

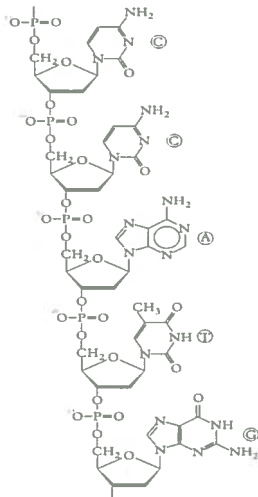
# 5 Genexpressie, RNA en \*eiwitsynthese

## Macromoleculen in bacteriën

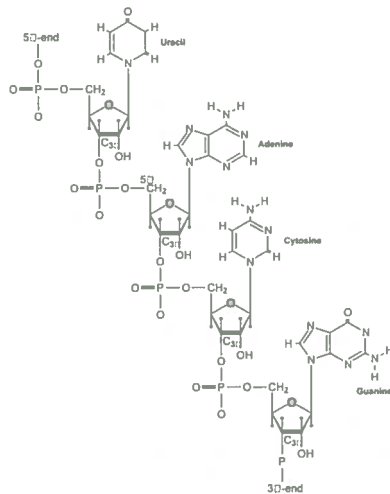
In levende cellen spelen verschillende macromoleculen een rol, onder andere bij informatieopslag. In afbeelding 1 zie je kleine stukjes van drie verschillende soorten macromoleculen.

afbeelding 1

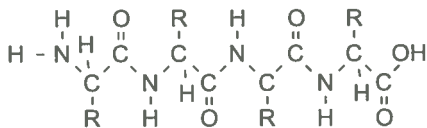
macromolecuul 1



macromolecuul 2



macromolecuul 3



- 1 Welke van deze moleculen kunnen worden aangetroffen in het cytoplasma van bacteriën?
- A alleen 1 en 2
  - B alleen 1 en 3
  - C alleen 2 en 3
  - D zowel 1, 2 als 3

## Groenlander van weleer geeft zijn DNA prijs

- 10** Het te onderzoeken monster bevat dan niet alleen DNA van Inuk, maar ook van bacteriën en/of schimmels.
- 11 B** Informatie over erfelijke eigenschappen is vastgelegd in DNA. Naarmate meer DNA-fragmenten overeenkomen, zullen organismen meer op elkaar lijken.  
*Een karyogram geeft een overzicht van het aantal en de vorm van de chromosomen van een cel. Die zijn zichtbaar als het DNA gespiraliseerd is tijdens de celdeling. Volwassen haarcellen bevinden zich niet in een delingsstadium en dus zijn geen chromosomen zichtbaar voor het maken van een karyogram.*  
*Afzonderlijke basenparen/nucleotiden coderen niet voor een aminozuur. Een langere serie basenparen/nucleotiden kan erfelijke informatie bevatten.*
- 12 A** De redeneringen van Luc en Bas zijn deels correct, maar de conclusies niet. Mensen (en dus ook Inuk) kunnen bloedgroep AB hebben; dan hebben ze ook een gen voor bloedgroep B.

## Elysia chlorotica, een dier met fotosynthese

- 13 B** Een gen komt tot expressie in het fenotype als het DNA wordt overgeschreven in mRNA (transcriptie) en tot eiwitsynthese leidt (translatie). Dit systeem van eiwitsynthese kan alleen functioneren als het DNA dat oorspronkelijk uit de alg kwam op dezelfde manier gecodeerd wordt.
- 14** De algencel heeft een celwand / centrale vacuole. *of*  
De zeeslakcel heeft geen celwand / geen centrale vacuole.

## Nieuwe diersoort

- 15 A** Verwantschap blijkt uit een groot aantal overeenkomstige eigenschappen. De informatie voor erfelijke eigenschappen is vastgelegd in genen; elk gen heeft een specifieke volgorde van een aantal basen in een DNA-molecuul.  
*De lengte en het aantal DNA-moleculen (en dus chromosomen) zijn veel minder kenmerkend voor verwantschap.*

Een voorbeeld van een antibioticum is chlooramfenicol. Dit antibioticum verstoort de werking van ribosomen van bacteriën. Ribosomen van bacteriën verschillen van die van andere organismen, zodat chlooramfenicol de functie van ribosomen uit bijvoorbeeld neusslijmvliescellen niet verstoort.

