

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Pěstování geneticky modifikovaných plodin ve světě
Bakalářská práce**

Autor práce: Anna Neprašová

Program studia: Zemědělství a rozvoj venkova

Specializace: Ekologické zemědělství

Vedoucí práce: Ing. David Bečka, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Pěstování geneticky modifikovaných plodin ve světě" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce panu Ing. Davidu Bečkovi, Ph.D, za odborné vedení a rady při psaní této bakalářské práce. Dále svým rodičům za podporu během celého studia.

Pěstování geneticky modifikovaných plodin ve světě

Souhrn:

V této bakalářské práci jsem řešila pěstování geneticky modifikovaných plodin ve světě. Používání těchto plodin má na celém světě své příznivce a odpůrce. Na začátku jsem proto řešila počátek pěstování modifikovaných plodin, jejich historii a vznik včetně používání v zemědělství v různých zemích světa. První modifikovanou rostlinou v roce 1983 byl tabák odolný vůči antibiotikům. V roce 1994 následovala asi nejznámější GM plodina, rajče Flavr Savr. U jeho počátku stál Endless Summer, fyziolog rostlin, který dopomohl schválení úřady.

Další kapitoly se věnují pěstování v několika světových zemích a vývoji pěstitelských ploch. Plochy oseté GM plodinami se stále zvyšují. V roce 1996 to bylo 1,7 milionů hektarů, v roce 2019 již 190,4 milionů hektarů. Největší podíl má USA s 78,06 miliony hektary, dalšími významnými zeměmi jsou Brazílie a Argentina. V současnosti se používá velké množství chemických látek kvůli většímu výnosu plodin, podmínky prostředí se zhoršují, je větší sucho a více škůdců. Pokračuji tedy charakteristikou hlavních pěstovaných GM odrůd plodin, z nich je nejvíce zastoupena sója. Zabírá téměř polovinu výměry z celkových ploch osetých GM plodinami. Používá se v různých odvětvích rostlinné výroby.

Stále rostoucí populace a zhoršující se podmínky pro život, to je aktuální téma pro část populace. Jednou z možností využití GM plodin je produkce většího objemu potravin. Využívá se k tomu herbicidní rezistence a Bt plodiny, ty zajistí odolnost rostliny a přežití horších podmínek prostředí. Zároveň mohou snížit ekonomickou náročnost a zlepšit pracovní podmínky. Proto jsou v práci dále uvedeny skutečnosti spojené s přínosy a riziky na zdraví lidí a zvířat a jejich vliv na životní prostředí při používání těchto plodin. Zástupcem je GM rýže Golden rice, která byla navržena tak, aby produkovala vysokou hladinu β -karotenu, a tím podpořila produkci vitaminů A.

Není opomenuta ani situace a legislativa v Evropské Unii, České republice a jejich srovnání s dalšími zeměmi jako jsou Spojené státy americké. Evropská Unie je opatrná v zavádění GMO. Členské země mají různé názory, přesto dodržují danou legislativu. V České republice jsou schválené 2 plodiny, kukuřice a brambory. Obě se v minulosti na území našeho státu pěstovali.

Cílem je získat objektivní informace o pěstování geneticky modifikovaných plodin na světě, zhodnocení nejvíce pěstovaných modifikovaných plodin a země, kde se pěstují. Vyplývá zde, že nejvíce se modifikované plodiny pěstují v Americe, především ve Spojených státech amerických. Evropská Unie je v tomto ohledu spíše zdrženlivá. Důvodem je rozdílná legislativa a přístup vlády a občanů nyní i v minulosti. Nejvíce pěstovanou plodinou je sója, která má široké uplatnění na celosvětovém trhu.

Klíčová slova: Bt-plodiny, GM plodiny, plochy, rizika, Roundup Ready, výhody

Cultivation of genetically modified crops in the world

Summary:

In this bachelor's thesis, I dealt with the cultivation of genetically modified crops in the world. The use of these crops has its supporters and detractors all over the world. At the beginning, I dealt with the beginning of the cultivation of modified crops, their history and origin, including their use in agriculture in different countries of the world. The first modified plant in 1983 was antibiotic-resistant tobacco. In 1994, the best-known GM crop, the Flavr Savr tomato followed it. It was discovered by Endless Summer, a plant physiologist who helped get it approved by the authorities.

Other chapters are devoted to cultivation in several world countries and the development of cultivation areas. Areas with GM crops are still increasing. In 1996 it was 1.7 million hectares, in 2019 it is already 190.4 million hectares. The USA has the largest share with 78.06 million hectares, other important countries are Brazil and Argentina. Currently, a large amount of chemicals are used for higher crop yields, environmental conditions are deteriorating, there is more drought and more pests. So I continue with the characteristics of the main cultivated GM crop varieties, of which soy is the most represented. It occupies almost half of the acreage of the total areas sown with GM crops. It is used in various branches of plant production.

The ever-growing population and deteriorating living conditions are a topical issue for part of the population. One of the possibilities of using GM crops is the production of a larger volume of food. Herbicide resistance and Bt crops are used for this, they will ensure the resistance of the plant and the survival of worse environmental conditions. At the same time, they can reduce economic demands and improve working conditions. Therefore, the work also presents the facts related to the benefits and risks to the health of people and animals and their impact on the environment when using these crops. A representative is the GM Golden rice, which was designed to produce a high level of β -carotene, thereby supporting the production of vitamins A.

The situation and legislation in the European Union, the Czech Republic and their comparison with other countries such as the United States of America are also not neglected. The European Union is cautious about the introduction of GMOs. Member countries have different opinions, but they still follow the legislation. In the Czech Republic are approved 2 crops, corn and potatoes. Both were cultivated in the past. The goal is to obtain objective information about the cultivation of GM crops in the world. It follows that the most modified crops are grown in America, especially in the United States of America. The European Union is rather restrained in this regard. The reason is the different legislation and attitude of the government and citizens now and in the past. The most cultivated crop is soy, which is widely used in the global market.

Keywords: area, benefits, Bt-crop, GM crops, risks, Roundup Ready

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce.....	2
3 Literární rešerše.....	3
3.1 Vznik a historie geneticky modifikovaných organismů	3
3.1.1 Rozdělení GMO	6
3.1.1.1 První generace GMO.....	6
3.1.1.2 Druhá generace GMO	7
3.1.1.3 Třetí a čtvrtá generace GMO	8
3.2 Pěstování GMO ve světě	8
3.2.1 Pěstování GMO v USA.....	9
3.2.2 Pěstování GMO v Brazílii.....	10
3.2.3 Pěstování GMO v Argentíně	11
3.2.4 Pěstování GMO v Kanadě	12
3.2.5 Pěstování GMO v Austrálii	13
3.2.6 Pěstování GMO v Asii.....	14
3.2.7 Pěstování GMO v Africe	15
3.2.8 Pěstování GMO v Evropské Unii	16
3.2.9 Pěstování GMO v České republice.....	17
3.3 Charakteristika hlavních geneticky modifikovaných plodin	19
3.3.1 GM sója	20
3.3.2 GM kukuřice.....	21
3.3.3 GM řepka	22
3.3.4 GM bavlník.....	22
3.3.5 GM brambory	23
3.3.6 GM rýže.....	24
3.3.7 Další GM plodiny.....	24
3.4 Přínosy a rizika geneticky modifikovaných plodin	26
3.4.1 Přínosy GM plodin	26
3.4.1.1 Přínos pro pěstování rostlin.....	26
3.4.1.2 Přínos pro lidské zdraví.....	27
3.4.1.3 Přínos pro životní prostředí	29
3.4.1.4 Přínos GMO z hlediska potravin	29
3.4.2 Rizika GM plodin	30
3.4.2.1 Alergeny.....	32

3.4.2.2	Nechtěné uvolňování GMO.....	32
3.5	Postoj ekologického zemědělství k pěstování GMO.....	33
4	Závěr	34
5	Literatura.....	35
6	Seznam příloh	42

1 Úvod

Technologie genetické modifikace se používají již více než padesát let. Od prvního primitivního šlechtění před tisíci lety přes klonování ovce Dolly až k nejmodernějšímu vkládání genů a tvoření zcela nových odrůd. To je cesta, kterou ušlo genetické inženýrství. Geneticky modifikovaný organismus připomíná původního předka. Obsahuje nové vlastnosti, získané nejprve různým šlechtěním a následně změnami genů. To vše pomáhalo lidem se získáváním přínosných plodin, které používali v různých odvětvích a jejichž možnosti se stále rozšiřují.

Objevují se stále nové postupy pro získávání modifikovaných plodin. Od první modifikace uběhlo několik desítek let. Osetých ploch s těmito plodinami od té doby stále přibývá. Nejvýznamnější pěstitelem je Amerika, ve které se geneticky modifikované plodiny pěstují v USA, Argentíně, Brazílii a v Kanadě. Nejvíce se pěstuje sója, dále kukuřice, bavlna a nezanedbatelná je i řepka. Přesto stále panuje nedůvěra části veřejnosti a projednávají se stále nové možnosti, jak jim vyhovět. Především se jedná o výraznější označování a důkladnější kontroly pěstování a výroby. To zabezpečují převážně různé státní organizace ve spojení s vědeckými laboratořemi.

Geneticky upravené plodiny jsou regulovány legislativou po celém světě. Je však rozdílná ve srovnání s Amerikou a Evropskou Unií, liší se i rámci jednotlivých zemí EU. USA má benevolentnější přístup pro povolení modifikovaných plodin ve své zemi. Stále tu, ale platí důkladné kontroly pro pěstování i dovoz. Ve velké míře se věnují výzkumu dalších metod v oblasti genetického inženýrství. Tak jako jiné země se zaměřují především na bezpečnost a odstranění možných rizik. Evropská Unie se více zaměřuje na bezpečnost. Přesto že nebyla jednoznačně prokázána rizika ve spojení s genetickou modifikací organismů, je veřejnost v EU více opatrná než občané jiných zemí. Také zde platí legislativa, která je více přísná na získání povolení a na zásady pěstování modifikovaných plodin v členských zemích. Proces je složitý a pro většinu obyvatel nedosažitelný. Zahrnuje bezpečnost pro životní prostředí, zdraví občanů a zvířat, ale i pro další rostliny.

Výhody v pěstování modifikovaných plodin se stále rozvíjí. Od počátku jimi byly odolné rostliny proti škůdcům a plevelům, s tím souvisí vyšší výnos. Později se jimi staly odolnost vůči suchu, soli a přemokřené půdě, méně spotřebovaných paliv, lepší nutriční vlastnosti a vyšší výživová hodnota. To vše pomohlo rozvoji zemědělství i v méně rozvinutých zemích, napomohlo zmírnění podvýživy, chudoby a celkově zvýšit životní úroveň v některých částech světa. Větším zemědělským podnikům to dalo možnost použití moderních technologií a vyšší zisk. Biotechnologické firmy získaly šanci rozvoje a další možnosti výzkumu.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce bylo zpracování literárního přehledu na téma pěstování geneticky modifikovaných plodin na světě. Práce by měla zhodnotit informace o vývoji pěstitelských ploch a hlavních modifikovaných plodinách. V rámci své práce jsem řešila otázky historie a vzniku prvních geneticky modifikovaných plodin. Za druhé pěstování GMO v jednotlivých zemích, od největších pěstitelů, kterým je USA až k zemím Evropské Unie. Za třetí porovnat rozdílnou legislativu v zemích Evropské Unie s ostatními světovými zeměmi. Dále jsem řešila vybrané GM plodiny, které se využívají v zemědělství. Jsou to nejčastěji využívané plodiny a další, které se pěstují jen omezeně v některých zemích. V poslední části jsem se věnovala přínosům GMO pro lidské zdraví a prostředí. Spolu s přínosy jsem se zaměřila i na rizika a kontrolu bezpečnosti takových rostlin a produktů z nich.

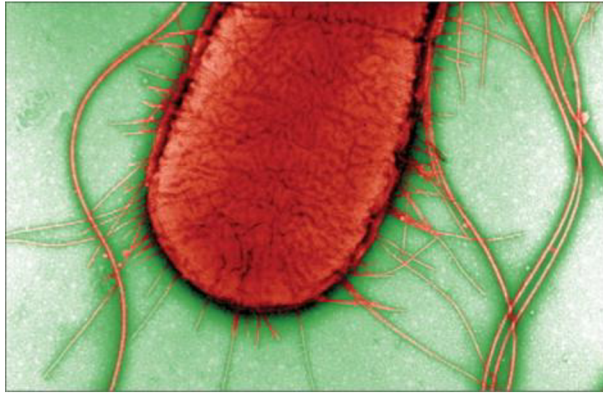
3 Literární rešerše

3.1 Vznik a historie geneticky modifikovaných organismů

Doubková (2008) popisuje geneticky modifikovaný organismus jako takový, který připomíná původního předka. Vznikl pomocí moderních technologií, pomocí nichž získal nové vlastnosti. Je další možností po šlechtění a také nám dává možnost vkládáním genů získat chtěnou vlastnost.

Chassy (2007) zmiňuje, že podle antropologů již naši předci započali pěstování takových rostlin, které pro ně byly výhodné. Tisíce let zemědělci domestikovali plodiny pro své potřeby. Vybírali ty odolné proti chorobám a škůdcům. Některé z nich byly vytvořeny pomocí náhodné mutace. Tento proces vedl ke zlepšování plodin v dalších generacích. Doprovázela to skutečnost, že takto vybrané rostliny ve volné přírodě sami nepřežily. Za staletí lidské péče plodiny vykazují změny založené na vzniku moderních technologií. Během průmyslové revoluce se zemědělství více dostává do měst. Zavedlo se používání strojů a snížila se tak potřeba práce. Zlepšila se kvalita semen, minerální a syntetická hnojiva, technika i nakládání s půdou.

Již v roce 1946 vědci poprvé zjistili, že genetický materiál je mezidruhově přenosný. V roce 1954 objevili Watson a Crick dvoušroubovicovou strukturu DNA a způsob transkripce DNA na RNA a následnou přeměnu na proteiny. V roce 1973 experimenty Boyera a Cohena zahrnovaly práci s DNA a její vkládání mezi různé druhy a vytvořily tak první GM organismus na světě. V roce 1976 založil Boyer společnost Genentech jako první společnost zabývající se genetickým inženýrstvím. Do roku 1978 firma vložila geny pro produkci inzulínu do *Escherichie coli* (viz Obr. 1) (Raman 2017). V zemědělství byly první modifikované rostliny tabák, odolný vůči antibiotikům, a petúnie. A to v roce 1983 třemi nezávislými výzkumnými skupinami. Čína se v roce 1990 stala první zemí, která komercializovala GM tabák pro odolnost vůči virům (Raman 2017). V roce 1994 se americká odrůda rajčete Flavr Savr, která je znázorněna na Obr. 2 spolu s fyziologem rostlin Endlessem Summerem, stala vůbec první GM rostlinou schválenou tamními úřady. Toto rajče bylo modifikováno tak, aby mělo opožděné zrání a bylo odolné vůči hnilobě. Firma Calgene představila rajče v květnu 1994 navzdory odporu aktivistů proti GMO. Opatřila rajčata štítky a obalem poskytující informaci, že je to GM plodina a přidala brožuru s vysvětlením použité technologie. Mezi lety 1995 a 1996 bylo schváleno několik dalších plodin pro lidskou spotřebu. První taková plodina byla kukuřice, bavlna a také brambory nebo řepka (Mohorčich & Reese 2019).



Obr. 1 Escherichia coli O157

Zdroj: Pennington 2010



Obr. 2 FLAVR SAVR tomato

Zdroj: Bruening & Lyons 2000

V současnosti se použití GM technologií rozšířilo i na různé druhy zeleniny, rýži, pšenici atd. Použití biotechnologie na tyto plodiny souvisí s krmivou pro zvířata, vývinem vakcín a odolností vůči nepříznivému klimatu. Kromě těchto výhod je biotechnologie prospěšná ekonomice. Globální výnos potravinářských GM plodin se v letech 1996–2013 zvýšil o minimálně 370 milionů tun na relativně malé ploše. Také snižují dopady na životní prostředí a ekologii, to vede ke zvýšení druhové rozmanitosti (Mohorčich & Reese 2019).

Přesto pokrok biotechnologií vyvolal otázku týkající se bezpečnosti potravin. Odpor ke GM existoval již v roce 1975. První aktivisté kritizovali GMO v 70. letech, ale v průzkumech veřejného mínění se neprojevovaly až do konce 90. let. Od roku 1995 zůstalo veřejné přijetí GMO

v USA až na 73 %, podpora v Evropě byla nižší. Velké korporace viděli v nové technologii zisk a investovali do budování podnikatelské a výzkumné struktury. Koncem 90. let byly poprvé pěstovány GM plodiny, což zvýšilo jejich status jako problém veřejného zdraví. Nárůst GM výsadby koncem 90. let byl rychlý zejména v USA, kde napomohlo přijetí veřejností a rozvinuté technologie i v oblasti lékařství. Od roku 1996 do roku 1999 se plochy oseté GM zvýšily z 1,7 na 39,9 milionů hektarů. Spolu s růstem osetých ploch se zvyšoval i odpor veřejnosti (Raman 2017).

