

Geneticky upravené potraviny

P. Siekel: Genetically Modified Food. Život. Prostr., Vol. 37, No. 2, 73 – 76, 2003.

In the near future a sufficient amount of food of high quality can be provided by an application of modern biotechnology, often termed the recombinant DNA technology (rDNA), which provides genetically modified organisms. The contribution discusses GMO utilisation for producing of "novel" food. The aim is to produce food with enhanced nutritional value and positive influence on a human organism.

Produkcia, spracovanie a uchovávanie potravín je jedným z najdôležitejších úspechov ľudstva. Spôsoby pestovania poľnohospodársky významných rastlín a technológie výroby potravín sa neustále menia, avšak základná otázka, či novým postupom pripravené potraviny sú bezpečné, zostáva. Nemenej dôležité sú otázky, či je ľudstvo schopné vyprodukovať dostatok potravín pre všetkých, či vie sezónny nadbytok konzervovať, a teda aj uchovať na budúcu spotrebu, a tiež ako vylepšiť chuťové a nutričné vlastnosti potravín, či otázka, akým spôsobom optimalizovať prípravu potravín.

Napriek pokroku klasických poľnohospodárskych vied v prvej polovici minulého storočia – v tzv. zelenej revolúcii – je stále otáznou, akým spôsobom možno v budúcnosti zabezpečiť dostatok potravín, najmä pre obyvateľov rozvojových krajín. Jedno z perspektívnych východísk je využitie nových biotechnologických postupov. Pestovanie geneticky modifikovaných poľnohospodárskych plodín v hospodársky rozvinutých krajinách (USA, Kanada), ale aj v rozvojových a rozvíjajúcich sa krajinách (Argentína, Čína) už v súčasnosti prináša zlepšenie ekonomických parametrov produkcie. Cieľom agropotravinárskych biotechnológií je najmä zabezpečenie dostatku kvalitných plnohodnotných potravín.

Biotechnologická príprava potravín

Je všeobecne známe a podložené mnohými vedeckými dôkazmi, že potraviny ovplyvňujú v negatívnom, ale aj v pozitívnom zmysle zdravie konzumentov. Z negatívnych vplyvov nemožno nespomenúť obezitu ako následok nadmernej konzumácie tukov a sacharidov, ktorej priamymi dôsledkami sú ochorenia srdcovo-cievneho systému, diabetes, onkologické a iné závažné ochorenia.

Z preventívnych dôvodov sa zvyšovanie deficitných, a zároveň žiaducich látok uskutočňuje fortifikáciou (obohacovaním) potravín. Pridáva sa napr. vitamín D do mlieka, vitamín B (tiamín) a niacín do múky, jód do soli, železo a kyselina listová do cereálií.

Geneticky modifikované (GM) plodiny umožňujú produkovať takto obohatené "funkčné" potraviny priamo. Sú známe pozitívne vplyvy nízkoenergetických potravín, potravín s priaznivým zastúpením tukov v prospech polynenasýtených mastných kyselín, potravín so zvýšeným obsahom vitamínov, esenciálnych aminokyselín a minerálnych nutričov. Toto sú hlavné znaky druhej, a najmä tretej generácie GM plodín. Iným pozitívom tretej generácie je vývoj zdraviu prospešných potravín, ako príklad môže poslúžiť hypoalergénna ryža a sója (proteín P34), v ktorých sú eliminované gény produkujúce alergén.

Technológie rekombinantnej DNA (rDNA) a transgénné organizmy majú v potravinárstve nasledujúce využitie:

- geneticky modifikované rastliny, živočchy a mikroorganizmy pri výrobe potravín,
- výroba a použitie enzýmových preparátov alebo čistých enzýmov,
- výroba a použitie mikrobiálnych kultúr s cieľenými vlastnosťami priamo do potravín,
- aplikácie biotechnologickej pripravených látok a prípravkov v potravinárskej technológii,
- analýzy mikrobiálnej kontaminácie, najmä modernými DNA-metódami.

