

Creatief combineren met soorten



TEKST

Arno van 't Hoog

FOTOGRAFIE

Pieter Beelen, Sander Boer,
Serg Dibrova, Arune Rodloy en
Rotislav Stefanek

Kruisingen tussen soorten – ook wel hybriden genoemd – lijken vaak ‘ongelukjes’ maar genetisch onderzoek laat zien dat hybridisatie helemaal niet zo zeldzaam is. Het zorgt zelfs voor uitwisseling van gunstige genen en doet in korte tijd nieuwe soorten ontstaan, zoals de goudvis.



Roofwindes – kruisingen tussen roofblei en winde – komen regelmatig voor.

Sinds de opkomst van de roofblei in Nederland rond 1985, worden met enige regelmaat ook 'roofwindes' gevangen. Deze hybrides van roofblei (*Leuciscus aspius*) en winde (*Leuciscus idus*) kunnen immers nakomelingen krijgen die wat uiterlijk betreft ergens tussen de twee soorten inzit. Verrassend is dat niet, want in de Wolga komen deze soorten van nature samen voor en zijn ook de hybridevariant al langer bekend.

Genetische mix

Roofblei en winde stammen uit de familie van de *Cyprinidae*, en van karperachtigen weten we dat ze een uitermate rijke bron van hybriden zijn. Literatuur van vijf decennia terug maakt al melding van met name blankvoorn x brasem. In sommige Ierse wateren bleek die genetische mix zeer talrijk, met onder meer winde x kolblei, winde x ruisvoorn, alver x blankvoorn, blankvoorn x brasem, brasem x kolblei, kolblei x alver, kopvoorn x winde.

Je zou bijna denken dat de karperachtigen bezig zijn met het brouwen van een grote genetische hutspot die eindigt in een samensmelting tot één soort. Maar daar lijkt het niet op: sinds hybriden van blankvoorn en brasem in de jaren zeventig zijn beschreven, heeft de mengvorm het niet overgenomen. Dat is ook wel logisch omdat hybriden van blankvoorn x brasem verminderd vruchtbaar zijn, zo merkten onderzoekers die in de jaren tachtig experimenteel soorten kruisten.

Pogingen om hybriden onderling te kruisen of terug te kruisen met de oudersoort zijn niet heel succesvol. Bij bepaalde combinaties van hybride en oudersoort levert het geen enkele succesvolle bevruchting op of zijn de uitkomstpercentages laag. Alleen een hybride vrouwtje dat paait met een blankvoornman leidt tot een redelijk percentage levensvatbaar kroost. Het laat zien dat deze hybride in het wild in concurrentie met de oudersoorten waarschijnlijk niet goed stand kan houden. "Wat je vaak ziet is dat de hybride het minder goed doet dan de afzonderlijke oudersoorten", zegt evolutiebioloog Jente Ottenburghs, onderzoeker bij Wageningen UR. "Ze hebben in het wild bijvoorbeeld moeite om een partner te vinden. Dan houdt het vanzelf op na één of soms twee generaties van kruisingen." Het onderzoek van Ottenburghs draait om de evolutionaire gevolgen van hybridisatie bij ganzen, een vogelfamilie die wat soortkruisingen betreft prima kan wedijveren met de karperachtigen. "Op waarneming.nl worden bijvoorbeeld regelmatig kruisingen gemeld, zoals brandgans x kolgans en Canadese gans x grauwe gans. Vrijwel alle combinaties zijn mogelijk."

