

Biologická evolúcia

Doc. RNDr. Oľga Erdelská, DrSc.

Botanický ústav SAV, Bratislava

Všeobecný princíp evolúcie

Žijeme vo vesmíre s úzko vymedzenými parametrami. Súhrn podmienok a zákonov, ktorý platí od počiatku vesmíru (prvých zlomkov sekúnd po veľkom tresku) umožnil postupne vznik atómov, molekúl a makromolekúl ako aj vznik živej bunky a človeka. Biologická evolúcia zákonite vzniká a súvisí s evolúciou celého vesmíru. Organizmy, ktoré existovali v minulosti a ktoré existujú dnes boli a sú závislé na evolúcii našej planéty. Na rozdiel od evolúcie neživej prírody, ktorú možno považovať za zákonite prebiehajúcu zmenu, biologická evolúcia si svoje kroky „pamätá, zapisuje, hodnotí a vyberá.“ Na základe toho buduje kvalitatívne nové štruktúry a funkcie.

Samoorganizácia atómov predstavujúcich obdivuhodne priestorovo a energeticky komplikované hmotné častice a ich spontánne zlučovanie do molekúl a makromolekúl na základe voľných väzieb v meniacich sa podmienkach (nadväzujúcich na rozpínanie a ochladzovanie hmoty) sa stala vedecky pochopiteľnou skutočnosťou. Postupne sa princíp samoorganizácie hmoty rozšíril aj na porozumenie vzniku živých systémov. Inak povedané ide o to, že za podmienok, ktoré vznikali zákonite v istom čase a istej postupnosti vývoja hmoty vo vesmíre a na našej Zemi, doslovne muselo postupne dôjsť nielen k vzniku atómov, molekúl a makromolekúl ale aj živej bunky a napokon aj k vývoju človeka.

Princíp samoorganizácie či spontánnej organizácie sa postupne vynáral nielen z výsledkov fyzikálneho a chemického výskumu, ale aj z biologického výskumu. Jedným z prvých priekopníkov tohto pohľadu bol paleontológ a kresťanský evolucionista Teilhard de Chardin (1881 – 1955). Vo svojom diele vyslovil názor, že „Život nie je bizarná anomália, ktoré tu a tam vykvitne na hmote, ale privilegovaný extrém univerzálnej kozmickej vlastnosti. Nie je to povrchná náhodná príhoda, naopak pod tlakom sa derie na povrch... Akonáhle sa raz objaví, nevynechá ani jedinú možnosť ani jediný prostriedok ako dosiahnuť krajné hodnoty všetkého, čo sa dosiahnuť dá, či už smerom navonok vo forme komplexnosti alebo vo vnútri vo forme vedomia“. Teilhardove názory publikované vo viacerých vedeckých a filozoficko-teologických pojednaniach odzrkadľujú nielen skutočnosť, že vývoj sa uberá vpred samoorganizáciou, ale aj skutočnosť, že sa uberá vpred správnym smerom. Vyjadruje to jeho názor, že evolúcia je vo svojej podstate ortogenezou: „Ortogenezou – rozumiem základný prúd, ktorého účinky môžeme pozorovať v prechode kozmickej látky ku korpuskulárnym stavom

stále komplexnejším čo do hmotného usporiadania a stále viac zvnútorneným po stránke psychickej.“ (1993). Teilhard pritom nevyklučuje vznik aj vývojovo neperspektívnych ciest, procesov a útvarov. Tie však nie sú tvorivou súčasťou základného vývojového prúdu smerujúceho až k bodu Omega, v ktorom sa všetko zlúči v Kristovi.

Nositelka Nobelovej ceny za rok 1983 Barbara Mc Clintock (1984), autorka poznatku o mobilných elementoch genómu prišla k uzáveru, ktorý na úrovni buniek veľmi dobre korešponduje s predstavou o samoorganizácii hmoty správnym spôsobom. V príhovore pri prevzatí Nobelovej ceny charakterizovala svoje názory takto: „Schopnosť buniek vnímať zlomené konce chromozómov, zamerať ich k sebe bez ohľadu na vzdialenosť a potom ich spojiť tak, že sú príslušné zlomy vzájomne správne orientované – to je zvláštny prípad vnímavosti (senzitivity) buniek ku všetkému, čo sa v nich deje. Robia múdre rozhodnutia a jednajú podľa nich. Cieľom pre budúcnosť bude určiť rozsah znalostí, ktoré má bunka o sebe samej a ako ich využíva, keď je k tomu vyvolaná.“

Podľa prác vedúceho popredného nemeckého vedeckého laboratória Manfréda Eigena (1971) vznikali z vysokomolekulárnych reťazcov proteínov a nukleových kyselín prvé živé systémy samoorganizáciou. V mnohých pokusoch tohto aj iných súčasných laboratórií sa dokazuje, že mokro- a supramolekulárne štruktúry biotických systémov spontánne tvoria správne, t.j. biologicky aktívne štruktúry. Táto predstava nadväzuje aj na spontánnu tvorbu atómov a molekúl v skorších fázach vývoja zeme. Súčasne je v súlade aj s fyzikálnym Prigogine-Glansdorffovým princípom, ktorý predpokladá spontánne narastanie komplexity a informácie na základe fluktuácií pri nerovnovážnych stavoch v termodynamicky otvorených prebiotických systémoch (Glansdorff, Prigogine, 1971).

