



WAGENINGEN UR

For quality of life

Vocht, verdamping en productie: waarheid, fabels en witte vlekken

Een verkenning in het kader van het energieprogramma kennisinteractie

Cecilia Stanghellini





Vocht, verdamping en productie: waarheid, fabels en witte vlekken

Een verkenning in het kader van het energieprogramma kennisinteractie

Cecilia Stanghellini

© 2007 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, 6708 PD Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
Inleiding	3
Vochthuishouding: wat weten we en wat weten we wat we niet weten?	7
Probleemstelling	7
Stand van zaken	7
Hoe verder	10
Bijlage Presentaties en verslagen van twee workshops	11
Bijlage Artikel verschenen in Groenten * Fruit	27

Samenvatting

Een te hoge luchtvochtigheid in de kas verhoogt de kans op (schimmel)ziekten en remt de verdamping. Dit kan de opname en het transport van bepaalde voedingselementen in de plant belemmeren en kan leiden tot (fysiologische) afwijkingen zoals neusrot. Klimaatmaatregelen zoals geforceerd minimum buistemperatuur of minimum raamstand om hoge vochtigheid te voorkomen stimuleren indirect ook de verdamping en dus de productie van vocht. Over de effectiviteit valt dus te betwisten. Wat we wel weten is dat deze maatregelen veel energie kosten.

Het eindplaatje waar we naar streven is een gezonde plant, die produceert wat de tuinder wenst. Moderne, semi-gesloten kassen bieden veel meer mogelijkheden om de plantprocessen (met name de verdamping) te sturen. Deze mogelijkheden worden niet benut en het telen in geconditioneerde kassen valt soms zelfs tegen, omdat we slechts over fenomeenkennis beschikken, vergaard in traditionele kassen waar de klimaatvariabelen veel meer met elkaar zijn verbonden.

Om onze [gebrek aan] kennis in kaart te brengen, zijn in het kader van het energieprogramma van PT en LNV twee workshops gehouden waar de plantbehoefte in relatie tot vocht centraal werd gesteld. Naast vertegenwoordigers van PT en LNV, waren er experts vanuit Wageningen UR, TNO, DLV, Phytagoras, Lucel, Hoogendoorn, Wilk van der Sande en Lek Habo. Wageningen UR Glastuinbouw werd gevraagd om een inleidend document op te stellen en een tweetal presentaties te verzorgen om de discussie bij de twee workshops op gang te brengen. Deze documenten en de verslagen van de twee workshops zijn als bijlage toegevoegd, samen met een artikel hierover, verschenen in Groenten * Fruit

Samengevat leverden de workshops de volgende vragen en opmerkingen op:

1. Extreem lage verdamping.
 - a. Wat is de minimaal benodigde verdamping voor een goed presterende plant (maak hierbij onderscheid naar verschillende condities: dag – nacht; wel of geen warmtebehoefte).
 - b. Wat betekent dit voor het vochtgehalte in het microklimaat rond de plant.
 - c. Wat is de maximale temperatuur voor het blad, de optimale temperatuur voor het fotosyntheseprocess en hoeveel voelbare warmte kan worden afgevoerd bij een gegeven kasluchttemperatuur.
 - d. Wat betekent dit voor de acceptabele temperatuur en lichtniveau. Het te kort aan koelcapaciteit zal moeten worden gevonden in meer verdamping van het gewas of een andere manier van warmteafvoer.
 - e. Goed naar de wortels kijken.
 - f. Goed naar voeding en watergift kijken. Deze worden extra kritisch (bij semigesloten telen lijken deze tot problemen te (kunnen) leiden).
2. Constante productie en planbaarheid in combinatie met energiebesparing.
 - a. Goede plantmodellen zijn nodig om dit proces te ondersteunen. Met 'nieuwe' sensoren wordt sneller inzicht verkregen.
 - b. Ti op kritische plantprocessen (zetting en abortie). Grote dag nachtverschillen resulteert in onbalans, tuinders proberen DIF constant te houden.
3. Waardoor wordt terugval na de langste dag veroorzaakt, terwijl de tuinder graag meerproductie wil in het najaar
4. Wat is het effect van nieuwe kasdekmaterialen en daarmee andere lichtspectra (NIR-afscherming) op het proces van verdamping. Reduheat kost t.o.v. ongekrijt productie maar kwaliteit gaat vooruit (aardbei, paprika); licht wordt ook diffuser.

Inleiding

Door de nieuwe teeltwijze in semi-gesloten kassen (koelen en bevochten) zijn er meer mogelijkheden om het klimaat rond de plant (microklimaat) te beïnvloeden. Omdat het microklimaat uiteindelijk de reactie van de plant bepaalt, maken de nieuwe mogelijkheden voor het klimatiseren van de kas een nieuw evenwicht tussen gezonde plant en gewenste productie mogelijk. Daarom was de centrale vraag in de eerste workshop: 'wat willen we bereiken' of de relatie vocht en productie, terwijl in de tweede workshop is gekeken naar 'hoe kunnen we het bereiken', via de klimaatregeling.

Voor een optimaal functionerende plant is het wenselijk dat de groei en verdamping in balans zijn met de aanvoer van water door de wortels en er dus geen tekort of ophoping optreedt.

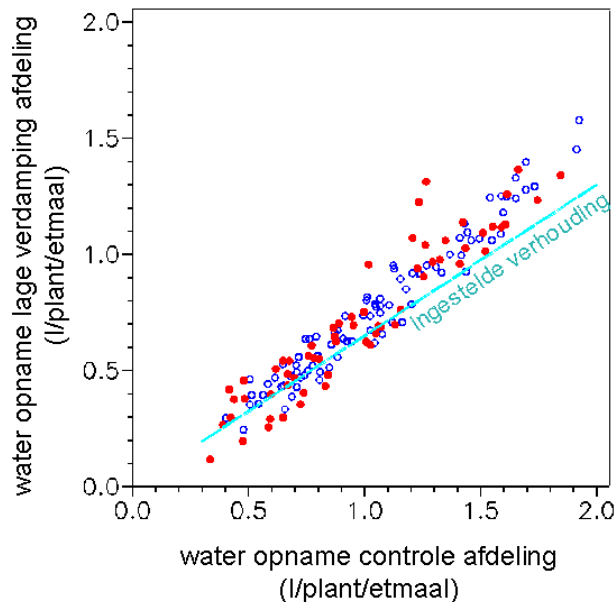
De grote motor achter de sapstroom (en dus stoftransport) is de verdamping en de motor achter de verdamping is de energietoevoer. De energiebalans luidt: netto instraling op het blad = verdamping + afgifte/opname van voelbare warmte aan/van de omgeving. De bladtemperatuur past zich aan om de balans in stand te houden, dat wil zeggen dat als er meer instralingsenergie is dan door verdamping afgevoerd kan worden, er afgifte van voelbare warmte aan de omgeving moet zijn en de bladeren warmer dan de lucht moeten zijn. Andersom als de instralingsenergie onvoldoende is voor de verdamping, zoals 's nachts, dan zijn de bladeren koeler dan de lucht om energie (voelbare warmte) uit de lucht te kunnen onttrekken. Met een grens, echter, want zogauw als de bladeren onder het dauwpunt van de lucht komen te staan, dan vindt daar condensatie plaats (het omgekeerde proces van verdamping) en komt de verdampingsenergie vrij, wat de bladeren verwarmt.

Wanneer de aanvoer van water onvoldoende is om de verdamping in stand te houden (water stress) neemt de celspanning (turgor) af. Dit komt de productie niet ten goede. Door verlies aan turgor gaan de huidmondjes dicht en kunnen de bladeren slap gaan hangen. Dit zijn in feite zelfbeschermingsmaatregelen van de plant, maar leiden allebei wel tot minder fotosynthese. Daarnaast, zoals boven geschetst, minder verdamping betekent een hogere gewas-temperatuur, bij dezelfde instraling. Wat de uitwerking van een hogere gewas-temperatuur is op de fotosynthese is mede afhankelijk van de CO₂ concentratie. Bij een hoge concentratie ligt het optimum van de fotosynthese bij een hogere temperatuur. De temperatuur heeft een veel groter effect op ontwikkelingsprocessen van de plant, zoals re-distributie van assimilaten, blad afsplitsing, vrucht zetting en vrucht afrijping, etc. Bij deze processen lijkt de temperatuursom meer invloed te hebben dan momentane temperatuur, tenzij schadegrenzen worden overschreden. Elke plant heeft zijn eigen temperatuurmaximum waarbij schade optreedt. Gebruikelijke mitigerende maatregelen (schermen, krijten) om de gewas-temperatuur binnen grenzen te houden door de instraling te beperken, leiden weer tot minder assimilatie en minder productie. Daar staat tegen over dat de tuinder hier soms bewust op stuurt om de verhouding tussen vegetatief en generatief te verschuiven.

Een andere consequentie van verlies aan turgor is minder celstrekking, d.w.z. minder versgroei, kleinere vruchten, kleinere bladeren. Het laatst betekent uiteindelijk ook weer minder assimilatie en productieverlies. Het is wel mogelijk dat een tekort aan celstrekking overdag gecompenseerd wordt 's nachts, echter we weten niet in welke mate dat kan gebeuren en welke klimaatsturing we zouden kunnen gebruiken om het te bevorderen. Daarnaast, is het nog onduidelijk wat de belangrijkste oorzaak van schade is bij hoge temperatuur: verdroging of verbranding. We weten onvoldoende waar de grens ligt tussen hoog en TE hoog.

