

# Fotosynthese: de basis van alle productie

FOTO: WWW.SXC.HU



Met behulp van stralingsenergie van de zon maken planten uit kooldioxide en water hun eigen voedsel. Planten vormen daarmee de basis van het huidige leven op aarde.

Eigenlijk zijn de planten in de kas allemaal chemische fabriekjes. De fotosynthese, de basis van alle productie, is een ingewikkeld stelsel aan processen. Fascinerend is dat veel van die processen door de mens qua efficiëntie niet te evenaren zijn, terwijl een belangrijke hulpstof – een enzym – bij de gemiddelde procescontrole in een fabriek onmiddellijk eruit gegooid zou worden wegens inefficiëntie. Maar ook daar heeft de natuur weer iets op gevonden.

TEKST: EP HEUVELINK (WAGENINGEN UNIVERSITEIT) EN TIJS KIERKELS

De fotosynthese is datgene wat planten onderscheidt van vrijwel alle andere levende wezens. Met behulp van stralingsenergie van de zon maakt de plant uit kooldioxide en water zijn eigen voedsel (dat heet autotroof). Al het andere leven op aarde kan dat niet (afgezien van sommige bacteriën en algen) en is dus afhankelijk van wat planten produceren. Planten vormen daarmee de basis van het huidige leven op aarde. Ook fossiele energie (steenkool, gas, olie) is zonne-energie die miljoenen jaren geleden door planten is vastgelegd.

## Omzetten van stralingsenergie

Wat we normaal fotosynthese noemen, zijn eigenlijk twee processen. Het ene levert de energie die nodig is voor het andere, namelijk de vorming van suikers uit CO<sub>2</sub> en water. Voor een goed begrip is

het nodig te weten dat energie niet 'opgevekt' kan worden, wat energiemaatschappijen daar ook over beweren. Energie is er al, maar is wel in een andere, bruikbare vorm om te zetten. Bij planten gaat het om omzetting van stralingsenergie – afkomstig van de zon – in chemische energie. In het bladgroen bevinden zich twee 'fotosystemen', complexen van eiwitten met chlorofyl in het centrum. De zonne-energie brengt in beide systemen elektronen op een hoger energieniveau. Elektronen zijn kleine negatief geladen deeltjes, die normaal deel uitmaken van atomen. De stroom in een elektriciteitskabel van de min- naar de pluspool wordt ook gevormd door elektronen. Dat hogere energieniveau is een instabiele toestand, die maar één miljardste seconde blijft bestaan. Vervolgens zijn er

drie mogelijkheden.

De eerste is voor ons in dit verhaal het interessantst. Het opgepepte elektron zet een hele reeks aan reacties in gang waarin uiteindelijk de energiedragers ATP en NADPH ontstaan.

De tweede mogelijkheid is dat het elektron meteen terugvalt naar zijn oude energieniveau, zonder al die chemische reacties. Dan wordt de energie omgezet in temperatuurverhoging van het blad.

Een derde mogelijkheid is dat het elektron terugvalt naar een tussenpositie, waarbij de energie als straling vrijkomt. Dat is te meten als fluorescentie. Als teler willen we natuurlijk zoveel mogelijk van de eerste optie. Dat zal onder optimale teeltomstandigheden ook het meeste voorkomen. Met name veel fluorescentie geeft aan dat de zaak niet optimaal functioneert.

— energiedragers

— fluorescentie

Vervolg op pagina 20

autotroof

vorming suikers

# Fotosynthese: de basis van alle productie

Vervolg van  
pagina 19

## Binden kooldioxide uit de lucht

Als de zonne-energie chemisch is vastgelegd in de verbindingen ATP en NADPH, kan het tweede onderdeel van de fotosynthese plaatsvinden. Dat is de binding van kooldioxide uit de lucht. Daarvoor moet de CO<sub>2</sub> echter eerst een aantal barrières nemen. De eerste horde vormt het stilstaande laagje lucht rond het blad. Hoe dikker dat is, hoe groter de weerstand. Luchtbeweging rond het blad helpt om het laagje dunner te maken en maakt dus de toetreding van CO<sub>2</sub> gemakkelijker. Voor de fotosynthese moet het gas natuurlijk het blad in. Dat gebeurt via de huidmondjes; de tweede horde. De huidmondjes hebben ook een bepaalde weerstand, afhankelijk van de mate van opening. Ten derde moet het CO<sub>2</sub> de cel in, richting het bladgroen. Dat gebeurt in opgeloste vorm.

