

STALING OF BAKERY PRODUCTS

Michal Magala, Zlatica Kohajdová, Jolana Karovičová

ABSTRACT

The aim of this work was to write down a review article about various aspects connected with staling of bakery products. Shelf life is directly associated with the staling process, which depends on the composition of bakery products and important are storage conditions as well. In the article are described particular components (starch, nonstarch polysaccharides, water) and how they affect the staling process. Generally during staling of bakery products occur processes related with starch retrogradation, moisture redistribution from the crumb to the crust and other interactions between components. Staling process could be delayed by using various bakery improvers like enzymes, hydrocolloids, emulgators and other compounds. Also useful is the application of suitable packaging techniques.

Keywords: bakery products, staling, starch retrogradation, moisture redistribution, bakery improvers

ÚVOD

Starnutie chleba je zodpovedné za významné ekonomické straty pre pekárenské výroby aj pre spotrebiteľov (Giménes et al., 2007).

Starnutím pečiva sa z mäkkej, ľahko stlačiteľnej, pružnej a nedrobivej striedky stáva tvrdá, ťažko stlačiteľná a drobivá. Kôrka, ktorá je po upečení chrumkavá, tvrdá a lesklá sa stáva mäkkou, pružnou a zvrásnenou. Okrem toho sa stráca aj charakteristická príjemná vôňa čerstvého pečiva (Hampl et al., 1981). Podľa Vestníka Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky je starnutie chleba a pečiva definované ako proces, pri ktorom počas skladovania, ďalšej manipulácie a uvádzania do obehu prebiehajú zmeny v kvalite striedky a kôrky v dôsledku retrogradácie škrobu a migrácie vlhkosti zo striedky do kôrky (Vestník Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky, 2002).

MECHANIZMUS STARNUTIA

V tabuľke 1 sú uvedené zmeny základných zložiek (škrob, lepek, tuky) medzi čerstvým a starnúcim chlebom.

V procese starnutia podstupuje škrob významné zmeny. Rýchlosť retrogradácie závisí od teploty prostredia, vlhkosti (obsahu vody v škrobovom maze) a od druhu škrobu a spôsobuje zmenu viskozity. Prítomnosť solí alebo cukrov stupeň retrogradácie znižuje a vplyv jednotlivých cukrov závisí napr. na ich koncentrácii. Retrogradácia je potlačovaná aj v prítomnosti tukov tvorbou inkluzných zlúčenín s amylózou (Velíšek, 2002).

Neškrobové polysacharidy pšeničnej múky tvoria arabinoxylány, arabinogalaktány a pentózany (Gray a

Bemiller, 2003). Prídavok 0,5 – 2,0 % pentózanov rozpustných vo vode zväčší objemu bochníka a výrazne zníži rozsah starnutia. Mechanizmus ich pôsobenia nespočíva v ovplyvňovaní retrogradácie škrobu, ale v ich schopnosti naviazať veľké množstvo vody. Tento zmäkčujúci účinok pozitívne vplýva na vlastnosti striedky, pričom striedka zostáva mäkká počas dlhšieho časového obdobia (Chinachoti a Vodovotz, 2001).

Migrácia vlhkosti zapríčiňuje najmä vysychanie striedky, súvisiace s vyrovnávaním vlhkosti medzi striedkou a kôrkou. Chladnutím čerstvo upečeného chleba sa v bochníku vytvára gradient vlhkosti. Presun vlhkosti zo striedky do kôrky spôsobujú rozdiely medzi parciálnymi tlakmi pár v kôrke a vo vnútri bochníka. Obsah vlhkosti v centre bochníka sa znižuje, zatiaľ čo vo vonkajších častiach narastá (Chinachoti a Vodovotz, 2001). Podľa Fesasa et al. (1998) možno predpokladať, že rozsah starnutia úzko súvisí s obsahom vlhkosti, nakoľko spozoroval pomalšie starnutie chlebov s vyšším obsahom vlhkosti.

Pekárske technologické a zlepšujúce prípravky sú potravinárske aditíva určené k vyrovnávaniu meniacich sa technologických vlastností surovín, zjednodušujú a uľahčujú technológiu výroby a zvyšujú kvalitu. Tieto prípravky môžu mať rôzne vlastnosti a vplyvy ako sú: zlepšenie spracovateľských vlastností cesta a kvality hotových výrobkov, urýchlenie kysnutia, zvýšenie kvasnej stability a tolerancie cesta, optimalizácia kyslosti cesta, ovplyvnenie farby kôrky a striedky a nárast množstva vody v ceste a jej lepšie viazanie (Szemes a Mainitz, 1999).

