

BAKERY ENZYMES IN CEREAL TECHNOLOGIES

Eubomír Mikuš, Ladislav Dodok, Mária Kováčová, Ladislav Staruch, Václav Koman

ABSTRACT

Bread is the most common and traditional food in the world. For years, enzymes such as malt and fungal alpha-amylase have been used in bread making. Due to the changes in the baking industry and the ever-increasing demand for more natural products, enzymes have gained real importance in bread-making. If an enzyme is added, it is often destroyed by the heat during the baking process. For generations, enzymes have been used for the improvement of texture and appearance, enhancement of nutritional values and generation of appealing flavours and aromas. Enzymes used in bakery industry constitute nearly one third of the market. The bakery products have undergone radical improvements in quality over the past years in terms of flavour, texture and shelf-life. The biggest contributor for these improvements is the usage of enzymes. Present work seeks to systematically describe bakery enzymes, their classification, benefits, usage and chemical reactions in the bread making process.

Keywords: bakery products, enzymes, bread, volume, shelf-life

ÚVOD

S intenzifikáciou mechanických postupov v cereálnych technológiách vyplynula potreba súbežne zabezpečiť aj optimalizáciu základných biochemických, chemických a fyzikálnych procesov v týchto technológiách.

K týmto účelom slúži rad zlepšujúcich prostriedkov. Sú to predovšetkým enzýmy, povrchovo aktívne látky (emulgátory), oxidačné, redukčné činidlá, hydrokoloidy, atď.

Ďalším dôvodom ich používania je tiež menlivosť vlastnej základnej suroviny - múky. Atraktívne je aj použitie istých zlepšovadiel za účelom vývoja nových druhov cereálnych výrobkov. Aktuálne je aj ich využitie pri snahe o predĺženie trvanlivosti finálnych výrobkov. Vývoj v celej tejto oblasti smeruje od využitia jednotlivých zlepšovadiel až ku komplexným zmesiam za účelom dosiahnutia viacerých účinkov.

VÝZNAM, HISTÓRIA A VYUŽITIE ENZÝMOV

Enzýmy sú bielkovinové biokatalyzátory urýchľujúce už pri teplotách okolo 37 °C chemické reakcie niekoľkonásobne rýchlejšie ako je tomu pri reakciách nekatalyzovaných. Sú špecifické pre katalýzu určitého typu reakcií (Hampl et al., 1985).

Pri riešení danej problematiky musíme mať na zreteli, že pri múkach osobitne sa stretávame s realitou, že v tejto základnej surovine sa už nachádza niekoľko druhov enzýmov, ale v rôznych množstvách.

Preto sa snažíme v určitých prípadoch ich účinky zosilniť zvýšením ich množstva (jednotlivo, alebo v rôznych kombináciách).

Z enzýmov najskôr bola v cereálnych technológiách používaná amyláza vo forme sladovej múky za účelom zvýšenia amylolytickej aktivity pšeničnej múky na požadovanú úroveň. Následným enzýmom bola v praxi využívaná lipoxigenáza, ktorá sa pridávala vo forme enzýmovo aktívnej sójovej múky, alebo čiastočne

prečisteného preparátu, hlavne za účelom získania svetlejšej striedky finálnych výrobkov (Poutanen, 1997).

Postupom času s rastúcimi požiadavkami na zvýšenie kvality múk, nástupom nových technológií, vplyvom rozširovania sortimentu cereálnych výrobkov sa pristúpilo k aplikácii ďalších enzýmov a enzýmových preparátov ako sú proteázy, hemicelulázy, lipázy a ď.

Rozdelenie enzýmov používaných v cereálnych technológiách:

- amylázy,
- hemicelulázy,
- proteázy,
- lipázy,
- lipoxigenázy,
- glukózaoxidáza,
- transglutamináza.

VPLYV PODMIENOK PROSTREDIA NA AKTIVITU ENZÝMOV

Podmienky prostredia podstatným spôsobom ovplyvňujú kinetiku enzýmových reakcií. Okrem druhu a koncentrácie substrátu majú veľký vplyv pH prostredia, teplota, obsah vody, ióny, prípadne niektoré ďalšie.

Reakčná rýchlosť enzýmov je funkciou koncentrácie substrátu. Zvyšovaním koncentrácie substrátu najskôr rýchlosť reakcie rastie, potom sa rast spomaľuje až po dosiahnutie maxima.

Každý enzým vykazuje optimálnu aktivitu pri určitých hodnotách pH prostredia. Pri extrémnych hodnotách pH (nízkych i vysokých) sú enzýmy inaktivované.

Výrazný vplyv na aktivitu enzýmov má teplota. Jej zvyšovaním rastie rýchlosť enzýmovej reakcie, ale súčasne môže vzrastať i rýchlosť rozkladu komplexu enzýmov a substrátu, môže sa meniť afinita k aktivátorom a inhibítorm. Po dosiahnutí optimálnej teploty reakčná

rýchlosť enzýmov klesá, postupne dochádza k denaturácii bielkovinovej časti enzýmu a tým k jeho inaktivácii (Davídek et al., 1983).

