

DOROTA LITWINEK, KRZYSZTOF BUKSA, HALINA GAMBUŚ,
MAGDALENA KOWALCZYK, JAKUB BORECZEK

OCENA JAKOŚCI HANDLOWYCH MĄK CAŁOZIARNOWYCH – PSZENNEJ ORKISZOWEJ, PSZENNEJ ZWYCZAJNEJ I ŻYTNEJ ORAZ UZYSKANYCH Z NICH ZAKWASÓW SPONTANICZNYCH

Streszczenie

Celem pracy była próba wyprodukowania zakwasów spontanicznych z całościarnowej mąki z pszenicy zwyczajnej, pszenicy orkisz oraz z mąki żytniej. W badanych mąkach oznaczono zawartość: wody, popiołu, wybranych składników mineralnych, białka ogółem, tłuszczu surowego, błonnika pokarmowego, wybranych mikotoksyn oraz fosforanów mio-inozytolu. Oznaczono ponadto kwasowość tłuszczową, kwasowość potencjalną, liczbę opadania (LO) oraz ilość glutenu i indeks glutenowy. Ze wszystkich całościarnowych mąk sporządzono zakwasy, które kontrolowano przez 4 dni poprzez oznaczanie kwasowości czynnej (pH) i kwasowości potencjalnej.

Całościarnowe mąki z pszenicy orkisz odznaczały się większą zawartością białka, związków tłuszczowych i związków mineralnych, ale mniejszą zawartością błonnika całkowitego w porównaniu z mąkami uzyskanymi z pszenicy zwyczajnej i żyta. Wszystkie mąki całościarnowe (z wyjątkiem orkiszowej MO1) charakteryzowały się podobną zawartością fosforanów mio-inozytolu w formie IP₆ i IP₂, jedynie mąka żytnia odznaczała się dodatkowo formami IP₅ i IP₃. W żadnej z badanych mąk pszenicznych nie oznaczono zawartości mikotoksyn, tj. DON i zearalenonu, z wyjątkiem mąki z pszenicy orkisz MO1, w której zidentyfikowano śladowe jego ilości. Zakwasy otrzymane z mąk całościarnowych z pszenicy orkisz po 72 h fermentacji w temp. 30 °C charakteryzowały się większą kwasowością w porównaniu z zakwasami z mąki z pszenicy zwyczajnej, a bardziej zbliżoną do zakwasów żytnich. Zatem wszystkie otrzymane zakwasy można stosować do produkcji chlebów ze 100-procentowej mąki całościarnowej z żyta, pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej, w miejsce stosowanego dotychczas w praktyce zakwasu żytniego.

Słowa kluczowe: mąka całościarnowa, orkisz, pszenica zwyczajna, żyto, zakwas spontaniczny

Dr inż. D. Litwinek, dr hab. inż. K. Buksa, prof. dr hab. inż. H. Gambuś, Katedra Technologii Węglowodanów, Wydz. Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków, dr M. Kowalczyk, mgr inż. J. Boreczek, Instytut Biochemii i Biofizyki PAN, ul. Pawińskiego 5A, 02-106 Warszawa. Kontakt: dorota.litwinek@urk.edu.pl

Wprowadzenie

Zastosowanie mąk całościarnowych do produkcji chleba jest uzasadnione, ponieważ zawierają one wszystkie cenne składniki, w które bogate jest ziarno zbożowe. Charakteryzują się one szczególnie dużą zawartością włókna pokarmowego, związków biologicznie aktywnych oraz odżywczych, a uzyskane z tych mąk pieczywo odznacza się niskim indeksem glikemicznym [9].

W ostatnich latach, oprócz mąk całościarnowych z ziarna pszenicy zwyczajnej i żyta, zaczęto stosować również całościarnową mąkę z pszenicy orkisz. Mąka uzyskana z ziarna różnych odmian pszenicy orkisz była badana i porównywana z uzyskaną z pszenicy zwyczajnej. Aktywność enzymatyczna, oznaczona jako liczba opadania (LO), w całościarnowej mące z pszenicy zwyczajnej (285 ÷ 356 s) czy orkisz (228 ÷ 350 s) jest mała [3, 7], oceniana jako średnia lub niska, natomiast w mące z żyta – znacznie większa (LO 90 ÷ 150 s), oceniana jako wysoka [5].

Ze względu na większy udział warstwy aleuronowej ziarno pszenicy orkisz zawiera więcej białka w porównaniu z pszenicą zwyczajną. W wielu badaniach wykazano, że zawartość tego składnika w ziarnie różnych odmian pszenicy orkisz mieści się w przedziale 11,8 ÷ 19,5 % [3, 7, 8, 14, 16, 17]. Mąki żytnie charakteryzują się natomiast zawartością białka w zakresie 9 ÷ 14 %, najczęściej ok. 10 %, czyli znacznie mniejszą od pszennych [4, 5].

Ilość glutenu uzyskana z mąki całościarnowej z odmian pszenicy orkisz mieści się w zakresie 29,7 ÷ 51,8 % [3, 7] i jest większa w odniesieniu do mąki z pszenicy zwyczajnej – 23,2 % [7]. Gluten uzyskany z pszenicy orkisz jest jednak słabszy od tego z pszenicy zwyczajnej, a jego indeks glutenowy (GI – *Gluten Index*) jest bardzo niski i mieści się w szerokim zakresie tj. 10 ÷ 50 [3, 16], podczas gdy w mąkach o optymalnych właściwościach do wypieku pieczywa powinien wynosić 60 ÷ 90 [13].

Białka pszenicy orkisz zawierają ok. 38 % aminokwasów ograniczających, podobnie jak pszenica zwyczajna [12]. Przedstawione informacje przemawiają za opinią, że pod względem żywieniowym ziarno pszenicy orkisz nie jest bardziej wartościowe od pszenicy zwyczajnej [8, 12].

