



# Consultancy genereren basiskennis fotosynthese aardbei

E. Kaiser en J. Janse

Rapport GTB-1411

## Referaat

Om op elektra en CO<sub>2</sub> tijdens de teelt te besparen is meer kennis over de fotosynthese van aardbei onder glas noodzakelijk. In een consultancy onderzoek werd op twee manieren getracht meer basiskennis te verzamelen. Enerzijds door metingen van licht- en CO<sub>2</sub>-afhankelijke fotosyntheseresponses en anderzijds door een literatuurstudie en het vergelijken van parameters over de fotosynthese. Uit metingen in de periode half maart tot half mei 2016, bleek dat de fotosynthesesnelheid en elektronentransport-efficiëntie in oude bladeren vergelijkbaar was met jonge bladeren, terwijl de huidmondjesgeleidbaarheid in jonge bladeren altijd hoger was. De capaciteit voor fotosynthese bij verzadigd CO<sub>2</sub> en licht was in oude bladeren hoger. Verder was er een daling van de fotosynthesesnelheid op het middelste meettijdstip (april), mogelijk veroorzaakt door aanpassing van het gewas aan hogere CO<sub>2</sub>-gehaltes in het kas.

Uit de literatuurstudie bleek dat lichtverzadiging bij  $\sim 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en CO<sub>2</sub>-verzadiging bij  $\sim 1100 \mu\text{mol mol}^{-1}$  optreedt en dat de gemiddelde fotosynthesesnelheid bij deze verzadigingspunten 18 en  $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  was. Verder was de gemiddelde maximale lichtbenuttingsefficiëntie (kwantumopbrengst) bij laag licht  $\sim 0.06 \mu\text{mol CO}_2$  per  $\mu\text{mol PAR}$ . Dit is vergelijkbaar met andere, snel groeiende kasgewassen (komkommer, tomaat, paprika). Bij aardbei blijven er nog grote hiaten in kennis over het verloop van de fotosynthese gedurende een heel teeltseizoen.

## Abstract

To save electricity and CO<sub>2</sub> during strawberry production, more knowledge about the photosynthesis of greenhouse-grown strawberry plants is necessary. This was tackled by measuring light- and CO<sub>2</sub>-dependent photosynthesis responses and by conducting a literature study in which several parameters of leaf-level photosynthesis were compared. From measurements conducted between middle of March and middle of May 2016 it was concluded that the rate of photosynthesis and electron transport was comparable between young and old leaves, while stomatal conductance in young leaves was always higher. Light- and CO<sub>2</sub>-saturated photosynthesis rates were higher in older leaves. Furthermore, a decrease of photosynthesis rates was visible in April, which may have been caused by acclimation of leaf biochemistry to elevated CO<sub>2</sub> concentrations in the greenhouse. Conclusions from the literature study were that light saturation was reached at  $\sim 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and that CO<sub>2</sub> saturation was reached at  $\sim 1100 \mu\text{mol mol}^{-1}$ . Average photosynthesis rates at these conditions were 18 and  $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectively. The average quantum yield of photosynthesis was  $\sim 0.06 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{PAR}$ , which is comparable to other, fast growing greenhouse crops (e.g. cucumber, tomato, sweet pepper). Large knowledge gaps about the course of photosynthesis during complete growing seasons remain.

## Rapportgegevens

Rapport GTB-1411

Projectnummer: 3742226000

## Disclaimer

© 2016 Wageningen Plant Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wur.nl/plant-research. Wageningen Plant Research.

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

## Adresgegevens

### Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
F +31 (0)10 522 51 93

# Inhoud

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | <b>Samenvatting</b>                                               | <b>5</b>  |
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                                  | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>Materiaal en methoden</b>                                      | <b>9</b>  |
|          | 2.1 Metingen                                                      | 9         |
|          | 2.2 Literatuurstudie                                              | 10        |
| <b>3</b> | <b>Resultaten en discussie</b>                                    | <b>11</b> |
|          | 3.1 Metingen                                                      | 11        |
|          | 3.1.1 Lichtrespons van de fotosynthese                            | 11        |
|          | 3.1.2 CO <sub>2</sub> -respons van de fotosynthese                | 13        |
|          | 3.1.3 Vergelijking van fotosyntheseparameters met andere gewassen | 15        |
|          | 3.1.4 Huidmondjesgeleidbaarheid                                   | 15        |
|          | 3.2 Literatuurstudie                                              | 16        |
|          | 3.2.1 Lichtbenutting                                              | 16        |
|          | 3.2.2 CO <sub>2</sub> -benutting                                  | 17        |
|          | 3.2.3 Donkerademhaling                                            | 17        |
|          | 3.2.4 Kwaliteit en aantal studies                                 | 17        |
| <b>4</b> | <b>Conclusies</b>                                                 | <b>19</b> |
|          | <b>Literatuur</b>                                                 | <b>21</b> |





# Samenvatting

De teelt van aardbei onder glas breidt steeds meer uit, waardoor het energieverbruik bij dit gewas toeneemt. Om elektra en CO<sub>2</sub> tijdens de teelt te kunnen besparen is veel meer kennis over de fotosynthese van aardbei onder glas noodzakelijk. In deze studie werd op twee manieren getracht meer basiskennis te genereren. Enerzijds door metingen van de licht- en CO<sub>2</sub>-respons van de fotosynthesesnelheid, elektronentransport-efficiëntie en huidmondjesgeleidbaarheid en anderzijds door een literatuurstudie en het vergelijken van parameters over de fotosynthese. Uit metingen aan een doordrager op drie verschillende tijdstippen in de periode half maart tot half mei 2016, bleek dat de fotosynthesesnelheid en elektronentransport-efficiëntie in oude bladeren vergelijkbaar was met jonge bladeren, terwijl de huidmondjesgeleidbaarheid in jonge bladeren altijd hoger was. De capaciteit voor fotosynthese bij verzadigd CO<sub>2</sub> en licht was in oude bladeren hoger. Verder was er een daling van de fotosynthesesnelheid op het middelste meettijdstip (april), die mogelijk te verklaren is door aanpassing van het gewas aan hogere CO<sub>2</sub>-gehaltes in de kas.

