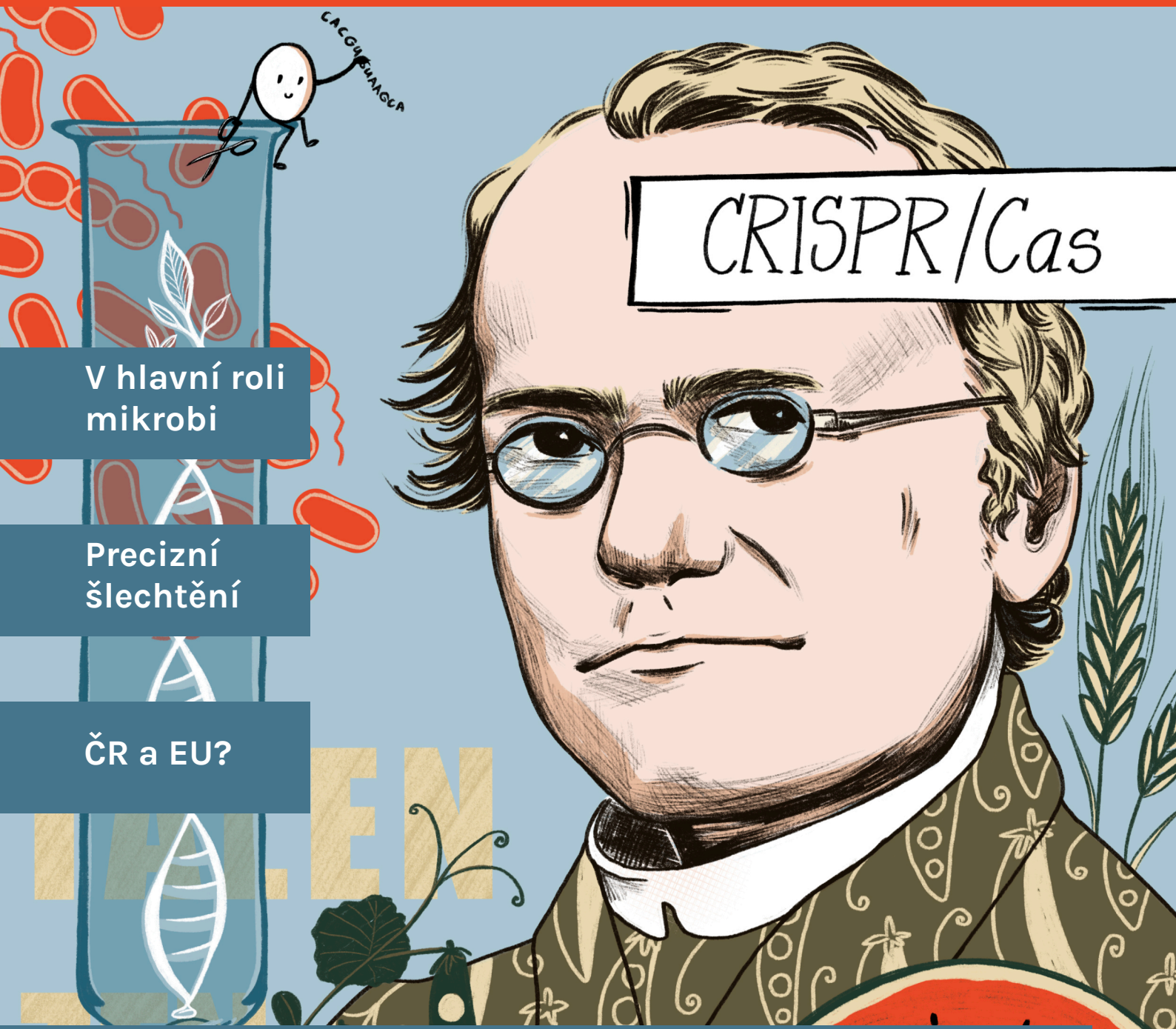
BIOTRIN

Speciální vydání Světa biotechnologií



V hlavní roli mikrobi

Precizní šlechtění

ČR a EU?

Aktuální výzvy zemědělské praxe

Jak dnes vypadá moderní zemědělství?

WWW.BIOTRIN.CZ

LISTOPAD 2026

OBSAH



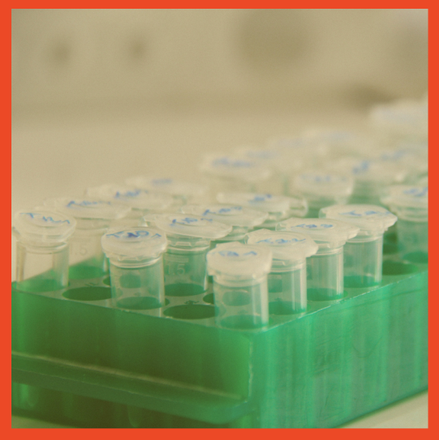
06 Proč je důležité modernizovat zemědělství



09 Moderní šlechtění jako nástroj ochrany plodin



13 Evropská legislativa GMO a NGT



16 RNA-interference jako nástroj moderního zemědělství



18 Mikroorganismy jako nástroj zemědělství budoucnosti



21 Více sklizně, menší stopa: příklady pozitivních dopadů moderních zemědělských přístupů

REDAKCE



Ing. Simona Peroutková, Ph.D.
VŠCHT Praha
EDITORKA



RNDr. Slavomír Rakouský, CSc.
JU České Budějovice
EDITOR



Ing. Jáchym Šuman, Ph.D.
VŠCHT Praha
EDITOR



Ing. Kristýna Kliková
VŠCHT Praha
AUTORKA TEXTŮ



Ing. Tereza Mokoš, Ph.D.
Łódź University of Technology
AUTORKA TEXTŮ



Ing. Václav Peroutka, Ph.D.
VŠCHT Praha
AUTOR TEXTŮ



Ing. Eva Benešová, Ph.D.
VŠCHT Praha
AUTORKA TEXTŮ

BIOTRIN



Ing. Barbora Hošková
VŠCHT Praha
ILUSTRÁTORKA A GRAFIČKA

Jakým výzvám čelí současné zemědělství?

ÚVOD

Pod pojmem biotechnologie v zemědělství si mnoho lidí jako první představí geneticky modifikované plodiny. Ve skutečnosti je však tato oblast mnohem širší. Některé moderní biotechnologické přístupy navazují na postupy využívané v zemědělství již dlouhou dobu, jiné přinesl až rozvoj molekulární biologie, genomiky a dalších moderních vědních oborů. Dnes tak nabízejí nové možnosti, jak zlepšovat vlastnosti plodin, podporovat jejich růst, zvyšovat odolnost vůči nepříznivým podmínkám nebo účinněji využívat přirozené vztahy mezi rostlinami a mikroorganismy. Biotechnologie přitom představují jeden z nástrojů dalšího rozvoje zemědělství a jejich přínos je třeba vnímat v kombinaci s dalšími agronomickými, šlechtitelskými a pěstitelskými postupy.

Pojem zemědělské biotechnologie zahrnuje velmi různorodé nástroje, od metod moderního šlechtění a genomových úprav přes technologie založené na RNA až po využívání prospěšných mikroorganismů. Zatímco některé z těchto přístupů již nacházejí praktické uplatnění, jiné jsou stále předmětem intenzivního výzkumu. S jejich dalším rozvojem jsou spojeny nejen otázky účinnosti a bezpečnosti, ale také regulace, ekonomické dostupnosti a přijetí zemědělci i veřejností.

Toto číslo Světa biotechnologií nabízí pohled na současné možnosti využití biotechnologií v zemědělství. Zaměřuje se na důvody, proč jsou další inovace zemědělské praxe nezbytné, představuje konkrétní biotechnologické přístupy a věnuje se také jejich legislativnímu rámci a možným přínosům pro zemědělskou produkci a životní prostředí.

Více novinek ze světa biotechnologií na webu:

www.biotrin.cz

www.facebook.com/biotrin.cz

biotrin_cz

www.linkedin.com/in/biotrin-z-s-b3a335414

www.youtube.com/@biotrinz.s.855

https://x.com/BIOTRIN

Proč je důležité modernizovat zemědělství?

Zemědělství stojí v současnosti před dvojí výzvou: musí zajistit dostatek kvalitních potravin pro rostoucí světovou populaci a současně výrazně omezit tlak na životní prostředí. V rostlinné výrobě byl dosavadní růst zemědělské produkce do značné míry umožněn intenzifikací, která zahrnovala využívání vysoce výnosných odrůd, hnojiv, pesticidů nebo zavlažování. Další zintenzivnění těchto postupů však vede k degradaci půdy, snižování její dlouhodobé produkční schopnosti a ke zvyšujícímu se zatížení životního prostředí. Tato zátěž se neomezuje pouze na půdu, ale zahrnuje také významný příspěvek zemědělství ke změně klimatu. Podle nejnovějších údajů se zemědělsko-potravinářské systémy v roce 2023 podílely přibližně třetinou na celosvětových antropogenních emisích skleníkových plynů, přičemž přibližně dvě třetiny těchto emisí připadaly na zemědělskou produkci a změny využití půdy. Modernizace zemědělství proto nemůže spočívat pouze v dalším zvyšování intenzity produkce, ale měla by směřovat k efektivnějšímu využívání zdrojů, vyšší odolnosti zemědělských systémů a omezení jejich negativních dopadů na životní prostředí.

Naléhavost této změny zvyšuje probíhající změna klimatu. Vyšší teploty, častější sucha a naopak extrémní srážky a další klimatické výkyvy ovlivňují výnosy plodin, dostupnost vody i produkční potenciál zemědělské půdy. Klimatická změna současně může měnit geografické rozšíření a výskyt škůdců a rostlinných patogenů a může tak dále destabilizovat produkci potravin. Škůdci a choroby přitom způsobují významné ztráty: například u pěti hlavních světových plodin (pšenice, rýže, kukuřice, brambory a sója) byly globální ztráty výnosu odhadnuty přibližně na 17–30 %. Budoucí zemědělství proto potřebuje odrůdy, které budou nejen výnosné, ale také odolnější vůči suchu, vysokým teplotám, zasolení či novým a odolným patogenům.

Dalším klíčovým cílem je udržitelnost zemědělských systémů. Nadměrné nebo neefektivní



Výzvy zemědělství

používání hnojiv a přípravků na ochranu rostlin přispívá ke kontaminaci půdy a vod a negativně ovlivňuje životní prostředí; používání dusíkatých hnojiv je navíc významným zdrojem emisí skleníkových plynů. Zároveň roste snaha omezovat spotřebu vody, energie a dalších zdrojů. Cílem moderního zemědělství by proto mělo být dosažení stabilní produkce při nižší spotřebě chemických a energetických vstupů. Současně dochází ke zpřísňování regulace přípravků na ochranu rostlin z důvodu ochrany životního prostředí, lidského zdraví a snahy o omezení vzniku rezistence u škůdců a patogenů.

