

BIOTRIN

Speciální vydání Světa biotechnologií



Pivovarnictví budoucnosti:

Produkce piva s využitím nových genomických technik

Pivo a změna
klimatu

Přínos NGT
v pivovarnictví

České
chmelové prvenství



ÚVOD	03
VÝROBA PIVA: OD POČÁTKŮ PO MODERNÍ TECHNOLOGIE	04
PRODUKCE PIVA V DOBĚ KLIMATICKÝCH ZMĚN	06
GENETICKÉ MODIFIKACE, NOVÉ GENOMICKÉ TECHNIKY A JEJICH VYUŽITÍ V PIVOVARNICTVÍ	08
UPLATNĚNÍ NGT PŘI VÝROBĚ PIVA	10
VÝZKUM CHMELE V ČESKÉ REPUBLICE	17
ZÁVĚR	20
ZDROJE	21



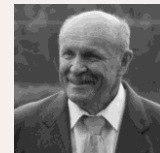
EDITOŘI:



Prof. Ing. Kateřina Demnerová, CSc.
VŠCHT PRAHA



Ing. Simona Lencová, Ph.D.
VŠCHT PRAHA



RNDr. Slavomír Rakouský, CSc.
JU V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

AUTOŘI TEXTU:



Ing. Tereza Branyšová, Ph.D.
MBÚ AV ČR



Ing. Kristýna Kliková
VŠCHT PRAHA



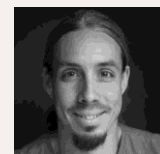
Ing. Simona Lencová, Ph.D.
VŠCHT PRAHA



Ing. Václav Peroutka
VŠCHT PRAHA



Mgr. Lucie Horáková
BFÚ AV ČR



Ing. Vojtěch Hudzieczek, Ph.D.
BFÚ AV ČR

AUTORKA ILUSTRACÍ A GRAFICKÉ PODOBY:



Ing. Barbora Hošková
VŠCHT PRAHA

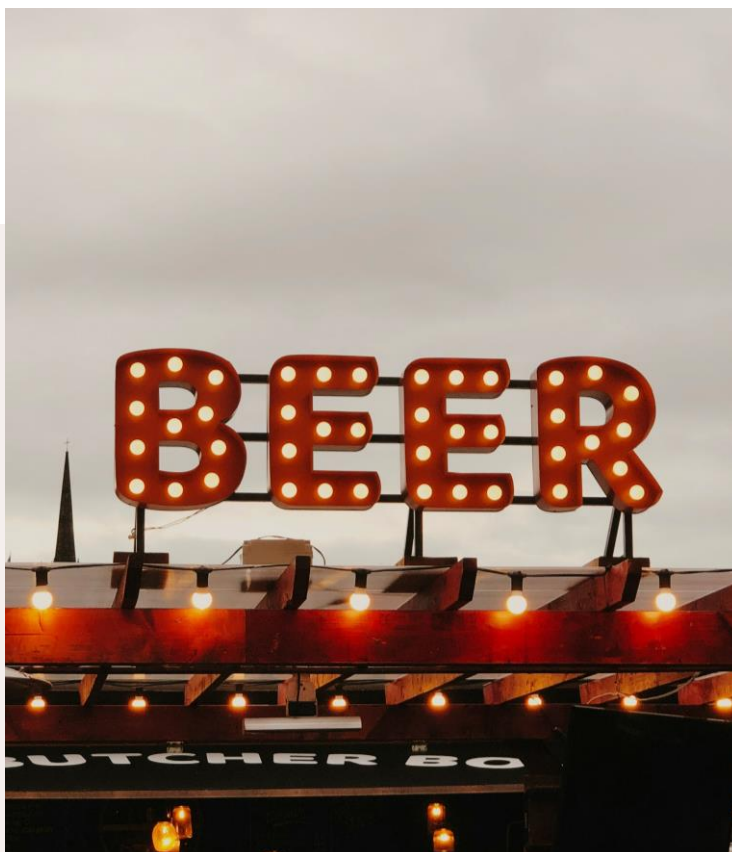
ÚVOD

Pivo je odnepaměti považováno za český národní nápoj a stalo se tak nedílnou součástí našeho kulturního bohatství. Výroba tohoto zlatého moku prošla od dob jeho objevení mnoha proměnami a pivo tak, jak ho známe dnes, je výsledkem nezadržitelného technologického pokroku posledních staletí. Na trhu je dostupné nepřehledné množství typů pív, lišících se způsobem kvašení, stupňovitostí, obsahem alkoholu či barvou.

Vaření piva je poměrně složitý, komplexní proces, v němž hraje zásadní roli kvalita vstupních surovin, jmenovitě vody, sladu, chmele a kvasinek. Dlouhodobé udržení vysoké kvality těchto surovin za současně požadované vysoké produkce piva je problematikou, která v posledních letech vyvolává řadu obav nejen u pivovarníků, ale i konzumentů. Dopady klimatických změn nekompromisně zasahují i do této oblasti a proto je na místě hledat způsoby jak je zmírnit, nebo lépe, jak jim předcházet.

Jednou ze slibných možností je využití nových genomických technik (NGT), které již byly úspěšně využity pro cílené úpravy ječmene, chmele i kvasinek. Kromě zvýšení odolnosti ječmene a chmele vůči nepříznivým vlivům, jako je sucho či napadání škůdci, bylo pomocí NGT dosaženo i cílených úprav kvasinek, a to například za účelem snížení tvorby nežádoucího diacetylu nebo zvýšení produkce příjemných aromat a chutí. NGT se tak pomalu, ale jistě, dostávají do popředí technologického pokroku v pivovarnictví a nemalý podíl na tom mají právě čeští vědci.

Co vše tyto metody nabízejí a jakých pokroků již díky nim bylo dosaženo? Odpovědi nejen na tyto otázky najdete ve speciálním vydání již tradičního bulletinu Svět biotechnologií, jehož čtení si nejlépe vychutnáte se sklenkou svého oblíbeného, dobře vychlazeného piva.



VÝROBA PIVA: OD POČÁTKŮ PO MODERNÍ TECHNOLOGIE

Jak známo, Česká republika již řadu let okupuje první pozici v žebříčku spotřeby piva v přepočtu na obyvatele, přičemž k této naší oblíbenosti, kromě nepopíratelné kvality, jistě přispívá i fakt, že je pivo v restauracích mnohdy levnější než voda. Pivo však vždy nevypadalo a nechutnalo tak, jak jej dnes známe, a během své fascinující historie prošlo nevídanou evolucí.

Mezi prvními, kdo připravoval tento mok, který bychom dnes jen s velkou dávkou fantazie označili za "pivo", byli starověcí Sumeři a Babyloňané již 6 000 let před naším letopočtem. Uctívali dokonce bohyni piva jménem Ninkasi a hymnus na ni bývá považován za nejstarší známý recept, respektive poetický popis procesu vaření piva. Později se pivo stalo každodenním chlebem Egypťanů, od kterých se skrze obchodní cesty rozšířilo do Evropy a později i zbytku světa. Toto prapůvodní pivo bylo však spíše nakvašenou kaší, nápoji se začalo podobat až později. Ve středověké Evropě značně zdokonalili pivovarnické umění mniši, kteří do piva začali hojně přidávat chmel kvůli hořkosti a zvýšení jeho trvanlivosti. V různých kulturách se díky regionálním přísadám a tradicím pivo diverzifikovalo do mnoha podob od typicky střeoevropských ležáků přes svrchně kvašená piva typu ALE, tmavé portery a stouty, až k noční můře pivních puristů – kyseláci (Sour). V době průmyslové revoluce se díky technologickému pokroku výroba piva zefektivnila, stala se konzistentnější a otevřela se cesta k modernímu pivovarnictví.

Přestože jsou k výrobě piva nutné pouze čtyři suroviny – voda, slad, chmel a kvasinky, je vaření piva dle dnešních standardů poměrně složitý proces. Vše začíná výrobou sladu. Zrna ječmene (obvykle vyšlechtěných tak, aby

obsahovala málo dusíku) se namočí do vody a nechají se naklíčit. Během této fáze se aktivují enzymy, které přeměňují složitější sacharidy (škroby) na zkvasitelné cukry. Tento krok je klíčový, protože bez těchto cukrů by nebylo možné kvašení, při němž vzniká alkohol. Naklíčená zrna, kterým se nyní říká „zelený slad“, se poté přemístí do sušárny, kde se suší při procesu, jež nazýváme hvozdnění, aby došlo k zastavení jejich dalšího klíčení. Teplota v sušárně určuje chuťový profil sladu: při nižších teplotách vznikají světlejší slady pro světlá piva, zatímco při vyšších teplotách slady karamelizují a získávají pražené chutě typické pro stouty a portery. Sušený slad se dále mele, aby se zrna rozbila a uvolnily se z nich škroby.

