

Co-evolutie van gisten en insecten ging waarschijnlijk vooraf aan co-evolutie van bloemplanten en bestuivers

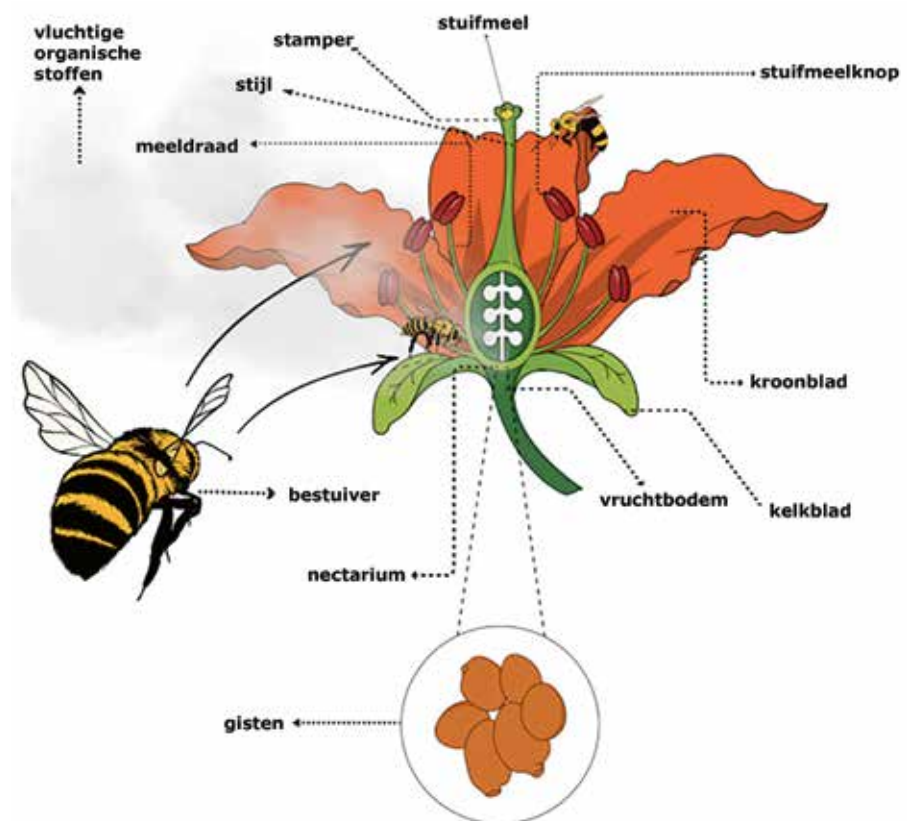
Tekst Kees van Heemert

Aanleiding voor het schrijven van dit artikel is het boek: 'De geuren van de wereld', een ultieme gids voor alles wat wij als mensen kunnen ruiken (McGee, 2021). Er gaat een wereld voor je open van wat er al niet, lekker of vies, te ruiken valt en waar de geuren vandaan komen en hoe dat chemisch in elkaar zit.

Een interessant hoofdstuk van het boek gaat over de geuren van bloemen en hoe we hier als mens op reageren, maar ook over de geuren waarmee bloemen insecten aantrekken. Insecten ruiken veel meer geuren dan mensen en daar valt wat nieuws over te melden. Zeker nu meer bekend is over gisten die in de nectar leven en daar geurstoffen produceren die een belangrijk aandeel in de aantrekkingskracht voor bestuivende insecten kunnen hebben. Gisten speelden al 300 miljoen jaar geleden een rol in de relatie met de eerste insecten, niet vanwege bestuiving, maar als voedselbron. Na het ontstaan van de eerste bloemplanten en hun insectenbestuivers, 140 miljoen jaar geleden (zie tabel), konden gisten die nog steeds met allerlei insectensoorten meeliften van de suikerbron nectar gebruikmaken, waarmee ze met hun geuren invloed kregen op de bestuiving van bloemplanten door insecten. Hierna geef ik nadere informatie over geuren die door bloemen en gisten geproduceerd worden en hoe insecten ze kunnen ruiken. En aan het eind wordt ingegaan op de co-evolutie van gisten en insecten en de link naar de co-evolutie van bloemplanten en hun bestuivers (Co-evolutie is het proces in de evolutie waarbij soorten zich voortdurend aan elkaar aanpassen).

