdampingsproeven (onder **ad 2**) met bijvoorbeeld voeding-proeven in een factorieel of split-plot proefontwerp verdient de aanbeveling.

Samenwerking

Gezien het belang van de vragen rondom verdamping voor de energietransitie in de glastuinbouw en de complexiteit van het onderwerp, is besloten tot samenwerking tussen de kennisinstellingen Wageningen UR Glastuinbouw, Plant Lighting en Delphy Improvement Centre. Dit in samenspraak met Glastuinbouw Nederland en HNT-adviseurs. Binnen de samenwerking wordt overlegd over doelstellingen, meetmethoden, worden proeven uitgevoerd door de afzonderlijk instellingen op elkaar afgestemd, en wordt kennis voortkomend uit die proeven met elkaar en met de sector gedeeld.

Bijlage 2 Samenvatting experimenten chrysant, deelproject 3, Plant Lighting

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 volleggrondeelt 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.

Bijlage 3 Samenvatting experiment tomaat, deelproject 5, 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 $20,3^\circ\text{C}$ was in beide kassen gelijk. Het gerealiseerde vochtdeficit in de laag vocht kas was $3,1 \text{ g}/\text{m}^3$ en in de hoog vocht kas $2 \text{ g}/\text{m}^3$. 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 geogst 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.

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



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

Rapport WPR-1334



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