

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství  
Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině  
Katedra: Katedra rostlinné výroby a agroekologie  
Vedoucí katedry: prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

Bakalářská práce

**Odhad rizik a perspektivy pěstování GMO plodin v ČR**

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

Vypracovala: Šárka Šanderová

České Budějovice, duben 2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Šárka ŠANDEROVÁ  
Osobní číslo: Z10410  
Studijní program: B4131 Zemědělství  
Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině  
Název tématu: Odhad rizik a perspektivy pěstování GMO plodin v ČR  
Zadávací katedra: Katedra rostlinné výroby a agroekologie

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

#### **Cíle práce:**

Cílem práce je vypracování literární rešerše zpracovávající problematiku GMO plodin: metody vnášení cílových genů do donorového organismu, nejčastěji používané transgeny, odhad rizik GMO/cisgenických rostlin, vliv pěstování GMO plodin na cílové a necílové organismy, legislativní podmínky a možnosti pěstování GMO plodin. V literární rešerši budou shrnuty poznatky o dosavadním pěstování GMO plodin ve světě i v České republice a budou diskutovány možnosti a perspektivy pěstování GMO plodin v našich podmínkách.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Fakulta zemědělská  
Katedra rostlinné výroby a agroekologie  
2011/2012

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 35 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Clive J.. 2011. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011. ISAAA Brief No. 43. ISAAA: Ithaca, NY.

Roudná M., Dotlačil L. et al. (2007): Genetické zdroje - význam, využívání a ochrana. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

Roudná M. (Ed.) (2008): Genetické modifikace - možnosti jejich využití a rizika. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

Roudná M. (Ed.) (2010): Genetické zdroje - biologická bezpečnost a rizika genetické eroze. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

Roudná M. (Ed.) (2010): Využívání geneticky modifikovaných organismů v České republice a informování veřejnosti. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

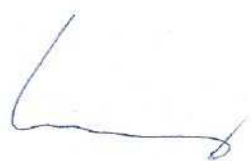
Roudná M. (Ed.) (2011): Genetické modifikace - plnění mezinárodních závazků České republiky. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.  
Katedra rostlinné výroby a agroekologie

Datum zadání bakalářské práce: 17. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2013



Ing. Karel Suchý, Ph.D.

proděkan pověřený vedením ZF

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice



prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. února 2012

## ***PROHLÁŠENÍ***

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské – diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, 5. 4. 2013

.....

Šárka Šanderová

### **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala prof. Ing. Vladislavu Čurnovi, Ph.D. za odborné vedení práce, poskytnuté cenné rady a připomínky a rovněž za jeho trpělivý a vstřícný přístup.

## ABSTRAKT

Bakalářská práce podává přehled o problematice geneticky modifikovaných organismů (GMO). Toto téma jsem si vybrala z toho důvodu, že je stále více aktuální, neboť GMO a jejich produkty se stávají neodmyslitelnou součástí života nás všech. Každoročně se ve světě zvyšují plochy zasetých GM plodin, které jsou dováženy i do České republiky.

V literární rešerši jsou popsány metody vnášení cizorodé DNA do rostlinných buněk. Zejména se využívá transformace prostřednictvím bakterií rodu *Agrobacterium* a pomocí tzv. mikroprojektilů. Nejčastěji používané transgeny, díky kterým rostlina získá nové vlastnosti, jako jsou např. tolerance k herbicidům, odolnost k hmyzím škůdcům, tolerance k stresům a další. V práci je dále podán přehled o legislativních podmínkách a o tzv. konceptu koexistence v ČR, který musí každý pěstitel dodržovat, pokud se rozhodne pro pěstování GM plodin. V Evropě jsou povoleny ke komerčnímu pěstování pouze dvě plodiny a to Bt kukuřice a GM brambor. Česká republika se stala v roce 2010 jedinou zemí v Evropě, kde byly pěstovány tyto obě povolené plodiny. V práci jsou shrnuty i poznatky o dosavadním pěstování GM plodin ve světě. Na závěr jsou zhodnocena možná rizika spojená s pěstováním GM plodin. Podstatnou roli v hodnocení rizik hraje i vliv pěstování GMO na cílové a necílové organismy a jsou také diskutovány možnosti a perspektivy jejich pěstování v našich podmínkách a ve světě.

Tato práce si klade za cíl, aby si čtenář, ať už je z řad odborné nebo laické veřejnosti mohl udělat dostatečný náhled a svůj názor na danou problematiku.

**Klíčová slova:** geneticky modifikovaný organismus (GMO), transgenoze, GM plodiny, koexistence, legislativa GMO

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis provides an overview of the issue of genetically modified organisms (GMOs). I chose this topic because its importance is currently increasing as GMOs and their products are becoming inherent part of our lives. The areas sown with GM crops increase in the world every year and GM products are also imported to the Czech Republic.

In the literature research are described methods used to insert foreign DNA into plant cells. Especially common is transformation via bacteria strain *Agrobacterium* using so called microprojectiles. Most often used transgenes cause the plant to gain new properties, such as tolerance to herbicides, resistance to insect pests, tolerance to stress etc. There follows a summary of the legislative conditions and the concept of coexistence in the Czech Republic, which every grower, who decides to grow GM crops, should follow. In Europe only two GM crops are allowed for commercial cultivation, Bt corn and GM potatoes. In 2010 The Czech Republic became the only European country where both the allowed crops were grown. In the thesis is also summarised existing knowledge of GM crops cultivation in the world. Finally, we evaluate potential risks associated with GM crops cultivation. Significant role in the risk assessment plays also the impact of GMO cultivation on target and nontarget organisms. We also discuss the possibilities and prospects of their cultivation in our country and in the world.

The aim of the thesis is to help the readers, professional or not, understand the issue so they can form their own opinion.

**Keywords:** genetically modified organism (GMO), transgenesis, GM crops, coexistence, GMO legislation

## OBSAH:

1. ÚVOD.....	9
1.1. Problematika GMO .....	10
1.2. Základní pojmy.....	12
2. METODY VNÁŠENÍ CIZORODÉ DNA DO ROSTLINNÝCH BUNĚK.....	14
2.1. Transformace prostřednictvím bakterií <i>Agrobacterium</i> .....	14
<i>Agrobacterium tumefaciens</i> .....	17
Transformace in planta .....	18
2.2. Přímé metody transformace.....	18
Transgenoze protoplastů .....	19
Mikroprojektily .....	19
3. VLASTNOSTI TRANSGENNÍCH ROSTLIN.....	21
3.1. Tolerance vůči herbicidům .....	21
3.2. Odolnost k hmyzím škůdcům.....	22
3.3. Rezistence k virům .....	23
3.4. Tolerance k stresům.....	24
3.5. Zlatá rýže .....	24
3.6. Změněný obsah lipidů .....	25
3.7. Oddálené dozrávání plodů.....	26
4. STAV PĚSTOVÁNÍ GMO PLODIN.....	27
4.1. Počátky genového inženýrství.....	27
4.2. Pěstování GMO ve světě (mimo EU).....	28
4.3. Pěstování GMO v EU .....	31
4.4. Česká republika a GMO .....	32
4.5. Dosavadní zkušenosti zemědělců s pěstováním GM plodin v ČR.....	38
5. LEGISLATIVA A GMO .....	40
5.1. Koncept koexistence.....	42
5.2. Odhad rizik při pěstování GMO .....	45
5.3. Možnosti a perspektivy pěstování GM plodin v ČR a ve světě .....	48
6. ZÁVĚR .....	49
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	51
8. SEZNAM PŘÍLOH.....	55



## 1. ÚVOD

*„ ... Počátkem důkazu není důkaz, a tak ani vědění počátkem vědění... “*

*Aristotelés*

Už po tisíce let je pro člověka zemědělství neoddelitelnou součástí každodenního života. Zpočátku to byl především lov a sběr čím se živil, až po čase začal obdělávat políčka, kde si vypěstoval převážnou část své obživy. Půda patří mezi velice významné a těžko obnovitelné zdroje. Pro nás je velmi důležitá z hlediska lidské výživy, a proto záleží, co na ní budeme pěstovat. Každý zemědělec si vybírá rostliny a živočichy nejlépe splňující požadavky pro výrobu potravin. Šlechtěním získává nové druhy rostlin a živočichů, které mají lepší vlastnosti než ty původní.

V 70. letech minulého století posunul člověk své schopnosti v oblasti šlechtění tak daleko, že dokáže dát organismu zcela nové užité vlastnosti, kterých pomocí šlechtění nelze dosáhnout. V přírodě dochází ke křížení organismů pouze stejných druhů nebo druhů blízké příbuzných. Genové inženýrství však umožňuje něco co je v přírodě zcela nemožné. Pomocí transgenózy přenáší geny nejen mezi příbuznými, ale i mezi úplně odlišnými druhy. Na konci vznikne organismus s novými, výhodnými vlastnostmi, který je schopný tyto vlastnosti přenášet dál na potomstvo. Tato technika v řadách veřejnosti nevyvolává takový obdiv, jaký se očekával. Může za to dezinformovanost a strach potenciálních spotřebitelů. V důsledku jsou poškozeni zemědělci, kteří nemohou využít nové odrůdy a být tak schopní konkurence. GM plodiny budou mít i nadále ve světě své místo. I přesto, že pěstování GM plodin není tak úplně na počátku stále zůstává citlivým diskusním tématem. Na jedné straně vzbuzuje velký zájem, ale na straně druhé velké obavy. Existuje spousta argumentů hovořících proti metodám genového inženýrství, již z toho důvodu, že se může jednat o proces pro přírodu nevratný. Zatím ale výhody GMO převažují nad nevýhodami, a proto je třeba se tímto tématem dále zabývat.

## 1.1. Problematika GMO

### *Genové inženýrství, techniky rekombinantní DNA, transgenoze rostlin*

Genové inženýrství představuje ucelený soubor technik, prostřednictvím kterých je možné cíleně přenášet geny do jiného organismu. Řízené manipulace s geny jsou založené na technice rekombinantní DNA, touto technikou jsou vytvářeny chimérické geny (transgeny) a technikách přímé či nepřímé transgenoze využívaných pro přenos transgenů do hostitelského organismu. Přenos a stabilní integraci transgenů lze uskutečnit i mezi taxonomicky velmi vzdálenými organismy (Ondřej a kol., 2002).

První pokusy v genovém inženýrství, které je nutným předpokladem uplatnění přenosu genů v eukaryontních systémech, začaly v USA na počátku sedmdesátých let. V roce 1978 bylo zjištěno, že bakterie *Agrobacterium tumefaciens* vnáší část své genetické informace do chromozomů rostlinných buněk. První transgenní rostliny s „transgeny“ vnesenými pomocí *A. tumefaciens* se pak podařilo získat v roce 1982. Již od prvních pokusů s rekombinovanou DNA byla brána v úvahu možná potenciální nebezpečí tehdy zcela nových zásahů do živé hmoty a v roce 1974 byla přijata první opatření, která měla snižovat možná rizika na minimum. Diskuse, která vznikla k těmto otázkám, však vyvolala rezervovaný postoj veřejnosti přetrvávající doposud, kdy transgenní rostliny jsou považovány za něco nepatřičného a nebezpečného a na celou problematiku geneticky modifikovaných organismů je nahlíženo na základě principu předběžné opatrnosti.

Transgenní rostliny jsou v současné době pěstované jako zemědělské plodiny pro potravinářské i nepotravinářské využití, slouží i jako zdroj suroviny pro chemický či farmaceutický průmysl a jsou i nadále významným vědeckým nástrojem i cílem výzkumu. A ačkoli transgenů, včleněných do rostlinného genomu, jsou již tisíce jen nepatrná část z nich je využitelná v moderních šlechtitelských programech. V současné době je totiž jen několik genů, které mají agronomický význam a již byly integrovány do kulturních rostlin. Jsou to geny rezistence vůči několika ekologicky „čistým“ herbicidům, gen pro  $\delta$ -endotoxin *Bacillus thuringiensis* a geny rezistence vůči virům. Širší spektrum transgenů se využívá v programech tzv. *molecular pharming* a transgenní rostliny mohou být využity jako „přírodní bioreaktory“ pro produkci celé škály molekul. Pro další rozvoj moderních biotechnologických metod

je nutné dozvědět se více o růstu a vývoji rostlin, struktuře a funkci rostlinného genomu a expresi agronomicky důležitých genů, propracovat techniky transgenoz, získat nové využitelné geny (Clive, 2012). Výzkum transgenoz rostlin ve světě je rychle se rozvíjející, rozsáhlý a pokročilý obor rostlinné biologie. Negativním vlivům transgenních rostlin byla vždy věnována velká pozornost, široce jsou studovány rizika transgenů a transgenních rostlin, vliv na cílové a necílové organismy a prostředí. Možné dopady a negativní vlivy transgenů jsou od počátku průběžně sledovány i u nás. V souvislosti s tímto studiem již v roce 1990 vznikla Česká komise transgenoz rostlin jako jedna z prvních komisí tohoto typu v Evropě. Vznikla původně jako poradní zájmové sdružení vědeckých pracovníků. Od roku 1996 je komise pravidelně žádána o další typ činnosti - posuzování žádostí zahraničních biotechnologických a šlechtitelských firem, etablovaných u nás, o pěstování transgenních rostlin na území ČR (Ovesná, Kučera, 2004; Roudná a kol., 2011).

## 1.2. Základní pojmy

*Agrobacterium tumefaciens* – gramnegativní bakterie, která infikuje dvouděložné rostliny a vytváří nádory v rostlinných pletivech. Zároveň slouží k transgenozí rostlin.

*Bacillus thuringiensis* – grampozitivní půdní bakterie z rodu *Bacillus*. Obsahuje tzv. cry toxiny, které mají insekticidní účinky na některé skupiny hmyzu a proto se používá k produkci pesticidů a také geneticky modifikovaných (transgenních) rostlin.

Biotechnologie – je jakákoliv technologie využívající biologické systémy, živé organismy nebo jejich deriváty k produkci nebo modifikaci výrobků či procesů pro specifické použití.

Bt kukuřice – kukuřice, do které byl vložený gen z půdní bakterie *Bacillus thuringiensis*, odtud zkrácený název (Bt).

Cílový organismus – je organismus, který je primárně a záměrně ovlivněn vneseným znakem (např. obaleč kukuřičný, mandelinka bramborová).

Cisgenní organismus – organismus do kterého byl přenesen genetický materiál ze stejného nebo podobného druhu.

Delta-endotoxin – bílkovina produkovaná bakterií *Bacillus thuringiensis*, toxická pro určité (cílové) skupinu hmyzu.

Genetická modifikace (transgenoze) – cílená změna dědičného materiálu organismu způsobem, kterého se nedosáhne přirozenou rekombinací, a to vnesení cizorodého dědičného materiálu do dědičného materiálu organismu nebo vynětí části dědičného materiálu organismu.

Geneticky modifikovaný organismus (GMO) – organismus, kromě člověka, schopný rozmnožování, jehož dědičný materiál byl změněn genetickou modifikací provedenou některým z technických postupů stanovených zákonem. V České republice je nakládání s GMO a genetickými produkty upraveno právními předpisy tak, aby byla zajištěna ochrana zdraví člověka a zvířat, životního prostředí a biologické rozmanitosti. Nakládat s GMO a genetickými produkty lze jen na základě oprávnění podle těchto právních předpisů.

Genové inženýrství – obor, který využívá techniky a procesy pro manipulace s genetickým materiálem.

Necílový organismus – je organismus nezáměrně ovlivněn v důsledku znaku, který byl vnesen genovými manipulacemi.

Transgen – cizorodý gen vložený do organismu příjemce a integrovaný do jeho chromozomu.