Powszechnie uważa się [1, 24], że zawartość błonnika całkowitego w ziarnie pszenicy orkisz jest większa niż w pszenicy zwyczajnej. W badaniach dużej liczby genotypów pszenicy zwyczajnej zaobserwowano jednak odwrotną zależność – w ziarnie pszenicy zwyczajnej zawartość błonnika wynosi 11,5 ÷ 18,3 %, a w ziarnie pszenicy orkisz – 10,7 ÷ 13,9 % [1, 11, 25].

W całościarnowej mące żytniej zawartość błonnika całkowitego jest większa w porównaniu z mąkami pszennymi [11] i zawiera się w przedziale 15,23 ÷ 20,03 % [4, 5].

Związki tłuszczowe występują w ziarnie pszenicy w niewielkich ilościach (ok. 3 %) [8]. Zawartość tłuszczu całkowitego jest większa w mące całościarnowej z pszeni-

cy orkiszowej niż zwyczajnej [12, 16, 26, 27]. W całościarnowej mące żytniej występuje ok. $2,07 \div 2,70$ % związków tłuszczowych, czyli mniej niż w ziarnie pszenicy [4, 5].

Oznaczono większą zawartość związków mineralnych w ziarnie pszenicy orkisz ($1,60 \div 2,36$ %) [3, 24, 25, 27] niż w pszenicy zwyczajnej ($1,30 \div 1,80$ %) [25, 27]. Całościarnowa mąka żytnia zawiera natomiast $1,64 \div 1,84$ % tych związków [4, 5]. Mimo większej zawartości fosforu (P) w ziarnie i w mące z pszenicy orkisz niż w pszenicy zwyczajnej występuje w niej mniej kwasu fitynowego, a tym samym mniej fosforu jest wiązane w formie fitynianów [15, 27].

Spontaniczne zakwasy piekarskie sporządza się głównie z jasnej mąki żytniej i używa do produkcji chleba żytniego. Od niedawna stosuje się również komercyjnie zakwasy pszenne z jasnej mąki z pszenicy zwyczajnej do otrzymania pieczywa pszennego. Prowadzono prace, w których porównywano zakwasy z jasnej mąki z pszenicy zwyczajnej i orkiszowej oraz z żytniej i stwierdzono, że otrzymanie kwasu żytniego jest najszybsze [29, 30]. W dostępnej literaturze brak jest natomiast podobnych publikacji dotyczących zakwasów wyprowadzonych z odpowiadających mąk całościarnowych.

Celem pracy była próba wyprodukowania zakwasów spontanicznych z całościarnowej mąki z pszenicy zwyczajnej, pszenicy orkiszowej oraz mąki żytniej.

Material i metody badań

Analizie poddano 4 mąki: dwie z pszenicy orkisz pochodzące od różnych producentów, oznaczone odpowiednio jako MO1 i MO2, jedną z pszenicy zwyczajnej typu 1850 (MP) oraz jedną żytnią typu 2000 (MZ).

W mąkach tych oznaczano zawartość: popiołu w temp. 500 °C (według AOAC 930.05 [2]) i wybranych składników mineralnych według zmodyfikowanej metody AOAC 985.01 [2]. Próbki spopieliano na sucho w porcelanowych tyglach przez 6 h w temp. 460 °C. Ostudzony popiół zwilżano 10 kroplami wody, dodawano $3 - 4$ cm³ HNO₃, nadmiar kwasu odparowywano (temp. $100 \div 120$ °C). Próbki ponownie spopieliło w temp. 460 °C przez 3 h. Tak uzyskany, ochłodzony popiół rozpuszczano w 10 cm³ HCl, przenoszono ilościowo do kolby miarowej poj. 50 cm³ i uzupełniano do żądanej objętości wodą destylowaną. Zawartość Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn, Na w roztworach uzyskanych po mineralizacji próbek oznaczano spektrofotometrem emisji atomowej z indukcyjnie wzbudzoną plazmą argonową ICP – OES 7300 DUAL VIEW (PerkinElmer, USA). Zawartość białka ogółem oznaczano według AOAC 950.36 [2], tłuszczu surowego – AOAC 930.05 [3], błonnika pokarmowego – AOAC 991.43 [2], wybranych mikotoksyn według instrukcji obsługi aparatu Rapid-Kinetik-Assay® (Aokin AG, Niemcy), fosforanów mio-inozytolu – według Chena i Li [6], wilgotność metodą suszarkową – AOAC 925.10 [2] i kwasowość tłuszczową – PN-ISO 7305:2001 [23]. Dodatkowo we wszystkich mąkach oznaczano zawartość popiołu całkowitego

w temp. 900 °C według PN-ISO-2171:1994 [22], liczbę opadania – PN-EN-ISO 3093:2010 [20] i kwasowość potencjalną mąki według van der Meulena i wsp. [29], zaś w mąkach pszennych oznaczano zawartość glutenu i indeks glutenowy według PN-ISO 21415:2015 [21].

Wszystkie analizy mąki wykonano w dwóch powtórzeniach. Do interpretacji wyników zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Istotność różnic między wartościami średnimi weryfikowano testem Duncana ($p = 0,05$). Obliczenia wykonano w programie Statistica, v. 10.