„Budoucí zemědělství proto potřebuje odrůdy, které budou nejen výnosné, ale také odolnější vůči suchu, vysokým teplotám, zasolení či novým a odolným patogenům.“

Vedle těchto přístupů nabízejí značný potenciál moderní biotechnologie, které umožňují nejen zvyšovat výnos, ale také cíleně měnit vlastnosti rostlin a mikroorganismů a urychlovat vývoj řešení přizpůsobených konkrétním podmínkám prostředí. Nové genomické techniky (NGT), zejména CRISPR/Cas, umožňují provádět ještě cílenější změny dědičné výbavy (genomu) a urychlit získávání vlastností, které by bylo konvenčními metodami obtížné nebo časově náročné získat. Jejich možnosti ukazují například linie pšenice s vysokou odolností vůči padlí, rýže s účinnějším hospodařením s vodou a vyšší odolností vůči suchu nebo rajčete se zvýšenou odolností vůči bakteriálnímu onemocnění.

V moderním zemědělství mají značný význam i prospěšné mikroorganismy, které lze využívat například jako součást biohnojiv, biostimulantů a biologických přípravků na ochranu rostlin. Mohou zlepšovat výživu a růst rostlin, podporovat jejich odolnost vůči nepříznivým podmínkám nebo pomáhat potlačovat patogeny. Některé z těchto principů se v zemědělství využívají dlouhodobě, například při pěstování luskovin jako meziplodin ke zlepšení úrodnosti půdy. Na těchto přirozených vztazích dnes staví také cílené využívání hlízkových bakterií, mykorhizních hub a dalších prospěšných mikroorganismů. Nové poznatky o složení, funkcích a vzájemných interakcích mikrobiálního společenství (mikrobiomu) se zemědělskými plodinami pak otevírají možnosti jeho cílenějšího ovlivňování a vývoje pokročilejších aplikací na bázi mikroorganismů. Jedním z příkladů může být živé hnojivo vázající vzdušný dusík vyvinuté pro kukuřici v USA. Přetrvávající výzvou zůstává zejména dosažení dostatečně stabilní a předvídatelné účinnosti těchto přípravků v proměnlivých polních podmínkách.

Mezi perspektivní technologie patří i cílená aplikace přípravků na ochranu rostlin pomocí tzv. SpotSpraying nebo likvidace plevelů elektrickým proudem. Technologie SpotSpraying využívá kamerové systémy a algoritmy umělé inteligence k rozpoznávání plodin a plevelů, což umožňuje aplikovat herbicidy pouze v místech jejich skutečné potřeby a významně tak snížit spotřebu chemických přípravků. Další alternativou je hubení plevelů elektrickým proudem, které by mohlo nahradit herbicidy především v citlivých oblastech nebo v ekologickém zemědělství, avšak jeho širšímu využití zatím brání vysoká energetická náročnost a omezená pracovní rychlost.

Mezi hlavní biotechnologické přístupy v současném zemědělství patří molekulárně genetické

a genomické přístupy ke šlechtění včetně inovativních technik, jako je CRISPR/Cas, mikrobiální biohnojiva a biostimulanty, biologická ochrana rostlin a cílená práce s rostlinným mikrobiomem. Další možnosti přinášejí technologie založené na RNA, například RNA-interference (RNAi), která umožňuje cíleně potlačit aktivitu vybraných genů a může být využita mimo jiné v ochraně rostlin proti škůdcům a patogenům, i přístupy syntetické biologie. Jejich společným cílem je umožnit produkci dostatečného množství bezpečných a kvalitních potravin při menší ekologické stopě a současně zvýšit resilienci zemědělských systémů vůči klimatickým a biologickým rizikům. Modernizace zemědělství tedy s největší pravděpodobností nebude založena na jediné technologii, ale na kombinaci více přístupů s cílem omezit spotřebu syntetických pesticidů při zachování dostatečné účinnosti ochrany plodin.



Moderní šlechtění jako nástroj ochrany plodin

Významný nástroj současného zemědělství představují moderní šlechtitelské technologie, jako jsou například genetické modifikace (GM) nebo již výše zmíněné NGT, jejichž cílem je vytvářet odrůdy lépe přizpůsobené měnícím se podmínkám prostředí. Ačkoli jsou GM a NGT často považovány za perspektivní nástroje budoucnosti, jejich základem zůstává klasické šlechtění. To je založeno na výběru a křížení rostlin s žádoucími vlastnostmi. Tento proces provází lidstvo téměř od počátků zemědělství, kdy již první zemědělci vybírali k dalšímu výsevu semena z větších, výnosnějších a odolnějších rostlin. Tímto způsobem postupně zvyšovali podíl žádoucích vlastností v populaci a položili základy cíleného šlechtění rostlin založeného na výběru nejvhodnějších jedinců pro další křížení. Přestože se jedná o osvědčenou a dlouhodobě využívanou metodu, jejími hlavními nevýhodami jsou časová náročnost (šlechtění trvá řádově několik desetiletí) a omezená možnost cíleně ovlivňovat konkrétní znaky. S tím souvisí také náhodný charakter vytvořených změn a rozsáhlé doprovodné změny v genomu. Výsledkem klasického šlechtění je pak jen mírně zvýšený výnos (1-5 % ročně oproti výchozí odrůdě).

Nových žádoucích vlastností plodin však může být v přírodě dosaženo také prostřednictvím náhodných (spontánních) mutací v rámci tzv. mutageneze, která však vyžaduje rozsáhlejší výběr vhodných jedinců a má poměrně malou spolehlivost. I když jsou mutace obvykle spojovány s negativními důsledky, jako jsou genetická onemocnění nebo rakovina, některé mohou být prospěšné, např. mohou zvyšovat odolnost rostlin vůči škůdcům a chorobám. Ve 20. století bylo nových vlastností zemědělských plodin dosaženo náhodnými mutacemi i pomocí chemikálií, jako je ethylmethansulfonát, nebo UV či gama zářením. Ačkoliv radiační šlechtění není často zmiňováno a má určité technické i bezpečnostní limity, přispělo k vytvoření tisíců užitečných mutantů u plodin jako rýže, pšenice, ječmen či hrušeň.

Oproti konvenčním šlechtitelským metodám, které pracují převážně s náhodně vzniklou nebo uměle indukovanou variabilitou, představují GM významný posun směrem k cíleným zásahům do dědičné informace, protože umožňují cíleně měnit vlastnosti organismů na úrovni genomu. V rámci GM lze do genomu vložit gen pocházející ze stejného nebo křížitelného druhu (cisgenoze), nebo gen z geneticky nepříbuzného druhu (transgenoze). Výsledkem jsou geneticky modifikované organismy (GMO) nesoucí nové vlastnosti, které by se v přírodě samovolně nevyskytly nebo velmi obtížně, a které jsou vytvářeny za konkrétním účelem, například pro výzkum nebo zlepšení užitných vlastností zemědělských plodin.

Takto vzniklé GMO podléhají přísným regulačním pravidlům, zejména v Evropské unii (EU). Právě snaha odlišit některé přesnější a méně invazivní metody od klasických GMO stojí za současnou diskusí o legislativním rámci NGT. NGT představují další krok ve vývoji moderních šlechtitelských metod, které umožňují ještě přesnější a rychlejší změny genetické informace. Na rozdíl od klasických GM často nevyžadují vnášení cizorodé DNA, ale umožňují cíleně upravovat konkrétní místa přímo v genomu organismu. Mezi nejvýznamnější NGT patří technologie ZFN (Zinc Finger Nucleases), TALENs (Transcription Activator-Like Effector Nucleases) a CRISPR/Cas (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/CRISPR-associated protein), metody cílené mutageneze umožňující přesné zásahy do genomu.

Hlavní předností NGT je možnost dosáhnout požadovaných genetických změn výrazně rychleji a s vyšší mírou kontroly než při konvenčním šlechtění. Zatímco klasické šlechtění spoléhá na přirozenou a mutagenezí náhodně navozenou genetickou variabilitu s následným výběrem vhodných jedinců, NGT umožňují přímo upravovat vybrané geny organismu. Výsledné změny přitom odpovídají mutacím, které mohou vznikat spontánně v přírodě nebo prostřednictvím tradičních šlechtitelských postupů, avšak potřebovaly by k tomu výrazně delší dobu. Rozdíly mezi jednotlivými přístupy lze přiblížit pomocí analogie s knihou. Klasické šlechtění připomíná hledání správné věty v celé knize, GM si lze představit jako vložení nové stránky do existujícího textu a NGT jako změnu jediného slova na přesně určeném místě.

Nukleázy se zinkovými prsty (ZFN) představují jednu z prvních metod cílené editace genomu a připravily cestu pro vývoj novějších technologií. ZFN se skládají ze dvou hlavních částí – části, která rozpoznává a váže konkrétní úsek DNA, a enzymu FokI, který DNA v daném místě rozštěpí. Rozpoznávací část je tvořena několika proteinovými strukturami označovanými jako zinkové prsty, z nichž každý rozpoznává určitou krátkou sekvenci DNA. Jejich vhodnou kombinací lze ZFN navést na požadované místo v genomu. Když se na sousední úseky DNA navážou dvě molekuly ZFN, enzym FokI vytvoří zlom obou vláken DNA. Buňka se následně snaží tento zlom přirozeně opravit, čehož lze využít například k vyřazení určitého genu z funkce nebo k cílené změně jeho sekvence. Přestože byly ZFN úspěšně využity u řady rostlin, živočichů i lidských buněk, jejich širšímu rozšíření bránila složitá konstrukce DNA-vazebných domén a vysoké náklady na vývoj nukleáz specifických pro každý cílový gen. Z tohoto důvodu byly později v mnoha aplikacích nahrazeny technologiemi TALEN a zejména systémem CRISPR/Cas, které umožňují jednodušší návrh a flexibilnější cílení genomových změn. ZFN však představují důležitý milník ve vývoji metod cílené editace genomu a dodnes nacházejí využití ve výzkumu i některých aplikacích.

„Hlavní předností NGT je možnost dosáhnout žádoucích genetických změn výrazně rychleji a s vyšší mírou kontroly než při konvenčním šlechtění.“

Transkripční aktivátorové efektorové nukleázy (TALENs) jsou nástroji genomové editace založenými na upravených nukleázách, které dokáží rozpoznat a štěpit DNA v předem určeném místě genomu. Technologie vychází z přirozených proteinů bakterií rodu *Xanthomonas*. TALENs umožňují vytvářet cílené změny v genomu a nacházejí uplatnění ve výzkumu funkcí genů, biomedicínských aplikacích, ale i při šlechtění rostlin. Ve srovnání se ZFN umožňují TALENs jednodušší návrh DNA-vazebných domén a nabízejí větší flexibilitu při cílení na různé oblasti genomu. Jejich využití významně rozšířilo možnosti cílených genetických úprav a přispělo k rozvoji moderního genetického inženýrství.
Přestože byly v mnoha aplikacích později nahrazeny systémem CRISPR/Cas, který umožňuje snadnější cílení úprav pomocí vodicí RNA, TALENs zůstávají důležitým nástrojem editace genomu a nacházejí využití ve výzkumu i biotechnologických a medicínských aplikacích.