Prvou geneticky modifikovanou rastlinou na trhu bol rajčiak Flavr Savr so zvýšenou údržnosťou, vlastnosťou umožňujúcou prepravovať a skladovať rajčiaky tohto kultivaru v zrelom stave. Zároveň sa vyznačoval vyšším

Tab. 1. Vybrané komerčne dostupné enzýmy pripravené pomocou technológie rDNA

Produkt	Produkčný organizmus	Zdroj	Aplikácia
α -acetolaktát dekarboxyláza	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus sp.</i>	nápoje
α -amyláza	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus sp.</i>	nápoje, škrob, krmivá, textil, papier, koža
kataláza	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus sp.</i>	mlieko, vajcia, textil a iné
celuláza	<i>Aspergillus oryzae</i> <i>Trichoderma reesei</i>	<i>Humicola sp.</i> <i>Trichoderma sp.</i>	textil, textil, krmivá
chymozín	<i>Aspergillus niger</i> <i>Kluyveromyces lactis</i> <i>Escherichia coli</i> K12	telací prochymozín B telací prochymozín B telací prochymozín A	syr
α -galaktozidáza	<i>Aspergillus oryzae</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Aspergillus sp.</i> Guarová rastlina	krmivá
β -glukanáza	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Trichoderma reesei</i>	<i>Bacillus sp.</i> <i>Trichoderma sp.</i>	škrob, nápoje, krmivá
glukózo-izomeráza	<i>Streptomyces lividans</i> <i>Streptomyces rubiginosus</i>	<i>Actinquaoplanes sp.</i> <i>Streptomyces sp.</i>	škrob
glukózo-oxidáza	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus sp.</i>	nápoje, vajcia, šaláty, pekárske výrobky
hemiceľuláza	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus sp.</i>	pekárske výrobky
lipáza	<i>Aspergillus oryzae</i>	<i>Candida sp.</i> <i>Rhizomucor sp.</i>	tuky
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	čistenie textilu
fytáza	<i>Aspergillus oryzae</i> <i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus sp.</i>	krmivá
proteáza	<i>Aspergillus oryzae</i>	<i>Rhizomucor sp.</i>	syr
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus sp.</i>	mäso, ryby, škrob, nápoje, pekárske výrobky, krmivá, papier, čistenie a iné
pululanáza	<i>Bacillus licheniformis</i> <i>Klebsiella planticola</i>	<i>Bacillus sp.</i> <i>Klebsiella sp.</i>	škrob, pekárske výrobky, nápoje
xylanáza	<i>Aspergillus niger</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Trichoderma reesei</i>	<i>Aspergillus sp.</i> <i>Bacillus sp.</i> <i>Trichoderma sp.</i> <i>Aspergillus nidulans</i>	pekárske výrobky, škrob, krmivá, papier, textil, čistenie a iné

obsahom pektínu, čo je výhodné pri výrobe pretlakov a kečupov. Významnejšie sú však zlepšenia obsahu kľúčových nutričov potravín. Príkladom je genetická modifikácia ryže, kde bola pridaná celá metabolická dráha pozostávajúca z troch génov, čím sa dosiahlo, že ryža obsahuje provitamín A. Iným postupom bol pridaný gén pre produkciu feritínu – biologicky dostupnej formy železa. Vo svetovom meradle, najmä však v rozvojových krajinách, má približne 3,7 mld. ľudí nedostatočný príjem železa a 230 mil. detí trpí nedostatkom vitamínu A.

Aplikáciou metód rDNA sa otvára nová oblasť prípravy potravín. Jednou z prvých aplikácií, o ktorej sa v súvislosti s GM potravinami hovorí len veľmi málo, je používanie enzýmov, ktoré sú produktmi geneticky upravených mikroorganizmov (tab. 1).

