

# KATOEN



## Het witte goud

**O**verdag dragen we het, 's nachts slapen we ertussen: katoen. Het natuurlijke materiaal is luchtig, absorbeert goed en kriebelt niet. Maar het heeft ook schaduwkanten. De teelt vergt bijvoorbeeld veel water, kunstmest en bestrijdingsmiddelen. En de kleine Afrikaanse katoenboer kan onmogelijk concurreren met de grootschalige katoenteelt in de VS, waar grote landbouwsubsidies worden gegeven.

Katoenvezels bestaan uit cellulose, een koolhydraat. Vergeleken met het zustermolecuul zetmeel is cellulose sterker en bovendien onverteerbaar voor mensen. Het verschil wordt veroorzaakt door de chemische ordening van de ketenvormige koolhydraten.

Behalve vezels produceert de katoenplant ook eiwit- en olierijke pitten. Helaas zijn ze giftig, maar daar hebben biotechnologen iets op bedacht. En volgens textieltechnologen kan katoen milieuvriendelijker worden gebleekt dankzij de katalysator uit het mislukte wasmiddel OMO-Power.

### In deze Chemische Feitelijkheid

- De Context: De katoenteelt vergt onevenredig veel water en bestrijdingsmiddelen. Valt dat op te lossen?
- De Basis: Katoenpluizen bestaan uit cellulose. Hoe maak je van zo'n pluus een T-shirt?
- De Diepte: Moderne biotechnologie maakt giftige katoenpitten eetbaar. Wat is de truc?

Katoen is lekker licht en luchtig. Jaarlijks produceren katoentelers meer dan 20 miljard kilo van het 'witte goud'. Helaas is niet alles goud wat er blinkt, want de katoenteelt vergt veel **bestrijdingsmiddelen** en water.

# De keerzijde van katoen

**A**l 5.000 jaar geleden teelde men in India en Peru katoen. Maar onduidelijk blijft hoe oud de katoenteelt precies is en wie de eerste telers waren. Er bestaan sporen in Mexicaanse grotten van 7.000 jaar oud, terwijl Egyptenaren 14.000 jaar geleden al katoen zouden hebben gebruikt. Vast staat wel dat rond 1600 in alle tropische regio's katoen werd geteeld: van Afrika tot Azië, van Zuid-Europa tot Amerika.

Katoen bereikte Europa via India. 'Er zijn daar bomen die in het wild groeien, en het fruit daarvan is een wol die mooier en beter is dan die van schapen. De Indiërs maken hun kleren van deze boomwol', zo schreef de Griekse historicus Herodotus rond 450 voor Christus enthousiast. Begrijpelijk, want katoen is licht, luchtig, kriebelt niet, gaat lang mee en is makkelijk te verven. Toch zou het nog tot het eind van de 18<sup>e</sup> eeuw duren voordat katoen in onze contreien de traditionele wollen en linnen kleding verdrong. De kentering kwam nadat in 1769 in Engeland de spinmachine werd uitgevonden door James Hargreaves, een



De karakteristieke vrucht van de katoenplant *Gossypium hirsutum*: een bol met zaadpitten, omgeven door katoenpluis.

wever uit Blackburn. Dankzij deze *spinning Jenny* kon katoen snel en dus goedkoop worden gesponnen. De handaangedreven machine spinde meerdere draden tegelijk: eerst 16, later meer dan 100.

De katoenteelt levert tegenwoordig jaarlijks ruim 20 miljard kilo katoen op. Het natuurlijke materiaal krijgt overigens steeds meer concurrentie van synthetische vezels: de productie van nylon, polyester en acryl groeit elk jaar, terwijl die van katoen stabiliseert. Rond 1990 was ongeveer de helft van alle textielvezels van katoen, nu is dat nog maar een derde.

## PLUIS

'**H**et witte goud', zoals Afrikanen katoen noemen, wordt gemaakt van de pluizen van de katoenplant, een eenjarige struik met de officiële naam *Gossypium hirsutum*. Nadat de bloemen zijn uitgebloeid vormt de plant vruchten: een bol met daarin zaadpitten omgeven door katoenpluis. Is de vrucht rijp, dan barst de katoenbol open. De struik zit dan vol witte, pluizige bollen met binnenin de pit – ook wel katoenzaad genoemd. Doel

van de pluizen is het verspreiden van dit zaad. Bollen die van de plant afvallen rollen bij het minste zuchtje wind over de grond; ook blijven ze drijven op water.

Op katoenplantages worden de bollen geplukt, waarna men de witte katoenvezels van de pitten trekt en tot draden spint. Die draden worden vervolgens geweven of gebreid tot stof. Van het afval uit de spinnerijen worden onder andere verbandwatten gemaakt. De pitten zelf worden gebruikt als zaaigoed, als veevoer of om olie uit te persen.

## WATERVRETER

**D**e katoenstruik is een (sub)tropische plant, die van warmte en vocht houdt. Voor de teelt en productie van 1 kilo katoen wordt soms meer dan 7.000 liter water verbruikt. Ter vergelijking: een kilo graan heeft genoeg aan 900 liter. In Oezbekistan leidde de enorme watervraag voor de katoenproductie tot uitdroging van het Aralmeer, dat de afgelopen veertig jaar gekrompen is tot minder dan een kwart van haar oorspronkelijke grootte. Het resterende meer bevat nauwelijks nog leven door het hoge zoutgehalte en door vervuiling met gewasbestrijdingsmiddelen. Inmiddels is al bijna de helft van de landbouwgrond in Oezbekistan onbruikbaar door verzilting.

