

Franjo Martinez

franjo.martinez@ck.htnet.hr

POJAVA SPOLA U EVOLUCIJI ŽIVOG SVIJETA

Stručni rad

Primljen: 11. 2. 2019.

Prihvaćen: 28. 7. 2019.

UDK: 572

575.8

Sažetak

Rad se bavi pitanjima početka života na zemlji, mehanizmima razvoja višestaničnih organizama iz jedne oplodene stanice te pojavom spolova u evoluciji. Daje se pregled hipoteza o postanku života na zemlji – kreacijska, hipoteza o spontanom začetku, kozmozoejska i hipotezu abiogeneze. Osvrće se na pitanje spolnosti, odnosno seksualnosti u ljudi.

Ključne riječi

početak života, evolucija, pojava spolova, spolnost

U središtu prirodoslovlja javlja se niz intrigantnih pitanja. Hoće li znanost, posebno biologija, ikada odgovoriti na pitanja kao što su: Kako je počeo život? Kojim se mehanizmima iz jedne oplodene stanice razvija višestanični organizam? Kako mozak procesuirá informacije? Kada se u evoluciji pojavljuju spolovi?

Odgovori na ova pitanja traže se već od samog početka prirodoslovnih znanosti, a napose u današnjoj biologiji. Pomaci postoje i oni su obećavajući. Izgleda da se najdalje doprlo u objašnjavanju u naslovu najavljene teme. No, za njezino potpunije razumijevanje potrebno je uvodno nekoliko rečenica posvetiti i ostalim ključnim pitanjima biologije.

O postanku života na Zemlji ustalilo se nekoliko hipoteza. One se prezentiraju u skupinama, primjerice: kreacijske, o spontanom začetku uz *vis vitalis*, kozmozoejske hipoteze i hipoteze abiogeneze. Ni jedna od njih nema uvjerljivih materijalnih dokaza. U nas, po udžbenicima, još uvijek egzistira hipoteza abiogeneze temeljena na učenjima ruskog istraživača Aleksandra Ivanoviča Oparina (1894. – 1980.). Život je nastao na Zemlji u evolutivnom

procesu postepenog usložnjavanja atoma u molekule i molekula u sve složenije spojeve do bjelančevina i nukleinskih kiselina. Kao potvrdu toga navode se glasoviti pokusi američkog biokemičara Stanley L. Millera iz godine 1953. Po istoj ili sličnoj koncepciji zaredali su se pokusi po laboratorijima diljem svijeta, ali do danas nijedan nije uspio sintetizirati molekule čijim međudjelovanjem nastaje život ili nešto na tom tragu. Nije uspelo sintetizirati život *in vitro*. Mnogi znanstvenici kao Fred Hoyle (1915. – 2001.) astronom, smatraju da je sjeme života moralo doći iz svemira. O hipotezi abiogeneze on ironično kaže: *Vjerojatnost da je život nastao na Zemlji ravna je vjerojatnosti da će tornado koji je prohujao smetlištem stvoriti Boeing 747*. Međutim, ni ova kozmozoejska ili hipoteza panspernije ne rješavaju tu zagonetku, nego samo premještaju početak života nekamo u dubine svemira. Ovo će pitanje još uvijek čekati svoje odgovore. Nešto nade za ovu opciju daju istraživanja međugalaktičke prašine pomoću infracrvenih spektrometara smještenih na satelitima. U uvjetima veoma niskih temperatura, do 10 kelvina, na veoma sitnim česticama sličnim silikatima, hvataju se atomi i dijelovi jednostavnih molekula (radikali, radikal-kationi, karbeni) potencijalni sastojci složenih molekula. Usporedba dobivenih spektrograma iz svemira s onima dobivenim iz kriokemijskih¹ laboratorijskih istraživanja pokazuje da u međuzvezdanom prostoru postoje molekule slične onima koje su neophodne za najjednostavnije žive sustave. Nije nemoguće da su te, nazovimo ih, praklice života, kao i sva voda, putem kometa dospjele na Zemlju prije dvije i pol milijarde godina. Ovo bi značilo da život na Zemlji nije nekakav izuzetak već naširoko rasprostranjena svemirska pojava – posljedica kemijske evolucije materije. Međutim, sve ove teorije označene u znanosti kao teorije 'primordijalne juhe' nisu bile dokazive pa su postepeno napuštane. Sedamdesetih godina 20. st. otkriveni su u dubinama oceana, dakle u potpunom mraku, vulkanski crni dimnjaci, oko kojih se razvila bujna fauna prilagođena tim uvjetima. Kasnije su u oceanima otkriveni alkalni 30 m visoki tornjevi kroz koje se iz Zemljine utrobe oslobađa plinoviti vodik koji reagira s ugljikovim dioksidom otopljenim u morskoj vodi stvarajući organske molekule. Ovakvo objašnjenje početka života na Zemlji danas ima sve više pristalica. Život bi prema tomu bio univerzalna svemirska pojava – rezultat evolucije materije. No, ono uključuje neizostavno pitanje: Koje sile usmjeravaju kemijsku evoluciju u smjeru nastajanje života? I tako smo zakoračili u područje transcendentnosti gdje odgovore nastoje pronaći teologija i filozofija. Sigurno je da će istraživanja svemirskih tijela, prije svega našeg Sunčevog sustava, pripomoći razrješenju ove zagonetke.