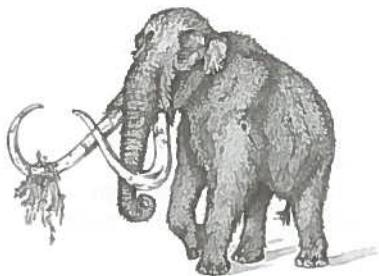
- 2\* – Welk proces wordt direct door chlooramfenicol geremd?  
 – Tot welke groep organismen behoren bacteriën?

| proces           | tot de groep van |
|------------------|------------------|
| A DNA replicatie | eukaryoten       |
| B DNA replicatie | prokaryoten      |
| C eiwitsynthese  | eukaryoten       |
| D eiwitsynthese  | prokaryoten      |

## Mammoetmaag toont leefomgeving

Regelmatig vindt men in de permafrost van de Siberische toendra een ingevroren mammoet. In de zomer van 2007 werd het lijk van een jong dier in vrijwel intacte staat opgegraven. De diepvrieswerking zorgt ervoor dat vaak ook de ingewanden goed bewaard blijven. Daardoor is het galgenmaal van de dieren tot in detail te bestuderen. Uit die maaltijd valt de leefomgeving van het dier te reconstrueren, zoals blijkt uit onderzoek van Bas van Geel en medewerkers. Zij analyseerden voedselresten in de darm van een wolharige mammoet (*Mammuthus primigenius*) die ongeveer 20.000 jaar geleden in Siberië leefde (zie afbeelding).

### afbeelding 2



Met een combinatie van stuifmeelonderzoek, onderzoek aan zaden en DNA-technieken identificeerden de onderzoekers de plantensoorten die de mammoet vlak voor zijn dood at.

De onderzoekers stelden vast dat het DNA afkomstig was van planten uit zeven plantenordes en acht plantenfamilies.

- 3 Hoe konden de onderzoekers, aan de hand van het fossiele DNA, de planten indelen in ordes en families?
- A Door de nucleotidenvolgorde van het fossiele DNA vast te stellen en deze te vergelijken met die van huidige planten.
- B Door de verhouding tussen de hoeveelheden van de verschillende nucleotiden in het fossiele DNA te bepalen.

Het gen, *SATB1* geheten, is een moleculaire hoofdschakelaar. Door het product van dit 'meestergen' kunnen vele andere genen worden aangezet.

Volgens Bernards, moleculair geneticus bij het Nederlands Kanker Instituut, is de ontdekking van het meestergen een nieuw stukje in de puzzel.

Voor de behandeling van kanker vindt Bernards de ontdekking niet relevant. Het nieuwe gen *SATB1* codeert voor een complexe stof waarmee je niet zomaar een borstkankermedicijn kunt ontwikkelen. En hoewel de Amerikaanse onderzoekers het zelf anders zien, lijkt de diagnostische waarde van het gen bij de behandeling van borstkanker vooralsnog beperkt.

- 4 Tot welke groep behoort de stof die door het *SATB1*-gen wordt gecodeerd?
- A eiwitten
  - B koolhydraten
  - C nucleïnezuren
  - D vetten

## Erfelijke informatie

---

Een deel van een bepaalde genetische code is:

AUG GCU AAU UGU GAA UAA

Op basis van deze nucleotide-volgorde wordt een polypeptide gevormd. Over deze code en de wijze waarop het polypeptide wordt gevormd, wordt de volgende combinatievraag gesteld.

Er zijn vier zinnen 1, 2, 3 en 4 en tien begrippen/getallen a tot en met k.

Zin:

- 1 Deze nucleotide-volgorde wordt ... genoemd.
- 2 Voor de translatie worden minimaal ... tRNA moleculen gebruikt.
- 3 De drie DNA-nucleotiden waaraan het RNA-startcodon is gevormd zijn ...
- 4 Als het zevende nucleotide uit het gegeven molecuul verdubbelt, ontstaat na translatie een polypeptide met ... aminozuren.

