

4 Evolutie

Oriëntatie De cheeseburger-muis

1

Voordat de eerste Europeanen in Amerika voet aan wal zetten, kwamen er al witvoetmuizen voor. De populaties werden sinds de komst van de Europeanen steeds kleiner.

Leg uit welke rol de verstedelijking speelde in het kleiner worden van de witvoetmuispopulaties.

Door het bouwen van steden werd de natuurlijke leefomgeving van de witvoetmuis steeds kleiner, waardoor er niet genoeg bruikbaar eten was om grote populaties te onderhouden. Veel voedsel in een stad was niet te verteren voor de inheemse soort. Dit leidde tot sterfte en het kleiner worden van de populaties.

2

Waardoor konden de gewone huismuis en de bruine rat uit Europa beter overleven in de steden die in Amerika werden gebouwd?

De gewone huismuis en de bruine rat waren al gewend aan het leven in steden in Europa, waardoor ze gemakkelijker aan bruikbaar voedsel konden komen.

3

Witvoetmuizen die leefden in de gebieden in Amerika waar later steden werden gebouwd, ondervonden meteen al concurrentie van de gewone huismuis en de bruine rat.

Waaruit bestond die concurrentie en wat was hiervan het gevolg voor de witvoetmuis?

Er ontstond concurrentie om voedsel. Daardoor bleef er minder voedsel over voor de witvoetmuizen, waardoor er meer stierven.

4

In een opkomende stad als New York heeft de witvoetmuis zich in de loop der jaren aangepast, zodat deze soort nu weer grote populaties kent. Dat komt volgens het onderzoek van Stephen Harris mogelijk doordat de muis plotseling stedelijk voedsel kon verteren.

Welk 'plotseling' proces zorgde ervoor dat muizen aangepast raakten aan een stedelijke omgeving?

Mutaties in het DNA zorgden voor erfelijke eigenschappen, waardoor de inheemse muis in staat was om voedsel uit de stad te verteren. Mutaties ontstaan toevallig en plotseling.

5

Leg uit waarom een witvoetmuis (*Peromyscus leucopus*) en de huismuis (*Mus musculus*) niet tot dezelfde soort horen.

Beide muizen behoren tot verschillende soorten, omdat ze onderling niet kunnen paren. Je kunt dit ook aan de wetenschappelijke naam zien. De eerste naam is de geslachtsnaam (*Peromyscus* en *Mus*), de tweede de soortnaam (*leucopus* en *musculus*). Beide verschillen van elkaar.

1 Ontwikkeling van het leven

KENNIS

1

De eerste dieren ontstonden honderden miljoenen jaren geleden in het water van oceanen of in modderpoelen. Tegenwoordig zijn dieren bij de voortplanting nog steeds afhankelijk van water.

a Leg uit dat dit geldt voor amfibieën.

Amfibieën leven deels buiten het water, maar trekken zich voor de voortplanting altijd terug in het water.

b Beschrijf op welke manier embryo's van reptielen en vogels afhankelijk zijn van een waterige omgeving.

Reptielen en vogels planten zich voort via eieren met een harde (kalk)schaal. Binnen die eieren bevindt het ontwikkelende vruchtje zich in een waterige omgeving, totdat het jonge dier wordt geboren.

c Leg uit hoe embryo's van zoogdieren zich ontwikkelen in een waterige omgeving.

Bij zoogdieren ontwikkelt het embryo zich in een beschermde en waterige omgeving (in de buik of een huidplooï van het moederdier), zoals in het vruchtwater in een baarmoeder, totdat het wordt geboren.

2

Er bestaan verschillende theorieën over de wijze waarop organische stoffen ontstonden tijdens de chemische evolutie op aarde.

Leg uit op welke manier tijdens het Miller-Urey-experiment organische stoffen ontstonden.

Bij het Miller-Urey-experiment ontstonden organische stoffen tijdens elektrische ontladingen uit uitsluitend anorganische stoffen.

3

a Teken een lineaire tijdlijn van de laatste 3,8 miljard jaar, bijvoorbeeld een lijn van 19 cm, waarbij elke halve centimeter 100 miljoen jaar voorstelt.

Noteer op de juiste plaats langs de tijdlijn het ontstaan van: eencelligen, meercelligen, gepantserde dieren, landplanten, amfibieën, reptielen, zaadplanten en mensachtigen.

Volgorde van ontstaan: eencelligen (3,8 miljard jaar geleden), meercelligen (670 miljoen jaar geleden), gepantserde dieren (542 miljoen jaar geleden), landplanten (400 miljoen jaar geleden), amfibieën (350 miljoen jaar geleden), reptielen (300 miljoen jaar geleden), zaadplanten (250 miljoen jaar geleden), mensachtigen (5 miljoen jaar geleden).

b Leg uit waarom het juist is dat mensachtigen als 'nieuwkomers' worden gezien.

De mensachtigen zijn 'nieuwkomers', omdat ze op de evolutionaire tijdlijn zeer recentelijk op aarde zijn ontstaan. Hoewel mensachtigen al enkele miljoenen jaren op aarde zijn, zijn vele andere levensvormen al veel eerder ontstaan.

4

Er is een enorme verscheidenheid aan levensvormen op aarde. Toch was de biodiversiteit in het verleden vele malen groter.

a Verklaar de afname van de biodiversiteit op aarde.

Het verschil tussen de biodiversiteit die de aarde ooit heeft gekend en die de aarde momenteel kent, kun je verklaren door het uitsterven van de meeste soorten die ooit op aarde ontstonden.

b Bekijk afbeelding 6.

Zijn bacteriën ontstaan uit archaea? Leg je antwoord uit met behulp van afbeelding 6.

Bacteriën zijn niet ontstaan uit archaea. Archaea hebben wel een gemeenschappelijke voorouder met de bacteriën, maar zijn daar als twee aparte vertakkingen uit afgesplitst, zoals is te zien in afbeelding 6.

5

Is het aantal soorten groter of kleiner dan het aantal geslachten? Leg je antwoord uit.

Het aantal soorten is groter dan het aantal geslachten. Een geslacht wordt onderverdeeld in een of meer soorten.

6

Heeft het DNA van dieren die tot hetzelfde geslacht behoren meer of minder overeenkomsten dan het DNA van dieren die tot dezelfde klasse behoren? Leg je antwoord uit.

Het DNA van dieren die tot hetzelfde geslacht behoren, zal meer overeenkomst vertonen dan het DNA van dieren die tot dezelfde klasse behoren. Naarmate organismen langer evolueren vanuit een gemeenschappelijke voorouder, zullen de genetische verschillen toenemen.

7

Drie wetenschappelijke namen van organismen zijn: *Lepiota brunneolilacea*, *Lepiota josserandii* en *Russula emetica*.

Welke twee organismen zijn het meest verwant? Leg je antwoord uit.

Lepiota brunneolilacea en *Lepiota josserandii* zijn het meest verwant. Deze twee organismen behoren tot hetzelfde geslacht. *Russula emetica* behoort tot een ander geslacht en is dus veel minder verwant.

INZICHT

8

Vier indelingscriteria zijn: celtype, aanwezigheid en bouw van de celwand, het aantal cellen en de voedingswijze.

- a Leg met een voorbeeld uit dat je op grond van deze vier criteria niet altijd kunt vaststellen tot welk domein of tot welk rijk een organisme behoort.

Bijvoorbeeld: een prokaryoot eencellig heterotroof organisme met celwand kan zowel tot de bacteriën als tot de archaea behoren.

- b Leg met een voorbeeld uit dat deze vier criteria in sommige gevallen wel voldoende zijn om een organisme in te delen in de domeinen en de rijken.

Bijvoorbeeld: een eukaryoot meercellig autotroof organisme is altijd een plant.

9

Volgens de endosymbiosetheorie konden bepaalde organellen in oercellen ontstaan uit bacteriën die door deze oercellen werden opgenomen en de cel van bepaalde voordelen voorzagen.

- a Noem een overeenkomst in de functie van mitochondriën en van chloroplasten in een cel.

Beide organellen zetten energie om in een voor de cel bruikbare vorm.

- b Noem een verschil tussen de functie van mitochondriën en van chloroplasten in een cel.

Mitochondriën maken energie voor de cel beschikbaar met behulp van zuurstof (verbranding). Chloroplasten daarentegen maken energie voor de cel beschikbaar met behulp van fotosynthese. Daarbij ontstaat zuurstof.

- c Waarmee zal het buitenmembraan van chloroplasten en mitochondriën overeenkomen, als ze inderdaad zijn ontstaan volgens de endosymbiosetheorie?

Als mitochondriën en chloroplasten zijn ontstaan volgens de endosymbiosetheorie, is te verwachten dat het buitenmembraan overeenkomt met het celmembraan.

10

Op Mars wordt onderzoek gedaan met behulp van robots. Onderzoekers proberen onder andere antwoord te krijgen op de vraag of er leven is of was op Mars. Een voorwaarde voor leven is de aanwezigheid van water, dat ooit op Mars aanwezig was. Voor het onderzoek nemen robots bodemonsters mee die worden geanalyseerd op de combinatie van koolstof, waterstof, stikstof, zuurstof, fosfor en zwavel. Deze elementen komen vaak voor in organische stoffen. Ze worden samen ook wel CHNOPS genoemd.

- a Beredeneer waarom het aantreffen van vloeibaar water geen bewijs is dat er ooit leven op Mars is geweest.
Water is een anorganische stof die kan voorkomen zonder de aanwezigheid van organismen.
- b Leg uit waarom de combinatie CHNOPS in bodemonsters van Mars kan wijzen op leven.
CHNOPS zijn de belangrijkste elementen die samen voorkomen in organische moleculen. Organische moleculen worden door organismen gemaakt en de gezamenlijke aanwezigheid van deze (anorganische) elementen kan dus een aanwijzing zijn voor de aanwezigheid van organismen nu of in het verleden.

11

In het schema van afbeelding 8 is O de oorsprong van het leven. De nummers 1, 2 en 3 stellen het tegenwoordige dierenrijk, plantenrijk en schimmelryk voor. De letters A en B geven insluitingsprocessen uit de endosymbiosetheorie weer. Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 94C.

- a Stelt nummer 1 het plantenrijk of het dierenrijk voor? Beargumenteer je antwoord aan de hand van de processen die zijn aangegeven met de letters A en B.
Nummer 1 stelt het plantenrijk voor. Argument: alle eukaryoten bezitten mitochondriën, waardoor proces B de opname van mitochondriën voorstelt. Proces A stelt dan de opname van cyanobacteriën voor, waaruit chloroplasten zijn ontstaan. Alleen planten hebben chloroplasten, dus stelt nummer 1 het plantenrijk voor.
- b Beredeneer dat een cel met mitochondriën een voordeel heeft door de opname van een fotosynthetiserende cel.
Het voordeel voor de cel is dat hij voor zijn voeding niet afhankelijk is van andere organismen, zolang er voldoende licht is.

12

De oeratmosfeer verschilt in samenstelling van de huidige atmosfeer.

Welk verschil in de samenstelling is van groot belang voor de ontwikkeling van het leven op aarde?

Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 30F en tabel 34.

De oeratmosfeer bevatte bijna geen zuurstof. De huidige atmosfeer bevat wel zuurstof. Zuurstof is voor de meeste organismen nodig om te kunnen leven.

Context Ruimtesteen als oorsprong van leven?

