

Genetické modifikace

– možnosti jejich využití a rizika



Ministerstvo životního prostředí
České republiky



Problematika hodnocení rizik geneticky modifikovaných rostlin při uvolňování do prostředí

František Krahulec

Geneticky modifikované rostliny jsou realitou. Obvykle se hovoří o tom, zda jsou zdravotně závadné, či nikoliv, ale skutečná rizika současné generace modifikací jsou ve zcela jiné oblasti. Rizika jsou především v oblasti úniku modifikací do prostředí a ve velmi těžko odhadnutelných následcích těchto úniků. Značná rizika se dají snadno předvídat v těch případech, kdy modifikacemi jsou selektivně výhodné znaky, které značně zvýhodňují svého nositele. V případě, že existuje možnost úniku modifikované rostliny či pouze modifikace do přírody, je nutno případ od případu podrobit proceduře hodnocení rizik. Rostliny mají celou řadu vlastností, které tuto proceduru komplikují. Další komplikací jsou naše nedostatečné znalosti; týkají se těch aspektů života rostlin, které donedávna nestály v popředí studia, a proto také nebyly soustředěny dostatečné poznatky, které by umožnily rychlé a zodpovědné zhodnocení rizik. Domnívám se, že hodnocení rizik by se nemělo týkat pouze geneticky modifikovaných rostlin, ale i např. nově zavážených plodin či okrasných rostlin. Ze studia invazních druhů víme, jak velká část z nich byla cíleně sázena či pěstována. Nikdo snad už nepochybuje o tom, že např. akát nebo křídlatky mají vliv na biotopy, které obsazují. Případně, jako je tomu u bolševníku, vliv na celou krajinu a následně vzhledem ke své toxicitě i na chování lidí v přírodě. Nezanedbatelná jsou rizika při pěstování některých tzv. energetických plodin, jakými jsou např. již uvedené křídlatky či šťovík. A pokud nejde o chráněná území, tak nikdo jejich velkoplošné uvolnění do přírody předem nehodnotil a nehodnotí. V tom je velký rozdíl proti některým jiným zemím, které jsou s uvolňováním nových organismů do prostředí v současnosti velmi opatrné (např. Nový Zéland, Austrálie).

Významné vlastnosti rostlin, které mají význam pro možné úniky transgenu, jsou křížení rostlin a jejich schopnost šíření. V tomto konkrétním případě to může být jak šíření semen, tak i šíření pylu a možnost opylení jinde než v konkrétním porostu.

Rostliny a jejich populace v přírodě mají řadu vlastností, které velmi komplikují případné odhady a hodnocení rizik. Mnohé z těchto postupů mají obecnou platnost a nevztahují se jen k problematice geneticky modifikovaných organismů (GMO) a jejich uvolňování do prostředí.

Variabilita přirozených populací

Naše znalosti variability rostlin se vztahují v největší míře k variabilitě v morfologii, která jako jediná je sledována již po více staletí. Přibližně sto let si botanici dostatečně uvědomují, že tato variabilita je ovlivňována i prostředím, a proto se snaží i tuto variabilitu postihnout. I zde jsou znalosti velmi malé, protože množství kombinací různých faktorů je tak velké, že se dá jen velmi obtížně experimentálně připravit. Proto jsou z tohoto hlediska studovány jen ty skupiny rostlin, kde je tato variabilita pokládána za důležitou, např. pro určování, jako je

tomu u vodních rostlin. Příkladem může být studium ekologicky vyvolané variability (plasticity) u rdestů (*Potamogeton* – Kaplan). Méně toho již víme o variabilitě v ekologickém chování. Ta je relativně dobře známá pro některé druhy používané v ekologii pro indikaci a je podchycena např. v ekologických charakteristikách významných druhů (Grime et al. 1988) či v květenách, z nichž je asi nejpodrobnější Oberdorferova květena jižního Německa (Oberdorfer). Znalosti o variabilitě ve fyziologii a o genetické variabilitě jsou teprve v počátcích. I tak jednoduchá vlastnost, jakou je počet chromozomů, resp. ploidie, je dosud nedostatečně zpracována. Velkým průlomem posledních let je zavedení průtokové cytometrie, které umožnilo zpracovat řádově vyšší množství vzorků. Velmi se tak změnilo naše představy o množství cytotypů pro celou řadu druhů a hlavně o jejich rozšíření na území střední Evropy. Neznalost variability velmi omezuje možnost extrapolací poznatků např. na jiné genotypy. Lze odhadovat, že při některých experimentech s křížením se v dobře zajištěných pokusech používají maximálně stovky genotypů. V přírodě se však setkávají o několik řádů vyšší počty genotypů, takže pravděpodobnost, že se některý málo pravděpodobný jev vyskytne, je výrazně nenulová.

