



Bladplukken bij paprika: Fase 2. Metingen van de bladactiviteit

Tom Dueck, Kees Grashoff, Johan Steenhuizen, Dik Uenk, Guus Broekhuijsen,
Esther Meinen & Leo Marcelis





Bladplukken bij paprika: Fase 2. Metingen van de bladactiviteit

Tom Dueck, Kees Grashoff, Johan Steenhuizen, Dik Uenk, Guus Broekhuijsen,
Esther Meinen & Leo Marcelis

© 2005 Wageningen, Plant Research International B.V.

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 Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.plant@wur.nl
Internet : www.plant.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Achtergrond en doel van het onderzoek	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doel Fase 2	5
2. Werkwijze	7
3. Resultaten	9
3.1 Fotosynthese, ademhaling, verdamping	9
3.2 Lichtonderschepping	12
3.3 Netto fotosynthese en verdamping per bladniveau	12
3.4 Schatting van de netto fotosynthese en verdamping van het totale gewas	14
4. Discussie	17
5. Conclusies	21
Literatuurlijst	23
Bijlage I. Conclusies uit de bespreking met de BCO-paprika	1 p.
Bijlage II. Vergelijking van responscurve van fotosynthese en verdamping	1 p.

Voorwoord

In het kader van het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI) hebben de overheid (Ministeries van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Economische Zaken) en de glastuinbouwsector (LTO Nederland) afspraken gemaakt over de maatschappelijke randvoorwaarden, met als horizon 2010. Als energiedoelen zijn afgesproken dat het energiegebruik per eenheid product met 65% gereduceerd moet worden ten opzichte van 1980 en dat het aandeel duurzame energie tot 4% toegenomen moet zijn.

Een grote energiebesparing bij kasgewassen is mogelijk als de verdamping van het gewas beperkt kan worden. De uitdaging is hoe de verdampingsreductie te bewerkstelligen zonder verlies aan productie, productkwaliteit of een toename van ziektedruk. Een van de opties om verdamping te reduceren is het verminderen van bladoppervlak en een gewas.

Tegen deze achtergrond is in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en het Productschap Tuinbouw (PT projectnummer 11930) door Plant Research International (RPI) studie verricht naar de mogelijkheden van energiebesparing door bladplukken bij paprika.

Samenvatting

Vanaf augustus kosten de onderste bladeren van een paprikagewas meer assimilaten dan ze aanmaken. Deze bladeren zorgen ook voor extra verdamping, waardoor ook het energiegebruik omhoog gaat. Verwijderen van de onderste bladeren in augustus levert naar schatting 0,5% meer productie, 10% minder verdamping en 5% minder energiegebruik. Met een snelle manier voor het verwijderen van de bladeren, zal het financieel ook uit kunnen.

Kenmerkend voor een paprikagewas zijn de zeer grote bladoppervlakten. De zogenaamde Leaf Area Index (LAI: aantal m² blad per m² kasoppervlak) neemt tijdens een groeiseizoen continu toe. In de zomer worden waarden van 4 bereikt en deze kunnen tot 7 of meer oplopen aan het eind van het teeltseizoen. In het algemeen geldt dat zodra de LAI een waarde van 4 of meer bereikt, de effecten van meer blad op de hoeveelheid fotosynthese minimaal zijn. Het is daarom de vraag of op een gegeven moment het extra blad niet meer assimilaten verbruikt voor de ademhaling dan dat het door fotosynthese aanmaakt. Het is dus de vraag of een te veel aan blad juist groei kost. Bij toenemend bladoppervlakte kan de verdamping ook toe blijven nemen. Dat kan nadelig zijn voor het energieverbruik van de teelt.

Plant Research International heeft onderzocht in welke mate de onderste bladeren van het gewas bijdragen aan de fotosynthese, ademhaling en verdamping van het gewas. Vervolgens is een inschatting gemaakt van de effecten op productie en energiegebruik. Dit onderzoek werd gefinancierd door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Metingen van activiteit op verschillende diepten in het gewas

In een eerste fase van het onderzoek zijn met modellen schattingen gemaakt van het effect van verwijderen van bladeren. Op basis van de modellen werd berekend dat verwijderen van de onderste bladeren in augustus kan leiden tot 1% meer productie, 11% minder verdamping en 5% energiebesparing op jaarbasis. Het model bevat een aantal aannames over de activiteit van de onderste bladeren. Om deze aannames te staven, is de activiteit van de bladeren op verschillende hoogten in het gewas gemeten. In de periode juli tot oktober 2004 werden op twee praktijkbedrijven fotosynthese, ademhaling, verdamping en lichtonderschepping gemeten.

Na de zomer neemt de lichtintensiteit af en komt er weinig licht onderin het gewas. De gewasfotosynthese neemt in het seizoen daardoor af van circa 800 tot 300 mmol CO₂ m⁻² dag⁻¹. Het meeste licht wordt onderschept door de bovenste bladlagen; vanaf augustus wordt 90% van het licht door de bovenste 40% van het gewas onderschept. Vanaf augustus vindt een steeds groter deel van de totale gewasfotosynthese in de bovenste bladlaag plaats, tot 90% gedurende de maanden augustus t/m oktober. Ook de gewasverdamping neemt af in het seizoen, maar in mindere mate dan de fotosynthese. In tegenstelling tot de fotosynthese, blijft de relatieve hoeveelheid verdamping in de onderste bladlagen gelijk. De onderste 60% van het gewas blijft voor bijna 40% bijdragen aan de totale gewasverdamping.

Bijdrage van de verschillende bladlagen aan groei en verdamping

De onderste bladlaag (de onderste 20% van het gewas) kost in juli al meer assimilaten voor onderhoudsademhaling dan dat ze oplevert aan fotosynthese. Deze bladlaag heeft dus een negatief effect op de netto-fotosynthese van het gewas, het verschil tussen de fotosynthese en de onderhoudsademhaling. De iets hoger gelegen bladlagen (tot op 60% hoogte in het gewas) dragen dan nog positief bij, maar vanaf september dragen ook deze bladlagen negatief bij aan de netto-fotosynthese. Alleen de bovenste 40% van het gewas levert dan nog een positieve bijdrage aan de netto-fotosynthese.

Het onderste deel van het gewas levert vanaf september dus géén voordeel op voor de netto fotosynthese, maar zorgt wel voor een hoge verdamping van het gewas. De verdamping in de onderste bladlagen kan tot een hogere luchtvochtigheid en verhoging van de energiekosten leiden, zonder dat er een positieve bijdrage aan de fotosynthese en groei tegenover staat. Wanneer de onderste bladeren in augustus zouden worden verwijderd, wordt minder vocht de kaslucht ingebracht. Waarschijnlijk wordt de luchtbeweging groter, zullen de verwarmingsbuizen hoeven minder warmte af hoeven te geven en wordt de vochtbeheersing gemakkelijker. Door de lagere luchtvochtigheid en grotere luchtstroming wordt de kans op natslag en infecties (Botrytis) waarschijnlijk ook minder.

Optimale LAI en bladplukken

Dit onderzoek onderstreept het complexe belang van de hoeveelheid blad voor de uiteindelijke productie. In een jong gewas is het belangrijk een zo snel mogelijke opbouw van het bladpakket te hebben, terwijl later in de teelt de plant beter minder blad zou kunnen hebben. Verminderen van blad kan door onderste bladeren te verwijderen, maar verwijderen van heel jonge bladeren zou ook een interessante optie kunnen zijn omdat de plant dan minder assimilaten hoeft te investeren in de bladgroei. Deze assimilaten komen dan grotendeels beschikbaar voor de vruchten. Nadeel van deze optie is dat als er teveel blad wordt verwijderd, de vruchten teveel in het directe zonlicht terecht komen wat tot kwaliteitsproblemen (verbranding) kan leiden.

Op basis van de metingen van activiteit van de bladeren, kan berekend worden dat als in de tweede helft van augustus de onderste 60% van het blad wordt verwijderd 0,5% meer groei op jaarbasis verwacht mag worden, dat er op jaarbasis 10% minder verdamping is (circa 75 l m²) en dat 5% energie bespaard kan worden. Het geschatte voordeel van deze productiestijging en energiebesparing als gevolg van bladplukken bedraagt circa € 4700 per ha. Of dit economisch interessant is voor de teler hangt met name af van de arbeidskosten voor het bladplukken.

