

IWONA JASIŃSKA-KULIGOWSKA, MACIEJ KULIGOWSKI,
PIOTR KOŁODZIEJCZYK, JAN MICHNIEWICZ

WPLYW PROCESÓW FERMENTACJI, EKSTRUZJI I WYPIEKU NA ZAWARTOŚĆ FRUKTANÓW W PRODUKTACH ŻYTNICH

Streszczenie

Ziarno żyta jest źródłem cennych składników żywieniowych. Do grupy tej zaliczane są fruktany wykazujące właściwości prebiotyczne. Związki te nie są jednak uwzględniane w metodach analitycznych określających zawartość błonnika pokarmowego w zbożach. W pracy scharakteryzowano wybrane międzyprodukty przemysłowego przemiału ziarna żyta pod względem zawartości fruktanów. Zbadano wpływ procesów technologicznych: fermentacji mlekowej, wypieku i ekstruzji na poziom tych składników w produktach żytnich. Określono również zawartość fruktanów w próbkach handlowego pieczywa żytniego dostępnego na rynku w Polsce. Stwierdzono, że mąki pasażowe charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością fruktanów. Frakcje mąki pochodzące z końcowych pasaży śrutowych i wymiałowych zawierały znacznie większe ilości tych składników błonnika pokarmowego niż mąki otrzymane w początkowych etapach przemiału oraz mąki handlowe. Z badanych procesów termicznych jedynie ekstruzja jednokrotna powodowała wzrost zawartości fruktanów o około 8 %. Proces fermentacji mlekowej przy użyciu czystych kultur bakterii *Lactobacillus plantarum* w istotny sposób wpłynął na zmniejszenie zawartości fruktanów o: 10, 32 i 42 %, proporcjonalnie do czasu trwania fermentacji: 18, 24 i 30 h. Obserwowano również zmniejszenie zawartości fruktanów w próbkach fermentowanych z zastosowaniem handlowych kultur starterowych. Zmiany ilości tych składników były największe w produktach fermentowanych przy użyciu kultury starterowej zawierającej drożdże piekarskie i wyniosły, w zależności od etapu procesu, od 7 do 32 %. Wykazano, że proces prowadzenia ciasta żytniego oraz zastosowane mikroorganizmy w znacznym stopniu kształtują zawartość fruktanów w końcowym produkcie. Odpowiedni dobór parametrów procesu i stosowanych zakwasów pozwala na ograniczenie niekorzystnych zmian tych składników.

Słowa kluczowe: fruktany, żyto, ekstruzja, fermentacja mlekowa

Dr inż. I. Jasińska-Kuligowska, Katedra Żywności Funkcjonalnej, Ekologicznej i Towaroznawstwa, Wydz. Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa; dr inż. M. Kuligowski, mgr inż. P. Kołodziejczyk, prof. dr hab. J. Michniewicz, Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Wydz. Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 31, 60-624 Poznań

Wprowadzenie

Fruktany, obok pentozanów, są drugą pod względem ilościowym frakcją błonnika w ziarnie żyta i jego przetworach [3, 9, 11, 17]. Związki te są polimerami fruktozy zbudowanymi wyłącznie z cząsteczek β -D-fruktofuranozy oraz z cząsteczek β -D-fruktofuranozy i jednej, umieszczonej przeważnie na końcu łańcucha, cząsteczki α -D-glukopiranozy. W łańcuchu fruktanów cząsteczki β -D-fruktofuranozy połączone są wiązaniami β -(1,2) lub β -(6,2) lub wiązaniami β -(1,2) i β -(6,2) glikozydowymi. Cząsteczka glukozy połączona jest wiązaniem α -(1,2) albo α -(1,2) i α -(6,2) [12, 21, 25]. System trawienny człowieka nie ma zdolności do rozkładu wiązania β -(1,2) w łańcuchu fruktanów. Równocześnie, z uwagi na stymulujący wpływ na mikroflorę w jelicie grubym, fruktany zaliczane są do funkcjonalnych składników żywności – prebiotyków [5, 8, 12, 22].

Fruktany zawarte w zbożach zawierają do około 20 cząsteczek heksozy, są oligosacharydami nieredukującymi o wysokim stopniu rozpuszczalności. Obecność fruktanów stwierdzono w ziarnie wielu rodzajów zbóż. Najbogatszym źródłem fruktanów jest ziarno żyta, w którym zawartość tych związków wynosi 1,7 - 6,6 g/100 g s.m. W ziarnie pszenicy ilość fruktanów jest znacznie mniejsza i waha się od 0,9 do 2,3 g/100 g s.m. [3, 9, 11, 12, 17]. Zawartość fruktanów w ziarnach zbóż zależy od takich czynników, jak: genotyp, warunki klimatyczne uprawy, stan fizjologiczny ziarna [6].