## 2. METODY VNÁŠENÍ CIZORODÉ DNA DO ROSTLINNÝCH BUNĚK

Pro přípravu transgenních rostlin je možné použít celou řadu metod, mezi nejvýznamnější patří:

- Inokulace
- Transformace protoplastů
- Transformace pletiv
- Transformace chloroplastů
- Transformace pomocí bakterií *Agrobacterium tumefaciens* či *A. rhizogenes*
- Metody přímé transgenózy – mikroprojektily, mikroinjekce

Nejčastěji se používají dva přístupy – transformace pomocí bakterií rodu *Agrobacterium* (agroinfekce) a biolistická metoda (přímá metoda transformace využívající mikroprojektily). Při agroinfekci se využívá přirozené schopnosti bakterie *Agrobacterium tumefaciens* přenášet pomocí Ti-plazmidu vlastní geny do rostlinných buněk. Této vlastnosti se často využívá v rostlinných biotechnologiích k cílenému vnášení konkrétních genů do rostlinného genomu. U biolistické metody se požadovaná DNA nejprve vysráží na povrchu částic těžkého kovu. Tyto projektily se pak pod vysokým tlakem „nastřelí“ do rostlinné tkáně. Malé množství částic zasáhne jádro a ve zlomku těchto případů se během oprav způsobených poškozením při „nastřelování“ cizorodá DNA začlení do rostlinného genomu (Ondřej a kol., 2002).

### 2.1. Transformace prostřednictvím bakterií *Agrobacterium*

Pro tvorbu transgenních rostlin se využívají půdní bakterie *Agrobacterium rhizogenes* a *Agrobacterium vitis*. Jako cíl transformace se používají vícebuněčná pletiva s regenerativní schopností, např. listové čepele nebo kousky stonků. Infikují se geneticky pozměněnými bakteriemi, pak se antibiotiky bakterie usmrtí, pomocí markerů se nalezne požadovaná změna a pletivo se nechá regenerovat. Všechny buňky takto vzniklé rostliny obsahují požadovanou genetickou informaci (Chloupek, 2000).

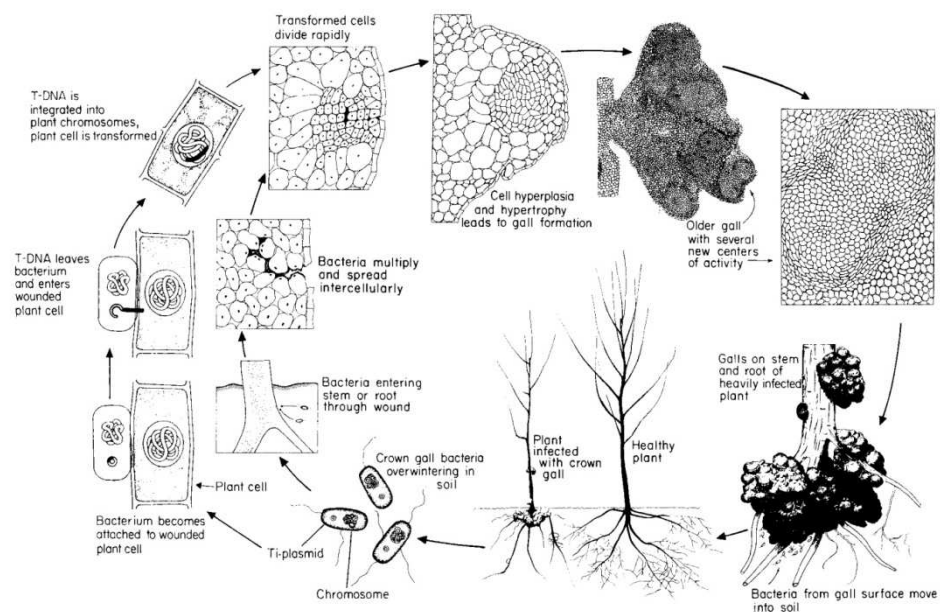
Několik druhů půdních bakterií indukuje morfogenetické změny rostlin. Patří mezi ně především bakterie z čeledi *Rhizobiaceae*, rodů *Agrobacterium*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Pseudomonas* a *Corynebacterium*. Změny, které působí u rostlin bakterie *Corynebacterium fascians* a bakterie rodu *Pseudomonas* trvají jen tak dlouho, dokud jsou rostlinná pletiva napadena bakteriemi a k přenosu genetické informace z bakterií do rostlin nedochází. Přeměněné bakterie rodů *Rhizobium*, *Azorhizobium* a *Bradyrhizobium* v bakteroidy se stávají trvalými složkami pletiv kořenových hlízek leguminózních rostlin (Ondřej a kol., 2002). Bylo však jednoznačně dokázáno pouze u rodu *Agrobacterim*, že vnáší své specifické geny, lokalizované na části velkého plazmidu, nazvaného Ti, případně Ri, do rostlinného genomu. Konstantní část plazmidů Ti a Ri se nazývá T-DNA (transferred DNA). Délka plazmidu Ti je obvykle v rozmezí 150 – 200 kb, což představuje asi 3% délky chromozómu *A. tumefaciens*. Délka jeho T-DNA je v závislosti na typu 15 – 45 kb (Ondřej, 1992).

Tato T-DNA obohacuje rostlinný genom o dva základní typy genů:

1. Geny pro nové cesty biosyntézy rostlinných hormonů, auxinů a cytokininů. Vznik diferenciac rostlinných buněk. Rostlinná pletiva, která jsou transformovaná, pak rostou jako nediferenciované nádory (crown galls). Rostlinná pletiva při kultivaci *in vitro*, transformovaná kmeny *A. tumefaciens* s nemodifikovanou T-DNA trvale rostou na půdě bez růstových látek. Transformovaná rostlinná pletiva druhem *A. rhizogenes* rostou jako kořeny (hairy rous). Z obou typů transformovaných pletiv mohou vznikat také transformované či netransformované výhony (Ondřej a kol., 1999).
2. Geny pro syntézu nádorově specifických látek, tzv. opinů. Ty slouží jako zdroj uhlíku, dusíku a energie pro ten typ bakterií, který indukoval transformaci. Základní, nejlépe prostudované typy plazmidů Ti jsou oktopinový a nopalinový typ. Z mnoha hledisek se tyto dva typy liší. T-DNA nopalinového typu je kompaktní, tak T-DNA oktopinových plazmidů je Ti je rozdělena na dva úseky: levý ( $T_L$ ) a pravý ( $T_R$ ). Oba dva úseky se mohou integrovat nezávisle na sobě, ale často dochází k integraci  $T_L$  i  $T_R$  současně.

Přesto, že geny pro dediferenciaci a nádorový růst jsou lokalizovány v  $T_L$ , u nádorů se vyskytuje buď  $T_L$  i  $T_R$  nebo jen  $T_L$ - DNA. Podobnou funkci mají geny pro syntézu tzv. agrocinopinů. Tyto látky slouží bakteriálním kmenům, které jejich syntézu v rostlinných buňkách indukují jako zdroj fosforu, uhlíku a energie. Agrocinopiny a opiny jsou vylučovány do okolních netransformovaných pletiv a do půdy. Bakterie tedy vkládají genetickou informaci pro syntézu látek do rostlinných pletiv, které samy spotřebovávají. Buňky s touto přidanou genetickou informací T-DNA, kde je zvýšená koncentrace rostlinných hormonů, podmiňuje syntézu velkého množství opionů jako substrátu pro výživu bakterií. Opiny a agrocinopiny také integrují přenos plazmidu  $T_i$  a  $R_i$  do dalších buněk *Agrobacterium* (Ondřej a kol., 1999).

**Obr. č. 1:** Proces indukce tumorů v přírodě působením bakterií rodu *Agrobacterium*.



Zdroj: [www.arabidopsis.info](http://www.arabidopsis.info)

1. Bakterie infikují poraněnou část rostliny.
2. Množí se a šíří v mezibuněčných prostorech a dochází k transformaci některých rostlinných buněk.
3. V oblasti infikované bakteriemi se rostlinné buňky rychle dělí v důsledku transformace.
4. Dochází, jak ke zvětšení tak i zvýšení počtu transformovaných buněk, a tím ke vzniku krčkového nádoru (crown gall).
5. Nádory na ose a kořenech vylučují tumorově specifické látky tzv. opiny (Ondřej, 1992).



## *Agrobacterium tumefaciens*

*A. tumefaciens* je bakterie běžně žijící v půdě a genetické modifikace provádí přirozeným způsobem a to tak, že vpraví do rostlinných buněk geny, které nutí tyto buňky vytvářet rostlinné růstové regulátory stimulující buněčné dělení a zároveň rostlinné buňky zásobují bakterií vhodnými živinami (Custers a kol., 2006).

V roce 1977, 4 roky po prvním úspěšném experimentu s rekombinovanou DNA (rDNA) provedenou na bakteriích, byla vytvořena první DNA molekula. Američtí vědci Nester, Gordon a Chilton ukázali, jak byla bakteriální DNA vložena do DNA hostující rostliny infikované bakterií *Agrobacterium tumefaciens*. Tato bakterie způsobuje vznik nemoci krčkového nádoru, charakteristickou formací rozlehlých nádorů rostliny již těsně nad povrchem země. Část DNA, která byla vložena do genomu rostliny, se nazývá transferovaná DNA (T-DNA) a stává se z ní plazmid zvaný indukovaný tumor nebo Ti plazmid (Halford, 2006).

Transformace pomocí bakterie *Agrobacterium tumefaciens* není možná u všech rostlinných druhů. Dříve bylo uváděno, že *A. tumefaciens* transformuje pouze rostliny dvouděložné a některé krytosemenné, ale ne rostliny jednoděložné. To dnes již tak zcela neplatí. Bakteriemi *A. tumefaciens* byla transformována pletiva chřestu, kukuřice, rýže, pšenice a dalších jednoděložných rostlin (Ondřej a kol., 2002). Důkazy ukazují, že mechanismus přenosu T-DNA je funkčně a evolučně související s bakteriální konjugací (Newbury, 2003). Aby rostlina mohla být úspěšně transformována, musí být splněna určitá kritéria.

Tato kritéria se mohou značně lišit v závislosti na aplikaci. Podle Hansena a Wrightena (1999) zahrnují:

- Cílová tkáň musí být příslušná k regeneraci nebo rozmnožování.
- Způsob doručování DNA musí být efektivní.
- Vybrání, nebo identifikování transgenní tkáně.
- Schopnost obnovit plodnost transgenních rostlin v rozumné frekvenci.
- Jednoduché, efektivní, reprodukovatelné, genotypicky nezávislé a nákladově efektivní procesy.
- Krátké časové období v kultuře k zabránění somaklonální změny (Newbury, 2003).

Ondřej a kol. (2002) uvádí, že pokud je transgenóza bakterií *Agrobacterium* u daného rostlinného druhu účinná, je mnohem vhodnější metodou než transgenóza přímá. Výhody transformace *A. tumefaciens* spočívají jak v poměrně vysoké frekvenci stabilní transformace, tak i v možnosti přenosu delších úseků DNA s menším počtem kopií. Zároveň je při této metodě menší riziko umlčení exprese.

## **Transformace in planta**

Z vyvinutých transformačních systémů většina vyžaduje použití rostlinné tkáně k regeneraci celých rostlin z jednotlivých transformovaných buněk. Bylo navrženo mnoho úspěšných metod pro regeneraci rostlinných buněk v celé rostlině. První metody transformace, které nevznikly na tkáňové kultuře, byly úspěšné pouze u modelové rostliny *Arabidopsis thaliana*. Tato metoda transformace je založena na přímé aplikaci *Agrobacteria* na rostlinu a získání transformantů v potomstvu (Newbury, 2003).

Feldmann a Marks (1987) popsali metodu in planta, když aplikovali *Agrobacterium* na semena *Arabidopsis*. Rostliny pěstovali až do dospělosti. Poté nechali jejich semena klíčit na médiu s antibiotikem, aby mohli identifikovat transformované rostliny.

### **2.2. Přímé metody transformace**

Přímé transformace probíhají bez využití bakterií *A. tumefaciens* (Ondřej a kol., 2002). Přímý přenos genů do rostlinné buňky je možný až po odstranění buněčných stěn protoplastů (Chloupek, 2000). Obsah buňky potom zůstane zabalen jen v buněčné membráně. Právě těmito kulovitým útvarům se říká protoplasty. Na ty se pak působí plastidovou DNA. Z protoplastů je možné ve tkáňových kulturách vypěstovat celé rostliny, ale výtěžnost takového postupu je velmi malá (Drobník a kol., 1997).

Přímá transgenóza je účinná obecně, i přesto, že její účinnost bývá často nízká. Využívá se především u jednoděložných rostlin a byla popsána např. u kukuřice, rýže, ječmene, pšenice, ovsa, žita, pohanky, cukrové třtiny, lilie a dalších jednoděložných rostlin (Ondřej a kol., 2002).

## **Transgenoze protoplastů**

Dříve, se v experimentech s přímou aplikací cizorodé DNA vycházelo z rostlinných protoplastů. Buněčná stěna rostlinných buněk, která představuje podstatnou bariéru při průniku cizorodé DNA do buněčných jader, byla odstraněna. Mimo to je možné aplikovat cizorodou DNA na velké množství rostlinných buněk (řádově  $10^6$  až  $10^7$ ). To umožňuje navazovat silné selekční tlaky, přičemž se zvyšuje pravděpodobnost získání transgenních buněčných klonů (Ondřej a kol., 1999). Kvůli problémům s regenerací rostlin z protoplastů, kdy docházelo k somaklonální variabilitě, se dnes dává přednost transgenozí celých pletiv (Ondřej a kol., 2002). Právě izolované protoplasty se inkubují v pufru s exogenní DNA. Příjem roztoku DNA může proběhnout pouze endocytosou.

Je mnoho způsobů jak endocytosu stimulovat:

1. Do roztoku DNA dodáme polyethylenglykol. Ten může způsobit změny plazmalemy, které mohou vést k fúzi protoplastů a k endocytose.
2. Působením iontů vápníku a zvýšením pH.
3. Za pomoci elektroporace. Tato metoda spočívá v tom, že pulzy elektrickým nábojem působí vznik dočasných pórů v plazmalemě. Těmito póry do protoplastů vniká pufr, který obsahuje exogenní DNA.

Žádná z těchto metod nebyla výhodnější než ostatní.

4. Jako nejúčinnější metoda (jejíž účinnost je až v desítkách procent) jsou mikroinjekce do jader. Je použitelná i s rostlinnými pletivy. V průběhu jednoho pokusu je však možné ovlivnit jen omezené množství (desítky) protoplastů (Ondřej a kol., 1999).

## **Mikroprojektily**

Také nazývané mikrobombardování nebo mikrobalistická metoda při které se používají zlaté nebo wolframové mikroprojektily o velikosti 2 $\mu$ m. Jsou to kuličky, které se smíchají s roztokem plazmidové DNA. Roztok obsahuje ještě další látky. Voda se z roztoku odpaří, ale plazmidová DNA zůstane na kuličkách. Kuličky jsou vstřelovány do rostlinných buněk přístrojem, který dává impulsy pro výstřel,

například za pomoci helia. Rostlinné buňky přitom musí být umístěny ve vakuu. Ne všechny mikroprojektily se podaří aplikovat do pletiva. Jen 7-10% jich pronikne alespoň do epidermis, ale tam nejsou schopny tvořit kalus a pak diferencovat rostlinu, proto je třeba, aby se dostali do mezofylu. Z 95% je zasažena cytoplasma, kde nedochází k transkripci ani expresi vneseného genu. U 5% buněk zasažených mikroprojektilem do buněčného jádra (98-99%) do 48 h odumírá. Cílem je, aby došlo k integraci transgenu do genomu, mikroprojektil pronikl do jádra a buňka zásah přežila (Ondřej a kol., 2002).

Nevýhodou této metody je nutnost speciální aparatury založené na tkáňových kulturách. Dalším nevýhodou může být i to, že při nedostatku DNA nebude zajištěna dostatečná koncentrace genu pro dosažení uspokojivé četnosti integrace (Gerats a kol., 1991).