Příklad: Obecně známý druh zvonek rozkladitý (*Campanula patula*). Až do konce 80. let minulého století byly v Československu známy pouze dva typy, diploidní *C. patula* rostoucí po téměř celém území a oktoploidní *C. abietina* s výskytem pouze na severovýchodním Slovensku, v Bukovských vrších. V 90. letech bylo zjištěno, že v jižní části Šumavy se vyskytuje tetraploidní cytotyp a v západní části Krušných hor hexaploidní cytotyp (Krahulcová et al.). Při důkladnějším průzkumu (Látalová) byly tyto cytotypy vymapovány a morfologicky hodnoceny; v Krušných horách byl nalezen další, oktoploidní cytotyp, který je morfologicky paralelní s *C. abietina* z východního Slovenska, ale vznikl pravděpodobně na místě, z krušnohorských populací. Tetraploidní cytotyp ze Šumavy odpovídá východoalpsko-balkánskému taxonu *Campanula patula* subsp. *jahorinae*. Ač jsme si tedy mysleli, že všechny populace v České republice jsou homogenní, opak je pravdou. A to se jedná o druh, který je ve střední Evropě jasně vymezen, je dobře poznatelný, pěkně kvete a je obecně známý. To, že se podobná variabilita našla u druhů, které zdaleka nejsou tak známé, už tak překvapivé nebylo, i když třeba u píru plazivého (*Elytrigia repens*), který je významným plevellem, jsme zjištění nové ploidie také nepředpokládali (Mahelka et al. 2005).

Podmíněnost některých procesů podmínkami prostředí

Podmínky prostředí ovlivňují fenologii jednotlivých druhů, pro křížení je velmi důležitá doba kvetení. To lze u nás nejlépe pozorovat v letech s různě dlouhou zimou. Když je zima krátká a nástup jara pozvolný, kvetení jednotlivých druhů je od sebe odděleno často i několika týdny. Pokud je zima dlouhá a nástup jara pak rychlý, druhy kvetou společně. V některých územích je kvetení ovlivňováno např. letními srážkami a nejsložitější případy nastávají, když spolupůsobí více faktorů najednou. Stejně tak počasí ovlivňuje dozrávání a klíčení semen. Narušování půdního povrchu spolu s počasím jsou pak klíčové faktory, které rozhodují o přežívání semenáčků. Na počasí jsou velmi závislé i biotické faktory, způsobující velkou úmrtnost semenáčků. K nim patří zejména rozvoj různých houbových

chorob či býložravců, jako jsou např. slimáci. Tato skutečnost opět snižuje možnost extrapolace poznatků z jednoho území do jiného.

Příklad: Mahelka et al. (2007) sledovali křížení mezi pýrem prostředním a pýrem plazivým (*Elytrigia intermedia* a *E. repens*) na třech lokalitách na jižní Moravě. Každá lokalita poskytovala jiný obraz: na polní lokalitě u Valtic převládal pýr plazivý a hybridy, u Dolních Dunajovic byly zastoupeny oba rodiče i hybridy, ale byly tam nalezeny nejen známé hexaploidní cytotypy, ale i nově zjištěný nonaploidní cytotyp (vzniklý z jedné redukované a jedné neredukované gamety). Tento nonaploidní cytotyp byl častěji u hybridů. Na známé Pouzdřanské stepi nebyl nalezen žádný hybrid, pouze oba rodičovské druhy. Všechny tři lokality jsou od sebe vzdáleny jen několik málo kilometrů, jsou ve stejné klimatické oblasti a liší se pouze lokálními půdními podmínkami. Křížení těchto pýrů je důležité pro uvolňování geneticky modifikovaných rostlin do přírody z toho důvodu, že pýr prostřední se dá křížit s pšenicí a může sloužit pro přenos určitých vlastností z pšenice do plevelného pýru plazivého. A co by znamenal přenos např. resistance vůči herbicidům, si asi každý, kdo má s pýrem zkušenosti, umí představit. Uvedený příklad ukazuje, že i ve velmi omezeném území je jakákoliv generalizace a na ní závisící předpověď obtížná.

