

## Bananen bedreigd

Bananen zijn de belangrijkste voedselbron voor meer dan 400 miljoen mensen in de tropen. De wereldwijde bananenproductie wordt bedreigd door schimmels die de Panama-ziekte veroorzaken. Wetenschappers en studenten van Wageningen UR onderzoeken hoe je deze ziekte bij bananenplanten kunt voorkomen en bestrijden.

De meest gegeten banaan komt van de cultivar 'Cavendish' van de bananenplant *Musa acuminata*.

Deze cultivar was tot voor kort ongevoelig voor de Panama-ziekte, veroorzaakt door de schimmel *Fusarium oxysporum*.

Inmiddels is er een nieuwe variant van deze schimmel verschenen, *F. oxysporum* TR4, die ook de Cavendish-cultivars aantast.

De schimmel infecteert de bananenplanten vanuit sporen in de bodem, waarna de schimmeldraden vanuit de wortels de transportvaten in groeien.

De wilde bananenplant is diploïd en vormt zaden.

De triploïde Cavendish is ontstaan uit twee varianten van *M. acuminata*.

De Cavendish-cultivar bezit twee sets chromosomen van de ene ouder en één set van de andere ouder, in totaal 33 chromosomen. De bananen van deze cultivar hebben géén zaden.

In afbeelding 1 is naast een Cavendish zonder zaden, een doorgesneden 'wilde' banaan mét zaden te zien.

afbeelding 1



- 2p 22 Leg uit waardoor de triploïde Cavendish **geen** zaden kan vormen.

Omdat bananenplanten na de bloei afsterven en er geen zaden beschikbaar zijn, moeten Cavendish-telers op een andere manier aan nieuwe planten komen. Dat doen ze door ondergrondse zijknoppen af te snijden en op te kweken tot nieuwe planten.

- 2p 23 Leg uit dat deze manier van vermeerderen de kans op verspreiding van de Panama-ziekte vergroot.

Doordat de Cavendish-planten geen zaden vormen, is klassieke veredeling uitgesloten als methode om ze minder gevoelig te maken voor *F. oxysporum*. De Wageningse onderzoeker Gert Kema gebruikt daarom genetische modificatie: hij probeert resistentie-genen tegen de schimmel uit een ander bananenras, *M. acuminata* ssp. *malaccensis*, (de Pahang-bananenplant) in te brengen bij de Cavendish.

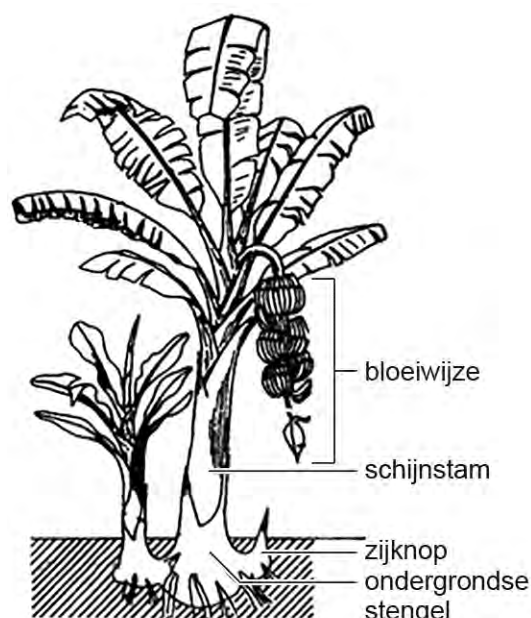
- 1p 24 Betreft dit een cisgene of een transgene modificatie? Licht je antwoord toe.

Veredeling door genetische modificatie is, in vergelijking met klassieke veredeling door kunstmatige selectie, goedkoper en geeft een sneller resultaat.

- 1p 25 Noteer nog een ander voordeel van genetische modificatie in vergelijking met de klassieke manier van veredelen.