Begrip/getal:

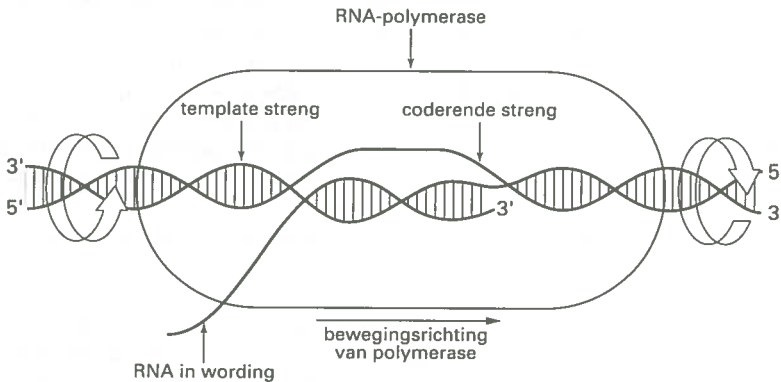
- |       |        |
|-------|--------|
| a TAC | f tRNA |
| b UAC | g mRNA |
| c AUG | h vier |
| d ATG | i vijf |
| e DNA | k zes  |

- 5\* Combineer het cijfer van elke zin met de letter van het begrip of het getal dat in de zin moet worden ingevuld.

## DNA en RvNA

Afbeelding 3 geeft een schema van de transcriptie weer. Het middenstuk van de spiraal in afbeelding 3 wordt een 'RNA-DNA hybride helix' genoemd, omdat de spiraal uit één streng RNA en één streng DNA bestaat. RNA-polymerase is het enzym met behulp waarvan RNA wordt gesynthetiseerd langs een DNA-matrijs.

afbeelding 3



De twee strengen van het DNA worden de 'coderende streng' en de 'template streng' genoemd. De 'template streng' is de streng waaraan door middel van basenparing het mRNA wordt gevormd.

- 6 Welk verschil bestaat er tussen de basen van de 'template streng' en die van het gevormde mRNA?

Een bepaald eiwit bevat onder andere het aminozuur serine (= Ser).

- 7\* Geef alle tripletten die in het mRNA voor het aminozuur Ser mogelijk zijn.

Door een mutatie verandert de middelste base in het triplet dat in het DNA het aminozuur tryptofaan (= Trp) codeert.

- 8\* Welk aminozuur kan of welke aminozuren kunnen dan in plaats van Trp in de eiwitketen worden ingebouwd?

Een heterotrofe bacterie wordt gekweekt op een voedingsbodem waarin zich alleen stikstofverbindingen met  $^{14}\text{N}$  bevinden. Deze bacterie wordt voorafgaande aan de duplicatie overgebracht op een andere voedingsbodem waarin zich alleen stikstofverbindingen met  $^{15}\text{N}$  bevinden. Bij duplicatie kan de bacterie daardoor alleen nucleotiden met  $^{15}\text{N}$  in zijn DNA inbouwen.

Na drie delingen uitgaande van deze ene bacterie wordt bepaald hoe de verhouding is tussen bacteriën met DNA met uitsluitend  $^{14}\text{N}$ , bacteriën met DNA met zowel  $^{14}\text{N}$  als  $^{15}\text{N}$  en bacteriën met DNA met uitsluitend  $^{15}\text{N}$ . Er wordt van uitgegaan dat geen crossing-overs en recombinaties optreden. Er gaan geen bacteriën dood.

- 9 Wat is deze verhouding na de duplicatie voorafgaande aan de vierde deling?

A  $^{14}\text{N}/^{14}\text{N} : ^{14}\text{N}/^{15}\text{N} : ^{15}\text{N}/^{15}\text{N} = 0 : 1 : 7$

B  $^{14}\text{N}/^{14}\text{N} : ^{14}\text{N}/^{15}\text{N} : ^{15}\text{N}/^{15}\text{N} = 0 : 7 : 1$

C  $^{14}\text{N}/^{14}\text{N} : ^{14}\text{N}/^{15}\text{N} : ^{15}\text{N}/^{15}\text{N} = 1 : 7 : 0$

D  $^{14}\text{N}/^{14}\text{N} : ^{14}\text{N}/^{15}\text{N} : ^{15}\text{N}/^{15}\text{N} = 1 : 1 : 1$

Gilford Progeria Syndroom (HGPS).

Bij patiënten die lijden aan deze ziekte is in een bepaald gen in chromosoom 1 op een bepaalde plaats de base cytosine (C) door thymine (T) vervangen.

