



De nieuwe planten

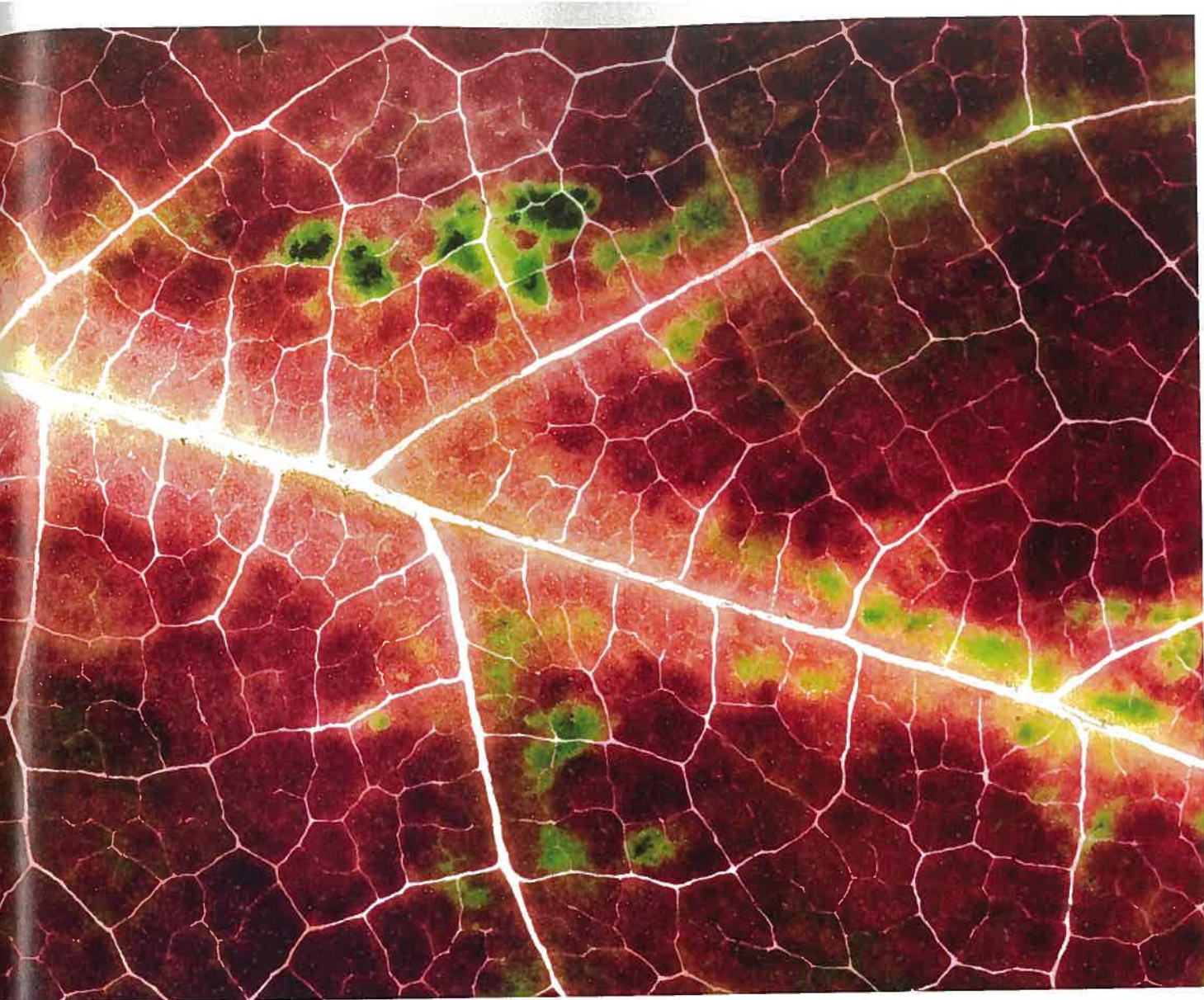
Planten zijn zó ouderwets. Nu biotechnologen steeds beter begrijpen welke moleculaire knoppen een plant tot plant maken, wordt het tijd voor een welverdiende upgrade. Denk aan superieure fotosynthese, bladvormen naar wens en zelfs aan planten met eigen kunstmestfabricage aan boord.