Jednotlivé enzýmy majú optimálnu a inaktivačnú teplotu i hodnotu pH značne rozdielnu. Pri nižšej aktivite vody je enzýmovej reakcii sprístupnená iba malá časť substrátu. Pri nízkom obsahu vody sú enzýmy termostabilnejšie. Aktivita enzýmov (okrem ich množstva) môže byť ovplyvňovaná aj pôsobením rôznych látok a to pozitívne (aktivátory - sú napr. niektoré ióny Ca, Mg, Zn, atď., anióny, organické látky). Kovové ióny zrejme sprostredkovávajú vznik komplexov medzi enzýmom a substrátom, alebo ho spevňujú. Mnohé tiež aktivujú enzým tým, že väzbou na iné miesta molekuly enzýmu vyvolávajú priaznivú zmenu štruktúry aktívneho centra. Negatívne pôsobia inhibítory, ktoré brzdia enzýmové reakcie. Inhibítorov je veľké množstvo a sú najrôznejšej povahy s rôznymi účinkami (napr. blokujú rôzne funkčné skupiny, ktoré sú súčasťou aktívnych centier) (Šicho et al., 1981).

AMYLÁZY

Amylázy, ktoré boli prvými enzýmami pridávanými do cesta sú najčastejšie predmetom výskumu v oblasti využitia enzýmov v cereálnych technológiách aj v súčasnej dobe (Dodok, 1988).

Zatiaľ čo boli pôvodné amylázy používané predovšetkým na generovanie skvasiteľných cukrov, v súčasnej dobe sa sústreďuje pozornosť skôr na ich schopnosť spomaľovať proces „starnutia“ striedky chleba a pečiva.

Najznámejšie enzýmy štiepiace škrob múky (amylózu, amylopektín) a jeho deriváty (dextríny, oligosacharidy) sú alfa a beta amyláza.

Alfa-amyláza katalyzuje hydrolyzu vnútorných alfa 1,4-glykozidových väzieb a je označovaná starším názvom ako dextrinogénna endoamyláza, pretože štiepi škrob vo vnútri molekuly na degradačné produkty, predovšetkým na dextríny (Maarel et al., 2002).

Beta-amyláza je špecifická pre obdobné substráty ako alfa-amyláza ale s tým rozdielom, že ako exoamyláza pôsobí iba na vonkajšie reťazce a odštiepuje z nich maltózu od neredukujúceho konca. Hydrolyza pokračuje až do bodu vetvenia reťazca, ktorý je pre tento enzým bariérou ďalšej činnosti. Z amylopektínu tak vznikajú vedľa maltózy tzv. limitné (hraničné) dextríny a malé množstvo vysokomolekulových dextrínov. V múke beta-amyláza štiepením dextrínov za vzniku maltózy prispieva k lepšej plynovotnosti múky. Beta-amyláza oveľa účinnejšie pôsobí na dextríny ako na škrob. Ešte väčšie množstvo maltózy sa tvorí jej pôsobením na škrobový maz (Goesaert et al., 2009).

Amylázy majú rôzny pôvod. Najčastejšie sa alfa-amyláza pridáva vo forme sladovej múčky z jačmeňa. Ďalším zdrojom amyláz sú vláknité huby alebo baktérie.

Alfa-amyláza pridávaná vo forme sladovej múčky má však rad nedostatkov a preto sa v zmesiach dáva prednosť použitiu preparátov napr. amyláz vláknitých húb, ktoré sú tepelne menej rezistentné a teda pri pečení sa rýchlejšie inaktivujú (Příhoda et al., 2003).

Alfa-amylázy vláknitých húb sa pridávajú všade tam, kde je potrebné zvýšiť koncentráciu skvasiteľných cukrov.

Výhodou týchto preparátov je tiež nízka, alebo žiadna proteolytická aktivita (najmä

v porovnaní so sladovou múčkou, ktorá po prekročení určitej teploty nepriaznivo ovplyvňuje štruktúrno-mechanické vlastnosti ciest). Aplikácia alfa-amylázy vláknitých húb je vhodná pri použití múky s nízkou amylolytickou aktivitou. Na rozdiel od cereálnej amylázy je inaktivovaná pri počiatkových teplotách pečenia, čím sa zaručí, že sa nebudú tvoriť dextríny spôsobujúce nežiadúcu lepkosť. Priaznivým efektom alfa-amylázy vláknitých húb je aj zväčšenie objemu výrobku (Velíšek et al., 2009).

Bakteriálna alfa-amyláza produkovaná kmeňom *Bacillus subtilis* je výrazne termostabilnejšia ako alfa-amyláza vláknitých húb. Svoju aktivitu si udržiava pomerne veľmi dlho (91 °C i viac).