Bananenplanten zijn géén bomen, want ze hebben geen echte stam. De schijnstam bestaat uit strak om elkaar gevouwen bladstelen die groeien vanuit een ondergrondse stengel. Vanuit het centrum van de schijnstam groeit een enorme bloeiwijze die door zijn toenemende gewicht naar beneden gaat hangen (zie afbeelding 2). De zetmeelrijke vruchten buigen tijdens hun groei naar boven: dáárom zijn de bananen krom!

afbeelding 2



*F. oxysporum* produceert fusarinezuur, een toxine waarmee de schimmel de plant kan binnendringen.

De schimmeldraden verstopten op den duur een deel van de houtvaten van de bananenplant.

- 2p 26 Leg uit hoe door het verstopping van houtvaten de CO<sub>2</sub>-opname vermindert, en daardoor de hele plant dood kan gaan.

Rijpe bananen bevatten veel zetmeel.

- 2p 27 Het zetmeel in een banaan is gevormd door parenchymcellen in
- A de vrucht.
  - B de bladeren van de plant.
  - C de schijnstam van de plant.
  - D de ondergrondse stengel van de plant.

Dat de bananen (de vruchten) naar boven krommen als de bloeiwijze naar beneden hangt, kan wijzen op beïnvloeding door de zwaartekracht of beïnvloeding door het licht.

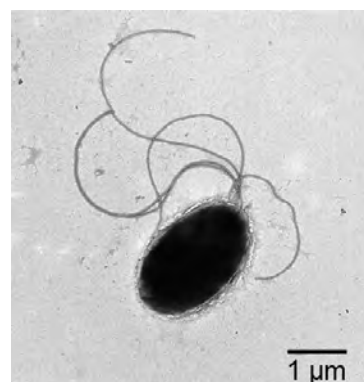
- 3p 28
- Beschrijf een werkwijze waarmee je kunt onderzoeken of de kromming van bananen aan de plant beïnvloed wordt door het licht.
  - Noteer ook een mogelijk resultaat én tot welke conclusie dat resultaat leidt.

Een alternatieve aanpak van de Panama-ziekte richt zich op het onschadelijk maken van de schimmel *F. oxysporum* met behulp van een fusarinezuur-resistente schimmelremmende bacterie.

Een groep Wageningse studenten modificeerde de fusarinezuur-resistente bodembacterie *Pseudomonas putida* (afbeelding 3) op zo'n manier dat deze alleen schimmelremmende stoffen gaat produceren als er fusarinezuur in de bodem komt.

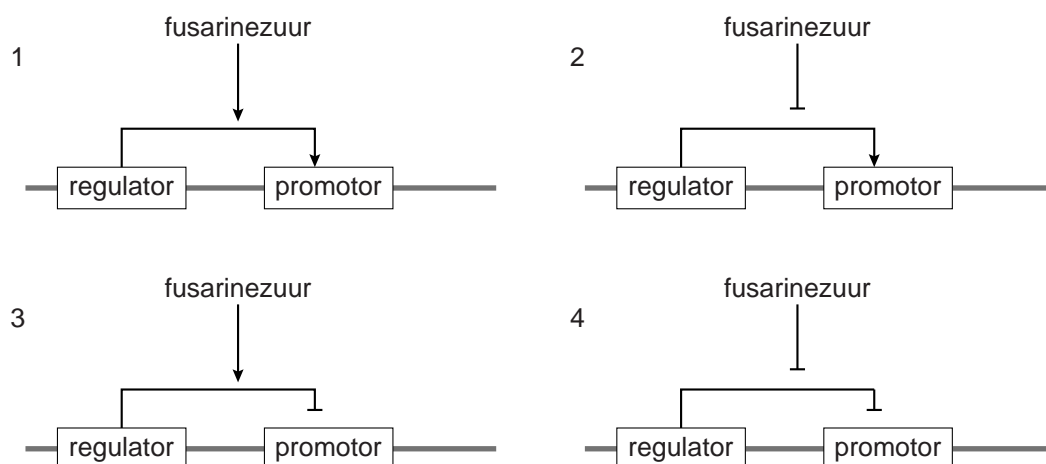
Ze gaven deze bacterie de naam 'BananaGuard'.