Sporządzanie i analizy zakwasu

Zakwasy spontaniczne ze wszystkich mąk uzyskano w piekarni VINI w Rogoźniku Śląskim według schematu:

- 1. dzień – nastawianie zakwasu z 20 kg mąki i 30 l wody w żurowniku typu BIO-FM-Ż 400 (firmy BioStar P.P.H.U Polska) w temp. 30 °C,
- 2. dzień – odczyt pH elektrodą iCINAC (Unity Scientific, USA), pobieranie próbek, badanie kwasowości potencjalnej zakwasu 1-dniowego, tj. po 24 h fermentacji w temp. 30 °C, odświeżanie przez dodatek 20 kg mąki i 30 l wody,
- 3. dzień – odczyt pH, pobieranie próbek, badanie kwasowości potencjalnej zakwasu 2-dniowego, tj. po 48 h fermentacji w temp. 30 °C, odświeżanie przez dodatek 20 kg mąki i 30 l wody,
- 4. dzień – odczyt pH, pobieranie próbek, badanie kwasowości potencjalnej zakwasu 3-dniowego, tj. po 72 h fermentacji w temp. 30 °C.

Z każdego rodzaju mąki całodziarnowej wykonano po 2 zakwasy. Podczas prowadzenia fermentacji monitorowano proces zakwaszania przy użyciu skomputeryzowanego systemu do pomiaru pH elektrodą iCINAC. Pomiar kwasowości czynnej (pH) wykonywano co 10 min, natomiast kwasowość potencjalną oznaczano każdorazowo pod koniec fermentacji, czyli po 24, 48 i 72 h oraz po 6 h od każdorazowego odświeżenia zakwasu.

Wyniki i dyskusja

W badanych razowych mąkach z pszenicy orkisz, z których następnie wyprodukowano zakwasy spontaniczne, wykazano statystycznie istotne różnice pod względem podstawowego składu chemicznego i błonnika pokarmowego (tab. 1 i 2). Próbki w dużym stopniu różniły się tylko zawartością popiołu (tab. 1), a tym samym wybranymi makropierwiastków, tj. P, K, Mg i mikropierwiastków, tj. Fe i Mn. Mąka oznaczona symbolem MO1 odznaczała się większą zawartością związków mineralnych niż mąka MO2 (tab. 3 i 4). Mąka ta zawierała jednak o ok. 0,5 punktu procentowego (p.p.) mniejszą ilość błonnika pokarmowego niż mąka oznaczona symbolem MO2 (tab. 2).

W porównaniu z mąkami z pszenicy orkisz mąka całościarnowa z pszenicy zwyczajnej (MP) charakteryzowała się o ok. 2 p.p. mniejszą zawartością białka ogółem, co już sygnalizowano we wcześniejszych badaniach [3, 7, 8, 14, 16, 17, 25] i o ponad 0,5 p.p. mniejszą zawartością tłuszczu (tab. 1), zgodnie z wcześniejszymi doniesieniami [12, 16, 26, 27].

Pod względem zawartości popiołu (tab. 1), a tym samym wszystkich oznaczonych pierwiastków, mąka MP była porównywalna z mąką orkiszową MO2 o mniejszej zawartości popiołu (tab. 3 i 4). W mące tej oznaczono także o ok. 2 p.p. większą zawartość błonnika pokarmowego niż w mąkach orkiszowych (tab. 2), co jest zgodne z wynikami, które podają Gerbuers i wsp. [11].

Tabela 1. Podstawowy skład chemiczny mąk całościarnowych

Table 1. Basic chemical composition of wholegrain flours

Rodzaj mąki Type of flour	Wilgotność Moisture [g/100 g]		Białko ogółem [g/100 g s.m.] Total protein [g/100 g d.m.]		Tłuszcz surowy [g/100 g s.m.] Raw fat [g/100 g d.m.]		Związki mineralne jako popiół ogółem [g/100 g s.m.] Mineral components in the form of total ash 900 °C [g/100 g d.m.]		Związki mineralne jako popiół ogółem [g/100 g s.m.] Mineral components in the form of total ash 550 °C [g/100 g d.m.]	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
MZ	14,45 ^d	± 0,03	7,31 ^a	± 0,04	2,07 ^a	± 0,02	1,58 ^a	± 0,00	1,91 ^b	± 0,01
MP	12,83 ^b	± 0,04	11,47 ^b	± 0,10	2,46 ^b	± 0,06	1,69 ^b	± 0,02	1,74 ^a	± 0,02
MO1	11,93 ^a	± 0,04	13,43 ^c	± 0,06	3,20 ^d	± 0,05	2,27 ^c	± 0,04	2,37 ^c	± 0,03
MO2	12,96 ^c	± 0,01	13,92 ^d	± 0,08	3,03 ^c	± 0,05	1,65 ^b	± 0,01	1,91 ^b	± 0,01

Objaśnienia / Explanatory notes:

MZ – mąka żytnia / rye flour; MP – mąka z pszenicy zwyczajnej / common wheat flour; MO1, MO2 – mąka pszenna orkiszowa 1 i 2 / spelt flour 1 and 2.

W tabeli przedstawiono wartości średnie (\bar{x}) ± odchylenie standardowe (SD) / Table shows mean values (\bar{x}) ± standard deviation (SD); a, b, c, d – wartości średnie oznaczone różnymi literami w kolumnach różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$ / mean values in columns and denoted by different letters differ statistically significantly $p \leq 0.05$.

Mąka żytnia całościarnowa MZ różniła się składem chemicznym od badanych mąk pszennych. Charakteryzowała się najmniejszą zawartością białka ogółem (o ok. 6 p.p. mniejszą w porównaniu z mąkami orkiszowymi i o ok. 4 p.p. mniejszą w porównaniu z mąką z pszenicy zwyczajnej) – zgodnie z doniesieniami Bushuka [5] oraz Buksy i wsp. [4]. Pod względem zawartości tłuszczu mąka żytnia odbiegała *in minus* o ponad 0,5 p.p. od mąk pszennych, a nie różniła się od nich w zakresie zawartości popiołu

(tab. 1), co znalazło potwierdzenie w porównywalnej ilości oznaczonych mikro- i makroelementów (tab. 3 i 4).