V súlade s vyššie uvedeným názorom Bak (1993) uvádza, že „Komplexné chovanie v prírode odráža tendenciu veľkých, z mnohých súčastí zložených systémov vyvíjať sa do nestabilného „kritického“ stavu..., v ktorom poruchy môžu viesť k udalostiam rôznej veľkosti... lavínam. Väčšina zmien prebieha skôr katastrofickým spôsobom, než aby sa uberala hladkou postupnou cestou. Tento stav je výsledkom dynamických interakcií medzi jednotlivými súčastami systému: kritický stav sa dosiahne samoorganizáciou. Kritično, ktoré sa samo organizuje, je zatiaľ jediným známym všeobecným mechanizmom ako vytvorí zložitý systém.“

Štúdium biologickej evolúcie v súčasnosti vychádza z tohto všeobecného princípu a skúma mechanizmy, ktoré viedli k rozrôzneniu prvých foriem života v diverzitu dnes existujúcich foriem mikroorganizmov, rastlín, živočíchov, ako aj človeka.

Charles Darwin a biologická evolúcia

Pri charakteristike biologickej evolúcie nie je možné obísť Charlesa Darwina, ktorý sa pokladá za otca vývojovej teórie. Treba však pripomenúť, že nebol jej prvým zástancam. Myšlienkou evolúcie sa zaoberali už niektorí starovekí myslitelia (Plinius, Aristoteles) a evolúciu v istej forme pozorovali a uznávali mnohí jeho predchodcovia (Buffon, Cuvier, Bonnet, Leibnitz, St. Hilaire, Owen, Erasmus Darwin, Spencer, De Candolle, Lamarck a iní). Darwinovi sa však podarilo ucelenou koncepciou zabezpečiť pre vývojovú teóriu takú štartovaciu pozíciu pre ďalší výskum, že je dnes predstava biologického vývoja v nadväznosti na vývoj vo vesmíre vo vedeckom svete nespochybniteľná.

Osobnosť Charlesa Darwina sa však u mnohých ľudí, najmä veriacich, spája s predstavami o akomsi bojovom ateizme zavrhujúcom nielen stvorenie, ale aj samotnú existenciu Boha. Príčinou toho je nielen dlhoročné ideologické zneužívanie Darwinovej teórie materialistami ale aj nepochopenie Darwinovej pozície zo strany veriacich ľudí. Triezvy pohľad na život, dielo a náboženské predstavy Charlesa Darwina poukazujú na skutočnosť, že bol výnimočnou vedeckou osobnosťou, ktorá si zaslúži uznanie nielen pre cenné vedecké výsledky v geológii, zoológii, botanike a evolučnej biológii ale aj pre poctivé hľadanie pravdy. Darwinovi sa právom pripisuje množstvo originálnych a cenných vedeckých poznatkov, ktoré sú dodnes platné a uznávané. Celkove napísal 17 kníh a veľké množstvo kratších článkov, pojednaní a esejí. Verím, že nadišiel čas, aby sme bez predsudkov a bez skresľovania faktov pristupovali k Darwinovi ako človeku a vedcovi.

Počas štúdia v Cambridge získal Darwin aj základy teologického a filozofického vzdelania, ale venoval sa hlavne prírodovedným vedám. V rokoch 1831 - 1836 sa plavil na lodi Beagle okolo sveta. Cieľom výpravy bol geologický, geografický, biologický a etnografický výskum. Už počas cesty okolo sveta a po návrate z nej porovnával živočíchy a rastliny na rôznych kontinentoch a dospel k tomu, že

- organizmy na Zemi vznikli vývojom od jednoduchších k zložitejším,
- hnacou silou vývoja je prírodný výber (meniace sa abiotické a biotické podmienky na zemi),
- prírodný výber uprednostní a zachová z variabilného potomstva organizmy, ktoré sú prostrediu najlepšie prispôsobené a v kontexte s tým sa aj najrýchlejšie rozmnožujú,
- nedostatočne prispôsobené organizmy sú postupne odsúdené k vyhynutiu.

Písal o týchto fenoménoch najprv kratšie state a vedecké pojednania. V roku 1856 napísal svoje hlavné dielo „O pôvode druhov...“ Kniha bola preložená do všetkých európskych a neskôr aj väčšiny mimoeurópskych jazykov. Po roku 1856 Darwin pracoval na diele „Pôvod človeka a pohlavný výber“, ktoré publikoval v roku 1871.