Genetické inženýrství lze rozdělit na transgenní a beztransgenní typy. Transgenní GE zahrnuje přenos genetických materiálů z nepříbuzných druhů, obvykle z mikroorganismů (bakterií a plísní) spojených s požadovaným znakem do cílového organismu (Ondřej & Drobník 2002). Přenesený gen neboli transgen je navržen tak, aby kontroloval, kdy a kde je vložený, a aby byl zajištěn maximální přínos (Teferra 2021). Dodání genu do rostlinných buněk lze buď přímým přenosem DNA, nebo pomocí bakteriálního vektoru, jako je *Agrobacterium tumefaciens*, která je zachycena na Obr. 3. Dodání DNA do rostlinných buněk bylo dosaženo několika způsoby, mikroinjekcí, chloroplastovou transformací, elektroporací do protoplastů (rostlinné buňky bez pevné buněčné stěny), nanočásticemi mezoforového oxidu křemičitého a pomocí mikročástic. Produkty transgenní biotechnologie byly označeny jako GMO (Oliver 2014). Beztransgenní GMO se objevily jako alternativa k CRISPR/cas 9, tam se přirozené nebo umělé geny používají k modifikaci genetiky cílových organismů spojených s žádoucími vlastnostmi. Existence tohoto systému byla objevena v roce 1987, kdy došlo k neobvyklé sekvenci DNA v genomu *Escherichie coli* (Teferra 2021). Biolistika neboli „genová pistole“, byla poprvé vyvinuta Sanfordem na konci 80. let 20. století pomocí stlačeného helia. Používala se k vystřelování zlatých nebo wolframových mikročástic potažených upraveným požadovaným genem do rostlinné tkáně vysokou rychlostí. Primární cíl byly embryonální tkáně semene. Upravený gen byl dodán jako plazmid s vysokým počtem kopií, jakmile se dostal do buňky byl schopen integrace do rostlinného genomu. Tento způsob se používal k produkci transgenních obilovin i některých stromů. Lze ho použít i k přenosu velkých částí DNA (Funke et al. 2006). Tento způsob byl úspěšný, ale překonalo ho použití *Agrobacterium tumefaciens*. Je to půdní bakterie, která infikuje rostliny na pomezí stonku a kořenu a mění genom rostliny vložením genů, které způsobují buněčné množení. Takové buňky vytvoří masu, ve které bakterie žije, zároveň nutí rostlinu tvořit modifikované aminokyseliny jako její zdroj živin (Redden 2021). Její využití jako možnost vložení nového genu do rostlin bylo poprvé rozpoznáno na konci 70. let 20. století. Větší použití nastalo až na počátku 80. let s příchodem binárních vektorů. Binární vektory oddělily T-DNA na samostatný menší plazmid a zbytek Ti plazmidu zůstal v buňce *Agrobacteria*. To umožnilo pracovat i s *E. coli* a celkově se usnadnila inserce cílových genů. Nahrazení T-DNA geneticky upravenými zajistilo, že infekce a přenos DNA již nevedly k buněčnému množení ani syntéze specifických aminokyselin. Od té doby se toho moc nezměnilo, důraz je kladen na účinnost a nové způsoby zavádění genů (Oliver 2014).



Obr. 3 *Agrobacterium tumefaciens*

Zdroj: De La Riva et al. 1998

3.1.1 Rozdělení GMO

Úprava pomocí biotechnologií je poměrně nový nástroj pro šlechtění rostlin. Genová editace (GE) má několik možností. Plodiny jsou modifikovány změnou genů a odstraněním nebo vložením celého nebo jen části genu. Dříve zahrnovala více technik, například cílená inserce DNA Talens, Zinc finger nebo CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats). Takové rostliny nebudou být vyšlechtěny právě proto, že proces zahrnuje práci s geny. GMO se proto podle svého použití dělí do několika generací podle svých vlastností nejen pro pěstitele, ale i pro spotřebitele (Redden 2021).

3.1.1.1 První generace GMO

Zahrnuje plodiny přínosné pro pěstitele. Zahrnují odolnost vůči škůdcům, plevelům a chorobám. S tím je také spojená úspora paliva a energie, to vede k větší ochraně životního prostředí a může způsobit i nižší cenu konečné potraviny pro spotřebitele. Nejvíce se používají dva způsoby modifikace. Vložení genu pro toleranci k herbicidu a gen pro odolnost vůči škůdcům. Postupně se více objevují kombinace obou způsobů. Nejvíce výhod se dostaví při velkoprodukcí, např.: v USA (Doubková 2008).

GM plodiny odolné vůči herbicidům byly přijaty převážně v USA. Se zaváděním GM technologie se zvyšuje i použití právě odolných plodin. Problémy s těmito plodinami se týkají přenosu na divoce příbuzné druhy, vytvoření odolnosti a mimo jiné i ohrožení biodiverzity. Menší použití herbicidů omezuje uvolňování chemikálií do prostředí. Přenos genů mezi příbuznými jedinci je přirozený a je těžké jej sledovat. Přesto bylo několik málo případů pozorováno. Závisí to na reprodukční strategii a blízkosti příbuzných druhů. Je jen malý počet

rostlin, kde je tok genů možný. Problém zemědělci vidí, pokud by se modifikované geny dostali na pole ekologicky nebo konvenčně registrována. Stále jsou prozkoumávány možnosti pro ovlivňování úniku genů, např. vzdáleností GM a neGM plodin. Vědci hledají další možnosti, ty jsou však ekonomicky náročné (Mohorčich & Reese 2019).

Přijetí GM plodin odolných vůči glyfosátu v USA a používání jediného herbicidu vytvořilo silný selekční tlak na plevele, které mají přirozené geny tolerance vůči herbicidům. To neovlivní, zda je tolerance vůči herbicidům v plodině geneticky modifikovaná nebo konvenčně vyšlechtěná. Přílišné používání jednoho herbicidu nakonec omezí účinnost jeho i tolerantní GM plodiny. Přijetí GM plodin mění biologickou rozmanitost populace rostlin, některého hmyzu a dalších organismů, které na ně spoléhají (Paarlberg 2010).

I GM plodiny odolné vůči hmyzu byly široce přijaty v USA. Rychlost přijetí stoupá, tak jako jejich využití na celkové ploše. Primární transgen používaný při produkci GM plodin odolných vůči hmyzu umožňuje syntézu proteinového toxinu Cry z bakterie *Bacillus thuringiensis* (Bt). Ten je specifický na škůdce jako housenky a brouci, kteří se živí plodinami. Ovlivňuje střevní buňky hmyzu a brání jim v trávení. Cry toxin je účinný na cílový hmyz a nejsou škodlivé pro obratlovce a nemá žádný dopad na rostlinu, je také biologicky odbouratelný. Používané insekticidy bývají ve formě postřiků, regulují tak škůdce přímo na plodině (Holst-Jensen et al. 2012). Rizika jsou spojená s návyk hmyzu na postřik, rostlinu a vývin odolnosti. Také postižení příbuzných druhů a ekologická rizika. Při regulaci „špatných“ škůdců se na poli může vyskytovat větší počet prospěšného hmyzu. I škůdci si mohou vytvořit rezistenci vůči GM plodině a postřiku. Například mýra diamantová, škůdce brukvovitých plodin, si vyvinula rezistenci vůči Bt přípravkům opakovaně aplikovaným na pole konvenčních plodin (Shaner et al. 2012).

Pro minimální výskyt škůdců na modifikovaných plodinách, se vyvinuly strategie řízení odolnosti proti hmyzu (Insect Resistance Management). Používají se tzv. strukturovaných nebo nestrukturovaných úkryty. Strukturovaný úkryt je samostatný blok nebo pole, kde se vyseje směs malého množství nemodifikovaného osiva a větší množství modifikovaných semen. Nestrukturované útočiště je místo, kde jsou vysazeny plané rostliny, kteří fungují jako hostitelé cílových škůdců. To omezí jejich výskyt (Huang et al. 2003).

3.1.1.2 Druhá generace GMO

Obsahuje plodiny odolné klimatickým podmínkám, především suchu. Dále příliš vlhká stanoviště a zasolení v některých oblastech světa. Bývají to obvykle hybridní kříženci mezi GMO první generace. Je těžké je rozlišit od jejich rodičů, GM plodin první generace. Mnoho pěstovaných komerčních modifikovaných plodin jsou toho příkladem, je to GM bavlna a kukuřice (Holst-Jensen et al. 2012). Afrika je typický příklad pro využití takových plodin. V některých oblastech prší jen velmi zřídka a tím se snižuje plocha na které se dají pěstovat plodiny. Probíhá rozvoj kukuřice odolné vůči suchu, která by v takových podmínkách mohla pomoci uživit několik stovek tisíc lidí (Lucht 2015).

Jeden z významných klimatických faktorů pro pěstování rostlin je i salinita. Solí je na světě ovlivněné přes 800 milionů hektarů (Chloupek 2000). Zvýšené množství soli v půdě může

mít za následek ztrátu orné půdy. Jedna z možností pro zvýšení tolerance vůči suchu je syntéza osmoprotektantů. Mnoho plodin postrádá schopnost syntetizovat tyto látky. Proto byla navržena jejich syntéza pomocí genového inženýrství (Holst-Jensen et al. 2012). Manitol je nejčastější cukerný alkohol v přírodě. Vyskytuje se v plodinách jako je mrkev, celer nebo olivy. Akumulace manitolu se v rostlinách zvyšuje jako reakce na osmotický stres. Mohl by zlepšit toleranci při deficitu vody prostřednictvím osmoregulace. Může tak zmírnit stres vyvolaný slaností v rostlinách i osmotický stres. Když byly rostliny tabáku geneticky transformovány genem *E. coli* vykazovaly biosyntézu manitolu a zvýšenou toleranci vůči slanosti. Podobné výsledky vykazovala i pšenice s modifikovaným genem mtID, který měl účinek i v lilku. Rostlina brambor je středně citlivá na sůl, nejvíce v raných fázích růstu. Také je velmi citlivý na vodní stres. Proto lze vývoj kultivarů brambor odolných vůči slanosti považovat za jednu z možností pro zlepšení stability výnosu v stresových podmínkách (Rahnama et al. 2011).

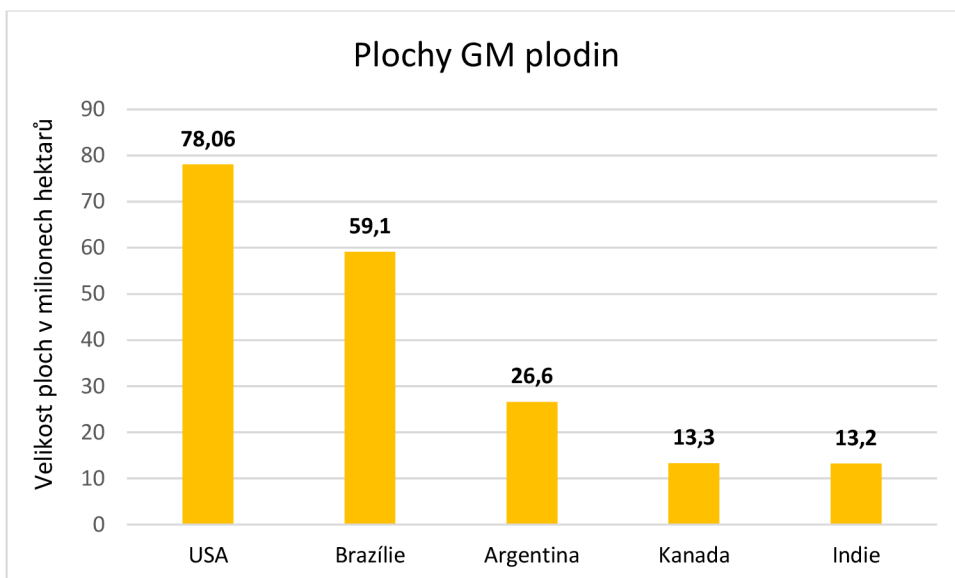
3.1.1.3 Třetí a čtvrtá generace GMO

Do třetí generace patří rostliny s lepšími nutričními vlastnostmi. Jedná se o zastoupení aminokyselin, vyšší obsah vitamínů nebo mastných kyselin. Výhody z těchto plodin mají spotřebitelé. Skládají se z GMO, do kterých byly vloženy geny, které nebyly použity v jiných GMO (Holst-Jensen et al. 2012).

Čtvrtá generace obsahuje ekologicky pěstované rostliny jako surovinu pro některé z odvětví průmyslu. V těchto GMO jsou vloženy prvky odvozené z genofondu dostupného druhu pro přijímající druhy (Holst-Jensen et al. 2012).

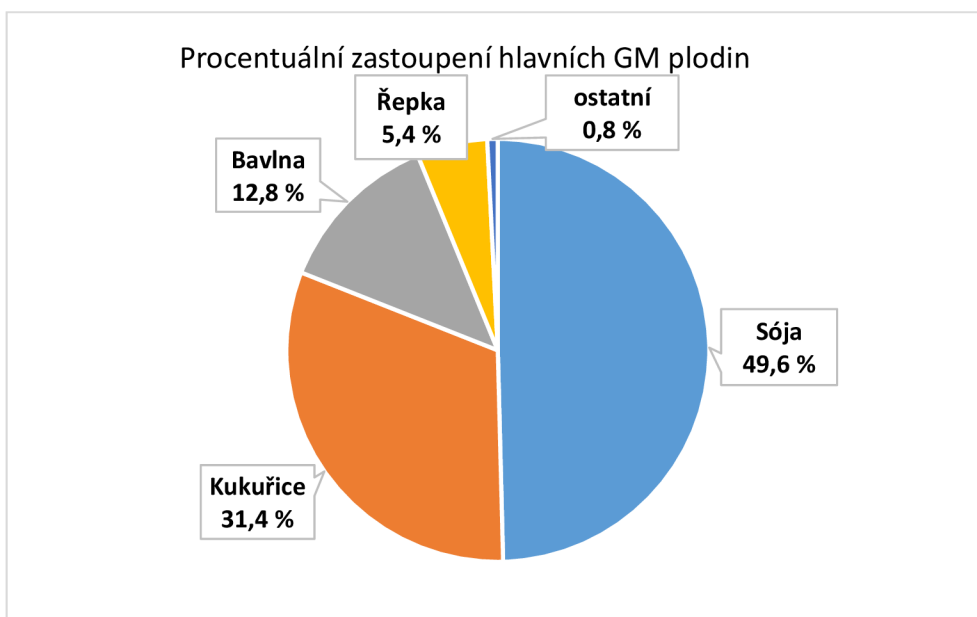
3.2 Pěstování GMO ve světě

Celková plocha pěstovaných geneticky modifikovaných plodin v roce 2018 byla 189,8 milionů hektarů. Pěstovali je v 24 zemích světa z nichž je 19 rozvojových. Za největší produkci GM plodin zodpovídá Severní a Jižní Amerika, a to USA, Brazílie, Argentina a Kanada (viz Obr. 5). Nárůst ploch byl v rozvíjejících se zemích, naopak propad v průmyslových oblastech, kde je to způsobeno celkovým snížením zemědělských ploch na úkor právě průmyslu (Paull & Hennig 2019). Celkově používají biotechnologii v 67 zemích. Z toho je 43 zemí, které si je sami nepěstují, ale mohou je dovážet a obchodovat s nimi. Generování transgenních rostlin je běžně vyvíjeno ve většině výzkumných laboratoří molekulární biologie rostlin. Metoda je nákladná a dlouhá, také může dojít k nežádoucím modifikacím. Nejvíce pěstované plodiny jsou vyjádřeny na Obr. 6 níže. Jejich použití se liší podle klimatických podmínek a nařízení konkrétních zemí. I přes neshody bylo jejich používání v některých zemích přijato velmi rychle, převážně díky svým výnosům a dalším přednostem (Mohorčich & Reese 2019).



Obr. 5 Velikost ploch osetých GM plodinami v roce 2019

Zdroj dat: ISAAA 2019



Obr. 6 Procentuální zastoupení hlavních GM plodin v roce 2019

Zdroj dat: ISAAA 2019

3.2.1 Pěstování GMO v USA

Ve spojených státech amerických se pěstuje na asi 40 % z celkových ploch, které používají genetické modifikace. Stali se tím zemí, která transgenní plodiny pěstuje na největší ploše. Pěstuje se zde 12 plodin (James 2011). USA je nejrozvinutější země pěstující komerčně

GM plodiny a své plochy stále zvyšuje. Více než 70 % potravin v USA obsahuje GMO. V roce 2010 tu bylo geneticky modifikováno proti herbicidům 93 % všech sójových bobů, 78 % bavlny a 70 % kukuřice. Dále se pěstuje vojtěška, řepka nebo cukrová řepa. Většina z těchto plodin se používají k výrobě potravin a krmiva. Více než 95 % zvířat určených k produkci potravin je krmeno GM surovinami (Paull & Hennig 2019).

V mnoha zemích jsou technologie genetického inženýrství zakázány a některé, jako Spojené státy americké je přijali. Není žádný federální zákon specifický pro GMO. Takové potraviny jsou regulovány legislativou pro konvenční produkty. GMO ale podléhají mnohem přísnějšímu regulačnímu dohledu než konvenční odrůdy. Zároveň je k nim vláda v USA více tolerantní než jiné země (Lucht 2015). Geneticky modifikované potraviny byly od počátku kontroverzní, vláda reagovala na tlak spotřebitelů a nevládních organizací a začala s regulací těchto technologií a vyžadovala jejich schválení při použití v potravinách (Wang 2015).

Odpor vůči GM technologiím se projevuje i v politické sféře. Spotřebitelé a nevládní organizace požadovali povinné označování. V červenci 2016 kongres USA schválil návrh, který požaduje, aby ministerstvo zemědělství zavedlo standard pro zveřejňování GM potravin, jako kompromis mezi těmi, co chtějí přísnější zákon a těmi, kteří jsou proti zákonům o povinném označování (Bovay & Alston 2018).

