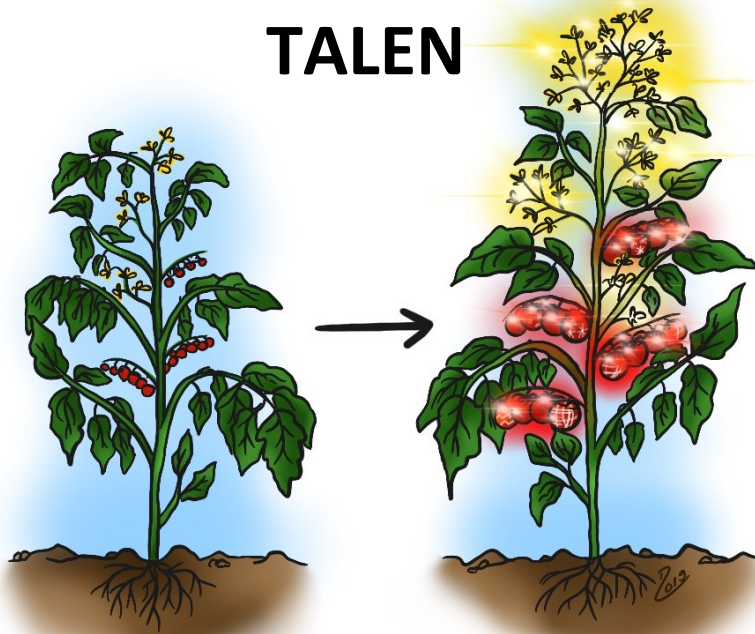


**Příklady rostlin vyšlechtěných s pomocí
nových technik šlechtění**

CRISPR TALEN



OBSAH

ÚVOD	2
CRISPR	3
TALEN	3
HLÁVKOVÝ SALÁT	5
JEČMEN.....	7
KIWI	9
RÝŽE	11
PETÚNIE	13
MANIOK.....	15
RAJČE	17
BRAMBORY	19
PAMPELIŠKA	21
ŘEPKA	23
KUKUŘICE	25
OKURKY	27
ŘEPKA	29
BAVLNÍK.....	31
VODNÍ MELOUN	33
BRAMBORY	35
SÓJA.....	37
BANÁNY	39
TORÉNIE.....	41
CITRUSY	43
PŠENICE	45
RÝŽE	47
VINNÁ RÉVA.....	49
DIVOKÉ RAJČE.....	51

ÚVOD

Tato publikace vychází z on-line CRISPR-adventního kalendáře, který byl publikován v předvánočním čase roku 2019. Podklady pro něj připravil Dominik Modrzejewski z otevřené německé iniciativy *Progressive Agrarwende* ve spolupráci s iniciátory petice za změnu GMO legislativy v EU *Grow Scientific Progress*.

Obrázky na míru vytvořila ilustrátorka © Daria Chrobok, DC SciArt a českou verzi textů zhotovil BIOTRIN, z.s.

Cílem této publikace je seznámit veřejnost s reálnými příklady rostlin, které se podařilo získat s pomocí nových šlechtitelských technik – genové editace rostlin, konkrétně technik CRISPR/Cas9 a TALENs.

Dozvídáme se tak např. o hlávkovém salátu se zvýšeným obsahem vitamínu C, o rýži, která je odolná vůči zasolení půdy, o řepce s vyššími výnosy, nebo o sójovém oleji s kvalitnějším složením pro spotřebitele.

Celkem je prezentováno 24 geneticky editovaných rostlin; na následujících stránkách se s nimi můžete seznámit.

Odkaz na českou verzi on-line CRISPR-adventního kalendáře:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=cs

Za vývoj techniky CRISPR/Cas9 byla v letošním roce udělena Nobelova cena.

CRISPR

Tato technologie, která je nástrojem genového inženýrství, patří mezi tzv. **nové techniky šlechtění** (angl. *New Breeding Techniques*, NBT). Jejím cílem je získat nové, vylepšené odrůdy rostlin – zejména těch, které jsou hospodářsky významné.

Technologie CRISPR/Cas9 je dnes nejznámější metodou pro editaci (úpravu) genomu (souboru genů) rostlin a ve své podstatě jde o velmi přesně zacílenou mutaci.

Název **CRISPR** je zkratkou anglického *Clustered regularly interspaced short palindromic repeats*. Přídavek **Cas** odpovídá zkratce pro geny asociované s CRISPRem (*CRISPR-associated genes*).

CRISPR je specifický soubor enzymů, Cas9 pak enzym, který je specializovaný na „stříhání“ DNA (deoxyribonukleová kyselina, nositelka dědičné informace organismu). Pomocí metody CRISPR/Cas9 lze nahradit defektní (chybný) úsek genomu nebo kompletní gen za funkční.

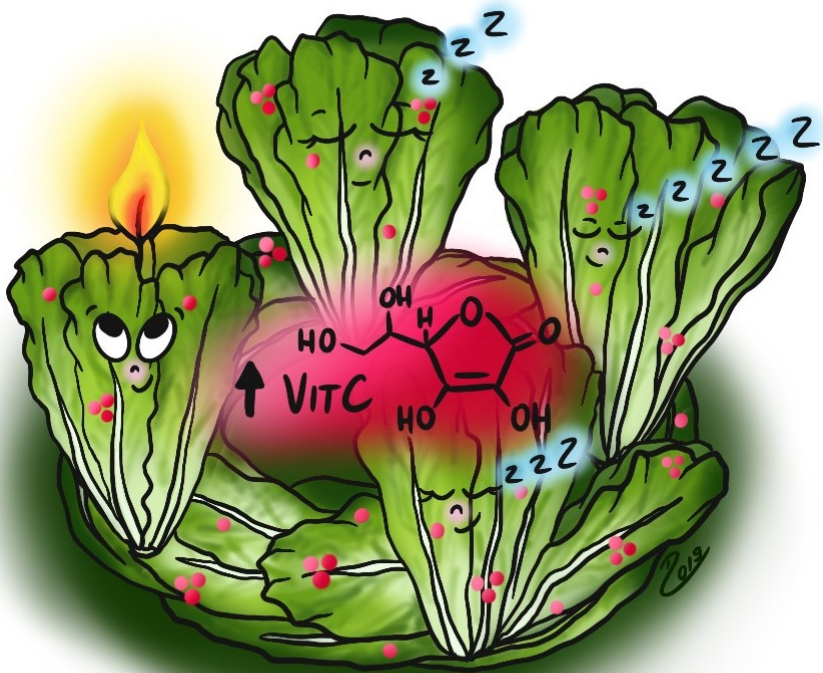
CRISPR/Cas9 se podstatně liší od klasického nástroje genového inženýrství – transgenoz, a to tím, že umožňuje vylepšit organismus, rostlinu, aniž by přitom došlo k přenosu a vložení cizího genu (transgenu).

TALEN

Další z nových technik šlechtění, kterou řadíme do stejné skupiny jako CRISPR/Cas9 (tj. mutace řízené specifickými enzymy), ale je „služebně“ starší, se nazývá TALENs.

Název TALEN(s) je zkratkou anglického *Transcription Activator Like Effector Nuclease(s)*. Pojmenování techniky vzniklo podle specifických proteinů TALE.

