

WPŁYW ZWIĘKSZONEJ ZAWARTOŚCI MAGNEZU W HODOWLACH WYBRANYCH SZCZEPÓW BAKTERII I DROŹDŹY NA WYBRANE CECHY JAKOŚCIOWE CIASTA I PIECZYWA

Małgorzata Gniewosz, Anna Chlebowska-Śmigielska, Edyta Lipińska,
Karolina Kraśniewska, Magdalena Rapacka

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Badano wpływ zwiększonej zawartości magnezu w hodowlach szczepów bakterii mlekowych (LAB): *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Lb. plantarum*, *Lb. sanfranciscensis* oraz drożdży *S. cerevisiae* na cechy mikrobiologiczne ciasta i wybrane cechy fizykochemiczne pieczywa. Do podłoża dodawano Mg^{2+} w stężeniu $1,25 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Przygotowano pięć mieszanych populacji, z których cztery stanowiły połączenie drożdży *S. cerevisiae* z jednym gatunkiem LAB, a piąta kultura składała się z populacji *S. cerevisiae* z czterema gatunkami LAB. W ciastach zbadano liczbę drożdży, LAB i ogólną liczbę drobnoustrojów. Nie stwierdzono istotnego wpływu suplementacji magnezem hodowli drożdży i LAB na liczbę tych grup drobnoustrojów w ciastach. Przeprowadzono próbną wypiek laboratoryjny metodą jednofazową. W pieczywie zbadano wydajność, stratę piecową, całkowitą stratę piecową, wilgotność, objętość oraz zawartość magnezu. Zaobserwowano, że w obecności kultur wzbogaconych w magnez zwiększona została objętość pieczywa. Największą zawartość magnezu stwierdzono w pieczywie z kulturą mieszaną z *S. cerevisiae* i *Lb. brevis* wzbogaconą w ten pierwiastek.

Słowa kluczowe: bakterie kwasu mlekowego, *Saccharomyces cerevisiae*, magnez, pieczywo

WSTĘP

Pieczywo jest częstym składnikiem codziennej diety człowieka niemalże na całym świecie, choć różnie się je wypieka i jada. W Polsce od pewnego czasu obserwuje się tendencję spadkową w jego spożyciu, co spowodowane jest m.in. obecnością innych produktów zbożowych w ofercie rynkowej [Romankiewicz i in. 2013]. Jedną z możliwości uatrakcyjnienia pieczywa jest wzbogacenie go w dodatkowe składniki zwiększające jego wartość odżywczą. Dodatkami mogą być m.in.: ziarna zbóż niechlebowych, nasiona roślin oleistych, owoce, orzechy oraz substancje bioaktywne, tj. witaminy i składniki mineralne [Lebiedzińska i in. 2006, Kawka 2009, Sobczyk 2012, Kowalska i in. 2012].

Jednym z ważniejszych mikroelementów niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmu jest magnez. Głównym źródłem magnezu w diecie człowieka są produkty zbożowe z pełnego przemiału, nasiona roślin strączkowych i otręby [Brzozowska 2002]. Z wcześniejszych badań wynika, że drożdże piekarskie, a także bakterie kwasu mlekowego (LAB) również mogą być dobrym źródłem magnezu ze względu na zdolność komórek do jego bioakumulacji oraz trwałego włączania tego pierwiastka w struktury wewnątrzkomórkowe [Duszkiewicz-Reinhard i in. 2002, Roman i in. 2009]. Magnez w połączeniu z białkami enzymatycznymi i strukturalnymi drożdży jest łatwo przyswajalny z przewodu pokarmowego człowieka [Knoop i in. 2005]. Do tej pory nie prowadzono badań nad wpływem wzbogaconych w magnez kultur mieszanych drożdży piekarskich i LAB (uczestniczących w fermentacji ciasta) na jakość pieczywa oraz możliwości zwiększenia zawartości tego pierwiastka w pieczywie przez dodatek kultur wyhodowanych w pożywkach suplementowanych solami magnezu.

