

Nové poznatky v genetice rostlin

I. Hippies našich luk: příběh mezirodových kříženců trav

Pozn. redakce: V tomto a následujícím ročníku bude vycházet volný seriál článků věnovaný směrům výzkumu Centra strukturní a funkční genomiky rostlin, olomouckého pracoviště Ústavu experimentální botaniky AV ČR, v. v. i., kde nejmodernějšími metodami cytogenetiky, molekulární biologie a genomiky studují strukturu a funkci dědičné informace rostlin. Centrum se řadí ke světově uznávaným pracovištím a účastní se významných mezinárodních projektů (viz např. *Živa* 2012, 4: 155–157); svými poznatky přispívá ke šlechtění nových odrůd zemědělských plodin. Jeho pracovníci získali mnohá domácí i mezinárodní ocenění. Od r. 2015 se podílí na koordinaci výzkumného programu Potravin pro budoucnost v rámci Strategie AV21 (blíže v *Živě* 2015, 1: 2–3.)

Tento příspěvek jsme zaměřili na rod jílek (*Lolium*), který je se svými 8 druhy mezi ostatními zástupci velké a početné čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) tak trochu chudým příbuzným. Přesto si trůfáme tvrdit, že se s jílky většina z nás setkává téměř každý den. Dva druhy – jílek vytrvalý (*L. perenne*) a j. mnohokvětý (*L. multiflorum*) totiž patří mezi nejčastější trávy našich luk, pastvin a trávníků. V článku přiblížíme objevování podstaty genetické informace těchto významných trav.

Jílek mnohokvětý je ceněn pro vysoký výnos suché hmoty a vynikající kvalitu píce. Přestože se pěstuje na dočasných loukách a využívá především k produkci sena a siláže na orné půdě, tvoří rovněž významnou součást trvalých travních porostů. Jílek vytrvalý se naproti tomu pěstuje především k pastvě a zejména díky své vytrvalosti patří mezi hlavní složky stálých travních ploch. Poskytuje ještě kvalitnější píci než jílek mnohokvětý. Tento druh se navíc používá jako klíčová součást našich trávníků. Najít ho můžeme ve sportovních (na fotbalových nebo golfových hřištích) i okrasných trávnících (na veřejných prostranstvích, kolem rodinných domů), ale také podél silniční a dálniční sítě a v okolí letišť.

Cestu na výsluní si jílky nehledaly snadno. Samotné slovo *Lolium* pochází z latiny a poprvé bylo zmíněno ve Vergiliově *Georgice* neboli *Zpěvech rolnických* jakožto obtížný plevel. Jílky mají svou domovinu v Evropě, severní Africe a mírném pásu Asie, ale dnes jsou rozšířené v mírném pásu všech kontinentů. Podle způsobu rozmnožování lze tento rod rozdělit na dvě hlavní vývojové větve – samosprašné druhy *L. persicum*, jílek oddálený (*L. remotum*), j. cizí (*L. loliaceum*) a j. mámivý (*L. temulentum*), a druhy cizosprašné, kam řadíme již zmíněné jílky mnohokvětý a vytrvalý a také j. tuhý (*L. rigidum*). Posledním zástupcem rodu je endemit Kanárských ostrovů *L. canariense*, který představuje intermediální formu rozmnožování.

Osud jílků se začal psát někdy před několika třemi miliony let, kdy se větev

samosprašných druhů oddělila pravděpodobně od předchůdce dnešní kostřavy luční (*Festuca pratensis*). Cizosprašné druhy se od kostřavy oddělily před 2,35 milionu let a zhruba před jedním milionem let došlo k oddělení jílku mnohokvětého a j. vytrvalého. Molekulární analýzy prokázaly, že v porovnání s kostřavou luční vykazují oba druhy jílku podstatně větší genetickou variabilitu. U kostřavy luční zřejmě došlo buď v průběhu, nebo krátce po skončení



