

BARBARA BORCZAK, ELŻBIETA SIKORA, MAREK SIKORA,
JOANNA KAPUSTA-DUCH, DIMITAR HRUSAVOV

WPLYW ODROZONEGO WYPIEKU I DODATKU ZAKWASU NA INDEKS GLIKEMICZNY *IN VITRO* ORAZ ZAWARTOŚĆ SKROBI I POLIFENOLI OGÓŁEM W BUŁKACH PSZENNYCH

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu dodatku zakwasu do ciasta pszennego i sposobu wypieku (tradycyjnego oraz odroczonego, z zastosowaniem procesu zamrażania i zamrażalniczego przechowywania) na zawartość w bułkach skrobi i polifenoli ogółem oraz wartość indeksu glikemicznego, oznaczonego metodą *in vitro*. Badano cztery warianty bułek pszennych: 1) wypieczone w sposób tradycyjny (TRAD), jako próba kontrolna, 2) z 3-procentowym dodatkiem zakwasu (TRAD+Z) wypieczone w sposób tradycyjny, 3) częściowo podpiekane i zamrożone, a następnie dopiekane (ODR), 4) z 3-procentowym dodatkiem zakwasu (ODR+Z) częściowo podpiekane i zamrożone, a następnie dopiekane.

Zastosowanie technologii odroczonego wypieku wpłynęło na zmniejszenie zawartości suchej masy w badanych bułkach ($p < 0,05$) z ok. 74 do ok. 65 - 66 %. Dodatek zakwasu oraz zastosowanie mrożenia i zamrażalniczego przechowywania przyczyniły się do istotnego ($p < 0,05$) zwiększenia zawartości skrobi wolno trawionej (SDS) w bułkach pochodzących z odroczonego wypieku (ODR – 12,6 % s.m, ODR+Z – 16,10 % s.m) w stosunku do bułek wypiekanych tradycyjnie (TRAD – 7,4 % s.m., TRAD+Z – 7,5 % s.m. Zawartość skrobi szybko trawionej (RDS) była istotnie mniejsza ($p < 0,05$) w bułkach z dodatkiem zakwasu: ODR+Z – 27,4 % s.m. i TRAD+Z – 27,3 % s.m. w porównaniu z bułkami kontrolnymi TRAD – 30,8 % s.m., jak również z bułkami wypiekаныmi w sposób odroczony, ale bez dodatku zakwasu ODR – 29,1 % s.m. Zastosowanie procesu mrożenia i zamrażalniczego przechowywania przyczyniły się do istotnego ($p < 0,05$) zwiększenia zawartości polifenoli ogółem w badanych bułkach [mg kwasu galusowego w 100 g s.m.]: ODR+Z – 105,2 i ODR – 105,7 vs. TRAD – 60,2 i TRAD+Z – 57,7. Natomiast dodatek zakwasu nie wpłynął na wzrost zawartości polifenoli ogółem w badanych bułkach ($p < 0,05$). Dodatek zakwasu oraz zastosowanie mrożenia i zamrażalniczego przechowywania spowodowały istotne ($p < 0,05$) zmniejszenie wartości indeksu glikemicznego, oznaczonego metodą *in vitro*, a wyrażonego wskaźnikiem trawienia skrobi (SDI). Największą wartością SDI charakteryzowały się bułki TRAD – 76,4 % s.m., a najmniejszą – bułki ODR+Z – 53,2 % s.m. Dodatek zakwasu w proszku do ciasta z mąki pszennej jasnej i technologia odroczonego wypieku z zastosowaniem zamrażalniczego przechowywania półproduktu

Dr inż. B. Borczak, prof. dr hab. E. Sikora, dr inż. J. Kapusta-Duch, Katedra Żywienia Człowieka, prof. dr hab. M. Sikora, Katedra Technologii Węglowodanów, Wydz. Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122a, 30-149 Kraków, dr inż. D. Hrusavov, University of Food Technologies, 26 Maritsa Blvd, 4000 Plovdiv, Bułgaria. Kontakt: b.borczak@ur.krakow.pl

umożliwiają otrzymanie bułek pszennych o niskim indeksie glikemicznym oraz o zwiększonej zawartości polifenoli.

