# MODERNÍ BIOTECHNOLOGIE V KOSTCE

## VÝZKUM A ZEMĚDĚLSKÁ PRAXE

GMO

NBT

Kolektiv autorů
BIOTRIN

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

# MODERNÍ BIOTECHNOLOGIE V KOSTCE

## VÝZKUM A ZEMĚDĚLSKÁ PRAXE

GMO

NBT

Kolektiv autorů BIOTRIN

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

BIOTRIN®

PRAHA 2020

Tato publikace vzniká v době, kdy na naši společnost reálně dopadá tíha klimatických změn a zároveň se zvyšují nároky na zemědělství v souvislosti s jeho dopady na životní prostředí i s ohledem na stále větší potřebu zajistit více a kvalitnějších potravin. Zásadní je proto vědecký pokrok, který se stejně jako v jiných oborech projevil v posledních desetiletích významně i v oblasti zemědělství. Do popředí zájmu se tak mj. dostaly inovativní metody šlechtění jako je transgenoze nebo nejnověji editace genomu, spadající pod tzv. nové techniky šlechtění.

Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s nevládní neziskovou organizací BIOTRIN, z.s., založenou vědeckými pracovníky v oboru biotechnologií, připravilo tuto publikaci, která je zaměřena právě na inovativní metody šlechtění a nastiňuje možnosti, kudy se v budoucnu může zemědělství úspěšně ubírat.

Poděkování patří především těm, kteří se na této publikaci podíleli tvorbou textů, tj. členkám BIOTRINu, z.s., působících na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze – jmenovitě Ing. Simona Lencová, Ing. Kamila Zdeňková, Ph.D., prof. Ing. Kateřina Demnerová, CSc. (předsedkyně spolku) a poděkování patří také Ing. Bc. Zuzaně Malinové.

# Obsah

Úvodní slovo . . . . . 4
Metody šlechtění nových odrůd plodin . . . . . 5
GMO v zemědělské praxi – svět vs. EU . . . . . 9
Posuzování bezpečnosti GMO ve světě a v EU . . . . . 26
Schvalování GMO v EU/ČR . . . . . 33
Označování a kontrola GM produktů . . . . . 36
Pěstování GM rostlin v EU a ČR . . . . . 42
NBT a GM produkty chystané pro uvedení na trh . . . . . 45
Závěrečné slovo . . . . . 52
Seznam zkratek . . . . . 53
Seznam odborné literatury . . . . . 54

# Úvodní slovo

Jedním z hlavních pilířů rozvoje civilizace a dosažení udržitelné potravinové situace ve světě je bezpochyby funkční a efektivní zemědělství. Již od nepaměti představuje tradiční způsob zemědělství hlavní zdroj lidské obživy. Člověk se z něj snaží získat maximum a využívat mechanismů přírody ve svůj prospěch, kdy hlavním cílem je zvýšení výnosů a minimalizace ztrát zemědělských plodin. V posledních desetiletích došlo díky této snaze k masivnímu rozvoji biotechnologií i jejich využívání v praxi.

V dnešní době jsme zvyklí na každodenní komfort díky snadné dostupnosti základních i zpracovaných potravin. Zejména ve vyspělé Evropě si tak často neuvědomujeme, že pro nás běžně dostupné komodity nejsou takovou samozřejmostí pro obyvatele některých jiných částí světa. Především v rozvojových zemích není situace snadná, obyvatelé těchto oblastí často trpí hladem a jsou přímo závislí na dovozu potravin z vyspělých zemí.

S tím souvisí potřeba zintenzivnit zemědělskou výrobu, dosáhnout tak co nejvyšších výnosů plodin a vyrobit co největší množství kvalitních potravin nejen ve vyspělých zemích. Paralelně je ale také potřeba co nejvíce podpořit a zmodernizovat zemědělství v rozvojových zemích. Tyto skutečnosti vnímají lidé po celém světě, názory na způsoby zlepšení situace se však různí. Někteří se vrací k původnímu konceptu tradičního zemědělství a staví ekologické aspekty nad efektivitu. Jiní vítají rozvoj moderních biotechnologií, umožňujících nasytit populaci na celém světě, které současně významně nezatěžují životní prostředí.

S názory druhé skupiny se shoduje většina vědecké komunity, která podporuje pěstování klasických geneticky modifikovaných (GM) plodin a plodin získaných pomocí nových technik šlechtění (angl. *New Breeding Techniques*, NBT). Všechny k tomu používané metody jsou méně invazivní, cílené, a tím i neporovnatelně přesnější než klasické metody šlechtění nových odrůd. Pomocí GM a NBT přístupů je možné poměrně rychle dosáhnout požadovaných vlastností organismů, jako jsou např. zvýšená odolnost vůči negativním vlivům snižujícím výnosy plodin (plevele, škůdci, choroby, klimatické podmínky), zvýšený obsah makroživin či mikronutrientů nebo rychlejší růst rostlin bez snížení jejich nutričních hodnot.

Bezpečnost GM plodin je sledována více než 30 let a dosud nebyl prokázán negativní vliv na zdraví konzumentů ani na životní prostředí. Celkově lze říci, že díky složitým a zdlouhavým procesům schvalování a posuzování bezpečnosti jsou GM plodiny a výrobky z nich nejbezpečnějšími potravinami na trhu. Ani plodiny získané pomocí NBT, které legislativně nepříliš správně spadají též pod GM organismy (GMO), již z podstaty použitých metod nepředstavují bezpečnostní riziko. Při správném nakládání přinášejí naopak benefity, díky nimž může být v budoucnu zažehnána případná potravinová krize.

Tato publikace přináší přehled základních informací o GMO, klasických GM plodinách a NBT. Zahrnuty jsou přehledy GM plodin povolených pro pěstování v Evropské unii (tj. i v České republice), legislativní předpisy pro posuzování bezpečnosti a schvalování GM plodin pro uvedení na trh, pravidla pro pěstování GM plodin, označování jejich produktů po uvedení na trh a možnosti detekce těchto produktů. Kromě konkrétních příkladů již zavedených GM plodin a GM živočichů jsou v publikaci dále zmíněny i možné budoucí aplikace klasických GM a NBT v rostlinné výrobě.

# Metody šlechtění nových odrůd plodin

Šlechtění rostlin provází člověka po celou dobu jeho existence. Již první zemědělci vybírali pro další výsev semena z větších a odolnějších rostlin. Později farmáři šlechtili rostliny výběrem nejlepších odrůd, které následně křížili. Od 70. let 20. stol. se začaly vyvíjet a stále častěji používat techniky moderní biotechnologie – nejprve genové inženýrství (zejména transgenoze) a následně pak nové techniky šlechtění (především editace genomu).

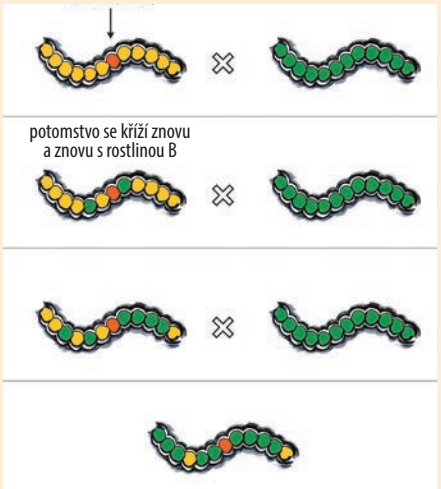
Hlavní **techniky používané pro vývoj** nových odrůd v současné době jsou: tradiční křížení, mutageneze, polyploidita, fúze protoplastů, transgenoze a editace genomu.

## **Tradiční křížení** (angl. CROSS BREEDING)

Po tisíciletí bylo páteří zlepšování genetiky našich plodin. Princip spočívá v následujícím procesu:

1. Pyl ze samčí rostliny se umístí na pestík květu samičí rostliny.
2. Dojde k produkci semen, která jsou hybridy obou rodičů.
3. Pěstitelé/šlechtitelé rostlin poté vyberou ty, které mají hledané prospěšné vlastnosti.

Takto byly vyvinuty např. odrůdy jabloní, jako je kultivar Honeycrisp (*Malus domestica* ‚Honeycrisp'). Při výběru byly testovány tisíce hybridních stromů, aby se našla jen jedna skvělá nová odrůda s originální kombinací genů. Moderní šlechtění rostlin často používá genetické markery k urychlení procesu výběru a může zahrnovat geny z divokých odrůd a úzce příbuzných druhů.




cílem je získat rostlinu, která vypadá co nejvíce jako B, ale obsahuje požadované znaky rostliny A

## Mutageneze

V přírodě často vznikají nové vlastnosti prostřednictvím spontánních mutací.

Ačkoli máme tendenci považovat mutace za negativní události spojené s genetickými chorobami nebo rakovinou, některé mutace jsou prospěšné: umožňují např. rostlinám vyvinout odolnost vůči škůdcům.

V minulém století byly získávány nové nebo cíleně žádané vlastnosti zemědělských plodin generováním náhodných mutací v rostlinách pomocí vybraných chemických látek (např. ethylmethansulfonát) nebo UV zářením.

Ačkoliv se o radiačním šlechtění příliš nemluví, přineslo tisíce užitečných mutantů rýže, pšenice, ječmene, hrušek, hrášku, bavlny, máty peprné, slunečnice, arašídů, grapefruitu, sezamu, banánů, manioku nebo čiroku.

Mutovaná pšenice se používá na pečení chleba a přípravu těstovin, zmutovaný ječmen při výrobě piva či jemné whisky.

V České republice byl velmi známou osobností docent Josef Bouma, který připravil několik kultivarů jarního ječmene; nejznámější z nich je česká sladovnická odrůda Diamant, která vznikla v roce 1965 ozářením ječmene odrůdy Valtický paprskem X.

## Polyploidita

Většina druhů organismů má 2 sady chromozomů: jednu sadu zděděnou po každém rodiči (diploidie).

Polyploidie je výskyt více než 2 sad chromozomů. Může se vyskytovat přirozeně, může však být i indukována použitím chemických látek.

Tato technika modifikace plodin se obvykle používá ke zvětšení velikosti plodů nebo ke změně jejich plodnosti. Byla využita např. pro zisk bezsemenného melounu nebo šlechtěných brambor

## Fúze protoplastů

K fúzi rostlinných buněk dochází při opylení, tzn. při splynutí samičí a samčí pohlavní buňky. Fúze protoplastů je umělou verzí tohoto procesu.

Příznivé rysy lze přenášet z jednoho druhu na druhý spojením protoplastů (buněk bez buněčných stěn, které dávají rostlinám jejich strukturu) a pěstováním rostliny z této "sloučené" buňky.

Jednou z nejčastěji používaných vlastností, která byla vyvinuta tímto procesem, je mezidruhový přenos samčí (pylové) sterility. Pokud máme sterilní samčí rostlinu, je snazší vyrobit hybridní semena rostliny jiné.

Příkladem použití tohoto procesu je zavedení samčí sterility do červeného zelí, a to z ředkviček daikonu, což usnadnilo produkci hybridních semen této plodiny.

**Nejpoužívanější** metodou pro přípravu nových odrůd je stále **tradiční křížení**, které má však proti moderním metodám jednu velkou nevýhodu, a to dlouhý a komplikovaný způsob přípravy. Tradiční křížení navíc může využít cílové znaky pouze v případě, že se jedná o stejné nebo blízce příbuzné druhy. Současně zaváděné a používané techniky moderních biotechnologií toto omezení překonaly.

### Moderní biotechnologie – GMO a NBT

Každý živý organismus (vyjma člověka), který nese novou kombinaci genetického materiálu získaného pomocí genového inženýrství a jíž nelze dosáhnout přirozenou rekombinací, se nazývá **geneticky modifikovaný organismus (GMO)**. Pokud je v rámci technik genového inženýrství vkládán do upravovaného organismu cizorodý gen, pak mluvíme o transgenozi.

## **Transgenoze** (klasická genetická modifikace)

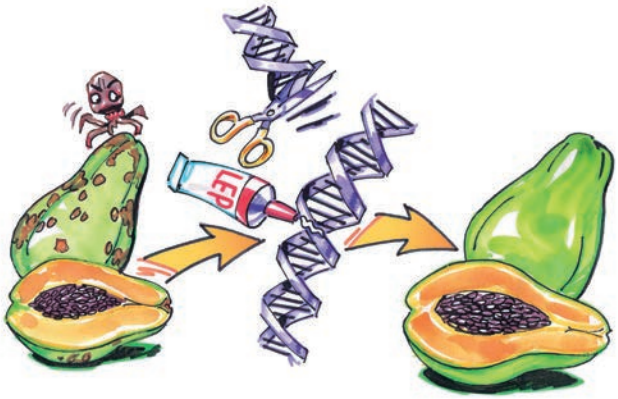
Jedná se o proces, kterým do organismu zavádíme jeden nebo více genů z jiného organismu.

Proces zahrnuje manipulaci a modifikaci samotné DNA ve zkumavce a její následné vložení do nového organismu.

Existuje několik způsobů, jak zavést nový gen nebo-li „transformovat“ rostlinu, např. biolistika (tzv. genová pistole), pomocí přirozeně se vyskytující bakterie *Agrobacterium* nebo elektroporace.

Transgenozí může získat cílová rostlina žádané vlastnosti, jako jsou odolnost vůči škůdcům nebo chorobám, tolerance k neselektivním herbicidům, zasolení nebo suchu.

Organismy s vloženými geny pocházejícími ze stejného druhu lze nazvat “cisgenní“ nebo “intragenní“.




Papája „Rainbow“ je upravena tak, aby odolala viru „Papaya Ringspot Virus“.

**GMO je každý organismus (vyjma člověka), který technikami genového inženýrství získá novou kombinaci genetického materiálu, jíž nelze dosáhnout přirozeným způsobem.**

**TRANSGENOZE je proces, kterým do organismu zavádíme jeden nebo více genů z jiného organismu.**

Především v důsledku velmi přísné regulace transgenoze v EU jsou vyvíjeny nové techniky šlechtění rostlin pomocí manipulace s geny. V tomto směru mluvíme o nových technikách šlechtění, ve zkratce NBT.

Vývoj a použití těchto technik je jakousi snahou nalézt „zlatou střední cestu“ mezi tradičním šlechtěním a klasickou genetickou modifikací tak, aby šlechtitelé mohli naplno využít prostředků genetického inženýrství. Těmito technikami převážně vznikají takové rostliny, které nemají ve svém genomu cizorodou genetickou informaci, což je hlavní důvod odmítání klasických (produktů) GMO.

**Mezi nové techniky šlechtění (NBT) patří:**

mutageneze (cílené změny genomu) řízené místně specifickými nukleasami:

- metodika nukleas se zinkovými prsty,
- meganukleasy,
- TALENs a
- CRISPR/CaS;

cílená mutageneze pomocí oligonukleotidů;

DNA metylace prostřednictvím malých RNA (RdDM, cílená epimutageneze);

cisgenoze a intragenoze;

roubování ne-GM roubů na GM podnože;

reverzní šlechtění;

agroinfiltrace;

syntetická genomika.

Pozn.: Pod pojem "**editace genomu**" spadají první tři typy NBT (tj. obě cílené mutageneze a DNA metylace).

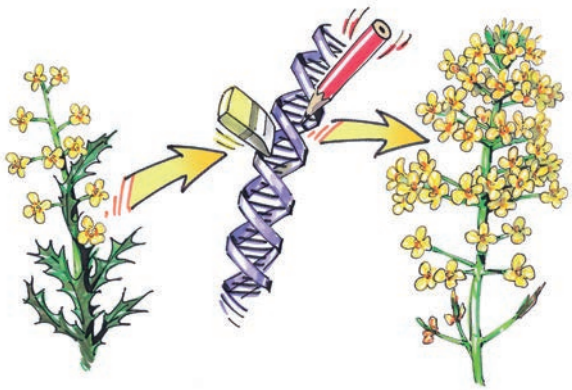
## Editace genomu

Úprava genomu je založena na využití enzymatického systému pro změnu v určené sekvenci DNA buňky.

Existují různé systémy, které lze použít pro úpravu genomu, z nichž nejslibnější je systém „Clustered regularly interspaced short palindromic repeats" (CRISPR), pomocí nějž lze nahradit defektní úsek nebo gen za funkční. Tento proces obvykle probíhá následovně:

- Enzymatický komplex CRISPR/Cas9 se díky krátkému řetězci „naváděcí" RNA váže na vybraný úsek DNA.
- Komplex pomocí „molekulárních nůžek" – **Cas nukleasy** vystřihne kus DNA, ten je poté nahrazen jinou sekvencí.

Geneticky editovaná řepka (canola) Falco™ (netransgenní), tolerantní k sulfonylmočovinám, byla vyvinuta s cílem umožnit zemědělcům lepší kontrolu plevelů a střídání plodin.



Pro úpravu (editaci) genomu při šlechtění rostlin se nejvíce **používají** dvě techniky: **CRISPR/CaS** a **TALENs**.