luchtbeweging

## Meest cruciale enzym op aarde

Vervolgens hecht het in het bladgroen aan het enzym Rubisco. Als er een prijs bestond voor het meest cruciale enzym op aarde, zou dit een goede kandidaat zijn. Vanwege zijn centrale rol in de fotosynthese is het grootste deel van de biomassa op aarde ooit langs dit enzym gepasseerd.

enzym Rubisco

Maar in het juryrapport bij de prijs zouden meteen ook belangrijke kanttekeningen staan. Rubisco is namelijk merkwaardig inefficiënt. Het maakt geen onderscheid tussen CO<sub>2</sub> en zuurstof. Als het CO<sub>2</sub> bindt, vindt er fotosynthese plaats. Als het zuurstof bindt, worden de opgeslagen bouwstoffen juist weer opgebruikt (in de ademhaling van de plant = fotorespiratie) wat je natuurlijk niet wilt bij een plant die voor de productie dient.

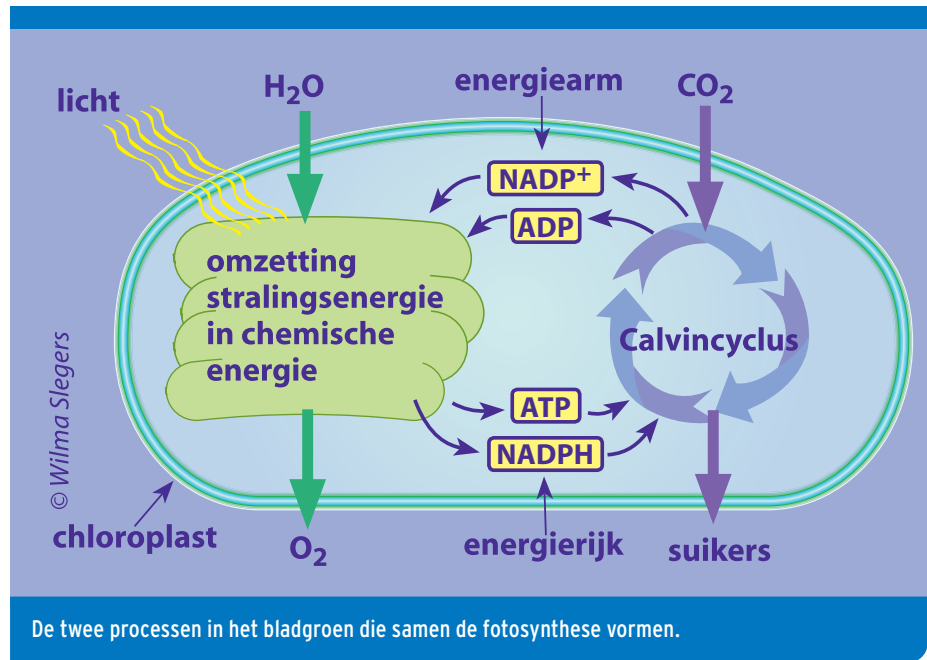
fotorespiratie

## De Calvin-cyclus

Als alles goed gaat wordt het ingevangen CO<sub>2</sub> in een reeks van processen – de Calvin-cyclus genaamd – samen met water ingebouwd in suikers. Suiker heeft een veel hogere energie-inhoud dan kooldioxide en water, en dus moet er energie bij. Dat komt van de energiedragers ATP en NADPH die zoals hierboven beschreven gevormd zijn.