poslední doby ledové k tzv. efektu hrdla láhve (bottleneck effect), kdy byla genetická variabilita dramaticky redukována snížením počtu jedinců v populaci. Přesto má i kostřava luční šlechtitelům a zemědělcům co nabídnout. Jde o výrazně mrazuvzdorný druh uplatňující se na loukách a pastvinách Skandinávie, střední a východní Evropy a v alpských regionech. U nás se využívá především v druhově bohatých trvalých travních porostech – na pastvinách a loukách k produkci sena. Kostřava luční se podílela na evoluci dalšího agronomicky významného druhu – kostřavy rákosovité (*F. arundinacea*). Ta vznikla mezidruhovým křížením diploidní k. luční ($2n = 2x = 14$, kde $2n$ je diploidní počet chromozomů, x značí základní chromozomové číslo) a tetraploidní *F. glaucescens* ($2n = 4x = 28$), druhu v současnosti známého z vyšších poloh Pyrenejí a Alp. Vzhledem k tomu, že kostřava rákosovitá je hexaploidní, došlo zřejmě okamžitě po hybridizaci ke zdvojení počtu chromozomů – tzv. alopolyploidizaci (amfiploidii), což umožnilo párování homologních chromozomů v průběhu meiózy a tudíž stabilizaci genomu. Tato kostřava mohla vzniknout také splnutím neredukovaných gamet, které vznikají u této skupiny trav poměrně běžně. Kostřava rákosovitá tvoří složku intenzivně hnojených travních porostů a přidává se do trvalých porostů k prodloužení pastevního období. Tento druh se vyznačuje velmi bohatým kořenovým systémem, který zřejmě podmiňuje jeho vynikající odolnost k suchu.

Kostřavy bývají společně s jilkami a dalšími travními druhy (zástupci rodů lipnice – *Poa*, bojínka – *Phleum*, srha – *Dactylis*) používány ve směsích speciálně sestavených k různým účelům v zemědělství (pastevní, luční nebo silážní směsi) i jinde (např. pro fotbalové trávníky). Uplatnění mezidruhových nebo mezirodových hybridů, kteří v sobě kombinují pozitivní vlastnosti rodičů, by mohlo složení směsí zjednodušit. Mezirodová hybridizace se přímo nabízí u kostřav a jílků, kdy kombinace vysokého výnosu a nutričních vlastností jílků s výbornou adaptací kostřav přežívat abiotické stresy by mohla vytvořit trávy schopné nejenom konkurovat rodičovským druhům, ale v řadě znaků je překonat a lépe se přizpůsobit měnícímu se klimatu.

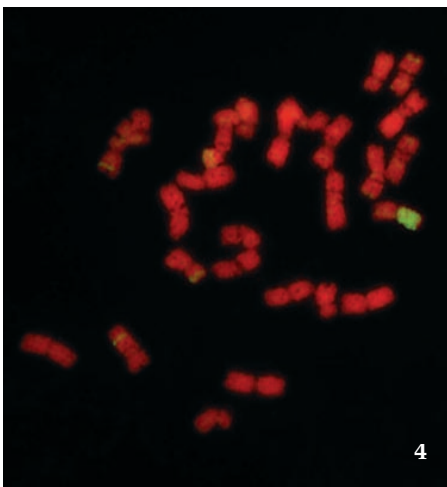
V přírodě se kostřavy a jílky kříží, ale vzniklí hybridy jsou většinou sterilní. První nálezy kříženců pocházejí z jihovýchodní Anglie a severozápadní Francie z 30. let 20. stol. Hybridita rostlin byla v té době určována na základě intermediálního typu květenství – tedy něco mezi lichoklasem jílku a latou kostřavy (obr. 2 a 3). Tento znak se však ukázal jako nespolehlivý. Většina kříženců vykazuje květenství jílkového typu – klas. Křížence v přírodě nacházíme stále častěji a např. v jižní Anglii okupují hybridy diploidního jílku vytrvalého ($2n = 2x = 14$; LpLp – se dvěma sadami chromozomů j. vytrvalého; uvedený kód, i u dalších taxonů, jsou vždy odvozeny z počátečních písmen latinského jména) a diploidní kostřavy luční ($2n = 2x = 14$; FpFp) břehy řek, kde výborně přežívají pravidelné zaplavování a vytěsňují rodičovské druhy. Cytologické analýzy prokázaly, že zmíněné rostliny jsou skutečně hybridní a v jejich