Na drugo uvodno istaknuto pitanje traži odgovore suvremena razvojna biologija. U žarištu su istraživanja matične stanice i molekularni mehanizmi

¹ Kriokemija je dio kemije koja proučava kemijske reakcije i pojave na temperaturama blizu apsolutne nule. Kao rashladno sredstvo rabi se tekući helij -269°C, odnosno oko 4 kelvina.

koji određuju njihov razvoj u specijalizirane stanice, tkiva i organe. Mnoge tajne oko pravovremenoga uključivanja u genomu kodiranih poruka još su na nivou hipoteza.

Mozak je danas u centru neuroznanosti. Nastoji se proniknuti u to kako mozak na staničnoj i molekularnoj razini procesira informacije primljene putem osjetila. Pred tim čudom, kada tvar u svom najsloženijem obliku počinje rasuđivati o samoj sebi, zastaju najveći umovi po istraživačkim centrima diljem svijeta. Interdisciplinarnе znanosti koje su se razvile na temu povezivanja biološke i umjetne inteligencije napreduju prema ciljevima postavljenim u medicini (liječenje, neurološke proteze) i ciljevima informatike.

Na posljednje gore istaknuto pitanje *Kada se u evoluciji živog svijeta pojavljuju spolovi?* uslijedit će najavlјeno obrazloženje. To je središnje pitanje ove rasprave. Od svih istaknutih pitanja izgleda da se na ovo znanost ponajvećma približila suvislom odgovoru.

Razmnožavanje je osnovna značajka živih bića. Život jedinke kratak je i nesiguran. Jedino geni s porukom koju prenose stvarna su fizička poveznica među generacijama. Od prvih živih stanica nastalih na ovoj Zemlji ili dospjelih iz Svemira, genska se poruka prenosi procesom razmnožavanja. Genski *kod* ispisan u molekuli deoksiribonukleinske kiseline (DNA) jedinstven u načelu za cijeli živi svijet, toliko je fleksibilan i sveobuhvatan da je osigurao razvoj i evoluciju brojnih biljnih i životinjskih vrsta. Genska poruka toliko je 'mudra' da je osigurala kontinuitet života na ovom planetu, unatoč katastrofama koje su prijetile kroz gotovo 3,7 milijarde godina. Od probionata, akariota do eukariota i najsloženijih višestaničnih organizama život se održao, reklo bi se, usprkos brojnim opasnim zamkama. Evolutivno, život je fleksibilan, mijenja se u skladu s promjenama interakcije genotipa i čimbenika okoliša. Baš ta prilagodljivost do koje organizmi dolaze putem prirodnog odabira usmjerava njihovu evoluciju. Raznovrsnost potomstva, s novim kombinacijama gena, omogućava prirodni odabir, a raznovrsnost se najuspješnije ostvaruje putem spolnog razmnožavanja.