De gevormde suikers worden voor een deel omgezet in zetmeel en gaan voor een deel als sucrose het transportsysteem van de plant in (het floëem). De zetmeelvoorraad dient als reservevoedsel voor de

sucrose



De twee processen in het bladgroen die samen de fotosynthese vormen.

nacht en dan gebruiken de planten dat weer. Als de afvoer van sucrose echter niet soepel verloopt, kan zich te veel zetmeel in het bladgroen ophopen wat het functioneren belemmert. Dat is bijvoorbeeld het geval bij tomaten die 24 uur per dag belicht worden. Een goede reden dus om bij tomaat minimaal 6 uur donker te handhaven.

## C4-planten

Onder droge hete omstandigheden wordt het slechte functioneren van Rubisco echt pijnlijk. Veel planten die onder deze omstandigheden groeien, hebben daarom een ander systeem ontwikkeld. In de plantkunde noemen we ze C4-planten, omdat ze CO<sub>2</sub> in eerste instantie inbouwen in een molecuul met 4 koolstofatomen, in plaats van 3 zoals bij Rubisco.

Deze verbinding wordt dieper het blad in getransporteerd naar speciale cellen die rond de vaatbundels liggen. Daar komt het CO<sub>2</sub> weer vrij en vinden weer de gewone fotosyntheseprocessen plaats. Maar omdat deze cellen diep in het blad liggen, komt daar weinig zuurstof voor. Er is dus veel minder concurrentie tussen koolzuur en zuurstof om het Rubisco-enzym. Deze planten zijn dan ook bij veel licht en hoge temperaturen veel efficiënter. Bij lagere temperaturen zijn de C3-planten in het voordeel, want zo'n extra stap in de fotosynthese kost wel extra energie.

Er zijn nu enkele duizenden C4-planten bekend. De meesten zijn voor de glastuinbouw niet relevant: veel tropische

grassen, maïs, suikerriet. Maar er zijn ook bolgewassen, zoals nerine en agapanthus die dit systeem hebben, evenals sommige potplanten zoals euphorbia en abutilon. C4-planten zijn bij doorsnijden van het blad onmiddellijk te herkennen (tenminste onder de microscoop) vanwege hun karakteristieke anatomie. Rond de vaatbundels liggen twee ringen van cellen.

## Extreme omstandigheden

Een stap verder in de aanpassing aan extreme omstandigheden hebben de CAM-planten gezet. Ook deze binden CO<sub>2</sub> eerst via het C4-systeem, maar dat doen ze alleen 's nachts. Dan kunnen ze zonder gevaar de huidmondjes openzetten, noodzakelijk voor de inlaat van CO<sub>2</sub>, terwijl dat overdag tot uitdroging zou kunnen leiden. Overdag zitten de poorten dicht en komt het vastgelegde CO<sub>2</sub> weer vrij en wordt gebruikt voor de fotosynthese. Dat kan alleen overdag want hiervoor is licht nodig.

Deze planten zijn juist niet zo efficiënt. Ze groeien erg langzaam. Dat komt omdat ze 's nachts alleen de C4-verbinding (malaat) opslaan en niet verwerken. Na een tijd is het reservoir dan vol. Het gaat om cactussen, vetplanten, sommige Bromeliaceae en dikbladige orchideeën.

## Overdag CO<sub>2</sub> bij CAM-planten?

Logisch gevolg zou dan natuurlijk zijn dat het bij deze planten geen zin heeft om overdag CO<sub>2</sub> te doseren, want dan zijn de huidmondjes toch dicht. Maar zo simpel

binden CO<sub>2</sub>

vol reservoir



## Geen probleem, foute oplossing

Wordt u daar ook zo vrolijk van? Al die foute oplossingen voor niet bestaande problemen?

Neem nu die jongens die vinden dat ze voor een veel te laag salaris "levensgevaarlijk" werk moeten doen. "Meer blauw op straat". Denken ze nu echt dat daarmee wordt bedoeld met zijn drieën in een Golf? Dat is inderdaad bloedlink, wat as ie kiept? Ziet u ooit een smeris alleen lopen? Weet je waar ze dat nog durven? In dat bloedlinke Amerika. Daar passen ze nog op ons en op zichzelf zonder zich in trioetjes te verstoppen.