Słowa kluczowe: bułki pszenne, metoda wypieku, skrobia, indeks glikemiczny, polifenole

Wprowadzenie

Pieczywo stanowi około 80 % przetworów zbożowych produkowanych w Polsce i pod względem ilościowym jest drugą grupą produktów wchodzących w skład całodziennej racji pokarmowej [19]. Według zasad prawidłowego żywienia produkty zbożowe powinny stanowić od 5 do 11 porcji w codziennej diecie, przy czym zaleca się spożywanie głównie przetworów zbożowych pełnoziarnistych, bogatych w błonnik pokarmowy [3, 7, 28].

Obecnie zwraca się uwagę na wartość indeksu glikemicznego spożywanej żywności. Konsumpcja produktów o niskim indeksie glikemicznym, bogatych w błonnik pokarmowy, jest rekomendowana w profilaktyce chronicznych chorób dietozależnych, takich jak: cukrzyca typu 2, otyłość, choroby serca czy nowotwory [6]. Zbożem najczęściej wykorzystywanym do produkcji pieczywa jest pszenica. Niestety, pieczywo pszenne charakteryzuje się wysokim indeksem glikemicznym, niezależnie od stopnia wyciągu mąki użytej do wypieku. W związku ze współczesnymi tendencjami dąży się do wyprodukowania takiego pieczywa, które będzie charakteryzowało się niską odpowiedzią glikemiczną, dobrą wartością odżywczą i jednocześnie odpowiednią jakością, akceptowaną przez konsumentów. Ten cel można osiągnąć m.in. poprzez dodatek takich składników, które będą wzbogacać wartość odżywczą pieczywa, zwiększać w nim zawartość błonnika i jednocześnie obniżać indeks glikemiczny. Nie bez znaczenia pozostaje sama technologia wypieku. Wprowadzenie w latach 80. XX w. pieczywa mrożonego, pochodzącego z odroczonego wypieku, nie pozostaje bez wpływu na niektóre parametry jego wartości odżywczej, w tym na wartość indeksu glikemicznego.

Celem pracy było określenie wpływu dodatku zakwasu do ciasta pszennego i sposobu wypieku (tradycyjnego lub odroczonego, z zastosowaniem procesu zamrażania i zamrażalniczego przechowywania), na zawartość w bułkach skrobi i polifenoli ogółem oraz wartość indeksu glikemicznego mierzoną metodą *in vitro*.

Material i metody badań

Doświadczenie technologiczne

Materiałem doświadczalnym były cztery rodzaje bułek z mąki pszennej (typu 550) wypiekane metodą tradycyjną i odroczoną:

- 1) TRAD – bez zakwasu, tradycyjnie wypiekane (bułki kontrolne),
- 2) TRAD+Z – z 3-procentowym dodatkiem zakwasu w proszku, tradycyjnie wypiekane,

- 3) ODR – bez zakwasu, częściowo podpiekane i zamrażane, a następnie dopiekane,
- 4) ODR+Z – z 3-procentowym dodatkiem zakwasu w proszku, częściowo podpiekane i zamrażane, a następnie dopiekane.

Bułki przygotowywano zgodnie z recepturami opracowanymi przez firmę piekarską Puratos (Belgia). Składniki ciasta: 250 g mąki pszennej typu 550 (Moulins Soufflet, Pornic, Francja), 2,5 g drożdży liofilizowanych (Saf – Instant Red – Lesaffre Group, Strasbourg, Francja), 4,5 g soli (Janikosoda S.A., Janikowo, Polska), polepszacz Freshbake – 2,5 g w bułkach TRAD, TRAD+Z i ODR oraz 7,5 g w bułkach ODR+Z) (Puratos, Belgia), 145 cm³ wody wodociągowej, 7,5 g zakwasu (Medea PW 145, Puratos, Belgia) – w bułkach TRAD+Z i ODR+Z. W każdym wariantcie doświadczenia wypiekano po sześć bułek.