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu zwiększonej zawartości magnezu w komórkach wybranych szczepów LAB i drożdży na wybrane cechy mikrobiologiczne ciasta i fizykochemiczne pieczywa. Zbadano również zawartość magnezu w pieczywie, do którego dodawano kultury mieszane wzbogacone w ten pierwiastek.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym było pieczywo, które sporządzono przy użyciu pięciu różnych populacji mieszanych kultur bakterii kwasu mlekowego (LAB) i drożdży wyhodowanych na podłożach z dodatkiem magnezu.

Hodowlę drożdży prowadzono na podłożu YPG [BTL, Polska], a bakterie kwasu mlekowego na podłożu MRS [BTL, Polska]. Podłoża były bez dodatku lub z dodatkiem magnezu, który dodawano do podłoża YPG w postaci uwodnionego siarczanu magnezu [POCH, Polska], a do podłoża MRS w postaci uwodnionego octanu magnezu [POCH, Polska]. Zastosowano stężenie magnezu w podłożu $1,25 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ (w przeliczeniu na czysty pierwiastek). Hodowle drożdży prowadzono w 28°C przez 24 godziny na wytrząsarce [SM-30 Control, Niemcy] o 200 rpm. Hodowle bakteryjne inkubowano w 28°C przez 24 godziny bez wytrząsania. Po tym czasie hodowle odwirowywano przez 10 minut przy $1300 \times g$ [wirówka Eppendorf Centrifuge 5804R, Niemcy]. Supernatant zlewano, a mokrą biomasę wykorzystano do sporządzenia ciast. W skład każdej

populacji wchodziła taka sama masa mokrych drożdży (1,5%) i bakterii kwasu mlekowego (1,5%) w stosunku do masy mąki.

Sporządzono pięć próbek ciast o następujących składach populacji drobnoustrojów: (1) *S. cerevisiae* nr 102 i *Lb. brevis* [Biolacta-Textel, Olsztyn], (2) *S. cerevisiae* nr 102 i *Lb. fermentum* [Biolacta-Textel, Olsztyn], (3) *S. cerevisiae* nr 102 i *Lb. plantarum* ATCC 4080, (4) *S. cerevisiae* nr 102 i *Lb. sanfranciscensis* ATCC 43347, (5) *S. cerevisiae* nr 102, *Lb. brevis* [Biolacta-Textel, Olsztyn], *Lb. fermentum* [Biolacta-Textel, Olsztyn], *Lb. plantarum* ATCC 4080, *Lb. sanfranciscensis* ATCC 43347. Szczepy pochodziły z kolekcji czystych kultur Zakładu Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności SGGW.

Ciasto do analizy przygotowano zgodnie z następującą recepturą: 300 g mąki pszennej typu 550 wyprodukowanej przez Polskie Młyny S.A., 180 cm³ wody dejonizowanej, 4,5 g drożdży, 4,5 g LAB, 3,6 g NaCl. Po wymieszaniu wszystkich składników jednolitą masę dzielono na trzy kęsy po 150 g i odstawiano do wyrośnięcia w 28°C na 2 godziny. Do dalszych oznaczeń pobierano 10 g ciasta i przenoszono do 90 cm³ soli fizjologicznej. Całość homogenizowano (Stomacher 400 Circulator, Anglia) przez 1,5 minuty. Jakość mikrobiologiczną ciasta określono, oznaczając: liczbę drożdży według PN-ISO 21527-1:2009 (metodą płytkową), liczbę bakterii kwasu mlekowego według PN-EN ISO 15214:2002 (metodą płytkową w 30°C), liczbę drobnoustrojów tlenowych mezofilnych według PN-EN ISO 4833:2004 (metodą płytkową w 30°C). Próbnny wypiek przeprowadzono metodą jednofazową według receptury: 500 g mąki, 325 g wody, 7,5 g drożdży, 7,5 g LAB, 6 g NaCl. Następnie ciasto poddawano fermentacji przez 60 minut w 30°C, z przebicciem po 30 minutach. Wypiek kęsów ciasta o masie 250 g prowadzono w foremkach w piecu elektrycznym w 230°C przez 30 minut [Ceglińska i in. 2012]. Po 24 godzinach od wypieku przeprowadzono ocenę jakości chleba, określając: wydajność bochenka w przeliczeniu na 100 g pieczywa, stratę piecową, stratę piecową całkowitą, objętość oraz wilgotność pieczywa [Sobczyk 2012, Jakubczyk i Haber 1983]. Stężenie magnezu w próbkach pieczywa oznaczono metodą płomieniowej absorpcji spektrometrii atomowej FAAS według procedury Centrum Analitycznego SGGW.

