

## Zuiver met CO<sub>2</sub> bij gelijkblijvende of hogere productie?

Govert Trouwborst (Plant Lighting BV) i.s.m.

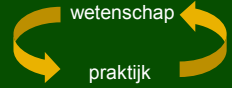
Sander Hogewoning (Plant Lighting BV)  
Sander Pot (Plant Dynamics BV)  
Stefan Persoon (Inno Agro BV)  
Ary de Jong, Jeroen Sanders en collega's (Demokwekerij Westland)



Masterclass CO<sub>2</sub> bij paprika  
25 september 2015



- Team:
  - Dr. ir. Sander Hogewoning, Dr. ir. Govert Trouwborst & ing. Reinder van der Spek
- Expertise o.a.:
  - fotosynthese, verdamping en CO<sub>2</sub>
  - plantreacties op lichtkleur
  - lichtbronnen (o.a. LED) en stuurlicht
  - phenotyping
- Wij doen onderzoek voor:
  - tuinders & veredelaars
  - toeleveranciers
  - overheid en belangenorganisaties

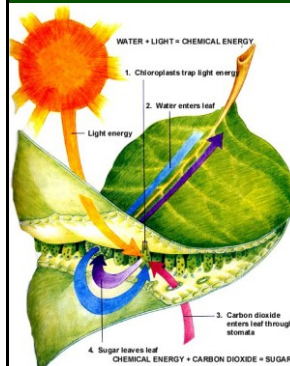


## Inhoud

- Intro fotosynthese & het belang van CO<sub>2</sub>
- Onderzoek luie bladeren
- Discussie



## Fotosynthese: de basis van gewasgroei!



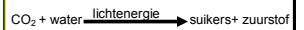
Primaire bouwstoffen:

- CO<sub>2</sub> & water

Energiebron:

- licht

Fotosynthese:



Regeling snelheid proces:

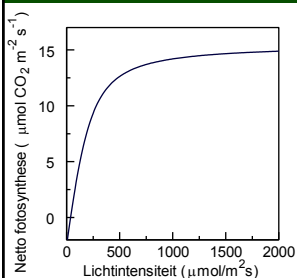
- temperatuur

Secundaire bouwstoffen:

- nutriënten (omzetting suikers in eiwitten etc.)

Huidmondjes fungeren als poortwachter voor CO<sub>2</sub>

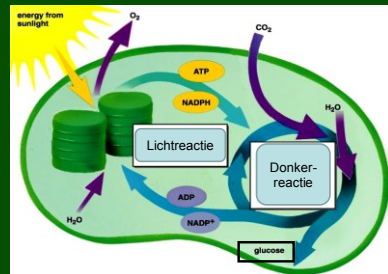
## Fotosynthese op bladniveau: reactie op licht



- Bij laag licht: 1% meer licht= 1% meer fotosynthese
- Hoger lichtniveau: 1% meer licht <1% meer fotosynthese
  - Beperking door CO<sub>2</sub> opname (bouwstoffen)
  - Beperking door eiwitten in blad (machinekamer)
- Bij heel veel licht: 1% meer licht= 0% meer fotosynthese

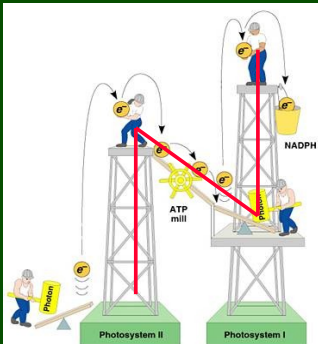
## Fotosynthese op chloroplastniveau

- Twee deelreacties:
  - Lichtreactie: Energie wordt opgeslagen (ATP en NADPH)
  - Donkerreactie: Energie wordt gebruikt en CO<sub>2</sub> vastgelegd.



