

tu), které ve vyšších koncentracích působí toxicky. Váčky produkované mikroglie (fagocytujícími buňkami v centrálním nervovém systému, jež pomáhají udržovat stále vnitřní prostředí mozku) mohou obsahovat velká množství prozánětového interleukinu IL-1 $\beta$  a podílet se na šíření zánětu. Mikroglie mohou také odstraňovat extracelulární váčky jiných typů buněk centrální nervové soustavy. Zvláštní úlohu mohou váčky rovněž zastávat v šíření prionových infekcí v mozku, a podílet se tak na rozvoji neurodegenerativních chorob. Další informace o rolích váček v centrálním

nervovém systému se dočtete v následujícím čísle Živy.

#### Shrnutí

Extracelulární váčky představují jeden ze způsobů mezibuněčné komunikace a hrají důležitou úlohu ve vývoji organismu, v přenosu signálů, udržování stálého prostředí, přežívání buněk nebo v přenosu infekce a obraně proti patogenům. Mezi extracelulární váčky náležejí zejména apoptotická tělíska, mikrovezikuly a exozomy, navzájem odlišné mechanismem vzniku, velikostí a složením. První část pojednání

o těchto váčkách sledovala jejich obecné funkce u bakterií, nižších organismů, rostlin a živočichů. V druhé části se zaměříme na exozomy, které jsou z extracelulárních váček nejlépe prozkoumané a u nichž se očekává praktické uplatnění v lékařství.

*Publikace vznikla za podpory projektu LO1609 Národního programu udržitelnosti Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.*

Doplňující literatura uvedena na webové stránce Živy.

Eva Hřibová

## Nové poznatky v genetice rostlin II. Charakterizace a konzervace genetické rozmanitosti banánovníku

Banánovníky (rod *Musa*) jsou jednoděložné byliny přirozeně se vyskytující v oblastech tropů a subtropů. Taxonomicky patří do čeledi banánovníkovitých (*Musaceae*), k jejich blízkým příbuzným v rámci řádu *Zingiberales* se řadí např. zázvor (zázvorovník – *Zingiber*) z čeledi *Zingiberaceae* nebo strelície (*Strelitzia*) z čeledi *Strelitziaceae*. Dosud bylo popsáno asi 75 druhů banánovníku, které jsou v rámci rodu rozděleny do dvou sekcí – *Musa* (základní chromozomové číslo  $x = 11$ , tedy počet chromozomů v jedné sadě), kam zařazujeme převážnou většinu jedlých typů banánovníku a jejich planých diploidních předchůdců, a sekce *Callimusa* ( $x = 10$  nebo  $x = 9$ ). Současná taxonomická klasifikace je však předmětem četných diskuzí a není tak vyloučeno, že v následujících letech bude přehodnocena. Některé druhy rodu *Musa* mohou dosahovat výšky až 15 m, růst v různých nadmořských výškách a dokonce odolávat teplotám pod bodem mrazu (např. *M. basjoo*). V tropických a subtropických oblastech světa představují banánovníky nesoucí bezsemenné plody jednu z nejdůležitějších plodin a banány tvoří podstatnou část výživy mnoha milionů obyvatel. Kromě nám dobře známých sladkých banánů se ve velkém rozsahu pěstují tzv. škrobové banány, které se musejí před konzumací tepelně upravit, nebo se z nich fermentací připravuje banánové pivo. V zemích východní Afriky dosahuje roční spotřeba banánů, především škrobových, 250–400 kg na osobu. Banánovníky jsou vhodné také pro získávání kvalitních vláken, listy slouží místo talířů anebo jako krmivo pro hospodářská zvířata. Jedna skupina banánovníků (především druh *M. ornata*) se také díky panašovaným listům a variabilitě v barevnosti květenství využívá jako okrasné rostliny. Následující text shrnuje využití moderních metod genetiky a molekulární biologie k porozumění a uchování genetické rozmanitosti významné plodiny, kterou banánovník představuje.

