Wpływ bakterii fermentacji mlekowej na tworzenie aromatu pieczywa

Urszula Michalska, Erwin Wąsowicz
Zakład Koncentratów Spożywczych
Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego
ul. Wojska Polskiego 31, 60-624 Poznań

Słowa kluczowe: *Lactobacillus*, związki lotne, kultury starterowe

Wstęp

Duże znaczenie dietetyczno-zdrowotne mają bakterie mlekowe, które wywierają korzystny wpływ na właściwości smakowo-zapachowe produktu, a także gwarantują bezpieczeństwo sanitarne, hamując rozwój drobnoustrojów powodujących psucie się żywności oraz wytwarzanie toksyn.

Obecnie na świecie obserwuje się tendencję zmierzającą w kierunku fermentacji wspomaganej szczepionkami (kulturami starterowymi), na które składają się wyselekcjonowane z naturalnych środowisk wieloskładnikowe populacje bakterii mlekowych, często kojarzone z drożdżami [17]. Szczepy składające się na kulturę starterową powinna cechować odpowiednia aktywność fizjologiczna w optymalnej dla danego procesu temperaturze oraz zdolność do symbiotycznego współbytowania z innymi bakteriami mlekowymi lub drożdżami. Do produkcji szczepionek stosowane są homofermentatywne i heterofermentatywne kultury bakterii mlekowych. Odpowiednia asocjacja bakterii mlekowych z określonymi szczepami drożdży wpływa na tworzenie profili związków lotnych, co ma związek z poprawą właściwości sensorycznych produktu.

Celem pracy jest omówienie roli kultur bakterii mlekowych w tworzeniu aromatu pieczywa.

Kultury starterowe w piekarnictwie

Kultury starterowe stosowane w przemyśle piekarskim mogą zawierać bakterie homofermentatywne, takie jak: *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *L. plantarum*, *L. farciminis*, bakterie heterofermentatywne: *L. brevis*, *L. sanfranciscensis* (dawniej *L. brevis* var. *lindneri*), *L. buchneri*, *L. fermentum*, *L. fructivorans*, oraz drożdże: *Saccharomyces cerevisiae*, *S. exiguus*, *Pichia saitoi*, *Candida crusei*, *C. milleri*, *Torulopsis holmii* [6, 7, 8, 25, 28].

W praktyce spotyka się kultury starterowe o różnym składzie gatunkowym: monokultury bakterii mlekowych homo- i heterofermentatywnych, kultury mieszane różnych gatunków bakterii mlekowych oraz kultury skojarzone bakterii mlekowych i drożdży [1, 26]. Szczepionka piekarska powinna zawierać homofermentatywne bakterie mlekowe, które wytwarzają prawie wyłącznie kwas mlekowy, oraz decydujące o strukturze miękiszu, jego elastyczności i porowatości bakterie heterofermentatywne, które oprócz kwasu mlekowego wytwarzają również kwas octowy, etanol i dwutlenek węgla.

Wprowadzenie kultur starterowych o odpowiedniej gęstości aktywnych komórek mlekowych pozwala na ograniczenie rozwoju mikroflory zanieczyszczającej surowce stosowane do wyrobu pieczywa.

Rola bakterii mlekowych w powstawaniu aromatu

Wytwarzanie kwasów

Główną cechą bakterii mlekowych jest zdolność wytwarzania kwasu mlekowego, który nie ma zapachu, ale powoduje obniżenie pH środowiska. Kwas mlekowy powstaje przez homofermentację mlekową lub stanowi jeden z produktów heterofermentacji [15, 18].

Bakterie mlekowe mogą wytwarzać kwas mlekowy o konfiguracji L (+), D (–) lub racemat DL. Zdolność wytwarzania izomerów kwasu mlekowego zależy od obecności specyficznej dehydrogenazy zależnej od nukleotydu nikotynoadeninowego. *Lactobacillus casei* i laktokoki produkują allosteryczną dehydrogenazę, która aktywowana przez fruktozo-1,6-difosforan prowadzi do powstania izomeru L (+) kwasu mlekowego [13], natomiast *L. plantarum* i *Leuconostoc mesenteroides* wytwarzają duże ilości izomeru D (–) [13, 19]. Zdolność do produkcji mieszaniny racemicznej zaobserwowano u niektórych gatunków z rodzaju *Lactobacillus* [2, 13, 27].