K nejpoužívanějším NGT technologiím patří CRISPR/Cas, který umožňuje provádět přesné a cílené

Výzvy zemědělství

změny v genomu rostlin. Právě díky této technologii se NGT staly jedním z nejrychleji se rozvíjejících nástrojů moderního šlechtění. Technologie CRISPR/Cas je metoda úpravy DNA vycházející z přirozeného obranného systému bakterií proti virům. Jejím základem je krátká molekula RNA, tzv. vodicí RNA, která navádí enzym Cas (nejčastěji Cas9) k cílovému místu v DNA. Zde enzym molekulu DNA rozštěpí a buňka následně vzniklé poškození opraví. Tímto procesem lze vybraný gen vyřadit z funkce, upravit jeho aktivitu nebo provést záměrnou změnu v jeho sekvenci. Díky této schopnosti lze cíleně ovlivnit konkrétní vlastnosti organismu, například zvýšit jeho odolnost vůči chorobám, škůdcům nebo nepříznivým podmínkám prostředí.

Objev systému CRISPR/Cas a jeho využití pro editaci genomů představoval zásadní průlom v molekulární biologii. Přestože je této technologii věnována značná pozornost především v medicíně, její jednoduchost, přesnost a relativně nízké náklady z ní činí významný nástroj také pro moderní šlechtění rostlin. V roce 2020 získaly Jennifer Doudna a Emmanuelle Charpentier Nobelovu cenu za chemii za popis využití této technologie pro editaci genů. A její praktické uplatnění na sebe nenechalo dlouho čekat. První komerčně prodávanou potravinou vytvořenou pomocí technologie CRISPR se stala rajčata s vyšším obsahem kyseliny γ-aminomáselné (GABA) uvedená na trh v září 2021 v Japonsku. Dalším příkladem je listová hořčice se sníženou štiplavostí, uvedená na trh v USA v roce 2023, jejíž prodej však byl v roce 2024 ukončen. Mezi další perspektivní aplikace technologie CRISPR patří vývoj banánovníků s omezeným hnědnutím a zvýšenou odolností vůči chorobám, přičemž příslušné geneticky editované odrůdy byly v roce 2024 schváleny na Filipínách a v roce 2026 v Japonsku a Brazílii. Dalšími příklady jsou pšenice se zvýšenou odolností vůči padlí, schválená v roce 2024 v Číně, a pšenice se zvýšeným obsahem vlákniny, schválená v roce 2025 v Argentině. Zajímavým příkladem využití editace genomů mimo zemědělství je také americký kaštanovník, u kterého jsou genetické úpravy využívány jako jedna z možností záchrany druhu téměř vyhubeného houbovou chorobou známou jako kaštanovníková spála.

Hlavním přínosem GM a NGT technologií jako nástrojů pro ochranu plodin je zvýšení jejich odolnosti vůči biotickému i abiotickému stresu. Výsledné plodiny mohou lépe odolávat chorobám, škůdcům, suchu, extrémním teplotám nebo dalším nepříznivým podmínkám prostředí (např. zasolení), což přispívá k dlouhodobější a stabilnější produkci potravin. Současně může dojít ke snížení potřeby chemické ochrany, zejména insekticidů a fungicidů, efektivnějšímu využívání vody a živin, omezení emisí skleníkových plynů i zachování dlouhodobé kvality půdy. Moderní šlechtění tak představuje významný doplněk tradičních metod ochrany plodin a důležitý



nástroj pro adaptaci zemědělství na probíhající klimatické změny.

Potřebu inovací ve šlechtění dobře ilustrují problémy, kterým čelí konkrétní zemědělské plodiny. Brambory, významné pro evropské i české zemědělství, jsou ohrožovány především plísní bramborovou (*Phytophthora infestans*), přičemž ochrana proti tomuto onemocnění může vyžadovat opakované aplikace fungicidů během vegetační sezóny. Získání odolnějších odrůd by proto mohlo významně přispět ke snížení závislosti na chemické ochraně. Podobná situace nastává u pšenice, jejíž produkci ohrožují rzi, padlí nebo fuzariózy a stále významnější roli hraje také schopnost plodin vyrovnat se se suchem a vysokými teplotami. U révy vinné představují zásadní problém zejména houbové choroby, například padlí a plíseň révy. Také šlechtění cukrové řepy se zaměřuje na kombinaci odolnosti vůči chorobám a škůdcům s tolerancí k suchu a dalším stresovým podmínkám.

Možnosti moderního šlechtění dobře demonstruje také geneticky upravená kukuřice. Jedna z jejích variant, Bt kukuřice, byla vyšlechtěna k produkci bílkovin, které poskytují ochranu proti vybraným hmyzím škůdcům, což umožňuje omezit potřebu aplikace syntetických insekticidů. Zatímco v EU zůstává její pěstování omezené, v řadě zemí světa, např. v USA, Brazílii, Číně nebo na Filipínách se tyto odrůdy využívají ve velkém měřítku. Moderní šlechtění tak nabízí možnost cíleně reagovat na konkrétní problémy jednotlivých plodin a doplňovat další nástroje udržitelné ochrany rostlin.

Evropská Unie dlouhodobě uplatňuje jeden



Výzvy zemědělství

Evropská legislativa GMO a NGT

z nejpřísnějších regulačních přístupů ke GMO na světě. Zatímco v řadě zemí mimo EU jsou GM plodiny běžnou součástí zemědělské produkce, ve členských státech EU je jejich pěstování výrazně omezeno. Pěstování GM plodin podléhá rozsáhlému hodnocení rizik pro lidské zdraví a životní prostředí, schvalovacímu procesu na úrovni EU, požadavkům na sledovatelnost a povinnému označování produktů. Jednotlivé členské státy navíc mohou nezávisle rozhodnout o zákazu pěstování schválených GM plodin na svém území. V důsledku těchto omezení je komerční pěstování GMO v Evropě minimální. V současnosti je jedinou GM plodinou komerčně pěstovanou v EU Bt kukuřice MON810, která je odolná vůči některým hmyzím škůdcům. Řada dalších GM plodin, například sója, kukuřice, řepka nebo bavlník, je v EU povolena pouze pro dovoz a pro využití v potravinách či krmivech, nikoliv pro pěstování. Rovněž v České republice se GM plodiny v současnosti komerčně již nepěstují a jejich využití je omezeno převážně na dovážené krmivářské suroviny. V minulosti byla v České republice pěstována Bt kukuřice MON810, jejíž pěstování bylo ukončeno v roce 2016 zejména z ekonomických a komerčních důvodů souvisejících s nízkou poptávkou a přísnou evropskou regulací.

Původní evropský regulační rámec byl vytvořen již v roce 2001, tedy v době, kdy moderní metody genomové editace ještě nebyly k dispozici. Legislativa byla proto zaměřena především na klasické GMO vznikající zpravidla vložením genetické informace z jiného organismu (transgenozí). V posledních letech však došlo k významnému rozvoji NGT, mezi které patří například editace genomu pomocí systému CRISPR/Cas9. Na rozdíl od klasických GMO umožňují některé NGT vytvářet genetické změny, které by mohly vzniknout i přirozeně nebo prostřednictvím konvenčního šlechtění. Tato skutečnost vedla Evropskou komisi k revizi dosavadního přístupu, protože stejná regulace pro všechny geneticky upravené organismy již neodpovídala současnému stavu vědeckého poznání ani technickým možnostem moderního šlechtění.

První významný krok k nové regulaci představovala předběžná dohoda mezi Evropským parlamentem a Radou Evropské unie z prosince 2025, která navrhla odlišné posuzování rostlin získaných pomocí NGT podle charakteru a rozsahu provedených genetických změn. Tento proces byl završen přijetím nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2026/1388 dne 17. června 2026. Nařízení bylo zveřejněno v Úředním věstníku EU dne 26. června 2026, vstoupilo v platnost 16. července 2026 a účinnosti nabude od 17. července 2028. Do té doby zůstávají rostliny získané pomocí cílené mutageneze a cisgenoze regulovány podle stávající legislativy.

Nové nařízení zavádí samostatný právní rámec pro rostliny získané některými NGT, konkrétně cílenou mutagenezí a cisgenozí. Nevztahuje se na transgenní GMO, tedy organismy obsahující genetický materiál pocházející z nekřížitelných druhů, ani na geneticky upravené živočichy, mikroorganismy nebo houby. Základním prvkem nové legislativy je rozdělení NGT rostlin do dvou kategorií. Kategorie NGT-1 zahrnuje rostliny s genetickými změnami, které jsou považovány za ekvivalentní změnám vznikajícím přirozeně nebo konvenčním šlechtěním. Zařazení do této kategorie však nebude automatické a bude muset být potvrzeno ověřovacím řízením. Po ověření nejsou tyto rostliny považovány za GMO ve smyslu evropské legislativy a podléhají obdobným pravidlům jako běžně šlechtěné odrůdy. Naproti tomu rostliny klasifikované jako NGT-2 zahrnují rozsáhlejší nebo komplexnější genetické změny a budou nadále podléhat požadavkům platným

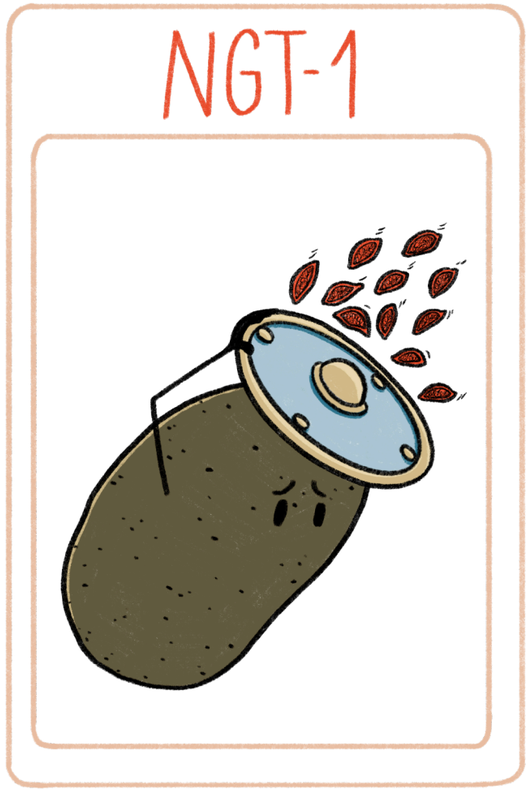
pro GMO, včetně hodnocení rizik, schvalovacího řízení, sledovatelnosti a označování. Do této kategorie budou automaticky zařazeny také rostliny upravené pro toleranci vůči herbicidům nebo produkci insekticidních látek.

Cílem nové legislativy je usnadnit využívání moderních šlechtitelských metod při současném zachování vysoké úrovně ochrany zdraví lidí a životního prostředí. Očekává se, že nový právní rámec urychlí vývoj odrůd odolnějších vůči suchu, vysokým teplotám, chorobám a škůdcům, umožní snížení spotřeby pesticidů a podpoří udržitelnější zemědělskou produkci. Mezi často uváděné příklady potenciálních NGT plodin patří pšenice s nízkým obsahem lepku, brambory odolné vůči patogenům nebo kukuřice odolná vůči suchu. Tyto plodiny se již nacházejí ve fázi vývoje nebo testování v řadě zemí mimo EU. Současně má nově schválený legislativní rámec přispět ke zvýšení inovačního potenciálu evropského šlechtění a jedním z deklarovaných přínosů je také snížení závislosti evropského zemědělství na dovozu a posílení jeho konkurenceschopnosti.

