

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta tropického zemědělství



**Fakulta tropického
zemědělství**

Environmentální dopady pěstování GMO plodin a výživa lidstva

Bakalářská práce

Praha 2022

Vypracoval:

Martin Račko

Vedoucí práce:

Ing. Perla Kuchtová Ph.D

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta tropického zemědělství

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Račko

Zemědělská specializace
Zemědělství tropů a subtropů

Název práce

Environmentální dopady pěstování biotech plodin a výživa lidstva.

Název anglicky

Environmental impacts of growing biotech crops and nourishment of human population

Cíle práce

Cílem práce je zpracování studie zaměřené na problematiku pěstování geneticky modifikovaných plodin (biotech plodin), jejich význam pro potravinovou bezpečnost a soběstačnost včetně analýzy produkce z hlediska dopadů na agroekosystém.

Dílčí cíle:

Popsat základní principy modifikace DNA a jejich využití v rostlinné produkci.

Charakterizovat význam pěstování GM plodin, přínosy a rizika jejich pěstování ve vztahu k udržitelnosti ekosystémových služeb, potravinové soběstačnosti a bezpečnosti z globálního hlediska.

Analyzovat současné stavy a rozsah pěstování biotech plodin a vliv klimatu na dynamické změny agroekosystémů ve smyslu zastoupení GM plodin a využití jejich produkce jako krmiv a potravin.

Metodika

Práce bude založena na obsahové analýze informačních zdrojů, českých a zahraničních vědeckých monografií, odborných a vědeckých článků, včetně využití legislativy EU i národní. Budou využity dostupné statistické databáze.

SWOT analýza poslouží k vyhodnocení silných a slabé stránek, rizik a příležitostí v oblasti pěstování GM (biotech) plodin, pozitivních i negativních externalit a vlivů. Druhá část se bude týkat predikce dalšího globálního vývoje v návaznosti na klimatickou změnu, růst populace, společenské a přírodní změny. Prostřednictvím matice TOWS budou formulovány návrhy vycházející ze SWOT analýzy získaných dat a podkladů. Návrhy budou rozpracovány a konkretizovány s cílem porovnat a vyhodnotit možné scénáře dalšího vývoje.

Doporučený rozsah práce

35-40 stran i s přílohami

Klíčová slova

Biotech plodiny, genetické modifikace, pěstitelské technologie, vstupy, ekosystémové služby, agroekosystém, potravinová bezpečnost, soběstačnost, značení produkce, legislativa

Doporučené zdroje informací

Devos Y, Demont M, Dillen C, Reheul D et al. 2009. Coexistence of genetically modified (GM) and non-GM crops in the European Union. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 29 (1) pp:11-30

Khatodia S, Bhatotia K, Passricha N et al. 2016. The CRISPR/Cas Genome-Editing Tool: Application in Improvement of Crops. *Frontiers in Plant Science*. 7, an: 506

Kluemper W, Qaim M. 2014. Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops. *Plos One*, 9(11), an: e111629

Kranthi KR, Stone GD. 2020. Long-term impacts of Bt cotton in India. *Nature Plants*. 6(3): 188 p

Lawlor DW. 2013. Genetic engineering to improve plant performance under drought: physiological evaluation of achievements, limitations, and possibilities. *Journal of Experimental Botany*. 64(1):83-108

Stenoien C, Nail KR, Zalucki JM et al. 2018. Monarchs in decline: a collateral landscape-level effect of modern agriculture. *Insect Science*, 25(4): 528-541

Tabashnik BE, Brévault T, Carriere Y. 2013. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology* [online]. 31 (6): 510–521

Trnková J. 2015. Organizace a kontrola pěstování GM plodin v ČR. 2. aktualizované vydání. MZe. Praha: 42 s.

Vazquez-Barrios V, Boege K, Gabriela Sosa-Fuentes T et al. 2021. Ongoing ecological and evolutionary consequences by the presence of transgenes in a wild cotton population. *Scientific Reports*, 11(1):1959

Yook M-J, Park H-R, Zhang Ch-Jie et al. 2021. Environmental risk assessment of glufosinate-resistant soybean by pollen-mediated gene flow under field conditions in the region of the genetic origin. *Science of the Total Environment*, Vol. 762, 143073

Předběžný termín obhajoby

LS 2021/22 – FTZ

Vedoucí práce

Ing. Perla Kuchtová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra agroekologie a rostlinné produkce

Elektronicky schváleno dne 13. 9. 2021

prof. Ing. Josef Soukup, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 4. 2022

prof. dr. ir. Patrick Van Damme

Děkan

V Praze dne 15. 04. 2022

Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto práci na téma Environmentální dopady pěstování gmo plodin a výživa lidstva vypracoval samostatně, veškerý text je v práci původní a originální a všechny použité literární prameny jsem podle pravidel Citační normy FTZ řádně uvedl v referencích.

V Praze dne 15.4.2022
Martin Račko

Poděkování

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce Ing. Perle Kuchtové Ph.D. za její velmi cenné odborné rady, podporu a pomoc při vyhledávání zdrojů a psaní této práce. Mé poděkování si zaslouží i spolužáci za jejich plnou podporu. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Fakultě tropického zemědělství za veškeré příležitosti zabývat se tímto tématem.

Abstrakt

Environmentální dopady pěstování gmo plodin a výživa lidstva

Možný nedostatek potravin ve světě je nynějším globálním tématem. Genové inženýrství si dává za cíl uspokojení farmářů a lidstva před možným nedostatkem potravin ve světě. Tyto genetické úpravy vyvolávají jak pozitivní, tak negativní reakce, které jsou vědecky podloženy. Cílem práce je zpracování studie zaměřené na problematiku pěstování geneticky modifikovaných plodin (biotech plodin), jejich význam pro potravinovou bezpečnost a soběstačnost včetně analýzy produkce z hlediska dopadů na agroekosystém.

cíle:

Popsat základní principy modifikace DNA a jejich využití v rostlinné produkci.

Charakterizovat význam pěstování GM plodin, přínosy a rizika jejich pěstování ve vztahu k udržitelnosti ekosystémových služeb, potravinové soběstačnosti a bezpečnosti z globálního hlediska.

Analyzovat současné stavy a rozsah pěstování biotech plodin, zastoupení GM plodin a využití jejich produkce jako krmiv a potravin.

Klíčová slova: Biotech plodiny, genetické modifikace, pěstební technologie, vstupy, ekosystémové služby, agroekosystém, potravinová bezpečnost, soběstačnost, značení produkce, legislativa

Abstract

The possible lack of food in the world is a current global issue. genetic engineering aims to satisfy farmers and humanity about the possible food shortages in the world. These genetic modifications cause both positive and negative reactions that are scientifically based. The aim of the work is the elaboration of a study focused on the issue of growing genetically modified crops (biotech crops), their importance for food safety and self-sufficiency, including the analysis of production in terms of impacts on the agroecosystem.

goals:

Describe the basic principles of DNA modification and their use in plant production.

Characterize the importance of growing GM crops, the benefits and risks of their cultivation in relation to the sustainability of ecosystem services, food self-sufficiency and security from a global perspective.

Analyze the current state and extent of growing biotech crops, the representation of GM crops and the use of their production as feed and food.

Keywords: Biotech crops, genetic modifications, cultivation technologies, inputs, ecosystem services, agroecosystem, food safety, self-sufficiency, production labeling, legislation

Seznam tabulek:

| | |
|---|--------|
| Tabulka 1: Celková plocha produkce sóji, bavlny, řepky a kukuřice v roce 2007-2014 (ISAAA 2017) | - 19 - |
| Tabulka 2: Plocha GM řepky pěstované ve 3 státech Austrálie k roku 2016-2017 (ISAAA 2017) | - 20 - |
| Tabulka 3: Plocha GM bavlny pěstované v Austrálii k roku 2016-2017 (ISAAA 2017) . | - 20 - |
| Tabulka 4: Geneticky modifikované plodiny na kterých se provádí výzkum (ISAAA 2017)..... | - 21 - |
| Tabulka 5: Plocha a počty pěstitelů GM kukuřice v ČR..... | - 22 - |

Seznam obrázků a grafů:

| | |
|---|--------|
| Obrázek 1: Schéma DNA dvoušroubovice (Bates Maxwell 2005)..... | - 2 - |
| Obrázek 2: Schéma metody cisgeneze (Schouten et al. 2006)..... | - 5 - |
| Obrázek 3: Schéma metody transgeneze (Schouten et al. 2006)..... | - 5 - |
| Obrázek 4: Princip biolistické metody (Vejl 2007)..... | - 6 - |
| Obrázek 5: Princip techniky rekombinantní DNA (Krutilová, 2016) | - 7 - |
| Obrázek 6: Schéma metody CRISPR/CAS9 (AVČR 2019) | - 8 - |
| Obrázek 7: Mechanismus účinku toxinu Bacillus thuringiensis (Rodríguez A.V 2022)- | 9 - |
| Obrázek 8: Odlišná struktura rostlinného a bakteriálního enzymu (Vlastní úprava dle Vargová D 2009) | - 10 - |
| Obrázek 9: Vývoj jedlých vakcín (Rodríguez A.V 2022)..... | - 13 - |
| Obrázek 10 haló efekt..... | - 25 - |
| Obrázek 11: Transport Bt toxinu do prostředí (Liu et al. 2021)..... | - 29 - |
| Graf 1: Globální stav komercializovaných GM plodin k roku 2012–2017 (ISAAA 2017)..... | - 21 - |
| Graf 2: Dopad pěstování Ht bavlny v USA (1997-2018) na příjmu farmy (\$/ha) | - 23 - |
| Graf 3: Dopad pěstování Ht kukuřice v kolumbii v letech 2009-2018 (\$/ha)..... | - 24 - |
| Graf 4: Dopad pěstování Bt kukuřice v USA v období 1996-2018 (\$/ha)..... | - 24 - |

Seznam zkratek použitých v práci:

A – Adenin

C – Cytosin

ČR – Česká republika

DNA – Deoxyribonukleová kyselina

EFSA – European food safety a Authority

EU – Evropská Unie

FDA – FOOD AND DRUG ADMINISTRATION

G – Guanin

GI – Genetické inženýrství

GM – Genetická modifikace

GMO – Geneticky modifikovaný organismus

GMO – Geneticky modifikovaný organismus

GMP – Geneticky modifikovaná plodina

GPI – glykosylfosfatidylinositol

ILSI CERA – International Life Sciences Institute, Center for Environmental Risk Assessment

ISAAA – **I**nternational Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications

JRC – Joint Research Centre

OSN – Organizace spojených národů

T – **Thymin**

T-DNA – Transferová deoxyribonukleová kyselina

WB – World Bank

WCED - Wolrd Commision on Environment and Development

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development

Obsah

| | | |
|------------|--|---------------|
| 1. | ÚVOD: | - 1 - |
| 2. | LITERÁRNÍ REŠERŠE | - 1 - |
| 2.1.1 | <i>DNA</i> | - 1 - |
| 2.1.2 | <i>Genetické modifikace</i> | - 3 - |
| 2.1.3 | <i>Biotechnologie potravin</i> | - 3 - |
| 2.1.4 | <i>Trvalá udržitelnost</i> | - 4 - |
| 3. | GENETICKÁ MODIFIKACE | - 4 - |
| 3.1.1 | <i>Účely genetické modifikace</i> | - 4 - |
| 3.1.2 | <i>Metody genetické modifikace</i> | - 4 - |
| 3.1.3 | <i>Druhy geneticky modifikovaných potravin</i> | - 8 - |
| 4. | LEGISLATIVA PĚSTOVÁNÍ BIOTECH POTRAVIN | - 13 - |
| 4.1.1 | <i>Evropská a česká legislativa</i> | - 13 - |
| 4.1.2 | <i>Povinnosti zemědělce v České republice</i> | - 14 - |
| 4.1.3 | <i>Značení potravin v České republice</i> | - 14 - |
| 4.1.4 | <i>Kontrolní činnost</i> | - 15 - |
| 5. | SVĚTOVÁ LEGISLATIVA | - 16 - |
| 5.1.1 | <i>Mezinárodní úmluvy</i> | - 16 - |
| 5.1.2 | <i>Mezinárodní organizace</i> | - 16 - |
| 6. | ROZSAH PĚSTOVÁNÍ BIOTECH PLODIN | - 18 - |
| 6.1.1 | <i>Rozsah pěstování ve světě</i> | - 18 - |
| 7. | ROZSAH PĚSTOVÁNÍ V ČR | - 22 - |
| 8. | PŘÍNOSY PĚSTOVÁNÍ GMO | - 23 - |
| 8.1.1 | <i>Vliv na životní prostředí</i> | - 23 - |
| 8.1.2 | <i>Ekonomický prospěch</i> | - 23 - |
| 8.1.3 | <i>Zajištění potravy</i> | - 25 - |
| 9. | RIZIKA PĚSTOVÁNÍ GMO PLODIN | - 26 - |
| 9.1.1 | <i>Vliv na hospodářská zvířata</i> | - 26 - |
| 9.1.2 | <i>Vliv na lidský organismus</i> | - 27 - |
| 9.1.3 | <i>Alergická reakce</i> | - 27 - |
| 9.1.4 | <i>Vliv na životní prostředí</i> | - 28 - |
| 9.1.5 | <i>Negativní postoje veřejnosti</i> | - 29 - |
| 10. | DISKUSE | - 29 - |
| 11. | ZÁVĚR | - 30 - |
| 12. | REFERENCE | - 31 - |

