

# *Christelijke Agrarische Hogeschool*

Samensteller(s): Barend Gehner  
Druk: 1



## **Genetische variatie**

at dictaat dictaat dictaat dictaat dictaat **DICTAAT** dictaat dictaat dictaat dictaat dictaat di

# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave .....	2
1 Soorten en genetische variatie .....	3
1.1 Evolutie van planten .....	3
1.2 Ontstaan van soorten .....	4
1.3 Biosystematiek en fylogenie .....	5
1.3.1 Indeling door middel van morfologische kenmerken .....	5
1.3.2 DNA .....	7
1.4 Verschillende niveaus van indeling .....	10
1.5 Verschillende methoden van indeling .....	11
2 Genetische variatie .....	11
2.1 Wat is genetische variatie? .....	11
2.2 Kwalitatieve en kwantitatieve variatie .....	12
2.3 Correlatie .....	13
3 Verschillende bronnen van genetische variatie .....	14
3.1 Genencentra: de natuurlijke herkomst van de cultuurgewassen .....	14
3.2 Genepools: wat zijn de mogelijke planten waarmee kruisingen gemaakt kunnen worden? .....	15
3.2.1 Moderne rassen .....	15
3.2.2 Landrassen .....	15
3.2.3 Wilde varianten .....	16
3.3 Inductie van nieuwe genetische variatie .....	16
3.3.1 Spontane mutaties .....	16
3.3.2 Geïnduceerde mutaties .....	17
3.3.3 Genetische transformatie .....	18
4 Genetische erosie .....	18
4.1 Oorzaken van genetische erosie .....	18
4.2 Bescherming van genetische variatie .....	19
5 Het bepalen van de geniteurswaarde .....	20
6 Bronvermelding/verder lezen .....	21

# 1 Soorten en genetische variatie

## 1.1 Evolutie van planten

Tijdens de celdeling ontstaan uit een cel twee nieuwe cellen. Het erfelijk materiaal (DNA) wordt hiertoe gekopieerd. Als het goed is, is het kopie exact identiek aan het origineel. In dit geval blijft het genotype precies gelijk.

Door verschillende oorzaken kunnen delen van het DNA “beschadigen”. Wanneer dit gebeurt, spreekt men van een mutatie. Mutatie betekent letterlijk: verandering. Een verandering in het DNA heeft vaak invloed op de eiwitten die geproduceerd worden en hierdoor op het functioneren van de plant. Door een verandering in het DNA kan een plant bijvoorbeeld een bepaald eiwit niet meer maken, of het eiwit krijgt een andere vorm dan de oorspronkelijke. Deze nieuwe vorm van het eiwit zal meestal slechter functioneren, maar in sommige gevallen werkt het nieuwe eiwit beter dan het origineel.

Meestal is een verandering in het DNA dus *neutraal* of *negatief* voor de plant, doordat de productie van eiwitten niet beïnvloed wordt of de veranderde eiwitten slechter functioneren dan het origineel. Dit leidt ertoe dat de gemuteerde plant hetzelfde of slechter presteert dan een niet-gemuteerde plant.

Hoe bepalen we of een plant evolutionair gezien goed functioneert? Een veel gehanteerde maatstaf is deze: **Hoeveel nakomelingen kan de plant voortbrengen, en hoeveel nakomelingen brengen deze nakomelingen op hun beurt weer voort?** Van genotypen die volgens deze maatstaf goed functioneren, komen logischerwijs steeds meer planten. Van genotypen die volgens deze maatstaf slecht functioneren, komen logischerwijs steeds minder planten. Evolutionair gezien is dus de invloed van de mutatie op het vermogen om succesvolle nakomelingen voort te brengen van het grootste belang.

Een mutatie is evolutionair gezien *neutraal* wanneer er geen verandering optreedt in de plant. In sommige delen van het DNA heeft het weinig invloed wanneer er iets verandert.

Wat ook vaak voorkomt is dat een mutatie negatief is. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer er een nuttige functie uitvalt. DNA codeert immers voor de eiwitten die nodig zijn om te overleven. Wanneer door een mutatie een van deze eiwitten op een verkeerde manier in elkaar wordt gezet, kan dit voor problemen zorgen: de plant kan iets niet meer. Het kunnen allerlei eigenschappen zijn die de plant verliest, bijvoorbeeld het kunnen opnemen van een bepaald element of productie van een stof die nodig is voor de fotosynthese. Wanneer de fotosynthese hierdoor minder efficiënt verloopt, beschikt de plant over minder energie. Hierdoor zal de plant minder goed in staat zijn om veel succesvol nageslacht te produceren.

Een heel enkele keer komt het echter voor dat een mutatie *positief* is voor de plant. De gemuteerde plant functioneert in dit geval beter dan zijn niet-gemuteerde soortgenoten. De plant kan bijvoorbeeld een efficiëntere fotosynthese hebben gekregen of resistent zijn geworden tegen een plantziekte. In dit geval functioneert de plant beter dan de rest. Dit kan ertoe leiden dat er meer nageslacht ontstaat. Wanneer een nieuwe eigenschap zorgt voor meer nageslacht, verspreidt de eigenschap zich door de populatie. Na een (flink) aantal generaties heeft een groot deel van de individuen in de populatie de nieuw eigenschap. In tabel 1.1 worden de verschillende soorten mutatie nog eens op een rij gezet.

Tabel 1.1 Verschillende soorten mutaties

Type mutatie	Voorbeeld	Invloed op vermenigvuldiging/ gedrag in de populatie
<i>Neutrale</i> mutatie	Een mutatie die geen invloed heeft op de eiwitten die de plant produceert	Geen invloed
<i>Negatieve</i> mutatie	Een mutatie die ervoor zorgt dat de plant geen bladgroen meer kan aanmaken	Negatieve invloed; eigenschap wordt zeldzaam of sterft uit
<i>Positieve</i> mutatie	Een mutatie die ervoor zorgt dat een de fotosynthese van de plant beter verloopt	Positieve invloed; een organisme met de nieuwe eigenschap krijgt meer nakomelingen, de eigenschap verspreidt zich door de populatie

Wanneer op deze manier allerlei nieuwe eigenschappen de populatie komen, verandert heel langzaam de soort. Na lange tijd kan een soort er anders uit gaan zien. Bijvoorbeeld een andere kleur bloemen, een andere steellengte en een andere vorm blad. Het nieuwe type dat ontstaat is beter aangepast aan de omgeving dan het oorspronkelijke type. Wanneer dit gebeurt, spreekt men van evolutie.

## 1.2 *Ontstaan van soorten*

In de vorige paragraaf werd beschreven hoe een plantensoort zich in een richting ontwikkelt. In dit geval ontstaat er dus uit een soort een nieuwe soort. In bepaalde gevallen kunnen zich echter verschillende soorten ontwikkelen uit een soort. Dit kan plaatsvinden wanneer er in voldoende mate sprake is van **isolatie**.

Men kan zich voorstellen dat er twee groepen van een soort leven. Na vele jaren heeft elke groep 4 nieuwe eigenschappen die ontstaan zijn door positieve mutaties. Wanneer men de twee groepen nu bij elkaar neerzet, zullen kruisingen ontstaan. De groepen planten staan namelijk nog lang niet zover uit elkaar dat het onmogelijk is om ze met elkaar te kruisen. Door dit te doen is het ontstaan van twee nieuwe soorten voorkomen. De groepen planten zijn niet genetisch uit elkaar gegroeid tot twee aparte soorten. Dit komt doordat er geen sprake meer was van isolatie.

Isolatie is dus een cruciale factor bij soortvorming. Isolatie kan op verschillende manieren ontstaan. Men kan de vormen van isolatie verdelen in pre- en postzygotische barrières. Men spreekt van een prezygotische barrière wanneer wordt voorkomen dat bevruchting plaatsvindt. Van een postzygotische barrière is sprake wanneer na de bevruchting nog wordt voorkomen dat een vruchtbaar individu ontstaat.

Enkele voorbeelden van pre-en postzygotische barrières:

#### **A Pre-zygotisch:**

- Geografische isolatie: Populaties leven in verschillende gebieden.
- Microhabitat isolatie: Populaties leven in een verschillende micro-habitat, dwz in hetzelfde gebied maar op een ander type groeiplaats. Bijvoorbeeld een deel op schaduwrijke plaatsen en een deel in de volle zon. Of een deel hoog in de boom en een deel op de grond.
- Isolatie ten gevolge van verschillende bloeitijd.
- Isolatie ten gevolge van bloembouw, waardoor bijvoorbeeld een beperkt aantal bestuivers toegang heeft tot de bloem.
- Gameet-isolatie: De mannelijke en vrouwelijke gameten zijn incompatibel.