Většina banánovníků plodících jedlé plody jsou diploidní nebo triploidní klony (ploidií lze stručně charakterizovat jako počet homologních sad chromozomů v nepohlavních buňkách daného organismu), které vznikly přirozeným vnitro- nebo mezidruhovým křížením dvou planě rostoucích diploidních druhů – *M. acuminata* (A genom) a *M. balbisiana* (B genom). Výsledkem této přirozené hybridizace byl vznik sterilních klonů banánovníku, je-

žichž bezsemenné plody vyplňuje dužina. Banánovníky s bezsemennými plody se rozmnožují odnožemi. Pěstování stejného genotypu (klonu) na velkých plochách přispívá k rychlému šíření chorob, které mají za následek snížení výnosů, až ztrátu veškeré úrody. Ochranu zajistí jedině aplikace fungicidů – ty však zatěžují životní prostředí a vzhledem k finanční náročnosti je využívají především nadnárodní společnosti, pěstující banány určené pro

export. Malopěstitelé, kteří produkují zejména škrobové typy banánů pro přímou konzumaci, si takovou ochranu rostlin nemohou dovolit a šíření chorob pro ně představuje nejen ztrátu úrody, ale v mnoha případech existenční problémy. Jedinou nadějí přináší pěstování rezistentních klonů. Šlechtění banánovníku je však komplikováno již zmíněnou sterilitou pěstovaných forem, omezenými znalostmi o jejich původu a také malou znalostí genetické diverzity. Ta je přitom velmi důležitá jak při výběru vhodných genotypů pro šlechtění, tak při ochraně a konzervaci existujícího genofondu, ohrožovaného změnami ve způsobu hospodaření a masivním kácením pralesů.

#### Genové banky banánovníku

Charakterizace genetické diverzity a konzervace genofondu banánovníku představuje jeden z hlavních cílů mezinárodní organizace Bioersity International. Svou činnost zaměřuje na koordinaci a spolufinancování lokálních polních genových sbírek a především spravuje mezinárodní genovou banku banánovníku. Velkou výhodou polních genových sbírek jsou relativní snadnost jejich založení a poměrně nízké finanční náklady na udržování. Nevýhoda spočívá v přímém ovlivnění rostlin chorobami a škůdci a nepříznivými přírodními podmínkami. Vzhledem k tomu, že banánovníky jsou tropické a subtropické rostliny, polní genové sbírky se zakládají v těchto oblastech, což především v jihovýchodní Asii znamená značné riziko ztráty rostlin v důsledku nepříznivého počasí. Tak byly tajfuny zcela zničeny některé polní sbírky banánovníků na Filipínách, v Indii a Číně.

I z tohoto důvodu byla v r. 1984 založena mezinárodní genová banka banánovníku (International Musa Germplasm Transit Centre), tzv. ITC kolekce. Genová banka je umístěna na Katolické univerzitě v belgické Lovani. Zpočátku se soustředila na uchovávání pěstovaných typů banánovníku a dvou jejich pravděpodobných rodičovských druhů (obr. 1). V posledních letech se však snaží do své sbírky začlenit i další plané druhy a typy s cílem uchovat co největší genetickou rozmanitost rodu *Musa*. V současné době banka obsahuje více než 1 500 položek. Vzhledem ke sterilitě jedlých typů banánovníku a nízké fertilitě některých planých diploidních druhů jsou všechny položky v ITC kolekci udržovány v podmínkách pomalu rostoucích *in vitro* kultur.

Poslání genové banky zahrnuje mimo jiné bezplatné poskytování uchovávaných položek širší vědecké komunitě zabývající se výzkumem banánovníků, šlechtitelům a v neposlední řadě také farmářům. Proto je jejím velmi důležitým úkolem dobře charakterizovat jednotlivé klony a poskytovat informace o jejich původu, genomovém složení jedlých typů či planých druhů. Každý klon zasláný do genové banky je popsán a charakterizován na základě morfologických znaků, s využitím morfotaxonomických deskriptorů (souboru znaků popisujících vnější stavbu druhů, resp. typů jedlých klonů banánovníku využívaných k jejich identifikaci), které byly vypracovány organizací Bioversity International ve spolupráci s uznávanými taxonomy. Morfologické znaky banánovníku se však ukázaly jako nedostatečné pro jednoznačnou identifikaci jak některých jedlých, tak i planě rostoucích druhů.