### 3. VLASTNOSTI TRANSGENNÍCH ROSTLIN

Rostliny mohou díky genetickým modifikacím získat některou z těchto vlastností:

- vyšší odolnost proti mrazu
- zvýšenou mechanickou stabilitu proti škodám při transportu a skladování (např. u brambor, rajčat a okurek)
- ochranu proti napadení hmyzem
- rezistenci proti virům a bakteriím
- odolnosti proti herbicidům
- vyšší hektarové výnosy (Kopec, 1997).

#### 3.1. Tolerance vůči herbicidům

Ošetření rostlin herbicidy, tedy chemickými prostředky ničícími plevel je v zemědělství běžné. Plevel škodí kulturním rostlinám tím, že jim odebírá nejen vláhu, ale i živiny. Proto je nezbytné herbicidy v zemědělství používat (Stratilová, 2012). Ideální herbicid by měl mít vysokou účinnost s nízkou toxicitou a efektivní biologickou degradaci (Gerats a kol., 1991). Nejvíce registrovaných pokusů s transgenními rostlinami se týká právě tolerance k herbicidům (Ondřej a kol., 1999). Na jednotlivé skupiny plevelů je nezbytné používat odlišné typy herbicidů. Je potřeba zásahy na poli opakovat a tím se pěstování prodražuje (Stratilová, 2012). Využitím GM rostlin tolerantních k herbicidům dochází u řady plodin ke snížení spotřeby těchto herbicidů, které se aplikují do půdy preventivně (Ondřej a kol., 1999). V praxi to znamená, že místo několikanásobného postřiku různými herbicidy se na rostlinu aplikuje nový herbicid a to pouze jednou nejvýše dvakrát. Takto se sníží množství herbicidů, ušetří se peníze, lidská práce, výjezdy do kultur, tedy i nafta, a sníží se produkce skleníkových plynů (Drobník a kol., 1997).

Podstata působení herbicidu je v blokádě některého rostlinného enzymu, jehož aktivita je pro život rostliny nezbytná. Transgeny pro toleranci k herbicidům eliminují účinek konkrétního typu herbicidu jedním z těchto mechanismů:

1. Rozkládají herbicid.
2. Kódují enzym, který katalyzuje stejnou reakci jako rostlinný enzym, ale je necitlivý k herbicidu.

Častěji bývá využíván druhý způsob, ale někdy to může být kombinace obou (Káš, 2004).

Výhoda těchto herbicidů je v době jejich aplikace. Používají se až po vzejití kulturní rostliny tedy postemergentně. Aplikují se postřikem na list v dávkách podle skutečného spektra a stavu plevelů. Jsou šetrnější k životnímu prostředí k zemědělcům i ke konzumentům (Ondřej a kol., 2002).

### 3.2. Odolnost k hmyzím škůdcům

Odolnost k hmyzím škůdcům je druhá nejvíce využívaná genetická modifikace u rostlin. Tato vlastnost je především uplatňována u kukuřice avšak v současné době se čím dál více vědci zabývají obdobnou genetickou modifikací u rýže (Stratilová, 2012). Současné transgeny pro rezistenci k hmyzím škůdcům v odrůdách rostlin kódují bílkovinu delta-endotoxin bakterie *Bacillus thuringiensis*. Po požití Bt rostlin hmyzem způsobují endotoxiny destrukci epitelu trávicího traktu citlivého hmyzu a tím jeho uhynutí (Ondřej a kol., 2002). Dříve se kultury této bakterie vyráběly ve velkém množství (u nás např. ve Slušovicích) a sloužily jako postřik kulturních plodin proti hmyzu (Drobník a kol., 1997). Tyto postřiky jsou však velmi nákladné, snadno je smyje déšť a zničí sluneční záření (Stratilová, 2012).

Výhoda bakterie *Bacillus thuringiensis* spočívá v selektivní toxicitě zpravidla jen pro jednu čeleď hmyzu. Nevýhodou je, že selektují mutace hmyzích škůdců pro rezistenci na toxin (Ondřej a kol., 1999). Existují však způsoby, jak oddálit vznik rezistentní populace škůdců. Jeden ze způsobů se využívá i u kukuřice. Mutace hmyzu podmiňující rezistenci k delta-endotoxinu jsou všeobecně recesivní. To je důvod, proč v sousedství pole s transgenní kukuřicí je pole s kukuřicí netransgenní (refugium pro škůdce). Samečci z larev živých netransgenní kukuřicí mají dominantní alely pro citlivost k delta-endotoxinu. Pokud přiletí na pole s transgenní kukuřicí a dojde k oplodnění samic, které byly ve stadiu larev vyselektovány na rezistenci k delta-endotoxinu (jsou homozygotně recesivní) v potomstvu vzniknou heterozygoti.

Ti jsou opět citliví na delta-endotoxin a ve stadiu larev uhynou (Ondřej a kol., 2002). Ani přes důkladné a nákladné testování nebyly zjištěny žádné nepříznivé účinky delta-endotoxinu na ostatní organismy pouze na cílové čeledi hmyzu (Drobník a kol., 1997).

### 3.3. Rezistence k virům

Rostliny napadené viry jsou více citlivé k bakteriálním a houbovým infekcím. Jsou známy stovky rostlinných virů a polovina z nich působí vážnější choroby kulturních rostlin. Mohou způsobit ztráty na sklizni až 15%. Některé produkty jsou zdrojem karcinogenů (např. alfatoxin *Aspergillus flavus*). V roce 1995 byly v USA poprvé uvedeny na trh transgenní rostliny rezistentní k virům (Ondřej a kol., 2002).

Rezistence k virům využívá principu, že je-li rostlina napadena málo virulentním kmenem, je chráněna proti napadení virulentním příbuzným kmenem viru. Proto se zabuduje do rostliny gen kódující produkci proteinu virového obalu, což představuje ochranu proti asi 80% fytopatogenních virů (Chloupek, 2000). První krok po napadení virem spočívá rozbalení virové nukleové kyseliny a v jejím oddělení od plášťového proteinu. Vznik rezistence může být například v tom, že prvním kroku brání nadbytek plášťového proteinu v buňce a dochází ke znovuzabalení nukleové kyseliny (Káš, 2004).

Podle genetického materiálu je možné rozdělit rostlinné viry na tyto základní skupiny:

1. viry s jednovláknovou RNA
2. viry s dvojitou vláknovou RNA
3. viry s jednovláknovou DNA
4. viry s dvojitou vláknovou DNA

Genetický materiál většiny rostlinných virů je jednovláknová RNA (Ondřej a kol., 2002). Podle Ho (2000) se někteří molekulární genetici obávají, že transgenní plodiny modifikované k rezistenci k virovým chorobám by mohly vytvářet nové nemoci. Jedním z možných způsobů, který byl již zaznamenán je transkapsidace. Při

transkapsidaci je DNA/RNA jednoho viru obalena proteinem jiného viru a ty se pak mohou dostat do buněk, které by je za jiných okolností dovnitř nepustily.

### 3.4. Tolerance k stresům

Rostliny nemají možnost se ze svého stanoviště přemísťovat a v případě působení nepříznivých vlivů se dostávají do stresu. Rostliny jsou snadno stresovány chladem, zmrznutím, vysokými teplotami, suchem, vysokým obsahem solí v půdě a zaplevelení půdy (Ondřej a kol., 2002). Působení stresu na rostliny má za následek nízké výnosy zemědělských plodin. Biotechnologové v Gentu zjistili, že se rostliny nevzdávají bez boje a používají svůj obranný systém. To zajímá výzkumníky, kteří se snaží izolovat geny tolerantní ke stresu. Tyto geny vnesou do kulturních plodin a ty jsou potom více odolné ke stresům. Geny nemusí pocházet jen z rostlin, ale mohou být použity i z jiných organismů (Custers a kol., 2006). Některé transgeny způsobují rezistenci k více typům stresů současně (Ondřej a kol., 2002).

Stres, který nejvýznamněji ovlivňuje rostliny je způsoben nedostatek vody. K vodnímu deficitu dochází tak, že když dojde ke změně koncentrace roztoků nebo zmrznutí vody vně buněk tvoří buněčná membrána nepropustnou bariéru pro makromolekuly a voda se stává pro buňky nedostupnou (Ondřej a kol., 2002).

### 3.5. Zlatá rýže

Rýže je základní potravinou pro dvě miliardy lidí žijících zejména v Asii a v Africe. Poskytuje 40 – 70% z celkového počtu kalorií v potravě. Vzhledem k očekávanému růstu populace v roce 2050 a to až o dvojnásobek by se světová produkce potravin měla zvýšit o 50%. Četné vědecké iniciativy a strategie byly vyvinuty na zvýšení produkce potravin, zejména rýže za pomoci Rockefellerovy nadace, která poskytla finanční prostředky od roku 1984 na podporu genetického výzkumu rýže pro zemědělce z rozvojových zemí (ISAAA, 2010). Jde o rýži obohacenou o betakaroten, ze kterého si lidský organismus vyrábí vitamín A. Hlavní příčinou vzniku zlaté rýže byl požadavek humanitárních organizací, které se snaží v nejchudších zemích řešit problémy s nedostatkem potravy (Stratilová, 2012). Potrava většiny lidí třetího světa (zvláště v Asii) je složena téměř jen z rýže. Jednostranná výživa má za následek, že těmto lidem chybí některé nepostradatelné



složky jako je právě vitamín A (Custers a kol., 2006). Tato nová rýže by mohla pomoci v boji proti slepotě zhruba půl milionům dětí, kterým rodiče nemohou z finančních důvodů zajistit stravu bohatou na vitamin A (Stratilová, 2012). Cílem transgenozy rýže bylo, aby byl betakaroten produkován v endospermu rýže. Zpočátku byla rýže schopná produkovat provitamin A, ale pouze v zelených částech ne však v endospermu. Poté byl do rýže vložen bakteriální gen pro fytoendesaturázy crtB z *Erwinia*, která nahrazuje dva rostlinné enzymy. Další vnesené geny do genomu rýže byly pro fytoendesaturázu a lykopen- $\beta$ -syntázu narcisu. Vznikla rýže, která měla v důsledku přítomnosti betakarotenu žlutý endosperm (Ondřej a kol., 2002).

V roce 2013 je předpokládáno uvedení tzv. "zlaté rýže" na trh na Filipínách a v roce 2015 v Bangladéši. Do budoucna se využití očekává i v asijských státech a Africe (Stratilová, 2012).

### 3.6. Změněný obsah lipidů

Hlavními plodinami pěstovanými pro produkci olejů jsou sója, olejová palma, řepka olejná a slunečnice. Jejich produkt, tedy olej, slouží k přímé konzumaci člověkem, ze dvou třetin ke krmení hospodářských zvířat, ale i pro různá průmyslová využití (Ondřej a kol., 1999). Rostlinné oleje mají velmi široké využití. Transgenozí je vhodné provádět u rostlin, které jsou největšími producenty rostlinných olejů (Ondřej a kol., 2002).

Je známo, že naše strava se skládá z velkého počtu nasycených mastných kyselin, které lidskému organismu zrovna moc neprospívají (Custers a kol., 2006). Zvyšují riziko obezity a často jsou příčinou srdečně-cévních onemocnění. Komu není lhostejné jeho zdraví, měl by zvýšit příjem nenasycených mastných kyselin, především omega-3 nenasycené mastné kyseliny, které těmto nemocem pomáhají předcházet (Stratilová, 2012). Naše tělo potřebuje jak nasycené, tak i nenasycené mastné kyseliny, ale ve správném poměru (Custers a kol., 2006).

Právě olej transgenních rostlin obsahuje více nenasycených mastných kyselin a méně nasycených mastných kyselin oproti běžnému rostlinnému oleji (Stratilová, 2012). Prvním pokus o modifikaci syntézy rostlinných olejů transgenozí spočíval ve vnesení kryšihó genu pro enzym stearyl-acyl-ACP-tiolesterázu II a jeho

protismyslové konstrukce. Aktivita tohoto enzymu má za následek kratší uhlíkaté řetězce mastných kyselin (Ondřej a kol., 2002).

Schválenou plodinou uváděnou na trh je GM sója s vyšším obsahem nenasycených mastných kyselin. Je povolena v Austrálii, Kanadě, Mexiku, USA a Japonsku. Zatím ve fázi vývoje jsou i další druhy rostlin s upraveným složením mastných kyselin (Stratilová, 2012).

### 3.7. Oddálené dozrávání plodů

Klíčovou roli v procesu měknutí plodů má enzym degradující buněčnou stěnu rajčatových plodů zvaný polygalakturonáza (PG). Tento enzym byl izolován ze zralých rajčat (Chloupek, 2000). V roce 1988 bylo poprvé publikováno vnesení protismyslové konstrukce genu pro PG s 35S-promotorem do genomu rajčete. To vede ke snížení až ztrátě exprese původního rostlinného genu pro polygalakturonázu (Ondřej a kol., 2002). V případě menšího množství enzymu si právě u transgenní rajčata ponechají pevnou konzistenci o něco déle. Sklizeň může proběhnout až za úplné zralosti. Jejich pěstování je povoleno např. v USA, Mexiku, Japonsku, ale v roce 2011 byla pěstována pouze v Číně (Stratilová, 2012). Transgenní rajčata se stala vůbec první geneticky modifikovanou plodinou, která pronikla na trh (Custers a kol., 2006). Odrůda FlavrSavr se objevila v roce 1994 (Ondřej a kol., 2002). Obdobnou vlastnost lze použít u dalších druhů ovoce a zeleniny, které se dováží v nezralém stavu podobně jako rajčata. Jsou to např. jahody, ananas, zelené papriky a banány (Stratilová, 2012).

Ani transgenní rajčata neunikla kritice antibiotechnologickým aktivistům, kteří protestovali proti jejich uvedení na trh. Při transformaci byl použit binární vektor, který obsahoval gen pro rezistenci ke kanamycinu. Z tohoto důvodu vznikly obavy z možných vedlejších účinků na lidský organismus. Tyto obavy však byly vyvráceny a ukázaly se jako neopodstatněné (Ondřej a kol., 2002).

## 4. STAV PĚSTOVÁNÍ GMO PLODIN

### 4.1. Počátky genového inženýrství

Praxe výsadby různých variant stejné plodiny na přilehlých pozemcích pro podporu výroby hybridního osiva je dnes zemědělci hojně používána a byla pravděpodobně praktikována po tisíciletí.

Když byla okolo roku 1900 znovuobjevena Mendelova práce, křížení genotypů různých rostlin mělo solidní vědecký základ. I přesto, že Darwin je mnohými považován za otce genetiky, byla to práce Gregora Mendela, která ukázala, jak by Darwinova teorie o přirozeném výběru mohla fungovat (Halford, 2006). Roku 1966 byl rozluštěn genetický kód. Koncem šedesátých let převládal názor, že vše podstatné v biologii je již vyřešeno a molekulární biologie bude stagnovat. Nic nenasvědčovalo tomu, že by to mohlo být jinak (Káš, 2004).

V polovině roku 1990 vpadli na scénu světového zemědělství rostlinné biotechnologie. Začíná druhá zelená revoluce a přináší s sebou jednu z největších veřejných diskuzí naší doby (Halford, 2006). Kromě snahy o zvýšení výnosů měla zelená revoluce i některé negativní dopady. Vyžadovala více strojů a s tím spojenou větší spotřebu pohonných hmot, průmyslová hnojiva, meliorační úpravy atd.. (Stratilová, 2012). Je nutné, aby příchod geneticky modifikovaných rostlin byl chápán v souvislosti s dlouhou historií ve vývoji šlechtění rostlin a genetiky (Halford, 2006). Přehled historických mezníků v zemědělství je uveden v příloze č. 1.

