

SOUČASNÁ SITUACE V OBLASTI UŽITÍ GENETICKY MODIFIKOVANÝCH ROSTLIN

KATEŘINA ŘEHOŘOVÁ, JITKA VIKTOROVÁ
a TOMÁŠ MACEK

Ústav biochemie a mikrobiologie, Fakulta potravinářské a biochemické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 3, 166 28 Praha 6
tomas.macek@vscht.cz

Došlo 20.12.16, přijato 25.1.17.

Klíčová slova: genetické modifikace, transgenní plodiny, gmo, glyfosát, glufosinát remediace

Obsah

1. Úvod
2. Rezistence ke hmyzím škůdcům
3. Rostliny rezistentní k virům
4. Rostliny tolerantní k herbicidům
 - 4.1. Glyfosát rezistentní – Roundup-ready® rostliny
 - 4.2. Glufosinát (fosfinotricin) rezistentní – Liberty-link rostliny
5. Nutričně obohacené plodiny
 - 5.1. Zlatá rýže
 - 5.2. Jedlé vakcíny
6. Bioremediace
7. GMO v České republice
8. Závěr

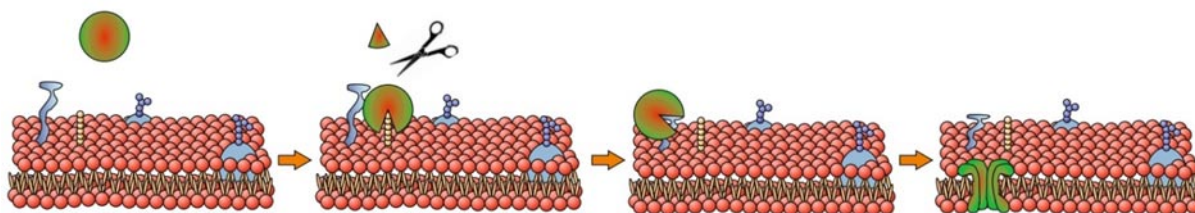
1. Úvod

Geneticky modifikované organismy (GMO, organismy s uměle upravenou genetickou informací) hýbou vědeckým světem již několik desítek let. V posledních dvaceti letech se ale staly i významným hospodářským, politickým a etickým tématem. V roce 2014 (20 let od první komercializace GM plodin) pěstovalo GM rostliny celkem 18 milionů farmářů ve 28 zemích světa na více než 180 milionech hektarů půdy (tab. I)¹.

I přesto, že zkušenosti z posledních dvou dekád potvrdily výhody biotechnologicky připravených plodin, které poskytují značné agronomické, environmentální, ekonomické i zdravotní benefity, Evropská unie si stále udržuje přístup předběžné opatrnosti a často převažující negativní postoj, který je ovšem způsoben zejména politickou sférou a není vědecky podložen.

2. Rezistence ke hmyzím škůdcům

Ačkoliv celosvětově zažily transgenní plodiny v posledních letech značný nárůst, Evropa je v tomto ohledu v porovnání s ostatními kontinenty velmi zdrženlivá. Jedinou GM plodinou povolenou pro pěstování v EU je kukuřice setá (*Zea mays* L.) MON810 rekombinantně produkující toxiny Cry, které byly identifikovány v půdní bakterii *Bacillus thuringiensis ssp. kurstaki* (odtud často používaný pojem *Bt* plodiny) již v první polovině minulého století. Následně byly extrakty z této bakterie masivně aplikovány na rostliny jako účinný biopesticid, který hubí hmyzí škůdce prostřednictvím narušení jejich výstelky střev (dříve komerčně dostupný preparát Baturin, dnes Biobit XL, mimo jiné hojně využívaný biopěstitel)². Všechny dosud popsané Cry endotoxiny mají vazebná místa, mnohdy druhově či řádově specifická (obr. 1), a žádný z nich se neváže na savčí buňky.



Obr. 1. Model znázorňující účinek Cry toxinu. Nejprve je pro-toxin rozpuštěn ve střešní výstelce hmyzu v aktivní formu toxinu díky vysokému pH a redukčním podmínkám. Aktivní toxin se pak váže na kadherinový receptor. Interakce s tímto receptorem vede k odštěpení krátkého N-terminálního helixu ze struktury Cry toxinu, což umožní za účasti receptoru spřaženého s GPI (glykosylfosfatidylinositol) zformování oligomeru, který poté prostupuje membránou. Vzniklý pór způsobí úmrtí buňky. (Upraveno dle⁵⁰)

Tabulka I

Seznam nejvýznamnějších států, které pěstují biotechnologické plodiny v porovnání s evropskými zeměmi. Plocha osázená GM plodinami je vyjádřena v milionech hektarů a ve výčtu plodin jsou uvedeny rostliny nejvíce zastoupené (upraveno dle¹⁾)