Jednoznačná charakterizace jednotlivých položek je přitom naprosto nezbytná pro farmáře, kteří v genové bance hledají alternativní klony jedlých typů banánovníku, a především pro šlechtitele. Navíc i u dobře charakterizovaných položek může vlivem lidské chyby při přenášení *in vitro* rostlin na nové živné médium docházet k vzájemné záměně nebo smíchání položek. Řešením je tedy mnohem podrobnější, přesnější charakterizace položek uchovávaných v genové bance na úrovni analýzy dědičné informace pomocí molekulárních markerů.

### Charakterizace a identifikace uchovávaných položek banánovníku

V dnešní době máme k dispozici řadu molekulárních metod, které lze použít pro charakterizaci genotypu rostlin. Cílem genové banky je uchovávat co největší diverzitu banánovníku, zároveň se ale vyvarovat duplikovaných položek. Díky tomu, že tentýž jedlý klon může mít v různých oblastech rozdílná jména, udržování duplikovaných položek v genové bance její provoz zbytečně prodražuje. Výzkumný tým Centra strukturální a funkční genetiky rostlin Ústavu experimentální botaniky (ÚEB) AV ČR, v. v. i., ve spolupráci s Bioversity International proto vyvinul standardizovaný genotypovací systém využívající mikrosatelitové markery (také označované jako SSR, Simple Sequence Repeats; viz dále v textu), který umožňuje nejen charakterizovat genom nově zaslaných položek, ale také identifikovat ty špatně popsané, které byly pravděpodobně zaměněny při manipulaci v genové bance, či zřejmě duplikované. Genotypovací systém byl navržen tak, aby bylo možné analyzovat jak velký počet položek najednou, tak jednotlivé nové položky. Pro co nejpresnější popis kombinuje tato platforma v případě banánovníku cytologické a molekulárněbiologické metody.

Prvním krokem charakterizace neznámé položky je stanovení ploidie, k čemuž se využívá metoda průtokové cytometrie (viz také Živa 2005, 1: 46–48). Ta se zakládá na měření obsahu DNA v buněčných jádrech, kterou lze velmi jednoduše získat z malé části listového pletiva nasekáním žiletkou v příslušném izolačním pufru. Homogenát je přefiltrován a jádra obarvena fluorescenčním barvivem DAPI, jež se specificky a kvantitativně váže na dvoušroubovici



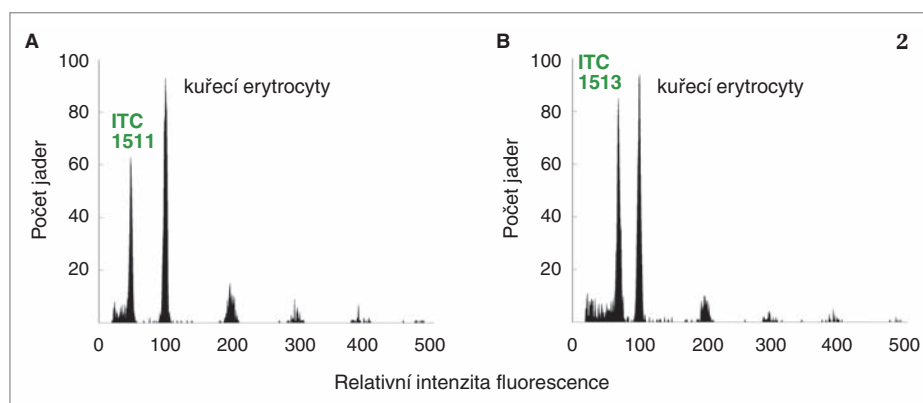
DNA. Předtím jsou k homogenátu přidána buněčná jádra standardu (v případě banánovníku se často používají jádra izolovaná z kuřecích erytrocytů) a směs barvených jader je analyzována průtokovým cytometrem. Jádra se pohybují jedno za druhým v tenkém vodním proudu a v určitém místě procházejí paprskem laseru o vhodné vlnové délce, který fluorescenční barvivo excituje. Při excitaci dojde k pohlcení části světla molekulou fluorochromu (v našem případě molekulou DAPI) a následnému vyzáření světla o delší vlnové délce. Takto vyzářené světlo je zachyceno detektorem průtokového cytometru a relativní intenzita fluorescence zobrazena ve formě histogramu (obr. 2). Porovnáním průměrné intenzity fluorescence jader banánovníku a standardu můžeme zjistit relativní množství jaderné DNA. Metoda je velmi rychlá a velice přesná. Stanovení ploidie rostlin banánovníku uchovávaných v genové bance představuje nejen první krok genotypovacího systému, ale zároveň první metodu umožňující odhalit špatně popsané položky, a to na základě rozdílu mezi očekávanou ploidí a ploidí analyzovaného vzorku.