Dohled nad GMO má na starosti Ministerstvo zemědělství USA (USDA), Agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) a Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) ti také testují jejich bezpečnost. I některé další země dělají podobné testy, aby byla zajištěna bezpečnost potravin pro lidskou spotřebu. U žádného občana spojených států nebylo potvrzeno vážné zdravotní onemocnění nebo smrt způsobené konzumací potravin s přísadami GM plodin (Adelne 2011). USDA má roli v ochraně životního prostředí a rostlin, také nad škůdci, plevele a chorobami. Jejich souhlasu podléhá i stavění továren pracujících s GM produkty. Pokud GM rostlina představuje nový druh nebo novou modifikaci, tak před jejím povolením se musí dokončit hodnocení rizik životního prostředí, aby se zjistil, zda ho rostlina nějak ovlivňuje. Prohlášení o vlivu na životní prostředí může být dále požadováno v dalších krocích v programu pro zjištění certifikovaných produktů (Nicolia et al. 2014).

Již v roce 1992 FDA jasně prohlásila, že není nutné speciálně regulovat GM potraviny, a poznamenala, že potraviny vyrobené bioinženýrstvím nepředstavují žádný jiný nebo větší bezpečnostní problém než potraviny vyvinuté tradičním šlechtěním rostlin (Rastogi Verma 2013). Výzkum v roce 2002 ukázal, že 88 procent vědců si myslí, že GM potraviny jsou bezpečné při lidskou konzumaci. Stejný názor mělo pouze 37 % veřejnosti. Obyvatelé neměli představu o bezpečnosti a zdravotních rizicích používání GMO (Lucht 2015). Amerika je dobrý příklad pro ostatní, méně rozvinuté země, co se týče pěstování GMO. Jsou lídrem ve vývoji a zavádění technologie GE plodin (Wong & Chan 2016).

3.2.2 Pěstování GMO v Brazílii

V roce 2018 ze 191,7 milionu hektarů celosvětově produkováných GM plodin byla Brazílie zodpovědná za 26,8 %, to je 51,3 milionu hektarů. V zemi je genetickou modifikací produkováno 92 % sóji, 87 % kukuřice a 97 % bavlny. Již více než 13 let je Brazílie druhým

největším světovým producentem GMO hned po USA, zároveň byla prvním vývozcem modifikované sóji. Do roku 2020 tu bylo chváleno 98 odrůd semen GM původu. Někteří považují GMO za vlajkovou loď agrobiznysu na venkově a jsou považovány za hlavní technologicko-ekonomickou inovaci navzdory odporu a podpoře jiných typů výroby (Fontoura et al. 2022).

Brazilská zemědělsko-průmyslová oblast se historicky vyvíjela pomocí rozlehlých pozemků, po kterých následoval systém plantáží a zároveň s tím převzaly roli vývozce. Politická ekonomie venkova představuje stále pokračující spor mezi agrobiznyssem a stylem rodinného hospodaření jako zcela odlišné modely rozvoje venkova (Branquinho et al. 2010).

V Brazílii musí potravinářské výrobky obsahující více než 1 % povolených, geneticky modifikovaných složek uvádět tuto informace na obalu (Branquinho et al. 2010). Zdravotní regulační orgány prosazují politiku označování, například zavedení monitorovacího programu pro detekci a kvantifikaci GMO přítomných v potravinářských produktech, zejména ve státech, kde se hodě pěstuje sója. Zvýšila se poptávka po kvalifikovaných laboratořích a poskytnutí spolehlivých informací pro spotřebitele (Marmioli et al. 2008).

3.2.3 Pěstování GMO v Argentíně

Argentina byla jednou prvních zemí, které začali s komercializací GM plodin. Začali s výsadbou 370 000 ha sóji tolerantní ke glyfosátu. Plocha osetá GM plodinami od té doby několika násobně vzrostla (Lesslie & Mewett 2018). Stala se třetím největším pěstitelem biotechnologických plodin na světě s 15 % celosvětové plochy biotechnologických plodin. Přijetí bylo rychlé i pomocí produkčního profilu země a se způsobem, jakým byla technologie regulována od jejího začátku až do jejího dalšího vývoje ve vztahu k potřebám a výhodám zemědělců. Orgánem pro správu regulačního rámce GMO je Sekretariát zemědělství, živočišné výroby a rybolovu (Lema 2019). Regulační systém má funkci zajistit, aby se narušení, které GM plodina vyvolá v ekosystému nelišilo od narušení způsobeného stejným druhem neGM původu. To je považováno za jasně danou hodnotu pro zajištění biologické bezpečnosti. Argentina reguluje experimentální uvolňování GM rostlin, pěstitelskou produkci regulovaného osiva kukuřice a sóji, omezené uvolňování GM zvířat a experimentální uvolňování mikroorganismů pro zemědělské aplikace (Hobe et al. 2015).

Rychlé a úspěšné přijetí GM plodin v Argentíně bylo výsledkem kombinace okolností. Jako první to byly ekonomické faktory. Vysoké ceny zemědělských komodit, které zejména na konci 90. let silně tlačily na producenty semen a obilí. Dále zemědělci měli zájem o přijetí inovací a uvědomili si jejich výhody. První GM plodiny byly sója tolerantní k herbicidům a kukuřice odolná vůči řádu *Lepidoptera* (Stein & Rodríguez-Cerezo 2009). Ty dokázaly vyřešit stálé problémy s efektivností, zjednodušit pracovní operace a snížit používání toxických chemikálií (Burachik 2010).

Pro komerční povolení GM plodin jsou v Argentíně zapotřebí tři kladná hodnocení. Dopad na agroekosystém. Důkaz, že při uvolnění do prostředí neovlivní ekosystém více než jeho nemodifikovaný protějšek. Bezpečnost potravin a krmiv. Důkaz, že potraviny a krmiva získané z geneticky modifikovaných plodin jsou stejně bezpečné a nejsou méně výživné než

potraviny a krmiva získané z nemodifikovaného protějšku. A dopad na obchod a produkci (James 2011). Aby byla záruka, že produkce nenarazí na žádná domácí ani mezinárodní obchodní omezení, jsou za hodnocení zodpovědné tři vládní agentury: Ředitelství pro biotechnologie (BD), Národní služba pro zdraví a kvalitu zemědělských potravin (SENASA) a Ředitelství zemědělského trhu. Ti působí jako poradci sekretariátu. Mají komisi odborníků, které objektivně hodnotí působení GMO. Vše se hodnotí na základě polních testů a testů v laboratoři (Lema 2019).

V rámci agroekosystému se posuzuje ochrana při použití GM osiva, použití ve sklenících a na polích. Povolení pro uvolňování se udělují na základě důkladného přezkoumání těchto informací. To spočívá v hodnocení rizik, které bere v úvahu vlastnosti modifikované plodiny a agroekosystému, do kterého má být uvedena (Burachik 2010). Při udělování povolení je stanoven soubor zvláštních podmínek, které zahrnují rizika a opatření k jejich zmírnění, izolační vzdálenost, dostupnost detekčních metod a omezují využití sklizeného materiálu. Při produkci osiva jsou přísné podmínky pro izolaci a zpracování osiva, aby se nemohlo smíchat s jiným typem semen (Stein & Rodríguez-Cerezo 2009). Předpisy upravující GMO jsou stále aktualizovány na základě nových výsledků a zkušeností (Lema 2019).

Dle Lema (2019) by vzhledem k obchodnímu profilu země bylo povinné označování považováno za hrozbu pro argentinskou ekonomiku. Aby se předešlo narušení obchodu, rozhodla se zvážit oddělenou manipulaci, to se vzhledem k výdajům nevyplatilo. Cílem bylo vpustit do exportního toku s produkty schválené v EU. Stalo se, že stav schválení EU je podmínkou pro komerční schválení v Argentíně, to zpomaluje vývoj technologie a má neblahý dopad na ekonomiku země.

3.2.4 Pěstování GMO v Kanadě

Již více než dvacet let uběhlo od prvního komerčního použití GMO v Kanadě. Pěstuje se tu 6 plodin na 7 % z celkových ploch. Přijetí GM plodin přineslo několik ekonomických a ekologických výhod. Po 20 letech produkce GM plodin v Kanadě se vědecky podložená regulace rostlin s novými znaky nezměnila (Wozniak & McHughen 2012).

Schválení GM řepky proběhlo v roce 1995, GM kukuřice a len v roce 1996 (len se pěstoval pouze pro účely množení semen) a GM sóji v roce 1997. Všechny plodiny byly rychle přijaty farmáři. Řepka měla dokonce 50% přijetí po pěti letech. Odhaduje se, že se tím snížilo množství uvolňovaného uhlíku až o 1 milion tun ve srovnání s rokem 1995. Bylo hlášeno snížení celkového počtu chemických aplikací. Kumulativní dopad na životní prostředí byl snížen o 53 % s použitím právě této řepky. Před zavedením GM řepky byly plevele regulovány herbicidy s jejich zpravením do půdy (Smyth 2014). Zavádění GM kukuřice v Kanadě neustále roste. Stále více se používají kombinace znaků jak pro toleranci k herbicidům, tak pro odolnost vůči hmyzu. Úroveň přijetí je založena na prodeji semen. Oblast pěstování kukuřice se v Kanadě díky lepší odolnosti rozšířila ze standardní oblasti produkující kukuřici v jižním Ontariu do západní Kanady. Produkce sóji byla také rozšířena z Ontaria a Quebecu, do západní Kanady (Hategekimana & Beaulieu 2002).

Za celou dobu se v Kanadě objevily 3 větší politické problémy. Prvním problémem bylo, zda lze rostliny patentovat v Kanadě. To vzniklo na konci 90. let podáním 2 žalob, oba případy byly vyřešeny po vleklých soudních řízeních. Kanada povoluje patentování nižších živých forem života, nikoli však mnohobuněčných organismů. Patenty nabízí ochranu na proteiny, geny a buňky. Umožnění získat patent v Kanadě umožňuje ochranu celé řady metod k vytvoření GMO. Druhým problémem byl politický tlak, aby bylo zahájeno povinné označování GM produktů v Kanadě. Třetím je mísení plodin (Tourangeau 2017).

V Kanadě se odhaduje, že GMO jsou zjištělné v 11 % potravin a mohou být přítomny až v 75 % zpracovaných potravin prodávaných v obchodech, často je jejich obsah zjištělný. Například GM papája a GM sladká kukuřice, které se přímo konzumují, až po jejich využití do širokého množství produktů, jako jsou nealkoholické nápoje (Raman 2017).

V roce 1997 byla zřízena CFIA (Kanadská agentura pro kontrolu potravin) jako nezávislá vládní agentura. Je podřízená parlamentu prostřednictvím ministra zemědělství. Je odpovědná za hodnocení rizik všech odrůd plodin předložených k prodeji a pěstování v Kanadě, bez ohledu na technologii použitou k jejich vývoji. Také zodpovídá za otázky související s bezpečností potravin. Později byla Struktura změněna a podléhala pod Health Canada. To nic nezměnilo na jejím působení (Tourangeau 2017).

Rozvoj a přijetí GMO spotřebiteli a trhem jsou ovlivněny riziky a přínosy, stejně jako osobními názory. Na jedné straně jsou organizace jako Council for Biotechnology Information, které zastupují společnosti včetně Monsanto a Bayer CropScience (Tourangeau 2017). Na druhé straně organizace jako Canadian Biotechnology Action Network poukazují na rizika geneticky modifikovaných organismů a zpochybňují tvrzení zastánců agrobiotechnologií. Za celou dobu Kanada získala stovky miliard ve zlepšené výrobě a snížení nákladů (Hobe et al. 2015).

3.2.5 Pěstování GMO v Austrálii

V Austrálii je jen malá část vedena v GM zemědělství, a to 774 tisíc hektarů (to je 0,4 % z celkových ploch GMO a 0,2 % ze zemědělských ploch v Austrálii). Z toho je 492 tisíc řepky a 282 tisíc hektarů bavlny (Lesslie & Mewett 2018). Používání této bavlny snížilo používání pesticidů a řepka odolná proti herbicidům zajistila kontrolu nad výskytem plevelů a tím zlepšila i výnos a celkový zisk. Řepka s lepším výnosem nebyla na světovém trhu nijak znevýhodněna oproti té klasické. Licence pro omezené polní pokusy byly uděleny i pro vinnou révu, pšenici a cukrovou třtinu (Zhang et al. 2021).

Platí zde zákon o genových technologiích z roku 2000. Umožňuje regulaci řízenou OGTR, v překladu Úřad pro regulaci genových technologií. Ten uplatňuje prevenci k takovým druhům se snahou chránit lidské zdraví a životní prostředí. Úřad kooperuje s různými agenturami, řídí a kontroluje prodej GM potravin a produktů (Zhang et al. 2021). Regulace pro potraviny by podle NGTS (Národní schéma pro genové technologie) mělo zohlednit přínosy pro životní prostředí, zemědělství, a hlavně pro potravinovou bezpečnost. Zemědělský institut v Austrálii navrhuje zmírnit předpisy a tím usnadnit pěstování rostlin s tolerancí na herbicidy, zvýšení výnosu nebo tolerancí ke stresu (Redden 2021). Pro schválení musí splňovat

standardy. Schválení konkrétní potraviny vyrobené pomocí biotechnologie závisí na výsledku posouzení bezpečnosti ještě před uvedením na trh. Označování se vztahuje i na látky vytvořené genovou technologií (Cocklin et al. 2008).

V listopadu 2000 byly přijaty požadavky na označování modifikovaných potravin. V Austrálii a na Novém Zélandu začali platit 7. prosince 2001. Označování platí při obsahu GM materiálu nad 1 %. Obsah se hodnotil podle dokumentace, pro případy, kde to nebylo zřejmé se vyžádá testování. Pro spotřebitele označování znamenalo rovnováhu mezi odpůrci a biotechnologickými společnostmi (Lesslie & Mewett 2018).

Ve Spojeném království a Evropě jsou silné obavy ohledně přijetí GM plodin a potravin zejména spotřebiteli. Vlády v Austrálii a Spojeném království se snažily tyto obavy řešit prostřednictvím rozvoje legislativy. Hledají nové možnosti, jak veřejnost přesvědčit, že nové technologie představují příležitosti pro hospodářský růst (Cocklin et al. 2008).

3.2.6 Pěstování GMO v Asii

Asie i přes svou velikost a poměrně pokročilou technologii má jen malé zastoupení GMO. Nejvíce se tu pěstuje bavlna, a to v Indii, Pákistánu a v Číně, kde se pěstuje také papája odolná proti virovým chorobám. Pro Čínu je velkým problémem bezpečnost potravin. Stará se o zásobení téměř jedné pětiny světové populace. Přitom vlastní pouze 7 % orné půdy. Spotřebovává největší část obilí a je největším producentem a spotřebitelem rýže (Wang 2015). Také je světově nejlepší v technologickém postupu, a to i v zemědělství. Komerční GM plodiny povolila již v roce 1992. Schválen byl tabák, jeho pěstování bylo zrušeno o pár let později. Je povolen dovoz kukuřice, sóji, řepky, cukrové řepy a bavlníku jako suroviny určené pro další zpracování (Wong & Chan 2016).

Výroba GMO a jejich uvádění na trh vyžaduje zvláštní licenci a certifikaci o biologické bezpečnosti. Například pro komerční pěstování vyžadována alespoň čtyři povolení. Certifikát biologické bezpečnosti dokládá, že GM plodina prošla hodnocením o bezpečnosti, který provádí Výbor pro biologickou bezpečnost GMO. Dle nařízení je tato certifikace povinná pro semena, pesticidy, veterinární léčiva, hnojiva a další produkty vyrobené za použití GMO nebo obsahujících složky biotechnologického původu (Wong & Chan 2016). Je pět fází pro získání certifikace o biologické bezpečnosti GMO. První je laboratorní výzkum, druhý je omezený polní pokus, zatřetí polní pokusy s uvolňováním do životního prostředí, další je předvýrobní testování, a poslední je žádost o osvědčení o biologické bezpečnosti. Podle toho jsou klasifikovány, jak moc ovlivňují lidské zdraví a prostředí. Certifikace je platná po dobu pěti let, poté se musí prodloužit (Huang et al. 2003). Dovozy GMO do Číny se dělí na dovoz pro výrobu, takto se dováží bavlna. Modifikovaná sója, kukuřice, řepka a cukrová řepa jsou dováženy jako suroviny ke zpracování a nelze je využít jinak. Dále na dovoz pro výzkum a za účelem testování. Pro tyto potřeby musí žadatel požádat o omezené polní zkoušky, uvolňování do životního prostředí a testování produktu. Jak výzkumné, tak testovací aplikace vyžadují dokumenty prokazující, že odpovídající výzkum nebo testování byly provedeny mimo Čínu (Wang 2015).

V Číně není povinné označování GM potravin kromě určitých produktů uvedených v katalogu Ministerstva zemědělství. Týká se to bavlny, sóji, kukuřice, řepky, rajčat a jejich

semen, také několik produktů z nich vyrobených. Všechny položky uvedené v katalogu, které se v Číně prodávají musí být jasně označeny. Označovat se musí i v případě, že geneticky modifikovaná složka již není v konečném produktu zjištělná (Wong & Chan 2016).

Základní surovina v Číně je rýže. Vláda i vědci investovali do výzkumu a byly vyvinuty dvě transgenní odrůdy. A to Bt Shanyou 63 a Huahui č. 1, v roce 2009 obdržely certifikát biologické bezpečnosti pro komerční plantáže v provincii Hubei. Výzkum ukázal, že by mohla prospět vyšším výnosem a snížením používání pesticidů. Poté co se v Evropě zjistila GM kontaminace rýže z Číny, zavedla Evropská Unie přísnější kontrolu rýžových produktů z Číny. V roce 2013 bylo oznámeno 25 případů kontaminace většinou Bt Shanyou 63 (Li et al. 2016).