Het gigantische watergebruik is niet de enige schaduwzijde van katoen. Het gewas bedekt circa 2,5 procent van alle landbouwgrond, maar verbruikt 11 procent van het totaal aan gewasbeschermingsmiddelen en zelfs een kwart van alle geproduceerde insecticiden. Op machinaal bewerkte plantages zet men ook ontblademiddelen in. Katoentelers hebben vooral last van de *boll worm*, de rups van een nachtvlinder. Deze mot



De bloem van de katoenplant, die slechts vierentwintig uur lang bloeit.



Amerika kende van oudsher grote katoenplantages (ooit de aanleiding voor de slavenhandel) én grote spinnerijen. Maar ook de lage landen lieten zich niet onbetuigd. Gent had de eerste fabrieken waar stoom zorgde voor de aandrijving van de weef- en spinmachines. Er werd wol gesponnen, maar ook katoen dat via Engeland uit India kwam of uit de zuidelijke staten van de VS. Na de verzelfstandiging van België in 1830 ontwikkelde Nederland een eigen katoenindustrie in Twente.

legt haar eitjes in de katoenbol, waarna de rupsen zich te goed doen aan de pit. Daarbij beschadigen ze de katoenpluis, die hierdoor verkleurt.

De teelwijze van katoen verschilt sterk. In Afrika is vaak sprake van kleine plantages, waar handmatig wordt geplukt en de regen voor bevloeiing zorgt. Het milieugevaar zit daar voornamelijk in het gebruik van gevaarlijke – en grote hoeveelheden – pesticiden. De VS kent uitgestrekte plantages die machinaal worden bewerkt; daar zorgen vooral het grote gebruik van kunstmest en het gebruik van spuitvliegtuigen voor milieuproblemen.

### EERLIJK EN GROEN

Organisaties als Max Havelaar en Fair Trade promoten 'schone kleren' en 'eerlijke katoen'. Deze katoen is vooral afkomstig uit West- en Centraal-Afrika.

De telers zijn met name kleine landbouwers die via de organisaties een redelijke en gegarandeerde prijs ontvangen voor hun katoen, zodat ze enigszins kunnen concurreren met de gesubsidieerde katoen uit de VS.

De organisaties streven tevens naar een milieuvriendelijkere en gezondere teelt. In Afrika betekent dat vooral het terugdringen van bestrijdingsmiddelen en kunstmest, die niet alleen de natuur maar ook de mens kunnen schaden. Bovendien maakt het gebruik van deze hulpstoffen kleine boeren sterk afhankelijk van de katoenopkopers. Zij zijn namelijk ook vaak de leverancier van kunstmest en bestrijdingsmiddelen.

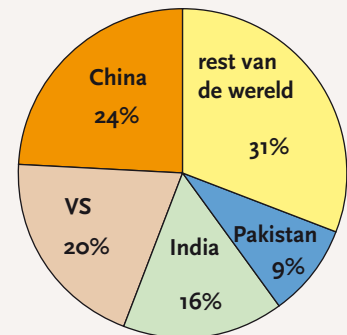
Behalve eerlijke katoen bestaat er ook biologische katoen, geteeld zonder kunstmest of synthetische bestrijdingsmiddelen. Het aandeel van deze 'groene' bio- of ecokatoen bedraagt nog slechts een schamele procent, maar verdubbelde de afgelopen jaren telkens. De belangrijkste producenten van ecokatoen zijn Turkije en India.

### GENTECH

In de VS en China komt het overgrote deel van de katoenoogst inmiddels van genetisch gemodificeerde katoenplanten. Er bestaan twee varianten: Bt-katoen en HR-katoen. Bt-katoen heeft een gen 'geleend' van de bodembacterie *Bacillus thuringiensis*, waardoor de plant het eiwit delta-endotoxine produceert. Dit eiwit is giftig voor veel insecten; het schaadt hun maag. Hierdoor wordt de gemodificeerde katoenplant beschermd tegen de *boll worm* en andere schadelijke organismen, waardoor de teelt minder insecticiden zou vragen.

### PRODUCTIE WERELDWIJD

Wereldwijd is ongeveer 2,5 procent van alle beschikbare landbouwgrond beplant met katoen. In totaal gaat het om 31 miljoen hectare – bijna tien keer de oppervlakte van Nederland. Grootste producenten zijn de VS, China, India en Pakistan, die samen goed zijn voor ruim twee derde van de wereldproductie. Maar katoen wordt in nog meer dan 60 andere landen geproduceerd, waaronder Griekenland, Spanje en Portugal. Ook Turkije is een belangrijke producent.



Bron: Department of Agriculture, VS

Nederland importeert jaarlijks zo'n 3 miljoen kilo katoen. De totale wereldproductie ligt al decennia boven de 20 miljard kilo per jaar. Daarmee is katoen een belangrijker product dan koffie (circa 7 miljard kilo per jaar), maar blijft het ver achter bij graan (2.000 miljard kilo per jaar).