Krijgt u ook van die facturen van de verzekering waarop je zelf mag gaan uitzoeken waarvoor en voor wie het eigenlijk is? Of betaalt u, moegestreden, klakkeloos wat op de deurmat valt?

Wat te denken van onze onvolprezen banksector. Drie verschillende banken zonden mij een jaaroverzicht met uiteenlopende fouten. Als reactie komen de accountmanagers langs voor een "gesprek". Daarop waardeert de bank haar kwaliteit. Niet op fouten maar op het aantal afgelegde bezoeken.

De belastingdienst bekritiseert mijn aangifte middels een brief van twee kantjes met daarin 35 taalfouten, één rekenfout en een verwisseling van gulden en euro's. Ik begreep ook niet wat ze nu eigenlijk bedoelden, maar dat kan aan mij liggen. Toegegeven, veel "leuker" dan dit konden ze het niet maken.

Onze geprivatiseerde gas en stroomboeren? Eneco betaalt me keurig de 30% aan teveel betaalde voorschotten terug en verhoogt tegelijkertijd het maandelijks voorschot voor het komend jaar. Vinden ze zelf heel logisch.

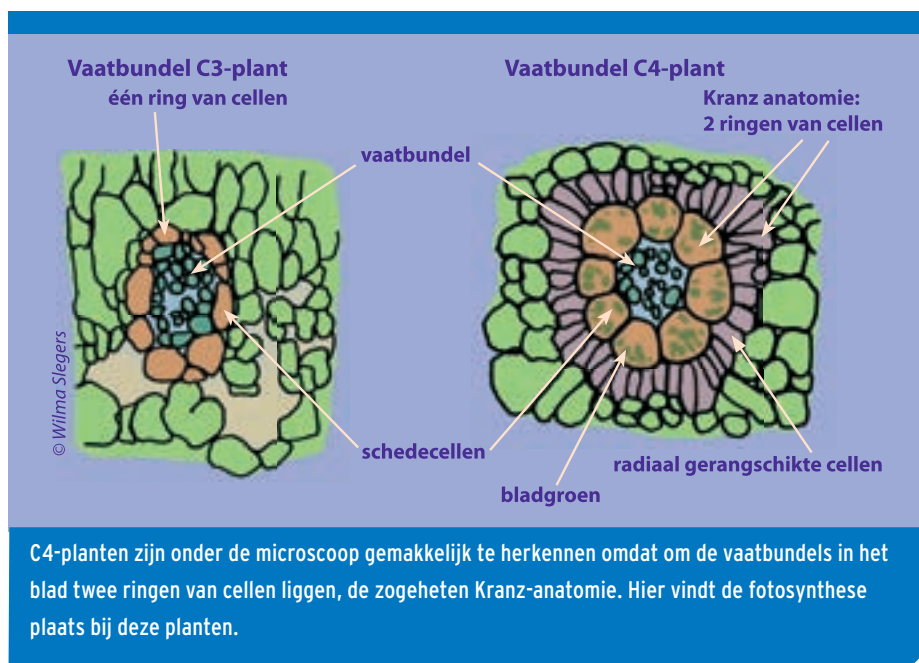
Het kabinet? Wat een daadkracht. Je maakt je als kabinet alleen onsterfelijk als je iets groots opzet. Kok gun ik de doodlopende Betuwelijn en zijn gestolen kwartje. Allemaal scoorden ze met onderwijsvernieuwing. Balkenende? Bedacht het rekeningrijden. Een miljarden verslindend project met eenzelfde resultaat als een simpele accijnsverhoging op benzine.

Een andere overbodige bestuurslaag, het Waterschap, verkwist honderden miljoenen met het verwijderen van alle leidingen uit dijken, alleen omdat een suffende medewerker twee jaar geleden een lekkende waterleiding niet van een lekkende dijk kon onderscheiden.