De arbeidskosten van bladplukken zijn hoog, met name als ze één voor één geplukt moeten worden. In een eerdere fase van deze studie is uitgegaan van 374 uur arbeid om 1 ha paprikablad, één voor één te plukken. Er zijn echter andere manieren van bladplukken te bedenken die sneller en efficiënter uitgevoerd kunnen worden. Wanneer bladeren van de stengel afgeritst worden gaat bladplukken veel sneller en spaart veel tijd en arbeidskosten. In Groente & Fruit (week 41, 2004) is een bericht te lezen over een komkommerteler die beweerde door bladeren te snoeien, dat hij per dag bladeren van 1 ha komkommer kon verwijderen. Ook dat is vanzelfsprekend een veel snellere manier dan bladplukken één voor één. Als er vanuit wordt gegaan dat met een dergelijk methode het bladplukken bij paprika 4 keer zo lang duurt als bij komkommer, zou in de paprikateelt slechts 32 uur per ha blad nodig zijn, een factor tien minder dan de eerdere aanname. Uitgaande van € 20 arbeidskosten per uur kost 4 dagen arbeid € 640 en daardoor wordt bladplukken een aantrekkelijke optie. Hieruit kan worden afgeleid, dat op basis van bovenstaand uurtarief en opbrengststijging, en mits een efficiëntere manier van bladplukken gerealiseerd kan worden, bladplukken rendabel kan zijn.

1. Achtergrond en doel van het onderzoek

1.1 Achtergrond

In het kader van het energieprogramma van PT & LNV is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de effecten van bladplukken bij paprika. De resultaten hiervan zijn weergegeven in de PRI-nota 310: *'Energiebesparing door bladplukken bij paprika: haalbaarheidsstudie op basis van modellen'* (Grashoff *et al.*, 2004). Kort samengevat waren de resultaten van dit haalbaarheidsonderzoek dat bladplukken kan leiden tot 11% waterbesparing, 5% energiebesparing en 1% opbrengststijging. De benodigde tijd voor het bladplukken werd geschat op 387 uur per ha als de blaadjes één voor één verwijderd worden. De netto resultaten bleken sterk afhankelijk van de gangbare tarieven voor product, arbeid en energie. Bij een commodity-gasprijs van 12 eurocent ligt het netto resultaat tussen de € 1050 per ha winst (bij een uurloon van € 15) en € 829 verlies per ha (bij een uurloon van € 20).

1.2 Doel Fase 2

Bij diverse besprekingen van bovenstaande resultaten met tuinders in de LTO-Landelijke commissie paprika wezen zij erop dat met name één kernvraag moest worden beantwoord door middel van metingen aan de plant, namelijk hoe groot de activiteit is van de bladeren langs de gehele stengel. Met activiteit werd hier bedoeld: fotosynthese, ademhaling en verdamping. De resultaten van de haalbaarheidsstudie, voor wat betreft de verwachte verdampingsreductie en opbrengststijging door bladplukken, kunnen daarmee worden getoetst en onderbouwd.

Het project voor de beantwoording van deze onderzoeksvraag werd eind juni 2004 gehonoreerd door PT en LNV.

De doelen van het project zijn:

Energiedoelstellingen

- Verlagen van energiegebruik met 2.3 m³ gas per m² bij paprika (dit is ca 5% van het jaarlijks gasverbruik van de gemiddelde tuinder) in de maanden augustus tot november.

Technische doelstellingen

- Er komt kwantitatieve gemeten informatie beschikbaar over het verloop van de bladactiviteit gedurende het gehele seizoen waarin bladplukken belangrijk kan zijn.
- Er komt een met metingen onderbouwde analyse over welke bladlagen wanneer in het seizoen negatief bijdragen aan de productie van het gewas.
- Er komt kwantitatieve informatie beschikbaar voor antwoord op de vraag welke van deze bladlagen wanneer in het seizoen nog bijdragen aan de verdamping.
- De telers krijgen daarmee een zo goed mogelijk met metingen onderbouwd antwoord op de vraag welke bladlagen wanneer in het seizoen verwijderd kunnen worden voor een verminderde verdamping bij een verbeterde productie.
- De telers hebben dan de benodigde informatie in handen om zelf het bladplukken al dan niet zelf op hun bedrijven in de praktijk te gaan uittesten.

Nevendoelstellingen

- Verbeteren van het financiële rendement door besparing op energiekosten en stijging van de productie.
- De kwantificering van de bijdrage van de onderste bladeren aan fotosynthese en verdamping, kan ook toegepast worden voor vragen over andere lichtverdeling (als gevolg van bijvoorbeeld verhoging van diffusiteit van licht of van andere lamptypen of verdeling er van in de kas)
- Kwantificering van lichtprofiel in het gewas kan toegepast worden bij optimaliseren van plantverband (indeling in rijen en paden en afstanden in de rij).

- Vaststellen van optimale LAI (ofwel in welke mate draagt onderste blad bij aan groei) is ook actueel bij tomaat, waar al blad geplukt wordt. Tevens kan het van belang zijn voor andere gewassen die veel blad hebben zoals gerbera, aubergine en komkommer.
- Doordat in dit onderzoek zowel aan oost-west rijen als noord-zuid rijen gemeten wordt, kan een vergelijking gemaakt worden tussen bladactiviteit bij oost-west rijen ten opzichte van noord-zuid rijen.

2. Werkwijze

In juli en september 2004 werden metingen verricht aan paprika (ras Ferrari) op de bedrijven van N. van der Burg (kaprichting noord/zuid) en W. van den Berg (kaprichting oost/west) te Est.

In beide maanden werden op drie meetdagen per bedrijf de fotosynthese en ademhaling gemeten met de mobiele LCpro (fabrikant ADC), zie Figuur 1. Met dit apparaat werd de CO₂-opname (een maat voor de fotosynthese) gemeten bij 7 lichtniveaus, van volledig donker tot hoog licht, waarbij de meetcondities (temperatuur, CO₂ en luchtvochtigheid) in de bladkamer constant zijn gehouden.

Op twee meetdagen per bedrijf werd de lichtonderschepping gemeten met draagbare lichtmeetapparatuur. Hierbij werd het PAR licht boven het gewas (vaste referentiemeter) vergeleken met het licht op verschillende hoogtes in het gewas met een SunScan lichtstok (Figuur 2).



*Figuur 1. De mobiele meetapparatuur (bladkamer) voor de meting van fotosynthese, ademhaling en verdamping.
Foto gemaakt bij paprikateler Van der Burg te Est, juli 2004.*



*Figuur 2. Voorbeeld van lichtmeting in een gewas. Links: bovenin het gewas; rechts: onderin het gewas.
Foto's afkomstig van metingen in tomatenteelt.*

Aangenomen werd dat de LAI gelijk verdeeld is over de hoogte van het gewas. De metingen werden op relatieve hoogtes (gedefinieerd in % van de totale gewashoogte) in het gewas uitgevoerd (Figuur 3) omdat de LAI (bladoppervlak van het gewas per m² grondoppervlak) op een vaste hoogte, bijv. 1 m hoogte, anders is in juli dan in oktober. Het voordeel hiervan is dat rekening gehouden kan worden met de groei van het gewas gedurende het seizoen.

Elke meetniveau vertegenwoordigt een deel van het gewas, zoals aangegeven in Figuur 3. Het meetpunt bij 10% hoogte vertegenwoordigt de bladlaag met de onderste 20% van het gewas, niveau 2 bij 30% hoogte de volgende 20%, enz. Het bladniveau 100% hoogte is gedefinieerd als het niveau van bovenste blad dat volledig in de meetkamer past. De blaadjes daarboven zijn verwaarloosbaar. Op deze wijze konden de metingen in het gewas verdeeld worden over de onderste en bovenste deel van het gewas.



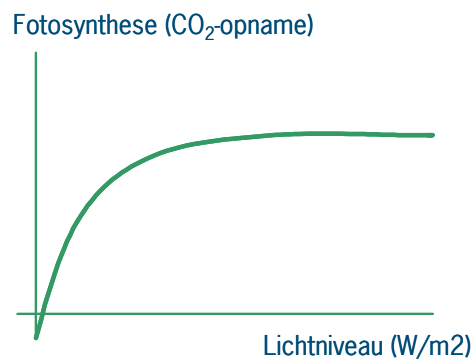
Figuur 3. Procentuele hoogtes voor metingen fotosynthese, ademhaling, verdamping en lichtonderschepping met het aandeel van het gewas waar het om gaat.

Op 11 augustus 2004 zijn de resultaten van de juli-metingen besproken met de BCO-paprika van de Landelijke paprikacommissie (Wilbert van den Bosch, Rick Grootsholten, John Barendse, Arthur Zwinkels, Kees van Beek) en met de tuinders van de beide meetbedrijven (Niekie van der Burg, Wilfred van den Berg). De conclusies zijn samengevat in Bijlage I. Op basis van deze bijeenkomst is besloten de metingen voort te zetten in de maanden augustus t/m oktober 2004.

