

OCENA PRZYDATNOŚCI AMYLOLITYCZNEGO SZCZEPU *LACTOBACILLUS PLANTARUM* DO OTRZYMYWANIA PIECZYWA PSZENNEGO

Katarzyna Piasecka-Józwiak, Joanna Rozmierska, Elżbieta Słowik, Beata Chablowska,
Krystyna M. Stecka, Danuta Kotyrba

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego
Zakład Technologii Fermentacji
Rakowiecka 36, 05-532 Warszawa
katarzyna.piasecka@ibprs.pl

Streszczenie

Celem pracy było zastosowanie szczepu *Lactobacillus plantarum* K (KKP 593p) charakteryzującego się aktywnością amylolityczną, do otrzymywania zakwasowego pieczywa pszennego typu ciabatta. Otrzymaną w skali mikrotechnicznej biomasę *L. plantarum* K zastosowano do zainicjowania fermentacji zaczątków piekarskich sporządzonych z mąki pszennej. Porównano efekt zastosowania szczepu *L. plantarum* K (KKP 593p) i wyizolowanego z rzemieślniczego zakwasu szczepu *Lactobacillus plantarum* L (KKP 1588), do otrzymywania zakwasowego pieczywa pszennego. Właściwości technologiczne (kwasowość miareczkowa, pH, wydzielanie CO₂) i mikrobiologiczne zakwasów piekarskich oceniono jako dobre: liczba bakterii mlekowych osiągnęła poziom 10⁸ - 10⁹ j.t.k./g. Pieczywo pszenne otrzymane z udziałem wyprowadzonych zakwasów charakteryzowało się dobrymi parametrami jakościowymi.

Oceniane zakwasy piekarskie sporządzone z udziałem obu kultur starterowych różniły się głównie pod względem właściwości sensorycznych. Pieczywo otrzymane z dodatkiem kultury zawierającej szczep amylolityczny charakteryzowało się wyższą oceną w badaniach sensorycznych. Przy zastosowaniu chromatografii gazowej (HS-GC), stwierdzono występowanie różnic w charakterystyce związków składających się na aromat, obecnych w cieście i pieczywie otrzymanym z udziałem kultur starterowych. Analiza ekstensograficzna pszennych ciast zakwasowych wykazała, że ciasta te są „słabsze” w porównaniu do ciast bez dodatku kwasu piekarskiego, charakteryzowały się niższą opornością na zrywanie, niższą rozciągliwością jak i energią niż ciasto kontrolne, jednak ciasta otrzymane z udziałem *Lactobacillus plantarum* K wykazywały lepsze parametry ekstensograficzne niż z *Lactobacillus plantarum* L.

Słowa kluczowe: amylolityczne bakterie fermentacji mlekowej, piekarskie kultury starterowe, pieczywo pszenne.

THE AMYLOLYTIC STRAIN *LACTOBACILLUS PLANTARUM* AS THE STARTER CULTURE TO OBTAIN WHEAT SOURDOUGH (BREAD)

Summary

The present work was aimed at application *Lactobacillus plantarum* K with amylolytic activity as starter culture to obtain bread, ciabatta type,. The biomass cultured in micro technical scale was used to start the fermentation of sourdough, manufactured from wheat flour. The effect of the starter culture *Lactobacillus plantarum* K with amylolytic activity and the isolated from artisanal sourdough *Lactobacillus plantarum* L on wheat and wheat-rye bread characteristic was compared. The technological (pH, TTA, realese of CO₂) and microbiological properties of the dough and the breads were assessed as proper. The colony forming unit of lactic acid bacteria reach 10⁸-10⁹ per gram.

Sourdoughs fermented with both starter cultures showed similar technological properties. The main difference concerns the flavour and rheological characteristic. Bread prepared with amylolytic strain *L. plantarum* K received higher sensory notes then bread with *L. plantarum* L. This fact was confirmed by data obtained by HS-GC method, in bread fermented with *L. plantarum* K were determined different level of some compounds of aroma. Ekstensographic analyse of sourdough with the both strains *L. plantarum* were found lower than the unfermented dough also extensibility and energy of the sourdough were lower. The dough prepared with *L. plantarum* K showed better ekstensographic parameters than the dough with *L. plantarum* L. Dough made with sourdough were “weaker” than the unfermented ones.

Key words: amylolytic lactic acid bacteria, bakers starter cultures, wheat bread

WPROWADZENIE

Największy udział na polskim rynku pieczywa ma dotychczas pieczywo pszenno-żytnie i żytnie. Obecnie obserwuje się wzrost zainteresowania konsumentów innymi rodzajami pieczywa, między innymi pieczywem pszennym, w tym wypiekanyymi z ciast ukwaszanych wyrobami typu bagietka i ciabatta, które są charakterystyczne dla krajów basenu Morza Śródziemnego. Tradycyjna technologia wytwarzania takiego pieczywa wymaga przeprowadzenia etapu fermentacji ciasta pszennego, w celu nadania mu odpowiedniej struktury. Proces ten jest czasochłonny i pracochłonny. Na przykład produkcja przygotowywanego na Boże Narodzenie panettone zaczyna się kilka miesięcy wcześniej ponieważ ciasto wymaga wielu odświeżeń przy stopniowym zwiększaniu dodatku cukru.

