

KRZYSZTOF BUKSA

KOMPONOWANIE SKŁADU MĄKI ŻYTNIEJ SŁUŻĄCEJ DO WYPIEKU MODELOWYCH CHLEBÓW ŻYTNICH METODĄ BEZPOŚREDNIĄ

Streszczenie

Celem pracy było skomponowanie modelowej mąki żytniej, złożonej z wyizolowanej skrobi żytniej, dostępnego w handlu preparatu pszennych arabinoksylianów i białka – stanowiącego mieszaninę albuminy jaja kurzego i komercyjnego glutenu pszenne go witalnego – oraz określenie warunków fermentacji i wypieku modelowych chlebów żytnich metodą bezpośrednią.

Na podstawie wyników badań, do sporządzenia ciasta na modelowe chleby żytnie wybrano mieszanke o składzie: 83 % skrobi żytniej, 6 % preparatu pszennych arabinoksylianów rozpuszczalnych w wodzie (Naxus) oraz 6 % mieszaniny albuminy i glutenu (w proporcji 7 : 3). Stwierdzono, że taką mieszanke można uznać za modelową mąkę żytnią, którą uzupełniono dodatkami technologicznymi w postaci: 1,5 % soli, 1 % cukru, 2,5 % drożdży i 1 M roztworu kwasu mlekowego w ilości potrzebnej do uzyskania pH = 4,3. Ciasto sporządzono przy użyciu farinografu, uzyskując konsystencję 150 j.Br. Fermentację ciasta przeprowadzono w foremkach, w ciągu 60 min, w komorze fermentacyjnej o temp. 35°C, natomiast wypiek w piecu o temp. 230 °C w ciągu 20 min.

Arabinoksyliany wchodzące w skład preparatu Naxus (o znacznie mniejszej masie cząsteczkowej niż arabinoksyliany żytnie), jak również białko użyte w ww. proporcjach, do sporządzenia ciasta poddawanego fermentacji, pozwoliły uzyskać produkt w dużym stopniu zbliżony do chleba żytniego.

Słowa kluczowe: arabinoksyliany, skrobia żytnia, albumina, gluten witalny, modelowe chleby

Wprowadzenie

Pod pojęciem modelowego wypieku należy rozumieć wypiek z zastosowaniem do sporządzenia ciasta, w miejsce typowej mąki, mieszaniny jej podstawowych składników, które stosuje się w takich ilościach, w jakich występują one w naturalnej mące lub w ilościach specjalnie zmienionych, w zależności od założonego celu. Wypiek modelowy umożliwił badanie interakcji białek, tłuszczów i polisacharydów w cieście

pszennym [12], a także zaproponowanie modelu kompleksów tworzących się podczas wypieku chleba pszennego [18]. Skomponowanie mąki żytniej do wypieku modelowego jest utrudnione, ze względu na brak odpowiednich komercyjnie dostępnych składników. Najlepszym rozwiązaniem jest izolacja skrobi, pentozanów i białek z mąki żytniej, która jednak jest pracochłonna i przebiega z małą wydajnością [3, 4, 6].

Wymienione przyczyny powodują, że komponowanie mąki żytniej z poszczególnych jej składników jest trudne i dotychczas nie było prowadzone. W dotychczasowych badaniach wykonano jedynie próby z udziałem frakcji mąki żytniej, w dużym stopniu wzbogaconych w poszczególne składniki, tzn. skrobię, pentozały i białko [4, 7, 13]. Interpretacja uzyskanych wyników pod względem roli poszczególnych składników w wypieku chleba żytniego, ze względu na obecność w tych frakcjach również w małych ilościach pozostałych składników mąki i ich wzajemne możliwe interakcje [10, 19], nie była jednoznaczna.

Zastosowanie mąk skomponowanych z frakcji bogatych w odpowiednie podstawowe składniki nie spełnia wymagań i oczekiwań związanych z wypiekiem modelowym, natomiast zastosowanie wyizolowanych, czystych składników, tzn. skrobi, a zwłaszcza pentozanów i białek do komponowania mąki jest bardzo trudne i czasochłonne [3, 6].

Celem pracy było skomponowanie modelowej mąki żytniej złożonej z wyizolowanej skrobi żytniej, dostępnego w handlu preparatu pszennych pentozanów, a także białka, jako mieszaniny albuminy jaja kurzego i dostępnego komercyjnie glutenu pszennego oraz określenie warunków fermentacji i wypieku chlebów żytnich metodą bezpośrednią.

Material i metody badań

Materiał do badań stanowiła skrobia, którą izolowano z mąki całościarnowej, uzyskanej z ziarna żyta odmiany 'Warko', zgodnie z opisem zamieszczonym w pracy Buksy i wsp. [5]. Do badań używano również albuminy jaja kurzego (POCH, Polska), glutenu witalnego (Cargill, Polska), preparatu pszennych arabinoksylianów rozpuszczalnych w wodzie (Naxus), zakupionego w firmie BioActor B.V. (Belgia), drożdży liofilizowanych (*Saccharomyces cerevisiae*, Lesafree, Francja), kwasu mlekowego (POCH) oraz chlorku sodu (POCH).

Zawartość białka w skrobi oznaczano metodą Kjeldahla [1], a zawartość tłuszczu zgodnie z normą [16]. Oznaczenie charakterystyki kleikowania 15-procentowych wodnych kleików skrobiowych wykonywano przy użyciu amylografu Micro Visco Amylo-Graph (firmy Brabender), zgodnie z instrukcją obsługi aparatu. Współczynnik pęcznienia wyizolowanej skrobi oznaczano metodą z niebieskim dekstranem [20]. Analizę zawartości amylozy w skrobi wykonywano metodą wg Morrisona i Laigneleta [14].

Analizę rozkładu mas cząsteczkowych skrobi wykonywano przy użyciu zestawu HPSEC zgodnie z opisem zamieszczonym w pracy Buksy i wsp. [5].