1. Úvod:

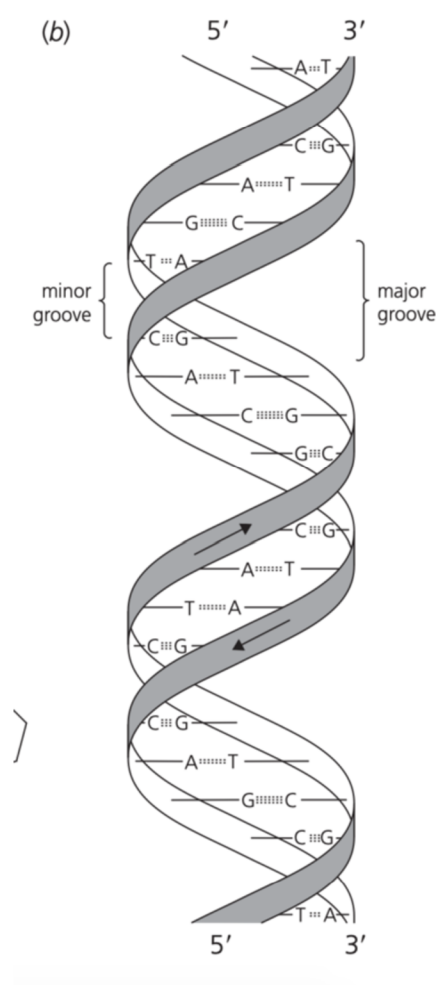
Zemědělství v současnosti živí, obléká a pohání miliardy lidí na světě, s menším počtem farmářů a omezenou dostupností půdy je výzva pro zemědělství udržet krok s rostoucí populací. Právě proto lidé našli způsob, jak tento krok udržet za pomoci biotechnologie, která přispívá k úspěchu moderního zemědělství (Mathur 2017). Za posledních 25 let zaznamenala produkce geneticky modifikovaných plodin více než 100násobný nárůst. V současné době je pěstování přibližně 190 milionů hektarů biotechnologických plodin na celém světě (ISAAA 2020). Geneticky modifikované plodiny získávají na popularitě zejména pro jejich rezistentnost a vyšší výnos. I přes to, že se pěstování geneticky modifikovaných plodin může zdát jako záchrana lidstva před hladověním, jsou tu jisté pochybnosti o jejich bezpečnosti, které nejsou stále zcela jasné (Turnbull et al. 2021).

2. Literární rešerše

2.1.1 DNA

Nositelkou genetické informace je deoxyribonukleová kyselina zkráceně DNA. Tento fakt, že transformující látkou a genetickým materiálem byla DNA, byl objeven až v roce 1944, kdy se Oswald Avery, Maclyn McCarty a Colin MacLeod zaměřili na experiment Fredericka Griffitha, který pracoval na kmenech bakterie *S.pneumoniae* s virulentním a nevirulentním kmenem, výsledkem jeho experimentu bylo zjištěno, že virulentní kmen dokáže přeměnit nevirulentní kmen a tato transformace byla také dědičná (Bates & Maxwell 2005). Za objasnění struktury dvoušroubovice Deoxyribonukleové kyseliny stojí James Watson a Francis Crick v roce 1953. Tento objev poskytl základ moderní molekulární biotechnologii a vedl k dalším objevům a technik genetiky (Bates & Maxwell 2005). Samotná molekula DNA je jednořetězcová až čtyřřetězcová. U eukaryotických buněk, tedy u buněk rostlin, živočichů a hub je DNA pouze dvouřetězcová (double-helix) (Rosypal 1997). DNA šroubovice je složená ze dvou polynukleidových řetězců, které jsou k sobě navzájem orientovány antipalarelně kolem své osy ze směru 5' (uhlík)-> 3' (uhlík) a 3' (uhlík)->5' (uhlík) a tvoří tak primární strukturu dvoušroubovice (obr.1). Dusíkaté báze uvnitř dvoušroubovice jsou heterocyklické sloučeniny, odvozené od daného heterocyklu, purinové a pyramidové. Purinové báze jsou adenin a guanin a pyramidové cytosin a thymin. Dusíkaté báze společně s fosforečnou

skupinou a cukrem tvoří nukleotid, který je základní jednotkou polynukleidového řetězce. Tyto dva polynukleidové řetězce jsou spojovány vodíkovými můstky mezi dusíkatými bázemi a jsou navzájem komplementární v pravidle A-T a C-G (Kočárek 2008). DNA existuje v několika konfiguracích. Nejčastější a nejstabilnější je konfigurace B, která je pravotočivá. Levotočivá forma A a levotočivá forma Z. Tyto formy jsou odlišné od sebe sklonem, průměrem nebo počty párů bází. Jeden typ konfigurace se může měnit na druhý v závislosti na daných podmínkách, což může hrát roli při regulaci genové exprese nebo rekombinaci (Mišurová 1999).



Obrázek 1: Schéma DNA dvoušroubovice (Bates Maxwell 2005)

2.1.2 Genetické modifikace

Genetická modifikace (GM) je oblast biotechnologie, která se zabývá manipulacemi s genetickým materiálem v živých organismech. (Morse & Mannion 2008). Na genetickou modifikaci existuje dvojí pohled, jak na tyto modifikace můžeme nahlížet.

Jeden pohled je čistě legislativní, který je definován dle zákona č. 78/2004 sb., o geneticky modifikovaných organismech a geneticky modifikovaných produktech. Ve kterém je definice o genetické modifikaci diktována takto „cílená změna dědičného materiálu spočívající ve vnesení cizorodého dědičného materiálu do dědičného materiálu organismu nebo vynětí části dědičného materiálu organismu způsobem, kterého se nedosáhne přirozenou rekombinací,“ (Zákon č. 78/2004 Sb. 2004).

Geneticky modifikovaný organismus je definován takto: „Geneticky modifikovaný organismus je organismus, kromě člověka, jehož dědičný materiál byl změněn genetickou modifikací provedenou některým z technických postupů stanovených zákonem“ (Zákon č. 78/2004 Sb. 2004).

Tyto dvě definice popisují pouze zcela cílené vnášení genů nebo soubory genů do DNA buňky nebo vyjmutí některých genů z DNA buňky.

Druhý pohled na genetickou modifikaci je z pohledu samotné genetiky, kdy jakákoliv změna samotné DNA buňky je považována za genetickou modifikaci, tedy i přirozená změna vzniklá evolučním krokem, křížením, šlechtěním nebo náhodnou mutací (Custers & De Vlieger 2006).

2.1.3 Biotechnologie potravin

Biotechnologie podle definice OECD představuje aplikování vědeckých a technologických metod na živé organismy a jejich části, produkty nebo modely za účelem přeměny živých i neživých materiálů pro vytváření znalostí, zboží a služeb (OECD 2001).

2.1.4 Trvalá udržitelnost

Pojetí trvalá udržitelnost byl definován ve zprávě Our Common Future z roku 1987 vydán světovou komisí pro životní prostředí a rozvoj (WCED), který zahrnuje několik kritických cílů, k trvalé udržitelnosti:

- Oživení růstu,
- změna kvality růstu,
- uspokojování základních potřeb pracovních míst, potravin, energie, vody a hygieny,
- zajištění udržitelné úrovně populace,
- zachování a posílení základních zdrojů,
- přeorientování technologie a řízení rizik, a
- slučování prostředí ekonomiky a prostředí. (WCED 1987)

Nejčastější definice definována k trvalé udržitelnosti je Brundtland Report, která zní následovně: „Udržitelný rozvoj je rozvoj, který naplňuje potřeby současnosti, aniž by ohrozil schopnost budoucích generací uspokojovat své vlastní potřeby.“ (Světová komise OSN pro životní prostředí a rozvoj & Brundtland 1987).

3. Genetická modifikace

3.1.1 Účely genetické modifikace

Pokroky technologické molekulární biologie a genetického inženýrství umožnily vyvíjet plodiny se zlepšenými vlastnostmi, jako je tolerance k herbicidům, dobrá odolnost proti hmyzím škůdcům, vyšší výnosy plodin, užitkovost zvířat a v lékařství k léčbě geneticky podmíněných nemocí nebo geneticky modifikovaných mikroorganismy, kteří jsou schopné zpracovat nežádoucí látky z prostředí (Eş et al. 2019).

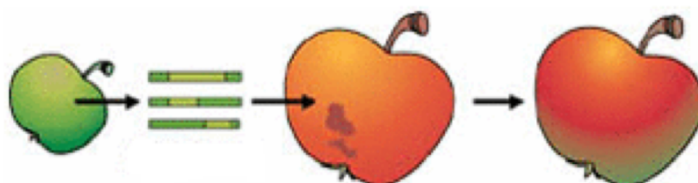
3.1.2 Metody genetické modifikace

3.1.2.1 Cisgeneze

Cisgeneze je jedna z mnoha druhů genetické modifikace, která se neřadí dle legislativy mezi geneticky modifikované, protože probíhá v rámci jednoho druhu, u nichž je možné

vzájemné křížení, tudíž tyto cisgenní organismy mají pouze pozměněné funkce genů, které jsou jejich vlastní a není zde vložena cizí DNA (Schouten et al. 2006).

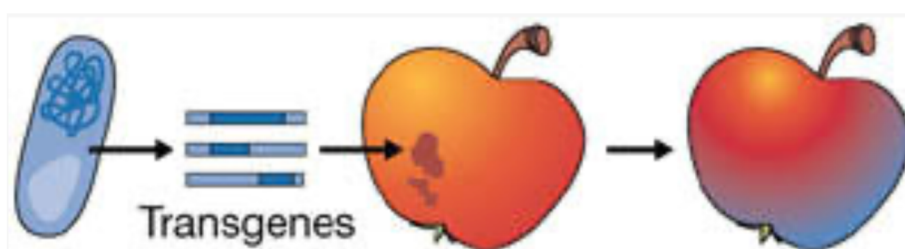
Tato metoda je nejvíce využívána u druhů jablek a brambor. Na příkladu jablek Gala bylo dosaženo rezistence proti strupovitosti jablek, která způsobuje houba *Venturia inaequalis* pomocí vložení genu Rvi6 z odrůdy Florina, která je odolná vůči této houbě (Vanblaere et al. 2014).



Obrázek 2: Schéma metody cisgeneze (Schouten et al. 2006)

3.1.2.1 Transgeneze

Transgeneze je typ genetické modifikace při které dochází k přenosu jednoho nebo více genů z jakéhokoliv nerostlinného organismu nebo dárcovské rostliny, která je pohlavně neslučitelná s receptentní rostlinou (Schouten et al. 2006).



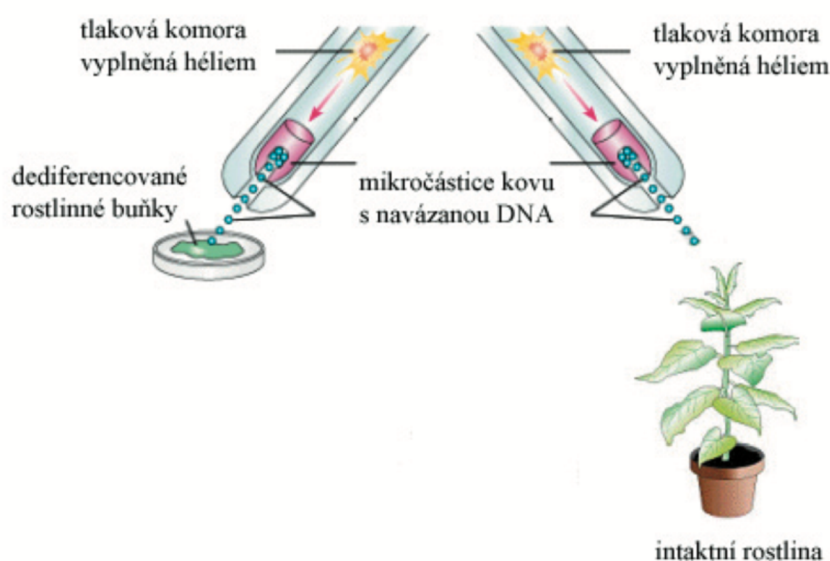
Obrázek 3: Schéma metody transgeneze (Schouten et al. 2006)

Využití transgeneze je mnoho, jedním z nich je metoda transgeneze pro toleranci k herbicidům. U těchto transgenních rostlin je používáno šetrnější hnojivo, které je snadněji odbouratelné, šetrnější k životnímu prostředí a spotřebitele (Ondřej & Drobník 2002).