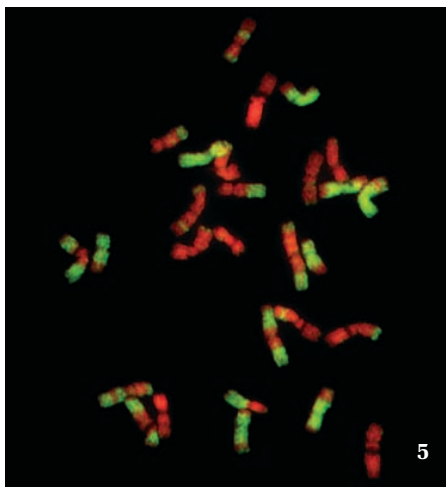
2



3



4



5

1 Pokusná školka F_2 generace kříženců kostřavy luční (*Festuca pratensis*) a jílku mnohokvětého (*Lolium multiflorum*) na pozemku Ústavu experimentální botaniky AV ČR, v. v. i., v Olomouci

2 Květenstvím jílku je klas. Detail květu jílku vytrvalého (*L. perenne*)

3 Větvení laty u kostřavy luční, většinou není u jejich kříženců s jílku patrné.

4 U introgresní odrůdy 'Bečva', vzniklé křížením jílku mnohokvětého a kostřavy luční a následným zpětným křížením F_1 hybridu s jílkem, došlo téměř k úplné eliminaci kostřavové DNA (zelená barva) a obrovské převaze jílkové DNA (červená).

5 Cytogenetická analýza amfiploidní odrůdy 'Elmet' pocházející z křížení jílku mnohokvětého s kostřavou luční odhalila četné výměny (vzniklé homeologními rekombinacemi) mezi genomem kostřavy (zelená barva) a jílku (červená).

karyotypu se vyskytuje jedna sada chromozomů kostřavy a jedna jílku ($2n = 2x = 14$; LpFp), mezi nimiž dochází k četným výměnám, tzv. homeologním rekombinacím. Překvapivé bylo zjištění, že mezi očekávanými diploidy se nacházely rovněž rostliny triploidní ($2n = 3x = 21$). Tito triploidi pravděpodobně vznikli spojením redukované gamety jednoho rodiče a neredukované gamety rodiče druhého. Cytogenetická analýza odhalila, že mezi triploidy se vyskytují oba typy – LpLpFp i LpFpFp, a tudíž schopnost vytvářet ne-

redukované gamety mají oba druhy. Na rozdíl od sterlních diploidů vykazují triploidní hybridní rostliny částečnou samičí fertilitu a teoreticky mohou zpětným křížením s jedním z rodičovských druhů tvořit potomstvo. Pro jakékoli křížence mezi kostřavami a jílky se vžil souhrnné označení \times Festulolium či prostě Festulolium.

Imitace matky přírody na šlechtitelských stanicích

V 60. a 70. letech minulého století se s rozvojem biotechnologických metod otevřela cesta k alternativním způsobům šlechtění. Šlechtitelé trav začali křížit rostliny napříč druhy či dokonce rody a kultivací nezralých embryí byli schopni získat životaschopné křížence. Patrně první úspěch na poli mezirodové hybridizace jílků a kostřav zaznamenala skupina prof. Roberta C. Bucknera ve Spojených státech amerických, který křížil diploidní jilek mnohokvětý s hexaploidní kostřavou rákosovitou. Tetraploidní hybrid byl poté několikrát zpětně křížen s k. rákosovitou. Takto získaná odrůda 'Kenhy' byla zaregistrována jako kostřava rákosovitá a v jejím genomu se vyskytuje dědičná informace jílku jen sporadicky. Přesto se stala komerčně úspěšnou a po dlouhou dobu se pěstovala v monokulturách nebo směsích s několika odrůdami kostřavy rákosovité. Zpětného křížení a vytvoření tzv. introgresních odrůd využil i český šlechtitel Antonín Fojtík. Postupoval podobně jako R. C. Buckner a rovněž