Mimo šlechtění rostlin lze tyto techniky využívat ve farmaceutickém průmyslu pro produkci léčiv, vakcín nebo i k přímému léčení lidských vrozených chorob jako je např. Duchennova svalová dystrofie. V roce 2020 proběhly první genové terapie i v ČR; do povědomí veřejnosti se dostaly případy dětí, které podstoupily léčbu spinální svalové atrofie lékem Zolgensma®.

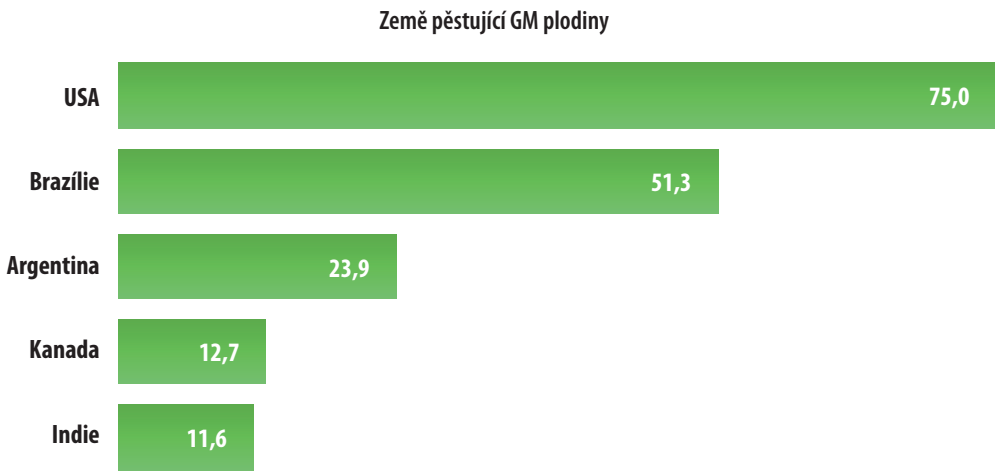
**NBT jsou metody umožňující vývoj nových odrůd rostlin s požadovanými vlastnostmi úpravou DNA semen a rostlinných buněk většinou bez vnesení cizorodých genů.**

## GMO v zemědělské praxi – svět vs. EU

Od roku 1983, kdy vyšla první vědecká publikace o GM rostlinných buňkách modifikovaných vnesením genu rezistence vůči aminoglykosidovým antibiotikům, došlo ke značnému rozvoji použití GMO. V současné době jsou GM plodiny ve světě primárně využívány pro výrobu potravin a krmiv pro hospodářská zvířata.

Hlavními producenty GMO, kteří dohromady pokrývají 91 % světové produkce, jsou Spojené státy americké, Brazílie, Argentina, Kanada a Indie.

Oproti tomu v Evropské unii GM plodiny téměř pěstovány nejsou. Do roku 2004 bylo významným pěstitelem GM sóji Rumunsko, které však po svém vstupu do EU pěstování omezilo. V roce 2016 pěstovaly jedinou v EU povolenou GM plodinu – kukuřici MON810 – pouze čtyři země: Španělsko, Portugalsko, Česká republika a Slovensko. V současné době jsou ale jedinými evropskými pěstiteli GM plodin Španělsko a Portugalsko.



## GM plodiny pěstované ve světě

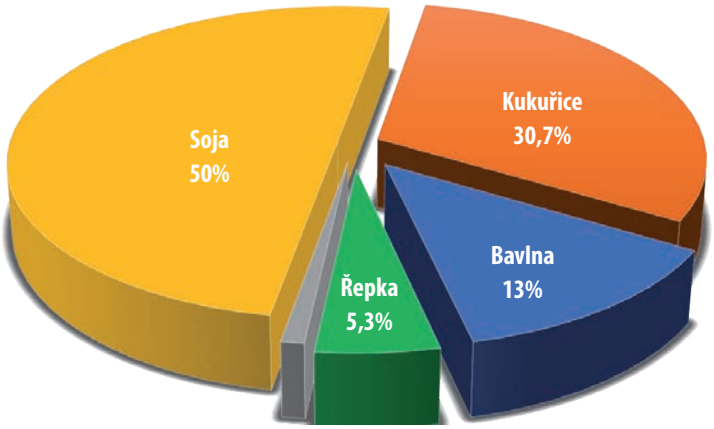
Na světovém trhu se vyskytují stovky různých typů GM plodin schválených podle platné místní legislativy. Rozsah ploch využívaných pro jejich pěstování meziročně roste, v současné době tato plocha činí více než 190 mil. ha.

Pěstovány jsou zejména GM odrůdy významných hospodářských plodin, jako jsou například: sója, kukuřice, řepka a bavlník, dále pak brambor, cukrová řepa, lilek, tykev a jabloně.

V menší míře jsou pěstovány i další GM rostliny, např. cukrová třtina, vojtěška, rychle rostoucí dřeviny (topol, eukalyptus) nebo okrasné rostliny (petúnie, růže, karafiát).

Kromě uvedených plodin je výzkum zaměřen i na rýži, pšenici, ječmen, hrách, fazole, bob, len, rajčata nebo papáju.

**Zastoupení hlavních GM plodin ve světě**



**Příklady významných GM rostlin schválených k pěstování ve světě a jejich vlastnosti**

| Rostlina | Vlastnosti | Země se schváleným pěstováním |
|---|---|---|
| **Sója** | Tolerance vůči neselektivním herbicidům, vyšší výtěžnost, odolnost vůči škůdcům, zvýšená nutriční hodnota | USA, Brazílie, Argentina, Kanada, Indie, Paraguay, Uruguay, Bolívie, Jižní Afrika, Chile |
| **Kukuřice** | Odolnost vůči škůdcům a suchu, tolerance vůči neselektivním herbicidům | USA, Brazílie, Argentina, Kanada, Paraguay, Uruguay, Jihoafrická republika, Filipíny, Španělsko, Kolumbie, Vietnam, Honduras, Chile, Portugalsko |
| **Řepka** | Vylepšený obsah oleje, tolerance vůči neselektivním herbicidům | USA, Austrálie, Kanada, Chile |
| **Rýže** | Odolnost vůči škůdcům, tolerance vůči neselektivním herbicidům | USA, Kanada, Brazílie, Čína |
| **Brambory** | Nehnědnoucí, s nízkým obsahem akrylamidu, s nízkým obsahem redukujících cukrů | USA |
| **Rajčata** | Odolnost vůči škůdcům a chorobám, zpožděný proces zrání | USA, Kanada, Indie, Čína, Mexiko |
| **Jablka** | Nehnědnoucí | USA |
| **Pšenice** | Tolerance vůči neselektivním herbicidům | USA |
| **Bavlník** | Odolnost vůči hmyzu, tolerance vůči neselektivním herbicidům | USA, Čína, Indie, Argentina, Brazílie, Paraguay, Pákistán, Jihoafrická republika, Austrálie, Myanmar, Súdán, Mexiko, Kolumbie, Kostarika, Svazijsko |
| **Papája** | Odolnost vůči napadení viru *„Papaya ringspot virus“* | USA, Čína |
| **Lilek** | Odolnost vůči škůdcům | Bangladéš |
| **Vojtěška** | Nižší obsah ligninu, vyšší výnosy, lepší stravitelnost | USA, Kanada |
| **Cukrová řepa** | Tolerance vůči neselektivním herbicidům | USA, Kanada |
| **Cukrová třtina** | Odolnost vůči škůdcům, vyšší výnosy | Brazílie, Indonésie |

GM plodiny jsou vyvíjeny a uváděny do oběhu především několika hlavními společnostmi působícími v této oblasti. Jmenovitě se jedná o Bayer CropScience (německá firma, pod níž od roku 2019 spadá americká společnost Monsanto), Syngenta (Švýcarsko), BASF (Německo), Pioneer a Dow AgroSciences spadající pod koncern Corteva Agriscience (USA).

## NBT plodiny na světovém trhu

### Žampiony

Jednou z prvních rostlin, která byla modifikovaná pomocí CRISPR a získala povolení Ministerstva zemědělství Spojených států amerických (angl. United States Department of Agriculture, USDA), byly nehnědnoucí žampiony. Netransgenní žampion byl modifikován pomocí CRISPR/Cas9 tak, že výsledný organismus obsahoval malé delece (1 až 14 bp) v jednom ze šesti genů kódujících enzym polyfenol oxidasu (PPO), která je zodpovědná za enzymatické zhnědnutí (tvorba melaninu). Jejich knockout (vyřazení) tedy vede k odolnosti houby vůči hnědnutí, což zlepšuje její vzhled a trvanlivost. Zároveň lze očekávat, že u těchto hub bude jednodušší automatizovaný mechanický sběr.

K dalšímu zkoumání a potenciální komercializaci byly vybrány takové žampiony, u nichž nedošlo k vnesení cizí DNA do genomu, jak bylo ověřeno příslušnými analýzami. Obecně platí, že pokud cizorodá DNA není do rostlin vpravena a nenachází se v nich, jsou tyto rostliny nerozeznatelné od rostlin šlechtěných běžně používanými technikami.

### Jablka

Podobným způsobem byla vytvořena i nehnědnoucí jablka kanadské firmy Okanagan pod obchodní značkou **Arctic™**. Na trhu (v USA a Kanadě) se již vyskytují tři odrůdy: zelená Arctic® Granny (Jednoznačný identifikační kód: OKA-NBØØ2-9), žlutá Arctic® Golden (OKA-NBØØ1-8) a červená Arctic® Fuji (OKA-NBØØ3-1).

### Brambory

Dalším příkladem použití NBT pro zemědělskou praxi jsou nehnědnoucí brambory s nižším obsahem akrylamidu (**Innate®** potato, *low PPO5 potato*). Tyto brambory byly vyvinuty s využitím bakterie *Agrobacterium* pomocí TALEN systému. V takto vzniklých rostlinách brambor není přítomen žádný genetický materiál používaný k vytvoření knockoutů, a opět tedy platí, že jsou nerozeznatelné od produktů běžně používaných technik šlechtění.

Dle rozhodnutí amerického USDA tyto brambory nespadají pod regulaci GMO.

### Řepka

Jiným příkladem NBT plodiny, která je již dostupná na světovém trhu (v USA a Kanadě), je herbicidně tolerantní řepka (canola) 5715 firmy Cibus, s obchodní značkou **Falco™**. Herbicidní tolerance u této řepky nebyla vyvolána transgenozí, ale prostřednictvím NBT, konkrétně mutagenezí řízenou oligonukleotidy. Řepka Falco™ je křížencem mezi dvěma liniemi – Cibus canola BnALS-57 a komerčně dostupnou odrůdou Clearfield canola SP Cougar CL. U nové řepky Falco™ se šlechtěním podařila snížit vazebná afinita imidazolinových a sulfonylmočovinových herbicidů, díky čemuž jsou k nim rostliny řepky tolerantní.

Dle rozhodnutí amerického USDA tato řepka nespadá pod regulaci GMO.

## Sója

S pomocí NBT se dosáhlo i vylepšení nutričních hodnot sóji. Technika TALEN byla využita např. pro zvýšení nutriční kvality sójového oleje vyrobeného z genově upravené sóji firmy Calyxt, jejíž olej je již na trhu (v USA) pod značkou ***Calyno™*** . Oproti běžnému sójovému oleji obsahuje olej Calyno méně nasycených tuků, více kyseliny olejové (cca 80 %) a žádné trans-nasycené mastné kyseliny.

V roce 2019 byl tento sójový olej prodávaný pouze do sítě restaurací a používal se na smažení, výrobu dresinků a omáček; nebyl dostupný běžnému spotřebiteli v supermarketech.

## GM živočichové na trhu ve světě

Nejen rostliny, ale i živočichové mohou být geneticky modifikováni. Hlavním účelem je urychlení růstu pro zvýšení živočišné produkce.

První GM živočich – losos (s označením AquAdvantage) – byl pro účel přímé lidské spotřeby schválen USDA a tamním Úřadem pro kontrolu potravin a léčiv (angl. Food and Drug Administration, FDA) v roce 2015.

Genetická informace lososa byla upravena s cílem rychlejší produkce růstového hormonu tak, aby potřebná doba růstu (3 roky) byla zkrácena na 18 měsíců. Rychlejší růst je umožněn kombinací genu z pacifického lososa (tj. lososa žijícího volně) a regulačních elementů tresky oceánské. V současné době je GM losos chován v USA a Kanadě, zkušební chovy jsou již i v Brazílii a Argentině.

V Evropské unii nebyl dosud schválen žádný GM živočich pro komerční účely a uvedení na evropský trh.

## GM plodiny schválené pro uvedení na trh v EU/ČR

Přehled všech povolení udělených pro pěstování, dovoz a zpracování GM produktů v EU zveřejňuje na svých stránkách Evropská Komise (EK) v sekci „Health and Food Safety, Genetically Modified Organisms". V celkovém přehledu lze najít všechny povolené odrůdy GM plodin, jejich vlastnosti, oblast použití (potraviny, krmiva apod.), společnost, která je dala do oběhu, a termín expirace povolení.

Přehled plodin, jejichž pěstování/dovoz/zpracování je povoleno na území EU, zveřejňuje na svých stránkách každoročně také Ministerstvo životního prostředí (MŽP). V současné době jsou vydána povolení k:

- pěstování GM kukuřice MON810 a jejímu následnému zpracování jako potravina nebo krmivo,
- dovozu GM kukuřice tolerantní k neselektivním herbicidům, odolné vůči škůdcům a ojediněle vůči suchu, vč. jejího zpracování na potraviny a krmiva,
- dovozu GM sóji a jejímu zpracování do krmných směsí a jako potravina (např. sójový olej),
- dovozu GM řepky a jejímu zpracování do krmných směsí a jako potravina (např. řepkový olej),
- dovozu GM bavlníku a jeho zpracování jako potravina nebo krmivo.

Pro pěstování je v EU (k datu 31. 7. 2020) povolena jen jediná GM odrůda kukuřice, kdežto pro dovoz do EU je povoleno 33 typů GM kukuřice, 15 typů GM sóji, čtyři typy GM řepky a 12 typů GM bavlníku. K celkovému přehledu je možné doplnit i povolení dovozu výrobků obsahujících GM cukrovou řepu.

Obecně lze říci, že všechny GM plodiny povolené v EU jsou modifikovány za účelem nižších ztrát na výnosech pomocí zvýšené odolnosti vůči nepříznivým vlivům (nevhodné klimatické podmínky, konkurence plevelů, škůdci, choroby), nebo zlepšení nutričních vlastností (vylepšené složení základních makroživin, vyšší obsah mikronutrientů).

Základními modifikacemi, které se objevují u všech druhů GM plodin povolených v EU, jsou tolerance k neselektivním herbicidům na bázi glyfosátu a glufosinátu amonného. Z toho lze soudit, že situace s nadměrným používáním zdraví škodlivých herbicidů byla již v dřívější době zásadní a první modifikace byly zaměřeny právě na snížení jejich používání. Neselektivní herbicidy působí nejen proti široké škále plevelů, ale zároveň ničí i pěstované plodiny.

Jako další se často objevují modifikace zvyšující odolnost vůči škůdcům, kteří napadají preferenčně cílové plodiny, a způsobují tak značné ztráty na výnosech. Následují modifikace zaměřené na růst rostlin za nepříznivých klimatických podmínek, zejména za sucha. Jejich postupné schvalování a uvádění do oběhu ve větším rozsahu tak můžeme očekávat v budoucích letech.

## GM kukuřice

Kukuřice má široké využití pro hospodářská zvířata, lidskou obživu i v průmyslu. Není proto divu, že je kladen důraz na vysoké výnosy i kvalitu sklízených zrn. Těmto požadavkům však brání časté napadení kukuřice škůdci, v jehož důsledku jsou každoročně významně sníženy výnosy i kvalita kukuřice. Jedním z hlavních škůdců je motýl zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*) z řádu *Lepidoptera*, který si ve stéblech buduje otvory a chodbičky, v jejichž důsledku se pak lámou laty i stébla a rostliny neplodí.

Pomocí GM však lze napadení těmito škůdci předcházet. Kukuřice je celosvětově druhou nejvíce pěstovanou GM plodinou. Odrůda **MON810**, nazývaná také jako **Bt kukuřice**, je jedinou povolenou GM plodinou k pěstování v EU. Do genetické informace této odrůdy je vnesen gen bakterie *Bacillus thuringiensis* produkující δ–endotoxin (Bt toxin), který je v konvenčním i ekologickém zemědělství běžně používán k ochraně kukuřice proti škůdcům, zejména proti housenkám zavíječe kukuřičného. Bt toxin naruší zažívací trakt škůdce a ten v důsledku toho zahyne.

Bt kukuřice byla schválena již v roce 1996 v USA. V Evropě byla pěstována v několika zemích jako např. Německo, Francie, Bulharsko nebo Slovensko; dnes je pěstována pouze ve Španělsku na přibližně čtvrtině celkové rozlohy, dále pak v Portugalsku. V České republice byla pěstována v letech 2005–2016, od roku 2017 se už v ČR nepěstuje. Do EU je dovážena především ze Severní a Jižní Ameriky.