Tab. 1 Fyzikálno-chemický stav základných zložiek v čerstvom a starnúcom chlebe (Gray a Bemiller, 2003)

	ŠKROB	LEPOK	TUKY
ČERSTVÝ CHLIEB	Škrobové zrná aj neporušené, aj zmazované a zdeformované, vznik interakcií škrob-škrob medzi jednotlivými zrnami, čiastočná strata dvojzávitnicovej štruktúry amylopektínu.	Denaturovaný, zosieťovaný, možný vznik fibrilárnych štruktúr medzi lepkom a škrobom počas pečenia.	Niektoré molekuly tukov sú komplexne viazané s amylózou (vo vnútri aj vonku zrn), iné voľné.
STARNÚCI CHLIEB	Amylopektín retrogradovaný vnútri zmazovaných zrn, iné molekuly amylopektínu vonku zo zrn, amylóza retrogradovaná ako aj komplexne viazaná s tukmi.	Lepková sieť uvoľňuje vodu, ktorú následne viaže škrob a nastáva kryštalizácia amylopektínu.	Nezmenené od čerstvo upečeného chleba.

Spôsoby pre zvýšenie trvanlivosti pekárenských produktov zahŕňajú použitie rôznych enzýmov, hydrokoloidov a emulgátorov (Haros et al., 2002).

ENZÝMY

Podľa Selinheima et al. (2006), je jednou z možností predĺženia trvanlivosti pekárenských výrobkov a zníženia miery starnutia chleba aplikácia enzýmových prípravkov.

V komerčnom pekárstve sa najbežnejšie používajú α -amylázy a proteázy. (Selinheimo et al., 2006). Pridavok amyláz zvyšuje množstvo fermentovateľných a redukujúcich cukrov v múke a ceste, čo podporuje fermentáciu kvasiniek a vznik produktov Maillardových reakcií zintenzívňujúcich vôňu a farbu kôrky (Goesaert et al., 2009).

V pekárstve existujú tri zdroje α -amyláz: bakteriálne, plesňové a sladové. Z týchto zdrojov majú pozitívne účinky na starnutie pekárenských výrobkov iba plesňové a bakteriálne. Tieto dva typy enzýmov sa líšia v tepelnej stabilite. Bakteriálne α -amylázy majú síce výraznejší účinok proti starnutiu, ale sú vysoko tepelne stabilné a ich pokračujúca aktivita počas pečenia má za následok chlieb s nedokonalou štruktúrou a lepivou striedkou. Plesňové α -amylázy sú menej tepelne stabilné a sú inaktivované na začiatku pečenia. Výsledkom je chlieb s väčším objemom a dobrou štruktúrou striedky, ale ich účinnosť pri spomaľovaní starnutia je nižšia (Randez-Gil et al., 1995).

Dextríny s rôznym stupňom polymerizácie vznikajú pôsobením α -amyláz degradáciou molekúl amylopektínu a v chlebe zotrávajú aj po vypečení. Miyazaki et al. (2004) zakomponovaním 2,5 % nízko molekulárnych dextrínov s hodnotami dextrózového ekvivalentu DE 19, 25 a 40 zistili značné spomalenie retrogradácie na rozdiel od vysoko molekulárnych dextrínov DE 8 a 11. Účinok pôsobenia dextrínov súvisí s narúšaním vzniku vodíkových väzieb medzi škrobom a bielkovinami (Gerrard et al., 1997, Miyazaki et al., 2004).

Okrem amylolytických enzýmov sa aplikujú aj enzýmy rozkladajúce neškrobové polysacharidy, avšak ich účinky na predĺženie trvanlivosti sú nejasné. Xylanázy hydrolyzujú pentózy prítomné v pšeničnej múke a urýchľujú proces pečenia napomáhaním k rozkladu polysacharidov v ceste (Giménez et al., 2007).

Endo-1,4- β -xylanáza náhodne atakuje hlavný reťazec arabinoxylánu, čo spôsobuje zníženie stupňa polymerizácie a výrazne vplyva na štruktúru a funkčnosť arabinoxylánu. Vo vhodných dávkach (1 %) xylanázy zlepšujú spracovateľnosť a stabilitu cesta, štruktúru striedky, zvyšujú objem bochníka a predlžujú trvanlivosť. Hydrolytickým pôsobením xylanáz sa uvoľňujú voľné cukry - pentózy, ktoré využívajú mikroorganizmy pri fermentačnom procese. Naviac endoxylanázy uvoľňujú zdraviu prospešné xylooligosacharidy, ktoré pozitívne vplyvajú na žalúdočnú a črevnú mikroflóru (Shah et al., 2006).