13

- a Leg uit waarom volgens de tekst alle levensvormen aan elkaar verwant zijn.
 Alle levensvormen bezitten DNA, dat uit exact dezelfde stikstofbasen bestaat. Het is onwaarschijnlijk dat DNA meerdere keren los van elkaar in verschillende voorouders ontstond.
- b Welke stikstofbasen komen voor in DNA? En welke in RNA? Gebruik **BiNaS** tabel 71C en tabel 71A bij het beantwoorden van deze vraag.
 In DNA gaat het om cytosine, thymine, adenine en guanine. In RNA gaat het om cytosine, uracil, adenine en guanine.
- c De hoeveelheid unieke reeksen in het erfelijke materiaal van organismen is haast oneindig. Alleen het DNA in menselijke cellen bevat al ongeveer drie miljard stikstofbasen die een reeks vormen.
 Hoeveel unieke DNA-reeksen zijn er mogelijk wanneer je slechts tien stikstofbasen opneemt in een reeks? Licht je antwoord toe.
 Er zijn 1 048 576 (meer dan een miljoen) unieke DNA-reeksen van tien stikstofbasen mogelijk. Dit komt doordat er vier verschillende stikstofbasen kunnen voorkomen op elk van de tien plekken in de reeks van tien stikstofbasen. Dat komt neer op 4^{10} unieke reeksen.
- d Sommige wetenschappers beweren dat de resultaten van de Japanse onderzoekers juist onderschrijven dat stikstofbasen niet alleen uit de ruimte komen.
 Op basis waarvan zouden deze wetenschappers dit beweren?
 De hoeveelheid thymine en cytosine in de meteorieten was zo klein, dat je je kunt afvragen of dit voldoende is om DNA-moleculen te maken die uit miljoenen tot miljarden stikstofbasen bestaan. Dat veronderstelt dat er nog een andere bron van stikstofbasen nodig is, die niet uit de ruimte komt.
- e Een van de theorieën over het ontstaan van leven is de theorie van de RNA-wereld. Die stelt dat het leven op aarde begon met RNA-moleculen die zichzelf vermeerderden.
 Welke vondst van de Japanse onderzoekers ondersteunt de theorie van de RNA-wereld?
 Gebruik **BiNaS** tabel 67H en tabel 71G bij het beantwoorden van deze vraag.
 De Japanse onderzoekers vonden vijf stikstofbasen in ruimtesteen. Een van deze vijf stikstofbasen is uracil. Deze stof komt alleen voor in RNA.

2 Bacteriën, virussen en schimmels

KENNIS

14

Waarom bederft voedsel in de koelkast minder snel dan bij kamertemperatuur?

Voedsel in de koelkast bederft minder snel, omdat bacteriën bij kamertemperatuur voedselbederf kunnen veroorzaken. Ze delen sneller bij kamertemperatuur dan bij lage temperaturen.

15

De tyrannosaurus rex was een roofdinosaurus. Hij at andere dieren, waardoor er nog weleens stukken rottend vlees tussen zijn tanden bleven hangen. In dat rottende vlees kwamen onder meer bacteriën voor.

- Waarin onderscheiden bacteriën zich van de spiercellen, waaruit het vlees bestaat?
De bacteriën hebben een celwand en geen celkern. De spiercellen hebben geen celwand, maar wel een celkern.
- Zijn deze bacteriën autotroof of heterotroof? Leg je antwoord uit.
Deze bacteriën zijn heterotroof, omdat ze zich voeden met de organische stoffen in het vlees van het prooidier van de tyrannosaurus rex.
- Verklaar hoe bacteriën eraan konden bijdragen dat een dier dat niet-dodelijk was gebeten door de tyrannosaurus rex, toch aan de verwondingen stierf.
Door de beet kwamen bacteriën vanuit de mond van de tyrannosaurus rex in de wond van het prooidier terecht. Daar zaten mogelijk ook ziekteverwekkende bacteriën bij, die dodelijke infecties veroorzaakten.

16

Op welke manier kun je virussen, die niet schadelijk zijn voor mensen, gebruiken bij de bestrijding van bacteriën die mensen ziek kunnen maken?

Je kunt deze voor de mens schadelijke bacteriën besmetten met bacteriofagen.

17

In de bodem van bossen komen veel schimmels voor. Afgevalen takken die in het bos op de grond hebben gelegen, worden na een tijdje breekbaar en vallen gemakkelijk uit elkaar.

- Leg uit hoe dit komt.
Bepaalde schimmelsoorten breken organische stoffen in takken af, waardoor die dan broos worden.
- Planten hebben voedingszouten nodig voor hun groei.
Leg uit hoe de aanwezigheid van schimmels in het bos bijdraagt aan de plantengroei in het bos.
Wanneer schimmels organische stoffen afbreken, komen er veel anorganische stoffen waaronder voedingszouten in de bodem terecht. Planten kunnen die anorganische stoffen gebruiken om te groeien.

18

Gisten behoren tot het rijk van de schimmels. Gisten worden gebruikt voor de bereiding van bepaalde voedingsmiddelen. Zo wordt *Saccharomyces cerevisiae* (bakkergist) gebruikt bij de bereiding van brood. Deze gist zet suikers in het deeg om in alcohol en koolstofdioxide, waardoor het deeg rijst.

- a Als je deeg met bakkergist een lange tijd laat staan, kun je met je blote oog geen gist zien. Laat je brood een lange tijd bij kamertemperatuur liggen, dan zie je wel schimmels. Leg uit hoe dit komt.

Gisten zijn eencellig. Schimmels die broodbederf veroorzaken zijn meercellig en vormen netwerken van schimmeldraden, de mycelia. Met het blote oog kun je geen losse cellen waarnemen, maar wel schimmeldraden die uit veel cellen bestaan.

- b Leg uit of je een enkele gistcel of een enkele cel van een schimmel onder de microscoop van elkaar kunt onderscheiden.

Gisten en schimmels behoren beide tot het rijk van de schimmels en hebben dus dezelfde eigenschappen op celniveau. Ze zijn daarom onder de microscoop niet van elkaar te onderscheiden.

INZICHT

19

Een bacterie deelt zich iedere 20 minuten.

- a Hoelang heeft een populatie van 100 bacteriën nodig om een grootte van meer dan 1 miljoen te bereiken als er geen bacteriesterfte optreedt?

Iedere celdeling van 20 minuten leidt tot een verdubbeling van het aantal cellen / bacteriën. De startpopulatie is 100. Er zijn dan 14 verdubbelingen nodig om boven de 1 miljoen te komen. Dat komt neer op $14 \times 20 \text{ minuten} = 280 \text{ minuten}$ en dat komt overeen met 4 uur en 40 minuten.

- b In een startpopulatie van 100 bacteriën ontstaat in één bacterie een mutatie. De populatie ondergaat tien delingen. Verandert dan het percentage gemuteerde bacteriën door voortschrijdende delingen? Ga ervan uit dat de mutatie zich niet verspreidt via conjugatie of transformatie en dat de mutatie geen effect heeft op de celdeling of de overlevingskansen van de bacteriën.

Als in de startpopulatie 1 op de 100 bacteriën deze mutatie zou bevatten, komt dat neer op een percentage van $0,01$ ($1 / 100$) = 1%. Na 10 delingen is het aantal gemuteerde bacteriën toegenomen tot $1 \times 2^{10} = 1024$. Het totaal aantal bacteriën in de populatie is toegenomen met $100 \times 2^{10} = 102\,400$. Het percentage gemuteerde bacteriën na 10 delingen is dus $0,01$ ($1024 / 102\,400$) = 1%. Dit percentage is gelijk aan dat van de startpopulatie.

20

Penicilline blokkeert het enzym dat peptidoglycaan vormt. Door het ontbreken van deze stof verzwakt de celwand van bacteriën. Hoewel schimmels ook celwanden rondom hun cellen hebben, tast penicilline deze niet aan.

Verklaar hoe het komt dat de schimmelcellen ongevoelig zijn voor penicilline.

De celwanden bij schimmels bevatten meestal chitine en zijn dus ongevoelig voor penicilline.

21

Krentenbaard is een besmettelijke huidinfectie die regelmatig voorkomt bij vooral jonge kinderen. De infectie wordt veroorzaakt door verschillende bacteriesoorten (stafylokokken of streptokokken) en zorgt meestal voor rode vlekken of bultjes rondom de neus en mond, vandaar de naam krentenbaard.

Na besmetting met een relatief laag aantal stafylokokken kunnen symptomen zeer snel ontstaan. Leg uit hoe dit kan.

Bacteriën planten zich voort via celdeling (mitose), waarbij uit één bacteriecel twee genetisch identieke bacteriecellen ontstaan. De duur van deze celdeling is kort, in sommige gevallen slechts twintig minuten. Daardoor kunnen bacteriën zich zeer snel vermeerderen tot aantallen die symptomen veroorzaken.

22

Bij bacteriën kan op verschillende manieren uitwisseling van genen plaatsvinden. Resistentie tegen antibiotica is een erfelijke eigenschap en kan van de ene bacterie op de andere bacterie worden overgebracht.

Wat is in dit geval de meest waarschijnlijke manier van het uitwisselen van genen? Leg je antwoord uit.

De meest waarschijnlijke manier van het uitwisselen van genen is in dit geval via conjugatie. Bij conjugatie wordt een plasmide via een buisje van de ene naar de andere bacterie overgebracht. Resistentie tegen antibiotica wordt vaak veroorzaakt door genen die op een plasmide liggen.

23

Schimmels in de bodem breken organische stoffen af tot onder andere voedingszouten.

Daarnaast kunnen schimmels voedingszouten langer vasthouden.

Leg uit wat hiervan voor planten het voordeel is.

Als voedingszouten langer in de bodem worden vastgehouden door schimmels, vindt er minder uitspoeling van meststoffen naar het grondwater plaats. Daardoor hebben de planten langer en meer voedingszouten tot hun beschikking en ze groeien daardoor beter.

24

In afbeelding 16 lees je over een onderzoek naar het ontstaan van mutaties.

Beantwoord de volgende vragen over dit onderzoek.

a Wanneer treden bij 'mogelijk resultaat 1' de mutaties op waardoor resistentie ontstaat?

Mutaties waardoor resistentie ontstaat treden op tijdens het infecteren van de bacteriekolonies met de bacteriofaag.

b Hoe kun je in het schema van 'mogelijk resultaat 2' zien dat sommige bacteriekolonies al resistent zijn voordat ze in aanraking zijn geweest met de bacteriofagen?

Je ziet dit doordat er tijdens de delingen in stappen al resistente bacteriekolonies ontstaan en doordat het aantal resistente kolonies na infectie per experiment sterk verschilt.

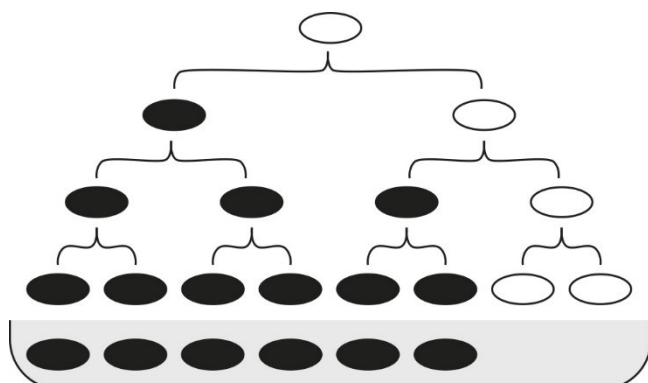
c Wat zal de uitkomst zijn geweest van het experiment: resultaat 1 of 2?

De uitkomst zal resultaat 2 zijn geweest. De conclusie is dat resistentie optreedt door toevallige mutaties, dus het aantal resistente bacteriekolonies bij de vier experimenten verschilde sterk.

- d Stel dat in een van de petrischalen zes van de acht kolonies al voorafgaand aan de infectie resistent waren.

Hoe zou het schema voor deze petrischaal er dan uitzien? Teken het schema.

Zie onderstaand schema.



25

Antibiotica gezocht!

Voorronde Biologie Olympiade 2020, vraag 16.

In de bodem komen veel soorten bacteriën en schimmels voor. Daaronder ook de actinomyceten. Dit zijn bacteriën die antibiotica produceren, waarmee ze vijandelijke bacteriën afweren. Vanwege hun pluizige uiterlijk werd vroeger gedacht dat actinomyceten schimmels waren. Ze vormen namelijk dezelfde lange, zich vertakkende draden als een schimmel.

Kenmerken van schimmels zijn: 1 eukaryoot, 2 aanwezigheid van een celwand, 3 aanwezigheid van ribosomen.

Welk van deze kenmerken geldt, of welke kenmerken gelden voor actinomyceten?