3.1.2.2 Biolistická metoda

Biolistická metoda (particle bombardment) je založena na principu nabalení DNA na mikročástice netoxických kovů zlata, wolframu nebo platiny o velikosti 1–2 μm a následné vstřelení této částice do těchto částic do rostlinné tkáně za pomoci biolistického děla při velké rychlosti děla při vysoké rychlosti. Potřebnou energii pro překonání buněčné stěny je získáváno na principu přetlaku stlačeného hélia (Vejl 2007).

Výhodou této metody spočívá v použití na širší spektrum buněk a pletiv (Marchant et al. 1998).

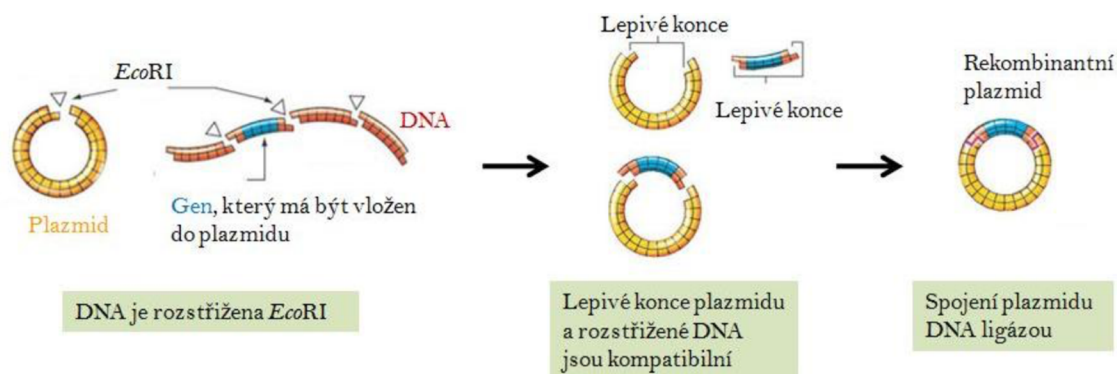


Obrázek 4: Princip biolistické metody (Vejl 2007)

3.1.2.3 Rekombinantní DNA

Rekombinantní technika DNA je společné označení různých biotechnologických postupů. Zakládá se na stejné chemické podstatě dvou různých organismů. Počátečním postupem je izolace DNA z organismu a následná izolace vektoru přenosu, mnohdy z bakteriálního plazmidu. Následujícím krokem je použití enzymů, restrikčních endonukleáz, které jsou přírodně vyprodukovány bakteriemi jako defenzivní mechanismus. Enzymy tohoto druhu jsou schopné štěpit DNA ve specifických

sekvencích. Sekvence DNA, ve kterých jsou restriční endonukleázy uplatňovány, se označují za palidromatické, které jsou v pořadí nukleotidů od 5' konce v obou polynukleidových vlákních DNA. Takto vyštěpená DNA zanechává přesahující jednovláknové úseky s lepivými konci, které mohou být následně vodíkovými můstky spojeny s komplementární sekvencí (Krutilová, 2016).



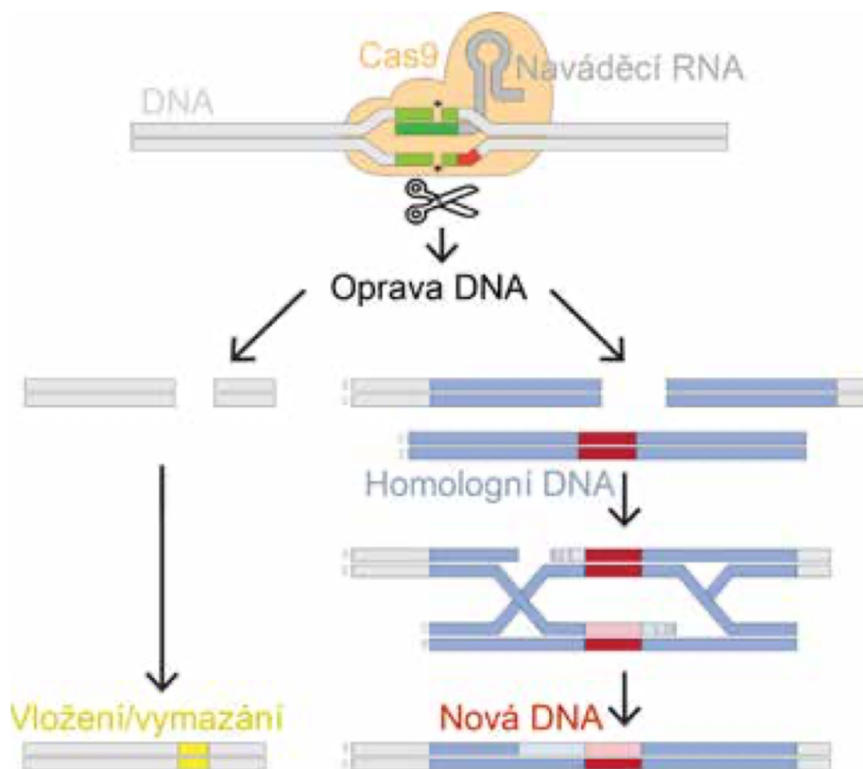
Obrázek 5: Princip techniky rekombinantní DNA (Krutilová, 2016)

3.1.2.4 CRISPR/CAS9

CRISPR/CAS9 je moderní cílená metoda, která se používá od roku 2012. Touto metodou lze vytvářet cílené změny v genomu, vyvolávání přestaveb chromozomů a tím vytvoření nových kombinací což má za následek vylepšení plodiny.

Postup CRISPR/CAS9 začíná vytvoření transferové DNA (T-DNA, která produkuje protein Cas9 a naváděcí RNA. T-DNA je následně vložena do genomu rostliny, protein Cas9 vytvoří v novém genomu komplex s naváděcí RNA, která je orientována na specifické místo genomu. Cas9-RNA komplex se naváže na místo v genomu a přestříhne DNA. Tímto dojde k vyvolání opravného mechanismu DNA, u kterého dochází k chybovosti, dojde k mutaci a vyřazení funkce genu.

Změna ovlivněné sekvence může být taktéž vyvolána DNA molekulou s modifikovaným úsekem, která je ohraničená homologní DNA. Tato molekula se do oblasti změny vloží homologní rekombinací a dojde ke vzniku DNA s novými vlastnostmi (AVČR 2019).



Obrázek 6: Schéma metody CRISPR/CAS9 (AVČR 2019)

3.1.2.5 Transformace protoplastů

Další metodou vzniku GM rostlin je transformace protoplastů. Ty se z rostliny získávají z jejichž listů nebo pylu (Stirn & Lörz 2006). Protoplasty nemají pevnou membránu jako je tomu u ostatních rostlinných buněk, je tak snazší vpravit připravenou DNA do protoplastu. Vpravení DNA do protoplastu je možné za použití elektroporace nebo polyethylenglykolu, které stimuluje přijímání DNA. Pokud jsou takto modifikované protoplasty udržovány ideálním prostředím, nastane jejich regenerace a vyrostou GM plodina (Zhijian et al. 2011).

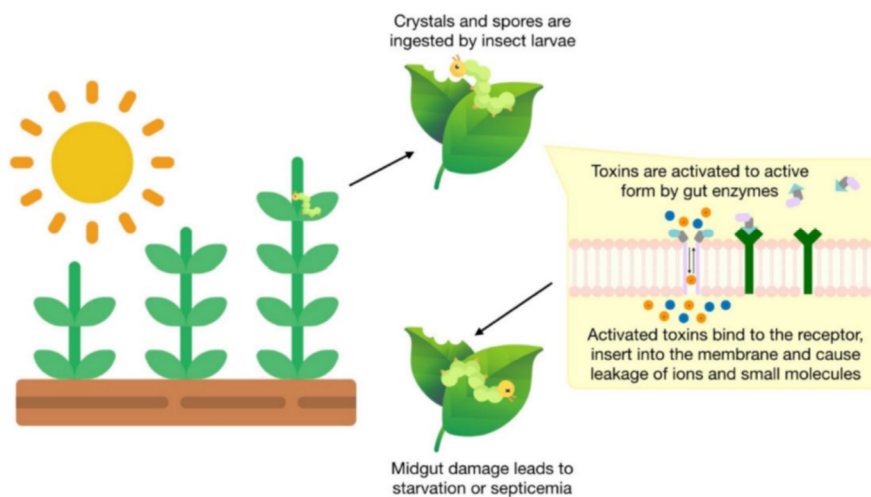
3.1.3 Druhy geneticky modifikovaných potravin

3.1.3.1 Bt plodiny

Ochrana proti hmyzím škůdcům se provádí postřikem insekticidů, které nejsou zcela dobře ochranné a nenabízí takový stupeň ochrany v konvenčním šlechtění kvůli mezidruhovým rozdílům odolnosti na insekticid. Bt plodiny mají ve svém dědičném

materiálu vstřížen cizí gen z gram-pozitivní aerobní bakterie *Bacillus thuringiensis* žijící v půdě produkující tzv. Bt toxiny (Cry a Cyt) (Holec & Soukup 2006), které jsou insekticidní pro své larvální hostitele (Bravo et al. 2011)

Bt plodiny, transformované genem z této bakterie, tvoří v pletivech toxický prototoxin, který se váže na receptory buněk epitelu zažívacího ústrojí hmyzu, způsobí tvorbu pórů, osmoticou nerovnováhu, následný rozpad buněk a úmrtí hmyzu (Rodrigo-Simón et al. 2006).



Obrázek 7: Mechanismus účinku toxinu *Bacillus thuringiensis* (Rodríguez A.V 2022)

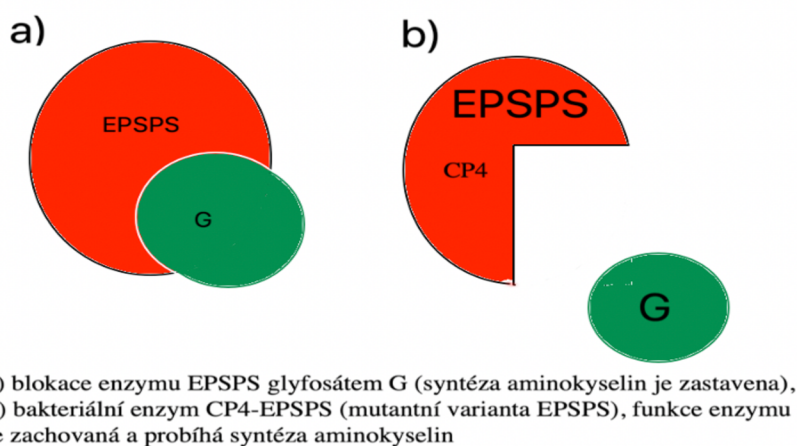
Mechanismus Bt toxinu spočívá rozpuštěním pro-toxinu ve střevní výstelce hmyzu v aktivní formu toxinu díky vysokému pH a redukčním podmínkám. Aktivní toxin se pak naváže na kadherinový receptor. Interakce s tímto receptorem vede k odštěpení krátkého N-terminálního helixu ze struktury Cry toxinu, což umožní za účasti receptoru spřaženého s GPI (glykosylfosfatidylinositol) zformování oligomeru, který poté prostupuje membránou. Vzniklých pórů a způsobí smrt hmyzu (Řehořová et al. 2017).

Výhodou těchto plodin je nižší mechanické poškození, díky snížení vstupů do porostů, zlepšená kvalita produktu a ochrana před zavíječem kukuřičným (*Ostrina Nubilalis*) způsobující výnosové ztráty a tím vyšší výnos sklizně (Mz 2009).