Zawartość białka oraz arabinoksylianów całkowitych w preparacie arabinoksylianów pszennych (Naxus) oznaczano metodami opisanymi w pracy Buksy i wsp. [6]. Cukry proste po hydrolizie kwasowej oznaczano metodą HPLC/RI opisaną w pracy Buksy i wsp. [6]. Analizę rozkładu mas cząsteczkowych preparatu arabinoksylianowego przeprowadzono metodą HPSEC [6].

Analizę rozkładu mas cząsteczkowych albuminy przeprowadzono w zestawie HPSEC, wyposażonym w zestaw kolumn OH-pak SB-G, SB-806HQ i SB-804HQ i detektor UV pracujący przy długości fali $\lambda = 280$ nm. Eluent stanowił bufor 0,1 M sodowo-fosforanowy i 0,5 M NaCl (pH = 7,0), szybkość przepływu 0,6 ml/min, temp. kolumn 30 °C. Próbkę przygotowywano rozpuszczając 10 mg białka w eluencie przez 6 h w temp. 30 °C. Opracowanie wyników wykonywano z wykorzystaniem oprogramowania Eurochrom (wersja 3.05) firmy Knauer oraz Clarity (wersja 4.0.1.700) firmy DataApex.

Ciasto do wypieku modelowych chlebów żytnich sporządzano w mieszarce farinografu o pojemności dzieży 50 g (Farinograph E, Brabendera) ze skomponowanej modelowej mąki żytniej (95 %) zawierającej różne proporcje preparatu Naxus, skrobi i białka (w różnych proporcjach albuminy i glutenu – tab. 3 - 6) oraz z dodatków technologicznych (5 %): 2,5 % drożdży liofilizowanych, 1,5 % NaCl, 1 % sacharozy (pełniących również rolę uzupełniającą skład chemiczny modelowej mąki) oraz 3,5 ml 1M roztworu kwasu mlekowego (dodawanego w trakcie mieszenia ciasta jako część wody) do uzyskania kwasowości ciasta przed fermentacją o pH = 4,3. Dla uproszczenia modelu świadomie zrezygnowano z zastosowania preparatów amylo- i proteolitycznych. Ilości wymienionych składników przeliczano na 100 g mieszanki użytej do sporządzenia ciasta. Przed przygotowaniem ciasta mieszankę wszystkich składników kondycjonowano do wilgotności 14 %. Do mieszanki wyżej wymienionych składników (w sumie 50 g) dodawano taką ilość wody, aby w farinografie uzyskać ciasto o konsystencji 150 j.Br. Każdorazowe mieszenie próbek prowadzono przez 12 min.

Z uzyskanego ciasta formowano kęsy o masie 60 g, a następnie umieszczano je w foremkach (3 × 3 × 4 cm). Każdorazowo po 15 min od momentu rozpoczęcia mieszenia ciasta (w farinografie), uformowane kęsy wstawiano do komory fermentacyjnej pieca piekarskiego firmy Mive Condo. Fermentację kęsów ciasta prowadzono przez 60 min, w komorze fermentacyjnej pieca w temp. 35 °C oraz przy wilgotności względnej powietrza wynoszącej 80 %. Wypiek kęsów ciasta prowadzono przez 20 min w komorze wypiekowej pieca piekarskiego Mive Condo, w temp. 230 °C. Wypieczone chleby ważono natychmiast po wyjęciu z pieca, oznaczając stratę wypiekową, a następnie studzono w temperaturze 20 ± 2 °C przez 1 h i ważono, w celu oznaczenia straty upiekowej całkowitej.

Objętość chlebów mierzono w laserowym analizatorze objętości Volscan Profiler (Stable Microsystems, Anglia), zgodnie z instrukcją obsługi urządzenia. Objętość chleba przeliczano na 100 g modelowej mieszanki wypiekowej o standardowej wilgotności wynoszącej 14 %.

Wilgotność mięksiszu chlebów oznaczano metodą suszarkową wg AOAC – Method 925.10 [1], w dniu wypieku.

Przed wykonaniem analizy tekstury mięksiszu modelowych chlebów bochenek odcinano na wysokości 3 cm od podstawy. Analizę tekstury wykonywano na dolnej części bochenka analizatorem tekstury typu TA.XT Plus, zgodnie z normą [17].

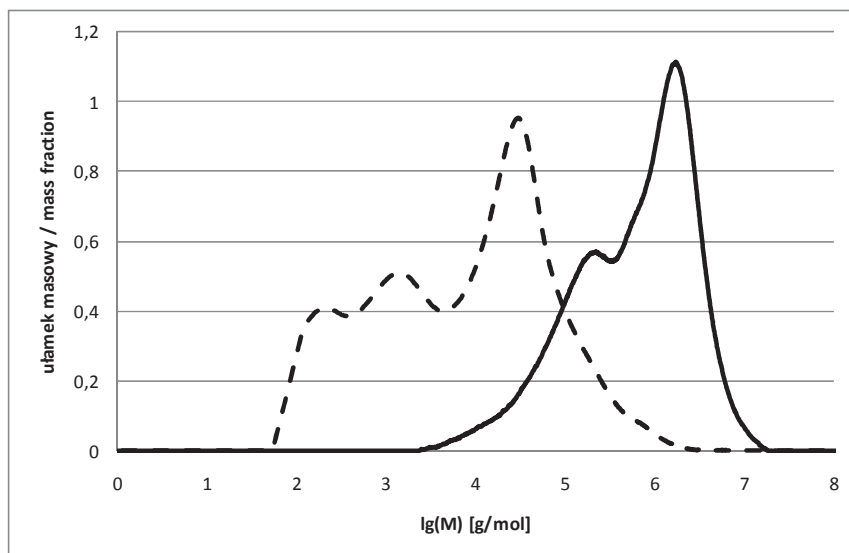
Wszystkie oznaczenia chemiczne i technologiczne oraz wypiek modelowych chlebów żytnich wykonywano co najmniej w dwóch powtórzeniach. Obliczenia statystyczne wykonywano w programie Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, USA). Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA. Istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi weryfikowano testem Tukeya na poziomie istotności $p = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Do skomponowania mąki na modelowe chleby zastosowano skrobię żytnią, preparat arabinoksylianów pszennych rozpuszczalnych w wodzie (Naxus) oraz jako białko albuminę jaja kurzego i pszenny gluten witalny. Przed zastosowaniem do badań przebadano ich właściwości.

