

Antarktické vegetační oázy

4. Kvetoucí rostliny

V Antarktidě úspěšně rostou kromě lišejníků a mechů i dva druhy krytosemenných rostlin. Laická veřejnost reaguje na tuto informaci obvykle s údivem: jak vůbec mohou v tak extrémních podmínkách žít nějaké kvetoucí rostliny? Odborníci si však lámou hlavu nad opačným problémem – proč se v teplejších oblastech Antarktidy daří dlouhodobě přežívat jen dvěma, na první pohled nijak zvláštním druhům, když v klimaticky podobných podmínkách vysoké Arktidy jich nacházíme několik set? Mají tyto dva druhy nějaké unikátní adaptace k životu v Antarktidě, nebo je to spíše otázka šťastné náhody, která přispěla k přenosu jejich semen na odloučený kontinent?

Prvním ze dvou záhadných druhů je *Colobanthus quitensis* z čel. hvozdíkovitých (*Caryophyllaceae*), jehož drobné trsy tvořené úzkými nahloučenými listy a silně zkrácenými stonky připomínají polštářkové druhy mechů. Areál jeho výskytu není omezen jen na Antarktidu a subantarktické ostrovy, dosti hojně roste i v alpínském pásmu jihoamerických And od jižní Patagonie až po Ekvádor, vzácněji pak i na jedné lokalitě v Mexiku. Také metlice *Deschampsia antarctica* z čel. lipnicovitých (*Poaceae*), velmi nízká trsnatá tráva, má navzdory svému druhovému jménu značně široký areál rozšíření i mimo Antarktidu, sahající až do hor v severní části Chile a Argentiny. K invazi obou druhů z jihoamerického kontinentu do Antarktidy došlo s největší pravděpodobností dosti brzo po posledním velkém ústupu ledovců, neboť jejich pylová zrnka i makrozbytky (části pletiv a orgánů) byly nalezeny v rašelinných vrstvách starých asi 5 000 let. Z dosud provedených pylových analýz současně vyplývá, že v průběhu celé postglaciální periody nedošlo ani dočasně

k přirozenému rozvoji jiných druhů semených rostlin.

Pro úplnost ještě nutno dodat, že při výstavbě a zajišťování provozu antarktických výzkumných stanic byly opakovaně nechtěně zavleány některé plevelné druhy (např. lipnice roční – *Poa annua*), jejich výskyt se ale vždy omezoval jen na blízké okolí staničních budov.

Ekologické vazby, schopnosti šíření

Colobanthus i *Deschampsia* rostou v Antarktidě jen v teplotně a srážkově nejprůzračnějších oblastech západního pobřeží Antarktického poloostrova a přilehlých ostrovů po 68° j. š. Na většině lokalit se vyskytují společně, nejčastěji na pobřežních útesech či na náplavových terasách v blízkosti moře. Metlice je z obou druhů nesporně úspěšnějším kolonizátorem, a to nejen pro vrozeně rychlejší růst a schopnost vegetativního šíření, ale i díky svým méně vyhraněným nárokům na stanovištní podmínky. Zvláště pozoruhodná je její tolerance různých typů substrátů, od živinově chudých šterkových polí až po půdy

silně eutrofizované exkrementy živočichů. Stejně tak snáší substráty značně suché i trvale podmačené. Na zvláště příznivých lokalitách je schopna vytvářet rozsáhlé zapojené porosty, dosti odolné k mechanickému poškozování. Rostliny druhu *Colobanthus quitensis* mají více vyhraněné nároky na stanoviště. Nejčastěji obývají kamenité terasy či spáry ve skalních stěnách, ve kterých se uchycují pomocí dlouhých křivých kořenů. Velmi dobře snášejí silné zasolení substrátu v těsné blízkosti moře. Oba druhy pravidelně kvetou a vytvářejí klíčivá semena, která však dozrávají až ve druhém roce po odkvětu. Ke klíčení semen a ke zdárnému růstu semenáčků dochází nepravidelně, jen za klimaticky příznivých let, ve kterých se vyskytne delší série relativně teplých dnů. Metlice má navíc schopnost vegetativního šíření pomocí odnoží. K tomu jí napomáhají i někteří ptáci (např. chaluha jižní – *Catharacta maccormickii*), kteří ke stavbě jednoduchých hnízd na holé půdě s oblibou používají odnože vytržené z trsu.