3.2.7 Pěstování GMO v Africe

GM technologie má velký potenciál zvýšit produktivitu a zlepšit život farmářům. Je třeba zajistit bezpečnou produkci nejen v Africe, ale i v dalších zemích. S podporou větších zemí by se dala zajistit lepší možnost prodeje a tím i rozsáhlejší pěstování a omezit nedostatek potravin pro zdejší obyvatele. Do té doby se může africká vláda jen naučit řídit se podobnými postupy. (Adenle 2011).

Afrika je malým producentem Kukuřice, sóji a bavlny. Produkují se převážně v rozvojových zemích jako je Burkina Faso, Jižní Afrika, Egypt a nedávno i Súdán. Největší producent je Jihoafrická republika, je jedinou zemí, kde drobní farmáři produkují GM plodiny pro vlastní spotřebu již více než deset let. V Burkině Faso pěstovalo GM bavlnu asi 100 000 farmářů na 260 000 ha. Dosáhli tím většího výnosu a přispěli 100 miliony USD do tamní ekonomiky. Tímto způsobem lze snížit využití paliv, emisí a zlepšit kvalitu ovzduší. (Vitale et al. 2008). Mezi další plodiny patří bavlna, čirok, kukuřice, maniok, sladké brambory, banány, rýže, irské brambory, cukrová třtina, sója, pšenice nebo meloun, které jsou v různých fázích komercializace (Gbadegesin et al. 2022). Díky menší finanční náročnosti se celkový příjem z farem zvýšil o miliony USD. První zemí, která tu komerčně pěstovala GM plodiny (kukuřice na 700 ha) byl Egypt v roce 2008 (James 2011).

Přijetí této technologie je omezeno převážně názory a situací ve světě. V Africe začal vývoj GM technologií v roce 2001 během potravinové krize v jihoafrických regionech. Politika byla změněna tak, aby akceptovala GM potraviny darované Světovým potravinovým programem (WFP) (Paarlberg 2010). Komercializace Bt bavlny odolné vůči hmyzu je v Súdánu 98 % pěstuje se na 192 000 ha. Jiné země, jako je Nigérie, Etiopie, Ghana, Keňa a Uganda vyvíjejí různé plodiny odolné vůči suchu, škůdcům a vysoce výnosné (Adenle 2011).

Úspěch produkce GM plodin je způsoben dostupností účinných regulačních postupů pro biologickou bezpečnost a budování biotechnologického výzkumu a vývoje. To vše za doprovodu školení farmářů, vědců a zvyšování povědomí veřejnosti prostřednictvím aktivních mediálních programů (Gouse et al. 2016). V Africe je potenciálně možnost pěstovat i neobvyklé plodiny, například brambory, banány nebo čirok. Takové pěstování se neuplatňuje. Politika a náklady na regulaci způsobují zpoždění při získávání regulačního schválení pro GM produkty. Velké firmy spolupracují převážně se zeměmi s pokročilou technologií a neinvestují do malopěstitelů (Paarlberg 2010).

Navzdory mnoha obavám spojeným s využíváním GMO si v Africe získávají uznání. Mnoho afrických zemí investuje do školení a rozvoje odborných znalostí s cílem prohloubit využití nových technologií. Komercializace a ekonomické dopady využití podnítily několik výzkumných institucí a regionálních vlád, jako je Africká unie (AU) (Gbadegesin et al. 2022). Kolem 25 % firem je ochotno vyrábět GM potraviny nebo krmiva pro komerční a výzkumné účely a jen 10 % je ochotno je pěstovat. To naznačuje, že je třeba, aby africké země změnily regulační politiku zaměřili se na místní produkci spíše než jejich dovoz (Gbadegesin et al. 2022). Nedávný vývoj zahrnuje schválení, registraci a komerční uvedení hybridu Bt bavlny odolného vůči hmyzu v Etiopii, Keni, Malawi a Nigérii. V roce 2019 Nigérie schválila komerční uvolňování modifikovaných vigny čínské (*Vigna unguiculata*) odolné vůči hmyzu a semena byla distribuována farmářům (Adenle 2011).

Afrika by z genetických modifikací měla přínos hlavně ve zmírnění chudoby a hladu. To je dáno nedostatečným zásobováním potravin, negramotností a nízkým příjmům zejména ve venkovských oblastech. Dalšími problémy je nedostatečná technika zpracování potravin, změna klimatu, infrastruktura a nedostatek moderních zemědělských strojů (Gbadegesin et al. 2022).

3.2.8 Pěstování GMO v Evropské Unii

Evropská Unie (EU) uplatňuje princip předběžné opatrnosti při řešení nejistých rizik spojených s GMO. To ovlivňuje i obchodní vztahy se zeměmi s odlišnými regulačními předpisy, jako jsou Spojené státy americké. Členské státy EU nemají vždy stejné názory na GMO. Některé státy požadují celoevropský zákaz všech GMO, jiné požadují povolení k pěstování, prodeji a používání nových geneticky modifikovaných plodin. Státy mají různé důvody pro obavy, kromě environmentálních a zdravotních jsou to i morální obavy. Ty se mohou týkat toho, kdo ponese odpovědnost ve složitém systému kontroly rizik (Schmidt et al. 2020).

Francie byla v 90. letech vedoucí zemědělské ekonomiky v Evropě. Kdyby došlo k přijetí GMO v této zemi, je možné, že by se změnil osud biotechnologických plodin v celé Evropě. Po předchozích událostech občané příliš nevěřili vládě a ta se spíše zdržovala jakýkoliv akcí i když biotechnologie podporovala. GMO také postrádaly podporu ze strany hlavní zemědělské unie (FNSEA) a jejích přidružených organizací (Kuntz 2014). Na straně odpůrců GMO se postavily ekologické organizace jako Greenpeace, které hájily venkovské zemědělství a bojovali proti velkým vládním korporacím a globalizaci. Propagovali názory, že GMO je politický boj a vyzývali zemědělce proti vládě. Dne 18. prosince 1996 povolila Evropská komise na doporučení francouzských úřadů uvádění GM kukuřice Bt-176 na trh. Vyvinula ji společnost Novartis. Dne 25. září 1998 po promluvě Greenpeace, nejvyšší francouzský správní soud pozastavil uvádění prodej transgenní kukuřice. V červnu 1999 ministři životního prostředí navrhli zpřísnění legislativy pro uvádění GMO na trh (Schmidt et al. 2020).

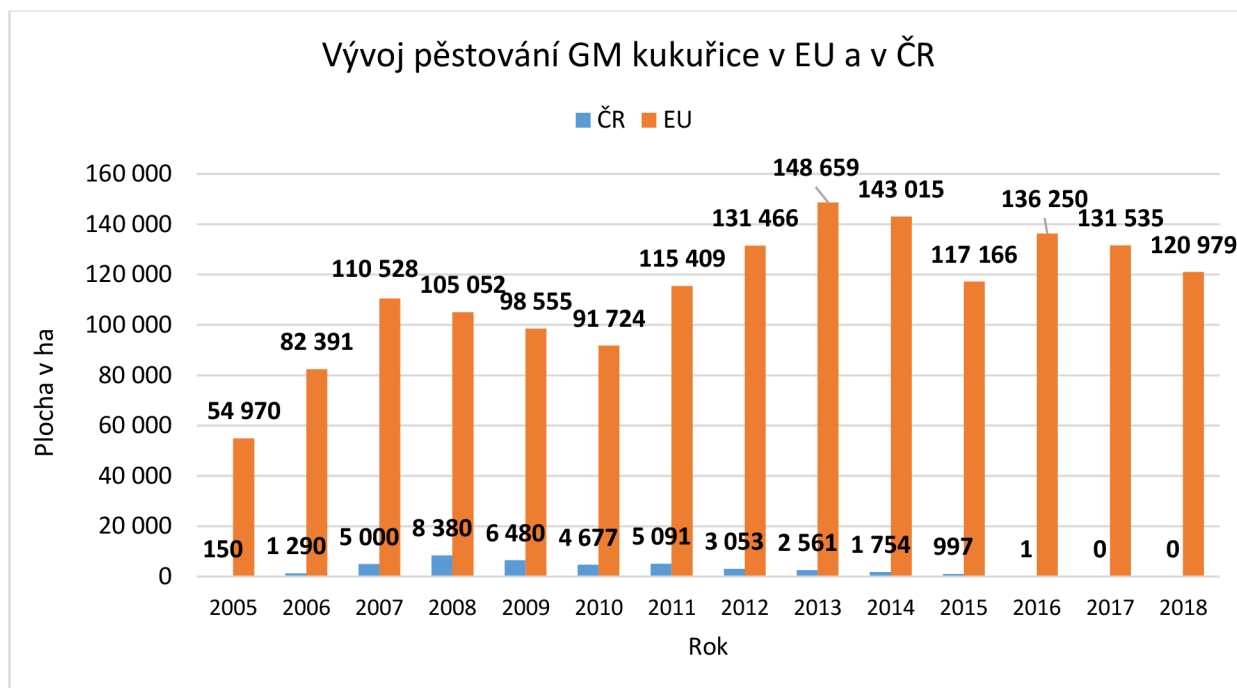
Kuntz (2014) uvádí, že pěstování GM kukuřice MON810 bylo ve Francii obnoveno v roce 2005 na 492,8 ha, pokračovalo v letech 2006 na 5000 ha a v roce 2007 na 21200 ha. Zájem v oblasti kupců nebyl příliš vysoký. Pěstovali ji spíše farmáři jako krmivo pro svá zvířata. Po

roky snahy a podpory vlády byl poslední pokus o genetickou modifikaci (experiment s topoly) ukončen v červenci 2013. Důvodem je i postoj a aktivity aktivistů proti GMO.

3.2.9 Pěstování GMO v České republice

Česká republika je vnitrozemským státem, má více než 10 milionů obyvatel. V rámci Evropy patří mezi středně velké země (Burachik 2010). V současnosti je pěstování a prodej GMO upravováno pomocí legislativ a mezinárodními smlouvami Evropské Unie. Česká republika přistupuje k GM plodinám převážně vědeckou cestou a nechává rozhodnout pěstitele pro tuto formu hospodaření. Na území našeho státu lze pěstovat schválené plodiny Evropskou Unií, která má velmi přísná pravidla (Doubková 2008). Náklady na dodržování schvalovacího postupu EU jsou tak vysoké, že si je mohou dovolit jen velké mezinárodní společnosti (Burachik 2010). Zisk mnoha zemědělců je však dán pouze dotacemi a podporou státu. I to je důvod, proč chtějí pěstitelé přístup ke GMO. Schválení od EU trvá příliš dlouho nebo je pěstování takových plodin velice omezeno. Kromě EU pouze Nový Zéland reguluje úpravy genomu podle svých pravidel pro biologickou bezpečnost, a to také prostřednictvím soudního rozhodnutí. (Davison & Ammann 2017).

Za celé období pěstování GMO bylo komerčně povoleno v EU pěstovat jen dvě plodiny. První je kukuřice odolná proti hmyzu s označením MON810, vývoj jejího pěstování v EU a v ČR je zaznamenán v Obr. 7 a počet pěstitelů této kukuřice se nachází v Tab. 1. GM kukuřice byla schválena v roce 1998, v ČR byla poprvé komerčně pěstována v roce 2005 (Demnerová 2003). Druhá jsou transgenní brambory, které mají změněné vlastnosti škrobu tak, aby se dali lépe použít v průmyslu. Byly vyvinuty německou firmou BASF a schváleny v roce 2010. Později je stáhly z trhu pro nepřijetí veřejností. Pěstování kukuřice má svá omezení, protože státy v EU mají různé regulační zákony. Proto se ve skutečnosti v EU příliš GMO nepěstují (Davison & Ammann 2017). Dovoz této kukuřice je povolen pro potraviny i krmiva, ale její pěstování klesá. K získání Souhlasu pro pěstování je potřeba podpora většiny členských zemí. Každý členský stát může omezit nebo zakázat pěstování GM na svém území (Hundleby et al. 2018).



Obr. 7 Vývoj pěstování GM kukuřice v EU a v ČR

Zdroj dat: MZe 2018

Počet pěstitelů GM kukuřice v EU:	
Rok	Počet pěstitelů
2005	51
2006	82
2007	126
2008	167
2009	121
2010	82
2011	64
2012	41
2013	31
2014	18
2015	11
2016	1
2017	0
2018	0

Tab. 1 Počet pěstitelů GM kukuřice v EU

Zdroj dat: MZe 2018

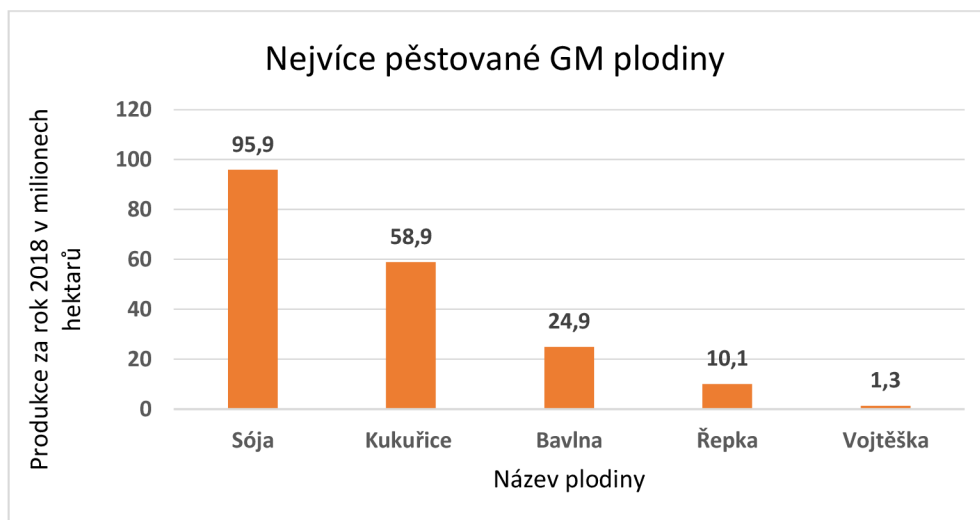
Jiné státy biotechnologii přijaly. Použily při tom důležité ekonomické vlastnosti, odolnost proti hmyzu, biotickým a abiotickým faktorům. Dále využili možnost změnit množství oleje,

masných kyselin a pozdější měknutí ovoce (Hobe et al. 2015). Možností pro EU je více pokusů, které může provádět pouze 11 členských zemí. Pouze šest z nich provedlo nějaký pokus v roce 2017 na volném poli (Hundleby et al. 2018). V České republice je výzkum GMO poměrně běžné. Země má celkem 80 oprávněných institucí. Nejvíce pracují laboratoře s kulturami geneticky modifikovanými mikroorganismy, jako bakterie a kvasinky ze kterých se vyrábějí enzymy, vakcíny nebo se používají pro diagnostiku. Používají se GM zvířata, která se používají v laboratořích pro vývoj různých léčiv (Doubková 2008).

Dovoz sóji do Evropy je kolem 20 milionů tun ročně, vyskytuje se hlavně v dovážených krmivech nebo v některém oleji. Většina z ní je geneticky modifikovaná. Dovážet do Evropy lze i některé modifikace kukuřice a řepky. I když v historii i v současné době se poukazuje na přínosy GMO se EU stále nepřiklonila na tuto stranu (Doubková 2008). S ohledem na jiné státy pěstující GM plodiny EU stagnuje. Je to dané rozdílnými názory a nedostatečnou osvětou veřejnosti. Stále jsou lidé, kteří by tuto možnost uvítali. Stále je ale potřeba politické rozhodnutí, je třeba rozhodnutí zvážit. Rozhodnutí může ovlivnit zemědělství i politickou nebo sociální sféru. Vše je nutné zvážit spolu s vědeckými výsledky (Ricroch et al. 2018).

Vše, co obsahuje GMO je nutné označit dle legislativy EU. Musí se zajistit předání informací od pěstitele ke spotřebiteli. I když je produkt vyrobený z materiálu, který již obsahuje nějaké množství modifikovaného původu, musí nést správná značení a zajistit případné dohledání produktů. Výjimka je značení produktů s neúmyslným nebo nevyhnutelným množstvím příměsí, které je v Evropě maximálně 0,9 %. U využívání GM mikroorganismů na farmaceutické nebo aromatické výrobky a živočišných výrobků od zvířat krměných GM plodinami se toto nevztahuje (Davison & Ammann 2017).

3.3 Charakteristika hlavních geneticky modifikovaných plodin



Obr. 4 Nejvíce pěstované GM plodiny

Zdroj dat: James 2020

3.3.1 GM sója

Celosvětově je GM sója tolerantní ke glyfosátu nejpěstovanější modifikovanou plodinou (viz Obr. 4). Glyfosát je globálně nejpoužívanější herbicidním přípravkem. Hlavní producentské země jsou USA, Brazílie a Argentina. Při tom se sója Roundup Ready podílela na většině světové produkce. GM sója první generace, vyrobená společností Monsanto Company, byla geneticky modifikována tak, aby snášela herbicidy na bázi glyfosátu během celé vegetační sezóny. Tvrdilo se, že tato sója je ekvivalent k neGM sóji (Shaner et al. 2012).