Jako Bt plodiny se pěstuje nejvíce kukuřice, která získala jako první plodina povolení pro pěstování v EU a je zpracovávána jako krmivo. Nadále se pěstuje rýže, brambor, bavlník, sója nebo cukrová řepa a lilek (MZeČR 2009)

3.1.3.2 Ht plodiny

Postupy ochrany plodin jsou navrženy tak, aby omezily výskyt a dopady škůdců plodin, včetně plevelů. Plevelé jsou stálým a nežádoucím výskytem pro farmáře a jejich úrodu. Pro pěstované plodiny jsou to konkurenti o živiny, vodu, světlo a prostor (Slater et al. 2008). K ničení plevelů jsou používány herbicidy. Herbicidy jsou tzv. selektivní, které ničí pouze plevelé a kulturní plodinu nepoškozují a tzv. neselektivní (postemergentní) herbicidy proti velkému spektru plevelů, které ničí i kulturní plodinu (Clive 2012). Příkladem takového neselektivního herbicidu je glyfozát. Plodiny rezistentní proti glyfozátu, obsahující enzym EPSPS izolovaný z plísňe *Neurospora crassa* a jsou jedním z nejrozšířenějších Biotech produktů. Glyfozát způsobuje blokadu rostlinného enzymu 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát syntáza (EPSP), zabraňuje tvorbě aromatických aminokyselin (tryptofan, tyrozin a fenylalanin), růstu rostliny a přísun dalších látek potřebných pro růst a tím redukuje a úhynu plodiny (Ondřej & Drobník 2002). Rezistence na glyfozát, které se vyvinuly v zemědělských populacích plevelů je mnoho. Plodiny tolerantní vůči glyfozátu jsou rezistentní díky nukleidovému polymorfismu v cílovém místě ve formě „výměny“ EPSP za EPSPS CP-4 enzym (Perotti et al. 2018) z bakterie *Agrobacterium tumefaciens* CP-4, která má odlišnou strukturu od rostlinného enzymu EPSP (VIZ.OBR.-) a tím je zajištěna syntéza aminokyselin.



Obrázek 8: Odlišná struktura rostlinného a bakteriálního enzymu (Vlastní úprava dle Vargová D 2009)

3.1.3.3 Plodiny rezistentní vůči virům

Plodiny rezistentní vůči virům patří mezi okrajové odvětví GI. Rezistentnost plodiny spočívá ve vložení genetické informace jeho obalových proteinů a díky expresi genu (genetická informace v genu je převedena do struktury proteinu) se nemůže vir pomnožit v buňce plodiny (Hammond-Kosack & Parker 2003).

Nejznámější druh rezistentní vůči virům je papája, pěstované na Havajských ostrovech za pomoci gram negativní půdní bakterie *Agrobacterium tumefaciens* rezistentní vůči nekrotické kroužkovitosti papáji (Papaya Ringspot Virus) a *Papaya Leaf-Distortion Mosaic Virus*, který způsobuje mozaikovitě zkreslení listů. Rezistence proti virům je pěstována řada produktů, např. lilku nebo tabáku (Pang et al 2000).

3.1.3.4 Plodiny rezistentní vůči houbám a plísním

Plodiny napadení hmyzem jsou často sekundárně onemocněny plísnovou infekcí, což má za následek úbytku obdělávané plodiny. V GI se k rezistenci používá exprese fungitoxického proteinu. Na příkladu touto metodou byl transformován tabák (Brogie et al. 1991).

3.1.3.5 Plodiny rezistentní k abiotickému stresu

Změny klimatu, zvýšená teplota, zasolení půd, změna pH, záplavy a rostoucí populace nadále ovlivňují růst rostlin, jejich vývoj a v konečném důsledku výnos. GI si nese za úkol tyto problémy minimalizovat šlechtěním odrůd plodin, které jsou odolnější vůči těmto vlivům (Collier et al. 2017).

Technologie rekombinantní DNA (viz.kapitola 3.1.2) způsobila revoluci ve vývoji plodin odolných vůči abiotickému stresu (Pande & Arora, 2017).

Odolnosti k abiotickému stresu se dosahuje mnoha způsoby jedním z nich je regulace osmotické rovnováhy buňky expresí kyseliny abscisové (ABA), GA (kyselina gibberelová), SA (kyselina salicylová), JA (kyselina jasmanová, ET (etylen) a auxiny, který hrají důležitou roli v reakci na abiotický stres a jsou ústředním prvkem aklimatizačních mechanismů rostlin, proměnlivému prostředí, regulaci růstu, vývoj

a/nebo lokace živin (Roy 2016). Dalším způsobem ochrany je inkorporace bioprotektivního disacharidu trehalóza do polymerního řetězce jako pendantní skupina, který je izolavný z mnoho druhů řas, hub a bakterií (Burek et al. 2015).

3.1.3.6 Plodiny s vylepšenými vlastnostmi

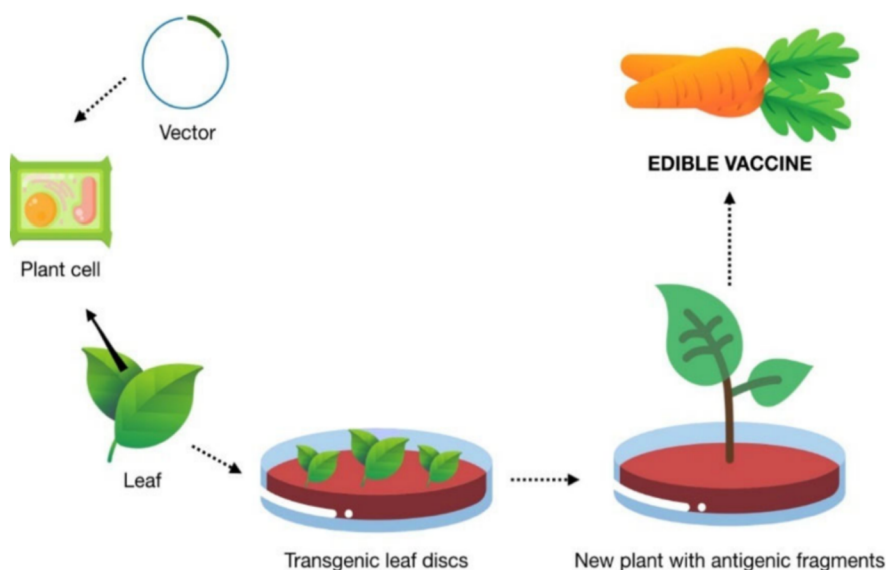
Plodiny GM si kladou za cíl nejen zlepšení rezistentních, nutričních vlastností ale taktéž prodloužení trvanlivosti. První rostlinný produkt geneticky modifikován bylo rajče označením „Flavr Savr“ s prodlouženou dobrou trvanlivostí, která byla indukovaná zpětným genem pro produkci enzymu PG (polygalakturonáza) (Slater et al. 2008).

Dalšími významnými druhy je zlatá rýže (Golden rice 1 a Golden rice 2), která v jihovýchodní Asii, tvoří hlavní součást potravy, zajišťuje obživu pro 3,8 miliónu lidí a pro mnoho obyvatel je jedinou potravinou. Do Golden rice 2 byl přidán bakteriální gen *cr1* a gen psy z kukuřice. Takto modifikovaná rýže má 23krát vyšší obsah β -karotenu tvořený v endospermu na hodnotu 31 mikrogramů (Paine et al. 2005), který se v lidském těle přetvoří na vitamin A (Ondřej & Drobník 2002). Takto modifikovaná rýže se stala první komercializovanou plodinou pěstovanou na Filipínách v roce 2021 (De Steur et al. 2022).

3.1.3.7 Jedlé vakcíny

Lidé používají rostliny jako terapeutické produkty tisíce let, jakožto zásobárnou cenných farmakologických látek. Rostliny se v poslední době staly atraktivní platformou pro výrobu jedlých vakcín. Vzhledem k tomu, že vývoj konvenční vakcíny je zdoluhavý a nákladný, může být v mnoha situacích extrémně obtížné zvládnout propuknutí onemocnění. Světová zdravotnická organizace si dala za cíl najít levné vakcíny, které budou snadno dostupné obyvatelstvu a snadno skladovatelné bez nutnosti chlazení (Miranda et al. 2020). Tyto rostlinné mají mnoho benefitů. Mohou vytvářet slizniční imunitu, nevyžadují injekční podání a jsou pro mnohé více snášeny. mohou být potažmo usušeny či filizovány a představují benefit v logistice v pěstování na místě potřeby. Velmi častou zkoumanou plodinou pro vývoj jedlé vakcíny jsou brambory (Tethanus), rýže (Cholera), rajče (Antrax), hlávkový salát (Hepatitida B) a špenát (vzteklina) (Kurup & Thomas 2019).

Obrázek.č.-) Vývoj jedlých vakcín, převzato ze (zdroj obrázku)



Obrázek 9: Vývoj jedlých vakcín (Rodríguez A.V 2022)

4. Legislativa pěstování biotech potravin

4.1.1 Evropská a česká legislativa

Právní předpisy označování potravin v oblasti GMO v Evropské unii (EU) byly vytvořeny už začátkem 90. let, které byly později v roce 1999-2003 v době moratoria. Tyto předpisy vychází z principu předběžné opatrnosti a patří mezi nejpřísnější pravidla v celosvětovém měřítku (Leňková & Zdeňková 2019).

Pro evropskou unii jsou platná následující směrnice a nařízení:

- nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1829/2003, o geneticky modifikovaných potravinách a krmivech
 - Postup schvalování GM potravin a krmiv
 - Hranice pro povinné označování
- nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1831/2003, o sledovatelnosti a označování GMO,
 - systém sledovatelnosti a označování
- nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1946/2003, o přeshraničních pohybech GMO,

- Vývoz a dovoz GMO
- směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2001/18/ES, o záměrném uvolňování geneticky modifikovaných organismů do životního prostředí,
 - Právní předpis s nakládání GMO
- směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/41/ES, o uzavřeném nakládání s geneticky modifikovanými mikroorganismy (Směrnice 2009/41/ES).

Směrnice č. 2001/18/ES a č. 2009/41/ES jsou přeneseny do české legislativy pod zákon č.78/2004Sb., o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty. Které jsou konkretizovány (viz.kapitola 2.1.2) (Zákon č. 78/2004 Sb. 2004).

4.1.2 Povinnosti zemědělce v České republice

Zemědělec se musí řídit zákony a vyhláškami ČR, která mu přesně stanovují podmínky pro pěstování GMO, který mají spíše ochranný charakter. Mezi povinnosti zemědělce patří poskytnutí informací o GM plodině do 30 dnů po zasetí okolním zemědělcům, povinnost zaslání formuláře na SZIF do stejné doby jako okolním zemědělcům a povinnost dodržení minimální vzdálenosti, která je rozdílná dle sousedních produktů. Vzdálenost se určuje, zda je GM potravina pěstována vedle ekologické potraviny, kde tato vzdálenost činí 200 m, nebo Ne-GM potraviny, kde je vzdálenost 70 m. Vzdálenost mezi GM potravinou a ekologicky pěstovanou potravinou lze zkrátit obsevem, kdy jedna řada nahrazuje 2 m při počtu minimálně 30 řad o šíři jedné řady 0,7 m. Výjimkou ohlašovací povinnosti vůči půdě okolních zemědělců vlastníků této půdy nepodléhá, pokud do 140 m leží na vlastním pozemku a v okolí do 400 m se nenachází žádný jiný zemědělský ekologický podnik (MZeČR 2009).

4.1.3 Značení potravin v České republice

Informovanost spotřebitele pro snadné rozlišení GMO produktu a GMO-FREE se řídí Nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č.1169/2011.

Pro produkt platí povinnost slovního označení „obsahující geneticky modifikovaný organismus“, které jsou dobře čitelné a viditelné. V České republice osoba uvádějící na trh

GMP je povinná na obal produktu nebo v průvodním listu také uvést údaje o jméně, adresu sídla osoby, který náleží z některých členských států EU, která je zodpovědná za uvedení na trh, obchodní název genetického produktu a údaj o získání podrobností genetického produktu.

Jedinou výjimku mají GM potraviny, které nepřesahují povolenou hranici, tzn. obsah autorizovaných GMO musí být nižší než 0,9 % a obsah GM v příměsi 0,1 %. Tyto dvě výjimky jsou povoleny pouze pokud jsou tyto stopy technicky nevyhnutelné nebo zcela náhodné.

Pod označení GMO nespádají produkty živočišného původu jako jsou vejce, maso a mléko (Zákon č. 153/2000 Sb.)

Krmiva samotná už označena podléhají legislativě (vyhláška č. 209/2004).