Wzajemne proporcje formy lewoskrętnej i prawoskrętnej zależą nie tylko od mikroorganizmów i rodzaju substratu, lecz także od parametrów technologicznych procesu fermentacji i warunków przechowywania. Zdaniem wielu autorów organizm człowieka może bez przeszkód metabolizować formę L (+) kwasu mlekowego od 4 do

10 razy szybciej niż izomeru D (–), który jest wydzielany z moczem i może przyczynić się do powstania kwasicy moczowej. Według danych Światowej Organizacji Zdrowia nie ma potrzeby ograniczania spożycia formy L (+) kwasu mlekowego, natomiast dopuszczalny dzienny pobór izomeru D (–) ocenia się na 0–100 mg · kg^{-1} wagi człowieka. Zawartość formy D (–) i DL należy maksymalnie ograniczyć w produktach przeznaczonych dla niemowląt, tak aby stosunek form L (+) do D (–) nie był mniejszy niż 3 do 4.

Kwas octowy produkowany jest przez bakterie heterofermentatywne i nadaje pieczywu wyrazisty smak, który wzbogacony jest obecnością etanolu. Etanol wytwarzany jest przez *L. brevis* i *L. sanfranciscensis*, które są przeznaczone do produkcji chleba żytniego i mieszanego w przeciwieństwie do kultur homofermentatywnych *L. delbrueckii* i *L. plantarum*, które wytwarzają prawie wyłącznie kwas mlekowy, nadający pieczywu pszennemu łagodny kwaskowy posmak.

Niektóre bakterie mlekowe, np. *Lactobacillus* No. 138, potrafią rozkładać aminokwasy do odpowiednich kwasów tłuszczowych na drodze dezaminacji lub dekarboksylacji. Hipotezę tą potwierdzają badania, które dowodzą tworzenia kwasu octowego z alaniny lub seryny, kwasu izowalerianowego lub walerianowego z izoleucyny lub leucyny, a także kwasu propionowego z treoniny i kwasu izobutyrowego z waliny [20].

Metabolizm i rola bakterii mlekowych podczas fermentacji pieczywa

Zdolność wydzielania proteinaz i peptydaz przez bakterie mlekowe wpływa na degradację związków zawierających azot. Bakterie mlekowe uwalniają w ten sposób aminokwasy, które wraz z cukrami uczestniczą w powstawaniu produktów brązowienia w reakcjach Maillarda. Jednak jedna trzecia całkowitej aktywności proteolitycznej jest rezultatem aktywności proteaz obecnych w mące [25]. Zdolność proteolizy zależy od szczepu. Pałeczki mlekowe izolowane ze szwedzkich ciast cechuje niska aktywność proteolityczna (*L. plantarum*, *L. sanfranciscensis*, *L. fermentum*), natomiast *L. acidophilus* i *L. plantarum* charakteryzują się wyższą zdolnością proteolizy w porównaniu z naturalną fermentacją ciasta, niewspomaganą szczepionkami [25].

Homofermentatywne szczepy powodują uwolnienie większych ilości aminokwasów. Zaobserwowano także obniżenie zawartości polipeptydów w obecności homofermentatywnego *L. plantarum* i heterofermentatywnego *L. brevis* [17].

Rola bakterii mlekowych polega na uwolnieniu aminokwasów oraz na stymulacji wzrostu drożdży w czasie fermentacji. Udział bakterii mlekowych w procesie proteolizy jest mniej istotny, kiedy stosuje się pełnoziarniste mąki pszenne lub żytnie, które cechuje wysoka zawartość proteaz lub kiedy proteazy są wydzielane przez drożdże [17]. Większość bakterii mlekowych w cieście pszennym i żytnim jest zdolna do fermentacji pentoz, heksoz i disacharydów. Homofermentatywne gatunki *Lactobacillus* preferują glukozę, natomiast heterofermentatywne głównie maltozę [3, 17]. Pałeczki mlekowe izolowane ze szwedzkich ciast uwalniają glukozę z maltozy, a także wykorzystują obecną w mące fruktozę jako akceptor elektronów w celu uzyskania dodatko-

wej energii [28]. Z drugiej strony uwalnianie glukozy z maltozy przez pałeczki mlekowe pozwala na zachowanie równowagi wzrostu bakterii i drożdży konkurujących ze sobą o maltozę.

W cieście żytnim zawartość glukozy pozostaje relatywnie wysoka w czasie fermentacji ($3g \cdot kg^{-1}$), a w cieście pszennym, gdzie dominuje homofermentatywny *L. plantarum*, widoczne jest szybkie wykorzystanie glukozy [10].

