

Hoeveel chromosomen hebben bijen eigenlijk? (1)

dr. J.P. van Praagh, Celle

Binnen de Nederlandse bijenhouderij is er duidelijk een groeiende belangstelling voor koninginnteelt en selectie te constateren. Deze toename heeft tot gevolg, dat meer imkers zelf bepalen, welk volk, of welke volken, in hun ogen goed genoeg zijn, om als uitgangsmateriaal voor de volgende generatie van bijenvolken op de stand te dienen. Dit betekent, dat de traditionele 'selectie' zoals die bij de 'Aalster-methode' plaats vindt, door en ander selectiesysteem vervangen wordt.

Bij de Aalstermethode krijgt elk volk zelf de mogelijkheid een nieuwe koningin te telen, als dochter van het oude standvolk. Dat dit selectieprincipe ook 'steeklustige' volken oplevert of opleveren kan, weten we eigenlijk allemaal. Steeklust is een vorm van verdedigingsgedrag; daarom voor het volk zeker een 'gezond' teken. Voor de imker, en zijn burens, niet zo'n goed aspect van het bijenhouden. Hiermee zijn we eigenlijk al bij de kern van het probleem selectie door de imker terecht gekomen.

De eigenschappen, die wij graag bij onze bijen zien, zijn vaak niet die eigenschappen, die de natuur als noodzakelijk voor het voortbestaan van de soort selecteert.

Bij de Aalster-methode selecteert de natuur; per volk wordt de vraag *is dit volk geschikt voor dit drachtgebied?* elk jaar opnieuw gesteld. Het aantal volken dat voor deze keus staat is groot. Omdat elk volk een eigen erfelijke achtergrond (genetische basis) heeft is de variatie in erfelijke eigenschappen groot. Zodra wij echter een paar volken, of slechts één volk uitkiezen beperken we de keus van erfelijke eigenschappen, met alle gevolgen van dien.

Om verstandig te kunnen kiezen, moeten we onder andere een goede imker zijn. Daarnaast is kennis van de erfelijkheid nodig. Naast de klassieke erfelijkheidsleer van Mendel, komt de populatie-genetica er aan te pas, omdat de eigenschappen, die wij willen selecteren zelden de 'eenvoudige' regels van Mendel volgen. Bij steeklust, ziekteresistentie en haaldrift, zijn vele genen, op verschillende chromosomen gelegen, voor het resultaat verantwoordelijk. Dat daarnaast het milieu ook nog (een grote) invloed heeft op de

eigenschappen, die we te zien krijgen, weten we eigenlijk wel – volken zijn op het koolzaad onvriendelijker dan thuis. Dit laatste aspect – het fenotype (de verschijningsvorm), dat het genotype (de erfelijke aanleg) ten dele kan maskeren kan –, maakt selectie bij bijen nog moeilijker. Door het milieu zo constant mogelijk te houden, probeert men de variatie ten gevolge van 'het milieu' zo klein mogelijk te houden. Dan is de zichtbare variatie vrijwel alleen een gevolg van de variatie in erfelijke aanleg tussen de dieren.

Bij het kiezen van bepaalde ouders, als de beste voor de volgende generatie is de kwaliteit van het oordeel zeer sterk van de variatie in onze selectiegegevens afhankelijk. Hierbij is de variatie ten gevolge van het milieu een stoorfactor. 'Helaas' kunnen we bijen niet in goed geregelde stallen met constant voer houden, zoals bij de andere 'veehouderij'.

Bij de bijen hebben we nog een 'probleempje' meer; de volksprestaties kunnen we beoordelen, de jonge koninginnen uit ons geselecteerde volk zijn zusters van de werksters, maar de darren in dat volk zijn slechts halfbroers van de werksters omdat ze uit onbevuchte eitjes worden geboren.

Daarom moeten we een gedegen inzicht in de erfelijkheidsleer van volken hebben, om doelbewust en verantwoord te kunnen telen/selecteren. In het volgende deel geef ik mijn uitleg over de erfelijkheid (genetica) van een bijenvolk.

