

Stopování endosymbiontů

aneb Evoluce přistižena při práci

STANISLAV
MIHULKA

V šedesátých letech se podařilo slavné rebelce¹ Lynn Margulisové exhumovat endosymbiotické² představy o původu energetických organel eukaryotních buněk. Její idealistické představy kupodivu potvrdila bouřlivě se rozvíjející molekulární biologie. Přestože se učebnice biologie většinou stále ještě konzervativně drží sousloví „endosymbiotická teorie“, je to teorie asi do stejné míry jako ta, že Karlův most postavil Karel IV.

Dnes známe spoustu ultrastrukturních či molekulárních dokladů, že mitochondrie a plastidy opravdu vznikly dávným pozřením příslušných bakterií předkem eukaryotní buňky. Ví se, že mitochondrie jsou alfa-proteobakterie velmi blízké rickettsiím, plastidy jsou zase mimo vši pochybnost bakterie jiné vývojové linie, totiž sinice. Svědčí o tom celá struktura obou organel – buněčná membrána, kruhový bakteriální genom a jeho sekvence, ba i bakteriální ribozomy. Jejich životní projevy jsou veskrze bakteriální, stačí se podívat na dělení plastidů nebo mitochondrií uvnitř hostitelských buněk. V případě plastidů dokládá endosymbiotický vznik i pouhý pohled na výskyt plastidů v rámci celého stromu života. Linie organismů s plastidy mohou být blíže příbuzné liniím organismů bez plastidů. Zdálo by se, že k endosymbiotickým událostem došlo velmi dávno a že dnes můžeme jen mlhavě odhadnout, jak to tehdy vlastně bylo. Podle velmi hrubých odhadů molekulárních hodinářů vznikly plastidy před 1,5 miliardy let. A donedávna si všichni mysleli, že k tomu

došlo jen jednou v historii, přesněji řečeno že dnes už žijí potomci pouze jediného primárního endosymbiotického vzniku plastidů.

Chyba lávky! Před pár lety tyhle představy postavila na hlavu nenápadná *Paulinella chromatophora*, fotosyntetická zelená měňavka z velké fylogenetické linie Cercoza. Již dlouho byla podezřelá z toho, že jsou její fotosyntetické organely něco výjimečného.

Nové fotosyntetizující organismy vznikají podle všeho snadno. Vždy ale jde o sekundární, popřípadě terciární endosymbiotickou událost, kdy nějaký prvok schramstne zelenou řasu či ruduchu. Zotročení fotosyntetické bakterie, konkrétně sinice, podle všeho není zdaleka tak snadné.

Paulinella je ale výjimečná. Postupně se ukázalo, že nespoklka řasu, ale právě sinici, a tedy ji lze oprávněně považovat za druhý známý případ primární endosymbiózy plastidu. (Ten první případ představují všechny ostatní plastidy, které vznikly opravdu jednou a jsou si navzájem příbuzné.)

Hwan Su Yoon z Iowské univerzity se svým týmem potvrdil, že endosymbiontem paulinelly je nedávno pozřená sinice z linie drobných oceánských sinic rodu *Prochlorococcus* a *Synechococcus*. Badatelé osekvenovali fragment „plastidu“ paulinelly dlouhý asi 14 000 bází a zjistili, že je jak sekvencně, tak řazením jednotlivých genů velmi těsně blízký příslušné části genomu zmíněných sinic.

Paulinella představuje výtečný evoluční model, protože její endosymbiont je do těla a genomu hostitele začleněn méně než klasické plastidy. Dostal se do půli cesty a je na něm vidět, jak taková endosymbióza plastidu probíhá. *Paulinella* neloví, nechá se živit endosymbionty. Ti mají stále ještě bakteriální peptidoglykanové buněčné stěny, stejně jako mimořádně zajímavá skupina Glaucophyta. Starobylé plastidy této malé skupiny řasoidních organismů ovšem prokazatelně sdílejí společného předka s plastidy ruduch a linie zelených řas a suchozemských rostlin. Na druhou stranu má paulinella se svými endosymbionty synchronizované dělení buněk, a jak ukázala práce Yoonova týmu, přesunuly se geny ze symbiontova genomu do jádra paulinelly. I na úrovni jednotlivých genů je

Obě kresby na
této dvoustraně
© Pavel Říha.



Paulinella sp.
Euglyphida

RNDr. Stanislav Mihulka, Ph.D., (*1973) vystudoval botaniku a evoluční biologii na Biologické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Na této fakultě a také v Biologickém ústavu AV ČR se zabývá převážně ekologií a fylogenezí rostlin.

ale vidět, že paulinella je něco extra. Například jeden fotosyntetický gen, který se u jiných plastidů přesunul do jaderného genomu hostitele, je v případě paulinelly stále ještě v genomu „plastidu“. Našel se tam kupodivu i gen *nifB*, který patří do systému fixace dusíku. Podílí se na biosyntéze kofaktoru pro klíčový enzym nitrogenázu a u sinic je běžný, u všech ostatních plastidů ho ale evoluce zrušila jako neúčinný.

