

Extracelulární váčky

I. Typy váčků a jejich fyziologické úlohy v mezibuněčné komunikaci

Komunikace mezi buňkami může probíhat přímým kontaktem sousedících buněk nebo na dálku prostřednictvím sekretovaných molekul, např. hormonů a růstových faktorů (viz Živa 2013, 2: 50–53). V posledním desetiletí byl pozorován další způsob mezibuněčné komunikace, a to pomocí váčků obalených fosfolipidovou membránou, uvolňovaných ven z buněk (extracelulární vezikuly, z latinského vesicula – váček, anglicky extracellular vesicles). Tyto váčky obsahují lipidy, proteiny, sacharidy a nukleové kyseliny a jsou produkovány většinou buněk, včetně bakterií, prvoků, rostlin a živočichů. U člověka je najdeme v podstatě ve všech tělních tekutinách – v krvi, moči, slinách, žluči, mateřském mléce, mozkomíšním moku nebo synoviální tekutině (tekutina uvnitř kloubů, kloubní maz). I když první zmínky o tvorbě váčků obalených membránou spadají do 50. a 60. let 20. stol., detailně byla jejich struktura a tvorba popsána až r. 1983, a to během zrání retikulocytů při tvorbě červených krvinek, kdy retikulocyty do váčků „odkládaly“ některé molekuly (např. transferinový receptor). Po dlouhou dobu se tak předpokládalo, že buňky do extracelulárních váčků umísťují přebytečný materiál a že váčky představují pouze buněčný odpad. Proto se jim nevěnovala pozornost. Zlomovým okamžikem se stal rok 2007, kdy byla ve váčcích prokázána přítomnost RNA, kterou bylo možné *in vitro* přeložit do proteinů. Tento objev vzbudil obrovský zájem. Přestože zůstává význam váčků za fyziologických podmínek dosud málo prostudován, ukazuje se, že mají specializované funkce např. v mezibuněčné signalizaci, imunitní odpovědi nebo při srážení krve. Mnohem více máme prozkoumány role extracelulárních váčků u patologických stavů, jako např. při šíření prionových a virových částic, vzniku nádorových metastáz nebo u rozvoje neurodegenerativních onemocnění. Zároveň s prudce stoupajícím zájmem o jejich studium se otevírají možnosti praktického využití v diagnostice a léčbě patofyziologických stavů člověka.

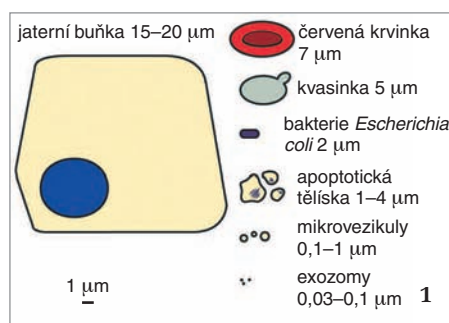
Typy extracelulárních váčků produkovaných buňkami

Váčky mají různou velikost (obr. 1), vnitřní obsah i složení membrán, což je odrazem typu buněk, z nichž pocházejí, stavu buňky i vlivu prostředí. V současnosti se rozlišují tři hlavní typy – apoptotická tělíčka, mikrovezikuly a exozomy (tab. 1). Tvorba jednotlivých typů je znázorněna na obr. 2. Stejná buňka může produkovat různé typy extracelulárních váčků v závislosti na podmínkách prostředí (např. tlak kyslíku), aktivčních signálech (stres apod.) nebo na oblasti buňky, kde váčky vznikají. Tak u buněk kolorektálního karcinomu byla pozorována tvorba dvou různých populací exozomů v závislosti na místě jejich vzniku z bazolaterální (spodní) nebo apikální (svrchní) části buňky. Bazolaterální exozomy jsou větší a pravděpodobně zprostředkovávají přenos antigenů k imunitním buňkám. Apikální exozomy jsou menší a jejich funkce není zatím popsána.

Apoptotická tělíčka vznikají při rozpadu buňky programovanou buněčnou smrtí (viz také Živa 2004, 5: 194–197) a umožňují

odstranění nepotřebných buněk během embryonálního vývoje a růstu, ale také buněk poškozených, přestárých nebo infikovaných viry. Apoptotická tělíčka tedy obsahují fragmenty původních buněk včetně buněčných organel a DNA. Jejich velikost se pohybuje od 0,1 mikrometru (100 nm) do 10 μm, nejčastěji v oblasti 1–4 μm.