W odróżnieniu od mąk pszennych w całościarnowej mące żytniej oznaczono największą zawartość błonnika pokarmowego, zwłaszcza jego rozpuszczalnej frakcji (tab. 2). W odniesieniu do mąki orkiszowej mąka żytnia charakteryzowała się o ok. 5 p.p. większą zawartością błonnika ogółem, a w stosunku do mąki z pszenicy zwyczajnej – o ponad 3,5 p.p. większą zawartością tego składnika.

W mące orkiszowej MO1 oznaczono istotnie większą zawartość fosforanów mio-inozytolu, co jest zgodne ze znacznie większą (o ok. 1000 mg/kg s.m.) zawartością fosforu (P) w tej mące w odniesieniu do mąki MO2 (tab. 4 i 5).

Tabela 2. Zawartość błonnika pokarmowego w mąkach całościarnowych [g/100 g s.m.]

Table 2. Content of dietary fibre in wholegrain flours [g/100 g d.m.]

Rodzaj mąki Type of flour	Fracja nierozpuszczalna Insoluble fraction		Fracja rozpuszczalna Soluble fraction		Błonnik ogółem Total fibre	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
MZ	12,25 ^e	± 0,07	4,64 ^d	± 0,05	16,89 ^d	± 0,12
MP	11,51 ^d	± 0,09	2,59 ^b	± 0,03	14,10 ^c	± 0,12
MO1	9,73 ^b	± 0,10	1,74 ^a	± 0,10	11,47 ^a	± 0,21
MO2	9,27 ^a	± 0,09	2,68 ^b	± 0,12	11,95 ^b	± 0,03

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Zawartość fosforanów mio-inozytolu w mące z pszenicy zwyczajnej była porównywalna z ilością tych związków w mące z pszenicy orkisz MO2, podobnie jak i zawartość fosforu w obu tych mąkach (tab. 4 i 5). W mące żytniej oznaczono również porównywalną z mąką z pszenicy zwyczajnej oraz z mąką orkiszową MO2 zawartość fosforanów mio-inozytolu (tab. 5), co koresponduje z zawartością fosforu w tych mąkach (tab. 4).

Tabela 3. Zawartość mikroelementów w mąkach całościarnowych [mg/kg s.m.]

Table 3. Content of microelements in wholegrain flours [mg/kg d.m.]

Rodzaj mąki Type of flour	Fe		Mn		Zn		Cu	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
MZ	29,2 ^a	± 0,3	41,4 ^c	± 1,5	34,4 ^b	± 1,3	4,13 ^b	± 0,43
MP	30,9 ^{ab}	± 0,7	27,1 ^{ab}	± 4,0	25,7 ^a	± 3,8	3,12 ^a	± 0,46
MO1	39,4 ^c	± 2,1	24,5 ^a	± 0,6	30,7 ^{ab}	± 0,3	4,22 ^b	± 0,04
MO2	33,8 ^b	± 2,0	31,1 ^b	± 1,4	29,1 ^{ab}	± 1,3	4,60 ^b	± 0,11

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Tabela 4. Zawartość makroelementów w mąkach całościarnowych [mg/kg s.m.]

Table 4. Content of macro-elements in wholegrain flours [mg/kg d.m.]

Rodzaj mąki Type of flour	Mg		K		P		Ca	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
MZ	973 ^a	± 8	4669 ^b	± 156	3124 ^a	± 15	200,4 ^a	± 3,2
MP	1077 ^a	± 75	3801 ^a	± 383	2970 ^a	± 354	191,5 ^a	± 7,1
MO1	1471 ^b	± 19	4788 ^b	± 322	4443 ^b	± 46	193,4 ^a	± 0,3
MO2	1074 ^a	± 26	4130 ^{ab}	± 185	3367 ^a	± 87	215,5 ^a	± 8,3

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Te zależności nie potwierdzają zatem wnioskowania Lopeza i wsp. [15] oraz Ribal-Mendieta i wsp. [27], którzy oznaczyli większą zawartość fosforu (P) w ziarnie pszenicy orkisz, mimo mniejszej w nim zawartości fosforanów mio-inozytolu w odróżnieniu od mąki z pszenicy zwyczajnej.

We wszystkich badanych mąkach oznaczono głównie sześćfosforan mio-inozytolu IP₆. Jedynie w mące żytniej, obok tej formy, oznaczono także w śladowych ilościach IP₅ i niższe fosforany mio-inozytolu IP₃ oraz IP₂ (tab. 5), co może świadczyć o większej aktywności endogennej fosfatazy żytniej. Negatywny wpływ na biodostępność kationów dwuwartościowych (np. Ca, Mg, Fe, Zn, Cu i Mn) z przewodu pokarmowego dotyczy tylko obecności IP₆ i IP₅, natomiast inne produkty hydrolizy kwasu fitynowego, np. IP₃ i IP₂ w niewielkim stopniu wiążą składniki mineralne lub też tworzone przez nie kompleksy są lepiej rozpuszczalne w wodzie, a dzięki temu składniki te są bardziej dostępne dla organizmu ludzi i zwierząt [10, 18].

W mące z pszenicy zwyczajnej MP oraz w mące z pszenicy orkisz MO1 oznaczono także śladowe ilości niższych fosforanów IP₂ (tab. 5).