Dosaženo takové tolerance je dáno vložením transgenního konstruktů do rostlinného genomu. Ten stále tvoří *Agrobacterium* kmen CP4, který je odpovídající rostlinnému enzymu EPSPS. EPSPS je důležitý pro produkci některých nepostradatelných esenciálních aromatických aminokyselin. Glyfosát je schopen se vázat na všechny známé rostliny, plevel a plodiny s EPSPS. Vazba vede k zastavení působení enzymu a následně k smrti rostliny (Wong & Chan 2016). Glyfosát váže CP4 EPSPS tvořený v GM sójových buňkách v zahuštěném, neinhibičním uspořádání sloučeniny. Rostliny upravené k expresi enzymu CP4 EPSPS jsou tedy tolerantní ke glyfosátu. Pomocí toho můžeme vymýt plevelné druhy postřikem glyfosátem a nepoškodit GM plodiny. Rozsáhlé používání však může vést k rezistenci plevelů. Tento vývoj lze spatřit převážně v monokulturách v zemích jako je USA (Shaner et al. 2012).

V Jihoamerické republice byla první GM plodinou sója v roce 1996. Sója je druhou největší zemědělskou plodinou pěstovanou ve Spojených státech amerických. V roce 2016 dosáhla její produkce hodnoty 40,9 miliardy USD. Produkce je soustředěna na severu centrální oblasti. Kde představuje kolem 84,5 % americké produkce sóji (Rastogi Verma 2013). Přes 70 % celkové produkce sójových bobů je vyváženo ve formě sójových bobů, nebo jako produkty olej a šrot (Tsatsakis et al. 2017).

V Brazílii bylo klíčové rozšíření pěstování sóji z jihu, do oblastí savan ve středozápadní části země. To bylo umožněno technologickým postupem, lepším hospodařením s půdou a hnojivy a pokrok ve vývoji nových odrůd. V Brazílii byla komerčně uvedena na trh technologie sójových bobů MON 87701 × MON 89788 exprimující insekticidní protein Cry1Ac a sója s tolerancí ke glyfosátu byla v roce 2013 dostupná pro farmáře (Lema 2019).

Sója se v Argentině pěstuje na 20 milionech hektarech s celkovou produkcí 50 až 60 milionů tun. Je třetím největším producentem sóji po USA a Brazílii. Většina argentinské sóji je geneticky modifikována. V roce 2016 bylo asi 74 % celkové produkce sójových bobů (43,8 milionů tun z 58,8 milionů tun) vyvezeno jako sójové boby nebo odvozené produkty, jako je sójový olej a sójový šrot. Jen málo pěstitelů nemodifikované sóji vyváží svou produkci na evropský trh, který oceňuje neGMO (Redden 2021).

V Africe je sója nepůvodní plodina. Je to olejnatá plodina, představuje význam pro malé pěstitelů a má potenciál pro zvýšení bezpečnosti, a hlavně výživy pro tamní obyvatele. Také má potenciálem být komerční plodinou díky své možnosti širokého použití jako potravina, krmivo a průmyslová surovina (Mpeperek et al. 2000). V subsaharské Africe (SSA) jsou Zeměmi, které jí pěstují Jižní Afrika, Nigérie, Zambie a Uganda. Subsaharská Afrika obsahuje

600 milionů hektarů orné půdy, využito je jen 10 % (Adenle 2011). V posledních desetiletích se její plochy pěstování zvyšovaly, ale její výnos zůstával stejný. Zvýšením ploch se také zvýšily plochy pěstované sóji. Nízký výnos lze přičíst špatné kvalitě odrůd a omezené aplikaci hnojiv a fakt malé historie produkce sóji (Ibrahim 2012). Obvykle se pěstuje v malých zemědělských podnicích spolu s čirokem nebo kukuřicí. Dlouhou historii produkce sóji domorodými farmáři má Nigérie a Zaire (Mpeperek et al. 2000).

Sójový šrot se používal pro krmení drůbeže díky svému vysokému obsahu bílkovin a stravitelných aminokyselin. Drcení postupně rostlo a v roce 2016 to činilo 2 200 000 tun jen v Jižní Africe. S tímto roste i množství výrobků obsahující drcenou sóju. Důvody stojící za úspěšnou produkcí sóji, patří vládní politika, která podporuje lokální zemědělství, pokrok ve výzkumu, snaha začlenit sóju do dalších potravin a ochota místních výrobců je používat. Nejvíce se to daří v Jižní Africe a v Nigérii. V Africe přetrvává problém s podvýživou, je třeba zvýšit produkci bílkovin pro rizikové skupiny jako jsou kojenci. Pěstování sóji se tedy nabízí jako optimální řešení (Vitale et al. 2008).

3.3.2 GM kukuřice

Biotechnologie se široce používá právě vzhledem ke kukuřici. Je jedena z prvních plodin využita pro genetické inženýrství. Poprvé byla použita v Severní Americe v roce 1996. Od té doby se rozšířila i do jiných míst na Zemi, včetně Evropy. Její použití se rozšířilo na 185 milionů ha v roce 2017. Mimo EU se pěstuje v 11 zemích (USA, Kanada, Argentina, Brazílie, Kolumbie, Paraguay, Uruguay, Honduras, Jižní Afrika, Filipíny a Vietnam) (Meade et al., 2016). V Evropské unii je jediným povoleným znakem pro pěstování GM odolnost vůči škůdcům (IR) z řádu Lepidoptera, především zavíječi kukuřičném. Poměrně běžný přístup nejen v EU, je regulace pomocí používání insekticidů. Ty mají omezenou účinnost, mohou zneškodnit larvy škůdců na povrchu rostlin kukuřice v době postřiku. Méně účinné mohou být na vajíčka, které jsou zavrtané ve stoncích. Chemická ochrana je především v zamořených oblastech velmi nákladná. To byl důvod pro rychlé přijetí biotechnologií farmáři (Brookes 2019).

Bacillus thuringiensis (Bt) je půdní bakterie, produkuje několik krystalických (Cry) proteinových toxinů, ty ničí střevo napadajícího škůdce, jako jsou larvy housenek. Dosud bylo identifikováno více než 50 genů Cry a bylo zjištěno, že ovlivňují různý hmyz odlišnými způsoby. Bt je bezpečný pro lidi, savce a většinu hmyzu. Od 60. let 20. století je oblíbeným pesticidem, protože neprokazoval příliš vedlejších účinků. Jeho plošné používání by mohlo způsobit budoucí odolnost vůči němu. Kukuřice MON 810 je odolná k zavíječi kukuřičnému (tzv. Bt kukuřice). Do její dědičné výbavy byl vložen gen pro δ (delta)-endotoxin, bakterie *Bacillus thuringiensis*, jehož produkt působí specificky na uvedeného škůdce (Cottenet et al. 2019).

Původním znakem IR kukuřice schváleným pro pěstování v EU byl Bt 176. Dostupný byl ve Španělsku v roce 1998 v jedné odrůdě Compa CB. Schvalování dalších GM plodin členskými státy trvalo až do roku 2003. Během tohoto období byla průměrná plocha osetá IR kukuřicí ve Španělsku 21 500 ha. Po roce 2003 byl schválen MON 810 a Bt 176 byl stažen z trhu. V Portugalsku byla modifikovaná kukuřice poprvé vysazena v roce 1999 na 1 300 ha. Znovu

byla vysazena až v roce 2005. Následující roky plocha stále rostla tak, že od roku 2011 bylo přibližně 7–9 % celkové plodiny oseto GM kukuřicí (Brookes 2019).

Ve Vietnamu se v roce 2019 pěstovalo 92 000 ha GM kukuřice pro zisk zrna. Ve Vietnamu je téměř veškeré osivo žluté kukuřice hybridní. Místní zemědělci mají asi jen 0,5 až 1 ha plochy a osazují jí z většiny jednou plodinou, kukuřicí nebo rýží (Huang et al. 2003). Využití GM odrůd jim přineslo menší náklady spojené i s regulací plevelu, kterou v některých oblastech dělají ručně (Wang 2015).

3.3.3 GM řepka

Nejvíce se pěstuje v západní Austrálii. Řepka byla vysoce riziková plodina. Je náchylná k houbovým chorobám a k plevelům, které snižují kvalitu porostu. Schváleny jsou 2 odrůdy Roundup Ready a InVigor. Roundup Ready obsahuje geny se změnami EPSP syntázy a glyfosfátu (Redden 2021). Po testech na dopad na životní prostředí získala schválení a je jedinou schválenou modifikovanou řepkou. Zavedení této řepky mělo pozitivní dopad na regulaci plevelu. V roce 2014 byla plocha pro výsadbu GM řepky 14 %, v roce 2009 to byla pouhá 4 % (Lesslie & Mewett 2018).

Řepka je čtvrtá nejvíce pěstovaná plodina v Číně po rýži, kukuřici a pšenici. Čína zlepšuje své technologie a s tím se zvýšila i kvalita řepky. Konvenční řepkový olej s vysokým obsahem kyseliny erukové byl změněn na olej s nízkým obsahem kyseliny erukové s vysokou nutriční hodnotou. Řepkový šrot s nízkým obsahem glukosinolátů se stal vysoce kvalitním bílkovinným krmivem namísto hnojiva. Japonsko produkuje řepku již od konce 19. století. Průměrná roční spotřeba je asi 2,4 milionu tun. V současnosti produkuje asi 3000 tun semene řepky za rok, to představuje pouze 0,1 % celkové spotřeby (Hu et al. 2017).

Řepka je jednou z nejvýznamnějších olejnin s produkcí 75 milionů tun ročně. Pro kulinářské účely představuje 13 % celosvětové spotřeby oleje na osobu. Řepka je v Kanadě čtvrtou nejdůležitější plodinou a nejvýznamnější olejninou. Roční vývoz řepkového semene, oleje a moučky je více než dvě miliardy kanadských dolarů. GM řepka získala federální regulační schválení v Kanadě v roce 1995 (Tourangeau 2017).

3.3.4 GM bavlník

Bavlna jako produkt je obnovitelný zdroj a je biologicky odbouratelná. Také je náchylná k napadení škůdců a chorob. Navzdory tomu, od jejího komerčního zavedení v USA, jsou výhody stále sporné. Hlavní cíl pro zlepšení je zvýšit vlastnosti související s výnosem vláken a odolnost vůči suchu. GM bavlna odolná vůči hmyzu a vůči herbicidům byla dodávána farmářům v rozvíjejících zemích již po 16 ti letech od jejich zavedení na trh. Typický producent je Čína (James 2011).

Čína má nejvyšší výnos z GM bavlny, nejnižší náklady na GM osivo a nejnižší náklady na chemické postřiky ve srovnání s jinými zeměmi. Většina tamní produkce pochází od chudých farmářů (Huang et al. 2003).

V Indii ji podporuje asi 60 milionů lidí, včetně farmářů a bavlnářského průmyslu. První obavy se začali objevovat v roce 1998 (Nicolia et al. 2014). Díky ekonomickým, ekologickým i zdravotním a sociálním přínosům modifikované bavlny se tu osela plocha 10,8 milionů hektarů (James 2011). V Indii, stejně jako v Číně, jsou producenti převážně drobní farmáři. Ti díky tomu významně zvýšili svou životní úroveň. Zavedení této technologie prospívá snížení používání pesticidů a vyššímu výnosu (Wong & Chan 2016). Před jejím zavedením tu nebylo mnoho účinných možností, jak snížit výskyt hmyzu (především Černopáska bavlníková) bez použití insekticidů (Huang et al. 2003).

GM bavlna se v Austrálii začala poprvé komerčně pěstovat v roce 1996. Stala se třetím největším zemědělským exportem. Konvenční odrůdy bavlny byly často nahrazovány odrůdami se dvěma BT-geny. Tím se prokazatelně snížilo průměrné množství insekticidu až o čtyři pětiny, to vedlo mimo jiné i k větší bezpečnosti práce. Zavedení do Austrálie mělo významné agronomické výhody. Snížení výrobních nákladů, jako je méně postřiků a tím méně nákladů na čas a práci, přineslo ekonomický zisk (Lesslie & Mewett 2018).

3.3.5 GM brambory

Současné strategie pro pěstování brambor zahrnuje kombinaci různých postupů, biologické kontroly a chemického ošetření. Následek je rezistence mandelinky bramborové vůči insekticidům a s tím spojená zdravotní a ekologická rizika. V závislosti s tím, se nátlak veřejnosti po omezení používání pesticidů stále zvyšuje. Cry proteiny jsou aktivními složkami mikrobiálních insekticidů na bázi Bt, které se již několik desetiletí používají jako postřiky na listy v zemědělství. V současnosti je jedinou GM odrůdou „Amflora“, brambory jsou pěstované komerčně a jsou schválené pro průmyslové použití a krmení zvířat (Rahnama et al. 2011).

Bacillus thuringiensis var. tenebrionis (B.t.t.) produkuje krystalový protein Cry3A, který vykazuje insekticidní vlastnosti vůči mandelince bramborové. Výhoda je, že nejsou škodlivé pro člověka, zvířata ani další organismy. Je alternativou ke konvenčním postupům využívající chemické insekticidní přípravky. Ve srovnání s většinou ostatních chemických insekticidů se Bt postřik rychle se rozkládá a fotosyntetizuje, představuje omezenou ochranu rostliny. Také je tu zvýšené riziko pro rychlé navození rezistence (Kadoić Balaško et al. 2020).

Geny Cry se používají k vytvoření transgenních rostlin odolných vůči hmyzu. V roce 1995 byly představeny první geneticky modifikované kultivary brambor exprimující toxin Cry3A. Vložením genu byly rostliny brambor schopny odolat napadení hmyzem a snížit poškození způsobené hmyzem. Chuťové vlastnosti byly nezměněny a odrůda Russet Burbank se začala prodávat. GM odrůda pro lidskou výživu byla komerčně dostupná v USA od roku 1996 do roku 2001. Kvůli komplikacím spojeným s výsadbou, novým insekticidním sloučeninám a nevelkému přijetí veřejnosti prodej netrval dlouho (Rahnama et al. 2011).

3.3.6 GM rýže

Rýže je primární zdroj potravy pro více než polovinu světové populace. Čína je největším producentem a spotřebitelem rýže na světě. Na 20 % orné půdy v Číně se pěstuje rýže. S narůstající populací je nutné zvýšit její výnos. Bylo vyvinuto několik odrůd rýže využívající bakterii *Bacillus thuringiensis* (Bt), která představuje zvýšení produkce a sníženou aplikaci pesticidů. Škůdci jsou hlavní problém, kterému čelí. Hlavní opatření je aplikace insekticidů (Huang et al. 2003). Byly vyvinuty dvě linie Bt rýže – Bt Shanya 63 a Huahui 1. Získali certifikáty biologické bezpečnosti pro komerční použití (Li et al. 2016).

Ve společnostech, kde je rýže primární potravinou, převládá chudoba a infekční nemoci, spolu s kombinací absence rozmanitosti stravy vede k nedostatku vitamínu A. Například GM rýže s názvem „Golden Rice“ byla speciálně navržena tak, aby produkovala vysokou hladinu β -karotenu v boji proti nedostatku vitamínu A (VAD), který celosvětově postihuje více než 250 milionů dětí. Odrůda produkuje beta-karoten, prekurzor vitamínu A, v jedlé části rýže. Od roku 1991 do roku 2013 se míra VAD u dětí v zemích s nízkými a středními příjmy snížila z 39 % na 29 %, s výrazným zlepšením u dětí ve východní a jihovýchodní Asii (Pérez-Massot et al. 2013). Mnoho produktů, které by pomohly zvýšit rozmanitost stravy jsou na místních trzích nedostupné nebo drahé (Li et al. 2016).

3.3.7 Další GM plodiny

Sladké brambory jsou důležité potravinářské plodiny v tropických a subtropických oblastech. Roční celosvětová produkce je kolem 100 milionů tun. Pocházejí z tropické Ameriky, přesto asi 75 % jejich produkce nyní pochází z asijských zemí (Zhou et al. 2015). Používají se v potravinářském průmyslu k výrobě různých produktů a ke zpracování na biomateriály, jako jsou modifikované škroby a bioetanol pro energetický průmysl. Batáty mají velký energetický výnos a poměrně dobrou toleranci k nepříznivým podmínkám. Zejména v rozvojových zemích je důležité zásobení kořene, který je zdrojem živin, jsou bohaté na vitamíny a minerály a obsahují velké množství škrobu. Škrob je hlavní zásobní složka kořene batátu a tvoří 50–80 % sušiny (Pérez-Massot et al. 2013). Kromě těchto látek obsahují další složky s různými funkcemi podporujícími zdraví, jako jsou karotenoidy, vláknina a antokyany. Zvýšení těchto složek se stalo cílem ve šlechtění a v genetické modifikaci. Konvenční hybridizace sladkých brambor je obtížná a časově náročná. Během několika posledních desetiletí tradiční šlechtitelské techniky přispěly ke zlepšení výnosu, nutričním hodnotám a odolnosti vůči chorobám. Biotechnologie poskytuje možnost pro zlepšení vlastností batátů, aniž by se změnila jejich stávající žádoucí vlastnosti (Zhou et al. 2015).

První transformace rajčat pomocí *Agrobacteria* byla popsána v roce 1986. Od té doby se použilo několik postupů k transformaci různých odrůd. První komerční prodávanou geneticky upravenou plodinou byla odrůda rajčat Flavr Savr. Zaznamenalo krátký, ale důležitý úspěch, díky nákladům spojených s bioinženýrstvím a rostoucím obavám spotřebitelů. Již 30

let se *Agrobacterium* používá k produkci geneticky upravených plodin pro komerční účely (Lewis 2014).

