

## Etické a sociologické aspekty geneticky modifikovaných organizmů

*J. Drobník: Ethic and Sociological Aspects of Genetically Modified Organisms. Život. Prostr., Vol. 37, No. 2, 65 – 68, 2003.*

Genetic engineering was introduced in middle seventies and precaution moratorium showed that no specific risk was attached to this technique. It made possible the production of new pharmaceutical peptides first by modified bacteria, then in milk of modified animals, and recently the production in transgenic plants is considered to be the most promising technique. It might provide edible vaccines for developing countries. Transgenic crops in agriculture are either resistant to insect pests or to herbicides. The former cut down an application of insecticides and reduced costs and health hazards to farmers. The latter, when compared with traditional weeds control, decreased the chemical treatment as well and made possible the no-tillage technology. Both types are friendlier to the natural insect community than traditional use of pesticides. The opposition to GMO is most pronounced in Europe from psychological, economical and political reasons. It is a burden to the development of biotechnology and imposes regrettable effect in certain countries in Africa. Health risks are not greater than those of standard food. Although there are certain ecological risks of GMO release, they must always be compared with the risks of alternative technology. Developing countries need to adjust the agriculture based on GMO to their needs. Crops and traits must fit to the climate and their use should be adjusted to the social structure. China is leading country in Asia in this respect. The transgenic crops represent a great business and this fact affects the character of this field.

V polovině 70. let kalifornští molekulární biologové převedli úspěšně živočišný gen do bakterie. Tím začala éra genového inženýrství, které posléze dostalo legislativní, avšak nevhodný název *genetické modifikace*. Vědci se po oznámení tohoto úspěchu obávali, že přenesení genů by mohlo vytvořit neovládnutelné patogenní kmeny bakterií, nebo uvolnit latentní viry. Proto použili to, čemu se dnes říká předběžná opatrnost: publikovali v předních vědeckých časopisech výzvu ke svým kolegům, aby od takovýchto pokusů dočasně upustili, dokud nebude prověřena jejich bezpečnost (Berg et al., 1974). Během krátké doby se ukázalo, že při zachování podmínek běžné bezpečnosti práce s mikroorganismy žádné nebezpečí nehrozí a moratorium bylo zrušeno.

Geneticky modifikované organizmy našly nejprve uplatnění ve farmaceutickém průmyslu, kde umožnily výrobu léků, zejména peptidů, které jinak nešlo připravit, jejich příprava byla riziková (růstový hormon ze

zemřelých) nebo nereálně drahá (lidský inzulin). Zasloužily se o významné zlepšení léčebné péče, a také o značný ekonomický úspěch biotechnologického farmaceutického průmyslu.

Tímto směrem vývoj pokračuje, i když pomalejším tempem, protože nastává fáze mnohem obtížnějších úkolů. Původně se peptidy pro léčební účely vyráběly pomocí geneticky modifikovaných bakterií, které však mají svá omezení. Nedokáží např. na bílkovinný řetězec navázat cukry, což je pro biologickou účinnost látky mnohdy nezbytné. Dále se vyskytly námitky proti bezpečnosti takovéto technologie, která v neposlední řadě nebyla nejlevnější.

Hledají se tedy způsoby, jak farmaceutickou výrobu převést na jiné modifikované organizmy. Použití kultur živočišných buněk se ukázalo nejen podstatně nákladnější, ale protože se mohou stát zdrojem virové infekce, nezlepšily ani bezpečnost. Úspěšné bylo zavedení genu

pro lidské terapeutické peptidy ke genům mléčných bílkovin domácích zvířat, takže transgenní živočich – ovce, koza a pod. – produkoval požadovaný peptid v mléce. Výťažnost byla výborná, ale tato technologie vyžaduje klonování modifikovaných zvířat, což naráží na bariéry jak etické, tak technické a ekonomické.