Pridavok proteolytických enzýmov má za následok dosiahnutie počiatočnej mäkkosti striedky, zvýšenie aktivity kvasiniek a endogénnych enzýmov múky, zlepšenie chute a vône a predĺženie trvanlivosti pôsobením na hlavné funkčné biopolyméry múky (Collar et al., 2005).

Transglutamináza mikrobiálneho pôvodu, proteín-glutamín γ -glutamyltrans-feráza katalyzuje reakcie

prenosu acylov predstavujúce kovalentné zosieťovanie proteínov, peptidov a primárnych aminor, deamináciu glutamínových zvyškov a začlenenie aminor do iných štruktúr. Reakcie katalyzované týmto druhom enzýmov upravujú funkčné vlastnosti pekárenských výrobkov prostredníctvom spájania a polymerizácie proteínov pomocou disulfidických väzieb vytváraných pri miesení cesta, čím vzniká proteínová sieť s viskoelastickými vlastnosťami potrebnými pri výrobe chleba (Collar et al., 2005).

V súčasnosti je výskum v oblasti enzýmov zameraný na aplikáciu lipolytických enzýmov do pekárenských výrobkov. Používajú sa hlavne fosfolipázy ako náhrady alebo prídavky namiesto tradičných emulgátorov. Lipázy hydrolyzujú estery triacylglycerolov za vzniku mono- alebo diacylglycerolov, glycerolu a voľných mastných kyselín. Pochádzajú z plesňových alebo bakteriálnych zdrojov a svojim pôsobením zapríčiňujú zvýšenie stability cesta a objemu chleba, zlepšujú štruktúru striedky a predlžujú trvanlivosť výrobku (Kirk et al., 2002, Moayedallaie et al., 2010).

HYDROKOLOIDY

Hydrokoloidy sú pridávané do pekárenských výrobkov s cieľom zadržať vlhkosť, čím sa predlži trvanlivosť výrobku. Ďalej sú schopné stabilizovať pekárenské produkty počas cyklu: zmrazovanie – rozmrazovanie a napomáhajú tak minimalizovať negatívne účinky vznikajúce pri zmrazovaní a uskladňovaní produktov na báze škrobu (Bárceñas et al., 2004).

Účinok hydrokoloidov vyplýva z dvoch protikladných javov: prvý je zvýšenie tvrdosti ako následok poklesu napučievania škrobových granúl a vylúhovania amylozy; a druhý jav spôsobuje oslabenie štruktúry škrobu v dôsledku inhibície spájania reťazcov amylozy, aj keď dopad každého javu závisí od druhu použitého hydrokoloidu (Kohajdová a Karovičová, 2009).

Aplikácia hydrokoloidov v malých množstvách (<1 hmotn. % v múke) má za následok zvýšenú schopnosť viazať vodu vo výrobku, zvýšenie objemu bochníka ako aj pokles tvrdosti a zníženie rozsahu retrogradácie škrobu (Collar et al., 1999).

Vlastnosti hydrokoloidov vo veľkej miere ovplyvňuje pôvod a chemickú štruktúru. Adíciou metylových a hydroxypropylových skupín na molekulu celulózy vzniká hydroxypropylmetylcelulóza (HPMC). Tento hydrokoloid sa prednostne viaže na škrob. Obmedzuje priebeh retrogradácie amylopektínu, čím sa predlžuje trvanlivosť výrobku. Okrem toho HPMC zlepšuje kvalitatívne parametre (väčší objem, mäkkšia štruktúra striedky, nižšie straty vlhkosti pri skladovaní). Iný derivát celulózy, karboxymetylcelulóza (CMC) preferuje interakcie s lepokom. Roztoky CMC sú stabilné a vysoko viskózne. Zahriatím pri pečení však viskozita klesá. CMC má vysokú schopnosť absorpcie vody a zlepšuje suspendáciu a rovnomerné rozdelenie pridávaných zložiek vo výrobku (Guarda et al., 2004, Kohajdová a Karovičová, 2009).

Xantánová guma produkuje baktéria *Xanthomonas campestris*. Chemickú štruktúru xantánu možno popísať

ako molekuly glukózy spojené β -1,4-glykozidovou väzbou s vetvením na treťom atóme uhlíka molekuly glukózy, pričom vetvy obsahujú manopyranózové jednotky. Nízke koncentrácie xantánovej gummy (0,1-0,4 %) poskytujú stabilitu počas skladovania výrobkov a má taktiež schopnosť viazať vodu. Zamedzuje vzniku hrudiek počas hnetenia a zlepšuje aj homogenitu cesta (**Collar et al., 1999, Kohajdová a Karovičová, 2009**).