Další známou GM odrůdou kukuřice je NK 603 s obchodním názvem „**Roundup Ready® kukuřice**", jejímž producentem je firma Monsanto. Kukuřice byla modifikována za účelem odolnosti vůči neselektivnímu herbicidu na bázi glyfosátu, tzv. herbicidu Roundup®, který v rostlinách narušuje syntézu aromatických aminokyselin, a tím je hubí. Za tímto účelem byl do kukuřice vnesen gen *cp4epsps* pro rezistenci ke glyfosátu, díky čemuž v kukuřici dochází k produkci glyfosát-tolerantních proteinů CP4EPSPS a kukuřice tak účinkům herbicidu odolává. V roce 2003 bylo Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (angl. European Food Safety Authority, EFSA) vydáno povolení pro import, zpracování a využití v krmivech v EU. Povolení pro využití v potravinách bylo vydáno o rok později. Dlouhodobé studie a hodnocení rizika prokázaly, že rizika spojená s pěstováním kukuřice NK 603 jsou pro zdraví lidí, zvířat i pro životní prostředí stejná jako u klasické ne-GM kukuřice.

Nejen odolnost vůči napadení zavíječem kukuřičným nebo tolerance k herbicidům, ale i další vlastnosti zvyšující výnosy kukuřice jsou předmětem výzkumu úprav genetické informace kukuřice. Jednou z nich je odolnost vůči suchu, které trápí zemědělce po celém světě. Zajímavou variantou se proto stalo pěstování odrůdy **MON 87460**, která vykazuje zvýšenou toleranci k suchu díky inzerci genu *cspB* z bakterie *Bacillus subtilis*. Vzhledem ke zhoršujícím se klimatickým podmínkám a úbytku zásob vody představuje tato odrůda kukuřice jedno z možných řešení, jak předcházet celosvětovému nedostatku potravin.

## GM KUKUŘICE

Poprvé pěstována v roce 1996

V roce 2018 **celkem** na **58,9 mil. ha**

**Pro dovoz schválena v 15 zemích**

**Pěstována ve 14 zemích**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| USA | Jižní Afrika | Vietnam | Brazilie | Uruguay |
| Honduras | Argentina | Filipíny | Chile | Kanada |
| Španělsko | Portugalsko | Paraguay | Kolumbie | |

**137 schválených odrůd v 35 zemích**

Kukuřice **NK 603** získala **61 schválení** ve **28 zemích** světa

z celosvětové plochy **197,2 mil. ha** pěstované kukuřice činila v roce 2018 **30 %** GM kukuřice

**Příklady GM odrůd kukuřice, jejich znaky, povolené aplikace v EU a držitel povolení**

| GM odrůda kukuřice | Znaky | Povolené aplikace | Společnost |
|---|---|---|---|
| **Bt11** | odolnost proti hmyzu (gen *cry1A*),<br>tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | Potraviny, krmiva a jiné produkty | Syngenta |
| **GA21** | tolerance ke glyfosátu (gen *mepsps*) | | |
| **1507xNK603** | ochrana před škůdci z řádu *Lepidoptera* (gen *cry1F*),<br>tolerance vůči glufosinátu amonnému (gen *pat*),<br>tolerance ke glyfosátu (gen *cp4epsps*) | | Pioneer and Dow AgroSciences |
| **DAS59122** | ochrana proti škůdcům z řádu brouků (geny *cry34Ab1* a *cry35Ab1*),<br>tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | | |
| **DAS1507** | rezistence vůči zavíječi kukuřičnému a dalším škůdcům z řádu *Lepidoptera* (gen *cry*),<br>tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | | |
| **T25** | tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | | Bayer CropScience |
| **MON 87460** | odolnost vůči suchu a omezení jím způsobených ztrát na výnosu (gen *cspB*),<br>selekční marker (gen *nptII*) | | Monsanto |
| **MON810** | odolnost proti hmyzu (gen *cry1A*) | Potraviny, krmiva a jiné produkty, semena pro pěstování | |

## GM sója

Sója je široce využívána jako zdroj obživy, součást krmných směsí pro hospodářská zvířata i jako průmyslová surovina. Je významným zdrojem bílkovin a není tak divu, že je z ní vyráběna celá škála potravin, kromě stolního oleje např. rostlinné mléko a výrobky z něj, tofu, tempeh, sójová omáčka a další. S širokým využitím sóji se pojí i potřeba dostatečné pěstitelské plochy.

GM sója je nejvíce pěstovanou GM plodinou v celosvětovém měřítku a pokryje 80 % celosvětové produkce sóji. Sója byla vůbec první GM plodinou, která se ve světě rozšířila. Tzv. **Roundup Ready® sója** od firmy Monsanto byla první GM odrůdou, benefitem byla její odolnost vůči glyfosátu – účinné látce herbicidních přípravků. Tato odrůda je v současné době nejrozšířenější transgenní plodinou na světě. Modifikace spočívá stejně jako u Roundup Ready® kukuřice v produkci proteinů CP4 EPSPS, díky nimž je odrůda odolná vůči působení neselektivního herbicidu Roundup®.

V současné době jsou ale vyvíjeny i odrůdy GM sóji s dalšími benefity, jako je např. odolnost vůči suchu, které je jednou z hlavních příčin každoročních nižších výnosů. V Argentině bylo komerční pěstování takové GM sóji již povoleno; vnesením genu *hb4* (zodpovědného za odolnost vůči suchu) do sóji reaguje země na hospodářská rizika spojená s globálním oteplováním a jím způsobenými změnami klimatu. Takto upravená odrůda prošla tříletým testováním na polích a bylo potvrzeno, že je zdravotně nezávadná, nutričně se neliší od sóji klasické a nezatěžuje životní prostředí. V EU však **dosud nebyla** povolena ani pro dovoz a zpracování jako potravina a/nebo krmivo.

### GM SÓJA

Poprvé pěstována v roce 1996

V roce 2018 **celkem** na **95,9 mil. ha**

**Pro dovoz schválena v 18 zemích**

**Pěstována v 9 zemích**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| USA | Paraguay | Bolívie | Brazilie | Kanada |
| Jižní Afrika | Argentina | Uruguay | Chile | |

**38 schválených odrůd v 31 zemích**

**50 %** všech pěstebních ploch GM rostlin tvoří **GM sója**

**USA je největším producentem sóji na světě**
**Brazílie je největším vývozcem sóji na světě**

z celosvětové plochy **123,5 mil. ha** pěstované sóji činila v roce 2018 **78 %** GM sója

**Příklady GM odrůd sóji, jejich znaky, povolené aplikace v EU a držitel povolení**

| GM odrůda sóji | Znaky | Povolené aplikace | Společnost |
|---|---|---|---|
| **A2704-12** | tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | Potraviny, krmiva a jiné produkty | BASF |
| **MON89788, 305423 × 40-3-2** | tolerance ke glyfosátu (gen *cp4epsps*) | | Monsanto |
| **MON 87705** | tolerance ke glyfosátu (gen *cp4epsps*),<br>snížený obsah kyseliny linoleové a zvýšený obsah kyseliny olejové inhibicí exprese genů *FAD2-1A* a *FATB1-A* (fragmenty genů *FAD2-1A* a *FATB1-A*) | | |
| **MON 87708** | tolerance k herbicidům na bázi dicamby (gen *DMO*) | | |
| **356043** | tolerance ke glyfosátu (gen *gat*),<br>tolerance k herbicidu inhibujícímu acetolaktát syntasu (gen *gm-hra*) | | Pioneer |
| **305423** | snížený obsah kyseliny linoleové a zvýšený obsah kyseliny olejové (fragment genu *fad2-1*),<br>tolerance k herbicidům inhibujícím acetolaktát syntasu (gen *max-hra*) | | |
| **FG72 × A5547-127** | tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | | Bayer CropSciences |
| **DAS-44406-6** | tolerance ke glyfosátu (gen *2mEPSPS*),<br>tolerance ke kyselině 2,4-dichlorfenoxyoctové (gen *aad-12*),<br>tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | | Dow AgroSciences |

## GM řepka

Řepka je další významnou hospodářskou plodinou, která slouží zejména k výrobě řepkového oleje využívaného v potravinářství a k výrobě biopaliv. Obě tyto oblasti jsou v současné době předmětem zájmu výzkumných ústavů i společností snažících se o zlepšení složení oleje a hledání náhrad biopaliv, která jsou vyráběna na úkor potravinářství.

V EU jsou povolené odrůdy řepky modifikované za účelem tolerance vůči neselektivním herbicidům a snížení ztrát. Hlavními oblastmi, na něž byly dosud provedené a legislativně schválené modifikace cíleny, jsou odolnost vůči glyfosátu a glufosinátu amonnému nebo zvýšení obsahu proteinů.

**Přehled GM odrůd řepky olejné, jejich znaky, povolené aplikace v EU a držitel povolení**

| GM odrůda řepky olejné | Znaky | Povolené aplikace | Společnost |
|---|---|---|---|
| MS8, RF3, MS8xRF3 | tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*),<br>zvýšená exprese proteinů regulujících plodnost samčích jedinců (geny *Barnase* a *Barstar*) | Potraviny, krmiva a jiné produkty | BASF |
| T45 | tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | | |
| GT73 | tolerance ke glyfosátu (geny *cp4epsps* a *goxv247*) | | Monsanto |
| MON88302 x Ms8 x Rf3, MON88302 x Ms8, MON88302 x Rf3 | tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*),<br>tolerance ke glyfosátu (geny *cp4epsps*)<br>zvýšená exprese proteinů regulujících plodnost samčích jedinců (geny *Barnase* a *Barstar*) | | Bayer CropScience a Monsanto |

### GM ŘEPKA

Poprvé pěstována v roce 1996

V roce 2018 **celkem** na **10,1 mil. ha**

**Pro dovoz schválena v 10 zemích**

**Pěstována ve 4 zemích**

USA | Kanada | Austrálie | Chile

**37 schválených odrůd v 15 zemích**

**Kanada** pěstovala v roce 2018 řepku na **8,7 mil. ha**
**Chile** pěstuje GM řepku na **vývoz osiva**

z celosvětové plochy **34,7 mil. ha** pěstované řepky činila v roce 2018 **29 %** GM řepka

## GM bavlník

Bavlník je nejvíce pěstován v tropických a subtropických oblastech. Vedle hlavního produktu, tedy vláken bavlny, jsou využívány i produkty vedlejší – celulóza, bavlníkový olej amouka. GM bavlník je ve světě třetí nejrozšířenější GM plodinou; přibližně z 60 % se podílí na celkové produkci bavlníku. Zároveň je GM bavlník jednou z nejdéle komerčně pěstovaných GM plodin (více než 30 let).

První GM odrůdy bavlníku byly odolné vůči insekticidům (Bt odrůdy). Důvody pro jejich vývoj byly jak komerční, tak i ekologické. Statistiky ohledně spotřeby insekticidů na pěstování bavlníku nebyly příznivé; bavlníky jsou celosvětově pěstovány na přibližně 2,5 % orné půdy, zároveň se na ně však spotřebuje až 16 % celkově využívaného množství insekticidů. Uvádí se, že bez náležitého použití výkonných insekticidů mohou ztráty na výnosech dosahovat až 90 %, což je zejména pro malé pěstitele, pro něž bavlna představuje hlavní zdroj obživy, fatální. Bt odrůdy odolné vůči nejrozšířenějším škůdcům, mezi něž patří zejména makadlovka bavlníková (*Pectinophora gossypiella*), byly pro farmáře zásadním přínosem.

Postupně byly vyvíjeny i odrůdy tolerantní k neselektivním herbicidům, zejména na bázi glyfosátu a glufosinátu amonného, a odrůdy kombinující obě zmíněné vlastnosti. Podle údajů z roku 2016 se na výzkumu GM odrůd bavlníku nejvíce podílejí africké státy, a to převážně Etiopie, Jihoafrická republika, Kamerun, Keňa, Malawi, Nigerie, Súdán a Svazijsko. Z těchto údajů je patrné, že zejména Afrika má zájem o využívání GM odrůd bavlníku a lze očekávat, že se jejich pěstování rozšíří i do dalších afrických zemí.

**Příklady GM odrůd bavlníku, jejich znaky, povolené aplikace v EU a držitel povolení**

| GM odrůda bavlníku | Znaky | Povolené aplikace | Společnost |
|---|---|---|---|
| **LLCotton25** | tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | Potraviny, krmiva a jiné produkty | BASF |
| **MON1445** | tolerance ke glyfosátu (gen *cp4epsps*), selekční markery (geny *nptII* a *aadA*) | Výroba potravin a krmiv | Monsanto |
| **MON531** | rezistence vůči škůdcům z řádu *Lepidoptera* (gen *cry1Ac*) selekční markery (geny *nptII* a *aadA*) | | |
| **MON15985** | rezistence vůči škůdcům z řádu *Lepidoptera*, (geny *cry1Ac* a *cry2Ab2*), selekční markery (geny *uidA*, *nptII* a *aadA*) | Potraviny, krmiva a jiné produkty | |
| **GHB614** | tolerance ke glyfosátovým herbicidům (gen *2mepsps*) | Potraviny, krmiva a jiné produkty | Bayer CropScience |
| **T304-40** | tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*), rezistence vůči škůdcům z řádu *Lepidoptera* (gen *cry1Ab*) | | |
| **281-24-236x3006 -210-23** | rezistence vůči škůdcům z řádu *Lepidoptera* (geny *cry1Ac* a *cry1F*), tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | | Dow AgroSciences |
| **281-24-236x3006 -210-23×MON88913** | tolerance ke glyfosátovým herbicidům (gen *cp4epsps)*, rezistence vůči škůdcům z řádu *Lepidoptera* (geny *cry1Ac* a *cry1F*), tolerance ke glufosinátu amonnému (gen *pat*) | | |

## GM BAVLNÍK

Poprvé pěstován v roce 1996

V roce 2018 **celkem** na **24,9 mil. ha**

**Pro dovoz schválen v 8 zemích**

**Pěstován v 15 zemích**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| USA | Jižní Afrika | Brazilie | Indie | Uruguay |
| Argentina | Čína | Pakistán | Austrálie | Myanmar |
| Súdán | Mexiko | Kolumbie | Kostarika | Svazijsko |

**63 schválených odrůd v 27 zemích**

**Indie** je předním producentem bavlníku na světě

**7,5 mil. farmářů** v Indii profituje na pěstování Bt bavlníku

z celosvětové plochy **32,9 mil. ha** pěstovaného bavlníku činil v roce 2018 **76 %** GM bavlník

## GM cukrová řepa

Cukrová řepa je využívána k výrobě cukru, lihu a krmiv pro hospodářská zvířata. Mezi největší producenty patří Rusko, Francie, Německo a USA. Jedinou GM odrůdou řepy povolenou jako součást výrobků dovážených do EU je **odrůda H7-1** odolná vůči herbicidům na bázi glyfosátu. Řadí se však mezi GM plodiny, které nejsou pěstovány ve světě ve velkém měřítku, společně s GM vojtěškou, papájou, dýní, bramborami, baklažánem a jablky je pěstována přibližně na 1 % celkové pěstitelské plochy GM plodin.

**GM odrůda cukrové řepy, její znaky, povolené aplikace v EU a držitel povolení**

| GM odrůda cukrové řepy | Znaky | Povolené aplikace | Společnost |
|---|---|---|---|
| H7-1 | tolerance ke glyfosátovým herbicidům (gen *cp4epsps*) | Potraviny | Monsanto |

## GM brambory

Brambory jsou významnou potravinářskou komoditou. Přestože existuje značné množství odrůd brambor, které byly po desetiletí šlechtěny klasickými metodami, na území České republiky je pěstováno pouze přibližně deset osvědčených odrůd.

Prostřednictvím novějších GM přístupů však již byly vyvinuty i odrůdy disponující zlepšenými vlastnostmi, jako jsou např. odolnost vůči virům, insekticidní vlastnosti nebo zvýšený obsah amylopektinu.

V roce 2010 povolila EU pěstování GM brambor vyvinutých agrochemickou společností BASF Plant Sciences, tzv. brambory **Amflora**, na území členských států za účelem využití v průmyslu a k výrobě krmiv. Brambory Amflora byly upraveny tak, aby produkovaly pouze jeden ze škrobů, jež jsou obsaženy v běžných bramborách ve směsi, konkrétně ekonomicky významnější amylopektin.

GM brambory byly pěstovány i na území ČR, avšak jen krátkodobě – konkrétně v roce 2010 na výměře 150 ha, a to třemi podniky na Vysočině v uzavřeném (IP – *identity preservation*) systému pod dohledem firmy BASF. V následných letech nastaly problémy s produkcí sadby, a tak byla odrůda Amflora v EU pěstována pouze do roku 2012. V roce 2013 zrušil Tribunál Soudního dvora EU povolení jejího pěstování z důvodu procesní chyby při schvalování. Koncern BASF se i s ohledem na tuto záležitost rozhodl zastavit své pěstitelské aktivity v EU a přesunul své zájmy do Ameriky a Asie.