Označování GMO pozemků není v České republice zmíněno, tudíž nepodléhá označení. Na tyto informace se fyzická osoba musí odkazovat na Ministerstvo zemědělství.

4.1.4 Kontrolní činnost

Mezi kontrolní úřady v rámci GMO v ČR patří:

- Státní veterinární správa,
- Státní zemědělská a veterinární inspekce,
- Ústřední kontrolní a zkušební úřad zemědělský,
- Státní ústav pro kontrolu léčiv,
- Ústav pro státní kontrolu veterinárních biopreparátů a léčiv, a státní rostlinolékařská správa (MZČR 2004).

EFSA

(European food safety a Authority) je nejvýznamnější úřad evropské unie pro kontrolu bezpečnosti potravin založen v roce 2002. Má 8 klíčových environmentálních rizik pro GMO:

- Změny ve způsobilosti rostlin v důsledku genetické informace
- potencionální přenos genů a jeho důsledky pro životní prostředí

- interakce mezi organismy
- interakce s biogeochemickými procesy a abiotickým prostředím
- účinky na zdraví zvířat a lidí
- dopady konkrétních technik pěstování, hospodaření a sklizně a strategie řízení rizik (EFSA 2012)

Sám o sobě neprovádí přezkumnou činnost, ale na žádost Evropské komise, Evropského parlamentu a jednotlivých členských států EU. Je zodpovědná za hodnocení rizik oznámených biologických činitelů, které mají být zavedeny do potravinového řetězce v souvislosti s registrací. K tomu zavedla (QPS) kvalifikovaný předpoklad bezpečnosti, který byl zaveden jako obecný přístup hodnocení rizik a je definován jako „*předpoklad založený na přiměřených důkazech*“ (Leuschner et al. 2010).

5. Světová legislativa

5.1.1 Mezinárodní úmluvy

Na mezinárodní úrovni se o problematiku geneticky modifikovaných organismů zabývá Cartagenský protokol o biologické bezpečnosti. Cílem tohoto protokolu je zabezpečení manipulace, zachování biologické rozmanitosti, přeprava a použití modifikovaných organismů, které mohou mít nepříznivé účinky na biodiverzitu a lidské zdraví.

V roce 2019 po dohodě se čtyřiceti smluvními stranami, byl vypracován Nagojskokualumpurský protokol, oficiálním názvem “Nagoya – Kuala Lumpur Supplementary Protocol on Liability and Redress to the Cartagena Protocol on Biosafety“, který si klade za cíl předběžné opatrnosti, k zajištění úrovně ochrany v oblasti přenosu a využívání GMO a zaměření se na převoz gmo přes hranice jednotlivých států (Sdělení č. 89/2005 Sb.).

5.1.2 Mezinárodní organizace

Organizace zabývající se GMO je pestrá škála. Mezi takové organizace s mezinárodní úrovní se zabývá Světová zdravotnická organizace, Světová obchodní organizace...

OECD

Předchůdce OECD (organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj) byla organizace pro evropskou hospodářskou spolupráci (OEEC) na základě plánu evropské obnovy tzv. Marshallův plán (OECD 2009). OECD byla založen roku 1961, vydala dokument, který posuzuje bezpečnost rekombinantní DNA. Dokument uvádí GMO rizika a jejich posuzování pod názvem Moudrá kniha, vytvořila jednoznačné označování GM rostlin, kdy každá odrůda má kód, pod kterým se umožňuje hledání specifických vlastností plodiny (Doubková 2013).

OSN

Organizace spojených národů, pod které patří Organizace UNEP, organizace kontrolující životní prostředí, organizace pro výživu a zemědělství (FAO) jejíž součástí jsou smlouvy zabývající se GMO:

- Mezinárodní smlouva o rostlinných genetických zdrojích pro výživu a zemědělství,
- mezinárodní úmluva na ochranu rostlin,
- mezinárodní úřad pro epizoon,
- Výbor pro rybářství (FAO 2016)

ISAAA

Mezinárodní služba pro akvizici zemědělsko-biotechnologických aplikací (ISAAA) je organizace podporující biotechnologie v rozvojových zemích, která sdílí vědecké znalosti v oblasti GMO a zemědělství, napomáhá dodávce a přenosu biotechnologií, napomáhá farmářům v rozvojových zemích a je sponzorována biotechnologickým průmyslem (ISAAA 2016).

ILSI CERA

Organizace ILSI CERA (International Life Sciences Institute, Center for Environmental Risk Assessment) vznikla v roce 2009. Za cíl si klade rozvíjení a uplatňování

biotechnologií v zemědělství, výrobě potravin, paliv a zakládá si na celkové transparentnosti jejich působení (CERA 2016).

JRC

Joint Research Centre (Společné výzkumné centrum), spolupracuje s několika organizacemi po celém světě, sdílí know-how se zeměmi EU, vědeckou komunitou a mezinárodními partnery, provádí výzkum jaderné bezpečnosti s cílem přispět k přechodu na bez uhlíkové zemědělství nebo zaměstnává vědce k provádění nezávislým výzkumům (JRC 2016).

6. Rozsah pěstování biotech plodin

6.1.1 Rozsah pěstování ve světě

Lidská populace dle OSN dosáhne přibližně 9 miliard do roku 2050. S nárůstem populace roste míra spotřeby potravin, což vede k tlaku na globální zásobování potravinami. Tento stav zhoršuje globální změna klimatu antropogenních aktivit. Geneticky modifikované plodiny jsou považovány za jedny z klíčových k udržení stabilního ekosystému. (Barrows et al. 2014). Všechny kontinenty na světě oznámili komercializaci geneticky modifikovaných plodin. Mezi roky 1996-2014 došlo k exponenciálnímu nárůstu plochy geneticky modifikovaných plodin a v těchto letech byly nejběžnějšími pěstovanými plodinami patří Sója, kukuřice, řepka olejka a bavlník. V následujících letech 2014–2017 se zvýšila plocha biotechnologických plodin na 189,8 miliónů hektarů. V jednotlivých zemí v roce 2016-2017 se zvýšil zájem o biotechnologické plodiny, v celosvětovém měřítku průměrně o 3 % viz (obr). A v současné době dle *ISAAA* je pěstováno 190 miliónů hektarů (ISAAA 2017).

Tabulka 1: Celková plocha produkce sóji, bavlny, řepky a kukuřice v roce 2007-2014 (ISAAA 2017)

| Rok | Celková plocha produkce (miliony hektarů) | | | |
|------|---|--------|-------|----------|
| | Sója | Bavlna | Řepka | Kukuřice |
| 2007 | 58,60 | 15,00 | 5,50 | 35,20 |
| 2008 | 65,80 | 15,50 | 5,90 | 37,30 |
| 2009 | 69,20 | 16,10 | 6,40 | 41,70 |
| 2010 | 73,30 | 21,00 | 7,00 | 46,00 |
| 2011 | 75,60 | 24,70 | 8,20 | 51,00 |
| 2012 | 80,70 | 24,30 | 9,20 | 55,10 |
| 2013 | 84,50 | 23,80 | 8,16 | 56,64 |
| 2014 | 91,02 | 25,16 | 9,00 | 55,20 |

Celková celosvětová plocha, na které se pěstují tyto čtyři plodiny v rozmezí 2007-2014, je 368 milionů hektarů, přičemž 181,5 milionu připadala na GM plodiny (tabulka 1).

6.1.1.1 Amerika

Amerika je považována za globálního lídra ve vývoji geneticky modifikovaných plodin má téměř 30 % podíl na celosvětovém trhu v oblasti biotechnologií. V roce 2014 dosahovali 40% hektarů globální plochy. Dle US National Agricultural Statistics Service v roce 2013 tvořily GM plodiny 90 % celkové produkce kukuřice, bavlny a řepky olejky. 93 % sóji a 95 % celkové produkce plodin cukrové řepy (James 2014). Na rozdíl od EU a většiny států, nemají Spojené státy žádný zákon, který by reguloval pěstování geneticky modifikovaných plodin nebo povinnosti označování samotných produktů. Produkty z geneticky modifikované jsou posuzovány podle zdravotních, bezpečnostních a ekologických zákonů, které se vztahují na konvenční produkty (Turnbull et al. 2021).

6.1.1.2 Asie a Tichomoří

Asie má ze všech světadílů nejvíce populace, proto je zde produkce GM plodin klíčový. Ze všech 45 Asijských zemí jen 18 zemí pěstuje geneticky modifikované plodiny. Největším zastáncem biotechnologického výzkumu je Čína a Indie, které spolu s Pákistánem a Barmou se zabývá Bt-bavlnou (James 2014). V současnosti Indie pěstuje nejvíce Bt plodiny na světě. Celková plocha pro pěstování GM bavlny v Číně byla v roce 2014 na 3,9 milionech hektarech s bavlnou rezistentní proti viru a 8000 ha papáji

rezistentní proti viru *PRSV* pěstované v provincii Guangdong, Hunan a Guangxi. V Thajsku je pěstování GM plodin zakázáno, probíhají zde pouze výzkumy na GMP.

6.1.1.3 Austrálie

Austrálie patří ve světovém žebříčku na 12. místo mezi zeměmi pěstujícími biotechnologické plodiny. Celková plocha k roku 2017 činí 924 000 hektarů. Plocha 200 043 hektarů náleží GM bavlně a 492 000 ha GM řepky.

Tabulka 2: Plocha GM řepky pěstované ve 3 státech Austrálie k roku 2016-2017 (ISAAA 2017)

| Stát | Hektary | | % řepky na stát | |
|-------------------------------------|---------|---------|-----------------|------|
| | 2016 | 2017 | 2016 | 2017 |
| Nový Jižní Wales | 54,970 | 68,163 | 10 | 10 |
| Viktorie | 47,069 | 56,900 | 13 | 13 |
| Západní Austrálie | 344,188 | 366,466 | 28 | 28 |
| kompletní plocha biotechnické řepky | 446,226 | 491,528 | 21 | 24 |

Tabulka 3: Plocha GM bavlny pěstované v Austrálii k roku 2016-2017 (ISAAA 2017)

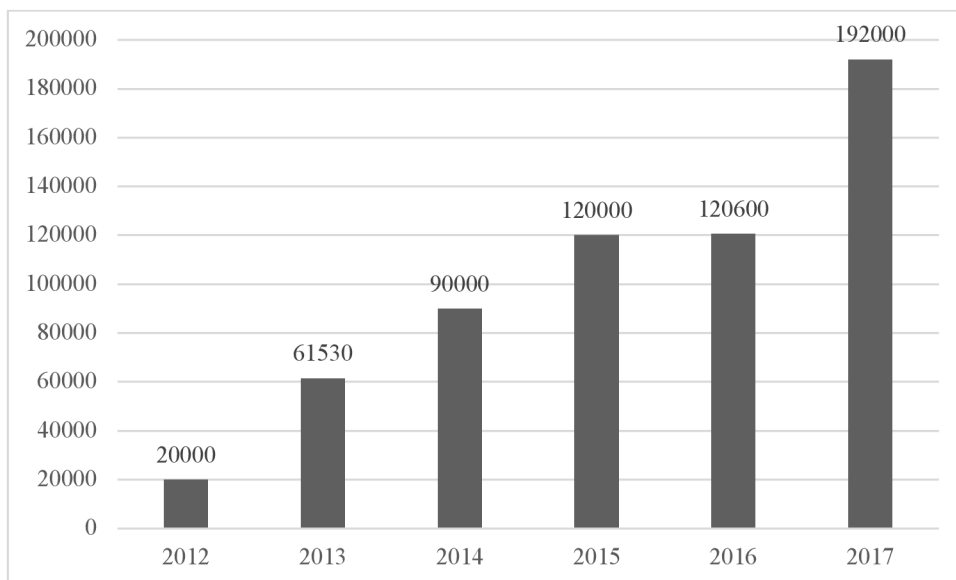
| | Osazená plocha (miliony hektarů) | | % GM hektarů | |
|----------------|----------------------------------|-------|--------------|------|
| | 2016 | 2017 | 2016 | 2017 |
| Celková bavlna | 0,413 | 0,432 | | |
| HT bavlna | 0,012 | 0,016 | 3,1 | 3,8 |
| IR/HT | 0,392 | 0,416 | 96,9 | 96,2 |

6.1.1.4 Afrika

Afrika je třetí největší kontinent na světě, který disponuje nepříznivými podmínkami pro zemědělství. Dle zprávy WB (Světová banka) z roku 2007 uvedla, že více než nad polovina afrického kontinentu je nevhodná pro farmaření způsobené degradací půdy.