3. Resultaten

3.1 Fotosynthese, ademhaling, verdamping

Als voorbeeld van het *principe* van de resultaten is in Figuur 4 de standaard 'lichtresponscurve' weergegeven. Bij volledig donker is de CO₂ opname negatief (ofwel er is CO₂ afgifte). Dit wordt donkerademhaling genoemd. Bij laag licht komt de fotosynthese op gang. De kruising van de responslijn met de horizontale as heet het compensatiepunt: hier is het blad net zelfvoorzienend. Met verder toenemend licht wordt het blad netto-productief, tot aan het niveau van lichtverzadiging.

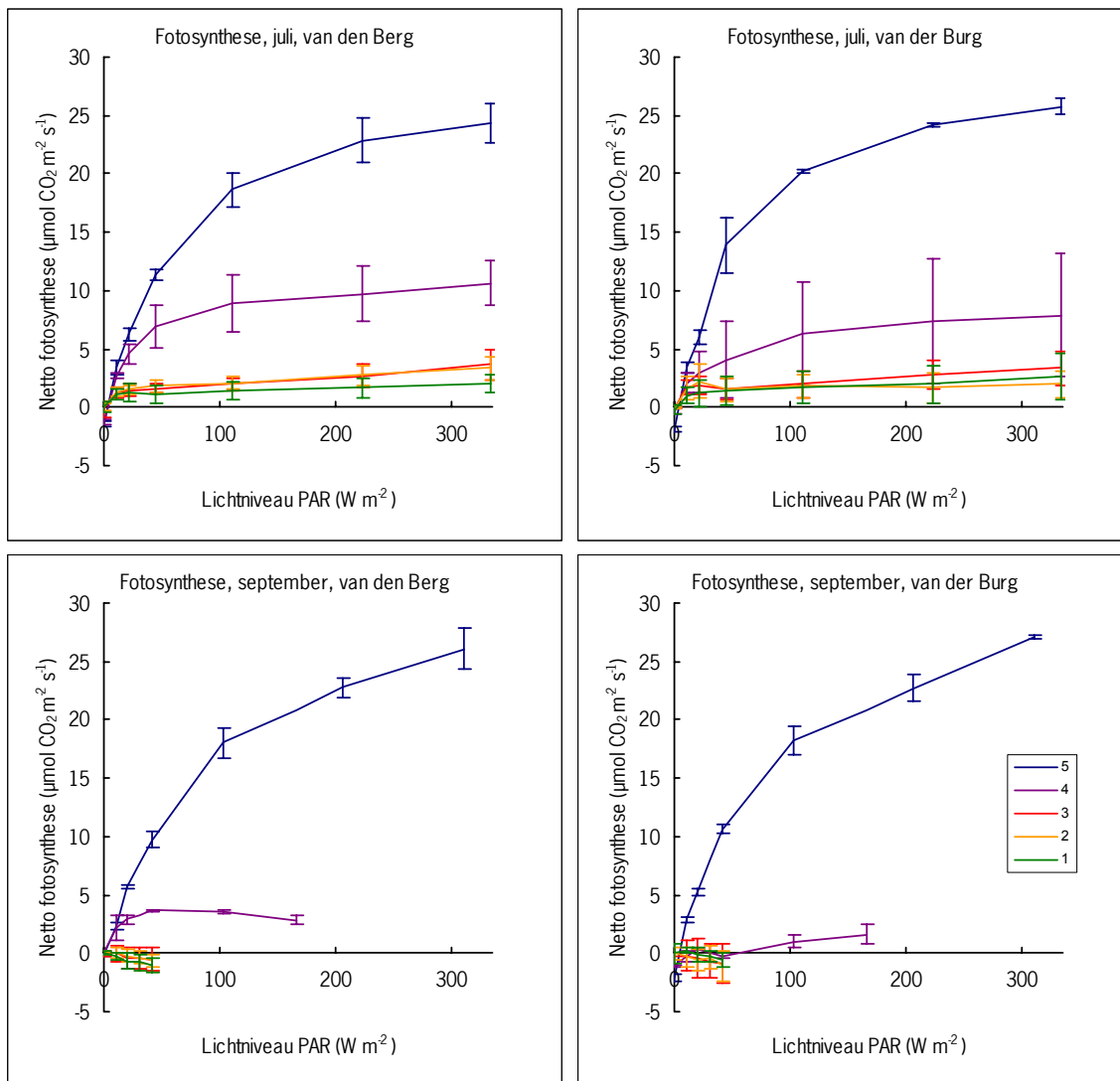


Figuur 4. Standaard lichtresponscurve van een gezond blad.

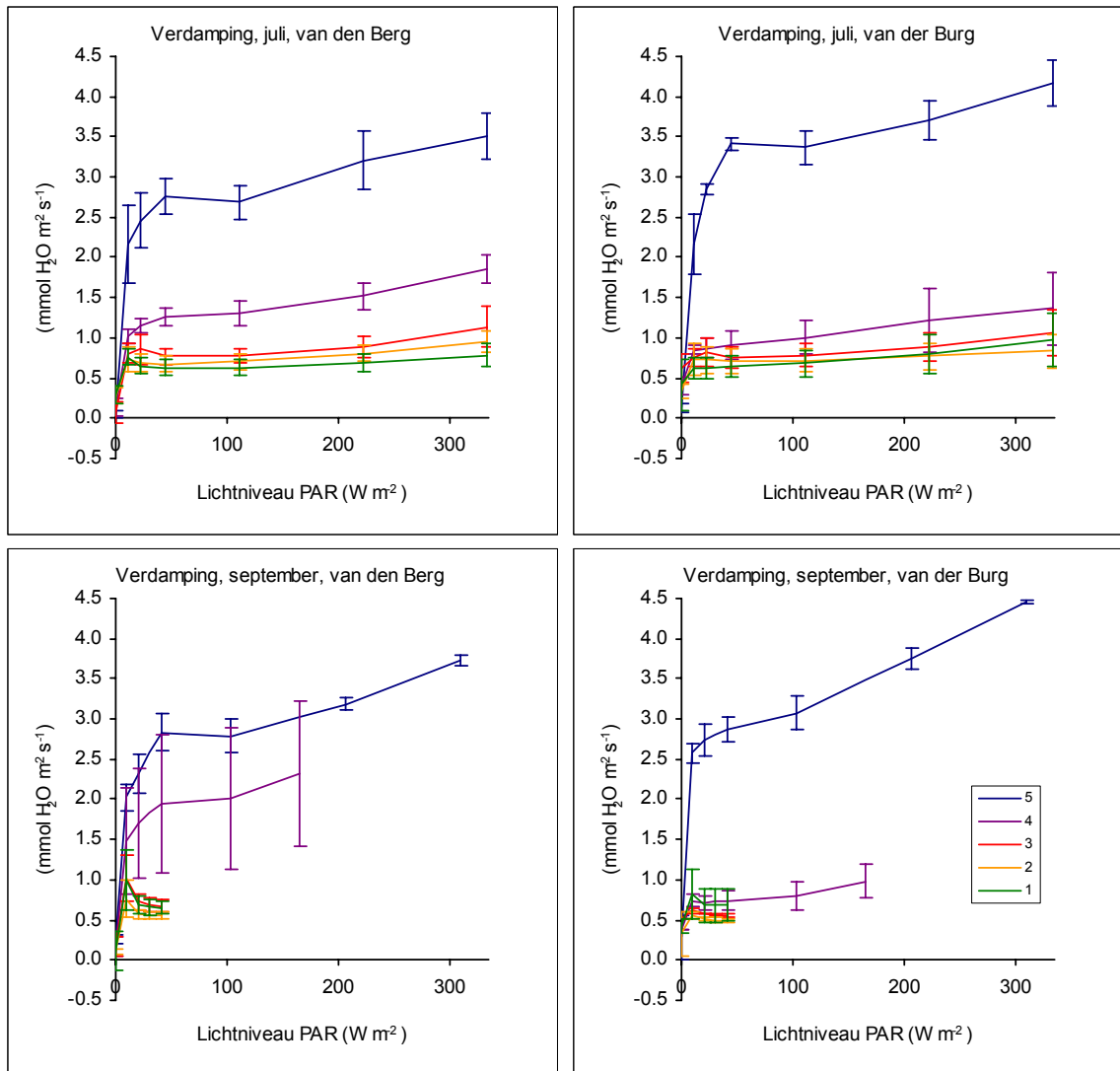
In Figuren 5 en 6 zijn de resultaten weergegeven van de fotosynthese en verdampingsmetingen gemeten bij beide tuinders in juli en september 2004. Opvallend is dat de bladeren van de niveaus 5 en 4 zich voor wat betreft fotosynthese 'volgens het boekje' gedragen (Figuur 5). De onderbladeren echter (niveaus 1, 2 en 3) kunnen zelfs met veel licht nog maar heel weinig produceren. Ook de ademhaling is lager dan die in bladniveau 4 en 5, ofwel de netto fotosynthese is minder negatief. In september zien we in de onderste lagen overwegend een negatieve netto fotosynthese bij weinig licht. In september zijn bladniveaus 1 t/m 3 niet meer gemeten bij licht boven 50 W/m² omdat deze hogere lichtintensiteiten daar in de praktijk niet voorkomen.