Door Marcus Werner en Maarten Keulemans

IN ZIJN KAMER IN DE HOOGBOUW van de universiteitscampus kijkt Gerrit Beemster uit op het weelderige groen van de parkachtige Antwerpse stadsrand. Groene planten. Al een goede anderhalf miljard jaar staan ze op onze planeet aan de basis van de voedselketen. En toch hebben ze, ondanks honderden miljoenen jaren evolutie, ernstige gebreken.

Je zou zelfs kunnen zeggen dat ze ouderwets zijn, een rammelend overblijfsel uit de prehistorie. De machinerie waarmee ze CO₂ omzetten in suikers en zetmeel is primitief en nog altijd afgesteld op een extreem CO₂-rijke en zuurstofarme oerdampkring die al honderden miljoenen jaren niet meer bestaat. Daardoor groeien ze tergend langzaam, en hebben ze vaak onhandig kleine blaadjes en vruchten.

Beemster, verbonden aan de afdeling moleculaire plantenfysiologie en -biotech-



nologie aan de Universiteit van Antwerpen, is een van de onderzoekers die meent dat het beter kan. En móét, om de groeiende wereldbevolking te voorzien van voedsel, energie en grondstoffen. Natuurlijk: de laatste decennia zag de landbouw de opkomst van genetisch bijgestelde gewassen, die bijvoorbeeld weerbaarder zijn tegen ziektekiemen, schimmels of chemicaliën. Maar dat is nog niets, vindt een groeiende schare biotechnologen. Hun droom is die van volledige controle over de mechanismen die de plant tot plant maken: vorm, kleur, groeisnelheid en de stofwisseling zelf.

De tijd dringt. Experts berekenen dat in 2050 in Azië 43 mensen van één hectare rijst zullen moeten leven, tegen de 27 van vandaag. Het aantal Aziaten stijgt immers, en tegelijkertijd neemt daardoor de beschikbare hoeveelheid landbouwgrond af (*Current Opinion in Plant Biology*, april

2008). Op het westelijk halfrond speelt hetzelfde met gewassen als maïs en graan. Om nog te zwijgen van de westerse honger naar biobrandstof en op planten gebaseer-

Planten ontwikkelden hun fotosynthese voor een heel andere dampkring

de medicijnen en grondstoffen (zie ook *NWT Magazine*, juni 2010).

Tijdens de groene revolutie van het laatste kwart van de 20e eeuw hebben landbouwkundigen enorme vorderingen geboekt met het verhogen van de opbrengst van landbouwgewassen. Maar die successen, zoals rijstrassen die meer rijstkorrels dragen, waren gebaseerd op

klassieke veredeling: geduldig kruisen van planten, totdat je een variant met de gewenste erfelijke eigenschappen overhoudt. De veredelingstechnieken raken echter uitgeput, vertelt Beemster. 'Naar mate je meer eigenschappen tegelijk inkruist in een plant, neemt de tijd die dat kost razendsnel toe', legt hij uit. 'Bovendien komen er ook gemakkelijk ongewenste zaken mee in de kruisingen, zoals ziektegevoeligheid en allergene eigenschappen.' Dat maakt radicale ingrepen in de manier waarop planten groeien nodig.

Radicaal is de oplossing waarop Beemster en zijn Antwerpse collega's studeren zeker: ze willen proberen de bladeren van gewassen te vergroten, al dan niet in combinatie met een andere bladvorm. Vergrote bladeren kunnen een hogere fotosynthese opleveren, en meer fotosynthese betekent sneller groeiende, grotere planten. Andere onderzoeksgroepen stude-

ren intussen op andere bladvormen, en zelfs op bladgroenkorrels die langs genetische weg zijn opgevoerd.