Pořadí	Stát	Plocha [mil ha]	Plodiny
1.	USA	70,9	kukuřice, sója, bavlna, řepka, cukrovka, vojtěška, papája, cuketa
2.	Brazílie	44,2	sója, kukuřice, bavlna
3.	Argentina	24,5	sója, kukuřice, bavlna
4.	Indie	11,6	bavlna
5.	Kanada	11	řepka, kukuřice, sója, cukrovka
6.	Čína	3,7	bavlna, papája, topol, rajče, paprika
7.	Paraguay	3,6	sója, kukuřice, bavlna
8.	Pákistán	2,9	bavlna
9.	Jižní Afrika	2,3	kukuřice, sója, bavlna
10.	Uruguay	1,4	sója, kukuřice
:			
17.	Španělsko	0,1	kukuřice
:			
22.	Portugalsko	<0,1	kukuřice
:			
24.	ČR	<0,1	kukuřice
	Celkem	179,7	

Od 90. let byly připravovány první transgenní *Bt* plodiny s produkcí Cry toxinů a to zejména kukuřice, která se tak stala rezistentní proti hmyzu *Ostrinia nubilalis* (zavíječi kukuřičnému) řádu *Lepidoptera*. Tento motýl, resp. jeho larva, rostliny mechanicky poškozuje, způsobuje jejich polom a sekundárně usnadňuje kontaminaci plísňovými chorobami. Transgenní rostliny produkující Cry toxin dosahují vyšších výnosů a není potřeba aplikace dalšího insekticidu.

Další celosvětově významnou *Bt* plodinou je bavlník (*Gossypium sp.*), který je prostřednictvím rekombinantní produkce CryIAC rezistentní k makadlovce bavlníkové (*Pectinophora gossypiella*). Tento škůdce rozežírá bavlník zevnitř a ničí tak celou úrodu. Například v Indii byly tony insekticidů vyměněny za 12 milionů hektarů *Bt* bavlníku a Indie se rázem stala jedním z největších světových exportérů bavlny.

Přestože od počátku pěstování GM plodin bylo ušetřeno 600 miliónů kg pesticidů, k používání chemie v zemědělství dochází i nadále³. *Bt* rostliny jsou díky vysoké specifitě Cry proteinů odolné jen vůči úzkému spektru škůdců a například proti sajícimu hmyzu (mšice, molice apod.) jsou plodiny ošetřovány pesticidy i nadále. Navíc ihned po zavedení *Bt* plodin do komerčního zemědělství vyvstala otázka, za jakou dobu si hmyzí škůdci vytvoří vůči toxinu Cry rezistenci⁴. Následné výzkumy ukázaly, že rezistence se neobjeví rychleji v porovnání s rezistencí k používaným pesticidům, ale i tak jsou kupříkladu v Austrálii povoleny k pěstování jen *Bt* rostliny obsahující

dva různé typy proteinů Cry (genotyp Bollgard II®) s předpokladem, že genová rezistence se objeví za dvakrát tak delší dobu.

Jakkoliv jsou hmyzí škůdci bráni negativně, 5 % z celkové plochy určené pro pěstování *Bt* rostlin je vyhrazeno pro množení a udržení „wild type“ populace škůdců na netransgenních rostlinách. Tato tzv. hmyzí refugia slouží jako zdravý genofond, který zpomaluje vytvoření genetické rezistence hmyzu a zároveň zóna netransgenních rostlin slouží jako bariéra pro horizontální přenos transgenu – nechtěně šíření pylu mimo vyhrazená území na netransgenní rostliny. Křížení *Bt* bavlny s netransgenní bavlnou bylo potvrzeno v několika státech USA a z tohoto důvodu je v nich pěstování *Bt* bavlny dodnes zakázáno⁵.

V dnešní době jsou již v oběhu i alternativy pro *Bt* plodiny. Nejvíce příbuzné Cry proteinům jsou VIP proteiny (z angl. „vegetative insecticidal proteins“) izolované ze spor *B. thuringiensis*. Tyto látky účinkují podobně jako proteiny Cry, ale mají odlišná vazebná místa a rychlejší nástup účinku^{6,7} a velmi často se gen pro jejich rekombinantní produkci v rostlinách používá společně s insertními sekvencemi pro syntézu proteinů Cry. Dále se připravují rostliny, které produkují inhibitory trávicích enzymů hmyzu – proteas a amylas⁸.