Afrika tvoří více než 60 % zemědělců (Paarlberg 2010), kteří nedisponují dostatkem skladovacích zásob, surovin a technologií pro obdělávání jejich půdy. Má velké environmentální dopady a biotechnologický průmysl má zde potenciál v pěstování GMP. GM plodiny se v Africe pěstují pouze v Jihoafrické republice, Burkina Faso a Súdánu, (Eicher et al. 2006). Mezi hlavní GMP pěstované v Africe patří kukuřice, sója a bavlna.

V roce 2017 bylo vysazeno z těchto plodin přes 2,73 miliónů hektarů. V Súdánů roku 2017 bylo vysazeno celkem 192 tis. hektarů Bt bavlny (Graf.1) pěstované více než 90 tis. zemědělci, která poskytla 2-3 krát vyšší výnos než u konvenčních odrůd.



Graf 1: Globální stav komercializovaných GM plodin k roku 2012–2017 (ISAAA 2017)

Další Africké země pěstující geneticky modifikované plodiny jako je Kamerun, Nigerie, Ghana, Burkina Faso, Etiopie, Kenya, Uganda, Tanzanie, Mosambik, Malawi a Svazijsko pěstují na svých oblastech i plodiny, na kterých provádí výzkumy. Jsou konkretizovány v následující tabulce.

Tabulka 4: Geneticky modifikované plodiny na kterých se provádí výzkum (ISAAA 2017)

| | |
|----------|--|
| Kukuřice | Tolerance vůči suchu a hmyzu |
| Bavlna | Odolnost proti hmyzu |
| Čirok | Zvýšení mikroživin |
| Rýže | Tolerance vůči slaným půdám |
| Banán | Biofortifikace, odolnost proti viru <i>Xanthomonas a BBTV, BXW</i> |
| Brambor | Odolnost vůči plísním |
| Batáty | odolnost viru sladkých brambor |
| Maniok | Manioková mozaika, CBSV |

7. Rozsah pěstování v ČR

Česká republika patřila v roce 2010 k osmi zemím EU, která pěstovala GMP. Od roku 2010 jako první schválila pěstování Bt odrůdy kukuřice a GM brambory Amflora. Čeští pěstitelé spatřovali pěstování Bt kukuřice jako pozitivní spíše z bio-ekonomického charakteru (Bednář 2000). V české republice je povoleno dle Ministerstva životního prostředí České republiky pouze hrách setý, ječmen jarní, ječmen s peptidem LL37, slivoň a sója s genem LTB. (MžpČR) Kukuřice v letech 2005-2016 byla pěstována jako krmivo, bioplyn a bioethanol Později od roku 2009 začínal klesat počet pěstitelů kvůli problému s odbytem a administrativní zátěží. (Viz.tabulka.1) V roce 2019 byly provedeny pouze polní pokusy s GM rostlinami na celkové ploše s obsevem 5910 m². Na této ploše byly vysety, Slivoň klon C5, sója LTB a ječmen LL37 (MŽPČR 2019).

Tabulka 5: Plocha a počty pěstitelů GM kukuřice v ČR

| Rok | Plocha (ha) | Počet pěstitelů |
|------|-------------|-----------------|
| 2005 | 150 | 51 |
| 2006 | 1 290 | 82 |
| 2007 | 5 000 | 126 |
| 2008 | 8 380 | 167 |
| 2009 | 6 480 | 121 |
| 2010 | 4 680 | 82 |
| 2011 | 5 090 | 64 |
| 2012 | 3 050 | 41 |
| 2013 | 2 560 | 31 |
| 2014 | 1 754 | 18 |
| 2015 | 997 | 11 |
| 2016 | 75 | 1 |
| 2017 | 0 | 0 |
| 2018 | 0 | 0 |
| 2019 | 0 | 0 |

8. Přínosy pěstování GMO

8.1.1 Vliv na životní prostředí

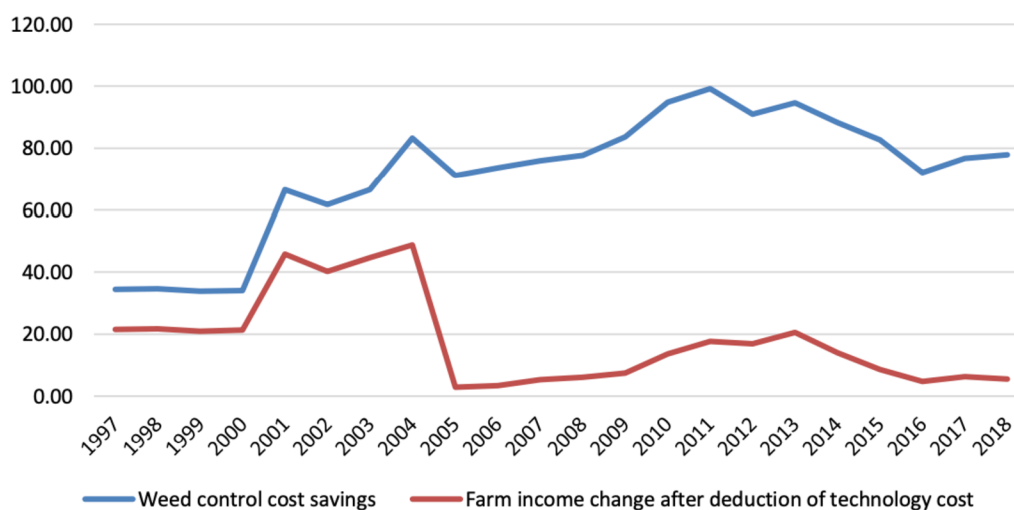
V důsledku pěstování GMP, které přispívají ke snížení využití paliva z důvodu méně častých aplikací herbicidů a insekticidů je snížena spotřeba paliva a uvolňování CO₂ (oxid uhličitý) do ovzduší. Emise skleníkových plynů z produkce na farmě přispívají farmáři zhruba jednou pětinou až jednou čtvrtinou celkových emisí ze všech lidských činností (IPCC 2017). Podle Brookes et al. (2020) představovaly v roce 2018 GM Ht plodiny pěstované v USA, Bolívii, Španělsku a Jižní Africe představovali úsporu 2,456 milionů kg CO₂ v důsledku snížení spotřeby paliva o 920 milionů litrů.

8.1.2 Ekonomický prospěch

8.1.2.1 Dopad na příjem farem používající herbicid tolerantní plodiny

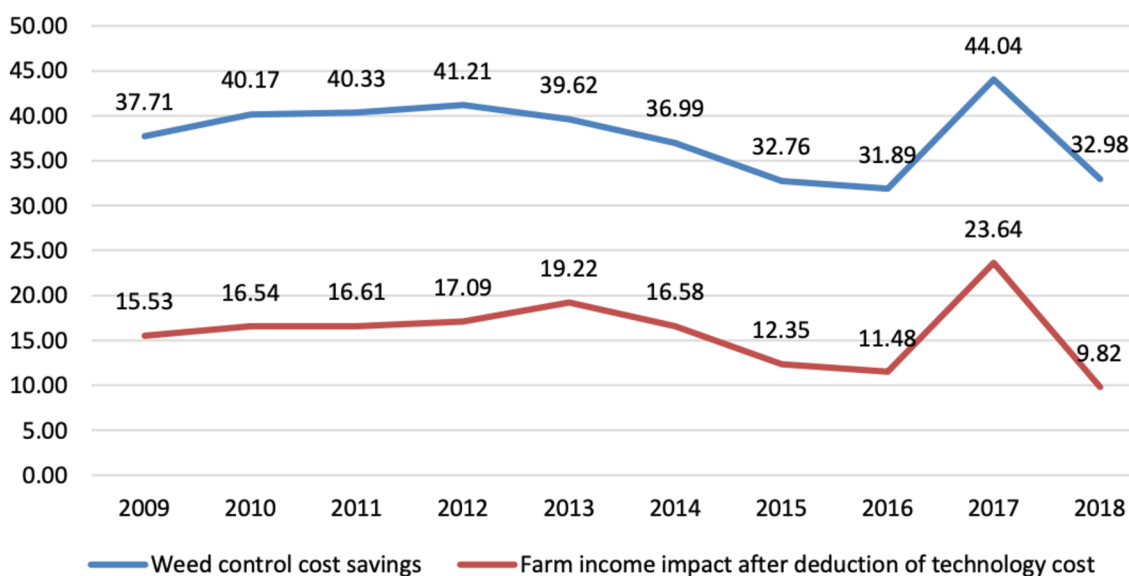
Všechny plevele mají schopnost vytvoření rezistence vůči herbicidům. Podle The International Survey of Herbicide Resistant Weeds je pšenice postižena největším počtem druhů plevelů odolných vůči herbicidům. Jakmile jsou plevele ponechány nekontrolovatelné, výnosové ztráty se pohybují od 10 % do 50 % v závislosti na hustotě plevelu, druhu a době trvání interference.

Následující grafy poukazují na ekonomický dopad pěstování Ht plodin během let 1997–2018 v různých zemích.



Graf 2: Dopad pěstování Ht bavlny v USA (1997-2018) na příjmu farmy (\$/ha)

Primárním přínosem bylo snížení nákladů na odstranění plevelu, a tedy zlepšení úrovně ziskovosti farmy, kdy hromadný zisk farmy mezi období 1997–2018 činil 1,15 miliardy USD.

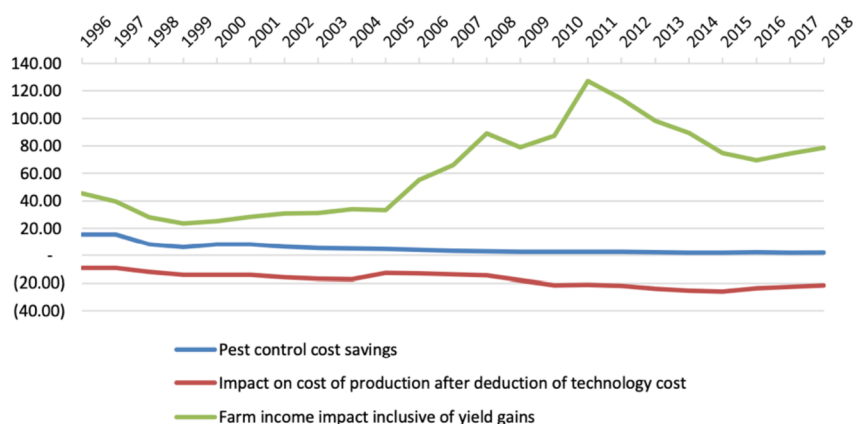


Graf 3: Dopad pěstování Ht kukuřice v kolumbii v letech 2009-2018 (\$/ha)

Průměrný zisk farmy za období 2009–2018 činil 15,66 \$/ha, přičemž hromadný zisk za toto období činil 9.55millionů USD.

8.1.2.2 Dopad na příjem farem pěstující Bt plodiny

Geneticky modifikována kukuřice byla v USA vysazena v roce 1996, kdy po její vysazení byl čistý ekonomický nárůst mezi 1\$/ha a 9\$/ha. Celkový zisk pěstováním Bt kukuřice činil od roku 1996 kdy činil 13,54 mil USD vzrostl na 2,36 miliardy USD a průměrný zisk činil +95,9\$/ha.



Graf 4: Dopad pěstování Bt kukuřice v USA v období 1996-2018 (\$/ha)

8.1.2.3 Haló efekt

Obecně lze ekonomického zisku dosáhnout i nepřímou ochranou před zavíječem kukuřičným pomocí tzv. Haló efektu (obr.-), kdy Bt kukuřice je vysázena vedle konvenční kukuřice. Samičky zavíječe kukuřičného nakladou vajíčka na plodiny Bt kukuřici a konvenční kukuřici. Bt kukuřice je odolná vůči zavíječi, a tudíž zavíječ přežije pouze v konvenční kukuřici. Tímto celkově dochází k částečnému poškození konvenční kukuřice, která vykazuje vyšší výnos a ke snížení populace zavíječe kukuřičného (Wan et al.2012).



Obrázek 10 haló efekt

8.1.3 Zajištění potravy

Nedostatek potravy a podvýživa je celosvětově hlavním rizikovým faktorem zdravotních následků a úmrtí, která je spojena s 3 miliony dětských úmrtí ročně, což je polovina všech dětských úmrtí na světě (Black et al. 2013). Přibližně 2 miliardy lidí trpí nedostatkem jedné nebo více mikroživiny. Téměř 820 milionů lidí hladoví a přibližně 26,4 % světové populace je postiženo závažným nedostatkem potravin (UN News 2020).

