

Zwart door springend gen

Het schoolvoorbeeld van natuurlijke selectie is de kleurverandering van de berkenspanner. Britse biologen hebben aangetoond dat de donkere kleur wordt veroorzaakt door een springend stukje DNA: een transposon.

De berkenspanner (*Biston betularia*) is een nachtvlinder die overdag rust op de zwart-witte stammen van berkenbomen. Door een mutatie ontstond in de negentiende eeuw in Engeland een zwarte variant van deze nachtvlinder. Toen tijdens de industriële revolutie de berkenstammen in industriegebieden volledig donker kleurden door roetaanslag, nam de frequentie van de zwarte vorm in deze gebieden sterk toe. De oorspronkelijke vorm wordt *typica* genoemd, de zwarte vorm *carbonaria* (afbeelding 1). De kleurverandering blijkt veroorzaakt te zijn door een specifieke mutatie in het cortex-gen, dat een rol speelt in de vleugelaanleg van de berkenspanner.

afbeelding 1



Biston betularia f. typica

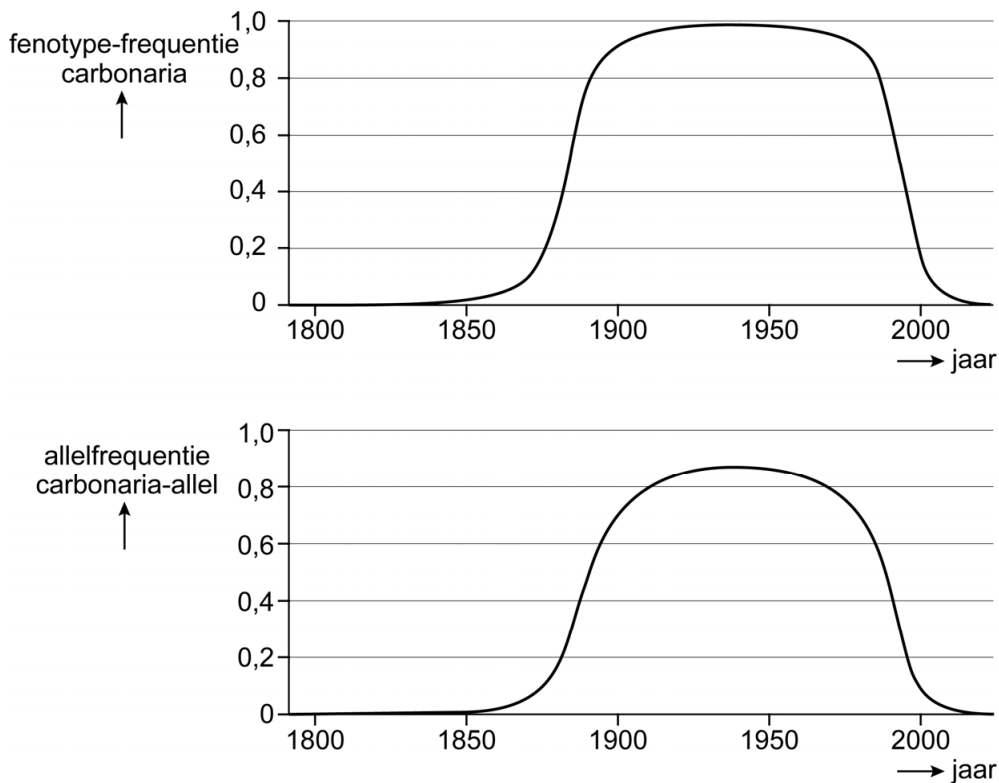


Biston betularia f. carbonaria

- 2p 7 Leg uit waardoor de frequentie van de carbonaria-vorm in de populatie sterk toenam in industriegebieden.

De veranderingen in de frequentie van het carbonaria-fenotype en het carbonaria-allel zijn weergegeven in afbeelding 2. De grafieken zijn het resultaat van simulaties op basis van enkele tellingen.

afbeelding 2



Met de informatie uit afbeelding 2 en de aanname dat de regel van Hardy-Weinberg van toepassing is, is af te leiden of het carbonaria-allel dominant of recessief is.