vytvořil křížence jílku mnohokvětého a kostřavy rákosovité. Zpětné křížení ale prováděl s oběma rodičovskými druhy a časem vytvořil tetraploidní odrůdy jílkového typu 'Lofa' a 'Bečva' (obr. 4, během šlechtění došlo k několikanásobným zpětným křížením s jílkem) a také řadu odrůd kostřavového typu podobných odrůdě 'Kenhy' (zde se zpětné křížení provádělo s k. rákosovitou). Introgresní odrůdy Festulolium se staly velmi žádanými na trhu s travními semeny a odrůda 'Lofa' vlajkovou lodí šlechtitelské stanice v Hladkých Životcích na severní Moravě, kde A. Fojtík pracoval. Tento typ odrůd představuje jakési obohacení jednoho z rodičovských druhů několika málo vlastnostmi druhého rodiče. Pomocí molekulárních a cytologických přístupů odhalujeme v genomu těchto introgresních odrůd jen malé úseky chromozomů jednoho rodiče s absolutní převahou DNA rodiče druhého. U některých odrůd proběhla dokonce úplná eliminace jednoho z rodičovských genomů.

Vedle introgresních odrůd Festulolií se šlechtí i tzv. alopolyploidní (či amfiploidní) odrůdy, kdy po vytvoření F_1 kříženců dojde k volnému sprášení mezi rostlinami této generace. Jak bylo zmíněno výše, diploidní kříženci vykazují kompletní samčí sterilitu. Pro její překonání se proto kříží autotetraploidní rostliny jílku (LpLpLpLp) a kostřavy (FpFpFpFp) a získání alotetraploidní kříženci mají genom LpLpFpFp. V případě křížení kostřavy luční s autotetraploidním jílkem mnohokvětým (LmLmLmLm) mají kříženci konstituci LmLmFpFp.

První úspěchy s amfiploidy zaznamenali šlechtitelé ve Walesu, když koncem 70. let vytvořili a zaregistrovali tetraploidní odrůdy trav 'Prior' (LpLpFpFp) a 'Elmet' (LmLmFpFp; obr. 5). Tyto dvě odrůdy se však na trhu neuplatnily a v dnešní době již nejsou nabízeny. Přesto právě ony otevřely amfiploidní Festulolii cestu do povědomí šlechtitelů a farmářů. V řadě zemí se poté začala amfiploidní Festulolia produkovat a A. Fojtík hrál znovu klíčovou roli ve šlechtění těchto kříženců. Na šlechtitelské stanici v Hladkých Životcích (dnes DLF Seeds, s. r. o., která je součástí nadnárodní dánské semenářské firmy DLF Seeds A/S) se do dnešního dne podařilo vyšlechtit a zaregistrovat přes dvě desítky odrůd Festulolií, přičemž řada z nich je na semenářském trhu velmi úspěšná. Povedlo se u nich totiž zkombinovat značný výnos semene z jílku s vytrvalostí a odolností k abiotickým stresům (především k chladu a mrazu) získanou z kostřavy luční.

