



FRANTIŠEK
KOTLABA

Za houbami v březnu

Říká se, že z jara se příroda zazelená; není to tak docela pravda...
Karel Čapek, Zahradníkův rok

Jaro by mělo přicházet kolem 21. března, ovšem každý rok je tomu poněkud jinak. Vývoj počasí v tom kterém roce má přirozeně vliv i na růst hub, jež na panující počasí citlivě reagují.

V březnu můžeme najít velmi vzácnou, zákonem chráněnou hvězdovku Pouzarovu (*Geastrum pouzarii*), patřící v stopkovýtusných houbách mezi břichatky, u nichž se tvoří výtrusy v uzavřených plodnicích a uvolňují se pasivně. Tato hvězdovka roste

Nahoře: Tvarově i barevně zajímavá hvězdovka Pouzarova (*Geastrum pouzarii*) patří obecně k velmi vzácným hvězdovkám; Česká pošta ji r. 2000 vydala na známce v hodnotě 5 Kč. Snímek © Zdeněk Turičík.

Dole: Drobné plodničky penízovky smrkové (*Strobilurus esculentus*) vyrůstají na jaře často ve značném počtu z ležících smrkových šišek. Snímek © František Kotlaba.





Jarní štavnatka březnovka (*Hygrophorus marzuolus*) má dosti velké masité plodnice, které bývají skryté pod mechem, jehličím nebo listím. Snímek © Václav Janda.



od března do května na drolivých stráních nebo skalách bazické povahy (diabasech, čedičích) s řídkou bylinnou vegetací. Plodnice má v mládí kulovité, podzemní; růstem se dostávají nad zem, kde se hvězdovitě rozpukávají v 5–9 cípů, jež jsou pleťově růžové, po zaschnutí hnědnou a zkrucují se k vnitřní kulovité zrnité okrovce s rýhovaným ústím. Celá plodnice je 2–5 cm široká; cípy starých plodnic jsou na vnější straně bílé, s radiálními puklinami. U nás je dnes známa ze 17 lokalit,¹ a to jen v oblasti teplomilné květeny ve středních a severozápadních Čechách (z ciziny je udávána pouze ze Švýcarska a Španělska). Popsal ji před půl stoletím (1954) známý přírodovědec, fotograf a filmař dr. Václav J. Staněk (viz *Vesmír* 74, 457, 1995/8) a pojmenoval ji po jejím prvním nálezci, tehdy studentu Zdeňku Pouzarovi.

Další březnový až dubnový druh houby je barevně krásný ohnivec rakouský (*Sarcocypha austriaca*) z hub vřeckovýtusných, jež byl dříve v širším pojetí určován jako ohnivec šarlatový (*S. coccinea*). Je to dřevní houba vyrůstající z ležících větví nebo tenčích kmenů listnáčů, nejčastěji javoru klenu, trnovní-

Ohnivec rakouský (*Sarcocypha austriaca*) pro své nápadně červené zbarvení neunikne naší pozornosti na jarních vycházkách do přírody. Snímek © František Kotlaba.

ku akátu a buku. Dosti tenké masité plodnice jsou miskovité, 5–8 cm široké, uvnitř šarlatově červené a zevně bělavé. Roste od nížiny do hor (tam ale spíše až v květnu nebo v červnu). Každý nález ohnivce je skutečnou potěchou pro oko. Tento druh – stejně jako předešlý – se k jídlu nehodí.

Naproti tomu dva další druhy hub jedlé jsou. Patří mezi houby stopkovýtrusné lupenate s kloboukem a třeněm, ale liší se jak velikostí plodnic, tak hojností výskytu. Velmi hojná je penízovka smrková (*Strobilurus esculentus*), která vyrůstá ze starých ležících smrkových šišek, a to od nížin do hor po celé jaro, obvykle od března do května. Plodničky jsou drobné, s kloboučky šedě hnědavými, tenkými, jen 1–2,5 cm širokými, v mládí zvonkovitými, později rozloženými, naspodu s bělavými hustými lupeny a pružným žlutookrovým třeněm, který je 2–6 cm dlouhý a 1–2 mm široký. Když je šiška hlouběji v zemi, bývá třeně provázkovitě prodloužený. Za vlhkého jara je ve smrkových lesích této penízovky leckde jako naseto, a pak ji lze nasbírat v dostatečném množství (dobré zaměstnání na vycházkách do přírody pro menší děti). Tuto houbu nelze na jaře zaměnit za žádnou jedovatou.