Analiza statystyczna

Wszystkie analizy przeprowadzono w trzech powtórzeniach, dla których obliczono wartości średnie i odchylenia standardowe. W celu określenia wpływu magnezu nagromadzonego w komórkach mikroorganizmów na jakość mikrobiologiczną ciasta i wybrane cechy pieczywa zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji. Statystyczną istotność różnic między wartościami średnimi szacowano przy użyciu testu statystycznego Tukey HDS na poziomie istotności $p \leq 0,05$ w programie Statgraphics Plus wersja 4.1.

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono wyniki analizy mikrobiologicznej ciasta przeprowadzonej bezpośrednio po zakończeniu fermentacji. Liczba drożdży w ciastach kontrolnych wynosiła od $6,38 \cdot 10^7$ jtk·g⁻¹ (z populacją pięciogatunkową) do $2,21 \cdot 10^8$ jtk·g⁻¹ (z populacją dwugatunkową *S. cerevisiae* i *Lb. plantarum*). W ciastach doświadczalnych stwierdzono

podobną tendencję, tj. liczba drożdży kształtowała się na poziomie od $6,48 \cdot 10^7$ jtk·g⁻¹ do $2,08 \cdot 10^8$ jtk·g⁻¹. Na podstawie uzyskanych danych nie stwierdzono, aby liczba drożdży w ciastach doświadczalnych statystycznie istotnie różniła się od liczby drożdży w ciastach kontrolnych.

Tabela 1. Analiza mikrobiologiczna ciasta o różnym składzie populacji niewzbogaconej i wzbogaconej w magnez

Table 1. Microbiological analysis of dough with mixed populations enriched or not with magnesium

Skład populacji Composition of the populations	Ciasto kontrolne Control dough			Ciasto doświadczalne Experimental dough		
	Inoculum bez dodatku magnezu Inoculum without magnesium			Inoculum z dodatkiem magnezu Inoculum with magnesium		
	Drożdże Yeast	Liczba bakterii kwasu mlekowego Lactic acid bacteria count	Ogólna liczba bakterii mezofilnych Total mesophilic bacteria count	Drożdże Yeast	Liczba bakterii kwasu mlekowego Lactic acid bacteria count	Ogólna liczba bakterii mezofilnych Total mesophilic bacteria count
	[jtk·g ⁻¹] / [cfu·g ⁻¹]					
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. brevis</i>	$1,22 \cdot 10^8$	$2,43 \cdot 10^9$	$1,54 \cdot 10^{10}$	$1,35 \cdot 10^8$	$2,31 \cdot 10^9$	$1,07 \cdot 10^{10}$
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. fermentum</i>	$1,47 \cdot 10^8$	$2,49 \cdot 10^9$	$1,16 \cdot 10^{10}$	$1,33 \cdot 10^8$	$2,52 \cdot 10^9$	$1,14 \cdot 10^{10}$
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. plantarum</i>	$2,21 \cdot 10^8$	$1,17 \cdot 10^9$	$1,47 \cdot 10^{10}$	$2,08 \cdot 10^8$	$1,70 \cdot 10^9$	$1,06 \cdot 10^{10}$
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. sanfranciscensis</i>	$1,68 \cdot 10^8$	$1,26 \cdot 10^9$	$2,15 \cdot 10^{10}$	$1,31 \cdot 10^8$	$1,15 \cdot 10^9$	$1,86 \cdot 10^{10}$
Populacja mieszana Mixed population*	$6,38 \cdot 10^7$	$9,76 \cdot 10^8$	$2,65 \cdot 10^9$	$6,48 \cdot 10^7$	$2,16 \cdot 10^9$	$2,35 \cdot 10^9$

* Populacja mieszana z *S. cerevisiae*, *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Lb. plantarum* i *Lb. sanfranciscensis*/Population consisting of *S. cerevisiae*, *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Lb. plantarum* i *Lb. sanfranciscensis*.