TALENs vytváří na předem vybraném místě genomu (souboru genů) zlom, který je následně opraven přirozenými opravnými mechanismy buňky.



HLÁVKOVÝ SALÁT

Nové vlastnosti: zvýšení obsahu vitamínu C, zpomalené hnědnutí

Zacíleno na: spotřebitele, prodejce

Země: Čína

Kyselina askorbová (lépe známá jako vitamín C) je nezbytná složka stravy lidí i zvířat. Ve srovnání s „vitamínovými bombami“, jako např. pomeranče, kapusta nebo brokolice, jsou v salátu relativně nízké hladiny vitamínu C.

Výzkumníkům Čínské akademie věd se podařilo pomocí metody CRISPR/Cas9 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. Podobný ochranný účinek lze pozorovat u nakrájených jablek pokapaných citrónovou šťávou – hnědnou pomaleji.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Zhang, H., Si, X., Ji, X. et al. (2018): Genome editing of upstream open reading frames enables translational control in plants. Nat Biotechnol 36, 894–898 (2018).

<https://doi.org/10.1038/nbt.4202>



JEČMEN

Nová vlastnost: odolnost vůči ječnému typu viru zakrslosti pšenice

Zacíleno na: pěstitele

Země: Maďarsko

Virus zakrslosti pšenice patří mezi nejrozšířenější rostlinné viry na světě. Mezi typické příznaky se řadí zakrslost, deformace a žluté zabarvení, které může později přecházet do nekróz rostliny. Virus se přenáší mšicemi. Nejčastější výskyt je na polích, které nebyly proti mšicím v předchozím podzimním období ošetřeny. S virem nelze bojovat přímo. Prevence je zaměřena na vektory přenosu – mšice. Z tohoto důvodu je kladen důraz na setí obilovin v nepřítomnosti mšic s podporou rychlého klíčení osiva. Jako preventivní opatření proti mšicím jsou používány insekticidy, přičemž množství použitých insekticidů může být minimalizováno namořením osiva před setím.

Na jiný, alternativní způsob boje s virem přišli maďarští vědci ze Zemědělsko-biotechnologického institutu. Ti použili metodu CRISPR/Cas9 k navození bodové mutace v genomu ječmene, díky níž došlo k inhibici množení viru v rostlině. Tím vznikly genově upravené rostliny ječmene, které jsou odolné proti ječnému typu viru zakrslosti pšenice. Jedná se tak o přímé antivirové využití metody CRISPR/Cas9.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Kis A, Hamar É, Tholt G, Bán R, Havelda Z. (2019): Creating highly efficient resistance against wheat dwarf virus in barley by employing CRISPR/Cas9 system. Plant Biotechnology Journal. 2019 Jun;17(6):1004-1006. <https://doi.org/10.1111/pbi.13077>



KIWI

Nové vlastnosti: kompaktnější růst, dřívější kvetení

Zacíleno na: pěstitele

Země: Nový Zéland

Kiwi zdomácnělo poměrně nedávno (okolo roku 1900 na Novém Zélandu), a tak dnes máme pouze několik málo odrůd, které jsou výsledkem cíleného šlechtění. Proto je komerční pěstování kiwi stále spojeno s několika problémy. Patří sem například nákladná technika pěstování, nedostatečný výnos v teplejším podnebí a vysoká náchylnost k chorobám. Další velký problém představuje dlouhá doba před první sklizní (může trvat až 5 let). Všechny tyto faktory jsou překážkou pro rozvoj vylepšených odrůd kiwi.

Vědci z Nového Zélandu dokázali pomocí CRISPR/Cas9 vytvořit kompaktnější rostliny kiwi s rychlejším rozkvětem a tvorbou jeho plodu. Tento přístup by mohl být užitečným nástrojem pro urychlení šlechtitelského procesu v budoucnosti, zvýšení produktivity a usnadnění pěstování kiwi ve skleníku.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

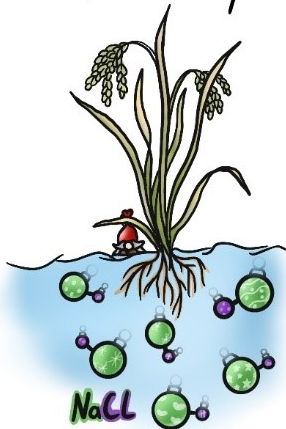
Původní vědecký zdroj:

Varkonyi-Gasic, E.; Wang, T. C.; Voogd, C.; Jeon, S.; Drummond, R. S. M.; Gleave, A. P.; Allan, A. C. (2019): Mutagenesis of kiwifruit CENTRORADIALIS-like genes transforms a climbing woody perennial with long juvenility and axillary flowering into a compact plant with rapid terminal flowering. In: 1467-7644 17 (5), p. 869-880. [doi:10.1111/pbi.13021](https://doi.org/10.1111/pbi.13021)

CRISPR rýže



kontrolní rýže



RÝŽE

Nová vlastnost: *zvýšená tolerance k zasolení půd*

Zacíleno na: *pěstitele*

Země: *Čína*

Za abiotický stres považujeme environmentální faktory, na nichž se přímo nepodílí živé organismy. U rostlin může dojít k abiotickému stresu v důsledku nepříznivých vlivů, jako je sucho, teplo, chlad nebo vysoká koncentrace soli v půdě. Z těchto podmínek je největší hrozbou pro rostlinnou produkci obsah soli, kdy většina rostlin nemůže růst v půdě s příliš vysokou slaností. Salinizací je ve světě postiženo více než 400 mil. hektarů půdy (často v důsledku několikaletého zavlažování). Každý den tak kvůli zasolení zmizí cca 2.000 hektarů orné půdy.

V poslední době však bylo identifikováno několik genů, které ovlivňují snášenlivost rostlin vůči soli. Čínští vědci z Huazhong Agricultural University úspěšně eliminovali jeden z těchto genů pomocí technologie CRISPR/Cas9, což vedlo ke zvýšené toleranci upravených rostlin rýže vůči vyšším koncentracím solí.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Zhang A, Liu Y, Wang F, Li T, Chen Z, Kong D, et al. (2019): Enhanced rice salinity tolerance via CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the OsRR22 gene. Mol Breeding. 2019;39:288.

[doi:10.1007/s11032-019-0954-y](https://doi.org/10.1007/s11032-019-0954-y)



PETÚNIE

Nová vlastnost: delší doba květu

Zacíleno na: spotřebitele

Země: Jižní Korea

Petúnie jsou rozšířené okrasné rostliny, které se těší velké oblibě díky rozmanitosti tvarů a barev květů. Pěstitelé petúnií si cení zejména jejich dlouhé životnosti. Rostliny vytvářejí nové květy po dlouhou dobu, tyto květy ale samy o sobě příliš dlouho nevydrží.

Jihokorejští vědci z Kyungpook National University identifikovali gen, který inhibuje produkci rostlinného hormonu (ethylen) a vypnuli ho pomocí CRISPR/Cas9. Kultivační pokusy upravených rostlin ukázaly delší dobu kvetení jednotlivých květů.

Dle posouzení amerických úřadů (USDA) tyto petúnie nespádají pod regulaci jako GMO, tudíž nepodléhají ani označování.

