Alexandra Polonyiová

Endosymbiotická hypotéza

K lepšímu pochopení eukaryogeneze, vzniku eukaryotické buňky, je zásadní endosymbiotická hypotéza, kterou prosadila Lynn Margulisová. Tato hypotéza se v různých formách objevovala již od začátku 20.století, ale nebyla do této doby uznávaná. Margulisová ve svém článku z roku 1967 „On the Origin of Mitosing Cells“, postulovala, že některé organely nejsou produktem eukaryotické buňky, ale jsou to původně volně žijící prokaryotické buňky. Kromě endosymbiotického původu mitochondrií a plastidů také uváděla, že bazální tělíska bičíku a mitotický aparát rovněž vznikly endosymbiózou spirochet nebo jim podobných bakterií, ovšem pro toto tvrzení nebyly nalezeny důkazy, a proto nebylo obecně přijato. V současnosti je obecně přijímaný názor, že mitochondrie je původem α-proteobakterie a plastid je původem sinice.

Pro endosymbiotický původ mitochondrií a plastidů svědčila především analýza genomů dohromady s biochemickými a morfologickými podobnosti mezi organelami a jejich potenciálními předchůdci. U genomů mitochondrií se však vyskytlo několik překážek. Mitochondrie byla přítomná už u společného předka všech eukaryot, tím pádem prodělala dlouhou evoluci, během níž se genom výrazně změnil, spousta genů byla přesunuta do jádra hostitele a je tak velmi rozmanitý napříč druhy. Z tohoto důvodu se pro studium mitochondriálního genomu používaly organismy, které mají v mitochondrii stále hodně genů, jako je například skupina Jakobida z Excavat. U plastidu byla situace mnohem jednodušší vzhledem k tomu, že plastid je evolučně mladší, a tak má obecně více genů, než je tomu u mitochondrie. Přechod symbionta v organelu zahrnoval spoustu kroků jako například včasné získání základních metabolických transportérů, snížení velikosti genomu prostřednictvím ztráty genů nebo přenosu některých genů do jádra a funkční aktivace genů přenesených do jádra a jejich transport do vyvíjející se organely.

V současnosti je obecně přijímaný jediný endosymbiotický původ mitochondrií z α-proteobakterií, ačkoliv není příliš jasné, jak endosymbióza probíhala, zejména jak došlo k iniciaci endosymbiózy, jaké mechanismy se podílely a jak dlouho trvala. Existuje několik hypotéz popisujících původ mitochondrie. Jednou z nejznámějších hypotéz je vodíková hypotéza, navržena Martinem a Müllerem v roce 1998, která přepokládá, že existovala výměna metabolitů mezi buňkami archeí, které využívaly vodík, a bakteriálními buňkami, které vytvářely jako odpadní produkt plynný vodík, načež archeální buňka pohltila onu bakteriální. Tato hypotéza dobře ukazuje možný selekční tlak na vytvoření mitochondrie, rovněž kladem této hypotézy může být fakt, že některé modifikované mitochondrie jako např. hydrogenosomy jsou schopny vodík tvořit.

Jinou hypotézou je fagotrofická hypotéza navržena Cavalierem-Smithem v roce 1987, která zahrnuje fagocytózu α-proteobakterie amitochondriálním eukaryotem. V této hypotéze tedy není vznik mitochondrie a vznik eukaryot současný, jako tomu bylo v předchozí hypotéze. Kritikou této hypotézy byla skutečnost, že fagocytóza je velmi náročný proces na energii, která by v buňce bez mitochondrie nebyla dostatečná. Margulisová navrhla, že první krok ke vzniku eukaryot by mohl souviset s přežitím v prostředí obsahující kyslík. V tomto případě by heterotrofní anaerob pohltil aerobního prokaryota (předchůdce mitochondrie). Později doplnila, že předchůdce mitochondrie by mohla vniknout do buňky podobným způsobem, který je známý u dravé bakterie Bdellovibrio, která vniká do buňky kořisti.

Pro odlišné hypotézy je důležitá povaha hostitele. V případech vodíkové hypotézy a hypotézy, kterou popsala Margulisová, se jednalo o endosymbiózu mezi prokaryotickými organismy, kdežto ve fagotrofické hypotéze se jedná o endosymbiózu zahrnující eukaryotní a prokaryotní organismus.

Recentně se ukazuje, že eukaryota jsou blízce příbuzní skupině Asgard z domény Archea, nekultivovatelné prokaryotické organismy objevené v hlubokomořských sedimentech. Toto by spíše ukazovalo na to, že endosymbióza proběhla mezi archeální hostitelskou buňkou a α-proteobakterií. Tato archeální skupina kóduje řadu proteinů, které byli dříve považovány za specifické pro eukaryoty, a navíc by mohla být schopna fagocytózy. Byly u nich nalezeny například některé cytoskeletární proteiny jako homology aktinu, malé GTPázy včetně těch, které jsou zapojeny do regulačních procesů remodelace cytoskeletu, či proteiny podílející se u eukaryot na transportu a vzniku váčků jako jsou třeba komplexy ESCRT.

Plastid, který je rovněž organela s endosymbiotickým původem, je mladší než mitochondrie a nenalezneme ho u všech eukaryot. Plastid je původem ze sinice, který získal předek linie Archaeplastida, do které patří glaukophyta, červené řasy, zelené řasy a vyšší rostliny, tedy eukaryot, který již měl mitochondrii a byl schopný fagocytózy. Ačkoliv se vyskytují plastidy i u jiných linií, byly většinou získány sekundární endosymbiózou, tedy pohlcením eukaryota s primárním plastidem, jako tomu bylo například u krásnooček, skrytěnek, rozsivek či chaluh. U sekundárních endosymbióz má plastid většinou zachované 3-4 membrány a v některých případech i nukleomorf, pozůstatek jádra eukaryota s primárním plastidem. Vzhledem k tomu, že je plastid evolučně mladší než mitochondrie, lze u něho snadněji nalézt podobnost se sinicí, než je tomu mezi mitochondrií a α-proteobakterií. Na rozdíl od endosymbiózy mitochondrií, neproběhla endosymbióza plastidů pouze jednou, jak se nedávno ukázalo u organismu *Paulinella chromatophora* patřícího do říše Rhizaria, který získal plastidy nezávisle na primární endosymbióze popsané u Archaeplastidů.

Ačkoli stále není příliš objasněné, jakým způsobem k endosymbióze mitochondrií došlo a jak přesně vypadal vznik eukaryotické buňky, nejpravděpodobnějším scénářem se jeví pohlcení α-proteobakterie primitivně fagocytujícím prokaryotem ze skupiny Asgard z domény Archea. Přenesení produkce energie z membrány hostitelské buňky na vnitřní membránu mitochondrií a zvýšení dostupnosti energie umožnilo zvětšení velikosti buněk a vytvoření složitějších struktur jako jsou endomembránový systém, jádro, endocytické a fagocytické mechanismy. Taková buňka v některých případech také pohltila sinici, ze které se postupně stala organela plastid.

Použitá literatura

Gray, M. W. (2017). Lynn Margulis and the endosymbiont hypothesis: 50 years later. *Molecular biology of the cell*, *28*(10), 1285-1287.

Zaremba-Niedzwiedzka, K., Caceres, E. F., Saw, J. H., Bäckström, D., Juzokaite, L., Vancaester, E., ... & Stott, M. B. (2017). Asgard archaea illuminate the origin of eukaryotic cellular complexity. *Nature*, *541*(7637), 353.