Po sladování následuje rmutování. Rozdrcená zrna se smíchají s horkou vodou v nádobě zvané rmutovací pánev. Během rmutování pokračují aktivované enzymy ve své práci, štěpí škroby na cukry a vytvářejí hustou sladkou tekutinu zvanou mladina. Tento proces je



vědou i uměním, protože je třeba pečlivě kontrolovat teplotu a čas, aby byla zajištěna správná rovnováha zkvasitelných a nezkvasitelných cukrů, což v konečném důsledku ovlivňuje sladkost, obsah alkoholu a celkovou plnost piva.

Po dokončení rmutování se mladina musí oddělit od obilných slupek. Tento proces se nazývá scezování. Mladina se poté shromáždí a převede do velkého kotle, kde se přivede k varu. Vařením se mladina sterilizuje a zajistí se čisté kvašení. Během této fáze varu se do piva kvůli vyvážení sladké chuti přidává chmel – a to buď přímo šišticovité květy chmele, nebo častěji zpracované chmelové produkty – slisované chmelové pelety či extrakty. I díky oblibě piva je chmel jednou z nejvíce šlechtěných rostlin. Ve světě existují tisíce různých odrůd lišících se klimatickými nároky, produktivitou i svými výslednými senzoryckými vlastnostmi. Kromě charakteristické hořkosti vnáší chmel do piva různé aromatické a chuťové tóny, a navíc díky svým antimikrobiálním vlastnostem působí jako přírodní konzervant. Načasování přídatku chmele zásadně mění chuť piva; časný přídatek během varu přispívá k větší hořkosti, zatímco později přidaný chmel spíše než chuť upravuje pivní aroma.

Po varu se horká mladina rychle zchladí pro zakvašení. Zde přichází na řadu kvasinky. Pro piva typu ALE se jedná konkrétně o druh *Saccharomyces cerevisiae* (ev. hybridy této kvasinky), jež kvasí

nejlépe při vyšších teplotách, obvykle mezi 15–22 °C. Mezi ležákové kvasinky pak patří především *Saccharomyces pastorianus*, jež kvasí při nižších teplotách mezi 7–13 °C a vytváří čistší a ostřejší chuť. Kvašením dochází k metabolické přeměně cukrů na alkohol a oxid uhličitý. Kvašení a následné zrání piva probíhá dle typu obvykle od jednoho týdne (ALE) po celé měsíce (ležáky). Někteří pivovarníci přidávají během fáze zrání opět chmel (studené chmelení). To dodává pivu intenzivní chmelové aroma, aniž by přidávalo mnoho hořkosti.

Po kvašení se pivo filtruje, i když ne vždy – některá piva, jako je pšeničný Hefeweizen, či některé belgické ALE, se záměrně nefiltrují, aby byly zachovány specifické chuťové a texturní vlastnosti.

Nakonec je pivo připraveno k plnění, a to buď do lahví, plechovek, nebo sudů, a následné distribuci. Každý způsob balení má své výhody: lahve jsou tradiční a vhodné pro zrání, plechovky chrání pivo před světlem a kyslíkem a sudy jsou ideální pro udržení čerstvosti po delší dobu. Výsledkem je při dodržení náležitých technologických postupů nádherný komplexní nápoj, ve kterém se zrcadlí vedle kvality použitých surovin i pečlivost řemeslného zpracování.



PRODUKCE PIVA V DOBĚ KLIMATICKÝCH ZMĚN

V posledních letech se čím dál častěji hovoří o globálním oteplování a klimatických změnách, které s ním souvisejí. Tyto změny představují významnou výzvu pro mnoho odvětví, včetně pivovarnictví. Především ovlivňují pěstování základních surovin, což má následně dopad na celý proces výroby piva – od kvality a dostupnosti surovin až po finální produkt.

Zvyšující se teploty mění prostředí a zvyšují četnost extrémních hydrologických jevů a sucha. V mnoha částech světa se extrémní sucho stává jednou z nejničivějších přírodních katastrof a očekává se, že jeho četnost a intenzita bude i nadále růst. Sucho negativně ovlivňuje i zemědělskou produkci, a je tak považováno za jedno z hlavních přírodních rizik s dalekosáhlými dopady na životní prostředí, společnost a hospodářství.

Jednou z klíčových surovin pro výrobu piva je chmel, jehož pěstování je omezeno na relativně malé regiony s vhodnými podmínkami prostředí.



S rostoucí frekvencí veder a extrémního sucha v důsledku klimatických změn hrozí, že velká část produkce chmele bude vážně ohrožena. Pěstitele chmele proto již nyní reagují na změny klimatu přesunem chmelnic do vhodnějších lokalit (vyšší nadmořské výšky), instalací zavlažovacích systémů nebo šlechtěním odolnějších odrůd. Cílem těchto opatření je zajistit, aby generativní fáze růstu chmele probíhala za vhodných podmínek. To zahrnuje i zpomalování růstu rostlin pomocí inhibitorů růstu nebo ochranu před přímým slunečním zářením pomocí stínících konstrukcí, jejichž instalace jsou však finančně náročné. Zvýšené riziko sucha lze také zmírnit méně častým obděláváním chmelnic, změnami v hnojení a používáním krycích plodin.

I když je pivo často spojováno s příjemnými chvílemi relaxace, jeho výroba má značný dopad na životní prostředí. Tento oblíbený nápoj totiž přispívá ke klimatickým změnám více, než by se na první pohled mohlo zdát. Výroba piva patří mezi potravinářské procesy s jedním z největších dopadů na životní prostředí, a pivovary tak čelí několika klíčovým environmentálním výzvám.

Jedním z největších problémů je vysoká spotřeba energie, přičemž pivovary často spoléhají na fosilní paliva jako zemní plyn, ropu a uhlí. Tato závislost významně přispívá k emisím skleníkových plynů a prohlubuje klimatické změny. Je proto nezbytné, aby pivovarnický průmysl usiloval o snížení své uhlíkové stopy. To může zahrnovat přechod na obnovitelné zdroje energie, zvýšení energetické efektivity výrobních procesů a využívání technologií pro zachycování a ukládání uhlíku.

Další zásadní výzvou je využívání vodních zdrojů. Výroba piva je velmi náročná na spotřebu vody. Výrobou každého litru piva vzniká tři až deset litrů odpadních vod. Toto značné množství může

mít negativní dopad na kvalitu místních vodních zdrojů. Pivovary proto přijímají opatření ke snížení své vodní stopy, včetně recyklace odpadní vody a zavádění pokročilých systémů čištění, které nejen snižují spotřebu vody, ale zároveň minimalizují množství produkované odpadní vody.

Neméně důležitým problémem je produkce pevného odpadu. Tento odpad, zahrnující zbytky z pivovarské výroby, jako je použité zrn (14–20 kg/hl piva), kvasnice (2–5kg/hl) a kaly (0,2–0,4 kg/hl), ale i obalový materiál, představuje další ekologickou zátěž. Některé z organických odpadových materiálů, jako jsou kvasnice a zrn, však nacházejí další využití, například v krmivech pro hospodářská zvířata.

Lze tak konstatovat, že klimatické změny představují významnou výzvu pro pivovarnický průmysl, ale zároveň nabízejí příležitost k zásadním inovacím a přijetí udržitelnějších postupů.

Současná situace volá po komplexních opatřeních napříč celým dodavatelským řetězcem, od pěstování chmele a ječmene až po samotný proces výroby piva. Pivovary musejí investovat do obnovitelných zdrojů energie, optimalizovat spotřebu vody a efektivněji nakládat s odpadem. Bez těchto kroků bude produkce piva čelit stále větším výzvám, které mohou ohrozit nejen její ekonomickou výnosnost, ale v některých regionech i její samotnou existenci. Spolupráce mezi pivovarnickým průmyslem, výzkumnými organizacemi a vládními institucemi bude klíčová pro hledání dlouhodobě udržitelných řešení. Udržitelnost a inovace by se proto měly stát prioritou celého odvětví, aby pivo mohlo zůstat nejen oblíbeným nápojem, ale i produktem vyráběným s respektem k naší planetě.



GENETICKÉ MODIFIKACE, NOVÉ GENOMICKÉ TECHNIKY A JEJICH VYUŽITÍ V PIVOVARNICTVÍ

V posledním desetiletí došlo k rychlému a dynamickému rozvoji technologií umožňujících genetické modifikace a úpravy genů, které mají zásadní význam pro zlepšení vlastností nejen zemědělských plodin, ale i dalších rostlin, zvířat a mikroorganismů. Genetických úprav je dosahováno pomocí konvenčních genetických modifikací, tzv. transgenozí, nebo moderních nových genomických technik (NGT), jako je například CRISPR/Cas9, které umožňují vysoce přesné úpravy DNA na úrovni jednotlivých genů.