#### **B Post-zygotisch:**

- Gebrek aan levensvatbaarheid van de hybride: de hybride sterft vroegtijdig.
- Hybride steriliteit: de hybride kan geen vruchtbare gameten produceren.
- Hybride afbraak: het nageslacht van de hybride is onvruchtbaar.

Wanneer de groepen planten afdoende geïsoleerd zijn van elkaar en genoeg tijd hebben, kunnen ze genetisch steeds verder uit elkaar groeien. Op deze manier kan een soort veranderen in twee aparte soorten. Wanneer spreekt men wel of niet van twee aparte soorten? Een veel gebruikte definitie is deze: “Een soort is een groep individuen die met elkaar vruchtbaar nageslacht voort kan brengen.” Hieruit volgt:

- Een paard en een ezel zijn twee aparte soorten. Wanneer men ze met elkaar kruist, ontstaat een muilezel. Deze is niet vruchtbaar.
- Een tekkel en een poedel zijn beide dezelfde soort. Nageslacht van de kruising “tekkel x poedel” is in principe gewoon vruchtbaar.

Genoemde definitie is echter niet de enige maatstaf die men hanteert. In sommige gevallen worden twee planten als aparte soorten beschouwd terwijl de kruising ertussen gewoon vruchtbaar is. In dat geval heeft men besloten dat de planten om een andere reden (bijvoorbeeld in verband met verschillen in de bloembouw) verschillend genoeg zijn om niet tot dezelfde soort te behoren. Een veredelaar kan regelmatig te maken krijgen met soortskruisingen en zal merken dat deze lang niet altijd onvruchtbaar hoeven te zijn.

### ***1.3 Biosystematiek en fylogenie***

Soorten kunnen in meer of mindere mate aan elkaar verwant zijn. In het verleden heeft men planten verdeeld in onder andere families op basis van morfologie. Hiertoe bestudeerde men met name de bloeiwijzen. Planten die op dit punt veel op elkaar leken, werden ingedeeld in dezelfde familie. Het indelen van planten in bijvoorbeeld verschillende families, noemt men biosystematiek.

Fylogenie betekent letterlijk “stammenvorming”. Deze wetenschap onderzoekt hoe de ene soort is ontstaan uit een andere soort. Men probeert dus een stamboom te maken waarin men ziet waarvan elke soort afstamt.

#### **1.3.1 Indeling door middel van morfologische kenmerken**

Men kan organismen indelen aan de hand van morfologische kenmerken, dat wil zeggen dat men kijkt naar de vormen.

Er zijn allerlei manieren te verzinnen om planten in te delen in groepen. Planten zou men bijvoorbeeld eerst kunnen verdelen in houtige en niet-houtige gewassen en vervolgens kunnen kijken naar de vorm van het blad. Deze werkwijze zou een indeling opleveren. Een probleem van deze indeling is echter dat de genoemde kenmerken relatief laat in de evolutie nog veranderd zijn. Het kan daarom gebeuren dat planten die nauw verwant zijn, verschillen in de kenmerken “houtig of niet-houtig” en “bladvorm”. Anderzijds is het mogelijk dat verschillende planten met dezelfde bladvorm toch niet verwant zijn, omdat een bladvorm “bij toeval” meerdere keren is ontstaan. Dit geeft aan dat deze manier van indelen niet optimaal is.

Wanneer men kenmerken uitkiest voor het maken van een indeling, wil men bij voorkeur kenmerken hebben die gedurende de evolutie niet meerdere keren onafhankelijk van elkaar zijn ontstaan. Een goed kenmerk is bijvoorbeeld de bloeiwijze. Deze eigenschap aan planten verandert nooit snel in sterke mate. Details als de kleur van de bloem kunnen natuurlijk wel veranderen, maar de globale opbouw van de bloeiwijze verandert nooit “zomaar opeens”.

Een beroemde wetenschapper die goed keek naar onder andere de morfologie van planten was Linnaeus (1707-1778). In hoofdlijnen wordt zijn manier van het bestuderen van een plant nog steeds gevolgd.

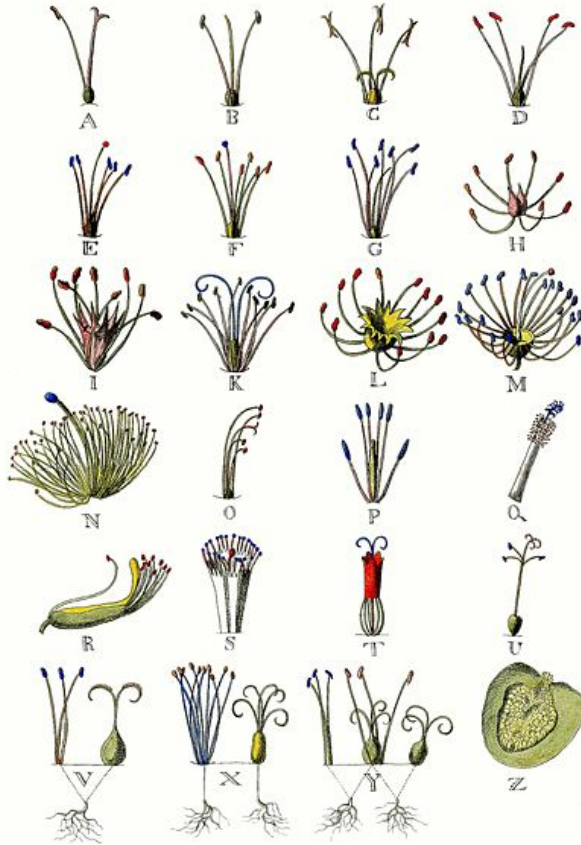
Een andere uitvinding van Linnaeus is de binaire naam, dat wil zeggen de soortnaam uit twee delen: Geslacht en soort. Soorten die erg op elkaar lijken (verwant zijn), worden in hetzelfde geslacht geplaatst. Voorbeeld van een geslacht is *Brassica* (kool). Enkele soorten binnen dit geslacht zijn *Brassica rapa* (raapzaad), *Brassica oleracea* (kool) en *Brassica nigra* (zwarte mosterd).

Geslacht en soort zijn twee niveaus van verwantschap. Planten die erg op elkaar lijken, behoren tot dezelfde soort. Soorten die erg op elkaar lijken behoren tot hetzelfde geslacht. Op deze manier kan met ook geslachten die veel op elkaar lijken weer in een groep samenbrengen. Hieronder een schema van de verschillende niveaus van indeling.

Tabel 1.2: Verschillende niveaus van verwantschap.

<b>Rijk:</b>	<b><i>Plantae</i> (Planten)</b>
<b>Clade:</b>	<b>Bedektzadigen</b>
<b>Orde:</b>	<b><i>Brassicales</i></b>
<b>Familie:</b>	<b><i>Brassicaceae</i> (Kruisbloemenfamilie)</b>
<b>Geslacht</b>	<b><i>Brassica</i></b>

Clariss: LINNÆI. M. D.  
 METHODUS plantarum SEXUALIS  
 in SISTEMATE NATURÆ  
 descripta



- Monandria.*
- Diandria.*
- Triandria.*
- Tetrandria.*
- Pentandria.*
- Hexandria.*
- Heptandria.*
- Octandria.*
- Enneandria.*
- Decandria.*
- Dodecandria.*
- Jofoandria.*
- Polyandria.*
- Didynamia.*
- Tetradynamia.*
- Monadelphica.*
- Diaadelphia.*
- Polyadelphia.*
- Syngenesia.*
- Gynandria.*
- Monoccia.*
- Dioccia.*
- Polygamia.*
- Cryptogamia.*

Lugd. bat: 1736

G.D.EHRET, Palat-heidels:  
 fecit & edidit

Fig. 1.1 Indeling van planten door Linnaeus aan de hand van stampers en meeldraden. Bron: Wikipedia, Linnaeus.