Štavnatka březnovka (*Hygrophorus marzuolus*) by měla růst – jak její jméno napovídá – právě v březnu, ale u nás ji najdeme spíše v dubnu až květnu (někdy ovšem už koncem února). V první polovině 20. století byla u nás známa z velkého počtu lokalit,² dnes však bohužel patří k méně hojným až vzácným houbám. Roste v jehličnatých i smíšených lesích na kyselých půdách, a to značně skrytě: Plodnice

1) Mapku rozšíření najdete v České mykologii 31, 207, 1982.

2) Viz Česká mykologie 3, 94–96, 1949.



jsou totiž maskovány mechem, jehličím nebo listím, takže se obtížně hledají, třebaže rostou i ve skupinkách a často tvoří srostlice dvou či více kusů. Březnovka je dosti velká masitá houba s klobouky 3–10 cm širokými, v mládí bělavými, sklenutými, později šedavými, rozloženými, naspodu s bělavými, řídkými a tlustými lupeny, lehce sbíhavými na bělavý, 3–8 cm dlouhý a 1,5–3 cm široký třeně.

Březnem nám už vlastně začíná – byť nesměle – houbařská sezona. Ať tedy máte štěstí právě na tu nejvydatnější jedlou březnovou houbu, již je právě štavnatka březnovka! ☞

RNDr. František Kotlaba, CSc., (*1927) viz Vesmír 86, 28, 2007/1.

„To vím taky, vy chytřej, že je to muchomůrka hlízovitá jarní, smrtelně jedovatá. Však taky stojí jedna hromádka jenom dvě koruny.“
Kresba
© Vladimír Renčín.

Promiskuitní DNA

Stěhování genů z organel do jádra

Genetická informace je v eukaryotických buňkách uložena nejen v jádře. Svou vlastní DNA obsahují také malé buněčné organely – mitochondrie a chloroplasty. Podle endosymbiotické teorie se tyto organely kdysi vyvinuly z volně žijících bakterií a z doby svého vzniku si uchovaly zbytky genetické informace (viz Markoš A.: Třicet let endosymbiotické teorie, Vesmír 78, 208, 1999/4).

Pozůstatky prokaryotických genomů

Primitivní buňka, buď prokaryotická, nebo již eukaryotická,¹ přijala nejprve bakterie,² a z nich se vyvinuly mitochondrie. Poté tato buňka, tehdy zřejmě bičíkatá, přijala další bakterie,³ které daly vzniknout chlo-

roplastům. Tyto organismy stály u zrodu říše rostlin. Během evoluce se organelové genomy drasticky zmenšily. Zatímco prokaryotičtí předchůdci organel měli genomy o milionech bází, genomy organel jsou o jeden až dva řády menší (obr. 1). Průměrný chloroplastový genom má velikost kolem 150 kilobází, mitochondriální genomy živočichů mívají desítky kilobází (ten lidský má 16,6 kilobáze a obsahuje 37 genů), rostlinné mitochondriální genomy jsou podstatně větší a dosahují stovek až tisíců kilobází. Spolu s redukcí velikosti genomů klesl počet genů v genomech organel, z původních několika tisíc genů kódujících proteiny jich zbylo několik desítek, na nejvyš několik set. Některé linie chloroplastů

EDUARD KEJNOVSKÝ

1) Podobná dnešním archebakteriím.

2) Podobné dnešním proteobakteriím.

3) Podobné dnešním sinicím.

SLOVNÍČEK

autozom – nepohlavní chromozom vyskytující se v párech v somatických buňkách. Autozomy jsou stejné u obou pohlaví.

endosymbiotická teorie vzniku eukaryotické buňky – starobylé buňky, které byly podobné dnešním archebakteriím, v minulosti pohltily jiné bakterie, a posléze si je „ochočily“. Z pohlčených bakterií pak vznikly buněčné organely: z proteobakterií mitochondrie (v živočišných i rostlinných buňkách), ze sinic chloroplasty (jen v rostlinných buňkách).

plastidy – organely rostlinných buněk a řas. Většinou se předpokládá, že jde o potomky bývalých endosymbiontů sinicového typu, v několika málo případech u konkrétních druhů řas však existuje podezření, že jejich plastidy jsou potomky eukaryotických symbiontů typu řas.