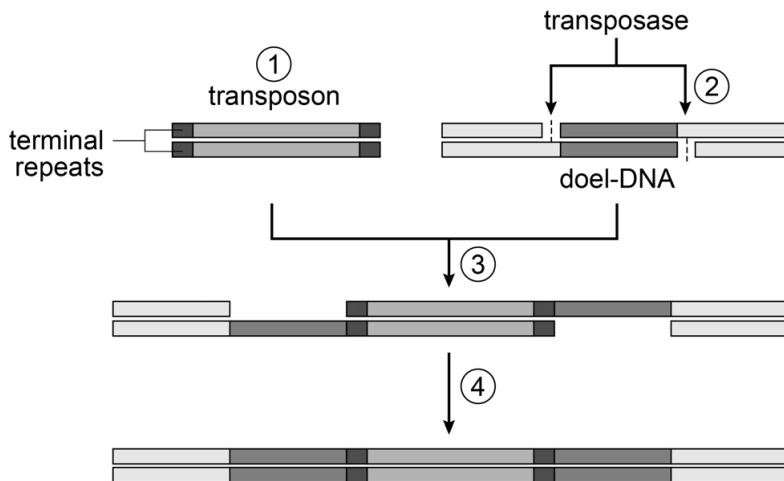
- 3p 8
- Bereken aan de hand van de allelfrequentie in 1900 wat de fenotypefrequentie van *carbonaria* zou zijn, ervan uitgaande dat het allel recessief is. Noteer je berekening en geef je antwoord in twee decimalen nauwkeurig.
 - Bereken zo ook wat de fenotypefrequentie zou zijn, ervan uitgaande dat het allel dominant is.
 - Licht toe, gebruikmakend van deze berekeningen en afbeelding 2, of het allel recessief of dominant is.

Uit de informatie is af te leiden dat het discutabel is dat er in 1900 sprake was van een hardy-weinberg-evenwicht in de populatie in de industriegebieden. Daarom zou de regel van Hardy-Weinberg eigenlijk niet toegepast mogen worden.

- 1p 9
- Licht toe waardoor er in 1900 waarschijnlijk geen sprake was van een hardy-weinberg-evenwicht.

Een transposon of springend gen is een mobiel stukje dubbelstrengs DNA dat binnen het hele genoom van plaats kan veranderen. Dat gebeurt met behulp van het enzym transposase, dat de nucleotidesequentie uit de DNA-streng knipt en op een nieuwe plaats er weer in plakt. Een transposon bevat minimaal een stuk DNA waarin het transposase-gen aanwezig is. Aan elk uiteinde van het transposon bevindt zich een nucleotidesequentie met een aantal herhalingen (terminal repeats). Het verplaatsen van een transposon verloopt in een aantal stappen (afbeelding 3).

afbeelding 3



- 1 Door de werking van het enzym transposase is het transposon losgemaakt uit de oorspronkelijke plaats.
- 2 Transposase knipt het doel-DNA open.
- 3 Transposase plaatst het transposon in het doel-DNA, waarbij aan weerszijden enkelstrengs DNA overblijft.
- 4 De DNA-keten wordt weer volledig dubbelstrengs gemaakt.

Het cortex-gen blijkt door een transposon veranderd te zijn.

- 1p 10 Welk type mutatie wordt in stap 3 weergegeven?
- A een deletie
 - B een genoommutatie
 - C een insertie
 - D een puntmutatie

Door het vermogen om gedeeltes van het DNA over chromosomen te verplaatsen, zijn de transposons een belangrijke bron van genetische variatie. Ook crossing-over veroorzaakt genetische variatie.