### 1.3.2 DNA

Het is ook mogelijk om de verwantschap puur op basis van het DNA te bepalen. Er bestaan verschillende methoden om een “streepjescode” van een plant te maken. Technieken om dit te doen, werken vaak grofweg als volgt:

- 1) Isolatie van DNA uit een stukje blad.
- 2) Vermenigvuldiging van bepaalde delen van het DNA met behulp van PCR (Polymerase chain reaction). In bijlage 1 leest men iets meer over deze techniek.
- 3) Vervolgens worden de fragmenten die in stap 2 zijn ontstaan eventueel op bepaalde plaatsen geknipt met zogenaamde *restrictie-enzymen*.
- 4) Er is nu een mix van allerlei stukjes DNA van verschillende lengten ontstaan. De samenstelling van deze mix wil men zichtbaar maken. Dit doet men door de

fragmenten met een elektrisch veld door een gel te trekken. Hierbij bewegen de lange ketens trager dan de korte ketens.

- 5) Na ongeveer een uur kleurt men de gel. Men ziet nu een bandjespatroon. De korte fragmenten bevinden zich verder van het beginpunt dan de langere fragmenten. Er is dus een soort “streepjescode” ontstaan.

De ontstane streepjescodes van verschillende planten kan men met elkaar vergelijken. Wanneer twee streepjescodes identiek zijn, betekent dit vaak dat de planten nauw verwant zijn. (De planten hoeven niet exact overeen te komen, niet ieder verschil in DNA ziet men terug in de streepjescode.). Dit zou het geval kunnen zijn bij twee verschillende bloemkoolrassen. Wanneer de verschillen klein zijn (bijvoorbeeld slechts een of twee streepjes verschil), zijn de planten verwant aan elkaar. Dit zou het geval kunnen zijn bij bloemkool en mosterd. Wanneer de verschillen groter zijn, kan men concluderen dat de planten minder verwant zijn. Dit kan het geval zijn bij bloemkool en snijboon.

Men kan verschillende delen van het DNA onderzoeken. Soms onderzoekt men het chromosomaal DNA, echter ook de mitochondrien en de plastiden bevatten DNA dat geanalyseerd kan worden. Het niet-chromosomaal DNA gaat over van moeder op dochter.

(Onderzoekers die zich bezig houden met de mens werken soms met Y-chromosomaal DNA. Dit Y-chromosomaal DNA gaat over van vader op zoon. Dit komt echter bij planten niet voor.)

Wanneer men een streepjescode gemaakt heeft, kan men door middel van statistiek hieruit een dendrogram afleiden. Er zijn dus 2 stappen te onderscheiden:

1. Het maken van een “streepjescode” van het DNA.
2. Het analyseren van de streepjescode tot een dendrogram.



Hier een voorbeeld van het bovenstaande verhaal.

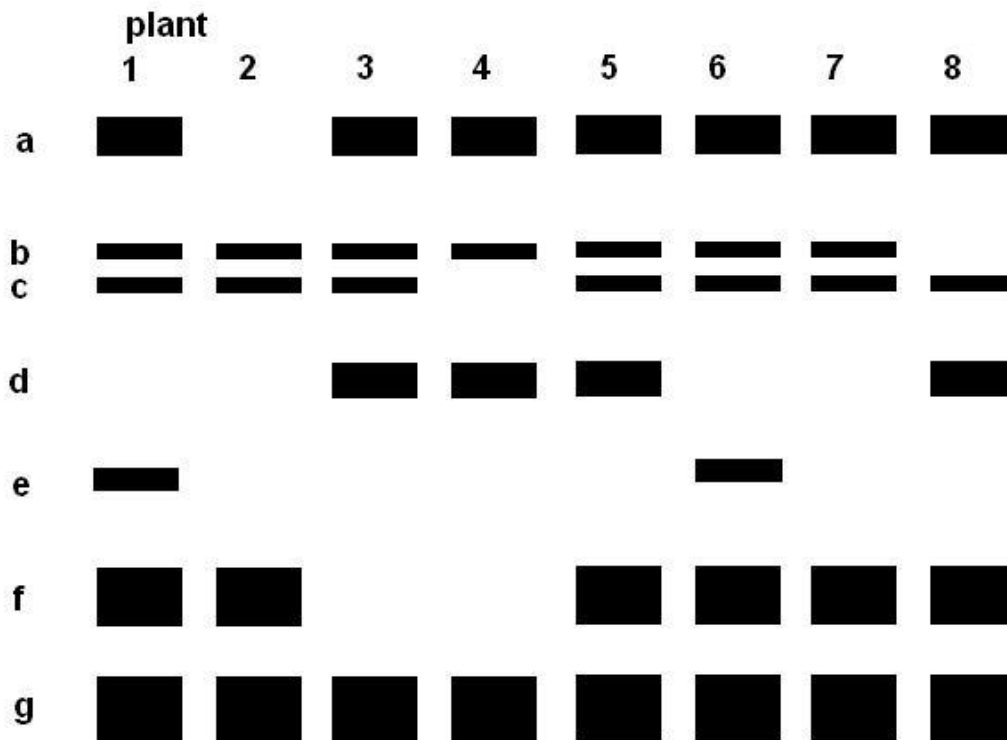


Fig. 1.2 Een streepjescode die zou kunnen ontstaan wanneer men de verwantschap tussen 8 verschillende planten onderzoekt. De nummers 1-8 zijn de verschillende onderzochte planten. De letters a-g staan voor de verschillende bandjes.

In figuur 1.2 ziet men een voorbeeld van een streepjescode die zou kunnen ontstaan door middel van de techniek AFLP (amplification fragment length polymorfism). In werkelijkheid gaat men uit van veel meer bandjes dan in dit voorbeeld aanwezig.

Aan de hand van dit voorbeeld kan men bepalen welke planten in meer of mindere mate verwant zijn. De twee meest gelijke planten zijn nummer 1 en 6. Deze planten hebben een geheel identiek bandjespatroon. De mate van verwantschap kan men weergeven met behulp van een *dendrogram*, een “boom-grafiek”. Hiervan ziet men een voorbeeld in figuur 1.3. Soorten die verwant zijn, tekent men aan dezelfde hoofdtak. Soorten die minder verwant zijn, komen uit een andere hoofdtak. De grafiek bevat afhankelijk van de mate van verwantschap op verschillende plaatsen vertakkingen. Een vertakking aan de linker kant staat voor grote verschillen tussen soorten. Wanneer de verschillen kleiner zijn, tekent men de vertakking meer naar rechts.