## Lichtreactie: Z-schema (2-trapsraket)

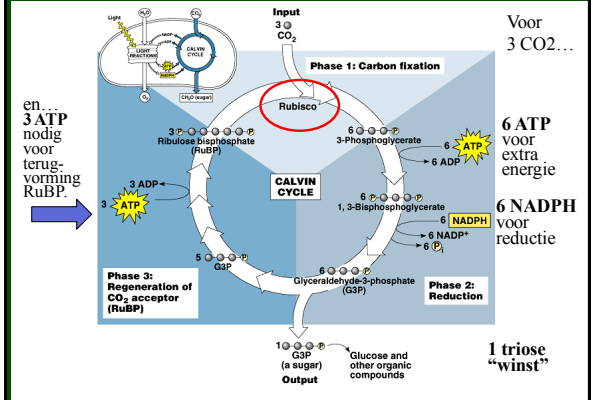
- 'productie' van de energiedragers ATP en NADPH door elektronenstroom
- Elektronenstroom wordt opgewekt door de geabsorbeerde lichtdeeltjes (fotonen)



Illustratie: Linus van der Plas (WUR)

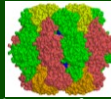


## Donker-reactie (Calvin cyclus): enzym Rubisco

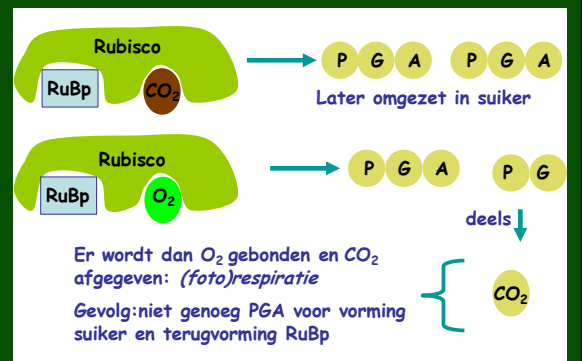


## Rubisco: centraal enzym in de Calvin-cyclus

- Afkorting van: Ribulose 1,5-bisphosfaat carboxylase/oxygenase
- Enzym dat binding van CO<sub>2</sub> met RuBP katalyseert
- Meer dan 20% van plant eiwit
- Verreweg meest voorkomende eiwit op aarde!
- Maar.... als er weinig CO<sub>2</sub> is en veel O<sub>2</sub>, reageert ook zuurstof met rubisco: fotorespiratie
- Fotorespiratie kan leiden tot een verlies van 20 - 50 % van de gebonden CO<sub>2</sub>
- De verhouding O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> bepaalt mate van fotorespiratie
  - In een wereld zonder O<sub>2</sub> groeien planten harder
  - Zelfde effect kan bereikt worden met CO<sub>2</sub>-dosering!



## Enzym Rubisco: Fotosynthese & Fotorespiratie



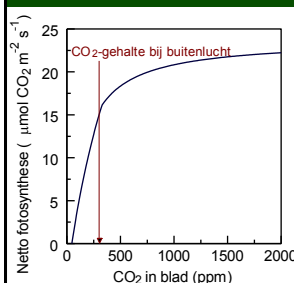
## Wanneer treden problemen op?



1. Bij (relatief) weinig CO<sub>2</sub> in de omgeving (geen luchtbeweging...)
2. Bij hoge temperatuur (CO<sub>2</sub> lost dan relatief slecht op)
3. Bij droogte: huidmondjes bijna dicht = "huidmondjes-dilemma"!
  - Gebrek aan wateraanvoer via wortels
  - Te hoge VPD



## Reactie van fotosynthese op CO<sub>2</sub> op bladniveau



- CO<sub>2</sub> respons lijkt op lichtrespons!
  - eerst enorme toename fotosynthese, daarna afvlakking
  - Bij verzadigend CO<sub>2</sub> is fotorespiratie geminimaliseerd

## Vragen????

## Zuiner met CO<sub>2</sub> bij gelijkblijvende of hogere productie?

Onderzoek 2014 en 2015

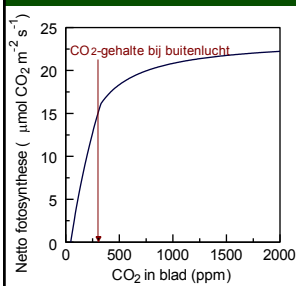
Financier:



Uitvoerende partijen:



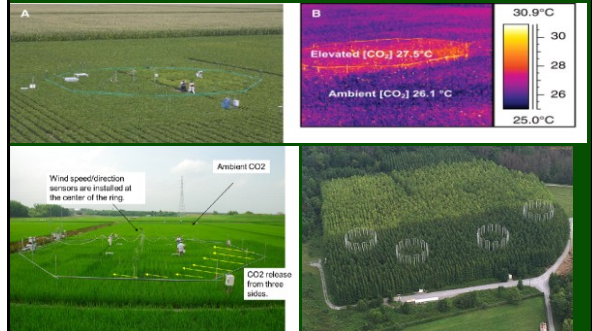
## Heeft veel CO<sub>2</sub> ook nadelen?



- CO<sub>2</sub> respons lijkt op lichtrespons!
  - eerst enorme toename fotosynthese, daarna afvlakking
- Hoog CO<sub>2</sub> heeft ook nadelen:
  - rookgasverontreiniging
  - 'luie bladeren'



## Internationaal onderzoek: 'FACE': Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment



Tarwe, rijst, soja, mais, bomen.....kasgewassen????



## Voorbeeld literatuur: lange-termijn effect hoog CO<sub>2</sub>

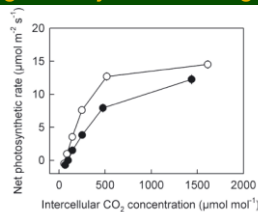


Fig. 1. Net photosynthetic rate under saturating light ( $P_n$ ) as a function of intercellular CO<sub>2</sub> in leaves of the Japanese white birch grown under elevated (800  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ , closed) and ambient CO<sub>2</sub> concentration (400  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ , open circle). Measurements were made at a PFD of 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and 25°C. Values are mean  $\pm$  s.e. (n = 8).

■ Bron: Komatsu et al 2013



## 'Luie' bladeren

- Luie bladeren
  - Sluitende huidmondjes (korte termijn)
  - Minder huidmondjes (lange termijn)?
  - Verminderde werking sleutelenzym Rubisco
    - Sleutelenzym RUBISCO: CO<sub>2</sub>-binder
    - 25-50% van alle oplosbare eiwitten in bladeren=Rubisco
    - Productie Rubisco op aarde geschat op 1000 kg/ seconde!!
    - Wereldwijde zoektocht naar efficiënter Rubisco gaande
- Zolang CO<sub>2</sub> hoog is in de kas misschien geen probleem, maar als in het voorjaar de ramen open gaan....?



## Opzet fundamenteel onderzoek paprika en tomaat (2013/2014)



## Proefopzet

Cabine 6	Cabine 5	Cabine 4
400 ppm CO <sub>2</sub> continu RV continu hoog	1000 ppm 's ochtends 's middag 400 ppm RV continu hoog	1000 ppm CO <sub>2</sub> continu RV continu hoog
1000 ppm CO <sub>2</sub> continu en hoog RV 's middag 400 ppm en lage RV	1000 ppm CO <sub>2</sub> continu RV continu hoog	400 ppm CO <sub>2</sub> continu RV continu hoog
Cabine 1	Cabine 2	Cabine 3

### Twee meetmomenten:

- Korte acclimatietijd: (400 en 1000 ppm continu)
  - Rubisco-aanpassing?
  - Bladeren anatomisch gevormd bij plantenkweker dus zelfde bij alle behandelingen
- Lange acclimatietijd: (alle behandelingen)
  - Rubisco-aanpassing?
  - Bladeren anatomisch gevormd bij verschillend CO<sub>2</sub>.



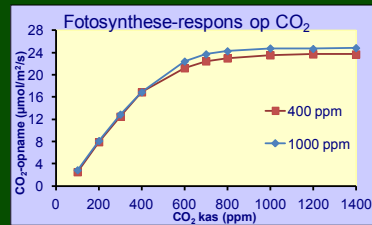
Foto 1. Meting van CO<sub>2</sub>-benutting met het LI-6400XT Portable Photosynthesis System. Links: Meting aan een paprikabladdat al aangelegd was bij de plantenkweker. Rechts: Meting aan een blad dat ontwikkeld is in de onderzoekscabine.