Voor actinomyceten gelden kenmerken 2 en 3 (aanwezigheid van een celwand en aanwezigheid van ribosomen).

Context Virussen als medicijn

26

De tumorcellen worden door de virotherapie van Gabri van der Pluijm als het ware tijdelijke virusfabriekjes. Dit zorgt voor het verkleinen van het tumorweefsel.

- a Waardoor neemt het tumorweefsel in omvang af?

Na de virale infectie produceren de tumorcellen virussen, waarna ze knappen en zo verloren gaan. De omvang van het tumorweefsel hangt af van het aantal tumorcellen en dat neemt op deze manier af.

- b Noem een voorwaarde waaraan het virus moet voldoen om geschikt te zijn voor dit onderzoek.

Bijvoorbeeld: het virus moet alleen de tumorcellen infecteren en geen andere cellen van de mens. Of: de patiënt is niet overgevoelig voor de specifieke virussen.

27

Leg uit dat je virotherapie in dit geval ook als een vorm van immunotherapie (therapie die het immuunsysteem versterkt) kunt zien.

Het immuunsysteem wordt versterkt doordat het als gevolg van de virusactiviteit wordt blootgesteld aan zowel de virusdeeltjes als tumoreiwitten. Zonder virotherapie is dit niet het geval.

28

- a Over welke vaardigheid moet een onderzoeker beschikken om een onderzoek te kunnen bekostigen?

Onderzoeksgelden verkrijgt je via subsidies. Een onderzoeker vraagt subsidies aan door het schrijven en indienen van een subsidieaanvraag (onderzoeksvoorstel ter financiering).

- b Zou dit werk iets voor jou zijn? Licht je antwoord toe.

Bijvoorbeeld: ja, je werkt mee aan interessant onderzoek en draagt bij aan het bestrijden van een ziekte waar veel leed mee gepaard gaat. Of: nee, want virussen en cellen zijn zo klein en ik heb niets met laboratoriumwerk.

3 De evolutietheorie

KENNIS

29

De evolutietheorieën van De Lamarck en Darwin geven beide een verklaring voor de geleidelijke veranderingen van fenotype binnen een soort. Omdat de veranderingen geleidelijk optreden, is er tijd nodig en evolutie is dan ook iets wat op een lange tijdschaal plaatsvindt.

Welke evolutietheorie, van De Lamarck of Darwin, veronderstelt dat de aarde ouder is? Verklaar je antwoord.

De evolutietheorie van De Lamarck gaat ervan uit dat fenotypische veranderingen kunnen optreden binnen één generatie (binnen de levensduur van één individu). Dat is veel sneller dan volgens de evolutietheorie van Darwin mogelijk is. Darwin veronderstelde dat de veranderingen optraden van generatie op generatie. Dat vereist meer tijd en dus een oudere aarde.

30

a Waarom spelen mutaties een belangrijke rol in de evolutie?

Door mutaties ontstaan er nieuwe eigenschappen. Wanneer een nieuwe eigenschap een voordeel heeft voor een soort, zal deze eigenschap ervoor zorgen dat de soort verandert.

b Waarom zorgt selectiedruk voor *survival of the fittest*?

Selectiedruk houdt in dat er in de natuurlijke omgeving sprake is van een factor die bepaalt dat niet elke genetische variant binnen de soort gelijke overlevingskansen heeft. Het is de selectiedruk die bepaalt welke eigenschappen in een bepaalde natuurlijke omgeving het best overleven.

31

Bij dieren is het aantal nakomelingen per legsel (eierleggende dieren) of worp (levendbarende dieren) een van de factoren die van invloed zijn op de fitness.

Geef nog twee andere factoren die de fitness bij dieren kunnen beïnvloeden.

Voorbeelden van juiste antwoorden:

- aantal legsels of worpen per seizoen
- overlevingskans van de nakomelingen
- de snelheid waarmee de geslachtsrijpe leeftijd wordt bereikt
- de vruchtbaarheid
- het voortplantingssucces

INZICHT

32

Op de eilanden van Nieuw-Zeeland kwamen in het verleden geen op de grond levende roofdieren voor. Op die eilanden ontstonden door evolutie allerlei loopvogelsoorten uit vliegende vogelsoorten.

Leg uit hoe door natuurlijke selectie het vermogen om te vliegen bij deze vogels verloren kan zijn gegaan.

Voorbeelden van juiste antwoorden:

- Door mutatie verloren (sommige) vogels het vermogen om te vliegen. Dit was niet nadelig omdat er geen op de grond levende roofdieren voorkwamen. Deze eigenschap gaven ze door aan hun nakomelingen.
- Binnen de populatie was er genetische variatie: sommige vogels vlogen beter dan andere. Vogels die niet vlogen, spaarden energie uit, waardoor ze meer nakomelingen grootbrachten.

33

Dolfijnen zijn afstammelingen van de *Indohyus* (zie afbeelding 20.1). Dit was een landzoogdier dat zo'n vijftig miljoen jaar geleden in het water ging leven. In de loop der jaren ontwikkelde zich bij de voorouders van de dolfijn de staart, waardoor huidige dolfijnen een staartvin bezitten (zie afbeelding 20.2).

- a Leg uit wat het voordeel van deze staartvin was.

Door deze staartvin kon de voorouder van de dolfijn sneller zwemmen, waardoor hij meer voedsel kon vangen en minder snel een prooi was.

- b Leg uit hoe de staartvin in de loop van de evolutie steeds groter is geworden.

Door mutatie en recombinatie was er genetische variatie in de grootte van de staartvin. Doordat de voorouder met de (grotere) staartvin in het voordeel was, kreeg deze meer nakomelingen met een staartvin.

34

Welke diersoort is in de voedselkeuze het meest veranderd ten opzichte van de gemeenschappelijke voorouder: de giraffe of de okapi?

De giraffe is meer veranderd in voedselkeuze dan de okapi. Okapi's eten voornamelijk gras, net als hun voorouders. Giraffen eten vooral boombladeren.

35

Bij sommige diersoorten komt camouflage voor. De huid of het pantser heeft dan een schutkleur (zie afbeelding 21). In een populatie dieren met schutkleur komen regelmatig mutanten met afwijkende kleuren voor.

- a Hebben deze mutanten een grotere of een kleinere overlevingskans dan dieren met schutkleur, als het milieu onveranderd blijft?

Als het milieu onveranderd blijft, hebben de mutanten met afwijkende kleuren een kleinere overlevingskans, doordat ze meer opvallen dan de dieren met schutkleur.

- b Leg uit dat voor het voortbestaan van de soort het toch van belang is dat er regelmatig mutanten met afwijkende kleuren blijven voorkomen.

Wanneer de milieuomstandigheden veranderen, bestaat de kans dat enkele mutanten met een afwijkende kleur beter zijn aangepast aan het nieuwe milieu dan individuen met de oorspronkelijke kleur. De overlevingskans van individuen met de oorspronkelijke kleur kan zo klein worden dat al deze individuen sterven. Door de mutanten kan de soort dan toch blijven voortbestaan.

36

Er zijn aanwijzingen dat een meteoriet ter grootte van de grootste berg op aarde zo'n 65 miljoen jaar geleden insloeg ter hoogte van de golf van Mexico. De stofwolk maakte de aardse atmosfeer ondoordringbaar voor zonlicht. Dat zorgde er waarschijnlijk voor dat fotosynthese tot bijna een jaar na de inslag vrijwel onmogelijk was. Een aanzienlijk deel van het plantenleven op aarde ging verloren.

- a Beredeneer welke selectiedruk ervoor zorgde dat vele diersoorten in die tijd uitstierven.

De selectiedruk die heerste als gevolg van de meteorietinslag was het voedseltekort. Dit werd veroorzaakt doordat bij de meteorietinslag veel stof in de atmosfeer kwam, waardoor planten weinig licht kregen. Hierdoor was fotosynthese voor veel planten vrijwel onmogelijk en gingen ze dood. Daardoor ontstond er voor de vele diersoorten een voedseltekort, waardoor deze ook dood gingen.

- b Verklaar waardoor ook diersoorten die een relatief grote massa hadden, een grotere kans op uitsterven hadden.

Diersoorten met een relatief grote massa hebben een hogere energiebehoefte en/of voedingsbehoefte dan lichtere diersoorten, waardoor de overlevingskans en de voortplantingskans verminderd zijn. Dit leidde ertoe dat de organismen vaak stierven voordat ze nakomelingen hadden gekregen, waardoor die soorten uitstierven.

37

Enkele miljoenen jaren geleden veranderde het klimaat in Afrika, waardoor dichtbegroeide bossen veranderden in open savannes.

Leg uit dat dit een voordeel was voor mensachtigen.

Mensachtigen, die recht op liepen, konden zich beter op open vlakten verplaatsen dan in dichtbegroeide bossen.

38

MRSA is een huidbacterie waar mensen normaal gesproken geen last van hebben. MRSA staat voor meticilline-resistente *Staphylococcus aureus*. De bacterie is ongevoelig (resistent) voor een behandeling met meticilline. Dit is een bepaald type antibiotica dat vaak wordt gebruikt om bacteriën te doden. MRSA wordt ook wel ziekenhuisbacterie genoemd, omdat deze bacterie vooral in ziekenhuizen uitbraken veroorzaakt. In Nederland wordt relatief weinig antibiotica gebruikt en komt MRSA niet veel voor.

- a Hoe zorgt het gebruik van antibiotica ervoor dat het aandeel MRSA-bacteriën steeds verder toeneemt?

Antibiotica geven een selectievoordeel aan de MRSA-bacteriën doordat het gebruik van antibiotica ervoor zorgt dat niet-resistente bacteriën worden gedood en MRSA-bacteriën niet. Daardoor neemt het aandeel MRSA-bacteriën toe.

- b Een onderzoek uit Denemarken en Zweden laat zien dat MRSA-bacteriën veel voorkomen op egels in de vrije natuur. Diezelfde egels dragen op hun huid een schimmel, *Trichophyton erinacei*, die een eigen antibioticum produceert. De onderzoekers vermoeden dat de langdurige samenleving van de bacterie met die schimmel, op de huid van de egel, ertoe heeft geleid dat de resistente bacterie is ontstaan.

Waarom zou een langdurige samenleving tussen bacterie en schimmel belangrijk zijn in het ontstaan van een antibioticum-resistente bacterie?

Voor het ontstaan van een eigenschap via evolutie is lange tijd nodig, waarin mutaties plaatsvinden. Het ontstaan van een mutatie die resistentie oplevert tegen een antibioticum is per toeval en het kan dus best lang duren voordat die mutatie ontstaat. Hoe meer tijd, hoe hoger de kans dat de mutatie ontstaat die de resistentie veroorzaakt.

39

In 2006 werd Knut, het jong van een ijsbeer in de Berlijnse dierentuin, kort na de geboorte door zijn moeder verstoten. Knut werd vervolgens door een dierenverzorger in leven gehouden, maar overleed op vierjarige leeftijd alsnog aan de gevolgen van een zeldzame auto-immuunziekte. Het is niet ongebruikelijk dat een moederdier haar jong doodt of verstoot, wanneer er met het jong iets mis is.

Leg uit wat het evolutionaire voordeel van dit gedrag is.

Voorbeelden van juist antwoorden:

- Na het doden of het verstoten van haar jong kan de moeder meteen weer drachtig worden, met de kans om gezonde nakomelingen te produceren.
- Het verstoten of doden van het jong zorgt ervoor dat de moeder energie overhoudt voor andere jongen.
- Door het doden of verstoten wordt voorkomen dat (ernstige) chromosomale afwijkingen in de populatie toenemen.

Context Evolutie van warmbloedigheid

40

De eigenschap warmbloedigheid is honderden miljoenen jaren geleden plotseling ontstaan. Welk proces heeft hiervoor gezorgd?

Warmbloedigheid is ontstaan door mutaties in het DNA.

41

Warmbloedigheid heeft veel voordelen.

Geef drie voorbeelden.