Duże znaczenie ma odpowiedni dobór populacji skojarzonych, ponieważ interakcje między mikroorganizmami mogą wywierać pozytywny lub negatywny wpływ na aromat produktu. Brak konkurencji o maltozę w populacjach skojarzonych *S. exiguus* z *L. brevis* wywiera pozytywny wpływ na aromat chleba i powoduje wzrost plonu komórek oraz produkcji kwasu mlekowego i octowego. Z drugiej strony konkurencja między *S. cerevisiae* i *L. brevis* o maltozę i glukozę wpływa na obniżenie aktywności bakterii mlekowych [6, 14].

Obecność drożdży w szczepionkach stymuluje wzrost zawartości kwasów organicznych [8, 29]. Badania nad populacjami skojarzonymi *L. sanfranciscensis* z *S. exiguus* lub *Candida holmii* wykazały, że *L. sanfranciscensis* wykorzystuje maltozę i glukozę jako źródło węgla, wytwarzając duże ilości kwasu mlekowego i octowego. Z drugiej strony *S. exiguus* jest niezdolny do fermentacji maltozy, ale toleruje niskie pH poniżej 4,0 i uwalnia do środowiska aminokwasy, takie jak izoleucyna i walina, które są niezbędne dla wzrostu bakterii mlekowych [21]. Większą produkcję kwasu mlekowego zaobserwowano również w cieście żytnim fermentowanym z udziałem *L. brevis* i *S. cerevisiae* [22]. *S. cerevisiae* uwalnia głównie kwas γ-aminobutyrowy, prolinę, walinę, izoleucynę, glicynę, alaninę i peptydy w cieście, natomiast bakterie mlekowe — glicynę i alaninę, wskutek czego nie ma konkurencji o źródło azotu w populacjach skojarzonych *L. plantarum* lub *L. sanfranciscensis* z *S. cerevisiae* lub *S. exiguus* [5].

W ciastach żytnich uwalniane są głównie leucyna i prolina przez *L. plantarum* i *L. sanfranciscensis* oraz alanina, aspargina, lizyna przez drożdże z rodzaju *Saccharomyces*, które stanowią prekursory związków zapachowych podczas fermentacji i wypieku chleba.

Brak równowagi między fermentacją cukrów prowadzoną przez drożdże a hydrolizą skrobi przez enzymy mąki powoduje szybkie wyczerpanie uwalnianych podczas fermentacji ciast pszennych cukrów oraz obniżenie zdolności zakwaszania środowiska przez bakterie mlekowe w wyniku konkurencji mikroorganizmów. Sytuacja ta jest mniej widoczna w czasie fermentacji ciasta żytniego, gdzie w wyniku większej aktywności enzymatycznej obserwuje się zwiększoną zawartość cukrów prostych. Obserwacje nad populacjami skojarzonymi *S. cerevisiae* lub *S. exiguus* z *L. plantarum*, w obecności sacharozy jako źródła węgla, wykazały wzrost plonu komórek oraz wytwarzania kwasu mlekowego. Drożdże hydrolizowały sacharozę, uwalniając glukozę i fruktozę, które były fermentowane przez bakterie mlekowe, przy czym hydroliza zachodziła 200 razy szybciej niż fermentacja cukrów [9].

Związki lotne

Do identyfikowanych przez wielu autorów związków lotnych w cieście oraz chlebie należą między innymi: alkohole, aldehydy, ketony, izoalkohole, estry [5, 16, 30] oraz lotne kwasy tłuszczowe [20, 23].

Heterofermentatywne bakterie mlekowe wytwarzają głównie aldehyd octowy oraz niektóre alkohole i aldehydy, natomiast bakterie homofermentatywne syntetyzują diacetyl oraz inne karbonyle, podczas gdy izoalkohole są produktami fermentacji drożdży w cieście [4] (tab. 1).

Zawartość lotnych komponentów w cieście zależy od kultury starterowej. Niektóre aldehydy, takie jak heptanal, trans-2-heptenal oraz benzaldehyd, są wytwarzane w cieście żytnim tylko przez *L. plantarum* i *L. farciminis* [4]. Podczas wypieku chleba niektóre aldehydy powstają z aminokwasów oraz w wyniku redukcji cukrów, np. aldehyd octowy powstaje z alaniny, aldehyd izobutyrowy z waliny, aldehyd izowalerianowy z leucyny, 2-metylbutanal z izoleucyny, metional z metioniny, a aldehyd fenylooctowy z fenyloalaniny [25]. Izoalkohole 2-metylpropanol, 2/3-metylbutanol, oraz odpowiednie aldehydy i octan etylu osiągają wyższe stężenia w cieście z udziałem drożdży z rodzaju *Saccharomyces* i *Hansenula* [4, 5]. Dodatek *S. cerevisiae* powoduje zwiększenie produkcji etanolu [8]. Etanol i octan etylu dominują w mące żytniej [12], a także produkowane są w większych ilościach w cieście fermentowanym z udziałem heterofermentatywnych kultur *L. sanfranciscensis* [4].

