

Rostlinné invaze a problematika geneticky modifikovaných rostlin

Genetically modified plants: what can we learn from plant invasions?

František Krahulec

Botanický ústav AV ČR, v.v.i., 252 43 Průhonice; krahulec@ibot.cas.cz

Abstract

The paper shows main environmental risks associated with introduction of genetically modified plants. These risks are discussed with respect to invasive species and the high level of uncertainty of predicting the risks is emphasized.

Key words: genetically modified plants, plant invasions

Úvod

V poslední době se velmi diskutuje o problematice geneticky upravených organismů (GMO). V celé řadě novinových článků se píše o jejich nebezpečnosti pro člověka při jejich konzumaci. Právě na této problematice příznivci této technologie ukazují, že argumenty odpůrců nejsou racionální a geneticky modifikované organismy (dále v textu budu mít na mysli rostliny) líčí v superlativech – jako případy, které povedou k radikálnímu snížení pesticidů, herbicidů, zlepšení kvality potravin, případně i zdravotního stavu při jejich konzumaci (např. tzv. zlatá rýže obohacená o vitamin A). V těchto diskusích jsou u nás zcela opomíjeny další aspekty, zejména vlivy GMO na okolí – někdy je sice zmiňován negativní dopad na populace hmyzu, zejména motýlů, často je ale argumentace na poměrně primitivní a velmi snadno vyvratitelné úrovni.

Jsou však tyto modifikace skutečně bez rizika, jak pro přírodu, tak pro lidské aktivity? Důležité je si uvědomit, o jaké modifikace jde. Převážná většina z nich (udává se, že 60–70 %) jsou znaky selekčně významné: odolnost vůči herbicidům, škůdcům a extrémním projevům prostředí, jakými jsou např. sucho, nízké teploty atd. Jedná se tedy o znaky, které jsou za určitých okolností pro své držitele výhodné.

Skutečností je, že genetické modifikace v té podobě, jak se v současnosti provádějí, jsou velmi odlišné od klasického šlechtění. Při klasickém šlechtění jsou znaky přenášeny pouze mezi příbuznými druhy schopnými se křížit, či jsou přenášeny přes nějaký další

druh schopný křížení. Další možností je vyvolání mutací a jejich selekce. Při genetických modifikacích je situace jiná. Jakmile je gen izolován, je možné jej vložit prakticky kamkoliv. Proto pak i jeho další šíření může být daleko rychlejší, protože potenciálních zdrojů šíření bude po vložení do různých organismů podstatně více.

Jakým způsobem může docházet k únikům GM rostlin či samotných genů do přírody?

Prvním z nich je přímý únik jedinců z kultury, nejčastěji ve formě semen. V tomto případě nám mohou velmi pomoci dosavadní zkušenosti – víme, které plodiny v naší přírodě zplaňují, jak často se to děje a jak dlouho jsou schopny vytrvat. V tomto směru však platí některá omezení, která lze demonstrovat na dvou příkladech. Prvním z nich je slunečnice, *Helianthus annuus*. Semena slunečnice jsou vynikající potravou pro velké množství živočichů, např. pro ptáky či hlodavce, proto také přetrvání slunečnic v přírodě z roku na rok bylo donedávna velmi vzácným jevem. V posledních letech však nesmírně vzrostla plocha osévaná slunečnicemi a také množství jedinců, pocházejících ze spontánního přesevu na polích. S větším množstvím semen se zvyšuje i množství jedinců v krajině spontánně přetrvávajících (vlastní pozorování, Kirschner & Šída 2004). Druhým příkladem změn z poslední doby je řepa (Soukup et al. 2002, Soukup & Holec 2004). Až do začátku 90. let minulého století nebyly s touto plodinou problémy. Se změnou zdrojů osiva došlo ale k zavlečení planých, jedno- až dvouletých typů řepy, které jsou velmi často produktem křížení s kulturními řepami. Tyto plané typy připomínají „vyběhlí“, tj. kulturní řepy vzácně vykvétající prvním rokem. Tento příklad ukazuje, že ani naše dosavadní zkušenosti nemusí být v nových podmínkách významné. Z hlediska úniku pomocí semen je evidentně jedním z nejproblematičtějších druhů řepka olejka (*Brassica napus*). O tom, jak časté jsou tyto úniky, svědčí množství rostlin rostoucích kolem železničních tratí a silnic. Semena jsou drobná, kulatá a poměrně těžká, proto snadno vypadávají při dopravě a jakýchkoliv manipulacích. Vstupují i do semenné banky.