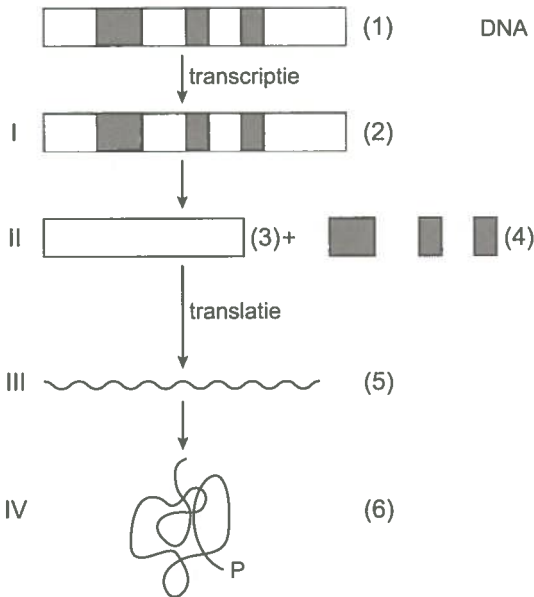
Hierdoor is op die plaats het triplet GGC in de coderende DNA-streng veranderd in GGT. (De coderende streng is de complementaire streng van de template.)

Zo'n verandering zal veelal niet tot een verandering in het door dit gen gecodeerde eiwit leiden. Maar bij deze mutatie gaat het toch mis, namelijk tijdens de vorming van het mRNA. Het gevormde eiwit (lamine A) wordt hierdoor vijftig aminozuren korter dan normaal en dat heeft een funeste invloed op de vorm en het functioneren van het kernmembran.

10\* Leg uit waardoor een mutatie van GGC naar GGT veelal niet tot een verandering in het door dit gen gecodeerde eiwit zal leiden.

Genen bestaan behalve uit gedeelten die coderen voor aminozuren (exons) uit niet-coderende fragmenten (introns). Deze introns worden bij de vorming van functioneel mRNA uit pre-mRNA met behulp van enzymen weggeknipt, waardoor alleen de exons overblijven die aan elkaar worden gekoppeld. Die enzymen knippen op plaatsen met een bepaalde reeks basen in het RNA. In de afbeelding is schematisch een willekeurig gen met introns en exons afgebeeld.

Te zien is hoe vanuit het gen in vier stappen het eiwit P wordt gemaakt.



bewerkt naar: Wim Köhler, Snelle veroudering ontstaat door fout bij knippen van mRNA, NRC Handelsblad, 19 april 2003

- 11\* Welke van de volgende beweringen over de genummerde delen in de afbeelding is juist ?
- A De hoeveelheid thymine in (1) is gelijk aan die in (2).
  - B Functioneel mRNA wordt aangegeven met (3).
  - C Het aantal aminozuren in (5) is gelijk aan het aantal nucleotiden in (3).
  - D Het proces tussen (3) en (5) vindt plaats in de kern.

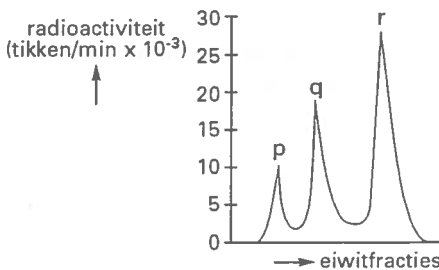
## mRNA

In een experiment wordt mRNA geïsoleerd uit voorlopercellen van rode bloedcellen van de mens. Dit mRNA wordt ingespoten in eicellen van een kikker (groep 1). Een andere groep van dezelfde eicellen dient als controle en blijft onbehandeld (groep 2). De eicellen bevinden zich in een kweekmedium waarin zij zich kunnen ontwikkelen.

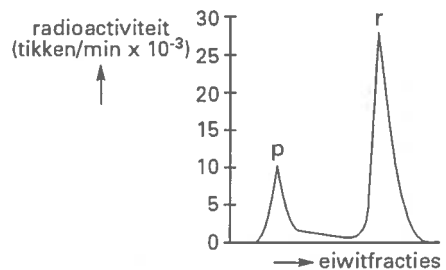
Structuren in de eicel zijn: Golgi-apparaat, kern, lysosomen en ribosomen.