„ Cílem nové legislativy je usnadnit využívání moderních šlechtitelských metod při současném zachování vysoké úrovně ochrany zdraví lidí a životního prostředí.“

Česká republika patří v současné době mezi evropské země s aktivním výzkumem NGT, zejména editace genomu pomocí systému CRISPR/Cas9. Významným příkladem českého výzkumu NGT je polní pokus s genomově editovaným ječmenem, který v roce 2025 zahájili vědci z Univerzity Palackého v Olomouci a Ústavu experimentální botaniky Akademie věd České republiky. V rámci tohoto čtyřletého experimentu je testována linie jarního ječmene TL-GP-PIL1, připravená cílenou editací genu HvPIL1, jenž se podílí na regulaci růstu rostlin v reakci na světelné podmínky. Upravená linie se od původní odrůdy ječmene Golden Promise liší pouze specifickou změnou vlastního genu a neobsahuje cizorodou DNA. Cílem genetické úpravy je získání odrůd ječmene s kratším stéblem, které vykazují nižší riziko polehání, vyšší stabilitu výnosu a potenciálně nižší potřebu aplikace růstových regulátorů. Součástí pokusu je hodnocení jednotlivých růstových fází ječmene, výnosových parametrů, kvality zrna i možností využití editované linie pro šlechtění nových českých odrůd. Vzhledem k tehdy platné původní evropské legislativě byly tyto rostliny posuzovány obdobně jako GMO, a proto bylo pro realizaci polního pokusu nutné získat příslušná povolení Ministerstva životního prostředí. Editovaná linie byla před výsevem pěstována ve skleníku určeném pro práci s GMO v režimu tzv. uzavřeného nakládání. Povolení k polnímu pokusu nabylo právní moci dne 28. března 2025 a experiment byl schválen pro období 2025 až 2028 na pozemcích Univerzity Palackého v Olomouci-Holici. Tento projekt tak představuje nejen významný příklad praktického využití genomové editace v podmínkách EU, ale současně dokládá legislativní a administrativní náročnost, která byla s testováním NGT rostlin dosud spojena. Přestože v České republice zatím neprobíhá komerční pěstování plodin získaných pomocí NGT, tento polní pokus potvrzuje rostoucí význam genomové editace v domácím výzkumu a naznačuje její potenciální uplatnění ve šlechtění rostlin po zavedení nového evropského regulatorního rámce.

Nový evropský rámec pro NGT tak může významně ovlivnit budoucnost šlechtění plodin nejen v celé EU, ale také v České republice. Zařazení části genomově editovaných rostlin mimo režim GMO by mohlo urychlit zavádění nových odrůd do šlechtitelské praxe a usnadnit využívání moderních metod genomové editace ve veřejném i soukromém výzkumu. Očekává se, že NGT přispějí k vývoji plodin odolnějších vůči suchu, vysokým teplotám, chorobám a škůdcům, což může vést ke snížení potřeby pesticidů a dalších zemědělských vstupů. Tyto vlastnosti jsou zvláště významné v souvislosti s probíhajícími klimatickými změnami a rostoucími požadavky na udržitelnost zemědělské produkce. Nová legislativa by současně mohla zvýšit konkurenceschopnost evropského šlechtění a usnadnit převod výsledků výzkumu do praxe. Skutečný přínos nového regulatorního rámce však bude záviset na jeho efektivní implementaci, zájmu šlechtitelských společností o využívání NGT i na míře společenského a politického přijetí těchto technologií.



RNA-interference jako nástroj moderního zemědělství

Jak již bylo uvedeno výše, moderní metody molekulární genetiky a genového inženýrství nabízejí mocný nástroj, který může být využit k vývoji cílených ekologicky šetrných strategií ochrany rostlin, k zvyšování výtěžků jednotlivých plodin a v neposlední řadě k rozvoji udržitelného zemědělství. Jednou z významných metod je technologie RNAi, jejíž základy najdeme v přirozených přírodních procesech. V minulosti byla více spojována s funkční genomikou, ozřejmující funkci jednotlivých genů v organismu, avšak v současné době se s ní setkáváme i v oblastech medicínských aplikací a vzemědělství.

Živé organismy využívají RNAi k vícero účelům, zvláště však k regulaci aktivity genů (genové exprese), ochraně genomu proti mobilním elementům – transpozónům (tzv. skákajícím genům; tedy specifickým úsekům DNA schopným měnit svou pozici v genomu) nebo k ochraně proti virům. Podstatou tohoto procesu je využití krátkých regulačních molekul RNA (siRNA či miRNA), které jsou komplementární k cílové mRNA, a podle které by za normálních okolností vznikl protein. Jsou-li v buňce přítomny tyto regulační molekuly RNA, dochází po jejich interakci s proteinovým komplexem RISC k nasednutí na cílovou molekulu mRNA a následně buď k jejímu rozštěpení, nebo k blokaci syntézy proteinu z důvodu sterického bránění.

Tuto strategii, která umožňuje umlčení konkrétních genů, je možné v zemědělství využít hned několika způsoby. Cílem interferující RNA mohou být jak molekuly mRNA zodpovědné za syntézu proteinů, které jsou rostlině vlastní, tak mRNA plevelných rostlin nebo mRNA škůdců či patogenů. V prvním případě, tedy při cílení mRNA dané plodiny, lze tímto způsobem ovlivnit například její nutriční kvalitu, produkci sekundárních metabolitů, tvorbu alergenů, růst a vývoj či odolnost vůči různým stresovým podmínkám, jako jsou sucho nebo extrémní teploty. Cílením mRNA plevelných rostlin lze například potlačit jejich růst, zatímco zásah do vhodných mRNA rostlinných škůdců či patogenů může omezit jejich vývoj nebo virulenci.

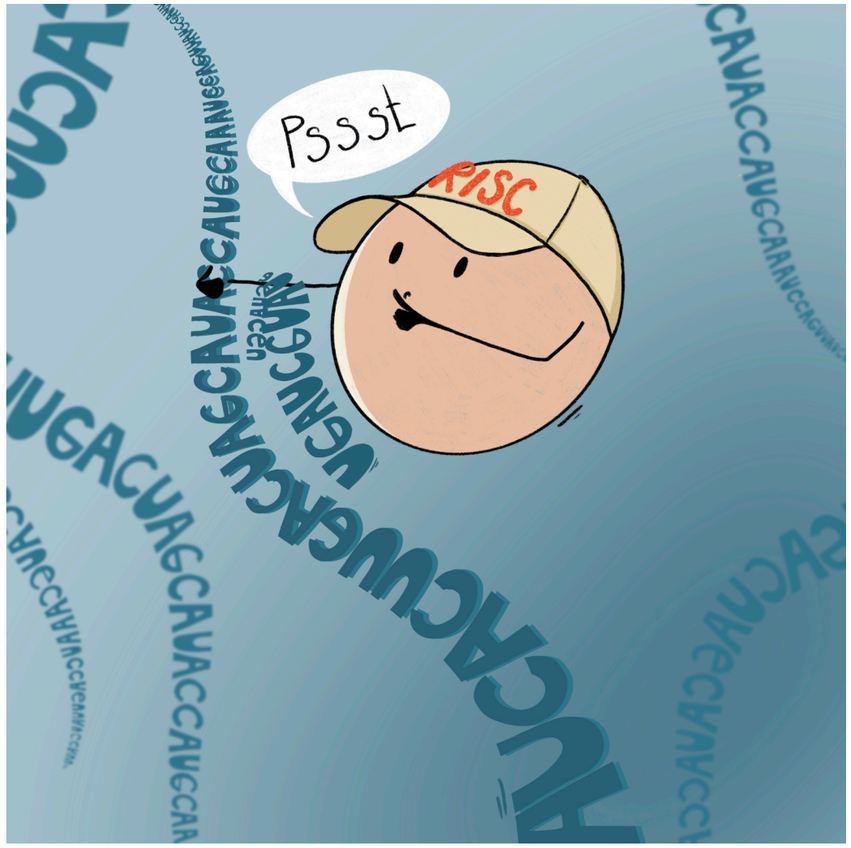
Z výše zmíněných informací vyplývá, že využití RNAi v zemědělství pro vývoj nových zemědělských plodin má celou řadu výhod. Patří mezi ně zejména vysoká specificita a možnost druhově selektivního zacílení na konkrétní mRNA, potenciálně nižší riziko pro necílové organismy ve srovnání s běžnými pesticidy a omezené přetrvávání účinných molekul v prostředí díky jejich postupnému rozkladu. Vedle uvedených environmentálních přínosů je významnou výhodou RNAi také její flexibilita. Cíleným ovlivněním exprese vybraných genů lze tuto technologii využít k úpravě různých vlastností plodin, a tím ovlivnit nejen jejich odolnost vůči škůdcům, patogenům či stresovým podmínkám, ale také výnos a kvalitu produkce.

Nicméně, stejně jako v životě nebývá nic černobílé, není tomu tak ani v případě RNAi technologií, a i zde se odborníci potýkají s řadou komplikací a zatím nevyřešených úskalí. Z hlediska bezpečnosti je stále nutné mít na paměti všechna rizika plynoucí z možných dopadů na necílové organismy; vyřešena musí být otázka stability těchto účinných látek, tedy malých molekul RNA, efektivity jejich doručení do cílového organismu a účinku v něm či přístupy, kterými by bylo možné sledovat a řešit rozvoj rezistence k těmto přípravkům. Opomenuta nesmí být ani ekonomická stránka věci: odborníci v současné době intenzivně pracují na nalezení co nejvýhodnějšího způsobu výroby těchto látek. V neposlední řadě je nutné vytvořit přehledné, funkční a pro všechny strany akceptovatelné legislativní prostředí. Můžeme jen doufat, že se všechny výše zmíněné výzvy podaří brzy vyřešit a moderní zemědělství se tak posune zase o krůček blíže ke svému cíli – zajistit dostatečný přísun potravin pro světovou populaci s co nejmenšími dopady na životní prostředí.

Výzvy zemědělství

Na závěr uveďme několik příkladů, které již do zemědělské praxe pronikly. V první řadě je vhodné jmenovat přípravek SmartStax PRO (Bayer), cílící na bázlivce kukuřičného, jednoho z nejvýznamnějších světových hmyzích škůdců kukuřice. Jedná se o první komerčně schválenou RNAi technologii (rok 2017, USA) pro ochranu polních plodin proti hmyzím škůdcům. Jako další byl schválen přípravek Calantha (GreenLight Biosciences, 2023, USA), určený k ochraně brambor proti mandelince bramborové. Stejná firma pak v roce 2025 úspěšně registrovala produkty obsahující účinnou látku vadescana, určenou k ochraně včelstev před parazitickým roztočem kleštíkem včelím, původcem varroázy. Doufejme, že výsledky dlouhodobého sledování těchto prvních vlaštovek budou příznivé a podpoří tak urychlení registrace dalších přípravků založených na tomto principu.

Uvedené příklady aplikací a technologických specifik RNAi představují pouze stručný přehled hlavních aspektů této rychle se rozvíjející oblasti, jejíž možnosti a souvislosti jsou podstatně širší. Podrobnější přehled současného stavu, hlavních výzev i perspektiv dalšího využití RNAi v zemědělství nabízí například nedávná přehledová práce Abdullah a kol., 2026.