#### 4.2. Pěstování GMO ve světě (mimo EU)

V současné době se ve světě pěstují různé druhy geneticky modifikovaných (GM) rostlin na ploše cca 170 mil. ha. Z celosvětového pohledu je pak pěstování GM plodin v EU zcela bezvýznamné.

GM plodiny se pěstují ve 28 zemích světa, největšími pěstiteli a producenty jsou USA (69,5 mil ha), Brazílie (36,6 mil ha), Argentina (23,9 mil ha), Kanada (11,6 mil ha), Indie (10,8 mil ha), Čína (4 mil ha), Paraguay (3,4 mil ha), Jihoafrická republika (2,9 mil ha), Pákistán (2,8 mil ha), Uruguay (1,4 mil ha). Podrobný přehled kolik a čeho se v jaké zemi vypěstovalo v roce 2012 je v příloze č. 2 a 3.

Většinu pěstebních ploch zaujímají čtyři hlavní plodiny (v závorkách jsou uvedeny celosvětové plochy příslušné plodiny v r. 2012 a podíl GMP na celkové výměře): sója (100 mil ha, 81% GM), kukuřice (159 mil ha, 35% GM), bavlník (30 mil ha, 81% GM), řepka (31 mil ha, 30% GM). Pro lepší představu, je k dispozici graf viz příloha č. 5. V podstatně menší míře se pěstují další transgenní plodiny jako brambory, papája, melouny, tykve, rajčata, okrasné rostliny (Clive, 2012).

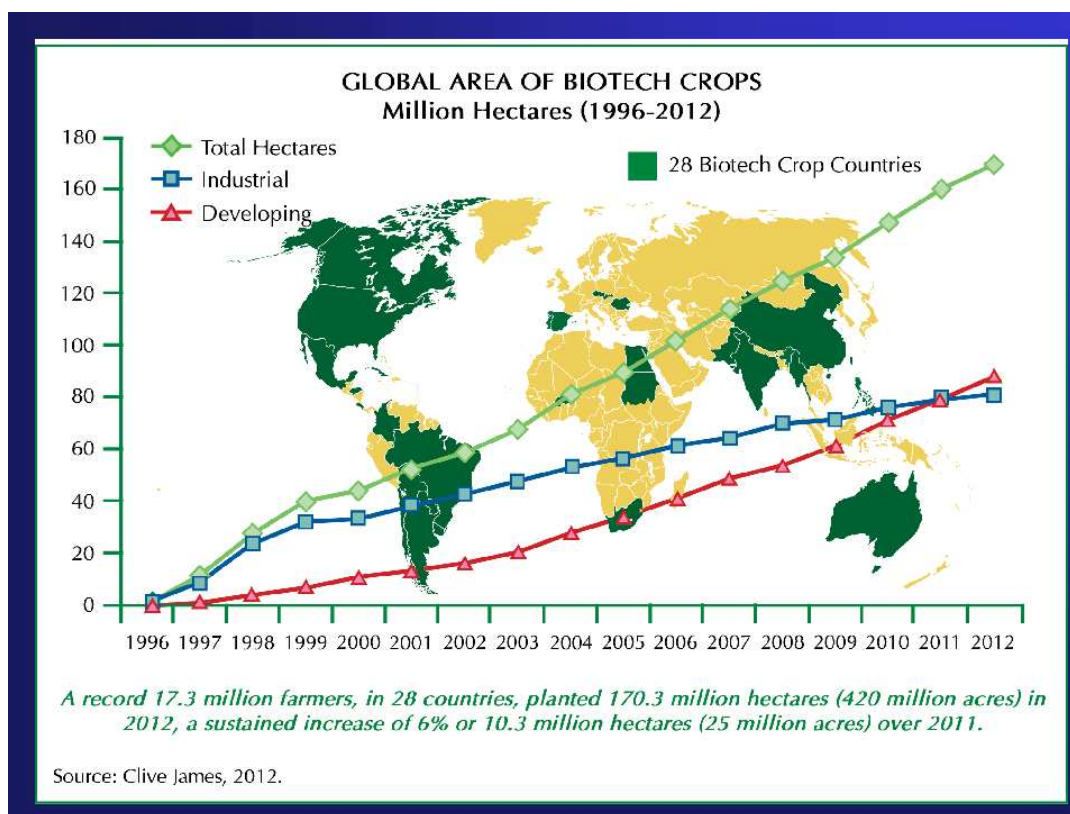
Co se týče používaných transgenů, jednoznačně nejpoužívanější jsou transgeny rezistentní k herbicidům, následované transgeny rezistentními k hmyzím škůdcům, patrný je nárůst kombinované rezistence, tj. GM rostliny nesoucí dva a více transgenů (rezistence k herbicidu + hmyzím škůdcům). Okrajově jsou pak využívány transgeny rezistentní k virům či transgeny způsobující oddálené dozrávání a vadnutí. V posledních letech dochází k nejvyššímu nárůstu pěstebních ploch zejména u GM sóji odolné k herbicidům. V některých státech již pěstování modifikované sóji značně převažuje nad produkcí běžné sóji. Např. se uvádí, že pěstitelská plocha GM sóji dosahuje v Argentině 100 %, v USA je přes 80 % veškerých ploch sóji oseto GM odrůdami. Důsledkem je skutečnost, že nyní již přes 80 procent celosvětové produkce sóji pochází z geneticky upravené sóji, která je levnější (a při dodržování pěstebních technologií i zdravější). Kupující, jež budou vyžadovat tzv. GM-free (geneticky nemodifikovanou) sóju, musí tedy do budoucna počítat s tím, že její pořízení bude stále nákladnější (Clive 2011; Clive, 2012).

### ***Čím byl zajímavý rok 2012 v kontextu pěstování GM plodin?***

- Rok 2012 byl 17 rokem komerčního pěstování GM plodin. Od počátku pěstování GM plodin v roce 1996 došlo k 100 násobnému zvětšení pěstitelských ploch GM plodin z 1,7 mil ha v roce 1996 na 170,3 mil ha v roce 2012.
- Ve 28 zemích světa se pěstovaly GM plodiny, 10 nejvýznamnějších producentů pak na ploše vyšší než 1 mil ha. 20 z těchto zemí jsou země rozvojové a 8 pak rozvinuté průmyslové země. Ve 28 zemích pěstujících GM plodiny žije více než 60% světové populace, cca 4 miliardy lidí.
- V roce 2012 pěstovalo GM plodiny 17,3 mil farmářů (zemědělských subjektů) a více než 90% z nich (více než 15 mil) jsou pak malé farmy v rozvojových zemích.
- Rozvojové země pěstovaly více GM plodin než průmyslové země - rozvojové země produkovaly 52% GM plodin. Tento fakt je v přímém rozporu s myšlenkami vyslovenými v počátku pěstování GM plodin, že GM technologie je směřována pouze na průmyslové země a v rozvojových zemích nebude akceptována. V roce 2012 bylo tempo zvyšování pěstebních ploch GM plodin v rozvojových zemích 3x rychlejší nežli v průmyslových zemích.
- Pět nejvýznamnějších rozvojových zemí s cca 40% světové populace pěstovalo 46% GM plodin. Vzhledem k tempu nárůstu počtu obyvatel v rozvojových zemích a potřebě potravin je patrný význam této technologie.
- GM plodiny obsahující více než jeden transgen se pěstovaly na ploše cca 25% z celkové výměry GM plodin.
- GM plodin nepochybně významně přispívají k problematice udržitelného rozvoje - nezanedbatelný je jejich příspěvek k soběstačnosti v potravinách a krmivech, včetně cenově dostupnějších potravin, zvýšení produktivity a ekonomických přínosů udržitelného na úrovni farmářů. Významný je i dopad GM technologie na zmenšení "ekologické stopy" zemědělství, snížení produkce skleníkových plynů, lepší využitelnosti vody. Perspektivu mají i nové GM plodiny s vyšší mírou suchovzdornosti (Clive, 2012).

Naprosto nepřehlédnutelný je fakt rychlého rozvoje pěstování GM plodin a nárůstu pěstitelských ploch a spektra plodin v rozvojových zemích. V roce 2005 GM plodiny pěstovalo cca 8,5 milionů farmářů, v roce 2012 pak 17,3 milionu. Podíl farmářů z rozvojových zemí byl v obou případech stejný - 90% a patrný obrovský absolutní nárůst počtu farmářů z rozvojových zemí. Začínají se tak vyplňovat představy odborníků předpokládajících to, že z počátečního mírného přínosu pěstování GM plodin pro tyto země se ve druhém desetiletí jejich využívání v letech 2006-2015 stane významný nástroj k dosažení požadovaného cíle snížení celosvětové chudoby o 50 % v r. 2015. Vedle, zatím nejběžnějších GM plodin, jako sóji, bavlníku, kukuřice, papáji, začínají tyto země s velkoplošným pěstováním geneticky modifikované rýže a rozvíjejí i výzkumné programy zacílené na vnesení žádaných znaků do tradičních plodin (Clive, 2010, Clive, 2011, Clive, 2012).

**Graf č. 1:** Celosvětové plochy biotechnologických plodin v průmyslových a rozvojových zemích v letech 1996 – 2012.



Zdroj: [www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)

### 4.3. Pěstování GMO v EU

Není tajemstvím, že Evropa pěstování GMO zrovna moc nepodporuje. Mezi největší odpůrce patří bezesporu Rakousko, Maďarsko, Francie, Řecko, Německo a Lucembursko. Tyto státy zakázaly na svém území pěstování geneticky modifikované kukuřice MON810. Navíc Rakousko, Maďarsko a Lucembursko informovaly Komisi o zákazu pěstování GMO brambor odrůdy Amflora. Naopak zastánci této technologie jsou Nizozemsko, Anglie, Švédsko, Španělsko, Portugalsko a Česká republika (Clive, 2010; Clive, 2011; Clive, 2012).

EU a země rozvojového světa založily svůj přístup ke GM plodinám na principu předběžné obezřetnosti (*precautionary principle*), který spočívá v uznání bezpečnosti GM plodin až v případě, že dlouhodobé studie potvrdí jejich nezávadnost a jinak jsou považovány za rizikové. V EU je také nezbytné označovat jako GMO všechny produkty, které obsahují více než 0,9 % příměsi GMO. Na druhou stranu platí, že dovozy GM plodin do EU jsou poměrně vysoké a evropské hospodářství se v současné době bez GMO technologie neobejde a GM plodiny/produkty jako zdroje bílkovin jsou především pro krmivářský průmysl nezbytné ([www.biotrin.cz](http://www.biotrin.cz)).

V EU je možné pěstovat pouze Bt kukuřici MON810 odolnou vůči zavíječi kukuřičnému (od r. 1998) a GM brambory Amflora pro průmyslové užití (od r. 2010). Vývoj pěstebních ploch v letech 2008 – 2010 měl v EU spíše klesající tendenci, v posledních letech je naopak patrný vzrůstající trend. Pěstování GM rostlin ve světě vykazuje od roku 1996, kdy byly GM plodiny poprvé komerčně pěstovány, stabilní a vzrůstající trend, rozsah pěstování se každoročně zvyšuje v průměru o 10 % a rychlejší nárůst zájmu o pěstování GM plodin je patrný zejména v rozvojových zemích (Clive, 2012).

Hlavním důvodem snížení osevních ploch GM plodin v Evropě je problematický odbyt, přísná opatření a kontroly, označování jako GM organismus, administrativní a organizační náročnost oproti konvenčním (ne-GMO) odrůdám. Pro komerční využití GM plodin platí stejné podmínky jako pro pěstování ostatních odrůd, oproti běžným odrůdám lze pěstovat pouze takové geneticky modifikované (GM) plodiny, které byly uvolněny do oběhu na základě evropských předpisů postihujících proces schvalování nových GM organismů. U polních plodin lze

pěstovat tedy pouze GM odrůdy polních plodin zapsané ve Státní odrůdové knize nebo v "evropském katalogu" – Společném katalogu odrůd druhů zemědělských rostlin. V českém "národním katalogu" nejsou k současnému datu ve Státní odrůdové knize zapsány žádné odrůdy GM plodin. Na úrovni evropské obsahuje Společný katalog odrůd druhů zemědělských rostlin 31 odrůd GM kukuřice a 1 odrůdu brambor. Z tohoto seznamu GM odrůd mohou vybírat i čeští zemědělci; ovšem ne všechny registrované odrůdy jsou vhodné pro pěstování v podmínkách ČR vzhledem k tomu, že do společného katalogu byly zapsány odrůdy registrované zejména ve Španělsku. V ČR se GM kukuřice MON810 odolná vůči zavíječi kukuřičnému, nazývaná Bt kukuřice nebo Bt hybridy kukuřice, pěstuje od roku 2005 (Roudná, 2008; Roudná a kol., 2011).

#### 4.4. Česká republika a GMO

V sedmdesátých až osmdesátých letech minulého století, když se začínalo s rozvojem metod cíleného přenosu genů do rostlin, nezůstalo ani naše tehdy Československo pozadu. Biofyzikální ústav AV ČR v Brně se zabýval problematikou vhodných přenašečů (vektorů) genů do rostlin prostřednictvím půdních bakterií rodu *Agrobacterium*. Pracoviště v Českých Budějovicích tehdejší Ústav experimentální botaniky (ÚEB) se zaměřoval na rozvoj vlastních metod modifikací u různých rostlinných druhů a to zejména s použitím výše zmíněných agrobakteriálních přenašečů (Rakouský a kol., 2011).

Koncem 90. let jsou v České republice prováděny polní pokusy s různými GM plodinami (kukuřicí, bramborami a do roku 2002 i s řepkou). Využití GMO k výzkumným a laboratorním účelům v ČR je poměrně běžné. Modelové GM rostliny slouží k výzkumu fyziologických pochodů a výběru žádaných užitkových vlastností (Doubková, 2008). V této době se podílel Ústav molekulární biologie rostlin Biologického centra (ÚMBR BC) a firma AGRITEC na možnosti vytvářet pomocí vektorových bakterií rodu *Agrobacterium* mutace u lnu. Bylo zkoumáno, zda mutace budou odlišné od těch, kterých se dosud dosáhlo u lnu pomocí chemických látek - mutagenů. Společnost AGRITEC se stala jednou z prvních českých firem, které genetické modifikace rostlin posunuli z laboratoří až na úroveň polních pokusů. To do té doby bylo pouze záležitostí velkých zahraničních biotechnologických firem.



V roce 2010 začala provádět společnost AGRITEC polní pokusy s GM hrachem. Další polní pokusy v roce 2011 zahajuje Univerzita Palackého v Olomouci (UPOL) s modifikovaným ječmenem.

Polní pokusy mohou být uskutečněny až poté, co jsou povoleny Ministerstvem životního prostředí. Po celou dobu jsou kontrolovány Českou inspekcí životního prostředí (ČIŽP). V roce 2010 bylo na našem území k těmto účelům využito 6,9 ha zemědělské půdy (Rakouský a kol., 2011) Rok 2011 je téměř srovnatelný s letošním rokem 2012, kde byly polní pokusy realizovány na ploše 5,3 ha. V posledních pěti letech dochází ke značnému snižování ploch. V současné době má v ČR povolení pro nakládání s GMO cca 90 subjektů (Anonymus, 2012). Aktuální přehled polních pokusů na území ČR viz příloha č. 6.

### **Bt kukuřice**

Pěstování Bt kukuřice je povoleno jen v některých zemích Evropy. Díky pravidlům EU, mohou jednotlivé státy zakázat na svém území pěstování GM plodin a to i těch, které byly evropskou komisí povoleny. Příkladem může být náš soused, Německo, kde byla Bt kukuřice pěstovaná v letech 2005 - 2008 na ploše 7100 ha. I přesto je od roku 2008 její pěstování nelegální. V Evropě je favoritem v pěstování GM kukuřice Španělsko (Polášková, 2011).