- 12 In welke van deze structuren vindt mRNA-synthese plaats?
- A in het Golgi-apparaat
  - B in de kern
  - C in lysosomen
  - D in ribosomen

Na enige tijd worden de eicellen van de groepen 1 en 2 elk overgebracht in een medium met radioactief gemerkte aminozuren. Na een aantal uren wordt de eiwitsamenstelling van de eicellen geanalyseerd. Hiertoe worden de verschillende eiwitten van elkaar gescheiden met een methode die elektroforese wordt genoemd. De gemeten radioactiviteit is een maat voor de relatieve hoeveelheden van de verschillende eiwitten. De meetresultaten zijn weergegeven in de afbeelding hieronder.



eicellen groep 1



eicellen groep 2

Vervolgens wordt het experiment herhaald, maar nu wordt een extract van rode bloedcellen van de mens ingespoten in de eicellen van een kikker.

- 13\* Welke van de pieken p, q en r wordt of welke worden zeker gemeten wanneer ook van deze eicellen de radioactiviteit van de eiwitfracties na elektroforese wordt gemeten.
- A alleen piek q
  - B alleen de pieken p en r
  - C de pieken p, q en r

- Onderzoek aan de genetische code van een dertigtal schimmelsoorten bracht de informatie over de bouw van de houtafbrekende enzymen aan het licht.
- 14 Uit welke gegevens konden de onderzoekers de bouw van de houtafbrekende enzymen afleiden?
- A De ordening van de chromosomen in het karyogram van een schimmelcel.
  - B De ordening van de genen op de chromosomen van een schimmelcel.
  - C De volgorde van de aminozuren in de genen van een schimmelcel.
  - D De volgorde van de nucleotiden in de genen van een schimmelcel.

## Eiwitten op de celmembraan

---

- 15 Aan de buitenkant van cellen zitten eiwitten waaraan zich antistoffen kunnen hechten. Hoe worden deze eiwitten gemaakt?
- A Door transcriptie wordt de structuur van de aminozuren van het eiwit bepaald.
  - B Door transcriptie worden de aminozuren in de juiste volgorde aan elkaar gekoppeld.
  - C Door translatie wordt de structuur van de aminozuren van het eiwit bepaald.
  - D Door translatie worden de aminozuren in de juiste volgorde aan elkaar gekoppeld.

## Puntmutatie en resultaat van actief gen

---

Bij een patiënt bleek een puntmutatie in het DNA te leiden tot een verandering in een RNA-codon voor glycine (GGG). Bij een puntmutatie is één stikstofbase door een andere stikstofbase vervangen.

Mutatie van een van de drie stikstofbasen in het DNA verandert het genproduct.

- 16 Welke van de drie G's in het codon kan dan veranderd zijn?
- A alleen de eerste G
  - B alleen de tweede G
  - C alleen de derde G
  - D alleen de eerste óf de tweede G
  - E alleen de tweede óf de derde G
  - F de eerste óf de tweede óf de derde G
- 17 De aanwezigheid van welk nucleïnezuur in de cel geeft informatie over de activiteit van een gen?  
Welk proces wordt daarmee aangetoond?

| <u>molecuul</u> | <u>activiteit</u> |
|-----------------|-------------------|
| A DNA           | differentiatie    |
| B DNA           | genexpressie      |
| C RNA           | differentiatie    |
| D RNA           | genexpressie      |



## Hints bij hoofdstuk 5

- 1 Bacteriën hebben geen kern(membraan).
- 2 Wat is de functie van ribosomen in een cel?
- 3 DNA bevat vier verschillende nucleotiden.
- 4 Deze stoffen worden bij ribosomen aangemaakt.
- 5 Let op het stopcodon bij de zinnen 2 en 4.
- 6 Het mRNA bevat de basen: cytosine, guanine, uracil en adenin.
- 7 Zoek dit op in BiNaS of ScienceData.
- 8 Als in een triplet van DNA de middelste base verandert, dan verandert in het bijbehorende triplet van mRNA ook de middelste base.
- 9 Maak een schema van een startbacterie met alleen een  $^{14}\text{N}$ -dubbelspiraal die een aantal malen gaat delen in een  $^{15}\text{N}$ -omgeving.
- 10 Voor welk aminozuur coderen deze tripletten?
- 11 Hoeveel nucleotiden zijn nodig voor de codering van één aminozuur?
- 12 Waar komt de informatie voor de aanmaak van mRNA vandaan?
- 13 Elke proef wordt met kikkereicellen gedaan.
- 14 De bouw van eiwitten staat in gecodeerde vorm in het DNA.
- 15 Dit proces vindt plaats aan de ribosomen.
- 16 Hiervoor heb je informatie uit BiNaS 71G of ScienceData 16.9 nodig.
- 17 De activiteit van een gen komt veelal tot uiting via de aanmaak van een eiwit.