Uit de literatuurstudie bleek dat lichtverzadiging bij  $\sim 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en CO<sub>2</sub>-verzadiging bij  $\sim 1100 \mu\text{mol mol}^{-1}$  optreedt, en dat de gemiddelde fotosynthesesnelheid bij deze verzadigingspunten  $18$  en  $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  was. Verder was de gemiddelde maximale lichtbenuttingsefficiëntie (kwantumopbrengst) bij laag licht  $\sim 0.06 \mu\text{mol CO}_2$  per  $\mu\text{mol PAR}$ . Hoewel deze getallen tussen de verschillende studies sterk varieerden, waren ze vergelijkbaar met andere, snel groeiende kasgewassen (komkommer, tomaat, paprika). Er blijven bij de aardbei echter nog grote hiaten in kennis voor wat betreft het verloop van de fotosynthese gedurende een heel teeltseizoen.





# 1 Inleiding

De laatste jaren is er een tendens dat aardbeitelers steeds meer overschakelen van een buitenteelt naar de teelt onder glas of in tunnels. De totale oppervlakte onder glas was in 2015 zo'n 300 ha en daarmee is de aardbei een belangrijk gewas onder glas geworden. Daarnaast neemt onder aardbeitelers de belangstelling voor belichting toe. Met groeilicht kunnen in principe jaarrond kwalitatief goede aardbeien geleverd worden en dit kan financieel aantrekkelijk zijn. Door deze ontwikkeling stijgt het elektriciteitsverbruik echter fors.

Recent is een deskstudie verricht naar de mogelijkheden van besparing op het stroomverbruik in een jaarrond aardbeiteelt met belichting (Janse, 2016). Hieruit kwam naar voren dat er essentiële basiskennis ontbreekt over de licht- en CO<sub>2</sub>-respons van de aardbeiplant in diverse teeltfasen. Deze gegevens zijn belangrijk om op korte termijn tot een duurzamere teelt met een lager stroomverbruik te komen met behoud van productie en kwaliteit.

Daarom heeft Wageningen UR Glastuinbouw in het voorjaar van 2016 een oriënterend consultancyonderzoek uitgevoerd, waarbij er fotosynthesemetingen zijn gedaan in een belicht aardbeigewas. Dit onderzoek is voor het grootste gedeelte gefinancierd door Kas als Energiebron en voor een deel door de Stichting Aardbei Onderzoek. In dit rapport wordt verslag gedaan van dit onderzoek en van een eveneens verrichte literatuurstudie.





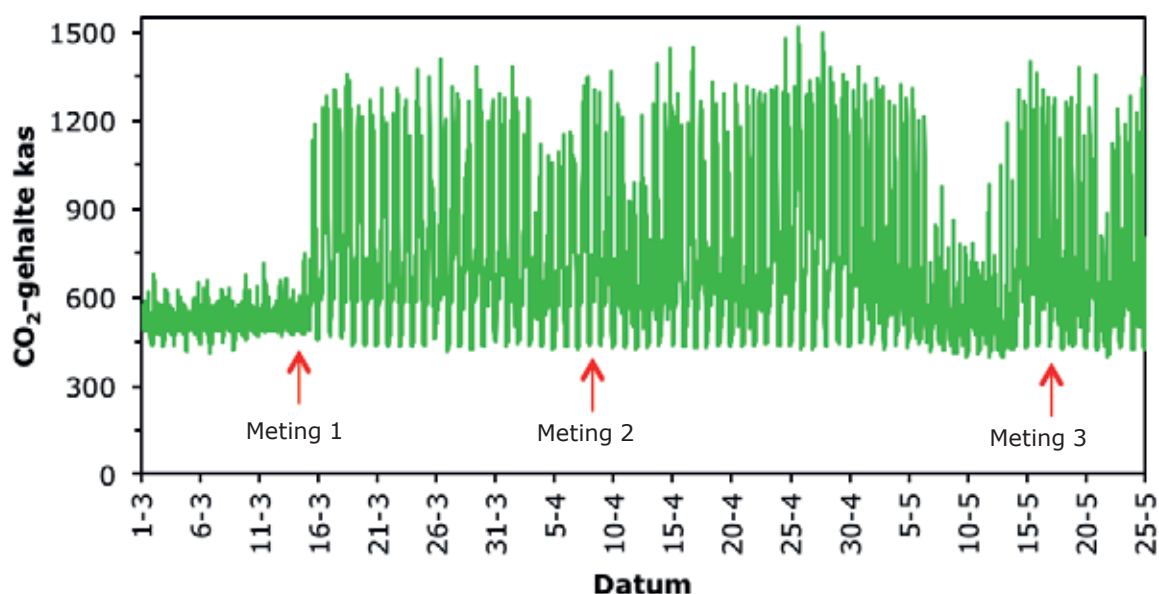
## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Metingen

In een kas van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk zijn in het voorjaar fotosynthesemetingen uitgevoerd in een doordragend aardbeiras van ABZ Seeds. De zaai- en plantdatum van de aardbeien was respectievelijk 25 september 2015 en 12 januari 2016. De belichting vond plaats met ledlampen met een lichtintensiteit van  $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Vanaf begin februari is dit aangevuld met SON-T belichting met een intensiteit van  $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , zodat de totale lichtintensiteit van het groeilicht  $160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bedroeg. In het begin van het jaar was het gemiddelde  $\text{CO}_2$ -gehalte in de kas  $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$  en half maart werd dit verhoogd naar ca.  $900 \mu\text{mol mol}^{-1}$  (Figuur 1).

Voorafgaand aan elke fotosynthesemeting zijn 5 jonge en 5 oude bladeren in een meetrij uitgezocht. Een blad werd als jong gekenmerkt wanneer deze net ontvouwd was, licht groen van kleur was en een lange bladsteel had. Oude bladeren waren bladeren die donkergroen en leerachtig waren en vaak onder andere bladeren zaten. Voor de metingen zijn alleen bladeren zonder bruine blad- en/of bladsteelvlekken gebruikt. De drie tijdstippen waarop de metingen werden uitgevoerd, waren: 15-17 maart, 11 en 12 april en 17 en 18 mei.