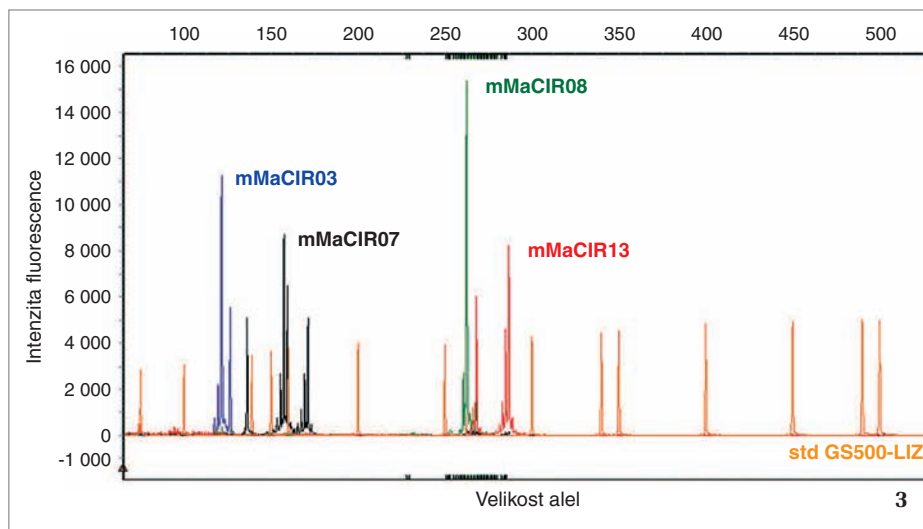
Po potvrzení ploidie nastává genotypování pomocí mikrosatelitových markerů. Mikrosatelity jsou krátké opakující se sekvence DNA (jako např. AG, AT, GAA, CTA ad., kde A značí adenin, G – guanin, T – thymin, C – cytozin), které v evoluci ve srovnání např. se sekvencemi genů podléhají

1 Planý diploidní banánovník *Musa balbisiana* (vlevo) s detailem samčího pupenu a plodů vzniklých ze samičích květů (vpravo nahoře). Ve srovnání s pěstovanými jedlými typy banánovníku jsou plody planých druhů plné semen (vpravo dole).

2 Stanovení ploidie pomocí průtokové cytometrie. Histogramy relativní intenzity fluorescence získané souběžnou analýzou buněčných jader banánovníku a jader kuřecích erytrocytů, která slouží jako referenční standard. DNA jader ve vzorku byla před analýzou barvena fluorescenčním barvivem DAPI.

V případě diploidního banánovníku (ITC 1511, obr. A) je poměr relativní intenzity fluorescence jader banánovníku (poloha píku na ose x ~ 50) a kuřecích erytrocytů (na ose x ~ 100) přibližně 0,5; u triploidního zástupce (ITC 1513, obr. B) pak vychází poměr relativní intenzity fluorescence jader banánovníku (poloha píku na ose x ~ 75) a kuřecích erytrocytů (na ose x ~ 100) zhruba 0,75. Menší píky, které se na ose x vyskytují v polohách 200, 300, 400 a 500, odpovídají relativní intenzitě fluorescence shluků jader kuřecích erytrocytů (tedy dvojic, trojic atd.).  
Orig. E. Hřibová