V křížencích je jilek králem

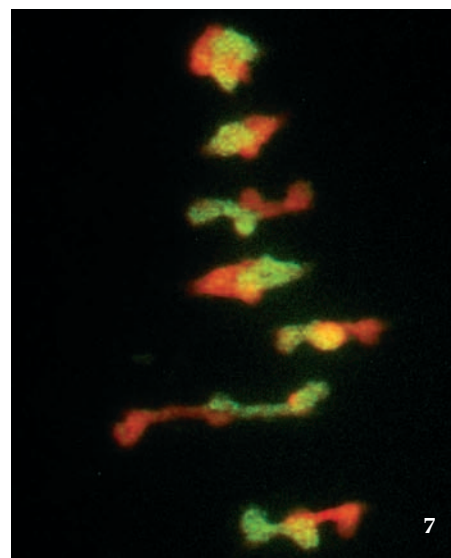
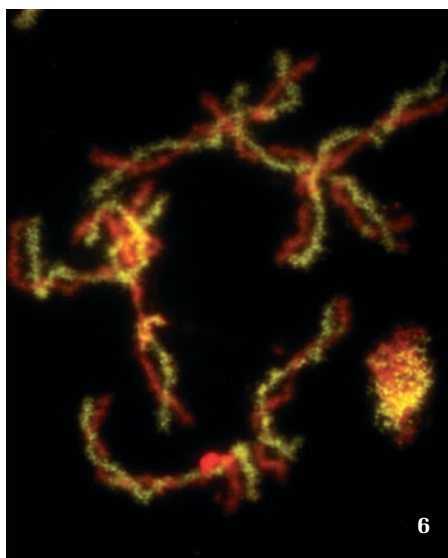
Jak jsme již zmínili, agronomicky významné kostřavy a jílky jsou cizosprašné druhy a touto vlastností se vyznačují i jejich kříženci. To má za následek značnou variabilitu genomového složení, kdy je každá rostlina v podstatě jedinečná. Zastoupení DNA obou rodičů v rostlinách hybridních odrůd lze určit pomocí genomové hybridizace *in situ* (GISH). Tato cytogenetická technika se zakládá na značení DNA dvou potenciálních rodičovských druhů dvěma různými fluorochromy (fluorescenčními barvivy) a následně hybridizaci značených DNA (sond) s mitotickými chromozomy křížence na mikroskopickém preparátu.

Sekvence DNA sondy a chromozomů, které jsou k sobě komplementární, spolu hybridizují a ve fluorescenčním mikroskopu pak pozorujeme chromozomy, nebo jejich části, které „svítí“ jednou, nebo druhou barvou a indikují tak jejich příslušnost k rodičovskému druhu (viz obr. 4 a 5).

V naší laboratoři jsme ve spolupráci se šlechtitelskou stanicí v Hladkých Životičích takto určili genomové složení všech dostupných odrůd *Festulolii*. Výsledky byly poměrně překvapivé, když jsme téměř u všech odrůd zjistili převahu jílkového genomu nad kostřavovým. Výjimku tvořily pouze odrůdy introgresní formy, jejichž šlechtění zahrnovalo zpětná křížení s kostřavou rákosovitou. U ostatních byla variabilita mezi odrůdami (ale i v rámci jednotlivých odrůd) značná – od těch, které vykazovaly poměr rodičovských genomů téměř 1 : 1 s jen velmi mírnou dominancí jílkového genomu nad kostřavovým, až po odrůdy, kde pouze několik rostlin obsahovalo malý úsek chromozomu kostřavového původu. U pěti odrůd jsme dokonce nebyli schopni detekovat žádnou DNA z kostřavy. Dominanci jílkového genomu nad kostřavovým pozorovali rovněž naši kolegové z Institute of Plant Genetics v polské Poznani. Studovali genomové složení u 6 následných generací kříženců (F_1 až F_6) kostřavy luční s jílkiem mnohokvětým a všimli si plynulého posunu směrem k jílku z generace na generaci. To by mohlo být částečně vysvětleno přednostním výběrem rostlin, které vykazují vlastnosti jílku. Takové jedince totiž šlechtitelé preferují – s vysokým výnosem, rychlým vývojem na jaře a dobrými nutričními vlastnostmi. Překvapení ale nastalo, když polští vědci zkoumali rostliny následných generací vybrané náhodně. I zde se ukázal plynulý posun v genomovém složení hybridů v následných generacích směrem k jílkovému genomu. Příčinu neznáme, ale řada experimentů nám pomáhá tento fenomén osvětlit.

Jílek boduje i na úrovni RNA

Samotná přítomnost DNA z jílku a z kostřavy v genomu křížence ještě neznamená, že se všechny geny obou rodičů projeví. V jednom z našich posledních projektů jsme se zaměřili na studium genové exprese u prvních generací kříženců. Nejdříve jsme vytvořili reciproké tetraploidní křížence jílku mnohokvětého a kostřavy luční



tak, že jednou byl jako mateřská rostlina použit jílek a podruhé kostřava. Ze získaných F_1 kříženců jsme jejich volným sprášením odvodili další generace a pomocí metody GISH vybrali rostliny, které měly stejný počet rodičovských chromozomů (14 z jílku a 14 z kostřavy) a nevykazovaly žádné výměny částí rodičovských chromozomů mezi sebou.

