

Opgave 1: Wet van Hardy-Weinberg

Een populatie van 10.000 individuen voldoet wat betreft de onderlinge voortplanting aan de voorwaarden, genoemd in de wet van Hardy-Weinberg. Van deze populatie is bekend dat 169 individuen homozygoot dominant zijn.

Vragen

- 1 Onder bepaalde voorwaarden is de Wet van Hardy-Weinberg van toepassing?
- 2 Wat is de frequentie van het recessieve allel in deze populatie.
- 3 Hoeveel individuen hebben het recessieve kenmerk?

Antwoorden

- 1 Bestudeer je leerboek en noteer de voorwaarden.
- 2 Kies uit de volgende antwoorden.

A Die is niet vast te stellen.
B 0,80
C 0,20
D 0,87
E 0,13

Berekening

De kans op homozygoot dominant is p -kwadraat = 169 op de 10.000.
Dan is de waarde van p zelf de wortel uit het kwadraat, dwz. 13/100 ofwel 0,13.

Dan is de waarde van het recessieve allel q dus 0,87, vanwege het feit dat $p + q = 1$.

Het aantal individuen met het recessieve kenmerk: $0,87 \times 0,87 = 7569$ van de 10.000.

Wat leerlingen moeilijk vinden

- 1 Het rekenen, hoewel in deze opgave expres gekozen is voor twee kwadraten, nl. 169 en 10.000.
- 2 Het antwoord op vraag 3. Kommafout!

Wat kan je daar als leraar aan doen?

Uitleggen, dat het p -kwadraat de kans op een individu is en dat p de frequentie van het allel is. Een individu heeft in deze opgave twee allelen, eentje van de vader en eentje van de moeder.

Opgave 2: Resusfactor in een populatie

Het is voor vrouwen met een kinderwens van groot belang om te weten, of ze resuspositief zijn of resusnegatief. De bloedgroep van de partner is daarbij eveneens van groot belang. Een combinatie van een resusnegatieve vrouw en een resuspositieve man kan leiden na de geboorte van een eerste kind met resuspositief bloed tot zogenoemde zwangerschapimmunisatie. De bloedcellen van het ongebooren kind kunnen via lekkages in de placenta in het bloed van de moeder terechtkomen. De vrouw gaat dan antistoffen daartegen aanmaken, die via de placenta en navelstreng weer in het kind terecht komen met alle mogelijke nare gevolgen van dien. Gelukkig is tegenwoordig een behandeling mogelijk.

In een grote populatie blijkt, dat 90% van de allelen dominant R zijn. Het andere allel is de (recessieve) r. Gevraagd wordt hoeveel personen in een steekproef van 40 personen resuspositief zijn.

Gegeven

In een grote populatie blijkt, dat 90% van de allelen dominant R zijn. Het andere allel is de (recessieve) r.

Er wordt gekozen voor een steekproef van 40 personen.

Vraag

Hoe groot is de kans, dat deze personen allemaal resuspositief zijn?

Antwoord

Volgens de gegevens is de frequentie van het allel R = $p = 0,9$

Dan volgt daaruit, dat de frequentie van het allel r = $q = 0,1$ (omdat $p + q = 1$).

De kans op een resuspersoon is:

RR (homozygoot) of p -kwadraat = $0,9 \times 0,9 = 0,81$

2Rr (heterozygoot, 2 x!) of $2pq = 2 \times 0,9 \times 0,1 = 0,18$

Totaal: kans is 0,99. Dat geldt dus voor alle personen.

Voor de alle personen geldt dan een kans van 0,9 tot de macht 40.

Wat leerlingen moeilijk vinden

- 1 De omzetting van 90% naar de waarde voor p, namelijk dat 90% hetzelfde is als 0,9.
- 2 De noodzaak om voor de heterozygoten $2pq$ te berekenen, vanwege $(p + q)^2$.
- 3 Het uiteindelijke antwoord.

Wat kan je daar als leraar aan doen?

- 1 Nog eens goed uitleggen hoe je moet omgaan met p en q. De som daarvan in het kwadraat levert ook 1 op, omdat $p + q$ gelijk is aan 1 (of wel 100%). Het product is namelijk $p^2 + 2pq + q^2$. In dit voorbeeld te berekenen als $0,81 + 0,18 + 0,01 = 1$!
- 2 Het antwoord is dus niet $40 \times 0,99$, maar tot de macht 40. Dat wordt een getal kleiner dan 1 of minder dan 100%! Het zou raar zijn, als die kans groter is dan 100%! De kansen zijn onafhankelijk van elkaar.

Opgave 3: Zelfbevruchting

Bij zelfbevruchting van planten worden de eigen stuifmeelkorrels gebruikt voor bestuiving en bevruchting van de eicellen. Bij afwezigheid van wind/water of insecten (die meestal de bestuiving veroorzaken) is de plant en daarmee de soort dan toch in staat zaden te vormen en te blijven voortbestaan.

Een voortdurende zelfbevruchting in een populatie van planten, die **heterozygoot** zijn voor een bepaalde eigenschap zal leiden tot een verandering in de verhouding homozygoten en heterozygoten voor die eigenschap.