Kromě uvedené, pravděpodobně nejznámější GM odrůdy brambor, byly vyvinuty i jiné – např. odolné proti plísni bramborové, která může způsobit až 90% ztráty na úrodě. V EU však nikdy nebyly povoleny k pěstování ani pro dovoz a zpracování jako potravina a/nebo krmivo.

## Dovoz GM plodin do EU

Země EU nejsou v pěstování hospodářských plodin soběstačné. Je nutné základní bílkovinné plodiny určené zejména pro výrobu krmiv (sója, kukuřice) i bavlník, na jehož dovozu je EU zcela závislá, dovážet z jiných zemí. Ve většině případů jsou však dováženy právě GM odrůdy zmíněných plodin, které ve světové produkci převažují (např. většina pěstované sóji je GM). Sója, kukuřice a řepka jsou dováženy převážně ze Severní a Jižní Ameriky, bavlna je pak dovážena z Asie (zejména z Indie).

## Bezpečnost GM plodin schválených v EU

Všechny žádosti o uvedení GM plodin na trh podléhají náročnému schvalovacímu procesu vč. hodnocení jejich bezpečnosti. Tomuto tématu je detailněji věnována následující kapitola. Přesto je vhodné zmínit, že všechny schválené GMO jsou bezpečné, nebyl u nich prokázán negativní vliv ani na zdraví konzumentů, ani na životní prostředí.

Naopak, rozsáhlá studie zaměřená na bezpečnost GM kukuřice odolné vůči napadení zavíječem kukuřičným, která byla vydána v roce 2018 na základě metaanalýzy dat získávaných během 21 let, potvrdila, že GM odrůdy přinášejí značné benefity. Hlavní hodnocenou oblastí byl vliv na zdraví konzumentů, dále pak ekologické a ekonomické aspekty. Závěry studie byly následující:

- v GM kukuřici byl oproti klasickým odrůdám značně nižší obsah nebezpečných mykotoxinů (až o 36 %),
- bylo prokázáno, že GM kukuřice nemá negativní účinky na biodiverzitu hmyzu,
- výnos zrna GM kukuřice byl vyšší než u klasických odrůd (až o 24 %).

Tyto slibné výsledky doplňují závěry méně rozsáhlé studie publikované v roce 2010 a věnované stejné problematice. Ve studii byly zveřejněny analýzy dat naměřených během 14 let, v nichž byly zkoumány ekonomické i ekologické přínosy GM kukuřice. Hlavním benefitem pěstování GM kukuřice bylo dle této studie značné snížení množství používaných

insekticidů, s ním související nižší výskyt zavíječe kukuřičného (až o 73 %) a tím menší dopady na životní prostředí.

Odhadovaný ekonomický přínos byl vypočítán na 6,9 miliard dolarů ročně. Paradoxem je, že většinu (62 %) nákladů neušetřili pěstitelé GM odrůd, ale bio-farmáři pěstující kukuřici na vedlejších polích. Ti sice nekupovali dražší GM osivo, ale i na jejich polích byl díky sousedním GM lánům výrazně snížen výskyt zavíječe kukuřičného.

GM kukuřice

klasická kukuřice

Nejen kukuřice, ale i sója prošla rozsáhlým hodnocením kvality a bezpečnosti. Např. studie zaměřená na hodnocení bezpečnosti GM sóji DAS-444Ø6-6 tolerantní vůči glyfosátovým herbicidům podávané v krmivech po dobu 90 dní myším prokázala, že tato odrůda je bezpečná. Oproti běžné, netransgenní sóje, nepředstavuje nikterak zvýšené zdravotní riziko pro konzumenty a neliší se v nutričních hodnotách.

Další GM odrůda, často zmiňovaná Roundup Ready® sója, pak prošla nejen klasickým hodnocením bezpečnosti, ale také rozsáhlým alergologickým testováním. Závěry studie zaměřené na tuto problematiku jasně potvrdily, že genetickou modifikací nedošlo k žádné nepředvídatelné změně a biotechnologický protein CP-4 EPSPS nemá zvýšenou schopnost vyvolávat alergie.

Ze zmíněných studií je tak jasně vidět, že oblast hodnocení bezpečnosti GM plodin je zásadní a je jí věnována velká pozornost. Je pozitivní, že závěry podobných studií se shodují a potvrzují, že GM plodiny nepřinášejí vyšší rizika než běžné netransgenní plodiny.

**GM plodiny schválené pro trh EU jsou bezpečné.**

# Posuzování bezpečnosti GMO ve světě a v EU

## Posuzování GMO ve světě

Problematika GMO je řešena např. v rámci Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (angl. Organisation for European Economic Cooperation, OECD), jejímž je ČR členem, a Světové zdravotnické organizace (angl. World Health Organization, WHO).

Obecně se země mají při využívání GMO řídit závazky Cartagenského protokolu o biologické bezpečnosti (angl. Cartagena Protocol on Biosafety, CPB), jenž byl sjednán v rámci mezinárodní Úmluvy o biologické rozmanitosti (angl. Convention on Biological Diversity, CBD), anebo národními předpisy, které se v různých zemích liší.

Vývoj a uvádění GMO do životního prostředí a do oběhu dosáhl v USA, Kanadě, Číně, Indii, Japonsku a zemích Jižní Ameriky obrovského rozvoje a rozsahu.

Při dovozu a vývozu zemědělské produkce je třeba si prozkoumat legislativu každé země. Jednotlivé země mohou vyžadovat certifikáty o nepřítomnosti GMO nebo GMO free. Naopak dle legislativy vyvážející země nemusí komodity a výrobky z nich vyhovovat požadavkům trhu EU. Země po celém světě zavedly předpisy o GMO na základě svých ekonomických, politických a společenských důvodů.

Právně nezávazná opatření, jako jsou různá doporučení, směrnice, kodexy chování atd., jsou používány k mezinárodní regulaci v odvětví práva životního prostředí. Takováto forma regulace však vyžaduje vysoký stupeň shody na regulativních opatřeních zahrnující i politickou vůli jednotlivých členů, což je velmi obtížné.

Všeobecně přijímaných/platných předpisů je tedy málo, mezinárodní právo životního prostředí představuje soubor vzájemně si konkurujících regionálních právních předpisů, které situaci bohužel znepřehledňují.

## Cartagenský protokol o biologické bezpečnosti – CPB

Cílem CPB je zajistit bezpečnost a ochranu při zacházení, využívání a přenosu GMO – v rámci CPB označovaných jako živé modifikované organismy (angl. living modified organisms, LMO), které jsou výsledkem moderních biotechnologií.

Protokol je zaměřen především na převoz GMO přes hranice států a dodržování jeho principů má zabránit případnému nepříznivému vlivu GMO na zdraví lidí i na biologickou rozmanitost. Smluvní strany CPB se podpisem zavázaly k vytvoření prostředků k regulaci zvládání rizik spojených s využíváním a zaváděním GMO a k jejich dodržování.

CPB rovněž pomáhá s informovaností o GMO sdílením informací a informačního systému pro biologickou bezpečnost (angl. Biosafety Clearing-House). Přehledný registr GMO je dostupným na stránkách https://bch.cbd.int/database/lmo-registry/. Ne všechny země se však s protokolem ztotožňují.

Convention on
Biological Diversity

**Cartagenský protokol o biologické bezpečnosti (CPB) byl přijat v lednu 2000 v Montrealu, Česká republika ho ratifikovala v říjnu 2001 a v platnost vstoupil v září 2003. V současné době má CPB celkem 173 členských států, včetně států EU. Některé státy jako např. USA, Rusko či Kanada CPB dosud neratifikovaly.**

## GMO v USA a Kanadě

USA ani Kanada již od začátku obchodování s GMO nečinily velké rozdíly mezi GMO a konvenčními plodinami. V USA neexistuje zvláštní zákonná norma pro GMO, ale využívají se stávající zákony.

Legislativa je v USA založena na konstatování, že potenciálně škodlivá není samotná metoda přípravy GMO, ale některé specifické vlastnosti organismů, bez ohledu na to, jakým způsobem vznikly. Riziko konkrétního organismu tedy není odvozováno od způsobu přípravy, ale od jeho vlastností. Toto pravidlo platí od roku 1986 a vyplývá z něho, že např. účinnost transgenní rostliny s vloženým genem bakterie *Bacillus thuringiensis* proti škůdcům je posuzována podle zákona o pesticidech. V důsledku této praxe spadá posuzování GMO pod různé instituce a pod různé zákony.

V prosinci 2018 ministr zemědělství USA Sonny Perdue zveřejnil informace o normě pro označování potravin. Národní zákon o označování GM potravin (angl. National Bioengineered Food Disclosure Law) byl schválený Kongresem v červenci roku 2016 a nařídil USDA stanovit tuto národní povinnou normu pro označování potravin, které při jejich produkci zahrnují bioinženýrské metody.

Norma definuje bioinženýrské potraviny jako potraviny, které obsahují zjistitelný genetický materiál, který byl modifikován určitými laboratorními technikami a nemůže být vytvořen konvenčním šlechtěním nebo nalezen v přírodě. Výsledkem je zavedení označování uvedené na obrázku níže.

Již od února 2019 jsou některé potraviny tímto logem označovány, od 1. ledna 2022 by mělo být označování GMO závazné.

## GMO v Číně a Rusku

V Číně musí být GM semena, hospodářská zvířata, drůbež, rybí potěr, mikroorganismy a produkty z GM zvířat, rostlin či mikroorganismů viditelně označeny. Musí být značeny i produkty, které již GMO neobsahují, ale jsou z nich vyrobené, a to i v případě, že GM ingredience nemůže být ve finálním produktu detekována.

V Rusku v červenci 2016 podepsal prezident Putin federální zákon 358 „O změnách některých činů Ruské Federace vedených legislativou týkajících se zlepšení státní regulace v oblasti genového inženýrství“. Tyto změny zakazují pěstování GM rostlin a chov GM zvířat na území Ruské Federace. Dále posilují státní kontrolu a monitorování zpracování a dovozu GMO a produktů pocházejících z GMO a také stanovují sankce za porušení tohoto federálního zákona.

Experti věnující se obsahu federálního zákona zaměřili pozornost na fakt, že zákonem jsou postihnuta pouze GM zvířata a rostliny, jejichž genom byl změněn metodami genového inženýrství, obsahují geneticky upravený materiál a nemohou být výsledkem přirozených procesů. GMO připravené pomocí NBT, jejichž změna genomu se teoreticky může vyskytnout přirozeně bez zásahu genového inženýrství, jsou ze zákazu vyňaty.

## Posuzování GMO v EU

Pro EU jsou charakteristické přísné právní předpisy, jejich cílem je zajistit co nejnižší míru rizika pro lidské zdraví a životní prostředí v souladu se zásadami předběžné opatrnosti. Členské státy přijímají opatření vedoucí k zajištění biologické bezpečnosti (angl. biosafety).

**Biologická bezpečnost je soubor ochranných opatření sloužící k prevenci rozsáhlých ztrát biologické integrity se zaměřením na ekologii i lidské zdraví. Biologická bezpečnost se používá k ochraně před škodlivými událostmi a v EU představuje rámec opatření obsahující strategické i politické dokumenty, normy, správní postupy pro schvalování nakládání s GMO, pro odhady a hodnocení rizik i kontroly GMO.**

Podstatnou a významnou částí legislativy EU je hodnocení rizika daného GMO. Posuzování každého GMO probíhá zvlášť na základě všech dostupných znalostí. Posouzení rizik GM rostlin zahrnuje **komparativní analýzu**, ve které se používají vhodné metody pro porovnání GM rostlin s jejich konvenčním protějškem. Základem komparativní analýzy je předpoklad bezpečnosti tradičně pěstovaných (tj. geneticky nemodifikovaných) zemědělských plodin.

## Nakládání s GMO v EU

V evropských předpisech jsou definovány tři typy nakládání s GMO, a to:

- **uzavřené nakládání** (angl. *contained use of GMOs*) – výzkum v laboratořích, sklenících a jiných uzavřených prostorách, uzavřená průmyslová výroba (např. GM mikroorganismy);
- **uvolňování do životního prostředí** (angl. *deliberate release into the environment*) – polní pokusy, terénní zkoušky (např. s GM komáry);
- **uvádění na trh EU** (angl. *placing on the market*) – komerční pěstování GM plodin a chov GM živočichů, dovoz a zpracování GM potravin a krmiv.

Výzkum

Polní pokusy

Trh EU

Jakmile je GMO či GM produkt uveden na trh (dostane povolení na úrovni EU), další uživatelé takového GMO či GM produktu (pěstitelé, zpracovatelé, dovozci apod.) již nemusí podstupovat složitý proces schvalování.

Po uvedení na trh je však nutné GMO a jejich produkty označovat, pokud se dále používají jako potravina nebo krmivo.

Po uvedení nového GMO do zemědělské praxe se také provádí monitoring. Ten vyplývá z evropských předpisů a je za něj zodpovědný držitel povolení, tj. firma nebo jiný subjekt, který GM plodinu uvedl na evropský trh. Monitorování vlivu GM plodin na životní prostředí zahrnuje obecný dozor i identifikaci výskytu nepříznivých účinků, které nebyly očekávány při posuzování environmentálních rizik (angl. *environmental risk assessment,* ERA). Sami pěstitelé však monitoring GM plodin provádět nemusí.

## Potenciální rizika nakládání s GMO

Potenciální rizika, která přináší nakládání s GMO, ale stejně tak i zavedení jakýchkoliv jiných organismů a produktů, lze rozdělit do dvou skupin:

vliv na zdraví člověka,

důsledky pro životní prostředí.

Zdrojem ohrožení zdraví člověka může být přenos anebo tvorba nových toxinů či zvýšení alergenicity potraviny.

Do druhé kategorie patří problémy týkající se potenciálního ohrožení biodiverzity a invazivního charakteru GMO. Nakládání s GMO teoreticky může vést ke křížení a následnému vzniku agresivních plevelů nebo volně rostoucích rostlin majících zvýšenou resistenci k nemocem či vnějším stresům.

Dalším diskutovaným tématem je možné snížení biologické rozmanitosti v přírodě, jako např. náhrada tradičních kultivarů používanými GMO, náhrada lokálních druhů a na ně vázaných organismů, celkové ovlivnění koloběhu. V důsledku zvýšené konkurenční schopnosti GMO by mohlo dojít k rozvrácení přirozené rovnováhy ekosystémů.

Nesmíme zapomenout ani na sociálně-ekonomické důsledky pro drobné pěstitele nebo původní obyvatelstvo. Jedná se zejména o změny v pěstování tradičních plodin, způsobu obhospodařování a dominanci nadnárodních společností v produkci GM osiva. To pak může vést k likvidaci drobných zemědělců především v rozvojových zemích.

Závažnost všech zmíněných, nepravděpodobných, ale potenciálně možných důsledků vyžaduje, aby právní předpisy odrážely odpovídající vědecké poznatky.

## Posuzování rizik nakládání s GMO v EU

Důsledky působení GMO mohou být závažné, proto bývá proces schvalování GMO v EU velmi pečlivý; zahrnuje odhad rizik jednotlivých GMO v porovnání s konvenční plodinou, která byla při přípravě daného GMO modifikována. Je však rovněž značně administrativně náročný a závěrečné slovo je učiněno na základě politického koncensu, tudíž často nereflektuje vědecké poznatky.

EU zvolila přísnější přístup k využívání a kontrole GMO; politiku založila na principu předběžné opatrnosti (dle angl. *better safe than sorry*).

**Princip předběžné opatrnosti je právní mechanismus, jak se vyrovnat s environmentálním rizikem v situacích, kdy existuje neúplná vědecká informace o vlivu nové technologie.**

Důraz na předběžnou opatrnost je kladen s ohledem na riziko trvalého a nezvratného poškození životního prostředí. Proto se vychází z nejhorší možné varianty z těch, které mohou nastat. Je uplatňován především z toho důvodu, že stále chybí vědecké důkazy a jistota.

Princip předběžné opatrnosti má však i některá úskalí, kterými jsou:

- nejednotná interpretace,
- marginalizace role vědy,
- určitá forma obchodního protekcionismu,
- ztráta potenciálních výhod použití inovativních technologií.

Tento princip byl diskutován od 70. let minulého století, do povědomí laické i širší odborné veřejnosti se dostal v roce 1992 prostřednictvím Deklarace z konference Organizace spojených národů (OSN) o životním prostředí a rozvoji, která se konala v Rio de Janeiru.

V EU je v oblasti GMO tento princip aplikován po schválení GMO na trh, a to např. při odůvodňování národních zákazů pěstování GM plodin i při sledování GMO a jejich produktů po uvedení na trh, a to pro případné stažení z trhu v případě pozdějšího zjištění rizika. Dosud však žádné takové opomenuté riziko nebylo identifikováno u v EU schválených GMO.

**„Princip předběžné opatrnosti!“**

## Proč se EU bojí GMO?

V případě GMO panují obavy na základě nedostatečných zkušeností s prací s GMO, hlavně z toho, že se důsledky na lidské zdraví i životní prostředí mohou projevit po delší době. Komercializaci GMO v EU předchází mnoho testů, ať už při výzkumu, jejich přípravě i při odhadu potenciálních rizik pro životní prostředí či lidské zdraví. Skutečnost, že plodina byla geneticky modifikována, sama o sobě nepředstavuje riziko.