Aan elk blad is de licht- en  $\text{CO}_2$ -respons van de fotosynthesesnelheid, elektronentransport-efficiency en huidmondjesgeleidbaarheid gemeten met het LI-6400 systeem (Li-Cor Biosciences, Lincoln, Nebraska, VS). De meetroutine was als volgt: Het blad werd eerst voor ca. 20 minuten aan de lichtintensiteit ( $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) geadapteerd. Dan werd stapsgewijs de  $\text{CO}_2$ -respons gemeten (2000, 1500, 1000, 800, 400, 200, 100 en  $50 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ). Vervolgens werd de  $\text{CO}_2$ -concentratie naar de gemiddelde concentratie in de kas in het begin van de proef ( $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ) verhoogd en werd er ca. 10 minuten gewacht tot de fotosynthesesnelheid stabiel was. Daarna werd de lichtrespons bij de lichtintensiteiten van 1500, 1000, 750, 500, 350, 200, 100, 50 en  $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  gemeten. Tijdens de gehele meetperiode zijn de waarden van de fotosynthesesnelheid elke 5 seconden gelogd en bij elke stap werd een gemiddelde van 6 waarden berekend. Ook werd bij elke stap, nadat de waarden voor ca. 30 seconden stabiel waren, de elektronentransport-efficiency bepaald door het aanbrengen van een verzadigende flits van 1 s en ca.  $8500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  intensiteit. De huidmondjesgeleidbaarheid werd maar één keer voor de gehele meetroutine (dus licht- en  $\text{CO}_2$ -responsecurve) bepaald, omdat deze niet bij elke stap stabiel was. Andere omgevingsfactoren dan licht en  $\text{CO}_2$ -concentratie, waren tijdens de metingen stabiel: de temperatuur in de bladkamer van de LI-6400 was  $20.0 \pm 0.1^\circ \text{C}$  en de relatieve luchtvochtigheid was  $70 \pm 3\%$ . De doorvoersnelheid van lucht door het meetsysteem was  $400 \pm 2 \mu\text{mol s}^{-1}$ . Na de metingen zijn de waarden van de fotosynthesesnelheid gecorrigeerd voor lekkage die ontstond door het verschil in  $\text{CO}_2$ -concentratie tussen de kaslucht en de bladkamer. Alle waarden zijn weergegeven als het gemiddelde van de herhalingen  $\pm$  de standaardfout.



**Figuur 1** Het verloop van het  $\text{CO}_2$ -gehalte in de kas vanaf maart tot eind mei.

## 2.2 Literatuurstudie

Om naar onderzoeksresultaten in internationale wetenschappelijke tijdschriften te zoeken, werd in Google Scholar met de zoekwoorden 'strawberry', 'photosynthesis' en 'greenhouse' gezocht. Er waren 21.900 matches (stand: 7 April 2016). Als volgens de titel het onderzoek met aardbeien had plaatsgevonden, werd bekeken of er data over fotosynthese, lichtniveaus, CO<sub>2</sub>-concentraties of temperaturen in stonden. Indien dat het geval was, werd er verder gekeken of de aardbeien in kassen waren gegroeid en of de metingen goed beschreven en juist uitgevoerd waren. Indien een studie aan deze criteria voldeed, werden de gegevens, zoals ras, plant- en bladleeftijd, klimaatomstandigheden tijdens meting, netto fotosynthesesnelheid en huidmondjesgeleidbaarheid met andere onderzoeken vergeleken.



## 3 Resultaten en discussie

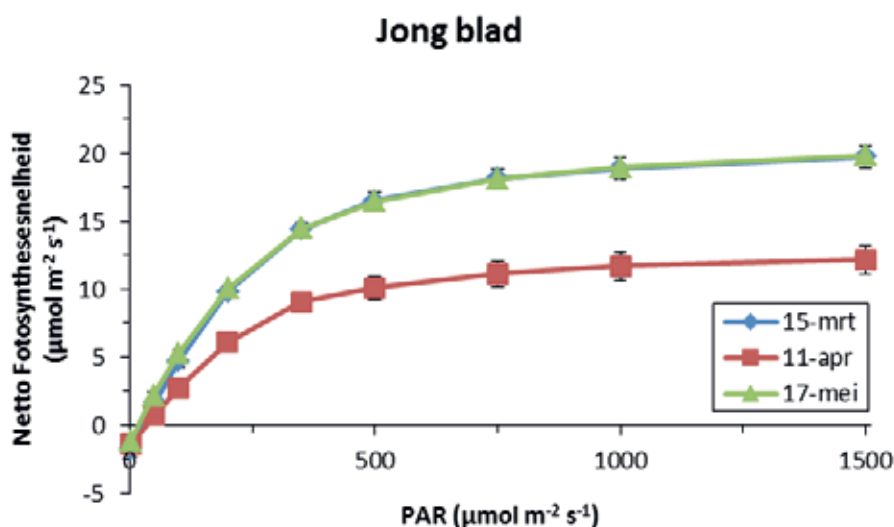
### 3.1 Metingen

#### 3.1.1 Lichtrespons van de fotosynthese

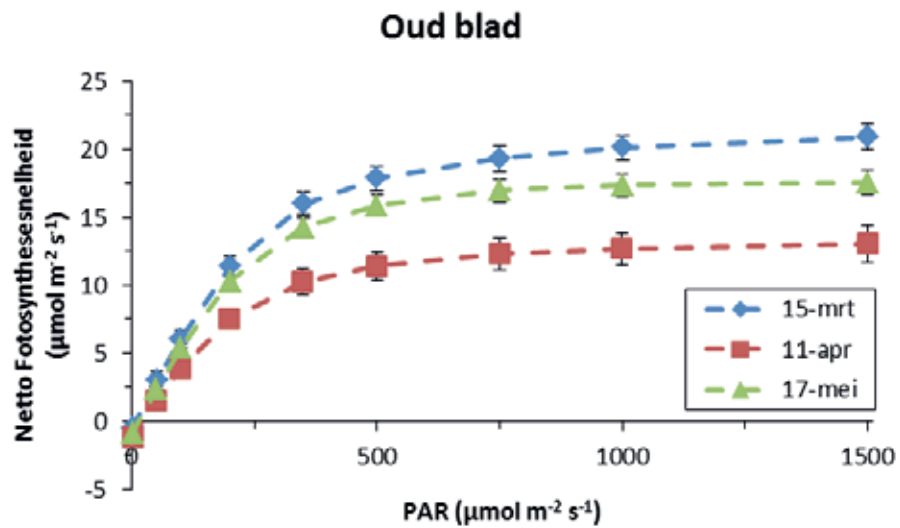
De lichtrespons van de fotosynthesesnelheid was in jonge en oude bladeren gelijk (Figuren 2 en 3). Terwijl de maximale fotosynthesesnelheid op 15 maart en 11 april iets hoger was in oude bladeren, was het op 17 mei juist het tegenovergestelde. De efficiency van het elektronentransport door fotosysteem II ( $\Phi_{\text{PSII}}$ , Figuren 4 en 5) was vergelijkbaar in jong en oud blad, en er waren geen grote verschillen tussen de verschillende tijdstippen.