Pokud jde o šíření na velké vzdálenosti, nemá ani jeden z obou antarktických druhů žádné mimořádné vlastnosti, které by mohly posloužit k vysvětlení, proč právě jim se podařilo kolonizovat Antarktidu. Semena celé řady jiných druhů rostoucích v jižní Patagonii a na subantarktických ostrovech, např. z rodu *Acaena* (růžovité – *Rosaceae*) či *Uncinia* (šáchorovité – *Cyperaceae*), mohou být šířena mnohem snadněji, neboť se přichycují na peří ptáků pravidelně přelétajících Drakeho úžinu. Také mořské i vzdušné proudy nepochybně přinášely po tisíceletí ke břehům Antarktidy semena značně početného souboru druhů.

Migrační bariéry tedy sotva můžeme považovat za hlavní příčinu obtížné kolonizace Antarktidy větším počtem druhů semenných rostlin, problém bude spíše

1 Kvetoucí *Colobanthus quitensis* z čel. hvozdíkovitých (*Caryophyllaceae*). Šířka rostliny je asi 50 mm

2 Detail trsu antarktické metlice *Deschampsia antarctica* z čel. lipnicovitých (*Poaceae*) o průměru asi 100 mm tvořícího hojná květenství. Tato tráva je schopna průkopnické kolonizace hrubě kamenitého podloží (ostrov Galindez)



v jejich obtížné adaptaci na specifické podmínky. V tomto přesvědčení nás utvrzují i pokusy s transplantací (záměrným vysazováním) celé řady druhů z velmi chladných oblastí Jižní Ameriky a subantarktických ostrovů na relativně pohostinná místa antarktického pobřeží. Výsledky těchto pokusů (prováděných s veškerou opatrností ještě před jejich zákazem Antarktickou smlouvou) byly jednoznačné: přes nadějný počáteční růst vysazené rostliny vždy v několika následujících letech uhynuly.

Anatomické a fyziologické charakteristiky

K vysvětlení záhady výlučného přežívání dvou druhů kvetoucích rostlin v Antarktice by tedy spíše mohl přispět objev některých jejich unikátních adaptačních mechanismů, ať už strukturních či funkčních. Tato lákavá představa silně motivovala badatele zabývající se stresovou fyziologií na řadě pracovišť a výsledky jejich práce jsou popsány ve více než stovce vědeckých publikací. Pokusme se shrnout alespoň některé z dosud získaných poznatků.

Z hlediska celkové morfologie i anatomie jednotlivých orgánů jsou mezi oběma druhy značné rozdíly, vyplývající především z dosti odlišného fylogenetického postavení čeledí, do kterých patří. Představují dva různé typy růstových forem, které jsou mimořádně výhodné pro přežívání v chladných oblastech: polštářkové hemikryptofyty a nízké traviny. Jsou to ovšem formy, které lze pozorovat i u mnoha jiných druhů arktické a alpské vegetace. Také v anatomické stavbě orgánů nelze najít znaky indikující nějaký unikátní způsob přizpůsobení k nepříznivým podmínkám. Listy mají sice částečně xerofytický charakter (silná kutikula, vysoká plošná hustota průduchů, velké zastoupení sklerenchymatických pletiv), ale vše je v rámci normy pro podobné typy rostlin z chladných oblastí.

Experimentální studium základních metabolických procesů (fotosyntézy a respirace) se s oběma druhy opakovaně provádělo v přírodních i v laboratorních podmínkách. Maximální rychlost fotosyntetické asimilace CO₂ na jednotku listové plochy (za nasycení zářením a optimální teploty) se pohybovala nejčastěji v rozmezí 10 až

15 mg na dm² za hodinu, což je asi 3–5× více než u mechů či lišejníků. Navíc se značně vysoká rychlost fotosyntézy udržovala v průběhu celého dne, zatímco mechy a lišejníky přecházely mnohem dříve do zaslhlého, nefunkčního stavu. Teplotní optimum pro čistou fotosyntézu obou druhů leží v intervalu 10 až 15 °C, přičemž ještě při poklesu teploty listů na nulu bývá fotosyntéza dost aktivní (asi 30 % z maximální hodnoty). Čistý příjem CO₂ listy přestává být měřitelný při poklesu teploty na -2 až -3 °C, ale také při vzestupu teploty nad 22 až 25 °C. Dlouhodobá měření rychlosti fotosyntézy na antarktických lokalitách v průběhu vegetační sezony potvrdila, že pro maximální fotosyntetický příjem CO₂ jsou mnohem příznivější zamračené chladnější dny než dny jasné, za kterých teplota v trsech rostlin může stoupat i nad 20 °C.