Pokud hovoříme o riziku, to je spjato s uvedením do oběhu nové odrůdy s neznámými vlastnostmi, které mohou mít negativní efekt na životní prostředí nebo zdraví lidí a zvířat. Jakékoliv zavedení nové odrůdy na trh, která se kompozičně odlišuje, přináší rizika, ať už je to GMO nebo není. GMO by tedy neměly být posuzovány jinak než podobné nemodifikované produkty, pokud jsou jejich rizika srovnatelná.

Obavy spotřebitelů provází GMO od začátku jejich používání. Přestože první GM bakterie *Escherichia coli* produkující lidský insulin B byla připravena již v roce 1978, část veřejnosti zastává názor, že GMO jsou na trhu novinkou. Nejsou známé jejich účinky, mohly by mít neblahý vliv na lidské zdraví a jejich produkce by mohla mít negativní dopad na životní prostředí.

Mnoho odborníků se shoduje na tom, že regulace EU stojí v cestě důležitým zemědělským inovacím, které mohou přinést řešení v rámci klimatických změn.

GM rostliny umožňují bezpečnější zemědělské práce, a to především v rozvojových zemích, kde jsou dodnes postřiky aplikovány ručně. Farmáři pak trpí různě vážnými onemocněními.

Navíc GM rostliny obohacené o nutriční látky snižují zdravotní obtíže spojené s nedostatečně pestrou stravou, např. „zlatá rýže“ (viz dále). Pomocí GM komárů lze rapidně snížit onemocnění malárií či horečkou dengue.

**Kde můžeme hledat původ rozdílů ve vnímání GMO Evropou a Amerikou?**

Mohou vyplývat z odlišného kulturního zázemí.

První komerčně úspěšné GMO byly GMO odolné vůči herbicidům. Američtí zemědělci hospodaří na rozsáhlých plochách zemědělské půdy a musí spoléhat na herbicidy více než Evropané.

Američané se často vzdali na rozdíl od Evropy tradičního způsobu zpracování půdy včetně orby.

Využití GM osiva je výhodné, i když může být jeho nákup dražší. To Američané, kteří cílí na vysoké výnosy, preferují.

Odlišné zkušenosti se zemědělstvím a technologickým pokrokem na obou kontinentech mohou být důvodem, proč evropští spotřebitelé obecně preferují tradiční produkty, které nejsou geneticky modifikované, a jsou skeptičtější než Američané, navzdory argumentům, že GMO jsou bezpečné a z ekonomického hlediska vhodné.

## Schvalování GMO v EU/ČR

Schvalování nových GM potravin a krmiv pro dovoz a povolení pěstování GM rostlin v EU podléhá Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1829/2003, o GM potravinách a krmivech, případně Směrnici 2001/18/ES.

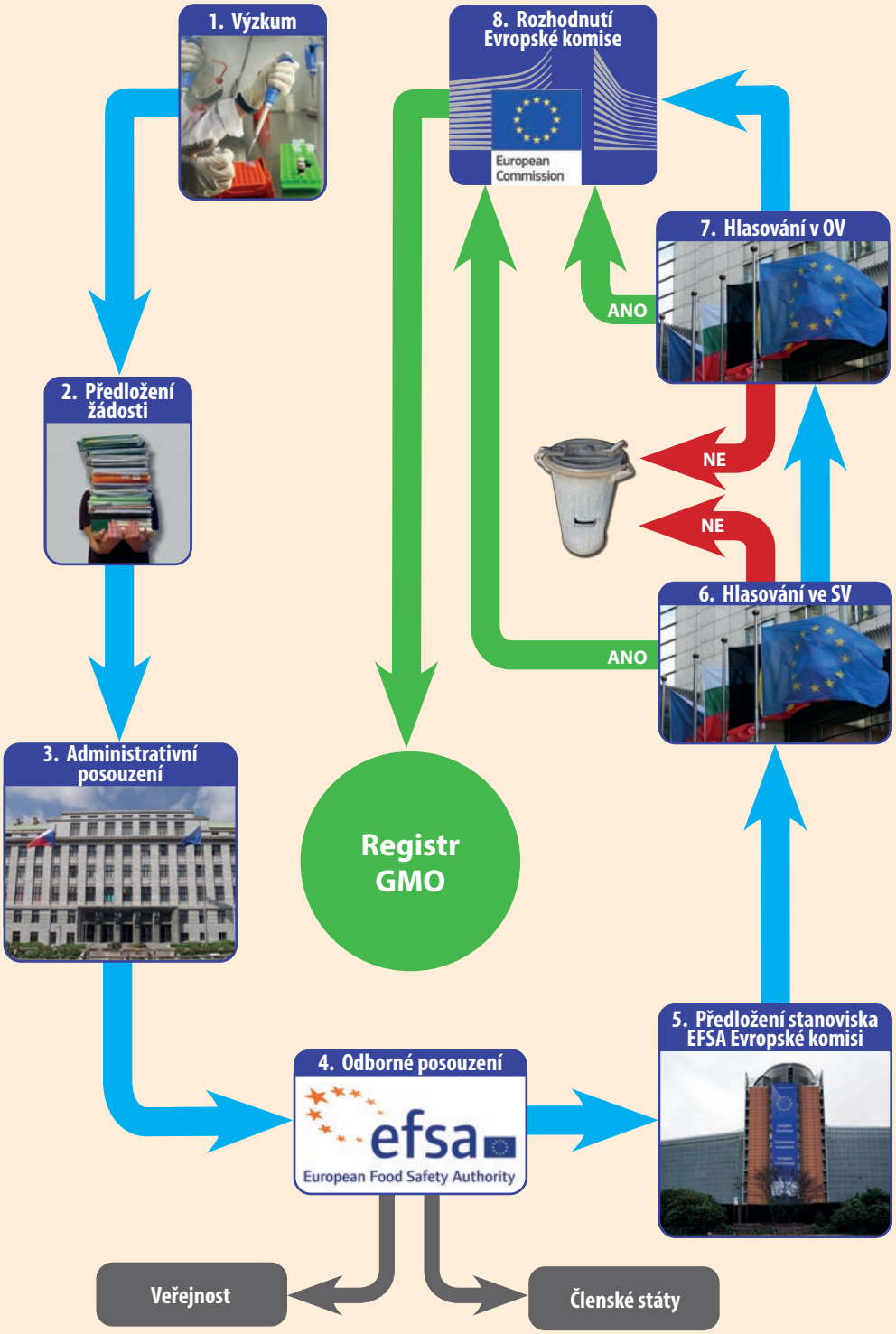
Povolení GM potravin a krmiv pro dovoz (či pěstování) je upraveno na úrovni EU. Vydaná povolení se tedy vztahují na všechny členské státy.

Celý systém schvalování se opírá o dosavadní vědecké poznatky. Úlohu poradního vědeckého orgánu vykonává EFSA. Na základě stanoviska EFSA hlasují členské státy v orgánech EU o povolení uvedení GM potravin a krmiv na trh EU či pěstování GM rostlin na území EU.

### Proces schvalování nového GMO

1. Vývoj nového GMO probíhá v laboratoři a v rámci polních pokusů.
2. Předložení žádosti probíhá dle Nařízení Evropského parlamentu (EP) a Rady (R) č. 1829/2003 nebo Směrnice 2001/18/ES.
3. Administrativní posouzení provede odpovědný úřad v členském státu EU, např. v ČR je to Ministerstvo zemědělství (případně Ministerstvo životního prostředí).
4. Vědecké posouzení EFSA, která je poradním vědeckým orgánem Evropské komise.
5. K žádosti se může vyjádřit veřejnost a členské státy. Za ČR se k žádostem vyjadřuje Vědecký výbor pro GM potraviny a krmiva (VVG), případně Česká komise pro nakládání s GMO a genetickými produkty (ČK GMO).
6. Předložení stanoviska EFSA EK.
7. Hlasování ve Stálém výboru pro rostliny, zvířata, potraviny a krmiva při EK. Pro schválení musí být návrh přijat kvalifikovanou většinou.
8. Rozhodnutí EK je buď přijetí, nebo zamítnutí žádosti.
9. Zapsání do Registru GMO proběhne po přijetí žádosti: https://webgate.ec.europa.eu/dyna/gm_register/index_en.cfm.
10. Povolení pro uvedení GMO na trh EU se vydává na dobu 10 let.

## Schvalovací proces pro uvedení GMO na trh EU



Evropský proces udělování povolení pro uvedení na trh GM potravin a krmiv a pěstování patří mezi nejpřísnější na světě. Tento proces tak trvá i několik let. Žadatel musí tedy již předem počítat s finanční a časovou náročností celého procesu povolení.

I přesto, že je povolení následně platné ve všech členských státech EU, může se stát, že pěstování GM rostlin bude na některých územích EU zakázáno. Dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/412 ze dne 11. března 2015, kterou se mění směrnice 2001/18/ES, je členským státům dána možnost na svém území omezit či zakázat pěstování GM rostlin.

Tuto možnost využila většina členských států EU, jmenovitě: Rakousko, Bulharsko, Chorvatsko, Kypr, Dánsko, Francie, Německo, Řecko, Maďarsko, Itálie, Litva, Lotyšsko, Lucembursko, Malta, Nizozemí, Polsko, Slovinsko a Valonský region v Belgii (pozn.: před odchodem Velké Británie z EU též Severní Irsko, Wales a Skotsko).

Průběh schvalovacího procesu uvádění GMO a GM potravin a krmiv do oběhu v EU se tím nemění, předpis se vztahuje pouze na pěstování GM plodin.

# Označování a kontrola GM produktů

## Označování GMO a jejich produktů

Pro dovozce, zpracovatele, přepravce a kohokoli dalšího, kdo nakládá s GMO, platí povinnosti, které by měly být dle platné legislativy splněny. V případě dovozů GM rostlinných komodit jsou dovozci povinni dodávku, komoditu a dále samotné produkty před uvedením na trh označit.

Označit GMO i jejich produkty je povinen také pěstitel GM plodiny, který tuto (nebo její produkt) prodává/poskytuje dál mimo podnik. Pokud pěstitel takovou plodinu zpracuje přímo v podniku, např. do bioplynové stanice nebo jako krmivo pro hospodářská zvířata, označovat ji nemusí, ani následné produkty zvířat (maso, mléko, vejce), která byla GM plodinami krmena.

Označování GM produktů podléhá Nařízení Evropského parlamentu (EP) a Rady (R) č. 1829/2003 článku 13(1) a 25(2) a Nařízení EP a R č.1830/2003 článku 4(6).

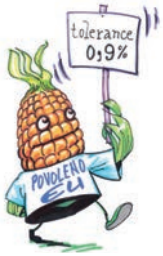
Na obalu produktu, který obsahuje, sestává nebo je vyrobený z více jak 0,9 % GMO, musí být uvedeno dle platné legislativy, že produkt:

je „**geneticky modifikovaný organismus**“ nebo

„**obsahuje geneticky modifikovaný organismus**“ nebo

je „**vyrobený z geneticky modifikované řepky/sóji/kukuřice**“ (uvedení konkrétní rostliny),

- u nebalených GM produktů nebo u balených v malých obalech o nižší ploše než 10 $cm^2$, musí být označení na boxu s vystaveným produktem či bezprostředně vedle produktu,
- pokud se nejedná o potravinu, může být v případě krmiva či komodity pro jiný účel použití (což znamená např. GM řepka pro výrobu bioplynu) požadováno označení „není určeno pro pěstování“, současně tato informace nesmí chybět v průvodní dokumentaci,
- GMO musí být samozřejmě povolen pro zpracování a výrobu v EU a uveden v registru povolených GMO v EU.




Povinné označování se týká pouze těch GMO, které byly v EU povoleny do oběhu – na trh. Pokud je nezáměrná příměs takového GMO v klasických produktech do výše 0,9 %, označovat se nemusí.

Toto však neplatí pro GMO (a jejich produkty), které nemají autorizaci/schválení v EU – u nich žádná tolerance neplatí, resp. pohybuje se na hranici detekovatelnosti této nepovolené genetické modifikace. Pokud se tedy v jakémkoliv produktu (GM nebo ne-GM) ukáže jakékoliv stopové množství nepovoleného GMO, takový produkt musí být okamžitě stažen z evropského trhu. I k tomu slouží systém rychlého varování RASFF (viz dále).

## Označování a kontrola produktů NBT

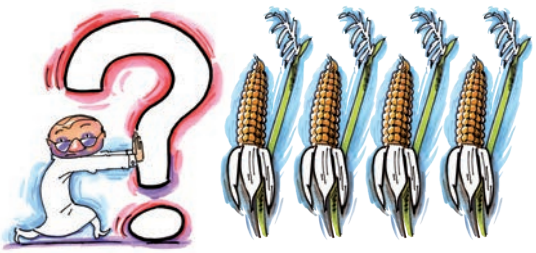
Velkou výzvou pro evropské orgány bude označování, resp. kontrola produktů NBT, kdy pro většinu z nich nebude možné použít stávající postupy detekce a kontroly nastavené pro klasické GMO.

Odborníci z ENGL (celoevropská síť laboratoří pro detekci GMO, angl. The European Network of GMO Laboratories ) celou věc přezkoumávali a svoje závěry publikovali v březnu 2019 ve zprávě „O detekci rostlinných potravin a krmiv získaných novými technikami mutageneze“. Zpráva se zabývá konkrétně detekcí genově editovaných rostlin, které neobsahují žádnou cizorodou DNA, tedy rostlinami upravenými prostřednictvím nových technik mutageneze jako je např. CRISPR.

Ze zprávy vyplývá, že detekce genové editace nebude proveditelná pomocí běžně používaných metod. Obecná analytická screeningová strategie používaná pro konvenční GMO nemůže být použita pro editované rostlinné produkty, protože neexistují společné sekvence použitelné pro screening.

Sekvenace DNA může prokázat změny, to však nemusí nutně prokázat přítomnost editované rostliny, pokud stejná změna může nastat konvenčním křížením nebo náhodnou mutagenezí, která je vyňata z předpisů GMO.

Rostlinné produkty získané novými technikami mutageneze proto mohou vstoupit na trh EU nezjištěné, neboť za současných okolností se kontrolním laboratořím EU nepodaří odhalit neznámé genově editované rostlinné produkty. Prokázání úmyslného provedení genové editace bude tak spíše práce pro právníky.



## Jednoznačné identifikační kódy

V prvním stádiu uvedení GMO (nebo jeho produktu) na trh musí provozovatelé zajistit, aby byly přijímajícímu provozovateli písemně předány informace obsahující též jednoznačný/é identifikační kód/y příslušného/ých GMO.

Jednoznačným identifikačním kódem (JIK) rozumíme jednoduchý číselný nebo alfanumerický kód, který slouží k identifikaci konkrétního GMO. V případě směsí je pak nutné přiložit seznam JIK pro všechny GMO, které byly použity k přípravě směsi.

JIK se skládá z celkem devíti alfanumerických znaků. První část označuje žadatele nebo držitele souhlasu a skládá se ze dvou nebo tří alfanumerických znaků. Druhá část se skládá z pěti až šesti alfanumerických znaků a označuje transformační událost. Třetí část slouží k ověření a je tvořena posledním číselným znakem.

příklad JIK pro Bt kukuřici MON810:

**MON-ØØ81Ø-6**

příklad JIK pro Roundup Ready ™ sóju:

**MON-Ø4Ø32-6**

Tyto informace se dále předávají ve všech následných stádiích uvedení na trh dalšími provozovateli. Všichni provozovatelé, kteří nakládají s GMO a jejich produkty, by tedy měli mít zavedeny systémy a standardizované postupy umožňující uchovávání těchto informací, a to po dobu minimálně pěti let od každé jednotlivé operace.

Předávání a uchovávání informací, které obsahují jednoznačné identifikační kódy pro dotyčné GMO ve všech stádiích jejich uvádění na trh, jsou základem pro náležitou sledovatelnost a označování GMO. Kódy mohou být použity pro přístup ke specifickým informacím o GMO v registru a pro usnadnění jejich identifikace, detekce a monitorování v souladu se směrnicí 2001/18/ES.

Seznam všech JIK lze mj. najít na stránkách OECD, která spravuje tuto databázi – BioTrack Product Database.

## Systém rychlého varování RASFF

Díky pravidlům pro sledování a označování GMO lze v případě potřeby velmi rychle zasáhnout a případný nebezpečný produkt stáhnout z trhu. K tomuto účelu v Evropě slouží i Systém rychlého varování pro potraviny a krmiva (angl. Rapid Alert System for Food and Feed, RASFF).

V rámci RASFF je dle platné legislativy sledováno množství parametrů spojených s rizikovými potravinami či krmivy. Jedním z nich je i sledování GMO. Členy RASFF jsou Evropská komise, členské státy EU, členové Evropského sdružení volného obchodu (angl. European Free Trade Association, EFTA) a EFSA. Členy EFTA jsou např. i Švýcarsko nebo Norsko, které nejsou součástí EU a mají přísnou legislativu týkající se (dovozu) GMO.