Zdroje:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

<http://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/article/default.asp?ID=18301>

Původní vědecký zdroj:

Xu J, Kang BC, Naing AH, Bae SJ, Kim JS, Kim H, Kim CK. (2019): CRISPR/Cas9-mediated editing of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase1 (ACO1) enhances Petunia flower longevity. 1467-7644; 2019. [doi:10.1111/pbi.13197](https://doi.org/10.1111/pbi.13197)



MANIOK

Nová vlastnost: odolnost proti viru CBSD

Zacíleno na: pěstitele

Země: USA

Maniok, známý též pod názvy kasava nebo tapiok, je důležitou základní potravinou v afrických zemích, jako jsou Burundi, Rwanda, Uganda, Keňa a Tanzanie. V těchto zemích je pěstován zejména malými farmáři. V celosvětovém měřítku je po kukuřici, rýži, pšenici a bramborách nejčastěji pěstovanou plodinou. V roce 2011 varovala Organizace pro výživu a zemědělství OSN (FAO) před rozšířením rostlinného viru, který ničí velké plochy manioku, a tím i obživu mnoha lidí. Virus je zodpovědný za chorobu *Cassava Brown Streak Disease* (CBSD), která způsobuje zhnědnutí a nepoživatelnost hlíz manioku. Zákeřnou charakteristikou nemoci je, že viditelné nadzemní části rostliny nevykazují vlastnosti virové infekce a poškození se projeví až po sklizni.

Ve výzkumu podporovaném nadací manželů Gatesových (Bill & Melinda Gates Foundation) se vědcům z Kalifornské univerzity podařilo vyprodukovat genově upravený maniok se zvýšenou tolerancí k tomuto onemocnění. Dosáhli toho odstraněním několika genů z genomu této plodiny pomocí techniky CRISPR/Cas9.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Gomez MA, Lin ZD, Moll T, Chauhan RD, Hayden L, Renninger K, et al. (2019): Simultaneous CRISPR/Cas9-mediated editing of cassava eIF4E isoforms nCBP-1 and nCBP-2 reduces cassava brown streak disease symptom severity and incidence. *Plant Biotechnology J.* 2019; 17:421-34. [doi:10.1111/pbi.12987](https://doi.org/10.1111/pbi.12987)



RAJČE

Nová vlastnost: růžové plody

Zacíleno na: spotřebitele

Země: Čína

Je prokázáno, že barva plodů ovoce a zeleniny, rajčata nevyjímaje, má významný vliv na nákupní chování spotřebitelů. Lidé v různých oblastech světa mají různé barevné preference. Například evropští a američtí spotřebitelé upřednostňují červená rajčata, zatímco růžová rajčata jsou velmi oblíbená v asijských zemích, zejména v Číně a Japonsku. Většina šlechtitelských linií však má červenou dužinu, což činí konvenční šlechtění růžových linií pro produkci asijských rajčat velmi náročným a nákladným. Čínským vědcům se podařilo pomocí CRISPR/Cas9 eliminovat gen zodpovědný za barvu plodů, a tím byli schopni vyprodukovat kompletně růžová rajčata.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Deng L, Wang H, Sun C, Li Q, Jiang H, Du M, et al. (2018): Efficient generation of pink-fruited tomatoes using CRISPR/Cas9 system. J Genet genomics. 2018; 45:51-4.

[doi:10.1016/j.jqq.2017.10.002](https://doi.org/10.1016/j.jqq.2017.10.002)



BRAMBORY

Nová vlastnost: změna složení škrobu

Zacíleno na: zpracovatele

Země: Švédsko

Brambory jsou základní surovinou v potravinářství, bramborový škrob má ale také široké využití v průmyslu. Škrob (uhlohydrát) je základní složkou brambor a skládá se ze dvou polysacharidů: amylopektinu (cca 75 %) a amylozy (cca 25 %). Pro průmyslové použití škrobu je vyžadován pouze amylopektin. Při výrobě např. lepidel a maziv musí být tedy oba typy polysacharidů od sebe nejdříve odděleny. Ačkoli je to možné provést pomocí chemických, fyzikálních nebo enzymatických mechanismů, jedná se o náročný proces, který může v závislosti na konkrétním postupu vést i k zatěžování životního prostředí.

Vědci na Švédské univerzitě zemědělských věd použili u brambor techniku CRISPR/Cas9 k odstranění genu zodpovědného za tvorbu amylozy. Výsledkem jsou genově upravené brambory, které produkují pouze amylopektin, čímž se eliminuje potřeba následného oddělování.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Andersson M, Turesson H, Nicolia A, Fält A-S, Samuelsson M, Hofvander P. (2017): Efficient targeted multiallelic mutagenesis in tetraploid potato (*Solanum tuberosum*) by transient CRISPR-Cas9 expression in protoplasts. *Plant Cell Rep.* 2017;36:117-28.

[doi:10.1007/s00299-016-2062-3](https://doi.org/10.1007/s00299-016-2062-3)



PAMPELIŠKA

Nová vlastnost: zvýšená kořenová biomasa

Zacíleno na: zpracovatele

Země: Německo

Kaučuk je součástí mnoha předmětů, s nimiž se každodenně setkáváme: pneumatiky, omítky, těsnění, gumové holínky nebo tenisky. Až dosud byl přírodní kaučuk získáván převážně z gumovníku (fikovníku pryžodárného). S rostoucí poptávkou po přírodním kaučuku a obtížemi, které pěstování gumovníku přináší (např. pomalý růst, striktní klimatické požadavky, náchylnost monokulturních plantáží k napadení škůdci nebo náklady na přepravu surovin z odlehlých oblastí), se rozšířilo hledání alternativních zdrojů této suroviny.

Pampeliška koksaghyz (*Taraxacum koksaghyz*), nazývaná „ruská pampeliška“, se v poslední době stala slibnou alternativou ke kaučukovníku díky své schopnosti produkovat a skladovat značné množství přírodního kaučuku a inulinu (zásobní látka některých rostlin) v kořenech. Domestikace pampelišky ruské však vyžaduje vývoj stabilních agronomických znaků.

Vědci z Münsterské univerzity dokázali identifikovat a s pomocí CRISPR/Cas9 odstranit gen z ruské pampelišky, což vedlo k pozitivnímu vlivu na růst kořenů. Ve srovnání s kontrolní skupinou vykazovaly upravené rostliny zlepšenou morfologii kořenů, zvýšení kořenové biomasy a zvýšený výnos inulinu i přírodního kaučuku.

Zdroj: https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj: Wieghaus A, Prüfer D, Schulze Gronover C. (2019): Loss of function mutation of the Rapid Alkalinization Factor (RALF1)-like peptide in the dandelion *Taraxacum koksaghyz* entails a high-biomass taproot phenotype. PLoS ONE. 2019;14:e0217454.

[doi:10.1371/journal.pone.0217454](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217454)



ŘEPKA

Nová vlastnost: zvýšená odolnost proti hnilobě stonku

Zacíleno na: pěstitelé

Země: Čína

Sclerotinia sclerotiorum, také známá jako hlízenka obecná nebo bílá hniloba, je houba napadající mnoho druhů rostlin, jako je např. řepka, slunečnice, brambory, luštěniny nebo zelí. Největší poškození způsobuje během období s teplým létem a vysokou vlhkostí. U řepky se příznaky nemoci projevují po odkvětu jako bílé až šedavé skvrny na hlavním stonku nebo vedlejších větvích. Uvnitř stonku se vytvoří bílé vatovité mycelium houby, které poté přeroste i na povrch rostliny. Napadené stonky se pak lámou. U řepky to může vést ke ztrátám výnosů o 5 až 100 % v závislosti na závažnosti napadení.