Druhou možností úniku transgenů do přírody je křížení. Této problematice byla věnována celá řada prací (Parker & Kareiva 1996, Ellstrand et al. 1999, Ellstrand 2003). Transgenová plodina se může křížit buď s planě rostoucími rostlinami stejného druhu nebo s příbuznými druhy. Většina u nás pěstovaných plodin má v naší přírodě příbuzné, se kterými je možné křížení (Krahulec 2002, 2004). Výjimky jsou vzácné: kukuřice, sója, brambory. Plané populace plodiny či příbuzných druhů jsou v naší krajině poměrně často a snadno dosažitelné. Z hlediska křížitelnosti je opět nejproblematičtější plodinou olejka. V Evropě je uváděno 14 druhů, se kterými je schopná se křížit, mnoho z nich roste i v ČR (Chevre et al. 2004). Zejména z Kanady jsou již úniky křížením dobře dokumentovány (Warwick et al. 2004) a je také dokumentováno další přetrvávání uniklých transgenů v přírodě (Warwick et al. 2007). Na území ČR jde o tyto druhy: *Brassica rapa*, *B. juncea*, *Diploaxis muralis*, *D. tenuifolia*, *Erucastrum gallicum*, *Hirschfeldia incana*, *Raphanus raphanistrum*, *Sinapis arvensis*, *S. alba* (Chèvre et al. 2004, doplněno).

Čím mohou být úniky transgenů nebezpečné?

Pokud jde o rizika spojená s úniky transgenů, je třeba rozlišovat mezi nebezpečím pro člověka a nebezpečím pro prostředí, pro přírodu. Jak bylo uvedeno výše, stále ještě více než polovinu transgenů tvoří selekčně, ekologicky významné znaky. Tyto znaky jsou významné všude tam, kde daný faktor působí; např. rezistence vůči herbicidům je významná všude, kde jsou herbicidy používány – nejsou to jen pole, ale i železnice, nádraží, okraje silnic, dálnic, chodníky. Na těchto liniových komunikacích dochází k velmi rychlému šíření diaspor, takže pokud se vyskytne resistantní typ, rychle se dostává na další lokality. Větší rozšíření plevelů resistantních na herbicidy bude mít zcela nesporně i přímé ekonomické, a následně i environmentální následky, neboť vyvolá nutnost opakovaného používání jiných herbicidů.

Zcela jiná situace by ale nastala v případech, že půjde o transgeny, které mají význam i mimo pole, jež mohou podmiňovat odolnost vůči chorobám, konzumentům, suchu, mrazům, či dalším faktorům. V těchto případech je dopad jejich úniku těžko odhadnutelný. A právě zde lze spatřovat významnou analogii s invazními rostlinami.

Další zdroje problémů jsou v ekonomicko-právní oblasti. Je to problematika velmi ožehavá, např. když dojde ke znečištění produkce ekologického zemědělce (hrozí ztráta licence) či někoho, kdo chce pěstovat netransgenní odrůdy. K tomuto účelu musela být stanovena pravidla koexistence, která v podstatě komplikují zemědělcům život. Nereálná není např. ani možnost znečištění území Rakouska (např. odnosem semen vodou z polí na Moravě), které zatím zastává ideu území bez modifikovaných plodin.