Referencyjna metoda określania zawartości błonnika pokarmowego nie uwzględnia pomiaru fruktanów, dlatego też ilość tych związków powinna być doliczana do oznaczonej wartości błonnika w celu podania całkowitej ilości substancji nieulegających trawieniu w przewodzie pokarmowym człowieka. Zawartość błonnika po uwzględnieniu zawartości fruktanów w ziarnie żyta zwiększa się do 20,3 - 26,5 g/100 g s.m. i jest znacznie większa niż w pszenicy lub innych zbożach [6]. W procesach przetwórczych surowców zbożowych fruktany pełnią różnorodne funkcje technologiczne. Związki te, zwłaszcza o wyższym stopniu polimeryzacji, wykazują zdolności hydratacyjne, które w połączeniu ze zdolnością tworzenia roztworów o wysokiej lepkości mogą wpływać na takie cechy ciasta, jak wydajność i właściwości reologiczne, a także w efekcie końcowym, na trwałość pieczywa. Fruktany nie uczestniczą w reakcjach brązowienia nieenzymatycznego, a tym samym nie wpływają na zmianę barwy w procesach wytwarzania produktów, takich jak: płatki, otręby, zarodki czy preparowane ziarno. Mogą jednak, w niewielkim stopniu, wpływać na cechy sensoryczne produktów, ze względu na słodki smak (30 % słabszy od sacharozy) [5]. Przemiany fruktanów w trakcie procesów technologicznych zostały opisane w niewielkim stopniu, autorzy koncentrowali się głównie na procesie wypieku chleba [7, 20]. Polskie odmiany zbóż nie zostały dotychczas dobrze scharakteryzowane, opisano zawartość fruktanów w dwu odmianach żyta 'Amilo' i 'Motto' [6]. Opisywana metoda selekcji frakcji przemysłowo-

wych żyta [13] pozwoliła na uzyskanie surowca o dużej zawartości składników funkcjonalnych/bioaktywnych. W literaturze przedmiotu brak jest informacji, czy zwiększona ilość fruktanów w surowcu będzie skutkowałą zwiększeniem ich stężenia w gotowym produkcie, czy też na skutek aktywności mikroorganizmów zawartość fruktanów zostanie zredukowana do określonego poziomu.

Ekstruzja w przemyśle spożywczym jest wykorzystywana m.in. do wytwarzania przekąsek, najczęściej z kukurydzy, ryżu i pszenicy. Opracowanie metody wytwarzania produktu przekąskowego z surowca żytniego za pomocą ekstruzji pozwoliłoby na wzbogacenie tego typu asortymentu o produkt o walorach prozdrowotnych. Zastosowanie fermentacji surowca przed procesem ekstruzji może w znaczący sposób zmienić jego właściwości sensoryczne, jednak obróbka mikrobiologiczna surowca przed procesem ekstruzji jest rzadko opisywana w literaturze [13]. Niekiedy proces fermentacji, poprzedzający obróbkę termiczną, stosowany jest do wytwarzania chleba chrupkiego.

Celem podjętych badań była ocena możliwości wytworzenia produktu żytniego zawierającego zwiększoną ilość fruktanów, poprzez określenie zawartości fruktanów w wybranych produktach przemiału żyta i prześledzenia zmian zawartości tych składników pod wpływem procesów fermentacji, ekstruzji i wypieku.

Material i metody badań

Próbki produktów przemiału ziarna żyta (mąki pasażowe) pochodziły z Przedsiębiorstwa Wielobranżowego "KOMPLEXMŁYN" w Wągrowcu oraz z lokalnych sklepów (mąka razowa 2000). Wzbogacona mąka żytnia (WMŻ) została skomponowana z wybranych frakcji przemysłowego przemiału ziarna żyta na podstawie wcześniejszych badań i charakteryzowała się wyraźnie większą w stosunku do surowca wyjściowego zawartością składników błonnika pokarmowego i fitoestrogenów – lignanów [13, 14].

Analizom poddawano także wybrane handlowe chrupkie pieczywo żytnie (PC), które zakupiono w lokalnych sklepach. Do analiz wybrano 4 próbki pieczywa o składzie podanym przez producenta:

- PC1 – mąka żytnia pełnoziarnista 86 %, otręby żytnie 6 %, woda, drożdże, sól,
- PC2 – mąka żytnia pełnoziarnista 93 %, woda, drożdże, sól,
- PC3 – mąka żytnia razowa, woda, cukier 2,5 %, sól 0,7 %,
- PC4 – mąka żytnia pełnoziarnista, woda, sól.

Produkty przemiału ziarna żyta poddawano fermentacji z zastosowaniem czystych kultur bakterii kwasu mlekowego *Lactobacillus plantarum*, fermentacji z udziałem handlowych kultur starterowych stosowanych do produkcji chleba żytniego oraz fermentacji spontanicznej. Uzyskane ciasta poddawano następnie wypiekowi oraz ekstruzji.

Tabela 1

Oznaczenia analizowanych próbek.

Abbreviations used to denote samples under analysis.