Dlatego najczęściej tradycyjny proces produkcyjny jest zastępowany przez skrócone technologie, w których dodawana jest aktywna alfa-amylaza i inne polepszacze ciast. Jakość pieczywa otrzymanego w wyniku fermentacji jest jednak wyższa - charakteryzuje się ono lepszym smakiem i aromatem. Jest to związane z syntezą przez drobnoustroje wielu metabolitów takich jak kwasy organiczne, egzopolisacharydy i/lub enzymy, które oprócz wpływu na właściwości sensoryczne pieczywa, wykazują pozytywny wpływ także na jego teksturę i opóźniają starzenie pieczywa [Arendt i in. 2007]. Fermentacja prowadzona przez mikroorganizmy powoduje także podwyższenie wartości odżywczej wyrobów.

Rozwiązaniem, stosowanym w celu pogodzenia wymogów nowoczesnych i w pełni zautomatyzowanych piekarni przemysłowych z zachowaniem jakości sensorycznej pieczywa jest wykorzystanie kultur starterowych o składzie zaprojektowanym odpowiednio do oczekiwanego efektu [Diowkszy, Włodarczyk 2000, Staszewska, Janik 1999].

Na właściwości reologiczne i teksturę ciast pszennych wpływa zawartość i jakość makropolimerów glutenu (gluten macropolymer-GMP) [Glanze, Vogel 2005, Glanze i in. 2007]. Ważnym czynnikiem są proporcje pomiędzy gliadynami i gluteninami. W wyniku agregacji uwodnionych, napęczniałych cząsteczek gliadyny i gluteniny, łączonych przede wszystkim wiązaniami wodorowymi i poprzez oddziaływania hydrofobowe, powstaje ciągła, trójwymiarowa matryca glutenowa, w której rozproszone są ziarenka skrobi i inne składniki mąki oraz pęcherzyki gazu [Sanni i in. 2002]. Sieć białkowa wysokocząsteczkowych glutenin wpływa na elastyczność pieczywa i oporność na deformację, z kolei monomeryczne gliadyny tworzą plastyczną strukturę miękkiszu pieczywa.

Amylazy są rutynowo dodawane w produkcji pieczywa pszennego, co ma na celu optymalizację aktywności amylolitycznej mąki [Goesaert i in. 2005]. Działalność amylaz w cieście powoduje poprawę dostępności cukrów dla mikroorganizmów oraz zwiększenie zawartości cukrów prostych, biorących udział w reakcjach Maillarda. Retrogradacja skrobi ma wpływ na czerstwienie pieczywa, choć nie do końca wiadomo jaką rolę pełni skrobia podczas przygotowywania ciasta pszennego [Arendt i in. 2007, Glanze i in. 2007, Goesaert i in. 2005]. Niektóre amylazy, modyfikując strukturę skrobi przeciwdziałają jej retrogradacji co opóźnia czerstwienie pieczywa [Goesaert i in. 2005, Palacios i in. 2004]. Fermentacja wywołana przez bakterie fermentacji mlekowej (LAB) opóźnia retrogradację skrobi, w tym przypadku efekt zależy od poziomu zakwaszenia [Corsetti i in. 2000].

Wprowadzenie do ciasta bakterii mlekowych o właściwościach amylolitycznych, poza optymalizacją struktury ciast, powinno korzystnie wpływać na rozwój naturalnie występujących lub wprowadzonych z kulturą starterową bakterii mlekowych i drożdży,

poprzez dostarczenie im substratów do wzrostu. Towarzysząca degradacji skrobi biosynteza kwasu mlekowego powoduje obniżenie pH środowiska, co przyczynia się do ograniczenia rozwoju mikroflory niepożądaną, lecz wywiera pewien wpływ na właściwości reologiczne ciasta pszenne. Obniżenie pH z 5,8 do 4,2 znacząco zmniejsza rozciągliwość ciasta.

Spośród bakterii homofermentacyjnych gatunkiem najczęściej spotykanym w kulturach starterowych jest *L. plantarum*, natomiast wśród heterofermentacyjnych *L. brevis* i *L. sanfranciscensis* [De Vuyst, Neysens 2005, Staszewska, Janik 1999, Stepaniak 2000, Włodarczyk 1984]. Warto zaznaczyć, że szczepy bakterii fermentacji mlekowej nawet jeśli należą do tego samego gatunku mogą się znacznie różnić pod względem przydatności technologicznej [Pepe i in. 2004]. Na przykład LAB syntetyzują związki zapachowe o specyficznym, właściwym dla gatunków, a nawet szczepów składzie [Katina 2005]. Dobór starterów zależy od oczekiwanych walorów smakowo-zapachowych pieczywa, dlatego tak ważne jest stosowanie kultur starterowych o zróżnicowanym składzie gatunkowym. Oferta rynkowa starterów piekarskich w Polsce jest ograniczona. Powszechną praktyką jest stosowanie tego samego typu startera do wielu rodzajów pieczywa co unifikuje jego cechy organoleptyczne. Takie podejście znajduje odbicie w prowadzonych pracach naukowych, w których stosowane są głównie dwa rodzaje starterów firmy Lesaffre [Kawka i in. 2007, Ostasiewicz i in. 2009, Kawka, Górecka 2010].