Jiné obranné látky, které by mohly zemědělsky významné plodiny rekombinantně produkovat, jsou rostlinné lektiny. Známé jsou zejména díky tzv. Pusztaiho aféře z roku 1998. Vědecký tým dr. Pusztaiho posuzoval účinky transgenních brambor obsahujících gen pro GNA lektin na

laboratorní potkany. GNA lektin, pocházející ze sněženky sněžné, způsobil zvětšení vnitřních orgánů potkanů, jejich defekty a následně i smrt. Původní článek Pusztaiho nebyl editory přijat a tak se Pusztai rozhodl vystoupit veřejně v televizi, kde stručně oznámil účinky modifikovaných brambor na potkany – GM brambory způsobují rakovinu. Následně se mu podařilo studii vydat a způsobit tak nemalou paniku mezi vědeckou i laickou veřejností⁹. Téměř okamžitě byly závěry Pusztaiho studie zamítnuty jako nepodložené (malý statistický soubor dat, žádné kontrolní skupiny s nižší hladinou GNA, potkani krmení syrovými bramborami, které nebyly určeny ke konzumaci), ale stigma jedovatosti již na GM potravinách zůstalo¹⁰.

3. Rostliny rezistentní k virům

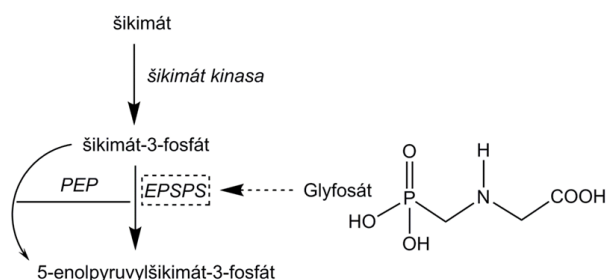
Poněkud okrajovým odvětvím biotechnologických plodin je příprava plodin rezistentních k virům. Nejznámější je případ papáji pěstované na Havajských ostrovech. V 50. letech minulého století se u pěstovaných bylin objevila choroba způsobená virem nekrotické kroužkovitosti papáji (Papaya ringspot virus, PRSV), která se díky mšicím rozšířila i na nejvýznamnější lokalitu pěstování a na začátku 90. let způsobila značný pokles produkce, což mělo negativní dopad na celosvětový trh¹¹. Od roku 1980 byl připravován odolný genotyp, který nesl gen řídicí tvorbu proteinového obalu (coat protein) virové částice. Transgenní rostlinné buňky tento protein produkují konstitutivně až do případného pokusu o infekci virem. Buňka se navenek jeví jako již napadená a kolonizující virus se v této buňce nedokáže rozmnožit. Tato odrůda (nazvaná Rainbow) byla brzy ověřena i v polních podmínkách a dnes tvoří přes 80 % produkce havajské papáji¹². GM papája byla na trh uvedena velmi rychle a vznikla mnohá podezření, že produkce obalového proteinu způsobí u citlivějších jedinců alergické reakce¹³. Domněnka ale zatím nebyla potvrzena¹⁴. Velkým problémem však zůstává šíření GM pylu na netransgenní jedince¹⁵.

4. Rostliny tolerantní k herbicidům

Jedním z největších GM odvětví je příprava HT (herbicid-tolerantních) rostlin. Nejčastěji se vyvíjejí v souvislosti s odolností vůči tzv. totálním herbicidům. Spolu s vyšší produkcí HT plodin vzrůstá i celosvětová spotřeba totálních herbicidů, což je jednoznačně bráno jako velká negativní reklama všem GM plodinám.

4.1. Glyfosát rezistentní – Roundup-ready® rostliny

Glyfosát (*N*-(fosfonomethyl)glycin, obr. 2) patří už několik desítek let mezi nepoužívanější herbicidy na světě. Poprvé byl testován v 70. letech firmou Monsanto a dodnes se pod komerčním názvem Roundup^{16,51} řadí mezi nejznámější herbicidy. Nízká toxicita vůči živočichům, rychlá degradace v půdě a zároveň účinnost proti



Obr. 2. Šikimátová dráha v rostlinách vedoucí k syntéze aromatických aminokyselin. Glyfosát blokuje vazebné místo EPSPS (5-enolpyruvylšikimát-3-fosfátsyntasa) určené pro PEP (fosfoenolpyruvát) a dochází tak k hromadění šikimát-3-fosfátu a šikimátu^{24,25}

velkému spektru rostlin – to jsou nejdůležitější vlastnosti herbicidu pro zemědělce. Z chemického hlediska je to jediná látka schopná inhibovat enzym EPSP syntasu (5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát syntasa), který působí v rámci šikimátové dráhy (obr. 2). Tato dráha je esenciální pro tvorbu aromatických aminokyselin. Glyfosát je analog tranzitního stavu fosfoenolpyruvátu (PEP, jeden ze substrátů EPSP) a po navázání na EPSPS blokuje zpětnovazebnou dráhu, což má za následek přebytek šikimát-3-fosfátu, potažmo šikimátu¹⁷. Důsledkem je, že nejsou syntetizovány aromatické AMK, flavonoidy, ligniny a další látky s aromatickým kruhem a rostlina postupně hyne. Herbicid je aplikován postřikem na list, přes kutikulu je vstřebáván a díky pozvolné inhibici šikimátové dráhy je transportován floémem až do kořenové části rostliny, což zaručí úhyn celého jedince.