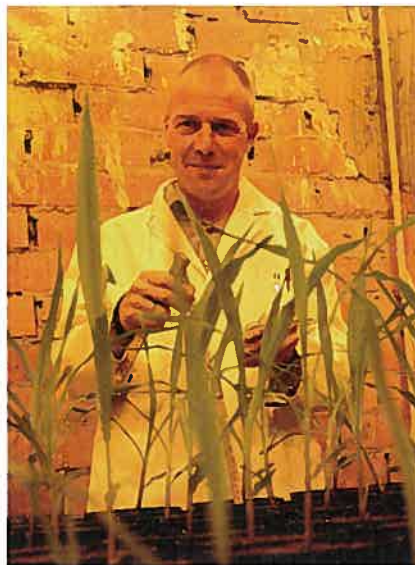
Het 'upgraden' van planten begon zo ongeveer met een reeks opmerkelijke experimenten die de vorm van het plantenblad aanpasten. Neelima Sinha en collega's van de Davis-universiteit van Californië sproeiden het groeihormoon auxine op één zijde van bladeren van de tomatenplant - en namen waar hoe de besprenkelde kant zijn gerafelde uiterlijk verloor en veel groter werd dan normaal. 'Het is duidelijk dat auxine en de respons daarop een hoofdrol spelen in de bepaling van de bladvorm, door de groei in het blad te reguleren', was hun conclusie (*Development*, 1 september 2009).

Britse onderzoekers slaagden er intussen in om de groei van het plantje veldkers te sturen door auxine toe te dienen, of juist weg te nemen (*Nature Genetics*, 10 augustus 2008). En in Duitsland maakte een onderzoeksteam de bloemen van zandrakketen extra groot, door vermeerdering van een gen dat betrokken is bij de planten-groei (*Current Biology*, januari 2010).

Poortjes

Het zijn niet alleen westerse onderzoekers die zich roeren. Aan de universiteit van Kyoto ontdekte een team onder leiding van Ikuko Hara-Nishimura een gen dat bepaalt hoeveel poriën planten op hun bladeren hebben. De onderzoekers slaagden erin zandrakketen meer, of juist minder poriën te geven door het gen respectievelijk te vermeerderen en uit te schakelen. Alweer een opmerkelijke stap, want de poriën (stomata) vormen de poortjes waarlangs planten water en CO₂ opnemen. 'Een nuttig werktuig om gewassen en bomen te ontwikkelen met een grote stomatale dichtheid, die een hoge absorptie-capaciteit hebben voor CO₂', stelde Hara-Nishimura dan ook vast (*Nature*, 14 januari 2010).

Beemsters groep zet in eerste instantie in op de zogeheten celcyclus, de opeenvolging van gebeurtenissen in een plantencel die uitmondt in deling in twee dochtercellen. 'Planten groeien doordat in afgebakende zones cellen heel actief delen', vertelt Beemster. 'Pas buiten de delingszones bollen de nieuw gevormde cellen uit tot hun definitieve grootte.' Dat biedt kansen. Door bepaalde genen die achter



▲ Gerrit Beemster in de proefkelder: de hoogtijdagen van klassieke veredeling zijn voorbij. UNIVERSITEIT VAN ANTWERPEN

de celdeling zitten in activiteit te verhogen of juist te remmen, zou het mogelijk moeten zijn de celcyclus op te voeren. Er worden dan meer cellen per tijdseenheid geproduceerd, met grotere planten of bladeren als gevolg.

Makkelijker gezegd dan gedaan, heeft Beemster inmiddels ondervonden. 'Het lukte wel om planten sneller cellen te laten

De onderzoekers zagen hoe de blaadjes van de tomatenplant groter werden dan normaal

maken, maar die bleven veel kleiner dan normaal, waardoor er per saldo nauwelijks effect was op de groei.' De onderzoekers moesten de bakens dus verzetten, vertelt Beemster: 'De heilige graal is nu de opheldering van de nauwe relatie tussen celdeling en groei van de plantencellen.' Voorlopig zit er niets anders op dan een *trial-and-error*-benadering met proefplantjes. 'Genen waarvan we denken dat ze belangrijk zijn schakelen we uit, of brengen we in meerdere kopieën in om de activiteit ervan te verhogen. Dan kijken we wat er gebeurt.'