Napříč všemi rostlinnými druhy, a především blízké příbuznými, se nacházejí velmi podobné sestavy genů. Geny různých druhů, jež se vyvinuly ze stejného genu společného předka, mající (téměř) stejnou sekvenci DNA a vytvářející (téměř) stejný produkt, nazýváme ortologní geny či ortology. To umožňuje jejich identifikaci u druhů s neznámou sekvencí genomu, jako v případě kostřav a jílků. Tímto způsobem jsme určili ortologní geny, které spolu sdílejí jílek mnohokvětý, kostřava luční a blízké příbuzný druh trávy – válečka *Brachypodium distachyon*, jejíž malý genom byl už přečten. U všech rostlin našich tetraploidních kříženců má každý takový gen dvě kopie z jílku a dvě kopie z kostřavy. Protože však v sekvencích genů došlo během evoluce po oddělení obou druhů (nebo rodů) k několika bodovým mutacím (změnám jednotlivých nukleotidů), můžeme rodičovské varianty určitého genu identifikovat pomocí jednonukleotidových polymorfismů (SNP – Single Nucleotide Polymorphism; viz též Živa 2016, 2: 61–63 nebo

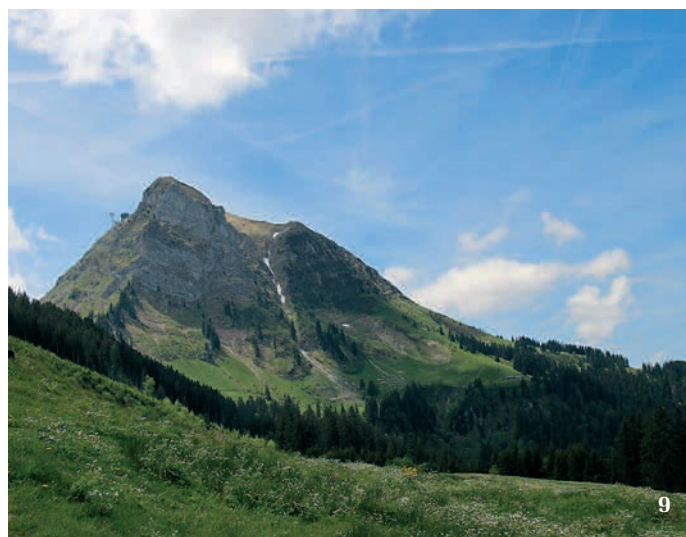
6 a 7 Promiskuitní párování (blíže v textu) chromozomů diploidního křížence kostřavy luční (zeleně) a jílku mnohokvětého (červeně) v profázi (obr. 6) a metafázi (7) prvního meiotického dělení

8 Typické místo výskytu tetraploidní kostřavy apeninské (*F. apennina*) ve Švýcarsku (Küblisbühlschwand)

9 Lokalita Le Moléson ve Švýcarsku, kde se nachází hybridní zóna diploidní kostřavy luční a tetraploidní kostřavy apeninské v nadmořské výšce 1 200 až 1 800 m. Ve výšce pod 1 200 m n. m. roste pouze kostřava luční a na místech nad 1 800 m n. m. jen k. apeninská.

10 Kostřava apeninská se vyskytuje do výšek přesahujících až 2 000 m n. m., jako na úbočí švýcarské hory La Para. Snímky D. Kopeckého

2011, 6: 262–263). Po izolaci a sekvenování RNA z obou rodičů a reciprokých hybridů jsme takto byli schopni zjistit, jak se hladina RNA transkriptů jako míra exprese genů liší mezi rodičovskými druhy a k jakým změnám dochází u kříženců v první a následných generacích. Analýza ca 12 tisíc ortologních genů u rodičovských druhů ukázala, že se pouze velmi malá část exprimuje rozdílně. U F_1 generace kříženců byla situace odlišná. Většina genů se v křížencích sice stále exprimovala stejně jako u obou rodičů, avšak nemalý počet (ca 800–900) vykazoval zvýšenou expresi



jílkových variant genů a jen několik genů pocházejících z kostřavy bylo exprimováno přednostně. Téměř stejné výsledky jsme získali u recipročných hybridů a nezaznamenali jsme výraznější vliv směru křížení. Genovou expresi tedy neovlivnilo, zda byl jílek použit jako otcovská, nebo mateřská rostlina. V následných generacích narůstal počet genů exprimovaných přednostně z jílkové varianty.