Bij vergelijking van de fotosynthese-respons (Figuur 5) met de verdampings-respons (Figuur 6) blijkt dat de onderbladeren nog *wel duidelijk verdampen*, bij alle lichtintensiteiten. In september is dat nog steeds het geval, maar verdamping bij de onderste drie bladniveaus is wel sterk gereduceerd. In Bijlage II wordt nog nader ingegaan op de overeenkomsten tussen de lichtresponscurven van fotosynthese en verdamping.

Verder is het opvallend dat de fotosynthese van niveau 4 in juli bij Van den Berg (Figuur 5, links) hoger is dan bij Van der Burg (rechts), een tendens die zich voortzet in september. De fotosynthese van de onderste vier bladniveaus is echter bij beide telers sterk gedaald in september t.o.v. juli.



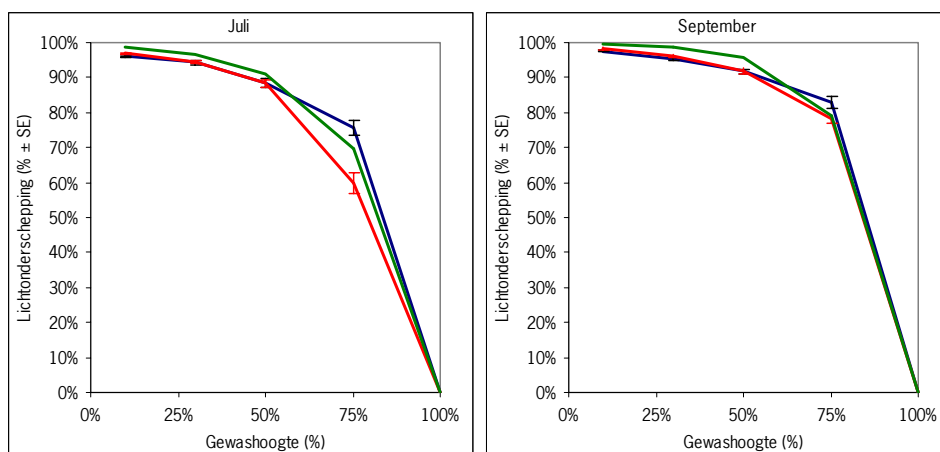
Figuur 5. Netto fotosynthese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \pm \text{SE}$) gemeten bij verschillende lichtniveaus in juli (boven) en september 2004 (onder) bij W. van den Berg (links) en N. van der Burg (rechts), beiden te Est. In de legende wordt de kleur van de lijn aangegeven voor bladniveaus 5 (boven) tot 1 (onder).



Figuur 6. Verdamping ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm \text{SE}$) gemeten bij verschillende lichtniveaus in juli (boven) en september 2004 (onder) bij W. van den Berg (links) en N. van der Burg (rechts), beiden te Est. In de legende wordt de kleur van de lijn aangegeven voor bladniveaus 5 (boven) tot 1 (onder).

3.2 Lichtonderschepping

Figuur 7 toont de lichtonderschepping door het gewas bij de beide tuinders in juli en september. Het blijkt dat op 50% hoogte, 90% van het licht in juli al wordt onderschept door een paprika gewas. Opvallend daarbij is wel dat op 75% hoogte de lichtonderschepping bij N. van der Burg 75% bedraagt en bij W. van den Berg 60%. Dit zou betekenen dat het licht bij Van den Berg wat dieper in het gewas doordringt. In september (Figuur 7, rechts) was het gewas hoger en dichter dan in juli en is de mate van lichtonderschepping hoger: 90% van het licht wordt al onderschept op 60% hoogte. Ook is het verschil tussen de gewassen van beide telers vrijwel gedicht, met 82% lichtonderschepping bij N. van der Burg op 75% hoogte en 78% bij W. van den Berg. De lichtonderschepping door het paprika gewas bij beide telers komt zeer dichtbij de theoretische curve die volgt uit de wet van Lambert-Beer (exponentiële uitdoving).

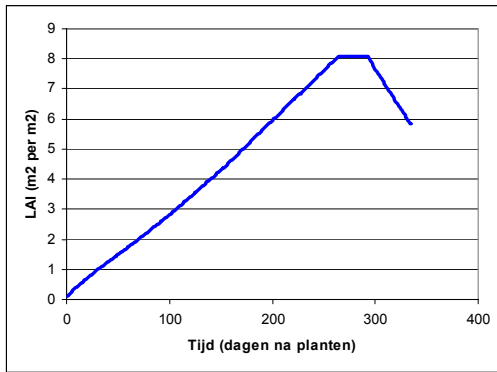


Figuur 7. De gemeten lichtonderschepping in paprika (% ± SE) bij de telers W. van den Berg (rode lijn, $n=10$) en N. van der Burg (blauwe lijn, $n=9$). Daarnaast is de berekende lichtonderschepping (groene lijn) op basis van een geschatte LAI in juli (6.23), respectievelijk september (8.15).

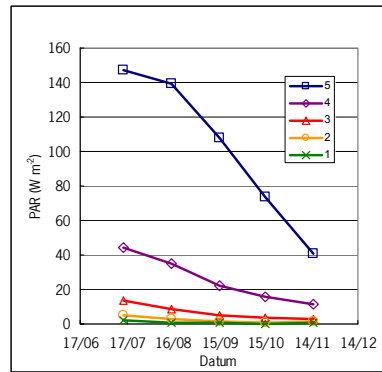
3.3 Netto fotosynthese en verdamping per bladniveau

De synthese van de resultaten is opgebouwd uit de volgende componenten.

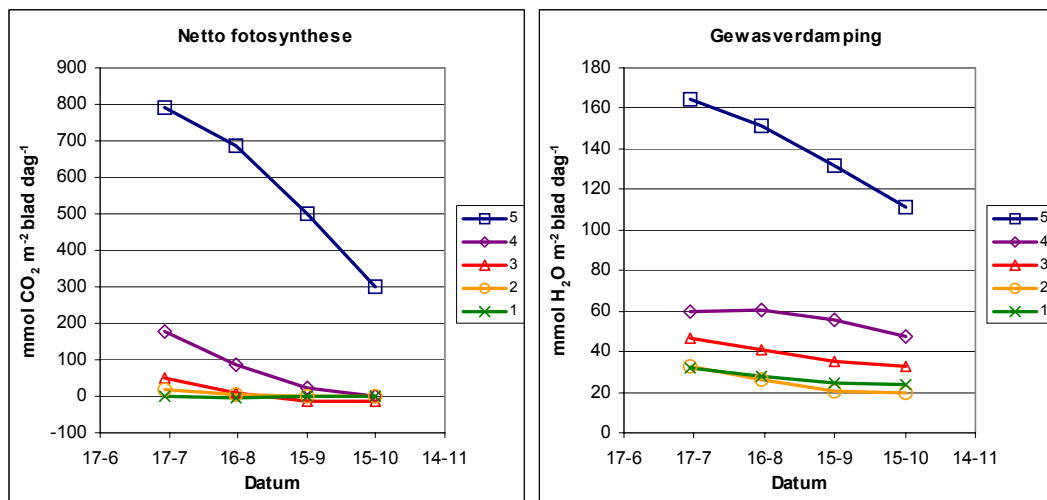
1. Het verloop van de bladoppervlakte (LAI) gedurende het seizoen is gehaald uit eerdere representatieve metingen bij andere tuinders. De LAI loopt hierin op tot 8 en daalt daarna iets (zie Figuur 8).
2. De *uurlijkse* lichtniveaus van juli tot oktober zijn genomen van een gemiddeld jaar.
3. De theoretische lijn voor de lichtonderschepping volgens de wet van Lambert-Beer werd genomen bij de verwachte LAI volgens punt 1.
4. Uit combinatie van 1 t/m 3 werden de lichtniveaus voor de vijf bladlagen gedurende het seizoen berekend. Als *voorbeeld* van deze berekening is in Figuur 9 *alleen* het licht midden op de dag voor de vijf bladlagen weergegeven. Het valt op hoe weinig licht er zelfs midden op de dag overblijft op bladniveau 1 t/m 3.
5. Vervolgens werden de gemeten lichtresponscurves in juli en september voor de vijf niveaus genomen (gemiddeld over de twee tuinders). Met behulp van *alle in stap 4 berekende uurlijkse lichtniveaus* op de vijf bladniveaus werd voor ieder uur op iedere bladlaag de bijbehorende netto fotosynthese en verdamping berekend.
6. Tenslotte werd de netto fotosynthese en verdamping gesommeerd tot dagelijkse (24-uurs) waarden.



