

Hybridní zóny a „záhada záhad“ Studium hybridních zón a otázka vzniku druhů

Miloš Macholán, Pavel Munclinger

„I učinil Bůh zvěř zemskou podle pokolení jejího,
též bovada podle pokolení jejích, i všeliký zeměplaz podle pokolení jebo.
A viděl Bůh, že to bylo dobré.“

(Gen.1.21,25)

„Ta záhada záhad, nabrizení vyhynulých druhů jinými.“
(J. W. F. Herschel, dopis Ch. Lyellovi, 20. února 1836)

I pro běžného laika je existence druhů očividná, stačí se v zimě podívat na ptačí krmítko: málokdo by měl asi problém rozlišit vrabce od sýkory nebo kosa. Půjdeme-li v létě po polní cestě, rozeznáme podél ní divizny, sedmikrásky či vlčí mák. Samozřejmě, v mnoha případech bychom tak snadnou práci s rozlišením druhů neměli, přesto s námi bude asi většina čtenářů souhlasit, že druhy skutečně reálně existují. Proč by ale měly? Proč podél naší cesty kromě divizen a sedmikrásek nevidíme i různé kombinace obou rostlin, jakési „divikrásky“? Pokud zavrhneme prosté vysvětlení nadpřirozeným zásahem shůry, zjistíme, že odpověď na tuto otázku není zdaleka triviální.

Jestliže mají divizny zůstat diviznami a sedmikrásky sedmikráskami, musí existovat nějaké mechanismy, které buď zabrání jejich vzájemnému křížení, nebo způsobí, že potomci vzniklí z jejich mesaliance budou určitým způsobem penalizováni (např. snížením jejich životaschopnosti nebo plodnosti). Přitom můžeme s jistotou předpokládat, že kdysi v dávné minulosti měly divizny a sedmikrásky společné předky, můžeme jim říkat třeba „protodivikrásky“, přičemž mezi jednotlivými protodivikráskami probíhala volná výměna genetického materiálu. Jak se stalo, že se rostliny z jedné populace protodivikrásek přestaly množit s jinými populacemi téhož druhu? Možných vysvětlení je několik, nejpravděpodobnější scénář mohl být asi takový: Následkem geologických procesů byla kdysi jednotná populace rozdělena na dvě části (řekou, pohořím, oddělením kontinentálních desek apod.), takže mezi protodivikráskami z obou takto vzniklých populací (můžeme si je

označit třeba A a B) už nemohlo docházet ke vzájemné genetické výměně. Geografická bariéra způsobila, že se jak v populaci A, tak i B postupně kumulovaly genetické rozdíly, a jestliže tato izolace trvala dostatečně dlouho, nabyly rozdíly takového rozsahu, že po opětovném setkání příslušníků obou populací už jejich křížení bylo problematické, nebo nebylo možné vůbec. Potomci protodivikrásek A se vydali svou vlastní evoluční cestou až ke dnešním sedmikráskám, z potomků protodivikrásek B vznikly divizny.

Až potom se zdá výše uvedený scénář poměrně jednoduchý, je to ovšem tím, že jsme dosud zůstali jen na povrchu celého problému. Evoluční biologie zabývající se vznikem nových druhů (speciací) zajímá především podstata bariéry mezi dvěma reprodukčně izolovanými populacemi. Lze si představit řadu možných mechanismů od prostorového či sezonního oddělení populací přes preference partnerů stejného

