

De opheldering van het bacterieel immuunsysteem CRISPR-Cas is fundamenteel onderzoek waar zuivelbedrijven gebruik van kunnen maken. Met behulp hiervan kunnen zij hun melkzuurbacteriën beschermen tegen verschillende soorten fagen en zo voorkómen dat hun yoghurtcultuur eindigt als een waterige melk met klonten.

Drie suggesties voor een methode om een melkzuurbacterie te verkrijgen die immuun is voor meerdere soorten fagen zijn:

- 1 achtereenvolgens verschillende soorten fagen toedienen aan een bacteriestam die voor deze fagen nog niet immuun is
- 2 horizontale genoverdracht bevorderen tussen bacteriën met verschillende immuniteit voor deze fagen
- 3 met recombinant-DNA-techniek de CRISPR-locus van bacteriën uitbreiden met spacers van deze fagen

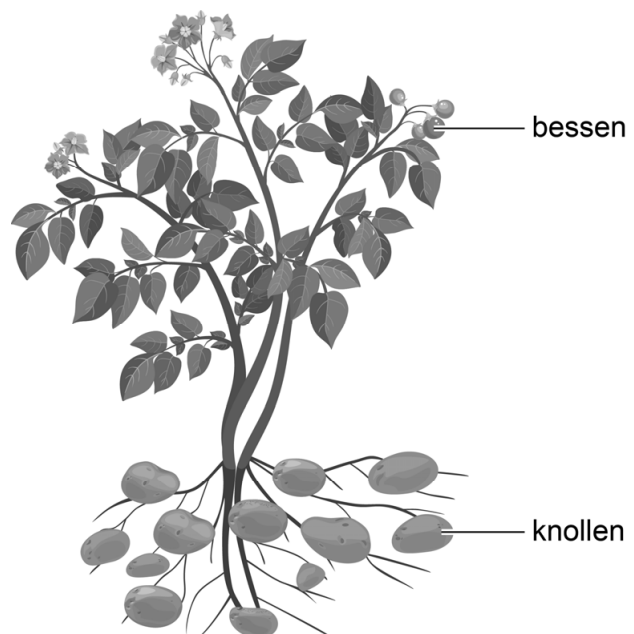
2p 23 Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende methode **wel** of **niet** kan leiden tot een bacterie die voor meerdere soorten fagen immuun is.

Aardappels veredelen

Dankzij een innovatieve techniek, ontwikkeld door een Nederlands plantenveredelingsbedrijf, kunnen boeren verbeterde aardappels telen uit zaad in plaats van uit pootaardappels.

Aardappelplanten (*Solanum tuberosum*) krijgen bloemen die na bestuiving uitgroeien tot bessen met honderden zaden. Beter bekend is de voortplanting door ondergronds gevormde zetmeelrijke knollen: de aardappels (afbeelding 1). De teelt van consumptieaardappels in Nederland is vooral gebaseerd op het gebruik van de knollen: een teler koopt ze als pootaardappels bij een vermeerderingsbedrijf en zet ze in de grond. Uit elke pootaardappel groeit een aardappelplant die weer nieuwe knollen produceert.

afbeelding 1



Gebruik van pootaardappels heeft voor een aardappelteler het voordeel dat de aardappelplanten die daaruit groeien, aardappels vormen van een constante kwaliteit.

- 2p **24** – Verklaar waardoor de aardappels uit pootaardappels over het algemeen een constante kwaliteit hebben.
- Noteer een oorzaak waardoor er toch verschillen kunnen zijn.

Zodra de pootaardappels of de uitlopers daarvan boven de grond uitkomen en er licht op valt, worden ze groen door de vorming van chlorofyl. In het licht neemt ook de hoeveelheid solanine, een giftige stof, in de bovengrondse delen van de plant snel toe.

Solanine wordt niet afgebroken tijdens het koken. Het Voedingscentrum raadt daarom aan de groene delen van aardappels vóór bereiding ruim weg te snijden.

Een middelgrote aardappel weegt 50 gram. De niet-groene delen van aardappels bevatten maximaal 10 mg solanine per 100 gram.

Vergiftigingsverschijnselen zoals misselijkheid, braken en hartritmestoornissen treden op bij een inname van 2,5 mg solanine per kilogram lichaamsgewicht per dag.

- 2p **25** Leg aan de hand van een berekening uit in hoeverre solaninevergiftiging door het eten van aardappels voor iemand van 80 kg een reëel risico is.