K nejčastěji používaným metodám pro genetické modifikace organismů (GMO) patří transformace zprostředkovaná bakterií *Agrobacterium tumefaciens*, která umožňuje přenos genů do jiných organismů, či mikroorganismů. Tato metoda je tradičně využívána především k transformaci rostlin. Naproti tomu pro genetické modifikace kvasinek se osvědčily metody založené na usnadnění průchodu izolované, laboratorně upravené deoxyribonukleové kyseliny (DNA) do jejich buněk (například prostřednictvím dočasně narušené či odstraněné buněčné stěny). V pivovarnictví a sladovnictví jsou aplikovány nejčastěji pro úpravu kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* s cílem zlepšit chuť piva a zvýšit toleranci k vyšším koncentracím alkoholu, což vede k vyšší výtěžnosti, nebo omezit vznik nežádoucích vedlejších produktů během fermentace. Ačkoliv má tato technologie potenciál pro komerční využití v pivovarnictví, nachází se stále ve fázi vývoje a výzkumu. Hlavní překážkou jejího širšího přijetí jsou obavy spojené s regulací a přijetím GMO produktů veřejností. Do popředí výzkumného zájmu se tak dostávají NGT, jež jsou oproti GMO méně invazivní a přesnější.

Jako NGT jsou souhrnně označovány metody, pomocí nichž je možné měnit a upravovat

genetický materiál organismu s větší přesností a cíleností, než je tomu u tradičního šlechtění nebo klasických genetických modifikací (GM). Mezi základní NGT patří cílená mutagenese, cisgenese, nebo intragenese. Tyto metody umožňují cíleně upravit genetický materiál bez vnesení cizorodých genů, byť jejich počáteční kroky mnohdy na postupech GM spočívají. Ve své podstatě však do značné míry kopírují procesy, jež nastávají běžně v přírodě. To je odlišné oproti tradičním GM, které umožňují mezidruhový přenos genetického materiálu i mezi druhy.

Největšího úspěchu a využití NGT dosáhla technologie editace genů pomocí CRISPR (z angl. *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*), konkrétně CRISPR/Cas9. Díky této metodě se výrazně urychlilo studium genů a vývoj nových vlastností u mnoha organismů v důsledku přesných a efektivních změn genomu. Hlavními přednostmi systému CRISPR/Cas9 jsou jeho flexibilita a vysoká specifita. Princip této metody spočívá ve schopnosti zapnout, vypnout nebo upravit cílový gen (geny) na vhodnější varianty, čímž se zvýší rychlost a přesnost současného šlechtění rostlin. Další výhodou je možnost cílení na více genů současně. Na rozdíl od dříve používaných technologií editace genomu lze CRISPR/Cas9 snadno přizpůsobit konkrétním cílovým sekvencím DNA.

V pivovarnictví je výzkum využití CRISPR/Cas9 zaměřen na ječmen, chmel i kvasinky. V případě ječmene a chmele je uplatňován především za účelem zmírnění dopadů klimatických změn, zvýšení odolnosti vůči patogenům, tolerance vůči abiotickému stresu, zlepšení výnosů nebo nutriční kvality plodin. Kvasinky, které hrají klíčovou roli v chuti, textuře a aromatu piva, jsou díky rostoucímu zájmu o nové

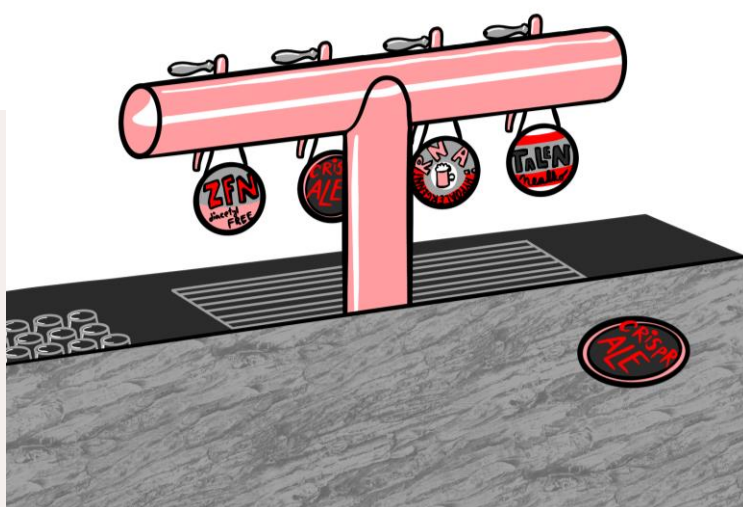
příchutě a druhy pív geneticky editovány pomocí CRISPR/Cas9 za účelem vzniku nových mutantních kmenů s požadovanými vlastnostmi. Tento systém se využívá také při kvašení kyselého piva, kde jsou kvasinky modifikovány na odolnost vůči nízkému pH a produkci kyseliny mléčné. Další úpravy zahrnují adaptaci na metabolismus maltózy nebo zvýšení tvorby aromatických sloučenin.

Kromě CRISPR/Cas9 existují i další NGT techniky využívané v pivovarnictví. Tyto metody, ačkoli méně známé než CRISPR, nabízejí další možnosti pro genetické úpravy organismů důležitých pro výrobu piva. Mezi tyto techniky patří TALEN, ZFN a RNAi. TALEN (*Transcription Activator-Like Effector Nucleases*) je metoda umožňující přesné rozpoznání a štěpení DNA na specifickém místě pomocí tzv. TALE proteinů a enzymu nukleázy. Změny vytvořené technologií TALEN jsou vysoce specifické a přesné, díky čemuž jsou vhodné pro úpravy genomů v různých organismech. V pivovarnickém kontextu je technika TALEN využívána zejména v genovém inženýrství kvasinek za účelem zlepšení fermentačních procesů. V případě vyřazení genu odpovědného za regulaci produkce ethanolu může dojít ke zvýšení výtěžnosti bioethanolu nebo glycerolu, což je klíčové například při výrobě

nízkoalkoholických pív.

ZFN (*Zinc Finger Nucleases*) je genetický nástroj, který umožňuje úpravu DNA za použití tzv. zinkových prstů – malých proteinů vázajících se na konkrétní úsek DNA – a enzymu nukleázy, který tuto DNA štěpí. Tato technika se využívá mimo jiné ke genetické úpravě kvasinek využitelných při fermentaci piva. Umožňuje například zvýšení produkce ethanolu, kontrolu a regulaci tvorby nežádoucích vedlejších produktů, jako je diacetyl, nebo cílené úpravy metabolických drah kvasinek, například při zvýšení produkce esteru dodávajícího pivu ovocné aroma.

Další NGT technikou je tzv. RNA interference (RNAi), která je používána k částečnému zastavení nebo úplnému potlačení exprese konkrétních genůablokováním nebo degradací mRNA molekul, které jsou součástí přepisu genů do proteinu. Technika RNAi se používá k dosažení vysoce cílených genetických modifikací. V pivovarnictví a sladovnictví ji lze využít především pro úpravu plodin, a to například pro snížení regulace nežádoucích vlastností, snížení produkce alergenních proteinů, zlepšení složení zrna a výnosnosti nebo zvýšení odolnosti vůči stresu.



UPLATNĚNÍ NGT PŘI VÝROBĚ PIVA

Kvasinky:

Z mikrobiologického hlediska asi není v pivovarnické technologii zajímavějšího procesu nežli kvašení. Již na středních školách se žáci učí, že v průběhu alkoholového kvašení dochází prostřednictvím mikroorganismů k přeměně sacharidů, respektive cukrů, na oxid uhličitý a ethanol. Realita je však mnohem komplexnější, než by se mohlo na první laický pohled zdát.

Kromě alkoholového kvašení známe další druhy kvašení. Za zmínku stojí především kvašení octové, mléčné či propionové, které byť mají z potravinářského hlediska také význam, v technologii výroby piva jsou nežádoucí. I při samotném alkoholovém kvašení však dochází k produkci mnohem více látek a metabolitů než jakými jsou výše zmíněný ethanol a CO_2 . Vzniká při něm také řada dalších důležitých sloučenin, které přispívají k chuti a vůni hotového piva. Mezi tyto látky patří například vonné estery (ethylacetát či isoamyl-acetát), které jsou zodpovědné za ovocné a květinové aroma, hořké fenolické látky, těkavé thioly, vyšší alkoholy, organické kyseliny a mnohé další. Pouze některé z těchto látek však ovlivňují chuť piva pozitivně. Tato komplexnost kvasné technologie poukazuje na to, jak důležitou roli ve správné výrobě hrají kvasinky. Stejně tak jako je tomu v případě rostlin, i kvasinky lze šlechtit – dosáhnout však specifického výsledku je kvůli velikosti a rychlosti růstu kvasinkových populací a jejich náchylnosti ke kontaminaci poměrně složité.