Mikrovezikuly (neboli ektozomy) jsou váčky různé velikosti, které vznikají pučením cytoplazmatické membrány do vnějšího prostoru. I když se jejich složení podobá cytoplazmě a plazmatické membráně



zdrojové buňky, jsou do mikrovezikulů selektivně zabudovávány jen určité molekuly – např. receptory buněčné membrány. Princip této selekce zatím neznáme. Mikrovezikuly dosahují většinou velikosti 0,1–1 μm.

Oproti tomu exozomy jsou velmi malé váčky pocházející z pozdních endozomů neboli multivezikulárních tělísek (MVB, multivesicular bodies). Tvorba exozomů probíhá v několika krocích (viz obr. 2). Nejprve se vychlípěním cytoplazmatické membrány do vnitřního prostoru buňky (endocytózou) vytvoří časný endozom. Následným pučením stěny endozomu do jeho lumen – vnitřního prostoru – se vytvoří další menší váčky obalené membránou. Pozdní endozom, který ve svém nitru obsahuje malé váčky, se označuje jako multivezikulární tělíčko. Část vnitřních váčků v MVB může pocházet i z *trans* Golgiho aparátu (obr. 2). Osud váčků uvnitř MVB je dvojitý – mohou putovat k lyzozomu a tím být určeny k degradaci, nebo být přeneseny k cytoplazmatické membráně, kde se uvolní ven z buňky ve formě exozomů.

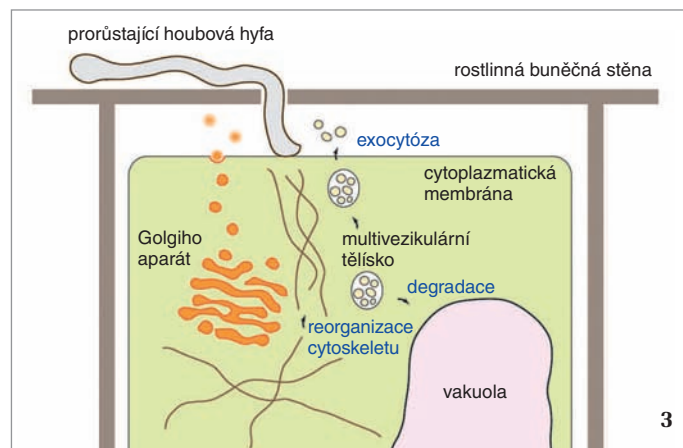
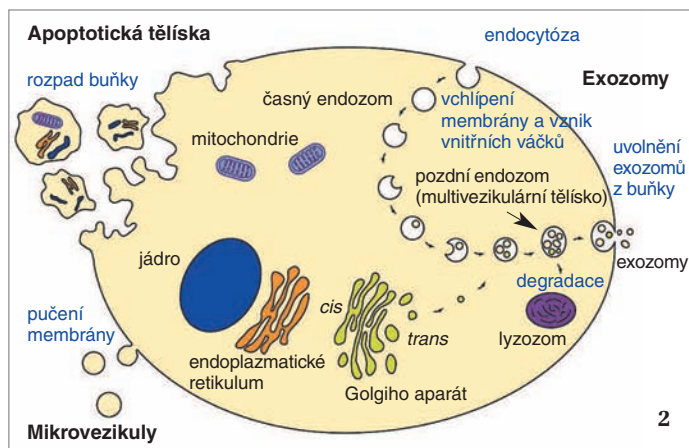
Předpokládané funkce extracelulárních váčků

Tyto váčky jsou produkovány organismy na všech úrovních vývoje, od bakterií přes prvky až po rostliny a živočichy.