Voorbeelden van juiste antwoorden:

- Warmbloedige dieren kunnen zich zowel 's nachts als overdag voortbewegen.
- Warmbloedige dieren kunnen ook bij lage temperaturen vluchten voor roofdieren.
- Warmbloedige dieren kunnen ook bij lage temperaturen op zoek gaan naar voedsel.
- Warmbloedige dieren zijn minder afhankelijk van de omgevingstemperatuur om zich ergens te vestigen.

42

Aan warmbloedigheid zitten ook enkele nadelen. Geef een nadeel.

Voorbeelden van juiste antwoorden:

- Warmbloedigheid kost meer energie om het lichaam op temperatuur te houden.
- In de kou kunnen warmbloedige dieren gemakkelijker sterven.

43

In de tijd dat sommige dieren overgingen tot een warmbloedig bestaan, kwamen er in dezelfde periode ook andere ontwikkelingen bij dieren tot stand, zoals een vacht, verendek en snorharen.

a Leg uit wat het voordeel is van een vacht of een verendek voor een warmbloedig dier.

Met een vacht of verendek kan het dier de warmte beter vasthouden en gaat warmte minder gemakkelijk verloren. Daardoor bespaart het dier energie.

b Met snorharen kunnen dieren in het donker hun omgeving waarnemen.

Waarom hebben snorharen zich juist bij sommige warmbloedigen ontwikkeld?

Warmbloedigen zijn niet meer afhankelijk van de omgevingstemperatuur en kunnen zich ook tijdens koude nachten verplaatsen. Met de snorharen kunnen ze de donkere omgeving beter waarnemen, om bijvoorbeeld te jagen.

4 Evolutie in populaties

KENNIS

44

Zijn de suikereekhoorn (*Petaurus breviceps*) en een vliegende eekhoorn (*Pteromys volans*) verschillende rassen van dezelfde soort? Leg je antwoord uit.

Nee, het zijn geen verschillende rassen van dezelfde soort. Aan de wetenschappelijke naamgeving zie je dat het gaat om twee verschillende soorten en geslachten. Rassen behoren tot dezelfde soort.

45

De bevolking van Nederland bestaat uit bijna achttien miljoen mensen. Door onder andere immigratie heeft een deel van de bevolking een andere etnische achtergrond.

a Leg uit of je bij deze achttien miljoen mensen kunt spreken over een populatie.

Ja, je kunt spreken over een populatie. De definitie van een populatie is een groep individuen van dezelfde soort die in een bepaald gebied leven en zich onderling kunnen voortplanten. Die definitie is van toepassing op de Nederlanders in Nederland.

b Zal deze populatie van achttien miljoen mensen in een Hardy-Weinberg-evenwicht verkeren? Licht je antwoord toe.

Nee, bij een Hardy-Weinberg-evenwicht blijven de allelfrequenties door de generaties heen constant. Dat zal bij de achttien miljoen mensen niet het geval zijn, omdat bijvoorbeeld immigratie plaatsvindt. Dat betekent dat allelen uit een ander gebied (met een andere populatie) erbij komen en dus zal de allelfrequentie in Nederland veranderen.

46

Een ezelin wordt geplaatst bij een populatie paarden.

a Zal het plaatsen van de ezelin leiden tot een gene flow?

Voorbeelden van juiste antwoorden:

- Nee, gene flow kan alleen optreden wanneer organismen die tot dezelfde soort horen een populatie verlaten of juist binnenkomen. Een ezel en een paard behoren tot twee verschillende soorten.
- Bij een kruising tussen een vrouwelijke ezel en een paard ontstaan muilezels. Mannelijke muilezels zijn onvruchtbaar, zodat er geen gene flow plaatsvindt.

b Een ezelin krijgt van verschillende hengsten nakomelingen.

Verandert de genenpool binnen de paardenpopulatie? Leg je antwoord uit.

De genenpool binnen de paardenpopulatie verandert niet. De nakomelingen die ontstaan zijn muildieren en geen paarden. Daarnaast zijn de mannelijke muildieren onvruchtbaar.

47

Zal door gene flow de genenpool eerder groter of kleiner worden? Licht je antwoord toe.

Door gene flow zal de genenpool waarschijnlijk groter worden. Andere populaties hebben waarschijnlijk niet precies dezelfde genenpool. Het verenigen van populaties levert waarschijnlijk een grotere genenpool op.

48

Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.

Een populatie is in een Hardy-Weinberg-evenwicht. In deze populatie komen twee allelen van een bepaald gen voor: B en b. De allelfrequentie van B is 0,7.

a Wat is de frequentie van allel b?

De frequentie van allel b is 0,3.

Volgens de regel van Hardy-Weinberg geldt: $p + q = 1$. Hierbij is $p = B$ en $q = b$.

Voor het bepalen van q geldt: $q = 1 - 0,7 = 0,3$.

b Wat is de frequentie van homozygote recessieve individuen?

De frequentie van homozygote recessieve individuen is 0,09.

Het genotype van een homozygoot recessief individu is bb. De frequentie van b = 0,3.

De frequentie van bb is $0,3 \times 0,3 = 0,09$.

49

Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.

Een populatie is in een Hardy-Weinberg-evenwicht. In deze populatie vertoont 16% van de individuen het recessieve fenotype.

a Wat is de frequentie van het recessieve allel in de populatie?

De frequentie van het recessieve allel is 0,4.

Het genotype van een homozygoot recessief individu is bb. Hierbij is $q = b$ en bb is q^2 .

$q^2 = 0,16$ en dus is $q = \sqrt{0,16} = 0,4$.

b Wat is de frequentie van het dominante allel in de populatie?

De frequentie van het dominante allel B is 0,6.

De frequentie van het recessieve allel is 0,4. Volgens de regel van Hardy-Weinberg geldt:

$p + q = 1$. Hierbij is $p = B$ en $q = b$. Voor het bepalen van p geldt: $p = 1 - 0,4 = 0,6$.

50

De haaksnavelkolibrie (*Eutoxeres aquila*) komt voor in onder andere Costa Rica en Colombia.

Met zijn haakvormige snavel is hij in staat om nectar uit bloemen met een gebogen kroonbuis te halen (zie afbeelding 29). Daarbij komt stuifmeel van de bloem op zijn verendek.

a Waarom is er hier sprake van co-evolutie?

De snavel en bloemvorm zijn aan elkaar aangepast. Dat komt doordat de ene evoluerende soort een andere soort beïnvloedt, die daardoor ook evolueert.

b Waarom zijn de kolibrie en de plant van elkaar afhankelijk?

De bloem voorziet de kolibrie van voedsel en de kolibrie verspreidt stuifmeel van de bloem, waardoor de plant zich kan voortplanten. Soorten passen zich voortdurend aan elkaar aan. Soms is het gevolg dat bepaalde soorten vervolgens niet meer zonder elkaar kunnen.

51

In 1814 vestigde een kleine groep Engelse kolonisten zich op het eiland Tristan da Cunha, een kleine groep eilanden in de Atlantische Oceaan. Een van deze kolonisten had een zeldzaam recessief allel voor retinitis pigmentosa. Dit is een progressieve vorm van blindheid. Honderdvijftig jaar later had 1 op de 58 mensen op dit eiland deze vorm van blindheid, terwijl wereldwijd dit 1 op de 4000 keer voorkomt.

Welke vorm van genetische drift is hier opgetreden? Leg je antwoord uit.

Er is sprake van een stichtereffect, doordat een klein deel van een populatie zich vestigt in een nieuw gebied.

52

In 1775 werd het Micronesische eiland Pingelap in de Stille Oceaan getroffen door een orkaan. Slechts twintig mensen overleefden deze tropische storm. Een van de overlevenden was drager van het recessieve autosomale allel voor achromatopsie. Achromatopsie staat bekend als totale kleurenblindheid en komt wereldwijd 1 op de 30 000 keer voor en op Pingelap 1 op de 12 keer.

a Welke vorm van genetic drift is hier opgetreden? Leg je antwoord uit.

Er is sprake van een flessenhalseffect, doordat een groot deel van een populatie uitstierf door een invloed uit het milieu.

b Waardoor is bij zowel bij het stichtereffect als het flessenhalseffect de kans groter dat een recessieve aandoening vaker voorkomt?

Bij zowel het flessenhalseffect als het stichtereffect is sprake van een kleine populatie met een beperkte genetische variatie. De kans dat binnen deze kleine populatie twee individuen met hetzelfde recessieve allel nakomelingen krijgen, is groter dan dat dit zou gebeuren in een grote populatie.

c Hoe noem je dit verschijnsel ook wel?

Het verschijnsel wordt inteelt genoemd.

53

Leg uit dat op eilanden sneller afwijkende vormen of nieuwe soorten kunnen ontstaan dan op het vasteland.

Op eilanden zijn meestal kleinere populaties aanwezig dan op het vasteland, waardoor gemakkelijk genetic drift optreedt.

INZICHT

54

Drie voorbeelden van evolutie zijn:

- Het percentage bruine bosuilen neemt toe ten opzichte van witte bosuilen door het warmere klimaat.
- In malariagebieden is het percentage mensen met sikkelcelanemie hoger dan in niet-malariagebieden.
- Een kolibrie met lange snavel en tong zuigt nectar uit een lange buisvormige bloem.

Geef bij elk van de drie voorbeelden aan of sprake is van co-evolutie, micro-evolutie of macro-evolutie.

Bij de bosuilen en sikkelcelanemie is sprake van micro-evolutie. Bij de kolibrie en de bloem is sprake van co-evolutie.

55

De Darwin-orchidee (*Angraecum sesquipedale*) heeft door de jaren heen een lange buis ontwikkeld met onderin nectar. Met een oprolbare tong van 28 cm is de pijlstaartvlinder *Xanthopan morgani* het enige insect dat deze nectar via de bloem kan bemachtigen (zie afbeelding 30). Via co-evolutie hebben de pijlstaartvlinder en de Darwin-orchidee zich aan elkaar aangepast.

De pijlstaartvlinder is het enige insect dat de Darwin-orchidee kan bevruchten.

a Wat is hiervan het voordeel?

De pijlstaartvlinder bezoekt geen andere bloemen, waardoor er minder stuifmeel wordt verspild.

b Leg uit op welke manier de evolutie tussen de Darwin-orchidee en de pijlstaartvlinder heeft kunnen plaatsvinden. Ga er hierbij van uit dat eerst een orchidee een langere buis ontwikkelde.

Door mutatie ontwikkelde een bloem een langere buis, waardoor de vlinder dieper in de bloem moest komen om nectar te bemachtigen (variatie in genotype). Door mutatie ontwikkelde de vlinder een langere tong, waardoor het gemakkelijk was om de nectar te bemachtigen. Door die langere tong kreeg de vlinder wel nectar van bloemen met een korte buis, maar bleef contact met de bloem uit, waardoor de bevruchting uitbleef. Als gevolg hiervan werden de genen van bloemen met een kortere buis niet doorgegeven en bleven alleen de bloemen met een langere buis over (natuurlijke selectie).

56

Volgens genetici vond tussen 440 000 en 270 000 jaar geleden een ernstige bacterie-epidemie plaats. De soort mens stierf bijna uit. Alle nu levende mensen missen sindsdien twee genen die sommige bacteriën kunnen gebruiken als 'ingang' om organismen te besmetten.

Is dit een vorm van genetic drift of van natuurlijke selectie? Leg je antwoord uit.

Dit is een vorm van natuurlijke selectie. Door mutatie miste een groep mensen twee genen, waardoor de dodelijke bacteriën deze mensen niet konden besmetten. De best aangepasten overleefden, waardoor de populatie door natuurlijke selectie tijdelijk klein werd. Bij genetic drift heb je te maken met een kleine populatie. Dat was niet aan de orde tijdens de bacterie-epidemie.

57

Tussen 1719 en 1729 vestigde een kleine groep Duitsers zich in Pennsylvania (VS) in een geïsoleerde gemeenschap: de Dunkers. Van de Dunkers heeft 60% bloedgroep A, terwijl in Duitsland 45% bloedgroep A heeft en in de VS gemiddeld 40%.