K řešení nejen tohoto problému nyní mohou přispět NGT. Vzhledem k tomu, že NGT umožňují cílenou manipulaci s genomem, posouvají hranice možností úprav vlastností kvasinek. NGT kvasinky jsou schopné zlepšit technologii výroby piva, a to od úpravy chuťových

profilů přes zefektivnění výroby až po snížení dopadu vlastní technologie na životní prostředí.

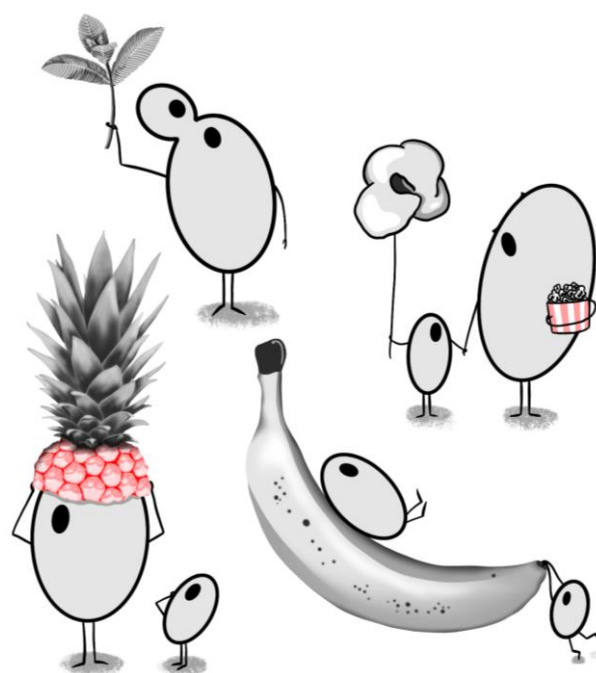
Při využití NGT v bioinženýrství pivovarských kvasinek se CRISPR stal jednou z klíčových, účinných technologií editace genomu, která je a schopná přesně identifikovat a upravovat cílové geny. Detailní průzkum genomu kvasinek vědcům umožňuje vytipovat určité geny, které přispívají k produkci pozitivních či negativních chutí a aromat a účinnosti či hloubce prokvašení.

Jedním z hlavních problémů při výrobě piva, který u takto upravených kvasinek nastává, je tvorba diacetylu. Diacetyl (butandion) je sloučenina s nepříjemnou máslovou pachutí a pachem připomínající umělou máslovou příchutí instantního popcornu do mikrovlnné trouby. Diacetyl se může ve zvýšené míře objevit zejména u silně chmelených piv, což pak sládkovi zkazí v lepším případě víkend, neboť namísto ovocného piva typu IPA získá nechutný a stěží pitelný lektvar. Pivovary se s tvorbou diacetylu potýkají v samotném výrobním procesu, ale i po jeho dokončení. Diacetyl se může vytvořit v již naplněných lahvích či sudech rozpadem svého prekurzoru alfa-acetolaktátu. Kvasinky upravené pomocí NGT nabízejí řešení: zavedením genu enzymu zvaného ALDC (alfa-acetolaktát dekarboxyláza) do genomu kvasinek lze získat kmeny, které zcela blokují tvorbu diacetylu. Tyto bezdiacetylové kvasinky, které v současné době používá například americká společnost Berkeley Yeast, umožňují pivovarům bez rizika zachovat integritu chuťového profilu piva.

Za pozornost stojí i výsledky dalšího výzkumu, v němž byly vyvinuty kmeny kvasinek, které zvýrazňují specifické chutě piva. Některé například dodávají pivům typu IPA příchutí guavy, marakuji či

ananasu tím, že produkují enzym cystein S-konjugát beta-lyáza, který uvolňuje thiolové sloučeniny, jako je 3-merkaptohexan-1-ol (3MH) a 3-merkaptohexyl-acetát (3MHA), a tím přispívá k aromatu tropického ovoce. Tyto sloučeniny se ve sladu a chmelu v menší míře vyskytují jako netěkavé prekurzory, které se na vůni a chuti piva nepodílejí, pokud nejsou kvasinkami přeměněny na formy těkavé. Tradiční pivovarské kvasnice tuto přeměnu zvládnou, ale jen v omezené míře a velmi pomalu, což vede k tomu, že tradičně produkovaná piva obsahují jen velmi málo (cca 80x méně) zmíněných thiolů. Upravené kvasinky tedy mohou výrazně změnit chuť a aroma piva, aniž by bylo nutné používat další drahé přísady. V konečném důsledku tedy podobné inovace snižují i uhlíkovou stopu pivovarnictví.

Zajímavým fenoménem jsou také nové kmeny kvasinek modifikované tak, aby produkovaly chmelové aroma a silice i bez přidání chmele. Představují tak mimo jiné obzvláště zajímavé řešení pro oblasti, ve kterých se klimaticky chmelu příliš nedaří. Chmel totiž vyžaduje poměrně velké množství vody a energie, a je citlivý na změny prostředí, jako je sucho. Vzhledem k tomu, že v žebříčku spotřeby piva na osobu se již umísťují poměrně vysoko i tropické státy jako Namibie (6. v pořadí), Panama (15. v pořadí), či Demokratická republika Kongo (35. v pořadí), by takto upravené kvasinky mohly být využity pro místní produkci piva bez nutnosti dovážet chmel. Vzhledem k tomu, že obsah chmelových silic se v jednotlivých dávkách liší a závisí i na vývoji počasí při pěstování, lze s využitím těchto kvasinek dosáhnout větší výrobní a chuťové konzistentnosti. Zároveň lze tyto kvasinky i v případech, kdy je to žádoucí, kombinovat i s klasickým přídavkem chmele pro dosažení vyšší hořkosti. Celé kouzlo těchto kvasinek je založeno na vložení genů pro produkci klíčových aromatických sloučenin z rostlin, jako je



bazalka či máta. Upravené kvasinky pak samy produkují silice, tradičně získávané z chmele. Tyto bioinženýrské kvasinky nejenže pomáhají snížit spotřebu vody při vaření piva, ale také zajišťují konzistentní chmelové aroma bez proměnlivého obsahu nežádoucích olejů, které se vyskytují v přírodním chmelu.

Techniky NGT byly rovněž použity ke zlepšení odolnosti kvasinek vůči průmyslovým podmínkám vaření piva. Přechod výroby určitých druhů piv z otevřených horizontálních kádí na velké uzavřené nádoby vedl ke ztrátě některých tradičních chutí, protože moderní metody vaření piva vystavují kvasinky vysokému tlaku oxidu uhličitého, který může metabolismus kvasinek, a tedy i produkci některých látek, ovlivňovat. Belgičtí vědci použili CRISPR k modifikaci kvasinkového genu *mds3*, který ovlivňuje produkci jedné takové látky pod tlakem. Zavedením mutace v genu *mds3*, došlo ke zvýšení produkce isoamylacetátu zodpovědného za tzv. "banánovou" příchut' belgických piv. Takto upravený kmen kvasinek nejenže toleruje vysoké

hladiny oxidu uhličitého, ale také zlepšuje chuť piva.

Celkově lze konstatovat, že použití NGT u pivovarských kvasinek nabízí zajímavé možnosti pro zlepšení kvality piva, zvýraznění chutí a udržitelnější výrobu piva. Ať už jde o odstranění nežádoucího diacetylu, posílení aroma tropického

ovoce nebo vytvoření chmelové chuti bez chmele, přinášejí tyto kroky revoluci do pivovarnictví. S dalším vývojem NGT se pivovarníci mohou těšit na ještě přesnější kontrolu chuti, větší volnost v kombinování chutí, vyšší konzistenci výroby a menší ekologickou zátěž. Budoucnost vaření piva tak bude jistě lahodná a udržitelná.

Ječmen:

Ječmen, latinsky *Hordeum vulgare* subsp. *vulgare*, patří mezi základní suroviny pro výrobu piva a významně ovlivňuje jeho kvalitu. Současně se jedná o čtvrtou nejdůležitější obilovinu na světě, která se pěstuje převážně v mírném podnebí spolu s dalšími obilovinami, jako je pšenice, oves nebo žito. Největšími producenty ječmene jsou Evropská unie, Kanada, Rusko nebo Turecko, přičemž celosvětová produkce, která stále roste, dosahuje 155 milionů tun ječmene ročně.

Ječmen je rovněž považován za modelovou plodinu, zejména díky svému jednoduchému genomu. Přibližně dvě třetiny globální produkce ječmene se využívají jako krmivo pro zvířata, zatímco jedna třetina připadá na výrobu sladu (tzv. sladovnický ječmen), jenž je klíčovou surovinou při výrobě piva a dalších alkoholických nápojů. V posledních letech se ječmen stále více využívá i v lidské výživě díky vysokému obsahu vlákniny, β -glukanu a antioxidantů, jako jsou flavonoidy a fenolové kyseliny, v zrnech, jež mají prokazatelně pozitivní vliv na lidské zdraví.