V buňce slouží plastid jako organela, v níž probíhá fotosyntéza, jako zásobní organela, nebo jako organela odpovědná za zbarvení buňky. DNA obsahuje některé geny, plastidy tedy mají důležitý podíl na mimojaderné dědičnosti. Mohou nabývat různých forem v závislosti na funkci, kterou v rostlině plní. Některé formy nejsou definitivní a mohou přecházet v jiné.

promiskuitní DNA – úseky DNA migrující v průběhu evoluce mezi genomy buněčných organel (mitochondrií a chloroplastů) a jaderným genomem.

rekombinace – vytváření nových kombinací genů či jiných sekvencí DNA, jehož základem je překřížení odpovídajících částí chromozomů (crossing-over), při němž se molekuly DNA „zlomí“ a opět se spojí s novými kombinacemi. Rekombinující oblasti jsou většinou homologické, není to však podmínkou. Mechanismus rekombinace se uplatňuje zejména při výměně genetického materiálu mezi rodičovskými chromozomy při tvorbě pohlavních buněk v meióze.

repetitivní sekvence – mnohonásobně opakovaná sekvence nukleotidů v DNA. Takové sekvence představují značnou část lidského genomu.

retroelementy – genetické elementy, které k své produkci používají enzym reverzní transkriptázy a kopírují se prostřednictvím molekul RNA (podrobněji viz E. Kejnovský: Zkopíruj a ulož, Vesmír 79, 273, 2000/5).

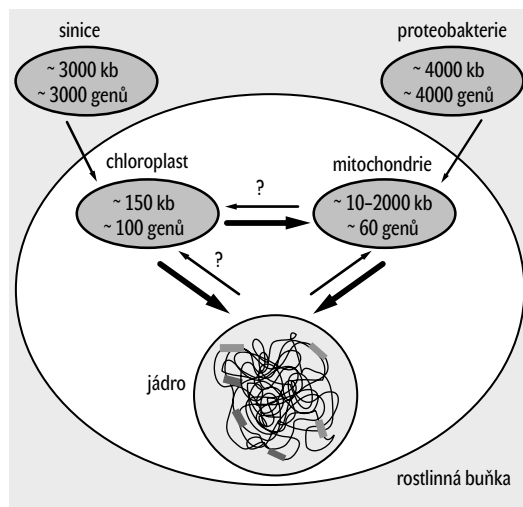
reverzní transkriptáza – enzym tvořící molekulu DNA na základě přepisu informace uložené v RNA (opačně než při běžném přepisu).

složené geny – geny, jejichž části (tvořící dohromady většinu délky genu) se po přepisu z molekuly DNA do RNA odstraní ještě před vznikem proteinu. Taková je většina genů eukaryotických organismů.

ztratily více než 95 % genů, tj. sekvencí kódujících ve volně žijících sinicích proteiny a různé typy RNA. Kam se ztracené geny poděly?

Objev promiskuitní DNA

Dříve se badatelé domnívali, že genetické systémy eukaryontních buněk – dva u živočichů (jádro a mitochondrie) a tři u rostlin (jádro, mitochondrie a chloroplasty) – jsou oddělené a každý si jde svou evoluční cestou. Na počátku osmdesátých let však vědci objevili chloroplastové geny v mitochondriálním genomu. Bylo jasné, že se tam musely dostat přenosem genů mezi organelami. Některé úseky chloroplastové DNA byly dokonce v mitochondriálním genomu obsaženy vícekrát, což



1. Schéma rostlinné buňky obsahující jádro, mitochondrie a chloroplasty. Šipky znázorňují směr přenosu genů mezi organelami a jádrem. Tlusté šipky odpovídají převažujícímu toku genetické informace v průběhu evoluce. Přenosy genetické informace z mitochondrií a z jader do chloroplastů nebyly zatím objeveny (označeno otazníkem). Bakterie podobné sinicím jsou předchůdci chloroplastů, bakterie podobné proteobakteriím jsou předchůdci mitochondrií. Velikosti genomů a počty genů organel a jejich bakteriálních předchůdců jsou pouze orientační. Genomy mitochondrií jsou velké desítky kilobází (kb) u živočichů a stovky až tisíce kilobází u rostlin.

svědčilo o vícenásobném přenosu. Tehdy vznikl termín „promiskuitní DNA“, označující přenos DNA mezi buněčnými genomy. Objev promiskuitní DNA vyvolal řadu otázek – zda se také mitochondriální geny mohou nacházet v chloroplastech, jak daleko tato promiskuita DNA vůbec může jít, zda něco podobného může nastat i u vyšších organismů, například u člověka a jeho symbiotických organismů, či dokonce u nesymbiotických patogenních organismů. Výsledky sekvencování celých genomů dnes již jasně ukazují, že přenos genů organel do jádra je všudypřítomný a vyskytuje se častěji, než jsme si dříve dokázali představit.

Proč se geny přesouvají do jádra?

