

Extremofiele micro-organismen

Some like it hot

Servé Kengen en John van der Oost

Een duik nemen in de Noordzee op nieuwjaarsdag vinden we behoorlijk stoer. De Russen doen er een schepje bovenop door het begin van de winter te vieren met een duik in ijswater van nul graden. Dat valt best wel mee, zeker wanneer je dat afwisselt met een bezoek aan de sauna, met een luchttemperatuur van 90 graden. Hiermee hebben we de extremen die we als mens kunnen trotseren echter wel gehad. Wat te denken van een duik in kokend water, zwemmen in een bad gevuld met azijn of ammonia, of kokend zwavelzuur?

Heet!

Wat voor ons onmogelijk is, is voor veel micro-organismen de normaalste zaak van de wereld. Ze zijn volledig aangepast aan uitzonderlijke omstandigheden en zijn er voor hun voortbestaan zelfs van afhankelijk. We noemen deze organismen *extremofielen*, omdat ze leven onder omstandigheden die vanuit menselijk oogpunt extreem zijn.

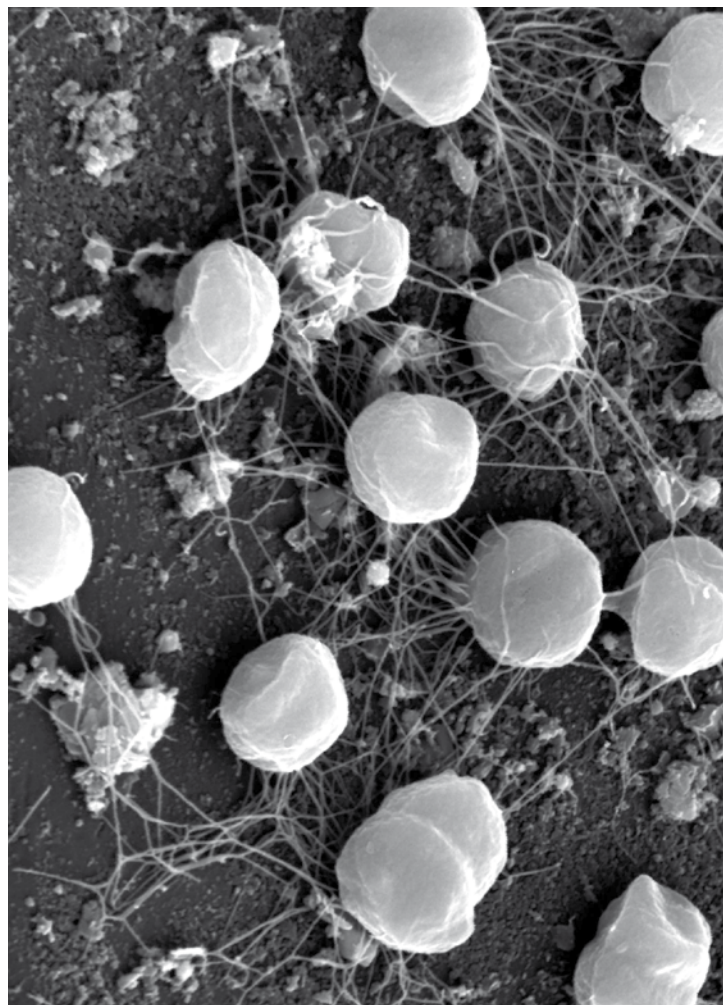
Hoe extreem kan het zijn? Sterk tot de verbeelding spreken bacteriën en Archaea die bij hoge temperaturen leven – soms boven het kookpunt van water. Een veel bestudeerd voorbeeld is *Pyrococcus furiosus*, wat vrij vertaald ‘furieuze vuurbal’ betekent. Dit bolvormige micro-organisme groeit door zetmeel af te breken tot azijnzuur, koolstofdioxide- en waterstofgas, maar dan wel bij een temperatuur van 100 °C.

Extreem thermofiele micro-organismen.

Pyrococcus furiosus is geïsoleerd uit vulkanische bronnen bij het strand van het Italiaanse eiland Vulcano en groeit optimaal rond het kookpunt van water.