Verder was het opvallend dat op 11 april zowel in jonge als in oude bladeren de fotosynthesesnelheid veel lager was dan op de andere twee tijdstippen. Tegelijkertijd was  $\Phi_{\text{PSII}}$  op alle 3 tijdstippen ongeveer gelijk.  $\Phi_{\text{PSII}}$  bepaalt hoe efficiënt elektronen van fotosysteem II naar fotosysteem I 'gestuurd' worden. Een groot deel van de elektronen wordt gebruikt voor levering van de chemische energie voor het aanmaken van suikers in de Calvincyclus. Een strakke correlatie tussen netto fotosynthesesnelheid en  $\Phi_{\text{PSII}}$  is dus wel te verwachten, maar niet altijd noodzakelijk. Mogelijke verklaringen voor de veranderingen van de nettofotosynthese zonder veranderingen van  $\Phi_{\text{PSII}}$  zijn dat a) de planten op 11 april gestrest waren (maar dat was niet zichtbaar), b) dat de meetapparatuur niet goed ingesteld was of c) dat het gewas sterk op een verhoogd  $\text{CO}_2$  gehalte in het kas reageerde. Gezien het feit dat op alle drie tijdstippen dezelfde meetapparatuur met dezelfde ijking is gebruikt en dat de metingen op 11 april net zo nauwkeurig waren als op de andere tijdstippen (zie de standaardfout voor metingen 11 april), is het onwaarschijnlijk dat de meetapparatuur fout ingesteld was. Er is ook gezocht naar eventuele sterke veranderingen in temperatuur, RV of vochtigheid van het substraat enkele dagen voor de metingen, maar hierin kon ook geen verklaring worden gevonden.

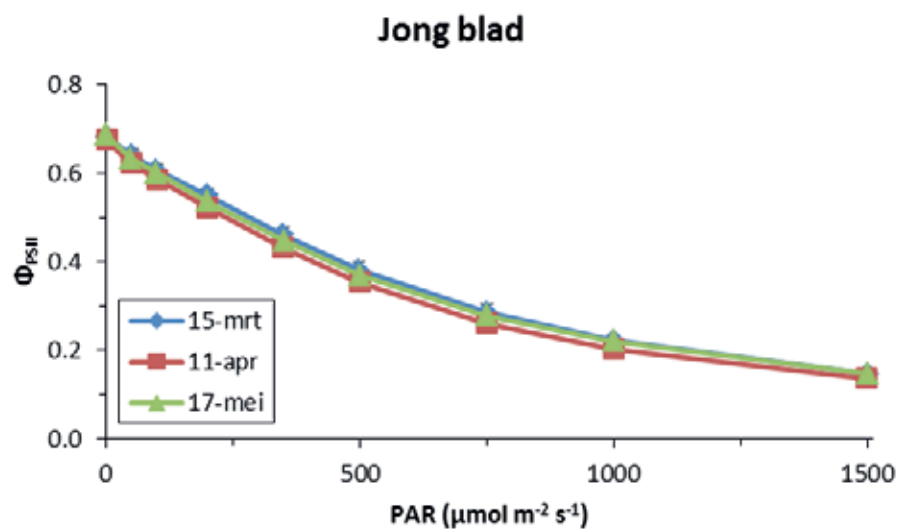
Een derde mogelijke verklaring is dus de verandering van  $\text{CO}_2$ -gehalte in de kas en een mogelijke aanpassing van de plant. Volgens Keutgen *et al.* (1996) kan het gebeuren dat na een verhoging van het  $\text{CO}_2$ -gehalte de fotosynthesesnelheid van aardbei tijdelijk omlaag gaat (zonder effect op de chlorofylfluorescentie). Dit was mogelijk veroorzaakt door een ophoping van suikers in het blad ('feedback inhibition') en/of door een vermindering van nutriënten en chlorofyl in het blad (Keutgen *et al.* 1996). Op het eerste tijdstip van meting (15-17 maart) was het  $\text{CO}_2$ -gehalte in het kas pas verhoogd (Figuur 1) en dat is te vroeg om mogelijke veranderingen in het blad te veroorzaken. Op 11 april was er wel genoeg tijd voor acclimatie in het blad en fotosynthese was inderdaad veel lager. Tot 17 mei was er mogelijk genoeg tijd voor de plant om zich aan te passen en de fotosynthesesnelheid in het blad weer te verhogen.



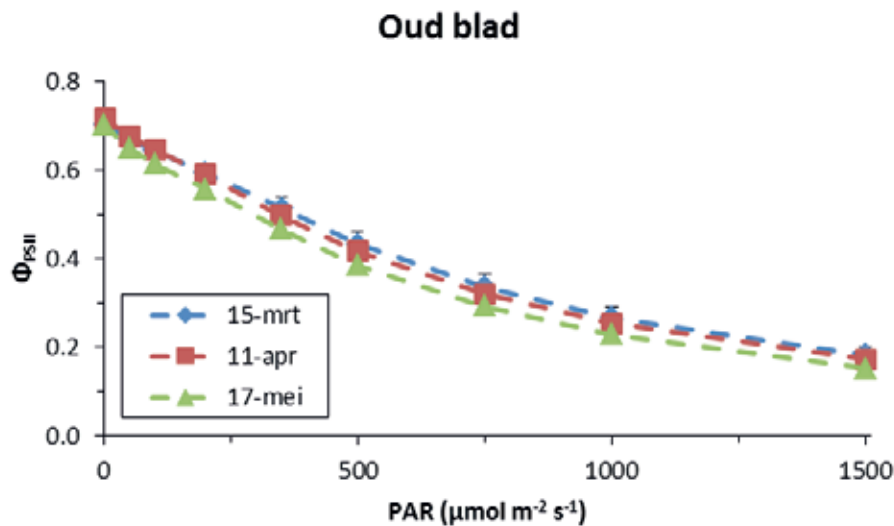
**Figuur 2** Lichtrespons van de netto fotosynthesesnelheid van jonge bladeren op drie tijdstippen (gemiddeld  $\pm$  standaardfout,  $n = 5$ ).