Kada se u evoluciji živog svijeta javlja spolnost? Kojega su spola bile prve žive strukture? Zašto postoje spolovi kad se potomstvo može stvarati i nespolnim putem? Ovo su pitanja na koja trebaju slijediti valјani odgovori. Jednostanični organizmi još nemaju morfološka spolna obilježja. U njih se još ne može govoriti o muškom, odnosno, ženskom spolu. Razmnožavaju se običnom diobom. Od jedne stanice nastaju dvije, od dvije četiri i tako dalje. Svi su potomci međusobno genetički identični. Vremenom u nasljedstvu potomstva ipak nastaju razlike jer se javljaju bilo spontane bilo inducirane mutacije. Tako će u nekoj populaciji biti jedinke koje se razlikuju u nekim svojstvima. Poželјnoj raznovrsnosti doprinijet će međusobna kombinacija

gena, odnosno dijelova molekula DNA. To se može ostvarivati međusobnim sparivanjem. Postoji nekoliko načina spolnog razmnožavanja u jednostaničnih organizma (izogamija, anizogamija, konjugacija). Na toj se točki evolutivnog razvoja može govoriti o početku spolnosti. Dvije se istovrsne stanice sljube i izmijene dijelove nasljednoga materijala. Tek kad jedna stanica k svom nasljednom materijalu samo prima, a k njoj priljubljena stanica samo daje nasljedni materijal, možemo govoriti o spolnosti. U konjugaciji dviju papučica obje daju i obje primaju. U tom je slučaju stanica koja prima predstavnik ženskog spola (♀), a koja daje muškog (♂). Zapravo, to je stvar konvencije, jer moglo bi biti i obrnuto.

U živom svijetu razvila su se poglavito dva načina razmnožavanja - nespolno i spolno. No, ne isključivo, jer se između ova dva načina razvilo i nekoliko međusobnih kombinacija. U nekih, napose parazitskih vrsta izmjenjuje se nespolni sa spolnim načinom razmnožavanja. Kao što smo kazali, suština je razmnožavanja u prenošenju gena s roditelja na potomstvo. Pritom se u nespolnom razmnožavanju ne događa promjena genskog sastava (genoma). Moguća je putem mutacija, nema kombinacije genskog materijala. Bilo da se od matičnog organizma odvaja jedna stanica ili grupa stanica njihov je genetički sadržaj isti pa će i novi organizam koji se iz njih razvija biti potpuno isti. Kaže se da je nastao klon. Kloniranje nije rijetko u prirodi, a sve se više prakticira u poljodjelskoj proizvodnji i brojnim pokusima po laboratorijima.

Kod spolnog razmnožavanja sudjeluju ženski i muški spol. Ženski spol daje jajnu stanicu s jednostrukim brojem gena, a muški spermalnu s isto tako jednostrukim brojem gena. Oplođena jajna stanica dobiva novu kombinaciju gena, ona je po svom potencijalu totipotentna, što znači da se od nje mogu daljnjim diobama stvarati specijalizirane stanice tog organizma. Partenogeneza je oblik spolnog (jednospolnog) razmnožavanja, ali bez oplodnje. U novijim prikazima zauzima se stav da je to nepotpuno spolno razmnožavanje, iako ima autora koji govore i o aseksualnom razmnožavanju.