Figuur 8. Het verloop van de bladoppervlakte (LAI) gedurende het seizoen. Naar Figuur 1 in Grashoff et al., 2004.



Figuur 9. Lichtdoordringing in vijf bladniveaus van paprika midden op de dag in een gemiddeld jaar. In de legende wordt de kleur van de lijn aangegeven voor bladniveaus 5 (boven) tot 1 (onder).



Figuur 10. Geschatte verloop van de dagelijkse fotosynthese (boven) en de dagelijkse verdamping (onder) op vijf bladniveaus van paprika, gedurende de periode medio juli tot medio oktober. In de legende wordt de kleur van de lijn aangegeven voor bladniveaus 5 (boven) tot 1 (onder).

In Figuur 10 zijn de resultaten van de fotosynthese en verdamping weergegeven. De prognose voor de fotosynthese en verdamping in de maand juli is gebaseerd op de metingen in juli. De prognose voor augustus is gebaseerd op de metingen in juli en september, terwijl de prognoses voor september en oktober zijn gebaseerd op de metingen in september.

De dagelijkse netto fotosynthese van niveau 5 boven in het gewas bedraagt bijna 800 mmol CO₂ m⁻² dag⁻¹ in juli en met een afname van PAR licht in augustus, september en oktober daalt naar 300 mmol CO₂ m⁻² dag⁻¹. De overige bladniveaus vertonen een veel lager netto fotosynthese, vooral doordat er veel minder PAR licht doordringt naar deze bladniveaus. De dagelijkse fotosynthese van de niveaus 1 t/m 3 zit op of net onder de nullijn in juli (Figuur 10, links), en zakken daaronder in september en oktober. De dagelijkse verdamping (Figuur 10, rechts) op alle niveaus lijkt minder beïnvloed te worden door afnemende PAR licht in het verloop van het seizoen. De verschillen in verdamping tussen de verschillende bladniveaus zijn minder groot dan de verschillen in netto fotosynthese.

3.4 Schatting van de netto fotosynthese en verdamping van het totale gewas

Omdat het voor een goede analyse van de bijdrage van het onderblad aan de totale groei essentieel is om te weten of de dagelijkse fotosynthese juist netto *positief*, of juist netto *negatief*, en wanneer een omslagpunt van positief naar negatief wordt bereikt, is in Tabel 1 de procentuele bijdrage van alle vijf bladniveaus gegeven voor de maanden juli t/m oktober. Hieruit blijkt duidelijk dat, *op basis van de metingen*, bladniveau 1 al inactief is vanaf half juli, dat niveaus 2 en 3 netto negatief worden vanaf half september. Bladniveau 4 blijft een netto positieve bijdrage leveren aan de fotosynthese tot oktober; daarna wordt het ook negatief. Wanneer de gemiddelde bijdrage aan fotosynthese van iedere bladlaag wordt bekeken vanaf augustus tot en met oktober, blijkt dat bladniveaus 1 t/m 3 2.1% negatief bijdragen aan de netto fotosynthese. De relatieve bijdrage van niveau 4 gaat achteruit van 19.6% in augustus tot -0.9% in oktober. Al wordt de bijdrage van niveau 5 sterk gereduceerd in het verloop van het seizoen (zie Figuur 9), de bijdrage van niveau 5 wordt relatief groter totdat alle fotosynthese daarin plaatsvindt in oktober.

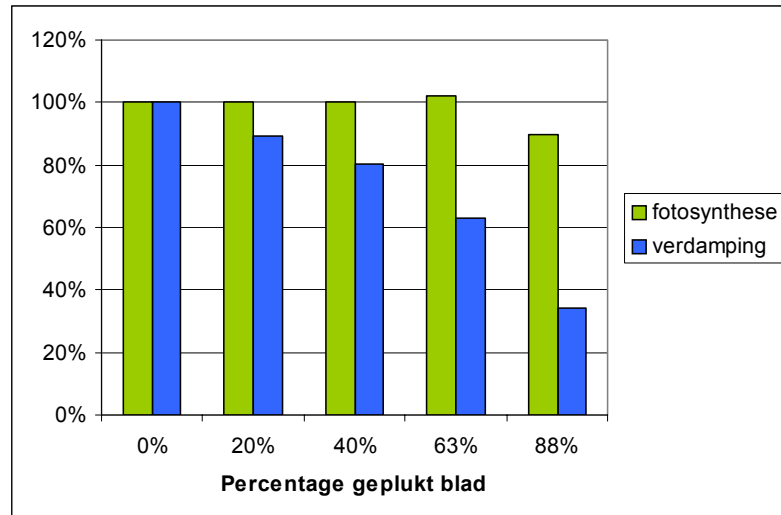
Tabel 1. De relatieve bijdrage (%) van de vijf bladniveaus bij paprika aan de netto fotosynthese en verdamping van het hele gewas medio juli, augustus, september en oktober, gevolgd door de bijdrage gemiddeld over de laatste drie maanden.

	Bladniveau / aandeel van een volledig bebladerd gewas				
	1 / 20%	2 / 20%	3 / 22,5%	4 / 25%	5 / 12,5%
Gewas assimilatie op:					
15 juli	-0,2	2,4	7,1	28,0	62,7
15 augustus	-0,5	0,6	1,7	19,6	78,7
15 september	0,0	-0,2	-4,3	8,0	96,5
15 oktober	0,0	-0,2	-8,3	-0,9	109,3
aug t/m okt gesommeerd	-0,3	0,2	-2,0	12,2	89,9
Gewas verdamping op:					
15 juli	11	11	18	25	35
15 augustus	10	10	17	28	35
15 september	10	9	17	30	35
15 oktober	11	9	18	28	33
aug t/m okt gesommeerd	11	9	17	29	34

De bijdrage van iedere bladlaag aan de gewasverdamping gedurende de maanden juli t/m oktober blijkt nauwelijks te veranderen. De verdamping varieert van gemiddeld 11% en 10% bij niveau 1 en 2, respectievelijk, tot 17-34% in niveaus 3 tot 5. Dit betekent dat terwijl de onderste 3 bladlagen gemiddeld géén, of een negatieve bijdrage leveren aan de fotosynthese, ze een gezamenlijke bijdrage hebben van 37% van het totaal van de gewasverdamping.

Tenslotte zijn de bijdragen van de vijf niveaus gesommeerd over de periode vanaf half augustus tot einde teelt om een schatting te geven van de bijdrage van alle bladniveaus aan de netto fotosynthese (groei) en verdamping (Figuur 11). Om de gevolgen van bladplukken bij paprika inzichtelijk te maken, zijn de bijdragen van het geheel gewas (0% bladplukken), en vervolgens met steeds één bladlaag minder weergegeven, tot aan de bijdrage van alleen de bovenste bladlaag (88% blad geplukt).

De bijdrage aan netto fotosynthese en gewasverdamping van alle 5 bladniveaus is op 100% gesteld. Verwijderen van de onderste twee bladlagen heeft geen effect op de fotosynthese. Na het verwijderen van ook de derde bladlaag, in totaal de onderste 63% van het gewas, werd zelfs ruim 2% meer fotosynthese berekend gemiddeld over de laatste 3 maanden voor beëindiging van de teelt. Pas nadat de vierde bladlaag werd verwijderd, nam de fotosynthese af, en wel met 10%.



Figuur 11. Het berekende effect van bladplukken bij paprika op de gesommeerde netto gewasfotosynthese en gewasverdamping over de maanden augustus, september en oktober. De fotosynthese en verdamping van het volledig bebladerde gewas is op 100% gesteld.

De relatieve hoeveelheid verdampt water nam ook af met het verwijderen van bladlagen. Verwijderen van het onderste bladniveau resulteerde in 10% minder verdamping, en door het tweede bladniveau te verwijderen liep de reductie van de verdamping op tot 20%. Het plukken van de onderste 3 bladniveaus, ongeveer 60% van het gewas, reduceerde de verdamping met ruim 35%. Dat betekent dat deze 3 bladlagen gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor ruim 35% van de totale gewasverdamping, gemiddeld over de laatste 3 maanden voor beëindiging van de teelt. In Tabel 1 en Figuur 11 is goed te zien dat het verwijderen (of bladplukken) van bladniveau 1, 2 en 3 in de periode half augustus t/m oktober leidt tot 2.1% meer groei en 37% verlaging van de verdamping. Bijkomend effect is dat er minder vocht de kaslucht wordt ingebracht.