Vooral 'stimulerende' maatregelen, 's-nachts of bij donker weer zijn energievreters. Wanneer is verdamping zo laag dat zulke maatregelen nodig zijn? We weten dat de verdamping niet tot nul kan worden beperkt omdat deze nodig is voor het in stand houden van goed stoftransport (met name water en nutriënten) in de plant. Van de huidige gemiddelde wateropname wordt op jaarbasis slechts ca. 10% vastgelegd in biomassa. Echter de huidige wateropname is beduidend hoger dan nodig is voor een minimale sapstroom. Door Cecilia Stanghellini is in een reeks experimenten bij het toenmalige IMAG (nu Wageningen UR Glastuinbouw) aangetoond dat een vochtregeling dat resulteerde in een veel lager verdamping dan gebruikelijk, geen enkele invloed had op de productie van tomaat en zelfs positief uitpakte bij hoge EC. In haar onderzoek werd (d.m.v. minder ventilatie en zonodig bevochtiging) een constante verhouding van 2/3 gehandhaafd tussen de momentane verdamping in twee kasafdelingen, dus zowel 's als overdag, bij

hoge en lage instraling (zie figuur). De stelling dat de verdamping zonder problemen met 50% terug gebracht kan worden werd niet tegengesproken door de experts aanwezig op de workshop. Echter wat is de minimaal benodigde verdamping voor een goed presterende plant in relatie tot verschillende condities weten we nog niet. Omdat calcium passief wordt opgenomen en met de waterstroom mee naar de plantendelen wordt gebracht, kan een verlaagde verdamping leiden tot (locale) calcium gebrek. Dit kan voorkomen worden door een gerichte aanpassing van de voeding.



Gemeten dagelijks wateropname (liters per plant) in een experiment van de reeks besproken in de tekst. De vochtigheid in afdeling 2 werd geregeld om steeds een verdampingsniveau te handhaven van 2/3 van de d.m.v. een model berekende verdamping in afdeling 1. De twee kleuren geven twee verschillende wortelmilieu behandelingen aan. De productie in beide afdelingen was hetzelfde, in de hoge EC behandeling was een lage verdamping zelfs gunstig voor de kg-productie.

Een te lage verdamping zou zich kunnen vertalen in een te hoge celspanning (turgor) wat kan leiden tot guttatie. Guttatie kan ook door een hoge worteltemperatuur veroorzaakt worden, waarbij EC en watergift ook een rol spelen. Terwijl guttatie in een aantal gevallen een positief effect kan hebben op de distributie van calcium in de plant, bij guttatie, zoals bij condensatie, nemen de problemen met pathogenen toe. Dit is waarschijnlijk omdat pathogenen vochtige plekken nodig hebben om zich te ontwikkelen of natte invalspoorten. In relatie tot klimaat en vocht is het belangrijk te realiseren dat schimmelziekten op stengels via wondinfectie anders op vocht kunnen reageren dan schimmelziekten op blad, bloemen etc., waar een directe infectie van weefsel voorwaarde voor is. Een optimale oplossing gericht op Botrytis zal tot andere ziekten kunnen leiden. Bij Plant Research International hebben Köhl en medewerkers afgelopen jaar een proef gedaan met aardbei waar het gewasklimaat gericht was om Botrytis te voorkomen. In plaats van Botrytis was echter een even zware meeldauw probleem gecreëerd. Dit kan in principe ook in tomaat en gerbera een risico zijn. Het is belangrijk om een goede balans te vinden.

Hoewel het bij verdamping gaat om natuurkundige processen wordt de mate van deze processen beïnvloed door plant factoren, zoals de openingsgraad van de huidmondjes (huidmondjesweerstand) en de wortelactiviteit. Over deze processen weten we nog minder. Men denkt bijv. dat door het reguleren van de huidmondjesopening de plant probeert de baten (fotosynthese) te maximaliseren t.o.v. de kosten (waterverlies). Grote dampdrukverschillen (drijvende kracht voor verdamping=waterverlies) tussen het blad en de lucht zorgen ervoor dat huidmondjes meer gaan sluiten. Andersom, lage CO₂ concentratie (=lage fotosynthese) zorgen voor opening van de huidmondjes. Door lage CO₂ concentraties kan de sluiting van de huidmondjes door waterstress zelfs ongedaan worden gemaakt,

waardoor de plant zijn zelfbescherming kwijt is. Als er waterstress dreigt moet er een hoge vochtigheid en hoge CO_2 concentratie zijn.

Dus hoge vochtigheid en hoge CO_2 concentratie, zeker als er waterstress dreigt. Een verklarend model voor het werken van de huidmondjes hebben we echter nog niet.

De andere grote onbekende is de wortel. In hoeverre is het noodzakelijk om de verdamping te stimuleren en de wortels actief te houden? Hoeveel wortels heeft een plant eigenlijk nodig?

De wortels van een plant nemen water en mineralen uit de bodem op. De mineralenopname verloopt over het algemeen nog goed ook als de plant minder verdampt. De plant neemt de meeste mineralen actief op, of, de plant beslist zelf welk element en hoeveel hij er van opneemt. De teler moet wel ervoor zorgen dat alle elementen voldoende beschikbaar zijn. Op de termijn van een tot enkele dagen kunnen planten zich aanpassen aan waterstress door de concentratie opgeloste stoffen in de cellen te verhogen. Dit is de reden waarom planten op de eerste heldere dag na een donkere periode gemakkelijker slap gaan dan op de dagen daarna. Inderdaad 'afharden' van de plant, om weersovergangen aan te kunnen, is een ander veel genoemde reden om de verdamping te stimuleren. In veel experimenten bij de instellingen die nu Wageningen UR Glastuinbouw zijn, is vastgesteld dat op donkere dagen de wortelgroei meer afneemt dan de scheutgroei; dit resulteert in een hogere spruit/wortelverhouding. Wanneer de wortels worden opgewarmd bijv. door een hogere minimumbuis, wordt dit effect versterkt. Verlaging van RV (in de range dat is gangbaar bij kasgewassen) heeft nauwelijks invloed op wortel- en scheutgroei. De worteldruk is naast temperatuur ook afhankelijk van de EC van het gietwater en de beschikbare assimilaten. De plant kan de worteldruk verhogen door actief zouten op te nemen. Voor deze opname van zouten zijn assimilaten nodig. De opgenomen zouten zorgen voor een grotere osmotische druk, waardoor de wortels meer water uit bodem/substraat opnemen en de worteldruk toeneemt. Een hoge worteldruk zorgt voor passief transport van calcium naar de delen die niet verdampen en is belangrijk. Hormonen (bijvoorbeeld abscisine, auxine, cytokinine) hebben invloed op huidmondjesweerstand en op de potentiaal in de wortel. Hoewel we op basis van natuurkundige processen redelijk kunnen onderbouwen wat er gebeurt, is de invloed van de hormonen minder goed te voorspellen.

Naast deze korte termijn aanpassingen, kan een plant zichzelf aanpassen aan de (klimaat)omstandigheden door morfologische adaptaties. Een voorbeeld hiervan is de tendens om grotere bladeren (meer verdampende oppervlakte) in vochtige omgevingen. Verandering van de bladorientatie is ook een manier om meer licht te vangen (horizontale bladeren) in een donkere omgeving, dan wel minder instraling (verticale bladeren) om de bladtemperatuur niet te hoog te laten lopen. Huidmondjesaantallen, dikte van de bladcuticula, beharing van bladeren (om maar een paar voorbeelden te noemen) zijn ook allemaal eigenschappen die de verdamping kunnen beïnvloeden. De grote variëteit hierin tussen gewassoorten is waarschijnlijk een evolutionaire adaptatie. Het is wel bekend dat groeiomstandigheden, bijvoorbeeld huidmondjesdichtheid, dit kunnen beïnvloeden, maar weten we niet hoe en in hoeverre. Van de plantstrekking reactie naar de spectrale verdeling van licht (licht kleur) en naar het dag-nacht temperatuurverschil (DIF) wordt dankbaar gebruikt in de sierteelt. We weten echter nog niet genoeg om gebruik te kunnen maken van de verruimde beheersbaarheid van de groeiomstandigheden in een semi-gesloten kas om de morfologische ontwikkeling te sturen. We weten ook nog niet goed wat het effect is van nieuwe kasdekmaterialen een/of krijten die de 'warme' component (NIR) van zonlicht wegfilteren. Daarmee wordt de balans assimilatie-verdamping verschoven (en de licht wordt meestal diffuser) wat ook plantadaptatie zou kunnen veroorzaken.

Optimaal telen in de nieuwe kassen vergt een omschakeling van denken door de tuinders. Dat moet wel gebaseerd zijn op nieuwe inzichten over de optimale groeiomstandigheden van een plant en in hoeveel speelruimte er is in instellingen voordat productie en productkwaliteit gevaar lopen.

Vochthuishouding: wat weten we en wat weten we wat we niet weten?