Prokaryotičtí předchůdci organel byli původně sexuální, a poté, co vstoupili do buňky a uzavřeli endosymbiotické partnerství, se od ostatních jedinců svého druhu izolovali, začali být asexuální. Víme, že nepřítomnost sexuality vede k hromadění škodlivých mutací. Nefungují totiž opravné mechanismy na bázi rekombinace DNA, které spočívají v opravě poškozených kopií genů podle kopií nepoškozených. Selektční tlak kromě toho zvýhodňuje malé genomy. V evoluci byly zvýhodněny úseky DNA, které byly přeneseny do jádra, kde mohou rekombinovat, a tím opravit své poškození. Ukázalo se, že během evoluce *organel rostlinných buněk a řas* (plastidů) bylo do jádra přeneseno až 5000 genů. Mnohé kopie těchto genů jsou funkční i po přenosu do jádra. Organely totiž využívají produkty svých bývalých genů, i když jsou tyto geny v jádře.

Které geny jsou promiskuitnější?

Proč některé geny v organelách zůstávají? Byly totiž nalezeny i organely prokazatelně endosymbiotického původu, které ztratily DNA. Odpověď zatím není jednoznačná, ale zdá se, že některé geny zůstaly v organelách zachované v důsledku určitých vlastností proteinů (hydrofobicitou), a také v souvislosti s řízením oxidativních procesů. Některé proteiny by těžko procházely membránami z cytoplazmy do organel, a proto je výhodnější je syntetizovat přímo uvnitř organel. Stejně tak v případě proteinů řídících oxidativní procesy je výhodnější jejich syntéza přímo v organelách, kde mohou být odpovídající geny zapínány a vypínány podle potřeby organel. Ukázalo se, že v evoluci se některé geny z organel přenášejí do jádra přednostně. Co je příčinou různé náchylnosti genů k promiskuitě? Jako první přecházejí do jádra geny, jejichž produkty mají regulační funkci. Geny související převážně s překládem genetické informace a s dýcháním opouštějí organely jako poslední. Pěkným příkladem je enzym rubisco, jehož katalytická podjednotka je kódována chloroplastem, zatímco regulační podjednotka pochází z jádra (obr. 2).

Jak se organelové geny dostanou do jádra?

Původně se uvažovalo o prostřednictví genetických elementů, jako jsou transpozony, ne-

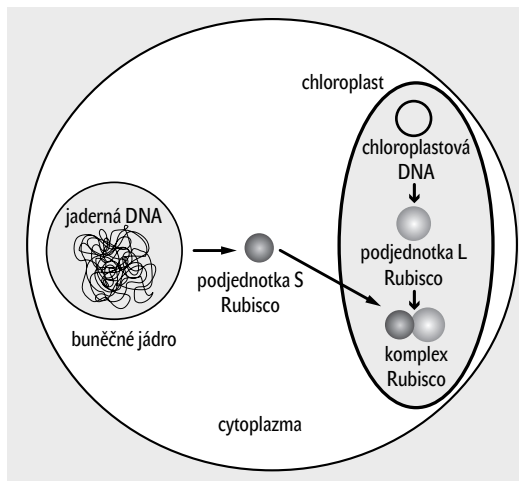
bo o fágovém přenosu. Dnes existenci organelové DNA v jádře vysvětlují dvě hypotézy: přenos prostřednictvím RNA a včlenění velkých kusů organelové DNA rekombinací. Tyto hypotézy se navzájem nevylučují a pro obě existují experimentální důkazy. V čem spočívá první hypotéza? Organelový gen se přepíše do RNA, a pak se zpětně přepíše (reverzní transkriptázou) do komplementární DNA (cDNA), která se včlení do jaderného genomu. Skutečně byly nalezeny úseky organelových genů v jádře, jimž chyběly introny, tj. části genů, které zmizí pouze při úpravách RNA. Představu včleňování velkých kusů DNA podpořily objevy 131 kilobází úseku chloroplastové DNA v jádře rýže nebo 620 kilobází úseku mitochondriální DNA v jádře huseníčku (*Arabidopsis thaliana*). Úseky obsahovaly nejen geny s introny, ale i mezigenové oblasti. Tyto obří kusy DNA byly zřejmě procesem rekombinace včleněny do jaderného genomu poté, co se membrána organel rozpustila a jejich DNA se dostala do cytoplazmy a do jádra.

Jak častý je přenos genů do jádra?