Przygotowanie bułek wypiekanych tradycyjnie (TRAD, TRAD+Z)

Po odważeniu składników ciasta na wadze (WPS1200/C/2, DANLAB, Białystok, Polska) i wymieszaniu w mieszarce (Diosna SP-12, GETH, Niemcy) przez 2 min wolno i 7 min szybko, ciasto poddawano wstępnej fermentacji (10 min) w temp. 20 ± 2 °C pod przykryciem. Następnie odważano kęsy ciasta o masie 70 g i formowano bułki, po czym poddawano fermentacji w garowni (temp. 30 °C, ~105 min) i wypiekano w piecu elektrycznym (MIWE condo, typ CO 2.0608, Michael Wentz GmbH, Arnstein, Niemcy), w temp. 230 °C, przez 20 min.

Przygotowanie bułek wypiekanych metodą odrozoną (ODR, ODR+Z)

Przygotowanie bułek w tym wariantcie było identyczne jak bułek tradycyjnych do momentu zakończenia fermentacji. Po fermentacji bułki poddawano wypiekowi (w temp. 190 °C przez 30 s, po czym w 180 °C przez 16 min i 30 s), a następnie studzeniu i mrożeniu w zamrażarce szokowej (Frigor TLM 300, Biogenet, Dania) w ciągu około 30 min, w temp. -35 °C aż do uzyskania wewnątrz bułki temp. -18 °C. Zamrożone bułki pakowano w torebki foliowe i przechowywano w zamrażarce (-18 °C) przez 14 dni. W dniu przeprowadzania badań bułki odmrażano w temp. 20 ± 2 °C przez 10 min i dopiekano (220 °C) przez 8 min.

Metody badań

W świeżo upieczonych bułkach oznaczano zawartość: suchej masy [25], polifenoli ogółem [30], skrobi całkowitej (TS), wolnej glukozy (FG), skrobi wolno trawionej (SDS) i szybko trawionej (RDS) oraz wartość indeksu glikemicznego *in vitro* (SDI) [5, 9]. W celu otrzymania jednolitej próby do oznaczeń laboratoryjnych bułki mielono w maszynce do mięsa (MM1000.88, Zelmer, Rogoźnica, Polska).

Indeks glikemiczny bułek pszennych oznaczano według Englysta i wsp. [9], w modyfikacji Chunga [5], przy użyciu roztworów enzymów: α -amylazy z trzustki

wieprzowej (P-7545, Sigma-Aldrich, St.Louis, MO, USA), amyloglukozydazy (3300 U/ml, Megazyme International, Irlandia Ltd., Bray, Irlandia) oraz inwertazy (I4504, 300 U/mg, Sigma-Aldrich, St.Louis, MO, USA). Poziom glukozy oznaczano metodą kolorymetryczną przy użyciu reagentu zawierającego enzymy: oksydazę glukozową i peroksydazę (K-GLOX 09/12, Megazyme International, Irlandia Ltd., Bray, Irlandia). Zawartość skrobi całkowitej (TS) obliczano na podstawie sumy zawartości skrobi odpornej (RS) i skrobi rozpuszczalnej (SS) przy użyciu zestawu enzymatycznego (K-RSTAR 08/11, Megazyme International, Irlandia Ltd., Bray, Irlandia). Oznaczano także zawartość wolnej glukozy (FG) oraz glukozy zhydrolizowanej po 20 min (G_{20}) i 120 min (G_{120}) trawienia. Na podstawie powyższych wyników obliczano parametry: $RDS = (G_{20} - FG) \times 0,9$, $SDS = (G_{120} - G_{20}) \times 0,9$ i $SDI = RDS/TS \times 100$.

Statystyczna analiza danych

Do oceny wpływu sposobu wypieku i dodatku zakwasu na zawartość całkowitej skrobi, frakcji RDS, SDS, polifenoli ogółem i suchej masy oraz wskaźnika SDI w bułkach pszennych zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA z interpretacją interakcji (zamrażanie vs. dodatek zakwasu). Istotność różnic weryfikowano testem Duncana na poziomie $p < 0,05$. Analizowane parametry oznaczano w trzech powtórzeniach. Wszystkie obliczenia wykonywano w programie Statistica v. 8.

Wyniki i dyskusja

Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono w tab. 1.