Celem pracy było sprawdzenie przydatności kultury starterowej z udziałem amyloolitycznego szczepu *Lactobacillus plantarum* K (*KKP 593p*) do pieczywa pszenne, która pozwoliłaby na wyeliminowanie polepszaczy i poprawiła jego jakość. Uzasadnieniem podjęcia tego tematu jest brak na rynku starterów zawierających szczepy bakterii o właściwościach amyloolitycznych.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W badaniach stosowano wyizolowany z surowych ziemniaków *Lactobacillus plantarum* K (*KKP 593p*) charakteryzujący się właściwościami amyloolitycznymi, potwierdzonymi obecnością genu amylazy [Zielińska 2004] oraz wyizolowany z zakwasu rzemieślniczego (kwasu piekarskiego) *Lactobacillus plantarum* L3 (*KKP 1588*), który był stosowany do produkcji pieczywa pszenno-żytniego [Piasecka-Józwiak i in. 2006]. Oba szczepy bakterii oceniano pod względem przydatności jako startera fermentacji, do produkcji pieczywa pszenne typu ciabatta.

Zakwasy piekarskie [wg. Staszewskiej, Janik 1999] sporządzano metodą dwufazową (tj. przygotowując z udziałem startera kolejno dwie fazy ciasta fermentowanego: zaczątek

piekarski i zakwas) wykorzystując biomasę bakterii zawierającą 10^{11} jtk/g. Należy zaznaczyć, że w Polsce nie ma tradycji przygotowywania zakwasów z mąki pszennej dlatego podczas badań wykorzystano i zmodyfikowano receptury przewidziane do prowadzenia kwasów piekarskich z mąki żytniej.

W badaniach stosowano mąkę pszenną typ 550. Ciasta do wypieku ciabatty przygotowywano z 10% i 20% udziałem mąki, wprowadzanej z zakwasem. Badania technologiczne obejmowały ocenę przebiegu ukwaszania zakwasów piekarskich, otrzymanych z dodatkiem kultur starterowych, składu mikroflory tych zakwasów, właściwości ciast i jakości pieczywa. W odniesieniu do tych badań stosowano metody wg PN. Badania przeprowadzono w dwóch powtórzeniach. Badania zakwasów piekarskich przeprowadzane były bezpośrednio po sporządzeniu (0 h) i po 24 h fermentacji. Oznaczano kwasowość ogólną, pH, wydzielanie CO_2 (z zastosowaniem aparatu SJA) i przeprowadzano ocenę organoleptyczną w zakresie barwy, konsystencji i zapachu [PN 92/A-74100: 1992].

Analizowano dynamikę rozwoju mikroflory zakwasów piekarskich (bakterii fermentacji mlekowej i drożdży) podczas fermentacji [Piasecka-Jóźwiak i in. 2006] posiewy przeprowadzano zgodnie z tradycyjnymi metodami mikrobiologicznymi [PN-ISO 4833 2004].

Właściwości reologiczne ciast zakwasowych oceniono za pomocą farinografu wg PN-ISO 5530-1 i ekstensografu wg PN-ISO 5530-2 badania na rozciąganie. Badaniom poddawano ciabatty z dwudziestoprocentowym udziałem mąki ukwaszonej w cieście. Analiza produktów metabolizmu mikroorganizmów syntetyzowanych podczas fermentacji ciast (jako ubocznych produktów fermentacji) została przeprowadzona metodą chromatografii gazowej (HS-GC) wg MEBAK [15].

Jakość chleba oceniano wg PN-A-74108: 1996, po 2 h (pieczywo drobne) lub 24 h (chleb formowy) od wypieku. Oznaczano objętość 100g pieczywa, kwasowość ogólną oraz pH miękkiszu. Przeprowadzano również ocenę organoleptyczną pieczywa biorąc pod uwagę: wygląd zewnętrzny, cechy skórki, cechy miękkiszu, smak i zapach.

Ocena sensoryczna pieczywa z dodatkiem kwasów piekarskich została wykonana metodą profilowania sensorycznego. Intensywność składników oceniana była na skali liniowej. Wybrano wyróżniki profilu sensorycznej oceny pieczywa [Carnevali i in. 2007]. Po skończeniu oceny, obliczono wartość średnią dla każdej składowej [Gawęcka, Jędryka 2001]. Przeprowadzono analizę statystyczną wyników oceny sensorycznej przy użyciu programu Statistica 8.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wpływ zastosowania dwóch różnych szczepów *L. plantarum* jako kultury starterowej do wyrobu ciabatty porównano poprzez ocenę właściwości technologicznych i charakterystykę mikroflory kolejnych faz fermentacji ciast pszennych, ocenę przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Charakterystyka ukwaszania kwasów piekarskich prowadzonych dwufazowo przy zastosowaniu kultur starterowych *L. plantarum*
The course of two-phase fermentation process in sourdough with L. plantarum starter cultures