Tabela 5. Zawartość fosforanów mio-inozytolu w mąkach całościarnowych

Table 5. Content of myo-inositol phosphates in wholegrain flours

Rodzaj mąki Type of flour	Zawartość fosforanów mio-inozytolu Content of myo-inositol phosphates [% s.m. / % d.m.]	Zawartość fosforanów mio-inozytolu [μmol/g s.m.] Content of myo-inositol phosphates [μmol/g d.m.]	Wykryte fosforany mio-inozytolu Detected form of myo-inositol phosphates
MZ	1,65 ^b ± 0,06	25,0 ± 0,9	IP ₆ , IP ₅ , IP ₃ , IP ₂
MP	1,62 ^b ± 0,04	24,5 ± 0,7	IP ₆ , IP ₂
MO1	2,05 ^c ± 0,01	31,0 ± 0,2	IP ₆ , IP ₂
MO2	1,66 ^b ± 0,00	25,1 ± 0,0	IP ₆

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

W żadnej z badanych mąk całościarnowych nie wykryto obecności deoksyniwaleolu (DON), natomiast w mące MO2 oznaczono śladowe ilości, tj. 26,5 µg/kg próbki zearalenonu (tab. 6), czyli ilość dopuszczoną przez Rozporządzenie Komisji WE nr 1881/2006, załącznik, sekcja 2: mikotoksyny (maksymalna zawartość – 75 µg/kg próbki) [31] – tab. 6.

Badane mąki orkiszowe różniły się istotnie pod względem zawartości białka ogółem (tab. 1), choć różnica ta wynosiła tylko 0,5 p.p. na korzyść mąki MO2. Nie było to jednak białko glutenowe, bowiem w mące MO2 oznaczono o ok. 3,5 p.p. mniej mokrego glutenu niż w mące MO1 (tab. 7). Jakość glutenu oszacowana przez pomiar indeksu glutenowego (*Gluten Index*) była porównywalna, wynosiła ok. 40, a tym samym odbiegała niekorzystnie od wartości indeksu glutenowego (ok. 60), która uznawana jest za optymalną dla glutenu zawartego w mące przeznaczony do wypieku pieczywa drożdżowego [13].

Tabela 6. Zawartość deoksyniwaleolu (DON) i zearalenonu w mąkach całościarnowych [µg/kg próbki]
Table 6. Content of deoxynivalenon (DON) and zearalenon in wholegrain flours [µg/kg sample]

Rodzaj mąki Kind of flour	Zawartość deoksyniwaleolu Content of deoxynivalenon		Zawartość zearalenonu Content of zearalenon	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
MZ	mniej niż / less than 50*	-	mniej niż / less than 20*	-
MP	mniej niż / less than 50*	-	mniej niż / less than 20*	-
MO1	mniej niż / less than 50*	-	26,5	± 5,1
MO2	mniej niż / less than 50*	-	mniej niż / less than 20*	-

Objaśnienia / Explanatory notes:

Objaśnienia symboli jak pod tab. 1. / Explanation of symbols as in Tab. 1.

W tabeli przedstawiono wartość średnią ± odchylenie standardowe / Table shows mean value ± standard deviation; * – wartości poniżej granicy detekcji / values below the level of detection.

Obie badane mąki orkiszowe znacznie różniły się pod względem oznaczonej aktywności enzymatycznej. Prawie dwukrotnie większą aktywnością (a mniejszą liczbą opadania LO) charakteryzowała się mąka MO2, co nie miało jednak wpływu na jakość glutenu w tej mące (zbliżona wartość indeksu glutenowego w obu mąkach MO1 i MO2 – tab. 7).

W mące całościarnowej z pszenicy zwyczajnej, w porównaniu z orkiszową (tab. 7), oznaczono znacznie mniej glutenu mokrego (średnio o ok. 5 p.p.), ale gluten ten odznaczał się dwukrotnie większym indeksem glutenowym (87), co świadczy o jego dobrej elastyczności i sprężystości [3, 13, 16]. Na dużą zwiążłość tego glutenu mogła mieć wpływ niska aktywność enzymatyczna mąki, z której pochodził (LO ponad 350 s) – tab. 7.

Badana mąka żytnia odznaczała się wysoką aktywnością enzymatyczną (LO = 105 s), co jednak mieści się w wymaganiach normatywnych tego parametru dotyczących mąki żytniej [19].

Tabela 7. Parametry jakości mąk całościarnowych
Table 7. Quality parameters of wholegrain flours

Rodzaj mąki Type of flour	Kwasowość potencjalna Titratable acidity [ml NaOH/100 g]		Kwasowość tłuszczowa [mg KOH/100 g s.m.] Fat acidity [mg KOH/100 g d.m.]		Liczba opadania Falling number [s]		Ilość mokrego glutenu Content of wet gluten [%]		Indeks glutenowy Gluten Index [-]	
	\bar{x}	SD*	\bar{x}	SD*	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
MZ	8	± 0	70	± 0	105 ^a	± 1	-	-	-	-
MP	4	± 0	36	± 0	356 ^d	± 2	23,7 ^a	± 0,4	87,2 ^b	± 3,1
MO1	6	± 0	60	± 0	249 ^c	± 3	31,8 ^c	± 0,6	42,3 ^a	± 0,4
MO2	5	± 0	48	± 0	136 ^b	± 1	28,3 ^b	± 0,5	39,1 ^a	± 0,1

Objaśnienia / Explanatory notes:

* – niemożliwe obliczenie istotności różnic ze względu na zerowy średni kwadrat dla błędów / analysis of variance was impossible due to zero mean squares of errors.

Pozostałe objaśnienia jak pod tab. 1. / Other explanatory notes as in Tab. 1.

Spośród badanych mąk tylko te z pszenicy zwyczajnej MP i z pszenicy orkisz MO2 charakteryzowały się kwasowością tłuszczową zgodną z normami, tj. poniżej 50 mg KOH/100 g s.m., w pozostałych próbkach kwasowość ta była natomiast znacznie większa. Jak wykazała Szafrąńska [28], kwasowość tłuszczowa jest zróżnicowana w zależności od ilości popiołu w mące. Według tej autorki tylko mąki pochodzące z bieżącej produkcji, o zawartości popiołu poniżej 0,6 % s.m., spełniały wymagania normy [23], a mąki o większej popiołowości odznaczały się zawsze większą kwasowością tłuszczową.