Probleemstelling

Een aanzienlijke fractie van het energieverbruik van de Nederlandse glastuinbouw gaat zitten in de vochtbeheersing. Vochtbeheersing heeft twee doelen:

1. Waarborgen van 'optimale' groeiomstandigheden m.b.t. water- en nutriënten-huishouding van het gewas
 - a. preventie van te hoge verdampingsvraag (waterstress)
 - b. preventie van 'te lage' water opname
 - c. het 'sturen' van het versgewicht
 - d. het 'sturen' van nutriënten opname
2. Voorkomen van natslaan van het gewas, ter wille van preventie van o.a. Botrytis en ziektevorming. Natslaan kan voorkomen zowel door condensatie op gewasdelen als door plantenexudaten (door worteldruk dan wel wondjes).

Dit lijkt heel logisch, maar hierbij worden drie impliciete aannames gedaan:

1. **[relatie: proces → productie]** dat het optimale **niveau** van het proces dat we willen beïnvloeden (verdamping/water- en nutriëntenopname/condensatie) bekend is, en ook in verschillende klimaat- en gewasomstandigheden.
2. **[relatie: kasklimaat → proces]** dat we weten **hoe** je het proces kunt beïnvloeden door ingrepen in het kasklimaat, ook in uiteenlopende klimaat- en gewasomstandigheden.
3. **[relatie: actuatoren → kasklimaat]** dat we het gewenste kasklimaat (m.n. vochtigheid) ook **kunnen** realiseren.

Omdat in traditionele kassen aan geen één van deze drie voorwaarden wordt voldaan, nemen tuinders het zekere voor het onzekere, door het volgen van bewezen streefwaarden en procedures bijvoorbeeld: 'het gewas activeren' (project activeren of stilzetten, Dieleman). De ene tuinder kijkt hierbij meer af dan de andere, en het energieverbruik blijkt sterk afhankelijk te zijn van de risicoaversie van de tuinders (bijv. project 'herkennen en spiegelen').

In tegenstelling tot een traditionele kas, is aanname 3 in kassystemen als bijvoorbeeld de Aircokas inderdaad geldig en daardoor wordt de onwaarheid van aannames 1 en 2 nog pijnlijker. Hoger 'RV compenseert licht tekort' in de referentiekas t.o.v. de Bio-optimaal kas. Eindelijk heb je een gereedschap en omdat je deze niet weet te gebruiken 'laat je productie liggen'!

Dit document probeert in grove lijnen (houtschoolschets) de stand van zaken van ons (gebrek aan) kennis weer te geven. Het is bedoeld als inleiding/achtergrond voor een workshop (18 april a.s.) van onderzoekers en 'stakeholders' uit verschillende disciplines en ervaring. Doel van de workshop is om te kijken welke eisen op het gebied van vocht moeten worden gesteld aan het microklimaat (boven en onder de grond), zodanig dat de plant maximaal gebruik kan maken van het aangeboden licht, CO₂ en temperatuur.

Als vervolg op deze workshop komt er een workshop over microklimatisering (8 mei). De workshop over microklimatisering is erop gericht om het microklimaat (temperatuur, CO₂, vocht en licht) rond de plant optimaal en energiezuinig te bewerkstelligen.

Stand van zaken

Relatie proces → productie

Kennis m.b.t. water- en nutriënten-opname:

- Een lange termijn gemiddelde is dat de wateropname ongeveer 110% van de verdamping is en het verschil is de toename in het versgewicht.
- De opslag van water in de organen is enigszins gerelateerd aan de in de organen opgeslagen drogestof.

- Zowel temperatuur als EC van irrigatiewater heeft invloed op de drogestofgehalte (opgeslagen water per eenheid drogestof) van de verschillende organen.
- Enkele nutriënten (zoals Ca) worden 'passief' opgenomen, d.w.z. opname ervan is evenredig met wateropname
- Opname van de meeste andere nutriënten is in 'verband te brengen' met de drogestof productie

Kennis m.b.t. verdamping:

- Huidmondjes sluiting door onbalans van verdamping en watertoevoer kost productie.
- Een te hoge verdamping kan toevoer van calcium naar de vruchten verhinderen en neusrot veroorzaken.
- Een te lage calciumopname door lage verdamping kan afwijkingen veroorzaken en dus ook productie- en/of kwaliteitsverlies.

Kennis m.b.t. natslaan:

- Natte gewasdelen lopen een hoge kans van schimmelinfecties. De kans op aantasting neemt toe met de duur van nat staan.
- Hoge relatief vochtigheid (en lage verdampingsvraag) kan leiden tot natslaan, zowel door condensatie als worteldruk.

Gebrek aan kennis:

- We weten niet eens of er een causale relatie bestaat tussen verdamping en een toename van het versgewicht!
- We kunnen de opname van nutriënten slechtst empirisch omschreven.
- We weten niet of de verschillende processen ook verschillende functies hebben in de dag/nacht cycli.
- We kunnen de werking van zelfgereguleerde processen in de plant (zoals huidmondjes opening; morfologische adaptaties zoals huidmondjes aantal en omvang) niet verklaren en dus niet gebruiken.
- We kunnen het effect van temperatuur en EC op het drogestofgehalte (dus het opgeslagen water) van organen (vooral de vruchten) niet verklaren en dus niet voorspellen en daarmee gebruiken en de sturing.
- We zijn niet in staat om het risico van productie- (en des te meer van kwaliteit-)verlies (net name in de sierteelt) door [tijdelijk] extreme klimaatomstandigheden, zoals hoog/laag temperatuur en VPD te kwantificeren.

Relatie kasklimaat → proces

Wat weten we:

In principe zijn verdamping en condensatie fysische processen die beschreven kunnen worden op basis van fysische wetten (behouden van energie, behouden van massa). Dit is de basis van vrijwel alle modellen die worden toegepast. Hiermee kan de invloed van kasklimaat factoren (zoals zonnestraling, vochtigheid, temperatuur, verwarming,...) op verdamping [en condensatie] vastgesteld worden.

Wat denken we te weten: (of: *'de duivel zit in het detail'*)

Om de energie- en massa stromen te kunnen omschrijven gaan zulke modellen uit van 'gewasparameters'. Deze zijn hoeveelheid blad (bladoppervlakte index); stralingsabsorptie (extinctiecoëfficiënt); grenslaag- en huidmondjesweerstand. Zelfs de eerste twee (waar geen discussie over is wat ermee wordt bedoeld) zijn in de praktijk moeilijk te bepalen. De grenslaagweerstand hangt af van luchtsnelheid en bladafmetingen (iets dat niet standaard wordt gemeten) en voor de huidmondjesweerstand hebben we slechtst empirische, gewasspecifieke modellen, voor enkele gewassen/rassen.

Wat weten we niet:

- De robuustheid van zulke parameters (bijv. adaptatie). In het 'luchtsnelheid en productie' project, bijv. zijn er aanwijzingen gevonden dat de huidmondjes zich zouden kunnen aanpassen aan de hoge luchtsnelheid. In het 'diffuus licht' project bleek dat de bladstand (dus stralingsabsorptie) afhankelijk kan zijn van de stralingsomgeving. Nu lopende projecten zoals 'fotosynthese bij misting' (Dieleman) en 'plant combinaties' (Dueck) kunnen hier meer informatie verschaffen.
- Dan weten we nog steeds deze parameters niet voor alle gewassen.

- Daarnaast, geen van alle modellen houdt rekening mee met de temperatuur van het wortel milieu, dus kan het effect van koeling/verwarming voorspellen (tegenvallende producties bij Themato worden aan wortelkoeling toegeschreven; onderzoek van Kaarsemaker aan effect van matverwarming op Botrytis).
- Het effect van ruimtelijke variaties. Dit heeft te maken zowel met horizontale dan wel verticale gradiënten (het laatst met name in gesloten/airco kassen) en met verschillende thermische eigenschappen van gewasdelen (vruchten blijven achter bij opwarming en de kans op condensatie neemt toe).

Veel belovende ontwikkelingen

Gezien de bovengenoemde knelpunten, groeit onder onderzoekers (inclusief de schrijver) het gevoel dat - terwijl modellen zijn onmisbaar bij voorspellingen en scenariostudies - misschien een heel andere aanpak (wellicht een combinatie van 'nieuwe' monitoring en 'oude' kennis) meer perspectief kan bieden voor toepassing de praktijk.

Trendzetters in deze nieuwe 'slag' zijn:

- Soft-sensors: projecten zoals 'verdamping/assimilatie monitor' (Bontsema) die er naar streven om de proces-snelheid te schatten op basis van standaard klimaat metingen.
- Plantensoort: projecten zoals 'huidmondjes zien' (van Weel) die streven naar het samenstellen van 'indicatoren'
- Data-mining: de registratiesystemen die sinds enkele jaren worden toegepast in de praktijk, bieden een schat aan informatie die geanalyseerd kan worden om verbanden in kaart te brengen en relevante indicatoren/streef-waarden te bepalen.

Relatie actuatoren → kasklimaat

Het voornaamste knelpunt in traditionele kassen is het gebrek aan een onafhankelijke regeling van het vocht. Opwarmen; ventileren en 'vochtkieren' hebben gevolgen voor zowel temperatuur als vochtigheid. In moderne kassen met 'luchtbehandeling', is deze afhankelijkheid ten dele opgelost: koeling wordt gebruikt om te ontvochten en zonodig wordt waterdamp toegevoegd (wat wel verwarming vergt).