Nejsnadnější je příprava požadovaných peptidů v rostlinách. V zásadě se může postupovat dvěma způsoby: 1. modifikací rostlinného viru – třeba tabákové mozaiky –, kterým se rostliny infikují a izolací peptidu z pomnoženého viru, 2. modifikací celé rostliny. Výhodou prvního způsobu je poměrně rychlá modifikace a možnost získání prakticky využitelného množství ve skleníku, což je výhodnější i z hlediska bezpečnosti postupu. Takto byla navržena např. příprava individuálních protilátek a na Universitě Thomase Jeffersona touto metodou připravují vakcínu proti antraxu. Možnosti jsou však omezené zejména velikostí požadovaného peptidu. Proto se v mnoha laboratořích přistoupilo k modifikaci celých rostlin. Tato technika je vypracovaná a dnes již jsou vyvíjeny rostliny, které by poskytovaly tzv. jedlé vakcíny. Rozumí se tím rostliny obsahující peptid navozující imunitu proti určité infekci. Jde o rostliny, které se konzumují syrové, např. banán, sladká kukuřice a podobně. V laboratořích Akademie věd ČR se kupříkladu připravují rostliny produkující vakcínu proti papiloma viru. Obrovský význam by měl tento postup pro rozvojové země, kde je vakcinace klasickým způsobem organizačně i finančně nereálná.

V polovině 80. let minulého století začala nová etapa genetických modifikací. V r. 1986 se pokusně pěstoval na polích v USA první geneticky modifikovaný tabák a bylo prokázáno, že je odolný proti škůdci – housenkám jednoho z největších známých lyšajů. Dosáhlo se toho tak, že do buňky tabáku se přenesl gen řídící tvorbu účinné části bílkoviny, kterou v přírodě produkuje bakterie *Bacillus thuringiensis* a velice selektivně tím zabíjí určité druhy hmyzu. V případě tabáku se použil gen pro bílkovinu, která poškozují zažívací trubici housenek některých motýlů a můr.

Tato metoda se rozšířila na mnoho různých plodin, které dostali jméno podle bakterie, ze které gen pochází (Bt). V loňském roce se Bt plodiny pěstovaly na 14,5 mil. ha. Byla to hlavně kukuřice chráněná proti zavřejci kukuřičnému a bavlník. Jen v USA se tím ušetřilo přes 20 000 t herbicidů a obdobné úspory vyčíslila i Čína. Tam je významný i důsledek na zdraví zemědělců. Malí rolníci dříve na bavlník aplikovali insekticidy bez příslušných ochranných pomůcek, a tím prudce stoupaly případy otravy, zejména organofosfáty. V ještě chudších zemích – např. v Indii, neměli drobní rolníci ani prostředky na insekticidy, takže ztráty na úrodě vinou škůdců byly vysoké. Zavedení Bt bavlníku jim proto přineslo podstatné zvýšení výnosů.

Druhým nejrozšířenějším typem geneticky modifikovaných plodin jsou odrůdy necitlivé na totální herbicidy. Takové herbicidy se používají i ve standardním zemědělství. Např. glyfosát, nejčastěji prodáváný pod obchodním názvem Roundup(r), se používá k odstranění plevelů před výsevem, protože se v půdě rychle rozloží, nebo k předsklizňové či posklizňové likvidaci zbytkového pýru, k regulaci plevelů na strništi a podobně. Působí na enzym, který je nezbytný pro tvorbu aromatických aminokyselin. Jsou to ty, které živočichy neumí syntetizovat a musí je přijímat v potravě. Proto glyfosát působí na všechny rostliny, ale nikoli na živočichy.

Podobný enzym obsahují i bakterie, ale s poněkud odlišnou strukturou, díky čemu není na glyfosát citlivý. Připravit odrůdu plodiny necitlivou na Roundup(r) se podařilo tím, že byl do její genetické výbavy vnesen gen z půdní bakterie, který rostlina použije za přítomnosti glyfosátu k syntéze bakteriálního, a tedy necitlivého enzymu. Je to jakási rezerva vedle vlastního genu. Výhodou takových plodin je, že se nemusí ošetřovat několika různými herbicidy a ani před vyklíčením. Jiné rostliny se mohou nechat vyrůst až do okamžiku, kdy by plodinu omezovaly. Do té doby jsou prostředím pro přirozené společenstvo herbivorů. Teprve pak se odstraní jedním ošetřením rychle se rozkládajícím glyfosátem. Během vegetační periody stačí obvykle už jen druhý postřik. Tato technika vede k zachování bohatšího společenstva hmyzu než při klasickém ošetření. V evropských podmínkách to prokázala studie Roundup Ready (RR) krmné řepy v Dánsku (2002). Podobnou charakteristiku má druhý totální herbicid glufosinát, známý pod komerčním názvem Liberty(r) nebo Basta.