Darwinova teória vyvolala diskusiu a odpor, pretože napadla filozofické základy vtedajšej prírodovedy:

- spochybnila stvorenie každého druhu rastlín a živočíchov separátnym (zvláštnym) stvoriteľským aktom,
- namiesto neho navrhla možnosť a cesty vzniku zložitejších foriem života z jednoduchších vývojom,
- začlenila aj človeka po biologickej stránke do vývojovej rady živočíchov.

Sám Darwin však považoval svoju teóriu za zlučiteľnú so stvorením. V diele „O pôvode druhov.“ píše: *„Je to skutočne nádherný pohľad sledovať, ako Stvoriteľ vdýchol zárodok života iba jednej alebo malému počtu foriem... a že sa z jednoduchého počiatku vyvinul a stále ešte vyvíja nekonečný rad najkrajších a najčarovnejších foriem“*. Na inom mieste píše: *„O koľko presahuje idea Boha súčasné predstavy, podľa ktorých Boh, porušiac zákony prírody, ktoré sám ustanovil, stvoril zvlášť nosorožca na Jáve a zvlášť na Sumatre. Veď je to pod dôstojnosť toho, ktorý povedal ‚bud’ svetlo‘ a bolo svetlo.“*

Nábožensky sa Darwin počas svojho života duchovne presúval od takmer totálnej ortodoxie vo svojej mladosti, cez deistickú heterodoxiu po absolvovanie cesty na Beagle až k takmer kompletnému agnosticismu v rokoch po uverejnení diela „O pôvode...“ teda asi od 48 rokov svojho života (Mandelbaum 1958).

Vývin Darwinových názorov od obdivu k stvoriteľskému dielu, hľbokej úcty k Stvoriteľovi a jeho aktivite, zbavenej nánosov primitivistického chápania až k vyjadreniam, v ktorých si uvedomuje svoju neschopnosť uviesť do súladu to, čo pozná zo svojich pozorovaní, s tým, čo predkladá teológia a náboženstvo, je pre nás azda hlbokým sklamaním. Ak si však predstavíme konkrétnu situáciu, v ktorej Darwin musel dlhé roky čeliť iba útokom a nepochopeniu zo strany predstaviteľov kresťanských vedcov a náboženských predstaviteľov, zatiaľ čo materialisti a ateisti jeho vedecké výsledky okamžite ocenili a vzápätí aj ideologicky využili, mali by sme svoje sklamanie zameniť aspoň za porozumenie a svoj postoj k nemu prehodnotiť.

Vývojová teória po Darwinovi

V dôsledku ďalších vedeckých objavov v 19. aj v 20. storočí sa postupne niektoré Darwinove predstavy rozšírili alebo pozmenili, prepracovali. Tak v prvej polovici dvadsiateho storočia *neodarvinisti* spojili poznatky Darwina s geniálnymi poznatkami Mendela a mendelistov v oblasti genetiky. Hoci *poznatky Johana Gregora Mendela* boli v čase formovania sa darvinizmu už známe, ich publicita bola taká malá, že sa o nich Darwin nedozvedel. Až po ich znovuobjavení v roku 1900 (zásluhou E. Tschermaka, H. de Vriesa a C. Corrensa) bolo možné ich dôsledky zohľadniť v mechanizmoch vývojových koncepcií. Na základe tohto spojenia sa neskôr postupne zistilo, že nové alely génov vznikajú genetickou zmenou – mutáciou. Vzniknuté zmeny sú zvyčajne (aj keď nie vždy) recesívne. Znamená to, že novovzniknutá

odchýlka sa neprejaví v stavbe tela alebo v niektorej funkcii organizmu. V budúcnosti však, ak sa výrazne zmenia životné podmienky organizmu, môže sa narušiť rovnováha selekčnej výhody a recesívna alela sa prejaví morfológicky alebo funkčne. K prácam týmto smerom možno priradiť aj neskôr sformulovanú *neutrálnu teóriu evolúcie*, ktorá hovorí o istom množstve mutácií, ktoré pravidelne vznikajú počas vývoja v rôznych lokusoch genómu, ale prejavia sa iba v extrémnych alebo výrazne zmenených podmienkach života (Kimura, 1983).

V smere nazvanom *syntetická teória evolúcie*, ktorú začali rozpracúvať v rokoch 1929 – 1939 najmä S. Wright, T. Dobzhansky, E. Mayr, sa vývojová teória obohatila o mnohé nové poznatky z viacerých biologických disciplín ale najmä z populačnej biológie. Obohatila poznanie evolúcie na základe zmien frekvencie alel v populáciách. Zvýraznila skutočnosť, že vývojová zmena má význam iba vtedy, keď sa rozmoží v celej populácii. Pre fylogenetický vývoj nie je najdôležitejšie prežitie indivídua ale podiel, ktorým jedinec prispieva ku genetickému zloženiu budúcich generácií.