Výzkum a šlechtění ječmene se dlouhodobě zaměřují na zvýšení výnosů, zlepšení chuti a zvýšení jeho odolnosti vůči škůdcům a chorobám. Jedním z hlavních problémů při pěstování ječmene je předčasné klíčení zrna před jeho sklizní, ke kterému dochází nejčastěji v důsledku velkých dešťů. Naklíčené zrna snižuje tržní hodnotu suroviny a způsobuje tak významné

ekonomické ztráty pěstitelům. Předčasnému klíčení lze předcházet prodloužením dormance zrna, například pomocí genetických modifikací. Pro přípravu sladu je prodloužená dormance nevýhodná, vedle toho může způsobit nerovnoměrné klíčení osiva při setí.

Problematikou předčasného klíčení se zabývali i vědci z japonské Okayama University, kteří využili technologii CRISPR/Cas9 k cílené mutaci genů *qsd1* a *qsd2*, které přímo ovlivňují dormanci zrna. Vědci modifikovali zrna ječmene odrůdy *Golden promise* a sledovali vliv mutací jednoho, nebo obou genů na klíčivost semen ječmene. Mutace vedly k prodloužení dormance zrna a opožděnému klíčení. Současné vystavení zrna nižším teplotám zároveň pozitivně přispělo k produkci kvalitního ječmene. U mutantů byla v důsledku opožděného klíčení rovněž pozorována tvorba kyseliny abscisové, u které zatím nebyl prokázán přímý vliv na udržení dlouhodobé dormance zrna. Je ale zřejmé, že se podílí na produkci vysoce kvalitního ječmene.

Složení zrna ječmene a jeho fyziologické vlastnosti, jako jsou velikost, tvrdost, barva nebo dormance, zásadně ovlivňují jeho kvalitu a následné využití. Zrno obsahuje cca 70 % škrobu, další polysacharidy (β -glukan) 4–10 %, bílkoviny 10–17 %, lipidy 2–3 % a minerální látky 1–2 %. Škrob je klíčovým polysacharidem nejen v lidské výživě, potravinářství či pivovarnictví, ale také při

výrobě krmiv. Jeho vlastnosti mají významný vliv na výslednou kvalitu potravin a krmiv. Několik studií se zabývalo změnou složení zrna ječmene, zejména pak obsahem škrobu a bílkovin. Pomocí metody RNAi byly potlačeny geny pro enzym podílející se na strukturním větvení škrobu, tzn., byl získáván jen ječmen obsahující nevětvený škrob s amyózou (99 %), bez větveného amylopektinu. Tyto strukturní změny pak významně ovlivňují tepelné vlastnosti škrobu a jeho rozpustnost, což má mimo jiné význam v pivovarnictví. Z hlediska výživy je důležitý i zmíněný β -glukan, který se hojně vyskytuje v buněčných stěnách buněk

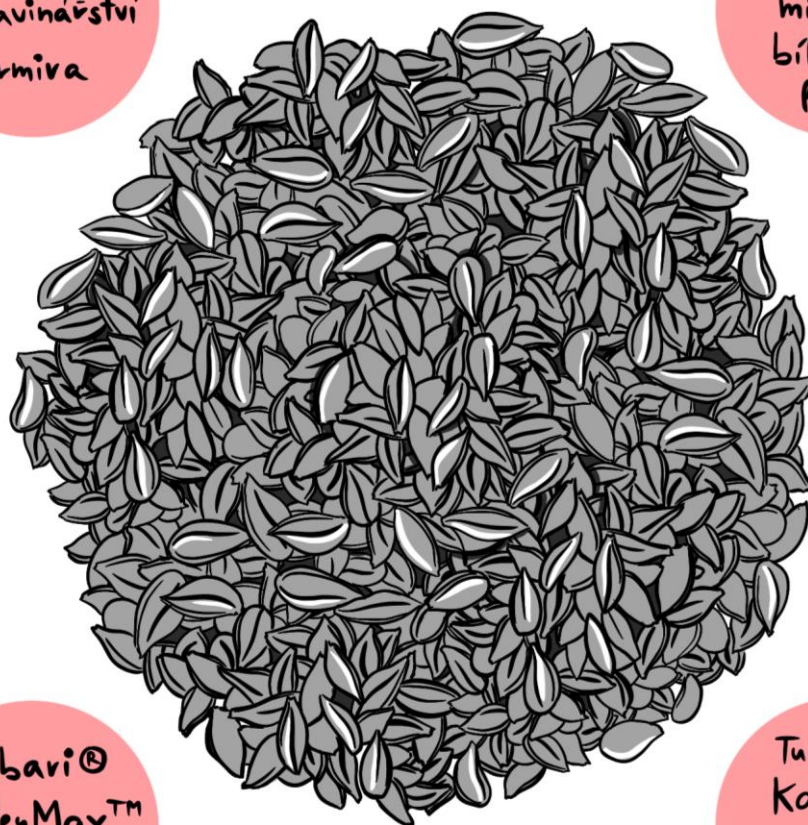
ječných zrn. Vyšší obsah β -glukanu je však pro pivovarské účely nežádoucí, protože zvyšuje viskozitu rmutu, což negativně ovlivňuje filtrační procesy během výroby piva.

Zrno ječmene obsahuje tenkou svrchní vrstvu slupky bohatou na nerozpustnou vlákninu, bílkoviny a lipidy. Tento loupaný ječmen je vhodnou surovinou pro sladovnické a pivovarnické účely, protože slupka přispívá k účinné filtraci při rmutování a významně ovlivňuje chuť mladiny.

U ječmene, který je využíván přímo pro lidskou výživu, bývá tenká slupka mechanicky odstraněna (proces známý jako leštění zrn), čímž se

pivovarnictví
potravinářství
krmiva

škrob
 β -glukan
minerály
bílkoviny
lipidy



kebari®
BarleyMax™
Golden Promise

Turecko
Kanada
Rusko
EU

mění složení zrna a vzniká tzv. perlový ječmen, který nachází uplatnění především v potravinářství a vyžaduje dále už minimální zpracování. Mezi hlavní produkty ječmene v potravinářství patří ječná mouka využitelná při výrobě nekvašeného chleba nebo k zahuštění polévky, ječné vločky, které jsou využity pro přípravu pečiva nebo ječných kaší, a ječná krupice používaná ke zjemnění masa. V současné době, kdy už došlo k technologickému pokroku, je perlový ječmen také používán v pivovarnictví a sladovnictví především pro získání netradičních chutí a vyššího obsahu sladového extraktu.

Hlavní bílkoviny v ječmeni, tzv. hordeiny, mají především zásobní funkci, ale zároveň mohou vyvolat imunitní reakci vedoucí k celiakii. Proto byly vyšlechtěny odrůdy ječmene, jako například odrůda Kebari®, která byla získána různými mutacemi a následným křížením ze tří odrůd (Risø 56, Risø 1508 a Ethiopian R118). Výsledkem je odrůda ječmene s až trojnásobně nižším obsahem hordeinů, tzn. s velmi nízkým obsahem lepku, čehož je hojně využíváno právě při výrobě piva.

Přestože nejzásadnějších genetických úprav je dosaženo ve výnosnosti a kvalitě zrna ječmene, rovněž probíhaly a stále probíhají modifikace odrůd ječmene, které jsou odolné vůči vnějším vlivům (škůdci a choroby, syntetická hnojiva, kontaminace půdy). Jedním z příkladů je ječmen, který je díky modifikaci genu *lr34* částečně odolný vůči různým plísňovým chorobám, zejména vůči rzi listové. Modifikovaný gen *lr34* původně pochází z pšenice, u které se už téměř sto let používá ve šlechtění právě pro stejné účely.

Další problematikou se zabývali i vědci z univerzity v Cambridge, kteří připravili polní pokusy s geneticky modifikovaným ječmenem. V rámci experimentu byla hodnocena interakce ječmene s přirozeně se vyskytujícími půdními

houbami a za snížené spotřeby syntetických hnojiv (udržitelnější produkce potravin). Rovněž byly testovány odrůdy ječmene, které byly upraveny tak, aby potlačily nežádoucí interakci s některými mykorrhizními houbami, kdy pro potlačení interakce byla zvýšena úroveň exprese genu *nsp2*, který je běžně v ječmeni přítomen.