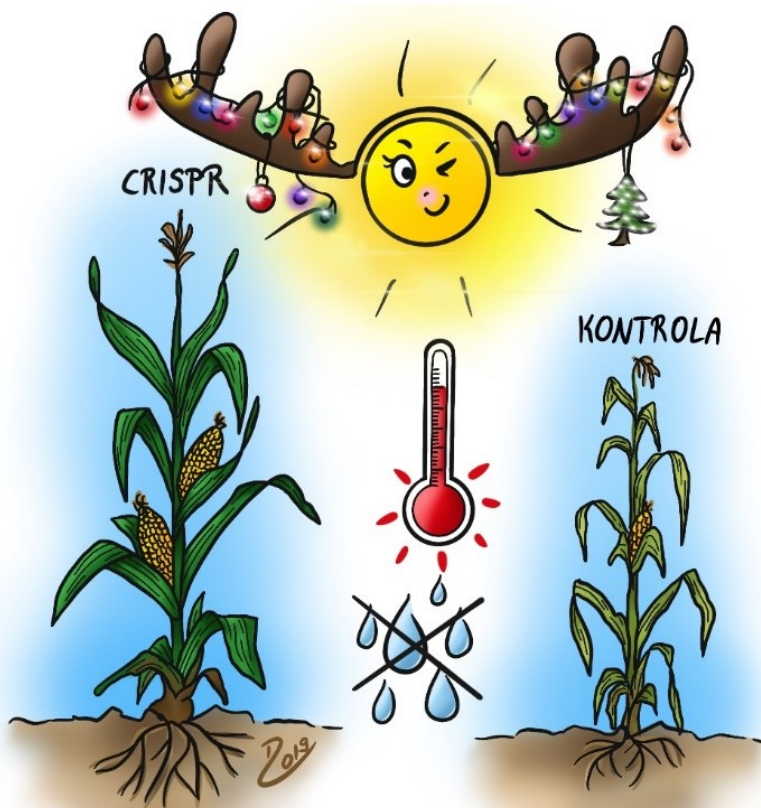
Čínští vědci na Univerzitě Yangzhou úspěšně editovali s použitím technologie CRISPR/Cas9 genom řepky olejky tím, že upravili gen *BnWRKY70*, který hraje negativní roli při vytváření rezistence rostliny vůči *S. sclerotiorum*. Upravené rostliny vykázaly zvýšenou odolnost k této patogenní houbě ve srovnání se standardní linií řepky.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Sun Q, Lin L, Liu D, Wu D, Fang Y, Wu J, Wang Y. (2018): CRISPR/Cas9-Mediated Multiplex Genome Editing of the *BnWRKY11* and *BnWRKY70* Genes in *Brassica napus* L. *Int J Mol Sci* 2018. [doi:10.3390/ijms19092716](https://doi.org/10.3390/ijms19092716)



KUKUŘICE

Nová vlastnost: tolerance vůči suchu

Zacíleno na: pěstitele

Země: USA

Lze předpokládat, že v důsledku klimatických změn budou extrémní výkyvy počasí, jako jsou vlny veder, sucha anebo silné srážky, častější a závažnější. Proto vědci z celého světa pracují na vyšlechtění plodin, které budou lépe přizpůsobeny nepříznivým vlivům vnějšího prostředí.

Vědci z DuPont Pioneer zjistili, že rostliny kukuřice se zvýšenou aktivitou genu *ARGOS8* se mohou lépe vyrovnat s podmínkami extrémního sucha. Pomocí techniky CRISPR/Cas9 upravili tento gen tak, aby zůstal aktivní ve stresových podmínkách a rostliny nepřestávaly růst i při nedostatku vody. Výsledkem bylo, že upravené rostliny dosáhly za stresových podmínek vyšších výnosů než kontrolní skupina rostlin. Tentokrát na rozdíl od předchozích výzkumů nebyla vytvořena žádná bodová mutace. V tomto případě byl na místo zlomu indukovaného CRISPR/Cas9 vložen další gen. Tento přístup umožňuje rozsáhlejší, ale stále velice přesnou genetickou modifikaci rostlinného materiálu.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Shi J, Gao H, Wang H, Lafitte HR, Archibald RL, Yang M, et al. (2017): ARGOS8 variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions. Plant Biotechnol J. 2017;15:207-16. [doi:10.1111/pbi.12603](https://doi.org/10.1111/pbi.12603)



OKURKY

Nová vlastnost: tvorba samičích květů

Zacíleno na: pěstitele

Země: Čína

Okurky přirozeně tvoří na jedné rostlině samčí i samičí květy. Protože však pouze samičí květy produkují plody, šlechtitelé se již nějakou dobu snaží zvýšit jejich podíl. Jelikož tohoto už bylo dosaženo, je nyní možné koupit na trhu odrůdy okurek jak se smíšenými květy, tak s převažujícími samičími květy nebo dokonce pouze se samičími květy. Velkou výhodou rostlin s čistě samičími květy je to, že produkují plody bez opylení a z každého květu se vyvine plod, což zvyšuje výnos.

S použitím techniky CRISPR/Cas9 vědci z Čínské akademie věd dokázali navodit změnu v genomu okurky, díky čemuž upravené rostliny vykazovaly sedmkrát více samičích květů než rostliny kontrolní. Tento přístup se může v budoucnu stát užitečným pro zvýšení výnosu smíšeně kvetoucích odrůd okurek s jinak prospěšnými vlastnostmi.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Hu B, Li D, Liu X, Qi J, Gao D, Zhao S, et al. (2017): Engineering Non-transgenic Gynoecious Cucumber Using an Improved Transformation Protocol and Optimized CRISPR/Cas9 System. Mol Plant. 2017; 10:1575-8. [doi:10.1016/j.molp.2017.09.005](https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.09.005)



ŘEPKA

Nová vlastnost: zvýšená pevnost šesulí

Zacíleno na: pěstitele

Země: Německo

Po sójových bobech je řepka olejka druhou nejvýznamnější olejninou na světě a nejdůležitější olejninou ve střední a severní Evropě. Jedna šesule řepky obsahuje v průměru 15 až 18 olejnatých semen. Pokud šesule praskne před sklizní, pak je zemědělec samozřejmě nesklidí. Odhaduje se, že právě prasknutí šesulí před sklizní způsobí snížení výnosu o 15 až 20 %. Při vysokých teplotách se ztráta výnosu ještě více prohlubuje.

Vědcům z Univerzity Christiana Alberta v Kielu se podařilo pomocí techniky CRISPR/Cas9 eliminovat gen, který negativně ovlivňuje stabilitu šesulí. Protože řepka je polyploidní rostlinou (tj. má několik kopií každého genu), všechny kopie tohoto genu musely být vypnuty. To nebylo možné s předchozími mutačními technikami používajícími chemikálie.