Počas histórie evolučnej teórie sa sporadicky stretávame so snahou vysvetlovať vývojové zmeny podľa Darwinovho predchodcu *Lamarcka* (1744 – 1829), ktorý presadzoval dedičnosť získaných zmien. Ak sú pre organizmus isté zmeny potrebné, môžu sa dedične zafixovať. Tak napr. dlhý krk žirafy vznikol na základe jej potreby dosiahnuť vyššie položené olistené výhonky. Predstavy Lamarkizmu vo svojej pôvodnej podobe sa dnes považujú za primitívne, ale občas sa objavujú ako tzv. *neolamarkizmus* v podobách, ktoré sú pre mnohých vedcov veľmi príťažlivé. Neolamarkizmus pripúšťa, že vo vysoko stresových podmienkach môžu byť prostredím *vynútené* alebo indukované *mutácie* práve na tých miestach (v tých lokusoch) genómu, ktoré sú za vznik zmien v metabolizme alebo v štruktúre organizmu zodpovedné. Namietajú sa však, že môže ísť o mutácie prítomné v genóme v skrytej (recesívnej) forme už pred stresom, a potom vyvolané k expresii stresovými podmienkami, alebo o celkove zvýšenú tvorbu mutácií v rôznych lokusoch genómu, ktorá mohla zasiahnuť aj lokus zodpovedný za zmenu umožňujúcu prežitie.

Stručný prehľad argumentov v prospech biologickej evolúcie

Geológia a paleontológia zaznamenali postupné zmeny počas vývoja zeme prejavujúce sa pravidelným výskytom fosílií v geologických vrstvách. V najhlbšie položených vrstvách zemskej kôry sa nachádzajú stopy najprimitívnejších organizmov, smerom k povrchu postupne fosílie vývojovo pokročilejších organizmov.

Anatómia, morfológia a embryológia zaznamenali odstupňovanú podobnosť v stavbe tela rastlín a v stavbe tela živočíchov v súvislosti s ich vývojovým stupňom.

Etológia pozorovala podobnosť správania sa medzi druhmi živočíchov, napr. podobnosť v stavbe hniezda alebo pri pohyboch v hrách spojených s párením, ktoré mali spoločných predkov pred rozchodom kontinentov.

Molekulárna biológia a genetika svojimi poznatkami o jednotnom genetickom kóde – jednotnom mechanizme prenosu genetickej informácie od molekúl DNA, cez RNA a proteíny až k miestam funkčného prejavu expresie génov zvýraznili súvislosť a jednotu celého živého sveta.

Fyziológia a biochémia zaznamenali totožnosť alebo podstatnú podobnosť v biochemickom zložení biopolymérov, enzýmov a základných, životne dôležitých procesov všetkých organizmov.

Počiatky biologickej evolúcie

Súčasná biológia považuje za jeden zo svojich základných princípov skutočnosť, že v dlhodobom procese evolúcie vznikali a vznikajú z jednoduchších a primitívnejších organizmov zložitejšie, a tým aj vývojovo pokročilejšie bytosti, vrátane človeka. Tento proces neprebíha iba v rámci druhov, ale organizmy sú si navzájom príbuzné aj prekračujúc druhy. V konečnom dôsledku to znamená, že všetky dnes žijúce aj vyhynuté organizmy vznikli s najväčšou pravdepodobnosťou vývojom z jedného pôvodného prokaryotického praorganizmu – hypertermofilného archeóna, podobného dnešným hypertermofilným baktériám (ich životné optimum leží niekoľko stupňov nad bodom varu vody) žijúcim v okolí „čiernych komínov“ na niektorých miestach oceánov, v hĺbke 2 – 5 km (Krajčovič, 1999).

Kedy a ako sa to stalo ?

Prvé živé bytosti sa objavili na našej planéte asi pred 3,5 miliardami rokov. Najrozšírenejší vedecký názor hovorí o tom, že v morskej prapoličke vznikali malé organické molekuly ako cukry, aminokyseliny a ribonukleotidy, z ktorých niektoré sa zlučovali do väčších molekúl – polymérov. Medzi nimi vznikla aj molekula ribonukleovej kyseliny – RNA, ako polymér ribonukleotidov. Bol to vo vývoji veľmi dôležitý krok, pretože RNA mala zvláštne „schopnosti“. Obsah jej prekurzorov – ribonukleotidov sa totiž stal v istom objeme prapoličky limitujúcim. Vtedy molekuly RNA získali kapacitu urýchľovať syntézu vlastných molekúl a riadiť syntézu iných molekúl, najmä bielkovín (Maurel, 1992). Na vznik RNA nadviazal vývin polopriepustnej *membrány* okolo jej molekuly. Tá oddelila produkty syntézy molekuly RNA od okolia a umožnila syntézu nových molekúl, ich polymerizáciu a zlučovanie. Zabezpečovala aj komunikáciu s prostredím. V dôsledku toho vznikla prvá bunka. RNA v nej vykonávala funkciu riadiacu, katalytickú aj informačnú. Po nadobudnutí limitujúceho objemu sa bunka

rozdelila. Informácia („skúsenosť“ s úspešným priebehom syntézy) sa prenášala delením bunky z materskej do dcérskych buniek.