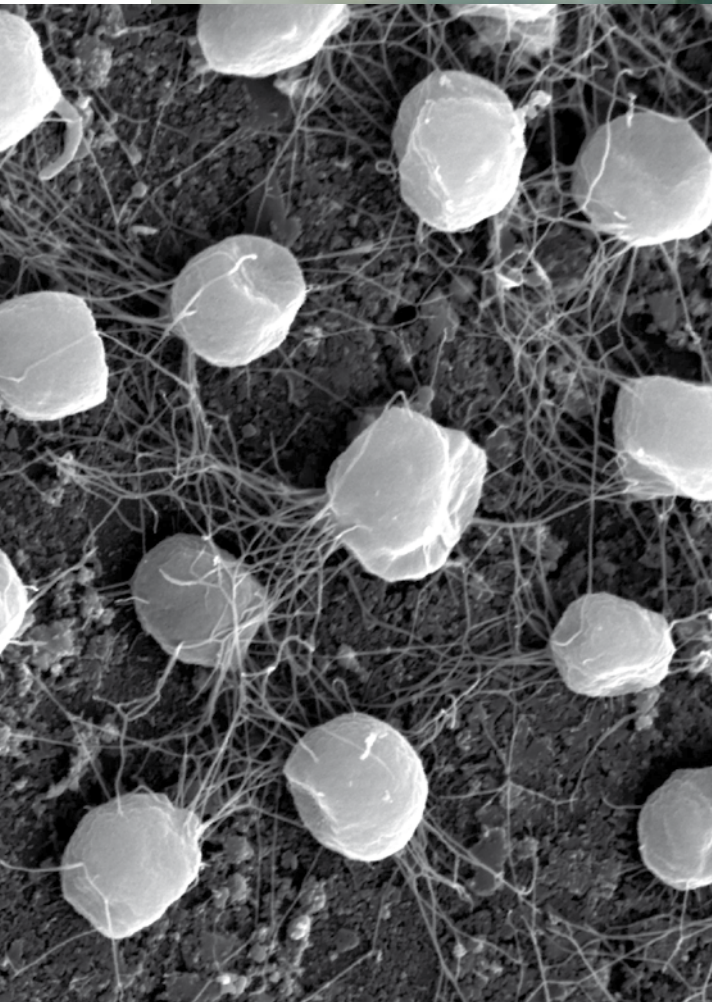
Koud, zout, zuur of basisch

Inmiddels zijn er vele tientallen beschreven van deze zogenoemde *hyperthermofielen*, met uiteenlopende kenmerken. Ze leven op allerlei door aardwarmte verhitte plekken, zoals geisers en hete modderpoelen in Yellowstone National Park (VS) of IJsland. De huidige recordhouder onder de hyperthermofielen is *Methanopyrus kandleri*, waarvan onder hoge





Het nemen van een watermonster uit een hete bron in Yellowstone National Park voor onderzoek naar nieuwe extreme bacteriën of Archaea.



druk (200 bar) groei is gerapporteerd tot maar liefst 122 °C, dus boven de sterilisatietemperatuur. Aan de andere kant van het spectrum vinden we de bacterie *Polaromonas vacuolata*, met een optimale groeitemperatuur van 4 °C. Onder deze koudeminnende organismen vinden we trouwens niet alleen bacteriën of Archaea, maar ook nematoden, algen en diatomeeën.

Er zijn ook micro-organismen die zich hebben aangepast aan extremen in zuurgraad (pH), soms bij hoge temperaturen. *Sulfolobus solfataricus*, bijvoorbeeld, is een archaeon die leeft in verdund heet zwavelzuur, dat wil zeggen dat de optimale pH rond 2 ligt bij een optimale temperatuur van 85 °C. Tegenhanger op dit gebied is *Natronabacterium gregoryi*. Ook een archaeon, maar met een voorkeur voor een normale temperatuur (37 °C) en een alkalisch milieu (pH 9,5).



Zoutmeer in Namibië,
rood gekleurd door *Halobacterium salinarum*.