**Opdracht:** Probeer nu zelf een dendrogram te maken van de planten in figuur 1.2 naar het voorbeeld in figuur 1.3.

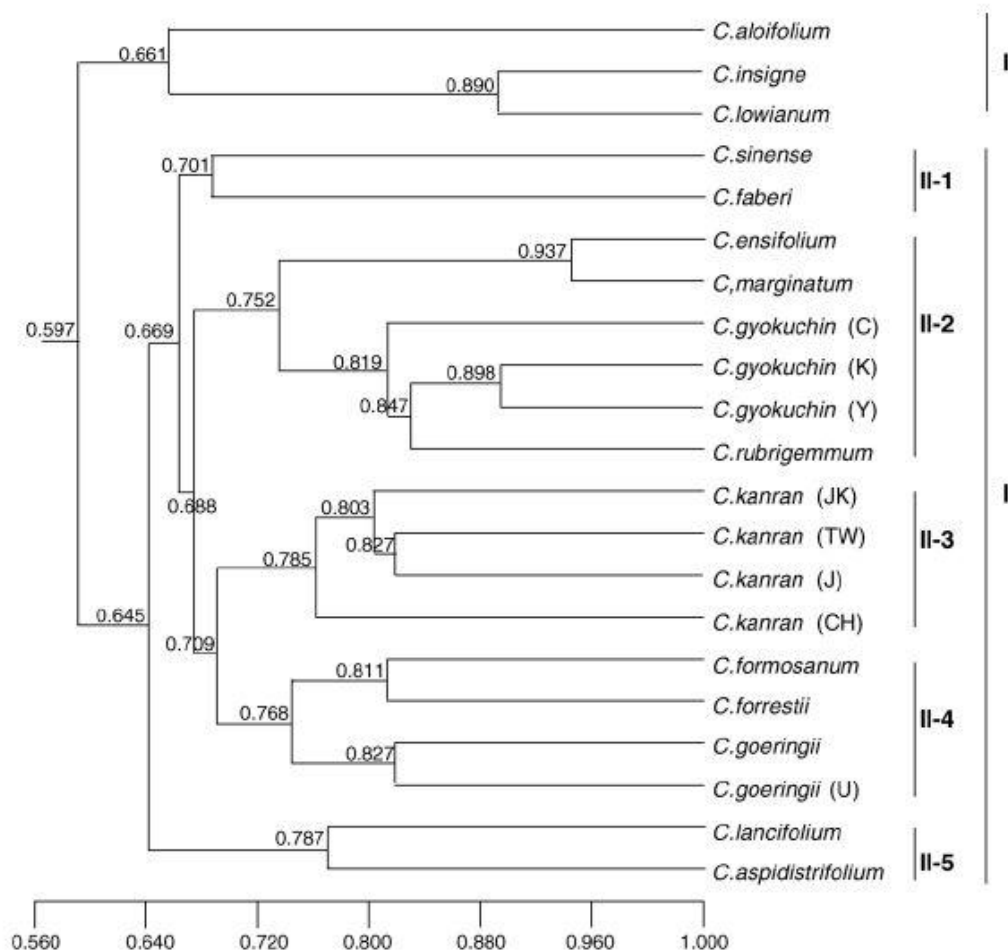


Fig. 1.3 In dit dendrogram worden 21 verschillende Cymbidiums van 15 verschillende soorten uitgesplitst op verwantschap. Hoge getallen en een vertakking ver naar rechts, betekent dat de soorten dicht bij elkaar liggen. Een vertakking meer naar links (“in een eerder stadium”) betekent dat de verschillen tussen de soorten groter zijn. De bovenste drie soorten wijken relatief sterk af van de rest. Bron: Scientia Horticulturae 108 (2006) 79-85.

Op deze site staat veel leuke info over dit onderwerp:

<http://users.ugent.be/~avierstr/principles/phylogeny.html>

#### 1.4 Verschillende niveaus van indeling

Afhankelijk van de mate waarin planten op elkaar lijken, kan men ze indelen in groepen. Het niveau van de soort hebben we al besproken. Hiervoor is kruisbaarheid en de vruchtbaarheid van het nageslacht in principe leidend. Wanneer men planten nog nauwkeuriger dan op soortniveau in wil delen, kan men de soorten nog indelen in:

- Ondersoorten (wanneer het natuurvormen betreft)
- Rassen/cultivars (wanneer het door de mens ontwikkelde vormen betreft) Een definitie voor een ras is: “Een groep planten binnen een cultuurgewas, waarin zij een niet verder te splitsen onderscheidbare eenheid vormt en die in haar karakteristieke eigenschappen op de voor het gewas gebruikelijke wijze constant reproduceerbaar is.”

Het is ook mogelijk om soorten te groeperen. Een belangrijk niveau boven de soort is de familie. Dat men een familie bedoelt kan men herkennen aan de laatste letters: “-eae”. Dit kan men lezen als “-achtigen”. Voorbeelden: Solanaceae, Cruciferae, Gramineae.

Ook families kan men groeperen, in Ordes. De namen van ordes eindigen op “-es”, bijvoorbeeld “Brassicales”. Boven de orde komen nog de niveaus Klasse en Rijk. Het is natuurlijk mogelijk om op veel meer verschillende niveaus te groeperen, maar voor de veredelaar is (het eerste deel van) dit rijtje genoeg:

- Ondersoort of Ras (ondersoort: natuurvorm; ras: product van de veredelaar)
- Soort (individuen binnen een soort kunnen samen vruchtbaar nageslacht produceren)
- Familie (naam eindigt op -eae, bijvoorbeeld **Solanaceae**)
- Orde (naam eindigt op -es, bijvoorbeeld **Brassicales**)
- Klasse
- Rijk (bijvoorbeeld de **Plantae**, hierin vallen alle planten. De dieren zijn in een ander rijk ingedeeld.)

### 1.5 *Verskillende methoden van indeling*

Hierboven zijn grofweg twee manieren van indeling langsgekomen:

- Indeling in duidelijk afgebakende groepen zoals orde, familie, soort op basis van kenmerken van de plant.

- Indeling op basis van genetische verwantschap met behulp van moleculaire technieken.

Beide methoden kennen allerlei verschillende varianten. Indeling in orde, familie en soort is bijvoorbeeld niet de enige mogelijkheid. Soms worden allerlei andere niveaus gebruikt. Ook bij de indeling op basis van verwantschap bestaan allerlei verschillende mogelijkheden. Men kan naar verschillende delen van het erfelijk materiaal bekijken en men kan de afstanden tussen de soorten op verschillende manieren kwantificeren.

De kern van het hele verhaal over de indeling is echter dan men met behulp van deze informatie kan inschatten of er kans bestaat dat het mogelijk is om een kruising te maken.

**Opdracht:** Teken een dendrogram (vergelijkbaar met fig 1.3) met daarin de snijboon, de sperzieboon, de *Robinia pseudoacacia*, vanille, appel, roos en braam. Tip: zoek van elke soort op tot welk geslacht en familie de soort behoort.

## 2 Genetische variatie

### 2.1 *Wat is genetische variatie?*

Planten in het veld zijn nooit geheel identiek aan elkaar. Dit verschijnsel noemt men **fenotypische variatie**. Fenotypische variatie kan twee verschillende oorzaken hebben:

- **Milieuvariatie:** (kleine) verschillen wat betreft de omgeving (temperatuur, vocht, licht, enz.)
- **Genetische variatie:** verschillen wat betreft de genetische eigenschappen van de planten.

Wanneer men een veld met aardappels onderzoekt, zal men zien dat niet alle planten identiek zijn. Er is dus sprake van fenotypische variatie. Zoals we weten wordt de aardappel vegetatief vermeerderd. Er is dan ook geen genetische variatie aanwezig op het veld. Men kan daarom concluderen dat de variatie die men ziet geheel wordt veroorzaakt door milieuvariatie.

Wanneer een veredelaar experimenten doet met zaailingen of testklonen, dient hij het verschil tussen beide soorten variatie nooit uit het oog te verliezen. Wanneer men variatie waarneemt, moet men zich altijd afvragen of dit veroorzaakt wordt door het genotype of door het milieu. In het aardappelveld treft men variatie aan. Selecteren heeft echter geen zin, omdat de planten genetisch niet verschillen.

In een formule zou men dit als volgt kunnen noteren:

$$\mathbf{Variatie}_{\text{totaal}} = \mathbf{Variatie}_{\text{genotype}} + \mathbf{Variatie}_{\text{milieu}}$$

In het geval van de aardappel zijn alle genotypen in het veld identiek, dus geldt:

$$\text{Variatie}_{\text{genotype}} = 0$$

Hieruit volgt:

$$\text{Variatie}_{\text{totaal}} = \text{Variatie}_{\text{milieu}}$$

Ofwel: de totale variatie is toe te schrijven aan milieufactoren.

Een veredelaar wil meestal genotypen vergelijken. Anders gezegd: hij zou het liefst zien dat de totale variatie geheel werd veroorzaakt door de genetische variatie en milieufactoren dus zo weinig mogelijk invloed hebben. Daarom zal een veredelaar altijd proberen om elke plant in een proef op te kweken onder exact dezelfde omstandigheden.

Het grootste deel van de genetische eigenschappen van de plant ligt vast in de kern op de chromosomen. Er bevindt zich echter ook erfelijk materiaal in het cytoplasma: in de mitochondrien en de plastiden. Het bijzondere van de laatste twee is dat de eigenschappen die hierin opgeslagen liggen steeds van moeder tot dochter overerven. Een eigenschap die soms in het cytoplasma ligt opgeslagen is mannelijke steriliteit. Hiervan kan de veredelaar gebruik maken.

Om een nieuw ras te ontwikkelen, heeft een veredelaar genetische variatie nodig. Voor sommige eigenschappen is het eenvoudig om geschikte bronnen van variatie te vinden. Dit is met name het geval wanneer er al rassen op de markt zijn die de gewenste eigenschap hebben. Wanneer dit niet het geval is, zal de veredelaar verder moeten zoeken, bijvoorbeeld in oude rassen of zelfs wilde voorouders van het gewas. Hierover later meer.

## **2.2 *Kwalitatieve en kwantitatieve variatie***

Variatie kan *kwalitatief* of *kwantitatief* zijn. Kwalitatieve eigenschappen zijn eigenschappen die op weinig genenparen berusten en meestal vrij ongevoelig zijn voor milieu-invloeden. Voorbeelden zijn: rode of witte bloemen, groene of gele peulen en ronde of gekreukte zaden. Wanneer men kruisingen maakt tussen planten die in deze eigenschappen verschillen, kan men meestal een duidelijke uitsplitsing waarnemen. Uit de verhoudingen waarin uitsplitsing plaatsvindt, kan men vaak iets concluderen over de genetica van de betreffende ouders en eigenschap. Wanneer een eigenschap op slechts een gen berust, spreekt men van een monogene overerving.