Duszkiewicz-Reinhard i inni [2002] stwierdzili, że w trakcie hodowli drożdży piekarskich w podłożu suplementowanym siarczanem magnezu następuje trwałe wiązanie tego pierwiastka. Wykazano, że w komórkach drożdży pochodzących z 24-godzinnej hodowli wzbogaconej w magnez uzyskano trzykrotnie wyższą akumulację magnezu ($9 \text{ mg Mg} \cdot \text{g}^{-1}$ s.s.) w porównaniu do hodowli kontrolnej ($3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ s.s.) bez jego suplementacji. Ponadto dodatek Mg^{2+} do podłoża w zdecydowanie większym stężeniu od optymalnego ($1,25 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$) nie wpływał istotnie na plon biomasy drożdży piekarskich. Dodatkowo Pankiewicz i Jamroz [2010], którzy zastosowali pulsacyjne pole elektryczne do akumulacji jonów magnezu w komórkach *S. cerevisiae*, wykazali mały wpływ wzrastającego stężenia jonów Mg^{2+} w pożywce na liczbę martwych komórek. W pożywce zawierającej $100 \mu\text{g Mg}^{2+} \cdot \text{ml}^{-1}$ udział martwych komórek wyniósł tylko 10%,

a dalsze zwiększenie stężenia tego pierwiastka (do $1000 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) spowodował wzrost udziału martwych komórek do około 35%.

Nie stwierdzono także wpływu suplementacji podłoża MRS octanem magnezu na liczbę LAB, która wynosiła $9,76 \cdot 10^8$ – $2,49 \cdot 10^9$ jtk·g⁻¹ w ciastach kontrolnych oraz $1,15 \cdot 10^9$ – $2,52 \cdot 10^9$ jtk·g⁻¹ w ciastach doświadczalnych. Roman i inni [2009] wykazali, że biomasa bakterii *Lb. brevis* hodowana w podłożu z dodatkiem octanu magnezu zawierała średnio $5,4 \text{ mg Mg}\cdot\text{g}^{-1}$ s.s., a biomasa bakterii *Lb. plantarum* średnio $2,9 \text{ mg Mg}\cdot\text{g}^{-1}$ s.s., co ponad 10-krotnie przewyższało zawartość magnezu w biomasach tych szczepów hodowanych bez suplementacji tego pierwiastka (przeciętna zawartość $0,28$ – $0,32 \text{ mg Mg}\cdot\text{g}^{-1}$ s.s.). Nie obserwowano także istotnie mniejszego wzrostu tych szczepów po 24 godzinach hodowli, a także obniżenia ich właściwości kwaszących. Ponadto w niniejszych badaniach stwierdzono, iż obecność kultur mieszanych wzbogaconych w magnez w ciastach nie miała istotnego wpływu na zmiany ogólnej liczby drobnoustrojów (tab. 1). W porównaniu z danymi literaturowymi badane ciasta charakteryzowały się podobną ogólną liczbą drobnoustrojów tlenowych mezofilnych. Gül i inni [2005] stwierdzili, że ogólna liczba drobnoustrojów w ciastach może wynosić od $9,33 \cdot 10^6$ do $3,71 \cdot 10^9$ jtk·g⁻¹.

Charakterystykę cech fizykochemicznych pieczywa uzyskanego z wykorzystaniem populacji niewzbogaconych i wzbogaconych w magnez przedstawiono w tabeli 2. We wszystkich próbkach pieczywa nie stwierdzono istotnej różnicy między średnimi wartościami wydajności, straty piecowej i straty piecowej całkowitej oraz wilgotności pieczywa kontrolnego i doświadczalnego, co sugeruje, iż użycie kultur mieszanych wzbogaconych w magnez nie miało istotnego wpływu na te parametry.