Een paar verdiepingen lager in het gebouw trekt Beemster een klimaatkamer open. Onder fel tl-licht zijn schappen vol petri-schaaltjes te zien, met daarin minuscule rozetjes vaalgroene bladeren. Het zijn ontkiemende zandrakketen - mutanten verkregen uit de zaadjes van volwassen planten die zijn 'getransformeerd' door ze te besproeien met een oplossing van een bacterie die in de natuur zijn eigen DNA in planten overbrengt. Voor de Antwerpse experimenten is de bacterie na genetisch knip- en plakwerk voorzien van gewijzigde zandraket-genen. Sommige bladrozetjes lijken wel degelijk groter dan de andere. Het zijn plantjes met verhoogde droogte-tolerantie, vertelt Beemster. Want ook dat houdt verband met de grootte: 'We weten dat zelfs bij planten die op het oog goed groeien, watertekort een enorme invloed kan hebben op de opbrengst. Ook de genetica daarachter onderzoeken we.'

Een paar honderd kilometer noordelijker, aan het Centrum voor Wiskunde en Informatica in Amsterdam, zit informaticus en bioloog Roeland Merks niet tussen de planten, maar gewoon achter de pc. Terwijl hij af en toe een blik werpt op het scherm, legt Merks uit hoe hij planten laat groeien: op de computer. Merks laat bladeren virtueel groeien. Hij program-



meert de simpele spelregels over groei- en deling van plantencellen, maar bijvoorbeeld ook de onderlinge druk die de groeiende cellen op elkaar uitoefenen, in algoritmen. Bij deze aanpak komt geen plant kijken, hoewel hij wel samenwerkt met vooraanstaande internationale plantenwetenschappers, waaronder ook Beemsters Antwerpse groep.

Turbocompressor

Op het computerscherm ziet een groeiend virtueel blad er weliswaar niet erg gelikt uit – zo zijn de bladeren twee- en niet driedimensionaal – toch gehoorzaamt het computermodel heel behoorlijk aan een reeks biologische processen en natuurkundige wetmatigheden zoals die in het echt in levende planten optreden. Het voordeel is dat je met het model relatief eenvoudig kunt achterhalen wat het effect is van bepaalde veranderingen in de afzonderlijke componenten van de groeimachinerie, vertelt Merks. Dat kan de plantenonderzoekers op weg helpen om veel doelgerichter de groei te veranderen.

Planten andere of grotere bladeren geven is één ding, een andere koers is om de fotosynthese zelf op te voeren. Aan de Britse universiteit van Cambridge is dat de inzet van Julian Hibberd, moleculair-bio-

loog, plantenfysioloog en door het Britse wetenschapsblad *Nature* getipt als een van de vijf gewasonderzoekers die de wereld kan veranderen. Hibberd maakt deel uit van een in 2008 opgericht internationaal consortium geleid door het prestigieuze internationale instituut voor rijstonderzoek IRRI in de Filipijnen. Het doel: verander rijst van een zogeheten 'C3'-plant in een 'C4'-plant. Die laatste heeft namelijk een veel efficiëntere fotosynthese. 'Als de fotosynthese-machinerie van een C3-plant de automotor is, dan heeft de C4-plant er een turbocompressor bij', vertelt Hibberd.

De aanduidingen C3 en C4 slaan op het aantal koolstofatomen dat de plant bij de fotosynthese betreft. Voorafgaand aan de eigenlijke fotosynthese vangt een plant CO₂ uit de lucht, waarna een enzym genaamd rubisco het CO₂ koppelt aan een verbinding met vijf koolstofatomen. Daaruit ontstaan twee verbindingen met elk drie koolstofatomen, die de verdere fotosynthese ingaan. Het systeem heeft echter een ernstige tekortkoming: zo nu en dan pakt rubisco in plaats van CO₂ een zuurstofmolecuul. Het resultaat is één drie-koolstofverbinding, en één molecuul met twee koolstofatomen, een verbinding waarmee de plant niets kan en die hij weer met veel gedoe moet lozen.

◀ Bomen vol lichtgevende enzymen: de toekomst van straatverlichting?