Ook bij ganzen leidt soortparing tot hybriden, maar vervolgens niet tot duidelijk merkbare vermenging of het samengaan van ganzensoorten. Hybridisatie gooit de boel dus niet in de war en dat is ook niet zo vreemd, legt Ottenburghs uit: "We hadden vroeger een evolutionair idee van soortvorming als een vertakkende boomstructuur: je hebt twee populaties die steeds meer van elkaar gaan verschillen, totdat je twee totaal afzonderlijke soorten hebt. Daarna wordt er geen erfelijk materiaal meer uitgewisseld. Sinds we DNA-onderzoek kunnen doen, zien we dat er tussen soorten regelmatig contact is terwijl de soortvorming voortgaat. We weten nu dat er verbindingen zitten tussen de takjes in de evolutionaire boom. Het levert meer het beeld op van een netwerkstructuur. Hybriden zijn ook geen uitzondering. Bij vogels kan naar schatting vijftien procent van de soorten kruisen met elkaar. Bij zoogdieren iets ➤

minder en bij vissen vermoedelijk meer dan twintig procent.”

Eenrichtingsverkeer

Bij sommige visfamilies blijkt dat percentage nog hoger te liggen. Zo verscheen vorig jaar een publicatie over hybriden van tropische keizersvissen (*Pomacanthidae*), een grote familie kleurrijke rifbewoners. De onderzoekers constateerden dat 42 soorten, ofwel 48 procent, onderling hybriden kan vormen. Vaak hebben zulke mengvormen opvallend afwijkende kleurpatronen waardoor er in de aquariumhandel soms kapitalen voor worden neergeteld en kwekers zich op soortkruisingen in gevangenschap hebben gestort.

Onderzoek aan keizersvissen laat zien dat naarmate de soorten evolutionair langer van elkaar gescheiden zijn geweest, hybriden een schaarser verschijnsel worden en vaker onvruchtbaar zijn. Er is dan ook vaker eenrichtingsverkeer te zien: alleen een bepaalde combinatie van man van soort A met vrouw van soort B levert nageslacht. De omgekeerde combinatie is vruchteloos, wat een signaal is dat de kruising op paringsgedrag, genetische of embryologische *mismatch* strandt.

Volgens Ottenburghs is er een logische relatie tussen evolutionaire afstand en de kans op hybridisatie. “Soorten die relatief recent zijn ontstaan, kunnen eerder succesvol paren en vruchtbare nakomelingen krijgen omdat er te weinig tijd is geweest om genetische verschillen op te bouwen. Bij oudere soorten is de kans op genetische uitwisseling tussen soorten daardoor klein. Dat is soms ook een chromosomenkwesitie. Als de chromosoomaantallen van beide ouders namelijk verschillen, is de kans op vruchtbare nakomelingen klein. Daarom zijn kruisingen tussen een ezel en een paard meestal onvruchtbaar.”

Verminderde fitness

Verminderde *fitness* van hybriden is een van de eenvoudigste verklaringen voor de doorgaans beperkte gevolgen van hybridisatie. Soorten kunnen genetisch zo sterk verschillen dat er sprake is van incompatibiliteit.

Van de 42 soorten tropische keizersvissen kan bijna de helft onderling hybriden voortbrengen.



Al ruim een halve eeuw lang worden in Nederland blankvoorn-brasems aangetroffen.

Bij soortkruisingen tussen platy's (*Xiphophorus maculatus*) en zwaarddragers (*Xiphophorus hellerii*) is dat op moleculair vlak opgehelderd.

De platy heeft zwarte vlekken van gepigmenteerde cellen en de groei daarvan staat onder controle van twee genen. In de hybride is die genetische controle afwezig, doordat in de erfelijke bijdrage van de zwaarddrager één van die genen ontbreekt. Het gevolg is een wildgroei van zwart-gepigmenteerde cellen. Deze melanomen zijn de reden dat hybriden als proefdier in kankeronderzoek worden gebruikt, maar het toont ook hoe verstoorde genregulatie evolutionaire *fitness* drastisch kan inperken.