**Tab. č. 1:** Vývoj ploch Bt kukuřice v EU v letech 2005 – 2011 [ha]:

	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>Španělsko</b>	53 200	54 000	75 150	79 270	76 000	67 730	97 325
<b>ČR</b>	<i>150</i>	<i>1 290</i>	<i>5 000</i>	<i>8 380</i>	<i>6 480</i>	<i>4 680</i>	<i>5090</i>
<b>Rumunsko</b>	0	0	290	7 150	3 240	820	588
<b>Portugalsko</b>	780	1 250	4 260	4 850	5 090	0	7 723
<b>Polsko</b>	0	0	100	3 000	3 000	0	3 000
<b>Slovensko</b>	0	30	950	1 900	870	1 250	760
<b>Francie</b>	500	5 000	23 000	0	0	0	0
<b>Německo</b>	340	950	2 640	3 170	0	0	0
<b>EU</b>	55 090	62 520	111 390	107 720	94 680	74 480	114 490

Zdroj: www.transgen.de

Zkušenosti ČR s GM rostlinami lze považovat za velmi pokročilé. Je zde povoleno pěstování GM kukuřice typu MON 810, která je odolná vůči zavíječi kukuřičnému, v důsledku vytváření tzv. Bt toxinu. U linie MON 810 bylo schváleno uvedení do oběhu i její pěstování v roce 1998 (Stratilová, 2012).

Poprvé, a to v roce 2005, měla ČR možnost pěstovat Bt kukuřici k produkčním účelům a to na ploše 150 ha. V některých publikacích je možné se setkat s výměrou GM kukuřice 270 ha. Příčinou bylo to, že právě tento rok byl prvním rokem jak pro pěstitelé, tak pro státní úřady a došlo tak k některým nepřesnostem v evidenci ploch. Tedy údaj 270 ha obsahoval i některé obsevy konvenčními hybridy kolem Bt kukuřice. Celkem se do pěstování GM plodin v prvním roce zapojilo 51 pěstitelů. V roce 2006 osetá plocha Bt kukuřicí vzrostla na 1290 ha a podílelo se na tom 82 pěstitelů. Největší pěstitel hospodařil na ploše 126 ha, která byla oseta Bt plodinami. Nárůst ploch byl i ve třetím roce pěstování. V roce 2007 se výměra Bt kukuřice zvýšila na 5000 ha. Pěstitelé neztráceli zájem a to dokazuje i jejich počet 126. V roce 2008 byl boom v pěstování Bt kukuřice. Osetá plocha vzrostla na 8380 ha a k pěstování přistoupilo 167 pěstitelů. Poprvé došlo k poklesu v roce 2009 a to na 6480 ha, kdy zaselo Bt kukuřici 121 pěstitelů (Křístková, 2009). Ani další rok nebyl moc příznivý pro pěstování Bt kukuřice. V roce 2010 bylo oseto 4680 ha, ale v roce 2011 byl zaznamenán menší nárůst ploch na 5090 ha. Rok 2012 byl třetím nejslabším rokem v pěstování Bt kukuřice a to na pouhých 3080 ha (Stratilová, 2012).

GM kukuřice se pěstuje zejména v teplejších pěstitelských oblastech Jihomoravského, Středočeského a Plzeňského kraje, kde je i větší riziko poškození kukuřice zavíječem. Plochy GM kukuřice zde dosahovaly cca 3 % celkové pěstitelské plochy kukuřice v ČR (Křístková, 2009). Vypěstovaná produkce je nejčastěji využívána přímo pěstitelům jako krmivo nebo je použita na výrobu bioplynu (Doubková, 2008).

**Tab. č. 2:** Výměra produkčních ploch Bt kukuřice a GM brambor v ČR v letech 2005 – 2012.

Rok	výměra kukuřice v ha	GM výměra GM brambor v ha
2005	150	0
2006	1290	0
2007	5000	0
2008	8380	0
2009	6480	0
2010	4680	150
2011	5090	0
2012	3080	0

### Zavíječ kukuřičný

Zavíječ kukuřičný neboli *Ostrinia nubilalis* je hnědožlutý motýl s rozpětím křídel 2,5-3 cm. Všude tam, kde se pěstuje kukuřice, patří zavíječ kukuřičný mezi její nejvýznamnější škodlivé činitele. V době od poloviny června do konce srpna kladou oplodněné samičky svá vajíčka v počtu 10 – 30 kusů na spodní stranu listu. Housenky se líhnou za 10-15 dnů. Zpočátku ožírají listy a později pronikají do stébel nebo palic. Přezimují ve zbytcích kukuřičných stébel, která po sklizni zůstávají na povrchu půdy. Proto je velice důležité pečlivé zapravení kukuřičných zbytků do půdy nejpozději do konce dubna (Häni a kol., 1993).

V ČR vytváří zavíječ kukuřičný jednu, vzácně dvě generace do roka (Křístková, 2010). Po napadení rostlin může dojít ke snížení výnosů sklizně o 10 – 30% (Häni a kol., 1993). V našich podmínkách jsou ztráty na výnosech ekonomicky významné již při napadení více než 50% rostlin v porostu (Kazda a kol., 2010) Housenky svým žírem vytvářejí jakési chodby, které sekundárně napadají houbové patogeny, zejména houby rodu *Fusarium*, které produkují mykotoxiny. Ty jsou nebezpečné nejen pro zdraví lidí, ale i hospodářských zvířat a tím zhoršují kvalitu sklizeného produktu. Bohužel, se rozšíření zavíječe kukuřičného na našem území ČR neustále zvyšuje (Křístková, 2009). Na zvýšení počtu takto napadených rostlin se

především podílí nárůsty ploch pěstované kukuřice a to často v monokulturách, minimalizace zpracování půdy, změna klimatických podmínek atd. (Kazda a kol., 2010). V případě, kdy lze očekávat napadení vyšší 20 – 25% zavíječem kukuřičným má význam přímá (biologická) ochrana pomocí drobných parazitických vosiček (chalcidek) rodu *Trichogramma* spp. Účinnost této metody je lepší než chemické ošetření (Häni a kol., 1993). I v tomto případě ale platí, že co je dobré, je i drahé a proto se zemědělci přiklánějí spíše k použití syntetických insekticidů (Křístková, 2009).

### ***Bacillus thuringiensis* (Bt)**

*Bacillus thuringiensis* je neznámější entomopatogenní bakterií. Poprvé byl izolován v roce 1901 z chovu bource morušového v Japonsku. Jeho chov vykazoval neobvykle vysoký stupeň mortality (Gerats a kol., 1991). Znovu byl izolován v roce 1911 z populace moučných červů v Durynsku (Ondřej a kol., 2002).

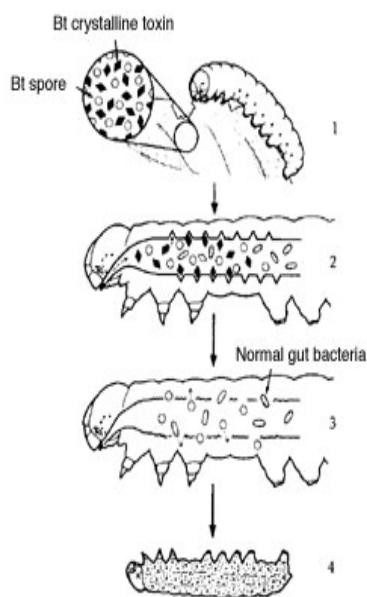
Bt je sporulující půdní bakterie obsahující krystalický (Cry) protein. Ve střevě hmyzu se protein štěpí a uvolňuje toxin známý jako delta-endotoxin. Tento toxin vytváří póry ve střevní výstelce. Výsledkem je iontová nerovnováha, ochrnutí trávicího systému a po několika dnech hmyz umírá. Byly identifikovány různé typy Cry genů, také známých jako Bt geny (Newbury, 2003). Zabudovaný gen do rostliny, který tvoří endotoxin, mohl díky své specifčnosti působit proti různým druhům hmyzu. Například Cry-1 a Cry-2 proti lepidopterám, Cry-4 a Cry-1 proti dipterám, Cry-3 proti coleopterám a Cry-3A proti mandelince bramborové. Použití různých syntetických genů dalo možnost vyšlechtit odrůdy brambor s odolností k mandelince a kukuřici odolnou k zavíječi (Chloupek, 2000).

Vzhledem k tomu, že účinnost toxinu je velmi specifická vylučuje se tak škodlivost pro zvířata a lidi po požití těchto plodin (Chloupek, 2000). U některých druhů škůdců je prokázána odolnost proti některým Bt-toxinům, které jsou aplikovány formou biopesticidů. Proto se již v některých zemích pěstují geneticky modifikované plodiny s dvěma různými formami Bt toxinů. V případě, že by hmyz získal odolnost k jednomu Bt-toxinu, druhý toxin jej stále ještě dokáže usmrtit. Tím je pravděpodobnost vzniku rezistentních škůdců významně nižší (Polášková, 2011).

Bakterie *Bacillus thuringiensis* měli uplatnění v USA déle než 30 let jako

bioinsekticidy. Ty chránily polní plodiny před více než 300 druhy hmyzu. Jejich nevýhodou je ovšem doba, po kterou se bakterie udrží na porostu (pouze několik dní) a také cena, která se zvyšuje s potřebou časté aplikace (Ondřej a kol., 2002).

**Obr. č. 2:** Průběh působení bakterie *Bacillus thuringiensis* (Bt) na housenku.



1. Housenka konzumuje zeleň ošetřenou Bt (spory a krystalický toxin)
2. Během několika minut se toxin váže na specifické receptory ve střešní stěně a housenky přestanou přijímat potravu.
3. V průběhu několika hodin se střešní stěna poruší a umožní sporám a normálním střevním bakteriím vstoupit do tělní dutiny, kde se toxin rozpustí.
4. Za 1-2 dny housenka uhynie na septikémii tím jak se spory a střevní bakterie množí v její krvi.

Zdroj: [www.biocontrol.entomology.cornell.edu](http://www.biocontrol.entomology.cornell.edu)

## **Geneticky modifikované brambory**

Geneticky modifikované brambory jsou druhou rostlinou povolenou pro pěstování v EU. Česká republika se dokonce stala jedinou zemí EU, kde se zároveň pěstovaly obě povolené plodiny. Bylo tomu tak v roce 2010, kdy se GM brambory Amflora pěstovaly na 150 ha (Stratilová, 2012). Tyto GM brambory mají změněné složení škrobu a jsou určeny pouze k využití v průmyslových odvětvích např. při výrobě papíru, textilií, lepidel apod. (Křístková, 2011). Všechny GM brambory se pěstovaly na Vysočině a zpracovány byly ve škrobárně Hodíškov na průmyslový škrob. Předností takto upravených brambor při výrobě průmyslového škrobu je to, že odpadá odstranění nechtěné amylozové složky škrobu chemickou cestou (Dvořáčková, 2010). Tento proces znečišťuje životní prostředí a je velice náročný na energii (Custers a kol., 2006).

Změnu ve složení škrobu lze prokázat jednoduchým testem. Roztokem jódu v jodidu draselném obarvíme řeznou plochu hlízy. S amylozou tvoří jód výrazně modré komplexy. Brambor Amflora s převahou amylopektinu bude mít tedy barvu méně výraznou než konvenční odrůdy (Polášková, 2011).

V EU se za rok vypěstuje asi 10 milionů tun škrobářenských brambor, což je 80% světové produkce škrobu. Brambor s vyšším obsahem amylopektinu může lépe konkurovat například škrobu kukuřičnému a tím by zvýšil konkurenceschopnost evropské produkce (Polášková, 2011).

### **4.5. Dosavadní zkušenosti zemědělců s pěstováním GM plodin v ČR**

Zkušenosti českých zemědělců s pěstováním GM plodin jsou časově i rozsahově omezené v porovnání s pěstováním v celosvětovém měřítku. Na druhou stranu se v roce 2010 stala ČR jedinou zemí EU, kde se k produkčním účelům pěstovala Bt kukuřice i GM brambory Amflora. Výsledky pěstování GM brambor Amflora nebyly prozatím vyhodnoceny (Křístková, 2011).

V letech 2006 – 2008 provedlo Ministerstvo zemědělství šetření mezi pěstiteli GM plodin formou dotazníku.

Byly zjišťovány zejména tyto informace:

- výhody a nevýhody pěstování Bt kukuřice
- využití Bt kukuřice (případně odbyt)
- srovnání výnosů s konvenčními hybridy
- stupeň napadení plísněmi ve srovnání s konvenčními hybridy
- běžné ošetření konvenčních hybridů proti zavíječi v podniku
- vliv pěstování Bt kukuřice na životní prostředí ...

Jako kladné stránky pěstování GM plodin byly v prvním roce uváděny výhody zejména technologie. Jedná se o jednoduchost, spolehlivost v ochraně proti zavíječi kukuřičnému, snížení vstupu do porostu (méně chemie) ale i o výslednou sklizeň bez polámaných a polehlých rostlin. Během dalších let pěstování vstoupily do popředí výhody kvalitativní. Pěstitelé ocenili zdravý porost. Samozřejmě i zde hraje důležitou roli ekonomie, kterou uvádí 1/3 pěstitelů. Nemůžeme opomenout ani environmentální aspekty, kdy pěstitelé upozorňují na přínosy pro životní prostředí (Křístková, 2010).

Pěstování Bt kukuřice nemá jenom kladné stránky. Nevýhody spočívají především v nespokojenosti pěstitelů s legislativně-administrativním pozadím. Dalším negativem jsou náklady spojené s vysokou cenou osiva a byl zaznamenán i problém s uplatněním produkce. To je zapříčiněno přetrvávajícím negativním vnímáním GMO v EU a tudíž neochotou odběratelů odkoupit produkty GM plodin (Křístková, 2011).

Ukázalo se, že pěstování GM plodin v ČR má jak kladné, tak záporné stránky. Pozitiva se projevují zejména v oblasti technologické a kvalitativní, negativa pak v oblasti socio-ekonomické. Výsledky hodnocení souvisejí zejména s lokálními podmínkami i přístupem pěstitelů a nelze je tedy zobecňovat pro všechny pěstitelé. Je také uváděn pozitivní vliv Bt kukuřice na životní prostředí, neboť omezuje použití insekticidů pro hubení zavíječe kukuřičného. Důležitý je také fakt, že ze strany českých pěstitelů nebyly dosud zaznamenány vedlejší negativní vlivy na životní prostředí např. ovlivnění necílových organismů (Křístková, 2011).

## 5. LEGISLATIVA A GMO

Stále přetrvávají pochybnosti o neškodnosti biotechnologií pro životní prostředí a lidské zdraví. Z tohoto důvodu se postupně vyvíjí legislativa, která má zabránit živelnému a nekontrolovatelnému experimentování s genetickým materiálem a možným dopadům na ekosystém. Základním východiskem pro posuzování bezpečnosti biotechnologií se stala **Úmluva o biologické rozmanitosti** (Polášková, 2011). Je to rámcová smlouva uzavřena roku 1992 v Riu de Janeiro v rámci Programu OSN pro životní prostředí. Jako první zahrnuje živé složky o vzájemném působení s prostředím, principy jejich ochrany i zásady přístupu k biologickým zdrojům a jejich využívání (Demnerová, 2003).

Dalším významným dokumentem zabývajícím se biotechnologiemi je **Aarhuská úmluva**. Tato úmluva je především o přístupu k informacím, účasti veřejnosti na rozhodování a přístupu k právní ochraně v otázkách životního prostředí (Kažmierski, 2008). Byla přijata v roce 1998 v rámci Evropské hospodářské komise. Česká republika ji ratifikovala v roce 2004. Informovanost veřejnosti z oblasti biotechnologií je poměrně dobře zajištěna, ale jako problém se ukazuje nedostatečná orientace v této pro veřejnost složité problematice (Polášková, 2011).