Bakterie

Tvorba extracelulárních váčků obalených lipidovou membránou byla pozorována u gram pozitivních i gram negativních bakterií. Buňky gram negativních bakterií mají dvě fosfolipidové membrány. Vnitřní (cytoplazmatická) funguje jako hlavní bariéra pro vstup látek do buňky a výstup z buňky. Nad touto membránou se nachází periplazmatický prostor s peptidoglykanovou buněčnou stěnou a nad ním vnější membrána, která tvoří rozhraní mezi bakterií a vnějším prostředím. Pučením vnější membrány gram negativních bakterií se vytvářejí membránou obalené váčky o velikosti 20–250 nm. Během pučení se do vnitřního prostoru váčků dostává obsah periplazmatického prostoru. Lipidové a proteinové složení váčků ale není náhodné a je zatím neznámým způsobem regulováno. Gram pozitivní bakterii obklopuje pouze jedna membrána – cytoplazmatická. Proto extracelulární váčky uvolňované z těchto bakterií obsahují jen složky cytoplazmy a cytoplazmatické membrány.

Sekrece látek pomocí váčků umožňuje bakteriím produkovat různé účinné molekuly, které díky uzavření do váčku mohou působit ve vyšších koncentracích a na větší vzdálenosti. Bakteriální extracelulární váčky mají různé funkce. Patří k nim transport signálních molekul a podíl na mezibuněčné signalizaci uvnitř druhu, např. monitorování hustoty populace, dále zprostředkovávání horizontálního přenosu rezistence k antibiotikům (blíže o horizontálním přenosu viz Živa 2006, 1: 2–5), a to dvěma způsoby – přenosem proteinů způsobujících rezistenci mezi jedinci stejného druhu i mezi druhy (např. enzymu beta-laktamázy odbourávající penicilínová antibiotika), nebo přenosem genů rezistence do okolních buněk prostřednictvím fúze váčku s membránou sousední buňky



1 Zatímco průměrná velikost živočišných buněk bývá 10–20 μm , buňky kvasinek a bakterií dosahují většinou jednotek mikrometrů. Z extracelulárních váčků jsou největší apoptotická tělíska, která se velikostí podobají bakteriím a kvasinkám. Mikrovezikuly mají velikost stovek nanometrů, exozomy pak pouhých desítek nanometrů.

2 Vznik extracelulárních váčků. Apoptotická tělíska vznikají rozpadem buňky programovanou buněčnou smrtí a obsahují fragmenty buněk včetně organel. Mikrovezikuly se tvoří pučením membrány buněk do vnějšího prostoru, zatímco exozomy vylitím obsahu multivezikulárního tělíska (jeho vnitřních váčků) ven z buňky.

3 Předpokládané interakce pomocí váčků mezi rostlinou a houbovým patogenem u padlí. Při napadení rostliny patogenem, např. padlím travním (*Blumeria graminis*), dochází v rostlinné buňce k přestavbě cytoskeletu, čímž se usnadňuje transport váčků k cytoplazmatické membráně a sekrece obranných látek do místa napadení. Předpokládají se dva způsoby sekrece – pomocí váčků pocházejících z *trans* Golgiho aparátu nebo splynutím membrány multivezikulárního tělíska s plazmatickou membránou a uvolnění vnitřních váčků (exozomů). Pravděpodobně dochází ke vzájemné interakci obou drah.

v bakteriální kolonii. Váčky produkované bakteriemi působí nejen na prokaryotní buňky, ale jejich obsah se může fúzí membrán dostávat i do rostlinných a živočišných buněk. Do eukaryotních buněk se pomocí váčků mohou přenášet např. faktory virulence a toxiny (toxin antraxu apod.). Kromě výše popsaných transportních funkcí hrají bakteriální váčky důležitou roli při zprostředkování stresové odpovědi, ovlivňování tkání hostitele (např. komenzálními

bakteriemi žijícími na sliznicích lidského těla) nebo při tvorbě biofilmu (blíže o mikrobiálních biofilmech viz seriál článků v Živě 2012, 3 a 5), kde váčky přispívají k adhezivním interakcím vedoucím k tvorbě a udržení struktury biofilmu a mohou se také podílet na přenosu živin k bakteriím v hlubší vrstvě matrice biofilmu.