Leg uit waardoor het percentage mensen met bloedgroep A onder de Dunkers zo afwijkend is van dat van de overige Amerikanen en van de Duitsers.

Hier is sprake van het stichtereffect of foundereffect. De oorspronkelijke groep die zich vestigde, was klein. Daarvan had 60% bloedgroep A. Dat kan afwijken van de overige Duitsers, doordat het zo'n kleine groep was. Dat percentage van 60% is niet veranderd. Er trad geen natuurlijke selectie op met betrekking tot de bloedgroep en er vonden vrijwel alleen huwelijken binnen de groep plaats. Daardoor vond er ook geen genenuitwisseling met de overige Amerikanen plaats.

58

Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.

Door de aanleg van een tunnel wordt de geografische scheiding tussen twee populaties mensen in een bergachtig gebied in één keer opgeheven. Vanaf dat moment gaan de bergbewoners uit beide populaties zoveel sociale en economische relaties aan, dat er al snel sprake is van één populatie.

Beide oorspronkelijke populaties waren even groot. In beide populaties komt een dominant allel (A) en een recessief allel (a) voor. In populatie 1 is de frequentie 0,5 van zowel allel A als van allel a, terwijl in populatie 2 de frequentie van allel A 0,8 is en de frequentie van allel a 0,2 (zie afbeelding 31).

- a Bereken op twee decimalen nauwkeurig de frequenties van allel A en allel a in de populatie bergbewoners die is ontstaan direct na het samengaan van de populaties 1 en 2.

De frequentie van allel A is $(0,5 + 0,8) / 2 = 0,65$ en de frequentie van allel a is $(0,5 + 0,2) / 2 = 0,35$, of $1 - 0,65 = 0,35$.

- b Bereken op drie decimalen nauwkeurig de frequentie van het genotype Aa in de nieuwe populatie.

De frequentie Aa is $2 \times 0,65 \times 0,35 = 0,455$.

59

Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.

Bij de bepaling van bloedgroepen is er sprake van een resusfactor. Je bent resuspositief of resusnegatief. Mensen die resusnegatief zijn, hebben genotype dd. Resuspositieve mensen hebben het genotype DD of Dd. In Midden-Europa is de genfrequentie van d = 0,4.

- a Welk percentage van de Midden-Europese bevolking is resusnegatief? Welk percentage heeft genotype DD en welk percentage heeft genotype Dd?

16% van de Midden-Europese bevolking is resusnegatief ($0,4 \times 0,4 = 0,16$). 36% van de Midden-Europese bevolking heeft genotype DD ($0,6 \times 0,6 = 0,36$). 48% van de Midden-Europese bevolking heeft genotype Dd ($2 \times 0,4 \times 0,6 = 0,48$).

- b Bij 7,68% van de zwangerschappen in Midden-Europa is een resusnegatieve vrouw zwanger van een kind, verwekt door een man met het genotype Dd. Bij 5,76% van de zwangerschappen in Midden-Europa is een resusnegatieve vrouw zwanger van een kind, verwekt door een man die homozygoot resuspositief is.

Bereken het percentage van de zwangerschappen in Midden-Europa waarin een resusnegatieve vrouw zwanger is van een resuspositief kind.

Bij 9,6% van de zwangerschappen in Midden-Europa is een resusnegatieve vrouw zwanger van een resuspositief kind: $5,76\% + (0,5 \times 7,68\%) = 9,6\%$. Let op: $0,5 \times 7,68\%$ komt doordat 50% van de nakomelingen van een resusnegatieve vrouw (genotype dd) en een man met genotype Dd het genotype Dd zullen hebben.

60

Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.

Een wetenschapper bestudeert bij erwtenplanten twee eigenschappen: de kleur en de vorm van de erwten. De kleur van de erwten wordt bepaald door twee allelen, geel en groen, waarbij het dominante groene allel twee keer zoveel voorkomt als het gele allel in de grote erwtenplantenpopulatie. De vorm van de erwten is glad of geplooid, waarbij het allel glad recessief is. In de populatie heeft het gladde allel een frequentie van 0,9. Er worden willekeurige erwtenplanten uit deze populatie met elkaar gekruist en er ontstaan 100 nakomelingen.

Hoeveel van die nakomelingen zullen voor beide eigenschappen heterozygoot zijn?

Heterozygoot voor beide eigenschappen zullen acht nakomelingen zijn: de regel van Hardy-Weinberg is van toepassing op beide eigenschappen afzonderlijk. Het aandeel heterozygoot voor de kleur is $2 \times 0,67 \times 0,33 = 0,44$. Het aandeel heterozygoot voor de vorm is: $2 \times 0,1 \times 0,9 = 0,18$. Het aandeel heterozygoot voor beide eigenschappen is: $0,44 \times 0,18 = 0,08$. Aangezien het totale aantal nakomelingen 100 bedroeg, gaat het om $100 \times 0,08 = 8$ nakomelingen die heterozygoot zijn voor beide eigenschappen.

61

Allelen die gunstig zijn voor het maken van kaas

Naar: Voorronde Biologie Olympiade 2019, vraag 21.

Van het kappa-caseïne-gen zijn drie allelen (A, B en E) bekend. De eiwitten die hierdoor worden gecodeerd, zijn niet allemaal even geschikt voor het maken van kaas. Het B-allel is het meest gunstig voor het stremmingsproces en het E-allel het minst. In 2010 was de populatie Holsteinrunderen in Nederland en Vlaanderen vrij stabiel voor de caseïne-allelen. Het aantal EE-dieren lag op 0,3%, het aantal AE-dieren op 6,7% en het aantal BE-dieren op 4,0%.

Wat was het percentage BB-dieren in Nederland en Vlaanderen in 2010? Je mag hier de regel van Hardy-Weinberg toepassen (zie **BiNaS** tabel 93D3).

Geef je antwoord in hele procenten.

Het percentage BB-dieren in Nederland en Vlaanderen in 2010 was 13%.

Voorbeeld van een juiste berekening:

Gegeven:

$$EE = 0,003$$

$$AE = 0,067$$

$$BE = 0,04$$

$$A = p, B = q, E = r$$

$$\text{Er geldt: } p + q + r = 1 \text{ en } p^2 + q^2 + r^2 + 2pq + 2pr + 2qr = 1$$

- Reken eerst de allelfrequentie van E uit (via EE-dieren) om daarna via de BE-dieren de allelfrequentie van B uit te rekenen.

$$\text{EE-dieren: } r^2 = 0,003, \text{ dus } r = \sqrt{0,003} = 0,05477$$

$$\text{BE-dieren: } 2qr = 0,04, \text{ dus } q = 0,04 / (2 \times 0,05477) = 0,3651$$

$$\text{BB-dieren: } q^2 = 0,3651 \times 0,3651 = 0,1333 = 13\%$$

- Bereken eerst de frequentie van allel E:
 $r = EE + \frac{1}{2}AE + \frac{1}{2}BE = 0,003 + 0,0335 + 0,02 = 0,0565$
- Bereken vervolgens de frequentie van B uit de BE-dieren:
 $BE = 2qr = 0,04, \text{ dus } q = BE / 2r = 0,04 / (2 \times 0,0565) = 0,3540, \text{ dus } q^2 = 13\%$

Context Evolutie van de mens in de moderne tijd

62

Hoe kan de toename van in-vitrofertilisatie ervoor zorgen dat genetische onvruchtbaarheid bij de mens toeneemt?

Wanneer onvruchtbaarheid een genetische oorzaak heeft, behoudt in-vitrofertilisatie in de populatie een gen dat zonder de technologie door natuurlijke selectie zou zijn verdwenen.

63

Maar liefst 65% van alle mensen op aarde kan alleen als baby melk verteren. Daarna verliezen zij het vermogen om de melksuikers (lactose) af te breken. Vanaf 10 000 jaar geleden kregen steeds meer mensen het vermogen om levenslang melk te verteren dankzij een mutatie in het lactasepersistente gen (LP-gen). Hierdoor blijven zij hun hele leven het enzym lactase aanmaken, waarmee ze melkproducten kunnen verteren.

a Leg uit hoe door een mutatie van het LP-gen lactosetolerantie kan ontstaan.

Het LP-gen zorgt er normaal gesproken voor dat het lactase-gen na de lactatieperiode wordt uitgeschakeld. Door de mutatie schakelt het LP-gen het lactase-gen niet meer uit.

b Verklaar de snelle toename van de frequentie van deze mutatie in populaties melkveehouders.

De mutanten hebben een selectievoordeel (meer voedsel), waardoor de mutatiefrequentie snel toeneemt.

64

De gene flow tussen verschillende populaties mensen is nu veel groter dan vroeger. Leg uit welke ontwikkeling hieraan heeft bijgedragen.

Mensen reizen meer, doordat het eenvoudiger en goedkoper is geworden om lange afstanden af te leggen.

65

Leg uit welke milieufactoren bij mensen in Nederland sinds honderd jaar een kleinere rol in het evolutieproces spelen.

Ziekte en de hoeveelheid voedsel spelen in Nederland een kleinere rol in het evolutieproces. In Nederland is voldoende voedsel, waardoor er geen selecterende invloed door voedseltekort bestaat. In Nederland is de gezondheidszorg goed, waardoor er door kinderziekten weinig kindersterfte is en veel mensen kinderen kunnen krijgen voordat ze komen te overlijden aan een ernstige ziekte.

66

Dankzij de verbeterde gezondheidszorg worden Nederlanders gemiddeld ouder dan honderd jaar geleden. Toch komen ouderdomsziekten zoals dementie en hartfalen nog vaak voor.

Leg uit dat ouderdomsziekten waarschijnlijk geen selectienadeel hebben.

Voorbeelden van juiste antwoorden:

- De ziekte doet zich pas voor als de patiënt al kinderen heeft.
- Mensen die ouderdomsziekten krijgen, zijn in de vruchtbare leeftijd nog gezond en krijgen gemiddeld evenveel kinderen als andere mensen.

5 Ontstaan van soorten

KENNIS

67

De Grand Canyon in Amerika bestaat uit een noord- en zuidkant die door de Coloradorivier van elkaar zijn gescheiden (zie afbeelding 36). De afstand tussen beide kanten is ongeveer 20 km. Aan de noord- en zuidkant van de Grand Canyon leven verschillende populaties dieren en planten.

- Is er bij de Grand Canyon sprake van geografische isolatie voor vogels? Leg je antwoord uit.
Nee, er is geen sprake van geografische isolatie voor vogels, want vogels kunnen van de noord- naar de zuidkant vliegen.
- En is er sprake van geografische isolatie voor eekhoorns? Leg je antwoord uit.
Ja, er is sprake van geografische isolatie voor eekhoorns, want eekhoorns kunnen de rivier niet oversteken.
- Zal er in de Grand Canyon eerder allopatrische soortvorming optreden bij vogels of bij kleine zoogdieren? Leg je antwoord uit.
Er zal eerder allopatrische soortvorming bij kleine zoogdieren. Door de rivier en de afstand tussen de noord- en zuidkant bestaat er weinig gene flow tussen de verschillende populaties zoogdieren aan de noord- en zuidkant. Bij vogels zal er tussen beide populaties voldoende gene flow zijn.

68

Speelt natuurlijke selectie een rol bij allopatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

Ja, natuurlijke selectie speelt een rol bij allopatrische soortvorming. In verschillende gebieden heersen verschillende omstandigheden. Populaties in die verschillende gebieden zullen per toeval andere mutaties krijgen. Organismen die niet goed zijn aangepast aan de omgeving, zullen sneller overlijden. Organismen die beter zijn aangepast, zullen beter overleven, waardoor natuurlijke selectie plaatsvindt.

69

Zal allopatrische soortvorming eerder plaatsvinden op een eiland dicht bij het vasteland of op een eiland ver van het vasteland?

Allopatrische soortvorming zal eerder plaatsvinden op een eiland ver van het vasteland. Op eilanden ver van het vasteland is de kans kleiner dat soorten vanaf het vasteland het eiland bezoeken. Hierdoor treedt er minder gene flow op.

