



De kracht van de stikstofbinders



Hoogleraar Ken Giller propageert onder Afrikaanse boeren het gebruik van peulvruchten. Die hebben dankzij hulp van bacteriën geen stikstofmeststof nodig. In Wageningen onderzoekt hoogleraar Ton Bisseling de fitnesses van deze symbiose.

TEKST MARION DE BOO FOTOGRAFIE CORBIS ILLUSTRATIE SEBASTIAAN DONDEERS

In de Wageningse kas is het warm en vochtig als in een tropisch regenwoud. Een vernevelaar sproeit een mist van fijne waterdruppeltjes in het rond, de thermostaat staat op 28 graden. Frisgroene jonge bomen staan in potten op tafel: slungelige takken, onooglijke bloemetjes en groene, nog onrijpe zaden. Dit is *Parasponia andersonii*, afkomstig uit het tropisch regenwoud van Papoea Nieuw-Guinea.

In het regenwoud is *Parasponia* een echte pioniersplant. Na kaalkap in het bos duikt deze snelle groeier als eerste op en slaat zijn slag; hij groeit drie tot vier meter per jaar. Zijn geheime wapen – zo werd al in 1973 ontdekt – zijn de wortelknolletjes waarin stikstofbindende *Rhizobium*-bacteriën leven. De boom kan daarmee stikstof, een essentiële voedingsstof, uit de lucht halen, net als vlinderbloemige planten als bonen en erw-

ten, soja en klaver.

'*Parasponia* is de enige niet-vlinderbloemige plant die de kunst van het stikstof binden verstaat', zegt hoogleraar ontwikkelingsbiologie Ton Bisseling van het Laboratorium voor Moleculaire biologie van Wageningen University, onderdeel van Wageningen UR. 'Blijkbaar is deze bijzondere eigenschap in de loop van de evolutie in het plantenrijk tweemaal ontstaan.' Kort voor Kerstmis sleepte Bisseling een onderzoeksubsidie van 2,5 miljoen euro van de *European Research Council* in de wacht om de geheimen van de biologische stikstofbinding verder te ontrafelen.

De Wageningse onderzoekers gaan het genpakket van *Parasponia* vergelijken met dat van zustersoort *Trema tomentosa*. *Trema* lijkt sprekend op *Parasponia*, maar als je de boom uit de pot trekt, blijkt hij het zonder wortelknolletjes en zonder stikstofbindende bacteriën te moeten stellen. Wat maakt nu precies het verschil? Waarom kan *Parasponia* wél zijn eigen stikstof binden en familielid *Trema* niet? Het antwoord op die vraag kan op den duur bijdragen aan een duurzame wereldvoedselvoorziening, met gewassen die in hun eigen stikstofbehoefte kunnen voorzien, zonder dure, energievretende stikstofkunstmest.

ESSENTIËLE BOUWSTEEN

Planten en andere levende wezens kunnen niet groeien zonder stikstof. Stikstof is een essentiële bouwsteen van allerlei moleculen, zoals de aminozuren waaruit de eiwitten in plant en dier zijn samengesteld. Onze atmosfeer bestaat voor 79 procent uit stikstof, maar met dat vrije stikstofgas kunnen de meeste levende wezens niets beginnen. In een molecuul stikstofgas (N_2) zitten de beide atomen met een heel stevige driedubbele binding aan elkaar gebonden. Alleen sommige

bacteriesoorten beschikken over speciale enzymen waarmee zij dat gas kunnen omzetten in ammonium (NH_4^+) en vervolgens in andere stikstofverbindingen, die planten wél kunnen benutten. Sinds ongeveer honderd jaar is de mens bovendien in staat om vrije stikstof om te zetten in stikstofkunstmest. 'Maar dat vergt heel veel energie, het gebeurt onder hoge druk en bij hoge temperatuur', zegt Bisseling. 'Maar liefst 30 procent van de energiekosten in de landbouw betreffen de productie van stikstofkunstmest.'