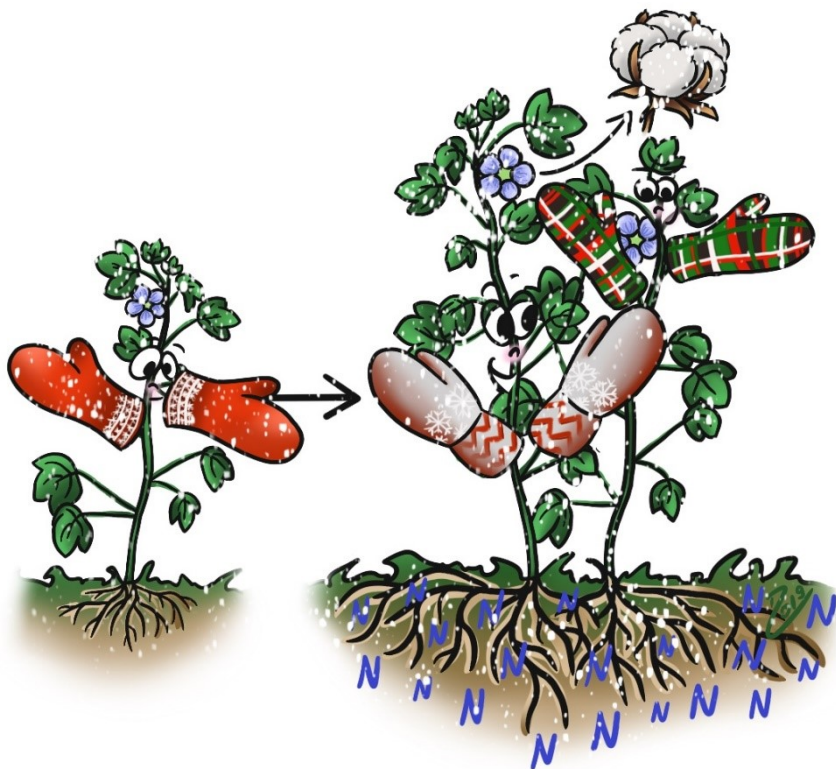
Použití technologie CRISPR/Cas9 tak otevírá nové perspektivy pro šlechtění odrůd řepky olejky, jejichž šesule nebudou praskat před sklizní ani během ní. To umožňuje výrazně zvýšit výnosy bez dalšího použití pesticidů a hnojiv.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Braatz et al. (2017): CRISPR-Cas9 Targeted Mutagenesis Leads to Simultaneous Modification of Different Homoeologous Gene Copies in Polyploid Oilseed Rape (Brassica napus). In: Plant physiology 174 (2), 9th [doi:10.1104/pp.17.00426](https://doi.org/10.1104/pp.17.00426)



BAVLNÍK

Nová vlastnost: zlepšený růst kořenů

Zacíleno na: pěstitele

Země: Čína

Správný vývoj kořenů je nezbytný pro dobrý růst rostliny, protože kořeny jsou mimo jiné zodpovědné za příjem vody a živin. Kořenové systémy jsou také klíčovým orgánem pro vnímání stresu a odpovědi na něj. Bavlík má typický kořenový systém, který zahrnuje hlavní a sekundární kořeny. Zlepšení laterální tvorby kořenů může navýšit celkovou plochu povrchu kořene, a tak podpořit růst celé rostliny bavlníku.

Čínským vědcům ze zemědělské univerzity v Anhui se podařilo s použitím metody CRISPR/Cas9 ovlivnit aktivitu enzymu arginasy, inhibující růst kořenů. Docílili toho vyřazením z činnosti genu *GhARG*, který řídí funkci arginasy. Díky tomu došlo ke zlepšení laterálního růstu kořenů.

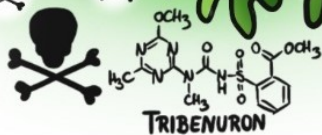
Výzkum zároveň prokázal, že technika CRISPR/Cas9 může být úspěšně použita i v případě polyploidních rostlin, mezi něž bavlník patří. Cílem čínského výzkumu je vytvoření nové, transgenní linie bavlníku, která kromě zvýšeného výnosu bude také lépe adaptována na zasolené půdy chudé na živiny a vláhu.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Wang Y, Meng Z, Liang C, Meng Z, Wang Y, Sun G, et al. (2017): Increased lateral root formation by CRISPR/Cas9-mediated editing of arginase genes in cotton. *Sci China Life Sci.* 2017;60:524-7. [doi:10.1007/s11427-017-9031-y](https://doi.org/10.1007/s11427-017-9031-y)



VODNÍ MELOUN

Nová vlastnost: tolerance k herbicidům

Zacíleno na: pěstitele

Země: Čína

Vodní meloun patří do čeledi tykvovité. Tyto rostliny vyžadují hodně prostoru pro růst, díky čemuž je jejich hustota na poli relativně nízká. V důsledku toho jsou pole vodních melounů velmi citlivá na plevely, na jejichž potlačení je nutné používat herbicidy.

Vědci z Čínské zemědělské univerzity použili techniku CRISPR/Cas9 k úpravě genomu vodního melounu. Konkrétně provedli cílovou bodovou mutaci – záměnu bází (C na T) v genu kódujícím enzym acetolaktát syntasu (ALS), který je spojován s tolerancí rostlin k herbicidům. Genovou úpravou se tak vědcům podařilo vytvořit herbicidně tolerantní, netransgenní odrůdu vodního melounu.

Dle vědců je tato nová odrůda geneticky identická s odrůdami vyšlechtěnými s pomocí tradiční mutagenese, a tedy není nutné přistupovat u ní ke speciální regulaci (jako u transgenních GMO). Nová odrůda tak může být okamžitě použita na poli a pěstitelům přinese zjednodušenou regulaci širokolistých plevelů.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Tian SW, Jiang LJ, Cui XX, Zhang J, Guo SG, Li MY, et al. (2018): Engineering herbicide-resistant watermelon variety through CRISPR/Cas9-mediated base-editing. Plant Cell Rep. 2018;37:1353-6. [doi:10.1007/s00299-018-2299-0](https://doi.org/10.1007/s00299-018-2299-0)



BRAMBORY

Nové vlastnosti: virová rezistence, tolerance k zasolení

Zacíleno na: pěstitele

Země: Rusko, Německo

Bramborový virus Y je přenášen mšicemi. Jedná se o virus, který má na svědomí největší ekonomické škody u brambor. Ztráta výnosu je způsobena především menší velikostí hlíz. Současně trpí kvalita hlíz kvůli sníženému obsahu škrobu.

V rámci dvou studií ruští a němečtí vědci vypnuli s pomocí techniky CRISPR/Cas9 určité geny, o kterých je známo, že ovlivňují interakci mezi hostitelskými rostlinami a viry. Výsledné rostliny vykazovaly méně příznaků chorob v porovnání s kontrolní skupinou. Vypnuté geny také ovlivnily odpověď rostliny na solný stres. Upravené rostliny proto také vykazovaly zlepšenou toleranci ke zvýšeným koncentracím soli.