V potravinárskom priemysle je guarová guma používaná ako zahusťovadlo a stabilizátor rôznych druhov potravín, obvyčajne v množstvách < 1 hmotnostné %. Získava sa zo semien strukovinej rastliny *Cyamopsis tetragonolobus*. Po chemickej stránke je guarová guma galaktomanán, ktorého hlavný reťazec pozostáva z β -D-manopyranózových jednotiek spojených 1,4-glykozidovou väzbou a vetvením na pozícií 6 s α -D-galaktózou. V pekárenských výrobkoch guarová guma spomaľuje starnutie prostredníctvom zmäčujúceho účinku spôsobeného inhibíciou retrogradácie amylopektínu, pretože sa prednostne viaže na škrob (**Kohajdová a Karovičová, 2009**).

Algináty sa získavajú z hnedých rias (*Macrocystis pyrifera*, *Ascophyllum nodosum* a *Laminaria hyperborea*) a základná jednotka kyselina alginová sa skladá z troch častí polymérneho reťazca: jedna časť pozostáva výlučne z dielov kyseliny D-manurónovej, druhá z kyseliny L-gulurónovej a tretia v meniacom sa pomere zvyškov kyseliny D-manurónovej a L-gulurónovej. Použitie alginátov v množstvách 0,5 – 1,5 % dodáva pekárskym krémom stabilitu počas cyklu zmrazovanie/rozmrázovanie, znižuje syneréziu, predlžuje trvanlivosť výrobkov a umožňuje zadržať vlhkosť v chlebe a zákusoch počas uskladňovania (**Kohajdová a Karovičová, 2009**).

Karagénany sú extrakty z červených rias. Je to lineárny polysacharid a základnú štruktúrnú jednotku tvorí len D-galaktopyranóza (neobsahuje L-galaktózu). Sú čiastočne sulfónované a podľa stupňa esterifikácie sa delia na frakcie jota, kappa a lambda. Karagénany sa vyznačujú schopnosťou reagovať s lepkovými proteínmi a vytvárať gély znášajúce vysoké teploty pri pečení a nízke teploty zmrazovania bez zmeny štruktúry s stratou vody. Do pekárenských výrobkov sa aplikuje najmä kappa-karagénan zvyšujúci objem a predlžujúci trvanlivosť výrobkov (**Kohajdová et al., 2008**).

Tragakantová guma sa získava z kmeňa ázijských stromov druhu *Astragalus* a základná jednotka chemickej štruktúry pozostáva z β -D-xylopyranózy, β -L-arabino-furanózy, α -D-galaktopyranurónovej kyseliny, metyl α -D-galaktopyranuronátu, β -D-galaktopyranózy a α -L-fukopyranózy. Táto guma stabilizuje náplne a polevy s obsahom ovocia a ovocných pretlakov a poskytuje im lesklý a priesvitný vzhľad, krémovú chuť a dobrú trvanlivosť. Maximálne povolené množstvo je do pekárenských výrobkov 0,2 % (**Kohajdová a Karovičová, 2009**).

Účinným prostriedkom spomaľovania starnutia je použitie 0,1–0,9 hmotnostných % karbovej gummy. Získava sa z indického stromu *Sterculia urens*. Hlavný reťazec tvorí α -D-galakturónová kyselina a α -L-ramnózové zvyšky, postranné reťazce tvorí väzbou

1,2 pripojená β -D-galaktóza alebo väzbou 1,3 pripojená kyselina β -D-glukurónová. Vyznačuje sa jedinečnými vlastnosťami ako vysoká napučiacia schopnosť, schopnosť zadržiavať vodu a vysoká viskozita. (**Kohajdová a Karovičová, 2009**).

Gelanová guma je pre potravinárske aplikácie zaujímavá vďaka svojim fyzikálnym vlastnostiam ako vysoká viskozita, odolnosť voči vysokým teplotám, kyselinám a pôsobeniu enzýmov. Gelanová guma tiež vytvára povlaky a filmy, ktoré znižujú absorpciu oleja vytváraním účinnej bariéry (**Kohajdová a Karovičová, 2009**).

EMULGÁTORY

V pekárskej výrobe sa využívajú emulgátory kvôli nasledovným technologickým vlastnostiam: zlepšenie charakteristik cesta a to kvasnej tolerancie a stability cesta, zlepšenie kvality striedky, vyššia schopnosť zadržať plyny v ceste a následné zväčšenie objemu, predĺženie trvanlivosti a emulgácia tukov. Pri predlžovaní trvanlivosti účinne pôsobia najmä lecitín a monoacylglyceroly (**Stampfli a Nersten, 1995**).

