

Arheje: esej

Najstariju podjelu živog svijeta napravio je Carl Linne u 18. stoljeću (Plantae i Animalia). Napredak biologije omogućio je otkriće drugih organizama, **stoga E. Haeckel 1866.** predlaže novo carstvo „Protista“ (u početku je sadržavalo sve što nije biljka niti životinja, a kasnije se ograničilo na jednostanične organizme). Robert Whittaker 1969. dijeli živi svijet na 5 carstava prema razini, tipu organizacije i prehrane: Monera (prokarioti), Protista (jednostanični eukarioti) te višestanični eukarioti: Plantae, Animalia i Fungi. Kasnije znanstvenici zaključuju da bi podjela organizama trebala biti temeljena na njihovoj srodnosti, za što je potrebno analizirati i usporediti njihove **sekvence u DNA**, a sekvenca koja najviše odgovara za određivanje srodnosti vrlo udaljenih organizama je **ribosomska RNA** jer ju sadrže svi živi organizmi i jer se ta sekvenca tijekom vremena vrlo sporo mijenja. Na temelju razlike u 16S rRNA, **Carl Woese 1977.** godine dijeli prokariote na **eubakterije** i **arhebakterije** (tada su smatrane metanogenim bakterijama). Naziv „arhebakterije“ dodijeljen je ovoj skupini organizama jer morfološki slične baterijama, a njihov metanogeni fenotip odgovara uvjetima koji su postojali na Zemlji prije 3-4 mlrd godina. Također, **kemijski fosili** arheja (lipidi) nađeni su na Grenlandu u sedimentu koji je formiran prije 3,8 mlrd godina. **Woese 1990.** godine predlaže podjelu živog svijeta na **3 domene** (Eucarya, Bacteria i Archaea) jer je uočio da su **arheje srodnije eukariotima** nego bakterijama. Analizom fosilnih ostataka napravljeno je i filogenetsko stablo na čijem se dnu nalazi *last universal common ancestor* (LUCA), bakterije se prve odvajaju, a potom arheje i eukarioti. Danas je poznato da je praeukariotska stanica nastala iz arheja, a u evoluciji eukariota sudjelovale su i bakterije: procesom endosimbioze nastali su mitohondriji (alfoproteobakterije) i kloroplasti (cijanobakterije).

Sličnosti i razlike među 3 domene

Sličnosti arheja i bakterija su morfološke (prisutna stanična stijenka, nema jezgre, organela, jednostaničnost, na površini se mogu nalaziti pili i bičevi), a ako „kopamo dublje“, možemo primijetiti i druge sličnosti (genom je prstenasta dvolančana DNA, geni su kontinuirani i organizirani u operone, ribosomi su veličine 70S, plazmidi mogu biti prisutni). U idućem odlomku predstavljene su karakteristike jedinstvene za arheje.

Arheje imaju specifične lipide u membrani: glicerol je povezan s fitanolom **eterskim vezama** (kod ostalih organizama glicerol je esterskim vezama povezan s lancima masnih kiselina). Eterske su veze čvršće i otpornije od esterskih. Druga je razlika u samom lancu, koji je kod arheja **razgranat** (fitanol), a kod ostalih organizama je ravan. Zatim, u arhejskim lipidima je prisutan **L-glicerol**, a kod ostalih organizama D-glicerol. Također, neke arheje nemaju membranu građenu od 2 sloja lipida, već se radi o **jednom sloju lipida** (što također doprinosi termostabilnosti). Pri tom je dugi razgranati lanac nastao fuzijom dva fitanola te se na oba kraja nalazi hidrofilna glava (glicerol s fosfatom). Arheje koje imaju jedan sloj lipida u membranama pronađene su na dnu oceana (dubina 2 km, temperatura oko 300°C). **Arhejska stijenka**, za razliku od bakterijske, ne sadrži peptidoglikan (murein, polimerni spoj čiji se monomer sastoji od šećernih jedinica koje su derivati glukoze, i kratkih oligopeptida), te su zato arheje otporne na antibiotike koji inhibiraju sintezu peptidoglikana. Neke arheje imaju umjesto toga **pseudopeptidoglikan**. Arheje na površini mogu imati i neke strukture koje nisu nađene u drugih organizama - cannulae i hami (omogućavaju povezivanje arhejskih stanica međusobno i s podlogom). **Arhejski ribosom** je po veličini sličan bakterijskom (70S), ali morfološki detalji, slijed nukleotida u rRNA, te slijed aminokiselina u r-proteinima više odgovaraju karakteristikama eukariotskih ribosoma. To omogućuje rezistenciju na antibiotike

koji inhibiraju sintezu proteina na bakterijskim ribosomima. Ribosomi ekstremofilnih arheja otporni su na ekstremne životne uvjete, rigidni su te su zato pogodni za kristalografske studije.