**3** Analýza SSR profilů (Simple Sequence Repeats, blíže v textu) triploidního banánovníku pomocí programu GeneMarker. Kapilární elektroforéza umožňuje rychlé a přesné určení velikosti alel jednotlivých SSR markerů v počtech bází DNA. V jedné reakci lze simultánně analyzovat až čtyři různé SSR markery, značené různými fluorochromy (modrý, žlutý – v grafickém výstupu je znázorněn černě, zelený a červený). Pátým fluorochromem (oranžové píky) je odlišen standard, který slouží k určení velikosti alel SSR markerů. Orig. E. Hřibová

**4** Trs mladých plodů jedlého triploidního banánovníku Cavendish vzniklých bez oplození (partenokarpicky) se zachovaným samčím pupenem (vlevo). Aby se omezilo poškození plodů hmyzem, samčí pupeny se odstraňují a plody jsou chráněny fólií (vpravo). Snímky E. Hřibové, pokud není uvedeno jinak

rychlým změnám (v důsledku tzv. sklouznutí DNA polymerázy, nerovnoměrné rekombinace v průběhu replikace DNA nebo při opravných mechanismech replikačních chyb dochází ke změnám v počtu kopií opakujících se úseků DNA). Proto se často uplatňují při studiu genetické rozmanitosti rostlin a identifikaci jednotlivých rostlinných druhů, poddruhů, nebo v případě banánovníku i různých klonů. Aby mikrosatelitové sekvence byly použitelné jako molekulární markery, musejí být v molekule DNA obklopeny unikátními úseky, pro něž lze navrhnout primery sloužící při polymerázové řetězové reakci (PCR, Polymerase Chain Reaction). Tato reakce umožní ve velmi krátkém čase (1,5–2 hod.) získat z genomové DNA dostatečné množství fragmentů obsahujících daný mikrosatelit a fragmenty analyzovat. Cílem je identifikovat délku oblasti s opakujícími se sekvencemi mikrosatelitové DNA, která je specifická pro určitý druh nebo klon banánovníku. Genotypovací centrum využívá celkem 19 mikrosatelitových markerů – díky jejich variabilitě jde jednoznačně určit plané druhy a poddruhy, a dokonce i jednotlivé typy jedlých hybridních klonů. Popis genetické diverzity a jednoznačná identifikace jedlých typů a především plané rostoucích

druhů je nezbytná nejen pro zachování genetické diverzity, ale zejména pro perspektivní využití banánových genotypů ve šlechtění. V naší laboratoři jsme zatím genotypovali a charakterizovali asi polovinu všech položek banánovníku uchovávaných v ITC kolekcí. Již první krok – stanovení ploidie – ukázal, že asi 3 % položek mají jinou ploidii, než by odpovídalo jejich původní klasifikaci. Následné genotypování pomocí 19 mikrosatelitových markerů potvrdilo taxonomické zařazení u 84 % položek, a odhalilo 16 % problematických, pravděpodobně špatně určených položek vyžadujících přehodnocení stávajícího zařazení. SSR genotypování na pracovišti Centra strukturální a funkční genomiky rostlin stále pokračuje s cílem charakterizovat i zbývající položky v ITC kolekcí, a pomoci tím k co nejpřesnější klasifikaci jednotlivých genotypů banánovníku.

#### Tradiční šlechtění

Jedlé typy banánovníku představují sterilní diploidní nebo triploidní klony, které netvoří klíčící semena, což velmi znesnadňuje jejich šlechtění. Již jsme uvedli výše, že banánovníky plodící jedlé ovoce bývají náchylné k různým chorobám a škůdcům, jejichž šíření napomáhá také fakt, že především sladké typy banánovníků určené pro export se pěstují na velkých plantážích

založených výsadbou jediného typu klonu. Mezi největší hrozby pro banánovník patří tzv. panamská choroba, kterou způsobuje houba *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Tzv. tropická rasa 1 této houby v 50. letech 20. stol. zcela znemožnila velkoplošné pěstování do té doby hlavního sladkého typu banánovníku určeného pro export – klonu Gros Michel. Ten se vyznačuje výbornou chutí, ale protože se šlechtitelům nepodařilo získat jeho odolnější variantu, musel být na plantážích nahrazen klonem Cavendish (obr. 4), který je vůči tropické rase 1 rezistentní. Jde o dnes jediný sladký typ banánu určený pro export a můžeme ho najít v každém supermarketu v Americe i v Evropě. Bohužel v 90. letech se začala šířit tropická rasa 4, vůči níž Cavendish odolný není a dosud nebyl identifikován žádný klon banánovníku, kterým by ho bylo možné nahradit.

