

NIEUWE HYPOTHESE ROND BIOLUMINESCENTIE

Levend licht

Heel wat levende organismen kunnen zelf licht maken. Misschien was deze eigenschap ooit een neveneffect van een reactie op het vrijkomen van zuurstof in de aardse atmosfeer.

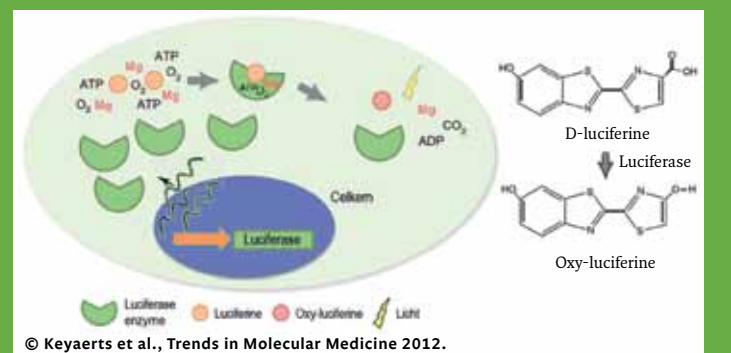
Door Danny HAELEWATERS

In zijn monumentale werk *On the origin of species* (1859) was Charles Darwin een van de eersten om bioluminescentie op het voorplan te brengen, weliswaar heel beknopt. Net als vele onderzoekers na hem – zelfs tot op heden – zag Darwin het ontstaan van bioluminescentie als een enkele gebeurtenis in de evolutie. Er bestaat echter niet slechts één soort luciferine (zie kader) voor alle systemen. De verscheidenheid aan klassen luciferine-substraatmoleculen, luciferase-enzymen en reactiemechanismen bij verschillende groepen organismen toont aan dat de eigenschap om zelf licht te produceren minstens veertig keer onafhankelijk moet ontstaan zijn in de evolutie. Dit wil meteen ook zeggen dat de genenorganisatie verantwoordelijk voor bioluminescentie bij bacteriën niet verwant is aan deze bij eencellige algen, kevers, vissen of andere diergroepen. Er bestaan enkele notoire landbewonende vertegenwoordigers, zoals glimwormen en enkele honingzwammen (*Armillaria*) en *Mycena*'s, maar de overgrote meerderheid van lichtgevende organismen leven in de oceanen. Geschat wordt dat ruim 90% van alle organismen die licht maken zich in de diepzee bevinden en dat een groot deel daarvan zelfs nog niet is ontdekt.

Hoe werkt bioluminescentie?

Een breed scala levende organismen deelt de eigenschap licht te kunnen produceren via een enzym-gekatalyseerde reactie. Hierbij staat het systeem luciferine-luciferase centraal: zonder zelf verbruikt te worden maakt het

enzym luciferase de oxidatie van luciferine - de 'brandstof' - mogelijk. Bij deze reactie wordt zuurstof opgenomen en komt energie vrij in de vorm van licht. De reactie is erg efficiënt: bijna alle energie wordt omgezet in licht.



Zeevonk of *Noctiluca scintillans* geeft in de lente en de zomer licht bij beweging, wat zorgt voor lichteffecten in golven en op het strand. Deze eencellige komt ook voor aan de Noordzee. Foto © Phil Hart (www.philhart.com)

OEROUD MECHANISME

Het is mogelijk dat bioluminescentie ontstond als reactie op het opduiken van zuurstof in de aardse atmosfeer. De atmosfeer van de prille aarde bestond vooral uit waterstof (H₂), stikstof (N₂), waterstofsulfide (H₂S), methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) – geen zuurstof (O₂) of ozon (O₃), waardoor uv-straling afkomstig van de zon het aardoppervlak ongehinderd kon bereiken. In het begin waren de omstandigheden erg bar. De combinatie van elektrisch geladen ontladingen (bliksems), vulkaanuitbarstingen, radioactieve straling en uv-straling zorgde voor voldoende energie om chemische reacties aan te drijven, die leidden tot eenvoudige organische verbindingen. Ontstane organische moleculen hoopten zich op tot de zogenoemde oer-

soep. Deze soep, gecombineerd met hoge temperaturen en katalysatoren (klei en vulkanisch gesteente), gaf aanleiding tot het ontstaan van de eerst macromoleculen. Zo'n miljard jaar was nodig om levensvormen met een primitieve stofwisseling te genereren. Het eerste leven was geboren. Langzaam evolueerden zich de eerste echte levensvormen die er qua structuur en organisatie uitzagen als de huidige prokaryoten (archaea, cyanobacteriën en bacteriën).

Het ontstaan van fotosynthetiserende cyanobacteriën is belangrijk geweest in de evolutie: zij hadden als eerste de capaciteit koolstofdioxide om te zetten in koolhydraten (suikers) met zuurstof als bijproduct. De zuurstof verdween onmiddellijk door zich te binden aan het in de

oceanen opgeloste ijzer – *banded iron formations* werden gevormd. Op een bepaald moment echter werd het oplosbaarheidsproduct van deze neerslagreactie bereikt. Er ontstond een overschot aan zuurstof in ongebonden vorm, in zowel het oceaanwater als de aardse atmosfeer. De toenemende concentraties zuurstof veranderden de atmosfeer definitief van reducerend naar oxiderend. Voor anaërobe bacteriën en cyanobacteriën was O₂ echter een giftige stof. Tot voor kort werd ervan uitgegaan dat zij toen massaal uitstierven. Tijdens een lezing op 31 juli jl. in Harvard Science Center stelde Dr. J. Woodland Hastings echter zijn nog ongepubliceerde hypothese voor dat tenminste enkele groepen bacteriën het luciferine-luciferase systeem ontwikkelden om het giftige zuur-