Spośród standardowych parametrów oceny pieczywa zwiększenie jego objętości było korzystnym efektem suplementacji kultur mikroorganizmów w magnez (tab. 2). Duża objętość pieczywa ma znaczenie fizjologiczne, bo dzięki dużym porom soki trawienne mają łatwiejszy dostęp i składniki odżywcze pieczywa mogą być lepiej przyswajalne przez organizm [Kowalczuk 1988]. Objętość pieczywa jest również istotnym wskaźnikiem oceny technologicznej produktu. Na podstawie tej cechy można wnioskować o właściwym doborze surowców użytych do produkcji, właściwym przebiegu procesu technologicznego oraz o jakości produktu końcowego. Im pieczywo charakteryzuje się większą objętością, tym lepsza jest jego jakość [Haber i in. 1997]. Statystycznie istotnie większą objętość miały pieczywa doświadczalne uzyskane z wykorzystaniem wszystkich populacji (z wyjątkiem *S. cerevisiae* i *Lb. sanfranciscensis*) w porównaniu do pieczywa kontrolnego. Pieczywo z kulturą dwugatunkową *S. cerevisiae* i *Lb. fermentum* charakteryzowało się największą objętością wynoszącą aż $291,6 \text{ cm}^3\cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

W tabeli 3 przedstawiono zawartość magnezu w pieczywie wyprodukowanym z użyciem drożdży i LAB niewzbogaconych i wzbogaconych w ten pierwiastek. Dla próbek kontrolnych otrzymane wyniki kształtowały się na poziomie od $20,18 \text{ mg Mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ s.s. pieczywa (*S. cerevisiae* i *Lb. brevis*) do $22,58 \text{ mg Mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ s.s. pieczywa (*S. cerevisiae* i *Lb. fermentum*). Z kolei zawartość magnezu w pieczywie doświadczalnym była większa: od $23,40 \text{ mg Mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ s.s. (populacja pięciogatunkowa) do $26,56 \text{ mg Mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ s.s. pieczywa z kulturami *S. cerevisiae* i *Lb. brevis*. Tylko pieczywo uzyskane z wykorzystaniem populacji złożonej z *S. cerevisiae* i *Lb. brevis*

Tabela 2. Charakterystyka cech fizykochemicznych pieczywa uzyskanego z wykorzystaniem populacji niewzbogaconej i wzbogaconej w magnez
 Table 2. Characteristic of physico-chemical properties of bread obtained by mixed populations enriched or not in magnesium

Skład populacji Composition of the populations	Wydajność pieczywa Yield of bread [%]		Strata piecowa Baking loss [%]		Strata piecowa całkowita Total baking loss [%]		Objętość 100 g pieczywa Volume of 100 g bread [cm ³]		Wilgotność pieczywa Moisture of bread [%]	
	K	D	K	D	K	D	K	D	K	D
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. brevis</i>	136,1 ±0,6 ^a	134,0 ±2,8 ^a	8,3 ±0,1 ^A	10,1 ±1,7 ^A	14,2 ±0,4 ^w	16,2 ±1,8 ^w	265,1 ±2,1 ^v	287,1 ±8,6 ^x	37,09 ±1,22 ^y	39,99 ±1,74 ^y
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. fermentum</i>	135,8 ±0,6 ^a	133,7 ±1,5 ^a	8,5 ±0,3 ^A	9,9 ±0,9 ^B	14,9 ±0,7 ^w	16,4 ±1,0 ^w	282,2 ±4,8 ^v	291,6 ±3,1 ^x	39,45 ±2,18 ^y	41,55 ±0,17 ^y
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. plantarum</i>	137,1 ±0,5 ^a	135,8 ±0,6 ^a	8,0 ±0,6 ^A	8,7 ±0,5 ^A	14,3 ±0,6 ^w	15,1 ±0,4 ^w	279,2 ±3,1 ^v	286,4 ±0,6 ^x	39,74 ±0,63 ^y	39,81 ±1,57 ^y
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. sanfranciscensis</i>	134,8 ±1,4 ^a	135,0 ±0,7 ^a	8,1 ±0,4 ^A	8,8 ±0,4 ^A	14,8 ±1,5 ^w	15,6 ±0,4 ^w	278,5 ±4,8 ^v	283,9 ±4,5 ^v	37,89 ±0,39 ^y	40,72 ±1,17 ^z
Populacja mieszana Mixed populations*	134,8 ±0,9 ^a	135,1 ±0,3 ^a	8,4 ±0,6 ^A	9,1 ±0,4 ^A	15,0 ±0,8 ^w	15,6 ±0,2 ^w	273,1 ±2,5 ^v	280,2 ±2,9 ^x	40,79 ±0,85 ^y	41,39 ±0,28 ^y