Vědci se rozhodli, že to zjistí. Vložili proto do chloroplastového genomu tabáku gen kódující rezistenci k antibiotiku a zajistili, aby byl tento gen zapnut jen tehdy, když je v jádře. Poté prokázali, že u rostlin tabáku, jež vyrostly v přítomnosti daného antibiotika, se do jádra přenesl kousek chloroplastového genomu nesoucího rezistenci k antibiotiku. S překvapením zjistili, že je takový přenos poměrně častý, u jedné ze 16 000 rostlin. Ve skutečnosti je ale mnohem častější, neboť výše uvedeným postupem byla sledována pouze část chloroplastového genomu, která obsahovala gen pro rezistenci. Lze říci, že z několika tisíc rostlin, které vidíme, když se kolem sebe rozhlédneme například na palouku v lese, nese alespoň jedna v jádře „čerstvý“ kousek chloroplastové DNA, který se do jádra včlenil v minulé generaci.

Promiskuitní DNA v lidském genomu

Úseky promiskuitní DNA jsou i v jaderném genomu člověka. Kromě mitochondriálních genů, které se přesunuly do jádra před několika stovkami milionů let a konají svoji práci pod novou vládou, bylo v našem genomu identifikováno přes 200 nefunkčních fragmentů mitochondriální DNA. Z nich vědci dále zkoumali 42 úseků, které se do našeho jaderného genomu včlenily nejpozději. Zjistili, že pouze 14 z nich se nachází také v jaderném genomu šimpanze, což naznačuje, že většina těchto úseků byla do našeho genomu včleněna až po oddělení větví vedoucích k člověku a k šimpanzům, tedy někdy před 4–8 miliony let. Některé úseky se dokonce liší i mezi lidskými populacemi, to znamená, že byly včleněny „nedávno“. Fragmenty mitochondriální DNA nejsou v lidském genomu rozptýleny rovnoměrně. Pohlavní chromozom Y, přítomný pouze u mužů, je mitochondriální DNA kolonizován mnohem více než ostatní chromozomy. Zajímavé je i to, že se promis-



2. Komplex rubisco, důležitý pro fungování chloroplastů, je tvořen podjednotkou S, která je kódována jadernou DNA, a podjednotkou L, kódovanou chloroplastovou DNA. K sestavování funkčního komplexu dochází uvnitř chloroplastu. Obrázek je schematický, velikosti organel ani komplexů nejsou ve správných poměrech.

kuitní DNA včleňuje s mnohem vyšší frekvencí do vysoce aktivních genů než do oblastí nekódujících (např. repetitivních) sekvencí. Nejnovější objevy naznačují, že úseky této promiskuitní DNA v lidském genomu nejsou zcela neškodné. Jejich včlenění do genů může způsobit i závažná onemocnění, což dokazuje nedávný objev mitochondriální DNA v genu důležitém pro srážlivost krve u pacientů trpících hemofilii.

Promiskuitní DNA všude

Organelová DNA se pohybuje z efektivně využitého genomu prokaryot do zcela odlišného genetického prostředí eukaryotického jádra, obsahujícího složené geny a velké množství opakujících se úseků DNA, repetící. Organely se vyznačují nejen odlišnou genovou i genomovou organizací ve srovnání s jádrem, ale i odlišnými mechanismy regulace genové exprese. Podíl promiskuitní DNA v genomu byl dosud podhodnocován, což bylo způsobeno tím, že algoritmy používané v sekvenčních projektech považovaly organelové sekvence za nežádoucí kontaminace a systematicky je vyřazovaly. To se nyní přehodnocuje. Ukázalo se, že například v genomu huseníčku (*Arabidopsis thaliana*) pochází 18% genů ze starobylého plastidového genomu. Organismy se brání, aby jejich jaderné genomy nebyly přesyceny organelovými sekvencemi. Aktivně se jich zbavují různými mechanismy, především rekombinací. V laboratoři vývojové genetiky rostlin v Biofyzikálním ústavu AV ČR, kde se zabýváme strukturou a evolucí pohlavních chromozomů u rostlin, jsme zjistili, že se na pohlavním chromozomu Y modelové dvoudomé rostliny silenky široolisté (*Silene latifolia*) hromadí chloroplastová DNA. Zřejmě je to tím, že u chromozomu Y, který nemá partnera (na rozdíl od autozomů a pohlavního chromozomu X), a tudíž nerekombinuje, tento obranný mechanismus nefunguje. Ukazuje se, že všudypřítomný přenos genů z organel do jádra a vzájemné ovlivňování mezi buněčnými genomy hrají v evoluci genomů důležitou úlohu. Spolu s přenosnými elementy – především s retroelementy (viz Vesmír 79, 273, 2000/5) – je jedním z hlavních činitelů ovlivňujících dynamiku eukaryotních genomů od jejich vzniku.

RNDr. Eduard Kejnovský, CSc., (*1966) vystudoval molekularní biologii na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity. V Biofyzikálním ústavu AV ČR, v. v. i., v Brně se zabývá studiem evoluce pohlavních chromozomů u dvoudomých rostlin.