Właściwości skrobi żytniej

Podstawowy skład chemiczny i właściwości skrobi żytniej zastosowanej do badań, wyizolowanej z całościarnowej mąki z ziarna żyta odmiany 'Warko', przedstawiono w tab. 1. Odznaczała się typowym składem chemicznym i właściwościami w porównaniu ze skrobią wyizolowaną z mąki całościarnowej różnych odmian żyta [5]. Mimo małych wartości większości ważnych parametrów skrobi (temperatury kleikowania, współczynnika pęcznienia (SF) i zawartości amylozy) nadaje się ona do wypieku modelowego [5]. Rozkład mas cząsteczkowych skrobi (rys. 1) był typowy i nie wykazywał frakcji niskocząsteczkowej, co świadczy o tym, że skrobia nie była uszkodzona i zhydrolizowana. Obliczona masa cząsteczkowa (M_w , tab. 1) była mniejsza niż wartości uzyskane we wcześniejszych badaniach przez Buksę i wsp. [5], co wynikało z różnic w surowcu użytym do izolacji.



Rys. 1. Rozkład mas cząsteczkowych skrobi wyizolowanej z ziarna żyta odmiany 'Warko' (—) i pszen-nych arabinoksylianów (- -).

Fig. 1. Molecular mass distribution of starch isolated from rye grain of 'Warko' variety (—) and of wheat AX (- -).

Tabela 1. Skład chemiczny i właściwości skrobi żytniej wyizolowanej z ziarna odmiany 'Warko'.

Table 1. Chemical composition and properties of rye starch isolated from grains of 'Warko' variety.

Cecha / Characteristic	$\bar{x} \pm s / SD$
Zawartość substancji nieskrobiowych / Content of non-starch substances:	
- białko ($N \times 6,25$) [% s.m.] / protein ($N \times 6,25$) [% d.m.]	$0,2 \pm 0,1$
- tłuszcz [% s.m.] / fat [% d.m.]	$0,3 \pm 0,0$
Charakterystyka pęcznienia i kleikowania / Swelling and casting profile:	
- temperatura kleikowania / casting temperature [°C]	$67,0 \pm 2,1$
- lepkość maksymalna / maximum viscosity [j.Br.]	$225,0 \pm 7,1$
- SF* 70°C [-]	$8,8 \pm 0,3$
- SF 80°C [-]	$9,3 \pm 0,2$
- SF 90°C [-]	$9,2 \pm 0,2$
Charakterystyka właściwości molekularnych / description of molecular properties:	
- zawartość amylozy / amylose content [%]	$22,7 \pm 0,4$
- $M_w \times 10^5$ [g/mol]	11,0

Objaśnienia: / Explanatory notes:

\bar{x} – wartość średnia z 2 powtórzeń / mean value of two replications; s – odchylenie standardowe / s – standard deviation; SF – współczynnik pęcznienia / swelling factor; M_w – wagowo średnia masa cząsteczkowa / weight average molar mass.

Właściwości pszennego preparatu arabinoksylianów rozpuszczalnych w wodzie

Charakterystykę handlowego preparatu pszennych arabinoksylianów rozpuszczalnych w wodzie (Naxus) przedstawiono w tab. 2. Preparat ten charakteryzował się zbliżoną zawartością czystych arabinoksylianów oraz o połowę mniejszą zawartością białka w porównaniu z arabinoksylianami otrzymanymi metodą laboratoryjną z ziarna żyta [5, 6]. Stosunek zawartości arabinozy do ksylozy (A/X, tab. 2) mieścił się powyżej zakresu $0,50 \div 0,71$, charakterystycznego dla AX wyizolowanych z bielma ziarna pszenicy [2] i był podobny do żytnich arabinoksylianów ($0,48 \div 0,78$) [2, 4]. W odróżnieniu do arabinoksylianów żytnich stwierdzono 7,4-procentowy udział galaktozy, najprawdopodobniej stanowiącej składnik arabinogalaktanów [8] występujących w ziarnie pszenicy. Analiza rozkładu mas cząsteczkowych arabinoksylianów obecnych w preparacie uzyskanym z ziarna pszenicy świadczy, że charakteryzowały się one małą masą cząsteczkową (rys. 1, tab. 2), w porównaniu zarówno z pszennymi AX ($2,2 \div 7,0 \times 10^5$ g/mol [2, 9]), jak i żytnimi AX ($2,4 \div 8,4 \times 10^5$ g/mol [4, 19]) i małą lepkością graniczną, w porównaniu z pszennymi ($2,75 \div 5,48$ dl/g) i żytnimi ($2,46 \div 5,9$ dl/g) AX

Tabela 2. Skład chemiczny i właściwości preparatu pszennych arabinoksylianów rozpuszczalnych w wodzie.

Table 2. Chemical composition and properties of preparation of water soluble wheat arabinoxylans.

Badane wskaźniki / Studied indices	$\bar{x} \pm s / SD$
Zwartość AX ogółem [% s.m.] / Total content of AX [% d.m.]	71,7 \pm 0,9
Zawartość białka [% s.m.] / Protein content (N \times 6,25) [% d.m.]	7,9 \pm 0,0
Zawartość cukrów prostych po hydrolizie kwasowej [% s.m.] / content of single sugars after acid hydrolysis [% d.m.]:	
- glukoza / glucose	9,2 \pm 0,3
- ksyloza / xylose (X)	37,5 \pm 0,3
- galaktoza / galactose	7,4 \pm 0,1
- arabinoza / arabinose (A)	27,7 \pm 0,4
- mannoza / mannose	1,1 \pm 0,1
Suma zawartości cukrów prostych / Total of single sugars	73,3 \pm 0,8
Stosunek A/X / A:X ratio	0,74
Właściwości molekularne / Molecular properties:	
- $M_w \times 10^4$ [g/mol]	8,0
- η [dL/g]	0,40

Objaśnienia: / Explanatory notes:

η – lepkość graniczna / intrinsic viscosity

Pozostałe objaśnienia jak w tab. 1. / Other explanations as in Tab. 1.