V Norsku je, stejně jako v zemích EU, uplatňována zásada předběžné opatrnosti, navíc se však vyžaduje po uživateli nebo dovozci GMO prohlášení potvrzující, že je použití eticky a sociálně odůvodněné a bude přínosné pro společnost.

Na území Švýcarska platí zákaz pěstování GM plodin, potraviny obsahující více než 0,9 % autorizovaného GMO v jednotlivé složce potraviny musí být značeny.

Další státy značící GM produkty jsou např. Austrálie, Jižní Korea, Tchaj-wan a Japonsko.

## Kontrola GMO a jejich produktů v ČR

Nad dodržováním právně závazných pravidel v oblasti GM potravin, krmiv a osiv dohlíží Státní zemědělská a potravinářská inspekce (SZPI) a Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Kompetence jsou rozděleny následovně:

ÚKZÚZ kontroluje příměsi osiva GM odrůd v běžném osivu;

ÚKZÚZ také provádí sledování výskytu GMO v krmivech;

SZPI se v rámci svých kompetencí věnuje kontrole dodržování právních předpisů pro GM potraviny. Kontroly provádí v tržní síti, v provozech společného stravování i v předcházejících fázích uvádění těchto potravin na trh.

Kontrolní orgány mají sestaven metodický postup a každoročně se měnící monitorovací plán, který udává množství vzorků a také vytipovává problematické druhy potravin, krmiv, osiv či restaurační zařízení.

Dovozce GM komodit musí dodržovat následující povinnosti a případně se řídit doporučeními, které mu pomohou se vyhnout sankcím ze strany kontrolních orgánů.

**Základní povinnosti dle platné legislativy:**

ověření povolení daného GMO pro uvedení na trh EU;

poskytnutí informace státu, ve kterém dochází k přechodu dodávky hranic EU, a to dle požadavků tamní platné legislativy;

označení GM dodávky i následně GM produktu;

uchování dokumentace po dobu 5 let.

**Doporučení:**

oddělená doprava, skladování a manipulace s GM komoditou tak, aby nedošlo k příměsi do konvenčních komodit;

oddělené skladování či transport samozřejmě není nutný v případě GM rostlin pro zpracování v bioplynové stanici.

## GMO free označování

Na evropském trhu se můžeme kromě legislativně platného označování GMO setkat také s označením „GMO free“ nebo „výrobek neobsahuje GMO“. Jedná se o marketingové označování, které je v EU dobrovolné.

Jednotná harmonizace označování GMO free na úrovni EU neexistuje. Standardizaci na národní úrovni provedlo několik členských států EU (např. Německo, Rakousko, Itálie, Maďarsko a další) i přesto, že se definice GMO free může v jednotlivých členských státech různit. Tímto tvrzením na obalu produktu v podstatě výrobce deklaruje, že daný produkt neobsahuje GMO, a to ani ve stopovém množství.

U rostlinných produktů s tímto označením se vystavujete riziku, že pokud daný výrobek bude obsahovat sebemenší příměs GMO, pak jde nejen o klamání zákazníka, ale také o porušení zákona.

Dodržení této deklarace lze se 100% jistotou zajistit pouze u produktů živočišného původu (masné a mléčné výrobky). V případě uvedení označení „GMO free“ by se však z právního hlediska jednalo o klamání spotřebitele dle Nařízení č. 1169/2011, jelikož GM produkty živočišného původu se na trhu EU nevyskytují. V EU není schválen žádný GM živočich pro výrobu potravin. U produktů je možné tedy použít pouze značení, které odkazuje na způsob chovu jako „Farma bez GMO“, „krmeno bez GM krmiv“ apod., nikoliv na vlastnost, kterou mají všechny produkty na trhu.

**Nesprávně použité označení „GMO free“ může být posouzeno jako klamání spotřebitele!**

Stejná pravidla platí tedy pro produkty ze zvířat krmených GM krmivy. Nezávislé studie potvrdily, že do svalů, mléka, vajec a jiných živočišných produktů se vnesená DNA nedostává. Polymery jsou rozštěpeny v zažívacím traktu. Konečné produkty živočišného původu ze zvířat krmených GM krmivy a krmenými konvenčními krmivy jsou totožné.

## Pěstování GM rostlin v EU a ČR

V EU je možné pěstovat z GM rostlin pouze Bt kukuřici MON 810 odolnou vůči zavíječi kukuřičnému (od r. 1998). V minulosti byl schválen ještě GM brambor Amflora pro průmyslové využití.

**Výhodami pěstování GM kukuřice MON810 jsou:**

jednoduchost a spolehlivost ochrany proti zavíječi (téměř 100 %),

snížení vstupů do porostu (méně chemie – insekticidů a méně pojezdů po poli),

kvalitnější sklizeň (nepolámané, nepolehnuté rostliny),

vyšší výnosy v porovnání s pěstováním tradičních hybridů,

kvalitnější zrno díky nižšímu zaplísnění houbami rodu *Fusarium*.

**Mezi nevýhody pěstování Bt kukuřice lze zařadit:**

legislativně-administrativní náročnost,

někdy obtížné dodržení pravidel koexistence, kdy musíte přizpůsobit výsevu GM kukuřice celý osevní plán, navíc mohou být překážkou geografické podmínky,

vyšší náklady na vstupech produkce (dražší osivo Bt hybridů),

problematický odbyt GM produktů.

V České republice byla tato odrůda kukuřice pěstována v letech 2005–2016 (viz tabulka níže). Z důvodu administrativní náročnosti a absurdní situace okolo produkce mléka se však u nás již nepěstuje.

Odběratelé a zpracovatelé mléka (především z Německa) vyvolali tlak na české chovatele skotu. Odběratelé vyžadují, aby bylo doloženo, že je produkce „GMO free“ (viz kapitola o označování). V opačném případě nejsou ochotni mléko od podniků, kde se zkrmuje GM kukuřicí, odkoupit. Pěstitelé tak mají problémy s odbytem kukuřice pro krmné účely. Především díky tomuto trendu se v současné době v ČR GM kukuřice nepěstuje.

**Vývoj ploch Bt kukuřice v ČR v letech 2005–2019**

| Rok | Výměra plochy v ha | Počet pěstitelů |
|---|---|---|
| 2005 | 150 | 51 |
| 2006 | 1 290 | 82 |
| 2007 | 5 000 | 126 |
| 2008 | 8 380 | 167 |
| 2009 | 6 480 | 121 |
| 2010 | 4 680 | 82 |
| 2011 | 5 090 | 64 |
| 2012 | 3 050 | 41 |
| 2013 | 2 650 | 31 |
| 2014 | 1 754 | 18 |
| 2015 | 997 | 11 |
| 2016 | 75 | 1 |
| 2017 | 0 | 0 |
| 2018 | 0 | 0 |
| 2019 | 0 | 0 |
| 2020 | 0 | 0 |

## Pravidla pro pěstitele GM plodin v ČR

Jejich cílem je oddělit GM plodiny a jejich produkty od ostatních již na úrovni prvovýroby. Tato pravidla nejsou stanovena v EU jednotným právním předpisem, a tak si tyto předpisy vytváří každý členský stát sám dle vlastních přírodních i historicky daných podmínek.

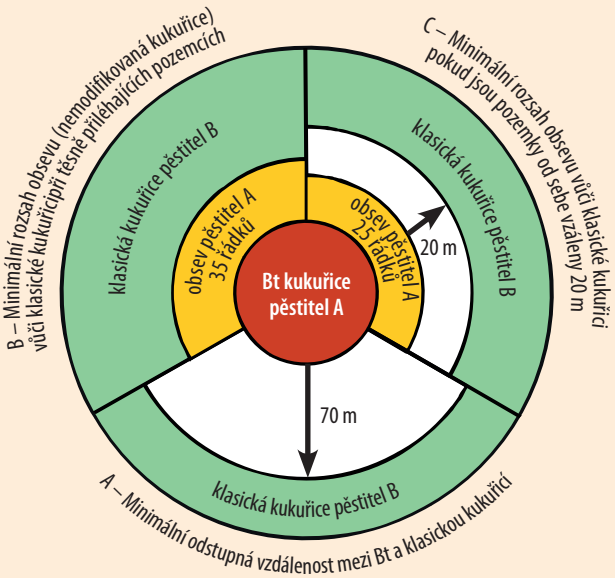
Česká republika má zavedena tzv. **pravidla koexistence**, která vychází z doporučení EK z roku 2003 (č. 556/2003). Cílem pravidel koexistence je stanovit opatření k minimalizaci potenciálních ekonomických ztrát, které mohou vzniknout přimícháním produktů GMO do produktů konvenčních či z ekologického zemědělství.

Tato pravidla mají preventivní charakter a přispívají k tomu, aby žádný ze systémů zemědělské produkce (konvenční, ekologický či s využitím GM rostlin) nebyl v ČR vyloučen, a aby tak zůstala zachována zemědělci a následně i spotřebiteli možnost volby produktů z kteréhokoli z uvedených systémů.

## Souhrn pravidel koexistence (příklad pro GM kukuřici):

1. Informovat nejpozději do 1. března o záměru vysetí GM kukuřice sousedního pěstitele (neplatí v případě, že od pozemku, kde bude pěstována GM kukuřice, leží do vzdálenosti 140 m pouze vlastní pozemky a zároveň se do 400 m nenachází žádný pozemek v režimu ekologického zemědělství). Ohlášení nemusí být písemné, ale lze využít formulář „Ohlášení GM plodiny PŘED zahájením pěstování".
2. Dodržet minimální vzdálenost 70 m mezi porostem GM kukuřice a jiným pozemkem s nemodifikovanou kukuřicí (popř. obsít klasickou kukuřicí, která se při sklizni považuje za GMO).
3. Dodržet minimální vzdálenost 200 m mezi porostem GM kukuřice a jiným pozemkem s kukuřicí, která je pěstována v režimu ekologického zemědělství.
4. Dodržet minimální vzdálenost 400 m pěstování GM kukuřice od státní hranice ČR.
5. Informovat o vysetí GM kukuřice sousedního pěstitele do 15 dnů od zasetí (neplatí pro pěstitele, viz odstavec 1.).
6. Písemně informovat o vysetí GM kukuřice příslušné pracoviště Státního zemědělského intervenčního fondu (SZIF) nejpozději do 30 dnů od zasetí (pro tyto účely vydává SZIF formulář).
7. Po sklizni označit produkt GM kukuřice, případně i její obsev konvenční kukuřicí, jako „geneticky modifikovaný organismus" včetně příslušného identifikačního kódu – u hybridů kukuřice typu MON810 je tímto kódem MON-ØØ81Ø-6.
8. Evidovat údaje o nakládání s GM kukuřicí a uchovat je v podniku po dobu min. 5 let.

### Odstupné vzdálenosti k pozemkům klasické kukuřice




**1 řádek nemodifikované kukuřice (o minimální šíři 70 cm) nahrazuje 2 m odstupné vzdálenosti**

## NBT a GM produkty chystané pro uvedení na trh

Jaké nové modifikace se připravují? Je jich mnoho a lze je rozdělit podle účelu na plodiny:

**zajímavé pro zemědělce:** plodiny odolnější k abiotickému stresu jako je sucho či teplo, se změněnými růstovými vlastnosti a se zvýšenými výnosy, se zvýšenou rezistencí k nemocem či škůdcům;

**zajímavé pro produkci léčiv, farmaceutických látek a nutrientů:** jako například produkce léčiv prostřednictvím tabáku či ječmene;

**zajímavé pro producenty potravin**: plodiny pomaleji podléhající rozkladu anebo lépe vypadající po delší dobu;

**zajímavé pro spotřebitele:** biofortifikované plodiny, modifikace okrasných rostlin vedoucí např. ke změně barvy květu.

Toto rozdělení samozřejmě není striktní, plodiny zajímavé pro producenty potravin mohou být zajímavé pro spotřebitele apod. Příklady takovýchto plodin jsou uvedeny dále.

### NBT kukuřice

Kukuřice je díky svému širokému využití častým předmětem zájmu výzkumných studií zaměřených na NBT.

Mezi plodiny připravené pomocí technik NBT patří např. BHB Hi-Yield kukuřice. Geneticky vylepšená kukuřice BHB Hi-Yield Maize vykazuje zvýšenou fotosyntetickou účinnost, což pozitivně ovlivňuje i její výnos. Byla vyvinuta novými technikami šlechtění, konkrétně s pomocí místně specifických nukleas. Díky nim došlo v buňce k dvouřetězcovému zlomu a následné opravě prostřednictvím DNA opravného templátu.

Metoda CRISPR/Cas9 byla úspěšně použita např. pro zvýšení výnosu kukuřice pomocí změny metabolismu cukrů, tzv. regulující skupiny SWEETS, nebo na schopnosti kukuřice přizpůsobit se různým klimatickým podmínkám pomocí regulace doby květu.

Další metody, jako jsou technika zinkových prstů a mutageneze řízená oligonukleotidy, byly využity pro zisk tolerance kukuřice k herbicidům. Metoda RNA-dependentní DNA metylace byla pak využita pro zisk vyšších výnosů díky samčí sterilitě kukuřice.

Tento stručný výčet vystihuje značný potenciál možných využití NBT u kukuřice. Mezi budoucí cíle bude pravděpodobně patřit např. zvýšení kvality kukuřičných proteinů, díky čemuž by bylo možné předcházet podvýživě a pellagry (systémové onemocnění způsobené nedostatkem vitaminu B3 a bílkovin s obsahem tryptofanu) zejména v rozvojových zemích.

### NBT sója

Pro cílené změny genetické informace jsou i v případě sóji využívány NBT. První zmínkou o editaci genomu sóji byla studie z roku 2011 zabývající se úpravou dvou homologních genů uplatňujících se při RNA interferenci (*DICER-LIKE*, *DCL4a* a *DCL4b*) technologií zinkových prstů.

Dalším úspěšným využitím techniky CRISPR/Cas9 bylo dosaženo zvýšení sójových proteinů v semenech a s tím související vyšší nutriční hodnoty potravin s obsahem sóji.

Mezi genově editované plodiny zajímavé pro producenty potravin lze zařadit také např. sóju FAD2KO upravenou výzkumníky firmy Calyxt tak, aby měla vysoký obsah kyseliny olejové. Obsah této kyseliny byl zvýšen až na 80 % na úkor obsahu nasycených a polynenasycených mastných kyselin, tj. snížení hladiny kyseliny palmitové, kyseliny linolové a kyseliny linolenové. Toho bylo docíleno delecí v genech desaturasy mastných kyselin (FAD) pomocí technologie využívající TALEN.

Životnost oleje připraveného z této modifikované plodiny je při smažení i skladování prodloužená. Calyxt uvádí, že sójový olej FAD2KO se podobá jiným olejům s vysokým obsahem kyseliny olejové, které jsou bezpečně konzumovány, jako je olivový olej, slunečnicový olej s vysokým obsahem kyseliny olejové, olej z canoly a další. Obsah nasycených a polynenasycených tuků je malý, čímž se prodlužuje životnost oleje. Obsahuje omega-3 mastné kyseliny, které posilují imunitní systém a bojují proti stárnutí. Jejich cennou vlastností je také snižování množství cholesterolu.

Dalším příkladem plodiny zajímavé pro producenty potravin jsou sójové boby FAD3KO – linie bez transgenů, u níž byla snížena hladina kyseliny linolenové i zvýšený obsah kyseliny olejové. Jako výchozí materiál byla použita odrůda Bert. Olej z této linie má snížené hladiny kyseliny linolenové.

Lze očekávat, že i do budoucna se budou vědci i biotechnologické firmy zabývat editací genomu sóji pro cílené zlepšení potravinové dostupnosti ve světě jako součást řešení světového potravinového deficitu.

## NBT řepka

S využitím NBT je možné nejen dosáhnout uvedených požadavků, ale také cíleně ovlivnit vlastnosti významné pro zmíněné průmyslové aplikace. V roce 2011 byl úspěšně sekvenován genom řepky olejné, což umožnilo další výzkum a aplikace NBT pro zisk nových odrůd.

Vyšších výnosů plodin z čeledi brukvovitých, zahrnující i řepku olejnou, bylo dosaženo pomocí editace genomu metodou CRISPR/Cas9. Pomocí této metody bylo v nedávné době docíleno i snížení obsahu kyseliny fytové v semenech řepky. Kyselina fytová je základním rostlinným zdrojem fosforu, ale také je považována za antinutriční látku pro monogastrické živočichy včetně lidí, protože zabraňuje absorpci minerálních látek přijímaných v potravě. Pomocí metody CRISPR/Cas9 byly „vyřazeny" tři geny podílející se na produkci kyseliny fytové.

Na zlepšení nutričních vlastností byla zaměřena studie využívající CRISPR/Cas9 k posílení agronomicky výhodných vlastností řepky pomocí modifikace metabolických drah. U získané odrůdy byl značně zvýšen obsah kyseliny olejové oproti běžně pěstovaným odrůdám.