Bolo dokázané, že emulgátory zabraňujú tvrdnutiu striedky, ktoré sa spája so starnutím. Ich účinok pri spomaľovaní starnutia vyplýva z interakcií so škrobom, spomaľovaním procesu retrogradácie, zabraňovaním presunu vlhkosti medzi lepkom a škrobom a chráni tým škrob pred prijímaním vody. Pokles množstva nasiaknutej vody škrobom vytvára viac vody dostupnej pre hydratáciu lepku, čo sa považuje za príspevok k spomaľovaniu starnutia (**Kohajdová et al., 2009**).

Acylglyceroly, veľmi dôležité deriváty lipidov, patria k neiónovým povrchovo aktívnym látkam a používajú sa v emulziách typu voda v oleji (W/O) (**Szeląg a Zwierzykowski, 1999**).

Monoacylglyceroly ovplyvňujú trvanlivosť tým, že vytvárajú komplexné zlúčeniny s amylozou, ktoré sú nerozpustné vo vode a z toho dôvodu komplexne viazaná amyloza nepodstupuje retrogradáciu a neprispieva tak ku procesu starnutia (**Stampfli a Nersten, 1995, Szemes a Mainitz, 1999**).

Stearyl-2-mliečnan sodný (SSL) je aniónový emulgátor zlepšujúci toleranciu a odolnosť cesta pri miešení, zväčšuje objem výrobku, pozitívne vplyva na tokové vlastnosti spojené s významným oneskorením tvrdnutia chleba. Táto látka môže znížiť účinky na reologické vlastnosti v dôsledku skladovania v mraze, ale nie je účinná pri spomaľovaní času kysnutia (**Kohajdová et al., 2009**).

Diacetylvinné estery monoacylglycerolu (DATEM) sú aniónové emulgátory typu O/W, ktoré sa zvyčajne používajú do 0,3 % hmotnosti múky. Pôsobenie DATEM ako činidla zmäčujúceho striedku je úzko späté s interakciami so škrobom, predovšetkým s lineárnymi molekulami amylozy ako aj s amylopektínom. Tvorba týchto komplexov potláča starnutie chleba a to zabraňovaním retrogradácie amylozy a amylopektínu a aj znižovaním β -typu amylozového jadra, ktoré môže napomáhať retrogradácií amylopektínu (**Kohajdová et al., 2009**).

Pridavok lecitínu (6g/kg múky) zlepšuje fermentačný proces kvasiniek v ceste, zväčšuje objem bochníka o 25 %, robí štruktúru striedky kompaktnejšiu a starnutie spomaľujú hydrolyzované lecitíny. Lecitíny s vyšším zastúpením nasýtených mastných kyselín sú účinnejšie ako lecitíny s vyšším podielom nenasýtených mastných kyselín. Funkčné vlastnosti ovplyvňuje prítomnosť iných zložiek lecitínov ako sú ceramidy, glykolipidy a gangliozidy (Helmerich a Koehler, 2005).

INÉ SPÔSOBY PREDĽŽENIA TRVANLIVOSTI

Stály problém obmedzujúci trvanlivosť je plesňová kontaminácia, ktorá predstavuje straty 1-5 % v závislosti od obdobia, druhu výrobku a spôsobu výroby. Hoci sú čerstvé pekárenské výrobky bez spór a vegetatívnych foriem plesní, nastáva ihneď po vypečení kontaminácia spórami zo vzduchu, povrchu náradia, zariadenia a použitím surových prísad ako polevy, orechy, korenie a cukor (Smith et al., 2004).

Mikrobiálne kazenie pekárenských výrobkov prevažne spôsobuje kontaminácia plesňami a kvasinkami, občas sa však pri premnožení termorezistentných spórotvorných baktérií *Bacillus subtilis* vyskytne aj nitkovitosť chleba. Plesňovú kontamináciu spôsobujú rody *Penicillium* (90 – 100 %), vyskytujú sa aj rody *Cladosporium* a *Aspergillus*. Sušienky patria k pekárenským výrobkom s nízkou hodnotou aktivity vody a kontamináciu spôsobujú rody plesní *Eurotium* sp., *Aspergillus* sp. a *Wallemia sebi*. Kontaminácia kvasinkami sa najobvyklejšie vyskytuje na krájanom a ryžovom chlebe, pričom prevládajú druhy *Endomyces fibuliger* a *Hyphopichia burtonii* (Suhr a Nielsen, 2004).

Častá je tvorba mykotoxínov pri plesnivení chleba. Na chlebe sa z producentov mykotoxínov najčastejšie vyskytujú *Aspergillus flavus* (aflatoxíny), *Aspergillus ochraceus* (ochratoxín A), *Penicillium expansum* (patulín) a *Aspergillus versicolor* (sterigmatocystín). Aflatoxíny sa najčastejšie dokazujú na splensnivenom pšeničnom a pšeničnoražnom chlebe (Görner a Valík, 2004).