[2, 6, 22], co potwierdziło ich dużo mniejszą masę cząsteczkową. Różnice te mogą wynikać z zastosowania innego surowca, ale przede wszystkim z warunków procesu izolacji AX, sugerujących ich częściową hydrolizę [6].

Właściwości białka rozpuszczalnego (albuminy) oraz nierozpuszczalnego (pszennego glutenu witalnego)

Zawartość białka w preparacie albuminy była duża i wynosiła 86,1 %. Z rozdziału chromatograficznego w kolumnach HPSEC (wyników nie zamieszczono) wynika, że objętość elucji albuminy pokrywała się z objętością elucji wzorcowej albuminy wołowej, o masie cząsteczkowej $6,6 \times 10^4$ g/mol i mieściła się w zakresie zmienności podanym w literaturze, charakterystycznym dla albuminy pszenicy, wyznaczonym techniką SEC [11] i żyta, oznaczonym techniką SDS Page [21].

Zawartość białka w preparacie glutenu wynosiła ponad 80 %, zgodnie z deklaracją producenta.

Wypiek modelowych chlebów żytnich metodą bezpośrednią

Charakterystykę wypiekową modelowych chlebów żytnich podano w tab. 3 - 6. Aby sprawdzić, czy z dostępnych handlowo surowców można uzyskać modelowy produkt o cechach pieczywa żytniego, zastosowano różny procentowy ich udział do sporządzenia ciasta.

W pierwszym wariantcie do przygotowania ciasta na modelowe chleby użyto preparatu arabinoksylianów oraz skrobi (tab. 3) bez dodatku białek, ponieważ uważa się, że odgrywają one małą rolę w wypieku chleba żytniego [7]. Należy jednak pamiętać, że białko wchodzi w skład arabinoksylianów (tab. 2), skrobi (tab. 1) i drożdży liofilizowanych (stanowiąc ok. 40 % s.m. drożdży [15]). W pierwszej kolejności, w celu porównania, wypieczono chleb, stosując samą skrobię. Charakteryzował się on najniższą jakością. Gdy zastosowano dodatek AX w miejsce części skrobi, w miarę zmniejszania się stosunku zawartości skrobi do AX do poziomu 9,6, w mieszance użytej do sporządzenia ciasta o konsystencji 150 j.Br., malała ilość dodawanej wody. Z takiego ciasta uzyskiwano jednak chleby o coraz mniejszej stracie wypiekowej, większej objętości, bardziej wilgotnym miększu, o mniejszej twardości oraz o zbliżonej adhezyjności. Zmniejszenie w mieszance stosunku skrobi do AX do wartości równej 6,9 doprowadziło do uzyskania chlebów o znacznie mniejszej objętości, bardziej twardym miększu i dużej adhezyjności (w stosunku do próbek, w których stosunek użytych polisacharydów wynosił 9,6), przy pozytywnych wartościach pozostałych parametrów ich jakości.

Tabela 3. Wodochłonność modelowej skrobiowo-arabinoksylianowej mieszanki wypiekowej, determinowana wielkością dodatku arabinoksylianów pszennych (AX), oznaczana przy konsystencji ciasta 150 j.Br. i właściwości wypiekowe otrzymanych z niej modelowych chlebów żytnich.

Table 3. Water absorption of model starch-arabinoxylan baking blend subject to the amount level of added wheat arabinoxylans (AX) and determined at dough consistency of 150 BU, as well as baking properties of model rye breads baked from this baking blend.

Ilość składników mąka + dodatki Amount of ingredients flour + additives				S/AX	Wodo-chłonność Water absorption [%]	Strata wypiekowa całkowita Total Baking Loss [%]	Objętość chleba Bread volume [mL/100 g]	Wilgotność Moisture [%]	Twardość Hardness [N]	Adhezyjność Adhesiveness [N·s]
AX	S	B	D							
0	95	0	5	-	68,2 ^d ± 0,2	25,1 ^e ± 0,3	253,7 ^a ± 2,2	35,7 ^a ± 0,4	18,7 ^d ± 0,5	-1,5 ^a ± 0,2
1	94	0	5	94,0	64,8 ^c ± 0,2	20,4 ^d ± 0,3	327,4 ^b ± 0,8	38,5 ^{bc} ± 0,5	10,3 ^c ± 0,1	-2,8 ^a ± 0,9
3	92	0	5	30,7	64,2 ^c ± 0,2	20,2 ^{cd} ± 0,3	358,2 ^c ± 3,0	39,5 ^{cd} ± 0,1	8,4 ^b ± 0,3	-1,4 ^a ± 1,6
6	89	0	5	14,8	59,8 ^{ab} ± 0,2	19,0 ^{bcd} ± 0,3	388,3 ^{de} ± 2,1	42,7 ^e ± 0,6	3,3 ^a ± 0,3	-1,9 ^a ± 0,3
9	86	0	5	9,6	60,0 ^{ab} ± 0,6	17,2 ^{ab} ± 0,5	392,5 ^e ± 10,1	42,0 ^e ± 0,1	4,4 ^a ± 0,3	-4,4 ^a ± 1,1
12	83	0	5	6,9	59,0 ^a ± 0,2	16,8 ^a ± 0,4	297,9 ^b ± 8,0	42,7 ^e ± 0,8	8,0 ^b ± 0,5	-12,4 ^a ± 6,1

Objaśnienia: / Explanatory notes:

AX – udział dodatku preparatu arabinoksylianów / content of added arabinoxylan preparation; S – udział dodatku skrobi / content of added starch; B – udział dodatku preparatu białka rozpuszczalnego (albuminy) / content of added protein preparation; D – dodatki dopełniające do 100 (sól, cukier i drożdże) / baking additives to make 100 in total (salt, sugar, and yeast); liczby w kolumnach to wartość średnia z 2 powtórzeń ± odchylenie standardowe / numbers in columns denote mean value of two replications ± standard deviation;

wartości średnie oznaczone tymi samymi literami w poszczególnych kolumnach nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie istotności 0,05 / mean values in individual columns and denoted by the same letters do not differ statistically significantly at $p = 0.05$.