Ook herbicide resistente (HR) katoen bevat een gen van een bodembacterie. Dit gen maakt de plant bestand tegen glyfosaat, een onkruidverdelger die een enzym blokkeert dat planten nodig hebben voor hun groei. De gemodificeerde katoenplant bevat een enzymvariant die ongevoelig is voor glyfosaat, waardoor het middel gespoten kan worden zonder dat de plant daaronder lijdt. Inmiddels zijn ook katoenplanten ontwikkeld die beide modificaties hebben: zij produceren zogeheten Bt/HR-katoen.

Net als bij andere landbouwgewassen bestaat er discussie over de wenselijkheid van genetisch gemodificeerd katoen. Niet alleen vanwege de vermeende risico's, maar ook vanwege het effect. De bestaande gentech-varianten groeien namelijk niet overal goed. Bovendien wijzen sommige studies uit dat bij Bt-katoen evenveel insecticiden moeten worden gebruikt als bij gewoon katoen. Maar telers lijken in ieder geval enthousiast: er zijn inmiddels miljoenen hectaren beplant met de gemodificeerde varianten.

### DUMPPRIJZEN



De prijs van ruwe katoen schommelt rond de 1 euro per kilo. Die prijs wordt voor een groot deel bepaald door overheids subsidies in de VS en China. Vooral de VS subsidieert haar katoenteelt sterk. Brazilië en een aantal West-Afrikaanse landen protesteren al jaren tegen de dumprijzen bij de Wereldhandelsorganisatie (WTO). Die stelden hen in 2005 in het gelijk: subsidies trekken de markt scheef. Landen werden opgeroepen hun katoen niet langer te subsidiëren. De EU besloot daarop haar steun aan Griekse en Spaanse producenten te verminderen. De VS schafte enkele exportsubsidies af, maar kent nog steeds grote binnenlandse subsidies.

Bron: Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Aus

Katoen is de zuiverste vorm van de koolhydraat **cellulose**. De natuurlijke productie is een ingenieus proces, waarbij laagje voor laagje een sterke structuur ontstaat. Na de natuur is de mens aan zet, die de vezels moet spinnen, weven, bleken en verven.

# Koolhydraten aan je lijf

**K**atoen bestaat uit cellulose, de meest voorkomende koolhydraat op aarde. En tevens het meest voorkomende natuurlijke polymeer, want cellulose vormt het belangrijkste bouw materiaal van planten en bomen. Jaarlijks produceert de natuur liefst 100.000 miljard kilo: stammen, takken, stengels, gras en bladeren bestaan voor een groot deel uit deze koolhydraat.

Chemisch gezien lijkt cellulose als twee druppels water op zetmeel, de voedingsstof die in aardappels, graan en rijst voorkomt. Beide koolhydraten zijn natuurlijke polymeren: ze bestaan uit lange ketens

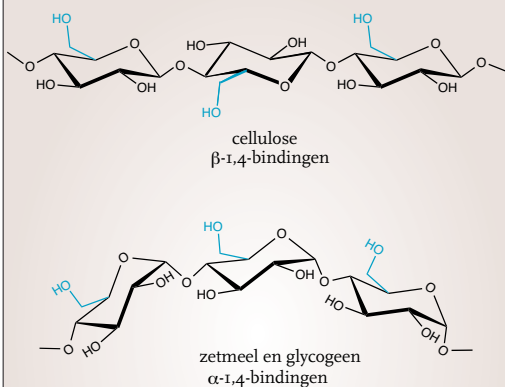
van gekoppelde moleculen – in dit geval glucose. Het verschil tussen zetmeel en cellulose zit in de manier waarop de glucosemoleculen aaneengeklonken zijn. In cellulose is de keten relatief recht, terwijl de keten in zetmeel van nature gedraaid is.

Cellulose lost niet op in water en is mede daardoor een moeilijk afbreekbaar materiaal. Mensen kunnen het zelf niet verteren, terwijl zetmeel voor ons helemaal geen probleem vormt. Grazers en sommige insecten zijn wel in staat het materiaal te verwerken. Een koe bijvoorbeeld kan dankzij haar vijf magen het cellulose uit gras in kleinere suikers opbreken en er energie uit halen.

geordend parallel naast elkaar met hun neuzen in dezelfde richting. Voordeel daarvan is dat de vezels direct te spinnen zijn. Ook in de stengel en bladeren van de katoenplant zit cellulose, maar dat heeft een heel andere ordening en bevat veel lignine – een polyaromaat dat de cellulose onhandelbaar maakt.

Plantencellen maken cellulose aan in hun celmembranen, waarin enzymcomplexen (de *cellulosesynthases*) liggen die glucosemoleculen kunnen koppelen. De koolhydraten worden in het complex aaneengeregend tot celluloseketens. Eén 'cellulosefabriekje' bestaat uit zes onderdelen en heeft de vorm van een rozet. Als het complex actief is, produceert het 18 of 36 celluloseketens tegelijk. Deze hechten aan de andere zijde van het membraan direct aan een tot een bundel: een microfibril

## GEORDEDE KETENS



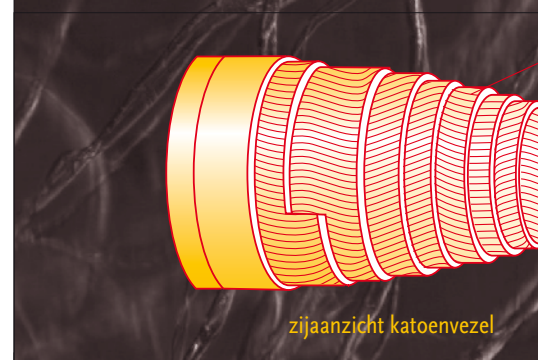
In cellulose is de polymeerketen vrij recht doordat de grootste zijgroepen ( $\text{CH}_2\text{OH}$ ) van de glucose-eenheden om en om zitten. Hierdoor hebben de ketens een voorkeur om langgerekt naast elkaar te liggen, waarbij ze onderling tal van waterstofbruggen kunnen vormen die de ketens extra sterkte geven. In zetmeel zitten de zijgroepen daarentegen allemaal aan dezelfde kant, waardoor het molecuul van nature draaiingen maakt. |