Vraag

Welke van de onderstaande uitspraken zijn juist?

- 1 Er is sprake van een afname van het percentage recessieve homozygoten.
- 2 Er is sprake van een toename van het percentage dominante homozygoten.
- 3 Er is sprake van een vermindering van 50% heterozygoten per generatie.
- 4 Op den duur kan dit leiden tot soortvorming uit de oorspronkelijke populatie.

Antwoord

2, 3 en 4

Uitleg. De homozygoot dominante planten uit de F_1 leveren alleen nog maar homozygoot dominante nakomelingen op. De homozygoot recessieve planten leveren alleen nog maar homozygoot recessieve nakomelingen op. De heterozygote planten leveren zowel 25% homozygoot dominante, als 50% heterozygote als 25% homozygote recessieve planten op. Het percentage heterozygoten neemt daardoor per generatie met 50% af. De beide homozygoten nemen dus in percentage toe. Als dit generaties lang doorgaat kunnen er twee soorten zijn ontstaan uit de oorspronkelijke populatie, althans voor die eigenschap.

Wat leerlingen moeilijk vinden

Leerlingen denken vaak, dat wat dominant is vast steeds vaker zal voorkomen, omdat het dominant is. Dat gebeurt alleen als er sprake is van selectie, anders geldt de wet van Hardy-Weinberg.

Opgave 4: Kleurenblindheid

Een bepaalde vorm van kleurenblindheid wordt veroorzaakt door een recessief x-chromosomaal verervend allel. Van die vorm is bekend dat 8% van de mannen er mee te maken heeft en 0,64 % van de vrouwen.

Vragen

- Bereken de p en q-waarden van de allelen N (=normaal zien) en n (=kleurenblind) voor zowel de mannen als de vrouwen.
- Bereken de kans op de combinatie van een kleurenblinde man met een draagster.
- Bereken de kans op een kleurenblinde dochter uit zo'n combinatie
- Bereken de kans op een kleurenblinde zoon uit zo'n combinatie

Gebruik steeds maximaal 3 decimalen.

Antwoorden

a. 8 % van de mannen is kleurenblind = q
q = 0,08
Dan is p (1-q) = 0,92

b. Kans op draagster = $2pq = 2 \times 0,92 \times 0,08 = 0,147$ (in gehele populatie)

Kans op kleurenblinde man is 0,08 (die is gegeven !)

Kans op combinatie = $0,08 \times 0,147 = 0,012 = 1,2\%$

NB: Als bekend is dat de vrouw kleurenziend is, is de kans op een draagster:

$$2pq / p^2 + 2pq$$

Ouders: $X^N X^n$ (vrouw) \times $X^n Y$ (man)

Kans op de nakomelingen (via een kruisingsschema):

Kans op een dochter is 50%, kans op kleurenblinde dochter is 50 %, totaal 25%

Kans op een zoon is 50%, kans op kleurenblinde zoon is 50%, totaal 25%.

c. dochter kans = kans op de combinatie \times kans op kleurenblinde dochter = 0,003

d. zoon kans = kans op de combinatie \times kans op kleurenblinde zoon = 0,003

Wat leerlingen moeilijk vinden

- De sprong van iemand met kleurenblindheid naar x-chromosomaal overervend allel.
- Omgaan met getallen, zeker als het om procenten gaat.
- Omgaan met worteltrekken en rekenen.
- Omgaan met het besef, dat het kwadraat van getallen tussen de 0 en 1 altijd kleiner is dan het getal zelf, dit in tegenstelling van getallen groter dan 1.
- Toepassing van de de allelenfrequenties van p en q.
- Het besef dat bijvoorbeeld q-kwadraat de kans is op een fenotype (individu) in een populatie.

Wat kan je daar als leraar aan doen?

- De vraag is nooit op te lossen als leerlingen er al voor terugdeinzen omdat ze iets moeten uitrekenen. Daar moet dus eerst mee geoefend worden! Dat geldt voor vrijwel alle geneticaopgaven, zodra er sprake is van het berekenen van kansen.
- Uitleg van het woord: procent! of wel pro cent ofwel per honderd!
- Duidelijk maken, dat de vragen van genetica meestal steeds op hetzelfde neerkomen, zodat je een standaardprocedure kunt gebruiken.
- Duidelijk maken wat het belang is van de kennis over het verschil in kansen tussen de uitkomst van een bepaalde combinatie van ouders (met bekende aanleg) en de uitkomst bij willekeurige ouders uit een populatie (zie de vragen c en d). Als het om

ziektes gaat willen ouders graag weten, hoe groot de kans is dat ze een kind kunnen krijgen met zo'n ziekte (context).

