

Není chlupáček jako chlupáček

31.7.2023 - | Přírodovědecká fakulta UK

Polyploidizace (neboli multiplikace genomu) se zdá být naprosto klíčová pro evoluci krytosemenných rostlin. Tento proces je obvykle doprovázen mnoha zásadními změnami, jako je například zvětšení velikosti buněk nebo změna exprese genů, která může následně ovlivnit fyziologii a morfologii rostlin. Mnoho otázek týkajících se polyploidizace přesto zůstává nevyřešených, například důsledky pro přežívání, koexistenci a další rozmnožování jedinců jsou stále předmětem diskusí.

*Diploidní rostlina chlupáčku, *Pilosella rhodopea*; zdroj: archiv P.Mráze*

Autoři studie se zaměřili na druh *Pilosella rhodopea* (chlupáček), vytrvalou bylinu z Balkánského poloostrova. Tento druh vytváří tzv. autopolyploidy (polyploidy v rámci téhož druhu, opačným případem jsou alopolyploidy, tedy polyploidy vzniklé z křížení mezi dvěma nebo více druhy), kteří jsou morfologicky k nerozeznání od svých diploidních předků. V předchozích studiích autoři ukázali, že existují tři hlavní cytotypy – diploidi (ti mají dvě sady chromozomů), triploidi (se třemi sadami) a tetraploidi (čtyři sady chromozomů), přičemž triploidi jsou majoritním cytotypem. V této studii autoři nasbírali a detailně prozkoumali rostliny z bulharských hor. Jejich hlavním cílem bylo studovat vliv multiplikace genomu na reprodukci těchto rostlin, který by mohl objasnit dominanci triploidů a koexistenci diploidů a autopolyploidů. „Tento druh je velmi zajímavý tím, že vytváří největší primární zónu kontaktu diploidů a od nich odvozených polyploidních cytotypů na světě. Tato „směska“ se prakticky vyskytuje v každé populaci, ze které jsme analyzovali větší počet rostlin na jejich ploidní úrovni a to napříč Balkánským poloostrovem,“ podotýká spoluautor studie Patrik Mráz a dále vysvětluje: „Zároveň se cytotypy vyskytují na lokalitách pohromadě, autopolyploidy nejsou ekologicky segregovány od jejich diploidních předků a jsou tedy vystaveny stejným selekčním tlakům. Je to situace, kterou lze logicky očekávat v každé primární zóně, protože autopolyploidy by měli sdílet stejnou ekologickou niku jako jejich geneticky totožní diploidní předci. V takové míře to však paradoxně nebylo ukázáno v žádném autopolyploidním komplexu.“

*Diploidní rostliny chlupáčku, *Pilosella rhodopea*; zdroj: archiv P.Mráze*

Výsledky studie, která byla založena na kombinaci analýzy ploidie mateřských rostlin a jejich semenného potomstva, reprodukčních strategií, embryologického pozorování vývoje zárodečných vaků a kvantifikace klonálního růstu rostlin rostoucích ve skleníku a v jedné smíšené populaci, jasně ukazují, že polyploidizace narušuje u chlupáčku tvorbu gamet, což vede ke snížené plodnosti autopolyploidů. Příčinou nízké fertility je zřejmě nevyvážená meióza, která se projevuje vysokou tvorbou aneuploidních semen (t.j. semen u kterých mají buňky nadbytek nebo úbytek chromozomů v porovnání s normální haploidní sadou chromozomů).

Skleníkový pokus odhalil, že autopolyploidy kvetou méně než "běžní" diploidi, což může být způsobeno opožděným vývojem autopolyploidních rostlin. Autoři dále zjistili, že u autopolyploidních chlupáčků se, stejně jako u podobných polyploidních komplexů, vyskytují tzv. apospórické iniciály, tedy buňky, ze kterých mohou vznikat geneticky totožná semena bez oplození, tedy apomikticky (partenogeneticky). Avšak na rozdíl od jiných modelových druhů, u autopolyploidů chlupáčku *P. rhodopea* není tento způsob rozmnožování funkční, tyto buňky záhy abortují. Další zajímavostí je, že všechny cytotypy (diploidi, triploidi i tetraploidi) mohou produkovat gamety o různém počtu chromozomových sad, což dále umocňuje efektivitu polyploidizace tohoto druhu. „Tím, že i diploidi tvoří neredukované gamety, ze kterých vznikají autopolyploidy *de novo*, a zároveň existuje čilý genový tok mezi všemi cytotypy, je jejich genetický background stejný. Tato vlastnost a rovněž