Tetraploïde (4n) aardappelplanten zijn vaak groter en produceren grotere knollen dan de diploïde planten. Doordat de rassen die in de landbouw worden gebruikt vrijwel allemaal tetraploïd zijn, is aardappelveredeling lastig.

- 2p **26** Hoeveel verschillende genotypen zijn bij tetraploïde aardappelplanten mogelijk voor één eigenschap met twee allelen?

- A 2
- B 3
- C 4
- D 5
- E 6
- F 8

Aardappelveredelaars hebben eeuwenlang getracht door kruising en selectie gewenste eigenschappen homozygoot in de tetraploïde planten te krijgen, zoals resistentie tegen het aardappelvirus PVS.

Een recessief allel *r* codeert voor deze resistentie.

Twee tetraploïde aardappelplanten met genotype RRrr worden met elkaar gekruist. Bij tetraploïde planten ontstaan na meiose diploïde geslachtscellen.

- 2p **27** – Noteer de genotypenverhouding van de mannelijke geslachtscellen in deze kruising.
- Noteer de kans op PVS-resistentie voor een nakomeling uit deze kruising.

Tetraploïde aardappelrassen veredelen om een hogere opbrengst te verkrijgen, is moeilijk en tijdrovend. De Wageningse onderzoeker Pim Lindhout begon daarom met diploïde rassen. Hij kruiste een diploïde *S. tuberosum* die relatief grote knollen vormt, met de verwante soort *S. chacoense* die kleine knolletjes maakt.

Bij de in de landbouw gebruikte aardappelrassen komt alleen kruisbestuiving (bestuiving met stuifmeel van een andere plant) voor, wat het lastig maakt om een homozygote zuivere lijn te verkrijgen.

S. chacoense-planten kunnen echter ook 'zelfbestuiven' (bevrucht worden door eigen stuifmeel) wanneer ze ten minste één B^S -allel bezitten.

Met een diploïd ras dat kan zelfbestuiven, wordt het veredelen een stuk eenvoudiger.

In bloemen van de diploïde *S. tuberosum* kan alleen kruisbestuiving optreden.

- 2p **28** Leg uit hoe kruisbestuiving kan leiden tot een evolutionair voordeel ten opzichte van zelfbestuiving.

Lindhout voerde een kruising uit tussen een *S. chacoense*- en een *S. tuberosum*-plant. Bij de aardappelplanten die daaruit ontstonden (F1) werd zelfbestuiving toegepast om een F2 te krijgen.

Van de planten in de F1 kon ongeveer 50% zelfbestuiven en in de F2 waren dat er 10 van de 13.

Met behulp van een kruisingsschema kunnen deze verhoudingen worden verklaard.

- 2p **29** – Geef de twee kruisingstabellen waaruit de genotypen in de F1 en de F2 blijken. Gebruik de symbolen B en B^S voor de allelen.
– Geef in beide tabellen aan welk gedeelte kan zelfbestuiven.

Een voordeel van zaad is dat het relatief vrij van ziekten en plagen kan worden geproduceerd in kassen, terwijl er bij de productie van pootaardappels in de volle grond meer risico op infectie is.

- 1p **30** Noteer nog een ander voordeel van zaad ten opzichte van pootaardappels bij de aardappelteelt.

In tabel 1 is de totale opbrengst en het geoogste oppervlak van drie typen aardappels weergegeven voor 2010 en 2015.

tabel 1

	2010		2015	
	totale bruto-opbrengst (in 1000 kg)	geoogste oppervlakte (ha)	totale bruto-opbrengst (in 1000 kg)	geoogste oppervlakte (ha)
consumptieaardappels	3 546 049	71 852	3 325 398	71 736
zetmeelaardappels	1 845 149	46 667	1 809 329	42 077
pootaardappels	1 452 331	38 450	1 516 965	41 848

In 2015 was de pootaardappel-opbrengst groter dan in 2010. Iemand beweert dat dit komt door een hogere productiviteit van de aardappelplanten in 2015 in vergelijking met 2010.

1p 31 Geef een argument om deze bewering te **weerleggen**.

Inmiddels zijn door kruisingen aardappels verkregen met een hoger eiwitgehalte dan gewone aardappels. Deze eiwitten kunnen worden toegepast ter vervanging van melk en eieren in bijvoorbeeld ijs en slagroom.

De productie van plantaardige eiwitten is ecologisch duurzamer dan de productie van dierlijke eiwitten.

2p 32 Leg dit uit aan de hand van de energiestroom in de voedselketen.