Produkty o najlepszych parametrach uzyskano z mieszanki o stosunku skrobi do AX równym 14,8 i 9,6. Mięksiz uzyskanego chleba charakteryzował się jednak zbyt drobnymi porami i był nadmiernie kruchy, co wskazywało na brak dostatecznej ilości białka.

W celu uwidocznienia roli poszczególnych składników ciasta w modelowym produkcie, w drugim wariancie doświadczenia do wypieku zastosowano mieszankę skład-

ników bez arabinoksylianów tj. skrobię i białko (tab. 4). Jako białko zastosowano samą albuminę jaja kurzego lub mieszaninę albuminy z glutenem (tab. 4) w dwóch proporcjach 3 : 7 i 7 : 3. Przy wzrastającej ilości albuminy w mieszance, podobnie jak w przypadku udziału arabinoksylianów, zmniejszała się ilość wody niezbędna do uzyskania ciasta o konsystencji 150 j.Br. Zmniejszała się także strata wypiekowa chlebów. Chleby cechowała: mała objętość, podobna wilgotność, duża twardość oraz mała adhezyjność miękiszu (tab. 4). Niekorzystne parametry (głównie duża twardość miękiszu) chlebów uzyskanych z modelowej mąki złożonej ze skrobi i optymalnej ilości białka rozpuszczalnego (w mące żytniej zawartość białka rozpuszczalnego wynosi 3 ÷ 6 % [7]) były prawdopodobnie spowodowane brakiem AX.

Tabela 4. Wodochłonność modelowej skrobiowo-białkowej mieszanki wypiekowej, determinowana wielkością dodatku białka (albuminy i glutenu), oznaczana przy konsystencji ciasta 150 j.Br. i właściwości wypiekowe otrzymanych z niej modelowych chlebów żytnich.

Table 4. Water absorption of model starch-protein baking blend subject to the amount level of added proteins (albumin and gluten) as determined at dough consistency of 150 BU, as well as baking properties of model rye breads baked from this baking blend.

Ilość składników mąka + dodatki Amount of ingredients flour + additives				Wodochłonność Water absorption [ml]	Strata wy- piekowa całkowita Total Baking Loss [%]	Objętość chleba Bread volume [ml/100 g]	Wilgotność Moisture [%]	Twardość Hardness [N]	Adhezyjność Adhesiveness [N·s]
AX	S	B alb + glu	D						
0	94	1 + 0	5	63,4 ^{bcd} ± 0,2	24,4 ^d ± 0,3	277,5 ^{ab} ± 9,3	37,0 ^a ± 0,2	18,4 ^a ± 1,2	-5,1 ^a ± 1,5
0	93	3 + 0	5	62,2 ^{abc} ± 0,6	19,5 ^{bc} ± 0,4	265,5 ^a ± 5,7	37,5 ^a ± 0,1	17,6 ^a ± 0,8	-4,3 ^a ± 1,1
0	89	6 + 0	5	61,0 ^a ± 0,6	16,9 ^a ± 0,1	270,5 ^a ± 4,8	37,6 ^a ± 0,2	17,4 ^a ± 1,5	-3,9 ^a ± 2,9
0	94	0,3 + 0,7*	5	64,2 ^d ± 0,6	21,3 ^c ± 0,5	290,1 ^{abc} ± 7,1	36,9 ^a ± 0,6	18,2 ^a ± 0,3	-1,1 ^a ± 0,7
0	92	0,9 + 2,1*	5	62,2 ^{abc} ± 0,6	21,4 ^c ± 0,4	353,6 ^d ± 6,2	36,8 ^a ± 0,5	10,8 ^b ± 0,5	-1,7 ^a ± 0,6
0	89	1,8 + 4,2*	5	61,0 ^a ± 0,2	20,5 ^{bc} ± 0,5	349,4 ^d ± 7,8	37,2 ^a ± 0,4	10,8 ^b ± 0,2	-0,9 ^a ± 0,5
0	94	0,7 + 0,3**	5	63,6 ^{cd} ± 0,2	20,1 ^{bc} ± 0,6	314,9 ^{cde} ± 13,4	36,8 ^a ± 0,3	16,1 ^{cd} ± 0,4	-0,6 ^a ± 0,6
0	92	2,1 + 0,9**	5	61,6 ^{ab} ± 0,6	19,7 ^{bc} ± 0,8	342,6 ^{de} ± 7,8	36,1 ^a ± 0,2	14,7 ^{cd} ± 0,3	-1,3 ^a ± 0,7
0	89	4,2 + 1,8**	5	60,2 ^a ± 0,1	18,9 ^{ab} ± 0,7	302,2 ^{bc} ± 9,9	36,5 ^a ± 0,4	13,4 ^{bc} ± 0,1	-0,8 ^a ± 0,5

Objaśnienia: / Explanatory notes:

* – albumina : gluten - 3 : 7; ** – albumina : gluten - 7 : 3; AX – udział dodatku preparatu arabinoksylianów / content of added arabinoxylan preparation; S – udział dodatku skrobi / content of added starch; B – udział dodatku preparatu białka / content of added protein preparation;

Pozostałe objaśnienia jak w tab. 3 / Other explanations as in Tab. 3.

Przy zastosowaniu mieszaniny białek (albuminy i glutenu), w miarę wzrostu ich sumarycznej ilości, niezależnie od stosunku albuminy do glutenu i przy braku AX, zaobserwowano niewielkie zmiany dodatku wody w celu uzyskania ciasta o konsystencji 150 j.Br. (tab. 4). Ponadto, w porównaniu do chlebów uzyskanych bez udziału glutenu, oznaczono zbliżoną stratę wypiekową, wzrost objętości chlebów, stałą wilgotność miększu, zmniejszanie się jego twardości przy zbliżonej, małej adhezyjności (tab. 4). Zaobserwowano większą porowatość miększu takich chlebów niż uzyskanych z zastosowaniem jedynie albuminy. Przy zastosowaniu mieszaniny albuminy i glutenu z przeważającą ilością albuminy (7 : 3), uzyskane chleby charakteryzowały się podobnymi właściwościami. Po zastosowaniu albuminy i glutenu w odwrotnej proporcji tj. 3 : 7, w mieszance o 1-procentowej całkowitej zawartości białka zaobserwowano najmniejszą objętość i największą twardość miększu chlebów, natomiast przy 3- i 6-procentowej zawartości białka o takim samym składzie – największą objętość i najmniejszą twardość miększu.