## KRISTALLIJN

**D**e Franse chemicus Anselme Payen staat te boek als de ontdekker van cellulose. Hij ontrafelde in 1842 de chemische samenstelling. Het was vervolgens de Brit Walter Haworth die in 1928 bewees dat de glucose-eenheden in katoen via zogeheten ( $\beta$ 1-4)-bindingen aan elkaar gekoppeld zijn tot lange onvertakte ketens. Hij ontving in 1937 de Nobelprijs voor zijn werk aan koolhydraten.

Wat maakt de cellulose uit katoen nu zo bijzonder? Het antwoord schuilt in de katoenpluis, waarvan de vezels de meest pure vorm van cellulose vormen. De pluis bevat weinig andere stoffen; ongeveer 94 procent van het gewicht van een vezel komt voor rekening van celluloseketens. Die ketens zijn niet alleen lang (ze bevatten duizenden glucose-eenheden), maar bovendien voor zo'n 60 procent kristallijn: een groot deel van de moleculen ligt

## HOLLE VEZEL



De celmembranen in de vrucht van de katoenplant tegen de buitenwand van de cel worden afgezet. Zo structureel. De oriëntatie van de microfibrillen in de dikte van de vezel is soms parallel aan de lengteas. Bij de katoenplant is het resultaat: in een helix. Als de katoenpit rijp is sterft de cel, droogt het resultaat: o

## TEXTIEL UIT DE NATUUR

## katoen



Katoen bestaat uit cellulose uit de pluizen van de uitgebloeide bloem van de katoenplant. De cellulosevezels bestaan uit geordende glucoseketens die onderling verbonden zijn via waterstofbruggen.

## wol



Wol wordt gemaakt van de haren van schapen, geiten, lama's of kamelen en bestaat uit het eiwit keratine. De helixvormige keratine-bundels zijn onderling verbonden door disulfidebruggen tussen aminozuren.

## linnen



Linnen is afkomstig van de vlasplant en bestaat net als katoen uit cellulose (70-80%). Vezels van linnencellulose zijn grover, minder zuiver, onregelmatiger en langer dan in katoen, maar ook 2 tot 3 keer zo sterk.

## zijde



Zijde wordt gemaakt van de cocon van de zijderups en bestaat uit de eiwitten fibroïne (70-80%) en sericine (25-30%). Een cocon bevat een draad van 600 meter of langer. Zijde is extreem sterk en kan relatief meer gewicht dragen dan staal.

van enkele micrometers lang en een paar nanometer dik. In de katoenplant worden deze microfibrillen tijdens hun productie voortdurend afgezet aan de buitenwand van de cel, waardoor een gelaagde structuur ontstaat. Tezamen vormen die lagen de celwand. Tijdens de groei omringt het membraan de celkern en het celvocht. Wanneer de katoenpit rijp is en de bol openspringt, sterft de cel, droogt het celvocht op en blijft alleen de celwand over. Zo ontstaat uiteindelijk een holle vezel.

Een katoenvezel zoals die op de katoenpit groeit, bestaat uit één enkele cel. Die groeit vanaf het oppervlak van de zaadpit in ongeveer zestien dagen uit tot een lengte van 2,5 tot 6 centimeter. Dan stopt de groei abrupt en wordt alle energie

gestopt in het 'aandikken' van de celwand met cellulosefibrillen.

## VAN PLUIS TOT SHIRT

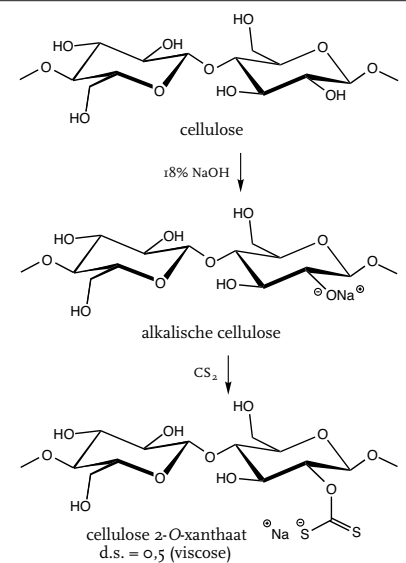
Als de katoenvezels volgroeid zijn kunnen ze verwerkt worden. In Afrika plukken boeren de katoenbollen met de hand, in de VS gebeurt dat geheel machinaal. Handmatig plukken is zwaar werk, maar heeft als voordeel dat de katoen wordt geplukt als deze precies rijp is. Bij machinale pluk wordt alle katoen in één keer van de plant gehaald. Na de oogst worden de bollen gedroogd, waarna de katoenpluis van de zaden wordt gesneden. Daarbij zeft men ook de verontreinigingen eruit en worden de vezels gewassen.

