

Communiceren via chemische stoffen

Tekst: Remko Verspui

Illustraties: Danny Bok, Jelger Herder
en Remko Verspui

Feromonen spelen een belangrijke rol in de communicatie tussen dieren van dezelfde soort. Deze stoffen zetten aan tot specifiek gedrag en kunnen daarbij zelfs fysiologische veranderingen teweegbrengen. Bioloog Remko Verspui laat zien dat feromonen ook in het leven van de vis een grote rol spelen.

Het bestaan van feromonen is in 1959 voor het eerst aangetoond bij motten. Hierbij werd ontdekt dat vrouwtjesmotten feromonen gebruiken om mannetjes te lokken. Hoewel mensen minder sterk op feromonen reageren dan andere dieren, spelen deze stoffen ook bij mensen een rol. Zo blijken vrouwen die gedurende langere tijd dicht op elkaar wonen onder invloed van feromonen hun menstruatiecyclus te synchroniseren. Sinds de ontdekking van het fenomeen feromonen zijn inmiddels verschillende types in kaart gebracht. Zo worden ze op basis van het type gedragsverandering of de fysiologische verandering die ze teweegbrengen in verschillende categorieën onderverdeeld.

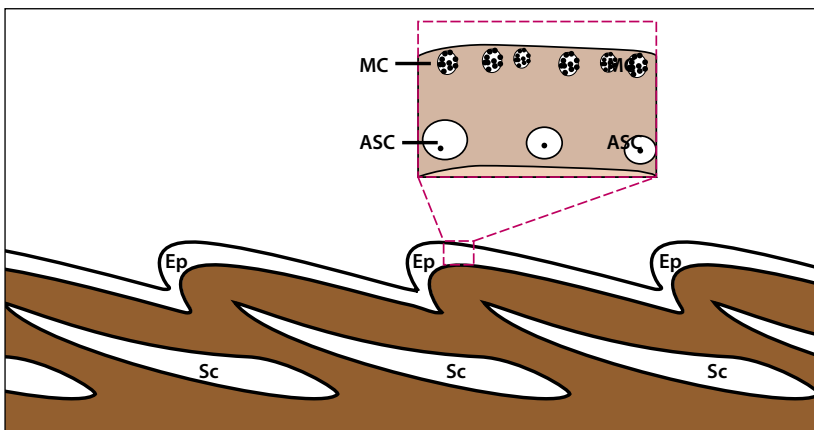
Alarmferomonen

Een belangrijke groep wordt gevormd door de zogenoemde alarmferomonen. Dit type feromonen wordt tijdens predatie of gevaar afgegeven en wekt bij waarneming door soortgenoten een schrikreactie of agressie op. Vooral bij vissen is er veel onderzoek gedaan naar de effecten en evolutie van alarmferomonen. Het is gebleken dat een grote ver-

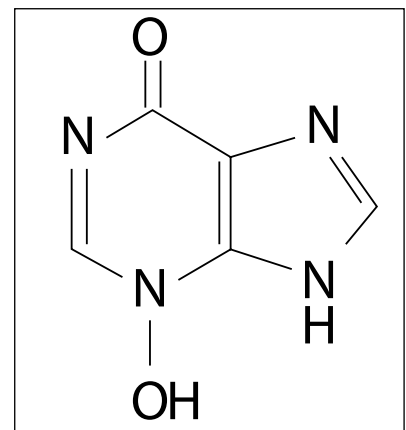
scheidenheid aan vissen deze chemische alarmsubstanties afscheidt zodra de huid wordt beschadigd, bijvoorbeeld tijdens een aanval door predatoren zoals roofvissen of visetende vogels.

Dat vissen alarmferomonen kunnen produceren, werd eigenlijk al in 1941 voor het eerst wetenschappelijk aangetoond door de Oostenrijkse etholoog Karl von Frisch. In zijn onderzoek toonde hij aan dat bij een beschadiging van de huid van elritsen (*Phoxinus phoxinus*), bijvoorbeeld tengevolge van een beet van een roofvis, een schrikreactie teweeg kon brengen bij soortgenoten. Hierbij vertoonden de vissen sterk samenscholingsgedrag, waarbij ze dicht tegen de bodem bleven. Het kon vervolgens uren tot zelfs dagen duren voordat de vissen zich weer normaal gingen gedragen. Von Frisch kende de waargenomen reacties toe aan een 'Schreckstoff', die uit de beschadigde huid vrij zou komen. Nadien is bij veel verschillende vissoorten aangetoond dat de waarneming van alarmferomonen kan leiden tot directe en sterke toename in antipredatiegedrag, zoals samenscholing, schuilen of vermijden van het gebied waarin deze stoffen zijn waargenomen.