W kolejnym wariancie (tab. 5), ze względu na zdecydowanie niekorzystną charakterystykę chlebów otrzymanych z mieszanek skrobi i AX, bez udziału białka, do sporządzenia modelowego ciasta użyto trzech składników, tj. AX, skrobi i albuminy jako białka. Do badań wybrano dwie proporcje ilości składników: skrobi do AX – ok. 30 i ok. 14 oraz białka od 1 do 6 %.

Tabela 5. Wodochłonność modelowej mieszanki wypiekowej złożonej ze skrobi AX i białka (albuminy), oznaczona przy konsystencji ciasta 150 j.Br. i właściwości wypiekowe otrzymanych z niej modelowych chlebów żytnich.

Table 5. Water absorption of model baking blend composed of starch, AX, and protein (albumin) as determined at dough consistency of 150 BU, as well as baking properties of model rye breads baked from this baking blend.

Ilość składników mąka + dodatki Amount of ingredients flour + additives				S/AX	Wodochłonność Water absorption [ml]	Strata wypiekowa całkowita Total Baking Loss [%]	Objętość chleba Bread volume [ml/100 g]	Wilgotność Moisture [%]	Twardość Hardness [N]	Adhezyjność Adhesiveness [N·s]
AX	S	B alb + glu	D							
3	91	1 + 0	5	30,3	35,4 ^d ± 0,8	21,8 ^d ± 0,3	395,0 ^b ± 1,1	39,5 ^a ± 0,5	6,3 ^a ± 0,3	-1,8 ^b ± 2,1
6	88	1 + 0	5	14,7	34,4 ^{cd} ± 0,8	18,2 ^{ab} ± 0,1	390,5 ^b ± 1,9	43,2 ^b ± 0,2	3,7 ^a ± 0,2	-9,5 ^b ± 3,1
3	89	3 + 0	5	29,7	62,2 ^{bc} ± 0,5	20,1 ^c ± 0,2	360,9 ^a ± 3,5	40,1 ^a ± 0,4	5,5 ^a ± 0,6	-4,3 ^b ± 3,1
6	86	3 + 0	5	14,3	60,8 ^b ± 0,4	18,7 ^{bc} ± 0,6	361,8 ^a ± 5,1	42,8 ^b ± 0,5	4,3 ^a ± 0,5	-6,1 ^b ± 2,0
6	83	6 + 0	5	13,8	58,4 ^a ± 0,1	16,3 ^a ± 0,0	354,3 ^a ± 4,8	43,2 ^b ± 0,1	11,2 ^b ± 0,7	-14,1 ^a ± 1,6

Objaśnienia jak pod tab. 3. / Explanatory notes as in Tab. 3.

Również na tym etapie stwierdzono tendencję do zmniejszania dodatku wody przy tworzeniu ciasta o konsystencji 150 j.Br. w miarę wzrostu udziału AX i białka (tab. 5).

Jak należało oczekiwać, parametry wypieczonych modelowych chlebów (tab. 5) były korzystniejsze (większa objętość, mniejsza twardość i nieduża adhezyjność miękiszu), gdy zastosowano wymienione 3 składniki, w tym 3- i 6-procentowy udział AX oraz 1- ÷ 6-procentową zawartość albuminy (tab. 5) w stosunku do wersji bez AX (tab. 4). Najmniej korzystnymi parametrami (tzn. najbardziej twardym miękiszem o największej adhezyjności) charakteryzował się chleb zawierający w swoim składzie 6 % AX i 6 % albuminy, jednak odznaczał się on małą stratą wypiekową i dużą wilgotnością miękiszu.

Ostatni wariant eksperymentu przewidywał sporządzenie modelowego ciasta i wypiek chlebów ze wszystkich składników (AX, skrobi i białka), jak w wersji poprzedniej (tab. 6), ale zastosowano jako białko mieszaninę albuminy i glutenu w takich proporcjach, jak wcześniej (tab. 4). Użyto jedynie białka w ilości 6 % (jak w mące żytniej o małym wyciągu [7]), w tym ok. 2 lub 4 % albuminy, a pozostałą ilość uzupełniono glutenem. Zastosowano niewielki dodatek albuminy, gdyż duża jej ilość, wprawdzie bez glutenu i AX, spowodowała stwardnienie miękiszu (tab. 4 i 5). Ponadto zastosowano zróżnicowane ilości AX – od 3 do 12 %, aby uzyskać w mieszankach zróżnicowane proporcje skrobi do AX.

Z wymienionych wyżej składników, do sporządzenia ciasta o konsystencji 150 j.Br. użyto zbliżoną ilość wody, ale z tendencją do jej zmniejszania przy wzrastającej ilości AX. Chleby uzyskane z mieszaniny skrobi, 6 % AX i 6 % białka, w skład którego wchodził też gluten (tab. 6), charakteryzowały się lepszymi parametrami (tzn. większą objętością, mniejszą twardością i adhezyjnością miękiszu), w porównaniu z chlebami, do sporządzenia których zastosowano tylko albuminę (tab. 5).

Chleby uzyskane z ciasta o tej samej proporcji skrobi do AX i przy stosunku albuminy do glutenu 7 : 3 (6 % białka, w tym ok. 4 % albuminy i 2 % glutenu), mimo że nieistotnie statystycznie, charakteryzowały się mniejszą objętością, dużą wilgotnością miękiszu, większą twardością i mniejszą stratą wypiekową (tab. 6) w stosunku do chlebów otrzymanych przy odwrotnej proporcji albuminy do glutenu, tzn. 3 : 7.