**Cartagenský protokol o biologické bezpečnosti** (Cartagena Protocol on Biosafety, CPB) se stal hlavním závazným dokumentem na mezinárodní úrovni. V platnost vstoupil 11. září 2003. Tento protokol si klade za cíl chránit rozmanitost před potenciálními riziky, která mohou představovat živé modifikované organismy (LMO). Při tom se zaměřuje zejména na pohyb živých modifikovaných organismů přes hranice (dovoz, vývoz a neúmyslné pohyby přes hranice států), neboť biologická bezpečnost nemůže být zajištěna bez společného úsilí a koordinace mezi státy. Protokol se však nevztahuje na pohyby živých modifikovaných organismů přes hranice, které jsou určeny pro farmaceutické účely. Touto problematikou se zabývá především Světová zdravotnická organizace – WHO (Demnerová, 2003).

Pro ty státy, které ještě nemají vytvořený vlastní právní rámec upravující nakládání s GMO představuje Cartagenský protokol velmi důležitý mezinárodní předpis (Káš, 2004).



Legislativa v Evropě je podstatně přísnější než v USA a dalších státech (Polášková, 2011). Právní předpisy jsou koncipovány na principu předběžné opatrnosti tak, aby odpovídaly požadavkům na zajištění ochrany zdraví člověka a zvířat, složek životního prostředí a biologické rozmanitosti (Římanová a kol., 2001). Od 1. 1. 2001 je v České republice právně upraveno nakládání s geneticky modifikovanými organismy nejprve zákonem 153/2000 Sb. (Ondřej a kol., 2002).

Zákon rozlišuje tři kategorie nakládání s GMO:

1. uzavřené nakládání,
2. uvádění do životního prostředí,
3. uvádění GMO a produktů do oběhu (Ondřej a kol., 2002).

Každý, kdo hodlá nakládat s GMO musí být registrován a zapsán do jednoho ze tří typů seznamů.

*Hlavním cílem zákona je zajistit bezpečné nakládání s geneticky modifikovanými organismy bez nepříznivých vlivů na zdraví člověka a zvířat, životní prostředí a biodiverzitu, aniž by zákon kladl bezpečnému nakládání s GMO zbytečné překážky. Zároveň poskytuje občanům jistotu, že nakládání s GMO a jejich použití je pod odbornou kontrolou a informuje veřejnost v oblasti GMO (Ondřej a kol., 2002).*

Později, a to od února 2004 se nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty řídí zákonem 78/2004 Sb. Hlavním kompetentním orgánem státní správy dle tohoto zákona je Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem zdravotnictví. Zákon 78/2004 Sb. byl v souvislosti se vstupem ČR do EU novelizován a to v září r. 2005 zákonem 346/2005 Sb. (Roudná a kol., 2007).

Bližší podmínky o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a geneticky modifikovanými produkty jsou uvedeny ve vyhlášce č. 209/2004 Sb. Ta byla novelizována vyhláškami 86/2006 Sb. a 29/2010 Sb. (Doubková, 2008).

Tímto zákonem a vyhláškou byly do české legislativy převedeny evropské směrnice 2001/18/EC o záměrném uvolňování geneticky modifikovanými organismů do životního prostředí a směrnice 98/81/EC o uzavřeném nakládání s geneticky modifikovanými mikroorganismy (Doubková, 2008).

Vydání povolení k uvádění GMO do oběhu je řešeno za účasti všech členských států celé Evropské unie, Evropské komise i veřejnosti. Schvalovací proces je velmi dlouhý a komplikovaný. Vydané povolení potom platí pro všechny členské státy ([www.biotrin.cz](http://www.biotrin.cz)).

Po vstupu ČR do EU platí i některé právní předpisy Evropského společenství. Problematiky GMO se týkají tři nařízení Evropského parlamentu a Rady Evropy:

- nařízení č. 1829/2003 o geneticky modifikovaných potravinách a krmivech
- nařízení č. 1830/2003 o označování GMO a sledovatelnosti potravin a krmiv z nich vyrobených
- nařízení č. 1946/2003 o pohybu geneticky modifikovaných organismů přes hranice, který přejímá Cartagenský protokol (Doubková, 2008).

### 5.1. Koncept koexistence

Vzhledem k tomu, že stále narůstá plocha pěstovaných GM plodin v celosvětovém měřítku a tuto skutečnost nelze přehlížet, je nutné vytvořit podmínky, které zajistí i do budoucna udržitelnost pro všechny pěstitelské systémy (Čeřovská, 2005).

Pěstování GM plodin v ČR se liší od ostatních pěstovaných plodin specifickými pravidly - tzv. pravidly koexistence. Koncept koexistence byl v ČR připravován od r. 2003. Jedná se o zajištění koexistence GM plodin využívaných v zemědělství s plodinami pěstovanými konvenčním a ekologickým způsobem (Doporučení Komise 2003/556/EC) (Křístková, 2011). Vylučuje se zde nebo omezuje na nejmenší možnou míru vzájemné poškození producentů při současném využívání moderních biotechnologií a produktů z uvedených systémů hospodaření (Čeřovská, 2005). Cílem tohoto konceptu je oddělit produkty GM plodin od ostatních produktů. Kritickým je vztah mezi zemědělcem pěstujícím GM plodiny a ekologickým zemědělcem, protože v ekologickém zemědělství je vyloučeno používat geneticky modifikované organismy a jejich produkty (s výjimkou léčiv). Zjištění GMO u ekologicky hospodařícího zemědělce může vést nejen k finančním sankcím, ale také k odebrání licence na výrobu bioproduktů (Křístková, 2011).

### ***Povinnosti pro pěstitele Bt kukuřice (od roku 2010)***

1. Do 1. března informovat sousedního pěstitele o záměrném vysetí geneticky modifikované kukuřice (neplatí v případě, že na vzdálenost 140m jsou pouze vlastní pozemky a do 400m se nenachází ekologicky hospodařící zemědělec). Možnost použít formulář Mze - Ohlášení GM plodiny PŘED zahájením pěstování.
2. Mezi pozemkem Bt kukuřice a pozemkem s nemodifikovanou kukuřicí dodržet minimální vzdálenost 70m (popř. obsít klasickou kukuřicí, která se při sklizni považuje za GMO 70 cm kolem Bt kukuřice což nahrazuje 2m minimální odstupné vzdálenosti).
3. Mezi porostem s Bt kukuřicí a pozemkem s kukuřicí pěstovanou ekologickým způsobem dodržet 200m.
4. Do 15 dnů od zasetí informovat sousedního pěstitele o vysetí.  
(neplatí to samé co v bodě č. 1)
5. Do 30 dnů od vysetí Bt kukuřice písemně informovat místní agenturu pro zemědělství a venkov.  
Možnost použít formulář Mze - Ohlášení GM plodiny PO zahájením pěstování.
6. Písemně informovat MŽP o místě pěstování Bt kukuřice do 60dnů od zasetí.
7. Po sklizni označit produkt jako „geneticky modifikovaný organismus“ včetně identifikačního kódu. Označit i klasickou kukuřici, která tvořila obsev!
8. Evidovat údaje o nakládání s Bt kukuřicí po dobu 5 let.  
([www.eagri.cz](http://www.eagri.cz))

### ***Povinnosti pro pěstitele geneticky modifikovaných brambor (od roku 2010)***

1. Do 1. března informovat sousedního pěstitele o záměrném vysázení geneticky modifikovaných brambor (neplatí v případě, že na vzdálenost 20m jsou pouze vlastní pozemky a do 400m se nenachází ekologicky hospodařící zemědělec). Možnost použít formulář Mze - Ohlášení GM plodiny PŘED zahájením pěstování.
2. Mezi porostem GM brambor a jiným pozemkem s nemodifikovanými bramborami dodržet minimální vzdálenost 2m (mezi řádky) a 10m (na konci pole, kde se stroj otáčí).
3. Mezi místem pěstování GM brambor a porostem brambor, které jsou pěstovány ekologickým způsobem dodržet min. vzdálenost 20m.
4. Do 15 dnů od vysázení informovat sousedního pěstitele.  
(neplatí to samé co v bodě č. 1)
5. Do 30 dnů od vysázení GM brambor písemně informovat místní agenturu pro zemědělství a venkov.  
Možnost použít formulář Mze - Ohlášení GM plodiny PO zahájením pěstování.
6. Písemně informovat MŽP o místě pěstování GM brambor do 60 dnů od vysázení.
7. Po sklizni označit produkt GM brambor jako „geneticky modifikovaný organismus“ včetně jednoznačného identifikačního kódu. Tyto informace předat písemně odběrateli GM brambor.
8. Evidovat údaje o nakládání s GM bramborami po dobu 5 let.  
([www.eagri.cz](http://www.eagri.cz))

Ve vyhlášce č. 89/2006 Sb. jsou uvedeny konkrétní požadované údaje.

## 5.2. Odhad rizik při pěstování GMO

Britský korunní princ Charles řekl: „ *Ještě neznáme všechny dlouhodobé důsledky pro lidské zdraví i pro celé životní prostředí, když připustíme používání takto upravených plodin. Genetické inženýrství staví lidský druh do pozice, jež náleží Bohu, a jen Bohu samému.*“ (Chloupek, 2000).

Jako u každé jiné technické revoluce, tak i v oblasti biotechnologií vznikaly obavy a odpor části veřejnosti přijmout něco nového a neznámého. Genetické inženýrství přináší nejen přísliby, ale i možná rizika (Polášková, 2011).

Rizika spojená s GMO si můžeme rozdělit do dvou skupin a to na rizika pocíťovaná a skutečná. První skupina, tedy pocíťovaných rizik vyplývá z neznalosti problematiky a jsou odrazem nesprávných idejí, které hlásají odpůrci biotechnologií. Tu druhou skupinu tvoří skutečná rizika. Zatím nebyl negativní vliv transgenních rostlin prokázán, ale to ještě neznamená, že v budoucnu nemůže být vše jinak (Ondřej a kol., 2002).

Často vznikají obavy, že transgenní rostliny toxické pro některé druhy živočichů mohou způsobit jejich vymření. Transgenní plodiny toxické pro široký soubor konzumentů mohou negativně působit na hustotu populace některých druhů. Jedná se především o druhy, které se omezují právě na tu danou polní plodinu. Naopak menší účinek bude na druhy hmyzu, které se živí i na řadě jiných rostlin (Gerats a kol., 1991).

Nejprve se genetické manipulace rostlin provádí v uzavřené laboratoři. Nepředstavují tak žádné riziko pro lidské zdraví ani pro životní prostředí. Posuzují se v uzavřeném systému a až potom ve volné přírodě. Hodnotí se funkce genů, fenotypové projevy transgenů, toxicita nebo možná alergenita produktů, persistence nebo invazivita nových rostlin, vliv na jiné organismy a pravděpodobnost rozšíření transgenů po křížení s planě rostoucími rostlinami (Chloupek, 2000).

Každá země má rozdílné zákony nebo pravidla, jež se týkají uvolňování transgenních organismů do prostředí. Ať už jsou pravidla jakákoliv, vždy bude ještě nezbytné v případě žádosti o polní pokus nebo uvolnění pro komerční účely podrobit transgenní rostlinu ke zkoumání rizik a poté přiložit výsledky zkoumání (Gerats a kol., 1991).

**Tab. č. 2:** Porovnání rizik u plodin vzniklých těmito technikami:

<b>Klasickou mutagezí</b>	<b>Genovým inženýrstvím</b>
Neznámé změny v DNA	Známý fragment DNA
Neznámý počet mutací	Známý počet vnesených genů
Neznámé místo změn	Nejistota o místě změn
Neznámé změny v bílkovinách	Důkladně známé nové bílkoviny
Žádná kontrola o přenosu změněných genů na jiné objekty	Přenos vnesených genů přesně sledován na jiné objekty

Zdroj: (Šifner, 1998)

### **Působení na cílové organismy**

Do mnoha transgenních plodin jako je například bavlna, kukuřice a brambor byly vloženy delta-endotoxiny či Bt toxiny vyprodukovanými geny, které byly izolované z půdní bakterie *Bacillus thuringiensis*. Od roku 1990 se s těmito rostlinami provádějí polní pokusy. Tyto geny kódují dlouhý protein zvaný pro-toxin. Pro-toxin jako takový není pro hmyz škodlivý. Toxinem se stává až trávicím ústrojí larvy hmyzu vhodného druhu, kde dochází k vylučování potřebného enzymu a danou larvu poté usmrtí (Ho, 2000). Přednost tohoto toxinu spočívá v jeho velké specifitě. Ten, který účinkuje na housenky motýlů, můr a molů (Lepidoptera), nemá vliv na mouchy (Diptera), včely (Hymenoptera), brouky (Coleoptera) a ani nijak neškodí červům a obratlovcům (Sehnal a kol., 2009). Pomocí Bt plodin je možné omezit aplikaci chemických insekticidů na cílové škůdce (např. zavíječe kukuřičného). Ovšem vymizení jednoho škůdce může vést k přemnožení jiného (např. mšic) takže nakonec nedojde k takové spotřebě insekticidů, jak by mělo (Doubková, 2008).

## Účinek na necílové organismy

Veškeré necílové vlivy působící na neškodné organismy jsou nežádoucí a nepřijatelné (Ondřej a kol., 2002).

V některých případech se u transgenních rostlin používá zkrácená forma genu a ke vzniku toxinu již není nutné zpracování příhodným hmyzem. Potom nastává situace, že toxin je zcela neselektivní a kromě cílových druhů působí i na jiné druhy, které nemají enzymy potřebné k přeměně pro-toxinu na toxin (Ho, 2000). V řadě studií bylo prokázáno, že Bt plodiny jsou více šetrné k užitečnému hmyzu, než je tomu u konvenční ochrany současnými insekticidy. Jako příklad lze uvést negativní účinky pyretroidů na užitečný hmyz, které jsou 10-100x větší než při použití transgenních odrůd odolných vůči hmyzu (Kocourek a kol., 2005).

Dále jsou uváděny příklady rozdílného působení Bt toxinu v transgenních rostlinách a po přímém postřiku Bt toxinem. U zlatoočky lze v experimentálních podmínkách prokázat negativní vliv po příjmu kořisti s Bt toxinem. Negativní vliv na necílové druhy byl zjištěn i u herbivorů (Kocourek a kol., 2005). V roce 1999 byl proveden pokus, při kterém byly krmeny housenky Monarcha stěhovavého (*Danaus plexipus*) pylem z Bt kukuřice. Bylo prokázáno, že Bt kukuřice má na housenky výrazně škodlivý účinek. Tento výsledek nahrával odpůrcům genetických modifikací. Následující důkazy, které prokazující neškodnost GM plodin již nebyly odpůrci GMO akceptovány (Sehnal a kol., 2009). Právě tento druh motýla je v USA považován za místní symbol ochrany přírody. Jeho zvýšená mortalita byla zjištěna po příjmu listů klejichy, která byla kontaminována pylem Bt kukuřice. Klejicha se v Americe vyskytuje jako plevel v kukuřici a zároveň je obživou pro tohoto motýla. U pozdějších experimentů v přirozených podmínkách již nebyl prokázán významný vliv klejichy kontaminované pylem z Bt kukuřice na populační hustotu monarcha. Na tomto příkladu je vidět, jak lze v laboratorních experimentech identifikovat možné riziko pro životní prostředí. Skutečné riziko lze zhodnotit teprve v přirozených podmínkách, jako tomu bylo například u housenek motýla monarcha (Kocourek a kol., 2005).