Termostabilná bakteriálna alfa-amyláza má značný vplyv na kvalitu finálneho výrobku. Je schopná spomaliť starnutie vplyvom hydrolyzy glykozidových väzieb v amorfnej oblasti zmazovateného škrobu v teplotnom rozmedzí, kde amylázy vláknitých húb už boli deaktivované. Má však aj nevýhodu, že je náchylná k predávkovaniu. Vplyvom svojej termostability štiepi škrob vo vnútri výrobku počas celej doby jeho pečenia, spôsobuje jeho nadmernú degradáciu. Zvýšený obsah rozpustných dextrínov spôsobuje gumovitú a lepkavú striedku (Příhoda et al., 1996).

Výhodnejšie postavenie má maltogénna amyláza, ktorá má termostabilitu medzi amylázou vláknitých húb a bakteriálnou amylázou. Je schopná štiepiť glykozidové väzby počas mazovatenia škrobu pri pečení, avšak štiepi iba časť škrobových molekúl. Je inaktivovaná v neskorších štádiách pečenia. Takto upravená amyláza pôsobí iba proti starnutiu, nemá vplyv na objem ani textúru striedky, nehrozí jej predávkovanie. Používa sa v kombinácii s ostatnými enzýmami (Takácsová et al., 1996).

Optimum pH alfa-amylázy prítomnej v múke je asi 5,5. Alfa-amyláza sa na rozdiel od beta-amylázy inaktivuje pod pH 3,3. Jej aktivita sa znižuje nízkym aj vyšším pH. Alfa-amyláza má vyššiu tepelnú stabilitu ako beta amyláza. Jej teplotné optimum je v rozsahu 60 až 70 °C, inaktivuje sa pri teplote asi 85 °C. Silnými inhibítormi alfa-amylázy sú soli striebra a medi. V pšeničnom zrne sa vyskytujú tiež jej inhibítory a to v albumínovej frakcii (Bartlová et al., 1976).

Teplotné optimum pôsobenia beta-amylázy je 55 až 60 °C, inaktivuje sa pri teplote 70 až 75 °C. Optimum pH beta-amylázy je asi 5,2. Beta-amyláza v porovnaní s alfa-amylázou intenzívnejšie pôsobí v kyslejšom prostredí. Inhibítorom beta-amylázy je napr. kyselina askorbová. Účinok beta-amyláz brzdia ióny vápnika, najmä pri vysokej teplote a vysokom pH (Duxbury, 1990).

VÝZNAM VYUŽITIA AMYLOLYTICKÝCH ENZÝMOV V CEREÁLNYCH TECHNOLOGIÁCH

- zvyšujú množstvo redukujúcich cukrov v ceste s čím súvisí zvyšovanie plynovotnej schopnosti cesta a následného zvyšovania objemu výrobku. Štiepenie škrobu a tvorba kvasných plynov pôsobením amyláz si vyžaduje určitý čas, podmienky, preto sa prídavok amylolytických enzýmov prejaví na cestách

s dostatočnou dobou zrenia a kysnutia, ale aj s malým prídavkom cukru (pri cestách s prídavkom nad 4 % cukru sa účinok amyláz väčšinou už neprejaví zvýšeným objemom výrobku) (Gupta et al., 2003).

- prifarbovanie kôrky: K zlepšeniu sfarbenia kôrky dochádza vplyvom tvoriacich sa dextrínov pôsobením amyláz, ale i vplyvom vyšších teplôt pri pečení, kedy dochádza okrem tvorby dextrínov (tepelná dextrinácia škrobu) aj k tvorbe Maillardových reakcií. K tomuto ešte prístupuje ďalší faktor - karamelizácia sacharózy (zvlášť má význam pri trvanlivom pečive) (Hegenbart, 1994).
- zlepšenie textúry, pružnosti, pórovitosti striedky: K zlepšeniu textúry striedky vplyvom sladových a mikromicétnych amyláz dochádza pravdepodobne z dôvodu zníženia konzistencie cesta a tým k zlepšeniu jeho spracovateľnosti (Hegenbart, 1994).
- zlepšenie organoleptických vlastností výrobku (zintenzívnenie vône, sfarbenia, zlepšenia chuti) a to už tvorbou týchto látok počas kvasného procesu a následne aj v priebehu pečenia vplyvom Maillardových reakcií, ďalšie vplyvy počas pečenia sú tepelná dextrinácia škrobu a karamelizácia sacharózy (Hegenbart, 1994).
- spomalenie starnutia výrobku: Čo sa týka trvanlivosti pekárskeho výrobku, ktoré sa prejavujú pozitívne udržiavaním jemnosti, vláčnosti a elasticitou striedky (na opačnej strane negatívne starnutím striedky - zvýšením jej tuhosti, drobnosťou ale aj celkovým tvrdením výrobku) výskum prináša stále nové objasnenia okrem vplyvu amyláz, čo je téma veľmi obsiahla a vyžaduje si samostatné väčšie pojednanie (Hegenbart, 1994).