Genetická variabilita bývá také velmi odlišná v primární a sekundární části areálu. Zmíněný pýr plazivý je častým plevelem i na jiných kontinentech, např. v Severní Americe. I morfologická variabilita tohoto druhu je tam evidentně výrazně menší než v oblastech, kde je tento pýr „doma“, např. na stepích Ukrajiny a Ruska. K těmto stepním oblastem patříme i my, zejména v oblastech středních a severních Čech a jižní Moravy je tento druh velmi variabilní. K variabilitě nepochybně přispívá i to, zda jsou v území druhy schopné se s pýrem křížit. Poznávat křížence v takových komplikovaných skupinách není snadné a je možné až po získání určitých zkušeností.

Efekt velkého množství případů

Malé množství pylu může ovlivnit jiné jedince v těsném okolí, velké množství pylu na podstatně větší vzdálenost; totéž platí pro semena.

Příklad z USA. Netransgenní rostliny psinečku (*Agrostis stolonifera*) byly rozmístěny v krajině v různých vzdálenostech od pole, kde se pěstoval transgenní psineček. Opylení rostlin *Agrostis stolonifera* transgenním pylem bylo zjištěno až ve vzdálenosti 14 a 21 km (Watrud et al. 2004). S tímto faktorem by pak mělo být obecně počítáno v těch případech, kde se jedná o druhy opylované větrem. Bezpečnost nemůže být hodnocena podle průměrných rychlostí větru, ale spíše podle silných větrů v době kvetení. Z tohoto hlediska několikasetmetrové ochranné vzdálenosti rozhodně nejsou zárukou nešíření transgenního pylu.

Dalším příkladem je slunečnice. Její semena (morfologicky jde o nažky, tedy jednosemenné plody) jsou velmi atraktivní potravou pro celou řadu živočichů. Pokud se slunečnic pěstuje v krajině málo, je jen velmi nízká pravděpodobnost, že semena přežijí do dalšího roku. S rozšířením pěstování slunečnic v posledních letech se ale ukazuje, že slunečnice, přesněji semena, přežívají, protože se jednotlivě objevují jako plevel v jiných kulturách.

Dlouhodobé přežívání v přírodě

Rostliny mohou přežít v podobě semen v semenné bance roky až desítky let; vytrvalé rostliny mohou přežít stovky až tisíce let jako klony. Dlouhodobé přežívání opět výrazně zvyšuje pravděpodobnost, že dojde k výskytu málo pravděpodobného případu – u klonů např. tím, že se zvýší počet jedinců, kteří kvetou v různých letech za různých podmínek; totéž platí pro množství vyklíčených jedinců u druhů vytvářejících semennou banku.

Příklad: V. Lanta (2001) studoval ve své diplomové práci výskyt semen hybridů mezi kulturními a plevelnými laskavci - amaranty (*Amaranthus cruentus* a *A. retroflexus*) na polích, kde se v minulosti laskavce pěstovaly (Lanta et Havránek 2001). Živá semena hybridního původu byla zjištěna v semenné bance v nezanedbatelném množství až pět let po skončení pěstování kulturních laskavců.

Krátkodobá sledování nemohou nahradit dlouhodobá

Většina poznatků o chování transgenů je velmi krátkodobá a podchycuje jen častější jevy, zatímco málo pravděpodobné jevy neznáme. Kdo z odborníků s dobrou znalostí rostlin by předpokládal, že křížením dvou monokarpických druhů vznikne polykarpická trvalka, jak se podařilo zjistit u druhů rodu *Tragopogon* (Krahulec et al. 2005)? Stejně tak analýzou hybridního roje druhů rodu *Viola* v Krkonoších byly nalezeny u hybridních jedinců čtyři znaky neznámé u rodičů (Krahulcová et al. 1996).