V pekárstve sa k potlačeniu rastu mikroorganizmov a k predĺženiu trvanlivosti používajú aj chemické konzervačné látky, konkrétne slabé organické kyseliny ako kyselina benzoová, propiónová, sorbová a ich vápenaté, draselné a sodné soli. Antimikrobiálnu aktivitu vykazujú len nedisociované molekuly týchto kyselín. Najúčinnějšíe sú v pekárskych produktoch s relatívne nízkou hodnotou pH (4,5 – 5,5) a hodnotami aktivity vody v rozmedzí 0,80 – 0,85. Používajú sa v koncentračných zastúpeniach 0,03 až 0,3 (Guynot et al., 2005).

K potlačeniu rastu plesní možno taktiež použiť etanol (5-12 hmotn. %). Etanol zabraňuje rozvoju mycélia pri raste plesní. Aplikuje sa priamo do produktu alebo sa používa enkapsulovaný etanol známy pod trhovým názvom Ethicap® (Dantigny et al., 2005).

V súčasnosti sa do popredia dostávajú alternatívne metódy na báze biokonzervácie s využitím baktérií mliečneho kysnutia. Tieto baktérie (*Lactobacillus* sp., *Pediococcus* sp.) produkujú svojim metabolizmom rôzne biologicky aktívne molekuly ako organické kyseliny (kyselina mliečna, octová, propiónová), mastné kyseliny,

peroxid vodíka a bakteriocíny, ktoré inhibujú rozvoj nežiaducej mikroflóry. Výhodné je nahradiť 50 % z množstva použitých chemických konzervačných látok baktériami mliečneho kysnutia (Gerez et al., 2009).

Balenie je posledným technologickým krokom pri výrobe pekárenských produktov. Konvenčné postupy balenia využívajú atmosférický vzduch a osvedčené obalové materiály. Avšak novodobé postupy využívajú modifikovanú atmosféru u zloženú z CO₂ resp. N₂ a špeciálne materiály umožňujúce permeabilitu inertných plynov (Kotsianis et al., 2002).

Balenie chleba do obalov s modifikovanou atmosférou MAP (z angl. modified atmosphere packaging) je zaužívané v súvislosti s predĺžovaním mikrobiologickej trvanlivosti. Z toho dôvodu je na vzostupe potreba uchovávaní chleba v baleniach s modifikovanou atmosférou zloženou z CO₂ samotného, alebo zo zmesi CO₂ a N₂ (Rasmussen a Hansen, 2001).

Zvýšená koncentrácia CO₂ v baleniach (70 – 100 %) môže vytvoriť mierne vákuum, ktoré stláča produkt a zapríčiňuje nepríjemnú kyslú chuť. Preto najvhodnejšia koncentrácia CO₂ v baleniach je okolo 60 % a výhodné je zakomponovanie draselnej soli kyseliny sorbovej v čo najnižších množstvách v závislosti na hodnotách pH a aktivity vody v produkte (Guynot et al., 2004).

Podľa Smitha et al. (2004) je MAP s použitím CO₂ účinnejšie pri nižších teplotách skladovania a k inhibícii väčšiny aeróbných spórotvorných mikroorganizmov je potrebná minimálna koncentrácia 20-30 % CO₂ (v/v), zatiaľ čo k predĺženiu trvanlivosti je vhodné použiť približne 60 % CO₂. Výrobky sa prednostne balia po úplnom vychladnutí, pretože zabalením teplého výrobku dochádza ku kondenzácii vlhkosti v obale a na povrchu výrobku, čím sa vytvárajú vhodné podmienky pre rast plesní (Smith et al., 2004).

ZÁVER

Čerstvé pekárenské výrobky strácajú za normálnych podmienok skladovania svoje pôvodné štruktúrne a organoleptické vlastnosti. V dôsledku retrogradácie škrobu, presunu vlhkosti zo striedky do kôrky ako aj ďalšími interakciami medzi jednotlivými komponentmi produkt tvrdne, stáva sa drobivým a stráca senzoricky príjemnú chuť a vôňu čerstvého výrobku. S cieľom predĺženia trvanlivosti a zlepšenia niektorých kvalitatívnych parametrov sa k základným receptúram výrobkov pridávajú pekárske zlepšujúce prostriedky ako enzýmy, hydrokoloidy, emulgátory a i.. Pre zaistenie mikrobiologickej bezpečnosti a dlhšie zachovanie čerstvosti výrobku sa často používa balenie finálnych výrobkov s využitím MAP technológie. Pre zvyšujúce nároky konzumentov na kvalitu, trvanlivosť a zdravotnú bezpečnosť pekárenských výrobkov sa výskumy v tejto oblasti posúvajú stále ďalej a poskytujú nové možnosti a riešenia tejto problematiky.