Daarnaast, in zowel traditionele als kassen met luchtbehandeling, is het uiteindelijke resultaat van een actie afhankelijk van de buitenomstandigheden, zoals wind, vocht en temperatuur. De regeling zorgt wel voor het gewenste resultaat t.o.v. de beoogd geregelde variabele (temperatuur OF vochtigheid), maar niet voor de energie-optimale combinatie van deze twee.

Wat weten we:

We kunnen de processen goed beschrijven, op basis van fysische principes en een groot aantal parameters van de kas (omhulling; ramen; schermen; verwarming). Deze parameters zijn echter ook afhankelijk van buitenomstandigheden, inclusief enkele die niet standaard worden gemeten (bijvoorbeeld hemel temperatuur).

Wat denken we te weten:

Voor al deze parameters bestaan modellen waarmee je de invloed van een ander ontwerp (dekhelling; raamtype; dekmateriaal; pijpafmeting; etc.....) dan wel andere buitenomstandigheden zou kunnen omschrijven.

Wat weten we niet:

- In feiten zijn deze modellen voor de parameters empirisch, d.w.z. geldig alleen voor de [combinatie van] omstandigheden waarin ze werden vastgesteld. Bij toepassing in heel andere [kas]concepten zou de geldigheid ervan gecheckt moeten worden.
- Daarnaast is condensatie een heel belangrijke vocht- en energiestroom (zeker voor traditionele kassen). Echter zijn we niet in staat om de dektemperatuur (de drijvende kracht voor condensatie) te meten c.q. te bepalen en weten we niet de verdeling (tussen kas lucht, dek en buitenomgeving) van de energie die vrijkomt.

Veel belovende ontwikkelingen

In deze neemt ook het gevoel toe dat, terwijl fysische modellen bruikbaar en nuttig zijn voor scenario analyses, voor een optimale regeling in de praktijk we niet zonder een terugkoppeling met 'soft-sensors' kunnen. Daarbij wordt het momentane, gecombineerde effect van alle parameters en variabelen in een 'responsiecurve' gestopt, die kan

worden gebruikt om de regeling fijn te 'tunen'. Hierbij hebben projecten zoals de 'ventilatie monitor' (Bontsema) een grote potentiaal.

Hoe verder

In de eerste workshop 'vocht' gaat het over het gewas. Na afloop van de workshop moet er - in samenhang:

- een goed beeld zijn van wat er bekend is;
- een goed beeld van de kennisvragen/kennishiaten;
- duidelijk zijn waar de kansen/ quick wins liggen om energie te besparen en de productie te verhogen;
- duidelijk zijn waar de bedreigingen/ valkuilen liggen;
- Daarnaast moet er een hiërarchie zijn van wat moet eerst gebeuren, wat parallel, om na een bepaalde periode grote stappen gezet te hebben.

Aanpak

Logische vragen formuleren die ons stapsgewijs door de problematiek heen loodsen, zodat de workshop antwoord op kan geven. Mijn voorstel is dat de vragen ten eerste de discussie moeten stimuleren om de deels aanwezige kennis bovenwater te krijgen. Daarna de nog resterende kennishiaten als onderzoeksvragen proberen te formuleren.

- Zijn er minimale grenzen voor de verdamping (m.n. in het donker) ter wille van versgewicht opbouw en/of nutriënten voorziening, afgezien van het nut van om condensatie op gewas delen tegen te gaan?
- Zijn er 'maximale' grenzen vast te stellen, waarboven het enige nut van verdamping is blad afkoeling?
- Hoe kunnen wij vroegtijdig de risico herkennen dat een verkeerde vochthuishouding de assimilatie nadelig beïnvloedt?
- Hoe kunnen we het effect van extreme temperatuur/vochtomstandigheden op productie kwantificeren?
- Zijn er [soft]sensoren c.q. indicatoren te bedenken?
- Kunnen we hierbij de schat aan teeltregistratie, verdampingsgootmetingen etc., aanwezig in de praktijk gebruiken?
- Kan de nutriëntenvoorziening op hoog/laag verdampingsvraag inspelen?
- Hoe oefent de plant (boven- en ondergronds) invloed uit op de sapstromen?
- Wat is de rol van de temperatuur van de wortelomgeving in water en nutriënten opname, en in de guttatie?
- Hoe kan de teler invloed uitoefenen op de sapstromen?
- Zijn er [soft]sensoren c.q. indicatoren voor de kans op schimmelinfectie?
- Is denkbaar dat in de toekomst gestuurd kan worden op plantadaptatie? Zo ja, hoe komen we aan de benodigde kennis en indicatoren?

Per antwoord op de verschillende vragen kan dan worden aangegeven of dit een belangrijke parameter is om in de gaten te houden (waarom wel/ waarom niet) en in welke vorm de kennis zou kunnen worden toegepast.

Bijlage Presentaties en verslagen van twee workshops

Cecilia Stanghellini

18 April 2007

Vocht en productie: wat weten we en wat weten we niet?

Cecilia Stanghellini, Wageningen UR Glastuinbouw



WAGeningen UR

Doelen van vochtbeheersing

- waarborgen van "optimale" water- en nutriënten-huishouding
 - preventie van te hoge verdamping (hag (waterstress))
 - preventie van "te lage" water opname
 - het "sturen" van het versgewicht
 - het "sturen" van nutriënten opname
- voorkomen van natslaan van het gewas (Botrytis)
 - condensatie op gewasdelen
 - plantenesudaten (door worteldruk dan wel wondjes)

als we wisten wat optimaal is

WAGeningen UR

Wat weten we m.b.t. verdamping:

Netto straling R_{net} $R_{net} - H - L = 0$

Verdamping van water H

blad tissue

Wisselwerking

WAGeningen UR

De functie van temperatuur:

- De nivo varieert tot de uitstroom balanceert de instroom
- De stromen verbeelden de energiestromen
- De nivo verbeeld de temperatuur



De plant heeft zelf een controle

WAGeningen UR

...maar de effectiviteit hangt weer af...

Water vapor

Ambient air

Boundary layer resistance, r_b

Leaf (stomatal) resistance, r_s

Boundary layer resistance, r_b

het WERKEN van de huidmondjes weten we niet

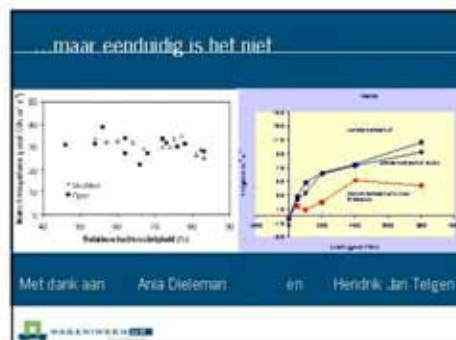
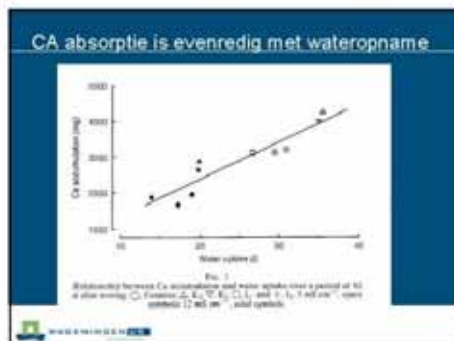
WAGeningen UR

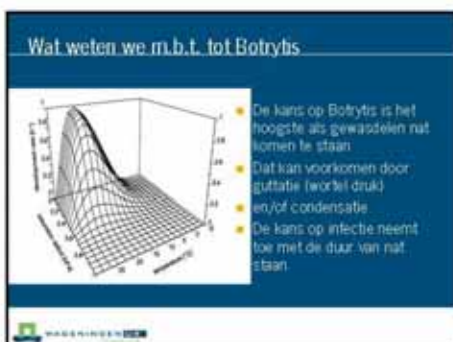
Wat weten we ook niet m.b.t. verdamping

- Door morfologische adaptatie planten kunnen lichtstroom beïnvloeden
- en grenslaag



WAGeningen UR







landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

Productschap  Tuinbouw

Verslag

Vergadering van Workshop Plant en vocht	Van Anja Iolman Telefoonnummer 079 347 06 14
Datum vergadering 18 april 2007	Totaal aantal pagina's 6
	Zoetemeer d.d. 23 april 2007

Aanwezig

WUR: Leo Marcelis, Peter van Weel, Jürgen Köhl, Joke Postma, Gerard Bot,
Wouter Verkerke, Anja Dieleman, Hendrik Jan van Telgen, Cecilia Stanghellini
Hoogendoorn: Jan Voogt
DLV: Helma Verberckt
Phytagoras: Henry Korthout
Lucel: Marcel Steenbakkers
LNV: Leo Oprel
PT: Anja Iolman

Afwezig

In het programma Kas als Energiebron van LNV en PT wordt aandacht besteed semi-gesloten kasconcepten en klimaat en teeltconcepten. In dit kader is woensdag 18 april '07 met deskundigen van het bovengrondse en ondergrondse deel van de plant een workshop gehouden over vocht, met de plant als uitgangspunt. Door de nieuwe teeltwijze in semi-gesloten kassen (koelen en bevochten) blijkt dat wij nog te weinig weten over het effect van vocht op het functioneren van de plant. Tot nog toe gaat de aandacht voor vocht vooral naar het voorkomen van natslag en daarmee ziektes. De kans die vocht biedt om effectiever met het aangeboden licht en CO₂ om te gaan is nog onderbelicht. Met deze workshop willen we meer inzicht krijgen in deze kans en hoe dit is te combineren met een verlaagde verdamping, zodat het energiegebruik van de kas verder naar beneden kan.