Chleby wypieczone z mieszanki, w której zawartość albuminy przeważała nad glutenem, były podobne pod względem twardości, wilgotności i porowatości miękiszu do chleba żytniego, natomiast gdy w mieszance było więcej glutenu, produkty przypominały chleb pszenny.

Jak należało oczekiwać, [7] jakość chlebów zależała również od stosunku skrobi do AX. Za najlepsze uznano chleby uzyskane z mieszanek, w których stosunek skrobi do AX wynosił 13,8 i 8,9, a za najgorsze – 6,4. Jednak pod względem sensorycznym

chleb uzyskany z mieszanki, w której stosunek AX do skrobi wynosił 13,8 najbardziej przypominał chleb żytni.

Tabela 6. Wodochłonność modelowej mieszanki wypiekowej złożonej ze skrobi AX i białka (albuminy i glutenu), oznaczona przy konsystencji ciasta 150 j.Br. i właściwości wypiekowe otrzymanych z niej modelowych chlebów żytnich.

Table 6. Water absorption of model baking blend composed of starch, AX, and protein (albumin and gluten) as determined at dough consistency of 150 BU, as well as baking properties of model rye breads baked from this baking blend.

Ilość składników mąka + dodatki Amount of ingredients flour + additives				S/AX	Wodochłonność Water absorption [%]	Strata wypiekowa całkowita Total Baking Loss [%]	Objętość chleba Bread volume [mL/100 g]	Wilgotność Moisture [%]	Twardość Hardness [N]	Adhezyjność Adhesiveness [N·s]
AX	S	B alb + glu	D							
3	86	1,8 + 4,2*	5	28,7	60,8 ^c ± 0,2	19,1 ^e ± 0,5	388,3 ^{bc} ± 0,5	41,0 ^a ± 0,6	4,7 ^{abc} ± 0,3	-1,8 ^{cd} ± 2,2
6	83	1,8 + 4,2*	5	13,8	59,8 ^b ± 0,6	18,3 ^d ± 0,4	387,7 ^c ± 11,1	43,8 ^{bcd} ± 0,4	3,5 ^a ± 0,4	-4,7 ^{bcd} ± 4,2
9	80	1,8 + 4,2*	5	8,9	59,8 ^b ± 0,6	17,9 ^c ± 0,6	386,9 ^c ± 7,4	43,8 ^{bcd} ± 0,6	4,3 ^{ab} ± 0,3	-7,5 ^{bcd} ± 3,3
12	77	1,8 + 4,2*	5	6,4	59,2 ^b ± 0,2	17,4 ^{a-e} ± 0,6	370,1 ^{abc} ± 12,5	44,6 ^d ± 0,8	4,7 ^{abc} ± 0,4	-25,5 ^a ± 5,6
3	86	4,2 + 1,8**	5	28,7	59,0 ^{bc} ± 0,0	18,2 ^{b-e} ± 0,2	355,4 ^a ± 5,8	42,0 ^{ab} ± 0,3	6,4 ^{cd} ± 0,3	-0,9 ^d ± 0,8
6	83	4,2 + 1,8**	5	13,8	58,0 ^{ab} ± 0,2	17,6 ^{abc} ± 0,8	372,1 ^{abc} ± 4,2	43,5 ^{bcd} ± 0,5	5,8 ^{bcd} ± 0,4	-3,0 ^{cd} ± 1,7
9	80	4,2 + 1,8**	5	8,9	56,2 ^a ± 0,2	15,9 ^a ± 0,9	349,9 ^a ± 4,2	43,5 ^{bcd} ± 0,6	6,4 ^{cd} ± 0,2	-11,2 ^{bcd} ± 4,4
12	77	4,2 + 1,8**	5	6,4	56,0 ^a ± 0,0	15,9 ^a ± 0,4	354,6 ^{abc} ± 4,7	44,2 ^{cd} ± 0,9	6,9 ^d ± 0,3	-34,7 ^a ± 6,3

Objaśnienia jak pod tabelą 4 / Explanatory notes as in Table 4.

Wyniki badań pozwoliły uznać chleb uzyskany z mieszanki skrobi żytniej i AX (Nagus) w proporcji 13,8 oraz z udziałem białka o stosunku albuminy jaja kurzego do glutenu pszennego 7 : 3 jako najbardziej przypominający chleb żytni. Zaproponowany model można wykorzystać szczególnie w badaniach dotyczących wpływu skrobi o różnicowanych cechach na właściwości chleba żytniego.

Zastosowanie wyżej wymienionych składników w badaniach modelowych wprawdzie jest możliwe, trzeba jednak pamiętać, że uzyskane z nich ciasto wykazuje różnice w porównaniu z typowym ciastem żytnim. Obserwowano bowiem przy jego sporządzaniu (o konsystencji 150 j.Br.) zmniejszanie dodatku wody wraz ze wzrostem ilości AX (zmniejszaniem się stosunku skrobi do AX). Podobnie zwiększanie ilości

białka, któremu towarzyszyło równoczesne zmniejszenie ilości skrobi, powodowało także zmniejszanie ilości dodawanej wody w celu uzyskania ciasta o konsystencji 150 j.Br. Prawdopodobnie, ze względu na małą masę cząsteczkową zastosowanych AX, chłonęły one mniej wody niż typowe żytnie AX, a skrobia, która w naturalnej mące wykazuje małą wodochłonność, w mące modelowej miała ten proces bardziej utrudniony, ze względu na blokowanie dostępu wody do ziarenek skrobi przez powstające w cieście lepkie roztwory pentozanowo-białkowe. Roztwory te nie tylko wiązały wodę, ale także odpowiadały za tworzenie porów w mięksiszu, co skutkowało wzrostem objętości chlebów z większym udziałem AX.