THEO SANDERSON, UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Toekomstplanten

Lichtgevende bomen

Een idee van studenten aan de universiteit van Cambridge: laat planten- en boombladeren oplichten als een vuurvliegje. Het voorwerk hebben de studenten al gedaan: eind vorig jaar onthulden ze een kolonie *E. Coli*-bacteriën die lichtgevende enzymen produceert.

Plexiplanten

Ingrid van der Meer van onderzoeksinstituut Plant Research International werkt aan een aardappel die met behulp van de genen van een zeldzame schimmel itaconzuur produceert, een alternatief voor acrylzuur uit aardolie die de chemische industrie massaal gebruikt voor onder meer acrylvezels, verf, rubberlaarzen en plexiglas. "Intussen proberen we de suikerbiet het zelfde kunstje te laten doen en de zuurproductie door aardappels verder op te voeren", vertelt Van der Meer.

Schaduwgroei

Een plant die in de schaduw van zijn burens belandt, reageert daarop met een groeispuurt. Utrechtse en Duitse onderzoekers ontrafelden het mechanisme achter deze reactie (*PNAS*, december 2010), wat uitzicht biedt op de mogelijkheid om de schaduwreflex kunstmatig uit te lokken.

Koolstofvreters

Planten die genetisch zo zijn aangepast dat ze extra veel koolstof langdurig via hun wortels opslaan in de grond. Het is een veelbelovende manier om de CO₂-uitstoot tegen te gaan, signaleerden onderzoekers van het Lawrence Berkeley National Laboratory en het Oak Ridge National Laboratory afgelopen herfst (*Bioscience*, oktober 2010).

Een bizarre ontwerpfout die de efficiëntie ernstig belemmert en die eraan herinnert dat rubisco is ontstaan in een tijdperk waarin de dampkring nog nagenoeg geen zuurstof bevatte.

C4-planten doen dat subtiel anders. Net als bij een auto met turbo, zit er een pomp achter de hogere prestaties van de C4-plant. De planten beschikken over een extra enzym, dat het CO₂ eerst vastlegt in een verbinding met vier koolstofatomen, waarna deze het koolstofdioxide afgeeft aan rubisco. Het rubisco krijgt zo een constante hoge aanvoer CO₂, zonder dat O₂-moleculen een stok tussen de cellulaire spaken steken. De fotosynthese-efficiëntie neemt daardoor met tot 50 procent toe. Alle reden om van de C3-plant rijst een C4-variant te maken. Dat is echter makkelijker gezegd dan

De planten zitten opgescheept met een bladgroenkorrel die niet efficiënt werkt

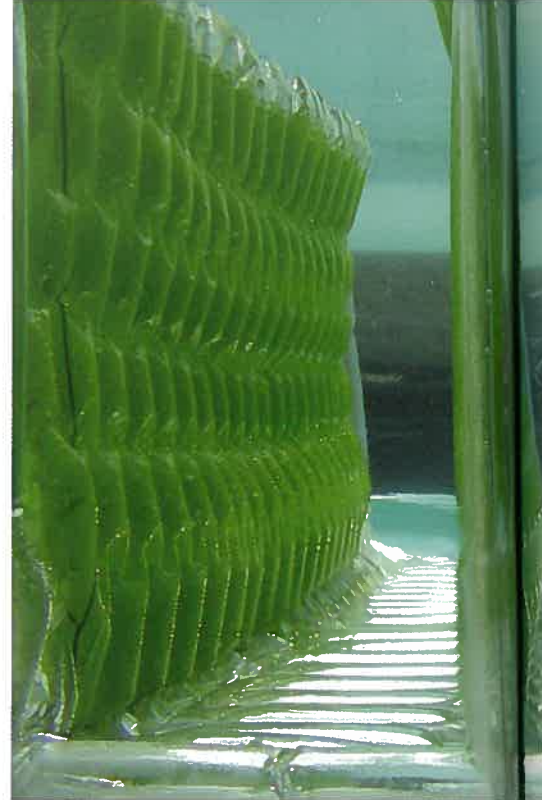
gedaan. Eerdere pogingen om de C3-plant om te toveren in een C4-plant liepen op niets uit: eenmaal op het proefveld schakelden de genetisch veranderde planten weer terug op het C3-systeem. Voorlopig werkt Hibberd aan een proefproject van drie jaar, gefinancierd door het fonds van computermiljardair Bill Gates. 'Het onderzoek is pas begonnen. Maïs is een C4-plant, en daarvan hebben we twaalf genen

verantwoordelijk voor essentiële enzymen van de C4-stofwisseling ingebracht in rijst. De proefplantjes groeien nu in de Filipijnen. Het is heel spannend.'