Geneticky modifikované mikroorganizmy využívané pri fermentácii potravín

• **Baktérie mliečneho kysnutia.** Na fermentáciu mlieka, mäsa, zeleniny, ale aj vína, piva a siláže sa tradične používajú rody *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus* a iné, ktoré spolu tvoria skupinu tzv. baktérií mliečneho kysnutia. K zlepšeniu ich technologických vlastností pomocou "klasických" postupov šľachtenia prispelo poznanie ich dedičných vlastností. Vo významnejšej miere však k úpravám prispela dôkladná znalosť ich genetickej výbavy spolu s technikami rDNA, čo viedlo k možnosti zásadne meniť ich fermentačné a produkčné vlastnosti. Najlepšie je preštudovaný rod *Lactococcus*, ktorý je zároveň najbližšie ku komerčnému využitiu. Tento rod má vo výbave rôzne plazmidy, čo je jeden z faktorov, ktoré umožnili konštrukciu klonov-

vacích kyvadlových vektorov. Ďalšou dôležitou skutočnosťou je to, že väčšina technologicky významných vlastností tohto rodu je kódovaná plazmidmi, a sú teda prístupnejšie analýze, ale zároveň sa dajú jednoduchšie pozmeňovať (Teuber, 1993).

Okrem dvoch prirodzených spôsobov prenosu génov (konjugácie a transdukcie), možno vniesť genetický materiál do protoplastov ich buniek pomocou transformácie *in vitro* a nasledujúcej regenerácie, resp. postupom využívajúcim elektroporáciu. Skonštruovanie kyvadlových vektorov pre *Lactococcus*, *Bacillus subtilis* a *Escherichia coli* umožnilo klonovanie a expresiu heterológnych génov v *Lactococcus lactis*, ktoré pochádzali z iných druhov baktérií, napr. chloramfenikol acetyltransferázu, ribozómovú metylázu, aminoglykozid fosfotransferázu zo *Staphylococcus aureus*, rezistenciu voči tetracyklínu z *Enterococcus faecalis*, β -galaktozidázu z *Escherichia coli*, či taumatín z *Thaumatococcus daniellii* (Teuber, 1993). Inou skupinou úspešne klonovaných génov sú gény pre slepač vaječný lyzozým (*Gallus gallus*) a hovädzí chymozín (*Bos taurus*). Potenciálne možno uvažovať s aplikáciou geneticky upravených štartovacích kultúr do mäsových výrobkov – napr. tepelne neupravovaných klobás (*Lactobacillus curvatus* s katalázovým génom katA pochádzajúcim z *Lactobacillus sake*), či s využitím ako štartovacie jogurtové kultúry.

• **Kvasinka *Saccharomyces cerevisiae*.** V r. 1990 – 1991 boli vo Veľkej Británii povolené dva rôzne kmene geneticky modifikovanej kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* na priemyselné využitie, čím táto kvasinka získala svetové prvenstvo. Išlo o pekárenskú kvasinku so zlepšenými kvasiacimi vlastnosťami a pivovarnícku kvasinku lepšie užitujúcu zvyškové cukry. Ani jedna z nich sa však v praxi nevyužíva.

Zlepšené kvasiace vlastnosti mal kmeň kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* s konštitutívnou expresiou maltázy od firmy Gist Brocades (Holandsko). Umožňoval nakysnutie cesta s nízkym obsahom tuku a vysokým obsahom cukru. V neupravených kmeňoch reprimuje glukóza, fruktóza a manóza expresiu maltázy, a tak zhoršuje kvalitu cesta.

Jednostupňovú fermentáciu etanolu zo škrobu umožnila konštrukcia kvasinky exprimujúca gény pre amyλάzu a glukooamylázu z kvasinkovitého organizmu *Schwanniomyces occidentalis* (Hollenberg, Strasser, 1990).

Degradáciu neželaných zákalov v pive spôsobených β -glukánmi priamo pivovarskými kvasinkami umožnilo klonovanie a nasledujúca expresia génu pre β -glukanázu, ktorý bol izolovaný z jačmeňa. Po včlenení konštruktú do chromozómu poklesla expresia β -glukanázy, avšak na úroveň dostatočnú na odstránenie zákalu počas 14-dňovej fermentácie. Podobne umožnilo odstrániť chuťovo nevyhovujúci diacetyl z piva klonovanie α -ace-

tolactát dekarboxylázy z octovej baktérie *Acetobacter pasteurianus* do pivovarskej kvasinky (Teuber, 1993).