Geuren van bloemen

Planten maken allerlei stoffen die er toe dienen dat dieren de planten niet opeten, maar ook vluchtige stoffen, om ze voor bestuivers aantrekkelijk te maken. Hiermee slaan de planten munt uit de zintuigen en mobiliteit van de insecten die hun stuifmeel gericht en efficiënter kunnen verspreiden. Deze stoffen zijn vluchtig en licht, omdat het meestal kleine moleculen zijn die



Figuur 1. Gisten in de nectariën zetten suiker om in aminozuren en produceren vluchtige organische stoffen die het gedrag van insecten kunnen veranderen. De bestuivende insecten transporteren daarbij gistsporen naar de nectariën. Foto overgenomen met toestemming van de auteurs (Becher en anderen, 2018).

sneller over grotere afstanden verspreid en geroken kunnen worden. Deze stoffen zijn uitgebreid chemisch onderzocht (Bisrat en Jung, 2022) en veel hiervan bestaan uit terpenoïden die insecten aantrekken. Een andere groep van vluchtige stoffen die insecten aantrekken zijn de benzoiden, afkomstig van het aminozuur phenylalanine. Linalool is een van belangrijkste terpenoïden en komt in driekwart van alle onderzochte bloemen voor. Een interessant verschijnsel is dat de insecten ook terpenoïden kunnen maken om geursignalen te kunnen uitzenden. In de loop van de evolutie is er steeds een

wisselwerking geweest waarbij planten bepaalde signaalstoffen die insecten maken kopieerden (na-aapten), om daarmee insecten naar de plant te lokken (Schiestl, 2010). Het is essentieel in de competitie tussen bloemplanten en hun voortbestaan dat ze elkaar de loef kunnen afsteken met specifieke geurtjes van de bloembladeren, met als resultaat dat er specifieke relaties ontstaan tussen een bepaalde bloemsoort en een bepaalde insectensoort die haar bezoekt en bestuift. Aannemelijk is dat de aantrekkelijkheid van gisten voor insecten de bloemplanten de mogelijkheid bood om nog aantrekkelijker te

worden voor de bestuivende insecten toen de eerste bloemplanten ongeveer 140 miljoen jaar geleden ontstonden (zie tabel). Door biochemisch onderzoek (Yeon en Kim, 2021) werd vastgesteld dat tijdens de ontwikkeling van bloemen de chemische routes voor het tot stand komen van geuren, overeenkomt met die voor de kleuren van bloemen. Waarmee aangegeven wordt hoe bijzonder de biochemie voor de productie van signaalstoffen is.

Geuren van gisten

Gisten zijn eencellige micro-organismen met een celkern die behoren tot het rijk van de schimmels. Ze ontstonden ongeveer 300 miljoen jaar geleden na afsplitsing van de schimmelfamilie. De gistcellen zijn klein, 5-10 micrometer, en ze vermenigvuldigen zich ongeslachtelijk. Dit vindt plaats door knopvorming waarbij de cel uitstulpt en de kern zich in tweeën deelt. Er zijn duizenden gistsoorten waarvan *Saccharomyces cerevisiae* de bekendste is. We kennen deze gist van de productie van wijn, bier en brood waarbij tijdens het fermentatieproces glucose in ethanol (= alcohol) en koolstofdioxide wordt omgezet. Het laatste decennium is er veel onderzoek gedaan naar gisten in nectar vanwege specifieke geurstoffen die insectenbestuivers aantrekken (Klaps en Alvarez-Pérez, 2020, Schaeffer en anderen, 2017). Een mooi voorbeeld van de aantrekkingskracht die gisten op insecten hebben werd beschreven in een proef met de bekende fruitvlieg, *Drosophila melanogaster* (Becher en anderen, 2018). We weten allemaal dat straks in de zomer met overrijpe vruchten op de fruitschaal er in een mum van tijd fruitvliegjes omheen vliegen. Ze worden door verschillende geurstoffen aangetrokken die ontstaan na de anaerobe (zonder zuurstof) omzetting van suikers in (ethyl)alcohol. Naast alcoholen kunnen de gisten ook zuren, esters en aminozuren in geurstoffen omzetten. In een windtunnelproef werden *Drosophila* vliegjes blootgesteld aan negen verschillende gisten en de door hen geproduceerde geurstoffen waren alle aantrekkelijk voor de vliegjes. Aanvullend werd met de windtunnel onderzocht of een ‘antieke’ gist (*Yarrowia lipolytica*) ook geurstoffen produceert waar de primitieve springstaarten (Col-