In de periode van 3 maanden, van augustus t/m oktober, waarin de teelt van beide tuinders tot een einde is gekomen, werd berekend dat er door verwijderen van de onderste 3 bladniveaus (de onderste 60% van het gewas), er een groei toename van 2.1% en een reductie van de gewasverdamping van 37% gerealiseerd zou kunnen worden. Met de gewasgroei en productie gegevens over een heel seizoen berekend in Fase 1 van deze studie, en de meetdata uit Fase 2 werd een analyse gemaakt van de betekenis van bladplukken voor de groei toename op jaarbasis. Uit de metingen bleek het mogelijk, dat het verwijderen van bladeren (bladplukken) bij paprika in de maanden augustus t/m oktober, er **op jaarbasis** een productietoename van 0.5% een reductie in gewasverdamping van 10% gerealiseerd kon worden. In Fase 1 van het project werd berekend op basis van modellen dat door bladplukken er een toename van de groei van 1% en 11% verdampingsbesparing mogelijk kon zijn (Grashoff *et al.*, 2004). Hieruit blijkt dat metingen van fotosynthese en groei in het gewas, een beeld van de mogelijkheden van bladplukken geven dat consistent is met de berekeningen uitgevoerd in Fase 1 van deze studie. Het verwijderen van bladlaag 1 en 2 (de onderste 40% van het gewas) levert geen productiewinst, wel besparing van verdamping. Productiewinst zit in de daarop volgende 20%, tot aan 60% hoogte in het gewas, maar dat moet met beleid, want in bladlaag daarboven zit nog een aanzienlijke bijdrage aan de groei.

De berekeningen uitgevoerd in deze studie zijn gebaseerd op metingen van een aantal aannames, waarmee een schatting van de productie is gemaakt. Het is ook mogelijk dat er in de praktijk een productie afname als gevolg van bladplukken plaatsvindt, bijvoorbeeld doordat de aannames niet juist blijken te zijn, maar moet dan nog in de praktijk uitgetest worden.

Hiermee kunnen de conclusies m.b.t. de haalbaarheid van bladplukken uit Fase 1, die op basis van energiebesparing, opbrengststijging en arbeidskosten, vergeleken worden met de resultaten op basis van metingen. De verdamping op jaarbasis berekent in Fase 1 en op basis van metingen in Fase 2 is nagenoeg gelijk, waarmee de betekenis voor energieverbruik (5% energiebesparing) ook gelijk gesteld kan worden. De opbrengststijging op basis van metingen is echter minder hoog dan voorspeld in Fase 1, 0.5% stijging i.p.v. 1%. Samen met de energiebesparing levert dat nog steeds € 4710,- op, maar daarvan moeten nog de arbeidskosten vanaf.

Berekening Fase 1 (op basis van modellen)	Per ha (€)	Berekening Fase 2 (op basis van metingen)	Per ha (€)
Energiebesparing ¹	2760	Energiebesparing	2760
Opbrengststijging (1% op jaarbasis)	3900	Opbrengststijging (0.5% op jaarbasis)	1950
Totaal baten	6600	Totaal baten	4710
Af: kosten bladpluk (één voor één) ²	7480	Af: kosten bladpluk (snellere methode) ³	640
Totaal resultaat	-/- 820	Totaal resultaat	4070

¹ Gasprijs € 0.12 m³ en gasbesparing 2.3 m³/m²

² Arbeidstarief van € 20 per uur, 46 dagen arbeid per ha

³ Arbeidstarief van € 20 per uur, 4 dagen arbeid per ha

De arbeidskosten van bladplukken, wanneer ze één voor één worden geplukt, blijven hoog. In Fase 1 is uitgegaan van 374 uur arbeid om 1 ha paprikablad, één voor één te plukken. Er zijn echter andere manieren van bladplukken te bedenken die sneller en efficiënter uitgevoerd kunnen worden. Wanneer bladeren van de stengel afgeritst worden gaat bladplukken veel sneller en spaart veel tijd en arbeidskosten. In Groente & Fruit (week 41, 2004) is een bericht te lezen over een komkommerteler die beweerde door bladeren te snoeien, dat hij per dag bladeren van 1 ha komkommer kon verwijderen. Ook dat is vanzelfsprekend een veel snellere manier dan bladplukken één voor één. Als er vanuit wordt gegaan dat met een dergelijk methode van bladplukken het 4 keer langer duurt voor paprika dan voor komkommer, bijv. 4 dagen arbeid voor 1 ha, kan er een vergelijking worden gemaakt zoals in het tabel hierboven. Met dezelfde € 20 arbeidskosten per uur kost 4 dagen arbeid € 640,- wordt bladplukken een aantrekkelijke optie. Hieruit kan worden afgeleid, dat op basis van bovenstaand uurtarief en opbrengststijging, en mits een efficiëntere manier van bladplukken gerealiseerd kan worden, bladplukken rendabel kan zijn

4. Discussie

De primaire doelstelling van deze studie was het verkrijgen van kwantitatieve informatie over de bladactiviteit van een paprikagewas gedurende het seizoen waarin bladplukken een positieve invloed zou kunnen hebben op de productie. Na berekeningen met modellen in Fase 1 van deze studie, werden nu metingen van de bladactiviteit (netto fotosynthese, ademhaling, verdamping) gebruikt om te bepalen welke bladlaag wanneer in het seizoen een negatieve bijdrage aan de productie en een positieve bijdrage aan de verdamping zou kunnen hebben. Op basis van de gemeten netto bladfotosynthese en -verdamping werd een schatting gemaakt van de gewasgroei en -verdamping; de gewasgroei en -verdamping zelf zijn niet gemeten.

De bovenste bladlaag vangt het meest licht op en draagt het meeste bij aan de gewasfotosynthese (ongeveer 90%). De overige 10% fotosynthese vindt plaats in bladniveau 4, terwijl het onderste deel van het gewas niet, of negatief bijdraagt aan de gewasfotosynthese. De fotosynthetische eigenschappen van een bladlaag blijken sterk gecorreleerd te zijn aan de mate van PAR licht dat een bladlaag ontvangt. Het is ook aannemelijk dat de fysiologische leeftijd van het blad een rol speelt bij de mindere bladactiviteit van de oudere bladeren dieper in het gewas. Of het PAR lichtniveau danwel leeftijd bepalend is kan echter uit deze waarnemingen niet geconcludeerd worden.

In juli werd een voor paprika normaal beeld van de ademhaling waargenomen. Alleen bij zeer lage lichtniveaus vond in alle bladlagen een negatieve netto fotosynthese plaats (ademhaling hoger dan de fotosynthese). Bij metingen in de onderste bladlagen bij lichtintensiteiten tot 50 W m^{-2} in september schommelde de fotosynthese om het omslagpunt en vertoonde een hoge mate van variatie. Ook de verdamping was het grootst in de bovenste bladlagen. Echter de relatieve verschillen tussen de bladlagen zijn voor verdamping veel minder groot dan voor fotosynthese. De onderste bladlagen blijven dan ook het hele seizoen substantieel bijdragen aan de verdamping van het gewas (Figuur 10). De fotosynthese eigenschappen van de bladeren veranderen gedurende het seizoen (juli-oktober), terwijl de verdampingseigenschappen weinig veranderen: als gemeten wordt bij dezelfde klimaatcondities is de fotosynthese van met name de lagere bladlagen in september lager dan in juli, terwijl de verdamping weinig verschillend is. Mede door de afnemende lichtintensiteiten neemt de daadwerkelijke gewasfotosynthese sterk af in de periode juli tot en met oktober. Het feit dat de verdamping van ook de lagere bladlagen door blijft gaan in de periode juli tot en met oktober betekent dat de huidmondjes normaal functioneerden of tenminste open waren. Dit terwijl netto fotosynthese nauwelijks plaats vond in de onderste bladlagen. Dit betekent dat de verandering van fotosynthese-eigenschappen niet zozeer het gevolg waren van verandering in huidmondjesweerstand, maar van mesofylweerstand (interne fotosynthese-eigenschappen).

Op beide bedrijven werd bijzonder weinig licht in de onderste bladlagen van het gewas gemeten. Hoewel er enige verschillen waren tussen de 2 bedrijven waar gemeten is, was het totaalbeeld van de 2 bedrijven weinig verschillend. Als er meer licht onder in het gewas komt gedurende de gehele gewasontwikkeling, zou het mogelijk kunnen zijn gedurende een langere periode, een positieve bijdrage van de onderste bladlagen aan de productie te realiseren. Hiervoor zou aan assimilatiebelichting onder in het gewas, of een optimalisering van plantverband in het gewas gedacht kunnen worden. Meer licht onder in het gewas is ook relevant voor teelten zoals tomaat en andere groentegewassen waarbij een optimale LAI mogelijk tot productie verhoging zou kunnen leiden.