Nižší organismy

Z jednoduchých eukaryotních organismů je nejlépe prostudována tvorba váčků u parazitů, zejména parazitických prvoků a červů (helmintů, viz Živa 2015, 5: 215–219), kteří způsobují závažné choroby člověka. Byla pozorována u prvoků, jako je např. původce spavé nemoci *Trypanosoma brucei*, původce leishmaniózy *Leishmania donovani* přenášené komáry a muchničkám příbuznými flebotomy v tropických oblastech (viz také Živa 2010, 5: 238–241), původce malárie *Plasmodium falciparum*, původce toxoplazmózy *Toxoplasma gondii* (Živa 2016, 5: 268–270), *Giardia lamblia* způsobující střevní infekce nebo původce pohlavních infekcí bičenka poševní (*Trichomonas vaginalis*). Z parazitických červů je tvorba váčků z povrchu těla popsána u krevničky střevní (*Schistosoma mansoni*), motolice jaterní (*Fasciola hepatica*) a střevního parazita *Echinostoma caproni*.

Extracelulární váčky parazitů ve většině případů narušují imunitní systém hostitele a napomáhají přežití parazita. Příkladem může být *Trypanosoma cruzi*, která v hostiteli přežívá v nehostinném prostředí uvnitř fagolysosomů makrofágů. Po infekci *T. cruzi* dochází k obrovské sekreci mikrovezikul z infikovaných krvinek. Mikrovezikuly patrně hrají v rozvoji infekce dvě role. Váčky inhibují aktivitu enzymu C3-konvertázy, klíčové složky komplementového systému nespecifické imunity, a tím napomáhají úniku parazita imunitnímu systému. Zároveň obsahují cytokin TGF β (transformující růstový faktor β), který pod-

poruje šíření parazita. Tvorba váčků tak ve výsledku přispívá k nárůstu počtu buněk trypanozom v krvi a zvyšuje úspěšnost infekce. Podobný útlum imunitního systému nastává při nákaze parazitickými prvky rodu *Leishmania*, kteří uvolňují váčky snižující v těle hostitele produkci prozáněťového cytokinu TNF α (tumor nekrotizujícího faktoru α) a zvyšující produkci protizáněťového interleukinu IL-10. Hlístice *Heligmosomoides polygyrus* zase tvoří váčky obsahující krátké RNA (microRNA, miRNA), které vstupují do buněk savčího hostitele a zasahují regulaci genů imunitní a záněťové odpovědi, čímž rovněž potlačují imunitní systém hostitele. V současnosti se začíná na extracelulární váčky parazitů obracet pozornost jako na potenciální nový způsob přenosu RNA a signalizačních zpráv do buněk hostitele a jako na novou možnost diagnostiky parazitárních onemocnění.

Rostliny a houby

U rostlin zůstávají extracelulární váčky méně prozkoumané. Důležitou roli hrají u dvojího oplození krytosemenných, kdy se ve vaječné buňce poblíž cytoplazmatické membrány nacházejí váčky obsahující transkripty pro protein EC1 (egg cell 1 protein – protein vaječné buňky 1). V přítomnosti spermatické buňky dochází k vylití obsahu váčků ven z vaječné buňky (exocytóze). Následně protein EC1 přispívá k aktivaci spermatické buňky a splynutí gamet, zároveň napomáhá k oplození jádra zárodečného vaku druhou spermatickou buňkou a vzniku endospermu – živného pletiva pro embryo. Uvolněný obsah váčků brání vniknutí další spermatické buňky do vajíčka a vícenásobnému oplození (polyspermii).

Podrobně je tvorba váčků prozkoumaná u houbových infekcí. V rostlinném pletivu v místě průniku houbových hyf se shromažďují váčky rostlinného původu obsahující antimikrobiální látky. V přítomnosti

Tab. 1 Základní vlastnosti extracelulárních váčků eukaryotních buněk

Typ váčků	Velikost	Hustota [g/ml]	Vznik	Obsah váčků
apoptotická tělíska	1–4 μm	1,16–1,28	rozpadem buňky při programované buněčné smrti (apoptóze)	fragmenty jádra a organel, cytoplazmatické proteiny
mikrovezikuly	0,1–1 μm	neznámá	pučením plazmatické membrány	cytoplazmatické proteiny, mediátorová RNA (mRNA), microRNA (miRNA) a další krátké nekódující RNA
exozomy	30–100 nm	1,13–1,19	z endozomů – multivezikulárních tělísek	cytoplazmatické proteiny, proteiny účastníci se tvorby váčků a jejich transportu, mRNA, miRNA a další krátké nekódující RNA

houbové infekce se zvyšuje množství váčků mezi cytoplazmatickou membránou a buněčnou stěnou rostlinné buňky. Zároveň v cytoplasmě rostlinné buňky poblíž povrchové membrány narůstá množství multivezikulárních tělísek. Sekrece z MVB do prostoru mezi cytoplazmatickou membránou a buněčnou stěnou se tak podobá tvorbě exozomů u živočichů (obr. 3). Podobně i houbová hyfa uvolňuje extracelulární váčky do apoplastické tekutiny rostliny. Dochází tak ke vzájemnému přenosu informace mezi houbou a rostlinou.