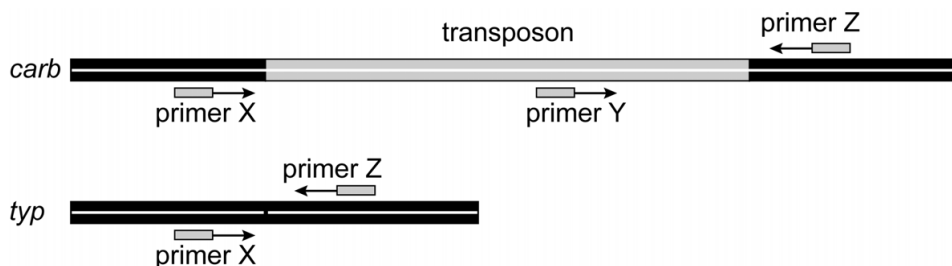
Over beide bronnen van genetische variatie worden de volgende beweringen gedaan:

- 1 Beide vinden vooral plaats tijdens mitose.
- 2 Bij beide verandert een deel van een nucleotideketen van plaats.
- 3 Bij beide vindt uitwisseling van informatie alleen plaats tussen twee homologe chromosomen.

2p 11 Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende bewering **juist** of **onjuist** is.

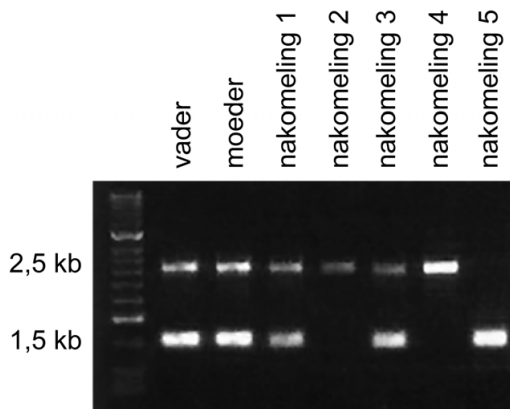
Met behulp van PCR en gel-elektroforese hebben de onderzoekers de aanwezigheid of afwezigheid van het transposon dat verantwoordelijk is voor het carbonaria-fenotype vastgesteld bij een familie berkenspanners. Bij de PCR is gebruikgemaakt van de drie primers X, Y en Z. In afbeelding 4 is schematisch weergegeven hoe het allel waarin het transposon is ingevoegd (*carb*) en het oorspronkelijke allel zonder dit transposon (*typ*), zijn opgebouwd. Met pijlen is de richting van de replicatie aan de primers weergegeven.

afbeelding 4



Bij gel-elektroforese worden de DNA-fragmenten gescheiden die met behulp van PCR zijn gevormd. Het resultaat is weergegeven in afbeelding 5. De eenheid kb (kilobase) is een maat voor de lengte van een DNA-fragment.

afbeelding 5



De onderzoekers geven aan dat de primers X en Z bij het *carb*-allel te ver van elkaar verwijderd zijn om een DNA-fragment op te leveren. De DNA-fragmenten die wel worden gevormd, zijn zichtbaar als oplichtende bandjes na gel-elektroforese.

2p 12 Wat zijn de genotypen van beide ouders en van nakomeling 4?

	beide ouders	nakomeling 4
A	<i>carb carb</i>	<i>carb carb</i>
B	<i>carb carb</i>	<i>typ typ</i>
C	<i>carb typ</i>	<i>carb carb</i>
D	<i>carb typ</i>	<i>typ typ</i>
E	<i>typ typ</i>	<i>carb carb</i>
F	<i>typ typ</i>	<i>typ typ</i>

In afbeelding 2 is te zien dat de frequentie van het carbonaria-fenotype in de populatie sterk is afgenomen tussen 1980 en 1990. De totale populatie berkenspanners is ongeveer gelijk gebleven.

Drie gegevens zijn:

- 1 De luchtverontreiniging is tussen 1980 en 1990 verminderd.
- 2 Het transposon kan uit het cortex-gen 'springen'.
- 3 Tussen 1980 en 1990 is het aantal berkenbomen afgenomen.

2p 13 Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of het betreffende gegeven de grote afname in fenotypefrequentie **wel** of **niet** kan verklaren.