afbeelding 3



De gemodificeerde BananaGuard-bacterie vormt, alleen als zij in contact komt met fusarinezuur, een eiwit dat fusarinezuur de cel uitpomp. Het gen dat codeert voor dit eiwit is dus het fusarinezuur-resistentiegen. Dit gen heeft een promotor. De transcriptie van de promotor (en dus van het resistentiegen) is afhankelijk van onder andere een regulatoreiwit, gecodeerd door een regulatorgen. In afbeelding 4 zijn schematisch vier manieren getekend waarop deze promotor gereguleerd zou kunnen worden.

afbeelding 4



Legenda:

— = bacterie-DNA

→ = stimulering

—| = remming

- 2p **29** Welk schema geeft de manier weer om het resistentie-gen in de BananaGuard-bacterie alleen te activeren als er fusarinezuur is?
- A schema 1
  - B schema 2
  - C schema 3
  - D schema 4

De studenten brachten in *P. putida* een genconstruct waarin een detectie-eenheid zit voor fusarinezuur, en een aantal genen die coderen voor stoffen die de groei van allerlei schimmels remmen.

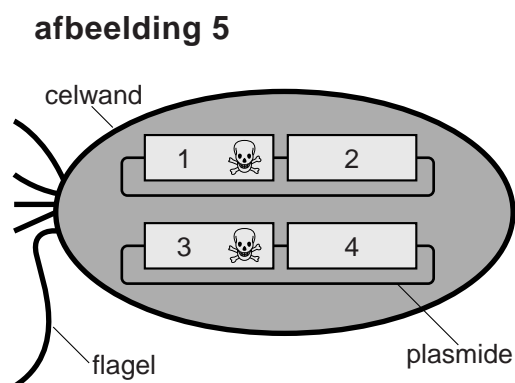
De BananaGuard-bacteriën gaan pas schimmelremmers produceren als ze fusarinezuur in de bodem detecteren.

- 2p **30** Leg uit waarom deze uitgestelde productie van schimmelremmers van belang is voor een ecosysteem zoals de bananenplantage.

De Wageningse studenten willen het risico uitsluiten dat het genconstruct door uitwisseling van plasmiden tussen bacteriën in andere bodembacteriën terecht komt.

Daartoe hebben ze een toxine-antitoxine-construct ontworpen dat op twee afzonderlijke plasmiden in elke BananaGuard-bacterie ingebouwd wordt. Een van deze plasmiden bevat ook het genconstruct dat bescherming biedt tegen *F. oxysporum*.

Gebruikt worden de genen voor de toxines *Zeta* (Z) en *Kid* (K) die dodelijk zijn voor bacteriën, plus een gen voor een antitoxine dat Zeta neutraliseert (anti-Z) en een gen voor een antitoxine tegen Kid (anti-K). De vier plaatsen waar deze genen worden ingebouwd zijn in afbeelding 5 met nummers aangegeven. De genen voor beide antitoxines staan 'aan', waardoor de expressie van de bijpassende toxines in de BananaGuard wordt onderdrukt.



Door een slimme combinatie van de vier genen, verdeeld over twee plasmiden per bacterie, is gebruik van deze BananaGuard-bacterie op de plantage wel effectief tegen schimmels, maar wordt het risico op verspreiding van het genconstruct naar andere bodembacteriën verkleind.

2p 31 Door welke van de volgende combinaties van genen per plasmide wordt dit risico verkleind?

	plaats 1 + 2:	plaats 3 + 4:
A	Z + K	anti-Z + anti-K
B	Z + anti-K	K + anti-Z
C	Z + anti-Z	K + anti-K