Glyfosát je v půdě rychle mikrobiálně rozkládán a není těkavý, takže nehrozí kontaminace atmosféry. V půdě se váže na menší složky, tím snižuje svou mobilitu a je tak redukován i jeho průnik do podzemních vod. Vzhledem k masivnímu používání glyfosátu v zemědělství jsou však úniky do spodních vod i přesto zaznamenány¹⁸.

Živočichové nepoužívají šikimátovou dráhu, a proto na ně glyfosát nepůsobí jako na rostliny, ale i přesto se během některých pokusů na zvířatech ukázalo, že působí jako endokrinní disruptor¹⁹ a v roce 2015 byl zařazen IARC (Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny) do 2A kategorie karcinogenity – pravděpodobně karcinogenní pro člověka²⁰. S tímto radikálním rozhodnutím některé další světové organizace nesouhlasí a zařazení IARC považují za přehnané²¹. Nicméně i tak se v Evropské unii již diskutuje, zda používání tohoto totálního herbicidu nezakázat. Rezistenci ke glyfosátu mohou rostliny získat dvěma způsoby. Buď rekombinantně syntetizovat EPSPS, který nemá vazebné místo pro glyfosát (CP4 EPSPS, TIPS-EPSPS), a nebo syntetizovat jiný enzym, který dokáže glyfosát degradovat v rámci metabolismu (glyfosátacetyltransferasa, glyfosátoxidoreduktasa).

První Roundup-ready® rostliny sóji byly testovány v rámci polních pokusů v USA v roce 1991 firmou Monsanto. Již o deset let později bylo 70 % sóji pěstované

v USA „Roundup-ready®“ a dnes se řadí mezi celosvětově nejvíce pěstované GM plodiny²². Tato modifikovaná sója produkuje CP4 EPSPS původem pocházející z bakterie rodu *Agrobacterium*, která byla izolovaná z půd na pozemku továrny Monsanto na výrobu herbicidu Roundup. Gen pro enzym byl do rostlin vložen pod konstitutivním virovým promotorem a k produkci enzymu by mělo docházet ve všech pletivech a nepřetržitě. Enzym není sensitivní na aplikaci glyfosátu, herbicid tak může být aplikovaný na celé území pěstování bez poškození GM sóji²³.

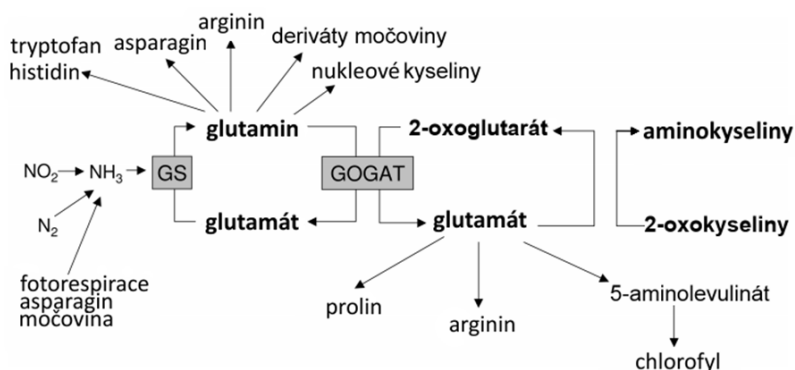
U transformací dalších plodin (bavlna, kukuřice) byly odhaleny mezery v aktivitě promotorů zejména v samčích reprodukčních orgánech, které zároveň sloužily jako shromaždiště glyfosátu, což vedlo ke sterilitě rostlin²⁴. Byly proto vyvinuty GM plodiny „druhé generace“, které obsahují transgen pod konstitutivním virovým promotorem a druhý, totožný transgen, pod rostlinným promotorem, který zajišťuje expresi enzymu i v reprodukčních orgánech rostliny²⁵. Výjimku tvoří řepka, která má vložené dva odlišné transgeny. Jeden pro syntézu CP4 EPSPS a druhý pro syntézu enzymu GOX (glyfosát oxidasa), který katalyzuje degradaci glyfosátu na aminomethylfosfonovou kyselinu²⁶.

Ani Roundup-ready® plodinám se nevyhnula mediální aféra, která významně ovlivnila myšlení široké veřejnosti. V roce 2012 publikoval francouzský biolog Gilles