Niektóre prekursory zapachu są obecne w mące żytniej: proste cukry, wolne aminokwasy, wolne kwasy tłuszczowe, wolne kwasy fenolowe [12]. Aldehyd — heksanal oraz 2-pentylfuran — mogą być efektem oksydacji lub autooksydacji lipidów w surowcu. Aldehydy, ketony oraz pochodne furanu mogą stanowić produkty reakcji Maillarda, zachodzącej wskutek reakcji aminokwasów i cukrów.

Duży wpływ na zapach miękiszu chleba pszennego wywiera diacetyl, metional, 1-okten-3-on, (Z) i (E)-2-nonenal, (E,E)-2,4-dekadienal i trans 4,5-epoksy-(E)-2-dekanal. Z kolei (E)-2-nonenal silnie wpływa na proces pieczenia chleba. Różnica między zapachem skórki i miękiszu chleba pszennego polega na większej zawartości 2-acetylo-1-piroliny, 2-acetylotetrahydropiroliny i 3-metylbutanolu w skórce. Wymienione komponenty powodują charakterystyczny zapach skórki pieczonego chleba ze słodową nutką. Z kolei zapach miękiszu jest efektem peroksydacji kwasu linolowego [24].

Udział *L. plantarum* lub *L. sanfranciscensis* powoduje wzrost zawartości 2/3-metylbutanolu, natomiast skojarzenie drożdży i bakterii mlekowych wpływa na polepszenie aromatu chleba żytniego, co może być spowodowane wyższą zawartością 2/3-metylbutanolu, kwasu 2-metylpropanowego i kwasu 3-metylbutanowego oraz 2-fenyloetanolu [5]. Ciasta żytnie fermentowane z udziałem *L. sanfranciscensis* i *S. cerevisiae* wykazują wyższą zawartość produktów fermentacji drożdży: propanolu, 2-metylpropanolu, 3-metylbutanolu, co może być związane ze zdolnością zakwaszania i właściwościami proteolitycznymi bakterii mlekowych. Podczas fermentacji

Tabela 1. Najważniejsze lotne komponenty produkowane z udziałem bakterii mlekowych w piekarnictwie

Ciasto z kulturami starterowymi [8, 11]	Ciasto z kulturami starterowymi i drożdżami [8]	Skórka i miękisz chleba [24]
Alkohole		
3-heksen-1-ol	etanol	3-metyl,1-butanol
etanol	n-propanol	fenyletanol
2-metyl-1-propanol	2-metyl,1-propanol	etanol
n-butanol	2-butanol	n-propanol
n-pentanol	n-butanol	2-metyl,1-propanol
n-heksanol	2,3-metyl,1-butanol	n-butanol
n-oktanol	n-pentanol	1-penten,3-ol
2-heksanol	n-heksanol	2,3-metyl butanol
n-heptanol	trans-2-heksen-1-ol	n-pentanol
n-propanol	n-heptanol	n-heksanol
n-oktanol	n-oktanol	n-oktenol
cis-3-heksen-1-ol		1-okten,3-ol
trans-2-heksen-2-ol		E(E)2,4-nonadienol
1-penten-3-ol		
2,3-metyl-1-butanol		
Estry		
octan n-pentylu	octan etylu	octan etylu
octan etylu	propionian etylu	octan n-butylu
heksanian etylu	oktanian etylu	octan 2,3-metylbutylu
mleczan etylu	octan butylu	octan n-heptylu
oktanian etylu	octan 2,3-metylbutylu	mleczan etylu
propanian etylu	octan n-pentylu	oktanian etylu
octan butylu	heksanian etylu	
	octan n-heksylu	
	mleczan etylu	
Karbonyle		
3-metylbutanol	3-hydroksy,2-butanon	2-propanon
2-oktanon	2,3-butandion	3-metyl,1-butanol
n-hexanal	trans-2-heptenal	2,3-butandion
trans-2-heptenal		n-heksanal
2-metylbutanal		2-heptanon
diacetyl		3-hydroksy,2-butanon
n-nonanal		n-nonanal
benzaldehyd		metional
		(E)2-oktenal
		(Z)2-nonenal
		(E)2-nonenal
		(E)Z-oktenal
Inne		
2-pentyl,furan	2-pentyl,furan	2-pentyl,furan