### 5.3. Možnosti a perspektivy pěstování GM plodin v ČR a ve světě

Budoucí vyhlídky rozvojových cílů tisíciletí MDG (Millennium Development Goals) vypadají do roku 2015 velmi povzbudivě. V několika nových rozvojových zemích se očekává do roku 2015 velký rozmach pěstování biotechnologických plodin. Zejména se jedná o Asii, ale své zastoupení budou mít i v Africe. USA jako první země plánuje v roce 2013 pěstovat kukuřici, která bude odolávat suchu. Tato vylepšená kukuřice by své uplatnění měla najít také v Africe a to v roce 2017. Další plodinou je sója s vylepšenými vlastnostmi a to k toleranci vůči herbicidům a odolnosti k hmyzím škůdcům. Její pěstování je plánováno v roce 2013 v Brazílii. Zlatá rýže je ve schvalovacím procesu, ale její pěstování lze očekávat v roce 2013-2014 na Filipínách. Cukrová třtina s tolerancí k suchu může být zajímavá pro Indonésii a Bt kukuřice pro Čínu s potencionálem vyšším než 30 miliónů hektarů. GM rýže má pomoci až 1 miliardě lidí v Asii. Biotechnologické plodiny nejsou zatím všelékem, ale mají potencionál významně přispět k očekávaným cílům, mezi něž patří snížení chudoby rozvojových zemí na polovinu (Clive, 2012).

Pěstování GM plodin v České republice je limitováno dostupností registrovaných geneticky modifikovaných odrůd. V ČR je možné využívat jen ty odrůdy, které úspěšně prošly schvalovacím procesem v EU a GM odrůdy, které byly zapsány do společného evropského katalogu odrůd (příp. do národního katalogu odrůd, v ČR Státní odrůdová kniha). Dalším limitujícím faktorem jsou možnosti realizace produkce. Nicméně dosavadní zkušenosti s pěstováním ukazují na zájem pěstitelů o tento typ odrůd/plodin (Křístková, 2011).



## 6. ZÁVĚR

Moderní biotechnologie mají bezesporu mnohostranné využití. Jedná se ale o velmi složitý obor, ve kterém se proplétají různé prvky jako je politika, ekonomie, ekologie atd. Není vždy jednoduché najít společnou cestu pro všechny, kterých se právě používání GMO týká. Z důvodů možných rizik stále přetrvávají obavy etické, environmentální, sociální i zdravotní.

Nelze rozhodovat a jednat bezmyšlenkovitě, protože každé neuvážené použití GMO by mohlo mít fatální následky pro životní prostředí a samozřejmě i pro organismy v něm žijící. Právě, aby taková to situace nenastala, jsou zákonem dána pevná pravidla. Ty musí každý, kdo vytváří, pěstuje či jinak využívá těchto geneticky pozměněných organismů dodržovat. Každá země se řídí svými zákony, kde jsou stanovena přesná pravidla týkající se GMO. Jedno však mají společné. Vždy mají povinnost uvolňovat GMO až po přezkoumání možný rizik. Je proto nepravděpodobné, že by GMO mohly způsobit nevratné škody, jak pro životní prostředí, tak pro lidský organismus. Své uplatnění našli především v oblasti průmyslu, lékařství a neméně i v zemědělství. Nelze však opomenout ani ekonomické přínosy.

V literárním přehledu práce jsou popsány metody vnášení cizorodé DNA do donorového organismu. Nejčastěji se používají dvě metody. První z nich je pomocí bakterií rodu *Agrobacterium*, která přenáší pomocí Ti-plazmidu vlastní geny do rostlinných buněk. Druhou nejpoužívanější metodou je metoda biolistická. Tato metoda spočívá v tom, že požadovaná DNA se nejprve vysráží na povrchu částic těžkého kovu a pak se pod vysokým tlakem „nastřelí“ do rostlinné tkáně. Jsou zde uvedeny používané transgeny, jako jsou odolnost vůči herbicidům a hmyzím škůdcům, které patří mezi nejvíce využívané ve světě. Dalšími transgeny, kterými je možné rostlinu „vylepšit“ je odolnost k virům a tolerance k stresům. Právě to může pomoci zemědělcům, kteří nemají možnost hospodařit na nejlépe vyhovujících pozemcích nebo v ideálních klimatických podmínkách.

Pozornost je věnována pěstování GM plodin ve světě i v České republice. Ve světě má pěstování GM plodin stále vzrůstající tendenci. V roce 2012 se tyto plodiny pěstovaly na 170,3 milionech ha. V budoucnu lze očekávat nárůst ploch především v rozvojových zemích světa. Co se týče Evropy a jejího postoje ke GMO je její

postoj oproti zemím mimo Evropu velmi nedůvěřivý až kritický. Zemědělcům to neusnadňuje složitá legislativa a administrativa a nedůvěřivý postoj části veřejnosti, což má za následek problematicky odbyt.

Některé země EU a patří mezi ně i Česká republika na svém území povolují pěstování GM plodin. Právní předpisy v EU jsou koncipovány na principu předběžné opatrnosti. V ČR je využíván tzv. koncept koexistence. Jedná se o zajištění GM plodin využívaných v zemědělství s plodinami pěstovanými konvenčním a ekologickým způsobem. Právě kritický je vztah mezi zemědělcem pěstujícím GM plodiny a ekologickým zemědělcem, protože v ekologickém zemědělství je vyloučeno používat geneticky modifikované organismy a jejich produkty.

Na začátku této práce byly stanoveny cíle, které měli alespoň z části nastínit a objasnit problematiku GMO. Samozřejmě, že velikost a rozsah problémů s tím spojených nelze vtěsnat do padesáti stran. Literatura se často rozchází v otázkách zda GMO přijmout nebo zakázat a proto je velmi těžké rozhodnout se na jakou stranu řeky vkročit. Alespoň základní znalost problematiky může pomoci v tom, jaké stanovisko budeme zastávat.

Podle mého názoru je nesmyslné uvažovat o zákazu GMO, ale je třeba se i nadále zabývat možnými riziky a vyvíjet vhodné a bezpečné technologie, které zaručí bezpečnost pro člověka i přírodu. Jen čas ukáže jestli GMO mohou být opravdu tak nebezpečné jak tvrdí odpůrci této technologie, nebo se potvrdí několikaletý vědecký výzkum, který hovoří ve prospěch GMO.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- CLIVE, James. 2010. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010*. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY. 978-1-892456-49-4.
- CLIVE, James. 2011. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011*. ISAAA Brief No. 43. ISAAA: Ithaca, NY. 978-1-892456-52-4.
- CLIVE, James. 2012. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2012*. ISAAA Brief No. 44. ISAAA: Ithaca, NY. 978-1-892456.
- ČEŘOVSKÁ, Marie. 2005. *Pěstování geneticky modifikovaných plodin v ČR*. Praha: Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Českou zemědělskou univerzitou, 2005. 80-7084-408-6.
- CHLOUPEK, Oldřich. 2000. *Genetická diverzita, šlechtění a semenářství*. 2. vydání. Praha : Academia, 2000. 311 s. 80-200-0779-2.
- CUSTERS, René., a kolektiv. 2006. *Průvodce biotechnologiemi : biotechnologie v zemědělství a potravinářství*. [překl.] J. Drobník a M. Ondřej. Praha : Academia, 2006. 104 s. 80-200-1350-4.
- DEMNEROVÁ, Kateřina a kolektiv. 2003. *Geneticky modifikované organismy: Otázky spojené s jejich vznikem a využíváním*. Praha : Ministerstvo životního prostředí, 2003. 80-7212-259-2.
- DOUBKOVÁ, Zuzana. 2008. Geneticky modifikované organismy používané v ČR a EU. 2008. In: OVESNÁ, Jaroslava a Vladimíra POUCHOVÁ. *Možnosti využití GMO pro potravinářské i nepotravinářské účely*: Praha: Crop Research Institute, 2008. 5-10 s. ISBN 978-80-87011-43-0.
- DOUBKOVÁ, Zuzana. 2008. *Geneticky modifikované organismy - využití ve světě a v České republice*. In: ROUDNÁ, Milena a kolektiv. *Genetické modifikace - možnosti jejich využití a rizika*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2008. 14-17 s. 978-80-7212-493-0
- DVOŘÁČKOVÁ, Tereza. 2010. *Geneticky modifikované plodiny jsou příslibem, ne hrozbou*. [online]. [cit. 1. 12. 2013]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/gmo-geneticky-modifikovane-organismy/geneticky-modifikovane-plodiny-jsou.html>
- FELDMANN, K. A a MARKS, M. D. 1987. *Agrobacterium-mediated transformation of germinating seeds of Arabidopsis thaliana: A non-tissue culture approach*. Molec. Gen. Genet. 208: 1-9.

- GERATS, A.G.M a kolektiv. 1991. *Biotechnologické inovace ve šlechtění plodin*. 1991. 371 s.
- HALFORD, N. G. 2006. *Plant biotechnology: Current and Future Applications of Genetically Modified Crops*. Chichester : Wiley, 2006. 3-27 s. 978-0-470-02181-1.
- HÄNI, F. a kolektiv. 1993. *Obrazový atlas chorob a škůdců polních plodin: příručka ochrany rostlin v integrované produkci*. Praha : Scientia, 1993. 335 s. 80-85827-12-3.
- HO, M. W. 2000. *Genetické inženýrství, naděje nebo hrozba?* Praha : Alternativa, 2000. 300 s. 80-85993-52-X.
- ISAAA. 2010. Pocket K: Biotech Rice (No. 37). ISAAA SEAsiaCenter Metro Manila, Philippines.
- KÁŠ, Jan. 2004. *Geneticky modifikované organismy-současnost a perspektivy*. Praha : JPM Tisk s.r.o, 2004. 67 s. 80-86313-13-1.
- KAZDA, Jan, MIKULKA, Jan a PROKINOVÁ, Evženie. 2010. *Encyklopedie ochrany rostlin, polní plodiny*. Praha : Profi Press, 2010. 978-80- 86726-34-2.
- KOCOUREK, František, ŘÍHA, Karel a STARÁ, Jitka. 2005. *Hodnocení rizik geneticky modifikovaných rostlin pro životní prostředí*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2005.
- KOPEC, Karel. Jakost transgenového ovoce a zeleniny. 1997. In: DROBNÍK, Jaroslav, a kolektiv. *Bílá kniha*:Praha 1997. Biotrend.
- KŘÍSTKOVÁ, Marie. 2009. Dosavadní zkušenosti s pěstováním geneticky modifikované BT kukuřice v ČR 2005-2009. Praha : Ministerstvo zemědělství, 2009, 44 s. 978-80-7084871-5.
- KŘÍSTKOVÁ, Marie. 2011. *Pěstování geneticky modifikovaných plodin v České republice*. In: ROUDNÁ, Milena a kolektiv. *Genetické modifikace v České republice a opatření k zajištění biologické bezpečnosti*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2011. 11-15 s. 978-80-7212-566-1
- NEWBURY, H. John. 2003. *Plant Molecular Breeding*. Oxford: Blackwell Publishing.
- ONDŘEJ, Miloš, a kolektiv. 1999. *Genové inženýrství rostlin*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1999, 122 s. 80-7080-370-3.
- ONDŘEJ, Miloš., DROBNÍK Jaroslav. 2002. *Transgenoze rostlin*. Praha : Academia, 2002, 316 s. 80-200-0958-2.

- ONDŘEJ, Miloš. 1992. *Genové inženýrství kulturních rostlin*. Praha : Academia, 1992,232 s. 80-200-0310-X.
- OVESNÁ Jaroslava a KUČERA Ladislav. 2004. Otázky biologické bezpečnosti GMO a mezinárodní závazky ČR. Sborník VÚRV, Praha, 2004. 978-80-865-5541-6.
- POLÁŠKOVÁ, Anna a kolektiv. 2011. *Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí*. Praha: Karolinum, 2011, 99-119 s. 978-80-246-1927-9.
- RAKOUSKÝ, Slavomír a JIRÁKOVÁ, Hana. 2011. *Geneticky modifikované rostliny - výzkum, polní pokusy*. In. ROUDNÁ, Milena a kolektiv. *Genetické modifikace v České republice a opatření k zajištění biologické bezpečnosti*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2011. 4-10 s. 978-80-7212-566-1
- ŘÍMANOVÁ, Dana a DOUBKOVÁ, Zuzana. 2001. *Zákon o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a produkty a o změně některých dalších zákonů včetně prováděcích předpisů s komentářem*. Praha: Polygon, 2001. 224s. 80-7273- 032-0.
- ROUDNÁ, Milena a DOTLAČIL, Ladislav a kolektiv. 2007. *Genetické zdroje - význam, využívání a ochrana*. Praha : Ministerstvo životního prostředí, 2007. 26 s.978-80-7212-469-5.
- ROUDNÁ Milena. 2008. Genetické modifikace – možnosti jejich využití a rizika. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 48 s., 978-80-7212-493-0.
- ROUDNÁ Milena a kol. 2011. Genetické modifikace v České republice a opatření k zajištění biologické bezpečnosti. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 84 s., 978-80-7212-566-1.
- SEHNAL, František a DROBNÍK, Jaroslav. 2009. *White book - genetically modified crops*. České Budějovice : Biology Centre of the Academy of Sciences of the Czech Republic, 2009. 95 s. 978-80-86668-05-03.
- ŠIFNER, František a kolektiv. 1998. *Vybrané kapitoly z biotechnologií pro studující učitelství biologie a ekologické výchovy*. Praha : Karolinum, 1998, 145 s .80-7184-731-3.
- SLATER, A, SCOTT, NW a FOWLER, MR. 2008. *Plant Biotechnology - the genetic manipulation of plants*. Oxford University Press, Oxford..
- STRATILOVÁ, Zuzana. 2012. *GMO bez obalu*. Praha : Ministerstvo zemědělství, 2012, 31 s. 978-80-7434-057-4.