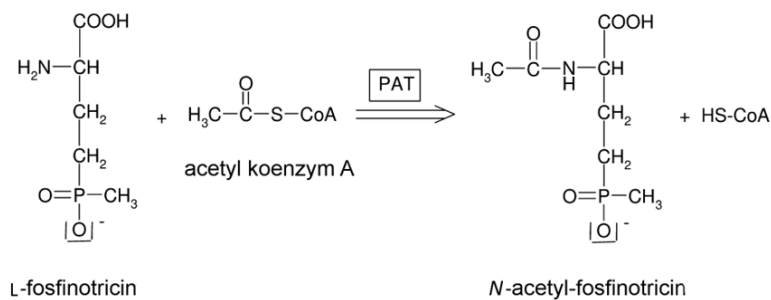
Eric Séralini studii, ve které testoval vliv Roundup-Ready® kukuřice v potravě na vitalitu potkanů. Po dvouletém výzkumu došel k závěru, že potkani krmeni pouze GM kukuřicí mají vyšší výskyt nádorů a zvýšenou mortalitu²⁷. Záhy se ale odhalilo, že Séralini pracoval se specifickým plemenem potkanů, u kterých se až u 80 % jedinců během života objeví nějaký typ nádoru. Navíc nebyly výsledky podloženy přesvědčivými statistickými metodami, které byly založeny na malém počtu opakování v jednotlivých skupinách. Následující rok byl článek z prestižního časopisu *Food and Chemical Toxicology* společnosti Elsevier stažen, ale např. na francouzskou GMO politiku má dopad dodnes a Séraliniho fotografie potkanů s nádory jsou novináři používány stále²⁸.

4.2. Glufosinát (fosfinitricin) rezistentní – Liberty-link rostliny

Druhým nejčastěji používaným totálním herbicidem je glufosinát (fosfinitricin), který je obdobou glyfosátu. Glufosinát inhibuje glutaminsyntasu, která v rostlinách katalyzuje detoxikaci amoniaku²⁹. Po aplikaci herbicidu dochází k hromadění amoniaku, následně degradaci plastidů a celých rostlinných buněk (obr. 3).



Obr. 3. Centrální role GS/GOGAT (glutaminyntasa/glutamin-2-oxoglutarátaminotransferasa) cyklu v rámci metabolismu dusíku v rostlinách (upraveno dle²⁵)



Obr. 4. Inaktivace L-fosfinitricinu N-acetylací enzymem PAT (fosfinitricinacetyltransferasa), (upraveno dle²⁴)

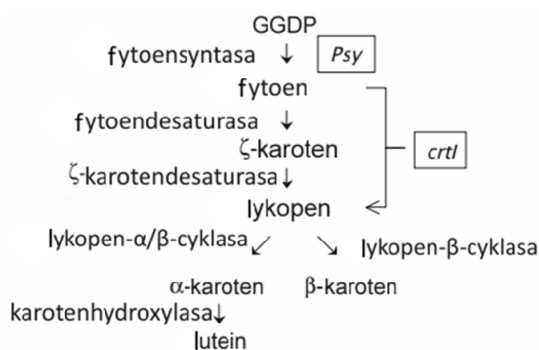
Glufosinát se přirozeně vyskytuje u bakterie *Streptomyces hygroscopicus*, která jej umí i inaktivovat acetylací pomocí enzymu PAT (fosfotricinacetyltransferasa, obr. 4). Gen *bar* pro syntézu PAT byl identifikován a úspěšně transformován do rostlin pod značkou Liberty Link firmy Bayer a dnes jsou tyto linie dostupné u nejvýznamnějších plodin (řepka, rýže, kukuřice, aj.), i když nejsou používány v takovém rozsahu jako Roundup ready® plodiny³⁰. Zároveň se gen *bar* významně zapsal v molekulární biologii, používá se jako selekční marker transformovaných organismů např. při transformaci pomocí *Agrobacterium tumefaciens*³¹.

5. Nutričně obohacené plodiny

5.1. Zlatá rýže

Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) oslepe ročně kvůli deficienci vitamínu A až 500 tisíc dětí a polovina z nich následně do roka zemře. Je to problém, který se dotýká více než poloviny států Afriky a Asie a to zejména kvůli jednostrannosti potravy, která se skládá především z rýže. Jedním z řešení by mohlo být obohacení rýže o provitamin A, který by mohl nahradit i vitamínové kapsle. V roce 2010 byla publikována tzv. Zlatá rýže, ve které se syntetizují karotenoidy již v samotné obilce. Do genomu rýže byl vložen rostlinný gen *Psy* pro syntézu fytoensyntasy a bakteriální gen *crtl* fytoendesaturasy (obr. 5). Tyto dva geny kódují enzymy nezbytné pro syntézu karotenoidů z geranylgeranyldifosfátu³².

Zlatá rýže se ukázala jako účinná i ve srovnání s vitamínem A v kapslích³³, ale bohužel se stala obětí mediální kampaně, která je silnější než vědecké výsledky. Ekologické organizace označily čínské předškoláky, kteří v rámci vědecké studie konzumovali Zlatou rýži jako náhradu vitamínových kapslí, za „pokusné králíky“. Následně byl čínský vědecký tým zrušen, čínská vláda smetla projekt „zavedení GM rýže do oběhu“ ze stolu a samotný článek byl nakonec editory stažen kvůli neetičnosti projektu³⁴.