LITERATÚRA

BÁRCENAS, M. E., BENEDITO, C., ROSELL, C. M., 2004. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted

- baking process with frozen storage. In *Food Hydrocolloids*, vol. 18, 2004, no. 5, p. 769-774.
- COLLAR, C., ANDREU, P., MARTÍNEZ, J.C., ARMERO, E., 1999. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. In *Food Hydrocolloids*, vol. 13, 1999, no.6, p. 467-475.
- COLLAR, C., BOLLAÍN, C., ANGIOLONI, A., 2005. Significance of microbial transglutaminase on the sensory, mechanical and crumb grain pattern of enzyme supplemented fresh pan breads. In *Journal of Food Engineering*, vol. 70, 2005, no. 4, p. 479-488.
- CHINACHOTI, P., VODOVOTZ, Y., 2001. *Bread staling*, CRC Press, Boca Raton 2000, 177 p., ISBN 0849387906.
- DANTIGNY, P., GUILMART, A., RADOI, F., BENSOUSSAN, M., ZWIETERING, M., 2005. Modelling the effect of ethanol on growth rate of food spoilage moulds. In *International Journal of Food Microbiology*, vol. 98, 2005, no. 3, p. 261-269
- FESSAS, D., SCHIRALDI, A., 1998. Texture and staling of wheat bread crumb: Effects of water extractable proteins and pentosans. In *Thermochimica Acta*, vol. 323, 1998, no. 1-2, p. 17-26.
- GEREZ, C. L., TORINO, M. I., ROLLÁN, G., FONT DE VALDEZ, G., 2009. Prevention of bread mould spoilage by using lactic acid bacteria with antifungal properties. In *Food Control*, vol. 20, 2009, no. 2, p. 144-148
- GERRARD, J. A., EVERY, D., SUTTIN, K. H., GILPIN, M. J., 1997. The role of maltodextrins in the staling of bread. In *Journal of Cereal Science*, vol. 26, 1997, no. 2, p. 201-209.
- GIMÉNEZ, A., VARELA, P., SALVADOR, A., ARES, G., FISZMAN, S., GARITTA, L., 2007. Shelf life estimation of brown pan bread: A consumer approach. In *Food Quality and Preference*, vol. 18, 2007, no. 2, p. 196-204.
- 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, no. 3, p. 345-352.
- GÖRNER, F., VALÍK, E., 2004. *Aplikovaná mikrobiológia požívatin*. Malé centrum, Bratislava 2004, 528 p., ISBN 80-967064-9-7.
- GRAY, J. A., BEMILLER, J. N., 2003. Bread staling: Molecular basis and control. In *Comprehensive Reviews in Food and Science and Food Safety*, vol. 2, 2003, no. 1, p. 1-21.
- GUARDA, A., ROSELL, C. M., BENEDITO, C., GALOTTO, M. J., 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. In *Food Hydrocolloids*, vol. 18, 2004, no. 2, p. 241-247.
- GUYNOT, M. E., MARÍN, S., SANCHIS, V., RAMOS, A. J., 2004. An attempt to minimize potassium sorbate concentration in sponge cakes by modified atmosphere packaging combination to prevent fungal spoilage. In *Food Microbiology*, vol. 21, 2004, no. 4, p. 449-457.
- GUYNOT, M. E., RAMOS, A. J., SANCHIS, V., MARÍN, S., 2005. Study of benzoate, propionate, and sorbate salts as mould spoilage inhibitors on intermediate moisture bakery products of low pH (4.5-5.5). In *International Journal of Food Microbiology*, vol. 101, 2005, no. 2, p.161-168.
- HAMPL, J., HOLÝ, Č., HAVEL, F., KADLEC, F., PŘÍHODOVÁ, J., 1981. *Jakost pekárenských a cukrárenských výrobků*, SNTL, Praha, 1981, 232 p., ISBN 04-818-81.
- HAROS, M., ROSELL, C. M., BENEDITO, C., 2002. Effect of different carbohydrates on fresh bread texture and bread Staling. In *European Food Research Technology*, vol. 215, 2002, p.425-430.
- HELMERICH, G., KOEHLER, P., 2005. Functional properties of individual classes of phospholipids in breadmaking. In *Journal of Cereal Science*, vol. 42, 2005, no. 2, p. 233-241.
- KIRK, O., BORCHERT, T. V., FUGLS, C. C., 2002. Industrial enzyme applications. In *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 13, 2002, no. 4, p. 345-351.
- KOHAJDOVÁ, Z., KAROVIČOVÁ, J., 2009. Application of hydrokoloids as baking improvers. In *Chemical papers*, vol. 63, 2009, no. 1, p. 26-38.
- KOHAJDOVÁ, Z., KAROVIČOVÁ, J., GAJDOŠOVÁ, Ž., 2008. Význam hydrokoloidov v pekárstve. In *Potravinárstvo*, vol. 3, 2008, p. 9-18.
- KOHAJDOVÁ, Z., KAROVIČOVÁ, J., SCHMIDT, Š., 2009. Significance of emulsifiers and hydrocolloids in bakery industry. In *Acta Chimica Slovaca*, vol. 2, 2009, no. 1, p. 46-61.
- KOTSIANIS, I. S., GIANNOU, V., TZIA, C., 2002. Production and packing of bakery products using MAP technology. In *Trends in Food Science & Technology*, vol. 13, 2002, no. 9-10, p. 319-324.
- MIYAZAKI, M., MAEDA, T., MORITA, N., 2004. Effect of various dextrin substitutions for wheat flour on dough properties and bread qualities. In *Food Research International*, vol. 37, 2004, no. 1, p. 59-65.
- MOAYEDALLAIE, S., MIRZAEI, M., PATERSON, J., 2010. Bread improvers: Comparison of a range of lipases with a traditional emulsifier. In *Food Chemistry*, vol. 122, 2005, no. 3, p. 495-499.
- RANDEZ-GIL, F., PRIETO, J. A., MURCIA, A., SANZ, P., 1995. Construction of baker's yeast strains that secrete *Aspergillus oryzae* alpha-amylase and their use in bread making. In *Journal of Cereal Science*, vol. 21, 1995, no. 2, p. 185-193.
- RASMUSSEN, P. H., HANSEN, Å., 2001. Staling of wheat bread stored in modified atmosphere. In *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, vol. 34, 2001, no. 7, p. 487-491.
- SELINHEIMO, E., KRUUS, K., BUCHERT, J., HOPIA, A., AUTIO, K., 2006. Effects of laccase, xylanase and their combination on the rheological properties of wheat doughs. In *Journal of Cereal Science*, vol. 43, 2006, no. 2, p. 152-159.
- SHAH, A. R., SHAH, R. K., MADAMWAR, D., 2006. Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*. In *Bioresource Technology*, vol. 97, 2006, no. 16, p. 2047-2053.
- SMITH, J. P., DAIFAS, D. P., EL-KHOURY, W., KOUKOUTSIS, J., EL-KHOURY, A., 2004. Shelf life and safety concerns of bakery products – A review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol 44, 2004, p. 19-55.