Sa stajališta genetike razlika između nespolnog i spolnog razmnožavanja može se prikazati na sljedeći način: Uzmimo radi jednostavnosti u razmatranje nasljeđivanje samo jednoga svojstva koje determinira jedan gen. Gen ima dva alela. Neka je dominantni alel označen s "A", a drugi s "a" kao recesivan, onda je za to svojstvo genska oznaka "Aa". Kod nespolnog razmnožavanja svi će potomci za to svojstvo biti "Aa", dakle identični. Kod spolnog razmnožavanja spolovi stvaraju redukcijskom diobom spolne stanice gamete s jednostrukim brojem alela. Tako će ženski spol imati dvije vrste gameta. Jedne će imati alel "A", a druge "a". To isto imat će i muški spol. Pri oplodnji tj. spajanju gameta moguće su tri kombinacije alela u novi gen potomka i to: "AA", "Aa" i "aa". Iz ovoga je vidljivo da spolno razmnožavanje omogućuje razmjenu i rekombinaciju genetičkog materijala i time raznovrsnost potomstva koje nema u nespolnom razmnožavanju.

Prirodni odabir daje prednost jedinkama s osobinama koje su najviše u skladu s uvjetima okoliša, a to su one koje su dobile adekvatno nasljeđe. U dugom vremenu životni se uvjeti mijenjaju pa se i organizmi moraju prilagođavati tim promjenama. Spolno razmnožavanje razvilo se kao zahtjev dugotrajne evolucije. Prema nekim teorijama, nesporno razmnožavanje javlja se prije spolnog.

Nesporno razmnožavanje prati nepromjenjive životne uvjete u kraćem vremenu. To se može dokumentirati primjerima parazitskih vrsta čiji se životni ciklusi odvijaju u konstantnim uvjetima.

Što se energetske strane tiče, može se kazati da je nesporni način razmnožavanja znatno racionalniji od spolnog. Od početne stanice odvaja se nova stanica, obično dijeljenje, ili se početna stanica ili višestanični organizam segmentira te se od svakoga segmenta razvija novi organizam. Tu se racionalnost ogleda u smrti bez ostatka leša. Pupanjem matični organizam stvara pupove koji se odvajaju i nastavljaju samostalan život. Razvoj novih organizama iz neoplođenih jajnih stanica ili partenogeneza također je vid nespornog razmnožavanja, odnosno, prema drugim teorijama, nepotpuno spolno razmnožavanje. Primjerice, muški spol pčele – trutovi razvijaju se iz neoplođenih jaja matice. U svim se ovim primjerima ogleda maksimalno štedljivo gospodarenje raspoloživim energetskim resursima. Energetski uloži u spolnom su razmnožavanju znatno veći. U to bi spadao razvoj i održavanje spolnog sustava, produkcija spolnih stanica i pratećih hormona, razvoj sekundarnih spolnih oznaka, pronalaženje spolnog partnera u slobodnoj prirodi, energetski trošci pri sparivanju, skrb za potomstvo. U prakticiranju spolne reprodukcije organizmi se izlažu brojnim opasnostima. Složeni sustav spolnih organa izložen je virusnim i bakterijskim bolestima, a pri samome parenju organizmi su laka meta grabežljivaca. Iz ovoga slijedi da spolno razmnožavanje iziskuje mnogo više energije, ali se unatoč tomu razvilo kao dominantan oblik, poglavito jer osigurava genetsku, morfološku, fiziološku i etiološku raznolikost. Bez toga evolucija živog svijeta ne bi bila moguća. Teško je zamisliti svijet s nepromjenjivim klonovima biljnih i životinjskih vrsta uz promjenljive geološke i klimatske uvjete. Energetsko ulaganje cijena je koju život plaća za djelovanje evolucije, za prosljeđivanje genetičke informacije, za održanje života.