V další naší práci budeme studovat vliv stárnutí rostlin a působení stresových podmínek (odolnost proti chladu a mrazu) na genovou expresi. Tyto faktory by mohly prospívat kostřavovému genomu. Již jsme uvedli, že kostřava je vytrvalejší a mnohem lépe přežívá stresové podmínky. Chtěli bychom zjistit, zda působení stresu může zvrátit genovou expresi na úrovni celého genomu ve prospěch kostřavy. Jsme si vědomi, že studujeme pouze část ze všech genů a že geny, které jsou specifické pro jeden rodičovský druh, zatímco v druhém rodiči se nevyskytují, nejsme technicky schopni v naší práci obsáhnout. Přesto by nové výsledky mohly přispět k rozšíření poznatků o příčinách dominance jílku v křížencích a k pochopení funkce hybridního genomu.

Volná láska během meiózy

Postupná převaha jílku by mohla být zapříčiněna i tím, že během meiotického dělení dochází k nepřesnostem v párování chromozomů a kostřavové chromozomy jsou během tohoto procesu postupně eliminovány. U naprosté většiny mezidruhových kříženců se chromozomy rodičovských druhů mezi sebou nepárují. Pokud mají svého homologa (v případě tetraploidního křížence máme dvě sady homologních chromozomů z jednoho rodiče a dvě sady z druhého rodiče), párují se s ním. V opačném případě, např. když je hybrid diploidní a nese po jedné sadě chromozomů od každého rodiče, se chromozomy nepárují a meiózou procházejí osamoceně jako univalenty. To samozřejmě vede ke sterilitě křížence, ale může být způsobena dvěma faktory. Prvním z nich je skutečnost, že homeologní chromozomy (tedy chromozomy, které se vyvinuly ze stejného chromozomu společného předchůdce) nemají dostatečnou sekvenční podobnost a nedochází k jejich synapsi (spojení) na počátku zygotene (druhého stadia profáze prvního meiotického dělení), kdy se chromozomy začínají párovat. Druhé vysvětlení spočívá v přítomnosti genu regulujícího párování chromozomů. Takový systém byl popsán u tetraploidní a hexaploidní pšenice (je nazván *Ph* z anglického termínu pairing homoeologous) – dovoluje párování pouze homologních chromozomů a zaručuje striktní tvorbu bivalentů. Podobný stav nacházíme u polyploidních kostřav. U hexaploidní kostřavy rákosovité a dalších planých příbuzných se vyskytuje systém, který umožňuje párování chromozomů pouze s jejich homologními partnery.

Jak jsme již zmínili, diploidní kříženci kostřav a jílků jsou rovněž sterilní a předpokládalo se, že se chromozomy obou rodičů v hybridních nepárují. Cytologické analýzy ale prokázaly bezproblémové párování chromozomů jílku s chromozomy kostřavy (obr. 6 a 7). Promiskuitní chování chromozomů v průběhu meiózy hybridů