Proteíny sa stali kľúčovými produktmi prenášanej informácie. Ony sú hlavnými aktérmi, umožňujúcimi príjem vonkajších signálov (stimulov) a uskutočňujúcimi väčšinu aktivít spojených so životom bunky. Neskôr prebehlo uloženie biologickej informácie do molekúl kyseliny deoxyribonukleovej – DNA, ktoré sú chemicky stabilnejšie ako molekuly RNA.

Bunky postupne vyvinuli kapacity na príjem molekúl syntetizovaných iným organizmom a využívať ich ako zdroj biosynthetickej energie alebo rozkladať ich na menšie prekursor. Všetky tieto pochody prebiehajú oveľa rýchlejšie, keď sú sprostredkované alebo katalyzované proteínmi, ktoré sa nazývajú enzýmy. Niektoré enzýmy nútia molekuly, aby vytvárali chemické väzby, alebo aby sa spolu spájali do polymérov. Iné enzýmy nútia molekuly aby menili svoj tvar a vlastnosti. Množstvo biochemických reakcií tak prebieha neuveriteľne rýchlo.

Veľmi dôležitý krok vo vývoji života bol vznik fotosyntézy – schopnosti premieňať slnečnú energiu na chemické väzby. Na fotosyntéze závisí život organizmov. Umožňuje totiž výživu a dýchanie všetkých aerobných organizmov. Kým na Zemi nebol kyslík, život musel fungovať anaeróbne. Keď sa činnosťou prokaryotických zelených siníc vytvoril kyslík, anaerobné organizmy boli potlačené a na Zemi prevládlo celkom nové spektrum organizmov.

Od prokaryotických k eukaryotickým bunkám a mnohobunkovým bytostiam

Prvé organizmy boli prokaryotické. Mali primitívnu stavbu buniek, bez morfológicky odlišiteľného jadra. Evolučné procesy však pokračovali na úrovni štruktúrnej i funkčnej. Mnohobunkové organizmy sa vyvinuli na základe eukaryotických buniek, ktoré mali už dobre definované jadro a vo vnútri bunky isté celky (kompartmenty) oddelené od seba membránami. Tie vykonávali v bunke rôzne funkcie.

Evolúcia eukaryotickej z prokaryotickej bunky potrebovala na svoje dovršenie asi dve miliardy rokov (od 1 miliardy po 3 – 3,2 miliardy po vzniku Zeme) a dôležitú rolu pri nej zohrala symbiogenéza – totiž spájanie sa prokaryotických organizmov do vyšších funkčných celkov. Niektoré organely eukaryotických buniek boli pôvodne samostatnými prokaryotickými bunkami. Mitochondrie eukaryotických buniek boli pôvodne samostatnými baktériami a rastlinná bunka obsahuje aj plastidy, ktoré boli pôvodne primitívnymi sinicami. Eukaryotická bunka vznikla teda symbiotickým spojením viacerých prokaryotických buniek. K rozlíšeniu evolučnej línie na vývoj rastlín, húb a živočíchov nastalo v čase vývoja eukaryotickej bunky. Evolúcia mnohobunkových organizmov z jednobunkových priniesla postupnú špecializáciu ple-

tív (u rastlín) a tkanív (u živočíchov) súvisiacu so zdokonaľovaním a pribúdaním funkcií živých bytostí.

Vývoj mnohobunkových organizmov z eukaryotických buniek prebieha v posledných 1,5 – 1,8 miliárdach rokov. Pritom najväčší rozvoj súčasných rastlín aj živočíchov možno zaznamenať až od kambria (prvohory), ktoré sa začalo asi pred 600 miliónmi rokov. Prvé suchozemské rastliny sa na zemi objavili pre 400 miliónmi rokov a po búrlivom vývoji nahosemenných rastlín sa pred 65 miliónmi rokov objavujú prvé krytosemenné rastliny. Pred 495 miliónmi rokov vznikajú prvé bezčelustné prastavovce, neskôr prvé ryby s čelustami, potom obojživelníky, plazy, cicavce, vtáky, pred 12 miliónmi rokov začína vývoj primátov a pred 1,9 miliónmi rokov sa objavuje rod Homo.

Biologická pamäť

Biologickú evolúciu odlišuje od evolúcie v neživej prírode fakt, že je obdarená pamäťou, ktorá je uložená v DNA a využíva kód na určovanie sekvencie aminokyselín a cez charakter proteínových molekúl riadi vývin a funkciu organizmu. Každý úsek DNA, ktorý kóduje proteín sa volá gén a súbor všetkých génov, potrebných pre istý organizmus je genóm. Ľudský genóm obsahuje o čosi viac ako 30 000 génov. Aby pamäť fungovala, celý genóm sa musí skopírovať (replikácia DNA) a preniesť do ďalšej generácie buniek.