STAMPFLI, L., NERSTEN, B., 1995. Emulsifiers in bread making. In *Food Chemistry*, vol. 52, 1995, no. 4, p. 353-360.

SUHR, K. I., NIELSEN, P. V., 2004. Effect of weak acid preservatives on growth of bakery product spoilage fungi at different water activities and pH values. In *International Journal of Food Microbiology*, vol. 95, 2004, no. 1, p. 67-78.

SZELAĞ, H., ZWIERZYKOWSKI, W., 1999. The behaviour of modified monoacylglycerol emulsifiers in emulsion systems. In *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 155, 1999, no. 2-3, p. 349-357.

SZEMES, V., MAINITZ, R., 1999. *Technológia pekárskej výroby*. Gominy, Pezinok 1999, 159 p., ISBN 80-7169-372-3.

VELÍŠEK, J., 2002. *Chemie potravin I.*, OSSIS, Tábor 2002, 343 p., ISBN 80-86659-02-3.

Výnos Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky a Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky zo 6. mája 2002 č. 1035/1/2002 – 100, ktorým sa vydáva hlava Potravinového kódexu Slovenskej republiky upravujúca jedlé obilie a výrobky z obilia. Vestník Ministerstva

pôdohospodárstva Slovenskej republiky, 34, 2002, čiastka 12, p. 40-66.

Acknowledgments:

This work was supported by grant VEGA no. 1/0570/08.

Contact address:

Ing. Michal Magala, Institute of Biotechnology and Food Technology, Department of Food Technology, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovakia, E-mail: michal.magala@stuba.sk

doc. Ing. Jolana Karovičová, PhD., Institute of Biotechnology and Food Technology, Department of Food Technology, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovakia, E-mail: jolana.karovicova@stuba.sk

Ing. Zlatica Kohajdová, PhD., Institute of Biotechnology and Food Technology, Department of Food Technology, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovakia, E-mail: zlatica.kohajdova@stuba.sk