Moeder-vader, oma-opa

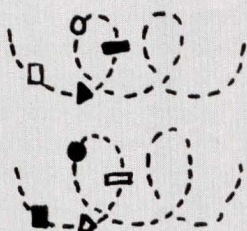
In figuur 2 wordt de relatie tussen kind en ouders vergeleken: werkster en koningin. De meeste levensvormen hebben van elk chromosoom per cel(kern) twee bijna identieke exemplaren: ze zijn diploïd. De ei- en zaadcel (geslachtscellen) ontstaan door een reductiedeling, waarbij elke geslachtscel niet twee, maar slechts één exemplaar van elk chromosoom krijgt. Deze cellen worden daarom haploïd genoemd. Bij de mens vinden we per eicel of zaadcel 23 chromosomen; bij de bij 16 per geslachtscel. Bij het ontstaan van een nieuw individu versmelten de twee celkernen van de vrouwelijke en mannelijke geslachtscel tot één diploïde bevruchte eicel, waaruit een nieuw individu groeit.



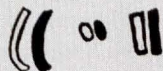
Basiseenheid van de erfelijkheid: het gen
Per diploïde cel komen er twee vormen van het gen voor



Genen liggen achterelkaar en vormen de chromosomen



Per diploïde cel komen de chromosomen in paren voor



Diploïde cel 2 N

Een diploïde cel met drie paar chromosomen ($n=3$)



Haploïde cel N

Een haploïde cel met drie chromosomen ($n=3$)

Koningin:

In de diploïde cellen komen 16 paar
($=16 \times 2$) chromosomen voor.

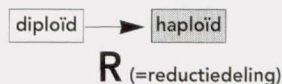
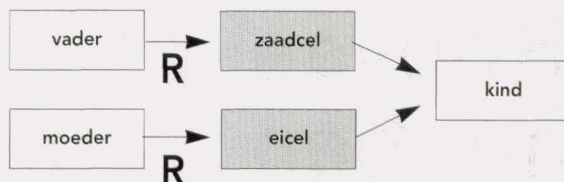
De haploïde eicellen bevatten 16
($=16 \times 1$) chromosomen.

Werksters:

In de diploïde cellen komen 16 paar (16×2) chromosomen voor. Behalve de eicellen (geslachtscellen) zijn alle andere cellen diploïd, dus oog-, huid, bloed- en darmcellen en cellen van de honingblaas zijn diploïd.

Darren:

Alle cellen, inclusief de zaadcellen van een dar bevatten 16 (16×1) chromosomen.



Links figuur 1.

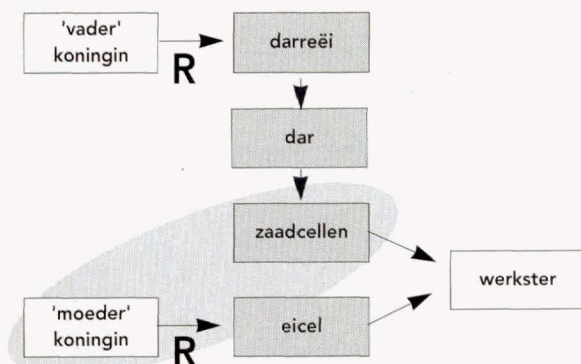
Chromosomen worden gevormd door genen.

Boven figuur 2.

In een bijenvolk is de relatie tussen koningin en werkster vergelijkbaar met de relatie tussen een kind en zijn ouders.

Bij elke nieuwe verdeling van de chromosomen over twee geslachtscellen ontstaat een andere combinatie van 16 chromosomen uit de $2 \times 16 = 32$ stuks. Het is niet zo, dat na een reductiedeling 50% van de cellen identiek met de eicel van de moeder is; de andere 50% dan identiek is aan de zaadcel van de vader. Nee, de kaarten (de chromosomenparen) worden telkens opnieuw geschud. In de schema's (figuren 2, 3 en 4) zijn de individuen (diploïd, $2N$) aangegeven met witte kaders en zijn de haploïde (N) geslachtscellen en darren aangegeven met lichtgrijze kaders.

Vergelijken we nu onze moeder/vader-kind relatie met de situatie in een bijenvolk, dan moet ergens de dar zijn rol spelen. Hij ontstaat uit onbevuchte eitjes: De koningin legt in darrecellen onbevuchte eitjes. Dat zijn eitjes, die geen zaadcel uit het zaadblaasje van de koningin hebben gekregen. Aangezien een eicel haploïd (N) is; is de dar een haploïd individu. Veel leerboeken doen alsof de dar de mannelijke tak bij de bijen vormt. Hoewel de darren met de koningin 'paren', is de uitspraak 'dat is dan de man' niet correct. De natuur heeft een systeem ontwikkeld, waarbij, nadat via een reductiedeling een 'ei/zaadcel' ontstaan is, deze cel niet direct zaadcel wordt. Als dier met een haploïd chromosomen-aantal kan de dar vele identieke zaadcellen produceren, die dan bij de paring aan een koningin worden gegeven. De dar is eigenlijk een 'copyshop' voor zijn specifieke haploïde chromosomen-set. Bij de reductiedeling om een ei te laten ontstaan heeft 'de bij' een variatiemogelijkheid van 2^{16} ($= 65.536$) verschillende varianten per koningin. De dar



figuur 3

Werksters ontstaan uit de bevruchting van een haploïde eicel door een haploïde zaadcel. Darren ontstaan uit haploïde (onbevruchte) eicellen.

