

Sociaal gedrag is erfelijk, maar in welke genen is het vastgelegd?

Door Tjeerd Blacquière

In het boek "The joy of bees" (de Engelse vertaling van zijn Italiaanse boek *Il piacere delle api*) gaat Paolo Fontana in op de vraag welk volk na het zwermen nu eigenlijk de voortzetting is van het oorspronkelijke volk, en welk volk een nakomeling (dochter). Natuurlijk is het antwoord: de zwerm is 'het volk', de achterblijvenden zijn een dochter.

De nieuwgeboren werksters in de zwerm zijn erfelijk 100% gelijk aan de werksters die in het achterblijvende volk leven, maar nadat in dat deel een jonge koningin is geboren en is gaan leggen, zijn de dan geboren werksters slechts 50% erfelijk gelijk (de jonge koningin heeft 50% van de genen van haar moeder). In een gezamenlijk experiment in 2016-2018, waarin 'survivor' volken uit Noorwegen, Zweden, Frankrijk en Nederland werden uitgewisseld en vergeleken (hoewel, slechts de jonge gepaarde koninginnen werden uitgewisseld), besloten we een volk als verloren voor de proef te beschouwen als een koningin stierf en werd vervangen. Immers, de jonge koningin 'doet het' met al die niet geselecteerde rondhangende lummels in de omgeving! Toch is het maar de vraag of dat achterblijvende volk wel zo sterk verandert na de wisseling als de 50% doet denken. Het achterblijvende volk behoudt zijn nest met zijn nestgeur, en met voorraden. De jonge koningin komt ongeveer dezelfde populatie darren tegen om mee te paren als haar moeder een jaar geleden (de darren worden geleverd door dezelfde volken, tenzij er veel wordt geslept met volken in de omgeving). Zijn onze ogen misschien wat te veel gericht op hare majesteit ("ik heb nu toch een moertje, zachtaardig, en ze haalt me een partij honing....")?

Koningin en haar 15 darren samen 100% erfelijke info van het volk?

Lang niet! Misschien vertegenwoordigt het DNA (de erfelijke code in de chromosomen) van de koningin en darren samen maar 10% van de erfelijke informatie in een bijenvolk. En misschien wordt wel 90% geleverd door de parasieten, gisten, bacteriën, archaea, schimmels en virussen in dat volk. Al dat erfelijke 'materiaal' samen bepaalt wat er gebeurt in een bijenvolk. Zelfs nog afgezien van (het DNA van) de imker.