Figuur 1: Schematische weergave van een doorsnede van de huid. Boven de schubben (Sc) bevindt zich een dunne laag, de epidermis (Ep), welke naast slijmproducerende cellen (MC) ook van de buitenwereld afgesloten alarmsubstantie-cellen (ASC) bevatten.



Figuur 2: Hypoxantine-3N-oxide is tot nu toe de enige stof die geïdentificeerd is als alarmsubstantie.





Invasieve soorten zoals de pos kunnen mogelijk worden afgeschrikt met behulp van feromonen.

Productie en opslag

De productie en opslag van alarmsubstanties vindt naar alle waarschijnlijkheid plaats in zogenaamde 'club cells' of alarmsubstantie cellen. Deze cellen komen voor bij vissen uit de superorde Ostariophysi (karperachtigen en meervalachtigen) en sommige Acanthopterygi (stekelvinnigen). Samen omvatten deze twee superorden meer dan 70% van alle zoetwatervissen en 30% van de zoutwatervissen. Alarmsubstantie cellen zijn ronde, met vloeistof gevulde cellen die zich in de epidermis – een dunne huidlaag vlak op de schubben – bevindt (figuur 1). Omdat deze cellen van de buitenwereld zijn afgesloten, kan de inhoud alleen bij beschadiging van de huid vrijkomen. Uit onderzoek naar de samenstelling van alarmferomonen bleek dat de waargenomen schrikreacties bij diverse karperachtigen kan worden veroorzaakt door de stof hypoxanthine 3-N-oxide (H3NO) (figuur 2). Deze stof kan dergelijke reacties al veroorzaken bij zeer lage concentraties vanaf 0.1 nM. Het is momenteel alleen nog niet duidelijk of deze stof de enige is die als alarmferomoon werkt. Onderzoek naar het waarnemen van alarmferomonen heeft wel aangetoond dat vooral reuk hierbij een essentiële rol speelt. In goudvissen zijn er zelfs zenuwcellen ontdekt die onderdeel uitmaken van het reukorgaan en gevoelig zijn voor hypoxanthine 3-N-oxide.

Evolutionaire oorsprong

Ondanks het wijdverspreid voorkomen van cellen die alarmferomonen produceren en de typerende schrikreacties hierop, bestaat er nog steeds veel onduidelijkheid over de evolutionaire oorsprong van dit systeem. Een van de eerste hypothesen ging ervan uit dat de productie van alarmferomonen werd gedreven door verwantschapsselectie. Dit houdt in dat individuele alarmferomonenvrijgevendele overlevingskansen voor hun naaste verwanten vergroten. Op basis hiervan kan dus worden verwacht dat alarmferomonen voornamelijk voorkomen bij scholende vissen met een grote genetische verwantschap. Voor deze hypothese kwam vooral vanuit onderzoek naar scholende soorten steun. Opvallend is echter dat alarmsubstantie cellen en reacties op alarmferomonen niet alleen bij scholende vissoorten voorkomen. Deze zijn ook bij solitair levende vissoorten aangetroffen. Verder blijkt dat bij diverse soorten het aantal alarmsubstantie cellen afneemt zodra ze volwassen worden of het paaiseizoen nadert. Ook is gebleken dat bij juveniele exemplaren de schrikreacties pas vanaf een bepaalde periode in hun ontwikkeling plaatsvinden. Aangezien dergelijke waarnemingen lastig te verklaren zijn met de verwantschapsselectie, werden er in de loop van de jaren diverse alternatieve hypothesen ontwikkeld.



Dat ook vissen kunnen communiceren via feromonen werd aangetoond bij elritsen.