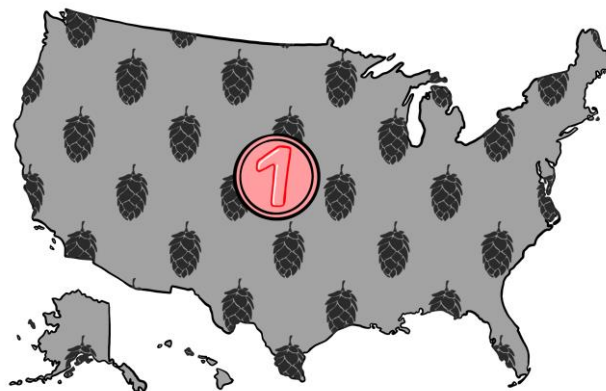
Průlom ve šlechtění ječmene byl zaznamenán i díky nové technologii CRISPR, konkrétně tzv. Doubled Haploid CRISPR, která otevírá cestu k vyšlechtění odrůd ječmene, které se lépe přizpůsobí lokálním podmínkám a budou mít vyšší výnosnost a kvalitu. Za vývojem a výzkumem této techniky stojí australská organizace Western Crop Genetics Alliance ve spolupráci s Murdochovou univerzitou. Jedná se o techniku aplikovanou dosud především v Austrálii, která umožňuje zapínat/vypínat geny ječmene a vytvářet tak ječmen s unikátními vlastnostmi, kterých by se běžným šlechtěním těžko dosáhlo. Doubled Haploid CRISPR je nástroj k přesné úpravě stávajících linií ječmene a k vytvoření vylepšených odrůd, které lépe vyhovují konkrétním podnebným podmínkám. Určitou komplikací však je, že australské odrůdy nemají pro současné potravinářské technologie vhodné genetické znaky. Až dosud se editace genů ječmene soustřeďovala na nezralá embrya, cílem pro editaci genů ječmene byly také nezralé pylové buňky. S využitím této nové technologie se počítá do budoucna i pro další plodiny (kukuřice, rýže, luštěniny) v rámci nových směrů šlechtění rostlin.

Vzhledem k významu ječmene pro potravinářství i pivovarnictví je nezbytné zohlednit všechny faktory ovlivňující jeho kvalitu, výnosnost a chuť. Využití moderních technologií a výzkumu pomáhá zvyšovat odolnost této plodiny, a především zlepšovat její žádoucí vlastnosti.

Chmel:

Pěstování chmele má v České republice dlouhou a bohatou tradici, sahající až do 8. století n.l. Již na počátku druhého tisíciletí se chmel vyvážel do sousedních zemí, čímž se tato plodina postupně začala stávat nedílnou součástí českého exportu. Dnes patří chmel mezi nejvýznamnější české exportní plodiny, až 80 % celkové produkce míří do zahraničí. Dominantní odrůdou na českých polích zůstává Saaz (žatecký poloraný červeňák), který v roce 2016 tvořil více než 82 % všech pěstovaných variant. Důležitost chmele pro Českou republiku se však neomezuje pouze na historický význam, ale sahá i do oblasti ekonomiky. V roce 2017 se chmel pěstoval na ploše 4 945 ha, což bylo nejvíce za posledních sedm let, přičemž cíl je překonat hranici 5 000 ha. Se sklizní přes 7 700 tun chmele v roce 2016 se Česká republika řadila mezi tři největší světové producenty aromatického chmele, hned po Německu a USA, s podílem 7,4 % na světové produkci.

Chmel, vytrvalá dvoudomá popínavá rostlina z čeledi *Cannabaceae*, je po celém světě pěstován převážně v mírném podnebném pásmu. V pivovarnictví plní nezastupitelnou úlohu – dodává pivu hořkou chuť, stabilizuje jeho trvanlivost a působí jako čiřící složka. Z hlediska využití v pivovarnictví se chmel rozděluje do tří hlavních kategorií: hořký, aromatický nebo kombinovaný, který má obě tyto vlastnosti. Mezi jeho nejdůležitější složky patří prenylované flavonoidy, jako xanthohumol a desmethylxanthohumol, hořké kyseliny (humulon, neboli α -kyselina a lupulon, neboli β -kyselina), esenciální oleje a terpenoidy. Tyto látky vznikají v lupulinových žlázách, které se nacházejí na spodní straně brakteolů, listů a samičích květenství zvaných šišťice. Kromě pivovarnictví nachází chmel využití také v oblasti léčitelství a medicíny. Jeho extrakty a metabolity jsou totiž



dlouhodobě ceněny také pro své antibakteriální a protizánětlivé účinky, stejně jako pro svou údajnou schopnost podporovat hubnutí. Látky produkované chmelem se využívají i při nehormonální léčbě menopauzy, osteoporózy či některých typů rakoviny.

I přes různé možnosti využití chmele zůstává jeho hlavním polem působnosti jednoznačně pivovarnictví. Preference spotřebitelů se však v posledních desetiletích výrazně proměnily, což vedlo ke zvýšení poptávky po jemnějších, aromatických odrůdách chmele. Tento trend představuje pro pěstitele výzvu, protože mnohé tradiční odrůdy mají nízké výnosy a jsou náchylné k chorobám. Z toho důvodu se šlechtitelské programy stále více zaměřují na vývoj

nových genotypů, které kombinují kvalitativní vlastnosti tradičních odrůd s vyššími výnosy a odolností vůči chorobám. V reakci na měnící se požadavky trhu byly po celém světě zahájeny klasické šlechtitelské programy, jejichž cílem je vyšlechtit odrůdy s vyšším obsahem cenných sekundárních metabolitů, lepších chutí, vyššími výnosy, větší odolností vůči chorobám a zvýšeným obsahem pryskyřic. V České republice probíhaly inovace v metodikách šlechtění již v 90. letech, což v roce 2001 vyústilo k registraci odrůdy Agnus.

V posledních letech se však otevírají nové možnosti díky moderním biotechnologickým metodám, které mění přístup ke šlechtění chmele. Významné úspěchy byly zaznamenány mimo jiné na poli české vědy.



VÝZKUM CHMELE V ČESKÉ REPUBLICE

Biotechnologické postupy jako ozdravování rostlinného materiálu či mikropropagace v *in vitro* kulturách, které byly zaváděny do aplikovaného zemědělského výzkumu v první polovině 20. století, sehrály významnou roli v úspěchu tuzemské šlechtitelské praxe. Vděčíme jim mimo jiné i za nejznámější odrůdu chmele ve světě – Žatecký poloraný červeňák (Saaz), který získal selekci meriklonů významný český šlechtitel Karel Osvald. Dodnes tvoří *in vitro* tkáňové kultury nedílnou součást českého chmelařství, kdy se využívají zejména k ozdravování rostlinného materiálu od virových patogenů.

Přestože v posledních letech bylo v ČR registrováno několik nových odrůd chmele a zájem o český chmel ve světě neustále roste, z dlouhodobého hlediska se chmelařství potýká s několika zásadními problémy. Podle nedávné studie Možný a kol., 2023 uveřejněné v prestižním časopise *Nature Communications* by mohlo v důsledku růstu teplot a častějšího sucha do roku 2050 dojít ke snížení výnosu produkce chmele v ČR o 4–18 % a ke snížení obsahu alfa hořkých kyselin dokonce o 20–31 %. Klimatická změna také často přináší další komplikace, jako například zvýšený výskyt vybraných škůdců a patogenů, což pravděpodobně povede k dalšímu snížení výnosu a kvality chmele. Aplikace metod genového inženýrství je jedním z efektivních řešení, jak těmto hrozbám budoucnosti čelit.

Nedílnou součástí výzkumu chmele je identifikace klíčových genů, které jsou odpovědné za růst rostliny, tvorbu květů, průběh kvetení, odolnost vůči patogenům, a mají vliv na syntézu alfa hořkých kyselin a dalších sekundárních metabolitů. V současné době jsou hojně využívány tzv. celogenomové asociační studie (GWAS – *Genome-Wide Association Studies*), umožňující identifikovat geny spojené s důležitými

agronomickými vlastnostmi. Kolekce genetických zdrojů chmele v Chmelařském institutu v Žatci obsahuje chmelový materiál s širokou genetickou a chemickou variabilitou, včetně planých chmelů, které často nesou některé agronomicky využitelné znaky. Snahou je přenést je za pomoci genetického inženýrství do kulturních chmelových odrůd.

Jedním z agronomicky zajímavých znaků, které můžeme v této kolekci najít, je trpasličí vzrůst. Tradiční odrůdy většinou dorůstají do výšky 7–8 metrů, zatímco trpasličí odrůdy do pouhých 3–4 metrů. To umožňuje mechanickou sklizeň vedoucí ke snížení nákladů na sezónní pracovní sílu a současně k lepší ochraně životního prostředí díky nižší spotřebě pesticidů a vody. V České republice již byly registrovány tři odrůdy, které lze tímto způsobem pěstovat, bohužel však zatím nedosahují takové kvality obsahových látek jako tradiční kultivary, a proto jsou využívány jen okrajově. Porovnáním genové exprese mezi trpasličími a klasickými odrůdami se vědcům z Biofyzikálního ústavu AV ČR ve spolupráci s Chmelařským institutem v Žatci podařilo identifikovat geny, které ovlivňují růst chmele a kódují trpasličí vzrůst. Genetickou transformací či editací těchto genů v tradičních odrůdách (jako je například Žatecký poloraný červeňák) by měl být navozen nízký vzrůst chmele při zachování produkčních vlastností. Takto vzniklé odrůdy by pěstitelé chmele pěstovali ve větším měřítku, což povede i ke zvýšení ekologické udržitelnosti chmelové produkce.