De volgende stap is het spinnen: het in elkaar draaien van de vezels tot een draad. Doordat katoenvezels relatief kort zijn (maximaal 6 centimeter, tegenover 10 centimeter bij wol) vergt dit veel vaardigheid. Is de katoen gesponnen, dan worden de draden om elkaar heen gedraaid ofwel getwijnd. Deze getwijnde draden worden vervolgens geweven of gebreid. Van de verkregen stof kan men dan bijvoorbeeld kleding, gordijnen, lakens of handdoeken maken.

Maar voordat de stof in de gewenste kleur kan worden geverfd, is bleken noodzakelijk. Katoen heeft van nature een zachtgele tint, die ontstaat door achtergebleven pigment uit de zaden. Met waterstofperoxide en natronloog breekt men dit pigment via oxidatie af, waardoor het materiaal wit kleurt.

## KUNSTZIJD

In kledingwinkels lees je vaak de kreet 'synthetisch katoen'. Hiermee wordt rayon of viscose bedoeld, een cellulosevezel die ook wordt aangeduid als kunstzijde. Rayon wordt gemaakt van cellulose uit houtpulp of uit restanten van katoenpluis. Uit het hout wordt cellulose vrijgemaakt en opgelost in natronloog, waarbij een soort cellulosezout ontstaat. Hierna voegt men koolstofdissulfide ( $CS_2$ ) toe dat reageert tot cellulosexanthaat.



Cellulosexanthaat is een stroperige vloeistof die door de gaatjes van een spindop in een zuurbad wordt geperst. Het zuur zorgt ervoor dat de xanthaatgroepen verdwijnen en het cellulose weer vast wordt. Hierdoor ontstaan 'draadjes' van cellulose. Een T-shirt van viscose komt dus meestal niet van de katoenplant, maar van bomen. Het productieproces lijkt op dat van synthetische vezels zoals nylon of acryl, die ook uit een oplossing versponnen worden.



produceren continu microfibrillen van cellulose, die uiteindelijk een celwand met een gelaagde structuur verschilt: soms liggen ze loodrecht op de vezel draaien de meeste microfibrillen om de cel heen op het celvocht op en blijft alleen de celwand over. Zo ontstaat uiteindelijk een holle vezel.

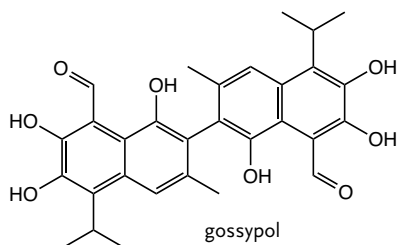


Circa een derde van alle textielvezels bestaat uit katoen. Het materiaal krijgt steeds meer concurrentie van synthetische vezels, waaronder nylon, polyester en acryl.

Per kilo katoenpluis levert de katoenplant ook ruim anderhalve kilo pitten op. Die zijn rijk aan olie en eiwitten, maar helaas giftig. Via **genetische modificatie** maken biotechnologen de pitten toch eetbaar.

# Een product met **pit**

**K**atoen wordt gekweekt vanwege de vezels, maar kent een interessant bijproduct. Met elke kilo pluis wordt ook meer dan anderhalve kilo pitten geproduceerd. Deze zaden zijn rijk aan olie en eiwit. Helaas zijn ze giftig voor varkens, kippen en mensen – in feite voor alle organismen met één maag. Daarom worden de pitten alleen maar gebruikt als koeienvoer en moet de olie geraffineerd worden. Jammer, want zonder het gif zouden de pitten wereldwijd een half miljard mensen kunnen voeden.



Het gif waar het om draait heet gossypol. Het is een gele stof die de katoenplant beschermt tegen vraat door insecten of dieren. Bij mensen blokkeert het gif de werking van enkele enzymen, zogeheten dehydrogenases. Een hoge dosis leidt tot diarree, ontkleuring van het haar, ondervoeding en hartproblemen.

Vijftig jaar geleden ontdekten katoentelers gossypolvrije katoenplanten. Vervolgens werd in de VS, Afrika en Azië een groot kweekprogramma gestart, met als doel een dubbele oogst: katoenpluis én eetbare pitten. Helaas werden de planten op het veld in rap tempo aangevreten.

## RNA-INTERFERENTIE

**M**ogelijk gaat dat veranderen dankzij onderzoekers van de Amerikaanse Texas A&M University. Eind 2006 slaagden zij erin om katoenplanten te maken

met eetbare pitten, dus zonder gif. Het bijzondere van de nieuwe, genetisch veranderde katoenplant is dat alleen de zaden een laag gossypolgehalte hebben. In de wortels, stengels, bladeren en bloemen blijft de concentratie gossypol onveranderd, waardoor de katoenplant nog steeds beschermd is tegen vraat.