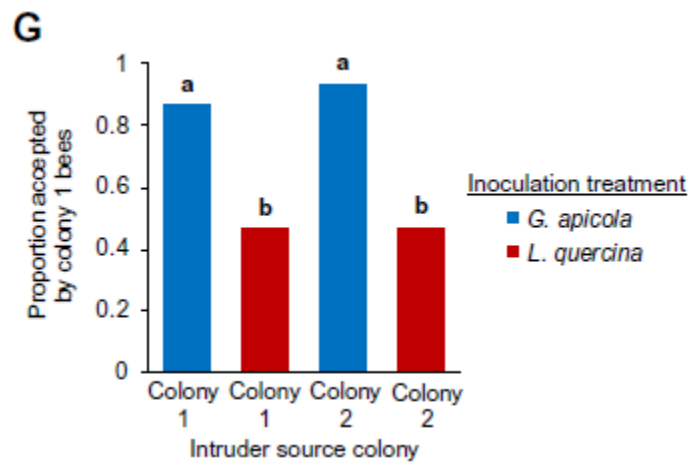
Microbioom en nestgeur

Ieder bijenvolk draagt een specifieke nestgeur. Die is gebaseerd op de hele specifieke 'cuticulaire' (ze zitten op de cuticula, de buitenkant van de bij) hydro-carbons (CHCs), geurstoffen die een feromoon functie hebben (het zijn signaalstoffen), en invloed hebben op het gedrag van de bijen. Hebben werksters dezelfde CHC dan geeft dat het signaal "je hoort erbij". Zelfs de Varroamijt gebruikt dezelfde CHCs om niet op te vallen. Welke CHCs werksters hebben wordt niet bepaald door hun verwantschap, maar door het microbioom waarmee ze zijn opgegroeid. Het microbioom is het hele palet van micro-organismen in een bijenvolk, maar net als bij ons is het darm-microbioom het grootste en belangrijkste (Zie voor het menselijk microbioom Kleerebezem et al 2016 '[Ons microbioom](#)'). Hoewel bijenwerksters wereldwijd bijna hetzelfde microbioom hebben (Kwong & Moran, 2016) sturen subtiele verschillen kennelijk het sociale gedrag van werksters onder elkaar aan. Overigens is het darm-microbioom van koninginnen heel verschillend van dat van de werksters (ze eet natuurlijk ook heel anders dan de werksters), en opmerkelijk genoeg: het microbioom van koninginnen lijkt wereldwijd veel minder op elkaar dan dat van werksters (Tapy et al., 2015. Elk koninginnetje toch uniek, wat die eerder geciteerde imker al wist?).

Misschien roept de imker binnenkort: het darm microbioom van dit volk: dat is zachtaardig!

Recent onderzoek van Vernier et al (2020): is er rechtstreeks verband tussen het microbioom en de CHC's?

Als dat zo zou zijn, is er ook directe sturing van het gedrag van de werksters door het microbioom. Vernier et al. hebben dat onderzocht in een serie elegante experimenten. Eerst vergeleken ze van drie volken het microbioom en ook de CHCs. De microbiomen waren grotendeels gelijk, maar er waren als je meer in detail keek wel subtiele verschillen. Ook de CHCs verschilden tussen de volken (zodat je de bijen van verschillende volken niet zomaar kunt mengen). Om te kijken waar het verschil in CHCs van de bijen vandaan komt, van de erfelijkheid van de bijen of van het microbioom, hebben ze maagdelijke bijen (die net uit de cel komen, die hebben nog geen microbioom (Kwong & Moran, 2016)) overgezet in het andere volk. Hun aanname was dat zowel het microbioom als de CHC's het profiel van het gastvolk zouden gaan volgen. Dat bleek inderdaad het geval, en de jonge bijen waren volledig 'thuis' in het gastvolk.



Figuur Inoculatie experiment: Bijen van volk 1 accepteren bijen met *G. apicola* uit 1 en 2, maar niet die met *L. quercina* uit 1 en 2. Figuur uit Vernier et al., *Sci. Adv.* 2020; 6 : eabd3431

Oorzaak en gevolg, ander microbioom ander CHC?

Dus het microbioom en de CHCs zijn gekoppeld, maar is dat ook causaal? Met andere woorden: zorgt een ander microbioom voor een ander CHC?

In het eerste experiment gaven ze bijen een antibioticum. Daardoor veranderde de samenstelling van het microbioom (ze konden dat laten zien door het microbioom op bacterieplaten te kweken), en ook de CHCs van de bijen veranderden.

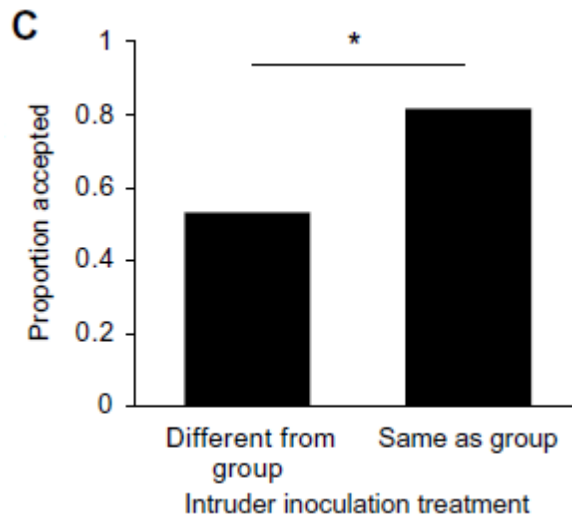
Een tweede proef: ze entten net geboren bijtjes met een intact microbioom van een bij, en andere met hetzelfde microbioom maar dan verhit (daardoor deels dood). Dat leverde verschillende microbiomen op in de jonge werksters, en ook een verschillend CHC profiel.