Kultura starterowa	Czas fermentacji [h]	I faza fermentacji			II faza fermentacji		
		Temperatura [° C]	Kwasowość ogólna [stopnie]	pH	Temperatura [° C]	Kwasowość ogólna [stopnie]	pH
<i>L. plantarum</i> K	0	30,0	3,4	4,8	30,8	2,2	5,3
	24	29,0	16,0	3,3	29,6	12,2	3,4
	48	29,0	20,4	3,2	29,2	14,4	3,0
<i>L. plantarum</i> L	0	30,1	2,1	5,2	29,8	2,0	5,4
	24	29,2	13,8	3,3	29,5	12,0	3,4
	48	29,0	17,4	3,2	29,1	13,8	3,0

Tabela 2. Wpływ kultur starterowych na liczbę bakterii fermentacji mlekowej i drożdży w zakwasach
The effect of starter cultures on the cell number of lactic acid bacteria and yeast in sourdough

Kultura starterowa	Czas fermentacji [h]	I faza fermentacji		II faza fermentacji	
		drożdże [j.t.k./g]	bakterie mlekowe [j.t.k./g]	drożdże j.t.k./g	bakterie mlekowe [j.t.k./g]
<i>L. plantarum</i> K	0	$6,0 \times 10^2$	$6,0 \times 10^9$	$1,0 \times 10^3$	$3,8 \times 10^8$
	24	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^9$	$1,6 \times 10^4$	$1,3 \times 10^9$
<i>L. plantarum</i> L	0	$6,3 \times 10^3$	$4,0 \times 10^8$	$1,1 \times 10^4$	$1,0 \times 10^8$
	24	$3,4 \times 10^4$	$1,5 \times 10^9$	$4,8 \times 10^6$	$2,0 \times 10^9$

Jak wynika z przedstawionych danych (tabela 1, 2) kwasy piekarskie otrzymane z udziałem starterów obu szczepów *L. plantarum* były dobrej jakości, jedyne różnice dotyczyły nieco wyższej kwasowości ogólnej kwasów z *L. plantarum* K. Szczep ten, wyizolowany z surowych ziemniaków, wyróżniał się wysoką aktywnością kwaszącą w środowisku mąki pszennej. Stwierdzono również, że zakwasy piekarskie otrzymane z udziałem kultur starterowych mogą być prowadzone aż do 48 godzin bez pogorszenia ich przydatności do otrzymywania ciast. Liczba bakterii fermentacji mlekowej w obydwu

kwasach piekarskich była wysoka, charakterystyczna dla zakwasów dobrej jakości [Staszewska, Janik 1999].

Tabela 3. Wpływ kultury starterowej i dawki wprowadzonego kwasu piekarskiego na właściwości ciast

The effect of starter cultures type and sourdough quantity on properties of dough

Kultura starterowa	Udział mąki wprowadzonej z kwasem	Kwasowość ogólna [stopnie]	pH	Wydzielanie CO ₂ /120min [cm ³]	Czas rozrostu końcowego [min]
<i>L. plantarum</i> K	10 %	3,6	5,1	2100	120
	20 %	4,7	4,2	1695	90
<i>L. plantarum</i> L	10 %	3,5	5,2	2060	120
	20 %	4,6	4,1	1685	90

Tabela 4. Wpływ kultury starterowej i udziału mąki wprowadzonej z kwasem na właściwości pieczywa

The effect of starter culture type and proportion of sourdough in ciabatta dough on bread properties

Kultura starterowa	Udział mąki wprowadzonej z zakwasem	Właściwości ciabatty/ Properties of ciabatta		
		Objętość [cm ³ /100g]	Kwasowość ogólna (stopnie)	Ocena organoleptyczna
<i>L. plantarum</i> K	10%	430	2,2	Skórka jasna, miękisz o nierównomiernych porach, smak łagodny, kwaśny bardzo słabo wyczuwalny
	20%	400	3,5	Skórka złocista, chrupka, miękisz suchy, porowatość nierównomierna smak kwaskowy, miękisz przyjemnie rozpywa się w ustach
<i>L. plantarum</i> L	10%	423	2,0	Skórka jasna, miękisz o nierównomiernych porach, smak łagodny, bez posmaku kwaśnego
	20%	415	3,2	Skórka złocista, miękisz o porowatości nierównomiernej, smak kwaśny słabo wyczuwalny

Oceniono właściwości organoleptyczne kwasów piekarskich otrzymanych z udziałem obydwu badanych szczepów. Stwierdzono, że kwasy z udziałem *L. plantarum* K (KKP 593p) charakteryzowały się przyjemnym zapachem (kwasowy, łagodny, mleczny) oraz burzliwą fermentacją, natomiast kwasy piekarskie uzyskane z *L. plantarum* L charakteryzował zapach kwasowy z nutą octową i łagodny przebieg fermentacji. Opisane kwasy zostały zastosowane

do przygotowania ciast. Sprawdzono dwa warianty technologiczne tj. z udziałem 10 i 20% zakwasu piekarskiego (według terminologii piekarskiej - mąki ukwaszonej) w cieście. Ocena właściwości ciast i pieczywa przedstawiono odpowiednio w tabelach 3 i 4.