sdílení ekologické niky mezi diploidy a autopolyploidy, poskytují vynikající příležitost zkoumání přímých dopadů multiplikace genomu na fenotyp a expresi genů, protože spolu se vyskytující cytotypy se liší jenom počtem haploidních chromozomových sad“, upřesňuje Patrik Mráz a zároveň dodává, že „tento modelový druh je vskutku unikátní, protože umožňuje studovat ranná stadia evoluce autopolyploidů v jejich přirozeném prostředí. Na pokusy tak není nutno používat chemicky polyploidizované jedince, protože chemické ošetření mitotickými inhibitory s sebou nese rizika kolaterálních efektů na růst a fyziologii rostlin.“

Ilustrace výsledků skleníkového experimentu, zdroj: originální studie

Za nejzajímavější výsledek této studie však můžeme považovat zjištění, že autopolyploidi vytvářejí nejenom více růžic z úžlabních pupenů hlavní růžice, ale také adventivní růžice z kořenových pupenů, které u diploidních rostlin nebyly nikdy pozorovány. Patrik Mráz dále vysvětluje: „Okamžitá tvorba těchto orgánů jako důsledek polyploidizace byla pozorována i u triploidní rostliny vzniklé z diploidní mateřské rostliny, nebo u triploidních rostlin vniklých z autopolyploidů ale u diploidního potomstva z totožných mateřských autopolyploidních rostlin tento znak chyběl. Když jsme s mou bývalou doktorandkou a tehdy již postdoktorandkou ve švýcarském Friburgu, Barborou Šingliarovou, prvně viděli jak autopolyploidi tvoří desítky růžic z kořenových pupenů a diploidi zhola nic, nevěřili jsme vlastním očím. Bylo to jako prozření. Pokud je nám známo, takáto kvalitativní změna jako přímý důsledek autopolyploidizace dosud nebyl pozorován v přírodních populacích.“ Autopolyploidi si zvýšeným vegetativním růstem vlastně kompenzují velmi nízkou fertilitu. Z evolučního hlediska je tato tranzice směrem k zvýšenému vegetativnímu růstu zásadní, neboť *de novo* vzniklým autopolyploidům umožňuje uchytit se, přežít a šířit se mezi diploidními rostlinami a vysvětluje, proč je tato primární kontaktní zóna největší na světě. „Naše studie zároveň dává odpověď, proč jsou primární kontaktní zóny oproti sekundárním zónám poměrně zřídkačným fenoménem. Mnoho autopolyploidů takového „štěstí“ na zvýšené klonální rozmnožování nemá, nemůže se v přírodě uchytit a tudíž není vědci zaznamenáno. Zkrátka i když *Pilosella rhodopea* není „modelovým *Arabidopsisem*“, dává univerzální odpovědi na otázky týkající se evoluce a ekologie autopolyploidů u cévnatých rostlin.“

Schematické znázornění rozdílů mezi diploidy a polyploidy, zdroj: originální studie

„V tomto výzkumu bychom chtěli nadále pokračovat. Konkrétně se chceme zaměřit na změny, které multiplikace genomu vyvolává na fytohormonální úrovni a expresi jejich genů, protože fytohormony a jejich vzájemné interakce regulují růst, vývoj a organogenezi rostlin. Chceme též studovat dopady klonálního růstu, zejména na věk klonů a jejich prostorovou strukturu v přírodních populacích. Předběžné výsledky jsou velmi slibné, ale na pořádnou robustní studii to zatím není, potřebovali bychom finanční krytí. Proto jsme na toto téma podali návrh projektu, tento rok už počtvrté, tak snad to konečně vyjde“, dodává s úsměvem Patrik Mráz.

Šingliarová, B., Hojsgaard, D., Müller-Schärer, H., & Mráz, P. (2023). The novel expression of clonality following whole-genome multiplication compensates for reduced fertility in natural autopolyploids. *Proceedings of the Royal Society B*, 290(2001), 20230389.

<https://www.natur.cuni.cz/fakulta/aktuality/neni-chlupacek-jako-chlupacek>