70

De biodiversiteit op eilanden wordt slechts voor een deel verklaard door inheemse soorten.

Welke soorten, naast inheemse soorten, dragen bij aan de biodiversiteit van een eiland?

Soorten die vanuit andere plekken het eiland kunnen bereiken en zich er vestigen dragen naast inheemse soorten bij aan de biodiversiteit van een eiland.

71

Bij welke manier van soortvorming is de gene flow het kleinst? Bij allopatrische of sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

Bij allopatrische soortvorming is de gene flow het kleinst. Wanneer populaties geografisch van elkaar zijn gescheiden, zal er weinig tot geen uitwisseling van genen meer plaatsvinden. Bij sympatrische soortvorming bevinden de populaties zich nog wel in hetzelfde gebied, waardoor er dus een grotere kans is op het uitwisselen van genen.

72

In het Victoriameer in Afrika leven twee nauwverwante soorten cichliden: *Pundamilia pundamilia* en *Pundamilia nyererei*. Onderlinge paring in kunstmatige omstandigheden levert levensvatbare en vruchtbare nakomelingen op. Onder natuurlijke omstandigheden hebben de vrouwtjes van *Pundamilia pundamilia* voorkeur voor hun mannetjes met blauw getinte rug. Vrouwtjes van *Pundamilia nyererei* hebben voorkeur voor hun mannetjes met rood getinte rug.

Is hier sprake van allopatrische of sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

Hier is sprake van sympatrische soortvorming. De vissen leven in hetzelfde meer, maar de specifieke voorkeur van de vrouwtjes voor hun mannetjes zorgt voor reproductieve isolatie. Daardoor blijven beide genenpoelen van elkaar gescheiden.

73

Zo'n drie miljoen jaar geleden ontstond de landengte van Panama: het gebied dat Noord-Amerika verbindt met Zuid-Amerika (zie afbeelding 39). Hierdoor werden de Atlantische Oceaan en de Stille Oceaan van elkaar gescheiden. Aan beide kanten van de landengte ontstonden daarna nieuwe soorten.

a Vond er allopatrische of sympatrische soortvorming plaats?

Er vond allopatrische soortvorming plaats. De soorten ontstonden na geografische isolatie.

b Leg uit hoe soortvorming plaatsvond. Gebruik in je antwoord de begrippen isolatie, mutatie en natuurlijke selectie.

De gebieden raakten geografisch van elkaar geïsoleerd. Aan beide kanten van de landengte ontwikkelden zich door mutatie en natuurlijke selectie nieuwe soorten.

74

Wanneer een tetraploïde en een diploïde plant met elkaar worden gekruist, kunnen zij samen geen vruchtbare nakomelingen krijgen.

Leg dit uit.

Een nakomeling zou triploïd zijn ($3n$). Bij de meiose is er voor een derde van de chromosomen dus geen homolog chromosoom. Als de meiose niet goed verloopt, kunnen er geen gameten worden gevormd.

INZICHT

75

Zal de genenpool van inheemse soorten op een eiland dicht bij het vasteland meer of minder onder druk staan dan de genenpool van een eiland van vergelijkbare grootte ver van het vasteland? Leg je antwoord uit.

De genenpool van inheemse soorten dicht bij het vasteland zal meer onder druk komen te staan. Dit komt doordat de genenpool afhankelijk is van het aantal individuen binnen de soort en de genetische variatie die ze bij zich dragen. Dat aantal individuen zal op een eiland dicht bij het vaste land meer concurrentie hebben van invasieve soorten die vanuit het vasteland op het eiland terechtkomen (immigratie).

76

In de grafiek van afbeelding 34 zie je vier letters A, B, C en D. Gegeven zijn vier eilanden:

- P is een groot eiland dicht bij het vasteland.
- Q is een klein eiland dicht bij het vasteland.
- R is een groot eiland ver van het vasteland.
- S is een klein eiland ver van het vasteland.

Op elk van de eilanden is het aantal soorten dat immigrereert even groot als het aantal soorten dat uitsterft.

- a Met welke letters in de grafiek komen deze eilanden P, Q, R en S overeen?

Eiland P komt overeen met letter D.

Eiland Q komt overeen met letter B.

Eiland R komt overeen met letter C.

Eiland S komt overeen met letter A.

- b Op welk eiland komen de meeste soorten voor?

Op eiland P komen de meeste soorten voor.

77

De Noord-Amerikaanse appelvlieg legt haar eitjes onder andere in de meidoorn. Toen ongeveer tweehonderd jaar geleden uit Europa de appel werd ingevoerd in de VS, ontstond er een ras van de appelvlieg dat zich richtte op de appel. Dit nieuwe ras heeft nu geen voorkeur meer voor de meidoorn om eitjes in te leggen en het oorspronkelijke ras heeft geen voorkeur voor appels. Uit genetisch onderzoek blijkt dat de rassen onderling verschillen.

- a Is in dit voorbeeld sprake van (al dan niet voltooide) sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

Ja, hier is sprake van sympatrische soortvorming. De populaties appelvliegen zijn niet geografisch gescheiden, maar ontwikkelden verschillende voortplantingsactiviteiten, waardoor reproductieve isolatie is ontstaan.

- b Op de Galapagoseilanden hebben zich uit de daar aangekomen dieren zowel een bijzondere schildpaddensoort (*Geochelone elephantopus*) als een bijzondere leguanensoort (*Conolophus subcristatus*) ontwikkeld. Beide soorten verschillen sterk van hun verwante soorten op het Zuid-Amerikaanse vasteland.

Is in dit voorbeeld sprake van (al dan niet voltooide) sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

Nee, er is geen sprake van sympatrische soortvorming. Er is sprake van allopatrische soortvorming doordat de soorten geografisch van elkaar zijn gescheiden.

- c In het noordoostelijke deel van de Grote Oceaan zijn twee populaties van orka's. De populatie die daar permanent verblijft, mijdt de populatie van trekkende orka's die daar langskomt. Er vinden geen paringen plaats tussen individuen van de twee populaties. De twee populaties jagen op verschillende prooien, hebben een ander dieet, maken andere geluiden en leven in onderling verschillende sociale verbanden.

Is in dit voorbeeld sprake van (al dan niet voltooide) sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

Ja, er is sprake van sympatrische soortvorming. De populaties zijn niet geografisch gescheiden, maar hebben een andere voedselkeuze en vertonen ander gedrag, waardoor sprake is van reproductieve isolatie.

78

Omdat snelwegen een barrière zijn voor wilde dieren, worden voorzieningen zoals ecoducten en faunatunnels aangebracht. Deze voorzieningen verbinden de verschillende zijden van een snelweg met elkaar.

- a Leg uit in hoeverre ecoducten en faunatunnels een rol spelen in de genetische variatie binnen populaties.

Ecoducten en faunatunnels voorkomen dat grote populaties in meerdere kleine populaties worden gesplitst. Hoe groter de populaties (dankzij ecoducten en faunatunnels), hoe groter de biodiversiteit.

- b Ecoducten en faunatunnels kunnen twee door de snelweg gescheiden populaties weer bij elkaar brengen.

Leg uit welke gevolgen dit heeft voor de genetische variatie binnen de nieuw ontstane populatie.

De genetische variatie binnen de nieuwe populatie zal zeer waarschijnlijk toenemen, doordat de populatie groter wordt.

79

Brazilië staat bekend om het Amazonegebied met zijn rijke natuur. Het heeft van alle landen ter wereld de grootste biodiversiteit. Zo leven hier de meeste soorten zoetwatervissen en zoogdieren ter wereld. Naast het Amazonegebied heeft Brazilië ook veel (brede) rivieren.

- a Wat kan een reden zijn dat er in Brazilië zoveel verschillende soorten zoogdieren voorkomen?

Rivieren vormen een natuurlijke barrière tussen twee gebieden die veel zoogdieren niet kunnen oversteken. Daardoor ontstaan er geïsoleerde populaties zoogdieren die afzonderlijk van elkaar tot nieuwe soorten evolueren.

- b Leg uit waardoor in Brazilië zoveel verschillende soorten zoetwatervissen voorkomen.

Rivieren zijn van elkaar gescheiden. Daardoor kunnen populaties gemakkelijker aparte soorten vormen, waardoor de kans op gene flow klein is.

80

Lees eerst het onderzoek in afbeelding 40.

Sommige biologen menen dat eivlekken in de loop van de evolutie ontstaan zijn uit kleine parelvormige vlekjes die bij veel soorten cichliden voorkomen.

- a Leg uit op welke wijze cichlidesoorten met eivlekken volgens de evolutietheorie kunnen zijn ontstaan.

Als gevolg van mutaties ontstond er binnen de populatie verscheidenheid in de vorm of kleur van de vlekken op de anale vin. Tijdens de balts wordt de kans op bevruchting groter naarmate de vlekken op de anale vin meer op eieren lijken. Dit heeft tot gevolg dat het aantal nakomelingen met eivlekken binnen de populatie sterker toeneemt dan dat met minder gelijkende anale vlekken. Als deze nakomelingen met eivlekken zich vervolgens alleen nog maar onderling kunnen voortplanten, is een nieuwe soort ontstaan.

- b Welk(e) van de genoemde onderzoeksresultaten ondersteunt (ondersteunen) de hypothese?

Als je een soortgenoot wilt herkennen bij de balts, terwijl het zicht minder is, dan moeten de eivlekken opvallender (groter) zijn. Dus resultaat 1 ondersteunt de hypothese.

Het wel of niet op de echte eieren lijken van de eivlekken heeft volgens de resultaten geen invloed op het herkennen van een soortgenoot. De eivlekken moeten echter volgens de hypothese soortspecifiek zijn. Dus resultaat 2 ondersteunt de hypothese niet.

Als er geen eivlekken zijn, zou volgens de hypothese het vrouwtje een soortgenoot niet herkennen. Ze zou dan niet moeten happen. Dus resultaat 3 ondersteunt de hypothese niet.

- c Wat is de conclusie van dit onderzoek?

Uit de resultaten blijkt geen duidelijke functie van de eivlekken. De hypothese is verworpen.

Context Een mix van drie soorten

81

Leg uit waarom de gespotte vogel een hybride van een hybride was.

De moeder van de gespotte vogel was zelf al een hybride (omdat ze een vader en moeder van een verschillende soort had); de vader van de gespotte vogel was ook weer van een andere vogelsoort dan de moeder van de gespotte vogel.

82

Bestaat er meer verwantschap tussen roestflankzangers en geel- en blauwvleugelzangers of tussen mensen en chimpansees? Leg je antwoord uit.

Er bestaat meer verwantschap tussen mens en chimpansee. De splitsing tussen roestflankzangers en geel- en blauwvleugelzangers vond meer dan tien miljoen jaar geleden plaats. De splitsing tussen mens en chimpansee was zeven miljoen jaar geleden, waardoor er meer tijd was voor mutaties. Die mutaties zorgen voor genetische variatie en die zal tussen de genoemde vogelsoorten dus groter zijn.

83

De tekst gaat over drie soorten vogels: de geelvleugelzanger, de blauwvleugelzanger en de roestflankzanger.

- a Leg uit of je op basis van de naamgeving kunt afleiden of de drie soorten in de taxonomie tot hetzelfde geslacht behoren. Zo ja, welke soorten behoren tot hetzelfde geslacht?

Ja, je kunt op basis van de naamgeving afleiden of de drie soorten in de taxonomie tot hetzelfde geslacht horen. De eerste naamsaanduiding in de wetenschappelijke (binaire) naam geldt als geslachtsnaam. Deze is bij de geelvleugelzanger en de blauwvleugelzanger gelijk (ze behoren in de taxonomie tot hetzelfde geslacht), maar is anders dan bij de roestflankzanger die dus tot een ander geslacht behoort.

- b Waarom is het taxonomisch opvallender dat twee vogels die tot een verschillend geslacht behoren met elkaar paren, dan twee vogels die tot een verschillende soort behoren?

Dit is opvallend, omdat het geslacht in de taxonomie boven de rang van soort komt en de vogels dus minder overeenkomsten hebben.