Er zijn ook Archaea die zich helemaal thuisvoelen bij zeer hoge zoutconcentraties. *Halobacterium salinarum*, bijvoorbeeld, groeit het best in water waarin per liter 250 gram keukenzout zit – tien keer zoveel als in zeewater. Je vindt dit roodgekleurde organisme in zoutmeren zoals de Dode Zee, maar ook op gezouten vis. Dit micro-organisme is bovendien heel goed bestand tegen intense uv-straling, die normaal liter DNA-schade veroorzaakt.

Een andere extremofiel spant op dit gebied de kroon, namelijk *Deinococcus radiodurans*. Door middel van een efficiënt DNA-reparatiesysteem kan deze bacterie als geen ander radioactieve straling overleven. Omdat dit organisme bovendien goed bestand is tegen koude, verdroging, vacuüm en zuur, noemen we het ook wel poly-extremofiel.

Zoals gezegd, behoren veel van deze extremofielen tot het domein van de Archaea. Archaea zijn mogelijk de oudste

vorm van leven op aarde en hun extremofiele eigenschappen zijn misschien wel een overblijfsel uit lang vervlogen tijden, toen de omgeving op aarde allesbehalve aangenaam was (behalve dan voor de extremofielen).

Extreem door bruggen

De grote vraag is natuurlijk hoe extremofielen kunnen gedijen onder omstandigheden waarbij alle andere micro-organismen al lang het loodje zouden leggen. Alle soorten zijn ontstaan door evolutie (genetische variatie en daaropvolgende selectie) en in dit geval zijn de gevoelige bouwstenen van het leven simpelweg aangepast aan de extremen. Zo hebben de membraanlipiden, die elke levende cel beschermen tegen invloeden van buitenaf, een andere chemische samenstelling, waardoor ze stabiel zijn. De eiwitten van extremofielen zijn net als bij alle andere organismen opgebouwd uit

dezelfde set van twintig aminozuren. Echter, door specifieke combinaties van deze bouwstenen zijn er meer verbindingen binnen eiwitmoleculen mogelijk, zoals zoutbruggen en hydrofobe interacties, die zorgen voor een grotere stabiliteit. Ook nucleïnezuren zoals RNA en DNA worden beschermd door vorming van structuren met een hogere stabiliteit, bijvoorbeeld door interactie van DNA met bepaalde eiwitten, of door de vorming van meer waterstofbruggen in RNA. Dankzij de aangepaste biomoleculen kunnen de bacteriën en Archaea onder de extreme condities leven.

Daar kunnen wij dankbaar gebruik van maken. Uit bacteriën die op extreem koude plaatsen leven, kunnen we bijvoorbeeld enzymen isoleren, bruikbaar in wasmiddelen die bij lage temperatuur hun werk moeten doen.

Andere stoffen uit extremofielen zijn toe te passen bij hoge temperaturen of bij een hoge of lage pH. Uit de eerder genoemde furieuze vuurbal wordt DNA-polymerase gewonnen, dat in duizenden laboratoria over de hele wereld wordt gebruikt voor de zeer efficiënte vermenigvuldiging van DNA. Dit enzym, dat bij hoge temperatuur stabiel is, heeft zonder meer een revolutie teweeggebracht in de moleculaire genetica.

Bacteriën en Archaea hebben de uitersten opgezocht van wat biologisch mogelijk is. We kunnen ons slechts verwonderen over de enorme variatie aan microbiologische levensvormen. De extremofielen laten ons die bij uitstek zien. Dus wanneer u de volgende keer met moeite het zandlopertje in de sauna uitzit, denk dan aan het volgende gedicht:



*Remain and contemplate awhile
Upon the noble thermophile,
It bears its breast to searing heat
Whilst lesser cells make fast retreat
Despite that stress, it still is able
To maintain its enzymes stable
Through steam and stench, it reigns supreme
In each heated niche of nature's scheme
Whether royal blue of boiling springs
Or biomass of lowly and discarded things
So, salute when you pass the compost pile
Wherein reigns the noble thermophile.*

(Uit F. Stutzenberger,
Letters in Applied Microbiology 1990, 11, 173-178)

De hete bronnen in
Yellowstone waar de
eerste thermofiele micro-
organismen zijn ontdekt.