Door Cecilia Stanghellini is een presentatie gegeven over de door haar uitgevoerde voorstudie "Vochthuishouding: wat weten we en wat weten we wat we niet weten?" Rapportage en sheetpresentatie zijn een bijlage bij dit verslag.

Na deze presentatie is er gediscussieerd vanuit verschillende invalshoeken. Hierna volgt een samenvatting van de discussie.

Kortweg kun je zeggen dat het eindplaatje waar we naar streven een gezonde plant is, die produceert wat de tuinder wenst en dit doet met zo min mogelijk verdamping van water, want dit kost in veel situaties (fossiele) energie. In sommige situaties is juist extra verdamping gewenst om een beter kas- of microklimaat te creëren. De nieuwe mogelijkheden voor het klimatiseren van de kas maakt een nieuw evenwicht tussen gezonde plant en gewenste productie mogelijk.

De huidige praktijk is een lokaal optimum van de tuinder. Hoewel er ruimte is voor meer productie en minder energiegebruik zal de tuinder alleen op basis van "eerst zien dan geloven" zijn praktijk willen aanpassen.

Vanwege gebrek aan voldoende informatie over de achterliggende principes en hoe deze uitwerken bij de plant worden m.n. goede ervaringen uit het verleden (fenomenen) vertaald naar algemene principes.

Voor een optimaal functionerende plant is het wenselijk dat de groei en verdamping (die grotendeels bepaald wordt door de energietoevoer) in balans zijn met de aanvoer van water door de wortels en dat er dus geen tekorten of ophoping optreedt. Onbalans vertaalt zich in een te hoge of celspanning (turgor) wat kan leiden tot guttatie of in een te lage celspanning wat kan leiden tot sluiting van huidmondjes en slap hangen van bladeren. Slap hangen van bladeren treedt vooral op bij jong blad omdat hier nog geen verhouting is opgetreden.

Naast deze tijdelijke effecten kan een plant zich beschermen door langdurige morfologische effecten, zoals bladorientatie, strekking van bladeren, minder huidmondjes of maatregelen die de grenslaag tussen het blad en de omringende lucht beïnvloeden zoals haartjes op het blad.

Wanneer de omstandigheden niet optimaal zijn neemt een plant beschermingsmaatregelen, dit komt de productie niet ten goede. Beschermingsmaatregelen bij hoog licht zijn nadelig omdat deze de productie verlagen en de tuinder noodzaken om mitigerende maatregelen (schermen, krijten) te nemen om het effect te beperken. Daar staat tegenover dat de tuinder hier soms bewust op stuurt omdat beschermingsmaatregelen bloei kunnen induceren en dus de verhouding tussen vegetatief en generatief bepaalt. Hoewel dit een goede methode is wordt hier soms te ver in doorgegaan met nadelige gevolgen voor de productie en het energiegebruik. De stress die dit veroorzaakt resulteert in beschermende maatregelen boven de grond maar kan ook in nadelige effecten onder de grond. Er is een correlatie gevonden tussen stress aan de bovenkant en het aantal exudaten onder de grond. Deze exudaten bevorderen de toename van pathogenen en zijn dus niet wenselijk.

Naast tijdelijke beschermingsmaatregelen kan schade ontstaan waardoor de plant meer problemen met ziektes krijgt. Net als de exudaten onder de grond, kunnen uitdroging of guttatie tot meer problemen met ziekten leiden. Zo nemen bij guttatie de problemen met pathogenen toe, wat mogelijk een gevolg is van natte plekjes of natte invalspoorten. Guttatie kan daarentegen in een aantal gevallen een positief effect hebben op de distributie van calcium in de plant.

Er is niet één ziekte en zeker ook niet één Botrytis ziekte. In relatie tot klimaat en vocht is het belangrijk te realiseren dat Botrytis-ziekten op stengels via wondinfectie (hoe lang blijft de wond vatbaar) totaal anders op vocht reageren dan Botrytis-ziekten op blad, bloemen etc waar een directe infectie van weefsel voorwaarde voor is (en dus bladnat). Verder is de vochtdiscussie veelal gericht op Botrytis. Een optimale oplossing gericht op Botrytis zal tot andere ziekten kunnen leiden. Het gaat dus om een goede balans te vinden. Köhl et al. hebben bijvoorbeeld afgelopen jaar een veldproef gedaan met aardbei waar het gewasklimaat Botrytis is voorkomen. In plaats van Botrytis was echter een even zwaar meeldauw probleem gecreëerd. Dit kan in principe ook in tomaat en gerbera een risico zijn.

Hoewel het bij verdamping gaat om natuurkundige processen worden de weerstanden in deze processen beïnvloed door hormonen (bijvoorbeeld abscisine, auxine, cytokinine). Hormonen (met name abscisine) hebben invloed op huidmondjesweerstand en op het potentiaal in de wortel. Hoewel we op basis van natuurkundige processen redelijk kunnen onderbouwen wat er gebeurt, is de invloed van de hormonen minder goed te voorspellen.

De worteldruk draagt gemiddeld voor ca. 2% bij aan sapstromen in de plant. De grote motor achter de sapstromen is de verdamping. De bijdrage van de worteldruk kan worden verhoogd door een hogere worteltemperatuur. De stelling is dat 30° C een ideale worteltemperatuur is. Deze hoge temperatuur verhoogt de kans op guttatie in de nacht, wanneer er weinig water verdampt. De worteldruk draagt alleen relevant bij aan de turgor wanneer er geen verdamping is. Overigens werd in een proef in Horst destijds met paprika en freesia geen effect van worteltemperatuur op worteldruk gevonden.

De worteldruk is naast temperatuur ook afhankelijk van de EC van het gietwater en de beschikbare assimilaten. De plant kan de worteldruk verhogen door actief zouten op te nemen. Voor deze opname van zouten zijn assimilaten nodig. De opgenomen zouten zorgen voor een grotere osmotische druk, waardoor de wortels meer water uit bodem/substraat opnemen en de worteldruk toeneemt. Een hoge worteldruk zorgt voor passief transport van calcium naar de delen die niet verdampen en is dus belangrijk.

De verdamping kan niet tot het oneindige worden beperkt omdat deze bepalend is voor en dus nodig is voor het instandhouden van een minimale sapstroom die zorgt voor een goede stoftransport (met name water en nutriënten) in de plant. Van de huidige gemiddelde wateropname (2007) wordt op jaarbasis slechts ca. 10% vastgelegd in biomassa. De stelling is dat de verdamping nu beduidend hoger is dan nodig is voor een minimale sapstroom. De aanwezige experts verwachten dat de verdamping zonder problemen met 50% terug gebracht kan worden, mits de verminderde verdamping niet tot teveel verhoging van de kas (en gewas) leidt.

Verder wil de tuinder dat de plant actief is waardoor vrijwel momentaan gebruik kan worden gemaakt van het aangeboden licht. De mate van actief zijn wordt dan afgelezen aan de mate van verdamping. Verdamping als indicator voor het openstaan van huidmondjes. Het op deze manier actief houden kost veel energie. Omdat we niet weten wat er gebeurt met de wortels wanneer de plant minder verdampt, zijn tuinders afhoudend met het nemen van maatregelen die invloed hebben op de verdamping.

De hier boven beschreven inzichten zijn lastig te vertalen naar algemene teeltvoorschriften. De benodigde acties zijn daarvoor te zeer afhankelijk van de situatie van het moment; is het dag of nacht; is er wel of geen warmtevraag in de kas; hoeveel warmte moet door verdamping worden afgevoerd. Deze inzichten moeten terugkomen in de diverse teeltmodellen.

De energiebalans:

Netto instraling op het blad = verdamping + afgifte van voelbare warmte aan de omgeving

De bladtemperatuur past zich aan om de balans in stand te houden. D.w.z. dat als er meer instralingsenergie is dan door verdamping afgevoerd kan worden, dit zich vertaalt in een hogere temperatuur van het blad, meer afgifte van voelbare warmte aan de omgeving, verhogen van de dampspanning in de holte onder het huidmondje en daarmee verhogen van de drijvende kracht voor transport van waterdamp over het huidmondje.

Wanneer minder zoninstraling wordt afgevoerd door verdamping zal dus meer van de netto instraling op het blad via afgifte van voelbare warmte moeten worden afgevoerd. Hiervoor is het nodig dat de plant in temperatuur stijgt. Wat de uitwerking hiervan is op de fotosynthese is mede afhankelijk van de CO₂-concentratie. Bij een hoge concentratie ligt het optimum van de fotosynthese bij een hogere temperatuur. Hierbij gaat het om de combinatie van temperatuur en CO₂-concentratie op bladniveau. De oorzaak hiervoor is niet besproken in de workshop.

Elke plant heeft zijn eigen temperatuur maximum waarbij schade optreedt. Het is nog onduidelijk wat belangrijkste oorzaak van schade is bij hoge temperatuur: verdroging of verbranding.. We weten onvoldoende waar de grens ligt tussen hoog en TE hoog?