als één van deze varianten maakt dan hiervan een zeer groot aantal kopieën, n.l. het aantal zaadcellen dat hij maakt: 10^6 .

Na de paring komt een deel van deze zaadcellen in het zaadblaasje van de koningin terecht, en deze blijven daarin in leven, totdat de koningin sterft.

Een koningin is een moeder, die de zaadcellen van de vaders voor haar kinderen bij zich draagt (in het zaadblaasje).

Zodra we accepteren, dat de dar eigenlijk geen vader is, maar een grote en talrijke 'zaadcel', wordt de stamboom van een volk doorzichtiger.

'Helaas' heeft de natuur nog een tweede 'kunstje' met de erfelijkheid bij bijen uitgehaald. Doordat een koningin op haar bruidsvlucht(en) met ca. acht darren paart vinden we in haar zaadblaasje zaadcellen van acht verschillende darren. Die acht kunnen bij uitzondering (of kunstmatige inseminatie) alle ei/zaadcellen van één koningin zijn, maar meestal zijn het ei/zaadcellen van verschillende koninginnen. (figuur 4). Hier is duidelijk te zien, hoe uit een eicel + zaadcel uit het zaadblaasje een werkster ontstaat, terwijl uit een eicel, die niet met een zaadcel bevrucht wordt, een dar ontstaat. Een bijenvolk is zodoende een conglomeraat van:

a. een diploïde ($2N=32$) koningin, die haploïde ($N=16$) eieren produceert. In haar zaadblaasje verzorgt zij vele levende haploïde ($N=16$) zaadcellen van een aantal darren. Uit de met een zaadcel bevruchte eieren ontstaan diploïde ($2N=32$) werksters en koninginnen. Uit de niet-bevruchte haploïde eieren ontstaan haploïde ($N=16$) darren.

b. een groot aantal diploïde werksters. Deze zijn alle dochters van de koningin (a) en hebben

verschillende vaders. Werksters van dezelfde vader hebben alle een identieke chromosomenset van hun vader; van hun moeder (de koningin) hebben ze alle een min of meer verschillend stel chromosomen. ($2^{16}=65536$ mogelijke variaties).

c. een aantal haploïde darren. Deze hebben alle dezelfde vader, n.l. de koningin in het volk. Ze hebben alle een verschillend stel chromosomen, die dezelfde oorsprong heeft als het variabele stel bij de werksters.

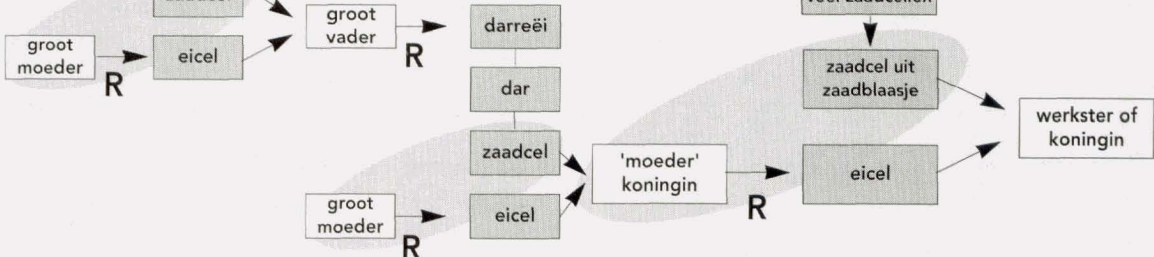
De wetten van Mendel

Het feit dat we kunnen selecteren komt, omdat eigenschappen van levensvormen erfelijk zijn. Mendel heeft deze erfelijkheid in zijn 'wetten' beschreven. Inmiddels weten we, dat de eigenschappen, die Mendel zo abstract als lettercode voor bijvoorbeeld bloemkleur gebruikte, in werkelijkheid codes op de chromosomen zijn. In wezen beschrijft elke code, hoe een bepaald enzym en eventueel ook wanneer (tijdens de ontwikkeling) gemaakt moet worden.