Tot slot de notaris, deze stuurt me een akte met de personalia van al mijn burens, hun aankopen, met wie ze het waar doen en wanneer. Dat alles omdat er sinds een paar maanden een vers kabeltje door mijn tuin loopt. Voldoende reden om hun en mijn hele hebben en houden de buurt rond te sturen.

Is er nu echt helemaal niemand meer die gewoon zijn werk doet? Kan een sukkel in het vervolg weer gewoon worden ontslagen? Of is de enig mogelijke reactie op elke gemaakte stomme fout het optuigen van een enorme papierwinkel die weer nieuwe fouten tot gevolg heeft?

Hans de Vries  
www.Doorgedraaid.nl



C4-planten zijn onder de microscoop gemakkelijk te herkennen omdat om de vaatbundels in het blad twee ringen van cellen liggen, de zogeheten Kranz-anatomie. Hier vindt de fotosynthese plaats bij deze planten.

licht-vochtigheid

ligt het niet; er zijn uitzonderingen. Moderne hybride kalanchoë's – toch een typische CAM-plant – zijn aangepast aan de kasomstandigheden en kunnen overdag wel CO<sub>2</sub> opnemen, mits de luchtvochtigheid aardig hoog is. Verschillende Phalaenopsis-cultivars (CAM-planten) kunnen best profiteren van CO<sub>2</sub>-doserings, ook om de fotorespiratie (ademhaling) aan het eind van de dag te verminderen. Het effect is wel afhankelijk van lichtintensiteit, daglengte en dag- en nachttemperatuur. Ook openen de verschillende rassen op een verschillend tijdstip in de middag hun huidmondjes, wat bepalend is voor de start van het doseren.

Uit onderzoek in de natuur blijkt dat er variatie bestaat onder vetplanten van dezelfde soort in de mate waarin ze strikte CAM-planten zijn of toch ook nog CO<sub>2</sub> overdag opnemen. Selectie op 'dagproductie' heeft dan dus wel degelijk zin.

### Fotosynthese meten

CO<sub>2</sub>-opname meten

Als teler kan het nuttig zijn om de fotosynthese te meten, want dat is immers de basis van de productie. Als dat al moeilijk loopt, wordt het voor de rest ook niet veel meer. De meest directe manier is om de CO<sub>2</sub>-opname te meten. De PTM 48M Monitor van PhyTech werkt op deze manier. Probleem is wel dat zulke meetapparatuur goed kan voldoen in een laboratorium, maar in een kas vraagt het veel naloop om betrouwbare metingen te verkrijgen. Daarnaast is er het probleem van de vertaalbaarheid. Wat zegt een

meting aan één of enkele bladeren over het functioneren van het hele gewas?

Zoals hiervoor vermeld, kan ook de fluorescentie een indicatie geven van de efficiëntie van de fotosynthese. De Plantivity-sensor werkt bijvoorbeeld op deze manier. Nadeel van meten van fluorescentie is natuurlijk dat het een indirecte manier is. Hier speelt nog meer het probleem van de vertaling van de metingen naar daadwerkelijke fotosynthese. Je meet maar op een klein stukje blad. Zowel de directe als indirecte metingen van de fotosynthese kunnen aantonen dat het proces niet goed verloopt, maar niet wat daarvan de oorzaak is.

De fotosynthese bestaat uit twee processen.

Eerst wordt stralingsenergie (van de zon) omgezet in chemische energie. Vervolgens is het tweede - energievragende - proces mogelijk, namelijk de binding van CO<sub>2</sub>. Dit gebeurt met een merkwaardig inefficiënt enzym, Rubisco. Planten uit droge, hete streken omzeilen de inefficiëntie op verschillende manieren. Eén methode is om alleen 's nachts CO<sub>2</sub> te binden. Bij deze planten - vetplanten, cactussen, sommige orchideeën - heeft het geen zin overdag CO<sub>2</sub> te doseren. Maar een aantal is toch weer aangepast aan kasomstandigheden. Meten van fotosynthese - direct of indirect - is in opkomst.

### SAMENVATTING