Maniok se pěstuje v tropické Africe, Asii a Americe. Představuje plodinu s produkcí 276,7 milionů tun pro téměř jednu miliardu lidí ve 105 zemích. Je třetím nejdůležitějším zdrojem kalorií v tropech a má vyšší kapacitu akumulace škrobu, odolnost vůči suchu a odolnost vůči nízkým hladinám živin v půdě než jiné škrobové plodiny. Obsahuje 800 gramů škrobu v 1 kilu hmotnosti. Je bohatý na vitamín C, je zdrojem energie pro lidskou spotřebu i pro průmyslové zpracování. Používá se na výrobu potravin, krmiv, v kosmetickém průmyslu a jako biopalivo. Maniok je oblíbený u malých farmářů, protože má nízké nároky na práci, čas a peníze. Vysoký obsah kyanogenních sloučenin, nízký obsah proteinů, mikroživin a krátká doba skladovatelnosti po sklizni měla za následek omezení rozvoje pěstování a ekonomický rozvoj této plodiny (Li et al. 2017).

Hroznové víno v Austrálii představuje významnou část zemědělství. Prodává se nejen jako ovoce, ale používá se k výrobě vína a na další použití. Pěstují se dlouho a není divu, že se stále šlechtí. Nové možnosti vkládání genů přinesly možnost úpravy, které s předchozími metodami byly obtížné. U hroznů patří mezi chtěné vlastnosti vůně a chuť. Vinařský průmysl v Austrálii se potýká s podnebím, využití vody a živin. Několik studií úprav genů ukázali na lepší organoleptické vlastnostmi a odolnost proti plísni révové (Zhang et al. 2021).

Mrkev je poměrně variabilní druh vhodný pro genetické inženýrství. Nejčastěji probíhá modifikace pomocí Agrobakterie. Je vhodná pro studium řady procesů, jako je morfogeneze, somatická embryogeneze nebo regenerace protoplastů. V roce 1980 byla mrkev podrobena genetické modifikaci zaměřené na genovou funkci metabolismu rostliny a zlepšení agronomických vlastností. Má několik výhod pro zkoumání, mezi které patří velká dostupnost materiálu a její snadná reprodukce. Pro své ceněné vlastnosti se používá jako základ suspenze v biofarmacii (Rosales-Mendoza & Tello-Olea 2015).

Genetická modifikace cukrové třtiny by mohla sloužit k začlenění vlastností odolnosti vůči škůdcům a chorobám do komerčních odrůd a ke zvýšení jejich výkonnosti a výnosu cukru. Také ji lze použít ke zvýšení celkové biomasy energetické třtiny a ke snížení výrobních nákladů celulósového ethanolu (Pan 2012).

U papáji přinesla genetická modifikace odstranění překážek běžné v konvenčním pěstování. Využívá se především k toleranci biotického a abiotického stresu. Z odolnosti proti chorobám je to rezistence proti PRSV (papaya ring spot virus). Princip spočívá v transgenním proteinu, který narušuje interakci po napadení patogenem, to následně dodává rostlinám odolnost vůči chorobám. Další možnost je použití mírných virových kmenů k ochraně hostitelských rostlin proti virulentnějším kmenům, které způsobují vážná poškození (Dhekney et al. 2016).

3.4 Přínosy a rizika geneticky modifikovaných plodin

3.4.1 Přínosy GM plodin

3.4.1.1 Přínos pro pěstování rostlin

Současně pěstované kulturní plodiny prošly během staletí proměny. Byly různě upravovány a šlechtěny na chtěné vlastnosti. S rozvojem technologií se rozšiřovaly i možnosti jejich upravování. S novými vědeckými možnostmi se vědci zaměřili i na metody využívající genetické úpravy, vznikla tak mutagenese a přesnější šlechtitelské programy. Začaly se propojovat geny s žádanými vlastnosti (Zilberman et al. 2018). V zemědělství se vyvinuly různé postupy, které tyto metody začali využívat (Drobník et al. 2002). Použití molekulárních markerů k identifikaci vlastností genetického materiálu různých organismů je jedna z nich. V genetickém inženýrství je to transgenní metoda s využitím bakterií a dalších organismů. To umožnilo přenos určité vlastnosti mezi druhy (Pérez-Massot et al. 2013).

Ve světě existuje snaha snížit ekologickou stopu v zemědělství nebo co nejvíce snížit vstupy a tím snížit finanční zátěž. Odrůdy plodin tak stále více čelí nejen měnícím se klimatickým podmínkám, ale i dalším biotickým a abiotickým faktorům (Brookes 2019). Biotechnologie se snaží rozšířit možnosti farmářů a snížit potencionální náklady. Zkracují dobu potřebnou k rozvoji požadované vlastnosti, což u šlechtění trvá poměrně dlouhou dobu. Při genetických modifikacích se provádějí mírné úpravy pro kontrolu vlastnosti rostliny. Šance na nezamýšlený genový projev je tedy nižší než u tradičních šlechtitelských metod (Zilberman et al. 2018).

Glyfosát se běžně nachází v herbicidech. Úspěšně zahubí plevel pomocí zastavení drah produkující aminokyseliny. Zablokuje inhibici enzymu EPSP, poté organismus zemře kvůli nedostatku esenciálních aromatických aminokyselin (Wong & Chan 2016). Společnost Monsanto vyvinula jeden z herbicidů na bázi glyfosátu. Použila zjištění, že kmen *Agrobacterium tumefaciens* by měl být schopen výrobu přežít pomocí EPSP syntázy necitlivé na glyfosát a vyvinula tak nový výrobek používající genovou modifikaci (Funke et al. 2006).

Pomocí GM kukuřice odolné vůči škůdcům došlo ke snížení dopadu na životní prostředí, které jsou spojené s používáním insekticidů. Od roku 1998 bylo používání insekticidů na španělské modifikované kukuřici sníženo o 678 000 kg účinné látky, to je snížení o 37 %. Dopad na snížení skleníkových plynů je spojený s úsporou paliva. S použitím biotechnologií je potřeba méně pracovních operací, méně paliva a s tím spojených skleníkových plynů (Brookes 2019). Další přínos je úspora vody, snížilo se rozprašování insekticidů. Ta se projevila i při zavlažování, kdy GM odrůdy nepotřebují, díky lepším výnosům, tolik zavlažovat (Mohorčich & Reese 2019).

3.4.1.2 Přínos pro lidské zdraví

Obavy o zdraví, jsou kritickou součástí jakékoli debaty o vlastnostech technologií, které souvisejí s potravinami. Odpůrci genetických modifikací často vyjadřují obavy z dopadů na lidské zdraví. Po desetiletích výroby neexistují jasné důkazy o poškození zdraví spotřebitelů, ke kterému došlo v důsledku konzumace geneticky modifikovaných produktů (Pérez-Massot et al. 2013). Potenciální zdravotní přínos je Bt-kukuřice. Bt plodiny jsou upraveny tak, aby obsahovaly gen, který kóduje produkci Bt toxinů. Ten je smrtelný pro larvy konkrétních druhů požitím. Zajišťuje ochranu proti škůdcům a slouží ke snížení hladin mykotoxinů, které produkují houby, když napadnou rostlinu prostřednictvím ran způsobených škůdci. Jeden typ mykotoxinů, aflatoxin, je karcinogen, který je spojován zejména s rakovinou jater. Zavedení GM kukuřice tedy sníží použití insekticidů, napadání škůdci, na které mohou navazovat houbové choroby, které mohou způsobit onemocnění. Dále modifikované plodiny představují možnosti snížení tuků nebo zvýšení některých nutričních látek (Zilberman et al. 2018).

Syntetizovat lze téměř všechny organické sloučeniny, které lidé potřebují pro normální fyziologickou aktivitu. Ve stravě je vyžadován malý počet specifických molekul známých jako základní živiny. Některé z nich jsou aminokyseliny a mastné kyseliny, mezi další patří vitamíny (Pérez-Massot et al. 2013). Redukovaná forma vitamínu A (retinal) je potřebná pro tvorbu rodopsinu. Ten je nezbytný pro správné fungování zraku a také pomáhá udržovat epitelální a imunitní buňky. Lidé mohou produkovat retinal a kyselinu retinovou, pokud mají jeho zdroj z potravy. Lze ho také syntetizovat přímo z β -karotenu, který se dá zvyšovat za pomoci genetických modifikací (Potryku 2013).

Vitamín C je antioxidant a kofaktor několika enzymů, včetně těch, které jsou potřebné pro syntézu kolagenu, karnitinu a cholesterolu. Při dlouhodobém nedostatku způsobuje kurděje, které odrážejí rozpad pojivových tkání. Existuje několik biosyntetických cest, které generují ho v rostlinách. Jeho množství hromadící se v rostlinách lze zvýšit nejen zvýšením jeho biosyntézy, ale i rychlostí, jakou je molekula recyklována. Mezi další vitamíny, které lze geneticky upravit patří vitamin B9 a vitamin E (Potryku 2013).

Existuje 9 esenciálních aminokyselin, které si člověk nemůže sám vytvořit, musí je přijmout z potravy. Genetické inženýrství přeměňuje rostliny k produkci proteinů obsahujících esenciální aminokyseliny nebo upravuje metabolismus aminokyselin tak, aby se zvýšila jejich dostupnost. Jako první cíl byl lyzin. Jedním z prvních pokusů bylo překonat špatnou nutriční hodnotu obilných proteinů (Pérez-Massot et al. 2013). Při expresi v kukuřici spolu s bakteriálním enzymem byl celkový obsah lyzinu čtyřnásobek normálního množství (Potryku 2013).

Anorganické živiny (minerály) musí rostliny přijímat z prostředí. Přístup ke zvýšení minerálních živin z hlediska bioinženýrství je rozmanitý. Může se zaměřit na zvýšení rozpustnosti živin v rhizosféře, jejich mobilizaci v rostlinách, jejich transport do zásobních

orgánů, zvýšení skladovací kapacity rostliny nebo maximalizace biologické dostupnosti (Potryku 2013). Z hlediska nedostatku živin je významné železo, zinek, selen a vápník. Ostatní živiny nezpůsobují tak velké poruchy. Nedostatek železa je velmi častý. Jeho deficit ve výživě lidí ohrožuje až 2 miliardy lidí na světě. Jeho projevem je anémie. GE se soustřeďuje na zlepšení jeho přijímání z rhizosféry. Zinek je kofaktorem v mnoha enzymech. Nedostatek zinku se projevuje různými příznaky od vypadávání vlasů, kožních lézí, nerovnováhy tekutin až rozpad tělesných tkání. Obilná zrna jsou chudým zdrojem zinku. Je ale snadněji přijímán z půdy. GE se soustředí spíše na zvýšení obsahu zinku v rostlinách a jeho akumulaci. Selen je součástí enzymů a dalších proteinů, které obsahují aminokyseliny selenocystein a selenomethionin, které jsou potřebné pro fungování štítné žlázy. Příznaky nedostatku se týkají právě jí. Nedostatek je poměrně vzácný, minerál je efektivně přijímán z půdy a hnojiva se selenem fungují jako prevence nedostatku v oblastech, kde je půda vyčerpána (Zilberman et al. 2018). GE se zaměřuje spíše na skladování. Většina vápníku je v lidském těle přítomna v mineralizované formě jako součást kostí a zubů. Dlouhodobý nedostatek způsobuje osteoporózu. Zdrojem vápníku jsou mléčné výrobky, malé množství nalezneme v kořenové zelenině a v listových plodinách, jako je hlávkový salát (Pérez-Massot et al. 2013).

Na úrovni farem mají GM plodiny potenciál zlepšit udržitelnost pomocí snížení používání herbicidů, pesticidů a hnojiv, to vede k menší potřebě přeměny přírody na ornou půdu. Nejvíce se to týká chudých farmářů s malým obhospodařovaným pozemkem. Zejména drobní farmáři šetří na vstupech a mohou více investovat do moderní technologie, která jim ušetří další práci a finance. Se svými zdroji tak mají větší objem produkce. S větší produkcí roste populace a zmírňuje se hlad a chudoba. S omezením chemických postřiků a práce s nimi, která často bývá neodborná, se snižují onemocnění farmářů a celkově se zlepšuje jejich zdraví (Rastogi Verma 2013).

Se zvyšujícími se znalostmi mikrobiologie a technologický pokrokem je stále více dostupných vakcín s lepší kvalitou a účinností. Inovativní řešení přináší rekombinantní, vektorové vakcíny a vakcíny na bázi nukleových kyselin nebo somatická buněčná terapie. Jsou navrženy tak, aby obohatily imunitní systém hostitele o nový imunogenní materiál. Vakcíny obsahující GMO obsahují rekombinantní mikroorganismy, které dodávají antigen vakcíny do lidského těla (Dunn et al. 2017). I přes vývoj mnoho vakcín obsahující GMO, jen málo z nich se dostalo na trh pro humánní použití (Bawa & Anilakumar 2013).

Nádorová onemocnění jsou velmi rozšířená po celém světě. Jejich léčba je založená na chirurgickém odstranění nádoru, chemoterapii a radioterapii. Posledních sto let se více uplatňuje imunoterapie. Používají se vakcíny, které obsahují geneticky pozměněné nádorové buňky produkující protizánětlivé proteiny. Ty se smíchají spolu s vakcínou proti původnímu typu nádoru. Používají se k léčbě např. zhoubného malobuněčného nádoru plic nebo maligního melanomu. Další možností je použití modifikovaných virů s cílem destrukce nádorových buněk. Látka ONYX-015 je adenovirus vzniklý modifikací. Nemůže se množit

v organismu, ale napadne pouze nádorové buňky. V genové terapii zůstávají problémy s integrací, kdy mohou zůstat v organismu nebo ho napadnout (Dunn et al. 2017).

3.4.1.3 Přínos pro životní prostředí

Pozitivní vliv má především snížení použití hnojiv, pesticidů a pracovních operací. Také snižují využití orné plochy. Omezení pracovních operací je spojené se snížením využití fosilních paliv a emisí. Například důsledek přechodu sóji na postupy bez obdělávání půdy se v USA spotřeba paliva snížila o 11,8 % a celkové emise skleníkových plynů poklesly o 4,8 milionů tun. Genetické inženýrství obecně nabízí cesty pro zachování odrůd, které by mohly být ztraceny, a pro zachování biologické rozmanitosti plodin. Snižující se náklady na vložení znaku do plodin nesnižuje rozmanitost plodin (Jacobsen et al. 2013).

Na příkladu sóji se ukázalo, že byla zachována její velká rozmanitost. Poskytnutí odolnosti lze zachovat druh, který by jinak nepřežil kvůli přemnožení škůdců nebo změně klimatu. Jedním z nejpokročilejších příkladů je použití genetické modifikace pro kaštan americký, který byl devastován po zavlečení houby *Cryphonectria parasitica* v roce 1876 (Lee et al. 2017). Ve svém domovském areálu byla jeho ztráta kolem 3 miliard stromů. Přítomnost houby v krajině jim bránila v opětovné kolonizaci areálu na východu Severní Americe, oblasti, kde byly kdysi nejpočetnější a ekologicky nejvýznamnější dřevinou. V posledních letech přišel tým výzkumníků s transgenní odrůdou, se zavedeným genem pro pšenici. Ten umožňuje stromu produkovat enzym, který štěpí škodlivou kyselinu šťavelovou produkovanou touto houbou. Podobným příkladem je jilm americký (Jacobsen et al. 2013).

3.4.1.4 Přínos GMO z hlediska potravin

Současná produkce potravin, stejně jako jejich spotřeba pro lidskou spotřebu není dlouhodobě udržitelná. Svět čelí klimatickým změnám a zvyšující se populaci, lze předpokládat stále rostoucí problém s výživou nejen lidí, ale i zvířat (Kramkowska et al. 2013). Rostlinná výroba se musí stále více zabývat klimatickými změnami, sociálními faktory i společenskou úrovní. Je potřeba se více zaměřit na alternativní možnosti ve výživě, tedy i geneticky modifikované organismy (Reisch et al. 2013). Biotechnologie tu má větší možnost uspět na trhu. Mohou se zde uplatňovat pokročilé metody a využívat vložení nových genů do plodin, které pak lze úspěšně pěstovat na horších zemědělských plochách (Zhang et al. 2016).

Evropský úřad pro bezpečnost potravin poskytuje stanoviska i pro GM plodiny a produkty z nich vyrobené, krmiva a potraviny. Takové, které nebyly schváleny se nesmí v EU používat. Schválená je pouze kukuřice MON810. Do rostlin bývají vkládány pouze geny, u kterých jsou známy účinky. Některé z nich jsou rostlinného původu a jsou jen málo změněny. U takových GMO se nenašly rizika. Někteří předkládají nepříznivé výsledky, ty bývají vyňaty z průběhu nikoliv z celkového výsledku testování. To ovlivňuje orgány právní moci více než několika násobně více příznivých výsledků s polními pokusy (Reisch et al. 2013).

Příinnost v GM potravinách je převážně ve zvýšeném obsahu nutričních a nenutričních aktivních látek. Například obsah fetosterolu. Ten je obsažen mimo jiné i v oleji sójových bobů, kde byl jeho obsah zvýšen právě pomocí biotechnologií. Díky tomu lépe snižuje obsah cholesterolu v krvi (Venkatramesh 2010). Dle Tada et al. (1996) je další možnost využití je odstranění alergenů, kterých stále přibývá. Pomocí biosyntézy se odstraní oblast molekuly proteinu rozeznávající poděť na který přijde negativní reakce organismu (například svědění a vyrážka).