ciasta żytniego obserwowano wzrost ilości dostępnych cukrów prostych wskutek większej aktywności enzymatycznej mąki żytniej. Brak konkurencji o źródło węgla oraz zachowanie równowagi między hydrolizą skrobi, zachodzącą pod wpływem enzymów obecnych w mące, a metabolizmem maltozy, a zwłaszcza glukozy, przez *S. cerevisiae* wpływał na wzrost liczby komórek *L. sanfranciscensis* oraz wzrost wytwarzania kwasu octowego [5].

Podsumowanie

Aromat i smak chleba zależą głównie od rodzaju użytego surowca, tj. mąki pszennej lub żytniej oraz procesu fermentacji ciasta. Bakterie fermentacji mlekowej z rodzaju *Lactobacillus plantarum*, *L. sanfranciscensis*, *L. fermentum*, zamieszkujące tę samą niszę ekologiczną, kształtują aromat i smak chleba, wydzielając produkty metabolizmu: kwas mlekowy i octowy, związki lotne, lotne kwasy tłuszczowe. Brak konkurencji o źródło węgla i azotu między bakteriami mlekowymi *L. plantarum* lub *L. sanfranciscensis* a drożdżami *S. cerevisiae* lub *S. exiguus* prowadzi do stymulacji wzrostu bakterii mlekowych oraz zwiększenia wytwarzania kwasów organicznych, a także większej zawartości produktów metabolizmu drożdży, głównie alkoholi.

Literatura

[1] Bednarski W., Reps A. 2000. Kultury starterowe. W: Biotechnologia żywności. Wyd. Naukowe i Techniczne, Warszawa: 287–291.

[2] Bruinenberg P., Vos P. 1992. Proteinase Overproduction in *Lactococcus lactis* Strains. Regulation and Effect on Growth and Acidification in Milk. *Appl. Environ. Microbiol.* 1: 78–84.

[3] Coppola S., Pepe O., Masi P., Sepe M. 1996. Characterization of Leavened Doughs for Pizza in Naples. *Adv. Food Sci.* 18: 160–162.

[4] Damiani P., Gobbetti M., Cosignani L., Corsetti A., Simonetti M., Rossi J. 1996. The Sourdough Microflora. Characterization of Hetero- and Homofermentative Lactic Acid Bacteria, Yeasts and Their Interaction on the Basis of the Volatile Compounds Produced. *Lebensm.- Wiss. u.-Technol.* 29: 63–70.

[5] Gao S., Oh D., Broadbent J., Johnson M., Weimer B., Steele J. 1997. Aromatic Amino Acid Catabolism by Laktokoki. *Lait.* 77: 371–381.

[6] Gobetti M., Corsetti A., Rossi J. 1994. The Sourdough Microflora. Interactions Between Lactic Acid Bacteria and Yeasts: Metabolism of Carbohydrates. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 41: 456–460.

[7] Hammes W., Tichaczek P. 1994. The Potential of Lactic Acid Bacteria for the Production of Safe and Wholesome Food. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 198: 193–201.

[8] Hansen B., Hansen Å. 1994. Volatile Compounds in Wheat Sourdoughs Produced by Lactic Acid Bacteria and Sourdough Yeasts. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 198: 202–209.

[9] Law J., Haandrikman A. 1997. Review Article. Proteolityc Enzymes of Lactic Acid Bacteria. *Int. Dairy J.* 7: 1–11.

[10] Lönner C., Welander T., Molin N., Dostálek M. 1986. The Microflora in a Sour Dough Started Spontaneously on Typical Swedish Rye Meal. *Food Microbiol.* 3: 3–12.

[11] Lund B., Hansen Å., Lewis M. 1989. Flavour Production and Acidification of Sourdoughs in Relation to Starter Culture and Fermentation Temperature. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 22: 145–149.

[12] Lund B., Hansen Å., Lewis M. 1989. The Influence of Dough Yield on Acidification and Production of Volatiles in Sourdoughs. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 22: 150–153.

[13] Jehanno D., Thuault D., Bourgeois C. 1992. Development of a Method for Detection of Lactic Acid Bacteria Exclusively the L- (+)- Isomer of Lactic Acid. *Appl. Environ. Microbiol.* 12: 4064–4067.