| Rodzaj próby / Type of Sample | Oznaczenia próbek Abbreviations used to denote samples |
|--|---|
| WMŻ / ERF-enriched rye flour (1W 3m + 3W 3m + 4W 3m) | WMŻ C 0 ERF C 0 |
| Ciasto otrzymane z WMŻ po fermentacji mlekowej – 18 h Dough obtained after 18 h fermentation | Ciasto C 18 Dough C 18 |
| Ciasto otrzymane z WMŻ po fermentacji mlekowej – 24 h Dough obtained after 24 h fermentation | Ciasto C 24 Dough C 24 |
| Ciasto otrzymane z WMŻ po fermentacji mlekowej – 30 h Dough obtained after 30 h fermentation | Ciasto C 30 Dough C 30 |
| Ekstrudaty otrzymane przy użyciu ekstrudera jednoślimakowego z C 0 Extrudates obtained from C 0 using single screw extruder | Ekstrudaty J 0 Extrudates J 0 |
| Ekstrudaty otrzymane przy użyciu ekstrudera jednoślimakowego z C 18 Extrudates obtained from C 18 using single screw extruder | Ekstrudaty J 18 Extrudates J 18 |
| Ekstrudaty otrzymane przy użyciu ekstrudera jednoślimakowego z C 24 Extrudates obtained from C 24 using single screw extruder | Ekstrudaty J 24 Extrudates J 24 |
| Ekstrudaty otrzymane przy użyciu ekstrudera jednoślimakowego z C 30 Extrudates obtained from C 30 using single screw extruder | Ekstrudaty J 30 Extrudates J 30 |
| Ekstrudaty otrzymane metodą nawrotkową z C 0 Extrudates obtained from C 0 using double extrusion method | Ekstrudaty N 0 Extrudates N 0 |
| Ekstrudaty otrzymane metodą nawrotkową z C 18 Extrudates obtained from C 18 using double extrusion method | Ekstrudaty N 18 Extrudates N 18 |
| Ekstrudaty otrzymane metodą nawrotkową z C 24 Extrudates obtained from C 24 using double extrusion method | Ekstrudaty N 24 Extrudates N 24 |
| Ekstrudaty otrzymane metodą nawrotkową z C 30 Extrudates obtained from C 30 using double extrusion method | Ekstrudaty N 30 Extrudates N 30 |

W pierwszym etapie badań materiał doświadczalny stanowiła WMŻ. Próbki WMŻ zaszczepiano inokulum bakterii *Lactobacillus plantarum*, szczep T 106, (Bio-lacta, Olsztyn). Fermentację mlekową przeprowadzano w ciągu: 18, 24 i 30 h. Uzyskane półprodukty – ciasta, poddawano ekstruzji (oznaczenia próbek podano w tab. 1). Proces prowadzono przy użyciu dwóch ekstruderów: jednoślimakowego (typ S-45 „Metalchem” Gliwice) oraz dwuślimakowego (Werner & Pfleiderer firmy Krupp). Stosowano metodę ekstruzji jednokrotnej z wykorzystaniem ekstrudera jednoślimakowego.

wego (profil temperaturowy 130/175/130 °C) oraz metodę ekstruzji dwukrotnej – nawrotkową. Ekstruzja nawrotkowa polegała na użyciu w pierwszej fazie ekstrudera dwuślimakowego (profil temperaturowy 130/170/130 °C), a następnie po rozdrabnianiu i dowlżaniu ekstrudatu zastosowanie w fazie drugiej ekstrudera jednoślimakowego (profil temperaturowy 130/175/130 °C).

Wilgotność surowca wynosiła 14 % w przypadku ekstrudera jednoślimakowego i 25 % w przypadku ekstrudera dwuślimakowego. Parametry pracy ekstruderów przy wykorzystaniu jako surowca mąki żytniej i pasażowych mąk żytnich ustalono na podstawie wykonanych wstępnych doświadczeń [13].

W kolejnym etapie badań przeprowadzano cykl doświadczeń z wykorzystaniem handlowej mąki żytniej typu 2000 w celu określenia wpływu procesów tradycyjnego prowadzenia ciasta żytniego oraz wypieku i ekstruzji na zawartość fruktanów. Fermentację z wykorzystaniem zakwasów piekarskich przeprowadzano, uwzględniając zalecenia i wskazówki producentów zakwasów. Stosowano 2 zakwasy handlowe przeznaczone do fermentacji ciasta żytniego:

- zakwas A – według danych producenta zawierał bakterie *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus sanfranciscensis* oraz drożdże naturalnie występujące w zakwasach żytnich,
- zakwas B – według danych producenta zawierał bakterie *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus sanfranciscensis* oraz drożdże piekarskie.

Fermentacja spontaniczna (zakwas S) obejmowała wytwarzanie zaczątku w wyniku samoczynnej fermentacji, a następnie otrzymywanie ciasta w wyniku 5-fazowej fermentacji [2, 10]. Ciasta sporządzano przy użyciu miesiarki do ciast firmy Bosch, typ MUM86A1. Z części ciast uzyskanych w wyniku fermentacji z zastosowaniem zakwasów oraz uzyskanych w wyniku spontanicznej fermentacji wydzielano kęsy, które poddawano wypiekowi. Do foremek odważano 400 g ciasta i wypiekano w temp. 230 °C przez 30 min. Ekstruzję przeprowadzano metodą nawrotkową. Oznaczenia próbek podano w tab. 2.

Do doświadczeń analitycznych próbki rozdrabniano do wielkości cząstek poniżej 500 µm w laboratoryjnym młynku udarowym WŻ-1, produkcji ZBPP w Bydgoszczy. Zawartość fruktanów oznaczano w ziarnie i mące żytniej typu 580, 720, 2000, WMŻ oraz w produktach przemysłowego przemiału ziarna żyta. Analizom poddawano również otrzymany z zastosowaniem zakwasów chleb żytni, międzyprodukty piekarskie: kwas i ciasto oraz ekstrudaty.

Oznaczenie zawartości fruktanów w badanych próbach wykonywano przy użyciu zestawu odczynników Fructan Assay Kit firmy Megazyme [1]. Pomiaru absorbancji dokonywano przy długości fali $\lambda = 410$ nm, przy użyciu spektrofotometru CECIL C 1011, 1000 SERIES (Cecil Instruments Ltd.). Zawartość fruktanów podano w przeliczeniu na fruktozę i wyrażono w procentach suchej masy próbki.