Veel belangrijke eigenschappen, zoals opbrengst, vroegheid en winterhardheid zijn echter kwantitatief. Een eigenschap is kwantitatief wanneer men hem meet en vervolgens uitdrukt in een getal. Kwantitatieve eigenschappen worden meestal bepaald door een groot aantal genen. Men spreekt in dit geval van polygene overerving. Een scherpe uitsplitsing zoals bij kwalitatieve eigenschappen ziet men daarom niet. Wanneer men een aardappel met een grote knolmaat bijvoorbeeld kruist met een met een kleine knolmaat, ziet men geen scherpe

uitsplitsing ontstaan in nakomelingen met grote of kleine knollen, maar zullen de nakomelingen meestal een knolmaat hebben die tussen die van beide ouders ligt.

Een lastig punt bij het werken aan kwantitatieve eigenschappen is het feit dat ze beïnvloed worden door het milieu. De eigenschap “aarlengte” wordt bijvoorbeeld niet alleen bepaald door het genotype van de plant, maar ook in sterke mate beïnvloed door zaken als bemesting en temperatuur.

### 2.3 Correlatie

Eigenschappen kunnen soms met elkaar samenhangen. Wanneer de ene eigenschap toe- of afneemt, neemt een andere eigenschap ook toe of af. Dit noemt men correlatie.

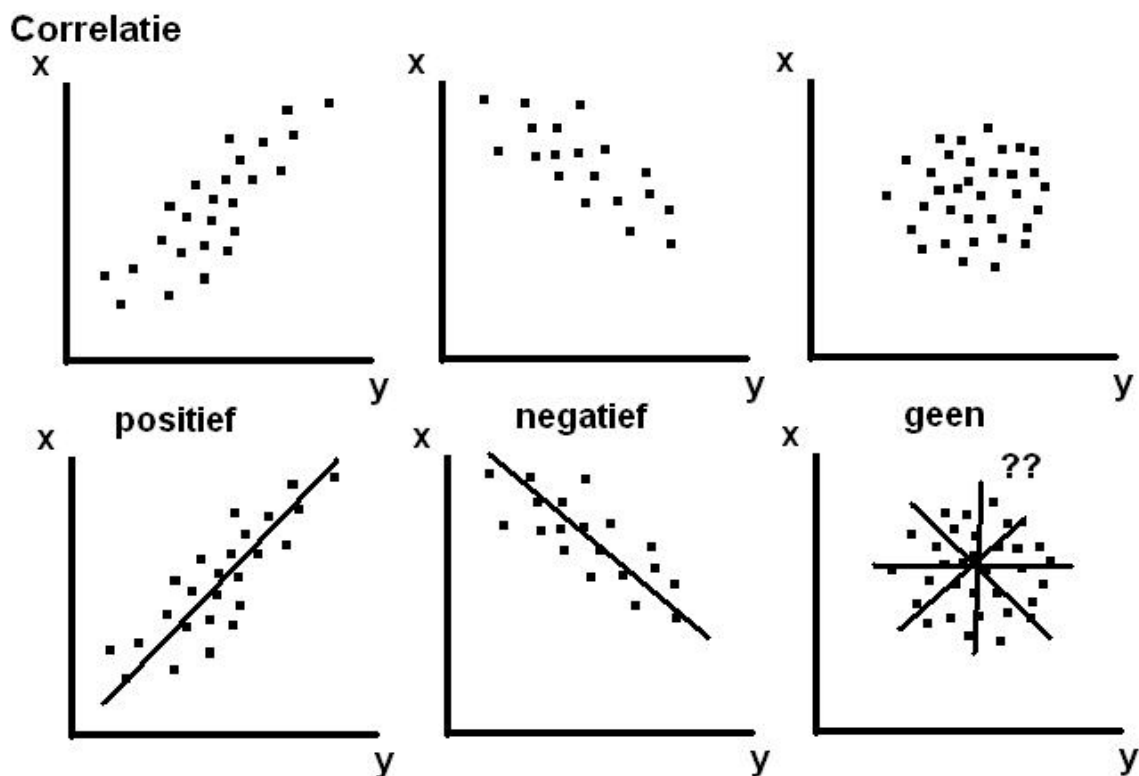


Fig. 2.1: correlatie. Positieve correlatie: als x toeneemt, neemt y ook toe. Negatieve correlatie: als x toeneemt, neemt y af. Geen correlatie: als x toeneemt, heeft dit geen invloed op y.

Voorbeelden:

1. Planten die sterker groeien, hebben soms een hogere opbrengst. In dit geval is de plantlengte na twee weken *positief* gecorreleerd met de opbrengst.
2. Vroege rassen gaan minder lang door met groeien en beginnen sneller met afrijpen. Daardoor leidt een grotere vroegheid vaak tot een lagere opbrengst. In dit geval spreekt men van *negatieve* correlatie tussen beide eigenschappen.

Soms kan men gebruik maken van correlatie. Wanneer een jeugdkenmerk van een fruitboom (de stamontrek na twee jaar) gecorreleerd is met de opbrengst, kan men dit gebruiken om in vroeg stadium de zaailingen uit te kiezen waarbij een hoge opbrengst te verwachten valt.

### 3 Verschillende bronnen van genetische variatie

#### 3.1 Genencentra: de natuurlijke herkomst van de cultuurgewassen

Genencentra (Vavilov), genepools (Harlan en de Wet)

Vavilov heeft in kaart gebracht uit welke delen van de wereld onze verschillende landbouwgewassen afkomstig zijn. In figuur 2.2 zien we zijn bevindingen.



*Overzicht van de belangrijkste stamlanden*

1. Zuidoost-Azië (Zuid-China): *Gierst, Zesrijge en Naakte gerst, Naakte haver, Soja, Stamboon, Thee, Perzik, Abrikoos, Citrus*
2. Voor-Indië en Achter-Indië met eilanden: *Rijst, Suikerriet, Katoen, Kokos, Banaan*
3. Centraal-Azië: *Gewone tarwe, Dwergtarwe, Erwt, Linze, Veldboon, Radijs, Spinazie, Ui, Amandel, Appel, Peer*
4. Klein-Azië: *Eenkoorn, Gewone tarwe, Tweerijge gerst, Rogge, Haver, Vlas, Luzerne, Kers, Wortel*
5. Middellandse-Zeegebied: *Vele grootzadige typen van dezelfde gewassen zoals Tweekoorn, Harde tarwe, Gerst, Erwt, Linzen, Veldboon, Vlas. Verder vindt men er de Zeebiet en is het stamland van Koolzaad en Lupinen daar gelegen*
6. Abessinië: *Tweekoorn, Haver, Gerst, Gierst, Koffie*
7. Zuid-Mexico en Centraal-Amerika: *Mats, Stamboon, Katoen, Sisal, Tabak, Cacao*
8. Zuid-Amerika: *Mats, Aardappel, Tomaat, Tabak, Katoen, Apenoot, Ananas*

Fig. 3.1 Overzicht van de verschillende herkomstgebieden van belangrijke landbouwgewassen.

Deze informatie is niet enkel voor de veredelaar die op zoek wil gaan naar genetische variatie in het wild nuttig. Ook de landrassen afkomstig uit deze streken kunnen extra interessant zijn. Bijvoorbeeld doordat (onbewust) eigenschappen uit het wild in de lokale rassen zijn ingekruist.

### **3.2 Genepools: wat zijn de mogelijke planten waarmee kruisingen gemaakt kunnen worden?**

Met welk materiaal kan de veredelaar werken om aan de gewenste eigenschappen te komen? De grenzen van het mogelijke worden in principe opgelegd door de kruisbaarheid. Bij sommige gewassen is het mogelijk om met een groot aantal verre verwanten te kruisen.