Složitost systému a používání různých jmen

Jednou z velkých komplikací výzkumu je skutečnost, že v některých skupinách rostlin se používají nejednotně rostlinná jména. Tak se může stát, že případná rizika zůstávají skryta ve spleti používaných jmen.

Příklad: V zemědělské praxi je pro křížení využíván jeden východoevropský druh pýru, pro který je v botanické literatuře východoevropských zemí používáno jméno *Elytrigia elongata* (Cvelev 1976) či *Elymus elongatus* (Delipavlov et al. 2003). V zemědělské praxi je pro podčeď *Triticaceae* používáno pojetí úzkých rodů. Pro stejný druh je používáno jiné rodové jméno, jde o *Thinopyrum elongatum*. Tento druh se v současné době šíří na řadě druhotných stanovišť v Německu, jako jsou násypy tratí, okraje silnic, hráze kanálů. Německé klíče však používají buď široké rody a druh je v nich uváděn pod jménem *Elymus obtusiflorus* (Conert 2000), nebo užší pojetí a stejný druh se jmenuje *Elytrigia obtusiflora* (Jäger et al. 2002). Bez důkladného proniknutí do problematiky synonymiky v dané skupině si skutečně málokdo uvědomí, že ve všech těchto případech jde o tentýž druh a že představuje riziko při případném pěstování geneticky modifikované pšenice. Ostatně již výše zmíněný náš druh, pýr prostřední, se v různých botanických a zemědělských pracích vyskytuje s řadou rodových i druhových jmen: *Elymus hispidus*, *Elytrigia intermedia*, *Thinopyrum intermedium*, *Agropyron intermedium* (celkem jde asi o 140 různých variant).

Významným faktorem pro možné šíření je extrémnost klimatu. Zemědělské kultury v krajině nemohou být tak zajištěny jako experimentální pozemky. Při extrémních klimatických situacích dochází k tomu, že část osiva je odnesena do vodotečí a dostává se mimo kontrolu. Stejně tak některé extrémní srážky v létě mohou zcela znemožnit sklizeň, nebo část semen vypadá a znovu je mimo kontrolu. To je možné vidět u obilí, které pak vzhází na strništi či podmiřnutém poli. Pokud jde o olejku, tam i v normální situaci je výdrol velký a pokud není pole možno sklídit, zůstane většina produkce na poli.

Uvedené příklady komplikují kritické hodnocení rizik. To je velmi nepříjemné při podávání žádostí o uvolnění nových plodin a jejich hodnocení, protože pak musí být dodržovány termíny správného řízení. To vede ekologicky zaměřené pracovníky, zejména ty, kteří mají zkušenosti s křížením mezi druhy v přírodě, k opatrnosti. K pochopení velmi přispěje kniha Normana Ellstranda (2003), v níž jsou rozebrány příklady významných plodin a je ukázáno, jak časté je křížení mezi plodinami a jejich příbuznými druhy (či rody) v přírodě. Jak bylo výše ukázáno, velký vliv mají též konkrétní přírodní podmínky. I v rámci tak malého území, jako je Česká republika, je možno pozorovat řadu rozdílů. Vezmeme-li pak v úvahu možnost extrapolace z území s podstatně odlišnými klimatickými podmínkami, jako je např. západní či východní Evropa či Severní Amerika (kde se naše plodiny pěstují), je vidět, že nám nic jiného než opatrnost nezbyvá.

Zastánci uvolňování geneticky modifikovaných plodin pro pěstování v přírodě jsou nejčastěji pracovníci, kteří se jejich přípravou zabývají a snaží se tudíž prosadit využití výsledků vlastní práce. Na druhé straně mezi oponenty jsou pracovníci, kteří mají zkušenosti s přírodními systémy a uvědomují si možná rizika i nedostatek relevantních informací. Proto je nutné, aby byl každý případ posuzován jednotlivě (což se naštěstí děje) a pokud možno reálně – bez emocí, čistě technicky (což se bohužel neděje, nejhorší případy jsou ty, které jsou zpolitizované). Výše uvedený výčet neznámých nebo nedostatečně známých odpovědí k daným otázkám rozhodně není úplný. Další problémy vystávají tam, kde dochází k interakcím více trofických úrovní či k předpovědím pro celé systémy. Tam je míra neurčitosti ještě vyšší a z toho důvodu pak je nutná i vyšší míra opatrnosti.