nás inspirovalo k názvu tohoto článku, který odkazuje na volnomyšlenkářské hnutí 60. let 20. stol. Sterilita diploidních hybridů tedy musí mít původ jinde a zřejmě souvisí s nějakým typem postzygotické bariéry. Vratme se ale k párování chromozomů. U diploidních kříženců nemají chromozomy kostřavy partnery – pokud se chtějí párovat, musejí se spokojit s chromozomy jílku, což také dělají. U tetraploidních kříženců je však situace jiná. Zde má každý jílkový i kostřavový chromozom partnera (svůj homolog). Překvapivě ani zde si však chromozomy nevybírají a berou zavděk čímkoli. Dochází tak k homeolognímu párování, které vede k početným výměnám mezi chromozomy pocházejícími z obou rodičů. Studium distribuce homeologních rekombinací prokázalo, že je v podstatě možné jakýkoli úsek z genomu kostřavy přenést do genomu jílku. Jde o velmi důležité zjištění pro šlechtitele, kteří tak mohou vnést určitý agronomický významný gen či geny z kostřavy do jílku. Po takové introgresi by však měla nastat stabilizace genomového složení hybridů, aby se tento znak v následujících generacích neztratil vlivem dalších homeologních rekombinací. U aloploidních odrůd jsou homeologní rekombinace nežádoucí již od samého začátku. U diploidních jílků ani kostřavy luční se však žádný regulační systém podobný pšeničnému *Ph* nevyskytuje.

Plané druhy jako nový příslib stabilních kříženců

Řešení pro stabilizaci genomového složení Festulolii by mohly představovat plané rostoucí druhy příbuzné agronomicky významným kostřavám. Jak bylo uvedeno výše, hexaploidní kostřava rákosovitá a některé další polyploidní druhy kostřav disponují systémem, který nedovoluje párování chromozomů pocházejících ze dvou různých druhů. Zdá se, že se tento systém vyvinul pouze jednou a do polyploidních druhů se dostal při jejich vzniku mezidruhovou hybridizací. Od systému, který se nachází v pšenici, se liší. Jeho funkčnost je totiž podmíněna přítomností dvou kopií, na rozdíl od pšeničného *Ph*, kde stačí pouze jedna kopie. Nutno podotknout, že gen nebo geny podmiňující tento systém nebyly dosud u kostřav identifikovány.

Největší potenciál představují plané druhy blízce příbuzné kostřavě luční a k. rákosovité. Jedním z nich je kostřava apeninská (*F. apennina*), která se vyskytuje ve vyšších polohách Alp, Apenin a Karpat (obr. 8 a 10). Tento tetraploidní druh se někdy uvádí jako poddruh – kostřava luční italská (*F. pratensis* subsp. *apennina*). Kostřava luční obývá nižší polohy do ca 1 800 m n. m., zatímco k. apeninskou pod 1 200 m n. m. nenacházíme (obr. 9). Z toho je patrné, že oba druhy či poddruhy rostou sympatricky v poměrně širokém pásu. Molekulární a cytogenetické experimenty odhalily, že kostřava apeninská velmi pravděpodobně vznikla křížením k. luční a dalšího dosud neurčeného druhu. Neznámý rodič však zřejmě nesl regulační systém, který se vyskytuje v kostřavě apeninské, na rozdíl od k. luční. Tento neidentifikovaný druh se nejspíš podílí i na evoluci dalších dvou tetraploidních kostřav – kostřavy atlasské (*F. mairei*) a *F. glaucescens* (druhu, který se společně s k. luční podílel na vzniku k. rákosovité). Příbuznost všech tří druhů s kostřavou luční, k. rákosovitou i oběma jílkami dává naději na jejich úspěšnou implementaci do šlechtitelského procesu. Vedle systému regulujícího párování chromozomů v meióze mají tyto tři druhy další agronomicky významné vlastnosti – především schopnost přežít podmínky během dlouhého období mrazu a sucha. Nové mezirodové křížení již bylo provedeno a příští roky ukáží, zda použití těchto druhů povede k vytvoření odrůd trav vhodných pro měnící se klimatické podmínky. Šlechtění založené na uplatnění nejnovějších poznatků genetiky má – na rozdíl od evoluce – šanci urychlit proces vývoje nových odrůd tak, aby hospodářsky využitelné trávy vznikaly souběžně s měnícím se klimatem a ne pomalým tempem přirozeného výběru v reakci na tyto změny.

Výzkumné projekty podpořila Grantová agentura České republiky (P501/11/0504), Národní program udržitelnosti I (LO1204), Interní grantová agentura Univerzity Palackého v Olomouci (Prf/2012/001) a projekt Sciex-NMSch (14.099).

Doporučená literatura a vysvětlivky termínů uvedeny na webu Živy.