Přestože panamská nemoc představuje velké riziko pro nadnárodní společnosti, které plody odrůdy Cavendish na svých plantážích pěstují a ve velkém vyvážejí, investují jen málo prostředků do šlechtění rezistentní odrůdy. Šlechtění se věnují mezinárodní a případně národní výzkumné organizace. V Africe se jím zabývá CARBAP (Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains) v Kamerunu, CNRA (Centre National de Recherche Agronomique) na Pobřeží slonoviny a Mezinárodní ústav tropického zemědělství (IITA, International Institute of Tropical Agriculture) v Nigérii a na svých stanicích v Ugandě a Tanzanii. IITA v Ugandě spolupracuje také s místní Národní agenturou pro zemědělský výzkum (NARO), jež se šlechtění této rostliny rovněž věnuje. V Asii je šlechtění banánovníku soustředěno v Číně (Čínská akademie tropického zemědělského výzkumu – CATAS a Guangdonská akademie zemědělského výzkumu – GDASS), v Indonésii (Indonéský ovocnářský ústav, ITFRI) a Indii (Národní výzkumné centrum banánovníku, NRCB). V neposlední řadě je nutné zmínit i šlechtitelské programy v Jižní Americe – Francouzské zemědělské výzkumné centrum CIRAD, které své šlechtitelské programy soustřeďuje na karibském ostrově Guadeloupe, organizace EMBRAPA v Brazílii a FHIA v Hondurasu.



Tradiční postupy šlechtění banánovníku se snaží kombinovat kvalitativní znaky populárních jedlých typů s odolností vůči chorobám a abiotickým stresům (např. odolností vůči suchu), kterými se vyznačují některé planě rostoucí druhy. Jedním z nich je klon 'Calcutta 4' druhu *M. acuminata*, jenž má vysokou fertilitu a schopnost dobře hybridizovat s většinou triploidních klonů, a proto bývá ve šlechtitelských programech často používán. Vlastní šlechtění vyžaduje minimálně dvě křížení. V prvním je diploidní druh *M. acuminata* 'Calcutta 4' (genom AA) křížen s jedlým triploidním klonem (např. AAA). Tato první hybridizace poskytuje tetraploidní jedince (AAAA), kteří ve svém genomu nesou jednu sadu chromozomů pocházející z diploidního druhu a tři sady chromozomů z triploidního jedlého klonu. Tento krok je kvůli vysokému stupni sterility triploidních hybridů velmi obtížný a vede k získání jen několika semen z celého trsu banánů, z nichž je asi pouhá desetina schopna vyklíčit. Tetraploidní hybridy jsou fertilmí a mohou být následně kříženi s diploidním druhem, jenž nese např. odolnost vůči některým houbovým onemocněním (panamské choroby ad.) nebo abiotickým stresům, ve snaze vytvořit triploidní jedlé hybridní klony s vylepšenými vlastnostmi. Uvedený přístup používá např. Mezinárodní ústav tropického zemědělství (IITA) při šlechtění banánovníků východoafrické vysočiny (East African Highland Bananas). Tato strategie je rovněž nejčastějším postupem šlechtění triploidních jedlých typů banánovníku.

Alternativu nabízí hybridizace tetraploidního rodiče, který byl získán z diploidního klonu zdvojením dědičné informace (např. působením kolchicinu), s jiným diploidním druhem požadovaných vlastností. Výsledkem takového křížení jsou opět triploidní klony. Tento postup využívají především na Guadeloupe (CIRAD), kde byl i poprvé použit jedním ze známých šlechtitelů banánovníku Frédéricem Bakrym.