Deze enzymen zorgen er bijvoorbeeld voor dat de oogpigmenten met een eenvoudige structuur tot zeer complexe structuren omgevormd kunnen worden. Zodra de genetische code voor de bouw van één van de noodzakelijke enzymen ontbreekt, stopt de bouw van dat oogpigment, daar waar het betreffende enzym zou moeten werken. De stof, die dan omgebouwd moest worden blijft onveranderd; en de concentratie er van wordt abnormaal hoog. Op deze manier zijn een aantal oogkleurmutanten van de bij onderzocht.

Mendel beschrijft dominante en recessieve genen; de dominante overheersen als het ware het tot uiting komen van de recessieve bij diploïde individuen. Een diploïd individu, dat uiterlijk een bepaald kenmerk ten toon spreidt, hoeft de code voor dit aspect niet persé op beide chromosomen op de plaats waar deze code staat (het gen) te hebben. Net zo goed kan slechts op één van beide genen de bepaalde code staan; op het andere chromosoom is dan het recessieve gen aanwezig. Voor meer informatie over Mendels wetten: Koninginneteelt van Velthuis en Duchateau.

Omdat de darren haploïd zijn, kunnen we bij hen direct zien, of ze de erfelijke afwijking dragen of niet. De meestal recessieve oogkleurmutaties (=natuurlijk voorkomende variaties op het thema oogkleur) zijn bij de darren direct te zien. Dankzij deze vele bonte darreogen en het feit, dat elke dar veel sperma produceert, is over de biochemie en de locatie van de genen voor oogkleur het één en ander bekend. Een



Figur 4

294 Dit figuur stelt de stamboom van een werkster of koningin voor; met haar ouders en grootouders. Voor de duidelijkheid is
 — alleen de familie aan moeders kant aangegeven; aan vaders kant is de relatie uiteraard identiek.

werkster als dochter van een met sperma van een oogkleurmutante dar geïnsemineerde normale koningin, heeft meestal normale 'wildtype' ogen. En een dar in zo'n volk? Juist- die heeft waarschijnlijk ook gewone ogen; pas in een volk, dat als nateelt uit dit volk ontstaat, zullen darren met deze oogkleurmutatie voorkomen. En bij hoeveel darren dan? Als U intuïtief 'de helft' gedacht heeft, dan kent U de afstamming van bijenvolken!

Ook de vraag, waarom uit een onbevruucht ei (een haploïde stel chromosomen) een dar ontstaat, geeft de mogelijkheid nogeens over gen en chromosoom na te denken. Bij de mens wordt het geslacht geregeld door de geslachtschromosomen. Een man ontstaat wanneer de ene helft van de 23 chromosoomparen het X-chromosoom bevat en de andere het Y-chromosoom; bij de vrouw zijn twee X-chromosomen aanwezig. Bij de bijen (en andere Hymenopteren) is geen geslachtschromosoom aanwezig, maar wordt het 'geslacht' (eigenlijk de vraag diploïde of haploïde levensvorm) geregeld door circa vijftien verschillende codes (allelen) op een bepaald gen. Wanneer bij een dubbel stel chromosomen dezelfde allelen voorkomen, dan ontstaat er een diploïde dar.

Zo'n dar laten de werksters niet ontstaan, ze eten het jonge larfje op. Een normale dar heeft uiteraard op de betreffende plek slechts één allel, omdat er maar één (haploïde) stel chromosomen is. Bij werkster en koninginnen vinden we altijd twee verschillende allelen op dit gen (op elk chromosoom van het betreffende paar een andere).

Vraagje: waarom is het vinden van veel lege cellen in het broednest eventueel een aanwijzing voor inteelt? We hebben immers inteelt, wanneer broer en zus met elkaar paren.

Inteelt ontstaat wanneer broer en zus met elkaar paren. Voorbeeld: een werkster of koningin levert voor een eikel X^a of X^b , een dar heeft voor deze koningin X^a of X^b en samen levert dat X^aX^b of X^bX^a (een diploïde werkster), maar ook X^aX^a of X^bX^b (een diploïde dar).

Zie ook: 'Hoe steekt een bijenvolk in elkaar?' van
drs. H. Dijkema. Bijenteelt, maandschrift voor de
bijenteelt (VBBN.) 92(3): 67-71 (1990).