Een alternatief voor stikstofkunstmest is het telen van vlinderbloemige gewassen. Die zijn 'zelfvoorzienend' doordat ze beschikken over de wortelknolletjes. De stikstofbindende bacteriën die daarin leven, helpen de plant aan zijn broodnodige stikstofverbindingen, in ruil voor suikers die de plant produceert. Omdat vlinderbloemige planten dankzij deze symbiose hun stikstofvoorziening zo goed voor elkaar hebben, zijn de zaden van allerlei soorten peulvruchten bijzonder eiwitrijk. Wereldwijd leven ruim 19 duizend soorten vlinderbloemige plantensoorten in uiteenlopende ecosystemen, van de savanne tot het tropisch regenwoud. Tot de eerste gewassen die de mens zo'n 12 duizend jaar geleden begon te telen om in zijn eiwitbehoefte te voorzien, behoorden soja (China), linzen (Midden-Oosten) en bonen (Zuid-Amerika). De Romeinen wisten al dat ondergeploegde oogstresten van vlinderbloemigen de bodemvruchtbaarheid verbeteren. Wie eerst erwten teelt en daarna tarwe, krijgt een betere tarweoogst.

In de loop van de evolutie zijn genetische veranderingen ontstaan die biologische stikstofbinding mogelijk maakten. 'Onze ambitie als onderzoekers is in de eerste plaats om dat te leren begrijpen', zegt moleculair bioloog René Geurts, die in de groep van Bisseling



FOTO: GUY ACKERMANS

TON BISSELING,
Hoogleraar ontwikkelingsbiologie,
Laboratorium voor Moleculaire
biologie van Wageningen University

'Als we de symbiose kunnen optimaliseren, krijgen de groensingels in de Sahel meer kans van slagen'

‘We willen deze boom leren zelf stikstof te binden’

het Parasponia-Trema-onderzoeksproject gaat leiden. ‘Als je dat mechanisme hebt ontdekt, kun je het misschien overbrengen naar andere plantensoorten’, vertelt Geurts. ‘Al in 1917 werd het idee geopperd om niet-stikstofbindende gewassen zoals aardappels of tarwe met wortelknolletjes vol stikstofbindende bacteriën uit te rusten. In de praktijk zitten aan het ontwikkelen van genetisch gemodificeerde voedselgewassen veel haken en ogen. Misschien liggen toepassingen in de bosbouw eerder binnen ons bereik, bijvoorbeeld met nieuwe populierenrassen die zelfvoorzienend zijn voor stikstof zijn.’

GENENPAKKET VERGELIJKEN

In de familie van de vlinderbloemigen is de eigenschap om zelf stikstof te binden waarschijnlijk al ruim 50 miljoen jaar geleden ontstaan, misschien wel meerdere malen. Bij Parasponia is dat veel recenter gebeurd, wellicht pas 10 tot 15 miljoen jaar geleden. Volgens Geurts vind je wereldwijd zo'n 15 soorten Trema, in uiteenlopende milieus. De Parasponia daarentegen groeit alleen in Zuidoost-Azië, op berghellingen en vulkanische as. ‘Ik denk dat Parasponia eigenlijk een gemuteerde Trema is. Misschien is het genetische mechanisme niet zo ingewikkeld en betreft het maar een paar veranderingen. Het is heel interessant om het genenpakket van Parasponia straks ook te vergelijken met het genenpakket van de vlinderbloemigen. Zo hopen we het kaf van het koren te scheiden en tot het hart van de symbiose door te dringen. Onderzoek aan zo'n tropische boom is nog niet zo makkelijk, maar we hebben Parasponia hier in het laboratorium in weefselweek. Daar doen we proeven mee. Binnen vijf jaar willen we Trema leren om zelf stikstof te binden.’

Naast de Paraponia, heeft Bisseling nog >



FOTO'S ANF EN CORBIS

Aanplant van stikstofbindende gewassen in Senegal. Een boer bekijkt de stikstofbindende wortelknolletjes van de planten waaraan Rhizobium-bacteriën zijn toegevoegd.