Krmiva pro zvířata, stejně jako potraviny pro lidský konzum, používají GM materiál pro vytvoření většího množství objemu krmiva a nakrmit stále rostoucí populaci. Tak jako u potravin se odpůrci GM technologie domnívají, že zvířatům hrozí rizika. Pokud je zvířeno takto krmeno a jeho produkt míří k lidské spotřebě může pak ohrozit i velkou skupinu lidí. Probíhají testy dopadu na zvířata, přesto je tato obava přetrvává. Dá se říci, že GM krmiva mají obdobné problémy jako GM potraviny (Tsatsakis et al. 2017). První obavy se vyskytly při zveřejnění výsledku, že GM brambory způsobily ztluštění střevní sliznice. Později se ukázalo, že experiment byl špatně proveden. Další byl článek, který byl později stažen, o zvětšení nádoru u potkanů krmených GM kukuřicí. To vyvolalo otázku bezpečnosti u veřejnosti, která žádala o nastavení jasných pravidel (Dunn et al. 2017). Probíhaly pokusy na různých zvířatech, které byly krmeny GM kukuřicí, rýží, sójou a pšenicí. Byly pozorovány patologické, reprodukční a další změny. Změny byly malé nebo nepatrné a nebyly nebezpečné (Tsatsakis et al. 2017).

3.4.2 Rizika GM plodin

Genetické modifikace přináší nové možnosti práce s rostlinami a jejich aplikaci v zemědělství. Mohou se generovat specifické genetické varianty, které jsou k nerozeznání od přirozených alternativ. Podobně rychle se vyvíjí i legislativa a regulace takových rostlin, aby se přizpůsobily nové technologii (Mallinson et al. 2018). I když je popsáno několik výhod, jsou možná rizika s tím spojená vysoká. Největší otázkou zůstává, jestli jsou GM potraviny bezpečné. Na úrovni genů nelze jasně předpovědět co se stane, když ho začleníme do jiného organismu, kde bude zasahovat do biologických funkcí (Wong & Chan 2016). Rizika jsou nejvíce spojována s nezávadností pro zdraví lidí a zvířat, problém je spojen i s jejich únikem do životního prostředí. Životní prostředí vykazuje problémy s biodiverzitou, kontaminace a různé infekce rostlin i zvířat (Kauffmann et al. 2019). Riziko může nastat u rostlin, které zlepšíme genem pro odolnost, mohou se tedy lépe množit v prostředí. Mohlo by se stát, že se po vysazení stane plevelem nebo nežádoucí rostlinou v ekosystému. Používání GM plodin v monokulturách přispívá ke snížení rozmanitosti a má za následek snížení počtu rostlinných druhů v přírodě. GMO představující takové riziko je důkladněji zkoumáno. Komplikací je nedostatečná znalost rostlin (Nicolia et al. 2014). Některé studie ukazují na možnost výskytu onemocnění jater a ledvin u laboratorních zvířat, pro potvrzení takové informace je potřeba více testů (Smith 2011).

Vývoj a komerční využití GMO podléhá ve většině zemí přísným právním předpisům. V mnoha zemích musí geneticky modifikované organismy, potraviny a krmiva, které obsahují složku GM původu, projít přísným hodnocením rizik ještě před uvedením na trh. Proces bývá

vícetupňový a slouží k zachycení možných rizik pro zdraví lidí, zvířat a riziko při jejich uvolnění do životního prostředí. Dále slouží k identifikaci rizik a stanovuje pravděpodobnost jeho výskytu, aby bylo možné stanovit závěr o bezpečnosti (Bawa & Anilakumar 2013). Žadatel poskytuje dokumentaci o vědeckém testování, které hodnocení usnadňuje. V EU řízení rizik zahrnuje specifickou monitorovací činnost. Pokud budou k dispozici nové vědecké informace, které zpochybní dřívější závěry o riziku, může zařadit mimořádná opatření a odvolání schválení GMO (Tsatsakis et al. 2017).

Největší obavy se týkají jejich skrytých účincích. Obava o bezpečnost je pochopitelná, přesto je důležité porovnat metody biotechnologií s jejich alternativami. I z tohoto důvodu bylo zavedení označování produktů, které obsahují GMO právě pro podporu svobody výběru veřejnosti (Holst-Jensen et al. 2012). Označování je zásadní pro udržitelnost GMO, protože jsou to převážně spotřebitelé, kteří ovlivňují, jak se produkt bude prodávat a tím určují pronikání produktu na trh. Politika může podpořit nebo znevýhodnit GMO na trhu. Z vědeckého hlediska jsou takové potraviny bezpečné jako jejich protějšky, protože prošly náročným testováním. Přesto chtějí spotřebitelé vědět, z čeho se potravina skládá. Některé země zavedly dobrovolné označení, to někteří lidé považují za nedostatečné a chtějí povinné značení produktů. To může být finančně více náročné a někteří spotřebitelé, by označení mohlo odradit od koupě díky své neznalosti problematiky. V EU podléhá zvláštnímu označování produkt, obsahující více než nepatrné množství GMO (Hundleby et al. 2018).

GMO jsou stále testována a zkoušena různými laboratořemi v několika zemích na světě. Podléhají velmi náročným testům, aby byly opravdu bezpečné pro lidskou spotřebu tak, aby se minimalizovala nebo úplně eliminovala rizika. To zahrnuje podrobnou molekulární charakterizaci, srovnání s konvenčními plodinami stejného druhu, posouzení potenciální toxicity, alergenity a nutriční analýzu. I přes tyto testy není vše úplně spolehlivé, proto jsou důležité regulační předpisy (Dunn et al. 2017). Existují různá nařízení v různých zemích. Bezpečnost potravin kontroluje Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA). I přes spolupráci světových organizací s Evropským úřadem pro bezpečnost, kdy došli ke shodě a vymezili rizika GMO stále panují nějaké rozdíly v závažnosti a prováděných opatřeních. V zemích EU se rizika vztahují převážně k lidskému zdraví. Dovozce GMO je povinen předložit dokumentaci prokazující bezpečnost daného produktu. K tomu se vyjadřují ministerstva zdravotnictví a životního prostředí. Z celého procesu zabírá nejvíce času a je nejvíce ekonomicky náročné právě prokázání bezpečnosti. Tento postup není potřeba u klasických šlechtěných odrůd nebo mutací. (Zhang et al. 2016).

Existují kampaně proti GMO, jsou zaměřené na společnosti a často způsobí, že se společnost vyhne použití těchto složek. Také to může být výsledkem složitého ověřování a regulačního prostředí. To může zvýšit cenu pro spotřebitele (Zilberman et al. 2018). Důkazů o neškodnosti stále přibývá. V roce 2013 byla uvedena studie ve které byly prozkoumány téměř 1800 vědeckých prací o GM plodinách. Došli k závěru, že nejsou prokazatelné přesvědčení o významných rizicích pro lidské použití ani pro životní prostředí (Wong & Chan 2016). Bawa &

Anilakumar (2013) zkoumali několik studií, které se zabývaly hodnocením bezpečnosti komerčních GM plodin (rajčata, sója a kukuřice). Zjistil, že tu jsou rozdíly v produkci bílkovin. Také přišli na nesrovnalosti v pracích zabývajících se rozdíly mezi zvířaty dostávající krmivo GM původu a zvířaty krmenými klasickým krmivem konvenčního původu. V těchto studiích neměly výsledky, které by podpořily názor, že modifikované druhy jsou toxičtější než konvenční.

3.4.2.1 Alergeny

Počet potravinových alergií se v posledních letech zvyšuje. Převážně děti jsou stále více citlivé a některé alergie mohou přetrvávat na celý život. Dříve lékaři doporučovali vyloučení alergenních potravin u malých dětí, aby se zabránilo zvýšené reakci na alergenní proteiny, které obsahují. Poté se zjistilo, že potraviny, které byly zavedeny dětem v raném věku, se alergie na stejné potraviny projevila méně (Lee et al. 2017). GMO procházejí přísným hodnocením bezpečnosti potravin, krmiv a životního prostředí. Hodnocení alergenit GM rostlin zahrnuje hodnocení celé rostliny a hodnocení nově exprimovaných proteinů. Hlavní otázka při posouzení alergenního potenciálu u celé rostliny je, zda použití transgenních metod nemá nezamýšlený vliv na hladiny alergenních proteinů v rostlině. Ve Spojených státech je sója jedinou z devíti komerčně dostupných modifikovaných plodin, která je také jednou z 8 potravin odpovědných za 90 % případů tamní potravinové alergie (Dunn et al. 2017).

Modifikované bílkoviny mohou způsobit alergenu, kterou nelze rozpoznat běžnými metodami. Zatím jsou tu dvě plodiny, které by to mohly způsobit. Sója s genem 2S albumin získaná z para ořechů. Kdy byly lidé alergičtí na modifikované para ořechy, ale negativní na neupravené ořechy. Druhá je kukuřice Starlink požívaná jako krmivo v USA v roce 1998 a později v kukuřičných produktech v roce 2000. Bylo zjištěno přes 50 jedinců s nepříjemnou reakcí z nich 28 byly potvrzeny s alergickou reakcí (Dunn et al. 2017).

3.4.2.2 Nechtěné uvolňování GMO

Jeden z problémů týkajících se životního prostředí je potenciální přenos nových vlastností do volné přírody a její ničení. K tomu může dojít křížovým opylením GM plodin s divokými druhy. Ve většině případů je to nepravděpodobné, protože komerčně pěstované plodiny bývají geneticky vzdálené od divokých druhů, přesto bylo prokázáno, že k tomu může dojít. Snížit tuto možnost mají současné regulační postupy. Další obava je ohrožení divokých zvířat. Vlastnost odolnosti proti hmyzu, kódující Bt toxiny, poškozují pouze určité rodiny škůdců. V oblastech, kde se pěstují takové plodiny není výrazný pokles počtu hmyzu a členovců (Binimelis & Wickson 2019).

V roce 2011 rozhodl soud, o případu kontaminace medu pylem z GM kukuřice. Tato možnost se dostala do popředí a ukázala možnost dopadu pěstování GM plodin na včely. Již v roce 2005 si zájmový včelař v Německu nechal otestovat svůj med a pyl, který prodával jako doplněk stravy, testovat na GM materiál. Včely choval v blízkosti výzkumných polí testujících

kukuřici odolnou vůči hmyzu. Ukázalo se, že některé vzorky obsahují malé množství GM materiálu (Binimelis & Wickson 2019). Rozhodnutí soudu bylo významné i pro země, které GM plodiny pěstují a mají i větší odvětví věnující se včelařství. A také pro dovoz a vývoz v rámci EU. Rozsudek představil pyl jako složku medu a udělal z něj GM potravinu bez ohledu na to, zda byla jeho přítomnost zamýšlená nebo ne. Podle evropského nařízení musí být takové potraviny schválené. To znamenalo, že velké množství medu dováženého ze zemí, kde se pěstují GM plodiny, muselo být podrobeno nové úrovni kontroly a testování (Kauffmann et al. 2019).

3.5 Postoj ekologického zemědělství k pěstování GMO

Zemědělství je celosvětová dominantní forma hospodaření s půdou a pokrývá velkou část povrchu Země. Půda je zdrojem obživy v mnoha zemích na světě. Se zvyšující se populací a stále intenzivnějším zemědělstvím může dojít k její degradaci nebo přeměně na průmyslové oblasti. Systém ekologického zemědělství se jí snaží zachovat a produkovat potraviny bez chemických stop. Lidé si jí cení a chrání její rozlohu a zachování úrodnosti (Power 2010). Používají se techniky známé již staletí. Spotřebitelé mají významný vliv na ekologicky obhospodařované farmy. Mají zájem o své zdraví a záleží i na jejich životním stylu. Poptávají se po plodinách, které neobsahují chemická rezidua. To je podobné jako u GM plodin, které snižují použité množství chemických látek (Husaini & Sohail 2018). V ekologickém systému se zakazuje použití sloučenin, které jsou produkovány chemickou syntézou, to jsou syntetické pesticidy a hnojiva, antibiotika, růstové hormony a GMO. Genetické modifikace by mohly poškodit zdraví nebo se uvolnit do prostředí. To je jeden z důvodů proč se nepoužívají. Některé země nebo regiony si však předpisy upravily (Power 2010). Předpisy EU obsahují některé výjimky ze zákazu GM plodin v ekologickém zemědělství. Povolují některá veterinární léčiva, krmiva a potravinářská aditiva, která pocházejí z GM plodin, pokud nejsou k dispozici žádné alternativy bez obsahu GM. Pro ekologické zemědělství jsou nejslibnější nové techniky šlechtění rostlin. Pokud by byly schváleny, mohlo by se pomocí nich vytvářet genetickou transformací organické plodiny. Jejich použití by musel schválit IFOM, odpovídat jejich standardům a všem nařízením. Dle odpůrců se oblast GM nezmění, a proto se takové plodiny nepovolí (Husaini & Sohail 2018).

Produkce ekologických plodin vyžaduje více půdy a užívá méně lidí než GM plodiny. Je nutné chovat i více zvířat pro produkci hnoje. To by mohlo způsobit menší biodiverzitu, nadměrné spásání a vyšší uvolňování skleníkových plynů. Ochrana ekologického zemědělství a GMO jsou často probírány pro svou koexistenci. Se změnami klimatu a větším výskytem škůdců by GMO mohly pomoci s jejich regulací. I kdyby nikdy nebylo možné je takto pěstovat je pro ekologické zemědělce důležitá opatrnost, aby se jejich plodiny a osiva nekontaminovaly a také stále panují obavy z použití GMO. Otázkou také zůstává, jestli by někdy mohly být GM plodiny ekologické (Tuomisto et al. 2012).

4 Závěr

Cílem bylo zhodnotit informace o vývoji pěstitelských ploch a hlavních modifikovaných plodinách. Postoj veřejnosti a legislativa má velký dopad na pěstování GM plodin. Stejně jako oseté plochy se i množství plodin stále zvyšuje. A nejen to. Stále přibývají další a další odrůdy a plodin, které se modifikují. Patří sem i tropické rostliny manioku, cukrové třtiny a některé druhy zeleniny. Biotechnologie umožňuje použití technologií na nové plodiny napříč celým světem. Jen v Evropské Unii každým rokem klesají. Důvodem by mohla být přísnější opatření v zavádění a podmínkách pro pěstování. Naopak v jiných částech světa, kde mají delší tradici se vyskytují na velkém území. Dle mého názoru je to škoda a GM plodiny by se mohly více rozšířit i na území EU. Mohlo by to přinést finanční zisk a rozvoj technologií. Obavy o bezpečnost jsou pochopitelné a neměly by být opomenuté. Přesto při pohledu na jiné země můžeme vidět důkazy o možnostech regulace.

Přístup k produkci a dovozu genetických plodin se liší podle různých zemí. Amerika je oproti Evropě méně přísná. Označování GM plodin a výrobků požadují oba kontinenty. Stejně jako kontroly bezpečnosti. V EU existují nařízení, kterými se musí řídit všechny členské státy. Jednotlivé země si mohou praktické záležitosti organizovat sami. Nalezneme různé odlišnosti v regulaci napříč státy. Přísné jsou například v některých severských zemích, méně přísné jsou ve Španělsku a Portugalsku. Rozdíly v přístupu jsou často zmiňovány jako jedna z oblastí pro zlepšení. Některé organizace požadují sjednocení regulačního rámce a srozumitelnost právního přístupu.

Biotechnologie se stále rozvíjí a vědci přichází se stále novými možnostmi v použití nejen v zemědělství. Pokrok udělala především v medicíně. Snaží se pomoci vyvinout lepší a účinnější látky proti některým nemocem a látky se zvýšeným obsahem vybraných živin a prvků. Každý den se snaží doložit účinnost a prospěch pro lidstvo jako takové. Vyvíjí se i různé materiály, které by se daly použít místo silikonu a sítí. Myslím, že by se mohlo více informovat veřejnost o úspěších v právě této oblasti, kterou velká míra lidí považuje za nejdůležitější.

Stále panují obavy o bezpečnost GM potravin. Projednávají se další možnosti o jejich kontrole a vývoji méně rizikových organismů. To zajišťují vládní i soukromé organizace po celém světě. Provádějí kontroly ve snaze zabránit jakémukoliv poškození zdraví i prostředí. Ty provádí každá země, která s GMO obchoduje. To ukazuje na vážnost situace. Každá země má snahu svým občanům zajistit největší ochranu a prospěch.

Genetické inženýrství představuje možnost snížení využití fosilních paliv a vody a výrobu zdravotních prostředků. Měly by se posuzovat nejen rizika, ale i tyto přínosy, které může v budoucnu poskytnout.

Dle mého názoru přínosy GMO značně převyšují rizika. Pomáhají nejen nasycit populaci, ale i zmírnit dopady chudoby v několika zemích světa. Opatrnost je pochopitelná, přesto by se dalo zvážit více možností, jak zabezpečit pěstování a výrobu potravin z GM plodin.