K – pieczywo kontrolne, przygotowane z użyciem kultur niewzbogaconych w magnez/control bread prepared by populations not enriched with magnesium.

D – pieczywo doświadczalne, przygotowane z użyciem kultur wzbogaconych w magnez/experimental bread prepared by population enriched with magnesium.

* Populacja mieszana z *S. cerevisiae*, *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Lb. plantarum* i *Lb. sanfranciscensis*/Population consisting of *S. cerevisiae*, *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Lb. plantarum* i *Lb. sanfranciscensis*.

Wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0.05$ /Mean values in rows denoted by different letters are statistically significantly different at $p \leq 0.05$.

wzbogaconej w magnez charakteryzowało się statystycznie istotnie większą zawartością tego pierwiastka w porównaniu z pieczywem kontrolnym, tj. o 32%. W pieczywie kontrolnym i doświadczalnym uzyskanym z użyciem pozostałych populacji stwierdzono natomiast wzrost zawartości magnezu o 4,5–9,8% w pieczywie wzbogaconym w ten pierwiastek w stosunku do pieczywa kontrolnego.

W Polsce przeciętne spożycie pieczywa kształtuje się na poziomie 180–200 g na dzień [GUS 2013]. Pieczywo przygotowane z użyciem populacji *S. cerevisiae* i *Lb. brevis* wzbogaconej w magnez zawierałoby średnio 53,12 mg Mg·200 g⁻¹. Z kolei pieczywo sporządzone za pomocą tej samej populacji, ale niewzbogaconej w magnez zawierałoby średnio 40,36 mg Mg·200 g⁻¹. Zalecane dzienne spożycie magnezu przez osoby dorosłe powinno wynosić około 300 mg [Ziemiański 1995]. Na podstawie naszych szacunkowych obliczeń pieczywo wyprodukowane z zastosowaniem kultur drożdży i LAB wzbogaconych w magnez pokrywałoby zapotrzebowanie na ten pierwiastek w 18%, a niewzbogaconych w 13%. Otrzymane wyniki sugerują, że pieczywo sporządzone z użyciem populacji *S. cerevisiae* i *Lb. brevis* wzbogaconych w magnez może stanowić potencjalne źródło tego pierwiastka w diecie człowieka.

Tabela 3. Zawartość magnezu w pieczywie uzyskanym z użyciem populacji niewzbogaconej i wzbogaconej w magnez

Table 3. The magnesium content in bread obtained by mixed populations enriched or not in magnesium

Skład populacji Composition of the populations	Zawartość magnezu w pieczywie [mg·100 g ⁻¹ s.s. pieczywa] The content of magnesium in bread [mg·100 g ⁻¹ d.w. of bread]		Wzrost zawartości Mg w D Increase of the Mg content in D [%]
	K	D	
	x ±SD		
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. brevis</i>	20,18 ±1,81 ^a	26,56 ±3,09 ^b	32
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. fermentum</i>	22,58 ±4,73 ^a	24,25 ±3,16 ^a	7
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. plantarum</i>	22,00 ±2,82 ^a	23,66 ±2,50 ^a	7
<i>S. cerevisiae</i> <i>Lb. sanfranciscensis</i>	22,53 ±2,93 ^a	24,74 ±2,89 ^a	9,8
Populacja mieszana Mixed populations*	22,39 ±5,47 ^a	23,40 ±1,15 ^a	4,5

K – pieczywo kontrolne, przygotowane z użyciem kultur niewzbogaconych w magnez/control bread prepared by populations not enriched with magnesium.