Lokstof voor roofvissen

Een van die alternatieve hypothesen stelt dat alarmferomonen een aantrekkende werking zouden hebben op roofvissen, waarbij concurrentie tussen de aangetrokken roofvissen de prooi een verhoogde kans op ontsnapping zou geven. Deze hypothese is deels gebaseerd op waarneming van littekens op het lichaam van juveniele vissen, veroorzaakt door mislukte aanvallen van predatoren. Ook blijkt dat snoeken worden aangetrokken door alarmferomonen van dikkop elritsen (*Pimephales promelas*). Het aantrekkings-effect van alarmferomonen gaat echter niet op voor alle roofvissen. De zonnebaars (*Micropterus punctulatus*) is zelfs volstrekt ongevoelig voor het effect van feromonen.

Niet soortspecifiek

Een van de verschijnselen die niet door de eerder genoemde hypothesen wordt verklaard, is dat naast individuen van soortgenoten ook vissen van andere soorten op alarmferomonen van een aangevallen vis reageren. Zo is bij dikkop elritsen aangetoond dat zij bij blootstelling aan de alarmferomonen van stekelbaarzen (*Culaea inconstans*) bepaalde gebieden vermijden. Als verklaring hiervoor veronderstelt men dat soorten die hetzelfde habitat delen en eenzelfde predatiedruk ondervinden, een selectief voordeel hebben bij het waarnemen van alarmferomonen van andere soorten. De waarneming van alarmferomonen van andere soorten is echter niet aangeboren, maar moet worden aangeleerd. Uit onderzoek blijkt dat vissen de relatie tussen soortvreemde alarmferomonen en predatie snel kunnen leggen. Zo kunnen dikkop elritsen deze associatie al leren na een eenmalige blootstelling aan alarmferomonen

in combinatie met chemische of visuele signalen van een roofvis. Gezien de grote diversiteit in reacties op en wijdverspreide productie van alarmferomonen bij vissen, wordt tegenwoordig steeds meer gekeken naar de mogelijke oorsprong van deze stoffen in het immuunsysteem. Zo blijkt dat alarmsubstantiecellen in aantallen toenamen wanneer de huid wordt blootgesteld aan schade door parasieten, UV straling en andere pathogenen. Alarmsubstantiecellen zouden daarom ook wel eens een rol kunnen spelen in de bescherming en herstel van de huid en niet direct dienen om predatiegevaar aan soortgenoten door te geven of andere roofvissen te lokken. Volgens deze hypothese was er tijdens de evolutie van alarmferomonen niet zo zeer een selectie op de productie van alarmferomonen, als wel op de waarneming van en reactie op de stoffen die door het afweersysteem worden afgegeven tijdens beschadigingen van de huid.

Alarmferomonen als beheerinstrument

Of alarmferomonen hun evolutionaire oorsprong nu hebben in de verwantschapselectie, roofvis-aantrekking of het immuunsysteem; de schrikreacties die ze veroorzaken bij sommige soorten maken het een potentieel hulpmiddel voor populatiebeheer. Zo wordt in de bestrijding van insecten al geruime tijd gebruik gemaakt van alarmferomonen. De reacties hierop worden hierbij gebruikt om de effectiviteit van bepaalde bestrijdingsmiddelen te vergroten. Door de wijdverspreide aanwezigheid van alarmferomonen bij vissen en de mogelijkheden om vissen af te schrikken, wordt tegenwoordig onderzocht of alarmferomonen mogelijk ook in het visstandbeheer kunnen worden gebruikt.



Onder invloed van feromonen vertonen vissen sterk samscholingsgedrag.

Hierbij wordt specifiek gekeken naar de toepassing van alarmferomonen om invasieve exoten uit bepaalde gebieden te weren. Dit wordt onder andere gedaan om de pos (*Gymnocephalus cernuus*) in de Grote Meren van de Verenigde Staten en Canada te bestrijden. Deze soort is in de jaren '80 via ballastwater van schepen in het Bovenmeer terecht gekomen en heeft zich daar in een paar jaar tijd ontwikkeld tot een van de meest voorkomende soorten. Vooral de inheemse baarspopulaties (*Perca flavescens*) ondervinden veel concurrentie van de pos. Bestrijding van deze soort bleek echter lastig zonder de rest van het visbestand uit te roeien. Onderzoek is zich daarom gaan richten op alarmferomonen bij pos, als een natuurvriendelijk alternatief voor populatiebeheer. Hieruit kwam naar voren dat deze soort een sterk gebiedsontwijkend gedrag vertoont zodra er alarmferomonen uit beschadigde huid aanwezig zijn. Op basis van deze resultaten worden alarmferomonen momenteel in het water gebracht om pos uit bepaalde gebieden te weren, zoals havens en zones waar ze zich voortplanten.