In een derde experiment brachten ze een aantal maagdelijke jonge bijen in contact met volwassen werksters uit volk 1, en andere met werksters uit volk 2. Het bleek dat het ontwikkelde microbioom van de jonge bijen tussen groep 1 en 2 verschillend werd. Alleen, dat was niet meer zo als ze de volwassen werksters van groep 1 en 2 tevoren een antibioticum hadden gevoerd. Dan ontwikkelden de jonge bijen een microbioom dat niet verschilde tussen groep 1 en 2. Het zal een schraal soort microbioom zijn geweest, omdat veel belangrijke soorten in de werksters van 1 en 2 dood waren door de antibiotica. En: ook het CHC op de huid werd niet verschillend.

Er is een oorzakelijk verband, maar hoe direct?

Het microbioom van bijen bevat vele soorten bacteriën. Een belangrijke groep zijn stammen van de soort *Gilliamella apicola*, die altijd voorkomt en een symbiont is van de bijen (werkt dus samen met de bijen). Een andere bacterie die vaak wordt gevonden is *Lonsdalea quercina*: dit is een opportunistische soort: soms wel soms niet aanwezig, de bijen kunnen zonder. Beide soorten kunnen gemakkelijk worden gekweekt. Dat deden de onderzoekers, en vervolgens entten ze een groep jonge bijen met de gekweekte *Gilliamella*, en een andere met *Lonsdalea*. De bijen ontwikkelden verschillende microbiomen, groep 1 met veel *Gilliamella*, groep 2 met veel *Lonsdalea*. Ze maakten ook andere CHCs. Die CHCs bleken te werken: als je de G-bijen in contact bracht met andere G-bijen, werden ze geaccepteerd (herkend als zusjes), ook

als ze van het andere volk kwamen, terwijl de L-bijen werden geweigerd (niet als zus herkend) ook die van eigen volk (Figuur hiernaast). Andersom werkte dat niet: L-bijen hadden geen bezwaar tegen G-bijen. Dit wijst er op dat *Gilliamella* een rol speelt bij het maken van de CHCs, en *Lonsdalea* niet. Dit correspondeert mooi met de altijd aanwezigheid van *Gilliamella*, en ook met de metabolische rol van *Gilliamella*: ze spelen een rol in de afbraak van polysacchariden, en maken daarbij korte vetzuurketens. Uit die ketens worden de CHCs opgebouwd.



Figuur Acceptatie door bijen van andere bijen met een verschillende stam (links) en met dezelfde stam (rechts) Uit Vernier et al., *Sci. Adv.* 2020; 6 : eabd3431

Dus *Gilliamella* speelt een rol, maar hoe bepalend?

Om dat uit te zoeken deden ze nog 3 experimenten.

Het eerste beantwoordde of je met dezelfde microbiomen ook automatisch dezelfde CHCs kreeg. Maagdelijke werksters uit volk 1 en 2 werden geënt met hetzelfde microbioom. Het bleek dat toch het zich ontwikkelende microbioom niet helemaal hetzelfde was: er was dus ook een erfelijke component: het verschil tussen volk 1 en 2. Maar: of de bijen elkaar herkenden als zus volgde volledig het microbioom profiel, en niet het erfelijke. Kortom, ook al zijn de bijen met herkomst tussen volk 1 en 2 ietsje verschillend, ook hun CHCs, toch accepteren ze elkaar volledig, dankzij hetzelfde microbioom.