HEMICELULÁZY (PENTOZANÁZY, XYLANÁZY)

Termín hemicelulózy je spoločným názvom pre štruktúrne necelulózové polysacharidy bunecných stien rastlín, ktoré vyplňajú priestory medzi celulózovými vláknami. Zaraďujú sa k nim dve hlavné skupiny polysacharidov: heteroglukany (hlavne xyloglukany a beta-glukany) a heteroxylyany, v menšom množstve sa vyskytujú heteromannany atď. (Labell, 1991).

Heteroxylyany sú hlavnými polysacharidmi primárnych bunecných stien jednoklíčnolistových rastlín a lignifikovaných buniek jedno a dvojklíčnolistových rastlín, ktoré majú ako zložky potravy značný význam. Vzhľadom na primárnu štruktúru sa niektoré heteroxylyany nazývajú arabinoxylany a často dosiaľ tiež starším názvom pentózany. Majú vysokú schopnosť viazať vodu. Sú rozpustné (asi 35 % z celkového množstva) a nerozpustné (Leggio et al., 1999).

Vodou nerozpustný arabinoxylan je schopný naviazať približne desaťnásobok jeho hmotnosti. Táto je dôležitým činiteľom v ceste. Pri optimálnom prídavku endoxylanázy sa odbúravajú vodou nerozpustné arabinoxylany do takej miery, že prebieha mierne uvoľnenie vody. Táto voda je prerozdelená medzi ďalšie zložky cesta a je napríklad viazaná aj do štruktúry lepku. To má za následok zlepšenie vývinu a ťažnosti lepku, zlepšenie retencie plynov (zväčšenie objemu výrobku) a menší odpor voči kysnutiu. Vodou rozpustné frakcie vytvárajú viskózne vodné roztoky. Viskozita roztoku je závislá na molekulovej hmotnosti a forme polyméru prítomného v roztoku. Endoxylanázová aktivita bakteriálnej hemicelulózy je schopná odbúrať vodou rozpustné frakcie, čo má za

následok zmenu viskozity (Benešová et al., 1997; Damen et al., 2012).

Pri vyšších obsahoch vodou rozpustných frakcií arabinoxylanov, ktorých sa dosiahne pôsobením vyšších dávok hemiceluláz, nie je už možné predpokladať vyššie objemy výrobkov. Najpravdepodobnejším vysvetlením tohto javu je, že keď je odbúrané pomerne veľa vodou rozpustných frakcií arabinoxylanov, zníži sa viskozita a pravdepodobne bude cesto nestabilné, čo povedie k zníženiu objemu výrobku. Ak je pôsobenie enzýmu riadené smerom k získaniu vodou nerozpustných frakcií, výsledkom môže byť dobrá kvalita cesta a výrobku, a to hlavne jeho objem. Rôzne typy hemiceluláz spôsobujú suchšie alebo menej suché cestá s rôznymi objemami výrobkov (Lúčny, 1984).

Endoxylanáza vláknitých húb, ak hydrolyzuje prednostne vodou nerozpustné frakcie arabinoxylanov a má pravdepodobne menšiu afinitu k rozpustným frakciám, čo má za následok suchšie cestá (optimálne viazanie vody v ceste) a získavanie väčších objemov výrobku (Káš et al., 1983; Wang et al., 2004).

Avšak prerozdelenie zadržanej vody môže tiež ovplyvniť interakcie medzi rôznymi polymérami v ceste. Pri odbúraní arabinoxylanu endoxylanázou majú kovalentné väzby medzi arabinoxylanmi a lepkom menší vplyv na pevnosť cesta. Majú vplyv aj na zníženie rýchlosti retrogradácie škrobu a teda na starnutie pekárskeho výrobku (Hampel et al., 1981; Jiang et al., 2005).

Zhrnutie účinkov endoxylanázy vláknitých húb:

- zlepšenie vývinu cesta,
- optimalizácia ťažnosti lepku a retencie plynu,
- zlepšenie odolnosti cesta a stability kysnutia,
- zlepšenie rastu objemu v peci a objemu výrobku,
- zlepšenie štruktúry striedky (jemná, pravidelná) a jej elasticity.

PROTEÁZY

Enzymovú hydrolyzu bielkovín katalyzujú proteázy. Rozdeľujú sa na proteínázy (endopeptidázy), ktoré štiepia peptidové väzby vnútri polypeptidového reťazca a peptidázy (exopeptidázy), ktoré štiepia polypeptidový reťazec len na jeho koncoch (odštiepujú koncové aminokyseliny, prípadne dipeptidy, tripeptidy).

