

Van zebravis tot tijgersnoek



De clownsvi heeft van nature drie witte strepen. Door te kruisen en selecteren ontstaan diverse kleurvarianties.

TEKST:

Arno van 't Hoog

ILLUSTRATIES:

Bram Bokkers, Janny Bosman, Ian Grainger, Matt Jepsson en Shutterstock

Dankzij het slimme samenspel van drie of meer soorten pigmentcellen is de huid van vissen rijk aan kleuren en patronen. Simpele mutaties hebben ingrijpende gevolgen en dat levert grondstof voor zowel soortvorming als viskweek.

Begin jaren zeventig gingen Japanse onderzoekers op zoek naar de ideale zalmachtige voor de aquacultuur. Door eindeloos te kruisen met forel- en zalmsorten uit alle windstreken hoopten ze de ideale hybride te vinden. De onderzoekers hadden daarbij vooral oog voor vruchtbaarheid, groeisnelheid en ziektegevoe-

ligheid, al noteerden ze ook de huidpatronen van hun kweekzels. Er zaten opvallend fraai getekende exemplaren tussen, waaronder de tijgerforel, een kruising van een bronforel (*Salvelinus fontinalis*) en beekforel (*Salmo trutta*), waarvan de steriele hybriden een gemarmerd huidpatroon hebben.

Het exotische uiterlijk van deze tijgerforel is als je erover nadenkt nogal bijzonder, want de huid van de oudervissen geeft helemaal geen hint voor het ontstaan van dit patroon: de bronforel heeft witte stippen op een donkere ondergrond, bij de beekforel is dat precies andersom. Waarom krijg je bij een combinatie van die twee dan niet gewoon een mix van zwarte en witte stippen?

Wiskundig patroon

Shigeru Kondo, onderzoeker aan de Universiteit van Osaka, wilde dat ook graag weten. Kondo's wetenschappelijke carrière draait om het

begrijpen van variaties in huidpatronen bij vissen. Hij maakt zelfs computermodellen die het ontstaan ervan voorspellen. Dat lukt uitstekend: bij de combinatie van een wit- en zwart-gestipt patroon ontstaat op Kondo's computerscherm hetzelfde marmerpatroon als bij de tijgerforel. Hij kon zo de observaties uit de jaren zeventig verklaren.

Voor het modelleren van huidpatronen gebruikt Kondo de ideeën van de Britse wiskundige Alan Turing, die in de Tweede Wereldoorlog de Enigmacode van de Duitse onderzeeboten kraakte. Hij bedacht in 1952 een mathematisch model-systeem dat spontaan patronen kan genereren die als twee druppels water lijken op huidpatronen van vissen als makrelen of tijgerforellen. Kondo kan zelfs het kleurrijke uiterlijk van de imposante keizersvis (*Pomacanthus imperator*) nabootsen. Deze soort heeft een opvallend blauwgeel streepak, dat bij oudere vissen geleidelijk meer lijnen telt. Als de vis groeit, lijkt het alsof de gele en blauwe strepen openritsen terwijl de andere kleurlijn zich er geleidelijk tussen wringt.

Mutante zebravissen

Dat we tegenwoordig meer van het achterliggende biologische proces van deze kleurmutaties begrijpen, is te danken aan de zebravis (*Danio rerio*). De huid van dit favoriete proefdier van genetici is vrijwel transparant en er zijn veel mutanten beschikbaar met afwijkende kleuren en huidpatronen, zoals gemarmerd, luipaardprint, stippen en blanco varianten. Al met al is het een leuk model om meer te leren over de onderhuidse celbiologie van patroonvorming. Onder de microscoop kun je zien hoe cellen in de huid zich gedragen. De zebravis is duidelijk gestreept op zowel lichaam als vinnen. Die strepen bestaan uit drie soorten chromatoforen, ofwel kleurcellen: melanoforen (zwart), xanthoforen (geel) en iridiforen (reflecterend). Het lijkt alsof elke cel zelfstandig een kleurlijntje tekent, maar dat is niet zo: als één celsoort afwezig is,



De tijgerforel is een kruising tussen de bronforel en de beekforel. Deze onvruchtbare hybride heeft een kenmerkend vlekkenpatroon.

loopt het hele proces in de war. Zo zijn er mutante zebravissen die geen gele xanthoforen maken maar waarbij de zwarte melanoforen tot zwarte stippen samenklonteren. Bij gebrek aan iridiforen doen melanoforen het ook een stuk minder goed. Mutante zebravissen laten zien dat het streep patroon ontstaat uit de interactie tussen de drie soorten cellen.