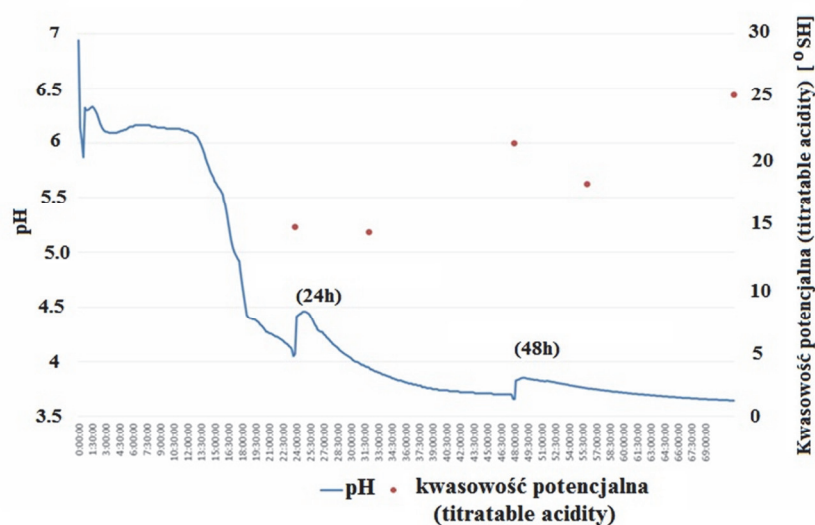
Uzupełnieniem kwasowości tłuszczowej, jako podstawy oceny świeżości produktu i zmian biochemicznych zachodzących w czasie przechowywania, jest oznaczenie kwasowości potencjalnej. Na podstawie wyników kwasowości potencjalnej wykazano, że większa zawartość składników mineralnych w mące pszennej orkiszowej wpłynęła na większą kwasowość tej mąki (MO1 – 6 ml NaOH/100 g) w porównaniu z mąką pszenną (MP – 4 ml NaOH/100 g), natomiast największą kwasowością odznaczała się mąka żytnia (MZ – 8 ml NaOH/100 g), co mogło być spowodowane jej wysoką aktywnością enzymatyczną.

Badania rozszerzono o analizę zawartości popiołu całkowitego według PN-ISO 2171:1994 [22], podczas której próbka spopiela się w temp. 900 °C, a nie, jak

w metodzie AOAC, w temp. 500 °C. W Polsce za pomocą tego parametru określany jest typ mąki handlowej.

Mąki całościarnowe pszenne (z pszenicy zwyczajnej i orkiszowej) oraz żytnią zastosowano do sporządzenia spontanicznych zakwasów. W czasie fermentacji zakwasów kontrolowano ich pH i kwasowość potencjalną. Po odświeżaniu (dokarmianiu) zakwasów co 24 h, ich kwasowość zwiększała się zależnie od rodzaju mąki. Najmniejszą kwasowością odznaczał się zakwas z pszenicy zwyczajnej. Zakwas otrzymany z mąki z pszenicy orkisz wykazywał różną kwasowość w zależności od partii mąki (tab. 7), ale zawsze większą od zakwasu z pszenicy zwyczajnej. Podobną zależność podali van der Meulen i wsp. [29]. Podczas fermentacji pH zakwasów malało (rys. 1), ale zakwasy z pszenicy zwyczajnej odznaczały się największą jego wartością (3,8), a nieznacznie mniejszą charakteryzowały się zakwasy z pozostałych mąk (pH = 3,7) – tab. 8.

Zaobserwowano zwiększenie kwasowości zakwasu w ciągu 72 h fermentacji, co jest typowe dla fermentacji mlekowej [29, 30]. Pewne różnice stopnia zakwaszenia zakwasu wynikają ze składu chemicznego, aktywności enzymatycznej mąk i, zapewne, z rodzaju autochtonicznej mikrobioty.



Rys. 1. Zmiany kwasowości potencjalnej i pH podczas 72 h fermentacji zakwasów z całościarnowej mąki żytniej (wykres przykładowy)

Fig. 1. Changes in titratable acidity and pH during 72 h of fermentation of wholemeal rye sourdoughs (Figure/graph serves as an example)

Mąka żytnia charakteryzuje się zwykle dużą zawartością cukrów i peptydów potrzebnych do fermentacji [5], co tłumaczy większe zakwaszenie zakwasu żytniego (tab. 8). Mąka pszenna z pszenicy zwyczajnej, odznaczająca się przeważnie mniejszą od żytniej aktywnością enzymatyczną, tworzyła zakwas o mniejszej kwasowości.