Postoje i sličnosti arheja s eukariotima, npr. genomska DNA arheja se kondenzira namatanjem na **histone** (kod eukariota se DNA namata na oktamernu srž od 8 histona, a kod arheja je namatanje oko 1 histona), sinteza proteina kod arheja započinje **metioninom** (u bakterija započinje formilmetioninom), **replikacijski sustav** arheja je homologan eukariotskom, arhejska **RNA-polimeraza** je slična eukariotskoj.

Arheje – ekstremofili i sveprisutni organizmi

U početku su arheje smatrane isključivo ekstremofilima (uvjeti visokog tlaka, temperature, saliniteta, visokog i niskog pH...). Primjeri ekstremnih staništa su geotermalni izvori, hidrotermalni izvori na dnu oceana, slane i bazične vode... Danas je poznato da su arheje **sveprisutni organizmi**, no pronalaženje arheja u „normalnim“ staništima omogućeno je tek provođenjem metagenomskih studija, jer arheje uglavnom nisu uzgojive na hranjivim podlogama. Danas možemo tražiti sekvence karakteristične za arheje i detektirati ih u uzorcima, npr. često se za detekciju arheja radi sekvenciranje i analiza gena za 16S rRNA i *mcrA* (kodira za enzim važan u proizvodnji metana). Arheje su tako otkrivene u velikim količinama u sastavu planktona, kanalizaciji, životinjama... Imaju važnu ulogu u biogeokemijskim ciklusima (recikliraju C, N, S...). Arheje postoje i kao **mutualisti**. Na primjer, metanogene arheje pomažu termitima u probavljanju celuloze (trilateralni mehanizam): jednostanični eukarioti razgrađuju celulozu u crijevu termita, no pritom stvaraju vodik, čije nakupljanje umanjuje efikasnost procesa. Metanogene arheje koriste taj vodik za produkciju metana i time se efikasnost procesa povećava. Velika količina metana stvara se i u probavilu stoke, a metan ima značajan utjecaj kao staklenički plin. Arheje su prisutne na površini naše kože, te kao dio ljudske crijevne mikrobiote (npr. doprinose smanjenju rizika od bolesti krvožilnog sustava).

Nove skupine arheja

Od 1990. godine otkriveno je mnoštvo novih arheja i skupina. 2011. godine predloženo je **superkoljeno TACK** (Thaumarchaeota, Aigarchaeota, Crenarchaeota i Korarchaeota). Otkrićem skupine arheja **Lokiarchaeota 2015.** u dubokim morskim sedimentima (uz hidrotermalni izvor Lokijev dvorac, uvjeti – 300°C i visoka koncentracija S) pokazano je da su eukarioti najrodniji upravo s ovom skupinom arheja. To je utvrđeno analizom genoma, no ova skupina arheja sadrži i neke proteine za koje se smatralo da su jedinstveni za eukariote (**eucaryotic signature proteins ili ESP**), to su neke komponente citoskeleta (aktin, gelsolin), mnoge male GTPaze (važne u dinamici citoskeleta, provođenju signala, vezikularnom transportu...). Kasnije su na raznim lokacijama otkrivene nove, slične arheje, te je 2017. predloženo novo **superkoljeno arheja – Asgard**, koje bi sadržavalo koljena Loki-, Thor-, Odin- i Heimdallarchaeota. Filogenetske analize provedene su na genima za 16S i 23S rRNA (univerzalno konzervirani geni markeri) te na genima za ribosomske proteine (svojeviti samo arhejama i eukariotima) i uočena je još veća srodnost s eukariotima (Heimdallarchaeota). Primijećeno je da ova skupina arheja sadrži još više ESP-ova nego što je nađeno već kod Lokiarchaeota te da začeci eukariotskih osobina postoje u arhejama.