De tuinder regelt meestal op relatieve vochtigheid. Regelacties zijn daarbij met name gericht op het voorkomen van natslag. Het vochtgehalte regelen om invloed uit te oefenen op de verdamping is nog niet gebruikelijk. Wanneer de bladtemperatuur afwijkt van de kasluchttemperatuur is het regelen op relatieve luchtvochtigheid geen goede parameter voor het beheersen van de verdamping.

Voor het proces van verdamping is de snelheid van afvoer van waterdamp uit de holte onder het huidmondje bepalend. Deze snelheid wordt bepaald door de de grenslaagweerstand, de opening van de huidmondjes en het verschil in waterdampspanning in de holte en in de kas.. Een relatief hogere dampdruk in de kas verlaagt daarmee de snelheid van verdamping en de energie die op deze manier kan worden afgevoerd. Dat betekent dat meer energie moet worden afgevoerd in de vorm van voelbare warmte, d.w.z. de bladtemperatuur moet toenemen. De bladtemperatuur beïnvloedt de dampspanning in de holte onder het huidmondje. Een hogere bladtemperatuur verhoogt daardoor de verdamping. Een bladtemperatuur boven de kasluchttemperatuur zorgt voor afgifte van voelbare warmte, terwijl een bladtemperatuur onder de kasluchttemperatuur leidt tot aanvoer van voelbare warmte.

Luchtbeweging vereenvoudigt het stoftransport EN verbetert de warmteoverdracht van het blad. De uitwisseling van warmte (latente + voelbare) zal toenemen. Bij te veel verdamping zullen de huidmondjes door verlies aan turgor sluiten. Om ongewenst sluiten van huidmondjes te voorkomen zal moeten worden ingegrepen op het aandeel van de verdamping. Sluiten van huidmondjes en celstrekking zijn trage processen. De reactie tijd ligt tussen de 20 – 30 minuten. Wanneer zich dit voltrekt ben je eigenlijk al te laat met maatregelen.

Om te voorkomen dat de verdamping te hoog op loopt en dan de wateropname tekort schiet met stress effecten als gevolg moet het overschot aan warmte op een andere manier worden afgevoerd. Voordeel van bevochtiging is afvoer van overschot aan warmte EN beheersing verdampingsproces.

Interessant is te weten wat de maximale temperatuur is voor het blad, de optimale temperatuur voor het fotosynthese proces en hoeveel voelbare warmte kan worden afgevoerd bij een gegeven kasluchttemperatuur. Het te kort aan koelcapaciteit zal moeten worden gevonden in meer verdamping van het gewas of een andere manier van warmteafvoer.

Bladtemperatuur en de aanwezigheid van water hebben effect op de celspanning en daarmee op het open en sluiten van huidmondjes, de celstrekking en daarmee op de strekking van het blad. Bladtemperatuur heeft effect op de dampspanning van het water in de holte achter de huidmondjes en daarmee op de drijvende kracht achter waterdamptransport over het huidmondje

's Nachts zijn huidmondjes vrijwel gesloten. Nog steeds is verdamping mogelijk door verschil in dampdruk in de holte van de huidmondjes en de kaslucht. Deze verdamping is wenselijk om guttatie te voorkomen.

Remming van celstrekking treedt mogelijk eerder op dan sluiten van huidmondjes. We weten niet of achterblijven van celstrekking overdag, 's nachts wordt gecorrigeerd. Celstrekking is bepalend voor grootte van vrucht of bloem en oppervlak van het blad. Gewenste oppervlak is afhankelijk van het stadium van het gewas.

Het sluiten en openen van huidmondjes is een proces dat wordt gestuurd door celspanning van de sluitcellen. De verdamping wordt indirect beïnvloed door licht, doordat dit effect heeft op de bladtemperatuur en daarmee op dampspanning in de holte onder de huidmondjes en daarmee verdamping. Te veel licht kan leiden tot een te hoge verdamping en uiteindelijk sluiten van de huidmondjes. Hoe CO₂ invloed heeft op het sluiten van huidmondjes is niet besproken.

STELLINGEN:

1. Het omgaan met vocht en verdamping is nu vooral een vertaling van fenomenen en minder gebaseerd op kennis van de processen. Om hier verandering in te brengen is meer kennis nodig.
2. Voor een gezonde plant is het belangrijk dat de turgor (celspanning) in stand wordt gehouden. Te veel (guttatie) of weinig turgor (uitdroging) zorgt voor schade en tot meer ziektenproblemen (ook door bodempathogenen).
3. Bij een actieve plant staan de huidmondjes open. Open huidmondjes betekent dat de spanning in de sluitcellen voldoende hoog is. Verdampen is hiervoor slechts beperkt nodig.
4. Verhogen van de vochtgehalte in de kas is een goede manier om invloed uit te oefenen op de verdamping van het gewas.
5. Wanneer de plant jaarrond 50% minder water verdampt dan nu gebruikelijk, is de sapstroom nog voldoende voor de benodigde nutriënten transport

ONDERZOEKSVRAGEN:

- A. Extreem lage verdamping
 - a. Wat is de minimaal benodigde verdamping voor een goed presterende plant (maak hierbij onderscheid naar verschillende condities: dag – nacht; wel of geen warmtebehoefte)
 - b. Wat betekent dit voor het vochtgehalte in het microklimaat rond de plant

- c. Wat is de maximale temperatuur voor het blad, de optimale temperatuur voor het fotosynthese proces en hoeveel voelbare warmte kan worden afgevoerd bij een gegeven kasluchttemperatuur.
- d. Wat betekent dit voor de acceptabele temperatuur en lichtniveau. Het te kort aan koelcapaciteit zal moeten worden gevonden in meer verdamping van het gewas of een andere manier van warmteafvoer.
- e. Goed naar de wortels kijken
- f. Goed voeding en watergift kijken. Deze worden extra kritisch.
- B. Constante productie en planbaarheid in combinatie met energiebesparing.
 - a. Goede plantmodellen zijn nodig om dit proces te ondersteunen. Met "nieuwe" sensoren wordt sneller inzicht verkregen
 - b. Ti op kritische plantprocessen (zetting en abortie). grote dag nachtverschillen resulteert in onbalans, tuinders proberen DIF constant te houden.
- C. Waardoor wordt terugval na de langste dag veroorzaakt, terwijl tuinder graag voor meerproductie wil in het najaar
- D. Wat is het effect van nieuwe kasdekmaterialen en daarmee andere lichtspectra (NIR-afscherming) op het proces van verdamping. effect reduheat kost productie maar kwaliteit gaat vooruit (aardbei, paprika); licht wordt ook diffuser; t.o.v. ongekrijt.
- E. Wat is de relatie vochthuishouding en botrytis. Acties n.a.v. resultaten van lopend onderzoek "Parapluplan Botrytis & Energie Gerbera" en "Schimmelaantasting in vruchtgroenten in relatie tot energie: inventarisatie".

Kasklimaat en vocht: wat weten we en wat weten we niet?

Cecilia Stanghellini, Wageningen UR Glastuinbouw



Doel van vochtbeheersing is...

- ...het sturen van plant processen...
verdamping/versgewicht/nutrienten opname/condensatie
- ...via de klimaatregeling
 - verwarming
 - ventilatie
 - ontvochtiging
 - verneveling
 - (natuurlijke) condensatie
 - schermen

de vorige workshop ging over "WAT willen we bereiken"

Vandaag gaat het over "HOE"

Wat weten we m.b.t. verdamping:

Netto straling $R_{n,0}$

$$R_{n,0} + H + L = 0$$

Stroomtoevoer warmte H

blad tissue

Wisselstroom L



De functie van temperatuur:

- De rivo varieert tot de uitstroom en balans is met de instroom
- De fluxen/pijlen verbeelden de energiestromen
- De rivo verbeeldt de temperatuur

condensatie warmte -> thermische straling

De plant heeft hier een controle



...dat is de opening van de huidmondjes...

Water vapor

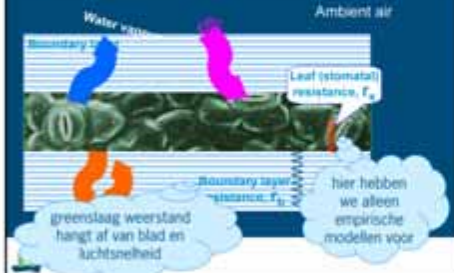
Ambient air

Boundary layer resistance, r_a

Leaf (stomatal) resistance, r_s

greenslaag weerstand hangt af van blad en luchtsnelheid

hier hebben we alleen empirische modellen voor



Netto straling hangt af van omstandigheden en gewas

Environment

Sun radiation $I_{s,0}$

Longwave exchange

Soil

Dit wordt berekend door middel van lichtstraling modellen ... $e^{-K \cdot L}$



Verdamping omlaag, hoe?