Živočichové

Extracelulární váčky máme nejvíce prozkoumány u člověka, kde mají významnou roli např. v biologii krve a cév, imunitě, rozmnožování a v neposlední řadě ve fyziologii nervového systému.

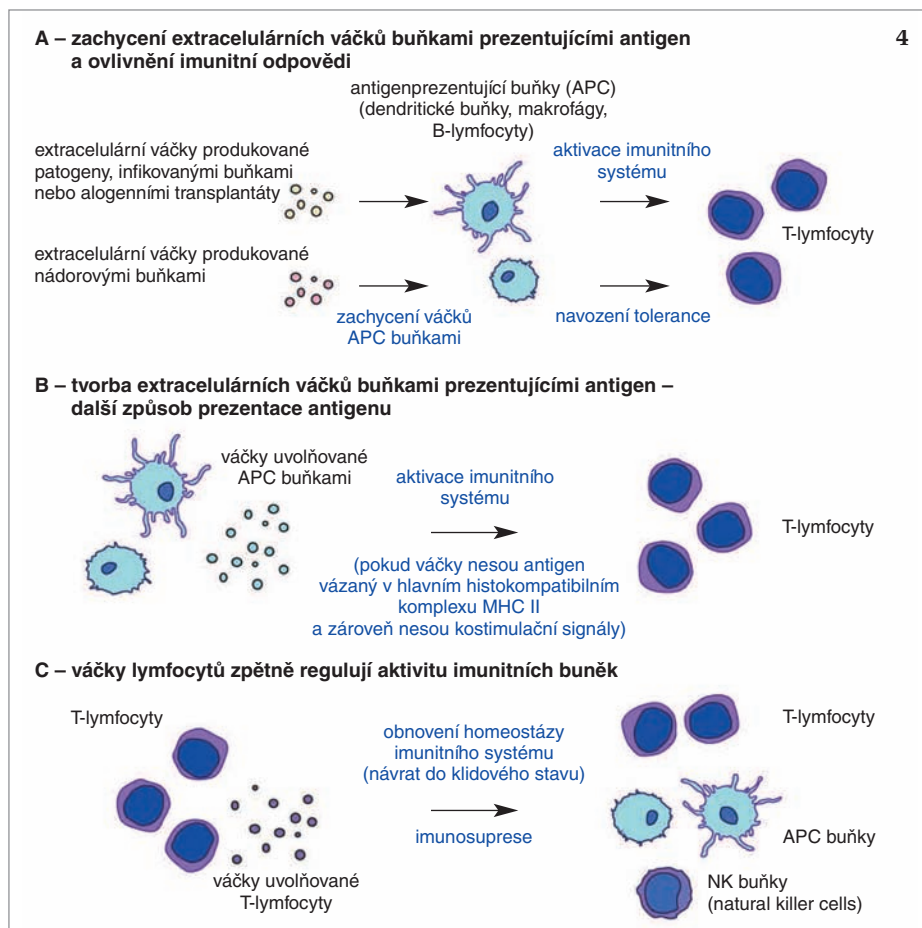
● Krev a cévní systém

Nejlépe prostudovaná je funkce extracelulárních váčků při srážení krve (koagulaci) a zastavení krvácení. Zdroj váčků s prokoagulačními vlastnostmi představují zejména krevní destičky, ale i různé populace bílých krvinek (monocyty, neutrofilny), červené krvinky, buňky cévní výstelky (endotelu), dokonce buňky hladké svaloviny. Schopnost váčků podporovat srážení krve ještě stoupá u některých patologických stavů, jak bylo např. pozorováno u váčků produkovaných nádorovými buňkami. Naopak ke zvýšenému krvácení dochází u některých chorob s narušenou tvorbou váčků (např. Scottův syndrom, při němž defekt vzniku váčků z membrány krevních destiček snižuje produkci trombinu a fibrinu, a tím brání srážení krve). Váčky tvořené bílými krvinkami a krevními destičkami dále podporují i tvorbu nových cév (angiogenezi), a to díky proteinům a RNA přenášeným v jejich nitru.