Wnioski

1. Z połączenia skrobi żytniej oraz składników strukturotwórczych pochodzących z innych źródeł biologicznych można skomponować optymalną mieszankę do wypieku pieczywa o właściwościach porównywalnych z właściwościami pieczywa żytniego.
2. Chleb bez dodatku białka charakteryzował się zbyt drobnymi porami i był nadmiernie kruchy, natomiast chleb wypieczony bez dodatku AX charakteryzował się niekorzystnymi parametrami, głównie dużą twardością mięksiszu.
3. Arabinoksylany wchodzące w skład preparatu Naxus, mimo znacznie mniejszej masy cząsteczkowej niż arabinoksylany żytnie, jak również białko w postaci mieszaniny albuminy jaja kurzego i pszennego glutenu witalnego, zastosowane w wymienionych proporcjach do sporządzenia zakwaszonego ciasta oraz podane warunki wypieku prowadzą do uzyskania produktu finalnego w dużym stopniu zbliżonego do chleba żytniego.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2012-2014 jako projekt badawczy Iuventus Plus - IP2011 005571.

Literatura

- [1] AOAC. Official methods of analysis. 18th edn. Gaithersburg Association of Official Analytical Chemists International 2006.
- [2] Biliaderis C.G., Izydorczyk M.S.: Functional food carbohydrates, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.
- [3] Binder M., Pruska-Kędzior A., Kędzior Z., Jankowska M., Chojnacka E.: Charakterystyka składu frakcyjnego i właściwości reologicznych białka wypełniającego ziarna żyta. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2011, **6 (79)**, 67-78.
- [4] Buksa K., Nowotna A., Gambuś H.: Wpływ dodatku preparatu pentozanowego na właściwości ciasta i chleba z mąki żytniej. Acta Agrophysica, 2012, **19 (1)**, 7-18.
- [5] Buksa K., Nowotna A., Praznik W., Gambuś H., Ziobro R., Krawontka J.: The role of pentosans and starch in baking of wholemeal rye bread. Food Res. Int., 2010, **43**, 2045-2051.

- [6] Buksa K., Ziobro R., Nowotna A., Praznik W., Gambuś H.: Characteristics of water soluble arabinoxylan preparation obtained using laboratory method. *Eur. Food Res. Technol.*, 2012, **235** (3), 385-395.
- [7] Bushuk W.: *Rye: Production, Chemistry, and Technology*. Second Edition, AAOCC St. Paul, Minnesota, 2001.
- [8] Courtin C.M., Delcour J.A.: Arabinoxylans and Endoxylanases in Wheat Flour Breadmaking. *J. Cereal Sci.*, 2002, **35**, 225-243.
- [9] Dervilly G., Saulnier L., Roger P., Thibault J.-F.: Isolation of homogeneous fractions from wheat water-soluble arabinoxylans. Influence of the structure on their macromolecular characteristics. *J. Agric. Food. Chem.*, 2000, **48**, 270-278.
- [10] Fik M.: Czerstwienie pieczywa i sposoby przedłużania jego świeżości. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, **2** (39), 5-22.
- [11] Graveland A., Bosveld P., Lichtendonk W.J., Moonen H.H.E., Scheepstra A.: Extraction and fractionation of wheat flour proteins. *J. Sci. Food Agric.*, 1982, **33**, 1117-1128.
- [12] Jankiewicz M.: The protein complex of bread dough as an interacting system. *Nahrung*, 1975, **19**, 775-783.
- [13] Kühn M.C., Grosch W.: Baking functionality of reconstituted rye flours having different nonstarchy polysaccharide and starch contents. *Cereal Chem.*, 1989, **66**, 149-154.
- [14] Morrison W., Laignelet B.: An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *J. Cereal Sci.*, 1983, **1**, 9-20.
- [15] Patelski P., Dziekońska U.: Wpływ selenianu(IV) sodu na wzrost i aktywność fermentacyjną drożdży piekarskich. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2012, **3** (82), 132-142.
- [16] PN-EN ISO 3947:2001. Skrobie naturalne i zmodyfikowane. Oznaczanie całkowitej zawartości tłuszczu.
- [17] PN-ISO 11036:1999. Analiza sensoryczna. Metodologia. Profilowanie tekstury.
- [18] Pomeranz Y.: *Modern cereal science and technology*. VCH Publishers Inc., 1987.
- [19] Surówka K., Maciejaszek I.: Oddziaływania białkowo-polisacharydowe i ich praktyczne wykorzystanie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **4** (53), 17-35.
- [20] Tester R.F., Morrison W.: Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effect of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chem.*, 1990, **67** (6), 551-557.
- [21] Vidmantiene D., Juodeikiene G.: Endoxylanase and endoxylanase inhibition activities in the grain of winter rye cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2010, **97**, 3-10.
- [22] Vinkx C.J.A., Delcour J.A.: Rye (*Secale cereale* L.) Arabinoxylans: A critical review. *J. Cereal Sci.* 1996, **24**, 1-14.

COMPOSING RYE FLOUR TO BAKE MODEL RYE BREADS BY DIRECT METHOD

S u m m a r y

The objective of the research study was to compose the model rye flour consisting of isolated rye starch, a commercially available wheat arabinoxylan preparation, and protein (a mixture of ovalbumin and commercially available wheat vital gluten) and to establish the conditions of fermentation and baking of model rye breads using a direct method.

Based on the research results, the blend selected to make dough for model rye breads consisted of: 83 % of rye starch, 6 % of wheat arabinoxylan preparation (Naxus), and 6 % of a mixture of albumin and gluten (at a 7:3 ratio). It was determined that this blend could be regarded as a model rye flour; the follow-

ing technological additives were added to it: 1.5 % of salt, 1 % of sucrose, 2.5 % of yeast, and 1 M lactic acid solution in the amount necessary to reach pH = 4.3. The dough was made in a farinograph mixer; the consistency of the ready dough was 150 BU. The dough fermented in the pans placed in a fermentation chamber at 35 °C for 60 min.; next, breads were baked in an oven at 230 °C for 20 min.

Owing to the arabinoxylans contained in the Naxus preparation (their molecular mass was significantly lower than that of a typical rye arabinoxylans) and to the protein added at the above mentioned ratio, it was possible to bake a product that was, to a high degree, similar to rye bread.

Key words: arabinoxylans, rye starch, albumin, vital gluten, model breads ☒