**Figuur 3** Lichtrespons van de netto fotosynthesesnelheid van oude bladeren aan drie tijdstippen (gemiddelde  $\pm$  standaardfout,  $n = 5$ ).



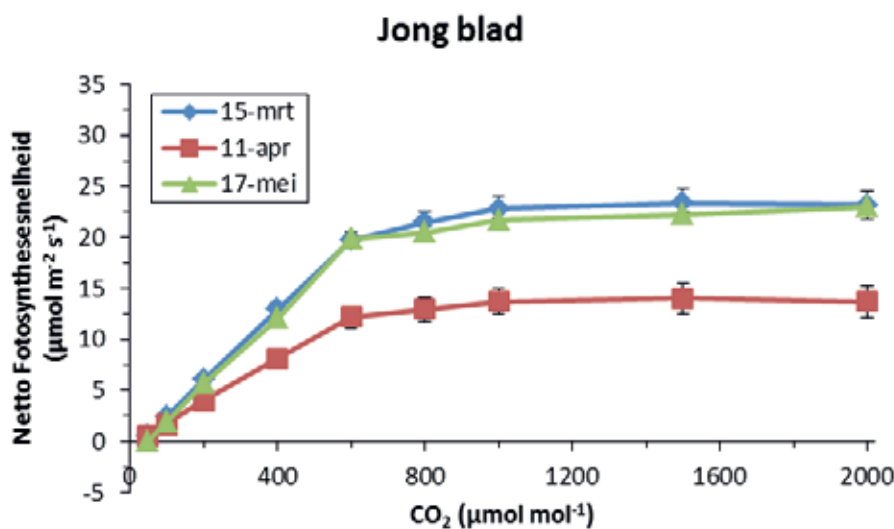
**Figuur 4** Lichtrespons van de elektronentransport-efficiency door fotosysteem II ( $\Phi_{\text{PSII}}$ ) van jonge bladeren op drie tijdstippen (gemiddelde  $\pm$  standaardfout,  $n = 5$ ).



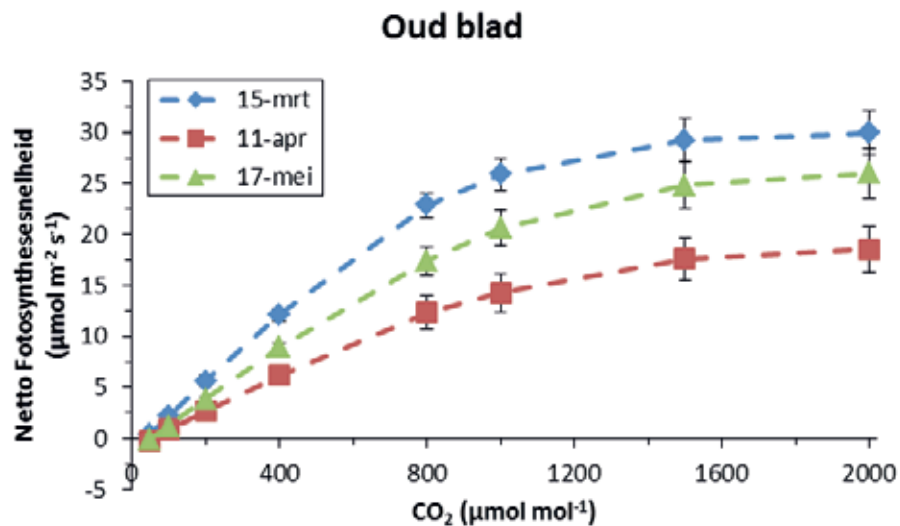
**Figuur 5** Lichtrespons van de elektronentransport-efficiency door fotosysteem II ( $\Phi_{PSII}$ ) van oude bladeren op drie tijdstippen (gemiddelde  $\pm$  standaardfout,  $n = 5$ ).

### 3.1.2 $\text{CO}_2$ -respons van de fotosynthese

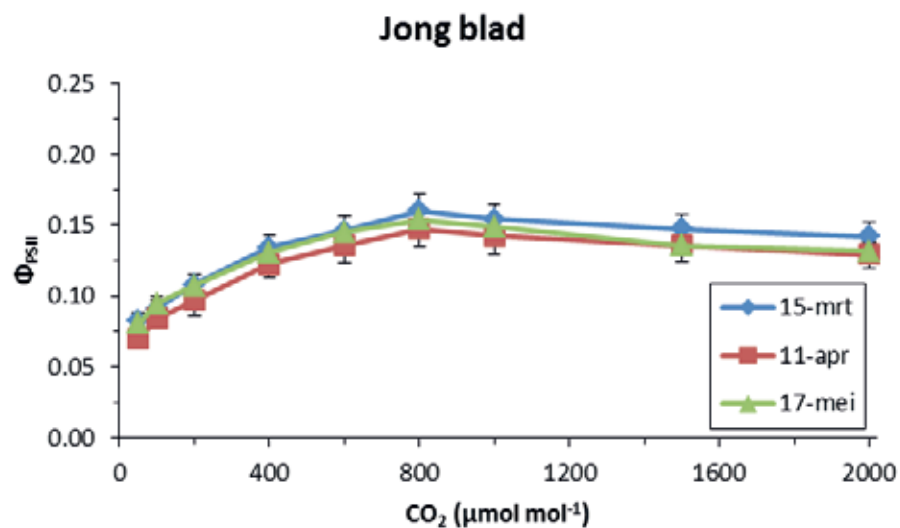
In de volgende vier figuren is de respons van de netto fotosynthesesnelheid en het  $\Phi_{PSII}$  op de  $\text{CO}_2$ -concentratie in de bladkamer te zien. Jonge bladeren waren blijkbaar bij een lagere  $\text{CO}_2$ -concentratie verzadigd (Figuur 6) dan oude bladeren (Figuur 7). Bij jonge bladeren waren de veranderingen tussen 600 en 2000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  klein en bij oude bladeren was dit pas boven ca. 1500  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  het geval. Op alle drie tijdstippen bereikten oude bladeren een hogere  $\text{CO}_2$ -verzadigde netto fotosynthesesnelheid dan jonge bladeren. Hun absolute capaciteit voor fotosynthese was dus altijd hoger. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er voor jonge bladeren nog niet genoeg tijd was om de hoeveelheid enzymen, die voor een hoge fotosynthesecapaciteit nodig zijn, op te bouwen, terwijl in oude bladeren de enzymen blijkbaar nog niet afgebouwd waren. Ook de  $\Phi_{PSII}$  was in oude bladeren iets hoger dan in jonge bladeren. Net als bij de lichtrespons was de netto fotosynthesesnelheid op 11 april bij beide bladleeftijden veel lager dan op de andere twee tijdstippen, terwijl  $\Phi_{PSII}$  niet verschillend was.