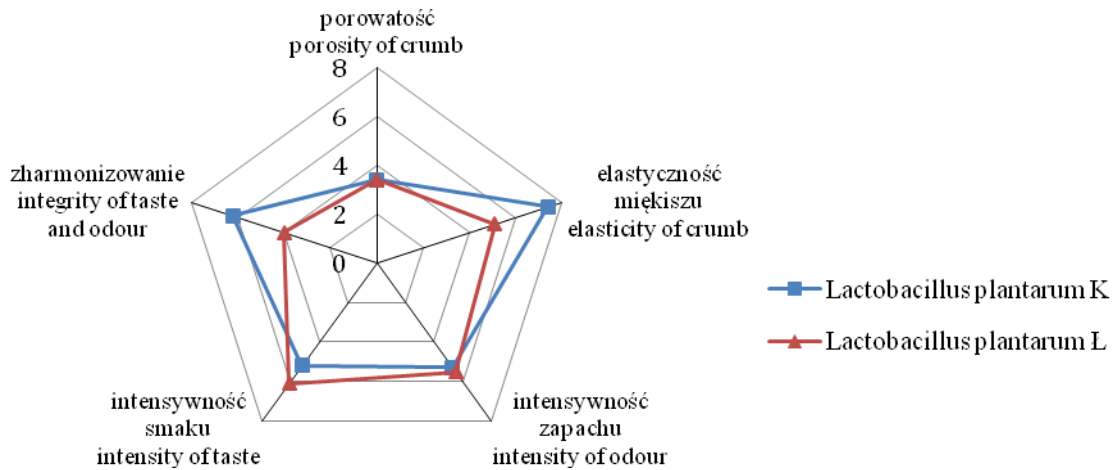
Właściwości reologiczne ciasta z udziałem kwasu uzyskanego po fermentacji zapoczątkowanej przez amyloliczny szczep *Lactobacillus plantarum* (KKP 593p) i szczep *Lactobacillus plantarum* L oceniano za w badaniach farinograficznych i ekstensograficznych, przy czym ze względu na otrzymanie zbliżonych wyników farinograficznych dotyczących obydwu badanych ciast, nie zostały one przedstawione. Obniżenie konsystencji ciast przygotowanych z udziałem kwasów (20% mąki ogółem w kwasie) wyprowadzonych z kulturami starterowymi *L. plantarum* w przypadku obu badanych szczepów wynosiło 85 FU (jednostek farinografu), w przypadku *L. plantarum* K i 80 FU przy zastosowaniu *L. plantarum* L (tabela 5).

Ciasta pszenne otrzymane z dodatkiem kultur starterowych różniły się pod względem parametrów ekstensograficznych zarówno w stosunku do próby kontrolnej jak i między sobą. Ciasta poddane fermentacji charakteryzowały się niższą opornością na zrywanie po 90 min, mniejszą rozciągliwością jak i energią, niż ciasto stanowiące próbę kontrolną. Można więc stwierdzić, że ciasta zakwasowe były „słabsze” niż ciasto bez startera, mniej podatne na rozciąganie (w mniejszym stopniu plastyczne), co jest zgodne z tendencją zaobserwowaną przez innych autorów [Barber i in. 1991; Gocmen, Gurbuz 2007]. Zaobserwowano, że ciasta otrzymane z udziałem *L. plantarum* K wyróżniały się wyższymi parametrami ekstensograficzne, w porównaniu do ciast z *L. plantarum* L. Jednak w przypadku wyznaczenia współczynnika D, w ciastach zakwasowych stwierdzono jego podobne wartości jak w pieczywie kontrolnym. Współczynnik ten zazwyczaj charakteryzuje ogólną przydatność mąki do otrzymywania pieczywa (aparatur przeznaczony jest do badań mąki) w przypadku niniejszych badań współczynnik D określa przydatność ciasta zakwasowego do otrzymywania pieczywa,

Tabela 5. Charakterystyka reologiczna oraz wartości parametrów ekstensygraficznych ciast otrzymanych z udziałem kultur starterowych zawierających *L. plantarum*
Rheological characteristic, extensigraphic parameters of bread dough prepared with starter cultures L. plantarum.