Mikroorganismy jako nástroj zemědělství budoucnosti

Pod pojmem „moderní zemědělství“ si většina z nás představí především snahu o efektivnější a produktivnější zemědělskou výrobu s využitím nových technologií. Patří mezi ně například satelitní navigace a drony, ale také nové odrůdy plodin či alternativní pěstitelské systémy, jako jsou hydroponie a akvaponie. Jeden z perspektivních a rychle se rozvíjejících technologických nástrojů je však pouhým okem neviditelný. Půda hostí mimořádně pestré společenstvo mikroorganismů, které rozkládají organickou hmotu, zpřístupňují rostlinám živiny, komunikují s kořeny či soupeří s rostlinnými patogeny. Rostlinu pak lze z určitého pohledu chápat nejen jako samostatný organismus, ale i jako centrum složitého mikrobiálního společenstva. Právě jeho cílené využití se dnes stává jednou z cest, jak udržet vysokou zemědělskou produkci a současně omezovat spotřebu minerálních hnojiv a pesticidů.

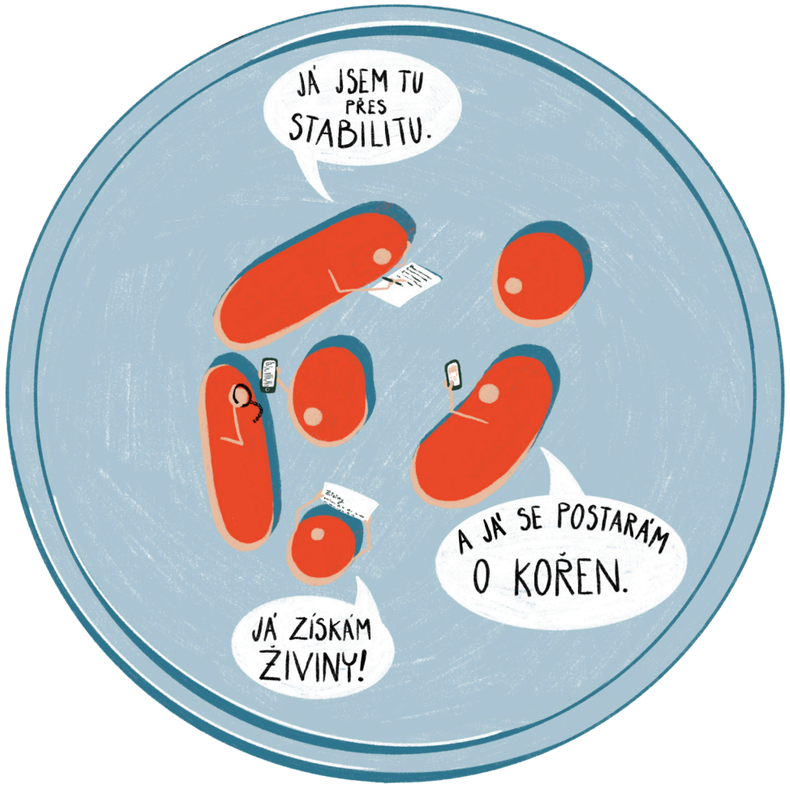
„Budoucnost zemědělství proto navzdory populárnímu přesvědčení laické veřejnosti pravděpodobně nebude černobílým soubojem chemie proti přírodě.“

Nejblíže běžné praxi mají v tomto odvětví biohnojiva a mikrobiální biostimulanty. Některé ze základních principů jejich působení přitom nejsou žádnou novinkou: určití zástupci symbiotických hlízkových bakterií rodu *Rhizobium* pomáhají luskovinám získávat dusík ze vzduchu a mykorhizní houby rozšiřují „dosah“ kořenového systému při získávání fosforu a vody. Dnes se k nim přidávají bakterie rodů *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus* či *Pseudomonas* a další mikroorganismy schopné vázat vzdušný dusík, mobilizovat obtížně dostupné živiny nebo zvyšovat toleranci rostlin k nepříznivým podmínkám. Výsledkem však nemá být prosté nahrazení pytle minerálního hnojiva lahví bakteriální kultury, ale například účinnější využívání živin již přítomných v půdě a dodaných hnojivech. Tříletý polní experiment s rýží v Číně (Hu a kol., 2024) například ukázal, že vhodné biohnojivo v kombinaci se sníženou dávkou dusíku může zachovat či zvýšit výnos a současně omezit emise oxidu dusného a ztráty dusíku vyplavováním. Výzkum navíc propojuje mikrobiální technologie s cirkulární ekonomikou, a to například přeměnou některých organických odpadních materiálů na produkty využitelné pro výživu půdy a rostlin – mimo jiné přeměnou zemědělských a rostlinných zbytků na kompost, využitím digestátu z bioplynových stanic jako organického hnojiva nebo využitím vedlejších produktů potravinářství jako živných substrátů pro produkci mikrobiálních biostimulantů.

Podobného principu lze využít i při ochraně rostlin před škůdci. Mikrobiální biopesticidy nefungují jako jediná univerzální účinná látka, ale využívají rozmanité biologické strategie. Příkladem může být bakterie *Bacillus thuringiensis*, která produkuje specifické bílkoviny toxické pro některé skupiny hmyzu, ale neškodné pro člověka. Této vlastnosti se v zemědělství využívá již desítky let, a to buď ve formě biologických přípravků, nebo vložením genu zodpovědného za tvorbu pesticidního toxinu přímo do plodiny, například u již zmíněné Bt kukuřice. Dalším příkladem jsou houby rodu *Trichoderma*, které dokážou soupeřit s patogenními houbami o prostor a živiny, přímo je napadat, produkovat látky omezující jejich růst a zároveň „připravit“ obranný systém rostliny na další útok. Podobný potenciál mají některé kmeny bakterií rodů *Bacillus*, *Pseudomonas* či *Streptomyces*. Výhodou bývá cílenější účinek a možnost začlenění do integrované ochrany rostlin, nikoli nutně úplné vytlačení konvenčních pesticidů. V české praxi se již ověřují například aplikace mykorhizních hub či kombinace bakterií fixujících dusík s houbou *Trichoderma*, stejně jako spojení biologického fungicidu s redukovanou dávkou konvenčního přípravku.

Právě kořenová zóna neboli rhizosféra se dnes stává jakousi laboratoří přímo pod našima nohama. První generace mikrobiálních přípravků byla často založena na jednom „šampionovi“ vybraném na základě laboratorních experimentů prováděných s čistými kulturami mikroorganismů. Mikroorganismus, který vykazuje velmi dobré výsledky v laboratorních podmínkách, se po aplikaci na pole ocitá v podstatně složitějším prostředí, kde se musí vyrovnat se suchem, změnami pH, konkurencí původních mikroorganismů i specifickými podmínkami hostitelské rostliny. Proto mohou být výsledky inokulace v polních podmínkách proměnlivé. Metaanalýza 335 studií (Li a kol., 2024) navíc ukázala, že uměle zavedené mikroorganismy mohou měnit strukturu původního půdního mikrobiomu. Úspěch tedy nezávisí jen na schopnostech jednoho kmene, ale také na půdě, klimatu, plodině, původním mikrobiomu a způsobu aplikace.

I z tohoto důvodu nesází nejnovější generace přípravků pouze na jednotlivé kmeny, ale spíše na mikrobiální konsorcia, tzv. syntetické komunity neboli SynComs. Jejich členové mohou mít pomyslně rozdělené úkoly: jeden pomáhá získávat živiny, druhý produkuje látky tlumící patogen, další účinně



kolonizuje kořen a ostatní zvyšují stabilitu celého společenstva. U rajčete například kombinovaná bakteriálně-houbová syntetická komunita potlačovala fuzáriové vadnutí účinněji než společenstva tvořená pouze bakteriemi nebo pouze houbami. Ještě odvážnější přístup spočívá v tom, že hotovou komunitu nemusíme dodat přímo v reakci na výskyt nákazy. Rostliny při napadení dokážou změnit složení kořenových výměšků a přilákat prospěšné mikroorganismy – jde o jev přezdívaný „cry for help“, tedy volání o pomoc. Experimenty již ukazují, že tuto reakci lze vyvolat také nepatogenními bakteriemi nebo jejich molekulami, a podpořit tak vznik půdy schopné potlačovat choroby.

Rozvoj syntetické biologie způsobil ve výzkumu biologických preparátů pro zemědělství mnoho převratných pokroků. Místo hledání ideálního mikroorganismu v přírodě lze některé jeho vlastnosti cíleně získat úpravou genetické informace stávajících mikrobiálních kmenů. Příkladem mohou být genově editované půdní bakterie *Klebsiella variicola* a *Kosakonia sacchari* určené pro aplikaci na porosty kukuřice. Úpravou regulace fixace dusíku vznikly kmeny, které jsou schopné fixovat vzdušný dusík i za podmínek, kdy by přítomnost dostupného dusíku tento proces tlumila. Polní experimenty s izotopovým značením prokázaly přenos biologicky fixovaného dusíku do rostlin; ve studii Martinez-Feria a kol., 2024 představoval do období kvetení průměrně přibližně 21 kg dusíku na hektar. Neznamená to však konec minerálních hnojiv. Nezávislé tříleté polní pokusy (Woodward a kol., 2025) ukázaly sice pozitivní, ale zatím relativně skromný efekt a potvrdily spíše roli doplňkového „třetího zdroje“ dusíku vedle půdy a hnojiva. Současně je zřejmé, že při využívání geneticky upravených mikroorganismů musí být zvlášť důkladně hodnoceno jejich přežívání v prostředí, genetická stabilita a možné ovlivnění původního mikrobiomu.

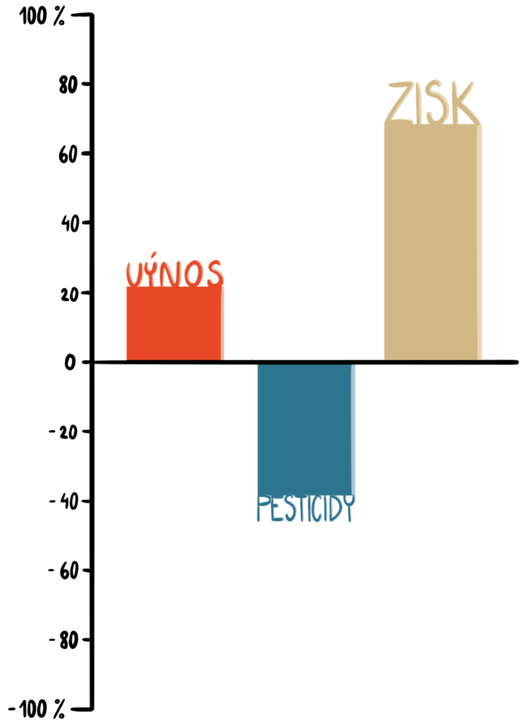
Pro úspěšné použití je kromě výběru vhodného biologického systému důležitá i jeho správná aplikace. Vývoj se v této oblasti soustředil například na obalování a moření osiva, ochranné nosiče nebo cílenou aplikaci přímo do výsevní rýhy. Cílem je dopravit životaschopné buňky co nejblíže mladému kořeni, chránit je například před vyschnutím a dát jim náskok před okolní mikrobiální konkurencí. Zde se mikrobiologie přirozeně propojuje s metodami precizního zemědělství. Polní pokusy provedené v Česku již využívají techniku, která biologický přípravek dávkuje přímo k osivu nebo v úzkém pásu nad řádkem – tedy pouze tam, kde je ošetření potřeba.