Základnou vlastnosťou replikácie DNA je presnosť, ktorá zabezpečuje vznik celkom rovnakej kópie. To je základ genetickej stability jednotlivých organizmov a ich druhov. Prípadné chyby vznikajúce v tomto procese sa ešte v opravných mechanizmoch opravujú alebo eliminujú. Keby to tak nebolo, stavba tela aj jednotlivé funkcie buniek by sa vymkli akejkolvek kontrole a život by končil kolapsom.

Ale molekula DNA sa predsa môže aj zmeniť. Zmenu nazývame *mutáciou*. Tento pochod môžeme pripodobniť ľudskej práci s počítačom. Pôvodný dokument môžeme prepracovať a zmeniť. Získame tak mutáciu pôvodnej verzie a tá sa potom skopíruje (Goodenough, 1996). Ak mutantná verzia génov zmení sekvenciu aminokyselín tak, že vznikajúci proteín nie je funkčný, gén môže byť eliminovaný prírodným výberom. Zmena sa v dcérskom genóme ani v organizme neuplatní alebo ak sa uplatní, organizmus predčasne odumrie. Ak však zmenený gén funguje lepšie, (napr. ak ním produkovaný proteín lepšie komunikuje s partnerskými molekulami, rýchlejšie alebo lepšie reaguje a pod.) zmenená verzia génu môže byť zachovaná prírodným výberom. *Zvlášť perspektívne sú mutácie, ktoré vytvárajú cesty pre nové funkcie alebo pre interakcie s novými partnermi. Tie otvárajú cestu vzniku novým typom alebo novým druhom organizmov.*

Sú mutácie riadené? Sú náhodné? Medzi týmito dvoma cestami chápania nie je jasný rozdiel. Aj výskyt náhodného javu môže byť totiž is-

tým spôsobom (istou pravdepodobnosťou svojho výskytu) podmienený.

Okrem mutácie môže evolučná zmena vzniknúť aj

- a) *novou kombináciou génov* (ktorá vzniká krížením, aj vzdialenejším za istých podmienok),
- b) *ziskom cudzorodého génu* po jeho vnesení do genómu.

Zmena v genóme môže mať evolučný význam iba vtedy ak sa prenesie cez generatívne bunky do ďalšej generácie. Izolácia (geografická alebo aj izolácia v správaní sa) prispieva k tomu, aby sa dedičná zmena mohla presadiť v celej populácii, upevniť a aby nová (zmenená a vývojovo pokročilejšia) populácia nesplynula s pôvodnou populáciou. Prostredie (životné podmienky) vyradujú nevhodné mutácie. V evolúcii sa uplatnia iba také zmeny, ktoré organizmu umožnia lepšie prežiť a množiť sa v danom prostredí.

Mutácie môžu zasiahnuť iba jeden gén alebo skupinu génov na chromozóme (deficiencie, duplikácie, inverzie, translokácie), prípadne aj celý genóm (vznik polyploidných foriem). Možno ich vyvolať aj umelo, napr. pôsobením žiarenia alebo chemických mutagénov (metylmetansulfonát, etylmetansulfonát, kolchicín a iné.) Pri vzniku mutácií sa môžu uplatniť aj tzv. transpozóny – preskakujúce gény – časti molekúl DNA, ktoré sa môžu skokom presunúť z jedného miesta na chromozóme na iné. Aj vírusy môžu prenášať úseky DNA z jedného organizmu na druhý (toho istého aj iného druhu). Splývanie celých genómov sa uplatnilo už pri vzniku eukaryotickej bunky. Uvažuje sa však o integrácii symbiontov do genómu materských buniek, ktorá by mohla prebiehať aj v súčasnosti (Margulis, 1992).

Mutanty, ktoré možno v prírode pozorovať

Percento mutácií vznikajúcich v prírode je veľmi nízke (rádovo 1 : 100 000) a menej ako 1 % z nich je pre organizmy výhodných, ostatné sú letálne. Pri pestovaní buniek v podmienkach *in vitro* sa však dokázalo, že stresové faktory výrazne zvyšujú výskyt mutácií.

To platí aj vo voľnej prírode.

Vnímový pozorovateľ môže sporadicky nájsť v populácii rastlín jedince s odlišným zafarbením kvetu. Zväčša ide o mutanty s poruchou expresie génov zodpovedných za syntézu farbiva. Takúto poruchu majú napr. biele zvončeky a pavince. Rastliny s bielymi kvetmi dobre prežívajú, ale v populácii sú zriedkavé. Neobstoja v konkurencii s belasými. Niekedy však býva porucha v expresii génov zodpovedných za syntézu farbiva osudná, letálna. To vtedy, ak ide o syntézu zeleného farbiva – chlorofylu. Chlorofyl je pre rastlinu životne dôležitý, pretože jej umožňuje fotosyntézu. Mutanty, ktoré nie sú schopné syntetizovať chlorofyl a následne uskutočňovať fotosyntézu, odumierajú. Niekedy nájdeme v populácii dubov klíčence s niekoľkými bie-

lymi listami, bez chlorofylu. Len čo pri raste vyčerpajú živiny uložené v žalúdoch, odumierajú.