Tegelijkertijd meting van CO<sub>2</sub>-opname & verdamping  
berekening van de fotosynthese en huidmondjes-geleidbaarheid

Meting tomaat en paprika in najaar 2013 en paprika nogmaals voorjaar 2014



## Paprika, aanpassingen op korte termijn?



- Korte termijn: al ontwikkelde bladeren blootgesteld aan hoog of laag CO<sub>2</sub>
- Geen verschil in helling, dus geen verschil Rubisco-capaciteit



## Rendement CO<sub>2</sub> benutting bij paprika voorjaar 2014:

CO <sub>2</sub> kas in ppm	400 ppm bladeren	1000 ppm bladeren
	% t.o.v. 400ppm bij 400 ppm blad	% t.o.v. 400ppm bij 400 ppm blad
100	15%	17%
200	47%	48%
300	74%	76%
400	100%	100%
600	126%	133%
700	133%	140%
800	136%	144%
1000	139%	147%
1200	140%	146%

- Vrij snel CO<sub>2</sub>-verzadiging bij 700-800 ppm



## Metingen voorjaar 2014: lange termijn

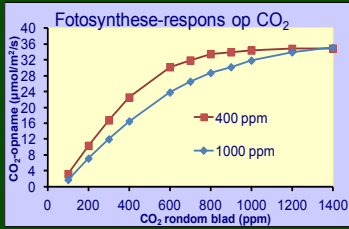


- 'tent' gebouwd om klimaatshock te minimaliseren
- Bladeren ongeveer 30 cm onder de top



## Paprika: aanpassingen lange termijn van Rubisco?

- Lange termijn = bladeren volledig ontwikkeld onder laag of hoog CO<sub>2</sub>



- Dus als de ramen open gaan produceren de '1000-ppm-bladeren' minder.
- Fors verschil in helling curve (n=13)!
  - dus aanpassing in Rubisco-capaciteit
  - capaciteit Rubisco 30% lager bij permanent hoog CO<sub>2</sub>
  - huidmondjes niet de oorzaak, dus geen 'luie huidmondjes'



## Rendement CO<sub>2</sub>-benutting paprika (zomer 2014)

CO <sub>2</sub> kas in ppm	400 ppm bladeren % t.o.v. 400ppm bij 400 ppm blad	1000 ppm bladeren % t.o.v. 400ppm bij 400 ppm blad
100	14%	8%
200	46%	32%
300	74%	53%
400	100%	73%
600	134%	106%
700	141%	118%
800	149%	127%
900	151%	134%
1000	153%	141%
1200	155%	151%
1400	155%	156%

- 400 ppm-bladeren in voorjaar 2014: 22 tot 28% meer fotosynthese bij een zelfde CO<sub>2</sub>-niveau.
- 400 ppm-bladeren gaan dus effectiever met het CO<sub>2</sub> om.
- Bij 800 ppm CO<sub>2</sub>-verzadiging



## Samenvattend onderzoek 2014

### Korte termijn aanpassing:

- Geen 'luie bladeren'
- Paprika bij 800 ppm vrijwel CO<sub>2</sub> verzadigd, dus wie meer doseert kan direct besparen!

### Lange termijn:

- Paprika voorjaar 30% lagere Rubisco-capaciteit bij continu hoog CO<sub>2</sub>
- Dus als CO<sub>2</sub> in de kas zakt bij opening ramen fors minder productiviteit! Ja maar...?
  - Voorkomt een matigere CO<sub>2</sub> concentratie (bijv. 700 ppm) 'luie bladeren'?
  - Gaat een alternerende CO<sub>2</sub> concentratie het optreden van 'luie bladeren' tegen?
  - Kunnen 'luie bladeren' weer actief worden? Zo ja, hoe snel gaat dat dan?