‘We zoeken voor elk gebied het meest veelbelovende gewas’

een andere interessante stikstofbindende plant op het oog. Als deeltijdhoogleraar verbonden aan de Universiteit van Riyad ontdekte hij op excursie in de Saoedische woestijn een fascinerende vlinderbloemige pionierplant, *Indigofera argentea*, die zich in het bloedhete, kale zand weet te redden. Dat zou wel eens een ingang kunnen zijn om de droge woestijnbodem geschikter te maken voor bomen en struiken. Mogelijk kan *Indigofera* daarmee bijdragen aan een duizenden kilometers lange ‘groene muur’ van bomen en struiken dwars door de Sahel-landen, waaraan in Afrika wordt gewerkt om te voorkomen dat de woestijn zich verder naar het zuiden uitbreidt. Bisseling: ‘*Indigofera* is blijkbaar erg goed toegerust om de extreme omstandigheden van de woestijn te weerstaan. De plant werkt samen met droogteresistente *Rhizobium*-bacteriën die blijkbaar in de extreme hitte en droogte van de woestijn kunnen overleven. Als we de symbiose onder zulke extreme omstandigheden verder kunnen optimaliseren, zou de aanleg van groensingels in de Sahel, waar de bodem vaak stikstofarm is, een betere kans van slagen krijgen.’

Symbiose in het plantenrijk is oeroud. Naast de planten die een symbiose aangaan met *Rhizobium*-bacteriën in wortelknolletjes zijn er veel plantensoorten die samenleven met mycorrhiza-schimmels, die de plant helpen om water en voedingsstoffen uit de bodem op te nemen in ruil voor suikers. Deze samenwerking is vermoedelijk al ruim 400 miljoen jaar oud, zelfs nog ouder dan het vormen van plantenwortels, zo blijkt uit fossielenonderzoek.

Om het spel van de symbiose goed te spelen, moet de plant de regie bewaken. Anders zouden schimmeldraden of de *Rhizobium*-bacteriën de plantencellen binnen de kortste

keren overwoekeren en leegzuigen. Daarom beschermt de plant zichzelf met gespecialiseerde membranen. Hij controleert precies welke stoffen daar doorheen gaan: bepaalde suikers mogen eruit en stikstofverbindingen erin.

Inmiddels is bekend dat vrij levende *Rhizobium*-bacteriën zich melden door dichtbij plantenwortels bepaalde signaalstoffen, de Nod-factoren, uit te scheiden. De plantenwortels herkennen deze signaalstoffen via hun speciale Nod-factor-receptoren. Daardoor worden ze getriggerd om wortelknolletjes te maken, waarin de bacteriën zich vestigen. Onderzoekers kunnen deze Nod-factoren in het laboratorium namaken. Planten die in het laboratorium aan de signaalstoffen worden blootgesteld, gaan prompt wortelknolletjes maken. Bisseling: ‘Inmiddels kennen we alle belangrijke eiwitten en plantenhormonen die nodig zijn om het Nod-signaal te herkennen en door te geven.’

OEROUD MECHANISME

De *Rhizobium*-bacteriën triggeren hetzelfde oeroude mechanisme dat ook de mycorrhizaschimmels al een half miljard jaar gebruiken. ‘Dit mechanisme, met de bijbehorende genen, is in bijna alle plantensoorten in aanwezig’, zegt Bisseling. ‘Dat stemt ons optimistisch over de mogelijkheden om de symbiose met stikstofbindende bacteriën in de toekomst in de landbouw te gaan benutten.’

Parasponia heeft één Nod-factor-receptor, die evolutionair gezien nog jong is. Bij vlinderbloemigen zijn in de loop van de evolutie tal van verschillende receptoren ontstaan, met telkens heel kleine veranderingen. Via die extra toeters en bellen zijn allerlei optimale combinaties ontstaan, waarbij elke