V nedávné době byla také publikována studie zaměřená na řešení problematiky tzv. verticiliového vadnutí řepky pomocí CRISPR/Cas9. Řepka je náchylná k napadení houbou *Verticillium longisporum*, která napadá kořeny a v konečném důsledku brání růstu řepky. Možnou cestou, jak tomuto nežádoucímu jevu předcházet, je snížení citlivosti řepky vůči zmíněnému patogenu pomocí knokautu genu *atcrt1a*. Celkově jsou výsledky studie slibné pro budoucí strategie zlepšení odolnosti rostlin vůči chorobám. Dalším pravděpodobným cílem do budoucna pak bude např. i zvýšení obsahu bílkovin bez ovlivnění obsahu kyseliny olejové a celkové kvality řepkového oleje.

Na rozdíl od předchozích zmíněných plodin, řepka není považována za vhodnou rostlinu pro účel krmení hospodářských zvířat, protože obsahuje glukosinolát – sirný glykosid chránící rostlinu před škůdci, který po větší konzumaci může na zvířata působit nefrotoxicky a hepatotoxicky. Přesto se dánským vědcům podařilo vyvinout novou odrůdu řepky neobsahující tyto toxiny, a tím představující bezpečnou náhradu krmiv. Do budoucna proto není vyloučeno, že i řepka bude pro účel výroby krmiv vhodnou plodinou.

## NBT a GM bavlník

I v případě bavlníku je výzkum v posledních letech zaměřen na cílené modifikace pomocí NBT. Zejména technika CRISPR/Cas9 je v souvislosti s bavlníkem často využívána. Několika studiemi již bylo potvrzeno, že tato metoda je vhodná pro přesnou úpravu genetické informace bavlníku.

Jednou z praktických aplikací této metody byl vývoj odrůdy odolné vůči rozšířenému škůdci napadajícímu polní plodiny, zejména bavlníky, černopásce bavlníkové (*Helicoverpa armigera*). Čínští vědci doufají, že díky genové modifikaci dokážou kontrolovat nebo omezit četnost populace tohoto hmyzu. V EU je černopáska bavlníková řazena mezi škodlivé organismy, jež je zakázáno do EU zavlékat a šířit, a možnost omezení jejího výskytu je jistě vítána.

## Rostliny odolné vůči teplu

Nejen u modelových rostlin jako je huseníček či tabák, ale i u významných zemědělských plodin, jako je rýže či pšenice byly úspěšně připraveny modifikace zvyšující jejich odolnost k teplu.

Když jsou rostliny vystaveny světlu, bílkovinný komplex fotosystém II produkuje elektrony, aby umožnil fotosyntézu. Teplo nebo příliš intenzivní světlo však může poškodit jeho klíčovou podjednotku, známou jako D1, a zastavit tak jeho práci. Ta pak znovu začne fungovat, až se vytvoří a začne fungovat nový D1 komplex. Fotosystém je tak průběžně ovlivňován erozí/postupnou likvidací vedlejšími produkty fotosyntetických reakcí.

Výzkumný tým z Čínské akademie věd se zaměřil právě na D1 komplex a genetickou modifikací se mu podařilo u rýže dosáhnout zvýšené odolnosti vůči extrémnímu teplu a současně i zvýšení produkce zrna až o 20 %.

Nejpozoruhodnější objev byl ale učiněn při normálních teplotách. Upravené rostliny tří studovaných druhů (huseníček, tabák a rýže) při průměrných teplotách vykazovaly daleko aktivnější fotosyntézu. Její rychlost u tabáku se zvýšila o 48 % oproti kontrolním rostlinám, modifikovaný huseníček vyprodukoval o 80 % více biomasy než kontroly a upravená rýže v polních podmínkách vyprodukovala až o 20 % více zrna.

Jiný přístup k problému s nadměrným teplem, které negativně ovlivňuje rostliny, použili na Lancasterské Universitě. Aktivátor rostlinného enzymu Rubisco (Rca) určuje, že Rubisco produkující energii začíná pracovat, když svítí slunce, a že má skončit, když je list zbaven světla, aby šetřil energii. Cílená modifikace Rca v pšenici umožňuje aktivovat Rubisco rychleji při vyšších teplotách. Naznačuje to tedy příležitost chránit plodiny před rostoucími teplotami. Výzkumný projekt byl nazván „Realizace zvýšené fotosyntetické účinnosti" a zabývá se technickými plodinami, které mají být produktivnější díky vylepšené fotosyntéze.

## GM a NBT plodiny zajímavé pro spotřebitele

Lidské tělo vyžaduje více jak 22 minerálních prvků, které lze doplňovat řádnou a vyrovnanou výživou. Avšak lidé žijící v rozvojových zemích často inklinují ke každodenní konzumaci velkého množství jedné či dvou základních potravin, nejčastěji ze skupiny obilovin. Tato strava je velmi jednostranná a velice chudá na potřebné látky. GM a NBT mohou v této oblasti vylepšit životní standard především obyvatel chudších částí světa.

Zvýšení nutriční hodnoty plodin, tedy jejich obohacení o nedostatkové mikronutrienty lze dosáhnout přídavkem mikronutrientů při zpracování plodin nebo elegantněji produkcí nových odrůd obsahujících vyšší množství požadovaných látek – tzv. biofortifikací. Biofortifikaci lze teoreticky použít k úpravě jakýchkoliv plodin, zemědělci v potřebných oblastech mohou pěstovat a konzumovat stále tytéž plodiny. Úprava plodin je rovněž levnější variantou, neboť je potřeba pouze investici na vývoj biofortifikované plodiny.

## GM ječmen – výzkum v ČR

Produkcí látek GM rostlinami se v ČR zabývají vědci z olomouckého Centra regionu Haná pro biotechnologický a zemědělský výzkum (CRH). Modifikovali ječmen tak, aby produkoval přírodní antibiotikum katelicidin. Antimikrobiální peptid katelicidin je běžně produkován lidskými buňkami a je součástí obrany kůže před infekčními mikroorganismy, jejichž buněčnou stěnu lyzuje.

## Stravitelnější GM kukuřice

GM produkty se uplatňují jako součást krmiv hospodářských zvířat. Příkladem může být kukuřice PY203 exprimující fytasový gen phy02. Fytasy katalyzují degradaci kyseliny fytové, a tím umožňují zvýšení obsahu využitelného, stravitelného fosforu a minerálních látek z krmiva. Fytasy se běžně přidávají do stravy monogastrických zvířat, aby se zvýšila nutriční dostupnost fosfátů. Kukuřice PY203 byla vyvinuta pro přídavek do krmiv za účelem zlepšení využití fosforu.

## Zlatá rýže

Příkladem takové plodiny je zlatá rýže (angl. Golden Rice) modifikovaná tak, že produkuje provitamin A (β-karoten). Vitamin A, vznikající z provitaminu A, je jednou ze základních látek potřebných pro správný vývoj organismu. WHO odhaduje, že 190 milionů předškolních děti trpí jeho nedostatkem, který je v Africe odpovědný za téměř 6 % dětských úmrtí ve věku pod 60 měsíců a v jihovýchodní Asii pak až za 8 % úmrtí malých dětí.

Vědci ze Švýcarského federálního technologického institutu v Curychu a z Freiburské univerzity v Německu vyvinuli zlatou rýži již v únoru 1999. Za účelem indukce syntézy provitaminu A v endospermu rýže vložili do jejího genomu gen pro fytoen syntasu (psy) z narcisu, gen pro fytoen desaturasu (crt1) z bakterie *Erwinia uredovora* a gen pro lykopen beta-cyklasu (lcy) z narcisu. Vložení těchto tří genů do genomu rýže umožnilo dokončit biosyntézu β-karotenu z geranylgeranyl difosfátu přítomného v endospermu rýže.

V následujících letech byla vyvinuta druhá forma tzv. zlaté rýže 2 (jednoznačný identifikační kód: IR-ØØGR2E-5; obchodní název: Golden Rice), u které byl k vývoji znovu použit gen *crt1* z půdní bakterie *Erwinia uredovora*. Avšak místo genu psy z narcisu byl tentokrát použit gen z kukuřice. Tato forma zlaté rýže obsahuje 37 µg karotenoidů (31 µg β-karotenu) na gram sušené rýže, což je až 23krát vyšší obsah než původní varianta zlaté rýže obsahující 1,6 µg karotenoidů (0,8 µg β-karotenu) na gram sušené rýže.

Zlatá rýže anuluje všechny argumenty proti použití genového inženýrství na rostlinách. Nebyla vyvinuta pro průmyslové využití a průmysl z ní netěží, je poskytována zdarma a bez omezení. Nevykazuje žádné dosud myslitelné riziko pro zdraví spotřebitelů. Nesnižuje biologickou rozmanitost, neboť může být pěstována bez dalších vstupů. I proto je někdy nazývána „trojským koněm“ genetických modifikací a odpůrci GMO zavrhována.

Přes všechny uvedené benefity tedy zatím není pěstována, první sklizeň je očekávána až v roce 2021 v Bangladéši. V posledních letech regulační orgány ve Spojených státech, Kanadě, Filipínách, na Novém Zélandu a v Austrálii schválily zlatou rýži ke spotřebě, což zabrání problémům, pokud se tato rýže nějakým nedopatřením objeví na trhu. Ale ani v těchto zemích není v plánu zlatou rýži pěstovat.

## Brambory

Další odrůdy byly získány i s využitím NBT, zejména CRISPR/Cas9 metody, pomocí níž byl např. knokautován gen *cyp88b1* podílející se na produkci steroidních glykoalkaloidů (SGA). SGA, mezi něž patří i v bramborech se přirozeně vyskytující solanin, jsou toxické. Brambory, které tyto látky neobsahují, jsou tak výhodné nejen pro pěstitele, ale zejména pro spotřebitele.

## Hlávkový salát

V hlávkovém salátu jsou relativně nízké hladiny vitamínu C ve srovnání např. s pomeranči, kapustou nebo brokolicí. Výzkumníkům Čínské akademie věd se podařilo pomocí metody CRISPR/Cas upravit gen ovlivňující tvorbu tohoto vitamínu, což vedlo ke zvýšení jeho obsahu o 150 %. Současně má jeho vyšší obsah ochranný účinek vůči zhnědnutí salátu – oxidován je nejprve vitamín C.

## Ananas, fazole, proso

Další plodiny, u kterých lze zlepšit obsah mikronutrientů pomocí genového inženýrství, jsou např. ananas Rosé (JIK: FDP-ØØ114-5) se zvýšenou hladinou lykopenu a/nebo beta-karotenu či železem obohacené fazole nebo černošské proso (*Pennisetum glaucum*), které bylo konzumováno žáky střední školy v Indii s ohledem na zvýšení koncentrace železa v potravě.

## Rajčata s upravenou chutí

Co se týče vylepšení senzorických vlastností potravin, zajímavým příkladem jsou japonská rajčata 5B produkující mirakulin – glykoprotein upravující chuť, tzv. modifikátor chuti – s využitím červených bobulí *Synsepalum dulcificum* (známá také jako *Richardella dulcifica*), keře původem ze západní Afriky. Mirakulin dokáže proměnit kyselou chuť ve sladkou.

## GM okrasné rostliny – karafiát

Mimo fortifikovaných plodin jsou připravovány například i rostliny s modifikovanou barvou květů jako např. v Nizozemí schválený GM karafiát (*Dianthus caryophyllus* L., linie FLO-40685-2). Modrý karafiát je určený pouze k okrasným účelům, povolen je dovoz řezaných květin, ne jejich pěstování v EU.

Uvedené příklady GM a NBT plodin jasně ukazují na jejich široké uplatnění nejen v potravinářském sektoru. Uvidíme, zda se v budoucnu dočkáme jejich uvedení na trh.

## Závěrečné slovo

V předložené publikaci jsou shrnuty aktuální informace týkající se modifikací genomu živočichů, rostlin a mikroorganismů nejen klasickými genetickými modifikacemi, ale i novými technikami šlechtění. Obě metodiky představují slibnou budoucnost vývoje nových odrůd zemědělských plodin, plemen hospodářských zvířat nebo nástrojů pro rozvoj medicíny a průmyslu. Biotechnologie jako takové mají obrovský potenciál ve všech zmíněných oblastech a jejich výzkum je v Evropě na vysoké úrovni. Oproti tomu využívání GM v praxi je v Evropě malé.

V EU je povoleno pěstování pouze jediné GM plodiny, a to kukuřice MON810, odolné vůči housenkám zavíječe kukuřičného, další (např. sója, řepka) jsou povoleny jen pro dovoz. Sama Evropa, která není soběstačná v pěstování zemědělských plodin, dováží jejich značnou část z jiných států světa. V dovozu zemědělských plodin je významný podíl GM produktů a výrobků z nich. V České republice lze pěstovat pouze GM kukuřici MON810 dle pravidel koexistence, vyvážet GM produkty dle platné legislativy dovozní země a dovážet GM kukuřici, sóju, řepku, bavlník a produkty z nich.

Produkty z GM plodin musí být při uvedení na trh značeny dle platné legislativy, a to při obsahu GMO vyšším než 0,9 %. Dodržování těchto i dalších závazných pravidel je kontrolováno příslušnými státními orgány, které mají k dispozici metodické postupy detekce a kontroly přítomného množství GMO. V případě komodit získaných pomocí NBT je taková kontrola náročnější, protože dosud nejsou k dispozici nástroje, pomocí nichž by bylo možné úpravy genomu spolehlivě detekovat.

Současná situace ohledně GM a NBT produktů odráží socio-ekonomické názory a obavy společnosti ze zavádění inovací, vzbuzujících obavy z jejich negativního vlivu na rozvoj společnosti. Tyto obavy však nejsou ve většině případů podloženy vědeckými fakty. V současné době nejsou důkazy, které by potvrzovaly negativní působení GM na lidské zdraví nebo životní prostředí. Naopak jejich aplikace přináší v obou oblastech mnoho pozitivních dopadů a GMO a produkty z nich vyrobené mají oproti konvenčním plodinám řadu nesporných výhod. To samé platí i pro NBT, jež prokázaly obrovský potenciál v této oblasti. Přesto jejich pěstování není v Evropě rozšířené.

V blízké budoucnosti se počítá s uplatněním klasických GM a NBT při řešení současných globálních problémů souvisejících s klimatickými změnami, nedostatkem nutričně hodnotných potravin, zhoršujícím se stavem životního prostředí nebo nedostatečnou produkcí energií. Moderní, cíleně aplikované biotechnologie mohou vzhledem k rychlým změnám klimatu a rozrůstající se populaci sehrát důležitou roli při řešení zmíněných problémů. Je tedy na místě tuto problematiku podporovat a prosadit ji do popředí zájmu celé společnosti. Stabilizace životních podmínek a jejich udržitelnost nejen pro současnou generaci, ale i ty další, by měla být prioritou. Je jen na nás, jakou cestu zvolíme a jaký odkaz po sobě zanecháme.