## Vervolgonderzoek zomer 2015:

- **Vraag 1:** Is het fenomeen 'luie bladeren' door hoog CO<sub>2</sub> reversibel, en zo ja, hoe snel?
  - Als de 'luiheid' na enkele dagen lager CO<sub>2</sub> al verdwenen is, dan is de praktische relevantie minimaal en kan in de winter gewoon doorgedoseerd worden tot 700 à 800 ppm.
  - Als de 'luiheid' langdurig is of blijvend, dan moet gedacht worden over een andere CO<sub>2</sub>-strategie in de winter.
- **Vraag 2:** Hoe presteert een zomergewas op warme dagen in de middag en avond in de praktijk, ten opzichte van de ochtend? Wat is hiervan de oorzaak?
  - NB veel tuinders hebben de beleving dat op warme zomerdagen het gewas voor gas gaat....
  - Wat is jullie beleving?



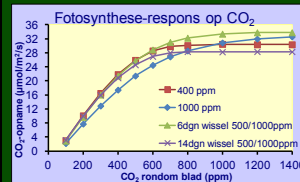
## Vraag 1: Is het fenomeen 'luie bladeren' door hoog CO<sub>2</sub> reversibel, en zo ja, hoe snel?

### Aanpak:

- Kweek paprika op bij 400 (2 cabines) en 1000 ppm (4 cabines) CO<sub>2</sub>
  - Planten week 17 in cabines
- Startmeting van de efficiëntie waarmee de bladeren CO<sub>2</sub> benutten
  - na minimaal 8 tot 10 weken.
- Vervolgens de CO<sub>2</sub>-concentratie in twee 1000 ppm cabines laten verlopen volgens een realistisch voorjaarspatroon (wisselend tussen 500 en 1000ppm).
  - Leidt dit andere CO<sub>2</sub> regime ertoe dat het fenomeen 'luie bladeren' reversibel is?
  - Zo ja, hoe snel dan?
    - Metingen na 6 en 14 dagen.



## Wisselen in CO<sub>2</sub>, activeren luie bladeren?



	Vcmax
400 ppm	89.6 <sup>a</sup>
1000 ppm	68.3 <sup>b</sup>
6 dagen wissel	84.2 <sup>a</sup>
14 dagen wissel	85.2 <sup>a</sup>

- Verrassend! Rubisco in 6 dagen weer op niveau 400 ppm bladeren
  - Tevens geen negatief effect langdurig 1000 ppm op maximale huidmondjesopening
- Dus slechts korte tijd een lagere productiviteit van 'verwend' gewas na zakkende CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas
  - Problemen door 'verwendheid' dus te kort voor aanpassing doseerstrategie
  - NB. 800ppm in winter = genoeg!





## Vraag 2: Hoe presteert een zomergewas op warme dagen in de middag en avond in de praktijk, ten opzichte van de ochtend?

Gaat het gewas voor gaas en zo ja, wat is hiervan de oorzaak? En wat zijn de gevolgen voor CO<sub>2</sub>-dosering?

- Gaan de huidmondjes dicht bij hoge VPD in de loop van de ochtend/middag?
- Gaan ze 's avonds weer open of niet?
- Of ligt het teruglopen van de assimilatie niet aan de VPD, maar aan sink-limitatie (plant is 'vol' met suikers)?
  - Als de plant 'vol' is, dan heeft het stimuleren van de assimilatie door sturing VPD (huidmondjes openen) via bijvoorbeeld bevochtiging in de middag geen zin.
  - Ook extra CO<sub>2</sub> dosering, zodat ondanks hoge weerstand huidmondjes toch voldoende CO<sub>2</sub> het blad in diffuseert, is dan niet zinvol.
- Mogelijk speelt ook daglengte op zich een rol, ongeacht assimilatenproductie over de dag?



## Vraag 2: Hoe presteert een zomergewas op warme dagen in de middag en avond in de praktijk, ten opzichte van de ochtend? Wat is hiervan de oorzaak?