S invazními rostlinami je mnohem větší zkušenost než s GMO, jsou dokumentovány tisícovky případů z celého světa. Přesto je stupeň současného poznání stále velmi nízký; stále ještě hledáme, jaké vlastnosti musí mít invazní rostlina, aby byla úspěšná (Pyšek & Richardson 2007), a jaké musí být vlastnosti společenstva, aby bylo resistantní či náchylné vůči invazi (Richardson & Pyšek 2006, Chytrý et al. 2008). Přes tyto rozsáhlé zkušenosti je schopnost predikce stále nižší, než bychom chtěli. Z tohoto důvodu jsem velmi skeptický vůči resolutním tvrzením, že únik některého transgenu není nebezpečný. Naše dosavadní znalosti nás k takovému tvrzení neopravňují a je na místě použít princip předběžné opatrnosti.

Vliv transgenických plodin však není pouze přímý, křížením a úniky. V řadě případů je to vliv zprostředkovaný. Jeden z používaných genů vyvolává rezistenci vůči herbicidům, nejčastěji vůči glyfosátu (je např. složkou herbicidu Roundup) – pokud se takto modifikovaná plodina pěstuje, je možno používat herbicid bez rizika jejího poškození. V této první fázi to vede ke snížení množství používaných herbicidů, což je jako argument široce využíváno zastánci uvolňování modifikací do životního prostředí. Stálé používání stejného herbicidu ale dříve nebo později vede k vyselektování resistantních plevelů. Jakmile se však tyto resistantní plevele rozšíří, potřeba herbicidů opět vzrůstá (lze to přirovnat ke vzniku mikroorganismů resistantních na antibiotika při jejich nesmyslném používání či při používání stále stejného antibiotika). K tomuto procesu už na našem území došlo, je zná-

mo 15 druhů resistantních vůči herbicidům. Část těchto resistantních typů pochází z nádraží a železničních tratí, kde jsou herbicidy používány ve velké míře a daleko méně cíleně než v zemědělství: *Amaranthus retroflexus*, *Conyza canadensis*, *Digitaria sanguinalis*, *Poa annua*, *Polygonum lapathifolium*, *P. persicaria*, *Senecio vulgaris* a *Kochia scoparia*. U posledního druhu byla zjištěna resistance ke dvěma skupinám herbicidů. Mnohem horší situace je např. v USA, kde je množství resistantních typů udáváno zejména z polí se sójou (www.weedscience.org). Vznikem resistantních typů u hmyzu, vystaveného stálému selekčnímu tlaku transgenní plodiny, se podrobně zabývá Hrdý (2002).

Rozumná strategie by měla plevele eliminovat celou řadou přístupů, zejména důsledným dodržováním agrotechnických pravidel, včetně střídání plodin, střídání různých herbicidů, likvidací zdrojů diaspor, udržováním okolí polí – tedy přístupem, který je velmi podobný integrované ochraně (Hrdý 2003). Ideální by byly selektivní herbicidy, ale zejména mimo pole, na železnicích apod. se používají širokospektrální. V tomto směru by mělo být použití herbicidů omezeno jen na nezbytně nutné případy. Součástí problematiky rozumné eliminace plevelů by mělo být omezení transferu diaspor na nejmenší možnou míru, zejména z území, kde už resistantní plevele jsou – zde je další podobnost s rostlinnými invazemi a jejich managementem.

Skutečnosti komplikující hodnocení rizik spojených s používáním GMO

Existují některé další skutečnosti, které velmi komplikují případné odhady a hodnocení rizik. Řada z nich má obecnou platnost a nevztahuje se jen k problematice GMO a jejich uvolňování do prostředí.

1. **Variabilita přirozených populací.** Naše znalosti se většinou vztahují k variabilitě v morfologii či ekologickém chování. Znalosti o variabilitě ve fyziologii a genetické variabilitě jsou teprve v počátcích. 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.

2. **Podmíněnost některých procesů podmínkami prostředí.** Příkladem může být to, že v některých letech patřičné druhy kvetou ve stejnou dobu a mohou se křížit, v jiných letech nikoli. To nemusí být způsobeno jen rozdíly v počasí, ale i třeba stanovišti, na kterých příslušné druhy rostou. Tato skutečnost opět snižuje možnost extrapolace poznatků z jednoho území do jiného.