**Figuur 6**  $\text{CO}_2$ -respons van de netto fotosynthesesnelheid van jonge bladeren op drie tijdstippen (gemiddelde  $\pm$  standaardfout,  $n = 5$ ).

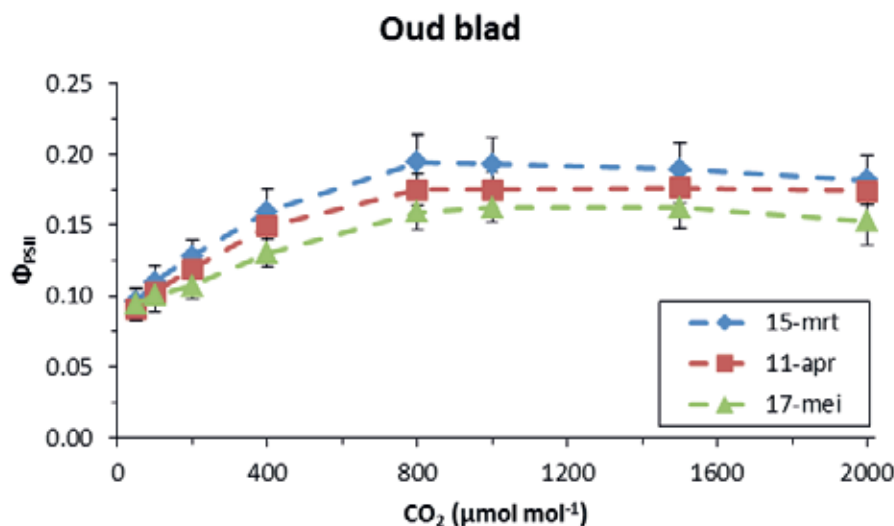


**Figuur 7** CO<sub>2</sub>-respons van de netto fotosynthesesnelheid van oude bladeren op drie tijdstippen (gemiddelde ± standaardfout, n =5).



**Figuur 8** CO<sub>2</sub>-respons van de elektronentransport-efficiency door fotosysteem II ( $\Phi_{PSII}$ ) van jonge bladeren op drie tijdstippen (gemiddelde ± standaardfout, n =5).





**Figuur 9** CO<sub>2</sub>-respons van de elektronentransport-efficiency door fotosysteem II ( $\Phi_{PSII}$ ) van oude bladeren op drie tijdstippen (gemiddeld  $\pm$  standaardfout,  $n = 5$ ).

### 3.1.3 Vergelijking van fotosyntheseparameters met andere gewassen

In vergelijking met andere kasgewassen met een snelle groei (komkommer, paprika, tomaat) en vergelijkbare groeiomstandigheden doet aardbei het bijna net zo goed (Tabel 1). De kwantumopbrengst, een parameter die gebruikt wordt om de maximale lichtbenuttingsefficiëntie van de fotosynthese uit te drukken, was iets minder dan die van komkommer en paprika, maar vergelijkbaar met tomaat. De lichtverzadigde en CO<sub>2</sub>-verzadigde fotosynthesesnelheid (respectievelijk  $A_{sat}$  en  $A_{max}$ ) waren duidelijk lager dan bij paprika en tomaat, maar vergelijkbaar met komkommer.

Tabel 1

Vergelijking van fotosynthese-parameters tussen verschillende kasgewassen, gegroeid onder vergelijkbare omstandigheden. De kwantumopbrengst is de fotosynthesesnelheid gedeeld door de lichtintensiteit bij lage lichtintensiteiten (0-200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).  $A_{sat}$  is de lichtverzadigde fotosynthesesnelheid bij 'normale' CO<sub>2</sub>-gehaltes (400-600  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).  $A_{max}$  is de licht- en CO<sub>2</sub>-verzadigde fotosynthesesnelheid. Data voor aardbei zijn waarden voor oude en jonge bladeren gemiddeld over alle meettijdstippen (uit dit rapport). Gegevens voor andere gewassen zijn uit: Bontsema et al. 2011; Dieleman et al. 2003; Dueck et al. 2007; Hogewoning et al. 2010; van Ieperen et al. 2011.

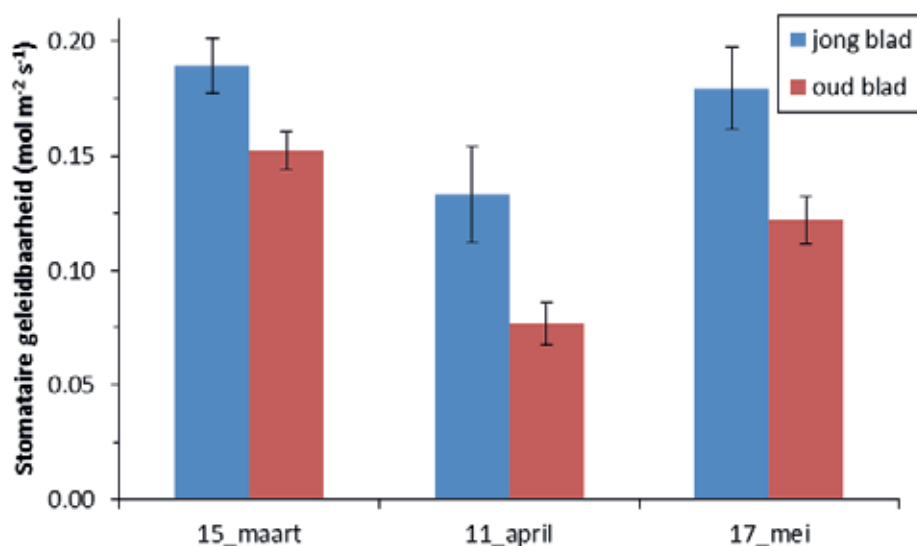
| Gewas     | Parameter                                         |                                          |                                          |
|-----------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
|           | Kwantumopbrengst                                  | $A_{sat}$                                | $A_{max}$                                |
|           | ( $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol foton}^{-1}$ ) | ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) | ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) |
| Aardbei   | 0.052                                             | 17                                       | 22                                       |
| Komkommer | 0.084                                             | 18                                       | 26                                       |
| Paprika   | 0.060                                             | 30                                       | 35                                       |
| Tomaat    | 0.050                                             | 28                                       | 37                                       |