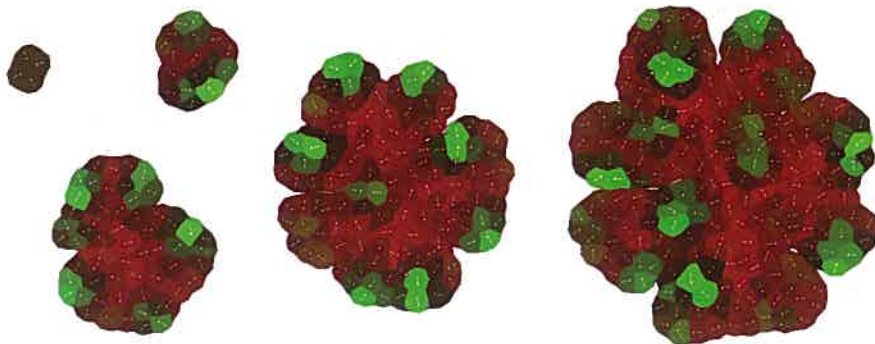
Symbiose

De C3-problemen werpen licht op het meer structurele probleem van de plant: ze ontwikkelden hun fotosynthese voor een heel andere dampkring. Zo'n anderhalf miljard jaar geleden, toen de dampkring nog zeer rijk was aan CO₂, ontwikkelden planten fotosynthese, door fotosynthetiserende bacteriën in hun cellen op te nemen. Die zitten er nog steeds; het zijn de bladgroenkorrels. Een mooie symbiose: de bladgroenkorrels dienen als 'motor', de plant vormt de 'carrosserie' die de bladgroenkorrels een veilig onderkomen geeft.

In de honderden miljoenen jaren die volgden, nam het CO₂-gehalte in de dampkring echter geleidelijk af, en bleef de plant zitten met een weinig efficiënt werkende bladgroenkorrel in zijn bladeren. En dat terwijl de nog vrij levende familieleden van de bladgroenkorrels — fotosynthetiserende cyanobacteriën — allerlei trucs ontwikkelden om CO₂ veel efficiënter om te zetten in voedsel. Ze stopten hun rubisco bijvoorbeeld in een soort kooitje, het zogeheten carboxysoom, om het CO₂-gehalte tot wel duizendmaal op te voeren. Een andere truc die de bacteriën ontwikkelden, is een systeem van kleine CO₂-pompjes in hun celwand, die het CO₂ naar binnen loodsen. Zo creëren cyanobacteriën in feite hun eigen kunstmatige prehistorische dampkring. Onderzoekers in onder meer Australië,