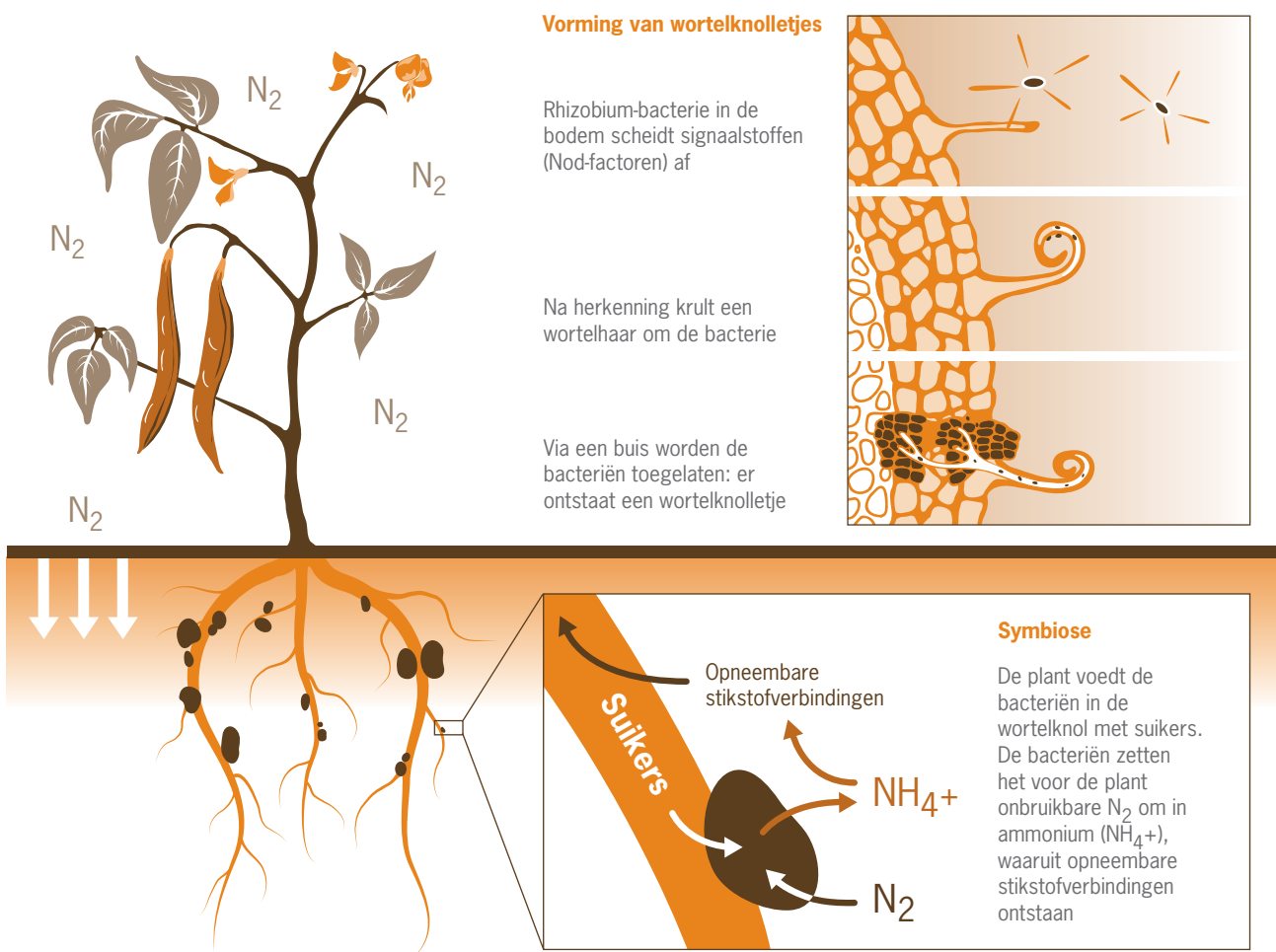
plantensoort met zijn eigen specifieke *Rhizobium*-bacteriestam samenleeft. Bisseling doet al 35 jaar onderzoek aan de *Rhizobium*-symbiose. Op korte termijn verwacht hij een doorbraak: ‘Dankzij de technische vooruitgang is nu voor een paar ton het genoom van allerlei planten fantastisch gedetailleerd in kaart te brengen. De gegevens van vier vlinderbloemigen – soja, luzerne, lotus en cajan-erwt – zijn al binnen. Maar met het interpreteren van al die bioinformatie die nu ineens uit het genoomonderzoek beschikbaar komt, zijn we nog wel even bezig.’

ZWARTE MAGIE

Twee verdiepingen hoger in hetzelfde universiteitsgebouw onderzoekt de groep van hoogleraar Plantaardige productiesystemen Ken Giller in het N2Africa-project hoe vlinderbloemige gewassen zowel de voedselproductie als de bodemvruchtbaarheid bij kleine boeren in Afrika kunnen verhogen. Zelf werkt Giller al 25 jaar in Afrika. Zijn N2Africa-project is een consortium van onderzoeks- en ontwikkelingsorganisaties uit de hele wereld. Het project moet de levensstandaard van ruim 200 duizend kleine boeren in meer dan tien Afrikaanse landen verbeteren, via de teelt van peulvruchten. Twee jaar geleden stak de Bill & Melinda Gates Foundation 19,2 miljoen dollar in het project en recent nog eens 1,3 miljoen. Ook de Howard G. Buffett Foundation steunt N2Africa, met 2 miljoen dollar.