Vochtbron omlaag • Energetevoer omlaag (minder stuken) • Minder blad • Hogere plantweerstand • "slim" water geven • bij grondvoeten • bij etenskoot <i>Consequenties voor droogheid?</i>	Vochtstof omlaag • Minder ventileren • Hoog-isolerend kasdek • Schermen • Gerichter ontvochtigen → Hogere tochtvochtigheid → Grotere kans op condensatie op glasoppervlak <i>Consequenties voor mist?</i>
---	--



Condensatie



- Condensatie wordt door de omstandigheden bepaald
- Geen controle vanuit de plant (huidmondjes)
- Hoe hoger de dauwpunt van de lucht, des te hoger de kans dat gewasdelen daaronder komen
- Kans grootste op "zware" organen



Er zijn veel meer vragen... discussie

© Wageningen UR







landbouw, natuur en
voedselkwaliteit



Verslag

Vergadering van Workshop Microklimatisering	Van Anja Jolman Telefoonnummer 079 347 06 14
Datum vergadering 8 mei 2007	Totaal aantal pagina's 4 Zoetemeer d.d. 9 mei '07

Aanwezig

WUR:	Leo Marcelis, Peter van Weel, Gerard Bot, Anja Dieleman, Cecilia Stanghellini, Feije de Zwart, Frank Kempkes
TNO Bouw en ondergrond:	Roel Brand, Bas Knoll
Hoogendoorn:	Edwin Rijpsma
Wilk van der Sande:	John van der Sande
Lek Habo:	Jan Fransen
UNV:	Leo Oprel
PT:	Anja Jolman

Afwezig

Jouke Campen

In het programma Kas als Energiebron van UNV en PT wordt aandacht besteed aan semi-gesloten kasconcepten en klimaat en teeltconcepten. In dit kader is dinsdag 8 mei '07 met deskundigen van teelt en van kasinstallaties een workshop gehouden over microklimatisering. Door de nieuwe teeltwijze in semi-gesloten kassen (koelen en bevochten) zijn er meer mogelijkheden om het klimaat rond de plant te beïnvloeden en dus om meer invloed uit te oefenen op het microklimaat dat uiteindelijk de reactie van de plant bepaalt. Met deze workshop willen we meer inzicht krijgen in deze wens om het microklimaat in de kas te beïnvloeden en hoe dit zou kunnen. Deze inzichten zijn belangrijk voor mogelijke nieuwe energiebesparingsopties. Deze workshop is een vervolg op de 18 april jl. gehouden workshop over vocht in relatie tot plant processen.

Door Leo Marcelis is een presentatie gegeven over de resultaten van de workshop vocht en plantprocessen en de door Cecilia Stanghellini uitgevoerde voorstudie "Vocht huishouding: wat weten we en wat weten we wat we niet weten?" De sheetpresentatie is een bijlage bij dit verslag.

Na deze presentatie is er gediscussieerd vanuit verschillende invalshoeken. Hierna volgt een samenvatting van de discussie.

Aandachtspunten in het (micro)klimaat zijn:

- bij voorkeur wordt hoog licht gecombineerd met hoog CO₂; dit bij een optimale temperatuur; waar dit temperatuur optimum ligt is mede afhankelijk van de CO₂-concentratie;
- de temperatuur heeft invloed op de fotosynthese, maar dit effect is beperkt; bij een hogere CO₂-concentratie wordt de optimale bandbreedte smaller
- de temperatuur heeft een veel grotere effect op groeigerelateerde processen, zoals re-distributie van assimilaten, blad afsplitsing, vrucht afrijping, etc. Bij deze processen lijkt de temperatuursom meer invloed te hebben dan momentane temperatuur

- productie is niet alleen fotosynthese maar ook ontwikkeling (daar spelen lichtsom, temperatuur, DIF, etc een grote rol)
- licht is de maatgevende factor, vocht, CO₂, temperatuur volgen voor bereiken optimum van tuinder
- licht wordt door het jaar niet altijd even efficiënt omgezet in productie; hier liggen mogelijk kansen waarvan we niet goed genoeg weten hoe ze te benutten
- vocht is mogelijkheid om verdamping en bladtemperatuur te sturen; hoog vochtgehalte in kaslucht beperkt verdamping en bespaart energie in stookseizoen, omdat ontvochtigen dmv van combinatie van verwarmen en ventileren energie kost
- te veel vocht geeft kans op ziektes; ontwikkelsnelheid is afhankelijk van de temperatuur en vochtdeficit
- te weinig vocht geeft OOK kans op ziektes

Waar schiet de traditionele systeem (buisverwarming, luchtramen) tekort:

- veel ventilatieverlies en dus CO₂ verlies;
- hoog licht is moeilijk te combineren met hoog CO₂ bij acceptabele temperatuur;
- grote inhomogeniteit;
- in de herfst is vocht lastig te regelen omdat buitentemperatuur vaak hoog is;
- vocht en bladtemperatuur zijn moeilijk los van elkaar te regelen;
- schermen is belangrijk om het klimaat in de kas te regelen t.b.v. een goed gewas (licht, temperatuur, vocht);
- ventilatieramen zeker bij lagere ventilatievouden geen optimaal instrument; geen goede menging van kaslucht.

Wat is optimaler, wat zouden we wensen?

- Een beter economisch rendement; de potentie hiervoor is een belangrijk toetsingscriterium voor nieuwe ontwikkelingen;
- Alle tekortkomingen zijn opgeheven;
 - o Homogeniteit horizontale vlak, minimale gradiënt
 - Belangrijkste motivatie is voorkomen/ beheersen van risico's
 - Betere ventilatieverdeling door de kas door gelijkmatiger toevoer of meer circulatie in de kas;
 - circulatie in de kas kan verlaagen de behoefte aan ventilatie en vereenvoudigen de combinatie hoog licht/ hoog CO₂
 - in de herfst kan dit energie besparen
 - Meer zonering van de verwarming (kleinere verwarmingsgroepen) [hierbij maakt John van de Sande wel de opmerking dat de snelheid van het vw-systeem meer door de stranglengte wordt bepaald dan sec de grootte van de verwarmingsafdelingen. Het opheffen van inhomogeniteit door variatie (het regelen) van buistemperaturen hoeft hier niet door opgelost te worden]
 - Compartimentering
 - Gevelisolatie
 - o Verticale gradiënt kunnen beïnvloeden om te gebruiken
 - Temperatuurverdeling gekoppeld aan lichtverdeling

- Voorkomen van (lokale) natslag
- Eventueel apart verwarmen van plantonderdelen, zoals groeipunt of vruchten voor sneller afrijpen
- CO₂/licht, vocht/bladtemperatuur zijn los van elkaar te regelen; om de meerwaarde hiervan te kunnen benutten moeten we meer weten mbt plantprocessen bij [combinaties van] klimaatfactoren die tot nu toe in traditionele kassen niet aan de orde waren
- Temperatuur en vocht zijn over een grotere bandbreedte te regelen en te ontkoppelen
 - Afvoer vocht op andere manieren, condensatiestaven tussen het gewas?
 - Energiebesparingspotentieel moet in kaart gebracht worden
- Koelen zodat 's zomers hoger CO₂ met hoog licht kan worden gecombineerd
 - Potentieel van vernevelen en andere koelingmethoden moet bepaald worden
 - 's nachts een lagere temperatuur aan te houden; [Hoewel er niets bekend is over de oorzaak van het achterblijven van de productie in de zomer i.r.t. de lichtebehoefte, te hoge nachttemperatuur zou een oorzaak kunnen zijn]
 - Diffuus kasdek
 - NIR scherming/cq krijgt
 - Deksproeiers
 - Beter benutting van aanwezige lucht voor opname warmte en vocht; dit kan door circuleren van kaslucht of door onder uit de kas kaslucht afzuigen ipv ventileren via luchtramen
 - Liefst buitenlucht gebruiken voor koeling? vs Met kaslucht is beter te koelen!
 - Koelen 's nachts ter bevordering van de zetting?? De mogelijkheid van conditioneren geeft de tuinder de mogelijkheid de temperatuur ook in de nacht te verlagen. Dit kan positief zijn voor de productie.
- Tuinder weet wat het effect is van een maatregel op hoeveelheid, kwaliteit en timing; met de huidige kennis is hier al veel over te zeggen, ook welke teeltmaatregelen er nodig zijn; het "probleem" is de ontsluiting; kennisoverdracht is aandachtspunt
- Optimaal gebruik maken van de mogelijkheden die hij heeft
- Meer productie in het najaar
- Microklimaat rond de plant beïnvloeden in plaats van kaslucht boven het gewas biedt kansen voor optimalisatie
 - Door vooral de bron te bestrijden kan het benodigde ventilatievoud sterk beïnvloed worden
 - Luchtbeweging is nodig om te voorkomen dat de transportverschijnselen vanuit het microklimaat naar de kaslucht alleen via diffusie plaats vinden.

Eindconclusies:

1. Mogelijkheden voor het combineren van hoog licht met hoog CO₂ is belangrijkste motivatie om te willen conditioneren;
2. Daarnaast, hoge temperatuur heeft nadelige effecten op productie (bv vruchtzetting) en productkwaliteit
3. Inzicht in het effect van maatregelen is nu nog onvoldoende; hierdoor is het kiezen van een optimale installatie en het vervolgens optimaal inzetten van de gekozen installatie nog een leerproces;

Bladzijde
4 / 4

Zoetermeer d.d.
9 mei '07

4. Microklimaat rond de plant beïnvloeden in plaats van kaslucht biedt mogelijk kansen voor verdere optimalisatie; hier is nu nog te weinig inzicht.

Bijlage Artikel verschenen in Groenten * Fruit

glas

achtergrond

DOOR CECILIA STANGHELIUM
WAGeningen UR GLASTUINBOUW



Experts delen kennis over

In semi-gesloten kassen bieden koeling en bevochtiging meer mogelijkheden om het klimaat rond de plant te beïnvloeden. Er is echter maar weinig over bekend hoe die mogelijkheden goed kunnen worden benut. Binnen het programma Kas als energiebron is daarom aandacht besteed aan vocht, met de plant als uitgangspunt.