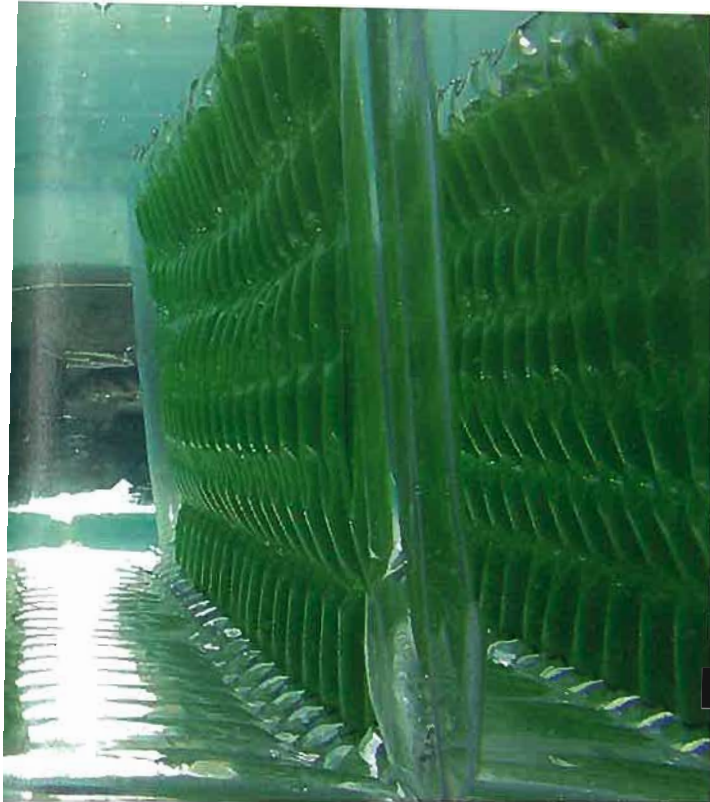


Duitsland, Verenigde Staten en Engeland denken dan ook dat de beste manier om planten op te voeren een modernere bladgroenkorrel is. Gun de plant een bladgroenkorrel die wél in staat is om met geringe hoeveelheden CO₂ om te gaan, denken deze onderzoekers. Dat zou wel eens simpeler en doeltreffender kunnen zijn dan het aanleggen van een C4-systeem, al was het alleen maar omdat de bladgroenkorrel in feite nog steeds een bacterie is, met zijn eigen DNA. Wellicht is het mogelijk om dat bladgroen-DNA te voorzien van de juiste genetische *upgrade*. Moleculair-plantenbioloog Dean Price van de Australian National University in Canberra en collega's denken bijvoorbeeld binnen drie jaar een bladgroenkorrel klaar te hebben die genetisch zodanig is gewijzigd dat hij met een speciaal pompje CO₂

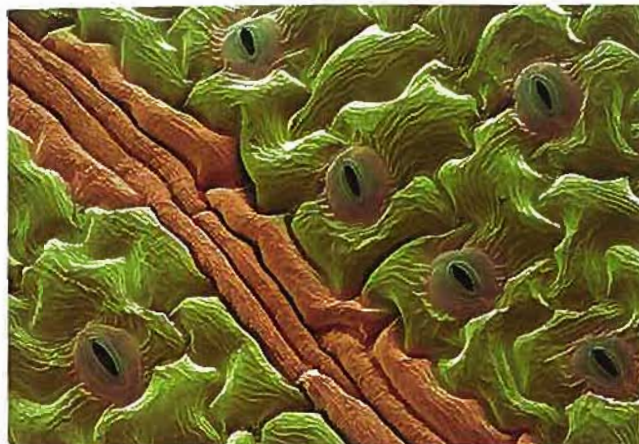


◀ **Celdeling op de computer van Roeland Merks: De pijltjes geven de stroomrichting van het plantengroei-hormoon auxine aan, de kleur groen is de concentratie auxine. De cellen pompen auxine bij voorkeur naar cellen die al veel auxine hebben — de groene cellen worden groener. Dit is het mechanisme dat de auxine concentreert.**

ROELAND MERKS/NETHERLANDS CONSORTIUM FOR SYSTEMS BIOLOGY (NCSB)



◀ Een 'algenbioreactor' van de Belgische firma Proviron, waar algen voor biobrandstoffen worden gekweekt. PROVIRON BELGIË



▲ Bladporiën ofwel stomata. Door de poriën te vermeerderen is het wellicht mogelijk planten 'op te voeren' SPL/ANP

aantrekt. Dat moet het tempo van fotosynthese met een procent of 15 tot 25 opdrijven, becijferde Price onlangs, met als gevolg sneller groeiende planten, meer biomassa en een grotere oogst (*Plant Physiology*, oktober 2010).

Stap twee is om de bladgroenkorrel een nog veel luxueuzere upgrade te bezorgen, denkt Price, in de vorm van net zo'n mooi CO₂-concentreerend kooitje als waarover sommige cyanobacteriën beschikken. Een echt carboxysoom dus. Voor deze operatie verwacht Price slechts negen genen in te hoeven bouwen in het bladgroen-DNA — veel minder dan nodig is om het C4-systeem aan de praat te krijgen (*Journal of Experimental Botany*, juni 2007).