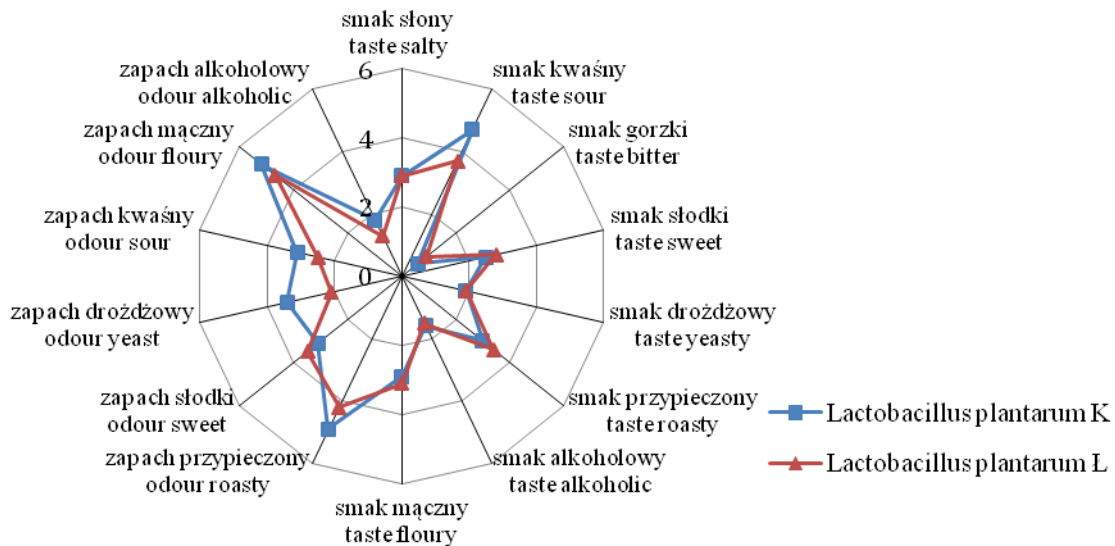
Kultura starterowa	Czas fermentacji	Oporność na rozciąganie		Rozciągliwość E/mm/	Energia A/cm ² /	Współczynnik R _m D = — E
		R ₅₀ /EU/	R _m /EU/			
ciasto bez startera, kontrolne	45	315	520	197	137	2,6
	90	395	620	184	154	3,4
	135	445	665	162	137	4,1
<i>L. plantarum</i> K	45	320	455	161	100	2,8
	90	430	550	147	110	3,7
	135	455	570	140	109	4,1
<i>L. plantarum</i> Ł	45	280	395	173	95	2,3
	90	435	530	144	105	3,7
	135	420	525	142	101	3,7

Wyniki oceny smaku i zapachu oraz ogólnych cech sensorycznych pieczywa otrzymanego z 20% udziałem kwasu piekarskiego przedstawiono na rysunkach 1 i 2,



Rysunek 1. Profilogram ogólnej oceny ciabatt otrzymanych z udziałem 20% kwasu piekarskiego w cieście, kwasy wyprowadzone z *L. plantarum* K i *L. plantarum* L

*Profilogram of the general assessment of made with 20% sour dough prepared with *L. plantarum* K and *L. plantarum* L.*



Rysunek 2. Profilogram zapachu i smaku ciabatt otrzymanych z udziałem 20% kwasu piekarskiego w cieście, kwasy wyprowadzone z *L. plantarum* K i *L. plantarum* L.

*Odour and taste profilogram of ciabatta bread with 20% sour dough prepared with *L. plantarum* K and *L. plantarum* L.*

Profilogramy oceny sensorycznej prób przygotowanych z udziałem obydwu szczepów *L.plantarum* charakteryzowały się zbliżonym ułożeniem akcentów poszczególnych składowych. Porównanie wartości średnich poszczególnych wyróżników wykazało różnice w ocenie pieczywa. Ciabatty z udziałem szczepu *L. plantarum* Ł charakteryzowały się intensywniejszym smakiem i zapachem, natomiast pod względem elastyczności miękkiszu i ogólnego zharmonizowania próbki zostały ocenione niżej, w porównaniu do pieczywa z udziałem szczepu *L. plantarum* K.

W celu statystycznej oceny wyników przeprowadzono test U Manna-Whitneya ($\alpha=0.05$), który potwierdził istotność zaobserwowanych różnic elastyczności miękkiszu ($p=0.028$) i zharmonizowania ocenianych próbek pieczywa ($p=0.015$). Pozostałe zaobserwowane różnice okazały się nieistotne statystycznie.

Ze względu na znaczenie wrażeń sensorycznych, a zwłaszcza wpływ zapachu na ogólną ocenę pieczywa wykonana została analiza aromatycznych związków lotnych. Analizowano pod tym względem zarówno kwasy piekarskie jak i gotowe wyroby – ciabatty (tabela 6).

W kwasach piekarskich i gotowym pieczywie, przygotowanych z udziałem dwóch szczepów *L. plantarum*, stwierdzono różnice w zawartości związków wpływających na aromat. Związki takie jak aldehyd octowy, octan etylu, n-propanol, izo-butanol, alkohole amylowe w wyższym stężeniu były obecne w produktach otrzymanych z *L. plantarum* K.

W analizowanych ciastach i pieczywie obecne były także inne, wpływające na aromat związki takie jak kwas izowalerianowy, 3-metylobutanal, 2-metylobutanal. Nie oznaczono ich zawartości ilościowo. Ich obecność jest związana z metabolizmem bakterii fermentacji mlekowej i wykrywana była w ciastach pszennych [Ganze i in. 2007].

Tabela 6. Porównanie zawartość ubocznych produktów fermentacji – związków lotnych w półproduktach piekarskich i gotowym pieczywie.