Een indeling die men vaak gebruikt is die van Harlan en de Wet. Zij verdelen de kruisingsmogelijkheden in drie “genepools”:

- GP-1 (de primaire genepool) bevat de gehele soort van het te verbeteren ras. Niet alleen moderne en oude rassen vallen hieronder, maar ook eventuele ondersoorten binnen de soort.
- GP-2 (de secundaire genepool) bevat alle kruisbare soorten. Hierin kunnen zich dus verwante soorten bevinden met interessante eigenschappen. Kruisingen met soorten binnen de GP-2 leveren enigszins vruchtbaar nageslacht.
- GP-3 (de tertiaire genepool) bevat soorten die met extra hulpmiddelen tot enige vorm van genenuitwisseling vallen te brengen. De producten van een kruising met een plant in de GP-3 zijn gewoonlijk steriel.

Moderne transformatietechnieken maken de mogelijkheden tegenwoordig vrijwel onbegrensd. Men zou kunnen spreken van een veel groter geworden GP-3. Deze technieken kosten echter nog altijd zeer veel tijd en geld en zullen daarom slecht worden toegepast wanneer er echt geen andere oplossing bestaat. Mogelijk zal een verdere ontwikkeling van de moderne technieken echter leiden tot dalende kosten en algemener gebruik.

#### **3.2.1 Moderne rassen**

In sommige gevallen is de gewenste eigenschap te vinden in rassen van jezelf of de concurrent. Gebruik maken van dit materiaal is voor de veredelaar de meest eenvoudige oplossing. Er hoeven niet veel negatieve eigenschappen (“linkage drag”) uitgekruist te worden. Soms kan de eerste generatie al een bruikbaar ras opleveren (bij een vegetatief vermeerderd gewas).

Het is daarom van groot belang dat de veredelaar goed op de hoogte is van de nieuwe rassen die zijn concurrenten introduceren. In sommige gevallen is het zeer zinvol om hier op tijd mee te kruisen. Ook moet de veredelaar in bepaalde gevallen niet vergeten om ook zijn eigen bestaande rassen te screenen op de gewenste nieuwe resistentie.

#### **3.2.2 Landrassen**

Landrassen zijn primitieve rassen. Soms kan men deze nog verzamelen bij telers in ontwikkelingslanden, met name in de *genencentra* van het gewas waaraan men werkt. Soms worden er geen landrassen meer geteeld omdat alle telers al gebruik maken van moderne rassen. In dit geval kan men soms nog aan materiaal komen via genenbanken.

### 3.2.3 Wilde varianten

Wanneer ook geen landrassen beschikbaar zijn, kan men terugvallen op wilde varianten. Deze kan men zelf verzamelen, maar hieraan zitten vaak allerlei haken en ogen. Nuttige planten in het wild verzamelen kost niet alleen veel tijd en geld, maar vaak zijn ook nog allerlei vergunningen nodig.

Binnen de soort kruisen (bijvoorbeeld met verschillende ondersoorten) is over het algemeen goed mogelijk, mits er op het gebied van ploïdie geen bijzonderheden zijn. Bij sommige gewassen is het cultuurgewas tetraploid maar zijn de meeste wilde ouders diploid. Zonder speciale voorzorgen zou een kruising dan een triploïde (steriele) F1 opleveren.

Soms is het ook mogelijk om kruisingen te maken met andere soorten. Dit gaat echter meestal veel minder eenvoudig. Vaak zijn technieken als embryo rescue nodig om de kruisingen uit te kunnen voeren. Het kan voorkomen dat de kruising wel lukt, maar het nageslacht onvruchtbaar is.

Volg deze link bijvoorbeeld eens om rond te neuzen in de kool-collectie:

<http://documents.plant.wur.nl/cgn/pgr/brasedb/searchform.asp>

Of download hier allerlei informatie over beschikbaar materiaal van aardappels, deels getoetst op allerlei resistenties:

<http://documents.plant.wur.nl/cgn/downloads/potaeval.zip>

Dit is een startpagina met links naar enkele verschillende databases:

<http://www.cgn.wur.nl/UK/CGN+Plant+Genetic+Resources/Search+and+order+germplasm/ECPGR+databases/>

## 3.3 Inductie van nieuwe genetische variatie

Niet alleen wat men in cultuur of in de natuur vindt kan men gebruiken als bron van nieuwe eigenschappen, men kan ook proberen op een andere manier aan de gewenste genetische variatie te komen. Dit kan door gebruikt te maken van nieuw ontstane genetische variatie. Men kan afwachten tot deze nieuwe genetische variatie spontaan ontstaat, men kan de natuur een handje helpen of men kan zeer gericht te werk gaan en een eigenschap uit een ander organisme langs kunstmatige weg inbouwen.

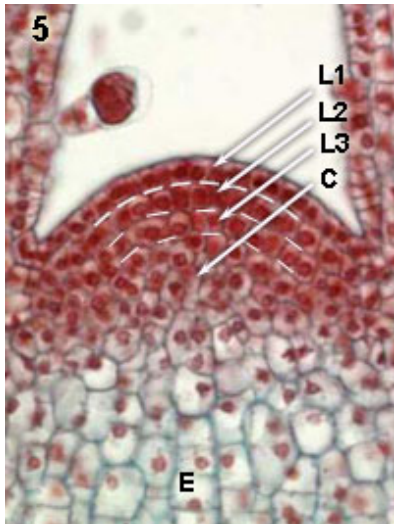
### 3.3.1 Spontane mutaties

Eerder hebben we besproken hoe nieuwe eigenschappen in de natuur kunnen ontstaan door middel van mutaties. Deze mutaties vindt men ook soms in cultuurgewassen. Wanneer men complete akker met aardappelplanten doorzoekt, is de kans zeker aanwezig dat men een mutant ontdekt. (Men dient er wel aan te denken dat er ook andere oorzaken bestaan waardoor een plant er afwijkend uit kan gaan zien, zoals milieufactoren of besmetting met een virus.) Meestal vallen deze mutanten niet op.

Sommige mutaties zijn echter duidelijk te zien. Wanneer een van de genen die nodig is om chlorofyl aan te maken defect raakt, wordt (een deel van) het blad wit. In het geval van de aardappel is dit een negatieve mutatie (minder fotosynthese dus minder opbrengst), in een siergewas kan dit type blad echter waardevol zijn.

Wanneer men werkt met mutanten is het belangrijk om te weten dat een plant uit meerdere cellagen bestaat die min of meer onafhankelijk van elkaar delen. Een mutatie in een cellaag blijft daardoor vaak beperkt tot een deel van de plant. Een plant waarbij verschillende weefsels genetisch verschillend zijn, noemt men een *chimaere*.





Afb 3.1 (links) Een groeiend topje met de plant met daarin de verschillende cellagen L1, L2 en L3 aangegeven. Deze cellagen delen dus behoorlijk onafhankelijk van elkaar.

Afb 3.2 (rechts) Het blad van een *Hosta*-ras waarvan waarschijnlijk cellaag L1 zijn vermogen om chlorofyl te maken is verloren. De binnenkant van het blad, bestaande uit L2 en L3 is nog wel groen.

Wanneer de gewenste eigenschap in slechts een van de cellagen aanwezig is, is de kans groot dat de eigenschap niet overerft. Men kan de plant echter vegetatief doorvermeerderen in de hoop dat de eigenschap ook in de overige cellagen belandt. Dit gebeurt vaak spontaan.

Wanneer men een groot aantal bonte *Hosta*'s bekijkt, is de kans groot dat men exemplaren vindt die geheel wit of geheel groen zijn.

Wanneer men in een siergewas in een zeer goed ras met rode bloemen een witte mutant vindt, kan dit een ideale manier zijn om aan een witbloemig topas te komen.

### 3.3.2 Geïnduceerde mutaties

Het is ook mogelijk om er als veredelaar voor te zorgen dat mutaties ontstaan. De meest belangrijke methoden hiervoor zijn:

- Bestraling
- Behandeling met mutagene stoffen
- Somaklonale variatie. Dit zijn de mutaties die ontstaan door *in-vitro* vermeerdering. Vaak speelt het gebruik van hormonen hierbij een rol. Ook deze mutaties zou men tot de geïnduceerde mutaties kunnen rekenen, hoewel ze meestal als eerder een probleem beschouwt dan als een mogelijke verrijking van de genetische variatie.

Beide methoden zorgen ervoor dat het erfelijk materiaal van de plant "beschadigd" raakt. Wie met straling of mutagene stoffen werkt moet daarom goed oppassen dat zijn eigen erfelijk materiaal niet aan deze invloeden blootgesteld wordt!

Men kan verschillende materialen behandelen, bijvoorbeeld zaden of jonge plantjes.