Een ander vernuftig idee is om niet de fotosynthese, maar de bemesting van planten met genetische trucs op te voeren. De meeste planten oogsten het stikstof dat ze als bouwsteen gebruiken uit de grond, al dan niet geholpen door bacteriën in hun wortels of door de boer die het stikstof in de vorm van kunstmest op de akker aanbrengt. Maar een tantaluskwelling blijft het: de planten wuiven immers heen en weer in een dampkring die voor meer dan driekwart uit moleculair stikstof bestaat. Alleen kunnen ze daar niet bij, omdat planten geen mechanisme hebben om het taai stikstofmolecuul te kraken.

Ook hier moeten de bacteriën uitkomst bieden. Onder meer plantbiochemicus Andreas Weber van de Heinrich Heine-universiteit in Düsseldorf onderzoekt of het mogelijk is om het mechaniek waar-

mee bacteriën stikstof uit het milieu onttrekken onder te brengen in de plant (*The Plant Journal*, januari 2011). Een ingewikkelde onderneming: ook bacteriën gebruiken veel kunst en vliegwerk bij de opname van stikstof, omdat een van de essentiële enzymen die ze daarvoor gebruiken — het enzym nitrogenase — zonder pardon wordt afgebroken als het in aanraking komt met zuurstof.

Algen

Alles om die inefficiënte, ouderwetse plant toch vooral een beetje met zijn tijd te laten meegaan, beaamt ook de Wageningse plantexpert Rene Klein Lankhorst. 'Planten benutten nu maximaal 2 procent van de opgevangen zonne-energie. Theoretisch is 9 à 10 procent haalbaar.' Klein Lankhorst is werkzaam bij Plant Research International en is directeur bedrijfsvoering van het onderzoeksprogramma Bio Solar Cells, dat in 2009 door de Nederlandse overheid werd gefinancierd. Hoewel hij werkt met groene algen, is zijn doel hetzelfde: de fotosynthese opvoeren.

Klein Lankhorst gaat het niet zozeer om voedsel, maar om biobrandstof. Daarvoor zijn weer andere aanpassingen nodig, vertelt hij: 'Een van de routes is om algen meer van de vetten te laten ophopen die de basis vormen voor biobrandstoffen. Of alleen korte koolstofverbindingen die direct als brandstof zijn te gebruiken, in plaats van de langketenige koolwaterstoffen die planten normaal maken.' Die zijn

immers veel lastiger om te werken tot biobrandstof, weet hij.

De lage efficiëntie van fotosynthese inspireert de meest futuristische onderzoekslinje van Bio Solar Cells: het nabouwen van de fotosynthesemachinerie van planten in kunstmatige bladeren, die efficiënter zijn dan hun natuurlijke voorbeelden. 'Het onderzoek staat nog in de kinderschoenen', benadrukt Klein Lankhorst. 'Maar je kunt kunstmatige bladeren een breder deel van zonlicht laten gebruiken dan het smalle spectrum licht dat natuurlijke planten benutten.' Planten hebben bijvoorbeeld de eigenaardigheid dat ze groen licht ongemoeid laten — vandaar dat ze groen zijn, in plaats van zwart. 'Het ultieme doel is kunstbladeren alleen de eerste stap van fotosynthese te laten uitvoeren, de splitsing van water in zuurstof en waterstof. Waterstof vormt immers de ideale directe energiebron.'

Planten die waterstof maken; tussen de planten met nieuwe bladgroenkorrels en op maat gemaakte bladeren kan het er nog wel bij. Misschien is het grootste obstakel uiteindelijk de publieke acceptatie. 'Op televisie noemde men ons soort werk onlangs nog 'gevaarlijke wetenschap', verzucht Beemster, 'terwijl het eigenlijk niets anders is dan een variant van klassieke veredeling. Maar dan in kortere tijd, en met volledige kennis over wat je inkruißt.' ■

De software voor Roeland Merks' bladerenontwerpprogramma is vrij beschikbaar en te downloaden op virtualeaf.googlecode.com.