Na Slovensku, v Naháči pri Trnave rastie zaujímavý biologicko-historický mutant bezkorunnej jablone. Historický preto, že Juraj Fándly, známy kňaz, národovec, spisovateľ a vychovávateľ jeho existenciu písomne zaznamenal už v roku 1792. Biologickou zvláštnosťou je preto, že jeho kvety nemajú korunné lístky ani tyčinky. Namiesto toho majú dva okruhy kališných lístkov a dve poschodia piestikov. Kvety sú iba samičie a neoplodňujú sa. Chutné plody „Fándlyho nekvitnúcej jablone“ nemajú semená a vznikajú partenokarpicky.

Mutácie sa vyskytujú aj u živočíchov a ľudí. V ľudskej populácii poznáme najmä mutácie späť s rôznymi genetickými poruchami. Ťažké je komplexne posúdiť charakter a význam evolučne pozitívnych mutácií v ľudskej populácii. Isté však je, že tá, alebo tie *mutácie, ktoré boli spojené so vznikom človeka, boli v celom evolučnom procese kľúčové.*

Umelé mutanty, genetické manipulácie

Svetlo do štúdia mechanizmov pôsobenia a funkcie génov v súvislosti s evolúciou, vniesli v ostatnom čase aj experimenty s umelo vyvolanými mutáciami a s vnášaním cudzorodej DNA do genómu modelových organizmov. Mutanty s vyradenou (zablokovanou) funkciou niektorého génu jasne poukazujú na úlohu príslušného génu alebo skupiny génov v stavbe alebo činnosti niektorej časti tela organizmu. Úspešne vnesený (cudzorodý) gén sa zasa prejavuje pribudnutím alebo zmenou v stavbe alebo funkcii buniek, alebo ich skupín.

Zdokonalením metód analýzy genómu sa otvorila cesta na rozšifrovanie genómu (charakteristika génov v ich súbore) viacerých modelových organizmov spomedzi mikroorganizmov (napr. *Escherichia coli*), rastlín (napr. *Arabidopsis thaliana*, kukurica a pod.) aj živočíchov (napr. *Drosophila melanogaster*), čo umožnilo podrobné štúdium funkcie génov aj počas individuálneho vývinu. Za veľký úspech práce vedcov v uplynulom storočí možno považovať aj rozšifrovanie ľudskeho genómu. Poznanie charakteru a funkcie genómu je predpokladom pre zásahy, do ktorých sa vkladajú veľké nádeje najmä v oblasti presnejšej diagnózy ochorení, cielenej liečby a účinnejšieho boja proti chorobám ľudí, ale aj rastlín a živočíchov. V poľnohospodárstve sa už tieto poznatky využívajú napr. pri získavaní rastlín odolných proti ochoreniam alebo obohatených o nutrične cenné látky, aj keď názory na ich využitie v ľudskej výžive sa rôznia. Vo farmaceutickom priemysle sa prakticky využívajú pri získavaní liečiv (napr. inzulínu).

Bez nadsádzky možno konštatovať, že až objav jednotného genetického kódu a umožnil hlbšie porozumieť a oceniť aj mnohé skôr objavené skutočnosti, medzi ktoré patrí aj objav dedičnosti a biologická evolúcia.

Analýza a porovnanie genómu alebo jeho častí je v súčasnosti naj-

spoľahlivejšou metódou na zistenie príbuznosti druhov alebo iných taxonomických jednotiek živých bytostí a súčasne metódou na odlíšenie jedincov patriacich k tej istej taxonomickej skupine či populácii.

Je genóm „všemocný“ ?

Na základe vyššie uvedených skutočností by sa mohlo zdať, že nielen v evolúcii ale aj vo individuálnom vývine organizmu všetko závisí výlučne od genómu. Treba však pripomenúť, že činnosť (expresia) génov je závislá na veľkom množstve signálov a regulačných faktorov (Tjian, 1995). Na ceste medzi genómom a výsledným produktom jeho funkcie (či sa už prejavuje morfológicky v štruktúre alebo fyziologicky) je veľké množstvo aktivačných a represívnych faktorov a zvyčajne dlhý reťazec chemických reakcií a medziproduktov. Zmenou podmienok, v ktorých expresia prebieha a na základe externých a interných signálov, možno meniť aj priebeh expresie génu. Na tejto skutočnosti sa zakladajú rôzne reakcie každej živej bytosti počas jej každodenného života. Na tom sa zakladá aj nádej, že pri poznaní genetickej predispozície človeka k niektorým ochoreniam, bude možné cestu k ich realizácii prerušiť alebo aspoň spomaliť. Treba však zohľadniť aj fakt, že gény zväčša nepracujú samy, ale pri jednom výslednom kroku prebieha interakcia viacerých génov. Navyše majú aj svoju hierarchiu. Gény regulačné ovplyvňujú funkciu celej skupiny im „podriadených“ génov. Všetky tieto skutočnosti podstatne komplikujú nielen poznanie funkcie génov ale aj akúkoľvek manipuláciu s genetickým materiálom.