Tijdvak	Miljoen jaar geleden	Ontstaan van organismen
Ontstaan aarde	4,6 (miljard)	Chemische evolutie
Precambium	3,8 (miljard)	Eencelligen
Precambium	1,5 (miljard)	Eukaryoten
Precambium	1060-750	Schimmels
Ordovicium	450	Landplanten, mossen
Devoon	430	Insecten
Perm	320	Naaktzadigen
Perm	300	Gisten, kevers en vliesvleugeligen
Trias	240	Vliegen, vlinders, termieten
Jura	220	Bedektzadigen
Krijt	140	Bloemplanten, solitaire bijen
Oligoceen	30	Honingbijen *
Holoceen	350.000-250.000 jaar	Homo sapiens

Tabel 1.

lembola, zespotige minuscule aardbeestjes die in de grond leven), ouder nog dan de eerste insecten, op reageren (Figuur 2). Dit bleek inderdaad het geval te zijn, een sterke indicatie voor het feit dat het vrijkomen van vluchtige stoffen van gisten een oude eigenschap is die in de evolutie van de gisten in relatie tot insecten en Collembola vanaf 300 miljoen jaar geleden actief is gebleven. De gisten profiteerden van de insecten voor hun verspreiding en omgekeerd profiteerden de insecten van de gisten als voedselbron. Een bijzondere manier van samenleven, ook wel mutualisme genoemd (Madden en anderen, 2018). Niet te verwarren met symbiose waarbij de ene soort niet zonder de andere kan. In het geval van mutualisme ondersteunen de soorten elkaar.

Jacquemyn en anderen (2021) bestudeerden hoe de nectar door gisten gekoloniseerd wordt. Overigens komen bacteriën daarin ook voor, maar de gisten kunnen die onderdrukken met antibiotica. De onderzoekers stelden vast dat de geur van de nectar in combinatie met de vluchtige stoffen van de gisten het gedrag van voedselzoekende honingbijen beïnvloedt evenals de hoeveelheid nectar die ze consumeren. Verder bleek de fitness van de bijen na consumptie van nectar waarin gisten zaten hoger te zijn dan wanneer er geen gisten in de nectar zaten. In een vergelijkingsproef van met gist geïnculeerde bloemen met bloemen zonder gisten duurde het bloembezoek significant langer. Schaeffer en anderen (2017) kregen na onderzoek met hommels dezelfde resultaten als met bijen.

Wat nog onderzoek vraagt is het mogelijke verband tussen het microbiom van insecten en de gisten die door de insecten worden verspreid en geconsumeerd. Van honingbijen (Bruinsma, 2022a) is bekend dat het microbiom in het darmstelsel van groot belang is voor het metabolisme van het volk en de vraag is wat het aandeel van de gisten hierbij is.

Ruiken

Insecten en dus ook bijen hebben verschillende zintuigen waarmee ze geur, licht, kleur, smaak en geluid kunnen waarnemen. De imker wordt veel geleerd over het belang van kleuren voor bijen, maar het vermogen van insecten om de enorme hoeveelheid aan geurmoleculen in de lucht, over grote afstanden, te ruiken is misschien wel het belangrijkste voor het bloembezoek. In het leven van een honingbij spelen zowel binnen in het donkere nest als buiten in de natuur de overweldigende hoeveelheid verschillende geuren een grote rol (Reinhardt en Srinivasan, 2009). Wietse Bruinsma schreef de afgelopen twee jaren in een aantal artikelen in *Bijenhouden* (Bruinsma, 2022b) over zintuigen, waaronder het reukvermogen. Op de voelsprieten zitten een groot aantal sensoren die al die geurimpulsen kunnen opnemen. Deze sensoren zijn haarvormig en hebben een lengte van 10-20 micrometer. Hiermee kunnen bijen geuren en chemicaliën in de lucht, zelfs over grote afstanden waarnemen. Ze kunnen ook getraind worden om bijvoorbeeld coronavirus (Heemert van, 2020) te detecteren.

Honingbijen kunnen de tientallen geurmoleculen van een bloemsoort onderscheiden en ze kunnen ook heel goed de geuren van verschillende bloemsoorten onthouden. En niet in de laatste plaats zijn honingbijen in staat de feromonen die in en om het bijenvolk geproduceerd worden precies te detecteren. (Chittka, 2022). Ook het ruiken en herkennen van hun zusters en halfzusters in en om het nest, en dat in een fractie van een seconde, is bekend. Voor honingbijen, kampioen ruiken, stelden Robertson en Wanner (2006) vast dat er vele genen voor het reukvermogen gevonden zijn. Voor honingbijen werden 170 geurreceptoren vastgesteld, veel meer dan bij muggen (76) en fruitvliegjes (68). Ook vlinders kunnen heel goed ruiken en van bepaalde vlinders is bekend dat ze een geurmolecuul van een soortgenoot over een afstand van 10 km kunnen ruiken. Van nachtvlinders is bekend dat ze een heel goed reukorgaan hebben, omdat ze in het donker hun bloemen moeten zien te vinden. Vaak zijn hun bloemen wit, omdat die in het donker nog iets opvallen.