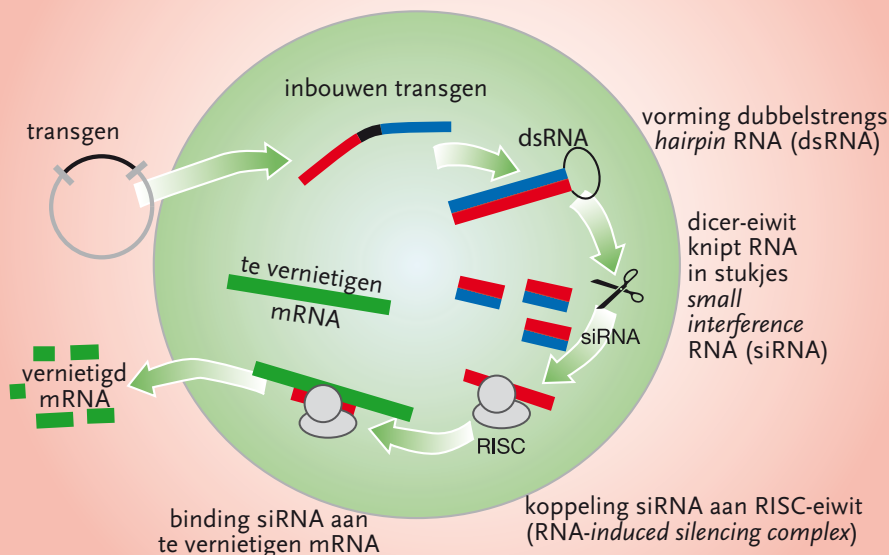
Voor deze subtiele ingreep maakten de Amerikaanse onderzoekers gebruik van een relatief nieuwe methode voor genetische modificatie: RNA-interferentie ofwel RNAi. Met deze techniek kan een bepaald gen letterlijk tot zwijgen worden gebracht, waardoor het eiwit of enzym waarvoor het codeert niet meer wordt geproduceerd. In dit geval gaat het om het gen voor het enzym  $\delta$ -cadinene synthase. Zonder dit eiwit kan de plant geen gossypol fabriceren, want het katalyseert de eerste stap

in de aanmaak van het gif. Een gewone katoenpit bevat 1 tot 20 gram gossypol per kilo, de Texaanse katoenplant nog maar 0,19 milligram per kilo – terwijl 0,6 milligram per kilo volgens de Wereldgezondheidsorganisatie WHO nog veilig is.

Hoe werd dat bereikt? Planten gebruiken RNAi ondermeer om RNA afkomstig van virussen weg te werken. Het is een soort immuunsysteem. De Texaanse biotechnologen voegden een speciaal DNA-fragment toe aan de grote collectie genen van de katoenplant. Dit zogeheten transgen is geen normaal gen dat eerst wordt vertaald in boodschapper-RNA (mRNA) en vervolgens in een eiwit. Integendeel: bij het aflezen van het transgen wordt RNA geproduceerd dat zich spontaan dubbelvouwt in een haarspeldvorm. Dit gebeurt doordat de twee helften van het RNA pre-

## ZWIJGENDE GENEN

RNA-interferentie is een manier om selectief genen uit te schakelen. Het gen komt niet tot expressie omdat het bijbehorend boodschapper-RNA wordt vernietigd.





Amerikaans proefveld met transgene katoenplanten.

cies op elkaar passen; hun basenvolgorde is complementair. Het transgen levert dus een fragment dubbelstrengs RNA op. Dergelijk dsRNA is uitzonderlijk in cellen en wordt door een eiwit snel opgeknipt in kleinere fragmenten, de siRNA's. Deze fragmenten koppelen met het zogeheten *RNA-induced silencing complex* (RISC), waarbij het siRNA enkelstrengs wordt en bindt met het te vernietigen mRNA.

De onderzoekers ontwierpen hun transgen zodanig dat het identiek is aan een deel van het katoengen voor  $\delta$ -cadinene synthase. Een van de strengen van de kleine siRNA's past dus precies op het mRNA voor  $\delta$ -cadinene synthase. Zodra ze elkaar tegenkomen, zullen ze aan elkaar hechten. Dit gebeurt enkel in de zaden, omdat het transgen een controlefragment bevat waarmee het gen alleen in zaden kan worden 'aangezet'. Dankzij het transgen bevatten de zaden nauwelijks intact  $\delta$ -cadinene synthase-mRNA en dus ook nauwelijks  $\delta$ -cadinene synthase. Het eindresultaat is gifvrij katoenzaad, want zonder enzym ook geen gossypol.

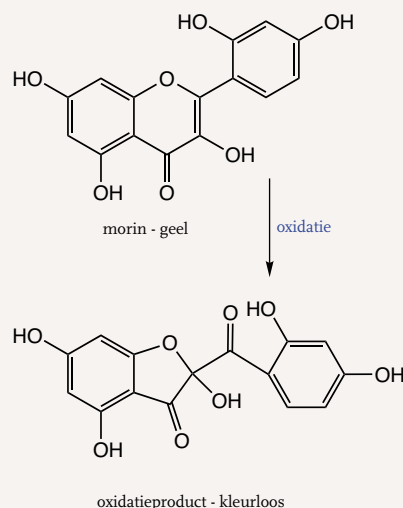
## SUCCES

Of het eetbare katoenzaad werkelijk een succes zal worden, valt niet te voorspellen. De onderzoekers hebben de gemodificeerde plant tot nu toe alleen in het lab gekweekt. Allereerst is het de vraag of deze variant ook buiten op het veld goed zal groeien én of hij daar inderdaad bestand is tegen insecten. Vervolgens blijft het de vraag of mensen genetisch gemodificeerde zaden willen eten. Vooral Europeanen zijn nog altijd huiverig voor dergelijk voedsel. Aan de zaden zal het niet liggen: ze hebben een notensmaak en kunnen worden geroosterd. Of vermalen, waarna ze bruikbaar zouden zijn als meel.