Hlavní plodinou necitlivou na Roundup(r) – a hlavně geneticky modifikovanou plodinou vůbec – je sója, s registrovaným názvem Roundup Ready sója (RR sója). V r. 2002 se pěstovala na 36,5 mil. ha a její sklizeň představovala 51 % veškeré sklizeň sóji na světě. Sója má malou konkurenční schopnost, proto při klasickém pěstování vyžaduje silné ošetření herbicidy. Naopak, použití RR sóji umožňuje omezit až vůbec vynechat orbu. To vede ke snížení eroze, zadržování vláhy a snížení spotřeby pohonných hmot.

Žádná nová technologie se nepřijímá bez nedůvěry a výhrad. Je to dáno lidskou psychologií a ekonomickou vazbou části společnosti na starou technologii. Není tomu jinak ani s GMO. Největší opozice se soustřeďuje na zemědělské použití, což souvisí s tradicí a úzkým vztahem lidí k zemědělství, ale také s nevhodnou volbou prvních modifikovaných plodin. Biotechnologické firmy zvolily takové, které přinesou prospěch pěstitelům, a původcům zajistí rychlou návratnost vložených prostředků. Předpokládaly, že spotřebitel automaticky přijme to, co pěstitel dodá. Proto se nezajímaly o primární vývoj plodin přinášejících prospěch spotřebiteli. V tom je zá-

kladní rozdíl od použití GMO ve farmacii, kde byl primární prospěch pacienta.

Výhrady ke GMO lze rozdělit do dvou skupin: tzv. naivní a faktické. První vychází z neznalosti nejen GMO, ale celé oblasti. Nejčastěji jsou založeny na představě, že běžné zemědělské plodiny "jsou od přírody" nebo "od Boha". Ve skutečnosti jsou archívem mutací, protože vznikly pečlivým křížením a následujícím umělým výběrem, z hlediska vlastností pro člověka nejvýhodnějších, nebo alespoň nejžádanějších (například o výhodnosti některých vlastností psích plemen se dá oprávněně pochybovat). Dnešní zemědělské plodiny jsou od svých původních předchůdců tak odlišné, že je mnohdy ani nepřirazujeme k sobě.

Jednou z otázek kladených v souvislosti se zaváděním GMO je, zda je etické přenášet geny mezi rostlinami a živočichy, mezi organizmy, které se přirozeně nemohou křížit. Je to vykonstruovaný problém. Mnohé geny, které zabezpečují stejné funkce v různých organizmech, jsou si značně podobné a potvrzují tak společné sdílení genetického materiálu v evoluci. V některých případech naznačují, že i v přírodě existuje nějaký mechanismus pro přenos genů mezi nepříbuznými organizmy. Příkladem může být RR sója, která rezistenci ke glyfosátu získává vnesením genu z bakterie. Tento gen je jen málo odlišný od jejího vlastního genu zajišťujícího stejnou funkci (sintézu aromatických aminokyselin).

Mnozí neschvalují genetické modifikace, protože se domnívají, že si lidé nemají "hrát na Pána Boha" a měnit genetické vybavení organismů. Přitom opomíjejí mutace vytvářené rentgenem, a také si nevšimnou třeba palety ras psů, která je dokladem, že člověk "stvořil" zvířata, geneticky velmi odlišná od původních (v tomto případě od vlka).

Mnozí lidé nepřijímají některé druhy potravy z náboženských nebo morálních důvodů, např. židé a muslimové nekonzumují vepřové, hinduisté a vegetariáni nejedí žádné maso. Nelze vyloučit, že některé skupiny lidí budou z podobných důvodů odmítat potraviny vytvořené z geneticky modifikovaných organismů. Z náboženského hlediska stojí za povšimnutí prohlášení anglikánské církve (1999), že Bůh dal člověku schopnost užívat rostliny a zvířata pro zachování svého rodu. Patří-li k těmto schopnostem umění měnit dědičnost rostlin a živočichů, pak je člověk povinen ho využívat v souladu s Božím záměrem.

Racionální opozice poukazuje na nedořešené problémy, protože technika genetické modifikace nevznikla v dokonalé formě, a, podobně jako jiné technologie, přináší specifická rizika. Základní podmínkou racionálního hodnocení rizik je respektování skutečnosti, že neexistuje nulové riziko, a proto riziko jednoho postupu lze vyjádřit jen relativně k riziku postupu alternativního. Takto se používá i princip předběžné opatrnosti, který je namísto

tehdy, nedostává-li se vědecky ověřených podkladů k hodnocení rizika. Pak se musíme ptát na možnou škodu, která by vznikla použitím GMO a srovnat ji s možnou škodou při nepoužití GMO.