### Nové přístupy ve šlechtění

Při šlechtění banánovníku je důležité mít možnost ověřit, zda křížením vznikly hybridní klony s požadovanou ploidií (tri- nebo tetraploidní). Již tradičně se za tímto účelem používá průtoková cytometrie. Ačkoli se banánovníky s rozdílnou ploidií liší i morfologicky, výhodou průtokové cytometrie je možnost určit ploidiu u mladých rostlin. Morfologické znaky, které slouží k jejich identifikaci a charakterizaci, se totiž plně rozvinou až v dospělosti rostliny, což představuje relativně dlouhé časové období (několik měsíců). Časově náročnější je pak určení, zda hybridní jedinci vzniklí křížením mají požadované vlastnosti – např. odolnost vůči chorobám a škůdcům nebo abiotickým stresům, a zda plodí požadované množství kvalitních plodů. Získání nového kultivaru proto trvá 10–15 let, přičemž přijetí nových odolnějších jedlých typů konzervativními farmáři a konzumenty není vůbec zaručeno. Ve šlechtění banánovníku se jen pomalu prosazují metody umožňující charakterizaci nově vzniklých hybridů již ve stadiu malých rostlin – s cílem co nejrychleji vybrat křížence s požadovanými vlastnostmi. Jde



o různé typy molekulárních markerů, které jsou v ideálním případě v těsné vazbě na daný znak a vedou k rozpoznání hybridů s požadovanými vlastnostmi už v rané fázi vývoje (MAS, Marker Assisted Selection). U banánovníků se MAS ve šlechtění zatím nevyužívá, zejména kvůli triploidnímu charakteru hybridů a komplexnímu založení důležitých znaků.

Díky rychlému rozvoji nových technologií sekvenování je možné za poměrně nízkou cenu a krátkou dobu identifikovat velmi vysoký počet jednonukleotidových polymorfismů (SNP, Single Nucleotide Polymorphism) specifických pro každého analyzovaného jedince, a na základě analýzy fenotypového projevu je dát do souvislosti s určitým fenotypovým znakem. Tímto způsobem lze vytvořit modely pro genomovou selekci, a vybrat vhodné rodiče a křížence, aniž by bylo nutné zjišťovat molekulární markery vázané na konkrétní znaky. Modely genomové selekce jsou ověřovány na tzv. trénovací populaci (viz obr. 5) – křížením vzniklé populaci, jejíž jedinci byli charakterizováni všemi dostupnými metodami včetně fenotypové odezvy na studované znaky. Na základě analýzy trénovací populace jsou pak sestaveny matematické modely, umožňující identifikovat hybridní rostliny s požadovanými vlastnostmi v raných fázích růstu bez nutnosti zdlouhavé analýzy fenotypových znaků. V současné době se geno-

5 a 6 Matematické modely pro genomovou selekci se ověřují na tzv. trénovací populaci. Ve snaze zvýšit spolehlivost modelů jsou tyto populace vysazovány v různých oblastech lišících se klimatickými podmínkami – např. na obr. 5 ve šlechtitelské stanici Mezinárodního ústavu tropického zemědělství (IITA) v Namulonge v centrální Ugandě. U trénovací populace v Mbarara na jihovýchodě Ugandy (6) se při kontrole experimentu sešli (zleva): vedoucí Centra strukturální a funkční genomiky rostlin ÚEB AV ČR Jaroslav Doležel, šlechtitel z IITA spolupracující na projektu genomové selekce banánovníku Moses Nyine a autorka tohoto článku. Foto z archivu E. Hříbové

mová selekce testuje ve šlechtitelském programu banánovníků východoafrické vysočiny v Ugandě (IITA) ve spolupráci s olomouckým Centrem strukturální a funkční genomiky rostlin ÚEB AV ČR. Pokud se její aplikace osvědčí, pomůže zefektivnit šlechtění a zkrátit dobu nutnou pro ověření požadovaných znaků u nově vytvořených hybridů.

Výzkumné projekty podpořilo Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky (LG15017) a Národní program udržitelnosti I (LO1204).