Exozomy byly původně pojmenovány a popsány u retikulocytů, tedy nezralých buněk kostní dřeně, z nichž vznikají červené krvinky (erytrocyty). Retikulocyty během svého zrání selektivně odstraňují určité proteiny (např. receptor transferinu, galectin-5) a enzymy vázané na cytoplazmatickou membránu. Odstraněné proteiny se zabudovávají do membrán endozomů a později jsou vyloučeny ven z buňky ve formě exozomů. Exozomy v tomto případě pravděpodobně slouží k odstranění již nepotřebných nebo nepoužitelných proteinů.

● Imunita

Vrozený imunitní systém je hlavním obranným mechanismem obratlovců proti patogenům. Ve vrozené imunitní odpovědi působí extracelulární váčky hlavně jako podpora zánětu, i když mohou nést i protizáněťové signály. Rozhodující je vnitřní obsah váčků a cílová buňka, na kterou váčky působí. Extracelulární váčky mohou kromě obecně přítomných lipidů, proteinů a RNA přenášet cytokiny (Živa 2013, 3: 98–100), především IL-1 β , IL-1 α , TNF α a TGF β . Interleukin IL-1 β představuje hlavní prozáněťový cytokin, který ve své molekule postrádá signální peptid pro klasickou sekreční dráhu přes endoplazmatické retikulum a Golgiho aparát (viz v úvodu zmiňovaný článek v Živě 2013, 2). IL-1 β se



z buněk uvolňuje jednak vyjitím ze sekrečních lyzozomů, jednak prostřednictvím mikrovezikulů. Předpokládá se, že díky zabalení do váčků mohou být imunomodulační faktory rychle k dispozici a působit v dostatečné koncentraci v daném místě určení. Jako zdroj váčků u vrozené imunity vystupují různé typy buněk, např. monocyty/makrofágy, NK buňky (natural killer cells) nebo žírné buňky (mastocyty zejména v pojivové tkáni nebo podél krevních kapilár v kůži či trávicí soustavě).

Přechodem mezi vrozenou a získanou imunitou jsou antigenprezentující buňky (APC buňky), tj. dendritické buňky, makrofágy a B-lymfocyty, které vychytávají antigeny a vystavují je na svém povrchu spolu se stimulačními signály, čímž umožňují aktivaci výkonných buněk získané imunity – T-lymfocytů. Účast extracelulárních váčků na získané imunitní reakci se předpokládá ve třech úrovních (obr. 4). APC buňky mohou antigen odbržet prostřednictvím váčků vytvořených v infikované, zanícené nebo poškozené (např. nádorové) tkáni. Antigen vstupuje do APC buněk splnutím membrány váčku s membránou buňky a poté je prostřednictvím hlavního histokompatibilního komplexu (MHC II, Main Histocompatibility Complex II) vystaven na povrchu buňky, čímž umožní aktivaci T-lymfocytů (obr. 4A). Navíc APC buňky mohou samy tvořit extracelulární váčky, na jejichž povrchu je vystaven antigen, které poté stimulují T-lymfocyty (obr. 4B). Samotné T-lymfocyty mohou být také zdrojem váčků zpětně regulujících aktivitu APC a dalších imunitních buněk (obr. 4C). Kromě proteinů se na regulaci imunitního systému podílejí i miRNA přenášené v extracelulárních váčkách.