## SUPERSNEL BLEKEN

### DE HERRIJZENIS VAN OMO-POWER

Ruwe katoen ofwel 'pitjeskatoen' is niet hagelwit, maar zachtgeel met kleine zwarte spikkels. De kleur wordt veroorzaakt door resten van het natuurlijke pigment morin uit het omhulsel van de katoenzaden. Het gaat om zeer kleine hoeveelheden (minder dan 0,5 procent), maar genoeg om het heldere wit van de katoenpluis te verkleuren. Daarom wordt katoen na het spinnen en weven vrijwel altijd gebleekt. Tijdens het bleken reageert het pigment met zuurstof en verdwijnt de kleur:



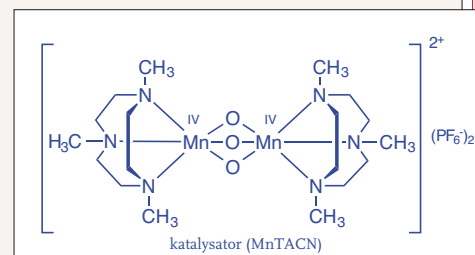
Dit traditionele bleekproces vergt veel water en energie. En vroeger ook chloor, want lange tijd werd gebleekt met natriumchloriet of hypochloriet ( $\text{NaClO}_2$  en  $\text{NaOCl}$ ). Sinds eind jaren zeventig gebeurt het bleken bijna overal met het minder milieubelastende waterstofperoxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Ook ecokatoen wordt meestal gebleekt met waterstofperoxide, al vindt onderzoek plaats naar alternatieve enzymatische methoden.

### OUDE BEKENDE

Volgens recente studies van de onderzoeksgroep Textieltechnologie van de Universiteit Twente kan het bleekproces een stuk energie- en milieuvriendelijker. Dankzij een katalysator wisten de Twentse onderzoekers katoen te bleken bij 30-40 °C (in plaats van bijna 100 °C) en bij een lagere pH (9,5-11 in plaats van 11 of meer). De katalysator die daarbij werd gebruikt is een oude bekende. Zo'n vijftien jaar geleden introduceerde Unilever een geruchtmakend wasmiddel, OMO-Power, met een nieuwe bleekkatalysator. Het poeder waste uitstekend: witter dan wit bij lage temperaturen. Maar het



werd al snel van de markt gehaald toen bleek dat kleren door veelvuldig wassen bij hoge temperaturen snel sletten en verbleekten. Bij het bleken van katoen, dat één keer gebeurt, vormt slijtage geen probleem. Vandaar dat men in Twente onderzocht of de katalysator hiervoor ingezet kon worden. De katalysator in kwestie is een mangaan-triazacyclononaan complex (MnTACN), dat in 1988 voor het eerst gemaakt werd door Duitse en Franse chemici. Zij onderzochten mangaanverbindingen die gelijkenis vertonen met enzymen die met behulp van licht oxidaties uitvoeren. MnTACN bleek oxidaties met waterstofperoxide uitstekend te versnellen. Het is bijvoorbeeld meer dan honderd keer zo effectief als de bleekactivator TAED (tetra-acetyلهyleendiamine) in wasmiddelen.



Het pigment in katoen dat ontkleurd moet worden, bestaat voornamelijk uit flavonoiden. Dit zijn polyfenolen die ook in thee- of rode wijnvlekken zitten. Het mangaan in MnTACN vormt een complex met deze verbindingen, waardoor zuurstof makkelijker de middelste van de drie ringen kan openbreken. Is de ring eenmaal opengebroken, dan is de flavonoïde niet langer gekleurd en wordt het katoen wit. Het Twentse onderzoek wijst uit dat katoen in een kwartier gebleekt kan worden met waterstofperoxide en kleine hoeveelheden katalysator (8 milligram per liter). Op dit moment werken de wetenschappers aan de ontwikkeling van een economisch rendabel proces op basis van de MnTACN-katalysator.

# Meer weten

## AANBEVOLEN LITERATUUR

- Kooistra K. en Termorshuizen A., *The sustainability of cotton*, rapport nr. 223, Wetenschapswinkel Wageningen UR, 2006.
- Sunilkumar G. *et al.*, Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol, *PNAS* 2006;103:18054.
- Topalović T., *Catalytic bleaching of cotton: molecular and macroscopic aspects*, proefschrift Universiteit Twente, 2007.

## AANBEVOLEN WEBSITES

- [www.groenewiel.nl/tropischeproducten/infokatoen.htm](http://www.groenewiel.nl/tropischeproducten/infokatoen.htm), [sanangelo.tamu.edu/agronomy/cotton/pgd/hacpg.htm](http://sanangelo.tamu.edu/agronomy/cotton/pgd/hacpg.htm), [www.cottoninc.com](http://www.cottoninc.com): algemene informatie over katoen.
- [www.sustainablecotton.org](http://www.sustainablecotton.org), [www.ekokatoen.nl](http://www.ekokatoen.nl), [www.biologischkatoen.nl](http://www.biologischkatoen.nl): informatie over ecokatoen.
- [www.cotton.org/journal/](http://www.cotton.org/journal/): *Journal of cotton science*
- [www.wur.nl/NL/onderzoek/Wetenschapswinkel/Projecten/katoenteelt](http://www.wur.nl/NL/onderzoek/Wetenschapswinkel/Projecten/katoenteelt): onderzoeksrapport Wageningen Universiteit over duurzame katoen.