Duwen en trekken

De drie soorten kleurcellen remmen en stimuleren kortom elkaars groei en differentiatie. Dat duwen en trekken creëert een netwerk van interacties volgens de wiskundige principes van Alan Turing. Dat maakt het ook minder verrassend dat bij kruising van sommige

salmoniden nieuwe interacties tussen kleurcellen een verrassende tijgerprint opleveren.

Turings model voorspelt ook dat het aantal strepen moet toenemen met het lichaamsformaat. Dat is inderdaad het geval bij de keizersvis. Dankzij ontwikkelingsbiologen die de streep patronen bij de zebravis hebben beschreven, snappen evolutiebiologen inmiddels veel beter opvallende verschillen in huidpatronen van Danio-soorten die verwant zijn met de zebravis, maar er toch heel anders uitzien.

Streeploze zebra's

De goudanio (*Danio albolineatus*) heeft helemaal geen strepen, omdat de drie kleuren pigmentcellen door elkaar groeien. Dat cel-gedrag ➤

De in het Nederlandse water voorkomende baars kan de verdeling van donker melaninepigment in de huid snel reguleren.





Kennis over het achterliggende proces van kleurvariaties bij vissen is te danken aan de zebravis.

blijkt het resultaat van een subtiele verandering in productie van een groeifactor die de gele xanthoforen uitscheiden. Het bijzondere is dat als genetici dezelfde mutatie aanbrengen bij zebravissen, de nakomelingen ook hun strepen verliezen. Bij meer verwante Danio-soorten is inmiddels het moleculaire mechanisme opgehelderd dat het patroonverschil kan verklaren; het zijn vaak subtiele mutaties die het uiterlijk van een Danio-soort bepalen. Het systeem van verschillende kleurcellen waarmee vissen hun huidpatronen en kleuring organiseren, levert dus prachtig uitgangsmateriaal voor evolutie en soortvorming. Simpele mutaties in een enkel gen geven namelijk al snel grote veranderingen in het uiterlijk. Dat is onder meer handig als soorten nieuwe gebieden koloniseren. Toevallig afwijkende patronen die bijvoorbeeld minder opvallen voor lokale predatoren kunnen dan voordelig zijn. Veranderende

kleurpatronen stimuleren ook soortvorming, doordat ze een belangrijke rol spelen bij onderlinge herkenning en seksuele selectie. Een fraai voorbeeld van huidpatroonevolutie en soortvorming is het geslacht van de anemoonvissen (*Amphiprion*), waarvan het basisuiterlijk bestaat uit drie witte horizontale strepen met iridiforen op een oranje, donkerrode of bruine ondergrond. Er zijn tientallen

Spierwitte Nemo

Interessant daarbij is dat de ontwikkelingsbiologie de soortvorming samenvat: anemoonvissen met slechts één streep op de kop hebben vaak in hun vroege jeugd nog drie strepen, die geleidelijk vervagen. Overigens levert de anemoonvis een voorbeeld van patroonvorming die niet luistert naar Turings wetmatigheden, maar die vooral van toepassing zijn op

De huid is in feite het canvas waarop bijna alle belangrijke evolutionaire processen in een vissenleven zich aftekenen.

soorten, met alle denkbare varianten: van nul tot drie strepen. Evolutiebiologen hebben recent laten zien dat soortvorming hier samenhangt met verlies van strepen, waarbij eerst de staartstreep, dan de buikstreep en tot slot de kopstreep verdwijnt.

repeterende strepen, stippen en tijgerprints. Hoe patroonvorming bij de anemoonvis precies werkt, is nog een open vraag. Een evolutionair flexibel systeem dat de anemoonvis z'n kleuren geeft, is kneedbaar in de handen van kwekers. De voorbije tien jaar zijn er allerlei kleurvarianten beschikbaar gekomen van een bepaalde anemoonvis, de clownsvis (*Amphiprion ocellaris*), een populaire zeeaquariumbewoner, vooral sinds de tekenfilm Nemo. De soort heeft drie witte strepen met een zwart biesje op een knaloranje ondergrond. Er zijn dus in de huid van deze soort van nature drie typen kleurcellen aanwezig, terwijl in sommige nestjes met jongen iets afwijkende patronen te zien zijn waarbij bijvoorbeeld de witte of zwarte lijnen wat breder zijn dan normaal. Door met die minder kleurvaste exemplaren verder te kruisen en te selecteren, is vrijwel alles mogelijk. Het heeft geresulteerd in een circus van opvallende kleurvariëteiten die soms honderden euro's kosten. Sommige van deze clownsvissen zijn vrijwel spierwit, met enkel gekleurde vinnen. Er bestaan ook

Naarmate de keizersvis ouder wordt krijgt hij meer strepen.