Tabela 2

Oznaczenia analizowanych próbek.

Abbreviations used to denote samples under analysis.

| Rodzaj próby / Sample | Oznaczenia próbek Abbreviations used to denote samples |
|--|--|
| Kwas uzyskany z zakwasu A / Sourdough obtained from leaven A | Kwas A / Leaven A |
| Ciasto uzyskane z zakwasu A / Dough obtained from leaven A | Ciasto A / Dough A |
| Ciasto A poddane suszeniu przed ekstruzją Dough A dried before extrusion | Ciasto wys. A Dried dough A |
| Chleb uzyskany z zakwasu A / Bread made from leaven A | Chleb A / Bread A |
| Kwas uzyskany z zakwasu B / Sourdough obtained from leaven B | Kwas B / Leaven B |
| Ciasto uzyskane z zakwasu B / Dough obtained from leaven B | Ciasto B / Dough B |
| Ciasto B poddane suszeniu przed ekstruzją Dough B dried before extrusion | Ciasto wys. B Dried dough B |
| Chleb uzyskany z zakwasu B / Bread made from leaven B | Chleb B / Bread B |
| Kwas uzyskany w wyniku fermentacji spontanicznej Sourdough obtained after spontaneous fermentation | Kwas S / Leaven S |
| Ciasto uzyskane z zakwasu S / Dough obtained from leaven S | Ciasto S / Dough S |
| Ciasto S poddane suszeniu przed ekstruzją Dough S dried before extrusion | Ciasto wys. S Dried dough S |
| Chleb uzyskany z zakwasu S / Bread made from leaven S | Chleb S / Bread S |
| Ekstrudaty otrzymane z mąki razowej fermentowanej zakwasem A Extrudates obtained from dried dough A | Ekstrudaty A Extrudates A |
| Ekstrudaty otrzymane z mąki razowej fermentowanej zakwasem B Extrudates obtained from dried dough B | Ekstrudaty B Extrudates B |
| Ekstrudaty otrzymane z mąki razowej fermentowanej zakwasem S Extrudates obtained from dried dough S | Ekstrudaty S Extrudates S |

Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu Microsoft Excel 2003 oraz Statistica 8.0 StatSoft. Stosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Istotność różnic wartości średnich weryfikowano testem Tukeya przy poziomie $p = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Analiza fruktanów w wybranych produktach przemysłowego przemiału ziarna żyta wykazała, że mąki pasażowe charakteryzowały się zróżnicowaną ich zawartością (tab. 3). Największą zawartość fruktanów oznaczono w trzecich mąkach z 3. i 4. pasa-

żu wymiałowego (3W 3m, 4W 3m). Zawartość fruktanów w ziarnie żyta, mące razowej i WMŻ wynosiła odpowiednio 5,02, 5,56 i 6,10 % s.m.

Tabela 3

Zawartość fruktanów w wybranych produktach przemiału ziarna żyta.
Content of fructans in selected rye kernel milling products.

| Produkty przemiału Milling Products | Rodzaj produktu Type of product | Fruktany / Fructans [% s.m.] / [% d.m.] | |
|--|------------------------------------|--|---------|
| | | \bar{x} | s / SD |
| Mąki śrutowe Break flours | I sr. 2m | 3,78 ^a | ± 0,057 |
| | II sr.kaszka | 5,26 ^d | ± 0,032 |
| | III sr. 2m | 4,13 ^b | ± 0,041 |
| | IV sr. 2m | 4,17 ^b | ± 0,059 |
| | V sr. 2m | 5,56 ^{de} | ± 0,142 |
| | VI sr. 2m | 5,10 ^c | ± 0,042 |
| Mąki wymiałowe Reduction flours | 1W 3m | 5,85 ^e | ± 0,082 |
| | 2W 3m | 5,22 ^{cd} | ± 0,131 |
| | 3W 3m | 6,16 ^f | ± 0,030 |
| | 4W 3m | 6,21 ^f | ± 0,124 |
| Typ mąki / Type of flour | typ 580 | 3,89 ^a | ± 0,117 |
| | typ 720 | 4,13 ^b | ± 0,069 |

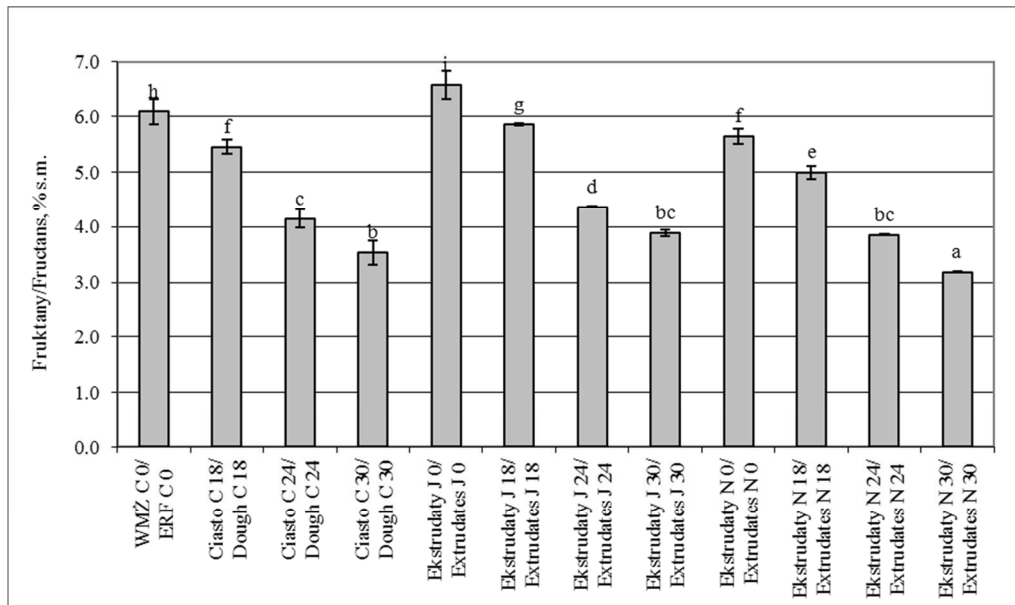
Objaśnienia: / Explanatory notes:

wartości średnie (\bar{x}) oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie $p = 0,05$ / mean values (\bar{x}) denoted using the same letters do not differ statistically significantly at $p = 0.05$; s – odchylenie standardowe / SD – standard deviation; n = 4.

Uzyskane wyniki są zgodne z danymi podawanymi przez innych autorów, którzy również obserwowali różnice pod względem zawartości fruktanów w zależności od części anatomicznej ziarna, z której pochodziły analizowane produkty. Z danych tych wynika, że najwięcej fruktanów było w otrębach – od 6,6 do 7,7 g/100 g s.m. [15, 16, 17], natomiast najmniej w mąkach jasnych – na poziomie 3,1 g/100 g s.m. [17], aczkolwiek niektórzy autorzy oznaczali podobnie niskie ilości w całym ziarnie żyta – od 1,7 do 3,3 g/100 g s.m. [11, 19].

Procesy ekstruzji i fermentacji w znaczny sposób wpłynęły na oznaczane składniki błonnika pokarmowego. Czas procesu fermentacji z zastosowaniem bakterii *Lactobacillus plantarum* wywierał istotny wpływ na zmniejszenie zawartości fruktanów. Po 30 h fermentacji zawartość fruktanów zmniejszyła się z 6,1 % s.m do 3,5 % s.m. Proces ekstruzji z wykorzystaniem ekstrudera jednoślindakowego spowodował nieznaczny wzrost zawartości fruktanów, natomiast ekstruzja metodą nawrotkową zmniejszyła

ilość tych składników. Najmniejszą zawartością fruktanów – 3,2 % s.m. charakteryzowała się próba N 30, otrzymana w wyniku ekstruzji ciasta metodą nawrotkową po fermentacji trwającej 30 h (rys. 1).



Oznaczenia jak w tab. 1. Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie $p = 0,05$ / Abbreviations to denote samples as in Tab. 1. Mean values denoted using the same letter do not differ statistically significantly at $p = 0.05$.

Rys. 1. Zawartość fruktanów w produktach fermentacji z zastosowaniem *Lactobacillus plantarum* i ekstruzji.

Fig. 1. Content of fructans in products fermented using *Lactobacillus plantarum* and extruded.

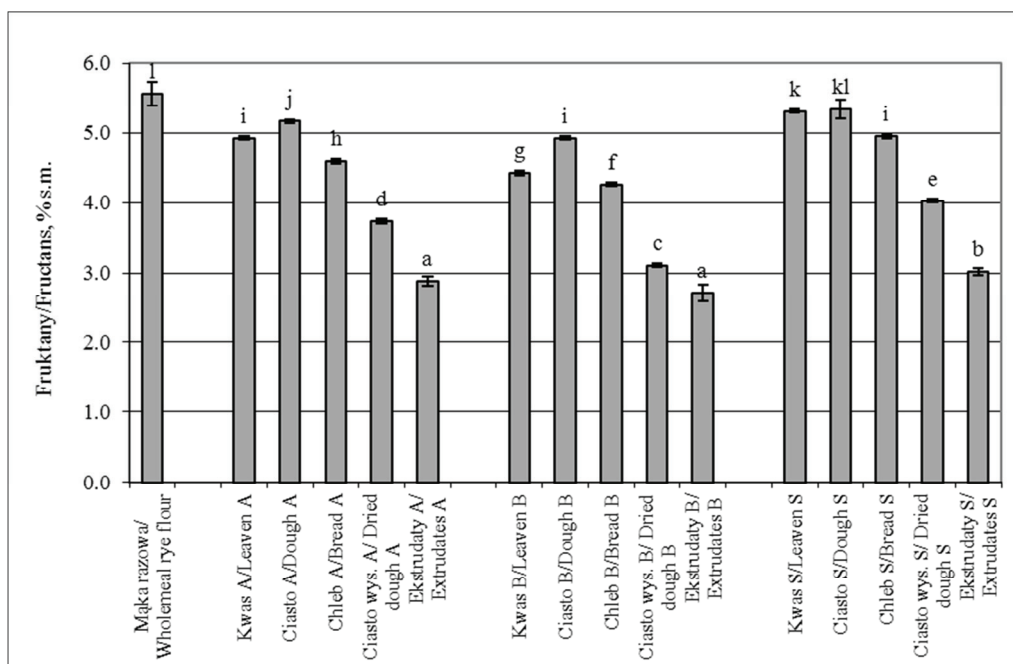
W kolejnym etapie badań zastosowano fermentację typową dla produkcji chleba żytniego na zakwasie. Zabieg ten miał poprawić cechy smakowo-zapachowe oraz poprzez dodatek świeżej mąki wyrównywać ubytek substancji prozdrowotnych, m.in. fruktanów. Fermentacja z zastosowaniem zakwasów, podobnie jak fermentacja przy użyciu czystych kultur bakterii *Lactobacillus plantarum*, wpłynęła w istotny sposób na zmniejszenie zawartości fruktanów w badanych próbkach (rys. 2). Dodatek świeżej mąki w procesie produkcji pieczywa w nieznacznym stopniu spowodował zwiększenie zawartości fruktanów w stosunku do kwasu, natomiast wypiek przyczynił się do dalszego zmniejszenia ilości tych związków. Suszenie ciasta chlebowego przed procesem ekstruzji znacznie zmniejszyło zawartość fruktanów, z 5,17 do 3,73 % s.m. w przypadku fermentacji zakwasem A, z 4,93 do 3,10 % s.m. – zakwasem B oraz z 5,35 do 4,03 % s.m. w przypadku fermentacji spontanicznej. Było to spowodowane aktywno-