Er zijn twee belangrijke zaken waarop men moet letten wanneer men mutaties bij planten induceert:

1. De dosis dient zo laag mogelijk te zijn. Een hogere dosis geeft een hoger percentage gemuteerde planten. Dit is in principe gewenst. Wanneer de dosis hoog is, zijn echter bij de meeste planten veel meer genen beschadigd geraakt dan men kan zien. Hierdoor zullen de planten slechter groeien dan de niet-behandelde planten. Om deze reden is

het vaak goed om veel planten te behandelen met een lage dosis en wat langer te zoeken naar de gewenste mutant.

2. Net als bij spontane mutaties speelt bij de geïnduceerde mutaties het probleem van de verschillende cellagen mee. Zelfbestuiven en doorvermeerderen zijn twee manieren om aan stabiele (dwz niet-chimaere) planten te komen.

Mutatieveredeling wordt vooral toegepast in de sierteelt. Wanneer men een chrysanthe bestraalt, kunnen er allerlei bijzondere bloemkleuren en -vormen ontstaan die in sommige gevallen waardevol zijn. Wanneer men een aardappelras met een hogere opbrengst wil ontwikkelen, is mutatieveredeling een minder logische keuze.

### 3.3.3 Genetische transformatie

Veel verder gaat genetische transformatie. Hierbij brengt men gericht een nieuw gen in de plant. Dit gen kan komen uit een ander ras, maar ook uit een niet-kruisbare soort plant of zelfs uit iets totaal anders, zoals bijvoorbeeld een bacterie. Genetische transformatie is een zeer dure methode, maar de mogelijkheden zijn vrijwel grenzeloos.

Men kan onderscheid maken tussen cisgenese en transgenese. In het geval van cisgenese doet men langs kunstmatige weg iets dat in principe ook langs natuurlijke weg mogelijk zou zijn. Dit doet men bijvoorbeeld om tijd te besparen. In het geval van transgenese ontstaat een plant die met klassieke veredeling nooit zou kunnen ontstaan. Dit verschil kan invloed hebben op de maatschappelijke acceptatie van een ras. In minor twee zal dieper op dit onderwerp worden ingegaan.

## 4 Genetische erosie

Er bestaan enkele ontwikkelingen die een bedreiging vormen voor de hoeveelheid beschikbare genetische variatie. Niet alleen natuurbeschermers vinden dit vervelend, maar ook voor de plantenveredelaar is dit een probleem. Vermindering van de beschikbaarheid van genetische variatie noemt men *genetische erosie*.

### 4.1 Oorzaken van genetische erosie

Een belangrijke oorzaak van genetische erosie is de groei van de wereldbevolking. Dit heeft geleid tot een grotere behoefte aan landbouwgronden, en daardoor tot het in gebruik nemen van onontgonnen gebieden. Vooral wanneer deze gebieden in de centra van genetische diversiteit liggen, is dit een bedreiging voor de genetische variatie.

Een tweede belangrijke oorzaak is de moderne landbouw, en dan met name het gebruik van homogene rassen van de grote veredelingsbedrijven. Waar de boeren vroeger lokale, niet zo homogene rassen gebruikten, de zogenaamde landrassen, gebruikt men tegenwoordig meestal slechts een handje vol uiterst homogene rassen ontwikkeld door de moderne veredelingsbedrijven.

Tot slot noemen we het invoeren van F1-hybriden. Waar men vroeger gebruik maakte van een populatie planten die slechts in beperkte mate homogeen was, gebruikt men tegenwoordig vaak een F1-hybride, waardoor hele gebieden bijvoorbeeld vol kunnen staan met geheel identieke mais-planten.

## 4.2 Bescherming van genetische variatie

Er bestaan verschillende manieren om genetische erosie tegen te gaan. Genenconservering kan men verdelen in:

- *In situ* conservering
- *Ex situ* conservering

Met “*in situ*” bedoelt men: op de oorspronkelijke plaats. Een goed voorbeeld van *in situ* conservering is het beschermen van natuurgebieden in de centra van genetische diversiteit.

In het geval van *ex situ* conservering beschermt men de genetische variatie op een andere plek. Dit kan bijvoorbeeld zijn in een botanische tuin of bij een genenbank. Hoewel *in situ* conservering een zeer elegante oplossing is, kiest men in de praktijk ook zeer vaak voor conservering in genenbanken. Groot voordeel hiervan is dat veredelaars makkelijk en snel aan het gewenste materiaal kunnen komen.

Genenbanken zijn er, zoals de naam al zegt, in gespecialiseerd om genetische variatie op te slaan. Meestal slaat een genenbank zaden van allerlei verschillende (onder-)soorten, landrassen en rassen op. Door de zaden in te vriezen, blijven ze vaak zeer lang kiemkrachtig. Af en toe wordt een deel van het zaad uitgezaaid om voor vers materiaal te zorgen en de hoeveelheid zaad op peil te houden. De hoeveelheid zaad die in voorraad is kan teruglopen doordat bijvoorbeeld veredelingsbedrijven materiaal kunnen bestellen.

Een genenbank kan zich specialiseren in een of enkele gewassen, maar er bestaan ook genenbanken die een groot aantal zeer verschillende gewassen verzamelen. Dit zijn enkele vragen waarover waar over men na dient te denken bij het opzetten van een genenbank:

1. Wat wordt er verzameld en in welke hoeveelheden? (Alleen cultuurvormen of ook wilde verwanten?)
2. Waar en hoe wordt materiaal verzameld? (Botanische tuinen of veredelingsinstituten, of zelf op expeditie.)
3. Hoe kunnen we de hoeveelheden materiaal in de genenbank opslaan en indien nodig zuiver vermeerderen? (Bij de instandhouding wil men niet dat er kruisbestuiving optreedt tussen de verschillende veldjes.)
4. Welke informatie wordt vastgelegd en hoe kan men zoeken in deze informatie? (Sommige genenbanken verstrekken bijvoorbeeld allerlei informatie over de resistenties die aanwezig zijn in het materiaal.)

Dit zijn enkele websites van genenbanken. Bezoek deze websites en probeer een beeld te krijgen van de manieren waarop een veredelaar hier op zoek kan naar materiaal.

<http://www.cgn.wur.nl/NL/> (Wageningen, allerlei gewassen)

<http://beta.irri.org/> (rijst)

<http://www.cimmyt.org/> (mais en tarwe)

[http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/site\\_holding.pl?NR6](http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/site_holding.pl?NR6) (*Solanum*)

<http://www.europotato.org> (Aardappel)

Internationaal zijn afspraken gemaakt over bescherming van biodiversiteit. Binnen het CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research) bevindt zich het Genetic Resources Policy Committee (GRPC). Hierin zijn mensen uit verschillende landen vertegenwoordigd die zich bezig houden met genetische bronnen. Een leuke website mbt biodiversiteit is: [www.biodiversityinternational.org](http://www.biodiversityinternational.org) Hier vind je veel informatie over biodiversiteit en genenbanken.

## 5 Het bepalen van de geniteurswaarde

Met de *geniteurswaarde* bedoelt men de waarde van een plant voor de veredelaar als kruisingsouder. Het is niet mogelijk om de geniteurswaarde op een eenduidige manier te bepalen. Dit komt doordat veel verschillende eigenschappen bijdragen aan de geniteurswaarde. Deze eigenschappen wegen elk in verschillende mate mee. Bovendien is de mate waarin elke eigenschap van belang is sterk afhankelijk van het doel van de veredelaar.

Waarom kruist men met de ene plant wel en met de andere plant niet? In sommige gevallen is deze vraag vrij eenvoudig te beantwoorden. Vaak zal een veredelaar liever kruisen met een modern ras dan met een ouderwets ras. Het moderne ras bevat veel meer resistenties dan het ouderwetse ras en bovendien een hogere opbrengst. Daarom verwacht de veredelaar dat het nageslacht van het moderne ras meer resistenties en een hogere opbrengst zal hebben dan dat van het ouderwetse ras.

In sommige gevallen zal de veredelaar echter toch met ouderwetse rassen of zelfs met wilde planten kruisen. Dit kan met name het geval zijn wanneer de veredelaar een bepaalde unieke eigenschap in zijn ras wil brengen die nergens anders beschikbaar is. Bijvoorbeeld een resistentie.