stof onschadelijk te maken. Bioluminescentie zou zijn ontstaan als de allereerste biologische antioxidant ter wereld. Het opgewekte licht was slechts het gevolg van de chemische reactie, geen doel op zich. Nadat O₂ alomtegenwoordig werd in de atmosfeer en levensvormen op grote schaal overschakelden naar ademhaling op zuurstof, verdween de noodzaak voor het luciferine-luciferase systeem. Het geproduceerde licht, tot dan toe slechts een bijproduct, bleek echter nuttig bij andere taken (zie 'Het nut van een lichtshow'), zodat het systeem bewaard bleef en verder evolueerde. Bijgevolg zouden, volgens Hastings, de huidige biologische functies van bioluminescentie pas secundair zijn ontwikkeld, gebruik makend van de eerder ontstane reactie teneinde het organisme te ontgiften.

Het nut van een lichtshow

Darwin moet zich ooit wel afgevraagd hebben waarom bepaalde organismen het kenmerk hebben ontwikkeld om licht uit te zenden. Er zijn een aantal interessante biologische functies gekoppeld aan de mogelijkheid het licht in de duisternis te zijn. Met een aantal voorbeelden worden de belangrijkste functies van bioluminescentie belicht.

PREDATIE

Een eerste functie wordt geïllustreerd door de zogenaamde Humpback black-devil (*Melanocetus johnsonii*), een diepzeehengelvis die jacht maakt op onder meer kreeftachtigen (*Crustacea*), lantaarnvissen (*Myctophidae*) en borstelmondvissen (*Gonostomatidae*). Het beest is lelijk als de nacht maar compenseert dat met een erg inventief systeem om prooiën te lokken: het vrouwtje draagt op haar kop een lange hengel met op het uiteinde lichtgevende bacteriën die in symbiose leven met de vis. Als een prooi eenmaal te dichtbij komt is hij een vogel voor de kat. De bek beslaat

de hele voorzijde van de kop en is bezet met een reeks vlijmscherpe, naar binnen gebogen tanden. Omdat diepzeehengelvissen daarenboven ook buigzaam en rekbaar zijn, kunnen prooiën dubbel zo groot worden ingeslikt.

VERDEDIGING

Dinoflagellaten, eencellige algen, benutten hun licht voor een andere zaak: als verdedigingsmiddel om vijanden af te schrikken. Een bekend voorbeeld, verantwoordelijk voor het oplichten van zeegolven aan onze eigen Nederlandse en Belgische kusten, is de zeevonk (*Noctiluca scintillans*). Bij deze eencellige vindt de oxidatiereactie plaats in de zogenaamde scintillons, duizenden sferische organellen doorheen het cytoplasma. Verstoring van het water, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een predator, induceert achtereenvolgens een elektrische potentiaal doorheen de organellen, de activatie van het luciferine-luciferase systeem en een blauwgroene oplichting van de eencelligen. Het hele gebeuren is in een flits voorbij; het duurt niet langer dan een tiende van een seconde. Zulke lichtflitsen hebben op hun beurt het effect dat ze de

initiële predatoren (bijvoorbeeld garnalen) afschrikken en tegelijk grote jagers (hongerige vissen) aantrekken, die zich tegoed doen aan de kleinere predatoren. De zeevonk transformeert z'n predator tot prooi door handig gebruik te maken van bioluminescentie.

COMMUNICATIE

Mosselkreeftjes (*Ostracoda*) zijn kleine, afgeplatte diertjes met een al dan niet verkalkt, tweekleppig chitinepantser. Gemiddeld hebben ze afmetingen rond de 1 mm, al meten de allergrootste exemplaren binnen de klasse tot 3 mm in diameter. Mannetjes en vrouwtjes van *Photeros annecohenae* komen in grote aantallen voor te midden van zeegrasbedden in Belize. Zo'n uur na zonsondergang beginnen de mannetjes vrouwtjes het hof te maken met behulp van licht. Ze steken niet zomaar een lampje aan, maar bieden de dames een complexe opeenvolging van lichtflitsen waarbij ze opwaarts zwemmen in een spiraalvormige baan. De mannetjes beschikken over verschillende strategieën: de ene groep begint de lichtshow op eigen initiatief (*leaders*), de andere groep reageert door los-

jes synchroon met de eerste groep lichtflitsen te produceren (*followers*) of in de buurt te blijven van de lichtproducerende mannetjes zonder zelf mee te doen (*sneakers*). De *sneakers* bevinden zich boven de pronkende *leaders* of *followers*. Ze spelen vuil spel want ook zij maken de spiraalvormige baan, waarbij ze mogelijk vrouwtjes tegenkomen, op zoek naar hun lichtgevende held, en kunnen copuleren. Individuele mannetjes vertonen de drie verschillende strategieën en kunnen gemakkelijk en snel overschakelen van de ene naar de andere strategie. Over het algemeen dragen de *leaders* de voorkeur weg maar soms kiezen vrouwtjes eenvoudigweg voor het dichtstbijzijnde lichtproducerende mannetje. Bioluminescentie wordt hier dus gebruikt voor herkenning en hofmakerij. Deze communicatieve functie van het luciferine-luciferase systeem is heel algemeen en komt ook voor bij glimwormen (*Lampyridae*, ook bekend als vuurvliegjes).