3. **Efekt velkého množství případů.** Malé množství pylu může ovlivnit jiné organismy v těsném okolí, velké množství pylu na podstatně větší vzdálenost; totéž platí pro semena. Toto bylo dokumentováno v USA, kde opylení rostlin *Agrostis stolonifera* transgenním pylem bylo zjištěno až ve vzdálenosti 14 a 21 km (Watrud et al. 2004).

4. **Dlouhodobé přežívání v přírodě.** Rostliny mohou přežívat v semenech v semenné bance roky až desítky let; vytrvalé rostliny mohou přežívat 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.

5. Krátkodobá sledování nemohou nahradit dlouhodobá. Většina poznatků o chování transgenů je velmi krátkodobá a podchycuje jen častější jevy; málo pravděpodobné jevy prostě neznáme. Kdo z nás s dobrou znalostí rostlin by předpokládal, že křížením dvou monokarpických druhů vznikne polykarpická trvalka, jako se nám 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).

Vztah GMO a rostlinných invazí

Ze zkušeností s rostlinnými invazemi je nutno se poučit o obtížnosti predikcí. Tyto zkušenosti také ukazují, že opatrnost je na místě.

Z geneticky modifikované plodiny či po úniku transgenů do dalších populací se může vytvořit nový invazní typ – např. dodání rezistence vůči herbicidům do planých plevelných řep by mohlo vyvolat jejich další šíření. Z Kalifornie je popsán případ vzniku nesmírně invazního hybridního žita, vzniklého křížením *Secale cereale* a *S. montanum*, které bylo pěstováno jako pícnina (Ellstrand 2003: 110–111). Rozšíření a agresivita tohoto plevele nakonec vedla k tomu, že v některých územích muselo být pěstování žita a pšenice omezeno. Lze jen domýšlet, jaké by bylo toto riziko při zvýhodnění resistencí na herbicidy.

Mezi nově zavlékanými druhy se objevují typy schopné se křížit s našimi plodinami. Již zde byla zmiňována řepa, ale chtěl bych upozornit na skutečnost, že v nejbližší době je možno očekávat nálezy druhu, který se šíří v Německu. V jejich současných květenách je uváděn pod jménem *Elymus obtusiflorus*, ale v jeho synonymice je i *Elytrigia elongata* či *Triticum ponticum*. Jde o vytrvalý trsnatý pýr podobný *Elytrigia intermedia*, který se kříží s pšenicí (Mahelka & Krahulec 2004).

Na závěr bych si dovolil ještě jednu obecnější úvahu. I v minulosti docházelo k mezi-kontinentálnímu přenosu diaspor. Pokud byly frekvence nízké, nezpůsobovalo to v přírodě velké problémy. Některé druhy se uchytily, jiné vyhynuly. Problémy začaly až s masovými převozy velkého kvanta zboží, cíleným zavlékáním organismů. A jako méně resistantní se jeví ty systémy, které se s tímto jevem v minulosti neseťkaly: proto jsou tyto problémy daleko významnější na jižní polokouli než na severní. Je nesporné, že i v minulosti docházelo, dochází a bude docházet k horizontálnímu přenosu genů mezi organismy. Na rozdíl od invazí nevíme, jak často. Teď to začínáme dělat cíleně a ve velkém. Proto je také odhad dalšího vývoje po tomto „urychlení“ evoluce ještě méně předvídatelný. A jakmile gen jednou „uteče“, je mimo naši kontrolu.