Een verminderde *fitness* van hybriden kan ook op veel subtielere manieren tot uiting komen. Zo bekeken Zweedse onderzoekers met behulp van zenders het zwembedrag van hybriden van brasem x blankvoorn. Hun trekgedrag werd vergeleken met de oudersoorten in hetzelfde water. Brasem en blankvoorn trekken namelijk in het najaar van open water naar kleinere zijstromen om te overwinteren. Iets vergelijkbaars zien we in Nederland bij winterse samenscholingen in havens langs plassen en meren. De brasem x blankvoorn-hybriden vertonen afwijkend trekgedrag; ze maken meer korte retourtrips tussen plas en klein water. De kans dat hybriden tijdens die trek worden gegrepen door aalscholvers is daardoor groter en hun overlevingskans kleiner. Zie daar de ecologische selectiedruk op basis van afwijkend gedrag, bovenop de al verminderde vruchtbaarheid van deze hybriden.

Hybride soortvorming

Toch is het niet eenvoudig om in een oogopslag te zeggen wat de evolutionaire betekenis of invloed is van een specifieke soortkruising of hybride. Er zijn namelijk veel scenario's mogelijk: hybriden zijn soms een doodlopende weg, maar kunnen ook de knop zijn van een nieuwe tak aan de evolutionaire boom. Ottenburghs: “Bij hybride soortvorming gaan de nakomelingen van kruisingen vooral met elkaar paren. Zo groeien ze uit tot een aparte populatie, die gescheiden is van de twee oudersoorten.”

Dat mechanisme is onder meer aangetoond in experimentele kruisingen met cichliden uit het Malawimeer, een water waar in relatief korte tijd een zeer hoge soort-diversiteit ontstond. De onderzoekers maakten in het laboratorium kruisingen van Malawi-cichliden en lieten die vervolgens partners kiezen. De hybriden



bleken een voorkeur te hebben voor hybride-partners. Blijkbaar vinden de hybriden dat uiterlijk en gedrag aantrekkelijker dan de kenmerken van de oudersoorten. Het illustreert dat door hybridisatie soortvorming kan optreden, zelfs als de oudersoorten in hetzelfde water aanwezig zijn.

Goudvis

Dat kruisingen van twee soorten direct een nieuwe soort kunnen opleveren, komt nog overtuigender naar voren uit recent Chinees geëxperimenteer met kruisingen van gewone schub- en gekleurde koi karpers met een Aziatische neef van onze brasem: de kortneusbrasem (*Megalobrama amblycephala*). De hybriden van schubkarper en kortneusbrasem lijken als twee druppels water op onze kroeskarper en dat is ook zo in genetisch opzicht. De kruising van koi met kortneusbrasem leidt tot een verbluffende dubbelganger van onze hedendaagse goudvis.

Het genetische recept achter de instant goudvis combineert het genoom van de koi (100 chromosomen) met dat van de kortneusbrasem (48 chromosomen) tot een 100 chromosomen tellend goudvisgenoom, met ongeveer 12 procent erfelijk materiaal van de kortneusbrasem. Dit experimentele onderzoek laat zien wat de oorsprong is van een bekende aquarium- en vijvervis, waarvan de evolutionaire oorsprong lang een bron van speculaties was. Het laat ook de wonderlijke mogelijkheden van hybride soortvorming zien.



Platy's, (boven) zijn eenvoudig te kruisen met zwaarddragers (onder), maar de nakomelingen zullen door een verminderde fitness snel weer verdwijnen.

leiden tot *gene flow* waarbij DNA van de ene soort in de andere terecht komt. Bij ganzen zie je vaak dat hybriden terugkruisen met een van de oudersoorten. Die blijven dan bestaan; ze gaan niet samensmelten. Maar als er een gen bijzit dat voordelig uitpakt voor de *fitness* van de soort, dan verspreidt die eigenschap zich snel door de populatie."

Een mooi voorbeeld daarvan zijn killivissen. Bij een soort die voorkomt in wateren rond de Golf van Mexico zorgde hybridisatie voor resistentie tegen watervervuiling in een andere, gevoelige killivis-soort. "Zo kon die zich in korte tijd aanpassen aan een leven in verontreinigd water", aldus Ottenburghs. Genetisch onderzoek liet in 2019 zien hoe zogenaamde Golf killivis (*Fundulus grandis*) in de loop van enkele jaren sterk in aantal kon toenemen na jaren waarin de populatie kromp door watervervuiling door de petrochemische industrie. De waterkwaliteit was in de tussentijd niet veranderd, dus er moest iets anders aan de hand zijn.