Relatie gisten, insecten en bloemen

Hiervoor is uiteengezet dat niet alleen de planten met hun geuren insecten aantrekken, maar dat gisten in de nectar ook een rol spelen bij de bestuiving van planten. Een interessant ecologisch fenomeen waarbij een nieuwe micro-wereld geopend wordt (Fenner en anderen, 2022). Gistcellen die zich in de nectar bevinden zetten glucose, fructose en andere suikers om in diverse vluchtige organische verbindingen. Sommige van deze vluchtige geuren kunnen het zoekgedrag van insecten beïnvloeden en ze daarmee naar een bloem lokken. Voor de planten is de gistcomponent een extra middel om de bestuiving te optimaliseren vanwege de toegenomen aantrekkelijkheid. Interessant is dat insecten bij het bloembezoek zich met de nectar voeden en dat vervolgens de gistcellen in de ingewanden van het insect terecht komen. En hiermee krijgen ze dus ook nutriënten binnen als aanvulling op het microbioom en worden pathogene micro-organismen onderdrukt. Tegelijkertijd verspreiden de insecten, wanneer er geen nectar meer is, de gisten naar andere plekken om te

overleven. Overigens zijn er ook sommige gisten die afweerstoffen produceren waardoor de nectar onaantrekkelijk wordt, interessant voor de veredeling van hybride rassen waarbij sommige selectielijnen niet bevrogen mogen worden. Een ander gebruik van gisten werd onderzocht in de fruitteelt, waarbij het gedrag van de kersenvlieg door geurcomponenten van bepaalde gisten in de war werd gebracht. Hiermee ligt een nieuw veld open voor de toepassing van biologische bestrijding (Mozūraitis en anderen, 2022).

Zoals hiervoor genoemd is is onderzoek naar de impact van gisten in relatie tot insecten en planten nog niet zo lang geleden begonnen. Ook voor de bijenhouderij en de plantenveredeling kan dit nieuwe kennis opleveren. Wat het samenspel van gisten, insecten en bloemplanten betreft is de nieuwe gedachte die door Becher (2018) werd opgeworpen interessant. Aangenomen wordt dat door de geuren die gisten produceren de vroegste insecten zoals kevers en vliesvleugeligen werden aangetrokken. Zij konden die geuren waarnemen en zorgden voor de verspreiding van de gisten en zo ontstond



Twee *Folsomia candida* springstaarten en een *Drosophila melanogaster* vlieg met kolonies van *Saccharomyces cerevisiae* gisten. Foto overgenomen met toestemming van de auteurs (Fenner en anderen, 2022).



Fruitvliegjes, foto Canva Drbouz.

het begin van de co-evolutie van bloemen en insecten als suikerbron snel wisten te benutten. De conclusie werd getrokken dat de communicatie tussen gisten en insecten, die heel lang daarvoor al ontstond, kan hebben bijgedragen tot de veel latere co-evolutie van door insecten bewerkstelligde bestuiving van bloemplanten. ●

Literatuurlijst zie aanvullingen op de NBV-site: bit.do/aanvullingen-bijenhouden



co-evolutie van gisten en insecten. Dit wordt bevestigd door de eerder besproken proef waarbij de geur van een 'oude' gistsoort aantrekkelijk was voor een primitieve springstaart. Deze

co-evolutie vond plaats ruim voordat de bloeiende planten in de evolutie ontstonden, omstreeks 140 miljoen jaar geleden. Daarbij is te bedenken dat de gisten de nectar van de bloemen aan

Landleven-special Bijen & Honing



In de **Landleven-special Bijen & Honing** vindt u interviews met verschillende imkers en praktische verhalen, over het herkennen van de verschillende wilde bijen of het bouwen van een bijenkast. Daarnaast tips voor het aanleggen van een bijenoase in uw tuin en natuurlijk de heerlijkste recepten met honing.

€ 8,⁹⁵

Gratis verzending
binnen
Nederland

Bestel online:
www.landleven.nl/bijen