## VOOR OP SCHOOL

1. Cellulose vormt het belangrijkste bouw materiaal van planten en bomen. Mensen kunnen dit koolhydraat niet verteren, maar herkauwers als koeien en geiten wel. Hoe doen ze dat?
2. Lignine is na cellulose het meest voorkomende organisch materiaal en zit in de celwand veel planten en bomen. Zoek de structuurformule van lignine. Waardoor wordt cellulose door dit molecuul onhandelbaar bij de verwerking?
3. In het monomeer van cellulose (D-glucose) liggen de grote groepen in de equatoriale positie (bèta). Bij vorming van cellulose vindt een koppeling plaats. Bij zetmeel is de koppeling axiaal (alfa). Zoek het mechanisme van deze koppelingen op. Licht je vondsten toe met reactievergelijkingen.
4. In cellulose kunnen de hydroxylgroepen vervangen worden door andere zijgroepen, zoals acetaat-, ester- en ethergroe-



Katoen is verkrijgbaar in een breed scala aan kleuren.

- pen. Dit levert cellulosederivaten die geschikt zijn voor maandverband, luiers, en 'ademende' kunstvezels. Wat zijn daarvan de structuurformules? Leg uit wat de eigenschappen van de vezels bepaalt.
5. Cellulose komt in alle planten voor. Leg uit waardoor uitgerekend cellulose van de katoenplant zo speciaal is? En licht het antwoord fysisch-chemisch toe.
  6. Veel kleding wordt gemaakt uit een combinatie van katoen en kunstvezels, bijvoorbeeld polyester. Geef twee overwegingen om samenstellingen te gebruiken. Betrek in je antwoorden de moleculaire bouw en eigenschappen van de vezels.
  7. Katoen is een natuurlijk polymeer van cellulose. Wat zijn de structuurformules van de synthetische alternatieven als polyesters en polyamiden? Geef overeenkomsten en verschillen met zijde en wol.
  8. Gossypol en morin zijn verwant aan plantenkleurstoffen (flavonoiden). Ze ontleen hun kleur aan een uitgebreid geconjugeerd  $\pi$ -elektronensysteem. Bij oxidatie (bleken) verdwijnt de kleur. Laat dat zien met behulp van structuurformules.
  9. Naast natuurlijk katoen speelt genetisch gemodificeerde katoen een steeds belangrijkere rol. Daarbij worden 'vreemde' genen ingebouwd. Geef met schema's en tekeningen weer hoe zo'n modificatie op DNA-niveau wordt uitgevoerd.
  10. Bij de teelt en productie van ecokatoen wordt rekening gehouden met mens en milieu. Noem twee voordelen van ecokatoen en twee nadelen.

## COLOFON

**Chemische Feitelikheden:** actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Losbladige uitgave van de KNCV, verschijnt drie maal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

**Redactie:**  
Alexander Duyndam (C2W)  
Marian van Opstal (Bèta Communicaties)  
Arthur van Zuylen (Bèta Communicaties)  
Gerard Stout (Noordelijke Hogeschool Leeuwarden)

**Productie en realisatie:**  
Bèta Communicaties  
tel. 070-306 07 26  
[betacom@planet.nl](mailto:betacom@planet.nl)

**Basisontwerp:** Menno Landstra

**Fotoverantwoording:**  
Foto's zonder bronvermelding zijn afkomstig van [www.istockphoto.com](http://www.istockphoto.com)

**Uitgever:**  
Roeland Dobbelaer  
Bèta Publishers  
Postbus 249, 2260 AE Leidschendam  
tel. 070-444 06 00  
fax 070-337 87 99  
[info@betapublishers.nl](mailto:info@betapublishers.nl)

**Abonnementen opgeven:**  
Abonnementenland  
De Trompet 1739, 1967 DB Heemskerk  
tel. 0251-31 39 39  
fax 0251-31 04 05  
[aboservice@aboland.nl](mailto:aboservice@aboland.nl)

**Abonnementen:**  
• papieren editie en toegang tot digitaal archief op internet: (inclusief verzamelmap): € 75,-  
KNCV- en KVCV-leden: € 65,-

• alleen toegang tot digitaal archief op internet: € 60,-  
KNCV- en KVCV-leden: € 50,-

Abonnementen kunnen elk moment ingaan. Abonnementen worden automatisch verlengd tenzij vóór 1 november van het lopende jaar een schriftelijke opzegging is ontvangen.

## KATOEN

editie 53  
nummer 235  
juni 2007

### Met dank aan:

- Ir. Karst Kooistra, Mavideniz/WUR, e-mail: [karst.kooistra@gmail.com](mailto:karst.kooistra@gmail.com)
- Dr. Tatjana Topalović/Dr.ir. Vincent Nierstrasz, Universiteit Twente, e-mail: [t.topalovic@utwente.nl](mailto:t.topalovic@utwente.nl) / [v.a.nierstrasz@utwente.nl](mailto:v.a.nierstrasz@utwente.nl)
- Prof.dr. Annemie Emons, WUR, e-mail: [annemie.emons@wur.nl](mailto:annemie.emons@wur.nl)
- Prof.dr. Hans Kamerling, Universiteit Utrecht, e-mail: [j.p.kamerling@chem.uu.nl](mailto:j.p.kamerling@chem.uu.nl)
- Dr. Jan Kooter, VU Amsterdam, e-mail: [Jan.Kooter@falw.vu.nl](mailto:Jan.Kooter@falw.vu.nl)