4 Extracelulární váčky se pravděpodobně podílejí na vzniku a průběhu získané imunitní odpovědi. Mohou působit na různých úrovních, znázorněných ve schématu a blíže popsaných v textu. Všechny orig. H. Kupcová Skalníková

● Rozmnožování a vývoj embrya

Extracelulární váčky hrají důležitou roli i v rozmnožování. Váčky obsažené ve spermatu jsou produkované zejména nadvarletem a prostatou. Jejich přítomnost je nezbytná pro ochranu spermii během prostupu ženským pohlavním traktem a dále regulují pohyblivost a dozrávání spermii. Oplozením vzniká embryo, jehož buňky se stávají významným zdrojem váčků podílejících se na formování embrya, a to především během tvorby gradientu morfogenů (rozdílných koncentrací látek, které určují základní stavbu těla), migrace buněk a určování jejich správné polaroty (orientace v prostoru). Po vytvoření placenty vstupují váčky sekretované z plodové části placenty do krevního oběhu matky, kde pomáhají navodit toleranci imunitního systému matky k antigenům plodu.

● Nervový systém

Váčky jsou v něm uvolňovány nejen z neuronů, ale i z gliových buněk (mikroglíí, oligodendrocytů a astrocytů). Ty z neuronů se podílejí hlavně na řízení přenosu signálů na synapsích (spojích mezi neurony). Extracelulární váčky glií přispívají k udržování vhodného prostředí pro neurony zajišťujícího jejich přežívání a správné šíření signálů. Zároveň brání nadměrné stimulaci neuronů vychytáváním některých neurotransmiterů (přenašečů nervového signálu) na synapsích, zejména glutamát-

tu), které ve vyšších koncentracích působí toxicky. Váčky produkované mikroglie (fagocytujícími buňkami v centrálním nervovém systému, jež pomáhají udržovat stále vnitřní prostředí mozku) mohou obsahovat velká množství prozánětového interleukinu IL-1 β a podílet se na šíření zánětu. Mikroglie mohou také odstraňovat extracelulární váčky jiných typů buněk centrální nervové soustavy. Zvláštní úlohu mohou váčky rovněž zastávat v šíření prionových infekcí v mozku, a podílet se tak na rozvoji neurodegenerativních chorob. Další informace o rolích váček v centrálním

nervovém systému se dočtete v následujícím čísle Živy.

Shrnutí

Extracelulární váčky představují jeden ze způsobů mezibuněčné komunikace a hrají důležitou úlohu ve vývoji organismu, v přenosu signálů, udržování stálého prostředí, přežívání buněk nebo v přenosu infekce a obraně proti patogenům. Mezi extracelulární váčky náležejí zejména apoptotická tělíska, mikrovezikuly a exozomy, navzájem odlišné mechanismem vzniku, velikostí a složením. První část pojednání

o těchto váčkách sledovala jejich obecné funkce u bakterií, nižších organismů, rostlin a živočichů. V druhé části se zaměříme na exozomy, které jsou z extracelulárních váček nejlépe prozkoumané a u nichž se očekává praktické uplatnění v lékařství.

Publikace vznikla za podpory projektu LO1609 Národního programu udržitelnosti Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

Doplňující literatura uvedena na webové stránce Živy.

Eva Hřibová

Nové poznatky v genetice rostlin II. Charakterizace a konzervace genetické rozmanitosti banánovníku

Banánovníky (rod *Musa*) jsou jednoděložné byliny přirozeně se vyskytující v oblastech tropů a subtropů. Taxonomicky patří do čeledi banánovníkovitých (*Musaceae*), k jejich blízkým příbuzným v rámci řádu *Zingiberales* se řadí např. zázvor (zázvorovník – *Zingiber*) z čeledi *Zingiberaceae* nebo strelície (*Strelitzia*) z čeledi *Strelitziaceae*. Dosud bylo popsáno asi 75 druhů banánovníku, které jsou v rámci rodu rozděleny do dvou sekcí – *Musa* (základní chromozomové číslo $x = 11$, tedy počet chromozomů v jedné sadě), kam zařazujeme převážnou většinu jedlých typů banánovníku a jejich planých diploidních předchůdců, a sekce *Callimusa* ($x = 10$ nebo $x = 9$). Současná taxonomická klasifikace je však předmětem četných diskuzí a není tak vyloučeno, že v následujících letech bude přehodnocena. Některé druhy rodu *Musa* mohou dosahovat výšky až 15 m, růst v různých nadmořských výškách a dokonce odolávat teplotám pod bodem mrazu (např. *M. basjoo*). V tropických a subtropických oblastech světa představují banánovníky nesoucí bezsemenné plody jednu z nejdůležitějších plodin a banány tvoří podstatnou část výživy mnoha milionů obyvatel. Kromě nám dobře známých sladkých banánů se ve velkém rozsahu pěstují tzv. škrobové banány, které se musejí před konzumací tepelně upravit, nebo se z nich fermentací připravuje banánové pivo. V zemích východní Afriky dosahuje roční spotřeba banánů, především škrobových, 250–400 kg na osobu. Banánovníky jsou vhodné také pro získávání kvalitních vláken, listy slouží místo talířů anebo jako krmivo pro hospodářská zvířata. Jedna skupina banánovníků (především druh *M. ornata*) se také díky panašovaným listům a variabilitě v barevnosti květenství využívá jako okrasné rostliny. Následující text shrnuje využití moderních metod genetiky a molekulární biologie k porozumění a uchování genetické rozmanitosti významné plodiny, kterou banánovník představuje.