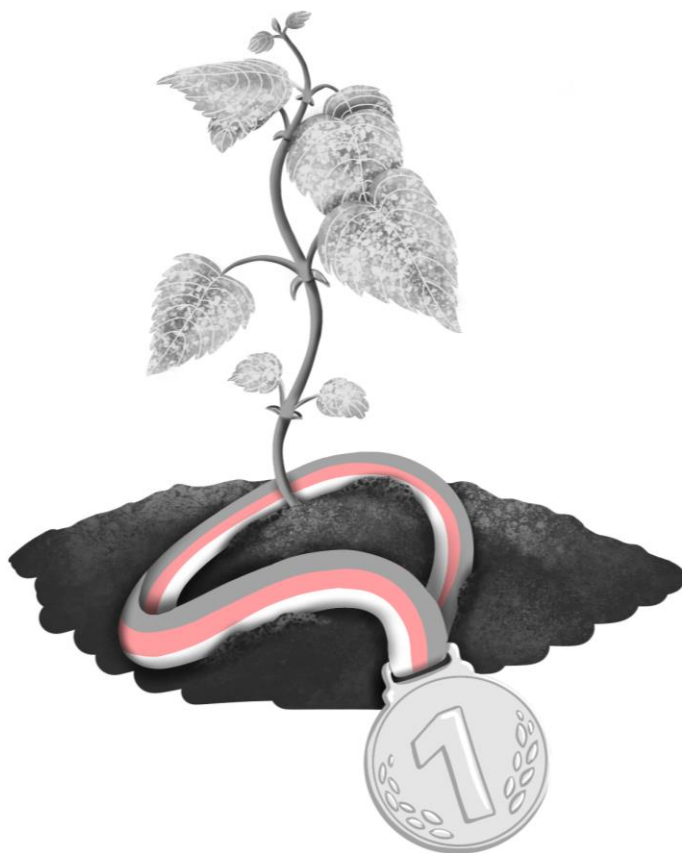
V našich podmínkách je každoroční úroda chmele ohrožena řadou chorob a škůdců, jako je verticiliové vadnutí chmele, plíseň peronospora chmelová, mšice chmelová aj. Významným faktorem je v současné době také sucho, které negativně ovlivňuje výnos a obsah alfa hořkých kyselin. A právě Chmelařský institut v Žatci se zaměřuje na šlechtění nových odolnějších

Pivovarnictví budoucnosti

odrůd chmele. Tento proces je však velmi časově náročný. Tvorba nových odrůd chmele klasickými šlechtitelskými postupy, jako je křížení nebo selekce, trvá 15 až 20 let, než je nová odrůda úspěšně registrována a připravena k uvedení na trh. Navíc, ze své podstaty jsou chmelové odrůdy heterozygotní a v důsledku jejich křížení často dochází ke ztrátě unikátní kombinace alel, a tím ke snížení výkonnosti odrůdy či modifikaci obsahových látek. V posledních letech se tak do popředí dostávají moderní biotechnologické metody, které by proces šlechtění chmele zásadně urychlily a zpřesnily. Z důvodu současné restriktivní evropské legislativy, která téměř neumožňuje pěstovat geneticky modifikované či editované plodiny v praxi, je aplikace genetického inženýrství chmele v ČR zatím omezena na základní výzkum.

Na druhou stranu, i v rámci základního výzkumu bylo dosaženo významných výsledků,

především byly vypracovány některé experimentální postupy pro tvorbu transgenního chmele. Významným milníkem bylo zavedení transformace (vneseí úseků DNA) chmele prostřednictvím bakterie *Agrobacterium tumefaciens* a regeneračních postupů pro tradiční českou odrůdu Žatecký poloraný červeňák. Ačkoliv byly podobné postupy již dříve úspěšně použity pro příbuznou odrůdu Tettanager ze sousedního Německa, ukázalo se, že Žatecký poloraný červeňák vyžaduje specifické podmínky a kombinaci růstových regulátorů pro úspěšnou regeneraci *in vitro*, která je klíčová při genetických úpravách. Díky těmto poznatkům vešla v roce 2021 česká věda do dějin výzkumu chmele – vědci z Biologického centra Akademie věd ČR jako první na světě upravili chmel pomocí metody CRISPR/Cas9. V rámci pilotního experimentu se jim podařilo vypnout gen pro enzym fytoen desaturázu



(PDS) zodpovědný za tvorbu listových barviv a růstového hormonu giberelinu. Výsledkem byly rostliny s bílými či mozaikovitými listy a zakrslým vzrůstem. Tento úspěch představuje zásadní krok vpřed a ukazuje na vysoký potenciál této techniky pro cílené úpravy genů spojených s vlastnostmi, jako je odolnost vůči chorobám, vyšší výnos, vyšší obsah látek ovlivňující chuť a aroma piva. Na tento výzkum navázal další výzkum pod stejným vedením, který se zaměřil na hlubší pochopení tvorby cenných látek v chmelu. Tentokrát vědci použili technologii CRISPR/Cas9 k úpravě dvou genů současně – *Hlmed5a* a *Hlmed5b*, jež hrají klíčovou roli v regulaci produkce hořkých a aromatických látek. Modifikací těchto genů dosáhli snížení exprese strukturních genů zapojených do biosyntézy flavonoidů, humulonů a terpenoidů. U upravených rostlin se navíc projevil i další významné změny, včetně rychlejšího růstu, dřívějšího kvetení a zrychleného dozrávání šištic, které však byly menší. Tento výzkum představuje důležitý krok ke šlechtění nových odrůd chmele s lepšími vlastnostmi. Současně vědci pracují na optimalizaci vývojových procesů pomocí růstových regulátorů a tím zvýšení úspěšnosti *in vitro* regenerace a transformace chmele, což jsou prekvizity potřebné také k efektivní editaci genomu chmele.

Zmíněné aplikace NGT jasně poukazují na jejich potenciál ve šlechtění nejen chmele, ale i dalších plodin. V poslední době se intenzivně hovoří o průlomu v podobě schválení racionální evropské legislativy pro NGT. Přestože v tomto ohledu jistě není stále dobojováno, zdá se, že použití NGT pro vylepšení zemědělských plodin obecně nevyvolává tak silné emoce a odmítavé reakce, jako je tomu u technologie GMO. Současná podoba legislativního návrhu pracuje s možností využívat kromě cílené mutagenese genů také přestavby genomů (vhodné například k rozbití

genové vazby), cílené substituce bazí (tzv. base editing) či v omezené míře cílené přidání několika nukleotidů (například pomocí technologie prime editing). Nástroje pro aplikované biotechnologie chmele v ČR by se takto velmi dramaticky rozrostly a s nimi i možnosti udržet české chmelařství na světové úrovni i přes nepřízeň klimatických změn.



ZÁVĚR

Vaření piva je složitý výrobní proces, který je v současné době založen nejen na tradici, ale i inovaci. Moderní technologie, včetně NGT, nám přináší možnosti, jak tuto tradici uchovat a zároveň zajistit větší udržitelnost i rozmanitost druhů pív. Ať už pijeme tmavý, sametový stout u krbu, nebo levný ležák z plastového kelímku na fotbalovém zápase, v každém pivě vychutnáváme plody mnoha staletí vývoje. Až příště pozvednete sklenici či lahev piva, vzpomeňte si, že je výsledkem zemědělského, šlechtitelského a biologického umu, vědy a kreativity nesčetných pivovarníků. Na zdraví!