ścią mikroorganizmów stosowanych do fermentacji, które nie były inhibowane w początkowym etapie procesu suszenia. Podobne zmniejszenie ilości fruktanów obserwowano przy stosowaniu do fermentacji bakterii *Lactobacillus plantarum* w pierwszym etapie badań (rys. 1). Proces ekstruzji metodą nawrotkową również spowodował zmniejszenie zawartości analizowanych składników, która w ekstrudatach stanowiła 2,88, 2,71 i 3,01 % s.m., odpowiednio w ekstrudatach A, B i S. Podczas ekstruzji metodą nawrotkową ciasta fermentowanego przy użyciu bakterii *Lactobacillus plantarum* również obserwowano zmniejszenie ilości fruktanów, podczas gdy ekstruzja z wykorzystaniem tylko ekstrudera jednoślismakowego nie powodowała tego typu zmian (próba J 0) (rys. 2). Na zawartość fruktanów największy wpływ miał jednak proces fermentacji.

W dostępnej literaturze [3, 6, 7, 23] podane są informacje o badaniach nad zmianami fruktanów po fermentacji z udziałem bakterii fermentacji mlekowej i drożdży oraz wyłącznie drożdży, dlatego postanowiono przetestować nieopisaną fermentację z udziałem wyłącznie bakterii fermentacji mlekowej.

Procesy zachodzące podczas przygotowania ciasta, fermentacji i wypieku w dużym stopniu wpływają na zmniejszenie zawartości fruktanów. Fermentacja z zastosowaniem zakwasów i drożdży przyczynia się do degradacji tych związków [6, 23]. Anderson i wsp. [3] badali zmiany ilości fruktanów podczas wytwarzania chleba żytniego różnymi metodami. Największy ubytek fruktanów (z 5 do 1,9 %) obserwowali przy fermentacji z jednoczesnym wykorzystaniem bakterii i drożdży, natomiast przy użyciu wyłącznie drożdży zmiany były znacznie mniejsze (z 5 do 3,4 %). Zawartość fruktanów zmniejszyła się również w badaniach przeprowadzonych przez Boskova-Hansena i wsp. [7] – z 6,2 g/100 g s.m. w pełnoziarnistej mące żytniej, do 4,1 g/100 g s.m. w cieście i 3,4 g/100 g s.m. w miększu pieczywa. Biesiekierski i wsp. [4] stwierdzili różnice zawartości fruktanów w handlowym pieczywie żytnim, w zależności od metody produkcji i rodzaju zastosowanej mąki. W chlebie zawartość fruktanów [g/100 g pieczywa] wynosiła: w jasnym 1,05, w ciemnym 1,42, natomiast w chlebie otrzymanym na zakwasie 1,07. Król i Grzelak [20] nie stwierdzili obecności fruktooligosacharydów (FOS) w chlebie żytnim (70 % mąki żytniej i 30 % mąki pszennej) i pszennym (70 % mąki pszennej i 30 % mąki żytniej) otrzymanym na zakwasie z dodatkiem drożdży piekarskich, zakupionym w tradycyjnych, lokalnych polskich piekarniach. Fruktany są hydrolizowane przez inwertazę drożdżową do fruktozy, stąd mogą częściowo zastępować sacharozę w procesie produkcji pieczywa, a tym samym ich zawartość w produkcie końcowym ulega zmniejszeniu [8]. Według Katina i wsp. [18] proces fermentacji, wpływający na rozpad ścian komórek, może prowadzić do uwalniania lub syntezy różnorodnych związków aktywnych. W trakcie fermentacji enzymy natywne ziarna oraz wytworzone w trakcie fermentacji (m.in. amylazy, ksylanazy, proteazy) biorą udział w modyfikacji składu chemicznego surowca, wpływając również na za-

wartość fruktanów. Zastosowanie różnorodnych wariantów fermentacji pozwala na ocenę możliwości modelowania właściwości prozdrowotnych produktów żywnościowych za pomocą obróbki mikrobiologicznej.



Oznaczenia jak w tab. 2. Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami dla poszczególnych oznaczonych parametrów nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie $p = 0,05$ / Abbreviations to denote samples as in Tab. 2. Mean values denoted using the same letter for individually determined parameters do not differ statistically significantly at $p = 0.05$.

Rys. 2. Wpływ fermentacji z zastosowaniem zakwasów i obróbki termicznej (ekstruzja i wypiek) na zawartość fruktanów.

Fig. 2. Effect of lactic acid fermentation with the use of leaven and thermal processing (extrusion and baking) on content of fructans.