84

Ornitholoog Christaan Both van de Rijksuniversiteit Groningen vindt de gemixte vogel ook erg interessant. Vooral omdat deze vogel volgens hem aangeeft dat biologische definities soms aan herziening toe zijn.

Welke biologische definitie zou op basis van de ontdekking van de gemixte vogel niet meer juist zijn? Leg je antwoord uit.

De definitie van soort zou niet meer juist zijn. Organismen behoren tot dezelfde soort als ze zich onderling kunnen voortplanten en daarbij vruchtbare nakomelingen krijgen. De gemixte vogel ontstond echter uit een vader en een moeder, waarvan de moeder al een mix van twee verschillende soorten was. Toch kon de moedervogel zich nog voortplanten en dat is volgens de huidige biologische definitie van soort alleen voorbehouden aan organismen die tot een en dezelfde soort behoren.

6 Onderzoek naar evolutie

KENNIS

85

Mensen hebben een staartbeentje en staartwervels.

- a Leg uit waarom dit rudimentaire structuren zijn.

Deze structuren hebben voor de mens geen functie meer, maar zijn wel nog steeds aanwezig in het bouwplan.

- b Waarom hadden deze structuren voor onze voorouders een voordeel, maar zijn deze bij de mens rudimentaire structuren geworden?

Voor onze voorouders hadden staartbeen en staartwervels een voordeel, mogelijk konden ze hiermee beter in bomen leven. De staart kan dan hebben gediend als grijp- en steunorgaan. Doordat de mens op de grond is gaan leven, hebben de staartwervels hun functie verloren.

86

Leg bij de volgende vragen steeds je antwoord uit.

- a Zijn de staart van een walvis en de staartvin van een zalm homologe of analoge structuren?

De staart van een walvis en de staartvin van een zalm zijn analoge structuren. De staarten hebben overeenkomst in functie, maar die berust niet op verwantschap.

- b Zijn de poten van insecten en de poten van zoogdieren homologe of analoge structuren?

De poten van insecten en de poten van zoogdieren zijn analoge structuren. De poten hebben overeenkomst in functie, maar die berust niet op verwantschap.

- c Zijn de staart van een krokodil en de staart van een muis homologe of analoge structuren?

De staart van een krokodil en de staart van een muis zijn homologe structuren. Beide staarten hebben overeenkomst in bouw die berust op een gemeenschappelijke grondvorm.

87

- a Waarin verschilt een stamboom van een cladogram?

Een stamboom geeft op een tijdschaal aan op welk moment in de geschiedenis verschillende soorten uit één voorouder tot stand zijn gekomen. Bij een cladogram is dit tijdsaspect niet aanwezig.

- b De evolutionaire relaties tussen alle soorten kun je via één fylogenetische stamboom weergeven.

Leg aan de hand van het begrip 'stamboom' uit dat alle soorten op aarde uiteindelijk aan elkaar verwant zijn.

Bij een stamboom staan verschillende soorten aan het einde van de takken. Op vertakkingspunten staan de gemeenschappelijke voorouders van de soorten aan het einde van iedere vertakking. Hoe verder je afdaalt in de boom (teruggaat in de tijd), hoe dichter je uiteindelijk bij de stam van de boom komt. Daar bevindt zich de oudste gemeenschappelijke voorouder van alle soorten op aarde (de eerste levensvorm op aarde).

88

Bekijk afbeelding 48.

- a Is de orang-oetan meer verwant aan de gorilla of aan de gibbon?

De orang-oetan is meer verwant aan de gorilla. De splitsing tussen orang-oetan en gorilla vond later plaats dan die tussen orang-oetan en gibbon.

- b Welke primate is later ontstaan, de lemur of het spookdier?

Het spookdier is later ontstaan dan de lemur. Hoe verder de splitsing naar beneden, hoe langer geleden een soort is ontstaan. De splitsing waarbij de lemur is ontstaan, staat verder naar beneden dan de splitsing van het spookdier. De lemur is dus langer geleden ontstaan.

89

- a Waardoor is het lastig voor onderzoekers om aan twee nagenoeg identieke fossielen te zien of ze tot dezelfde soort behoren?

Organismen behoren tot dezelfde soort als ze zich onderling kunnen voortplanten en vruchtbare nakomelingen kunnen krijgen. Dat kun je met fossielen niet aantonen.

- b DNA-onderzoek geeft soms nieuwe informatie over verwantschap die niet overeenkomt met stambomen die tot stand zijn gekomen door onderzoek naar fossielen.

Leg uit of deze nieuwe informatie aanleiding zou moeten geven tot aanpassing van de stamboom.

Je zou dan de stamboom moeten aanpassen. DNA is een veel nauwkeuriger manier om de mate van verwantschap tussen organismen te bepalen dan fossielen. De bouw van een organisme (fenotype) is afhankelijk van genotype en omgevingsfactoren en niet alle genetische veranderingen zijn zichtbaar in het fenotype.

INZICHT

90

Het pantoffeldiertje werd lange tijd tot het dierenrijk gerekend, omdat het niet in staat is tot fotosynthese. Op grond van biochemisch onderzoek kan het pantoffeldiertje worden ingedeeld bij de fotosynthetiserende algen.

Wat betekent dit voor de voorouders van het pantoffeldiertje, als je ervan uitgaat dat de groep fotosynthetiserende algen monofyletisch is?

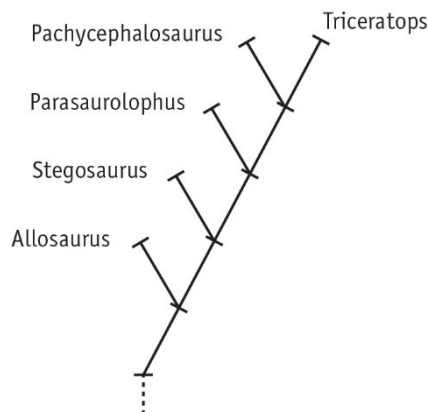
Dat betekent dat de voorouders van het pantoffeldiertje wel in staat waren tot fotosynthese.

91

Door het bestuderen van fossiele resten van dinosauriërs is veel bekend geworden over de bouw van de skeletten van deze dieren. Afbeelding 50 geeft een overzicht van een aantal kenmerkende eigenschappen van het skelet van vijf verschillende genera (geslachten). Met een plus of min is aangegeven of de eigenschap wel of niet aanwezig is.

Teken een cladogram op basis van de gegevens in afbeelding 50.

Zie onderstaand schema. Let op: Pachycephalosaurus en Triceratops kun je omwisselen.



92

- a Welke functie heeft het bekken bij de meeste zoogdieren?

Het bekken heeft bij de meeste zoogdieren een steunfunctie. Ook verbindt het de beenderen van de poten met die van de romp.

- b Een vis heeft geen bekken.

Zijn walvissen (zie afbeelding 45) in de evolutie waarschijnlijk ontstaan uit vissen of uit landzoogdieren?

Walvissen zijn in de evolutie waarschijnlijk ontstaan uit landzoogdieren die weer zijn teruggedraaid naar het water.

93

In deze opdracht werk je een voorbeeld van cladistisch onderzoek uit aan de hand van cytochroom c. Cytochroom c is een enzym dat een rol speelt bij de verbranding in mitochondriën. Enzymmoleculen zijn (net als alle andere eiwitmoleculen) opgebouwd uit een groot aantal aan elkaar gekoppelde aminozuurmoleculen. Er zijn twintig verschillende aminozuren. Door mutaties in de genen kunnen veranderingen in de aminozuurvolgorde ontstaan.

In tabel 2 zie je de aminozuursamenstelling van het cytochroom c van vier zoogdiersoorten. Alleen de aminozuren die verschillend zijn, zijn vermeld. Op de onderste rij zie je de aminozuursamenstelling van de gemeenschappelijke voorouder van deze soorten.

De volledige namen van de aminozuren vind je in **BiNaS** tabel 67H en tabel 71G.

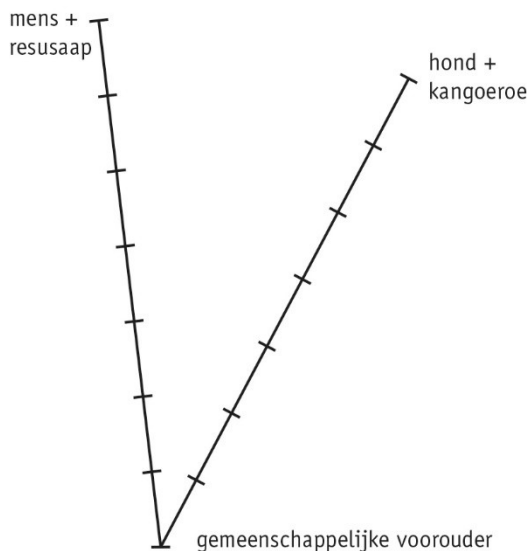
- a Bij positie 19 en 20 zijn de aminozuren van mens en resusaap wel veranderd en die van hond en kangoeroe niet.

Voor hoeveel posities geldt hetzelfde?

Dat geldt voor zeven posities (positie 19, 20, 23, 53, 58, 91 en 97).

- b Teken het cladogram zoals dat eruit zou zien op basis van alleen deze posities.

Zie onderstaand cladogram.



- c Op positie 66 is bij de mens en de kangoeroe dezelfde verandering opgetreden. Dit zou betekenen dat de mens en de kangoeroe voor een deel een gemeenschappelijke ontwikkeling hebben meegemaakt die de hond en de resusaap niet hadden. Toch is dit zeer onwaarschijnlijk.

Welke andere verklaring is mogelijk voor dit gegeven?

De verandering op positie 66 is toevallig bij beide soorten opgetreden na de splitsing tussen deze soorten. In principe zoek je naar het cladogram met het kleinste aantal veranderingen. Een cladogram met twee keer dezelfde verandering is dus niet optimaal.

- d Leg uit dat cytochroom c niet voorkomt in bacteriën en archaea.

Cytochroom c is een enzym dat een rol speelt bij de verbranding in de mitochondriën. Bacteriën en archaea hebben geen mitochondriën.

94

Bacteriën die ongevoelig (resistent) zijn voor de meeste antibiotica noem je bijzonder resistente micro-organismen (BRMO). MRSA is een van de bekendste resistente bacteriën. Een andere groep staat bekend onder de naam CPE-bacteriën. Dit is een groep van verschillende soorten bacteriën die het enzym carbapenemase bezitten dat bepaalde soorten antibiotica kan afbreken. Zijn de resistenties bij verschillende soorten CPE-bacteriën een voorbeeld van homologie of analogie? Leg je antwoord uit.

Deze resistenties zijn een voorbeeld van homologie. Het enzym carbapenemase dat bij verschillende bacteriën voorkomt, is een homologe structuur. Het berust op een gemeenschappelijke grondvorm en veronderstelt dat deze bacteriën een gemeenschappelijke voorouder hebben.

Context Voeten gezocht

95

De plek waar Shubin zijn ontdekking van Tiktaalik deed, was nogal opmerkelijk, omdat hij vooral fossielen van tropische dieren vond.

- a Wat is er zo opmerkelijk aan de vondstplek?

De vondstplek ligt in een arctisch gebied, terwijl de fossielen afkomstig zijn van dieren die in een tropisch gebied leefden.

- b Fossielen van tropische dieren werden gevonden in het arctisch gebied. Wat kun je hieruit afleiden over het klimaat in het arctisch gebied ten tijde van de Tiktaalik?

In die tijd was de aarde warmer dan nu en had de plek dicht bij de polen waarschijnlijk een tropisch klimaat. De dieren leefden mogelijk in tropische zeeën en hun fossielen kwamen daar ook in de bodem terecht.

- c Leg uit wat Tiktaalik een ware missing link maakt.

Tiktaalik heeft eigenschappen van vissen en eigenschappen van landdieren; dat maakt Tiktaalik het overgangsfossiel dat ontbrak tussen de fossielen van vissen en de fossielen van landdieren. Een soort die eigenschappen van beide heeft, is dan de missing link.