Enzyémy tejto skupiny môžu byť cereálneho, mikromicétného alebo bakteriálneho pôvodu.

Pôsobenie proteáz, ktorým dochádza k oslabeniu lepku, je do istej miery obdobný účinkom redukčných činidiel a tým dôležitým rozdielom, že štiepenie činnosťou proteáz je určované nielen veľkosťou prídavku ale i dĺžkou pôsobenia. Táto časová závislosť je hlavným faktorom pri určovaní optimálneho spôsobu aplikácie proteáz.

Prvotným a základným výsledkom proteolýzy v ceste je deagregujúci účinok proteínázy na bielkoviny, avšak bez rozštiepenia peptidových väzieb (štiepia sa iné väzby).

Narušenie medzimolekulových spojení, zmeny a oslabenie terciárnej štruktúry v molekulách bielkoviny, uľahčujú a zrýchľujú napučovanie a v dôsledku peptizácie zväčšujú časť bielkoviny, prechádzajúcej do kvapalnej fázy cesta. Zodpovedajú tomu aj zmeny fyzikálnych vlastností lepkovej štruktúry cesta, prejavujúce sa jej oslabením.

Proteinázy majú optimum účinnosti pH v oblasti 3,8 až 4,6 a teplotu približne 45 °C.

Medzi aktívatory preteinázy patrí napr. cysteín, glutatión a inhibítormi sú oxidačné činidlá.

Peptidázy nemajú v pekárstve veľký význam, hlavná pozornosť sa sústreďuje na proteinázy. V múke sa nachádzajú vo väčšom množstve, ale v inaktívnej forme. Ich aktivitu vyvolávajú aktívatory, ktoré sa môžu dostať do cesta napríklad droždím.

Oxidáciou strácajú aktívatory účinnosť a proteázy zostávajú v inaktívnej forme. Oxidácia aktívatorov sa dosiahne prídavkom vhodných zlúčenín (kyselina L-askorbová, z ďalších ale u nás zakázaných sú to bromičnany, jodičnany). Aktívatory bývajú oxidované aj bez prídavku cudzorodých oxidačných látok a to za prístupu vzduchu, čo sa deje pri manipulácii s múkou v silách, ale aj počas skladovania múk. V múkach z prerasteného obilia sa zvyšuje aj obsah preteolytických enzýmov. Najviac aktívne v obilke sú proteolytické enzýmy nachádzajúce sa v klíčku (**Arendt et al., 2007**).

Proteázy sa používajú pri silných múkach, na zoslabenie lepku. Ich pôsobením je cesto ťažnejšie a voľnejšie. Pri optimálnom prídavku môže dôjsť aj k zníženiu doby miesenia vplyvom hydrolýzy peptidových väzieb. Pri ich aplikácii musí byť však zvýšená opatnosť, aby nedošlo až k prílišnej hydrolýze, ktorá by mala za následok podstatné zoslabenie lepkovej bielkoviny a tým aj zníženie objemu výrobku. Ich vhodné použitie v pekárskej technológii je najmä pri cestách na šišky, hamburgery, pizzy a muffiny. Najväčšie použitie nachádzajú pri výrobe niektorých druhov trvanlivého pečiva - predovšetkým oblátok, v kombinácii s inými enzýmami pri cestách krekrových, kde sa prejavuje ich účinok hlavne pri tvarovaní cesta ale aj všeobecne zlepšením krehkosti výrobku (**Goesaert et al., 2005**).

Základné funkčné účinky proteáz (**Moodie, 2001**):

- redukovanie doby miesenia (pri vhodnej teplote, pH a sile múky až o 25 %),
- zlepšenie spracovateľnosti cesta,
- zvýšená retencia plynu (lepek opracovaný optimálnym množstvom proteáz je ťažnejší a zadržiava viac plynu),
- rýchlejšie a rovnomernejšie vyplňovanie foriemi cestom v dôsledku zlepšenia tokových vlastností cesta,
- zlepšenie kvality finálnych výrobkov, predovšetkým tvaru, textúry a pórovitosti striedky (dochádza aj k predĺžovaniu doby čerstvosti),
- zintenzívnenie farby kôrky (vznik voľných aminokyselín prispieva k zlepšeniu farby v dôsledku Maillardovej reakcie),
- ovplyvnenie chuti a arómy výrobkov produktami Maillardového typu výsledkami interakcií karbonylových zlúčenín s aminokyselinami uvoľnenými proteolytickým štiepením proteínov.