Obr. 5. Syntéza karotenoidů z geranylgeranyldifosfátu (GGDP). Do genomu rýže byly vloženy geny *Psy* a *crtl*, které zaručují expresi nezbytných enzymů i v semeni rostliny (upraveno dle²⁴)

Rýže měla být již několikrát schválena i v Indii, Bangladéši nebo na Filipínách, ale místo toho zde dochází k ničení polních pokusů ekologickými aktivisty. Na jaře roku 2016 vznikla proti-kampaň ze strany vědecké společnosti vyzývající ekologické organizace k ukončení destruktivních činností a otevřený dopis kampaně podepsalo již 113 laureátů Nobelovy ceny a tisíce dalších vědců³⁵.

5.2. Jedlé vakcíny

GM rostliny neslouží pouze jako produkt zemědělství určený přímo či nepřímo k obživě, ale také k výrobě terapeuticky významných proteinů. Molekulární farmaření, jak se nazývá výroba léčiv prostřednictvím transgenních rostlin, má široké uplatnění např. při vakcinaci proti neštovicím, žlutence typu B, tuberkulóze, na produkci lidských monoklonálních protilátek účinných proti HIV nebo viru ebola^{36–38}.

Zvláštním odvětvím jsou tzv. jedlé vakcíny v podobě ovoce či zeleniny, které nabízí mnoho výhod v porovnání s klasickým modelem očkování. Kromě nízkých nákladů na výrobu má perorální imunogenita celou řadu pozitiv. Rostlinné vakcíny mohou být pěstovány na místě potřeby, tím se sníží náklady na dopravu, případně mohou být lyofilizovány či usušeny a dále podávány ve formě chipsů nebo džusů. Způsob aplikace je tak snazší a pro pacienty přijatelnější. Existují však určitá omezení při produkci vakcín – převážně je problém získat dostatečně a stabilní koncentrace proteinu pro navození celkové imunity a i z tohoto důvodu je valná většina studií s jedlými vakcínami i po 20leté historii GMO stále ve stádiu preklinických nebo klinických testů^{39,40}.

6. Bioremediace

GMO rostliny mohou být použity i pro bioremediaci (odstranění toxických látek z životního prostředí za pomoci živých organismů) kontaminovaných půd. Kontaminací jsou rozuměna obecně xenobiotika, anorganická i organická, jakými jsou např. Cd, trinitrotoluen (TNT), konzervanty nebo polychlorované bifenoly^{41,42}. GMO rostliny využívané k bioremediaci musí být schopné odolávat nepříznivým podmínkám, které s sebou kontaminovaná půda nese, a zároveň dokázat polutanty absorbovat, degradovat nebo je detoxikovat. Tento celý proces není jenom o rostlinách, ale o vztahu rhizosféra-rostlina a zejména o půdních bakteriích. Do genomu rostlin jsou tak často přidávány geny, původem z půdních bakterií, které dokáží xenobiotika metabolizovat. Příkladem mohou být geny pro metabolismus TNT⁴³, aromatických uhlovodíků⁴⁴ nebo PCB⁴⁵. Nejnovější přístupy se zabývají přenosem genů ovlivňujících složení sekundárních metabolitů rostlin, které jsou dále uvolňovány kořenovým systémem do půdy, kde stimulují či indukují bakteriální degradační dráhy⁴⁶. Použití rostlin k bioremediaci se ukázalo jako velmi efektivní nástroj šetrný k životnímu prostředí, který je jako jeden z mála biotechnologií širokou veřejností brán kladně.

7. GMO v České republice

Česká republika se řadí ke státům, které při nakládání s geneticky modifikovanými organismy respektují vědecké poznatky a zároveň se drží principu předběžné opatrnosti. Registr povolených GMO obsahuje seznam rostlin, se kterými je možné nakládat na základě udělení povolení Ministerstva životního prostředí podle zákona č. 78/2004 Sb., o nakládání s GMO a genetickými produkty⁴⁷. V současnosti nejsou povolovány žádné nové GMO do oběhu a proto, stejně jako v celé EU, byla v průběhu roku 2015 jedinou pěstovanou GMO plodinou kukuřice MON810. I tak se Česká republika řadí spolu se Španělskem, Portugalskem, Rumunskem a Slovenskem mezi progresivnější státy EU s GMO liberální politikou, což je vidět i na produkci GM kukuřice v Evropě – v současné době je komerčně pěstovaná kukuřice MON810 pouze v těchto státech EU (tab. I).