Většina banánovníků plodících jedlé plody jsou diploidní nebo triploidní klony (ploidií lze stručně charakterizovat jako počet homologních sad chromozomů v nepohlavních buňkách daného organismu), které vznikly přirozeným vnitro- nebo mezidruhovým křížením dvou planě rostoucích diploidních druhů – *M. acuminata* (A genom) a *M. balbisiana* (B genom). Výsledkem této přirozené hybridizace byl vznik sterilních klonů banánovníku, je-

žichž bezsemenné plody vyplňuje dužina. Banánovníky s bezsemennými plody se rozmnožují odnožemi. Pěstování stejného genotypu (klonu) na velkých plochách přispívá k rychlému šíření chorob, které mají za následek snížení výnosů, až ztrátu veškeré úrody. Ochranu zajistí jedině aplikace fungicidů – ty však zatěžují životní prostředí a vzhledem k finanční náročnosti je využívají především nadnárodní společnosti, pěstující banány určené pro

export. Malopěstitelé, kteří produkují zejména škrobové typy banánů pro přímou konzumaci, si takovou ochranu rostlin nemohou dovolit a šíření chorob pro ně představuje nejen ztrátu úrody, ale v mnoha případech existenční problémy. Jedinou nadějí přináší pěstování rezistentních klonů. Šlechtění banánovníku je však komplikováno již zmíněnou sterilitou pěstovaných forem, omezenými znalostmi o jejich původu a také malou znalostí genetické diverzity. Ta je přitom velmi důležitá jak při výběru vhodných genotypů pro šlechtění, tak při ochraně a konzervaci existujícího genofondu, ohrožovaného změnami ve způsobu hospodaření a masivním kácením pralesů.

Genové banky banánovníku

Charakterizace genetické diverzity a konzervace genofondu banánovníku představuje jeden z hlavních cílů mezinárodní organizace Bioersity International. Svou činnost zaměřuje na koordinaci a spolufinancování lokálních polních genových sbírek a především spravuje mezinárodní genovou banku banánovníku. Velkou výhodou polních genových sbírek jsou relativní snadnost jejich založení a poměrně nízké finanční náklady na udržování. Nevýhoda spočívá v přímém ovlivnění rostlin chorobami a škůdci a nepříznivými přírodními podmínkami. Vzhledem k tomu, že banánovníky jsou tropické a subtropické rostliny, polní genové sbírky se zakládají v těchto oblastech, což především v jihovýchodní Asii znamená značné riziko ztráty rostlin v důsledku nepříznivého počasí. Tak byly tajfuny zcela zničeny některé polní sbírky banánovníků na Filipínách, v Indii a Číně.

I z tohoto důvodu byla v r. 1984 založena mezinárodní genová banka banánovníku (International Musa Germplasm Transit Centre), tzv. ITC kolekce. Genová banka je umístěna na Katolické univerzitě v belgické Lovani. Zpočátku se soustředila na uchovávání pěstovaných typů banánovníku a dvou jejich pravděpodobných rodičovských druhů (obr. 1). V posledních letech se však snaží do své sbírky začlenit i další plané druhy a typy s cílem uchovat co největší genetickou rozmanitost rodu *Musa*. V současné době banka obsahuje více než 1 500 položek. Vzhledem ke sterilitě jedlých typů banánovníku a nízké fertilitě některých planých diploidních druhů jsou všechny položky v ITC kolekci udržovány v podmínkách pomalu rostoucích *in vitro* kultur.