Veel onderzoek is gericht op het selecteren van de juiste *Rhizobium*-bacteriestammen voor elk gewas. Giller legt een paar plastic zakjes op tafel afkomstig uit Zimbabwe. In zo’n zakje zit 400 gram fijngemalen turf, vermengd met *Rhizobium*-bacteriën, vol-

STIKSTOFBINDING BIJ VLINDERBLOEMIGEN



doende om 100 kilo zaad mee te behandelen. Door gebruik van dit 'inoculant' gaat de oogst spectaculair omhoog. Lokale boeren spreken van 'zwarte magie'. De methode is heel goedkoop. Het inoculant wordt ter plaatse geproduceerd. De turf beschermt de Rhizobium-bacteriën tegen

uitdroging. Een goed ras met het juiste inoculant en een klein beetje fosfaatmest kan de oogst al snel verdubbelen of verdrievoudigen. Dan haalt de boer zijn investeringen er snel uit. Ook verbeteren vlinderbloemigen de bodemvruchtbaarheid. Na de bonenoogst zal ook de maïs-

oogst beter zijn.

'We zoeken voor elk gebied het meest veelbelovende gewas', vertelt Gillers collega Linus Franke. 'In de Soedan-savanne in Noord-Nigeria, is het klimaat heel droog en de grond zanderig. Het groeiseizoen duurt er door gebrek aan regenval maar >



FOTO'S N2AFRICA

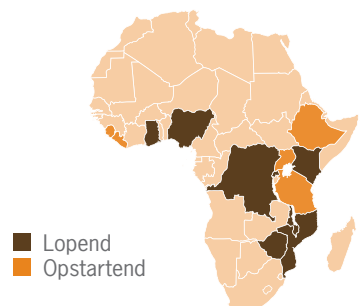
Door gebruik van extra Rhizobium-bacteriën gaat zowel de vorming van wortelknolletjes als de oogst spectaculair omhoog

N2AFRICA

Ken Giller werkt in het project N2Africa met een consortium van onderzoeks- en ontwikkelingsorganisaties van over de hele wereld aan verbetering van de bodemvruchtbaarheid en voedselproductie bij kleine boeren in Afrika.

Het project omvat de hele keten van productie tot afzet, zoals het zoeken en introduceren van het meest succesvolle gewas voor elk gebied, het selecteren van de juiste Rhizobium-bacteriestam voor elk gewas, het verbeteren van de bodemvruchtbaarheid door de teelt van vlinderbloemigen, het ontwikkelen van afzetmarkten voor peulvruchten, het introduceren van nieuwe verwerkingstechnieken.

Giller werkt aan de teelt van peulvruchten in acht Afrikaanse landen: Democratische Republiek Congo, Ghana, Kenia, Nigeria, Malawi, Mozambique, Rwanda en Zimbabwe. Daarnaast worden nu vijf nieuwe landen bij het project betrokken; Ethiopië, Liberia, Oeganda, Sierra Leone en Tanzania.



‘De stokbonen verspreiden zich als een bosbrand’

drie maanden. Daar hebben we kousenband geïntroduceerd, een productief gewas dat het onder deze droge omstandigheden fantastisch doet.’

Ook zijn in Noord-Nigeria met succes nieuwe pindarassen beproefd, bijvoorbeeld in Kano State, een van de dichtstbevolkte streken van Afrika. 23 procent van de kinderen en 15 procent van de vrouwen in deze regio zijn ondervoed. Een huishouden, dat daar bestaat uit een ‘grootfamilie’ van gemiddeld 15 personen, moet er van een schamele paar hectaren land leven. Traditioneel verbouwt men hier al vlinderbloemigen voor eigen consumptie, maar nu steeds vaker ook voor de markt. De voor het project geïntroduceerde pindarassen bevatten meer olie en ze produceren veel en grote zaden. De vrouwen bereiden nu hun eigen olie door de pinda’s met een grote stok te stampen. Het residu wordt gebakken, als snack. De pinda’s leveren niet alleen eiwitten, maar ook allerlei belangrijke mineralen. Er is dan ook veel vraag naar de nieuwe rassen, mensen komen van heinde en verre om de nieuwe zaden te kunnen kopen.