Waar men ook rekening mee kan houden zijn de resultaten van een ouderplant in het verleden. Voor aardappellassen kan men deze informatie onder andere vinden op een site als <http://www.europotato.org> onder “pedigree”. Wanneer een bepaald ras erg veel succesvol nageslacht heeft voortgebracht, kan dit een reden zijn om eerder met deze plant te kruisen. Wanneer een plant weinig of geen succesvol nageslacht heeft voorgebracht kan het betekenen dat de plant geen goede ouder is gebleken. Het kan echter ook zo zijn dat er nog (te) weinig met de plant is gekruist.

Hier de belangrijkste factoren die een potentiële ouderplant interessant kunnen maken:

1. Combinatie van veel goede eigenschappen in de ouderplant. (De ouderplant is een top-ras.)
2. Goede resultaten in het verleden. (De ouderplant is geen top-ras maar heeft wel reeds enkele top-rassen opgeleverd.)
3. Aanwezigheid van unieke eigenschappen. (De ouderplant voldoet niet als ras, maar bezit een of meerdere unieke eigenschappen die niet aanwezig zijn in moderne rassen.)

Wanneer een veredelaar unieke eigenschappen uit primitief materiaal wil gebruiken, doet in veel gevallen de “pre-breeder” het voorwerk. De pre-breeder begint met materiaal met daarin zeer veel negatieve eigenschappen en probeert hiervan iets te maken dat dichterbij de buurt van een modern ras komt. Op deze manier kan de veredelaar werken met materiaal waarin minder ongewenste eigenschappen aanwezig zijn. Zo kost het hem minder generaties (tijd) om tot een goed resultaat te komen. Men zou dus kunnen zeggen dat de pre-breeder van primitief materiaal met daarin interessante eigenschappen een halffabriek maakt met een hogere geniteurswaarde.

Hoe goed een veredelaar een geniteur kan gebruiken hangt mede af van de erfelijkheid van de eigenschap die hij wil inkruisen. Een eigenschap die op een gen berust is eenvoudiger in te kruisen dan een eigenschap die op een groot aantal genen berust. Om hier informatie over te krijgen kan men eventueel kruisingsexperimenten doen met een potentiële geniteur.

## 6 Bronvermelding/verder lezen

Wikipedia.org

Diktaat Inleiding Plantenveredeling, Wieneke van der Heide, CAH Dronen, 2007

Diktaat Oriëntatie op de Plantenveredeling, G.A.M. van Marrewijk, WUR, 1993

<http://users.ugent.be/~avierstr/principles/phylogeny.html>

Biology, Campbell

Scientia Horticulturae 108 (2006) 79-85

# Bijlage 1: Iets meer over de PCR-techniek

Bron: <http://www.watisgenomics.nl/>

PCR staat voor Polymerase Ketting Reactie (Polymerase Chain Reaction). Deze techniek wordt onder andere gebruikt om kleine hoeveelheden van een specifiek stuk DNA een groot aantal keren te vermeerderen. Vaak kun je maar een klein beetje DNA uit een weefsel isoleren. Voor verder onderzoek heb je voor analyses van het DNA meer materiaal nodig. Met PCR laat je het kleine beetje DNA zichzelf vermenigvuldigen tot een grotere hoeveelheid.

## Hoe werkt PCR?

De PCR-reactie bestaat uit drie verschillende fasen. De eerste stap is een temperatuursverhoging waardoor het DNA denatureert. Dat wil zeggen dat de waterstofbruggen tussen de DNA-strengen worden verbroken. Daardoor valt de dubbele helix van het DNA uit elkaar. Vervolgens worden er primers toegevoegd. Dit zijn kleine stukjes chemisch gesynthetiseerd DNA, waarvan de basenvolgorde (volgorde van de bouwstenen C, A, G en T) complementair is met die van de uiteinden van het te vermeerderen DNA fragment. Deze primers zorgen ervoor dat aan de opengebroken streng DNA, weer nieuwe basen gekoppeld kunnen worden. Dit gebeurt onder invloed van het enzym polymerase. Dit is de laatste fase van de PCR-reactie. Polymerase zorgt er voor dat de primers verder worden verlengd tot een compleet stuk DNA, door de toegevoegde losse DNA-bouwstenen op de juiste plaats aan elkaar te koppelen. Tegen beide gesplitste strengen ontstaat zo een nieuwe streng van DNA en zo wordt de hoeveelheid DNA verdubbeld. Door de stappen meerdere malen te herhalen, wordt een specifiek stuk DNA zeer vaak vermenigvuldigd.

## De ingrediënten die nodig zijn voor PCR:

- DNA-monster
- Losse basen (A, T, C, G)
- Enzym Polymerase
- Primers

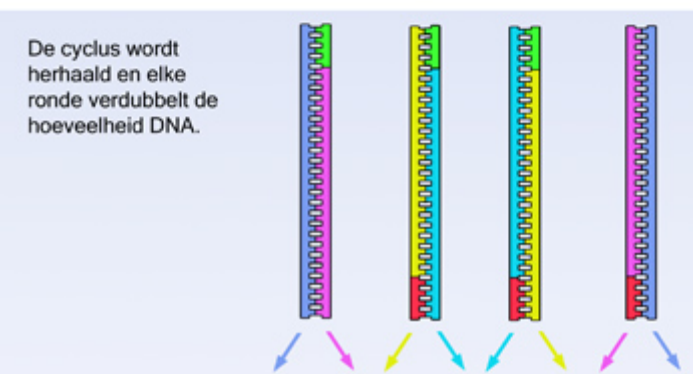
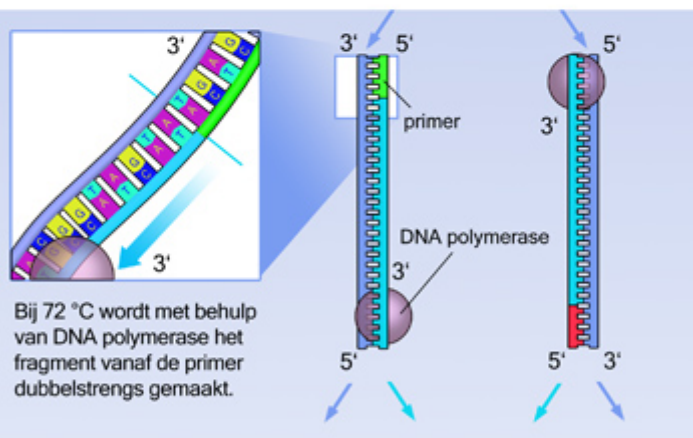
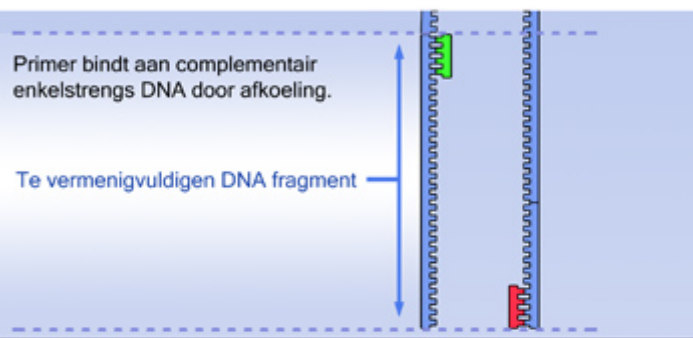
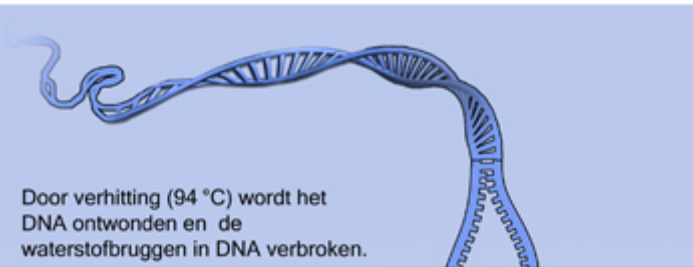
## Wat gebeurt er in de PCR-machine?

1. 94°C: smelten (dubbelstrengs DNA smelt tot enkelstrengs DNA)
2. 54°C: hechting van de primers
3. 72°C: het polymerase doet zijn werk
4. Herhaling van stap 1 t/m 3.

## Hoe maken we de fragmenten zichtbaar? Gel-electroforese:

1. DNA in een buffer, hierdoor negatief geladen
2. Monsters aanbrengen op een gel
3. Een elektrisch veld trekt de fragmenten door de gel
4. Grote fragmenten bewegen trager dan kleine; scheiding op grootte
5. DNA kleuren en gel bekijken

# PCR



Illustratie: Sebastiaan Donders