### 3.1.4 Huidmondjesgeleidbaarheid

De huidmondjesgeleidbaarheid is gemiddeld over alle lichtintensiteiten en CO<sub>2</sub>-concentraties weergegeven, omdat er voor enkele meetpunten geen stabiliteit in de stomataire geleidbaarheid bereikt was. Het bereiken van stabiliteit duurt namelijk 20-60 minuten voor elke stap tussen lichtintensiteiten of CO<sub>2</sub>-concentraties. Uit de getallen blijkt dat op elk tijdstip de huidmondjesgeleidbaarheid in jonge bladeren hoger was dan in oude bladeren (Figuur 10). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat jonge bladeren nog meer uitgroeien en dus het aantal huidmondjes per m<sup>2</sup> bladoppervlak groter was.

Uit de fotosynthesemetingen (zie par. 3.1.1.) blijkt echter dat er geen verschil is in fotosynthese tussen jong en oud blad. Op basis van de verschillen in geleidbaarheid van de huidmondjes zou je verwachten dat de fotosynthese in jong blad hoger zou zijn dan in oud blad. Er kan geconcludeerd worden dat deze huidmondjesgeleidbaarheid dus geen beperkende factor was voor de fotosynthese.

Ook is het opvallend dat op 11 april de huidmondjesgeleidbaarheid bij beide bladleeftijden lager was dan op de andere beide tijdstippen. Dat komt wel overeen met de gevonden lagere netto fotosynthesesnelheden, maar er kan hiervoor vooralsnog geen goede verklaring worden gegeven.



**Figuur 10** Huidmondjesgeleidbaarheid in jonge en oude bladeren op drie meettijdstippen.

## 3.2 Literatuurstudie

### 3.2.1 Lichtbenutting

Belangrijke parameters om de lichtbenutting van bladeren in te schatten zijn de kwantumopbrengst, de lichtverzadigde netto fotosynthesesnelheid en de lichtintensiteit waar lichtverzadiging optreedt.

Uit de getallen van de verschillende studies (9 datasets) bleek dat de gemiddelde kwantumopbrengst  $0.059 \pm 0.003$  ( $\mu\text{mol}$  netto fotosynthesesnelheid per  $\mu\text{mol}$  PAR licht) was. De variatie tussen de laagste (0.048) en de hoogste (0.080) waarde was voor de kwantumopbrengst vrij klein. De gemiddelde netto fotosynthesesnelheid bij verzadiging van het licht (op basis van 7 datasets) was  $18.2 \pm 1.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  met een wat grotere spreiding (12.5 tot  $25.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  tussen het laagste en hoogste getal). De gemiddelde lichtintensiteit waar een lichtverzadiging optreedt (gehaald uit 7 datasets) was  $943 \pm 194 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , met een zeer hoge spreiding van 400 tot  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

### 3.2.2 CO<sub>2</sub>-benutting

Belangrijke parameters om de toediening van extra CO<sub>2</sub> in het kas te kunnen inschatten zijn de CO<sub>2</sub>-concentratie waar verzadiging optreedt en de CO<sub>2</sub>-verzadigde netto fotosynthesesnelheid (gemeten bij verzadigende lichtintensiteit en optimale temperatuur). Voor deze getallen waren er 7 datasets in de literatuur te vinden. De gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie waarbij verzadiging optrad, was  $1114 \pm 103 \mu\text{mol mol}^{-1}$  (spreiding: 800-1500  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) en de gemiddelde netto fotosynthesesnelheid bij deze CO<sub>2</sub>-concentratie was  $34.6 \pm 1.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (spreiding: 28-39  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

### 3.2.3 Donkerademhaling

De CO<sub>2</sub>-uitwisseling van het blad in het donker wordt de donkerademhaling genoemd. Omdat een plant zich een groot deel van het etmaal in het donker bevindt, is de donkerademhaling een heel belangrijk getal voor de koolstofhuishouding van de plant. Op basis van acht datasets bleek dat de gemiddelde donkerademhaling  $1.69 \pm 0.28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  was, met een spreiding van 1 tot 3  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Dat is vergelijkbaar met andere gewassen.

### 3.2.4 Kwaliteit en aantal studies

Er waren 6 Engelstalige studies in internationale wetenschappelijke tijdschriften die aan onze eisen voldeden (Drogoudi en Ashmore, 2002; Hidaka *et al.* 2013; Kadir *et al.* 2006; Oda, 1997; Sung en Chen, 1991; Wada *et al.* 2006). Verder waren er nog meer studies met de juiste soort data, maar met onvoldoende methodebeschrijving, zoals het meten over de hele plant (dus geen correctie voor bladoppervlak), meten nadat vruchten geoogst waren (mogelijke sink-limitatie) of zonder gegevens over klimaatomstandigheden tijdens de meting. Ook was er een Nederlandstalig rapport van DLV Plant (Beekers *et al.* 2011) die we in onze literatuurstudie hebben meegenomen.

Uit de literatuur blijkt dat er wereldwijd zeer veel verschillende rassen worden gebruikt (9 rassen in 7 studies) en dat er over de hele wereld belangstelling is voor onderzoek aan fotosynthese in aardbei (studies uit 6 landen en 3 continenten). De teeltperiode en tijdstip van metingen waren over het hele jaar verdeeld en de metingen werden bij verschillende plant- en bladleeftijden uitgevoerd. In de meeste studies was de bladleeftijd echter niet goed bepaald: vaak werd het jongste, volledig gestrekte blad gebruikt, maar het was in de meeste metingen niet duidelijk wanneer het blad gevormd was of hoe bepaald werd wanneer een blad volledig gestrekt was. Volgens Beekers *et al.* (2011) duurt het in de ras 'Elsanta' ca. 3 maanden tussen bladvorming en volledige strekking – maar deze tijdsduur wordt zeker beïnvloed door een groot aantal omgevingsfactoren tijdens de groei van het blad. Een betere definitie voor bladleeftijd is dus wenselijk.