V produkci biomasy jsou mezi oběma druhy velmi podstatné rozdíly, což je dáno odlišným způsobem využívání asimilátů k růstu jednotlivých orgánů. Geneticky řízená frekvence zakládání nových listů a odnoží je u rostlin druhu *Colobanthus quitensis* velmi nízká i za příznivých vnějších podmínek. Maximální průměr trsů bývá zřídka větší než 80 mm. U metlice je rychlost růstu listů a nových odnoží nesrovnatelně vyšší, a tak i přes jejich malou délku (obvykle jen do 100 mm) může sušina živých nadzemních částí v zapojených porostech dosahovat hodnot okolo 500 g na 1 m². Podobnou hmotnost mávájí i podzemní orgány.

Odolnost ke stresovým faktorům

Semenné rostliny jsou evolučně podstatně pokročilejší organismy než mechy či lišejníky a kromě specifických úprav reprodukčního procesu mají celou řadu zvláštních prvků i ve stavbě a funkci svých vegetativních orgánů. Tyto inovace však v extrémně nepříznivých podmínkách nemusí být výhodou. Dokonale funkční kořeny, rychlé vnitřní transporty látek či důmyslné regulace výměny plynů jim sice za příznivých okolností umožňují využívat půdní zdroje a udržovat optimální zabezpečení orgánů vodou a živinami, ovšem v dlouhodobě zamrzlé půdě nejsou kořeny příliš užitečným „nástrojem“ k obstarávání

vody a minerálních živin. Také schopnost velmi účinně zadržovat vodu ve svých pletivech (což je současně i nutností, neboť nepřežijí větší ztrátu vody) je sice výhodná pro prodloužení stavu plně fyziologické aktivity, ale současně činí tyto rostliny citlivější k některým stresovým faktorům, zejména k mrazu.

Dlouhodobě nízké teploty a častý výskyt mrazových dnů i v letních měsících patří zřejmě k nejvýznamnějším faktorům omezujícím přežívání semenných rostlin v Antarktice. Odolnost vůči mrazu není u těchto rostlin trvale vysoká, jak tomu bývá u mechů a lišejníků, ale mění se v závislosti na vnějších podmínkách. Aklimace k mrazu (otužování) je velmi složitý komplex vnitřních změn, které obvykle nejsou závislé jen na průběhu postupného snižování teploty, ale i na řadě dalších faktorů včetně vodního a radiačního režimu.

Velmi podrobné pokusy v tomto směru byly prováděny na několika výzkumných pracovištích v Chile (Bravo a kol. 2001, Bravo a Griffith 2005). Rostliny *Deschampsia antarctica* pěstované za vyšší teploty (+13 °C) byly vážně poškozeny již po krátkodobém zchlazení na -12 °C. Rostliny pěstované za nižší teploty (+4 °C) a za dlouhého dne tolerovaly působení mrazu až do -25 °C. Při kultivaci za nízké teploty a současně za krátké fotoperiody bylo zvýšení odolnosti k mrazu sotva poloviční. Uvedené aklimační změny provázela zvýšená syntéza osmoticky aktivních látek (hlavně sacharózy, fruktanů a prolinu), jejichž obsah v buňkách se zvýšil o stovky procent. Neméně významná byla i tvorba velkého množství speciálních protimrazových proteinů (antifreeze proteins), které přisedají na krystalizační plochy vznikajících ledových krystalků v buněčných stěnách a brání jejich růstu.