9. Rizika pěstování GMO plodin

Klíčovými problémy hodnocení rizik GM plodin jsou domnělá invazivita, vertikální nebo horizontální tok genů, další ekologické dopady, účinky na biologickou rozmanitost a dopad přítomnosti GM materiálu v jiných produktech (Conner et al. 2003).

Proto je taktéž vyžadována přísná kontrola postupu, jakým je daná plodina či zvíře geneticky modifikována.

Při hodnocení rizika je nutno vzít v úvahu následující charakteristiky:

- Příjemce, případně rodičovského organismu
- Dárcovského organismu, pokud je dárcovský organismus v průběhu genetické modifikace použit
- Vektoru a vloženého dědičného materiálu, včetně signálních a selekčních genů, pokud jsou použity
- Výsledného geneticky modifikovaného organismu,
- Místa, způsobu a rozsahu nakládání s geneticky modifikovaným organismem nebo genetickým produktem,
- Životního prostředí v místě nakládání s geneticky modifikovaným organismem nebo genetickým produktem a vzájemného působení těchto prvků. (Vyhláška 209/2004 Sb. mzp)

9.1.1 Vliv na hospodářská zvířata

Pro negativní vliv na hospodářská zvířata je vědecká publikace velmi vzácná.

Existuje však několik případů, kdy GM kukuřice způsobila prasatům falešnou březost, estrální cyklus se zcela zastavil nebo samice porodily vaky s vodou a podobné problémy se objevily i u krav. Samci po krmení GM kukuřicí byli téměř neplodní. Toxikologické testy odhalily, že všechna zvířata krmena GM kukuřicí, byli pozitivní na houbu rodu *Fusarium* (Smith 2015). Nikterak se ale nedokázalo, zda je příčinou těchto problémů plíseň, a proto byl proveden výzkum na univerzitě Baylor College of Medicine, kdy potkanům podestýlali touto kukuřicí a výsledkem byla absence rozmnožování a

nevykazovali ani reprodukční chování. Následné testy odhalily třídy sloučenin (tetrahydrofuranidol a leukotoxinidol), které v izolaci narušují funkci žláz s vnitřní sekrecí (Heineman 2005).

9.1.2 Vliv na lidský organismus

Schválené GMP nenesou oficiálně žádná rizika o zdravotních problémech, která by byla vědecky zcela podložena. výzkum, k tomuto se přiklání několik institucí, generální ředitelství pro výzkum EU, WHO, Národní akademie, Britská lékařská asociace i Francouzská akademie věd (Paarlberg 2010). Zatímco se k této problematice EU, a i jiné národní organizace mají obezřetně, odpůrci GM potravin tvrdí, že dlouhodobé účinky GM potravin na lidské zdraví zůstávají neznámé, protože tyto produkty nebyly dostatečně testovány. Mnoho farmářů potvrdilo zdravotní důsledky konzumací nebo pěstování GMP. V roce 2003 a 2004 se na Filipínách objevila onemocnění, alergická reakce a střevní potíže téměř u 100 obyvatel poblíž pěstované Bt kukuřice. Jejich krevní testy odhalily protilátky na Bt-toxin, žádná ale oficiální zpráva nedokazuje tuto spojitost pěstováním Bt kukuřice (Smith 2007). Na druhou stranu jsou i pozitivní výsledky na pěstování GMO plodin z hlediska snížení použití karcinogenních chemických látek (herbicidů a insekticidů). Zemědělci v rozvojových zemích mají průměrnou velikost farem <10 akrů, což má za následek četného používání pesticidů manuálně. Vystavení chemikáliím na pokožku vede k otravě pesticidy. Zemědělci v Jižní Africe snížili aplikaci pesticidů díky pěstování GMP z 11,2 na 3,8., přičemž hlášená otrava pesticidy klesla z 50 na <10 během prvních 4 let od přijetí Bt bavlny (Bennet et al. 2003). Další studie 21leté produkce kukuřice kvantifikovala, že Bt kukuřice obsahovala nižší koncentrace karcinogenních mykotoxinů (29 %), fumonismů (31 %) a trikotecenů (37 %) (Pellegrino et al. 2018).

9.1.3 Alergická reakce

Alergická reakce může být způsobena i malými dávkami bílkovin (proteinů). Takřka všechny alergeny jsou bílkovinné povahy. Jen velmi malá část bílkovin nacházející se v potravinách jsou alergeny, a proto riziko alergie z náhodně vybraných bílkovin je velmi malé. V populaci je přibližně 0,5 % lidí, kteří vnímají citlivost na některé potravinové

alergeny. Jedná se zejména o některé frakce bílkovin semen obilovin (např. pšenice), luštěnin, brazilské ořechy, arašidy, některé glykoproteiny pylu a také alergenní živočišné proteiny. Alergické proteiny mají velkou odolnost vůči trávicím enzymům a tato odolnost může být modelována v laboratoři. Testování alergií je velmi důležitým bezpečnostním prvkem pro GMO produkty, jelikož u produktů pocházejících z genetického inženýrství jsou výsledkem často nové GMO proteiny. Proteiny geneticky modifikovaných produktů, které byl použity v současných geneticky modifikovaných plodinách jsou testovány na rozložitelnost enzymy a alergenních vlastnostech (Ondřej M 2002).

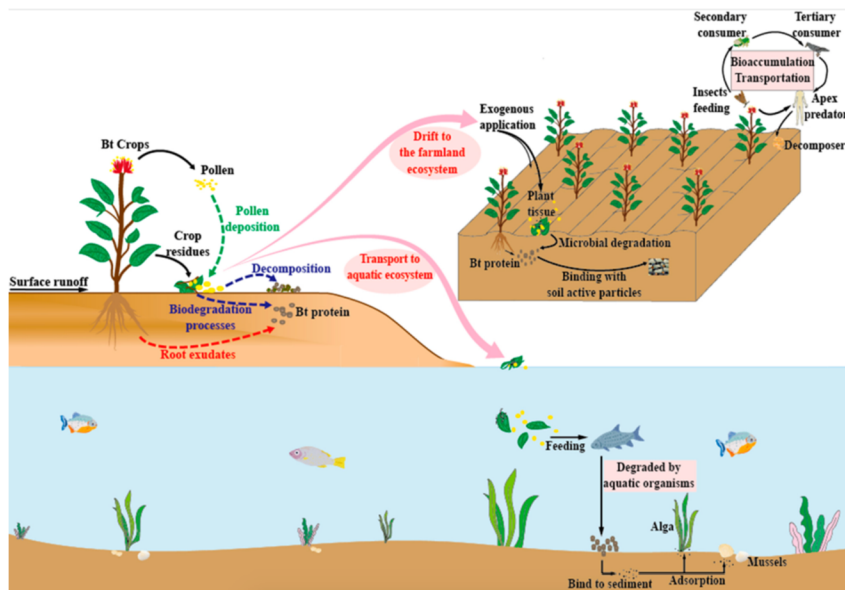
9.1.4 Vliv na životní prostředí

9.1.4.1 Bt proteiny

Bt proteiny jsou do zemědělského ekosystému uvolňovány celým svým tělem, zejména skrze kořenové exsudáty nebo pylu, které jsou uvolňovány a přenášeny prostřednictvím větru na jiné plodiny což způsobuje difundaci do prostředí, absorpci do půdy (zejména v jílovitých půdách), zadržení Bt toxinů v půdě, absorpci mikroorganismy, rostlinami a organismy, kteří tyto rostliny konzumují (Losey et al. 1999).

Absorbce Bt toxinu funguje na procesu kationtové výměny látek nebo prostřednictvím elektrostatické interakce (Liu et al. 2021).

Napříkladu Bt toxický protein dopadající z Bt plodiny na plevele může mít negativní účinky na organismy živící se plevelem. Takto vyloučené proteiny se dostanou i do vodních ekosystémů, kde jsou tyto toxiny filtrovány až po velmi dlouhou dobu v závislosti na rozdílu, druhu, teplotě a kvalitě vody. Bt toxiny jsou poté absorbovány řasami a vodními organismy. Neustálé přidávání zbytků Bt může vést ke dlouhodobé expozici vodních organismů, což má za následek chronické a subletální účinky (Kratz et al. 2010).



Obrázek 11: Transport Bt toxinu do prostředí (Liu et al. 2021)

9.1.5 Negativní postoje veřejnosti

Negativní postoj ke GMO vyplývá z obav toxických a aleregenních účinků na organismus, umělého zásahu do přírody a socioekonomických obav (Blancke a kol. 2015). Tato rizika jsou zabezpečována na úrovni EU a České republiky a jejich striktní legislativa může vyvolávat názor, že se jedná o nebezpečné zacházení s organismem ohrožující zdravý člověka, zvířat a životního prostředí. Tento negativní postoj setrvává i přes řadu mnoha studií, které neprokázaly žádný nežádoucí vliv GMO na zdraví člověka a živočichů, nebo negativní vlivy na životní prostředí (Blancke a kol. 2015). Veřejnost mnohdy není schopna nebo nemá snahu investovat čas k porozumění kompletní problematice GMO. Obavy z rizik geneticky modifikovaných plodin je mnohdy ovlivněno emocemi a intuicí, které jsou ovlivňovány hlavně negativní podání GMO, téměř neověřenými skutečnostmi a nereálnými informacemi. Ponětí o GMO lze do jisté míry vylepšit erudicí a vyšší obeznameností (Blancke a kol. 2015).

10. Diskuse

Genové inženýrství je uplatňováno v mnoho oblastech průmyslu a biologie. Tato technologie je relativně nová a vyvolává diskuse o možných zdravotních a

environmentálních rizik. Bezpečnost těchto GM plodin a krmiv je vnímána negativně, a to i přes to, že bezpečnost GM plodin je zajišťována na úrovni EU a České republiky, kde je hodnocení možných rizik zajišťováno na principu předběžné opatrnosti (Batista 2009). Zatímco samotné předpisy USA o geneticky modifikovaných krmiv a plodin se zdaleka liší od EU. V USA schvaluje FDA GM plodiny, které realizují samotní tvůrci. Není odlišováno, zda plodiny pochází z genetického inženýrství nebo konvenčního šlechtění ale především se zaměřuje na konečný produkt, který na rozdíl od EU nemusí být označen jako produkt geneticky modifikován (Lau 2015). I přes tuto benevolentní politiku USA je v této problematice jistá pochybnost o zdravotních rizicích, kdy na základě současných zdravotních problémů jako je cukrovka, obezita etc. školní komise v Seattlu instruovala, aby odstranili GM potraviny ze školních jídelníčků.

Většina článků zabývající se GMO je pozitivních, musíme brát také v úvahu, že velké množství publikací, jsou dotovány biotechnologickým průmyslem, kde zmínka o škodlivosti je nulová. Publikace, které nejsou biologickým průmyslem dotovány, popisují i negativní dopady na organismus nebo životní prostředí. GM plodiny byly brány jako původní záměr pro nakrmení lidstva před možným rizikem nedostatku potravin, ochrana rostlin před suchem a škůdci. Při rozhodování, zda je anebo není GMO škodlivý, stojí nadnárodní firmy a organizace, kdy spíše za argumentem stojí nakrmení lidstva a pozitivní dopad na životní prostředí bez negativních vlivů a negativní dopady jsou označeny za tajné obchodní informace. Zatímco mnoho autorů uvádí, že GM plodiny nemohou nakrmit celé lidstvo a mají dokonce negativní vliv na hospodářská zvířata krmena GM krmivy, kdy u mláďat koz krmeny Bt kukuřicí vykazují záhadný vliv úmrtí, u kuřat se mortalita dokonce zdvojnásobila nebo pokusy na laboratorních myších vykazují četné zdravotní potíže a zvětšení jater (Smith 2015).

11. Závěr

Genetické inženýrství nachází uplatnění v zemědělství přes 25 let, má spoustu příznivců a odpůrců, kteří mají své pro a proti argumenty.

Tato bakalářská práce je věnována problematice geneticky modifikovaných plodin.

Především na jejich hodnocení jak environmentálních, tak zdravotních či ekonomických. Je věnována rozdělení druhů plodin a jejich využití. Legislativa týkající se genetických organismů je podrobně popsána na světové, nadnárodní tak i české úrovni, kde se bere

v potaz princip předběžné opatrnosti, který vůči některým plodinám, které byly uvedeny na trh má své velmi silné opodstatnění.