[14] Karovičová J., Drdák M., Grief G. 1999. The Choice of Strains of *Lactobacillus* Species for the Lactic Fermentation of Vegetable Juices. *Eur. Food Res. Technol.* 210: 53–56.

[15] Kuncewicz A., Panfil-Kuncewicz H. 1998. Przemiany sacharydów pod wpływem fermentacji mlekowej. W: Bakterie fermentacji mlekowej. Klasyfikacja, metabolizm, genetyka, wykorzystanie. Z. Libudzisz, P. Walczak i J. Bardowski (red.), Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej: 98–109.

[16] Marsili R. 1985. Monitoring Chemical Changes in Cheddar Cheese During Aging by High Performance Liquid Chromatography and Gas Chromatography Techniques. *J. Dairy Sci.* 68: 3155–3161.

[17] Martínez-Anaya M. 1996. Carbohydrate and Nitrogen Related Components in Wheat Sourdough Processes: *A Review. Adv. Food Sci.* 5: 185–200.

[18] Mäyra-Mäkinen A., Bigret M. 1993. Industrial Use and Production of Lactic Acid Bacteria. W: Lactic Acid Bacteria. Mercel Dekker, Inc: 20–41.

[19] McDonald L., Fleming H., Hassan H. 1990. Acid Tolerance of *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum. Appl. Environ. Microbiol.* 7: 2120–2124.

[20] Nakae T., Elliot J. 1965. Production of Volatile Fatty Acids by Some Lactic Acid Bacteria. II. Selective Formation of Volatile Fatty Acids by Degradation of Amino Acids. *J. Dairy Sci.* 48: 293–299.

[21] Ottogali G., Galli A., Foschino R. 1996. Italian Bakery Products Obtained with Sour Dough: Characterization of the Typical Microflora. *Adv. Food Sci.* 18: 131–144.

[22] Röcken W., Rick M., Reinkemeier M. 1992. Controlled Production of Acetic Acid in Wheat Sour Doughs. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 195: 259–263.

[23] Salama M., Musafija-Jeknic T., Sandine W., Giovannoni S. 1995. An Ecological Study of Lactic Acid Bacteria: Isolation of New Strains of *Lactococcus* including *Lactococcus lactis* subspecies *cremoris. J. Dairy Sci.* 78: 1004–1017.

[24] Schieberle P., Grosch W. 1991. Potent Odorants of the Wheat Bread Crumb. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 192: 130–135.

[25] Spicher G., Nierle W. 1988. Proteolytic Activity of Sourdough Bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 28: 487–492.

[26] Staszewska E., Ambroziak Z., Janik M. 1995. Kultury starterowe — ich funkcje i zastosowanie w produkcji chleba. *Przegl. Piek.- Cuk.* 43: 4–6.

[27] Stecka K., Grzybowski R. 2000. The Influence of pH and Oxygen on the Growth and Probiotic Activity of Lactic Acid Bacteria. *Food Biotechnol.* 275–281.

[28] Vogel R., Müller M., Stolz P., Ehrmann M. 1996. Ecology of Sourdoughs Produced by Traditional and Modern Technologies. *Adv. Food Sci.* 5: 152–159.

[29] Vollmar A., Menser F. 1992. Influence of Starter Cultures Consisting of Lactic Acid Bacteria and Yeast on the Performance of a Continuous Sourdough Fermenter. *Cereal Chem.* 69: 20–27.

[30] Yvon M., Thirouin S., Rijnen L., Fromentier D., Gripon J. 1997. An Aminotransferase from *Lactococcus lactis* Initiates Conversion of Amino Acids to Cheese Compounds. *Appl. Environ. Microbiol.* 2: 414–419.

The influence of lactic acid bacteria on the aroma of bakery products

Key words: *Lactobacillus*, volatile compounds, starter cultures

Summary

Bread flavor depends on raw material properties (rye or wheat flour) and sourdough fermentation process.

Lactic acid bacteria: *L. sanfranciscensis*, *L. plantarum*, *L. fermentum* excrete the products of their fermentation: lactic and acetic acid, volatile compounds, volatile fatty acids and form bread flavour as natural inhabitants. Lack of the competition between *L. plantarum* or *L. sanfranciscensis* and *S. cerevisiae* or *S. exiguus* for the carbon and nitrogen source leads to stimulation of bacteria growth and organic acid production and raising fermentation products of yeasts, mainly the alcohols.