Dit onderzoek onderstreept het belang van de LAI voor productie. Een paprikagewas wordt enerzijds gekenmerkt door een vrij lange beginperiode van een teelt waarin de LAI vrij klein is, terwijl anderzijds de LAI vanaf de zomer zeer hoge waarden bereikt. Door de lage LAI in begin van de teelt kan een groot deel van het inkomende licht niet door het gewas onderschept worden. In deze beginfase van de teelt is het belangrijk om klimaat en gewashandelingen zodanig in te richten dat de LAI zo snel mogelijk toeneemt. Op relatief eenvoudige wijze zou de LAI verhoogd kunnen worden door zijscheuten anders te toppen. Later in de teelt is juist een kleiner bladoppervlak gewenst. Enerzijds omdat het tot extra verdamping en daardoor extra energiegebruik leidt en anderzijds omdat de grote bladmassa tot veel ademhaling leidt en daardoor tot mogelijke groeiremming. De LAI beperken in deze fase van de teelt kan door het verwijderen van de onderste bladeren aan de plant. Er zou ook aan veredeling gedacht kunnen worden. In deze fase van de teelt is dan een ras nodig dat weinig blad vormt. Echter, ditzelfde ras moet in de beginfase juist veel blad produceren. Deze combinatie van eigenschappen in één ras lijkt niet erg reëel.

Dit onderzoek heeft zich gericht op het verwijderen van de onderste bladeren van de plant. Een andere optie die naar verwachting een groter positief effect op productie heeft is het verwijderen van heel jonge bladeren bovenin het gewas. Het verwijderen van de jonge bladeren bij paprika zou uitgevoerd kunnen worden door het toppen van de zijscheuten zodanig uit te voeren dat al het blad van de zijscheuten vroegtijdig verwijderd wordt. Door het weghalen van heel jonge bladeren wordt niet alleen het verlies aan ademhaling beperkt maar ook de investering van assimilaten voor groei van bladeren. Deze assimilaten kunnen dan gebruikt worden voor vruchtproductie (en voor groei van de overige vegetatieve delen). In de tomatenteelt wordt het verwijderen van jong blad nogal eens toegepast en modelberekeningen (Heuvelink *et al.*, 2005) hebben de voordelen hiervan ook duidelijk gemaakt. Bij het verwijderen van jong blad is wel aandacht nodig dat de vruchten van het directe zonlicht afgeschermd worden door bladeren. Anders kan verbranding van de vruchten optreden.

In Fase 1 is geconcludeerd dat het éénmalig plukken van het blad (bijv. van LAI 6 terug naar LAI 3) vanaf medio augustus, voordelig zou zijn voor de fotosynthese en de gewasverdamping reduceert. Het zou resulteren in 11% minder verdamping, 5% minder gasverbruik en 1% meer productie. Éénmalig bladplukken van LAI 6 naar LAI 4 is iets minder gunstig. In Tabel 1 wordt aangegeven dat het plukken van de onderste 3 bladlagen resulteert in 2% productieverhoging en 36% minder verdamping (circa 75 l m⁻²) gedurende de maanden augustus t/m oktober. Toegepast over een heel groeiseizoen betekent dit 0,5% productieverhoging en 10% minder verdamping. De onderste 3 bladlagen komen overeen met een LAI van ruim 3, die verwijderd zou moeten worden om deze resultaten te halen. Dus uit Tabel 1 lijkt het erop dat een eenmalig bladpluk van LAI 6 terug naar LAI 2,5 tot 3 resulteert in een optimale LAI, i.p.v. een LAI van 3 tot 4 zoals voorspeld in Fase 1. Dit betekent dat de onderste 60% van het gewas verwijderd kan worden, en zou bereikt kunnen worden door óf het oudere blad onderin het gewas te plukken óf juist de jonge bladeren.

In het algemeen hangt de opname van mineralen vooral af van de groei en niet of nauwelijks van de verdamping (Marcelis *et al.*, 2003). De invloed van verdamping op het mineralen transport en verdeling in de plant is wel relevant voor het calciumgehalte. Een hoge bladverdamping resulteert in relatief veel calcium in het blad, en minder in de vruchten, waardoor de kans op neusrot wordt verhoogd. Er worden echter geen grote effecten van een verlaagde gewasverdamping als gevolg van bladplukken verwacht, waarschijnlijk komt er wel iets meer calcium in de vruchten t.o.v. in de bladeren.

Uit de berekeningen van netto fotosynthese en gewasverdamping op basis van metingen ontstaat een beeld van de mogelijkheden van bladplukken dat consistent is met de berekeningen uitgevoerd in Fase 1 van deze studie. De onderste 40% van het gewas levert géén voordeel op m.b.t. fotosynthese na medio augustus, maar draagt bij aan een verhoogde verdamping. Dit betekent, een verhoging van de relatieve luchtvochtigheid van de kaslucht zonder dat er een positieve bijdrage aan de fotosynthese en groei er tegenover staat. Wanneer de onderste bladeren worden verwijderd in augustus t/m oktober wordt minder vocht de kaslucht ingebracht door gewasverdamping. Waarschijnlijk leidt dit tot meer luchtbeweging, de verwarmingsbuizen hoeven minder warmte af te geven en wordt de vochtbeheersing gemakkelijker. Door de lagere luchtvochtigheid en mogelijk grotere luchtstroming wordt de kans op natslag en schimmelinfecties (*Botrytis*) waarschijnlijk ook minder.

Het verwijderen van de onderste 60% van het gewas vanaf augustus resulteerde in een berekende groeitoename van 0.5% op jaarbasis en een reductie in gewasverdamping van 10%. Deze voordelen moeten worden afgewogen tegen de nadelen, namelijk de extra arbeidskosten van bladplukken. Met efficiëntere manieren van bladplukken dan handmatig één voor één bladeren verwijderen, kunnen de arbeidskosten aanzienlijk omlaag. Wanneer men zou overgaan tot bijv. bladeren van de stengel afritsen, of snoeien zoals vermeld voor komkommer in Groente & Fruit (week 41, 2004), lijkt bladplukken bij paprika rendabel te zijn. Op basis van Tabel 1 zou de conclusie kunnen worden getrokken dat twee keer bladplukken (bijv. de onderste laag begin juli en de volgende 2 lagen eind augustus) gunstiger kunnen zijn dan één keer bladplukken. Echter, gezien de arbeidskosten van bladplukken en de terughoudendheid van de tuinders m.b.t. de economische aspecten ervan, lijkt het niet rendabel om twee keer blad te plukken.

Punt van aandacht is dat een dergelijke methode voor bladplukken de kans op ziektes kan verhogen. Met ritsen of snoeien kunnen open wonden ontstaan waardoor schimmelziektes zoals *Fusarium* gemakkelijker toegang tot de plant kunnen krijgen. Er is echter geen ervaring met bladplukken op deze wijze, maar het is aannemelijk dat door de bladstengel met een zo klein mogelijk wondoppervlak door te snijden op een tijdstip waarop het snel kan drogen (ochtend), de kans op wondinfecties wordt verkleind. Het gesnoeide blad valt op de grond, en wanneer de wonden in het bladerenpakket op de grond minder snel kunnen drogen, zou de teler extra arbeid moeten inzetten om het blad te verwijderen om mogelijk ziektes te voorkomen.

De resultaten uit deze studie zijn gebaseerd op metingen aan bladfotosynthese, bladademhaling en bladverdamping in combinatie met (model)berekeningen. De resultaten laten zien dat er positieve effecten van bladplukken op de productie en energieverbruik bij paprika te verwachten zijn. Het bladplukken zelf is echter nog niet getoetst in een experiment en ook niet of er dan meer kans op ziekten bestaat.

5. Conclusies

Op basis van alle metingen draagt bladniveau 1 negatief bij aan de fotosynthese vanaf augustus. Bladniveaus 2 en 3 zijn dan nog positief, maar vanaf september dragen ook deze bladlagen (de onderste 60% van het gewas) negatief bij aan de fotosynthese. Alleen de bladniveaus 4 en 5 leveren een positieve bijdrage aan de fotosynthese vanaf september.

- Alle vijf bladniveaus vertonen wel een duidelijke verdamping tot het einde van het seizoen.
- Volgens de prognoses gebaseerd op de metingen heeft het *handhaven* van de bladniveaus 1, 2 en 3 vanaf half augustus het volgende effect:
 - Het kost 0.5% groei op jaarbasis
 - Ze leveren 10% van de verdamping op jaarbasis, en kosten daarmee 5% meer energie.

Het geschatte voordeel van de productiestijging en energiebesparing als gevolg van bladplukken bedraagt € 4710,- per ha. Mits de arbeidskosten van bladplukken beduidend lager zijn dan € 7480,- (374 uur voor het één voor één verwijderen van de bladeren, bij een arbeidsloon van € 20,-), kan het economisch interessant worden om bladeren te verwijderen. Bladplukken op deze wijze leidt tot energiebesparing en enige productiestijging.