The content's compare of volatile fermentation products in sourdough and ciabatta by products and breads

Związek Compound (mg/kg)	zakwas z <i>L.</i> <i>plantarum</i> K I faza	zakwas z <i>L.</i> <i>plantarum</i> Ł I faza	zakwas z <i>L.</i> <i>plantarum</i> K II faza	zakwas z <i>L.</i> <i>plantarum</i> Ł II faza	chleb z <i>L.</i> <i>plantarum</i> K bez skórki /	chleb z <i>L.</i> <i>plantarum</i> Ł bez skórki /	chleb z <i>L.</i> <i>plantarum</i> K ze skórką	chleb z <i>L.</i> <i>plantarum</i> Ł ze skórką
aldehyd octowy	0,1	0,1	0,1	0,3	4,0	0,9	1,1	0,2
octan etylu	1,5	0,1	2,1	0,5	4,1	2,4	5,4	2,9
n-propanol	1,5	0,1	0,8	0,6	1,2	0,9	2,0	0,7
izo-butanol	0,2	0,1	0,5	0,2	1,5	0,7	0,9	0,5
n-butanol	0,1	0,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1
alkohole amyłowe	0,7	0,5	1,7	0,7	3,2	1,6	2,4	1,3
Dwuacetyl	0,02	0,05	0,03	0,04	0,14	0,05	0,06	0,04
kwasy octowe	22,2	23,6	15,8	18,3	0,6	0,7	0,5	0,6

Występowanie różnic w charakterystyce biotechnologicznej szczepów należących do tego samego gatunku bakterii fermentacji mlekowej jest znaną właściwością LAB potwierdzoną m.in. w badaniach pod kierunkiem Pepe [2004]. W badaniach związków aromatycznych syntetyzowanych podczas fermentacji ciast stwierdzono, że skład, zawartość i jakość wykrywanych związków chemicznych zależy od wielu czynników, w tym przede wszystkim składu mikroflory, pH ciasta, składu chemicznego ciasta [Guerzoni i in., 2007]. W badaniach właściwości reologicznych wykazano, że ciasta pszenne poddane fermentacji z kulturą starterową charakteryzowały się niższą opornością na rozciąganie, niższą rozciągliwością jak i energią w porównaniu do ciasta stanowiącego próbę kontrolną. Zbliżona pod względem tendencji charakterystykę zmian właściwości reologicznych ciast zakwasowych w stosunku do ciast bez udziału kwasów piekarskich podaje Katina [2005].

W badaniach porównano efekty zastosowania szczepu *L. plantarum* L (KKP1588) wyizolowanego z tradycyjnego zakwasu żytniego oraz amyloolitycznego szczepu *Lactobacillus plantarum* K (KKP 593p). Szczepy bakterii fermentacji mlekowej charakteryzujące się właściwościami amyloolitycznymi, mogące zastąpić dodatek amylaz w procesie wytwarzania pieczywa, są unikalne i poszukiwane [Calderon Santoyo i in. 2003, Sanni i in. 2002]. Corsetti wraz z współpracownikami [2000] oceniali wpływ dodatku amyloolitycznych szczepów *Lactobacillus amylovorus* i zmodyfikowanego genetycznie *Lactobacillus sanfranciscensis* na opóźnienie procesu starzenia się pieczywa, nie wykazali jednak wyraźnego wpływu tych szczepów na badany proces. Również w niniejszej pracy wyniki analizy starzenia się badanego pieczywa, dotyczące zmiany twardości miększu nie były jednoznaczne.

WNIOSKI

1. Zastosowanie amyloolitycznego szczepu *Lactobacillus plantarum* K (KKP 593p) jako startera fermentacji pozytywnie wpływało na właściwości organoleptyczne i wzmocnienie aromatu pieczywa pszennego.
2. Stwierdzono korzystny wpływ amyloolitycznego szczepu *L. plantarum* K na reologiczną charakterystykę pieczywa zakwasowego pszennego. Szczep ten może być stosowany w monokulturze i włączany w skład funkcjonalnych piekarskich kultur starterowych o ukierunkowanym działaniu.

PIŚMIENNICTWO

1. Arendt EK, Ryan LA, Dal Bello F.: (2007) Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiol.*, Apr; 24(2), 165-74.
2. Calderon Santoyo M, Loiseau G, Rodriguez Sanoja R, Guyot J.: (2003) Study of starch fermentation at low pH by *Lactobacillus fermentum* Ogi E1 reveals uncoupling between growth and alpha-amylase production at pH 4.0. *Int. J. Food Microbiol.*, 80(1), 77-87.
3. Barber S., Baguena R., Benedito de Barber C., Martinez-Anaya A.: (1991) Evolution of biochemical and rheological characteristics and breadmaking quality during a multistage wheat sour dough process. *Lebensm Unters. Forsch.*, 192: 46-52.
4. Corsetti A, Gobbetti M, De Marco B, Balestrieri F, Paoletti F, Russi L, Rossi J.: (2000) Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives on bread firmness and staling. *J. Agric Food Chem.*, 48(7), 3044-51.