- 1 D** Macromolecuul 1 is een deel van een enkelvoudige DNA-streng met o.a. thymine. DNA komt voor in het chromosoom van een bacterie. In een bacteriecel komt geen kern voor, dus alles binnen de celmembraan behoort tot het cytoplasma. Macromolecuul 2 is een deel van een RNA-streng, herkenbaar aan uracil. RNA is betrokken bij de eiwitsynthese. Macromolecuul 3 is een peptideketen opgebouwd uit vier aminozuren. Bij de afbraak of de opbouw van een eiwit zou een gedeelte van vier aminozuren kunnen voorkomen.
- 2 D** Langs de ribosomen worden aminozuren aaneengekoppeld tot een polypeptide. Doordat deze polypeptide zich vouwt en daardoor een ruimtelijke structuur krijgt, vormt zich een werkend eiwit. Een bacterie heeft geen kern (karyon), bacteriën bestonden al voordat er organismen met kernen (karyoten) waren, daarom heten ze prokaryoten.  
*Eukaryoot wil zeggen met kern.*  
*DNA replicatie gaat vooraf aan de kerndeling.*

### Mammoetmaag toont leefomgeving

- 3 A** De huidige planten hebben gemeenschappelijke voorouders met de planten die in de magen van de mammoets gevonden zijn en dus grotendeels overeenkomstig DNA. Door de nucleotidenvolgorde wordt de bouw van eiwitten bepaald en daarmee de bouw (eigenschappen) van het organisme.  
*De verhouding tussen de hoeveelheden nucleotiden in het DNA is veel minder bepalend voor informatie van erfelijke eigenschappen dan de volgorde van de nucleotiden in het DNA. Het DNA van alle organismen is opgebouwd uit dezelfde vier nucleotiden.*

### Meester-gen

- 4 A** Een triplet in DNA codeert voor één van de twintig aminozuren. Een gen is een reeks tripletten in DNA dat codeert voor een bepaald eiwit.

### Erfelijke informatie

- 5** 1 = g; 2 = i; 3 = a; 4 = h  
*De genetische code van mRNA vind je in BiNaS 71G of ScienceData 16.9. In een tRNA-molecuul bevat het relevante (koppelende) deel van de genetische code 3 nucleotiden. UAA is een stopcodon. Voor de aanvoer van aminozuren naar de vijf overige codons zijn voor de verschillende tripletten ook verschillende tRNA-moleculen nodig. Bij de transcriptie is de nucleotidekoppeling van mRNA met DNA: A met T, U met A en G met C (BiNaS 71E of ScienceData 16.3f). De zevende nucleotide is A. Als deze verdubbelt, wordt het derde triplet AAA (lysine) en het vierde triplet wordt UUG (leucine). Het vijfde triplet wordt UGA (stopcodon), dus er ontstaat een peptide met vier aminozuren.*

## DNA en RNA

- 6** De template streng heeft T in plaats van U.  
*In RNA komt geen thymine zoals in DNA voor, maar in plaats daarvan uracil. In DNA is bij de basenparing thymine gekoppeld aan adenine. Aan adenine in de template streng van DNA wordt in de mRNA-streng uracil gekoppeld.*
- 7** UCU, UCC, UCA, UCG, AGU, AGC.  
*In BiNaS 71G of ScienceData 16.9 kunnen de tripletten worden opgezocht van alle aminozuren. Ser (serine) komt hierin zes keer voor. Vier keer met als eerste base U, tweede base C en derde basen U, C, A, G. En twee keer met als eerste base A, tweede base G, en derde basen U en C.*
- 8** Ser (serine) en Leu (leucine).  
*In BiNaS of ScienceData kan het triplet in mRNA van Trp worden opgezocht: UGG. De template streng dient als een mal van de coderende streng. De mRNA die daarop wordt gevormd, krijgt daardoor een overeenkomstige basevolgorde als de coderende streng, maar daarin is thymine vervangen door uracil. UGG komt daardoor overeen met AGG in de coderende streng van DNA. Als hierin de middelste base door een mutatie verandert, zal ook de tweede base in de mRNA-code gewijzigd zijn (U?G). In mRNA kan U?G behalve voor Trp, ook de genetische code zijn voor Leu, Ser en STOP (= einde translatie).*
- 9** **A** Vóór de eerste deling vormen zich twee chromosomen met elk een  $^{14}\text{N}$ -keten en een  $^{15}\text{N}$ -keten. Na de eerste deling zijn er 2 bacteriën met elk  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ .  
 Na de tweede deling zijn er 4 bacteriën: 2 met  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  en 2 met  $^{15}\text{N}/^{15}\text{N}$ .  
 Na de derde deling zijn er 8 bacteriën: 2 met  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  en 6 met  $^{15}\text{N}/^{15}\text{N}$ .  
 Nu vindt duplicatie plaats voorafgaande aan de vierde deling. Er zijn dan geen DNA-moleculen met  $^{14}\text{N}/^{14}\text{N}$ , 2 DNA-moleculen met  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  en 14 met  $^{15}\text{N}/^{15}\text{N}$ .