Výjimečným mezníkem v průběhu historie GMO v Čechách byl rok 2010, kdy byl povolen pro pěstování i modifikovaný lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.) pod obchodním názvem Amflora. Určité odrůdy brambor se celosvětově používají zejména na získání škrobu, nikoliv ke přímé konzumaci, což bylo záměrem i u linie Amflora. Německá firma BASF připravila rostliny lilku s fragmentem genu *gbs* (kódující syntetasu škrobu) v antisense orientaci, což mělo za následek snížení podílu amylosy v hlíze a zároveň nárůst množství amylopektinu. Při zpracování brambor tak byla menší spotřeba energie a vody⁴⁸. Linie Amflora se v roce 2010 pěstovala i v Německu a Švédsku, ale Česká republika byla jedinou zemí, ve které se hlízy průmyslově zpracovávaly a nebyly použity pouze jako sadba na další rok. Nicméně složitá legislativa, nepřesnosti ze strany výrobce, částečně i procesní chyba Evropské komise, pěstování brambor Amflora v roce 2013 ukončila⁴⁹.

8. Závěr

Konvenční zemědělství začíná vlivem exponenciálního růstu populace narážet na své významné nedostatky a limity. Kvůli šlechtění kulturních plodin po mnoha stolecích již mnohdy neexistují vhodné genové zdroje ke křížení, původní druhy jsou ztraceny nebo už nejsou křížitelné. Průběžně vznikají subpopulace plevelů i škůdců rezistentních k herbicidům a pesticidům, zároveň se zvyšuje plocha půd kontaminovaných aflatoxiny, fumonisiny apod. Rostlinné biotechnologie nabízí řešení těchto problémů, avšak zároveň přináší další⁵¹, nové. V mnoha případech není dostatečně vyřešena spontánní genetická kontaminace, s tím související pokračující ztráta biodiverzity a to nejen u rostlin, ale v případě *Bt* plodin i u hmyzu a dalších organismů. Stále znovu se objevuje otázka kolem alergenicity některých GM plodin nebo jejich škodlivého vlivu na člověka, ačkoliv doposud nebyly žádné negativní vlivy na lidské zdraví pozorovány. Etická a náboženská hlediska se pro GMO zdánlivě jeví jako nepřekonatelná, ale kupodivu

se pomalu posouvají ve směru biotechnologií – Zlaté rýži pozhnali dokonce papežové Benedikt XVI. a František. Snad alespoň budoucí generace budou profitovat z nových biotechnologií více, než to bylo doposud umožněno nám.

Práce byla zhotovena za podpory projektu GAČR 15-22276S, OPVK CZ.2.16/3.1.00/24503 a NPU I LO1601.

LITERATURA

1. Clive J.: 2014 - ISAAA Brief 2015 a.
2. Liburd O. E., Funderburk J. E., Olson S. M.: J. Appl. Entomol. 124, 19 (2000).
3. Clive J., 2014 - ISAAA Brief 2015 b.
4. David A. A.: Collection of Biosafety Reviews 4, 142 (2008).
5. Mendelsohn M, Kough J., Vaituzis Z., Matthews K.: Nat. Biotechnol. 21, 1003 (2003).
6. Lee M. K., Walters F. S., Hart H., Palekar N., Chen J.: Appl. Environ. Microbiol. 69, 48 (2003).
7. Baranek J., Kaznowski A., Konecka E., Naimov S.: J. Invertebr. Pathol. 130, 72 (2015).
8. Hilder V. A., Boulter D.: Crop Prot. 18, 177 (1999).
9. Ewen S., Pusztai A.: The Lancet 354, 1353 (1999).
10. Enserink M.: Science 286, 656 (1999).
11. Gonsalves D.: Annu. Rev. Phytopathol. 36, 415 (1998).
12. Dhekney S. A., Kandel R., Bergey D. R., Sittler V.: Biocatal. Agric. Biotechnol. 5, 133 (2016)
13. Kleter G. A., Peijnenburg A. A.: BMC Struct. Biol. 2, 8 (2002).
14. Fermin G., Keith R. C., Suzuki J. Y., Ferreira S.A.: J. Agric. Food Chem. 59 (2011).
15. Lin H., Yen G., Lee W., Tsai Y.: J. Agric. Food Chem. 63, 1286 (2015).
16. Dhekney S. A., Kandel R., Bergey D. R., Sittler V.: Biocatal. Agric. Biotechnol. 5, 133 (2016).
17. Franz J. E.: US3927080, United States Patent Gaertner (1975).
18. Duke S. O.: Environ. Health Perspect. 87, 263 (1990).
19. Sanchís J., Kantiani L., Ilorca M., Rubio F., Ginebreda A.: Anal. Bioanal. Chem. 402, 2335 (2011).
20. Thongprakaisang S., Thiantawat A., Rangkadilok N., Suriyo T., Satayavivad J.: Food Chem. Toxicol. 59, 129 (2013).
21. WHO: Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, Geneva 2011.
22. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Summary Report from the May 2016 Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues, Geneva 2016.
23. Monsanto Technology LLC, Safety Assessment of Roundup Ready[®] Soybean Event 40-3-2, 2002.
24. Feng P. C. C., CaJacob C. A., Martino-Catt S. J. v knize Glyphosate Resistance in Crops and Weeds: History, Development, and Management (Nandula V. K. ed.), kapitola 3, New Jersey USA, 2010.
25. CaJacob C. A., Feng P. C. C., Reiser S. E. v knize Modern Crop Protection Compounds (Krämer V.,