D – pieczywo doświadczalne, przygotowane z użyciem kultur wzbogaconych w magnez/experimental bread prepared by population enriched with magnesium.

* Populacja mieszana z *S. cerevisiae*, *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Lb. plantarum* i *Lb. sanfranciscensis*/Population consisting of *S. cerevisiae*, *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Lb. plantarum* i *Lb. sanfranciscensis*.

Wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$ /Mean values in rows denoted by different letters are statistically significantly different at $p \leq 0.05$.

WNIOSKI

1. Dodatek magnezu do hodowli populacji drobnoustrojów stosowanych do przygotowania ciast nie miał istotnego wpływu na liczbę drożdży i LAB oraz ogólną liczbę drobnoustrojów.

2. Wzbogacenie szczepów LAB i drożdży w magnez nie wpłynęło istotnie na wydajność, stratę piecową i stratę piecową całkowitą oraz wilgotność pieczywa, ale przyczyniło się do uzyskania istotnie większej objętości pieczywa.

3. Największy wzrost zawartości magnezu, tj. o 32% w porównaniu z pieczywem kontrolnym stwierdzono w pieczywie z kulturą mieszaną dwugatunkową *S. cerevisiae* i *Lb. brevis* wzbogaconą w ten pierwiastek.

4. Pieczywo uzyskane z wykorzystaniem mieszanych kultur drożdży i bakterii kwasu mlekowego wzbogaconych w magnez może stanowić źródło tego pierwiastka w diecie.

LITERATURA

- Brzozowska A., 2002. Składniki mineralne w żywieniu człowieka. Wyd. Akademii Rolniczej, Poznań, 54–99.
- Ceglińska A., Cacak-Pietrzak G., Sobczyk M., Salwa M., 2012. Wpływ przechowywania mąki pszennej na wartość wypiekową. ZPPNR 571, 29–37.
- Duszkiewicz-Reinhard W., Gniewosz M., Błażej S., Bańkowski A., 2002. Badania zdolności wiązania magnezu przez drożdże piekarskie *Saccharomyces cerevisiae* w hodowli stacjonarnej. Acta Scient. Pol. Technol. Aliment. 1, 17–26.
- GUS, 2013. Rocznik Statystyczny Rolnictwa, Warszawa.
- Gül H., Özçelik S., Sagi O., Certel H., 2005. Sourdough bread production with *Lactobacilli* and *S. cerevisiae* isolated from sourdoughs. Process Biochemistry 40, 691–697.
- Haber T., Lewczuk J., Wypych D., 1997. Ocena wpływu różnych tłuszczów na cechy ciasta i jakość wyrobów typu sękacz. Przeg. Piek. i Cuk. 7, 40–42.
- Jakubczyk T., Haber T., 1983. Analiza zbóż i przetworów zbożowych. Wyd. SGGW-AR, 268–318.
- Kawka A., 2009. Możliwość wzbogacenia wartości odżywczych, dietetycznych i funkcjonalnych pieczywa. W: Żywność wzbogacona i nutraceutyki. Red. P. Głębczyński, G. Jaworska. Polskie Towarzystwo Technologów Żywności, Kraków, 109–122.
- Knoop V., Groth-Malonek M., Gebert M., Eifler K., Weyand K., 2005. Transport of magnesium and other divalent cations: evolution of the 2-TM-GxN protein in the MIT superfamily. Mol. Genet. Genomics 274, 205–216.
- Kowalczyk M., 1988. Kształtowanie jakości pieczywa w procesie jego produkcji. Zagadnienia Piekarstwa 2, 23–27.
- Kowalska H., Marzec A., Mucha M., 2012. Ocena sensoryczna wybranych rodzajów pieczywa funkcjonalnego oraz preferencje pieczywa wśród konsumentów. ZPPNR 571, 67–78.
- Lebiedzińska A., Marszał M., Sperra J., Szefer P., 2006. Pieczywo wzbogacone mąką z nasion winogron źródłem witamin z grupy B. Bromat. i Chemia Toksykol. 39, 2, 121–125.
- Pankiewicz U., Jamroz J., 2010. Effect of pulsed electric fields upon accumulation of magnesium in *Saccharomyces cerevisiae*. European Food Research and Technology 231, 663–668.
- PN-EN ISO 15214:2002. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby mezofilnych bakterii fermentacji mlekowej.