Spośród badanych próbek pieczywa chrupkiego największą zawartością fruktanów (4,51 % s.m.) charakteryzowało się pieczywo PC3 (tab. 4). Zawartość tych składników była natomiast najmniejsza (3,08 % s.m.) w pieczywie PC2, co prawdopodobnie było spowodowane dodatkiem drożdży i fermentacją, gdyż pieczywo to miało lekko kwaśny smak. W porównaniu z badanymi handlowymi próbkami pieczywa chrupkiego zbliżoną zawartością fruktanów charakteryzowały się ekstrudaty S otrzymane z WMŻ z zastosowaniem fermentacji spontanicznej (rys. 2).

Tabela 4

Zawartość fruktanów w handlowym pieczywie chrupkim.
Content of fructans in commercial rye crisp bread.

| Rodzaj produktu / Type of product | Fruktany / Fructans [% s.m. / d.m.] | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|
| | \bar{x} | s / SD |
| Pieczywo chrupkie / Crisp bread PC1 | 3,67 ^b | ± 0,026 |
| Pieczywo chrupkie / Crisp bread PC2 | 3,08 ^a | ± 0,028 |
| Pieczywo chrupkie / Crisp bread PC3 | 4,51 ^c | ± 0,136 |
| Pieczywo chrupkie / Crisp bread PC4 | 4,28 ^c | ± 0,118 |

Objaśnienia: / Explanatory notes:

wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie $p = 0,05$ / mean values denoted using the same letters do not differ statistically significantly at $p = 0.05$.

Rakha i wsp. [24] w analizowanych próbkach żytniego pieczywa chrupkiego oznaczyli fruktany na poziomie od 2,2 g/100 g s.m. w produktach handlowych, które miały w składzie drożdże i zakwas, do 4,0 g/100 g s.m. w produktach otrzymanych z mąki niepoddanej fermentacji. Natomiast w badaniach Biesiekierskiego i wsp. [4], zawartość fruktanów w handlowym pieczywie chrupkim wynosiła 4,6 g/100 g pieczywa.

Zastosowana przez autorów niniejszej pracy technologia pozwoliła na uzyskanie produktów o większej zawartości fruktanów od opisywanej w literaturze o 1 do 4,4 % (rys. 1).

Wnioski

1. Produkty przemiału ziarna żyta charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością fruktanów. Frakcje pochodzące z końcowych pasażów śrutowych i wymiałowych zawierały znacznie więcej tych związków w porównaniu z mąkami otrzymanymi w początkowych etapach przemiału oraz z mąkami handlowymi.
2. Fermentacja surowca zarówno z zastosowaniem czystych kultur bakterii *Lactobacillus plantarum*, jak i handlowych kultur starterowych spowodowała zmniejszenie zawartości fruktanów w analizowanych próbkach. Istotny wpływ na poziom fruktanów wywierała obecność drożdży piekarskich w zakwasach. Najmniejsze ubytki fruktanów obserwowano w przypadku zastosowania zakwasu wytworzonego podczas fermentacji spontanicznej.
3. Zastosowane procesy termiczne – ekstruzja nawrotkowa i wypiek spowodowały zmniejszenie zawartości fruktanów. Jedynie proces ekstruzji jednokrotnej z wykorzystaniem ekstrudera jednoślizakowego powodował przyrost ilości tych składników błonnika pokarmowego.

4. Proces prowadzenia ciasta oraz zastosowana mikroflora mają istotny wpływ na zawartość fruktanów w produkcie końcowym. Możliwe jest ograniczenie strat fruktanów poprzez dobór odpowiednich parametrów procesu.

Praca była finansowana ze środków KBN w ramach projektu 2 P06T 015 2 oraz środków MNiSzW w ramach projektu badawczego N N312 212838.