- Schirmer U., Jeschke P., Witschel M. ed.), kapitola 2, Weinheim Německo, 2007.
26. Heck G. R., Armstrong C. L., Astwood J. D., Behr C. F., Bookout J. T., Brown S. M., Cavato T. A.: *Crop Sci.* 45, 329 (2005).
 27. Duke S. O.: *J. Agric. Food Chem.* 59, 5835 (2011).
 28. Séralini G., Clair E., Mesnage R., Gress S., Defarge N., Malatesta M.: *Food Chem. Toxicol.* 50, 4221 (2012) článěk stažen editory.
 29. Hayes W.: *Elsevier Announces Article Retraction from Journal Food and Chemical Toxicology*, Cambridge 2013, <https://www.elsevier.com/about/press-releases/research-and-journals/elsevier-announces-article-retraction-from-journal-food-and-chemical-toxicology>.
 30. Bayer E., Gugel K. H., Hägele K., Hagenmaier H., Jessipow S., König W. A., Zähler H.: *Helv. Chim. Acta* 55, 224 (1972).
 31. Thompson Ch. J., Movva N. R., Zizard R., Crameri R., Davies J. E., Lauwereys M., Botterman J.: *The EMBO Journal* 6, 2519 (1987).
 32. Valvekens D., Van Montagu M., Van Lijsebettens M.: *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 85, 5536 (1988).
 33. Ye X., Al-Babili S., Klöti A., Zhang J., Lucca P., Beyer P., Potrykus I.: *Science* 287, 303 (2000).
 34. Tang G., Hu Y., Yin S., Wang Y, Dallal G. E., Grusak M. A., Russell R. M.: *Am. J. Clin. Nutr.* 3, 715 (2012).
 35. Achenbach J.: *The Washington Post*, 29. června 2016.
 36. Mason H. S., Lam D. M., Arntzen Ch. J.: *Proc. Natl. Acad. Sci.* 89, 11745 (1992).
 37. Richter L. J., Thanavala Y., Arntzen Ch. J., Mason H. S.: *Nat. Biotech.* 18, 1167 (2000).
 38. Uvarova E. A., Belavin P. A., Permyakova N. V., Zagorskaya A. A., Nosareva O. V., Kakimzhanova A. A., Deineko E. V.: *BioMed Res. Int.* 2013, 1.
 39. Yao J., Weng Y., Dickey A., Wang K. Y.: *Int. J. Mol. Sci.* 16, 28549 (2015).
 40. Hefferon K.: *Biotechnol. J.* 8, (2013).
 41. Sylvestre M., Macek T., Mackova M.: *Curr. Opin. Biotechnol.* 20, 242 (2009).
 42. Eapen S., Singh S., D'Souza S. F.: *Biotechnol. Adv.* 25, 442 (2007).
 43. French Ch. E., Rosser S. J., Davies G. J., Nicklin S., Bruce N. C.: *Nat. Biotechnol.* 17, 491 (1999).
 44. Shimizu M., Kimura T., Koyama T., Suzuki K., Oga-wa N., Miyashita K., Sakka K., Ohmiya K.: *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 4061 (2002).
 45. Viktorova J., Krasny L., Kamlar M., Novakova M., Mackova M., Macek T.: *Int. J. Phytorem.* 16, 937 (2014).
 46. Musilova L., Ridl J., Polivkova M., Macek T., Uhlík O.: *Int. J. Mol. Sci.* 17, 1205 (2016).
 47. Zákon 78/2004 Sb. O nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty.
 48. Wandelt C.: *Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit* 2, 70 (2008).
 49. Abdallah N. A.: *GM Crops* 1, 109 (2010).
 50. Pardo-López L, Soberón M, Bravo A.: *FEMS Microbiol. Rev.* 2013, 37.
 51. Drašar P., Poc P.: *Chem. Listy* 111, 101 (2017).

K. Řehořová, J. Viktorová, and T. Macek
(Department of Biochemistry and Microbiology, University of Chemistry and Technology, Prague): The Current Situation in the Use of Genetically Modified Plants

Climatic changes, deficiency of arable land and a steady growth of population belong to the main problems of these days that lead to lack of food sources. This global problem can be partly solved by methods of genetic engineering, which are one of the most important instruments of biotechnologies. Genetic engineering enables the enables gaining of characteristics, the transfer of which, by methods of classic breeding, would not be possible or would take a few decades. To this day a wide variety of crops resistant to, e.g., insects, viruses, herbicides or abiotic stress was prepared. Special importance is placed on nutritionally enhanced plants or plants with remediation ability. In this review we focus on the most discussed transgenic plants, grown and consumed by millions of people, their advantages and benefits for the human health and the environment, as well as disadvantages or overlooked flaws.