Budoucnost zemědělství proto navzdory populárnímu přesvědčení laické veřejnosti pravděpodobně nebude černobílým soubojem „chemie proti přírodě“. Mnohem zajímavější je představa systému, v němž se minerální hnojiva, pesticidy, odolné odrůdy, senzory a prospěšné mikroorganismy používají společně a pouze tam, kde mají největší smysl. Pokud se podaří lépe pochopit pravidla, podle nichž se půdní mikrobiom skládá a mění, můžeme se naučit řídit část zemědělských procesů nikoli silou, ale spoluprací s organismy, které je v přírodě zajišťují miliony let. Zemědělství budoucnosti tak nemusí stát pouze na přesnějším měření a automatizaci, ale také na lepším využití biologických procesů. Cílená práce s půdními a rostlinnými mikroorganismy může přispět k vyšší odolnosti plodin vůči suchu a chorobám a současně omezit závislost na vstupech zatěžujících životní prostředí. Neviditelní obyvatelé půdy se tak mohou stát jedním z nejviditelnějších nástrojů udržitelného zemědělství.

Výzvy zemědělství

Více sklizně, menší stopa: příklady pozitivních dopadů moderních zemědělských přístupů

Není tomu tak dávno, co v intenzivním zemědělství platila poměrně jednoduchá rovnice: chceme-li vyšší výnos, musíme dodat více hnojiv, účinněji hubit škůdce a plevel a rostlině vytvořit co nejpříznivější podmínky. Jenže tato strategie má své limity. Hnojiva, která plodina nevyužije, mohou unikat do životního prostředí nebo atmosféry a eutrofizovat vodní zdroje. Pesticidy mohou působit i na necílové organismy a nadměrné rozšiřování zemědělské půdy zasahuje i chráněné přírodní ekosystémy. To vše ve světě vede ke snižování biodiverzity, nehledě na to, že gigantické monokulturní lány jsou náchylnější k epifytiím (epidemie postihující rostliny). Moderní biotechnologie proto nabízejí jiný směr: místo pouhého navyšování vstupů se snaží „vyladit“ samotnou fyziologii plodiny a jejího okolí tak, aby rostlina hospodařila se zdroji účinněji, lépe odolávala stresu a poskytovala kvalitnější sklizeň. V principu je to podobné klasickým šlechtitelským technikám, moderní přístupy jsou však nesrovnatelně rychlejší, cílenější, bezpečnější a v neposlední řadě výrazně levnější.



Důkaz, že tento princip může fungovat ve velkém měřítku, přinesly komerčně pěstované GM plodiny. Metaanalýza 147 studií publikovaná v roce 2014 ukázala, že jejich zavedení bylo v průměru spojeno s 22% zvýšením výnosu, 37% snížením množství používaných chemických pesticidů a 68% zvýšením zisku. Tyto hodnoty však nejsou univerzální výkonnostní metrikou pro každou GM plodinu, velikost efektu se lišila podle plodiny, upravené vlastnosti i regionu. Největší snížení spotřeby pesticidů se týkalo především plodin odolných vůči hmyzím škůdcům, zatímco u herbicidně tolerantních plodin závisel výsledný efekt výrazněji na způsobu hospodaření a vývoji rezistence plevelů. Dlouhodobé analýzy společnosti PG Economics, na které jsme se jako spolek BIOTRIN v některých článcích již dříve odkazovali, naznačují významný efekt na využití půdy. Podle odhadu jejich nejnovějšího modelu by produkce navíc, která je připisovaná GM technologiím, v roce 2024 vyžadovala při konvenčních výnosech běžných druhů hospodářských plodin dalších přibližně 25,5 milionu hektarů zemědělské půdy, což je pro představu více než sedminásobek obhospodařované zemědělské půdy v České republice.

Přínos přitom nemusí být vidět jen na hmotnosti sklizeného zrna. U Bt plodin může nižší potřeba širokospektrálních insekticidů prospívat také organismům pro zemědělství užitečným. Například

výsledky dvacetiletého sledování z bavlníkových porostů v Číně (Lu a kol., 2012) ukázaly, že rozšíření Bt bavlníku a omezení insekticidních postřiků doprovázel nárůst populací slunéček, zlatooček a pavouků a současný pokles početnosti mšic. U GM Bt kukuřice zase metaanalýza polních dat sbíraných po dobu 21 let (Pellegrino a kol., 2018) zjistila kromě průměrně asi o 10 % vyššího výnosu také o 29 % nižší obsah mykotoxinů a ještě výraznější pokles některých jejich jednotlivých skupin. Omezení poškození palic hmyzem totiž zmenšuje riziko napadení toxinogenními houbami a plísněmi. Biotechnologická ochrana tak může současně prospět výnosu, kvalitě suroviny i bezpečnosti potravního řetězce.

NGT posouvají tento koncept ještě o krok dál. CRISPR a další technologie spadající pod NGT umožňují měnit konkrétní úseky genomu podstatně cíleněji než klasická náhodná mutageneze a u řady aplikací lze získat výslednou rostlinu bez nově vložené cizorodé DNA. Nejde přitom pouze o laboratorní kuriozity. U pšenice se podařilo cílenou úpravou lokusu *MLO* vytvořit linii s robustní odolností vůči padlí, aniž by byla zatížena růstovým a výnosovým postihem, který některé dřívější mutace tohoto genu provázel. Smyslem takové úpravy není vytvořit „nezničitelnou rostlinu“, ale odstranit jednu z biologických slabin, kterou patogen využívá a tím vytvořit předpoklad pro omezení fungicidní ochrany. U rýže zase zásah do pouhých 54 párů bází regulační oblasti genu *IPA1* umožnil překonat přirozený kompromis mezi počtem odnoží a počtem zrn v latě a významně zvýšit výnos na rostlinu.

Velký prostor se otevírá také u hnojiv. Dusík je pro vysoké výnosy nepostradatelný, jeho nadměrné používání však zatěžuje vodní i suchozemské ekosystémy, a proto se šlechtění stále více zaměřuje na účinnost jeho využití, tedy na to, kolik produkce dokáže rostlina vytvořit z jednotky dostupné živiny. Studie publikovaná v roce 2025 v Nature Genetics ukázala, že cílené ovlivnění regulačních elementů lokusu *RCN2* u rýže může současně zefektivnit fotosyntézu, asimilaci dusíku, jeho využití a následně i celkový výnos i při sníženém dusíkatém hnojení. Vedle úprav genomu samotné rostliny se experimentuje i s biologickým zdrojem dusíku přímo v půdě. Příkladem tohoto přístupu jsou také geneticky editované půdní bakterie se zvýšenou schopností fixace vzdušného dusíku, podrobněji popsané v předchozí kapitole. Nejde zatím o kompletní náhradu minerálních hnojiv, ale o zajímavý příklad toho, jak mohou metody mikrobiologie a syntetická biologie vytvořit doplňkový zdroj živin přímo v rhizosféře.

„Moderní biotechnologie proto nabízejí jiný směr: místo pouhého navyšování vstupů se snaží „vyladit“ samotnou fyziologii plodiny a jejího okolí tak, aby rostlina hospodařila se zdroji účinněji, lépe odolávala stresu a poskytovala kvalitnější sklizeň.“

Biotechnologie přitom mohou sloužit nejen jako nástroj k zachování výnosu, ale také k ovlivnění kvality produkce. Například v některých polních pokusech s pšenicí editovanou pomocí CRISPR byl vyřazen gen ovlivňující tvorbu volného asparaginu, z něhož při tepelné úpravě může vznikat nežádoucí a karcinogenní akrylamid. Mouka z editovaných linií vytvořila po zahřátí o 44–45 % méně akrylamidu než kontrola, aniž by se v tomto jednoletém pokusu významně snížil výnos plodiny. Novější dvouleté experimenty již zkoušejí ještě výraznější snížení obsahu asparaginu. Je to názorný příklad toho, že šlechtitelským cílem nemusí být pouze „více tun z hektaru“, ale rovněž bezpečnější a technologicky vhodnější zemědělská surovina.

Takové výsledky zároveň souhrnně ukazují, proč je nepřesné chápat biotechnologie jako jediný zázračný recept na problémy zemědělství. Genetickou odolnost může časem překonat evoluce škůdce, nevhodně používaná herbicidní tolerance může podporovat vznik rezistentních plevelů a účinnost mikrobiálních technologií ovlivňují kombinace půdy, počasí, klimatu i konkrétní odrůdy. Také údaje o omezení pesticidů závisí na vlastnostech, plodině a způsobu hospodaření. Největší přínos proto vzniká tehdy, když se genetické inovace propojí s integrovanou ochranou rostlin, precizním dávkováním hnojiv, monitoringem porostu a kvalitní agronomickou praxí.



Výzvy zemědělství

Závěr

Současné zemědělství stojí před úkolem zajistit dostatečnou a kvalitní produkci potravin v podmínkách měnícího se klimatu, rostoucího tlaku na přírodní zdroje a požadavků na omezení negativních dopadů zemědělské výroby na životní prostředí. Jak ukazují příklady představené v tomto bulletinu, odpovědí na tyto výzvy pravděpodobně není jedna konkrétní technologie, ale postupné rozšiřování možností, které mají zemědělci a šlechtitelé k dispozici.

Moderní šlechtění a genomové úpravy, technologie založené na RNA, využití prospěšných mikroorganismů i další biologicky poučené a precizní přístupy mohou zasahovat do různých částí zemědělského systému – od vlastností samotné plodiny přes její ochranu a výživu až po efektivitu využívání vstupů. Jejich skutečný přínos však vždy závisí na konkrétní aplikaci, podmínkách použití a vhodném propojení s dalšími agronomickými postupy. Vedle technologického pokroku proto zůstávají důležité také kvalitní vědecké poznatky, odpovídající hodnocení bezpečnosti, funkční regulatorní prostředí a schopnost převádět nové poznatky do zemědělské praxe.

Zemědělství budoucnosti tak nemusí být polem, na které aplikujeme stále více prostředků, ale systémem, v němž každý vstup plní svůj úkol cíleněji. Rostliny mohou lépe odolávat chorobám a nepříznivým podmínkám, účinněji využívat vodu a živiny, zatímco prospěšné mikroorganismy mohou část živin zpřístupňovat. Přínos těchto technologií přitom nelze posuzovat pouze podle dosaženého výnosu. Neméně významná je možnost udržet stabilní produkci kvalitních potravinářských surovin při nižší spotřebě hnojiv, pesticidů, vody a energie, a tím omezit emise, kontaminaci půdy a vod i tlak zemědělství na biodiverzitu. Kombinací vhodných plodin a odpovídajících pěstitelských postupů lze přispívat také k zachování mimoprodukčních funkcí zemědělské půdy a krajiny, včetně schopnosti zadržovat vodu a omezovat erozi, a tím podpořit celkovou resilienci zemědělských systémů. Pokud budeme tyto nástroje používat rozumně, transparentně a na základě kvalitních dat, nabízí se možnost produkovat dostatek kvalitních potravin pro rostoucí populaci, aniž bychom stejným tempem zvyšovali spotřebu půdy, pesticidů a hnojiv. Moderní biotechnologie pak nejsou cestou k „umělému“ zemědělství, ale k zemědělství, které dokáže biologické procesy lépe pochopit a cíleněji je využívat.