Het tweede onderzocht de variatie aan verschillende stammen van *Gilliamella* in de volken, ze onderzochten 64 stammen. Elke bij heeft een groot aantal stammen in haar darm, maar het bleek dat de variatie aan stammen tussen verschillende bijen groter was dan de variatie in de darm van elke afzonderlijke bij (dus werksters in een volk verschillen). Maar, de variatie tussen verschillende volken was nog groter, dus ook volken verschillen in welke stammen *Gilliamella* ze hebben. Tenslotte (exp 3) entten ze verschillende jonge bijen elk met één van vier *Gilliamella* stammen, dat leverde vier verschillende CHC-profielen op. Vervolgens bleek dat bijen elkaar veel beter accepteerden als ze precies hetzelfde profiel (en dezelfde *Gilliamella* stam) hadden. Zie de Figuur: Acceptatie gaat van 50% (verschillende G, linker balk) naar 80% (zelfde G, rechter balk).

Wat weten we nu extra?

We weten dat het microbioom een grote rol speelt in het "maken" van de identiteit van een bijenvolk. Niet slechts in die zin dat een bepaald volk een bepaald microbioom heeft en herkend wordt, maar sterker: het microbioom, en de specifieke stammen van (misschien onder andere) de bacterie *Gilliamella apicola*, zorgen voor heel bepaalde CHC's op de huid van de bijen, waardoor die bijen elkaar als nestgenoot herkennen.

Je zou kunnen zeggen: wat 'slim' van het bijenvolk, dat ze de specifieke bacteriestammen inzetten om hun 'eigen' herkenning-feromoon te laten maken. Zo mooi zit dat in elkaar. Maar je kunt het ook omkeren: wat slim van de bacteriestam, dat ze het gedrag van de bijen via CHCs op de huid van de bijen aansturen, ZODAT een andere stam niet binnenkomt. Immers, de bijen herkennen bijen met een andere bacteriestam

als 'vreemde' bijen, en weigeren ze de toegang. De bacteriestam in het volk hoeft niet zelf met de andere bacteriestam te concurreren, dat doen de bijen wel, en daardoor komt ie mooi niet binnen! Wat 'slim'.

Wat in ieder geval opmerkelijk is: hoog ontwikkeld sociaal gedrag van honingbijen wordt aangestuurd door genen van de bijen (het moertje, de dar enz.), maar in misschien even sterke mate door de genen van de symbiotische bacteriën in hun darmen. We moeten inderdaad verder kijken dan de genen van het moertje, verder dan de genen van de bijen in het volk (moer, darren, werksters), naar alle genen aanwezig in het volk. Dat geldt ook voor eventuele selectie en veredeling (wat is dat, wat wordt edel?): een uitverkoren volk is niet slechts een uitverkoren koningin (noch dar enz.), maar een uitverkoren geheel. Zo werkt het in de natuur, dat volk dat op alle fronten meekan, overleeft, het volk dat ergens tekort schiet, sterft, alles inclusief.

Literatuur

- Fontana, P 2019 The Joy of Bees. Biodiversity Friend 9; WBA project Ed. Verona: XXXII-716 pp.
- Kwong WK & Moran NA 2016 Gut microbial communities of social bees. *Nature Reviews / Microbiology* 14, 374-384
- Tarpy DR, Mattila HR & Newton ILG 2015 Development of the Honey Bee Gut Microbiome throughout the Queen-Rearing Process. *Applied and Environmental Microbiology* 81, 3181-3191
- Vernier, CL, Chin, IM, Adu-Oppong, B Krupp, JJ, Levine, J, Dantas, G, Ben-Shahar, Y 2020 The gut microbiome defines social group membership in honey bee colonies. *Sci. Adv.* **6**, eabd3431
- Kleerebezem M, Hoekstra W & de Graaf A 2016. Ons microbiom. Cahier Biowetenschappen en Maatschappij, 2016 nr 4.