Gdje se na evolucijskom stablu života može označiti mjesto postanka spola? Iz dosadašnjega obrazlaganja slijedi da to mjesto ne će biti fiksno, već rastezljivo. Općenito, većina je pojava u evoluciji više postepena nego trenutačna, pa tako i pojava spola. Evolucija se odvija u paralelnim „evolucijskim cijevima“ u kojima nema „komunikacije“ u smislu izmjene genetskog materijala. Ako pod spolnošću razumijevamo spajanje dvaju individualnih organizama u svrhu izmjene dijela genetičkog materijala, onda možemo kazati da je spolnost konstanta živoga svijeta. Bakterije i ostali

jednostanični organizmi, pored nespornog razmnožavanja običnom diobom, često se spajaju s izmjenom genetičkog materijala.

Istraživači instituta *Salk institute for Biological Studies*, usredotočili su pozornost na filogenetski niz prijelaza od jednostaničnih organizama k višestaničnim. Taj postepeni prijelaz ilustrira slijed od jednostanične alge, primjerice *Chlamydomonas reinhardtii*, do *Gonium sociale* koji ima između 4 i 16 stanica, preko *Pandorine morum* i *Eudorine elegans* s više rahlo povezanih stanica, do *Volvox carteri* kod kojega su stanice međusobno prisnije povezane pa se ubraja u višestanične organizme. Znanstvenici spomenutog instituta primijetili su kako se genetska regija u genomu *Volvox* koja određuje spol znatno promijenila u odnosu na istu regiju *Chlamydomonasa*. Promjena se očituje u širenju regije praćene novim genima koji preuzimaju funkciju proizvodnje ženskih i muških spolnih stanica – gameta. U jednostaničnim organizma, kakav je primjerice *Chlamydomonas*, gamete se ne razlikuju međusobno – ne može se govoriti o ženskim i muškim gametama. U višestaničnog *Volvox* jasno se razlikuju ženske gamete – jaja, od muških gameta – spermija. *Volvox* je na proširenom lokusu dobio niz novih gena čija je ekspresija došla pod kontrolu ženskih i muških diferencijalnih programa. Ti pridošli geni izvorno nisu imali nikakve veze sa spolnošću, ali kad su ugrađeni u lokuse za parenja počeli su djelovati u reproduktivnom ciklusu. Istraživači su u genomu *Volvox* utvrdili lokus za parenje nazvan MAT3 koji ima značajnu ulogu u određivanju spola. U ljudskom genomu taj MAT3 je supresor tumora retinoblastoma, kontrolira stanične diobe i često može mutirati. Istu ulogu MAT3 vrši kod biljaka i životinja. *Volvox* se pokazao kao vrlo prikladan model za rješavanje pitanja podrijetla i evolucije spola, ali i pitanja čestih mutacija MAT3 u stanice raka.

Volvox stvara ženske i muške gamete pa je u pogledu spolnosti dvospolac ili hermafrodit. Evolucija je taj oblik razvila poglavito kod biljaka s inačicama samooplodnje i stranooplodnje. U životinjskom svijetu hermafroditizam se razvio kod plošnjaka i puževa, dvospolnost je u manjoj mjeri prisutna kod mnogih skupina organizama: spužve (*Spongia*), rebraši (*Ctenophora*), rakovi vitičari (*Cirripedia*), četinočeljasti (*Chaetognatha*) i mnogi drugi s prilagodbama na stranooplodnju. Stranooplodnja podrazumijeva parenje dvaju individualnih organizama bilo da su dvospolci ili jednospolci. Kod većine životinja tijekom evolucije razvila se diklinija – razlučenost spolova. Individue ženskog (♀) i muškog (♂) spola genetički određene spolnim kromosomima, (u ljudi najčešće XX žena i XY muškarac) činom parenja mogu stvarati potomstvo. Evolucijski se ustalio oblik dvaju spolova – žensko i muško, iako, ali rijetko, u nekih gljiva možemo govoriti o više spolova. Izgleda da je postojanje dvaju spolova energetski najekonomičniji način stvaranja raznovrsnog potomstva.