96

In de tekst staat dat de zoektocht naar een missing link eigenlijk een zoektocht is naar bewijs voor de evolutietheorie van Darwin.

- a Waardoor is het ontbreken van een missing link tussen vissen en landdieren een probleem voor de evolutietheorie van Darwin?

De evolutietheorie stelt dat soorten stap voor stap uit elkaar ontstaan. De stap tussen vissen en landdieren is zonder missing link te groot, omdat vissen en landdieren niet genoeg overeenkomsten hebben om verwantschap aan te tonen.

- b In afbeelding 52 zijn de poten van Tiktaalik en een krokodil afgebeeld. Is de overeenkomst voldoende bewijs dat de krokodil afstamt van Tiktaalik? Leg je antwoord uit.

Nee, dat is niet voldoende bewijs. Daarvoor zou je de hele bouw van Tiktaalik moeten vergelijken met de bouw van de krokodil.

Samenhang Komen mammoeten weer tot leven?

1

Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau: *Aziatische olifant* – *bossen* – *botten* – *dinosaurussen* – *DNA* – *draagmoeder* – *embryo's* – *huidcel* – *slagtanden* – *stamcellen* – *toendra's* – *vetlagen* – *wolharige mammoet*.

Organisatieniveau	Begrip
Ecosysteem	bossen, toendra's
Populatie	dinosaurussen
Organisme	Aziatische olifant, draagmoeder, embryo's, wolharige mammoet
Orgaan	botten, slagstanden
Weefsel	vetlagen
Cel	huidcel, stamcellen
Molecuul	DNA

2

De wetenschappelijke naam van de wolharige mammoet is *Mammuthus primigenius*; die van de Aziatische olifant is *Elephas maximus*.

Behoren beide organismen tot hetzelfde geslacht en dezelfde soort?

Ze behoren niet tot hetzelfde geslacht en niet tot dezelfde soort. De eerste naam is de geslachtsnaam en de tweede naam is de soortnaam en die komen niet overeen.

3

De gemeenschappelijke voorouder van de Aziatische en Afrikaanse olifant is *Primelephas* (zie afbeelding 2).

a Waarom wil Colossal Biosciences gebruikmaken van cellen van de Aziatische olifant en niet de Afrikaanse olifant?

De Aziatische olifant is meer verwant met (staat genetisch dichterbij) de wolharige mammoet dan de Afrikaanse olifant.

b Zijn de Aziatische en Afrikaanse olifant ontstaan door sympatrische of allopatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

Beide olifanten zijn ontstaan door allopatrische soortvorming. De gebieden lagen geografisch zo ver uit elkaar dat er sprake was van reproductieve isolatie. Er kon daardoor geen gene flow tussen beide populaties plaatsvinden.

4

De Aziatische olifant komt voor in bosrijke gebieden en heeft kleinere oren dan de Afrikaanse olifant die voorkomt op savannes. De oren van de olifant dienen onder andere voor het afvoeren van warmte.

Beschrijf een manier waarop de verschillen in grootte van het oor tussen deze twee olifantensoorten konden ontstaan.

Door mutatie en recombinatie is er genetische variatie in de eigenschap oorgrootte ontstaan. Op de savanne is het vaak heet. Olifanten met grote oren hebben op de savanne daardoor een selectievoordeel. In de bossen is het koeler, waardoor er geen noodzaak is om grote oren te hebben.

5

Er bestaan twijfels of bestaande olifanten wel willen paren met de 'nieuwe mammoeten'. Drie vormen van selectie zijn: natuurlijk, kunstmatig en seksueel.

Van welke vorm van selectie zou sprake zijn wanneer de Aziatische olifanten niet willen paren met 'de nieuwe mammoeten'? Licht je antwoord toe.

Er zou sprake zijn van seksuele selectie (die de kans op voortplantingssucces beïnvloedt).

De factor die het voortplantingssucces beïnvloedt komt niet uit de omgeving zelf (zoals bij natuurlijke selectie het geval is) en er is ook geen sprake van de mens zelf (zoals bij kunstmatige selectie).

6

Als de nieuwe mammoet een nieuwe soort blijkt te zijn, zou je dan kunnen spreken over allopatrische of sympatrische soortvorming?

Je kunt over geen van beide spreken, aangezien bij beide termen sprake moet zijn van populaties van dezelfde soort die in ieder geval enige tijd reproductief van elkaar geïsoleerd zijn. In die tijd van reproductieve isolatie moet dan natuurlijke selectie plaatsvinden. Bij het creëren van de nieuwe mammoet is geen sprake van reproductieve isolatie en ook geen sprake van natuurlijke selectie.

Practica

Pantoffeldiertje (*Paramecium spec.*)

1

Formuleer de hypothese van de bloemist. Formuleer ook de bijbehorende verwachting.

Hypothese: de bacteriegroei wordt geremd door snijbloemenvoedsel.

Verwachting: als er meer snijbloemenvoedsel wordt toegevoegd aan bloemenwater, groeien er minder bacteriën in het water.

2

Geef in een tabel de aantallen kolonies of de bedekkingsgraad per bak weer.

Eigen antwoord.

3

Is de hypothese bevestigd?

Afhankelijk van het resultaat is de hypothese wel of niet bevestigd. Als in petrischaal 1 de sterkste bacteriegroei optreedt en in petrischaal 3 weinig tot geen bacteriegroei, dan is de hypothese bevestigd.

4

Wat zou de oorzaak kunnen zijn als er in alle drie petrischalen veel bacteriegroei is opgetreden?

Dat kan komen doordat de petrischaal een tijdje open is geweest. Daardoor heeft er verontreiniging met bacteriën uit de lucht plaatsgevonden.

Natuurlijke selectie gesimuleerd

1

Geef de resultaten weer in een tabel. Zet in kolom 1 van de tabel de tien kleuren, in kolom 2 het aantal met zonnebril en in kolom 3 het aantal zonder zonnebril.

Eigen antwoord.

2

Verklaar het resultaat dat na een paar generaties is bereikt.

De rondjes (dieren) met kleuren die erg opvallen op de lap / het papier worden meer gevangen door de roofdieren en nemen dus in aantal af. Dit is een voorbeeld van natuurlijke selectie.

3

Leg uit hoe het verschil tussen experiment 1 (zonder zonnebril) en experiment 2 (met zonnebril) is ontstaan.

Als een roofdier volledig kleurenblind is, kan hij alleen zwart en wit als kleur onderscheiden. De andere kleuren ziet hij als grijs tinten. Het is daardoor moeilijker om deze prooidieren tegen de achtergrond te onderscheiden. De natuurlijke selectie verloopt dan anders (minder sterk) dan in het eerste experiment.

Lichaamslengte schatten aan de hand van gevonden voetafdrukken

1

Maak een tabel van de beenlengte en de paslengte van je proefpersonen.

Eigen antwoord.

2

Maak daarna aan de hand van deze tabel een grafiek van het verband tussen beenlengte en paslengte.

Eigen antwoord.

3

Vergelijk de paslengte van de twee Laetoli-volwassenen (zie tabel 1) met jouw grafiek. Hoe lang waren de benen van deze twee exemplaren van *A. afarensis*?

Eigen antwoord.

4

In tabel 1 staat een schatting van de lichaamslengte van deze twee *Australopithec*i. Hoe zou Mary Leakey tot deze schatting zijn gekomen?

In de skeletten kun je de verhouding tussen beenlengte en lichaamslengte bepalen. Als je de beenlengte weet, kun je dus nagaan hoe groot de lichaamslengte waarschijnlijk was.

5

Bereken met behulp van tabel 1 hoe lang de twee volwassenen waarschijnlijk waren.

Eigen antwoord.

6

Vergelijk je uitkomst bij vraag 5 met de lichaamslengte in tabel 1. Geef een verklaring voor eventuele verschillen.

Het verband tussen beenlengte en lichaamslengte kan bij mensen en *A. afarensis* anders zijn, bijvoorbeeld door een verschil in lenigheid. Tabel 1 is gebaseerd op bepaalde metingen aan fossiele skeletten. De wetenschappers die de tabel hebben gemaakt kunnen van andere getallen zijn uitgegaan. De ondergrond was anders: een stevige vloer binnenshuis in tegenstelling tot een zachte, vochtige laag van vulkaanas.

Examenopgaven

Vogelmijt

1

Leg uit hoe het opnemen van een subletale dosis fipronil door vogelmijten de ontwikkeling van resistentie versnelt.

Uit het antwoord moet blijken dat:

- er vogelmijten zijn die bepaalde genetische eigenschappen hebben waardoor ze beter bestand zijn tegen fipronil / er genetische variatie bestaat in de mate waarin vogelmijten fipronil verdragen 1p
- (waardoor) vogelmijten die beter bestand zijn tegen fipronil zich meer voortplanten (waardoor op termijn de populatie vogelmijten resistent kan worden) 1p

Bruinvis werd rivierbewoner

2

Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende uitspraak 'juist' of 'onjuist' is.

- 1 onjuist
- 2 juist
- 3 juist

indien drie antwoorden juist: 2p

indien twee antwoorden juist: 1p

indien minder dan twee antwoorden juist: 0p

3

Beschrijf hoe uit bruinvissen die in zee leefden bij de monding van de Yangtze een aparte soort kon ontstaan in het zoete water van die rivier.

Uit het antwoord moet blijken dat:

- er (bij bruinvissen die bij de monding van de Yangtze leefden, toevallige) mutaties optraden / genetische variatie aanwezig was (waardoor sommige individuen beter aangepast waren aan het zoetwatermilieu) 1p
- de individuen (met gunstige mutaties) in zoetwater (meer) nakomelingen kregen / een grotere fitness hadden 1p
- (reproductieve) isolatie optrad / er geen voortplanting meer optrad met individuen uit zee (waardoor aparte soorten konden ontstaan) 1p

Zwart door springend gen

4

Leg uit waardoor de frequentie van de *carbonaria*-vorm in de populatie sterk toenam in industriegebieden.

Uit het antwoord moet blijken dat:

- zwarte berkenspanners (op zwartgekleurde berkenstammen een grotere overlevingskans hadden doordat ze) een betere schutkleur hadden / minder last hadden van predatoren 1p
- (waardoor) zwarte berkenspanners een hogere fitness hadden / een selectievoordeel hadden / meer nakomelingen kregen 1p

5

- 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 5, of het allel recessief of dominant is.

Voorbeeld van een juist antwoord:

De allelfrequentie in 1900 = 0,70.

Indien het carbonaria-allel recessief is, bestaat het zwarte fenotype alleen uit homozygoot recessieve individuen en is de frequentie dus $0,70^2 = 0,49$.

Indien het carbonaria-allel dominant is, bestaat het zwarte fenotype uit homozygoot dominante én heterozygote individuen en is de frequentie dus $0,70^2 + 2 \times 0,30 \times 0,70 = 0,91$.

Uit grafiek a blijkt dat de fenotypefrequentie van carbonaria in 1900 ongeveer 0,9 is, dus is het carbonaria-allel dominant.

- voor een juiste berekening van de frequentie van het recessieve fenotype, gebruikmakend van q^2 1p
- voor een juiste berekening van de frequentie van het dominante fenotype, gebruikmakend van $p^2 + 2pq$ of $1 - q^2$ 1p
- voor een juiste conclusie gebaseerd op een vergelijking van de (afgelezen) fenotypefrequentie in 1900 met de berekende fenotypefrequenties 1p

6

Licht toe waardoor er in 1900 waarschijnlijk geen sprake was van een Hardy-Weinberg-evenwicht.

Uit het antwoord moet blijken dat selectie optrad / dat de frequentie van het *carbonaria*-allel toenam.

Onkruidbestrijdingsmiddelen

7

De resistenties bij verschillende soorten binnen één groep zijn een voorbeeld van analogie. Licht dit toe.

Uit het antwoord moet blijken dat deze resistenties (tegen hetzelfde bestrijdingsmiddel) onafhankelijk van elkaar zijn ontwikkeld / dat deze soorten geen gemeenschappelijke voorouder hebben met deze resistentie.