## Seznam zkratek

| | |
|---|---|
| Bt | *Bacillus thuringiensis* |
| CBD | Úmluva o biologické rozmanitosti (angl. *The Convention on Biological Diversity*) |
| CPB | Cartagenský protokol o biologické bezpečnosti (angl. *The Cartagena Protocol on Biosafety*) |
| CRISPR | technika NBT, angl. *Clustered regularly interspaced short palindromic repeats* |
| crt1 | fytoen desaturasa |
| ČK GMO | Česká komise pro nakládání s GMO a genetickými produkty |
| DNA | deoxyribonukleová kyselina |
| EFSA | Evropský úřad pro bezpečnost potravin (angl. *European Food Safety Authority*) |
| EFTA | Evropské sdružení volného obchodu (angl. *European Free Trade Association*) |
| EK | Evropská komise |
| ENGL | celoevropská síť laboratoří pro detekci GMO (*angl. European Network of GMO Laboratories*) |
| EP | Evropský parlament |
| ERA | posuzování environmentálních rizik (angl. *environmental risk assessment*) |
| FAD | desaturasa mastných kyselin (angl. *fatty acid desaturase*) |
| FDA | Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (angl. *Food and Drug Administration*) |
| GM | genetická modifikace, geneticky modifikované |
| GMO | geneticky modifikované organismy |
| JIK | jednoznačný identifikační kód |
| lcy | lykopen beta-cyklasa |
| LMO | živý modifikovaný organismus (angl. *living modified organism*) |
| MŽP | Ministerstvo životního prostředí |
| NBT | nové techniky šlechtění (angl. *New breeding techniques*) |
| OECD | Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (angl. *Organisation for European Economic Cooperation*) |
| OSN | Organizace spojených národů |
| PPO | polyfenol oxidasa |
| psy | fytoen syntasa |
| RASFF | Systém rychlého varování pro potraviny a krmiva (angl. *Rapid Alert System for Food and Feed*) |
| Rca | aktivátor enzymu Rubisco |
| RNA | ribonukleová kyselina |
| SGA | steroidní glykoalkaloidy |
| SZIF | Státní zemědělský intervenční fond |
| SZPI | Státní zemědělská a potravinářská inspekce |
| TALEN | technika NBT, angl. *Transcription activator-like effector nuclease* |
| USDA | Ministerstvo zemědělství Spojených států (angl. *United States Department of Agriculture*) |
| ÚKZÚZ | Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský |
| VVG | Vědecký výbor pro GM potraviny a krmiva |
| WHO | Světová zdravotnická organizace (angl. *World Health Organization*) |

## Seznam odborné literatury


1. Akiyama, R.; Nakayasu, M.; Umemoto, N.; Muranaka, T.; Mizutani, M. (2017): Molecular breeding of SGA-free potatoes accumulating pharmaceutically useful saponins. Regulation of Plant Growth & Development. 2017 Volume 52 Issue 2 Pages 92-98. doi: 10.18978/jscrp.52.2_92.
2. Beyer P, Al-Babili S, Ye X, Lucca P, Schaub P, Welsch R, Potrykus I. (2002): Golden Rice: introducing the beta-carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. J Nutr. 2002 Mar;132(3):506S-510S. doi: 10.1093/jn/132.3.506S.
3. Bezrutczyk, M.; Hartwig, T.; Horschman, M.; Char, S. N.; Yang, J.; Yang, B.; Frommer, W. B.; Sosso, D. (2018): „Impaired phloem loading in zmsweet13a,b,c sucrose transporter triple knock-out mutants in Zea mays". New Phytologist 2018 Apr;218(2):594-603. doi: 10.1111/nph.15021.
4. Brousková, M. (2016): Nové techniky šlechtění u kulturních rostlin. Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Praha 2016.
5. Cerdeira, A. L.; Duke, S. O. (2006): The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: A review J. Environmental Quality. 35:1633-1658.
6. Co-ordinated Framework for Regulation in Biotechnology, Fed Regist 23, 302 (1986).
7. Curtin, S.; Sander, J.; Haun, W.; Starker, C.; Baltes, N.; Reyon, D.; Dahlborg, E.; Goodwin, M.; Coffman, A.; Dobbs, D.; Joung, J.; Voytas, D.; Stupar, R. (2011): Targeted Mutagenesis of Duplicated Genes in Soybean with Zinc-Finger Nucleases. Plant physiology. 156. 466-73. 10.1104/pp.111.172981.
8. Degen GE, Worrall D, Carmo-Silva E. (2020): An isoleucine residue acts as a thermal and regulatory switch in wheat Rubisco activase. The Plant Journal : for Cell and Molecular Biology. 2020 Jul;103(2):742-751. DOI: 10.1111/tpj.14766.
9. European Network of GMO Laboratories (2019): Detection of food and feed plant products obtained by new mutagenesis techniques, 26 March 2019 (JRC116289).
10. Fraley, RT; Rogers, SG; Horsch, RB; Sanders, PR; Flick, JS; Adams, SP; Bittner, ML; Brand, A; Fink, CL; Fry, JS; Galluppi, GR; Goldberg, SB; Hoffmann, NL; Woo, SC (1983): Expression of bacterial genes in plant cells; Proceedings of the National Academy of Sciences Aug 1983, 80 (15) 4803-4807; DOI: 10.1073/pnas.80.15.4803.
11. Haun W, Coffman A, Clasen BM, Demorest ZL, Lowy A, Ray E, Retterath A, Stoddard T, Juillerat A, Cedrone F, Mathis L, Voytas DF, Zhang F. (2014): Improved soybean oil quality by targeted mutagenesis of the fatty acid desaturase 2 gene family. Plant Biotechnol J. 2014 Sep;12(7):934-40. doi: 10.1111/pbi.12201.
12. Hoff M, Son DY, Gubesch M, Ahn K, Lee SI, Vieths S, Goodman RE, Ballmer-Weber BK, Bannon GA. (2007): Serum testing of genetically modified soybeans with special emphasis on potential allergenicity of the heterologous protein CP4 EPSPS. Mol Nutr Food Res. 2007 Aug;51(8):946-55. doi: 10.1002/mnfr.200600285.
13. Huang C, Sun H, Xu D, Chen Q, Liang Y, Wang X, Xu G, Tian J, Wang C, Li D, Wu L, Yang X, Jin W, Doebley JF, Tian F. (2018): ZmCCT9 enhances maize adaptation to higher latitudes. Proc Natl Acad Sci U S A. 2018 Jan 9;115(2):E334-E341. doi: 10.1073/pnas.1718058115.
14. Hutchison W.D., Burkness E.C., Mitchell P.D., Moon R.D., Leslie T.W., Fleischer S.J. et al. (2010): Areawide suppresion of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. Science, 330: 222–225.

15. Jin MH, Xiao YT, Cheng Y, Hu J, Xue CB, Wu KM. (2019): Chromosomal deletions mediated by CRISPR/Cas9 in Helicoverpa armigera. Insect Sci. 2019 Dec;26(6):1029-1036. doi: 10.1111/1744-7917.12570.
16. Křístková M. (2009): Dosavadní zkušenosti s pěstováním geneticky modifikované Bt kukuřice v ČR 2005–2009, Ministerstvo zemědělství, 2009, ISBN 978-80-7084-871-5.
17. Li, C., Nguyen, V., Liu, J. et al. (2019): Mutagenesis of seed storage protein genes in Soybean using CRISPR/Cas9. BMC Res Notes 12, 176. doi: 10.1186/s13104-019-4207-2.
18. Li C, Zhang B. (2019): Genome Editing in Cotton Using CRISPR/Cas9 System. Methods Mol Biol. 2019;1902:95-104. doi: 10.1007/978-1-4939-8952-2_8.
19. Long, L., Guo, DD., Gao, W. et al. (2018): Optimization of CRISPR/Cas9 genome editing in cotton by improved sgRNA expression. Plant Methods 14, 85 (2018). https://doi.org/10.1186/s13007-018-0353-0.
20. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1829/2003 ze dne 22. září 2003 o geneticky modifikovaných potravinách a krmivech.
21. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1830/2003 ze dne 22. září 2003 o sledovatelnosti a označování geneticky modifikovaných organismů a sledovatelnosti potravin a krmiv vyrobených z geneticky modifikovaných organismů a o změně směrnice 2001/18/ES.
22. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 ze dne 25. října 2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům, o změně nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1924/2006 a (ES) č. 1925/2006 a o zrušení směrnice Komise 87/250/EHS, směrnice Rady 90/496/EHS, směrnice Komise 1999/10/ES, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/13/ES, směrnic Komise 2002/67/ES a 2008/5/ES a nařízení Komise (ES) č. 608/2004.
23. Nařízení Komise (ES) č. 65/2004 ze dne 14. ledna 2004, kterým se zřizuje systém tvorby a přiřazování jednoznačných identifikačních kódů pro geneticky modifikované organismy.
24. Okuzaki A, Ogawa T, Koizuka C, Kaneko K, Inaba M, Imamura J, Koizuka N. (2018): CRISPR/Cas9-mediated genome editing of the fatty acid desaturase 2 gene in Brassica napus. Plant Physiol Biochem. 2018 Oct;131:63-69. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.04.025.
25. Ondřej M., Drobník J. v knize: Transgenoze rostlin, Academia, Praha 2002.
26. Ovesná et al. (2019): GENETICKY MODIFIKOVANÉ ZEMĚDĚLSKÉ PLODINY a potraviny na trhu EU, Praha: Agrární komora České republiky, 2019.
27. Paine, J. A., Shipton, C. A., Chaggar, S., Howells, R. M., Kennedy, M. J., Vernon, G., Wright, S. Y., Hinchliffe, E., Adams, J. L. & Silverstone, A. L. (2005): Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. Nature biotechnology, 23, 482-487.
28. Papineni S, Murray JA, Ricardo E, Dunville CM, Sura RK, Thomas J. (2017): Evaluation of the safety of a genetically modified DAS-444Ø6-6 soybean meal and hulls in a 90-day dietary toxicity study in rats. Food Chem Toxicol. 2017 Nov;109(Pt 1):245-252. doi: 10.1016/j.fct.2017.08.048.
29. Parkes H. (1998): LCG (Teddington ) Limited, 1-14 (1998).
30. Pellegrino, E., Bedini, S., Nuti, M. et al. (2018): Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. Sci Rep 8, 3113 (2018). doi: 10.1038/s41598-018-21284-2.
31. Potrykus, I. (2003): Nutritionally enhanced rice to combat malnutrition disorders of the poor. Nutrition Reviews, 61, S101-S104.

32. Pröbsting M, Schenke D, Hossain R, Häder C, Thurau T, Wighardt L, Schuster A, Zhou Z, Ye W, Rietz S, Leckband G, Cai D. (2020): Loss of function of CRT1a (calreticulin) reduces plant susceptibility to Verticillium longisporum in both Arabidopsis thaliana and oilseed rape (Brassica napus). Plant Biotechnol J. 2020 Nov;18(11):2328-2344. doi: 10.1111/pbi.13394. Epub 2020 May 21. PMID: 32358986; PMCID: PMC7589372.
33. Saradhi Puttagunta P. (2001): The precautionary principle in the Regulation of Genetically Modified. Organisms - Health Law Review Volume 9, Number 2.
34. Sashidhar N, Harloff HJ, Potgieter L, Jung C. (2020): Gene editing of three BnITPK genes in tetraploid oilseed rape leads to significant reduction of phytic acid in seeds. Plant Biotechnology Journal. 2020 Nov;18(11):2241-2250. DOI: 10.1111/pbi.13380.
35. Sattar M.N., Iqbal Z., Dangol S.D., Bakhsh A. (2019): CRISPR/Cas9: A New Genome Editing Tool to Accelerate Cotton (Gossypium spp.) Breeding. In: Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds) Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23265-8_3.
36. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/41/ES ze dne 6. května 2009 o uzavřeném nakládání s geneticky modifikovanými mikroorganismy (přepracované znění).
37. Směrnice (EU) 2015/412 – o povolení pro země EU omezit či zakázat pěstování geneticky modifikovaných organismů na jejich území.
38. Směrnice 2001/18/ES o záměrném uvolňování geneticky modifikovaných organismů do životního prostředí.
39. Stratilová Z., Jedličková M. (2016): GMO bez obalu, 4. aktualizované vydání, Ministerstvo zemědělství, Praha 2016, ISBN 978-80-7434-295-0.
40. The Brassica rapa Genome Sequencing Project Consortium., Wang, X., Wang, H. et al. (2011): The genome of the mesopolyploid crop species Brassica rapa. Nat Genet 43, 1035–1039 (2011). doi: 10.1038/ng.919.
41. Trnková J. a kol. (2015): Organizace a kontrola pěstování GM plodin v ČR, Ministerstvo zemědělství, ISBN 978-80-7434-194-6.
42. White, P. J., Broadley, M. R. (2005): Biofortifying crops with essential mineral elements. TRENDS in Plant Science, 10(12): 586-593.
43. Wolabu, T.W., Park, JJ., Chen, M. et al. (2020): Improving the genome editing efficiency of CRISPR/Cas9 in Arabidopsis and Medicago truncatula. Planta 252, 15 (2020). doi: 10.1007/s00425-020-03415-0.
44. Ye, X., Al-Babili, S., Klöti, A., Zhang, J., Lucca, P., Beyer, P. & Potrykus, I. (2000): Engineering the provitamin A (β-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. Science, 287, 303-305.
45. Zhang HW, Si XM, Ji X, Fan R, Liu JX, Chen KL, et al. (2018): Genome editing of upstream open reading frames enables translational control in plants. Nat Biotechnol. 2018;36:894-+. doi:10.1038/nbt.4202.
46. Zhang Y, Huang S, Wang X, Liu J, Guo X, Mu J, Tian J and Wang X (2018): Defective APETALA2 Genes Lead to Sepal Modification in Brassica Crops. Front. Plant Sci. 9:367. doi: 10.3389/fpls.2018.00367.
47. https://ams.usda.gov/rules-regulations/be
48. https://arcticapples.com/arctic-apples-r/arctic-apples-varieties/
49. https://biolib.cz/cz/main/
50. https://biotrackproductdatabase.oecd.org/byIdentifier.aspx

51. https://biotrin.cz/aktualni-prehled-gm-plodin-povolenych-v-eu/
52. https://biotrin.cz/omezene-moznosti-detekce-potravin-a-krmiv-ziskanych-novymi-techni/
53. https://biotrin.cz/plochy-geneticky-modifikovane-kukurice-mon-810-v-ceske-republice/
54. https://bch.cbd.int/protocol https://www.mzp.cz/cz/mezinarodni_legislativa_gmo
55. https://cabi.org/agbiotechnet/news/19454
56. https://calyxt.com/first-commercial-sale-of-calyxt-high-oleic-soybean-oil-on-the-u-s-market/
57. https://cordis.europa.eu/article/id/34923-toxinfree-oilseed-rape-researchers-develop-safer-animal-feed
58. https://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/application/pdf/2013-12/cp130160cs.pdf
59. http://eagri.cz/public/web/file/403081/GM_plodiny_CESKY.pdf
60. http://eagri.cz/public/web/file/643231/Organizace_a_kontrola_pestovani_GM_plodin_2020.PDF
61. https://ec.europa.eu/food/plant/gmo/authorisation/cultivation/geographical_scope_en#dk
62. http://fao.org/faostat/en/#data/QC
63. https://geneticliteracyproject.org/2018/09/06/argentina-and-gmos-exploring-the-nations-long-relationship-with-biotech-crops/
64. https://chmibrno.org/blog/2018/10/05/ohlednuti-za-teplym-pulrokem-tropicke-dny/
65. https://inta.gob.ar/noticias/modifican-el-gen-que-provoca-que-la-papa-se-ponga-negra
66. http://ipbo.vib-ugent.be/wp-content/uploads/2015/02/Cotton-in-Africa_2017_LR_FINAL.pdf
67. https://isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp
68. https://isaaa.org/resources/publications/briefs/52/download/isaaa-brief-52-2016.pdf
69. http://isaaa.org/resources/publications/briefs/53/executivesummary/default.asp
70. https://isaaa.org/resources/publications/briefs/54/executivesummary/default.asp
71. https://isaaa.org/resources/infographics/default.asp
72. https://isaaa.org/resources/publications/briefs/26/download/isaaa-brief-26-2002.pdf
73. https://isaaa.org/resources/publications/briefs/35/download/isaaa-brief-35-2006.pdf
74. https://monsanto.com/newsviews/Pages/new-leaf-potato.aspx
75. https://mzp.cz/cz/aktualni_informace
76. https://mzp.cz/cz/geneticky_modifikovane_organismy
77. https://mzp.cz/cz/registr_povolenych_geneticky_modifikovanych_organismu
78. https://mzp.cz/www/env-gmo.nsf/$pid/MZPMVFKH68F0/$file/oer-CZU_rozhodnuti_3978ENV10-20100503.pdf
79. https://nacikgoz.blogactiv.eu/2019/03/10/first-plant-product-of-gen-editing-a-new-soybean-variety/
80. https://national-geographic.cz/clanky/vedci-objevili-gen-ktery-kastruje-rostliny-brani-tvorbe-pylu.html
81. https://sciencemag.org/news/2019/11/bangladesh-could-be-first-cultivate-golden-rice-genetically-altered-fight-blindness
82. https://sciencemag.cz/gmo-jecmen-vyrabi-lecebny-lidsky-peptid/
83. https://sciencemag.org/news/2020/04/rice-genetically-engineered-resist-heat-waves-can-also-produce-20-more-grain
84. https://webgate.ec.europa.eu/dyna/gm_register/index_en.cfm
85. https://ec.europa.eu/food/safety/rasff_en
86. http://eagri.cz/public/web/file/445850/Letak_Bezpecnost_GMO.pdf

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

Vydalo
**Ministerstvo zemědělství**
Odbor bezpečnosti potravin
Těšnov 17, 110 00 Praha 1
www.eagri.cz
www.bezpecnostpotravin.cz
www.viscojis.cz

Ilustrace: GRIFART spol. s r.o.

Fotografie z www.shutterstock.com:
obálka: Interior Design; text: andregric (6), ACHILLEFS (10),
Kaiskynet Studio (12), Photoongraphy (12, 13), Jakub Rutkiewicz (13),
Patrick Foto (15), mailsonpignata (16), henrique ferrera (18), Entomo (20),
Lahore Qalandar (21), Alexander BEE (21), igorstevanovic (23), benjamas11 (23),
Meesiri (24), mshin (27), Arizzona Design (27), Regormark (28), Likoper (29),
oticki (29, 46), Minerva Studio (29), Serg64 (35), 09910190 (35), Studio Peace (38),
Tartila (39), ducu59us (41), ALMAGAMI (41), JONGSUK (41), ricochet64 (41),
stockwerk-fotodesign (41),Tasha Vector (41), Dmitry Kovalchuk (41), 19srb81 (41),
beboy (41), vectorplus (41), Wiktoria Matynia (41), branislavpudar (42),
Boonchuay1970 (48), Andrii Chagovets (49), JIANG HONGYAN (50),
Anna Kucherova (51), Pineapple studio (51), haru (51)

Fotografie z ostatních zdrojů:
Marie Říhová (36)

Praha 2020
1. vydání

**ISBN** 978-80-7434-583-8