In het erfelijk materiaal van nieuwe generaties Golf killivis zagen de onderzoekers erfelijk materiaal van de Atlantische killivis (*Fundulus heteroclitus*). Belangrijker: een genetische variant maakt de Atlantische killivis veel minder gevoelig voor de schadelijke gevolgen (hartafwijkingen) van petrochemische vervuiling. De onderzoekers schatten dat beide soorten twintig tot dertig generaties terug hybride nakomelingen moeten hebben gehad. Via terugkruisen is de voordelige erfelijke eigenschap vanuit deze hybride in de populatie Golf killivis terecht gekomen. ▶

De aloude soort-definitie die zegt dat de vruchtbaarheid van nakomelingen de enige maatstaf is om van een soort te spreken, dekt niet helemaal de lading meer

Fitnessvoordeel

Toch is deze goudvistruc vermoedelijk eerder uitzondering dan regel. In een vaker voorkomend scenario gaan hybriden vooral paren met één van de oudersoorten. Terugkruisen kan volgens Ottenburghs gedurende duizenden jaren herhaaldelijk optreden. "Dat proces kan

“Als een gen de sprong één keer maakt en het leidt tot een fitnessvoordeel, dan kan het zich daarna snel verspreiden”, zegt Ottenburghs. “Vroeger dacht men dat hybriden een ongelukje of een verkeerde keuze waren. We weten nu dat het ook uitwisseling oplevert van stukjes DNA die heel voordelig kan uitpakken voor een soort.” Welk hybride-scenario er speelt is vaak enigszins in te schatten door populatie-onderzoek, legt Ottenburghs uit. “Als je alleen eerste generatie hybriden ziet, weet je dat er blijkbaar weinig terugkruisingen en *gene flow* plaatsvindt. Het probleem is alleen dat je na enkele generaties terugkruisen geen verschil meer ziet tussen hybriden en oudersoorten. Dan heb je dus genetische technieken nodig om verder te kijken.”

De kruiskarper – een hybride van karper en gibel – wordt speciaal gekweekt voor visvijvers.



Al met al zijn gevallen van *gene flow* door hybridisatie relatief schaars, zegt Ottenburghs. “Het is op zich zeldzaam, maar bekeken over duizenden jaren, zal terugkruisen van hybriden wel redelijk vaak voorkomen. Dankzij het in kaart brengen van volledige genomen kunnen we die genetische invloed tegenwoordig achterhalen. Bij sommige soorten zijn hybriden misschien zeldzaam, maar toch zien we in het genoom sporen van genetische uitwisseling. Die hebben dan in een ver verleden een keer met elkaar gekruist.” Hybriden zijn dus veel meer dan een slippertje tussen soorten of een onnatuurlijk verschijnsel veroorzaakt door introductie van exoten, zoals de roofblei in Nederland. Hybridisatie is voor evolutiebiologen eerder een creatieve invloed in soortvorming en evolutie. De aloude soortdefinitie die zegt dat de vruchtbaarheid van nakomelingen de enige maatstaf is om van een soort te kunnen spreken, dekt niet helemaal de lading meer. Ottenburghs: “Als je dat heel strikt zou toepassen, zijn alle ganzen één soort. Dat is niet iets wat vogelkijkers graag willen horen. Maar die definitie wordt niet meer zo strikt gehanteerd als vroeger. Veel taxonomen laten tegenwoordig wel een bepaalde mate van hybridisatie toe.” ■

Geraadpleegde literatuur

Ga voor de geraadpleegde literatuur naar www.invisionair.nl



De kroeskarper lijkt in genetisch opzicht verdacht veel op een hybride van een karper en een Aziatische kortneusbrasem.