**Ostatní zdroje:**

ANONYMUS: Zápis ze 65. schůze České komise pro nakládání s geneticky modifikovanými organismy a produkty konané dne 29. 05. 2012 v Praze [online]. [cit. 12. 5. 2012]. Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zapis\\_ze\\_schuze\\_ck\\_gmo/\\$FILE/oeres\\_zapis\\_%2065\\_schuze-20120918.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zapis_ze_schuze_ck_gmo/$FILE/oeres_zapis_%2065_schuze-20120918.pdf)

**Internetové odkazy:**

[www.arabidopsis.info](http://www.arabidopsis.info)

[www.biocontrol.entomology.cornell.edu](http://www.biocontrol.entomology.cornell.edu)

[www.biotrin.cz](http://www.biotrin.cz)

[www.eagri.cz](http://www.eagri.cz)

[www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)

[www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)

[www.transgen.de](http://www.transgen.de)

## **8. SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha č. 1.** Historické mezníky ve vývoji zemědělství

**Příloha č. 2.** Celosvětová rozloha biotechnologických plodin v roce 2012: podle

**Příloha č. 3.** Stav pěstování biotechnologických plodin ve světě, 2012

**Příloha č. 4.** Vývoj plochy biotechnologických plodin (sója, kukuřice, bavlny a řepky)  
v milionech hektarů od roku 1996 - 2012

**Příloha č. 5.** Celosvětová rozloha hlavních biotechnologických plodin

**Příloha č. 6.** Přehled aktuálních polních pokusů na území České republiky

### Příloha č. 1. Historické mezníky ve vývoji zemědělství.

ROK	UDÁLOST
8000 př.n.l.	Začátek zemědělství v Mezopotámii
4000 př.n.l.	V Egyptě se pěstuje pšenice, v Číně rýže
3000 př.n.l.	Pěstování brambor v Peru Hlavní potravinářské plodiny se pěstují v Eurasii
1000 př.n.l.	Hlavní potravinářské plodiny se pěstují v Americe
700 př.n.l.	Babylóňané používají šlechtitelské techniky u palmy
1753	Brambor, kukuřice a rajče jsou z Ameriky zavedeny do Evropy
1843	John Lawes patentoval superfosfát a umělá hnojiva
1859	Darwinova evoluční teorie
1866	Mendel publikuje knihu „Pokusy s rostlinnými hybridy“
1869	Miescher objevuje DNA
1900	Znovu objevena Mendelova práce
1944	Avery, McLeod a McCarthy dokazují, že DNA nese genetickou informaci
1950	První produkované plodiny chemickými a radiačními mutagenézemi
1953	Watson a Crick publikují model struktury DNA
1960-1970	Zelená revoluce, která vede k výraznému zvýšení výnosů plodin, díky rozšířenému používání agrochemikálií
1969	První komerční uvolnění triticale (kříženec pšenice a žita)
1970	Izolován první restrikční enzym
1972	Berg produkuje první rekombinantní molekuly DNA
1973	Boyer, Chang, Cohen a Helling produkují a rekombinují plasmid molekuly DNA
1977	Gilbert a Sanger samostatně vyvíjejí techniku k určení sekvence nukleotidů v molekule DNA Nester, Gordon a Chilton ukazují, že <i>Agrobacterium tumefaciens</i> geneticky modifikuje hostitelské rostliny
1981	Insulín vyrobený z geneticky modifikované <i>E. coli</i> lze použít v lékařství
1983	Použití <i>A. tumefaciens</i> pro zavedení bakteriálních genů do rostlinných buněk
1985	První GM plodiny ve Velké Británii
1994	Schválení GM rajčat s pomalým zráním pro použití v potravinách
1996	První rozsáhlé pěstování geneticky modifikované sóji a kukuřice
2000	Nukleotidové sekvence z celého genomu <i>Arabidopsis</i>
2001	Světová plocha pěstovaných GM plodin přesahuje 50 milionů hektarů
2004	GM plodiny pěstované na 65 milionech hektarů v 18 zemích

Zdroj: (Halford, 2006)

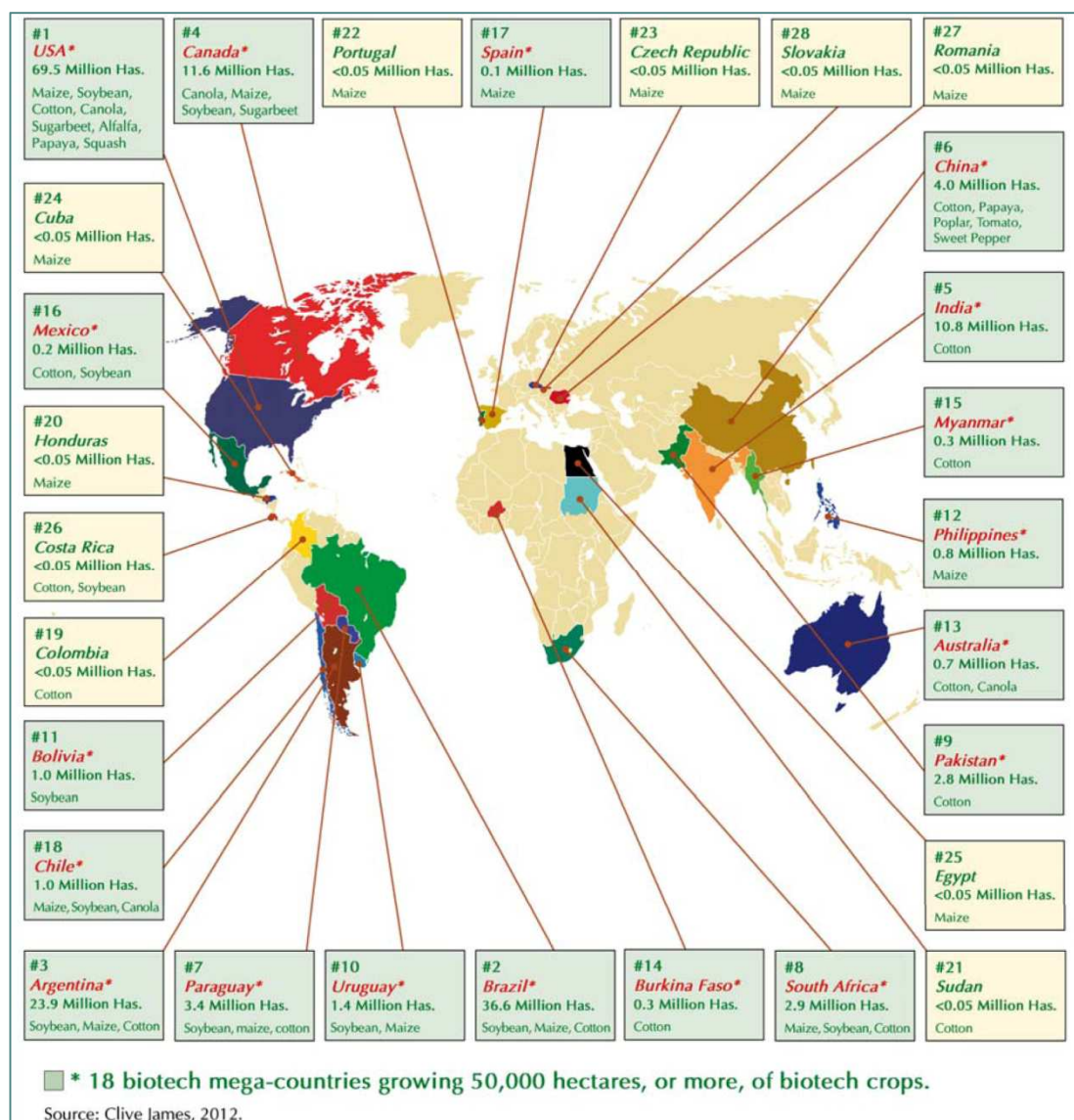


**Příloha č. 2. Celosvětová rozloha biotechnologických plodin v roce 2012: podle zemí v milionech hektarů.**

Pořadí	Země	Rozloha (miliony ha)	Biotechnologické plodiny
1	USA	69,5	Kukuřice, sója, bavlna, řepka, cukrová řepa, vajtěška, papája, dýně
2	Brazílie	36,6	Sója, kukuřice, bavlna
3	Argentina	23,9	Sója, kukuřice, bavlna
4	Kanada	11,6	Řepka, kukuřice, sója, cukrová řepa
5	Indie	10,8	Bavlna
6	Čína	4,0	Bavlna, papája, topol, rajče, paprika
7	Paraguay	3,4	Sója, kukuřice, bavlna
8	Jižní Afrika	2,9	Kukuřice, sója, bavlna
9	Pákistán	2,8	Bavlna
10	Uruguay	1,4	Sója, kukuřice
11	Bolívie	1,0	Sója
12	Filipíny	0,8	Kukuřice
13	Austrálie	0,7	Bavlna, řepka
14	Burkina Faso	0,3	Bavlna
15	Myanmar	0,3	Bavlna
16	Mexiko	0,2	Bavlna, sója
17	Španělsko	0,1	Kukuřice
18	Chile	<0,1	Kukuřice, sója, řepka
19	Kolumbie	<0,1	Bavlna
20	Honduras	<0,1	Kukuřice
21	Súdán	<0,1	Bavlna
22	Portugalsko	<0,1	Kukuřice
23	Česká republika	<0,1	Kukuřice
24	Kuba	<0,1	Kukuřice
25	Egypt	<0,1	Kukuřice
26	Costa Rica	<0,1	Bavlna, sója
27	Rumunsko	<0,1	Kukuřice
28	Slovensko	<0,1	Kukuřice
	<b>Celkem</b>	<b>170,3</b>	

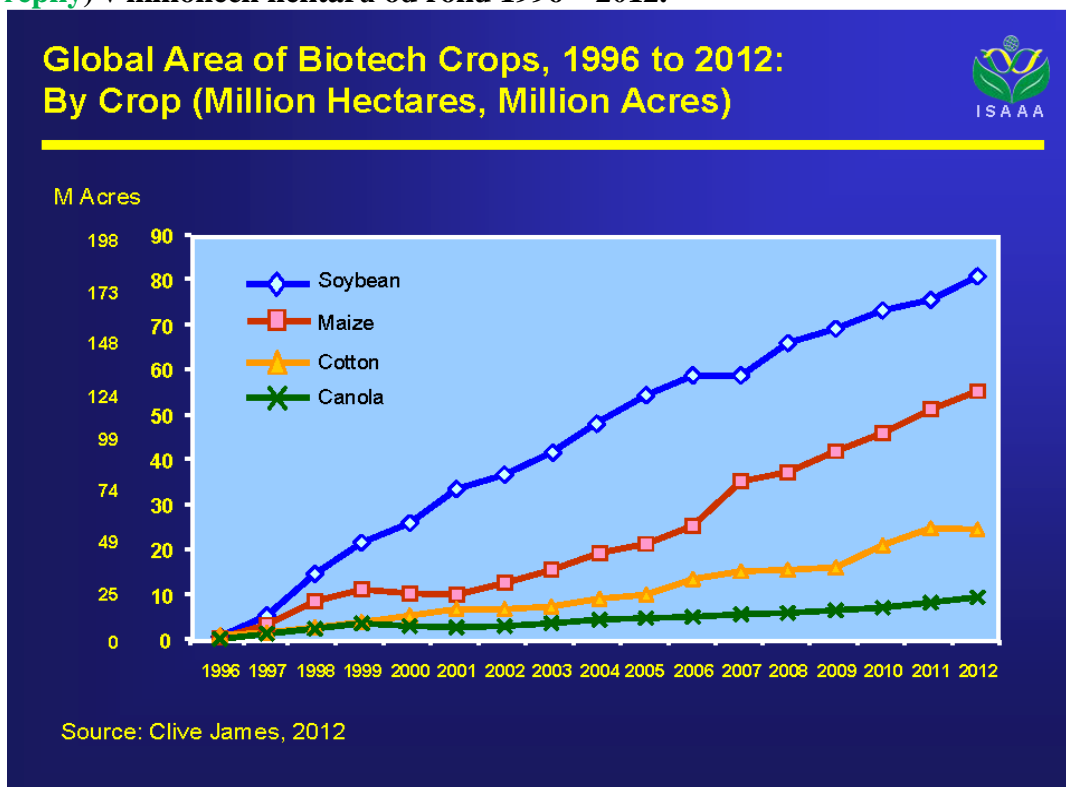
Zdroj: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/44/executivesummary/default.asp>

### Příloha č. 3. Stav pěstování biotechnologických plodin ve světě, 2012.



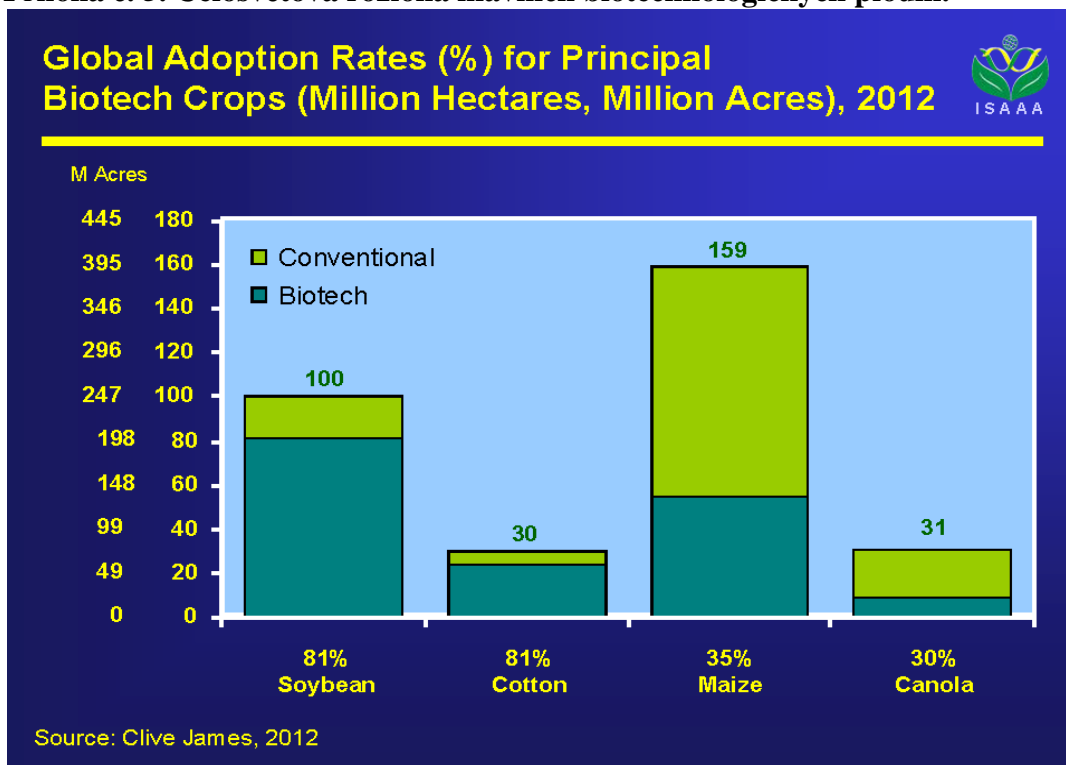
Zdroj: Clive 2012.

**Příloha č. 4. Vývoj plochy biotechnologických plodin (sója, kukuřice, bavlny a řepky) v milionech hektarů od roku 1996 – 2012.**



Zdroj: [www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)

**Příloha č. 5. Celosvětová rozloha hlavních biotechnologických plodin.**



Zdroj: [www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)

**Příloha č. 6. Přehled aktuálních polních pokusů na území České republiky.**

Plodina	Genetické modifikace	Držitel povolení	Účel	Platnost povolení
<b>Kukuřice</b>	DP-Ø9814Ø-6-tolerance k herbicidům	Pioneer Hi-Bred Northern Europe Sales Division GmbH, VÚRV	Uvádění do ŽP, polní pokus	30. 11. 2013
	NK603-resistence ke glyfosátu	MONSANTO ČR s.r.o.	Testování vlastností	31. 12. 2013
	NK603 x MON810	MONSANTO ČR s.r.o.	Testování vlastností	31. 12. 2013
<b>Brambor AV43-6-G7</b>	Se změněným obsahem škrobu	BASF spol. s.r.o.	Testování vlastností, šlechtění	31. 12. 2016
	Změna odolnosti k plísni bramborové	Ústav experimentální botaniky AV ČR	Testování vlastností	31. 12. 2013
<b>Cukrová řepa</b>	H7-1-tolerance k herbicidům obsahující glyfosát	SESVANDERHA VE International B.V	Testování vlastností	31. 12. 2013
	SBVR111 x H7-1, SBVR111 a H7-1-tolerance k herbicidům, resistance k rizománii	Syngenta Czech, s.r.o.	Testování vlastností	31. 12. 2014
<b>Ječmen jarní</b>	Produkce enzymu fytázy	Ústavu experimentální botaniky AV ČR	Ověření agronomických charakteristik	31. 12. 2016
<b>Hrách setý</b>	Odolnost hrachu	AGRITEC Plant Research s.r.o.	Testování vlastností	31. 12. 2020
	Odolnost, ovlivnění ukládání zásobních proteinů do semen	Agritec, výzkum, šlechtění a služby s.r.o.	Testování vlastností	31. 12. 2020
<b>Len setý</b>	Tolerance k herbicidní látce fosfinotricin, zvýšení odolnosti k chorobám a škůdcům, zvýšení schopnosti akumulace těžkých kovů	Agritec, výzkum, šlechtění a služby s.r.o.	Testování vlastností	31. 12. 2016
	Obsahuje segment FAD2-i.	Agritec, výzkum, šlechtění a služby s.r.o.	Zvýšený obsah kyseliny olejové v semenném oleji.	31. 12. 2017
<b>Slivoň Stanley</b>	Odolnost k šarce	Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.	Vědecký výzkum	31. 12. 2017
<b>Tabák viržinský</b>	Studium morfologických, vývojových a biochemických změn	Univerzita Karlova - Přírodovědecká fakulta	Vědecký výzkum	31. 12. 2018

Zdroj: www.mzp.cz