• **Produkcja potravinársky významných látok pomocou geneticky upravených mikroorganizmov.** Jednou z výhod génového inžinierstva je skutočnosť, že umožnilo ekonomicky výhodnú nadprodukcii rôznych bielkovín pochádzajúcich z rôznych zdrojov (organizmov) v hostiteľských produkčných organizmoch. Okrem iných, napr. zdravotníckych aplikácií, ako je výroba inzulínu identického s ľudským, tento postup umožnil produkciu enzýmov a prídavných látok pre potravinársky priemysel. Vybrané komerčne dostupné enzýmy sú uvedené v tab. 1 (Hemmer, 1997). Najčastejšie používaným, a zároveň najvýznamnejším enzýmom je rekombinantný chymozín. Uplatňuje sa v mliekarenstve pri produkcii syrov. Bol naklonovaný do troch rôznych hostiteľských mikroorganizmov (*Escherichia coli*, *Kluyveromyces lactis* a *Aspergillus niger*) a v troch variantoch je dostupný od troch rôznych firiem. Ďalším príkladom sú vitamíny (B2), aminokyseliny (tryptofán) či prídavné látky (aspartám).

Vitamín B2 – riboflavín zohráva úlohu pri biochemických redox reakciách, jeho nedostatok spôsobuje metabolické poruchy a kožné defekty. Používa sa ako potravinový doplnok. Pôvodne bol produkovaný z glukózy chemickou syntézou v šesťstupňovom procese. Rekombinantný kmeň *Bacillus subtilis* produkuje riboflavín priamo z glukózy. Pri ekonomickom zhodnotení procesu sa ukázalo, že pri porovnaných nákladoch na technológiu sú náklady na biotechnologickú produkciu výrazne nižšie pri výhodnejších ekologických parametroch výroby (o 50 – 70 % nižšie emisie). Biotechnologická produkcia riboflavínu má oproti chemickej syntéze nesporné výhody.

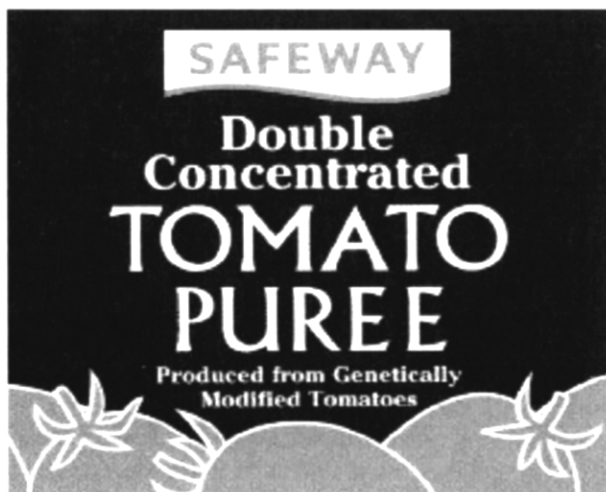
Rozvoj biotechnológií v potravinárstve smeruje najmä do oblasti prípravy produktov využívajúcich geneticky modifikované mikroorganizmy, pletivové a tkanivové kultúry. Takto možno pripraviť okrem spomínaných enzýmov aj aromatické a chuťovo vonné látky, prírodné farbivá, bielkoviny s cieľnými vlastnosťami, funkčné polysacharidy a oligosacharidy, mikronutrienty typu vitamínov a esenciálnych zložiek s vyššou biologickou dostupnosťou. Cieľom je biotechnologická konverzia zložiek potravín na zložky so zmenenou, lepšou biologickou využiteľnosťou, výroba biopolymérov a odbúrateľných obalových materiálov, aplikácia mikrobiálnych kultúr a cieľných probiotických kultúr do potravín, aplikácia rôznych čistých a zmesových štartovacích kultúr, enzýmov ako pomocných aditívnych látok alebo ako mikrobiálnych kultúr pri znižovaní obsahu alergénov a prírodných toxikantov v potravinách – zlepšenie sensorických vlastností, ale aj aplikácia mikrobiálnych preparátov na spracovanie odpadov v potravinárstve.