LIPÁZY

V cereálnej technológii sa využívajú lipázy vláknitých húb, ktoré katalyzujú hydrolýzu triacylglycerolov na di a mono acylglyceroly. Monoacylglyceroly sa môžu

ďalej hydrolyzovať na voľné mastné kyseliny a glycerol. Uvoľňované monoacylglyceroly a mastné kyseliny môžu tvoriť komplex s helixom amylózy škrobu. Vplyvom tohto komplexu je potlačená retrogradácia škrobu, čo spôsobuje zmäknutie striedky a predĺženie jej čerstvosti. Okrem toho lipázy pôsobia pozitívne na zlepšenie reologických vlastností ciest, zlepšenie štruktúry a pružnosti striedky (ktorá je tiež svetlejšia) a k nárastu objemu finálneho výrobku (**Hasan et al., 2006; Moayedallaie et al., 2010**).

Použitie lipolytického enzýmu podstatne redukuje potrebu emulgátorov, prípadne ich možno v niektorých prípadoch aj vylúčiť (**Kapoor et al., 2012**).

Z obilnín má najmenej aktívnu lipázu pšeničné zrno a ovos najviac aktívnu. Pri prerastaní zrna sa taktiež zvyšuje aktivita lipázy. V obilke sa vyskytuje najviac v klíčku, potom v periférnych vrstvách zrna a najmenej v endosperme. Maximálnu aktivitu dosahuje pri pH asi 7,5 a teplote 38°C. Pri teplote 50 °C sa inaktivuje. V múkach pôsobia lipázy hlavne v procese ich uskladňovania, najmä pri vyššej vlhkosti a teplote štiepením tukov, s čím súvisí zvyšovanie kyslosti múky (**Sharma et al., 2001**).

LIPOXYGENÁZY

Lipoxigenáza (lipoxidáza) katalyzuje oxidáciu nenasýtených mastných kyselín, na hydroperoxydy, ktoré reagujú s lepkovými bielkovinami, ale aj s farebnými pigmentami, čoho dôsledkom sú žiaduce vlastnosti cesta. Tento proces doteraz nie je ešte komplexne vysvetlený. Je predpoklad, že je spôsobený reakciami lipidov, lipidových voľných radikálov, hydroperoxidov a možno ešte niektorých štiepných produktov vznikajúcich pri týchto reakciách (**Junqueira et al., 2007**).

V pekárskej technológii sa používa lipoxigenáza predovšetkým vo forme aktívnej sójovej múky, sójových extraktov, preparátov zo zeleného hrášku, alebo ako čistý enzým. Účinky lipoxigenázy sa prejavujú v zlepšení farby striedky (deštrukcia karotenoidov), ovplyvnením arómy a chuti hotových výrobkov, v zlepšení reologických vlastností ciest ale aj zvýšením objemu finálneho výrobku. Jej vplyv na cesto sa prejavuje zvýšením tolerancie ciest k mieseniu a ich spracovaniu. Je obdobný ako pri prípravkoch určených na spevnenie cesta.

Pri jej aplikácii môže však dôjsť aj k nepriaznivému efektu prejavujúcemu sa zhoršením senzorických vlastností vplyvom oxidačného tuchnutia.

Lipoxigenáza pôsobí v širokom teplotnom rozmedzí od 40 °C až do -20 °C, jej najväčšia aktivita sa pozorovala pri teplote 30 až 40 °C, inaktivácia nastáva pri teplote 60 °C. Má negatívny vplyv na akosť uskladnenej múky. V zrne pšenice a raži sa vyskytuje v pomerne malom množstve (**Baysal et al., 2007**).

GLUKÓZAOXIDÁZA

Tento enzým reaguje s glukózou za postupnej tvorby kyseliny glukurónovej a peroxidu vodíka, ktorý je silným oxidačným prostriedkom zosilňujúcim lepkovú sieť prostredníctvom oxidácie tiolových skupín na disulfidové. Oxidačné prostriedky v cereálnej technológii (napr. bromičnan) môžu byť nahradené enzýmami, alebo zmesou enzýmov, ktoré sú založené na uvedenom princípe. K tomuto enzýmu je ešte možné použiť aj ďalšie enzýmy so synergickým účinkom (**Caballero et al., 2007**).

TRANSGLUTAMINÁZA

Transglutamináza (proteín-glutamin-glutamyl-transferáza) modifikuje funkciu bielkovín. Mikrobiálna transglutamináza (TGM) tvorí nedisulfidové kovalentné priečne väzby v proteínoch. Má obdobný pozitívny vplyv ako tradičné oxidačné potravinárske aditíva, ktoré vytvárajú disulfidové väzby. TGM katalyzuje acyl-transferázové reakcie, pri ktorých sa vytvárajú priečne väzby v proteínoch zo zvyškov lyzínu a glutamínu, bez redukcie nutritívnej hodnoty zvyškov lyzínu. Uvedené reakcie vedú teda k ochrannému efektu na lyzín v potravinových bielkovinách a v konečnom dôsledku ku zvýšeniu nutritívnej hodnoty potravín. Zmeny v proteínovej štruktúre spôsobené TGM významne vplyvajú nielen na vlastnosti cesta, ale aj finálnych výrobkov. TGM znižuje lepivosť cesta a zlepšuje zadržiavanie plynu v ceste, čo má za následok zväčšenie objemu pekárskych výrobkov. Okrem toho pomáha vylepšiť kvalitu slabej múky, zvyšuje jej väznosť, zlepšuje kvalitu pekárskych produktov, predlžuje ich čerstvosť a má uplatnenie aj pri výrobe mrazených ciest a polotovarov. Upečené výrobky majú okrem vyššieho objemu aj menej popraskanú kôrku, menšiu drobivosť a lepšiu štruktúru striedky. Pôsobí pomerne v širokom rozsahu pH, k jej inaktivácii dochádza počas pečenia (Gallagher et al., 2009).