Výzvy zemědělství

Reference

- Abdullah, Z. K.; Kong, L. L.; Ariffin, N.; Wong, M. Y. RNAi: the next wave of green agriculture, challenges, and bridging the translational gap. *Plant Cell Reports* **2026**, 45, 271. DOI: 10.1007/s00299-026-03939-x
- Beneš, P., **2023**. Na plevelné rostliny s elektrickým proudem. https://trvaleudrzitelnezemedelstvi.cz/clanky/na-plevelne-rostliny-s-elektrickym-proudem/
- Bharathi, J. K.; Anandan, R.; Benjamin, L. K.; Muneer, S.; Prakash, M. A. S. Recent trends and advances of RNA interference (RNAi) to improve agricultural crops and enhance their resilience to biotic and abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* **2023**, 194, 600-618. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.11.035
- BIOTRIN, **2021**. Antimikrobiální peptid chrání citrusy před smrtící chorobou. https://www.biotrin.cz/antimikrobialni-peptid-chrani-citrusy-pred-smrtici-chorobou/
- BIOTRIN, **2015**. GMO – negativní marketingová značka. https://www.biotrin.cz/gmo-negativni-marketingova-znacka/
- BIOTRIN, **2020**. Rostlinné biotechnologie přinášejí zemědělcům vyšší příjmy a benefity pro životní prostředí. https://www.biotrin.cz/rostlinne-biotechnologie-prinaseji-zemedelcum-vyssi-prijmy-a-bene/
- Brookes, G. Genetically Modified (GM) Crop Use 1996–2020: Environmental Impacts Associated with Pesticide Use Change. *GM Crops & Food* **2022**, 13 (1), 262–289. DOI: 10.1080/21645698.2022.2118497
- Brookes, G. Genetically modified (GM) crop use 1996–2024: farm income and production impacts. *GM Crops & Food* **2026**, 17 (1), 2726010. DOI: 10.1080/21645698.2026.2726010
- Cathomen, T.; Joung, J. K. Zinc-finger Nucleases: The Next Generation Emerges. *Molecular Therapy* **2008**, 16, 1200–1207. DOI: 10.1038/mt.2008.114
- Chen, C.; Imran, M.; Feng, X.; Shen, X.; Sun, Z. Spray-induced gene silencing for crop protection: recent advances and emerging trends. *Frontiers in Plant Science* **2025**, 16, 1527944. DOI: 10.3389/fpls.2025.1527944
- Chovancová, Š., **2025**. Olomoučtí vědci vyvinuli pomocí editace genů upravený ječmen, který nyní testují na poli. https://www.zurnal.upol.cz/nc/zprava/clanek/olomoucti-vedci-vyvinuli-pomoci-editace-genu-upraveny-jecmen-ktery-nyni-testuji-na-poli/
- Christiaens, O.; Sweet, J.; Dzhambazova, T.; Urru, I.; Smagghe, G.; Kostov, K.; Arpaia, S. Implementation of RNAi-based arthropod pest control: environmental risks, potential for resistance and regulatory considerations. *Journal of Pest Science* **2022**, 95, 1-15. DOI: 10.1007/s10340-021-01439-3
- Compant, S.; Cassan, F.; Kostić, T.; Johnson, L.; Brader, G.; Trognitz, F.; Sessitsch, A. Harnessing the plant microbiome for sustainable crop production. *Nature Reviews Microbiology* **2025**, 23 (1), 9–23. DOI: 10.1038/s41579-024-01079-1
- Dhugga, K. S. Gene Editing to Accelerate Crop Breeding. *Frontiers in Plant Science* **2022**, 13, 889995. DOI: 10.3389/fpls.2022.889995
- do Nascimento, J.; Goncalves, K. C.; Dias, N. P.; de Oliveira, J. L.; Bravo, A.; Polanczyk, R. A. Adoption of Bacillus thuringiensis-based biopesticides in agricultural systems and new approaches to improve their use in Brazil. *Biological Control* **2022**, 165, 104792. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2021.104792
- EFSA, 2026. New genomic techniques. https://www.efsa.europa.eu/en/topics/new-genomic-techniques

Výzvy zemědělství

- Elumalai, P.; Gao, X.; Parthipan, P.; Luo, J.; Cui, J. Agrochemical pollution: A serious threat to environmental health. *Current Opinion in Environmental Science & Health* **2025**, 43, 100597. DOI: 10.1016/j.coesh.2025.100597
- European Commission, 2026. Implementation Strategy For Regulation (EU) 2026/1388 on plants obtained by certain new genomic techniques and their products. https://food.ec.europa.eu/document/download/4c13763b-bed7-40f1-8009-56fc4b7c7a57_en?filename=ngt_leg_implementation-strategy_reg-2026-1388.pdf
- European Commission, **2026**. New Genomic Techniques (NGTs). https://food.ec.europa.eu/plants/new-genomic-techniques_en
- European Parliament, **2026**. New genomic techniques for plants to boost innovation in sustainable agriculture. https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20260611IPR45215/new-genomic-techniques-for-plants-to-boost-innovation-in-sustainable-agriculture
- FAO. Greenhouse gas emissions from agrifood systems: Global, regional and country trends, 2001–2023. FAOSTAT Analytical Briefs 2025, Rome, Italy.
- Hajieghrari, B.; Hamrahi, S.; Hemmati-Asl, S.; Shahghobadi, H. CRISPR/Cas9 gene editing technology: Advancing sustainable agriculture and crop improvement. *Ecological Genetics and Genomics* **2026**, 39, 100483. DOI: 10.1016/j.egg.2026.100483
- Hu, B.; Wang, W.; Chen, J.; Liu, Y.; Chu, C. Genetic improvement toward nitrogen-use efficiency in rice: Lessons and perspectives. *Molecular Plant* **2023**, 16 (1), 64–74. DOI: 10.1016/j.molp.2022.11.007
- Hu, M.; Xue, H.; Wade, A. J.; Gao, N.; Qiu, Z.; Long, Y.; Shen, W. Biofertilizer supplements allow nitrogen fertilizer reduction, maintain yields, and reduce nitrogen losses to air and water in China paddy fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2024**, 362, 108850. DOI: 10.1016/j.agee.2023.108850
- Jedličková, M., 2025 Jak jsou na tom současné alternativní technologie v ochraně plodin? https://agroaktualne.cz/zpravy/jak-jsou-na-tom-soucasne-alternativni-technologie-v-ochrane-plodin
- Karavolias, N. G.; Patel-Tupper, D.; Seong, K.; Tjahjadi, M.; Gueorguieva, G.-A.; Tanaka, J.; Gallegos Cruz, A.; Lieberman, S.; Litvak, L.; Dahlbeck, D.; Cho, M.-J.; Niyogi, K. K.; Staskawicz, B. J. Paralog editing tunes rice stomatal density to maintain photosynthesis and improve drought tolerance. *Plant Physiology* **2023**, 192 (2), 1168–1182. DOI: 10.1093/plphys/kiad183
- Karlík, T., 2025 Olomoučtí vědci testují geneticky upravený ječmen. Jsou první v EU. https://ct24.ceskatelevize.cz/clanek/veda/olomoucti-vedci-testuji-geneticky-upraveny-jecmen-jsou-prvni-v-eu-364274
- Kaur, N.; Raffan, S.; Clark, S. J.; Musa, S.; Scherf, K.; Elmore, J. S.; Curtis, T. Y.; Honan, E.; Halford, N. G. Field Trials and Baking Studies of Ultra-Low Asparagine, Genome Edited (CRISPR/Cas9) and Mutant (TILLING) Wheat. *Plant Biotechnology Journal* **2026**, 24 (7), 4704–4715. DOI: 10.1111/pbi.70661
- Kliková, K.; Branyšová, T. Víte, že ...čokoláda, jedna z nejoblíbenějších pochoutek na světě, může být v budoucnu ohrožena klimatickou změnou? https://www.biotrin.cz/cokolada-jedna-z-nejoblibenejsich-pochoutek-na-svete-muze-by/
- Kliková, K.; Branyšová, T. Víte, že ...genetické úpravy mohou pomoci zachránit existenci amerického

kaštanovníku? https://www.biotrin.cz/geneticke-upravy-mohou-pomoci-zachranit-existenci-americkeho-kas/
- Kliková, K.; Branyšová, T. Víte, že ...jediná geneticky modifikovaná plodina pěstovaná v EU, včetně ČR, byla kukuřice MON810? https://www.biotrin.cz/gm-kukurice/
- Kliková, K.; Branyšová, T. Víte, že ...pro úpravu genomu při šlechtění rostlin se nejvíce používá mimo již dříve zmiňovanou techniku CRISPR/Cas také technika TALENs? https://www.biotrin.cz/pro-upravu-genomu-pri-slechteni-rostlin-se-nejvice-pouziva-mim/
- Kliková, K.; Branyšová, T. Víte, že ...první geneticky modifikovaný banán určený k pěstování a lidské spotřebě byl schválen v Austrálii? https://www.biotrin.cz/prvni-geneticky-modifikovany-banan-urceny-k-pestovani-a-lidske/
- Kliková, K.; Branyšová, T. Víte, že ...první plodinou upravenou pomocí technologie CRISPR, která se dostala na trh, je rajče? https://www.biotrin.cz/prvni-plodinou-upravenou-pomoci-technologie-crispr-ktera-se-d/
- Kliková, K.; Branyšová, T. Víte, že ...šlechtění je prastarý proces, který se během staletí neustále vyvíjel? https://www.biotrin.cz/slechteni-je-prastary-proces-ktery-se-behem-staleti-neustale-vy/
- Klümper, W.; Qaim, M. A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops. *PLOS ONE* **2014**, 9 (11), e111629. DOI: 10.1371/journal.pone.0111629
- Kopittke, P. M.; Menzies, N. W.; Wang, P.; McKenna, B. A.; Lombi, E. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International* **2019**, 132, 105078. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105078
- Koubová, D. MON810: Bt protein se v půdě nehromadí. https://bezpecnostpotravin.cz/mon810-bt-protein-se-v-pude-nehromadi/
- Kuthan, A., **2021**. Použití biologických přípravků v naší pěstitelské praxi. https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/pouziti-biologickych-pripravku-v-nasi-pestitelske-praxi
- Li, B.; Sun, C.; Li, J.; Gao, C. Targeted genome-modification tools and their advanced applications in crop breeding. *Nature Reviews Genetics* **2024**, 25, 603–622. DOI: 10.1038/s41576-024-00720-2
- Li, C.; Chen, X.; Jia, Z.; Zhai, L.; Zhang, B.; Grüters, U.; Ma, S.; Qian, J.; Liu, X.; Zhang, J.; Müller, C. Meta-analysis reveals the effects of microbial inoculants on the biomass and diversity of soil microbial communities. *Nature Ecology & Evolution* **2024**, 8 (7), 1270–1284. DOI: 10.1038/s41559-024-02437-1
- Li, S.; Lin, D.; Zhang, Y.; Deng, M.; Chen, Y.; Lv, B.; Li, B.; Lei, Y.; Wang, Y.; Zhao, L.; Liang, Y.; Liu, J.; Chen, K.; Liu, Z.; Xiao, J.; Qiu, J.-L.; Gao, C. Genome-edited powdery mildew resistance in wheat without growth penalties. *Nature* **2022**, 602, 455–460. DOI: 10.1038/s41586-022-04395-9
- Liu, Q.; Liu, H.; Sun, L.; Wang, D.; Sun, X.; Wu, K.; Ye, Y.; Wang, Y.; Wang, S.; Zhong, N.; Wu, X.; Li, Y.; Deng, M.; Wang, M.; Wu, C.; Liu, X.; Zhang, Y.; Xiao, J.; Wu, Y.; Fu, X. Precise control of chromatin loop extrusion enhances sustainable green revolution yield in rice. *Nature Genetics* **2025**, 57 (11), 2798–2807. DOI: 10.1038/s41588-025-02376-y
- Liu, Y.; Zhang, H.; Wang, J.; Gao, W.; Sun, X.; Xiong, Q.; Shu, X.; Miao, Y.; Shen, Q.; Xun, W.; Zhang, R. Nonpathogenic Pseudomonas syringae derivatives and its metabolites trigger the plant “cry for help” response to assemble disease suppressing and growth promoting rhizomicrobiome. *Nature Communications* **2024**, 15, 1907. DOI: 10.1038/s41467-024-46254-3