Literatura

- [1] AACC Method: Approved methods of the AACC, 32.32, 10th ed. St. Paul Minn., 2000, AACC.
- [2] Ambroziak Z. (Red.): Piekarnictwo i ciastkarstwo. WNT, Warszawa 1988, s. 648.
- [3] Andersson R., Fransson G., Tietjen M., Åman P.: Content and molecular-weight distribution of dietary fiber components in whole-grain rye flour and bread. *J. Agric. Food Chem.*, 2009, **57**, 2004-2008.
- [4] Biesiekierski J.R., Rosella O., Rose R., Liels K., Barrett J.S., Shepherd S., Gibson P.R., Muir J.G.: Quantification of fructans, galacto-oligosaccharides and other short-chain carbohydrates in processed grains and cereals. *J. Hum. Nutr. Diet.*, 2011, **24**, 154-176.
- [5] Bornet F.R.J., Brouns F., Tashiro Y., Duvillier V.: Nutritional aspects of short-chain fructooligosaccharides: natural occurrence, chemistry, physiology and health implications. *Dig. Liver Dis.*, 2002, **34** (2), 111-120.
- [6] Boskov-Hansen H., Rasmussen C.V., Bach Knudsen K.E., Hansen A.: Effects of genotype and harvest year on contents and composition of dietary fibre in rye (*Secale cereale* L) grain. *J. Sci. Food Agric.*, 2003, **83**, 76-85.
- [7] Boskov-Hansen H., Andersen M.F., Nielsen L.M., Bach Knudsen K-E., Meyer A.S., Christensen L.P., Hansen A.: Changes in dietary fibre, phenolic acids and activity of endogenous enzymes during rye bread making. *Eur. Food Res. Technol.*, 2002, **214**, 33-42.
- [8] Escrivá C., Martínez-Anaya M.A.: Influence of enzymes on the evolution of fructosans in sourdough wheat processes. *Eur. Food Res. Technol.*, 2000, **210**, 286-292.
- [9] Fretzdorff B., Welge N.: Fructan and raffinose contents in cereals and pseudo-cereal grains. *Getreide Mehl Brot*, 2003, **57**, 3-8.
- [10] Gąsiorowski H. (Red.): *Żyto chemia i technologia*. PWRiL, Poznań 1994, s. 289.
- [11] Glitsø L.V., Bach Knudsen K.E.: Milling of whole grain rye to obtain fractions with different dietary fibre characteristics. *J. Cereal Sci.*, 1999, **29**, 89-97.
- [12] Haskå L., Nyman M., Andersson R.: Distribution and characterisation of fructan in wheat milling fractions. *J. Cereal Sci.*, 2008, **48**, 768-774.
- [13] Jasińska I., Kołodziejczyk P., Michniewicz J.: Charakterystyka i wykorzystanie produktów przemiału ziarna żyta o zwiększonej zawartości wybranych składników prozdrowotnych do produkcji ekstrudatów. *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna* 2009, **14** (1), 16-22.
- [14] Jasińska I., Kołodziejczyk P., Michniewicz J.: Ziarno żyta jako potencjalne źródło składników prozdrowotnych w diecie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **2** (47) Supl., 85-92.
- [15] Karppinen S., Kiiliäinen K., Liukkonen K., Forssell P., Poutanen K.: Extraction and *in vitro* fermentation of rye bran fractions. *J. Cereal Sci.*, 2001, **34**, 269-278.
- [16] Karppinen S., Liukkonen K., Aura A.-M., Forssell P., Poutanen K.: *In vitro* fermentation of polysaccharides of rye, wheat and oat brans and inulin by human faecal bacteria. *J. Sci. Food Agric.*, 2000, **80**, 1469-1476.
- [17] Karppinen S., Myllymäki O., Forssell P., Poutanen K.: Fructan content of rye and rye products. *Cereal Chem.*, 2003, **80**, 168-171.

- [18] Katina K., Liukkonen K.H., Kaukovirta N.A., Adlercreutz H., Heinonen S.M., Lampi A.M., Pihlava J.M., Poutanen K.: Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *J. Cereal Sci.*, 2007, **46**, 348-355.
- [19] Knudsen Bach K.E.: Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1997, **67**, 319-338.
- [20] Król B., Grzelak K.: Qualitative and quantitative composition of fructooligosaccharides in bread. *Eur. Food Res. Technol.*, 2006, **223**, 755-758.
- [21] Lewis D.H.: Nomenclature and diagrammatic representation of oligomeric fructans - a paper for discussion. *New Phytol.*, 1993, **123**, 583-594.
- [22] Marx S.P., Winkler S., Hartmeier W.: Metabolization of β -(2,6)-linked fructose-oligosaccharides by different bifidobacteria. *FEMS Microbiol. Letters*, 2000, **182**, 163-169.
- [23] Nilsson U., Öste R., Jägerstad M.: Cereal fructans: Hydrolysis by yeast invertase, *in vitro* and during fermentation. *J. Cereal Sci.*, 1987, **6**, 53-60.
- [24] Rakha A., Åman P., Andersson R.: Characterisation of dietary fibre components in rye products. *Food Chem.*, 2010, **119**, 859-867.
- [25] Vijn I., Smekens S.: Fructan: More than a reserve carbohydrate? *Plant Physiol.*, 1999, **120**, 351-359.

EFFECT OF FERMENTATION, EXTRUSION AND BAKING PROCESSES ON CONTENT OF FRUCTANS IN RYE PRODUCTS

Summary

Rye kernel is a source of many nutritionally valuable food components. Among them, there are fructans that show prebiotic properties. However, those components are not included into analytical methods that determine the content of dietary fibre in cereals. In this research study characterized were the selected intermediate products obtained from the industrial milling of rye kernels as regards the content of fructans therein. The effects of technological processes: lactic acid fermentation, extrusion, and baking were analyzed on the amount of fructans in rye products. Furthermore, the content of fructans was determined in the samples of commercial rye crisp bread available in the market in Poland. It was found that the passage rye flours were characterized by a variable content of fructans. The flour fractions obtained from the final break and reducing passages contained substantially higher amounts of those components of dietary fibre than the flours obtained from the initial stages of rye milling process or from commercial flours. Of all the hydrothermal processes studied, only the extrusion process using a one-screw extruder caused the content of fructans to increase by ca. 8 %. The lactic acid fermentation process with the use of pure culture of *Lactobacillus plantarum* caused the content of fructans to essentially decrease by 10, 32, and 42 % in proportion to the time duration of the fermentation process (18, 24 and 30 h). It was also reported that the content of fructans decreased in the samples fermented with the use of commercial starter cultures. Changes in the amounts of those components were the highest in the products fermented using a baker's yeast containing starter culture; the level of those changes was from 7 to 32 % depending on the fermentation stage. It was proved that the method of preparing dough and the micro-organism applied impacted the content of fructans in the final product. It is possible to reduce disadvantageous changes in the amounts of those components through the proper selection of the process parameters and the use of proper leaven types.

Key words: fructans, rye, extrusion, lactic acid fermentation ☒