Rizika spojená s genetickými modifikacemi jsou trojího druhu: zdravotní, ekologická a sociální.

● **Zdravotní rizika** jsou v centru pozornosti. Vynecháme-li naivní obavu, že transgen může ovlivnit dědičnost toho, kdo ho sní, neboť ta vychází z představy, že běžné plodiny geny vůbec nemají (bohužel, to je názor třetiny Evropanů, u Rakušanů a Němců až 44 % dotázaných), pak jistý problém způsobovaly selekční geny. Úspěšné přenesení informace pro žádanou vlastnost je obtížné. Proto je technicky nezbytné zajistit výběr malého počtu úspěšně pozměněných buněk ve velkém množství ne-transformovaných. K tomu se do vkládané DNA přidává vedle požadovaného genu tzv. selekční gen, zpravidla určující necitlivost na antibiotika nebo jiné látky omezující růst buněk. Takové geny někdy vzbuzují obavy z možného přenosu necitlivosti k antibiotikům na patogenní bakterie. Přes množství pokusů nebyl tento proces prokázán, nicméně, v nově vyvinutých odrůdách (např. RR sóje) už tyto geny nejsou přítomny. Na ostatní zdravotní rizika jsou modifikované plodiny povinně testovány, což je jejich bezpečnostní přednost před novými odrůdami vyvinutými jinou technologií, např. radiační mutagenesí, které přes teoreticky větší rizikovitost nejsou zdravotnickými testovány vůbec.

● **Ekologická rizika** představují druhou, daleko vážnější skupinu hazardů. Musíme je ovšem hodnotit na pozadí skutečnosti, že každé zemědělství je drasticky zásah od přirozeného společenství organismů. Prosazuje jeden, většinou zcela cizorodý organizmus, na úkor přirozených členů společenstva, které pak označujeme jako "plevely" nebo "škůdce". Kulturní plodiny vinou dlouhodobé selekce mají mizivou konkurenceschopnost a přidaný gen ji nemůže podstatně zvýšit. Fikce "superplevelů" je neopodstatnělá, protože se vnáší rezistence proti jednomu herbicidu při zachování citlivosti na celou paletu ostatních, a navíc, tento gen se bez selekčního tlaku právě tohoto herbicidu v potomstvu vytratí.

Důkladné potlačení zmíněných "plevelů" nebo "škůdců" mění ovšem podmínky společenstva organismů, zejména může ovlivnit přítomnost přírodních nepřátel škůdců nebo organismů, pro které jsou "plevely" potravou. Tento vliv se ovšem objevuje jen tam, kde klasické techniky pesticidů nedosahují podobně důkladného efektu. Jinak řečeno – zaplevelené pole je "přírodnějším" biotopem než čistá monokultura plodiny tolerantní k totálnímu herbicidu. Hledají se způsoby, jak zmírnit tento negativní rys, např. ponechání určité plochy nemodifikované plodiny jako "refugia".

Významnějším ekologickým rizikem je zavádění genů podmiňujících toleranci k nepříznivým vlivům chladu, sucha, obsahu solí, apod. Obecně to znamená, že zemědělsky by se mohly obdělávat i lokality, které zatím byly osídleny přirozeným společenstvem, čili výhoda pro výživu populace, škoda pro přírodní prostředí. Dále ve speciální situaci by se mohly určité druhy stát novými plevely, třeba v případě, že dosud daný druh v zimě vymrzal, kdežto získáním tolerance k chladu zimu přežije. Takovéto geny, které podmiňují selekční výhodu v přirozených podmínkách, se totiž v potomstvu budou uchovávat a mohou se i šířit.

Riziko zvýšené životaschopnosti může být závažné u některých živočichů, např. transgenních ryb. Pravděpodobnost, že modifikované ryby uniknou do přirozených vodních toků, je velká a mohou mít vlastnosti, které by tyto přirozené ekosystémy ohrozily.

Hodně se hovoří o problému zavádění transgenních plodin v oblasti původu mateřských rostlin, např. kukuřice v Mexiku, sóji v Číně a podobně. To ovšem není specifický problém GMO; kulturní plodiny se od původních liší v řadě genů a přenos těchto "kulturních" genů na původní rostliny je zřejmě nevyhnutelný. Skutečně uchovat je mohou jen obecná ochranná opatření a genové banky.