Podle autorů lze další pozoruhodné objevy očekávat po kompletním osekvenování genomu endosymbionta, a hlavně měňavkovitého hostitele. Již teď je po ruce líbivá evoluční pohádka o tom, jak k téhle endosymbióze mohlo dojít. Blízce příbuzný druh *Paulinella ovalis* je totiž heterotrofní měňavka bez jakéhokoliv náznaku plastidu. Kupodivu se žíví zejména právě sinicemi typu *Synechococcus* – a zbytek není těžké si domyslet.

Z kyselých jezírek plných rašeliníku je znám ještě jeden případ, kdy „prvok“ učinil prvni krok na cestě k endosymbióze. Vzácné nezelené krásnoočko *Petalomonas sphagnophila* obsahuje vakuoly vždy s jednou sinicí typu *Synechococcus*. Sinice zůstávají několik týdnů živé. Podle pozorování se dělí jen občas, zato je často stráví hostitel. Nakonec je docela dobře možné, že paulinella nezůstane s polotovarem endosymbiózy jediná.

V oceánu poblíž Japonska žije pozoruhodný bičíkovec blízký kryptomonádám *Hatena arenicola*. Tak jako je paulinella modelem pro primární endosymbiózu, hatena zase zřejmě předvádí počátek sekundární endosymbiózy. Ve svém životním cyklu střídá dvě velmi odlišné tváře. Buď je krvelačným nezeleným predátorem, nebo zezelená tím, jak hostí zelenou řasu z linie Prasinophyceae rodu *Nephroselmis*. Zelené hateny se obvykle



rozdělí na jednu buňku zelenou a druhou nezelenou. Nezelené hateny mají aparát k lovu potravy a časem s ním chytí novou řasu, hateny s endosymbiontem ústní aparát postupně zruší. Experimenty s jinými kmeny rodu *Nephroselmis* ukázaly, že mezi hatenou a tou „její“ řasou již probíhá koevoluce. Cizí řasy totiž nefungovaly a hatena si s nimi nevytvořila endosymbiotický vztah.

Všechny uvedené příklady ukazují, že endosymbióza plastidů není nic neproniknutelně záhadného a že i dnes můžeme pozorovat evoluci při práci. (Current Biology 16(17), R670–R672, 2006; Phycologia 41, 153–157, 2002/2, Science 310, 287, 2005)

1) Aby nebylo mýlky: Sousedli „slavná rebelka“ považují za poctu, nikoliv za negativum, a L. Margulisové si vážím. Přesto je Margulisová obecně vnímaná jako idealistka a její pohnutky k tvorbě endosymbiotického konceptu byly, pokud vím, opravdu velmi idealistické. Skutečnost, že nedostala Nobelovu cenu, svědčí spíše o problematičnosti hodnocení přínosu vědecké práce a také o tom, že poměry ve vědecké komunitě nebyly, nejsou a nebudou ideální.

2) Endosymbióza – symbióza, při níž jeden ze symbiontů žije uvnitř těla druhého.

Pohled, který mohl být nový

Jsem recenzentem překladu a „konflikt zájmů“ mi nedovoluje psát klasickou recenzi. Proto jen k obsahu: „Nový pohled na evoluci“ z r. 1998 by mohl být dost nový ještě dnes. Jenže není, a nebyl ani tehdy. V šedesátých letech přišla autorka s endosymbiotickou teorií o původu organel – mitochondrií: jsou potomky dávných bakterií, které vstoupily do eukaryontní buňky a zdomácnily tam. Za to měla dostat Nobelovu cenu, ale místo toho se jí vědecká obec vysmívala. Později jí dala zapravdu. Ukázalo se, že podobný původ mají i jiné organely – chloroplasty. V devadesátých letech Margulisová

vá sama přišla s velmi pěknou teorií vzniku eukaryontní buňky splynutím buněk bakteriální a archeální. Na to se pak měly navalovat nové a nové symbiózy, takže eukaryontní buňka se z tohoto pohledu jeví jako „sněhová koule“ spleená v průběhu věků z různých prokaryont.

Margulisová ale na výsměch nikdy nezapomněla a stala se z ní bojovnice proti vědeckému establishmentu. Svádí ji to k jazyku „táborového řečníka“, k sloganům a k tvrzením, která už mezitím nejsou aktuální, ba ani pravdivá. Škoda. Nejde o nový pohled, ale o standardní učebnicovou látku, obohacenou rétorikou a půtkami ze sedmdesátých let. Autorce jaksi uniká, že jistá tvrzení, i když snad mohou být pravdivá, se nemohou stát součástí vědy, aniž se dají uchopit vědecky. Nadávat za to vědcům je pošetilost, nota bene když to po svém už uchopili a velmi hodnověrně zpracovali. Nobelovku ano, ale ne za toto propagandistické dílko.

Anton (Špelec) Markoš

Doc. RNDr. Anton Markoš, CSc., (*1949) vystudoval Přírodovědeckou fakultu UK. Na této fakultě se na katedře filozofie a dějin přírodních věd zabývá teoretickou biologii. Napsal mimo jiné knihy *Povstávání živého tvaru*, *Tajemství hladiny* či *Staré pověsti (po) zemské, aneb Malá historie planety a života* (s L. Hajnalem).

NAD KNIHOU



LYNN MARGULISOVÁ:
Symbiotická planeta.
Nový pohled na evoluci

Academia, Praha
2004, 152 stran,
doporučená
cena 155 Kč,
ISBN 80-200-1206-0