Citovaná literatura

- Conert H.J. (2000): *Parey's Gräserbuch. Die Gräser Deutschlands erkennen und bestimmen.* – Berlin.
- Cvelev N.N. (1976): *Zlaki SSSR.* – Leningrad.
- Delipavlov D., Češmedžiev I., Popova M., Terzijski D. et Kovačev I. (2003): *Opređelitel na raste-nijata na Balgarija.* – Plovdiv.
- Grime J.P., Hodgson J.G. et Hunt R. (1988): *Comparative plant ecology.* London, Unwin Hyman.
- Ellstrand N.C. (2003): *Dangerous liaisons? When cultivated plants mate with their wild relatives.* – John Hopkins University Press, Baltimore and London. 244 pp.

- Ellstrand N. C., Prentice H.C. & Hancock J.F. (1999): Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. – *Annual Review of Ecol. Syst.* 30: 539-563.
- Jäger E.J. & Werner K. (eds), *Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Kritischer Band* 9th ed., Heidelberg, Berlin.
- Kaplan Z. (2002): Phenotypic plasticity in *Potamogeton* (*Potamogetonaceae*). – *Folia Geobot.* 37: 141-170.
- Krahulcová A., Kirschnerová L. et Kovanda M. (1995): Polyploid *Campanula patula* in the Czech Republic. – *Preslia* 67: 107-115.
- Krahulcová A., Krahulec F. et Kirschner J. (1996): Introgressive hybridization between a native and an introduced species: *Viola lutea* subsp. *sudetica* x *V. tricolor*. – *Folia Geobot. Phytotax.* 31: 219-244.
- Krahulec F., Kaplan Z. & Novák J. (2005): *Tragopogon porrifolius* x *T. pratensis*: the present state of an old hybrid population in Central Bohemia, the Czech Republic. – *Preslia* 77: 297-306.
- Lanta V. (2001): Genetické důsledky introdukce nové alternativní plodiny amarantu pro plevele druhy r. *Amaranthus*. – Diplomová práce, Katedra botaniky PfF UP Olomouc.
- Lanta V. et Havránek P. (2001): Mezidruhová hybridizace a tok genů v komplexu „crop-weed“ při pěstování amarantu. – In: Michalová A. et Lehká E. (eds.), *Pěstované a využití některých opomíjených a netradičních plodin v ČR*. VÚRV Praha-Ruzyně.
- Látalová H. (2003): Polyploidní komplex *Campanula patula* L. s.l. – Diplomová práce, Katedra botaniky Pff UK Praha.
- Mahelka V., Suda J., Jarolímová V., Trávníček P. & Krahulec F. (2005): Genome size discriminates between closely related taxa *Elytrigia repens* and *E. intermedia* (*Poaceae: Triticeae*) and their hybrid. – *Folia Geobot.* 40: 367-384.
- Mahelka V., Fehrer J., Krahulec F. & Jarolímová V. (2007): Recent natural hybridization between two allopolyploid wheatgrasses (*Elytrigia*, *Poaceae*): Ecological and evolutionary implications. – *Annals of Botany* 100: 249-260.
- Oberdorfer E. (1994): *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. – 7 ed., Stuttgart.
- Watrud L.S., Lee E.H., Fairbrother A., Burdick C., Reichman J.R., Bollman N., Storm M., King G. & van de Water. P. (2004): Evidence for landscape-level, pollen-mediated gene flow from genetically modified creeping bentgrass with CP4 EPSPS as a marker. – *Proc. Nat. Acad. Sci.* 101, No. 40: 14533-14538.



Roudná M. (Ed.) (2008): Genetické modifikace – možnosti jejich využití a rizika. Ministerstvo životního prostředí, Praha, ISBN 978-80-7212-493-0, 48 pp.

Roudná M. (Ed.) (2008): Genetic Modifications – Possibilities of their Use and Risks. Ministry of the Environment, Prague, ISBN 978-80-7212-493-0, 48 pp.