Ondanks de uitgevoerde literatuurstudie en oriënterende fotosynthesemetingen blijven er voor wat betreft de fotosynthese in aardbei hiaten in kennis. Zo is de bladleeftijd in de literatuur vaak onvoldoende gedefinieerd, wat de interpretatie van de gegevens bemoeilijkt. Er is ook nooit een langdurige studie gedaan of en hoe de fotosynthese verandert over een heel seizoen. Eveneens is onvoldoende bekend of de fotosynthese verandert over de dag. De laatste jaren komen er in Nederland steeds meer nieuwe rassen op de markt en het is interessant om te weten of deze sterk verschillen in fotosynthese, afhankelijk van lichtintensiteit en CO<sub>2</sub>-concentratie. Als hierover meer bekend zou zijn, kan bij sommige rassen mogelijk minder of later CO<sub>2</sub> worden gedoseerd en/of minder worden belicht.



## 4 Conclusies

Conclusies uit fotosynthesemetingen bij een doordrager:

- Er was geen verschil in fotosynthese tussen jong en oud blad.
- De toename in fotosynthesesnelheid van jonge bladeren begon bij een lagere  $\text{CO}_2$ -concentratie af te nemen dan bij oude bladeren, namelijk bij respectievelijk ongeveer 600 en 1500 ppm.
- Waarschijnlijk als gevolg van een groter aantal huidmondjes per oppervlakte-eenheid, was de geleidbaarheid van de huidmondjes hoger in jong dan in oud blad. Dit leidde niet tot een hogere fotosynthesesnelheid in jonge t.o.v. oude bladeren.
- De fotosynthese was in april lager dan in maart en mei. Mogelijke verklaringen werden bediscussieerd.

Conclusies uit literatuurstudie:

- Voordat er lichtverzadiging begint op te treden, neemt de netto fotosynthesesnelheid met een factor 0.059  $\mu\text{mol CO}_2$  per  $\mu\text{mol PAR}$  licht toe.
- Lichtverzadiging treedt op bij een lichtintensiteit van gemiddeld  $940 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Dit varieerde in de verschillende onderzoeken echter van 400 tot  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .
- De  $\text{CO}_2$ -concentratie waarbij verzadiging optreedt, is gemiddeld zo'n  $1100 \mu\text{mol mol}^{-1}$  met een spreiding van 800 tot  $1500 \mu\text{mol mol}^{-1}$ .
- In het donker wordt bij aardbei gemiddeld  $1.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$  verademd met een variatie van 1 tot  $3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .
- De fotosynthese lijkt rasafhankelijk te zijn.







# Literatuur

- Beekers M, Palings R, Valentijn M, Verberkt H. 2011.  
Plantsensoren en modellering. De volgende stap in optimalisatie bedrijfsvoering door inzicht in plantprocessen aardbei 'Elsanta'. DLV Plant
- Bontsema J, Hemming J, Janssen HJJ, Meinen E, Rispens S, Steenhuizen JW, de Visser P. 2011.  
On- line monitoring van transpiratie en fotosynthese: de praktijk. Wageningen UR Glastuinbouw Rapport GTB-1091
- Dieleman JA, Meinen E, Elings A, Uenk D, Uittien JJ, Broekhuijsen AGM, de Visser PHB, Marcelis LFM. 2003.  
Effecten van langdurig hoog CO<sub>2</sub> op groei en fotosynthese bij paprika. Plant Research International BV, Nota 274
- Dueck T, Meinen E, Steenhuizen J, Muusers R, Uenk D, Marcelis LFM. Belichting tomaat – elk belichtingsduur volledig benutten. Wageningen UR Glastuinbouw, Nota 439
- Drogoudi OD, Ashmore MR. 2002.  
Screening of three strawberry cultivars for their ozone sensitivity. Acta Horticulturae 579, 275-280
- Hidaka K, Dan K, Imamura Y, Takayama T, Sameshima K, Kitano M, Okimura M. 2013.  
Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. Environmental Biological Control 51 (1), 41-47
- Hogewoning SW, Trouwhorst G, Maljaars H, Poorter H, van Ieperen W, Harbinson J. 2010.  
Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of Cucumis sativus grown under different combinations of red and blue light. Journal of Experimental Botany 61 (11), 3107-3117
- Janse, J. 2015.  
Jaarrond duurzame en intensieve aardbeienteelt met minder stroom. Deskstudie naar modelijkheden besparing of elektriciteit. Wageningen UR Glastuinbouw GTB-1397.
- Kadir S, Sidhu G, Al-Khatib K. 2006.  
Strawberry (Fragaria x ananassa Duch.) growth and productivity as affected by temperature. HortScience 41 (6), 1423-1430
- Keutgen N, Chen K, Lenz F. 1996.  
Responses of strawberry leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence and macronutrient contents to elevated CO<sub>2</sub>. Journal of Plant Physiology 150, 395-400
- Oda Y. 1997.  
Effects of light intensity, CO<sub>2</sub> concentration and leaf temperature on gas exchange of strawberry plants – feasibility studies on CO<sub>2</sub> enrichment in japanese conditions. Acta Horticulturae 439 (2), 563-573
- Sung FJM, Chen JJ. 1991.  
Gas exchange rate and yield response of strawberry to carbon dioxide enrichment. Scientia Horticulturae 48, 241-251
- Van Ieperen W, Trouwborst G, Oosterkamp J.  
Hybride tussenbelichting met LEDs bij komkommer. Productie, lichtonderschepping, fotosynthese en ontwikkeling vergeleken met conventionele SON-T topbelichting. Tuinbouwketen, PT project: 13419
- Vermeulen PCM. 2014.  
Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw. Editie 23. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB-5067
- Wada Y, Soeno T, Inaba Y. 2006.  
Effects of light and temperature on photosynthetic enhancement by high CO<sub>2</sub> concentration of strawberry cultivar tochiotome leaves onder forcing or half-forcing culture. Japanese Journal of Crop Science (in Japans) 79 (2), 192-19





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



Wageningen UR Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
F +31 (0) 10 522 51 93  
[www.wageningenur.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenur.nl/glastuinbouw)

Glastuinbouw Rapport GTB-1411

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.