Geneticky modifikované potraviny na trhu

Po uskutočnení rozsiahlych testov schválili príslušné orgány v USA používanie geneticky modifikovanej sóje a kukurice. Deklarovali, že tieto plodiny sú ekvivalentné pôvodným odrodám, a preto nie je potrebná zvláštna manipulácia s nimi, ani zvláštna označovanie. Pri dovoze do Európy možno s vysokou pravdepodobnosťou považovať sóju a kukuricu z USA, Kanady, Argentíny, Číny i niektorých ďalších štátov za geneticky modifikované, keďže donedávna nebolo potrebné oddelené uskladňovanie pôvodných kultivarov a transgénových odrôd. Niektoré dodávateľské spoločnosti pružne zareagovali na zvýšený záujem európskych spotrebiteľov o geneticky neupravenú sóju a pestujú a dodávajú ju oddelene.

V Európe bol prvým geneticky modifikovaným trhovým produktom rajčiakový pretlak úspešne predávaný vo Veľkej Británii. Tepelne upravované výrobky – chlieb a pečivo – pripravené s geneticky modifikovanými pekárenskými kvasnicami boli ďalšími výrobkami na trhu tejto krajiny. V potravinárskom priemysle sa bežne používajú rekombinantné enzýmy (tab. 1).

V SR neboli do r. 2002 schválené žiadne potravinárske výrobky pripravené s použitím geneticky modifikovaných surovín. Na druhej strane nebolo možné ich prítomnosť vylúčiť, vzhľadom na globalizáciu obchodu s potravinami a možným dovozom zo štátov, kde sú bežne na trhu dostupné. Z tohto dôvodu boli v rámci vývoja metódy odskúšané niektoré potravinárske výrobky priamo z obchodnej siete a bola preukázaná prítomnosť geneticky modifikovanej sóje Roundup Ready



vo viacerých cereálnych, ale aj mäsových a cukrárenských výrobkoch (Štefanovičová a kol., 2000) a v kukuričných výrobkoch z dovozu – kukurica Bt 176 (Štefanovičová a kol., 2002).

Dôraz na využívanie moderných biotechnológií je už niekoľko rokov na poprednom mieste agendy mnohých organizácií OSN. Slovensko ako krajina s relatívne vysokým stupňom rozvoja priemyslu i agropotravinárskeho komplexu, a zároveň s obmedzenými zdrojmi energie a surovín, sa musí jednoznačne orientovať na vysokoeфекtívne využitie obnoviteľných zdrojov a prírodného potenciálu krajiny. Na základe súčasných poznatkov je biotechnologizácia agropotravinárskeho komplexu jedinou alternatívou pre túto stratégiu. Vychádza z toho, že novými postupmi sa bude môcť zabezpečiť plnohodnotná výživa obyvateľstva a zároveň znížiť ekonomická náročnosť primárnych vstupov, nahradiť značnú časť energií a surovín pre priemyselné účely z obnoviteľných zdrojov pri súčasnom zvyšovaní kvality potravín a životného prostredia.

Literatúra

- Hemmer, W.: Foods Derived from Genetically Modified Organisms and Detection Methods. BATS-Report 2/97. Basel, Switzerland, 1997.
<http://www.bats.ch/abstr/297intro.htm>
- Hollenberg, C. P., Strasser, A. W. M.: Improvement of Baker's and Brewer's Yeast by Gene Technology. Food Biotechnology, 1990, 4, p. 527 – 534.
- Štefanovičová, A., Kuchta, T., Siekel, P.: Dôkaz geneticky modifikovanej sóje v potravinách polymerázovou refazovou reakciou. Bulletin potravinárskeho výskumu, 39, 2000, s. 255 – 264.
- Štefanovičová, A., Kuchta, T., Siekel, P.: Dôkaz geneticky modifikovanej kukurice v potravinách polymerázovou refazovou reakciou. Bulletin potravinárskeho výskumu, 41, 2002, s. 31 – 40.
- Teuber, M.: Genetic Engineering Techniques in Food Microbiology and Enzymology. Food Review International, 1993, 3, p. 389 – 409.

RNDr. Peter Siekel, CSc., Ústav molekulárnej biológie SAV, Dúbravská cesta 21, 842 51 Bratislava; Výskumný ústav potravinársky, Priemyselná 4, 824 75 Bratislava
peter.siekel@vup.sk