ZDROJE

- T. Amoriello and R. Ciccoritti (2021) Sustainability: Recovery and Reuse of Brewing-Derived By-Products. *Sustainability* 13. doi: 10.3390/su13042355.
- A. Ashraf, R. Ramamurthy and E.R. Rene (2021) Wastewater treatment and resource recovery technologies in the brewery industry: Current trends and emerging practices. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 47. doi: 10.1016/j.seta.2021.101432.
- P. Awasthi, T. Kocábek, A.K. Mishra, V.S. Nath, A. Shrestha and J. Matoušek (2021) Establishment of CRISPR/Cas9 mediated targeted mutagenesis in hop (*Humulus lupulus*). *Plant Physiology and Biochemistry* 160:1-7. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.01.006.
- P. Awasthi, A.K. Mishra, T. Kocábek, V.S. Nath, S. Mishra, K.M. Hazzouri, N. Sudalaimuthasari, N. Stajner, et al. (2023) CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of the mediator complex subunits MED5a and MED5b genes impaired secondary metabolite accumulation in hop (*Humulus lupulus*). *Plant Physiology and Biochemistry* 201. doi: 10.1016/j.plaphy.2023.107851.
- P. Benito-Verdugo, J. Martínez-Fernández, Á. González-Zamora, L. Almendra-Martín, J. Gaona and C.M. Herrero-Jiménez (2023) Impact of Agricultural Drought on Barley and Wheat Yield: A Comparative Case Study of Spain and Germany. *Agriculture* 13. doi: 10.3390/agriculture13112111.
- F. Dal Bello, L. Bocquet, A. Bru, S. Laulund, R. Machielsen, M. Raneri, V. Sewalt, N. van Peij, P. Ville, F. Volonté, Y. White, J. Rusek, New Genomic Techniques applied to food cultures: a powerful contribution to innovative, safe, and sustainable food products, *FEMS Microbiology Letters*, Volume 371, 2024, fnae010, doi: 10.1093/femsle/fnae010
- Denby, C.M., Li, R.A., Vu, V.T. et al. Industrial brewing yeast engineered for the production of primary flavor determinants in hopped beer. *Nat Commun* 9, 965 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03293-x>
- Fincher, G.B., 1975. Morphology and chemical composition of barley endosperm cell walls. *Journal of the Institute of Brewing*, 81(2), pp.116-122. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1975.tb03672.x>
- Brian Gibson, Virve Vidgren, Gopal Peddinti, Kristoffer Krogerus, Diacetyl control during brewery fermentation via adaptive laboratory engineering of the lager yeast *Saccharomyces pastorianus*, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, Volume 45, Issue 12, 1 December 2018, Pages 1103–1112, <https://doi.org/10.1007/s10295-018-2087-4>
- Garcia-Gimenez G, Russell J, Aubert MK, Fincher GB, Burton RA, Waugh R et al (2019) Barley grain (1,3;1,4)- β -glucan content: effects of transcript and sequence variation in genes encoding the corresponding synthase and endohydrolase enzymes. *Sci Rep* 9(1):17250
- B.P. Guimaraes, P.G.B.D. Nascimento and G.F. Ghesti (2021) Intellectual property and plant variety protection: Prospective study on Hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. *World Patent Information* 65. doi: 10.1016/j.wpi.2021.102041.
- Hooykaas, P.J.J. et al. (2018). Agrobacterium-Mediated Transformation of Yeast and Fungi. In: Gelvin, S. (eds) *Agrobacterium Biology. Current Topics in Microbiology and Immunology*, vol 418. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/82_2018_90

- Impens L, Lorenzo CD, Vandeputte W, Wytynck P, Debray K, Haeghebaert J, Herwegh D, Jacobs TB, Ruttink T, Nelissen H, Inzé D, Pauwels L. Combining multiplex gene editing and doubled haploid technology in maize. *New Phytol.* 2023 Aug;239(4):1521-1532. doi: 10.1111/nph.19021. Epub 2023 Jun 12. PMID: 37306056; PMCID: PMC7614789.
- M. Karabín, T. Hudcová, L. Jelínek and P. Dostálek (2016) Biologically Active Compounds from Hops and Prospects for Their Use. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15. doi: 10.1111/1541-4337.12201.
- H. Korpelainen and M. Pietiläinen (2021) Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and Present Use, and Future Potential. *Economic Botany* 75:302-322. doi: 10.1007/s12231-021-09528-1.
- Z.W. Kundzewicz (2008) Climate change impact on the hydrological cycle. *Ecohydrology & Hydrobiology* 8:195-203. doi: 10.2478/v10104-009-0015-y.
- Li, T., Wright, D.A., Spalding, M.H., Yang, B. (2015). TALEN-Based Genome Editing in Yeast. In: van den Berg, M., Maruthachalam, K. (eds) *Genetic Transformation Systems in Fungi, Volume 1. Fungal Biology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10142-2_27
- Maicas, S. The Role of Yeasts in Fermentation Processes. *Microorganisms* 2020, 8, 1142. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142>
- A.K. Mishra, T. Kocábek, V.S. Nath, P. Awasthi, A. Shrestha, U.K. Killi, J. Jakse, J. Patzak, et al. (2020) Dissection of Dynamic Transcriptome Landscape of Leaf, Bract, and Lupulin Glad in Hop (*Humulus lupulus* L.). *International Journal of Molecular Sciences* 21. doi: 10.3390/ijms21010233.
- Molitor, R.W.; Roop, J.I.; Denby, C.M.; Depew, C.J.; Liu, D.S.; Stadulis, S.E.; Shellhammer, T.H. The Sensorial and Chemical Changes in Beer Brewed with Yeast Genetically Modified to Release Polyfunctional Thiols from Malt and Hops. *Fermentation* 2022, 8, 370. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080370>
- M. Mozny, M. Trnka, V. Vlach, Z. Zalud, T. Cejka, L. Hajkova, V. Potopova, M.A. Semenov, et al. (2023) Climate-induced decline in the quality and quantity of European hops calls for immediate adaptation measures. *Nature Communications* 14. doi: 10.1038/s41467-023-41474-5.
- A.A. Olajire (2020) The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production* 256. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.03.003.
- K. Pehlivani, A. Elshani, I. Loshi and A. Zhara (2023) Water and Waste Assessment, Implications for Sustainable Production in Brewery Birra Peja. *Ecological Engineering & Environmental Technology* 24:148-153. doi: 10.12912/27197050/165790.
- V. Potopova, O. Lhotka, M. Mozny and M. Musiolikova (2021) Vulnerability of hop-yields due to compound drought and heat events over European key-hop regions. *International Journal of Climatology* 41. doi: 10.1002/joc.6836.
- L. Severová, K. Šrédl, M. Prášilová, M. Štěbeták, R. Svoboda, D. Hommerová and L. Kopecká (2021) The Influence of the Growth of the Number of Microbreweries on the Use of Farmland and on the Cultivation of Hops in the Czech Republic: A Case Study. *Land* 10. doi: 10.3390/land10080784.
- K. Šrédl, M. Prášilová, R. Svoboda and L. Severová (2020) Hop production in the Czech Republic and its international aspects. *Heliyon* 6. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04371.

- F. Rossini, G. Virga, P. Loreti, N. Iacuzzi, R. Ruggeri and M.E. Provenzano (2021) Hops (*Humulus lupulus* L.) as a Novel Multipurpose Crop for the Mediterranean Region of Europe: Challenges and Opportunities of Their Cultivation. *Agriculture* 11. doi: 10.3390/agriculture11060484.
- https://www.asbcnet.org/events/archives/2016/proceedings/Documents/S_IBD_Howitt.pdf
- <https://academic.oup.com/femsyr/article/2/2/225/536731?login=true>
- <https://www.agric.wa.gov.au/news/media-releases/gene-editing-breakthrough-improve-barley-crops>
- <https://barleymax.com.au/>
- <https://www.britannica.com/topic/beer>
- <https://www.cam.ac.uk/research/news/crop-science-centre-to-conduct-field-trials-of-genetically-modified-barley-that-could-reduce-need>
- <https://www.efbs.admin.ch/en/statements/field-trials/experimental-release-genetically-modified-barley>
- <https://www.eufic.org/en/food-production/article/new-genomic-techniques-what-are-they-and-how-can-they-improve-our-food-systems>
- <https://www.idtdna.com/pages/community/blog/post/hoppy-beer-without-the-hops-yes-if-you-brew-with-crispr>
- <https://www.isaaa.org/kc/globalstatus/crop/gmbarley/barley.htm>
- <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0209124>
- <https://www.natureinstitute.org/nontarget/gm-barley/report-1>
- <https://pivovarzichovec.cz/o-pivu/pivni-vady-diacetyl/>
- <https://phys.org/news/2021-11-gene-edited-barley-beer.html>
- <https://www.popsci.com/science/crispr-beer-yeast-taste/>
- <https://ro.ecu.edu.au/ecuworks2022-2026/3063/>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521021002356#bib3>
- <https://www.statista.com/statistics/271973/world-barley-production-since-2008/#:~:text=The%20global%20production%20volume%20of,metric%20tons%20in%202021%2F2022.>
- <https://www.wired.com/story/the-secret-ingredient-in-your-craft-beer-gene-edited-yeast/>

Zdroje fotografií – Lucie Horáková a databáze Unsplash

VYDÁNÍ PUBLIKACE FINANČNĚ PODPÓŘILO

Velvyslanectví USA v Praze



DALŠÍ INFORMACE O BIOTECHNOLOGIÍCH NAJDETE NA

www.biotrin.cz

A SOCIÁLNÍCH SÍTÍCH FACEBOOK, INSTAGRAM A X:



ZASÍLÁNÍ PRAVIDELNÝCH NOVINEK Z OBLASTI
BIOTECHNOLOGIÍ JE MOŽNÉ PŘIHLÁSIT NA

info@biotrin.cz



BIOTRIN