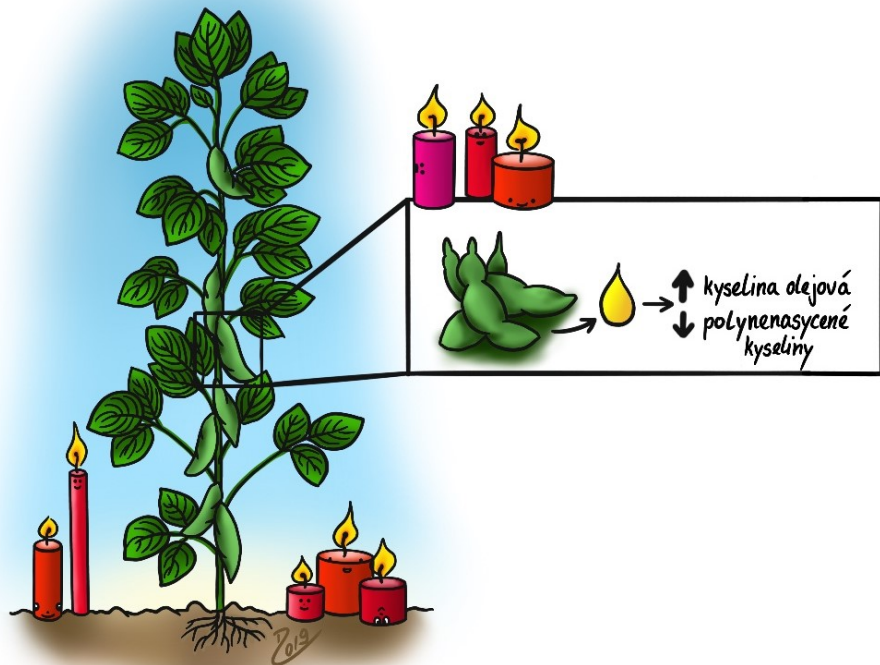
Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Makhotenko AV, Khromov AV, Snigir EA, Makarova SS, Makarov VV, Suprunova TP, et al. (2019): Functional Analysis of Coilin in Virus Resistance and Stress Tolerance of Potato *Solanum tuberosum* using CRISPR-Cas9 Editing. *Docl Biochem Biophys.* 2019; 484:88-91.

[doi:10.1134/s1607672919010241](https://doi.org/10.1134/s1607672919010241)



SÓJA

Nová vlastnost: vylepšená kvalita oleje

Zacíleno na: spotřebitele

Země: USA

Sójový olej má široké využití a obsahuje velké množství zdraví prospěšných polynenasycených mastných kyselin. Nicméně při pečení nebo smažení na olejích s vysokým obsahem těchto mastných kyselin mohou vznikat nežádoucí degradační produkty, které ovlivňují nejen chuť, ale mohou působit i rakvinotvorně. Aby se tomu zabránilo a zajistila se lepší stabilita oleje během smažení, byl tuk často uměle ztužen, což vedlo ke zvýšení obsahu transmastných kyselin. Ty hrají negativní roli ve vývoji kardiovaskulárních chorob, a jejich obsah v potravinách by měl být co nejnižší.

Vědci z americké biotechnologické společnosti Calyxt použili jako alternativu ke ztužování tuků šlechtitelskou technologii TALEN, aby vyvolali dvě specifické změny přímo v genomu sóji. Zpracované sójové boby takto genově upravené sóji obsahují méně polynenasycených mastných kyselin, které jsou při pečení a smažení nežádoucí. Zároveň se však významně zvýšil podíl jiné, zdraví prospěšné nenasycené kyseliny, a to kyseliny olejové (z cca 20 % na cca 80 %), která je tepelně a oxidačně stabilní. Výsledkem je, že se během pečení nebo smažení vytvoří méně škodlivých vedlejších produktů, a průmyslové ztužování není nutné.

Odrůda vyvinutá tímto způsobem se již komerčně pěstuje a prodává v USA, kde není klasifikována, a tedy ani regulována jako GMO (geneticky modifikovaný organismus).

Zdroj: https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Demorest ZL, Coffman A, Baltes NJ, Stoddard TJ, Clasen BM, Luo S, et al. (2016): Direct stacking of sequence-specific nuclease-induced mutations to produce high oleic and low linolenic soybean oil. BMC Plant Biol. 2016;16:225-32. [doi:10.1186/s12870-016-0906-1](https://doi.org/10.1186/s12870-016-0906-1)



BANÁNY

Nová vlastnost: virová rezistence

Zacíleno na: pěstitele

Země: Keňa, USA

Vařený banán je základní potravinou v mnoha tropických a subtropických oblastech Ameriky, Afriky a Asie. Avšak v jeho genetickém materiálu dřímá virus (*banana streak virus*), který je aktivován během stresových situací (včetně teplotního a vodního stresu). To pak vede k onemocnění rostliny, a s tím spojené ztrátě sklizně.

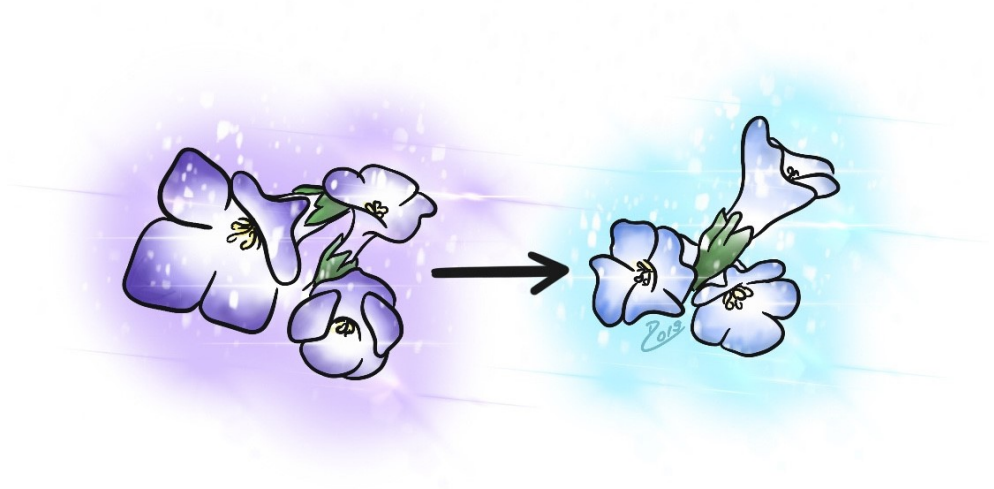
Výzkumný tým z Keni a USA použil CRISPR/Cas9 k neutralizaci viru v genomu banánu naprogramováním genetických nůžek tak, aby kontrolovaly a štěpily virové geny. Pro svou práci použili vědci kultivovanou odrůdu banánů, která je rozšířená ve východní a střední Africe.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Tripathi JN, Ntui VO, Ron M, Muiruri SK, Britt A, Tripathi L. (2019): CRISPR/Cas9 editing of endogenous banana streak virus in the B genome of Musa spp. overcomes a major challenge in banana breeding 2019. [doi:10.1038/s42003-019-0288-7](https://doi.org/10.1038/s42003-019-0288-7)



TORÉNIE

Nová vlastnost: změna barvy květu

Zacíleno na: spotřebitele

Země: Japonsko

Barva květu je jednou z nejdůležitějších charakteristik okrasných rostlin. To je důvod, proč šlechtitelé rostlin vyvíjejí velké úsilí na vyšlechtění odrůd s novými barvami květu. Dosud byla modifikovaná barva květu produkována tradičním způsobem šlechtění nebo pomocí chemikálií způsobujících mutace.