Aanpak:

- Meet in praktijk aan planten met volle en halve sinksterkte (dunnen vruchten)
- Meet patroon CO<sub>2</sub>-opname bladeren over de dag en vergelijk met verloop kasklimaat
  - op warme dag (veel assimilatenproductie, hoge VPD in loop van de dag)
    - gemeten bij Vijverberg op 30 juni en 1 juli
    - weerstation Rotterdam: T<sub>max</sub> 21.6 en 27°C; T<sub>min</sub> 27.7 en 34.4°C; PAR som buiten 66 mol
- Sluiten huidmondjes?
  - hangt dat samen met VPD?
  - is dat eerder bij halve sink ('plant vol')?



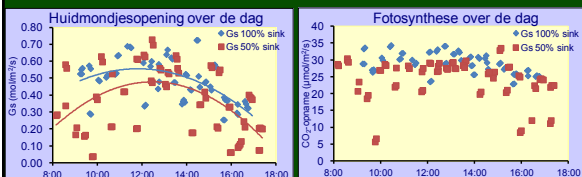
### Meting onbeschaduwde topladeren



### Volle en halve sinksterkte (vruchten gedund op 2-3 versus 5-8)



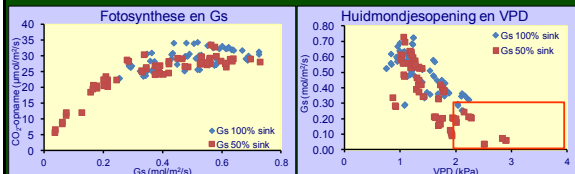
## resultaten (I)



- Verbazend hoge geleidbaarheid huidmondjes (Gs) voor zo'n warme dag! Gewas houdt zich dus goed en koelt zichzelf.
- Afname Gs halverwege middag
  - Sterkere afname en meer variatie bij 50% sink
- Fotosynthese blijft hoog bij volle sink, kleine afname in middag.
  - Variatie en sterkere afname in middag bij 50% sink. Duidt op 'plant vol'



## resultaten (II)



- Bij Gs groter dan 0.3 geen beperking fotosynthese bij 1000μmol PAR
  - NB bij lagere lichtintensiteit mag Gs lager zijn.
- Gs bij 50% sink vaak beperkend voor de fotosynthese in tegenstelling tot Gs bij 100% sink
- Negatief effect van VPD op de huidmondjes
  - Bij zelfde VPD heeft 50% sink regelmatig een lagere Gs (NB einde dag en hoge VPD vallen samen)



## Conclusies praktijkmetingen

- Gewas houdt zich verbazend goed
  - D-Fuse coating op glas (hoge haze en hoge transmissie)
  - VPD bleef redelijk (grootste deel dag onder de 2kPa)!
- Bij volle sink zakt fotosynthese nauwelijks in
  - bij 50% sink zie je wel dat huidmondjes gaan sluiten
- Vijverberg teelt blijkbaar heel goed!
  - Gewas blijft aan de gang op heetste dagen van het jaar
- Hoe zit het op andere bedrijven? Gaat gewas daar wel voor gaas?



## Dank voor uw aandacht!



Govert Trouwborst  
06 10990094

Sander Hogewoning  
06 14271525

info@plantlighting.nl  
www.plantlighting.nl



Sander Pot  
06 12885226

sander@plant-dynamics.nl  
www.plant-dynamics.nl



Stefan Persoon  
06 47366020

stefan@inno-agro.nl



## VPD (dampdrukdeficit blad-lucht)

- Veel telers werken alleen met VD (vochtdeficit)
  - VPD (vapour pressure deficit) bereken je uit:
    1. planttemperatuur
    2. luchttemperatuur
    3. luchtvochtigheid.
  - Drijvende kracht voor verdamping:
    - Verdamping =  $(\text{dampdruk}_{\text{blad}} - \text{dampdruk}_{\text{lucht}}) / \text{weerstand}$
    - ofwel
    - Verdamping =  $\text{VPD} / \text{weerstand}$
- Weerstand=huidmondjesopening!