Po prostudování dané problematiky, která byla čerpána především ze zahraničních vědeckých publikací, jsem dospěl k názoru, že geneticky modifikované plodiny mají v dnešní době velmi silný potenciál pro moderní zemědělství než konvenční zemědělství, které naráží na své limity. Vzhledem k úbytku srážek v některých oblastech světa a tím degradaci obdělávané půdy je důležité najít rychlé východisko, aby se zabránilo možnému nedostatku potravin, který dle OSN může nastat již v roce 2050. Na druhou stranu GMO mají agronomické riziko vůči konvenčním plodinám, kdy mohou znečistit osivo konvenčních odrůd pomocí pylu a následné kontaminace do celého agrosystému. Na závěr musím podotknout, že mnoho studií, které byly použity v této bakalářské práci byli dotovány samotným biotechnologickým průmyslem.

12. Reference

Akademie věd České republiky. 2019. Genetické modifikace plodin. AVČR, Praha.

Barrows G, Sexton S, Zilberman D. 2014. Agricultural Biotechnology: The Promise and Prospects of Genetically Modified Crops. *Journal of Economic Perspectives* **28**:99-120.

Bates AD, Maxwell A. 2005. DNA Topology. OUP Oxford, Oxford.

Bednář J. 2000. Základy genového inženýrství rostlin. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

Bennet R, Buthelezi TJ, Ismael Y, Morse S. 2003. Bt cotton, pesticide labour and health; a case study of smallholder farmers in the Makhathini Flats Republic of South Africa. *Agricultural Outlook* **32**:123-128.

Black R et al. 2013. Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *Lancet* **382**:427-451.

Bravo A, Likitvivatanavong S, Gill SS, Soberón M. 2011. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* **7**:423-431.

Brogliè K, Chet I, Holliday M, Cressman R, Biddle P, Knowlton S, Mauvais CJ, Brogliè R. 1991. Transgenic plants with enhanced resistance to the fungal pathogen *Rhizoctonia solani*. *Science* **254**:1194-1197.

Brookes G, Barfoot P. 2020. Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996-2018: impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops & Food* **4**:215-241.

Burek M, Waśkiewicz S, Wandzik I, Kamińska K. 2015. Trehaloza – właściwości, biosynteza, zastosowanie. *Chemik* **69**:469-476.

CERA. 2016. About Us. CERA. Available from (Accessed April 2022).

Clive J. 2012. Global Status of Commercialized Biotech/Gm Crops. ISAAA, Ithaca NY.

Collier RJ, Renquist BJ, Xiao Y. 2017. A 100-Year review: Stress physiology including heat stress. *J Dairy Sci* **12**:10367-10380.

Conner AJ, Glare TR, Nap JP. 2003. The release of genetically modified crops into the environment. *The Plant Journal* **33**:19-46.

Custers R, De Vlieger E. 2006. Průvodce biotechnologiemi – Biotechnologie v zemědělství a potravinářství. Academia, Praha.

De Steur H, Stein AJ, Demont M. 2022. From Golden Rice to Golden Diets: How to turn its recent approval into practice. *Global Food Security* **32**.

Doubková Z. 2013. OECD a biotechnologie. *Svět biotechnologií* **6**.

Eicher CK, Maredia K, Sithole-Niang I. 2006. Crop biotechnology and the African farmer. *Food Policy* **6**:504-527.

Eş I, Gavahian M, Marti-Quijal FJ, Lorenzo JM, Khaneghan AM, Tsatsanis C, Kampranis SC, Barba FJ. 2019. The application of the CRISPR-Cas9 genome editing machinery in food and agricultural science: Current status, future perspectives, and associated challenges. *Biotechnology Advances* **3**:410-421.

- European Food Safety Authority. 2012. Guidance on the risk assessment of food and feed from genetically modified animals and on animal health and welfare aspects. EFSA, Parma.
- Evropský parlament a Rada. 2009. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/41/ES o nakládání s geneticky modifikovanými mikroorganismy. 1382 in Úřední věstník Evropské unie. Česká republika.
- FAO. 2016. About FAO. FAO, Řím. Available from <https://www.fao.org/about/en/> (accessed April 2022).
- Hammond-Kosack KE, Parker JE. 2003. Deciphering plant-pathogen communication: fresh perspective for molecular resistance breeding. *Current Opinion in Biotechnology* **14**:177-193.
- Holec J, Soukup J. 2006. Pěstování transgenních odrůd polních plodin – stav a perspektivy. Pages 10-16. Sborník přednášek ze semináře pořádaného Ministerstvem zemědělství ČR a Českou zemědělskou univerzitou v Praze. Ministerstvo zemědělství ČR a ČZU v Praze, Praha.
- ISAAA. 2016. ISAAA in Brief. ISAAA. Available from (accessed April 2022).
- ISAAA. 2017. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017. ISAAA Briefs **53**.
- IPCC. 2017. Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2). IPCC, Ženeva.
- JRC. 2016. About Us. JRC. Available from (Accessed April 2022).
- Kočárek E. 2008. Genetika, 2. vydání. Scientia, Praha.
- Kratz W, Mante C, Hofmann F, Shlechtriemen U, Kuhn U, Ober S, Vögeld R. 2010. Exposure of maize harvest by-products to aquatic ecosystems and protected nature reserves in Brandenburg, Germany. *Theoretische Ökologie* **16**:21-23.
- Krutilová R. 2016. Přínosy a rizika GMO [MSc. Thesis]. Masarykova Univerzita, Brno.
- Kurup V, Thomas J. 2019. Edible Vaccines: Promises and Challenges. *Molecular Biotechnology* **62**:79-90.
- Leňková L, Zdeňková K. 2019. Trendy ve značení geneticky modifikovaných organismů. *Chemické listy* **5**:282-291.

- Leuschner RGK et al. 2010. Qualified presumption of safety (QPS): a generic risk assessment approach for biological agents notified to the European Food Safety Authority (EFSA). *Trends in Food Science & Technology* **21**:425-435.
- Liu J, Liang Y, Hu T, Zeng H, Gao R, Wang L, Xiao Y. 2021. Environmental fate of Bt proteins in soil: Transport, adsorption/desorption and degradation. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **226**.
- Losey JE, Rayer LS, Carter ME. 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* **399**.
- Marchant R, Power JB, Lucas JA, Davey MR. 1998. Biolistic Transformation of Rose (*Rosa hybrida* L.). *Annals of Botany* **81**:109-114.
- Ministerstvo zahraničních věcí České republiky. 2005. Sdělení č. 89/2005 Sb., o sjednání Cartagenského protokolu o biologické bezpečnosti k Úmluvě o biologické rozmanitosti. Page 5722 in *Sbírka mezinárodních smluv České republiky, 2005, částka 42. Česká republika.*
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2004. Zákon č. 78/2004 Sb., o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty. Page 1165 in *Sbírka zákonů České republiky, 2004, částka 25/2004. Česká republika.*
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2009. Dosavadní zkušenosti s pěstováním geneticky modifikované BT kukuřice v ČR. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.
- Ministerstvo životního prostředí České republiky. 2004. Vyhláška č. 209/2004 Sb., o bližších podmínkách nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty. Page 3258 in *Sbírka zákonů České republiky, 2004, částka 70/2004. Česká republika.*
- Ministerstvo životního prostředí České republiky. 2019. Přehled nahlášených polních pokusů s GM plodinami v ČR v roce 2019. MŽPČR, Praha. Available from (Accessed October 2021).
- Miranda EC, Ruiz-Cabello VC, Hurtado MC. 2020. Food biopharmaceuticals as part of a sustainable bioeconomy: Edible vaccines case study. *New Biotechnology* **59**:74-79.
- Mišúrová E. 1999. *Molekulární biologie*, 1. vydání. Univerzita P. J. Šafárika, Košice.
- Morse S, Mannion AM. 2008. *Genetically Modified Cotton and Sustainability*. Whiteknights, Reading.
- Ondřej M, Drobník J. 2002. *Transgenozé rostlin*, 1. vydání. Academia, Praha.

- Organisation for Economic Co-operation and Development. 2001. Second OECD Ad Hoc Meeting on Biotechnology Statistics. OECD, Paříž.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. 2009. Exploration in OEEC History. OECD, Paříž.
- Paine JA et al. 2005. Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. *Nature Biotechnology* **4**:482-487.
- Pande A, Arora S. 2017. Molecular Strategies for Development of Abiotic Stress Tolerance in Plants. *Cell & Cellular Life Sciences Journal* **2**.
- Pang SZ, Fan FJ, Tricoli DM, Russel PF, Carney KJ, Hu JS, Fuchs M, Quemada HD, Goncalves D. 2000. Resistance to squash mosaic comovirus in transgenic squash plants expressing its coat protein genes. *Molecular Breeding* **6**:87-93.
- Paarlberg R. 2010. GMO foods and crops: Arica's choice. *New Biotechnology* **5**:609-613.
- Pellegrino E, Bedini S, Nuti M, Ercoli L. 2018. Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a metaanalysis of 21 years of field data. *Scientific Reports* **8**:1-12.
- Perotti VE, Larran AS, Palmieri VE, Martinatto AK, Alvarez CE, Tuesca D, Permingeat HR. 2018. A novel triple amino acid substitution in the EPSPS found in a high-level glyphosate resistant *Amaranthus hybridus* population from Argentina. *Pest Management Science* **75**:1242-1251.
- Rodrigo-Simón A, de Maagd RA, Avilla C, Bakker PL, Molthoff J, González-Zamora JE, Ferré J. 2006. Lack of detrimental effects of *Bacillus thuringiensis* cry toxins on the insect predator *Chrysoperla carnea* : a toxicological, histopathological, and biochemical analysis. *Applied and Environmental Microbiology* **72**:1595-1603.
- Rosypal S. 1999. Úvod do molekulární biologie III, Druhé rozšířené vydání. Brno.
- Roy S. 2016. Function of MYB domain transcription factors in abiotic stress and epigenetic control of stress response in plant genome. *Plant Signaling & Behavior* (e1117723) DOI: 10.1080/15592324.2015.1117723.
- Řehořová K, Viktorová J, Macek T. 2017. Současná situace v oblasti užití geneticky modifikovaných rostlin. *Chemické Listy* **111**:307-313.
- Schouten HJ, Krens FA, Jacobsen E. 2006. Cisgenic plants are similar to traditionally bred plants: International regulations for genetically modified organisms should be altered to exempt cisgenesis. *EMBO Reports* **7**:750-753.

Slater A, Scott NW, Fowler MR. 2008. Plant Biotechnology – the genetic manipulation of plants, second edition. Oxford University Press, Oxford.

Smith JM. 2007. Genetic Roulette. Yes! Books. Fairfield IA.

Světová komise OSN pro životní prostředí a rozvoj, Brundtland GH. 1987. Our Common Future. Oxford University Press, Oxford.

Turnbull C, Lillemo M, Hvoslef-Eide T. 2021. Global Regulation of Genetically Modified Crops Amid the Gene Edited Crop Boom – A Review. *Frontiers in Plant Science* **12**.

Mathur, V., Javid, L., Kulshrestha, S., Mandal, A., and Reddy, A. A. 2017. “World Cultivation of Genetically Modified Crops: Opportunities and Risks, **25**: 45–87.

UN News. 2020. Over 820 Million People Suffering from Hunger; New UN Report Reveals Stubborn Realities of 'Immense' Global Challenge. UN News. Available from (Accessed April 2022).

Vanblaere T, Flachowsky H, Gessler C, Broggin G. 2013. Molecular characterization of cisgenic lines of apple 'Gala' carrying the *Rvi6* scab resistance gene. *Plant Biotechnology Journal* **1**:2-9.

Vejl P. 2007. Geneticky modifikovaný organismus z pohledu genetiky a šlechtění. GMO v agrosystému a jeho okolí. Ministerstvo zemědělství ČR a ČZU v Praze, Praha.

Wan P, Huang Y, Tabashnik B. 2012. The Halo Effect: Suppression of Pink Bollworm on Non-Bt Cotton by Bt Cotton in China. *PLoS ONE* **7** (e42004) DOI: 10.1371/journal.pone.0042004.

Weinheim WVCH. 2006. Genetically Modified Plants. Pages 27-63 in Stirn S, Lörz H, editors. Genetically engineered food: methods and detection, 2nd revised and enlarged edition. Wiley-Blackwell, Hoboken.

Western Cape Education Department. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. WCED, Kapské Město.

World Bank. 2007. The Growth Report: Strategies for sustained growth and inclusive development. World Bank Publications, Washington, D.C.

Zhijan TL, Saraband AD, Gray DJ. 2011. Genetic Engineering Technologies. Pages 423-434 in Trigiano RN, Gray DJ, editors. Plant Tissue Culture, Development and Biotechnology. CRC Press, Boca Raton.

Přílohy

Seznam příloh:



Příloha 1: Titulek přílohy