Výzvy zemědělství

- Lu, Y.; Wu, K.; Jiang, Y.; Guo, Y.; Desneux, N. Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature* **2012**, 487, 362–365. DOI: 10.1038/nature11153
- Lukasiewicz, J. M.; Smulders, M. J. M. Market introduction of plant varieties and products with gene-edited traits. *GM Crops & Food* **2026**, 17, 2684804. DOI: 10.1080/21645698.2026.2684804
- Mahish, P. K.; Verma, D. K.; Ghritlahare, A.; Arora, C.; Otero, P. Microbial bioconversion of food waste to biofertilizers. *Sustainable Food Technology* **2024**, 2 (3), 689–708. DOI: 10.1039/D3FB00041A
- Martinez-Feria, R.; Simmonds, M. B.; Ozaydin, B.; Lewis, S.; Schwartz, A.; Pluchino, A.; McKellar, M.; Gottlieb, S. S.; Kayatsky, T.; Vital, R.; Mehlman, S. E.; Caron, Z.; Colaianni, N. R.; Ané, J.-M.; Maeda, J.; Infante, V.; Karlsson, B. H.; McLimans, C.; Vyn, T.; Hanson, B.; Verhagen, G.; Nevins, C.; Reese, L.; Otyama, P.; Robinson, A.; Learmonth, T.; Miller, C. M. F.; Havens, K.; Tamsir, A.; Temme, K. Genetic remodeling of soil diazotrophs enables partial replacement of synthetic nitrogen fertilizer with biological nitrogen fixation in maize. *Scientific Reports* **2024**, 14, 27754. DOI: 10.1038/s41598-024-78243-3
- Merdinoglu, D.; Schneider, C.; Prado, E.; Wiedemann-Merdinoglu, S.; Mestre, P. Breeding for durable resistance to downy and powdery mildew in grapevine. *OENO One* **2018**, 52 (3), 203–209. DOI: 10.20870/oeno-one.2018.52.3.2116
- Nermuť, J. Biologická ochrana (12), **2025**: Technologie RNAi - pesticidy a další aplikace. https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/biologicka-ochrana-12-technologie-rnai-pesticidy-a-dalsi-aplikace
- Nermuť, J. Biologická ochrana (6), **2024**: RNAi pesticidy aneb molekulární biologie a genetika není jen GMO. https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/biologicka-ochrana-6-rnai-pesticidy-aneb-molekularni-biologie-a-genetika-neni-jen-gmo
- New Regulation on NGT Plants in the EU, **2026**. https://www.bvl.bund.de/EN/Tasks/GeneticEngineering/1_Tasks/08_New_Genomic_Techniques/02_LegislativeInitiatives_to_Regulate_NGT_Organisms/regulations_NGT_node.html
- Northen, T. R.; Kleiner, M.; Torres, M.; Kovács, Á. T.; Nicolaisen, M. H.; Krzyżanowska, D. M.; Sharma, S.; Lund, G.; Jelsbak, L.; Baars, O.; Kindtler, N. L.; Wippel, K.; Dinesen, C.; Ferrarezi, J. A.; Marian, M.; Pioppi, A.; Xu, X.; Andersen, T.; Geldner, N.; Schulze-Lefert, P.; Vorholt, J. A.; Garrido-Oter, R. Community standards and future opportunities for synthetic communities in plant–microbiota research. *Nature Microbiology* **2024**, 9 (11), 2774–2784. DOI: 10.1038/s41564-024-01833-4
- Ortega, A.; Seong, K.; Schultink, A.; de Toledo Thomazella, D. P.; Seo, E.; Zhang, E.; Pham, J.; Cho, M.-J.; Dahlbeck, D.; Warren, J.; Minsavage, G. V.; Jones, J. B.; Sierra-Orozco, E.; Hutton, S. F.; Staskawicz, B. CRISPR/Cas9-mediated editing of Bs5 and Bs5L in tomato leads to resistance against Xanthomonas. *Plant Biotechnology Journal* **2024**, 22 (10), 2785–2787. DOI: 10.1111/pbi.14404
- Pečinka, A., **2020**. Jaká bude budoucnost šlechtění rostlin? https://www.novabotanika.eu/Slechteni_rostlin.html
- Pellegrino, E.; Bedini, S.; Nuti, M.; Ercoli, L. Impact of genetically engineered maize on agronomic,

environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. *Scientific Reports* **2018**, 8, 3113. DOI: 10.1038/s41598-018-21284-2

- Peroutka, V., **2026**. Evropská unie otevírá cestu šlechtění plodin pomocí nových technik šlechtění. https://www.biotrin.cz/evropska-unie-otevira-cestu-slechteni-plodin-pomoci-novych-techni/
- Peroutková, S. ; Mokoš, T. Genomová editace jako nástroj moderní biotechnologie. *Chemické Listy* **2026**, 120(10), 552–560. DOI: 10.54779/chl20260552
- Poláková, M., **2024**. Využití biologických přípravků v moderním zemědělství. https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/precizni-zemedelstvi/vyuziti-biologickych-pripravku-v-modernim-zemedelstvi
- Raffan, S.; Oddy, J.; Mead, A.; Barker, G.; Curtis, T.; Usher, S.; Burt, C.; Halford, N. G. Field assessment of genome-edited, low asparagine wheat: Europe's first CRISPR wheat field trial. *Plant Biotechnology Journal* **2023**, 21 (6), 1097–1099. DOI: 10.1111/pbi.14026
- Ribeiro, R. C.; Matos, J. P. C.; Martins, D. V. de S.; Canellas, L. P.; Olivares, F. L. Microbial inoculants and root microbiome: a path to sustainable agroecosystem management. *npj Sustainable Agriculture* **2026**, 4, 51. DOI: 10.1038/s44264-026-00164-7
- Savary, S.; Willocquet, L.; Pethybridge, S. J.; Esker, P.; McRoberts, N.; Nelson, A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution* **2019**, 3, 430–439. DOI: 10.1038/s41559-018-0793-y
- Sindhu, S. R.; Verma, A.; Boora, N.; Rani, R.; Yashveer, S. RNAi in agriculture: A comprehensive review of its applications, challenges, and future prospects. *International Journal of Research in Agronomy* **2025**, 8, 128-140. DOI: 10.33545/2618060X.2025.v8.i9Sb.3753
- Singh, B. K.; Delgado-Baquerizo, M.; Egidi, E.; Guirado, E.; Leach, J. E.; Liu, H.; Trivedi, P. Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology* **2023**, 21 (10), 640–656. DOI: 10.1038/s41579-023-00900-7
- Song, X.; Meng, X.; Guo, H.; Cheng, Q.; Jing, Y.; Chen, M.; Liu, G.; Wang, B.; Wang, Y.; Li, J.; Yu, H. Targeting a gene regulatory element enhances rice grain yield by decoupling panicle number and size. *Nature Biotechnology* **2022**, 40 (9), 1403–1411. DOI: 10.1038/s41587-022-01281-7
- Thanvarshni, A.; Senthil Kumar, G.; Sathya Priya, R.; Sivakumar, R.; Muthumanickam, D.; Pazhanivelan, S.; Krishnan, R. RNA interference (RNAi) in agriculture: Revolutionizing crop improvement and sustainable crop protection. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **2026**, 145, 103416. DOI: 10.1016/j.pmpp.2026.103416
- Úřední věstník Evropské Unie, 2026. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2026/1388. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202601388
- US EPA, **2025**. EPA Proposes to Register New Pesticide for Varroa Mite Control. https://www.epa.gov/pesticides/epa-proposes-register-new-pesticide-varroa-mite-control
- Vlčko, T.; Ohnoutková, L., **2025**. Jarní ječmen TL-GP-PIL1 s mutací genu HvPIL1. https://ueb.cas.cz/cs/publikace/?id=15963&utm
- Waltz, E. GABA-enriched tomato is first CRISPR-edited food to enter market. *Nature Biotechnology* **2022**, 40, 9–11. DOI: 10.1038/d41587-021-00026-2

Výzvy zemědělství

- Wang, M.; Li, H.; Li, J.; Zhang, W.; Zhang, J. Streptomyces Strains and Their Metabolites for Biocontrol of Phytopathogens in Agriculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2024**, 72 (4), 2077–2088. DOI: 10.1021/acs.jafc.3c08265
- Woo, S. L.; Hermosa, R.; Lorito, M.; Monte, E. Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology* **2023**, 21 (5), 312–326. DOI: 10.1038/s41579-022-00819-5
- Woodward, L. P.; Sible, C. N.; Seebauer, J. R.; Below, F. E. Soil inoculation with nitrogen-fixing bacteria to supplement maize fertilizer need. Agronomy Journal **2025**, 117 (1), e21729. DOI: 10.1002/agj2.21729
- Yang, S.; Liu, H.; Xie, P.; Wen, T.; Shen, Q.; Yuan, J. Emerging Pathways for Engineering the Rhizosphere Microbiome for Optimal Plant Health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2023**, 71 (11), 4441–4449. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c08758
- Yashika; Aggarwal, L.; Pant, P. Integrating nucleic acid research and computational strategies for advancing plant food security. *Sustainable Food Technology* **2026**, 4 (2), 1372–1393. DOI: 10.1039/D5FB00405E
- Žák, P., **2025**. Prvenství v Evropské unii: Olomoučtí vědci testují geneticky editovaný ječmen přímo na poli. https://www.biotrin.cz/prvenstvi-v-evropske-unii-olomoucti-vedci-testuji-geneticky-editovany-jecmen-primo-na-poli/
- Zhou, X.; Wang, J.; Liu, F.; Liang, J.; Zhao, P.; Tsui, C. K. M.; Cai, L. Cross-kingdom synthetic microbiota supports tomato suppression of Fusarium wilt disease. *Nature Communications* **2022**, 13, 7890. DOI: 10.1038/s41467-022-35452-6
- Zvinavashe, A. T.; Mardad, I.; Mhada, M.; Kouisni, L.; Marelli, B. Engineering the Plant Microenvironment To Facilitate Plant-Growth-Promoting Microbe Association. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2021**, 69 (45), 13270–13285. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c0013

Vydání této publikace finančně podpořilo Velvyslanectví USA v Praze prostřednictvím USDA Foreign Agricultural Service.



BIOTRIN