ZÁVER

Enzýmy, ktoré sa nachádzajú v múkach, prípadne v niektorých surovinách ako i tie, ktoré sa aplikujú do cesta za rôznym účelom, sú jednými z najdôležitejších substancií v cereálnych technológiách. Zastávajú trvale dôležité miesto a to buď jednotlivito, alebo v komplexe enzýmov a to nielen počas úprav ciest, ich tvorby a spracovania ale aj s prejavmi vo finálnom výrobku (vplyv na objem, tvar, štruktúru striedky, organoleptické vlastnosti, trvanlivosť).

Ich pozitívne účinky možno ešte zvýrazniť prídavkom ďalších zlepšujúcich prostriedkov ako sú emulgátory, kyselina askorbová a ďalšie.

LITERATÚRA

ARENDE, E. K., RYAN, L. A. M., BELLO, F. D. 2007. Impact of sordough on the texture of bread. In *Food Microbiology*, vol. 24, 2007, p. 165-174.

BARTLOVÁ, D. 1976. Amyloglukozidáza a amylolytické enzýmy dosud používané v pekárskom priemysle. In *Mlýnsko-pekársky priemysl*, vol. 22, 1976, p. 10-11.

BAYSAL, T., DEMIRDOVEN, A. 2007. Lipoxigenase in fruits and vegetables: A review. In *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 40, 2007, p. 491-496.

BENEŠOVÁ, L. 1997. Potravinárství IV. UZPI, 1997, p. 57-82.

CABALLERO, P. A., GÓMEZ, M., ROSELL, C. M. 2007. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzyme combination. In *Journal of Food Engineering*, vol. 81, 2007, p. 42-53.

DAMEN, B., POLLET, A., DORNEZ, E., BROEKAERT, W. F., HAESSENDONCK, I. V., TROGH, I., ARNAUT, F., DELCOUR, J. A., COURTIN, CH. M. 2012. Xylanase-mediated in situ production of arabinoxylan oligosaccharides with prebiotic potential in whole meal breads and breads enriched with arabinoxylan rich materials. In *Food Chemistry*, vol. 131, 2012, p. 111-118.

DAVÍDEK, J., JANÍČEK, G., POKORNÝ, J. 1983. *Chemie potravin*. SNTL, ALFA, 1983, 632 p.

DODOK, L. 1988. *Chémia a technológia trvanlivého pečiva*. Alfa, 1988, 300 p.

DUXBERRY, D. D. 1990. Fungal enzyme provides extended shelf-life, tolerance and stability. In *Food processing*, vol. 51, 1990, p. 92-94.

GALLAGHER, E. 2009. Improving gluten-free bread quality through the application of enzymes. In *Agro food industry hi-tech*, vol. 20, 2009, p. 34-37.

GOESAERT, H., BRIJS, K., VERAVERBEKE, W. S., COURTIN, C. M., GEBRUERS, K., DELCOUR, J. A. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. In *Trends in Food Science & Technology*, vol. 16, 2005, p. 12-30.

GOESAERT, H., SLADE, L., LEVINE, H., DELCOUR, J. A. 2009. Amylases and bread firming – an integrated view. In *Journal of Cereal Science*, vol. 50, 2009, p. 345-352.

GUPTA, R., GIGRAS, P., MOHAPATRA, H., GOSWAMI, V. K., CHAUHAN, B. 2003. Microbial α -amylases: a biotechnological perspective. In *Process Biochemistry*, vol. 38, 2003, p. 1599-1616.

HAMPL, J. 1981. *Jakost pekárskych a cukrárenských výrobků*. SNTL, 1981, 232 p.

HAMPL, J., PŘÍHODA, J. 1985. *Cereální chemie a technologie II*. VŠCHT, 1985, 248 p.

HASAN, F., SHAH, A. A., HAMEED, A. 2006. Industrial applications of microbial lipases. In *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 39, 2006, p. 235-251.

HEGENBART, S. 1994. Understanding Enzyme Function in Bakery Foods. In *Food Product Design*, [online] [November 1, 1994] [cit. 27.2.2012] Retrieved from the web: <<http://www.foodproductdesign.com/articles/1994/11/understanding-enzyme-function-in-bakery-foods.aspx>>.