In Noord-Rwanda teelden de boeren traditioneel alleen stambonen. ‘Door introductie van stokbonen uit koele streken in de Andes is de opbrengst verdubbeld’, vertelt Giller. ‘Stokbonen groeien langer door en worden hoger en daardoor benutten ze het groeiseizoen en het beschikbare licht beter dan stambonen. Maar stokbonen hebben wel bonenstaken nodig en waar haal je die vandaan? Daarvoor hebben we allerlei oplossingen bedacht, zoals maïsstaken, boomtakken of stokken van olifantsgras dat nu speciaal voor dat doel langs de bonenveldjes wordt geteeld. Die stokbonen verspreiden zich nu als een bosbrand.’

Stokbonen verlangen wel vruchtbare grond met een goed watervasthoudend vermogen en voldoende fosfaat. ‘De meeste bodems in Afrika zijn fosfaatarm en zonder mest brengen bonen op arme gronden vrijwel niks op’, zegt Franke. ‘Daarom hebben we laten zien hoezeer je de bonenoogst kunt verhogen door mest te gebruiken van de cavia’s en konijnen die in de dorpen worden gehouden. Alle beetjes helpen. Een gezin van meer dan tien personen heeft hier vaak maar een stukje land van 0,2 hectare om te bebouwen en van te leven.’

GOED ORGANISEREN

Volgens Franke importeert Afrika steeds meer soja, eveneens een vlinderbloemige, vooral als veevoer voor de snel groeiende kippenindustrie rond de grote steden. ‘Ik denk dat Afrika veel meer zelfvoorzienend kan worden door de eigen sojaproductie te verhogen. Maar het is een hele uitdaging om dat goed te organiseren zodat de Afrikaanse soja beter kan concurreren met importsoja. In Nigeria hebben we jarenlang veel werk gestoken in de veredeling van sojarassen om ze aan te passen aan lokale omstandigheden. Dat is een groot succes geworden. Allerlei sojaproducten worden nu langs de weg verkocht. Tegelijkertijd lukt het de boeren steeds beter de almaar groeiende kippenmesterij van soja te voorzien’, aldus Franke.

Giller: ‘Uiteindelijk zijn wij in de eerste plaats wetenschappers. Wij houden ons bezig met institutionele vragen. Bijvoorbeeld hoe je alle nieuwe problemen oplost die ontstaan als je een pilot opschaalt naar een groter project met duizenden boeren. Hoe krijgen die boeren toegang tot het Rhizobium-inoculant? Hoe voorkom je dat hun gronden uitgeput raken en hoe kun je uitgeboerde gronden na jarenlange maïsteelt weer vruchtbaar maken?’

Hoe krijgen boeren een betere toegang tot de afzetmarkten en hoe kun je nieuwe afzetmarkten voor peulvruchten ontwikkelen? Ons onderzoek betreft alle geldstromen in de hele productieketen, van het land naar de klant’, aldus Giller.

De kernvragen zijn: waar liggen kansen voor nieuwe introducties van peulvruchten en de bijbehorende nieuwe verwerkingstechnieken, en hoe werkt standaardkennis in de lokale situatie. Giller: ‘Grootschalige projecten als N2Africa bieden mooie kansen om vergelijkende studies uit te voeren tussen verschillende regio’s in Afrika. Via ons veldwerk ontwikkelen we een wetenschappelijk model voor de hele productieketen. Intussen nemen organisaties als de Bill & Melinda Gates Foundation de problemen van Afrika nu heel serieus. Over de toekomst van de Afrikaanse landbouw ben ik dan ook absoluut optimistisch gestemd!’ ■



FOTO GUY ACKERMAN

KEN GILLER,
Hoogleraar Plantaardige
productiesystemen,
Wageningen University

‘Ik denk dat Afrika meer zelfvoorzienend kan worden door de sojaproductie te verhogen’