Rostliny druhu *Colobanthus quitensis* testované za stejných podmínek vykazo-

3 Mladé rostliny antarktické metlice obvykle využívají k rychlému rozvoji organický substrát vytvořený porosty mechů (ostrov Galindez)

4 Velmi vitální populace *C. quitensis* lze najít i v zasoleném šterkovém substrátu na mořském pobřeží (ostrov Krále Jiřího)





5 Na šterkových terasách ostrova Krále Jiřího vytváří metlice *Deschampsia antarctica* rozsáhlé zapojené porosty

6 Oba antarktické druhy kvetoucích rostlin někdy nacházíme v těsném sousedství (ostrov Galindez)

7 Trsy *Colobanthus quitensis* se velmi často uchycují ve svislých skalních stěnách. Bez sněhové pokrývky jsou sice vystaveny většímu mrazu (až $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), zato mají značně prodlouženou vegetační sezonu s dostatkem záření pro fotosyntézu (ostrov Galindez)

8 Pomocí dlouhého křivého kořene je schopna i mimořádně vyspělá rostlina *C. quitensis* o průměru asi 100 mm pevně zakotvit v úzkých skalních puklinách (ostrov Galindez). Snímky J. Glosera

valy překvapivě malou odolnost k mrazu – bez aklimace byly vážně poškozeny již za teploty $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ani při pěstování za nízké teploty se odolnost výrazně nezvýšila, došlo jen k posunu o necelé dva stupně. U rostlin tohoto druhu se působením chladu sice hromadily v buňkách jednoduché cukry, ale nedocházelo k syntéze fruktanů, prolinu, ani protimrazových proteinů. Odolnost vůči mrazu je u tohoto druhu totiž založena na zcela jiném mechanismu – udržování vody v podchlazeném (tedy stále tekutém) stavu i za teplot pod bodem mrazu. Toho lze dosáhnout eliminací lá-

tek, které mohou působit jako krystalizační jádra. Tento mechanismus není nijak výjimečný, využívá ho celá řada dalších druhů z chladných oblastí, stejně tak jako u jiných skupin druhů probíhá tvorba protimrazových proteinů.

Výsledky laboratorních testů sice ukazují na velké rozdíly mezi oběma druhy v odolnosti vůči mrazu, nicméně absolutní hodnoty letálních teplot je potřeba brát s rezervou. Šlo o rostliny pěstované v umělých podmínkách (v klimaboxech) a teplota při navozování aklimačních reakcí byla poměrně vysoká. Je velmi pravděpodobné, že za dalšího postupného snižování teploty při pěstování (i pod bod mrazu) a za částečné dehydratace rostlin (ke které v přírodě v průběhu zimy dochází) by odolnost obou druhů k mrazu byla vyšší. Měření sezonních změn odolnosti k mrazu u rostlin přímo v antarktických podmínkách by na tuto otázku mohla přinést odpověď. Pokud je nám však známo, nikdo je dosud neprováděl.

Jakým směrem orientovat další výzkum?

Většina ze záplavy experimentálních prací realizovaných v posledních letech s oběma antarktickými druhy kvetoucích rostlin směřovala ke stále hlubší analýze odolnosti k mrazu i k některým dalším stresovým faktorům, a to na buněčné a molekulové úrovni. Jsou to práce prováděné v labora-

torních podmínkách na rostlinách pěstovaných v umělém prostředí. Významnost těchto prací pro získání nových poznatků o obecně fyziologických mechanismech stresových reakcí lze sotva zpochybnit. Je ovšem otázkou, do jaké míry mohou výsledky výzkumu vedeného jen tímto směrem (v současné době všeobecně preferovaným), bez adekvátně rozvíjených terénních prací komplexního charakteru, pomoci při vysvětlování takových ekologických problémů, k jakým patří přežívání kvetoucích rostlin v Antarktidě. Dostatečně vysoká odolnost k mrazu či k jiným stresovým faktorům je totiž pouze jistým minimálním předpokladem k přežívání rostlin v chladných oblastech, nikoli však jeho zárukou. Hynutí rostlin v přírodě nebývá příliš často náhlé, způsobené rychlým působením nějakého letálního vnějšího faktoru, ale častěji pozvolné, provázené zpomaleným růstem, omezeným množením a rychlým stárnutím, což obvykle souvisí s postupným úbytkem zásob vnitřních energetických zdrojů při dlouhodobě negativní uhlíkové bilanci. Tato bilance je výsledkem velmi složité souhry metabolických procesů jak základních (fotosyntézy, respirace), tak i mnoha dalších (např. způsobu alokace a využívání asimilátů k rozmanitým účelům), k jejichž poznání a syntetickému zhodnocení máme ještě u antarktických rostlin hodně daleko.