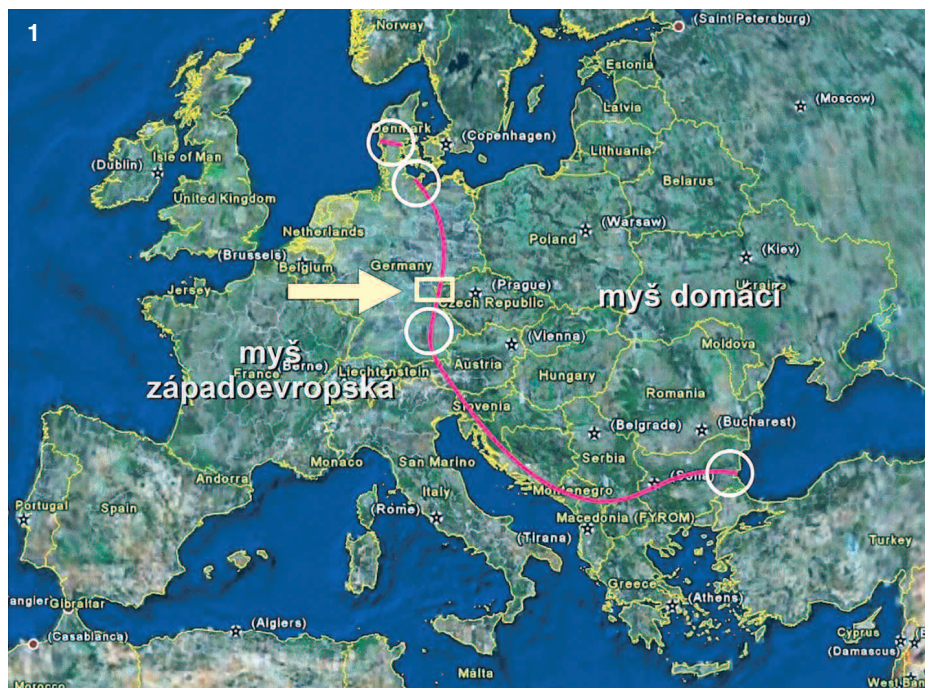


druhu až po problémy nastávající po oplodnění vajíčka. Protože v tomto případě nepatří za vším hledej ženu, ale za vším hledej geny, musíme si položit několik klíčových otázek: Kolik genů způsobuje reprodukční izolaci a jak velký mají účinek? Interagují tyto geny vzájemně při vzniku reprodukční bariéry a jestliže ano, jakým způsobem? Jsou za tyto bariéry odpovědné libovolné geny, nebo pouze geny se specifickou funkcí? Stojí za evoluci těchto genů přírodní výběr, nebo náhodné procesy?

Studium současných sedmikrásek a divizen nám k zodpovězení těchto otázek bohužel moc nepomůže. Mezi oběma druhy se totiž během dlouhé doby vyvinulo tolik rozdílů, že už nelze říci, které z nich byly zásadní pro vznik reprodukční bariéry a které vznikly až v důsledku této izolace. Proto je třeba se zaměřit na druhy ve stadiu zrodu, tedy na populace, mezi nimiž je reprodukční bariéra dosud nedokonalá. Příslušníky takových populací můžeme za jasně definovaných podmínek zkřížit v laboratoři a zkoumat následky této experimentální hybridizace. V ideálním případě se podaří dospět až ke konkrétním genům, které mají na svědomí sterilitu nebo vývojové vady hybridů. Některé z těchto genů, často označovaných jako „speciální“, už byly skutečně identifikovány, zatím ovšem jen u velmi omezeného počtu organismů.

Pravděpodobně nejnámější speciální gen byl objeven u populárního modelového živočicha, octomilky rodu *Drosophila* (tzv. banánové mušky). Přestože název tohoto genu — *Odysseus (Ods)* — může pro někoho znít docela poeticky, skutečnost je mnohem prozaičtější. Stejně jako bájný řecký hrdina, který se svými spolubojovníky lstí vnikl do nedobytné Tróje ukryt v útrohách dřevěného koně, aby pak v noci otevřel brány a pobil spící nepřátele, i gen *Odysseus*, jakmile se ocitne v cizím genomu, vyvolává vážné problémy. Proto neboží

Obr. 1 Satelitní snímek Evropy s vyznačeným průběhem hybridní zóny (červená čára) mezi myší domácí — *Mus (musculus) musculus* a myší západoevropskou — *M. (musculus) domesticus*. Bílé kroužky označují oblasti, ve kterých byla tato zóna intenzivně studována, žlutým obdélníkem je vyznačena část zóny zasahující na naše území. Orig. M. Macholán





Obr. 2 Dvě formy myši, které se vzhledem k jejich synantropnímu způsobu života obecně označují jako „domácí“, přestože jsou známy oblastí, kde žijí zcela nezávisle na člověku. Myš domácí — *Mus (musculus) musculus* (vpravo) má světlejší hřbetní a především břišní stranu těla a o něco kratší ocas. Její areál sahá od střední a severní Evropy až po Dálný východ. Zbarvení myši západoevropské — *M. (musculus) domesticus* (vlevo) je proměnlivější, v mírném pásmu je však zpravidla výrazně tmavší, bez zřetelného rozdílu mezi hřbetní a břišní stranou. Vyskytuje se v západní a jižní Evropě a na Středním východě, díky vazbě na člověka však dokázala osídlit i Severní a Jižní Ameriku, Afriku a Austrálii. Foto B. Bímová, P. Munchlinger, M. Macholán

samci octomilek druhu *D. simulans*, kterým vědci pomocí důmyslných křížení zabudovali do genomu variantu *Ods* typickou pro příbuzný druh *D. mauritiana*, byli zcela sterilní (a z genetického hlediska tedy vlastně mrtví). Podobně jako antický rek i gen Odysseus urazil na své evoluční pouti velmi dlouhou cestu a jeho varianty vyskytující se u obou zmíněných druhů octomilek se liší natolik, že jejich přítomnost v genomu opačného druhu dělá z hybridních samců neplodné eunuchy.