## Progeria

- 10** (Na transcriptie via de matrijsstreng gaat het om de mRNA-tripletten: GGC dat muteert in GGA.) Deze tripletten coderen voor hetzelfde aminozuur / voor glycine. (zie BiNaS 71G of ScienceData 16.9)
- 11** **B** Uit pre-mRNA (2) worden de introns (4) weggeknipt en blijft functioneel mRNA (3) over.  
**A:** *In DNA zit thymine, in (pre)mRNA zit uracil. In RNA komt geen thymine voor.*  
**C:** *In mRNA (3) zijn steeds drie nucleotiden bepalend voor de codering van één aminozuur in (5).*  
**D:** *Translatie vindt plaats aan de ribosomen op het endoplasmatisch reticulum.*

## mRNA

- 12** **B** De synthese van mRNA vanaf DNA vindt in de kern plaats door de RNA-basen die aan het DNA passen aan elkaar te schakelen; dit proces heet transcriptie.  
*Aan de ribosomen vindt translatie (eiwitsynthese) plaats. De basenvolgorde in mRNA wordt gebruikt om aminozuren in een bepaalde volgorde te zetten.*  
*De gevormde eiwitten komen via het endoplasmatisch reticulum in het Golgi apparaat*

door het mRNA uit de voorlopertalen (beëindigertalen) waardoor rode bloedcellen worden gevormd).

Omdat rode bloedcellen van de mens geen kern hebben en dus geen mRNA, zullen er ook geen (radioactief gemerkte) menselijke eiwitten gevormd worden en dus is er geen piek q.

### Schimmel beëindigde steenkooltijdperk

- 14 D** De nucleotidevolgorde in DNA is bepalend voor de aminozuurvolgorde in eiwitten. Daarmee ligt de bouw van houtafbrekende enzymen vast.  
*Ordering van de chromosomenparen van groot naar klein geeft geen informatie over de bouw van eiwitten (zoals enzymen).  
Het maakt niet uit op welke plek (locus) een gen in het chromosoom aanwezig is; alleen als een gen wordt afgelezen, leidt de informatie tot de vorming van een eiwit (enzym).  
Aminozuren maken geen deel uit van het informatiebevattende deel van het DNA.*

### Eiwitten op de celmembranen

- 15 D** Door translatie aan de ribosomen wordt met behulp van de code in mRNA een aminozuurketen gevormd van aminozuren die transport-RNA's aanvoeren.  
*Bij transcriptie wordt mRNA overgeschreven van DNA; zo gaat de codering van DNA over naar mRNA.*

### Puntmutatie en resultaat van actief gen

- 16 D** Uit de tabel voor genetische code (BiNaS 71G; ScienceData 16.9) blijkt dat bij wijziging van de derde stikstofbase van codon GGG in A, C of U, steeds gecodeerd wordt voor glycine.  
*Om een ander aminozuur in het eiwit te krijgen, moet dus een van de andere stikstofbasen veranderd zijn.*
- 17 D** Als een gen actief is, wordt langs het DNA door transcriptie mRNA gevormd. Langs de ribosomen wordt aan mRNA door translatie de code omgezet in een keten aminozuren. Doordat deze keten zich opvouwt krijgt het eiwit een meer ruimtelijke structuur; pas dan komt het gen tot uiting (expressie).