Spolnost, ili, modernije, seksualnost u ljudi važna je sastavnica ljudskog života. Svi su sisavci pa tako i ljudi odvojena spola. Ponekad se u populaciji pojave dvospolni potomci kao i potomci nedefiniranog spola. Neki ljudi takve pojave nastoje otkloniti operativnim zahvatima što se onda zove „promjena spola“. No, često operativna rekonstrukcija genitalnih organa nije u suglasju s genetičkom determinacijom spola. Često se pogrešno misli da je jedina funkcija spolnosti reprodukcija, to jest stvaranje potomaka. Uz tu osnovnu biološku zadaću, spolnost u mnogih organizama, napose u ljudi, ima nezamjenjivu psihološko-socijalnu zadaću. Strategija udvaranja, osvajanja sa svim mogućim nijansama uvelike je doprinijela razvoju mozga i kognitivnih sposobnosti ljudi, te njihovoj socijalizaciji. Ljudi (i mnogi organizmi) najčešće stupaju u monogamne brakove, no ni poligamija, bilo ona 'službena' ili potajna, nije rijetka. Rjeđa je poliandrija (poliandrija – žena ima više muškaraca), koja se sreće kod himalajskih zajednica. Oblik bračnih zajednica uvjetovan je tradicijom, religijom, sociološki, ekonomski, no u svim slučajevima podrazumijeva prirodni spoj jedinki ženskog i muškog spola. Heteroseksualnost osigurava stvaranje i podizanje potomstva, prijenos gena u sljedeću generaciju, raznovrsnost, prirodnu selekciju, ukratko – evolutivni razvoj vrste. Baš zbog tih razloga taj se oblik reprodukcije kao dominantan razvio u živom svijetu, unatoč činjenici što je energetski zahtjevniji od nespolnih oblika. Istospolne asocijacije u ljudi i homoseksualni brakovi, sterilni su. U ljudi se homoseksualnost iskazuje kao pojava osjećaja i želja prema osobi istog spola. Ti su porivi različitog intenziteta. Kreću se od isključivih homoseksualaca, preko polovičnih pa do njihovih simpatizera.

Danas, u razvijenim društvima zapada 40% ljudi nema djece; to je njihov izbor i pravo. Geoffrey Miller navodi da homoseksualno ponašanje jednostavno nije osobito važno u evoluciji: „Nijedan jedini predak bilo kojeg živućeg čovjeka nije bio isključivo homoseksualan. Svaki živi stvor koji bi bio isključivo homoseksualan ne bi ostavio za sobom ni jednog potomka, pa ne bi postao ničiji predak. Među hominidima je moglo biti mnogo homoseksualaca i lezbijki, ali ako su u tome bili isključivi, oni nisu naši predci i mi nismo njihovi potomci. Činjenica da je prisutno kod jednog ili dva posto modernih ljudi prava je evolucijska zagonetka“.

Literatura

<http://znanost.geek.hr/clanak/otkrivena-tajna-iza-evolucije-razlicith-spolova/>

Kalafatić, M.: *Osnove biološke evolucije*, Hrvatsko prirodoslovno društvo, časopis Priroda, Zagreb 1998.

Lane, N.: *Uspon života*, Planetopija, Zagreb 2012.

Miller, G.: *Razum i razmnožavanje*, Algoritam, Zagreb 2007,

Pavletić, Z.: *Životopis života*, Školske novine, Zagreb 1984.

Ridley, M.: *Evolucija*, Jesenski i Turk, Zagreb 2004.

Wilson, E. O.: *O ljudskoj prirodi*, Jesenski i Turk, Zagreb 2007.

Appearance of Sex in the Evolution of Living Organisms

Abstract

The paper deals with the problem of the appearance of life on Earth, the mechanisms of development of multicellular organisms from a single fertilized cell, and the appearance of sex in evolution. A review of hypotheses on the appearance of life on Earth is given: the creation hypothesis, spontaneous generation, cosmozoic hypothesis, and abiogenesis. In the second part the question of sex and human sexuality is dealt with.

Key words

The beginning of life, evolution, sex and sexuality