Tabela 8. Wartości pH oraz kwasowości potencjalnej zakwasów uzyskanych z całościarnowych mąk pszennych (z pszenicy zwyczajnej i orkisz) oraz z mąki żytniej, po 27 h fermentacji

Table 8. Values of pH and titratable acidity of sourdoughs made from wholegrain wheat (common and spelt) and rye flours, after 72 h of fermentation

Rodzaj mąki Type of flour	pH	Kwasowość potencjalna Titratable acidity [ml NaOH/100 g]
MZ	3,7	25
MZ	3,7	25
\bar{x}	3,7	25
MP	3,8	19,5
MP	3,8	19,5
\bar{x}	3,8	19,5
MO1	3,7	26
MO2	3,7	23
\bar{x}	3,7	25

Objaśnienia symboli jak pod tab. 1. / Explanation of symbols as in Tab.; \bar{x} – wartość średnia / mean value

Zakwas z mąki z pszenicy orkisz różnił się jednak od otrzymanego z mąki z pszenicy zwyczajnej ze względu na jego dużą kwasowość potencjalną, co może być wynikiem większej zawartości białka i aminokwasów oraz związków mineralnych (popiołu), a więc lepszej pożywki dla drobnoustrojów. Większą kwasowość wykazywał zakwas otrzymany z mąki z pszenicy orkisz MO1 w porównaniu z mąką MO2 ze względu na większą zawartość związków mineralnych, w tym fosforu, które stanowią ważną pożywkę dla drobnoustrojów (tab. 8). Zakwas z mąki pszennej orkiszowej był pod względem kwasowości bardziej zbliżony do otrzymanego z mąki żytniej (tab. 8). Nie ma więc potrzeby stosowania zakwasu żytniego do chleba z całościarnowej mąki orkiszowej na zakwasie, co często czynią piekarze, ponieważ można wyprodukować zakwas orkiszowy o parametrach bardzo zbliżonych do żytniego.

Wnioski

1. Badane mąki orkiszowe niewiele, choć istotnie, różniły się pomiędzy sobą podstawowym składem chemicznym, tj. zawartością białka, tłuszczu i węglowodanów, a widoczna różnica występowała tylko pod względem ilości oznaczonych fosforanów mio-inozytolu IP₆ i IP₂, popiołu, zwłaszcza zawartości P, K, Mg i Fe oraz aktywności enzymatycznej. Mąki orkiszowe zawierały więcej białka, tłuszczu

- i związków mineralnych (popiołu) oraz odznaczały się słabszym glutenem w odniesieniu do całościarnowej mąki z pszenicy zwyczajnej.
2. Mąka żytnia całościarnowa różniła się składem chemicznym od badanych mąk pszennych. Zawierała ona mniej białka, tłuszczu, porównywalną ilość popiołu i sześćiofosforanów mio-inozytolu (nie tylko IP₆ i IP₂, ale też IP₅ i IP₃) oraz znacznie większą ilość błonnika pokarmowego. Odznaczała się też największą aktywnością enzymatyczną spośród wszystkich badanych mąk (tj. najmniejszą liczbą opadania LO).
 3. W żadnej z badanych mąk pszennych nie oznaczono zawartości mikotoksyn, tj. DON i zearalenonu, z wyjątkiem mąki orkiszowej MO1, w której zidentyfikowano śladowe ilości tego związku.
 4. Otrzymane zakwasy z mąk całościarnowych z pszenicy orkisz po 72 h fermentacji w temp. 30 °C charakteryzowały się większą kwasowością w porównaniu z zakwasami z mąki z pszenicy zwyczajnej, bardziej zbliżoną do zakwasów żytnich.
 5. Chleb wypieczony z całościarnowej mąki z pszenicy orkisz czy z całościarnowej mąki z pszenicy zwyczajnej można uzyskać, stosując zakwas z tej samej mąki w miejsce zakwasu żytniego.

Publikacja została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (PBS2/B8/12/2014 – FunCHLEB).

Literatura

- [1] Abdel-Aal E.-S.M., Hucl P., Sosulski F.W.: Compositional and nutritional characteristics of spring einkorn and spelt wheat. *Cereal Chem.*, 1995, 72 (6), 621-624.
- [2] AOAC: Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists International, Gaithersburg 2006.
- [3] Bojnanska T., Franakova H.: The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications. *Rostlinna Vyroba*, 2002, 48 (4), 141-147.
- [4] Buksa K., Nowotna A., Gambuś H., Krawontka J., Sabat R., Noga M.: Analiza towaroznawcza i skład chemiczny ziarna wybranych polskich odmian żyta, pochodzących z trzech kolejnych lat uprawy. *Acta Agrophysica*, 2012, 19 (2), 265-276.
- [5] Bushuk W.: Rye. Production, Chemistry and Technology. AACC, St. Paul, Minnesota, USA, 2001, pp. 87, 172, 185.
- [6] Chen Q.-Ch., Li B.W.: Separation of phytic acid and other related inositol phosphates by high-performance ion chromatography and its applications. *J. Chromat. A*, 2003, 1018, 41-52.
- [7] Dąbkowska E.: Wpływ odmiany ziarna orkisz uzyskanego w warunkach produkcji ekologicznej na jakość mąki. Praca doktorska. Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn 2009.
- [8] Escarnot E., Jacquemin J.M., Agneessens R., Paquot M.: Comparative study of the content and profiles of macronutrients in spelt and wheat, a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2012, 16 (2), 243-256.
- [9] Fardet A., Leenhardt F., Lioger D., Scalbert A., Remesy Ch.: Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutr. Res. Rev.*, 2006, 19, 18-25.