Literatuurlijst

Grashoff, K., C. Staghellini, F. Kempkes, A. Elings, E. van Os & L. Marcelis, 2004.

Energiebesparing door bladplukken bij paprika: haalbaarheidsstudie op basis van modellen. PRI nota 310. pp 15.

Heuvelink, E., M.J. Bakker, A. Elings, R. Kaarsemaker & L.F.M. Marcelis, 2005.

Effect of leaf area on tomato yield. Acta Hortica (in druk).

Marcelis, L.F.M., C.C. de Groot, F.M. Del Amor, A. Elings, M. Heinen & P.H.B. de Visser, 2003.

Crop nutrient requirements and management in protected cultivation. Proceeding 525 International Fertiliser Society, York UK. P 117-152.

Bijlage I.

Conclusies uit de bespreking met de BCO-paprika

11 december 2003

Aanwezig: - BCO-paprika: Wilbert van den Bosch, Rick Grootcholten, John Barendse, Arthur Zwinkels, Kees van Beek

- Tuinders van de beide bedrijven waar gemeten wordt: Niekie van der Burg, Wilfred van den Berg

- Onderzoekers PRI: Kees Grashoff, Leo Marcelis

- De tuinders zijn blij dat er nu al meer duidelijkheid is en in de volgende maanden nog meer duidelijkheid komt over de activiteit van de bladeren langs de gehele paprikastengel.
- Ze ondersteunen de metingen in augustus – november en willen daar van harte aan meerwerken.
- De tuinders vragen de onderzoekers of het inderdaad fysiologisch mogelijk is dat netto negatieve onderbladeren suikers onttrekken aan andere delen van de plant. De onderzoekers antwoorden hierop bevestigend. Veel onderzoek heeft uitgewezen dat de suikerstromen door de bastvaten van een plant in alle richtingen kunnen wisselen, afhankelijk van vraag en aanbod. Dit transport is onafhankelijk van de (verdampings)waterstroom die door een gescheiden transportsysteem verloopt, namelijk de houtvaten.
- De tuinders vragen, als ze nu zelf oriënterend zouden gaan bladplukken, hoeveel blad verwijderd kan worden. De onderzoekers benadrukken dat het daadwerkelijk bladplukken niet (meer) in de het projectvoorstel is opgenomen. De tuinders zullen zelf de afweging moeten maken op basis van de nu beschikbare en nog komende resultaten van de activiteitsmetingen. De onderzoekers geven de suggestie om half augustus tot 40% hoogte te plukken, dus bij een gewashoogte van 3 meter de onderste 1.20 meter te verwijderen.
- De tuinders zullen bladplukken in overweging nemen, maar zijn beducht over de grote hoeveelheid arbeid die het gaat kosten (ca 380 uur per ha). Het ritsen van blad (dat veel sneller gaat dan plukken) lijkt riskant vanwege de grote wonden. Bladverwijdering op andere wijze (bijvoorbeeld met chemische middelen) is misschien mogelijk, maar is maatschappelijk minder gewenst, nog los van eventuele toelatingseisen.
- Een andere optie kan zijn om, *met dit onderzoek als uitgangspunt voor een optimaal paprikagewas*, te zoeken naar een teeltwijze waarop de paprikaplant gestuurd wordt naar (de aanmaak van?) minder blad, bijvoorbeeld een LAI 4 in plaats van LAI 8. Als dit lukt, zijn zowel een (grotere) opbrengstwinst als de volledige energiebesparing ook te realiseren. Daarbij moet wel voorkómen worden dat de vruchten niet meer beschermd worden door de bovenbladeren, vanwege gevaar op verbranding.
- In verband met het 'koppen' van het gewas (een standaard handeling in de tweede helft van september) wordt afgesproken om de komende metingen te groeperen in twee series meetdagen: meetserie 2 van eind augustus tot uiterlijk half september, en meetserie 3 van de eerste t/m de derde week van oktober.
- De tuinders hebben buisrailwagentjes beschikbaar die bladmetingen tot de verwachte gewashoogte van 3.5 á 4 meter mogelijk maken.
- Kees van Beek zal namens LTO rond 10 december een avond plannen voor tuinders, waarop de (eerste uitwerking van) de definitieve resultaten door de onderzoekers kunnen worden gepresenteerd. Dit los van eventuele andere presentaties aan studiegroepen en bijeenkomsten.

Bijlage II.

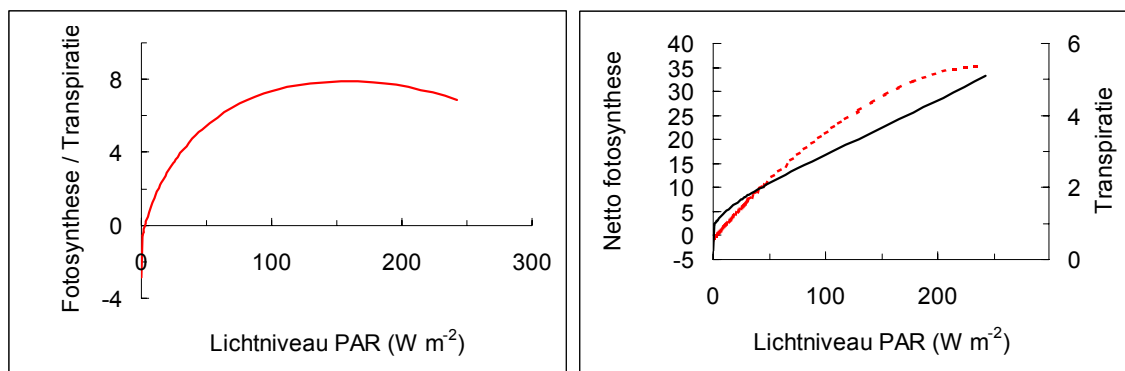
Vergelijking van responscurve van fotosynthese en verdamping

In veel situaties is er een correlatie tussen verdamping en fotosynthese. Vaak wordt (ten onrechte) aangenomen dat een hogere verdamping tot een hogere groeisnelheid leidt; een correlatie wil immers nog niet zeggen dat er een oorzakelijk verband is. In deze bijlage wordt kort ingegaan op de drijvende krachten voor fotosynthese en verdamping van een blad en hun onderlinge correlatie.

Bij fotosynthese moeten we onderscheid maken tussen bruto en netto fotosynthese. De netto fotosynthese is het verschil tussen bruto fotosynthese (de eigenlijke fotosynthese) en ademhaling. In de (bruto) fotosynthese wordt CO_2 via de huidmondjes opgenomen en vastgelegd in suikers. De drijvende kracht voor fotosynthese is licht. Verhoging van de CO_2 concentratie of verlaging van de huidmondjesweerstand vergemakkelijkt de diffusie van CO_2 het blad in, waardoor de fotosynthese toeneemt. De huidmondjes sluiten in het donker (hoge huidmondjesweerstand) en tevens reageren de huidmondjes enigszins op de luchtvochtigheid, temperatuur en CO_2 concentratie.

Verdamping wordt vooral bepaald door het verschil tussen dampdruk (luchtvochtigheid) in de bladholte (huidmondjes holte) en in de lucht en door de huidmondjesweerstand. De energiebalans van het blad speelt hierbij een heel belangrijke rol. Straling op het blad (PAR, NIR, warmtestraling) verhoogt indirect de dampdruk in het blad en daarmee beïnvloedt het in sterke mate de verdamping.

Lichtresponscurven van fotosynthese en verdamping hebben enkele karakteristiek verschillen. Als er geen licht is, is er geen bruto fotosynthese, er is wel ademhaling, waardoor de netto fotosynthese negatief is. De lichtresponscurve van netto fotosynthese begint dus iets onder nul (Figuur 11A). Verdamping daarentegen treedt ook op in het donker en deze curve begint dus duidelijk met een positieve waarde voor de verdamping. Als de lichtintensiteit toeneemt, nemen zowel de fotosynthese als de verdamping sterk toe. Echter bij hoge lichtintensiteiten treedt verzadiging van het fotosyntheseproces op, waardoor de fotosynthesecurve afvlakt terwijl de verdampingscurve gedurende een groot traject in bijna gelijke mate toe blijft nemen bij verhoging van de lichtintensiteit. Als gevolg hiervan neemt de verhouding tussen fotosynthese en verdamping in eerste instantie toe bij toenemende lichtintensiteiten (Figuur 11B). Bij hoge lichtniveaus vlakt de curve af en daalt uiteindelijk enigszins.



Figuur 11. Vergelijking van de lichtresponscurve van netto fotosynthese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en transpiratie (A) en de verhouding tussen netto fotosynthese en transpiratie ($\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$) (B).