Stvorenie a evolúcia

Základný princíp spočívajúci v dôkazoch o spontánnosti a samoorganizácii evolúcie poukazuje na prítomnosť priam neuveriteľne presných, jemných a dokonalých „inštrukcií“ vo forme nastavených parametrov pre celú kaskádu evolučných procesov už na samom počiatku vesmíru. Inštrukcie spoľahlivo pôsobia a riadia vývoj neživej hmoty aj živých bytostí. Keďže celý vesmír a v ňom aj živé bytosti, majú povahu náhodnú – kontingentnú, potrebujú ako svoju prvú príčinu absolútne nekontingentné Bytie – Boha (Kolterman, 1989). Stvoriteľ je nielen pôvodcom projektu vesmíru i človeka, ale tvorí kontinúálne tým, že živé bytosti udržuje v bytí a s nimi spolupôsobí.

Stvorenie sa podľa predstavy kresťanského evolucionizmu uskutočňuje evolúciou. Teda nie stvorenie alebo evolúcia (ako to vnímajú ateisti alebo fundamentalisti), ani nie stvorenie a potom evolúcia (podľa predstáv zdôrazňujúcich iba prvotný impulz pri stvorení z ničoho), ale *stvorenie evolúciou*.

Súhrn

Podľa výsledkov prírodných vied sa priebeh evolúcie v celom vesmí-

re javí ako spontánne prebiehajúca samoorganizácia. Biologická evolúcia je súčasťou evolúcie vo vesmíre.

Na základe vedeckých výsledkov možno konštatovať, že:

- a) prvé živé systémy mohli vzniknúť z vysokomolekulárnych reťazcov proteínov a nukleových kyselín v špeciálnych podmienkach, ktoré boli na Zemi v období 1 – 1,5 miliardy rokov po jej vzniku spontánne a aj v umelých systémoch spontánne tvoria správne, t.j. biologicky aktívne štruktúry,
- b) všetky dnes žijúce aj v rôznych geologických obdobiach vyhynuté organizmy vznikli z jedného alebo z malého počtu pôvodných prokaryotických organizmov, na základe zmien v informačnom systéme buniek (symbiogenéza, mutagenéza, akvizícia genómov alebo ich častí, hybridizácia, atď.),
- c) človek po telesnej (biologickej stránke) mohol vzniknúť cestami (mechanizmami), ktoré sú známe a platné pre všetky ostatné živé bytosti.

Popri zdanlivo „slepých“ cestách možno v rámci biologickej evolúcie stále sledovať hlavný evolučný prúd, prebiehajúci ako ortogenéza (podľa terminológie Teilharda de Chardin).

Pohľad kresťanského evolucionizmu si vyžaduje vidieť a rešpektovať v spontánnom priebehu evolúcie Stvoriteľom vloženú informáciu, ktorá dovoľuje ovládať iniciáciu a kontrolu mechanizmov a ciest vývoja celého Univerza.

Literatúra

- [1] Bak, P.: The origins of order. Self organisation and selection in evolution. Oxford Univ. Press, 1993.
- [2] Clintock Mc., B., Science 226: 792 – 801, 1984.
- [3] Darwin, Ch.: On the origin of species by means of natural selection. Murray, London, 1859.
- [4] Eigen, M., Naturwissenschaften 58: 465 – 523, 1971.
- [5] Glansdorff, P. Prigogine, I., Thermodynamic of structure, stability and fluctuations. Wiley – Interscience, New York, 1971.
- [6] Goodenough, U., Zygon, 31: 671 – 680, 1996.
- [7] Kimura, M.: The neutral theory of molecular evolution. Cambridge University Press, 1983.
- [8] Kolterman, R., S. J.: Naturphilosophie. Frankfurt am Main, 1989.
- [9] Krajčovič, J., Biol. Ekol. Chem. (Bratislava) 4: 5 – 9, 1999.
- [10] Mandelbaum, M., J. Hist. Ideas 19: 363 – 378, 1958.
- [11] Margulis, M., BioSystems 27: 39 – 51, 1992.
- [12] Maurel, M. Ch., J. Evol. Biology 5: 173 – 188, 1992
- [13] Teilhard de Chardin, P.: Miesto človeka v prírode, Nakl. Svoboda, Praha, 1993.
- [14] Tjian, R., Scientific American 2: 55 – 60, 1995