Platvissen als de bot passen hun huidkleur snel aan om weg te vallen in de omgeving.

knaloranje varianten die iets weg hebben van een goudvis, of zwartwit gevlekte exemplaren die doen denken aan een melkkoe. De clownsviis is de eerste zeevissoort waarbij dit soort kleurselectie is gelukt. Tropische zeevissen zijn wat dat betreft niet heel anders dan meer gevestigde siervissen als de koikarper, goudvis of guppy.

Geslachtsverandering

Terwijl bij veel vissen de kleuren en patronen op volwassen leeftijd stabiel lijken, zijn er ook vissoorten waarvan de huid in die levensfase nog extreem kan veranderen. Dat is vooral het geval bij tropische zeevissoorten, waarbij het regelmatig voorkomt dat oudere exemplaren zelfs nog van geslacht veranderen.

Een extreme kleurverandering vindt bijvoorbeeld plaats bij de blauwkop lipvis *Thalassoma ablycephalum*, een poetsvis uit de Cariben, waarvan alle exemplaren als vrouwtje worden geboren. Sommige dames veranderen van geslacht, bijvoorbeeld als het dominante mannetje in de buurt wegvallt. Dat proces van hormonale en inwendige verbouwing is na twintig dagen voltooid. In die periode transformeert een geelwitte vrouwelijke vis in een groen exemplaar met een blauwe kop met zwart-witte strepen. Het nieuwe uiterlijk maakt voor iedereen duidelijk wie het dominante mannetje is.

Platviskameleon

Ook in onze streken komen vissen voor die hun huidkleur en patronen op korte termijn kunnen aanpassen, maar dan als camouflage. Platvissen als bot, tong en tarbot doen dat afhankelijk van de bodem waarop ze leven. Die adaptatie vindt plaats op de korte en lange termijn, doordat zenuwprikkels en hormonen de verdeling, oppervlak en kleurintensiteit van verschillende soorten cellen veranderen. Vooral veranderingen in hoger in de huid gelegen donkere melanoforen hebben een grote invloed op de zichtbaarheid van oranje, bruine en witte kleurcellen in dieper gelegen huidlagen. Het interessante aan dit kameleonachtige camouflagestelsel is dat er geen voorgeprogrammeerd aantal huidpatronen lijkt te bestaan. Platvissen weten op een of andere manier informatie over lichtintensiteit en reflectie van de bodem te vertalen in een bijpassende collage van kleurcellen in de huid. Ook hier is flexibiliteit van de huid een garantie voor evolutionair succes. Hoe dat kopieerproces neurologisch en fysiologisch in elkaar steekt is nog grotendeels onduidelijk.

Baars met roetlaagje

Er zijn ook veel subtielere kleurveranderingen mogelijk. Veel zoetwater-vissen kunnen de verdeling van donker melaninepigment in hun huid reguleren. Bij baars (*Perca*

fluviatilis) is dat fenomeen redelijk goed in kaart gebracht. Onderzoekers in Finland zien bijvoorbeeld duidelijke verschillen tussen baarzen die in de kustzone van een meer leven en exemplaren uit het open water. Die laatste groep is iets donkerder gekleurd waardoor het contrast tussen strepen en achtergrondkleur minder uitgesproken is. Zodoende vallen ze minder op. Waarschijnlijk gaat deze kleurstelling in open water predatie tegen.

Ook andere zoetwatersoorten kunnen de kleuring van opvallende pigmenten laten afzakken, alsof ze er een roetlaagje overheen strooien. Voor evolutiebiologen is dat een interessant studieonderwerp aangezien betere camouflage ook ten koste gaat van het tonen van dominantie en de aantrekkelijkheid voor exemplaren van het andere geslacht. Vissen moeten deze voors en tegens dus als het ware tegen elkaar afwegen. Zo is de huid in feite het canvas waarop bijna alle belangrijke evolutionaire processen uit een vissenleven zich aftekenen. ■

Geraadpleegde literatuur

- Miyazawa, S. et al (2010) Blending of animal colour patterns by hybridization. *Nat Commun.* 1(6): 1–6.
- Salis P. et al (2019). Magic traits in magic fish: understanding color pattern evolution using reef fish. *Trends Genet.* 35(4): 265-278.
- Watanabe M & Kondo S (2014) Is pigment patterning in fish skin determined by the Turing mechanism? *Trends Genet.* 31(2): 88-96.
- Burton D. (2002) The physiology of flatfish chromatophores. *Microsc Res Tech.* 58(6): 481-7.
- Kekäläinen, J. et al. (2010) Visual conditions and habitat shape the coloration of the Eurasian perch (*Perca fluviatilis*): a tradeoff between camouflage and communication? *Biological Journal of the Linnean Society* 99 (1): 47-59.