Postup založený na kříženích v laboratoři je však zpravidla nákladný a technicky náročný. Naštěstí nám příroda nabízí jinou alternativu, ve které všechny experimenty vykonala za nás. Jde o tzv. hybridní zóny, tedy geografické oblasti, ve kterých se dvě geneticky odlišné populace setkávají, kříží a vzniká hybridní potomstvo. Oproti laboratorním pokusům mají hybridní zóny několik výhod. Kromě mnohem menší technické náročnosti a nižších finančních nákladů je to např. skutečnost, že v těchto oblastech probíhá hybridizace po mnoho generací a navíc veškeré potomstvo vzešlé z tohoto křížení podléhá přírodnímu výběru, který lze v laboratorních podmínkách jen obtížně simulovat. Proto jsou hybridní zóny často vzletně označovány za „přírodní laboratoře“ či „okna do evoluce“.

Hybridizace byla studována u celé řady organismů od rostlin až po obratlovce. Jedním z modelových druhů, které se k tomuto účelu ideálně hodí, je myš domácí. Jednak zpravidla není příliš obtížné získat dostatečné množství studijního materiálu, jednak v případě potřeby lze myši snadno chovat a rozmnožovat v zajetí. Navíc známe téměř kompletní sekvenci myšičího genomu a máme k dispozici několik desítek tisíc vhodných molekulárních znaků, které lze použít k různým typům genetických analýz. Z našeho hlediska není zanedbatelná ani skutečnost, že jedna z myšičích hybridních zón se nachází v Evropě a dokonce zasahuje i na území České republiky. Tento asi 2 500 km dlouhý a přibližně 20 km široký pás hybridních populací protíná Jutský poloostrov a od pobřeží Baltského moře prochází střední Evropou přes Balkán až k Černému moři (obr. 1). Pokračování této zóny můžeme najít v Zakavkazí, tam je však mnohem méně probá-

daná. Odděluje areály výskytu dvou synantropních druhů či poddruhů tzv. myši domácích (názory na nomenklaturu se liší, jedním z důvodů je právě existence jejich vzájemného křížení, viz Živa 1997, 1: 43–45): ve východní a severní Evropě se vyskytuje myš domácí — *Mus (musculus) musculus*, myš západoevropská — *Mus (musculus) domesticus* obývá západní a jižní oblasti kontinentu (obr. 2).

Současné výzkumy potvrdily, že myši hybridní zóna není závislá na vnějších klimatických podmínkách a je takzvaně tenzní, tzn. udržuje se napětím mezi dvěma protichůdnými jevy, migrací a přírodním výběrem (selekcí). S jistým zjednodušením

si tenzní zónu můžeme přiblížit na následujícím příkladu. Přestože je myš tvorem až překvapivě usedlým, někteří jedinci (zpravidla mladí samci) mohou občas putovat i na delší vzdálenosti. Tak se může stát, že např. zvědavý sameček Světlobřichý se na svých toulkách dostane až k „tém druhým“, kde se zakouká do samičky Tmavohřbeté a zplodí s ní potomstvo. Tím se mu podaří nejen předat svoje geny do další generace, což bylo jeho primárním cílem, ale současně rozšířil genetický materiál za hranice vlastního (pod)druhu. V kontextu hybridní zóny to znamená, že čím více takových tuláků existuje a čím delší jsou jejich zálety, tím větší bude oblast obývaná hybridy, tj. hybridní zóna se bude rozšiřovat. Milostný akt pana Světlobřichého s paní Tmavohřbetou ovšem má i svoje negativní následky:

Obr. 3 Schematické znázornění přechodu dvou genetických znaků přes hybridní zónu: zatímco v prvním případě selektivně neutrální znak přechází přes zónu poměrně snadno (a), ve druhém případě bude průniku alel bránit přírodní výběr znevýhodňující křížence mezi oběma formami (b). Výsledkem budou různé šířky křivek popisujících tento přechod (tzv. klin). Jestliže vyneseme šířky těchto klin pro jednotlivé znaky proti jejich známé pozici na chromozomu (c), můžeme lokalizovat oblasti potenciálně odpovědné za vznik reprodukční bariéry (červené šipky; bližší viz samostatný doplňující text). Orig. M. Macholán