5 Literatura

- Adenle AA. 2011. Response to issues on GM agriculture in Africa: Are transgenic crops safe?. *BMC Res Notes* **4**: 388. DOI: 10.1186
- Bawa AS, Anilakumar KR. 2013. Genetically modified foods: safety, risks and public concerns- a review. *J Food Sci Technol* **50**: 1035-1046. DOI: 10.1007.
- Binimelis R, Wickson F. 2019. The troubled relationship between GMOs and beekeeping: an exploration of socioeconomic impacts in Spain and Uruguay. *Agroecology and Sustainable Food Systems*: **43**(5): 546-578
- Bovay J, Alston JM. 2018. GMO food labels in the United States: Economic implications of the new law. *Food Policy* **78**: 14-25. DOI: 10.1016.
- Branquinho MR, Ferreira RT, Cardarelli-Leite P. 2010. Survey of compliance with labeling legislation in food containing GMOs in Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* **23**(3): 220-225.
- Brookes G. 2018. The farm level economic and environmental contribution of Intacta soybeans in South America: the first five years. *GM Crops & Food* **9**(3): 140-151
- Brookes G. 2019. Twenty-one years of using insect resistant (GM) maize in Spain and Portugal: farm-level economic and environmental contributions. *GM crops & food* **10**(2): 90-101.
- Bruening G, Lyons J. 2000. The case of the FLAVR SAVR tomato. *California Agriculture* **54**(4): 6-7.
- Burachik M. 2010. Experience from use of GMOs in Argentinian agriculture, economy and environment. *New biotechnology* **27**(5): 588-592.
- Cocklin C, Dibden J, Gibbs D. 2008. Competitiveness versus clean and green? The regulation and governance of GMOs in Australia and the UK. *Geoforum* **39**(1): 161-173.
- Cottenet G, Blancpain C, Chuah PF. 2019. Performance assessment of digital PCR for the quantification of GM-maize and GM-soya events. *Analytical and bioanalytical chemistry*, **411**(11): 2461-2469.
- Davison J, Ammann K. 2017. New GMO regulations for old: Determining a new future for EU crop biotechnology. *GM crops & food* **8**(1): 13-34. DOI: 10.1080.
- De La Riva GA, González-Cabrera J, Vázquez-Padrón R, Ayra-Pardo C. 1998. *Agrobacterium tumefaciens*: a natural tool for plant transformation. *Electronic journal of Biotechnology* **1**(3): 24-25.

Demnerová K. 2003. Geneticky modifikované organismy: otázky spojené s jejich vznikem a využíváním. MZE. Praha.

Dhekney SA, Kandel R, Bergey DR, Sittler V, Soorianathasundaram K, Litz RE. 2016. Advances in papaya biotechnology. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* **5**: 133-142.

Doubková Z. 2008. Geneticky modifikované organismy – využití ve světě a v České republice. Roudná M. (Ed.). *Genetické modifikace – možnosti jejich využití a rizika*. Ministerstvo životního prostředí. Praha. 14–18s. Available from: <http://www.gate2biotech.cz/documents/download/3.pdf>.

Drobník J, Ondřej M, Petr J. 2002. Geneticky modifikované organismy v zemědělství. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha.

Dunn SE, Vicini JL, Glenn KC, Fleischer DM, Greenhawt MJ. 2017. The allergenicity of genetically modified foods from genetically engineered crops: a narrative and systematic review. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* **119**(3): 214-222.

Fontoura Y, Krieger MGM, Peci A. 2022. No turning back: The emergence and settlement of GMO hegemony in Brazil. *Journal of Rural Studies* **89**: 357-368. DOI: 10.1016.

Funke T, Han H, Healy-Fried ML, Fischer M, Schönbrunn E. 2006. Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **103**(35): 13010-13015.

Gbadegesin LA, Ayeni EA, Tettey CK, Uyanga VA, Aluko OO, Ahiakpa JK, Okoye RO, Mbadianya AI, Adekoya MA, Aminu Ro et al. 2022. GMOs in Africa: status, adoption and public acceptance. *Food Control*: **141**: 0956-7135. DOI:109193.

Gouse M, Sengupta D, Zambrano P, Zepeda JF. 2016. Genetically modified maize: less drudgery for her, more maize for him? Evidence from smallholder maize farmers in South Africa. *World Development* **83**: 27-38.

Hategekimana B, Beaulieu M. 2002. Genetically modified crops: Steady growth in Ontario and Quebec. *Vista on the Agri-Food Industry and the Farm Community*. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Martin-Beaulieu/4/publication/260386662_Genetically_modified_crops_Steady_growth_in_Ontario_and_Qu_ebec/links/53f6770c0cf2fceacc739adb/Genetically-modified-crops-Steady-growth-in-Ontario-and-Quebec.pdf

Hobe Ch, Moß H, König F, Langensteiner N, Maksimova Y, Mikkonen R, Styles J, Switalska J. 2015. GMOs Across the Atlantic. *MaRBL*: **4**. DOI: 10.26481

Holst-Jensen A, Bertheau Y, De Loose M, Grohmann L, Hamels S, Hougs L, Morriset D, Pecoraro S, Van den Bulcke M, et al. 2012. Detecting un-authorized genetically modified organisms (GMOs) and derived materials. *Biotechnology advances* **30**(6): 1318-1335.

- Hu Q, Hua W, Yin Y, Zhang X, Liu L, Shi J, Zhao Y, Qin L, Chen Ch, Wang, H. 2017. Rapeseed research and production in China. *The Crop Journal* **5**(2): 127-135. DOI: 10.1016
- Huang J, Hu R, Pray C, Qiao F, Rozelle S. 2003. Biotechnology as an alternative to chemical pesticides: a case study of Bt cotton in China. *Agricultural economics* **29**(1): 55-67.
- Hundleby PA, Harwood WA. 2019. Impacts of the EU GMO regulatory framework for plant genome editing. *Food and energy security* **8**(2): e00161. DOI: 10.1002/fes3.161
- Husaini AM, & Sohail, M. (2018). Time to redefine organic agriculture: Can't GM crops be certified as organics?. *Frontiers in Plant Science* **9**: 423.
- Chassy BM. 2007. The history and future of GMOs in food and agriculture. *Cereal Foods World* **52**: 169.
- Chloupek O. 2000. Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. Academia. Praha.
- Ibrahim SE. 2012. Agronomic studies on irrigated soybeans in central Sudan: II. Effect of sowing date on grain yield and yield components. *Int. J. Agric. Sci* **2**(9): 766-773.
- ISAAA. Brief 55-2019, Executive Summary Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. *Isaaa.org* [online]. 2019 [cit. 2023.03.26]. Dostupné z: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp> (accessed March 2023).
- ISAAA. Brief 55-2019, Executive Summary Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. *Isaaa.org* [online]. 2019 [cit. 2023.03.26]. Dostupné z: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp> (accessed March 2023).
- Jacobsen SE, Sørensen M, Pedersen SM, Weiner J. 2013. Feeding the world: genetically modified crops versus agricultural biodiversity. *Agronomy for sustainable development* **33**(4): 651-662.
- James C. 2011. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. ISAAA Brief No. 43. ISAAA: Ithaca, NY.
- James C. 2020. Top 5 biotech crops in the world. ISAAA Brief No. 54. ISAAA: Ithaca, NY.
- Kadoić Balaško M, Mikac KM, Bažok R, Lemic D. 2020. Modern techniques in Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) control and resistance management: history review and future perspectives. *Insects* **11**(9): 581.

Kauffmann F, Van Damme P, Leroux-Roels G, Vandermeulen C, Berthels N, Beuneu C, Mali S. 2019. Clinical trials with GMO-containing vaccines in Europe: status and regulatory framework. *Vaccine* **37**(42): 6144-6153.

Key S, K-C MA J, Drake PMW. 2008. Genetically modified plants and human health. *Journal of the Royal* **101**: 290–298.

Kramkowska M, Grzelak T, Czyzewska K. 2013. Benefits and risks associated with genetically modified food products. *Annals of agricultural and environmental medicine* **20**: 413–419.

Kuntz M. (2014). The GMO case in France: politics, lawlessness and postmodernism. *GM crops & food* **5**(3): 163-169.

Lee TH, Ho MHK, Leung TF. 2017. Genetically modified foods and allergy. *Hong Kong medical journal*. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/5b94/60556c435d436aef7308a94bd9e74033ae08.pdf>

Lema MA. 2019. Regulatory aspects of gene editing in Argentina. *Transgenic Research* **28**(2): 147-150.

Lesslie R, Mewett J. 2018. Use in Australia: Past, Present and Future. Australian National University. Available from: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Lewis J. 2014. From Flavr Savr tomatoes to stem cell therapy: young people's understandings of gene technology, 15 years on. *Science & Education* **23**(2): 361-379

Li S, Cui Y, Zhou Y, Luo Z, Liu J, Zhao M. 2017. The industrial applications of cassava: current status, opportunities and prospects. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **97**(8): 2282-2290. DOI: 10.1002

Li Y, Hallerman EM, Liu Q, Wu K, Peng Y. 2016. The development and status of Bt rice in China. *Plant Biotechnology Journal* **14**(3): 839-848.

Lucht JM. 2015. Public acceptance of plant biotechnology and GM crops. *Viruses* **7**(8): 4254-4281.

Mallinson L, Russell J, Cameron DD, Ton J, Horton P, Barker ME. 2018. Why rational argument fails the genetic modification (GM) debate. *Food Security* **10**: 1145–1161.

Marchant GE, Cardineau GA, Redick TP. 2010. Thwarting consumer choice: The case against mandatory labeling for genetically modified foods. *Government Institutes*.

Marmiroli N, Maestri E, Gulli M, Malcevschi A, Peano C, Bordoni R, De Bellis G. 2008. Methods for detection of GMOs in food and feed. *Analytical and bioanalytical chemistry* **392**(3): 369-384.

Meade B, Puricelli E, McBride WD, Valdes C, Hoffman L, Foreman L, Dohlman E. 2016. Corn and soybean production costs and export competitiveness in Argentina, Brazil, and the United States. USDA Economic Information Bulletin 154. Available from: <https://deliverypdf.ssrn.com/delivery.php?ID=979021004069088094084098087026089107101092046084012032073080066028118027007081110031042098107042116029053066099081103089010077017020005001059070079006082023093004063066011113064031093027073112069086016010119098123098123001080081071068067003120107090&EXT=pdf&INDEX=TRUE>

Michelini E, Simoni P, Cevenini L, Mezzanotte L, Roda A. 2008. New trends in bioanalytical tools for the detection of genetically modified organisms: an update. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **392**(3): 355-367.

Mohorčič J, Reese J. 2019. Cell-cultured meat: Lessons from GMO adoption and resistance. *Appetite* **143**: 104408.

MZE: 2018. Available from: <https://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/roslinna-vyroba/gmo-geneticky-modifikovane-organismy/> (accessed February 2023)

Nicolia A, Manzo A, Veronesi F, Rosellini D. 2014. An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. *Critical reviews in biotechnology* **34**(1): 77-88.

Oliver MJ. 2014. Why we need GMO crops in agriculture. *Missouri medicine* **111**(6): 492.

Ondřej M, Drobník J. 2002. *Transgenoze rostlin*. Academia. Praha.

Paarlberg R. 2010. GMO foods and crops: Africa's choice. *New biotechnology* **27**: 609-613.

Pan YB. 2012. Biotechnology: Impact on sugarcane agriculture and industry. *Sugar Tech* **14**(1): 1-2.

Paull J, Hennig B. 2019. New world map of genetically modified organism (GMO) agriculture: North and South America is 85%. *Acres Australia* **101**: 59-60.

Pennington H. 2010. *Escherichia coli* O157. *The Lancet* **376**(9750): 1428-1435.

Pérez-Massot E, Banakar R, Gómez-Galera S, Zorrilla-López U, Sanahuja G, Arjó G, Miralpeix B, Vamvaka E, Farré G, Rivera SM et al. 2013. The contribution of transgenic plants to better health through improved nutrition: opportunities and constraints. *Genes & nutrition* **8**(1): 29-41.

Potryku I. 2013. Unjustified regulation prevents use of GMO technology for public good. *Trends in biotechnology* **31**(3): 131-133.

Power AG. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences* **365**(1554): 2959-2971.

Rahnama H, Vakilian H, Fahimi H, Ghareyazie B. 2011. Enhanced salt stress tolerance in transgenic potato plants (*Solanum tuberosum* L.) expressing a bacterial mtID gene. *Acta Physiologiae Plantarum* **33**(4): 1521-1532.

Raman R. 2017. The impact of Genetically Modified (GM) crops in modern agriculture: A review. *GM crops & food*, **8**(4): 195-208.

Rastogi Verma S. 2013. Genetically modified plants: public and scientific perceptions. *International Scholarly Research Notices* Available from: <https://downloads.hindawi.com/archive/2013/820671.pdf>

Redden R. 2021. Genetic Modification for Agriculture - Proposed Revision of GMO Regulation in Australia. *Plants* **10**(4):747. DOI: 10.3390/plants10040747

Reisch L, Eberle U, Lorek S. 2013. Sustainable food consumption: an overview of contemporary issues and policies. *Sustainability: Science, Practice and Policy* **9**: 7-15.

Ricroch A, Guillaume-Hofnung M, Kuntz M. 2018. The ethical concerns about transgenic crops. *Biochemical Journal* **475**(4): 803-811. DOI: 10.1042/BCJ20170794

Rosales-Mendoza S, Tello-Olea MA. 2015. Carrot cells: a pioneering platform for biopharmaceuticals production. *Molecular biotechnology* **57**(3): 219-232.

Shaner DL, Lindenmeyer RB, Ostlie MH. 2012. What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us?. *Pest management science* **68**(1): 3-9. DOI: 10.1002

Schacht K, Scheibel T. 2014. Processing of recombinant spider silk proteins into tailor-made materials for biomaterials applications. *Current opinion in biotechnology* **29**: 62-69.

Schmidt SM, Belisle M, Frommer WB. 2020. The evolving landscape around genome editing in agriculture: Many countries have exempted or move to exempt forms of genome editing from GMO regulation of crop plants. *EMBO reports* **21**(6): e50680. DOI: 10.15252

Smith J. 2011. Genetically modified soy linked to sterility, infant mortality in hamsters *TheHuffingtonPost.com*, Inc. Available from: https://www.huffpost.com/entry/genetically-modified-soy_b_544575

Smyth SJ. 2014. The state of genetically modified crop regulation in Canada. *GM Crops & Food* **5**(3): 195-203.

Stein AJ, Rodríguez-Cerezo E. 2009. The global pipeline of new GM crops. *JRC/ipts, EUR* **23496**: 102.

Tada Y, Nakase M, Adachi T, Nakamura R, Shimada H, Takahashi M, Fujimura T, Matsuda T. 1996. Reduction of 14-16 kDa allergenic proteins in transgenic rice plants by antisense gene. *FEBS Letters* **391**: 341-345.

- Teferra TF. 2021. Should we still worry about the safety of GMO foods? Why and why not? A review. *Food Science & Nutrition* **9**(9): 5324-5331.
- Tourangeau W. 2017. GMO doublespeak: An analysis of power and discourse in Canadian debates over agricultural biotechnology. *Canadian Food Studies / La Revue Canadienne Des études Sur l'alimentation*: **4**(1): 108–138. DOI: 10.15353
- Tsatsakis AM, Nawaz MA, Kouretas D, Balias G, Savolainen K, Tutelyan VA, Golokhvast KS, Lee DJ, Yang SH, Chung G. 2017. Environmental impacts of genetically modified plants: a review. *Environmental research*: **156** 818-833.
- Tuomisto HL, Hodge ID, Riordan P, Macdonald DW. 2012. Does organic farming reduce environmental impacts?—A meta-analysis of European research. *Journal of environmental management* **112**: 309-320.
- Venkatramesh M, Corbin DR, Bhat BG, Boddupalli SS, Grebenok RJ, Kishore GM, Karunanandaa B. 2010. Transgenic plants containing altered levels of sterol compounds and tocopherols. U.S. Patent No. 7,709,666. U.S. Patent No 7,709,666.
- Vitale J, Glick H, Greenplate J, Traore O. 2008. The Economic Impact of Second Generation Bt Cotton in West Africa: Empirical Evidence from Burkina Faso. *International Journal of Biotechnology* **10**: 167-183.
- Wang Q. 2015. China's scientists must engage the public on GM. *Nature* **519**(7541): 7-7.
- Wong AYT, Chan AWK. 2016. Genetically modified foods in China and the United States: A primer of regulation and intellectual property protection. *Food Science and Human Wellness* **5**(3): 124-140.
- Wozniak CA, McHughen A. (Eds.). 2012. Regulation of agricultural biotechnology: the United States and Canada. Springer Science & Business Media. https://books.google.cz/books?hl=en&lr=&id=vbNIRueuOogC&oi=fnd&pg=PR7&ots=rLMX1tQQG0&sig=85yg8dXvPNvj5JVZRMdDirAUHO4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Zhang C, Wohlhueter R, Zhang H. 2016. Genetically modified foods: A critical review of their promise and problems. *Food Science and Human Wellness* **5**(3): 116-123.
- Zhang Y, Restall J, Crisp P. 2021. Current status and prospects of plant genome editing in Australia. *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant* **57**: 574–583. DOI: 10.1007
- Zhou W, Yang J, Hong Y, Liu G, Zheng J, Gu Z, Zhang P. 2015. Impact of amylose content on starch physicochemical properties in transgenic sweet potato. *Carbohydrate polymers* **122**: 417-427.
- Zilberman D, Holland TG, Trilnick I. 2018. Agricultural GMOs—what we know and where scientists disagree. *Sustainability* **10**(5): 1514.

6 Seznam příloh

Obr. 1 Escherichia coli O157	4
Obr. 2 FLAVR SAVR tomato	4
Obr. 3 Agrobacterium tumefaciens	6
Obr. 4 Nejvíce pěstované GM plodiny	19
Obr. 5 Velikost ploch osetých GM plodinami v roce 2019	9
Obr. 6 Procentické zastoupení hlavních GM plodin v roce 2019	9
Obr. 7 Vývoj pěstování GM kukuřice v EU a v ČR	18
Tab. 1 Počet pěstitelů GM kukuřice v EU	18