- PN-ISO 21527-1:2009. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby drożdży i pleśni – Część 1: Metoda liczenia kolonii w produktach o aktywności wody wyższej niż 0,95.
- PN-EN ISO 4833:2004. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów. Metoda płytkowa w temperaturze 30°C.
- Roman J., Gniewosz M., Mantorska J., 2009. Porównanie wiązania magnezu, wzrostu i właściwości kwaszących *Lactobacillus brevis* i *Lactobacillus plantarum* w środowisku o podwyższonym stężeniu magnezu. Acta Scient. Pol. Biotechnol. 8(1), 27–36.
- Romankiewicz D., Ceglińska A., Cacak-Pietrzak G., 2013. Wpływ metod prowadzenia ciasta na jakość chleba pszennego. ZPPNR 574, 57–65.
- Sobczyk M., 2012. Wpływ dodatku płatków jęczmiennych na jakość ciasta i pieczywa pszennego. ZPPNR 570, 87–96.
- Ziemlański S., 2001. Normy żywienia człowieka – fizjologiczne podstawy. PZWL, Warszawa, 349–361.

EFFECT OF INCREASED CONTENT OF MAGNESIUM DURING CULTIVATION OF YEAST AND LACTIC ACID BACTERIA ON A QUALITY OF DOUGH AND BREAD

Summary. The aim of this study was to analyze the influence of the effect of increased amount of magnesium during cultivation of strains of yeast and lactic acid bacteria (LAB) on the microbiological properties of dough and physico-chemical characteristics of bread. The YPD medium (for yeast) and MRS (for LAB) were enriched in magnesium at a concentration of $1.25 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$. YPG medium was supplemented of hydrated magnesium sulfate, and the MRS medium of hydrated magnesium acetate. Five mixed cultures were prepared: (1) *S. cerevisiae* i *Lb. brevis*, (2) *S. cerevisiae* i *Lb. fermentum*, (3) *S. cerevisiae* i *Lb. plantarum*, (4) *S. cerevisiae* i *Lb. sanfranciscensis*, (5) *S. cerevisiae*, *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Lb. plantarum*, *Lb. sanfranciscensis*. A number of yeast, LAB and total bacterial numbers in the doughs were examined by pour plate method. There were stated that mixed cultures enriched in magnesium have considerably influence on a number of yeast, LAB and total bacterial numbers. Number of yeast of control doughs ranged from $6.38 \cdot 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ to $2.21 \cdot 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ and in experimental doughs from $6,48 \cdot 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ to $2,08 \cdot 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$. Then control and experimental breads were prepared by a single-phase method. The yield, baking loss, total of baking loss and moisture of the breads were investigated. Magnesium content in bread samples was determined by flame atomic absorbance spectrometry (FAAS). The experimental breads have statistically significantly higher volumes than control breads. The volume of bread prepared from mixed cultures of *S. cerevisiae* and *Lb. fermentum* was $282.2 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, and the volume the bread with the same cultures enriched in magnesium $291.6 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. The highest amount of magnesium was found in bread prepared with *S. cerevisiae* and *Lb. brevis* cultures enriched in magnesium. This bread contains an average of $26.56 \text{ mg of Mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. In contrast, bread prepared using the same cultures, but without magnesium contained an average of $20.18 \text{ mg of Mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. According to our estimates the bread with cultures enriched with magnesium should cover the daily requirement for this element in the 18%. The obtained results suggest that bread with *S. cerevisiae* and *L. brevis* cultures enriched with magnesium could be a potential source of this element in the human diet.

Key words: lactic acid bacteria, *Saccharomyces cerevisiae*, magnesium, bread