JIANG, Z., LI, X., YANG, S., LI, L., TAN, S. 2005. Improvement of the breadmaking quality of wheat flour by the hyperthermophilic xylanase B from *Thermotoga maritima*. In *Food Research International*, vol. 38, 2005, p. 37-43.

JUNQUEIRA, R. M., CASTRO, I. A., AREAS, J. A. G., SILVA, A. C. C., SCHOLZ, M. B. S., MENDES, S. 2007. Application of response surface methodology for the optimization of oxidants in wheat flour. In *Food Chemistry*, vol. 101, 2007, p. 131-137.

KAPOOR, M., GUPTA, M. N. 2012. Lipase promiscuity and its biochemical applications. In *Process Biochemistry*, in press.

KÁŠ, J., HOLAS, J. 1983. Súčasná a budúca trendy cereální enzymologie. In *Mlýnsko-pekársky priemysl*, vol. 29, 1983, p. 161-163.

LABELL, F. 1991. Enzymes for baking improve volume. In *Food processing*, vol.52, 1991, p. 134-135.

LEGGIO, L. L., PICKERSGILL, R. W. 1999. Xylanase-oligosaccharide interactions studied by a competitive enzyme assay. In *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 25, 1999, p. 701-709.

LÚČNY, M. 1984. Význam zlepšovacích prípravku pro pekársky priemysl. In *Mlýnsko-pekársky priemysl*, vol. 30, 1984, p. 304-308.

MAAREL, M. J. E. C., VEEN, B., UIDEHAAG, J. C. M., LEEMHUIS, H., DIJKHUIZEN, L. 2002. Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family. In *Journal of Biotechnology*, vol. 94, 2002, p. 137-155.

MOAYEDALLAIE, S., MIRZAEI, M., PATERSON, J. 2010. Bread improvers: Comparison of a range of lipases with

a traditional emulsifier. In *Food Chemistry*, vol. 122, 2010, p. 495-499.

MOODIE, P. 2001. Traditional Baking Enzymes – Proteases. In *Enzyme Development Corporation*, 2001, p. 1-10. [online], [2001], [cit. 14.2.2012]. Retrieved from the web: <<http://www.enzymedevelopment.com/pdf/TRADITIONAL%20BAKING%20ENZYMES-PROTEASES%20AIB%205-01.pdf>>.

POUTANEN, K. 1997. Enzymes: An important tool in the improvement of the quality of cereal foods. In *Trends in Food Science & Technology*, vol. 8, 1997, p. 300-306.

PŘÍHODA, J., HUMPOLÍKOVÁ, O., NOVOTNÁ, D. 2003. Základy pekárenské technologie. Pekař a cukrář s.r.o., 2003, 363 p.

PŘÍHODA, J., NOVOTNÁ, D. 1996. Zlepšovací prostředky v pekárenské a cukrářské technologii. In *Ročenka pekaře a cukráře*, 1996, p. 29-38.

SHARMA, R., CHISTI, Y., BANERJEE, U. CH. 2001. Production, purification, characterization, and applications of lipases. In *Biotechnology Advances*, vol. 19, 2001, p. 627-662.

ŠÍCHO, V., VODRÁŽKA, Z., KRÁLOVÁ, B. 1981. Potravinařská biochemie. SNTL, ALFA, 1981, 360 p.

TAKÁCSOVÁ, M., PRÍBELA, A. 1966. *Chémia potravín*. STU, 1996, p. 86-88.

VELÍŠEK, J., HAJŠLOVÁ, J. 2009. *Chemie potravín I*. OSSIS, 2009, 580 p.

WANG, M., VLIET, T., HAMER, R. J. 2004. Evidence that pentosans and xylanase affect the re-agglomeration of the gluten network. In *Journal of Cereal Science*, vol. 39, 2004, p. 341-349.

Acknowledgments:

The work was supported by The Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic for the Structural Funds of EU, OP R&D of ERDF in the frame of the Project "Evaluation of natural substances and their selection for prevention and treatment

of lifestyle diseases" (ITMS 26240220040) and by the agency APVV in the frame of project Nr. 0310-06 and VMSP-II-0024-09.

Contact address:

Lubomír Mikuš, Department of Nutrition and Food Assessment, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovak Republic,

E-mail: lubomir.mikus@stuba.sk

Ladislav Dodok, Department of Nutrition and Food Assessment, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovak Republic,

E-mail: ladislav.dodok@stuba.sk

Mária Kováčová, Department of Nutrition and Food Assessment, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovak Republic,

E-mail: maria_kovacova@stuba.sk

Ladislav Staruch, Department of Food Science and Technology, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovak Republic,

E-mail: ladislav.staruch@stuba.sk

Václav Koman, Department of Food Science and Technology, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovak Republic,

E-mail: vaclav.koman@stuba.sk