Japonští vědci z výzkumného ústavu biotechnologií Iwate (*Iwate Biotechnology Research Center*) použili jako alternativní přístup CRISPR/Cas9. Na rozdíl od původní fialové barvy torénie měly editované rostliny světle modrou až bílou barvu květu.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Nishihara M, Higuchi A, Watanabe A, Tasaki K. (2018): Application of the CRISPR/Cas9 system for modification of flower color in *Torenia fournieri*. BMC Plant Biol. 2018; 18:331.

[doi:10.1186/s12870-018-1539-3](https://doi.org/10.1186/s12870-018-1539-3)



CITRUSY

Nová vlastnost: odolnost proti rakovině citrusů

Zacíleno na: pěstitele

Země: USA, Čína

Rakovina citrusů je bakteriemi způsobené onemocnění, které vede ke značnému snížení úrody ve všech pěstitelských oblastech citrusů na světě. V současné době je primární strategie boje proti rakovině citrusů založena na integrovaném přístupu, který spočívá v produkci sazenic bez výskytu chorob, kácení napadených stromů a používání antibiotik. Tyto metody mají ale značné nevýhody, jako je vysoká cena, rizika pro zdraví lidí a zvířat a negativní dopad na životní prostředí. Z dlouhodobého hlediska je šlechtění odrůd odolných vůči rakovině citrusů důležitým alternativním přístupem.

Vědci z Floridské univerzity dokázali eliminovat gen v grapefruitu metodou CRISPR/Cas9. Takto upravené rostliny vykazovaly v následných studiích, na rozdíl od kontrolní skupiny, zlepšenou odolnost proti rakovině citrusů. Vědci z Jihozápadní univerzity v Číně vypnuli stejný gen v pomerančích, aby vyvinuli pomeranče rezistentní na rakovinu.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecké zdroje:

Jia H, Zhang Y, Orbović V, Xu J, White FF, Jones JB, Wang N. (2017): Genome editing of the disease susceptibility gene CsLOB1 in citrus confers resistance to citrus canker. *Plant Biotechnol J.* 2017; 15:817-23. [doi:10.1111/pbi.12677](https://doi.org/10.1111/pbi.12677)

Peng A, Chen S, Lei T, Xu L, He Y, Wu L, et al. (2017): Engineering canker-resistant plants through CRISPR/Cas9-targeted editing of the susceptibility gene CsLOB1 promoter in citrus. *Plant Biotechnol J.* 2017; 15:1509-19. doi.org/10.1111/pbi.12733



PŠENICE

Nová vlastnost: *delší klidové období semen*

Zacíleno na: *pěstitele*

Země: *Japonsko*

V asijských monzunových oblastech vede klíčení obilí na poli před sklizní k výraznému zhoršení kvality zrna. Takzvaná klidová fáze semene, tj. fáze před klíčením, je proto jednou z nejdůležitějších agronomických charakteristik obilovin, a delší klidová fáze je důležitým šlechtitelským cílem.

Vědci na Okayama University v Japonsku upravili pomocí CRISPR/Cas9 genom pšenice, v kterém docílili trojnásobného knockoutu genu *Qsd1*. Podařilo se jim tak eliminovat všechny chromozomové sady genu zapojeného do regulace délky klidové fáze (dormance) semen. Genově upravené rostliny vykázaly podstatně delší klidovou fázi semen ve srovnání s divokým typem pšenice. To je přínosem před sklizní, kdy se omezuje nežádoucí klíčení obilí, a zlepšuje se tak kvalita sklizeného zrna.

Navíc takto získaná nová linie pšenice je netransgenní, tedy nebude pravděpodobně spadat pod regulační procesy jako GMO.

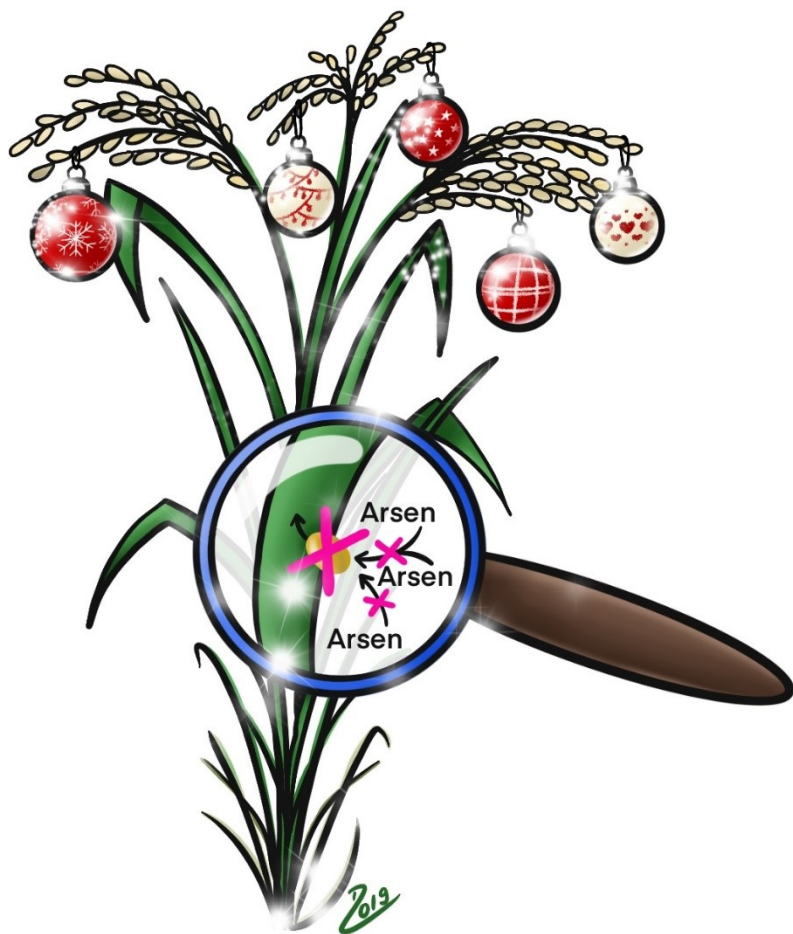
Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Abe F, Haque E, Hisano H, Tanaka T, Kamiya Y, Mikami M, et al. (2019): Genome-Edited Triple-Recessive Mutation Age Seed Dormancy in Wheat. Cell Rep. 2019; 28:1362-1369.e4.

[doi:10.1016/j.celrep.2019.06.090](https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.06.090)



RÝŽE

Nová vlastnost: snížený obsah arsenu

Zacíleno na: spotřebitele

Země: Čína

Arsen je chemický prvek, který se přirozeně vyskytuje v zemské kůře a podzemní vodou se dostává i do potravinového řetězce. Rezidua arsenu způsobují zdravotní problémy, jako jsou kožní změny, poškození cév a nervů a při nadměrné expozici i rakovinu. V EU jsou proto stanoveny maximální povolené limity arsenu v potravinách, a to 0,2 až 0,3 mg/kg pro běžné potraviny a 0,1 mg/kg pro kojeneckou výživu.