• **Sociální rizika** představují významnou skupinu problémů spojených s GMO. Opět zde najdeme pseudo-problémy i závažné otázky. K prvním patří iracionální obava Evropanů z potravin připravených s GMO, kterou komisař EU pro zdraví a ochranu spotřebitelů David Byrne nazval "GMO psychózou". Její kořeny jsou ekonomické (obrana proti levnému zámořskému dovozu), politické (agitační heslo určitých stran a hnutí) a psychologické (obava o tradiční způsob zemědělství). Tato obava je nežádoucí brzdou rozvoje moderní biotechnologie v Evropě, vyvolává odchod firem a kvalifikovaných vědců. Svým odrazem se velmi nehumánním způsobem projevila v Africe, kde některé státy odmítly pomoc při hladomoru z obavy, že přítomnost transgenních plodin v této pomoci by jim zavřela evropský trh.

Vážné otázky musí řešit rozvojové země. Na rozdíl od potravinami přesycené Evropy jim jde v první řadě o nasycení a oblečení lidí. Základní transgenní plodiny vyvinuté silnými nadnárodními firmami jsou cíleny do vysoce chemizovaného a mechanizovaného zemědělství středního klimatického pásma. S výjimkou Bt bavlníku nemají pro rozvojové země subtropického a tropického klimatu vhodnou druhovou skladbu, ani vhodné vlastnosti. Proto tyto země musí vyvíjet vlastní modifikované plodiny přizpůsobené nejen přírodním podmínkám a skladbě plodin, ale i struktuře společnosti založené na malých a chudých rolnících. Velká pozornost se vě-

nuje rýži, protože je hlavním zdrojem výživy obyvatel těchto zemí.

V tomto samostatném vývoji vede Čína, která v r. 2002 pěstovala transgenní plodiny na více než dvou milionech ha a nejenže vyvinula vlastní odrůdy, ale významně přispěla k přečtení genomu rýže. Celkově se v rozvojových zemích pěstují GMO na 16 mil. ha. Velký nárůst zaznamenala jižní Afrika, očekává se také v Indii, Filipínách, Kolumbii, Hondurasu a dalších zemích.

Závažnou otázkou je patentování transgenních plodin. Iracionální obavy z GMO, které nejsou spojovány s jinou šlechtitelskou metodou, vyvolaly požadavky na nákladné bezpečnostní testy těchto odrůd. Ozářit semena může každý, stejně jako křížit pšenici s pýrem. Ale izolace, úprava a přenos jediného genu metodou genového inženýrství je složitá a uvedení získané odrůdy na trh stojí řádově sto mil. USD. Navíc, teprve po pěti i více letech se ukáže, zda námaha a investice byly k něčemu. Je přirozené, že kdo takové riziko podstoupí, chce mít výsledek autorsky chráněn. Jen vzácně – jako u "zlaté rýže" – se vše může financovat z veřejných prostředků, a tak je transgenozé propojena patenty jen s několika velkými firmami a ostatní se k ní dostávají obtížně. Je iluzí se domnívat, že veřejný sektor by mohl plně financovat vývoj dalších transgenních plodin a že by to odstranilo patentování výsledků. Ani veřejné instituce si nemohou dovolit, aby investovaly do odrůdy, která by se potom stala komukoliv zdrojem zisku. Proto je otázka patentování především politický problém. Právě případ "zlaté rýže" je náznakem přijatelného řešení.

V problematice GMO dominuje ekonomie a politika, které nezřídka využívají etiky a morálky jako nástrojů. Globální trh transgenních plodin v r. 2001 představoval 3,8 mld. USD, což je 12 % trhu pesticidů a 13 % semenářského trhu. Do r. 2005 se předpokládá objem trhu GM plodin v hodnotě 5 mld. USD. Tomu odpovídá konkurenční soutěžení a problémy s patentováním.

## Literatura

- Berg, P. et al.: Potential Biohazards of Recombinant DNA Molecules. *Science*, 185, 1974, p. 303.
- Biodiversity in Glyphosate Tolerant Fodder beet Fields. Tech. Report, National Environmental Research Institute. Ministry of the Environment, Denmark, 2002.
- Genetically Modified Organisms: A Briefing Paper. Church of England's General Synod Board for Social Responsibility, 1999.

**Prof. RNDr. Jaroslav Drobník, Biotrin, občanské sdružení, Viničná 5, 128 44 Praha 2, drobnik@cesnet.cz**