Uit de bovenstaande kan worden geconcludeerd dat alarmferomonen een rol kunnen spelen om de verspreiding van sommige vissoorten te beperken. Door de grote gevoeligheid voor alarmferomonen bij sommige soorten, kan dit als afschrikmiddel zelfs in stromende wateren worden ingezet. Mits voor de te bestrijden soorten de reacties op alarmferomonen bekend zijn, kunnen alarmferomonen in combinatie met ander barrières zoals een bellenscherm, een effectief afschriksysteem vormen. **V**

Geraadpleegde literatuur

- R. E. Barreto, A. B. Júnior, A. C. C. Giassib, A. Hoffmann. 2010. The 'club' cell and behavioural and physiological responses to chemical alarm cues in the Nile tilapia. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 43, 75-81
- J. B. Benoit, S. A. Phillips, T. J. Croxall, B. S. Christensen, J. A. Yoder, D. L. Denlinger. 2009. Addition of Alarm Pheromone Components Improves the Effectiveness of Desiccant Dusts Against *Cimex lectularius*. *Journal of Medical Entomology*, 46, 572-579
- G. E. Brown, J. Poirier, and J. C. Adrian. 2004. Assessment of local predation risk: the role of subthreshold concentrations of chemical alarm cues. *Behavioral Ecology*, 15: 810-815.
- M. F. Cashner. 2004. Are Spotted Bass (*Micropterus punctulatus*) Attracted to Schreckstoff? A Test of the Predator Attraction Hypothesis. *Copeia*, 3, 592-598.
- D. P. Chivers and R. J. F. Smith. 1994. Intra- and interspecific avoidance of areas marked with skin extract from brook sticklebacks (*Culaea inconstans*) in a natural habitat. *Journal of Chemical Ecology*, 20, No. 7, 1517-1524
- D. P. Chivers et al. 2007. Epidermal 'alarm substance' cells of fishes maintained by non-alarm functions: possible defence against pathogens, parasites and UVB radiation. *Proceedings of the Royal Society B*, 274, 2611-2619.
- P. C. Giaquinto, A. Hoffmann. 2010. Role of olfaction and vision cues in feeding behavior and alarm reaction in the catfish pintado, *Pseudoplatystoma corruscans*. *Journal of Ethology*, 28, 21-27
- S. Lastein, E. Höglund, I. Mayer, Ø. Øverli, K. B. Døving. 2008. Female Crucian Carp, *Carassius carassius*, Lose Predator Avoidance Behavior when Getting Ready to Mate. *Journal of Chemical Ecology*, 34, 1487-1491.
- P. K. Maniak, R. D. Lossing, P. W. Sorensen. 2000. Injured Eurasian ruffe, *Gymnocephalus cernuus*, release an alarm pheromone which may prove useful in their control. *Journal of Great Lakes Research*, 26, 183-195.
- A. Mathis, D. P. Chivers, R. J. F. Smith. 1995. Chemical Alarm Signals: Predator Deterrents or Predator Attractants? *The American Naturalist*, 145: 994-1005.
- K. V. Parra, J. C. Adrian Jr., R. Gerlai. 2009. The synthetic substance hypoxanthine 3-N-oxide elicits alarm reactions in zebrafish (*Danio rerio*). *Behavioural Brain Research*, 205, 336-341.
- R. J. F. Smith. 1992. Alarm signals in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2: 33-63.
- P. W. Sorensen, N. E. Stacey. 2004. Brief review of fish pheromones and discussion of their possible uses in the control of non-indigenous teleost fishes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 38: 399-417
- B. D. Wisenden, T. A. Thiel. 2002. Field Verification of Predator Attraction to Minnow Alarm Substance. *Journal of Chemical Ecology*, 28, 433-438.
- B. D. Wisenden, K. A. Vollbrecht, J. L. Brown. 2002. Is there a fish alarm cue? Affirming evidence from a wild study. *Animal Behaviour*, 67, 59-67.
- H. P. Zippel, M. Gloger, L. Lühthje, S. Nasser, S. Wilcke. 2000. Pheromone Discrimination Ability of Olfactory Bulb Mitral and Ruffed Cells in the Goldfish (*Carassius auratus*). *Chemical Senses*, 25, 339-349.