Literatura

- Chèvre A.-M., Ammitzball H., Breckling B., Dietz-Pfeilstetter A., Eber F., Fargue A., Gomez-Campo C., Jenczewski E., Jorgenssen R., Lavigne C., Meier M. S., den Nijs H. C. M., Pascher K., Seguin-Swartz G., Sweet J., Stewart C. N. Jr. & Warwick S. (2004): A review on interspecific gene flow from oilseed rape to wild relatives. – In: den Nijs H. C. M., Bartsch D. & Sweet J. [eds], *Introgression from genetically modified plants into wild relatives*, p. 235–251, CAB International, Wallingford & Cambridge.
- Chytrý M., Jarošík V., Pyšek P., Hájek O., Knollová I., Tichý L. & Danihelka J. (2008): Separating habitat invasibility by alien plants from the actual level of invasion. – *Ecology* 89: 1541–1553.
- Ellstrand N. C. (2003): *Dangerous liaisons? When cultivated plants mate with their wild relatives*. – John Hopkins University Press, Baltimore & London.
- Ellstrand N. C., Prentice H. C. & Hancock J. F. (1999): Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. – *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 30: 539–563.
- Hrdý I. (2002): Geneticky modifikované organismy. 1. Hmyzuvzdorné transgenní odrůdy – pohled entomologa. – *Vesmír* 81: 636–638.
- Hrdý I. (2003): Geneticky modifikované organismy. 2. Integrovaná regulace škůdců (IPM). – *Vesmír* 82: 23–26.
- Kirschner J. & Šída O. (2004): *Helianthus L. – slunečnice*. – In: Slavík B. & Štěpánková J. [eds], *Květena České republiky* 7: 322–321, Academia, Praha.
- Krahulcová A., Krahulec F. & Kirschner J. (1996): Introgressive hybridization between a native and an introduced species: *Viola lutea* subsp. *sudetica* × *V. tricolor*. – *Folia Geobot. Phytotax.* 31: 219–244.
- Krahulec F. (2002): Pěstování GM rostlin nemusí být bez rizik. – *Úroda* 12/2002: 12, 14–15.
- Krahulec F. (2004): Hra na slepou bábu. Geneticky upravované versus šlechtitelsky upravované plodiny. – *Vesmír* 83: 646–648.
- Krahulec F., Kaplan Z. & Novák J. (2005): *Tragopogon porrifolius* × *T. pratensis*: the present state of an old hybrid population in Central Bohemia, the Czech Republic. – *Preslia* 77: 297–306.
- Mahelka V. & Krahulec F. (2004): Možná rizika pěstování GM pšenice ve vztahu k planým populacím zástupců rodu *Elytrigia*. – In: Ovesná J. & Kučera L. [eds], *Otázky biologické bezpečnosti, GMO a mezinárodní závazky ČR*, p. 54–59, VÚRV Praha.
- Parker I. & Kareiva P. (1996): Assessing the risks of invasion for genetically engineered plants: acceptable evidence and reasonable doubt. – *Biol. Conserv.* 78: 193–203.
- Pyšek P. & Richardson D. M. (2007): Traits associated with invasiveness in alien plants: Where do we stand? – In: Nentwig W. [ed.], *Biological invasions*, p. 97–125, Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg.
- Richardson D. M. & Pyšek P. (2006): Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. – *Progr. Phys. Geogr.* 30: 409–431.
- Soukup J. & Holec J. (2004): Crop-wild interaction within the *Beta vulgaris* complex: agronomic aspects of weed beet in the Czech Republic. – In: den Nijs H. C. M., Bartsch D. & Sweet J. [eds], *Introgression from genetically modified plants into wild relatives*, p. 203–218, CAB International, Wallingford & Cambridge.
- Soukup J., Holec J. & Vejl P. (2002): Plevelná řepa – vleklý problém. – *Úroda* 5/2002: 34–35.
- Warwick S. I., Beckie H. J., Simard M.-J., Légère A., Nair H. & Séguin-Swartz G. (2004): Environmental and agronomic consequences of herbicide-resistant (HR) canola in Canada. – In: den Nijs H. C. M., Bartsch D. & Sweet J. [eds], *Introgression from genetically modified plants into wild relatives*, p. 323–337, CAB International, Wallingford, UK & Cambridge, USA.
- Warwick S. I., Légère A., Simard M.-J. & James T. (2007): Do escaped transgenes persist in nature? The case of an herbicide resistance transgene in a weedy *Brassica rapa* population. – *Molec. Ecol.* 17: 1387–1395.
- 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. Natl. Acad. Sci.* 101: 14533–14538.