5. Carnevali P., Ciati R., Lepotrati A., Paese M.: (2007) Liquid sourdough fermentation: Industrial application perspectives. *Food Microbiol.* 24, 150-154.
6. Damiani P., Gobetti M.: (1996) The sourdough microflora. Characterization of hetero- and homofermentative lactic acid bacteria, yeasts and their interactions on the basis of the volatile compounds produced. *Lebens. Wiss. Technol.*, 29 (1/2) 63-70, 28.
7. Diowksz A., Włodarczyk M.: (2000) Jednofazowy proces fermentacji zakwasów piekarskich i możliwości jego automatyzacji przez zastosowanie fermentora. *Prz. Piek. Cukr.*, 8, 8-11.
8. De Vuyst L., Neysens P.: (2005) The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interaction, *Trends Food Sci. Technol.*, 16 (1-3), 43-56.
9. Ganzle M., Vogel R.: (2005) Gluten hydrolysis and depolymerisation during sourdough fermentation. *Second International Symposium on Sourdough From Fundamentals to Applications, Brussels, Belgium, Editor Luc de Vuyst*, 31-32.
10. Gänzle MG, Vermeulen N, Vogel RF: Carbohydrate peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough. *Food Microbiol.*, 2007, 24(2), 128-38.
11. Gawęcka J., Jędryka T.: (2001) Analiza sensoryczna, wybrane metody i przykłady zastosowań. Poznań: WAE, 83- 90.
12. Gocman D., Gurbuz O., Kumral A., Sahin I.: (2007) The effects of wheat sourdough on glutenin patterns, dough rheology and bread properties. *Eur Food Res Technol*, 225: 821-830.
13. Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W., Courin C., Gebruers K., Delcour J: (2005) Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Food Trends Sci. Technol.*, 16 (1-3), 12-30.
14. Guerzoni m., Vernocchi P., NdagijimanaM., Gianotti A., Lanciotti R.: (2007) Generation of aroma compounds in sourdough: Effect of stress exposure and lactobacilli-yeast interactiona. *Food Microbiol.* 24, 139-148.
15. Hansen A. Schrieberle P: (2005) Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects. *Trends Food Sci. Technol.* 16 (1-3), 1-10.
16. Kawka A., Rausch P., Świerczyński J.: (2007) Możliwości zastosowania kultur starterowych do produkcji pieczywa pszenno-jęczmiennego. *Żywność, Nauka, Technol. Jakość.* 2007, 6(55),219-233.
17. Kawka A., Górecka D.: (2010) Porównanie składu chemicznego pieczywa pszenno-owsianego i pszenno-jęczmiennego z udziałem zakwasów fermentowanych starterem

- LV2. Żywność, Nauka, Technol. Jakość. 3(70), 44-45.
18. Katina K: (2005) Sourdough: a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread, academic dissertation. Helsinki: VTT
 19. Methodensammlung der Mitteleuropaischen Brautechnischen Analysenkommission t.3. Brautechnische Analysen Methoden. wyd. Seibstverlag der MEBAK, 1996.
 20. Palacios HR, Schwarz PB, D'Appolonia BL.: (2004) Effects of alpha-amylases from different sources on the firming of concentrated wheat starch gels: relationship to bread staling. *J Agric Food Chem.*, 52(19), 5987-94.
 21. Pepe O, Blaiotta G, Anastasio M, Moschetti G, Ercolini D, Villani F.: (2004) Technological and molecular diversity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from naturally fermented sourdoughs. *Syst. Appl. Microbiol.* 27(4), 443-53.
 22. Piasecka-Jóźwiak K. Chabłowska B., Słowik E., Rozmierska J., Stecka K.M.: (2006) Zastosowanie kultur starterowych (wyselekcjonowanych szczepów bakterii mlekowych do poprawy jakości pieczywa mieszanego i żytniego. *Żywność, Nauka, Technologia Jakość.* (13), Suplement 1 (46), 100-113.
 23. Piesiewicz H. (2009) Aspekty technologiczne produkcji pieczywa na naturalnych zakwasach. *Prz. Piek. Cukier.* 4, 6-10.
 24. PN 92/A-74100: 1992. Półprodukty piekarskie. Metody badań.
 25. PN-A-74108: 1996. Pieczywo. Metody badań.
 26. PN-ISO 4833: 2004. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów.
 27. Sanni AI, Morlon-Guyot J, Guyot JP.: (2002) New efficient amylase-producing strains of *Lactobacillus plantarum* and *L. fermentum* isolated from different Nigerian traditional fermented foods. *Int. J. Food Microbiol.* 30,72(1-2):53-62.
 28. Słowik E.: Powstawanie ciasta pszennego i rola mieszenia w tym procesie. (2006) *Prz. Piek. Cukier.*, 4, 4-7.
 29. Staszewska E., Janik M.: (1999) Zastosowanie kultur starterowych w piekarstwie. *Prz. Piek. Cukier.* 2, 6-9.
 30. Staszewska E.: (2007) Kwas i chleb na kwasie w ujęciu niemieckich definicji. *Prz. Piek. Cukier.*, 2, 34-35.
 31. Stepaniak L.: (2000) Zakwasy do ciasta – mikrobiologia i biochemia. *Przem. Spoż.*, 3, 44-46.
 32. Staszewska E., Piesiewicz H.: (2005) Tradycyjne wytwarzanie ciast żytnich i mieszanych (cz.I). *Prz. Piek. Cukier.*, 11, 8-13.

33. Włodarczyk M.: (1984) Mikroflora zakwasów chlebowych; fizjologia i współbywanie skojarzonych populacji rodzaju *Lactobacillus* i *Saccharomyces cerevisiae*., Rozprawy naukowe, Zeszyty Naukowe P.Ł.
34. Zielińska K.: (2004) Badania nad biosyntezą i sekrecją amylaz przez wybrane szczepy *Lactobacillus plantarum*”, IBPRS, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego 6 P06T 005
35. Zielińska K., Sawicka-Żukowska R., Stecka K., Miecznikowski A., Suterska A.(2000): Nowy szczep *Lactobacillus plantarum*. Patent nr 179838.