Rýže, která je většinou pěstována na zaplavených polích, je obzvláště náchylná k akumulaci arsenu v celé rostlině i zrnech. Kromě změn kulivačních podmínek, které jsou ale doprovázeny nižším výnosem, hraje rozhodující roli při redukci arsenu také výběr odrůdy.

Čínští vědci na Sun Yat-sen University identifikovali gen zodpovědný za transport arsenu do rostliny. Tento gen byl eliminován technikou CRISPR/Cas9, čímž se snížil jak transport arsenu do rostliny, tak i jeho akumulace v rýžovém zrne. Výsledky poskytují důležité poznatky pro budoucí šlechtění odrůd se sníženými rezidui arsenu.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Ye Y, Li P, Xu T, Zeng L, Cheng D, Yang M, Luo J and Lian X (2017): OsPT4 Contributes to Arsenate Uptake and Transport in Rice. Front. Plant Sci. 8:2197.

[doi:10.3389/fpls.2017.02197](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02197)



VINNÁ RÉVA

Nová vlastnost: rezistence proti plísni šedé

Zacíleno na: pěstitele

Země: Čína

Plíseň šedá (*Botrytis cinerea*) je rozšířeným škůdcem napadajícím přes 2.000 hostitelských rostlin. Ve vinařství se mohou problémy s *Botrytis cinerea* objevit vlivem vlhkého prostředí nebo při mechanickém poškození plodů v důsledku např. krupobití nebo silných srážek. Pokud plíseň napadne nezralé bobule, způsobí to ztrátu na výnosu a kvalitě. Odrůdy s bobulemi se slabší slupkou, jako jsou Müller-Thurgau a Ryzlink, jsou obzvláště citlivé. Pokud k zamoření dojde i přes preventivní opatření, lze v konvenční kultivaci jako poslední možnost použít fungicidy (až dvě aplikace za rok) nebo hydrogenuhličitan draselný (až šest aplikací za rok).

Vědci z Northwest A&F University v Číně použili techniku CRISPR/Cas9 k mutaci genu známého pro svou roli v obraně proti biotickému stresu. Výsledky experimentu ukázaly u modifikovaných rostlin zvýšenou toleranci vůči plísni šedé. Takové přístupy mohou snížit používání pesticidů a přispět k zemědělství více šetrnému k životnímu prostředí.

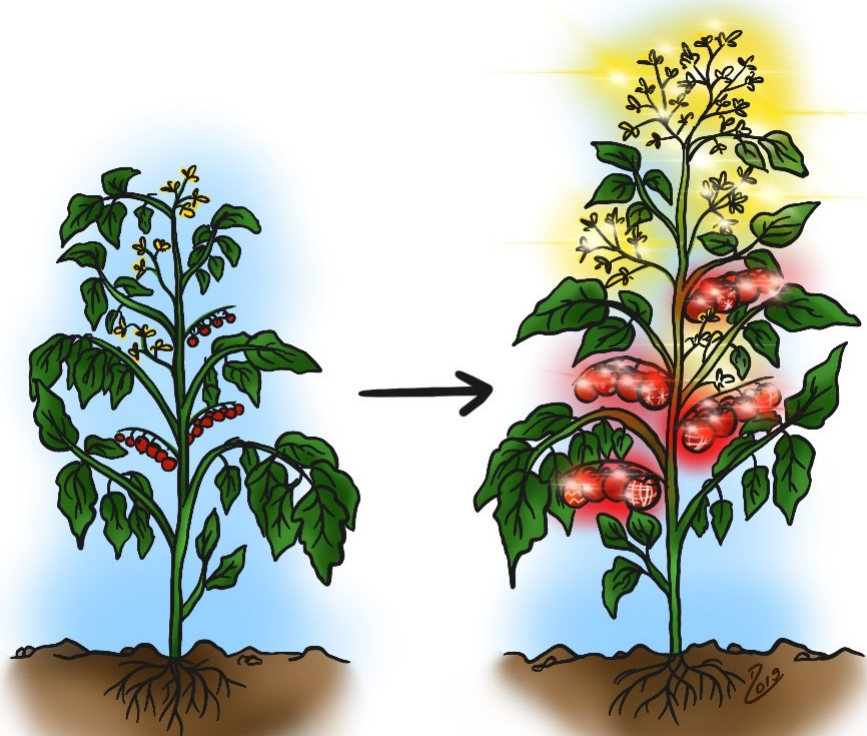
Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Wang X, Tu M, Wang D, Liu J, Li Y, Li Z, et al. (2018): CRISPR/Cas9-mediated efficient targeted mutagenesis in grape in the first generation. Plant Biotechnol J. 2018; 16:844-55.

[doi:10.1111/pbi.12832](https://doi.org/10.1111/pbi.12832)



DIVOKÉ RAJČE

Nové vlastnosti: zlepšený růst, více květů, větší plody, větší obsah lykopenu

Zacíleno na: pěstitele, spotřebitele, šlechtitele

Země: Brazílie, Německo

Divoké rajče (*Solanum pimpinellifolium*) je předkem rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum*) s typickými vlastnostmi divoké rostliny, jako jsou například plody velikosti hrášku.

V rámci mezinárodního projektu se podařilo s pomocí CRISPR/Cas9 upravit současně několik genů společných pro všechny odrůdy rajčat, a tak zlepšit jejich vlastnosti, jako je růst, výnos, počet plodů a jejich velikost. Čtyři z těchto genů byly úspěšně editovány a vědci byli schopni pozorovat požadované účinky již po jedné generaci rostlin. Zlepšený růst, více květů a větší plody tak proměnily divokou rostlinu v typickou kulturní. Další genová úprava přinesla plodům také zvýšený obsah lykopenu, významného antioxidantu.

Tento přístup by se mohl v budoucnu stát obecně zajímavým, protože mnoho užitečných vlastností, jako je lepší odolnost nebo vyšší obsah živin, vymizelých s konvenčními šlechtitelskými technikami, lze jinak znovu získat pouze složitým a dlouholetým křížením s divokou rostlinou.

Zdroj:

https://progressive-agrarwende.org/advent_calendar/?lang=en

Původní vědecký zdroj:

Zsögön, A., Čermák, T., Naves, E. et al. (2018): De novo domestication of wild tomato using genome editing. *Nat Biotechnol* 36, 1211–1216; 2018. <https://doi.org/10.1038/nbt.4272>

Publikaci vydal [BIOTRIN, z.s.](#) na základě podkladů společného projektu iniciativ [Progressive Agrarwende](#) a [Grow Scientific Progress](#).

Překlad a úpravu textů zajistili členové BIOTRINu, z.s.: Ing. Simona Lencová, Ing. Eliška Čermáková, Ing. Diliara Jílková, Mgr. Ondřej Chlumský a Ing. Marie Říhová, Ph.D.

Původní texty: Dominik Modrzejewski (Progressive Agrarwende)

Ilustrace: © Daria Chrobok, [DC SciArt](#)

Grafika: Ing. František Opička, CSc.

Tisk: Studio 66 & Partners, s.r.o., Praha 9

Finanční podpora: Velvyslanectví USA

Praha, 2020

(aktualizace leden 2021)