- [10] Garcia-Esteva R.M., Guerra-Hernandez E., Garcia-Villanova B.: Phytic acids content in milled cereal products and breads. *Food Res. Int.*, 1999, 32, 217-221.
- [11] Gerbiers K., Dornez E., Boros D., Fraś A., Dynkowska W., Bedo Z., Rakszegi M., Delcour J.A., Courtin Ch.M.: Variation in the content of dietary fiber and components thereof in wheat in the healthgrain diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, 56, 9740-9749.
- [12] Grell E.R.: Nutrient composition and content of antinutritional factors in spelt (*Triticum spelta* L.) cultivars. *J. Sci. Food Agric.*, 1996, 71, 399-404.
- [13] Ionescu V., Stoenescu G., Vasilean I., Aprodu I., Bau I.: Comparative evaluation of wet gluten quantity and quality through different methods. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati.*, 2010, 34 (2), 44-48.
- [14] Kohajdova Z., Karovicova J.: Nutritional value and baking applications of spelt wheat. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 2008, 7 (3), 5-14.
- [15] Lopez H.W., Leenhardt F., Coudray Ch., Remesy Ch.: Minerals and phytic acid interactions: Is it a real problem for human nutrition? *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2002, 37, 727-739.
- [16] Marconi E., Carcea M., Graziano M., Cubadda R.: Kernel properties and pasta-making quality of five European spelt wheat (*Triticum spelta* L.) cultivars. *Cereal Chem.*, 1999, 76 (1), 25-29.
- [17] Marconi E., Carcea M., Schiavone M., Cubadda R.: Spelt (*Triticum spelta* L.) pasta quality: Combined effect of flour properties and drying conditions. *Cereal Chem.*, 2002, 79 (5), 634-639.
- [18] Plaami S.: Myo-inositol phosphates: Analysis, content in foods and effect in nutrition. *Lebensm.-Wiss. u-Technol.*, 1997, 30, 663-647.
- [19] PN-A-74032:2002. Przetwory zbożowe. Mąka żytnia.
- [20] PN-EN ISO 3093:2010. Pszenica, żyto i mąki z nich uzyskane, pszenica durum i semolina. Oznaczenie liczby opadania metodą Hagberga-Pertena.
- [21] PN-EN ISO 21415-2:2015-12. Pszenica i mąka pszenna. Ilość glutenu. Część 2. Oznaczenie glutenu mokrego i indeksu glutenu za pomocą urządzeń mechanicznych.
- [22] PN-EN ISO 2171:2010. Ziarno zbóż, nasiona roślin strączkowych i ich przetwory. Oznaczenie zawartości popiołu metoda spalania.
- [23] PN-ISO 7305:2001. Przetwory zbożowe. Oznaczenie kwasowości tłuszczowej.
- [24] Ranhotra G.S., Gelroth J.A., Glaser B.K., Lorenz K.J.: Nutrient composition of spelt wheat. *J. Food Comp. Anal.*, 1996, 9, 81-84.
- [25] Ranhotra G.S., Gelroth J.A., Glaser B.K., Stallknecht G.F.: Nutritional profile of three spelt wheat cultivars grown at five different locations. *Cereal Chem.*, 1996, 73 (5), 533-535.
- [26] Ruibal-Mendieta N.L., Delacroix D.L., Meurens M.: A comparative analysis of free, bound and total lipid content on spelt and Winter wheat. *J. Cereal Sci.*, 2002, 35, 337-342.
- [27] Ruibal-Mendieta N.L., Delacroix D.L., Mignolet E., Pycke J.-M., Marques C., Rozenberg R., Petitjean G., Habib-Jiwan J.-L., Meurens M., Quetin-Leclercq J., Delzenne N.M., Larondelle Y.: Spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) as a source of breadmaking flours and bran naturally enriched in oleic acid and minerals but not phytic acid. *J. Agric. Food Chem.*, 2005, 53, 2751-2759.
- [28] Szafrńska A.: Zmiany kwasowości tłuszczowej w trakcie przechowywania wybranych typów mąki pszennej i żytniej. *Przegl. Zboż. Młyn.*, 2010, 12, 21-24.
- [29] Van der Meulen R., Scheirlinck I., van Schoor A., Huys G., Vancanneyt M., Vandamme P., de Vuyst L.: Population dynamics and metabolite target analysis of lactic acid bacteria during laboratory fermentations of wheat and spelt sourdoughs. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2007, 73 (15), 4741-4750.
- [30] Weckx S., van der Meulen R., Maes D., Scheirlinck I., Huys G., Vandamme P., de Vuyst L.: Lactic acid bacteria community dynamics and metabolite production of rye sourdough fermentations share characteristics of wheat and spelt sourdough fermentations. *Food Microbiol.*, 2010, 27, 1000-1008.

- [31] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. Dz. Urz. UE L 364, s. 5-24, z 20.12.2006 z późn. zm.

QUALITY ASSESSMENT OF COMMERCIAL WHOLEGRAIN FLOURS PRODUCED FROM SPELT WHEAT, COMMON WHEAT AND RYE, AND OF SPONTANEOUS SOURDOUGH PREPARED WITH THEM

S u m m a r y

The objective of the study was an attempt to produce spontaneous sourdoughs from wholegrain flours made from common wheat, spelt wheat, and rye. In the flours analyzed, the following was determined: water content, ash, selected mineral components, total protein, raw fat, dietary fibre, selected mycotoxins, and myo-inositol phosphates. Moreover, there were determined fat acidity, potential acidity, falling number as well as the content of gluten and gluten index. Using every type of the wholegrain flours tested, sourdoughs were produced; they were, further, monitored for 4 days by determining the active acidity (pH) and titratable acidity.

In comparison to flours made from common wheat and rye, the wholegrain spelt wheat flours were distinguished by higher contents of protein, fat, and mineral compounds; however, they had less total fibre. All the wholegrain flours (except MO1 spelt flour) were characterized by a similar content of myo-inositol phosphates in the form of IP₆ and IP₂, but only the rye flour was additionally distinguished by the IP₅ and IP₃ forms. Mycotoxins, i.e. DON and zearalenone, were not found in any wheat flours except for the MO1 spelt flour, in which trace amounts of zearalenone were identified. Sourdoughs produced from the wholegrain spelt flour after the 72 h fermentation at 30 °C were characterized by a greater acidity compared to those produced from the wheat flour and their acidity was more similar to that of the rye sourdoughs. Thus, all the types of sourdough obtained can be used to produce bread from 100 % wholegrain flour made from rye, spelt, and common wheat.

Key words: wholegrain flour, spelt wheat, common wheat, rye, spontaneous sourdough ☒