Opgave 5: Inteeltdressie

Bij voortdurende voortplanting tussen knaauwverwanten of bij zelfbevruchting in een populatie kan de situatie ontstaan, dat er uiteindelijk alleen nog maar homozygote individuen ontstaan. Er ontstaan steeds minder heterozygoten. Daardoor neemt de variatie binnen de populatie af. Er is dan sprake van een inteeltdressie. In hoeverre sprake is van inteelt kan worden bepaald door de volgende formule:

Gegeven

Frequentie van de waargenomen heterozygoten = Frequentie van aantal verwachte heterozygoten (bij at random mating) $\times (1 - F)$, waarbij F de zogenoemde inteeltcoëfficiënt is.

Als $F = 1$, dan zijn alleen nog maar homozygoten in de populatie aanwezig.

Een populatie van 150 individuen bestaat uit de volgende (bloedgroep)genotypen: 60 met genotype MM, 36 met genotype MN en 54 met genotype NN.

Vraag

Bereken de inteeltcoëfficiënt F van deze populatie.

Antwoord

Uitleg:

Aantal M -allelen: $120 + 36 = 156$

Aantal N -allelen: $108 + 36 = 144$

Frequentie M: $156/300 = 0,52 = p$ (namelijk het aantal allelen M gedeeld door totaal aantal allelen)

Frequentie N: $144/300 = 0,48 = q$ (idem)

Hieruit volgt:

Het verwachte aantal heterozygoten = $2pq = 2 \times 0,52 \times 0,48 = 0,4999$.

Aantal individuen: $0,4999 \times 150 = 75$ individuen.

Berekening F:

36 (gevonden) = 75 (verwacht) $\times (1-F)$

$36/75 = (1 - F)$

$0,48 = 1 - F$

en dus is $F = 0,52$. (op een schaal van 0 tot 1)

Opgave 6: Relatieve fitness

Bepaalde allelencombinaties bij individuen kunnen leiden tot een verminderde kans op overleven of op voortplanting. Dat betekent dat (een deel van) de populatie met die allelencombinatie niet meer mee doet met de voortplanting. Dat heet relatieve fitness en wordt aangegeven met een getal tussen 0 en 1. Doordat er selectie optreedt veranderen de allelenfrequenties en genotypenfrequenties. Het gevolg kan zijn, dat de gemiddelde waarde van een eigenschap binnen die populatie kan gaan verschuiven.

Gegeven

Gegeven zijn de allelenfrequenties van A en a. Voor A is dat 0,3 en voor a = 0,7. Individuen met een genotype aa hebben een relatieve fitness van 0,5, dat wil zeggen, dat slechts de helft ervan een bijdrage levert aan volgende generatie (elke generatie opnieuw)

Vragen

Ga voor het rekengemak uit van 100 individuen.

- 1 Bereken het percentage heterozygoten in de huidige populatie.
- 2 Bereken het percentage heterozygoten bij de geboorte van de volgende populatie.
- 3 Bereken het percentage dominante individuen in beide situaties.

Antwoord

Uitleg:

1. Het percentage heterozygoten = $2pq$, dus $2 \times 0,3 \times 0,7 = 0,42$ ofwel **42%**

2. Eerst moet berekend worden wat de nieuwe frequenties zijn.

AA = 9% met 18 allelen A

Aa = 42% met 42 allelen A en 42 allelen a

aa = 49% met 98 allelen a

Huidige populatie:

Aantal allelen van A = $18 + 42 = 60$

Aantal allelen van a = $42 + 98 = 140$

Nieuwe populatie:

Aantal allelen van A blijft 60.

Aantal allelen van a wordt $42 + 49$ (de helft van 98) = 91

Totaal aantal allelen = 151.

De nieuwe frequentie p van A wordt dan $\frac{60}{151} = 0,397$ (was 0,3), AA wordt dan 0,157 of 15,7%.

De nieuwe frequentie q van a wordt dan $\frac{91}{151} = 0,602$ (was 0,7)

De nieuwe frequentie van de heterozygoten wordt dan: $2 \times 0,397 \times 0,602 = 0,478$ of **47,8%** (was 42%)

3. Het percentage dominante individuen was **51%** ($9 + 42$) en dat wordt **63,6%** ($15,7\% + 47,8\%$)

In deze opgave wordt dan duidelijk dat de gemiddelde eigenschap begint te schuiven. Als A staat voor dominant rood en a voor recessief wit, dan wordt de populatie na selectie dus meer rood gekleurd.

Wat leerlingen moeilijk vinden

- 1 Al het rekenwerk, ook al is dat zeer beperkt.
- 2 Het opzetten van een stapsgewijze redenering wat ze nu precies moeten doen.

Wat kan je als leraar daaraan doen?

- 1 De betekenis uitleggen van selectie op eigenschappen, die leidt tot het verlies van allelen.
- 2 Het verschil uitleggen tussen een populatie waarin selectie optreedt en een populatie met een Hardy-Weinberg-evenwicht.
- 3 Afhankelijk van de kennis van de leerlingen het eerst zelf laten uitzoeken of het stapsgewijs met de leerlingen doornemen.
- 4 De opgave nog eens veranderen met andere getallen voor de waarde van de relatieve fitness, bijvoorbeeld met de waarde 1. Dat is dan heel drastisch. Dan zien ze ook, dat het genotype aa niet zo maar uit de populatie verdwijnt.