Een hoge *r_v* remt de verdamping. Dit kan de opname en het transport van voedingselementen in de plant belemmeren en kan leiden tot (fysiologische) afwijkingen zoals neusrot. Een minimum buistemperatuur of minimum raamstand stimuleren de verdamping en daarmee indirect de productie van vocht. Over de effectiviteit daarvan valt dus te twisten.

Zeker is dat een minimumbuis- en -raamstand veel energie kosten. Binnen het programma Kas als energiebron van LNV en PT is een workshop over de vochtbehoefte van een plant gehouden, met vertegenwoordigers van PT en LNV en experts van Wageningen UR, TNO, DLV, Phytagoras, Lucel, Hoogendoorn, Wilk van der Sande en Lek Habo.

In balans

Bij een optimaal functionerende plant zijn groei en verdamping in balans met de aanvoer van water door de wortels. Verdamping is de grote motor achter de sapstroom (en dus transport) en daar is energie voor nodig. De energiebalans luidt: netto instraling op het blad = verdamping + afgifte/opname van voelbare warmte aan/van de omgeving. De

bladtemperatuur past zich aan om die balans in stand te houden. Is er meer instralingsenergie dan door verdamping kan worden afgevoerd, dan moet er afgifte van voelbare warmte aan de omgeving zijn en zijn bladeren dus warmer dan de lucht. Andersom: als de instralingsenergie onvoldoende is voor de verdamping, zoals 's nachts, zijn de bladeren koeler dan de lucht, om energie (voelbare warmte) aan de lucht te kunnen onttrekken. Zo gauw de bladeren onder het dauwpunt van de lucht komen, vindt daar echter condensatie plaats en komt verdampingsenergie vrij die de bladeren verwarmt.

Verlies aan celspanning

Wanneer de wateraanvoer onvoldoende is om de verdamping in stand te houden, neemt de celspanning af. Door verlies aan celspanning gaan huidmondjes dicht en kunnen bladeren slap gaan hangen. Beide zelfbeschermingsmaatregelen leiden tot minder fotosynthese. Daarnaast leidt verlies aan celspanning tot minder celstrekking, dus minder vergroei, kleinere vruchten en kleinere bladeren. Kleinere bladeren betekent uiteindelijk minder assimilatie en productieverlies. Nog onbekend

is in welke mate een tekort aan celstrekking overdag wordt gecompenseerd in de nacht en welke klimaatsturing dit kan bevorderen. Minder verdamping betekent ook een hogere gewastemperatuur. De uitwerking daarvan op de fotosynthese is mede afhankelijk van de CO₂-concentratie. Bij een hoge concentratie ligt het optimum van de fotosynthese bij een hogere temperatuur.

Groot effect van temperatuur

De temperatuur heeft een groot effect op een plant, zoals op de re-distributie van assimilaten, bladafsplijting, vruchtzetting en vruchtaripening. Hierop lijkt de temperatuursom meer invloed te hebben dan een momentane temperatuur, tenzij schadegrenzen worden overschreden. Gebruikelijke maatregelen als schermen of krijten, om de gewastemperatuur binnen grenzen te houden, leiden tot minder assimilatie en minder productie. Nog onduidelijk is wat de belangrijkste schade-oorzaak is bij hoge temperaturen: verdroging of verbranding. De grens tussen hoog en té hoog is ook nog niet duidelijk. Telers sturen echter soms bewust op sub-optimale omstandigheden, om de verhouding tussen vegetatief en generatief

vocht



Wageningen UR Glastuinbouw toonde in onderzoek al aan dat een veel lagere verdamping dan gebruikelijk geen invloed heeft op de productie van tomaten en zelfs positief uitpakt bij een hoge ec.

te verschuiven.

De verdamping kan niet tot nul worden beperkt, omdat dit nodig is om met name het transport van water en nutriënten in een plant in stand te houden. Van de wateropname wordt slechts gemiddeld 10 procent vastgelegd in biomassa. De huidige wateropname is echter aanzienlijk groter dan nodig is voor een minimale sapstroom.

Wageningen UR Glastuinbouw toonde in onderzoek al aan dat een veel lagere verdamping dan gebruikelijk geen invloed heeft op de productie van tomaten en zelfs positief uitpakt bij een hoge ec. Door minder ventilatie en zonodig bevochtiging werd een constante verhouding van 2/3 gehandhaafd tussen de momentane verdamping in twee kasafdelingen. Dat gebeurde zowel 's nachts als overdag, bij hoge en lage instraling, met nauwelijks een verschil in de hoeveelheid 'groei' water. De minimaal benodigde verdamping voor een goed presterende plant is echter nog niet bekend. Omdat calcium passief wordt opgenomen en met de waterstroom mee naar de plantendelen wordt gebracht, kan een verlaagde verdamping leiden tot een (lokaal) calciumgebrek. Dit is te voorkomen door de voeding

gericht aan te passen.

Lage verdamping

Een lage verdamping kan leiden tot een hoge celspanning, met guttatie als gevolg. Dit laatste kan ook komen door een hoge worteltemperatuur. Guttatie kan een positief effect hebben op de calciumdistributie in een plant. Problemen met pathogenen nemen er echter door toe, omdat ziekteverwekkers waarschijnlijk vochtige plekken of natte invalspoorren nodig hebben om zich te ontwikkelen. Schimmelmultiplicatie op stengels, via een wondinfectie, kunnen anders op vocht reageren dan schimmelmultiplicatie op blad of bloemen, waar een directe infectie van weefsel voorwaarde is voor de schimmelontwikkeling. FFI-ontsmoekers creëren bijvoorbeeld een klimaat om Botrytis te voorkomen, maar daardoor ontstaat een even zwaar meeldauwprobleem. Het gaat dus om het vinden van een goede balans. De gedachte leeft dat een plant door regulering van de huidmondjesopening probeert de fotosynthese te maximaliseren ten opzichte van het waterverlies. Grote dampdrukverschillen tussen blad en lucht zorgen ervoor dat de huidmondjes meer sluiten. Andersom zorgt een lage CO_2 -concentratie (lage fotosynthese) ervoor dat de huidmondjes open gaan. Dit kan sluiting van de huidmondjes door waterstress zelfs ongedaan maken, waardoor de plant zijn zelfbescherming kwijt is. Een hoge vochtigheid en CO_2 -concentratie zijn dus gewenst, zeker als waterstress dreigt. Een verklarend model voor de werking van de huidmondjes bestaat echter nog niet.

De opname van mineralen verloopt in het algemeen nog goed als de plant minder verdampst. De plant neemt de meeste mineralen actief op, dus beslist zelf welk element en hoeveel hij daarvan opneemt. Alle elementen moeten wel voldoende beschikbaar zijn. Binnen een termijn van een tot enkele dagen kunnen planten zich aanpassen aan waterstress, door de concentratie opgeloste stoffen in de cellen te verhogen. Hierdoor gaan planten op de eerste heldere dag na een donkere periode makkelijker slap dan op de dagen daarna. 'Afhanden' van de plant, om

weersvergangen aan te kunnen, is een andere veel genoemde reden om de verdamping te stimuleren. De wortelgroeit neemt op donkere dagen sterker af dan de gewasgroeit. Warme wortels, bijvoorbeeld door een hogere minimumbuis, versterken dit. De iv verlagen (binnen de gangbare grenzen in beschermde teelt) beïnvloedt de wortel- en scheutgroeit nauwelijks.

Een plant kan de worteldruk verhogen door actief zouten op te nemen, waarvoor assimilaten nodig zijn. Opgenomen zouten zorgen voor een grotere osmotische druk, waardoor wortels meer water uit de bodem of het substraat opnemen en de worteldruk stijgt. Een hoge worteldruk zorgt voor een passief transport van calcium naar gewasdelen die niet verdampen, en is daarom belangrijk.

Huidmondjes

Hormonen hebben invloed op de weerstand van huidmondjes en op de waterpotentiaal in de wortel, maar deze invloed is minder goed te voorspellen.

Een plant kan zich ook aanpassen aan (klimaat)omstandigheden door grotere bladren aan te maken in een vochtige omgeving en door verandering van bladstand (horizontaal of verticaal om meer of juist minder licht te vangen). Ook aantallen huidmondjes, dikte van de buitenste bladcellen en bladbehaaring kunnen de verdamping beïnvloeden. Groeiomstandigheden kunnen de huidmondjesdichtheid beïnvloeden, maar niet bekend is hoe en in welke mate. De spectrale verdeling van licht (lichtkleur) en het dag-nachtemperatuurverschil (DIF) beïnvloeden de plantstrekking, maar ook hier is nog onvoldoende van bekend om op plantvorm te sturen. Die onbekendheid geldt ook de effecten van nieuwe kasdekmaterialen en/of knippen die de warmtestraling uit zonlicht wegvilteren en licht meestal diffuser maken.

Optimaal telen in nieuwe kassen vergt een omschakeling van denken, gebaseerd op nieuwe inzichten over optimale groeiomstandigheden voor een plant en de speelruimte die klimaatinstellingen bieden, voordat productie en kwaliteit gevaar lopen. ■