Średnia zawartość suchej masy w bułkach wahała się od 65,6 do 74,7 %, co odpowiada jej ilości w pieczywie pszennym, podawanej przez innych autorów ($50 \div 86,3$ %) [3, 7, 28]. Najwięcej suchej masy było w bułkach TRAD+Z z dodatkiem zakwasu, wypiekanych tradycyjnie (74,7 %) oraz w bułkach TRAD (kontrolnych) – 74,0 %. W bułkach pochodzących z odroczonego wypieku zawartość suchej masy kształtowała się na zbliżonym poziomie: ODR+Z – 66,6 % i ODR – 65,6 %, a otrzymane wartości były istotnie mniejsze ($p < 0,05$) od ilości oznaczonych w bułkach wypiekanych w sposób tradycyjny. Wpływ procesu mrożenia na zawartość wody w produktach spożywczych jest dobrze znany i opisany w literaturze [8, 11, 29]. Przyczyną powstawania zmian fizycznych jest przemiana fazowa wody w lód. Tej przemianie towarzyszą zmiany strukturalne, ubytki masy produktów, czyli ususzka, ponadto oparzelina mrożeniowa oraz rekrystalizacja. Zmiany strukturalne zamrożonych produktów powodują także inne niekorzystne zmiany pochodne, m.in. utratę turgoru, zmiany konsystencji produktów, ograniczenie zdolności utrzymania wody, a w skrajnych przypadkach mechaniczne uszkodzenia tkanek lub zanik pierwotnego kształtu [29].

Zawartość węglowodanów w produktach zbożowych wynosi $50 \div 80$ % [7, 9, 28], przy czym w przeważającej ilości występuje skrobia. Wyniki badań własnych potwier-

dzają te dane. Zarówno dodatek zakwasu, jak i zastosowanie odroczonej metody wypieku bułek wpłynęły istotnie ($p < 0,05$) na całkowitą zawartość skrobi TS. Najwięcej skrobi TS było w bułkach wypiekanych metodą odrozoną (ODR) – 67,4 % s.m.). Mniejszą zawartość analizowanego parametru stwierdzono w bułkach ODR+Z (66,4 % s.m.). Z kolei w bułkach pochodzących z tradycyjnego wypieku zawartość TS kształtowała się na niższym poziomie niż w bułkach z wypieku odroczonego [% s.m.]: TRAD – 59,8, a TRAD+Z – 59,2.

Tabela 1 Wartości średnie wybranych parametrów bułek pszennych bez zakwasu i z jego dodatkiem, wypiekanych tradycyjnie i metodą odrozoną.

Table 1. Mean values of selected parameters of wheat flour rolls without and with sourdough added and baked using a traditional and bake-off technology method.

Wariant bułek Version of rolls	Sucha masa Dry matter (DM)	Skrobia całkowita Total starch (TS)	Skrobia wolno trawiona Slowly digestible starch (SDS)	Skrobia szybko trawiona Rapidly digestible starch (RDS)	Wskaźnik trawienia skrobi Starch digestion index (SDI)	Polifenole ogółem Total polyphenols
	[%]	[% s.m.] / [% dm]				[mg/100 g s.m. / d.m.]
TRAD	74,0 ^a ± 0,6	59,8 ^c ± 0,0	7,4 ^c ± 0,4	30,8 ^a ± 1,9	76,4 ^a ± 4,5	60,2 ^b ± 1,3
TRAD+Z TRAD+S	74,7 ^a ± 0,1	59,2 ^d ± 0,1	7,5 ^c ± 0,5	27,3 ^b ± 1,1	65,8 ^b ± 0,6	57,7 ^b ± 1,0
ODR PBF	65,6 ^b ± 0,0	67,4 ^a ± 0,0	12,6 ^b ± 0,4	29,1 ^{ab} ± 1,0	56,4 ^c ± 2,3	105,7 ^a ± 0,5
ODR+Z PBF+SD	66,6 ^b ± 2,2	66,4 ^b ± 0,2	16,1 ^a ± 0,8	27,4 ^b ± 1,4	53,2 ^d ± 0,8	105,2 ^a ± 0,8

Objaśnienia: Explanatory notes:

TRAD – bez zakwasu, tradycyjnie wypiekane (kontrolne) / TRAD – without sourdough, baked traditionally (sample); TRAD+Z – z dodatkiem zakwasu, tradycyjnie wypiekane / TRAD+SD – with added sourdough, baked traditionally; ODR – bez zakwasu, częściowo podpiekane i zamrażane, a następnie dopiekane / PBF – without sourdough, partially baked and frozen, and, next, finally baked; ODR+Z – z dodatkiem zakwasu, częściowo podpiekane i zamrażane, a następnie dopiekane / PBF+SD – with sourdough, partially baked and frozen, and, next, finally baked.

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values ± standard deviations; wartości średnie w kolumnach oznaczone różnymi indeksami literowymi są statystycznie istotnie różne przy $p < 0,05$ / mean values in columns and denoted by different letter superscripts are statistically significantly different at $p < 0.05$.

Bułki wypiekane metodą odrozoną charakteryzowały się istotnie większą ($p < 0,05$) zawartością skrobi wolno trawionej (SDS) niż wypieczone tradycyjnie. W bułkach ODR+Z zawartość SDS wynosiła 16,10 % s.m., a w ODR – 12,6 % s.m.

Z kolei, w bułkach wypiekanych tradycyjnie zawartość SDS wynosiła: w bułkach TRAD – 7,4 % s.m., a w TRAD+Z – 7,5 % s.m.

Zawartość skrobi szybko trawionej (RDS) była istotnie mniejsza ($p < 0,05$) w bułkach z dodatkiem zakwasu: ODR+Z – 27,4 % s.m. i TRAD+Z – 27,3 % s.m. w porównaniu z bułkami kontrolnymi TRAD – 30,8 % s.m. W bułkach wypiekanych w sposób odroczone, bez dodatku zakwasu (ODR) zawartość skrobi RDS wynosiła 29,1 % s.m.

Skrobia szybko trawiona powstaje podczas tradycyjnego wypieku pieczywa. W warunkach podwyższonej temperatury i w obecności wody dochodzi do jej kleikowania i tworzenia skrobi szybko ulegającej trawieniu i absorpcji w jelicie cienkim [29]. Jednocześnie zbyt częste spożycie produktów żywnościowych zawierających duże ilości frakcji RDS może prowadzić do zwiększonego stężenia glukozy we krwi, powyżej 180 mg/dl (tzw. hiperglikemii), oraz zwiększonego stężenia insuliny we krwi (tzw. hiperinsulinemii) i w konsekwencji stać się przyczyną insulinooporności, czyli stanu bezpośrednio poprzedzającego pojawienie się cukrzycy typu 2 [26, 28].

Proces zamrażania powoduje zmniejszenie zawartości skrobi RDS i jednocześnie zwiększenie zawartości frakcji SDS [9, 28]. Englyst i wsp. [9] oznaczyli RDS na poziomie 41 % s.m., natomiast po schłodzeniu skrobi – 33 % s.m. Wyniki uzyskane w badaniach własnych nie potwierdziły jednoznacznie wpływu zamrażalniczego przechowywania na zmniejszenie zawartości RDS. Pomiędzy bułkami TRAD i ODR nie stwierdzono statystycznie istotnej różnicy ($p < 0,05$) pod względem zawartości RDS, ale zaobserwowano pewną tendencję zmniejszenia ilości tego składnika. Istotne różnice ($p < 0,05$) zawartości RDS stwierdzono pomiędzy bułkami TRAD a ODR+Z i TRD+Z, co świadczy o większym wpływie zakwasu na zmniejszenie zawartości frakcji RDS. Jednocześnie stwierdzono wpływ dodatku zakwasu na wzrost zawartości frakcji SDS w bułkach wypiekanych metodą odroczonej (ODR+Z) w porównaniu z bułkami wypiekanyymi w tej samej technologii, lecz bez dodatku zakwasu (ODR). Kwas mlekowy wytworzony przez bakterie zawarte w zakwasie może sprzyjać powstawaniu wiązań pomiędzy skrobią a glutenem, czyniąc skrobię trudno dostępną dla enzymów trawiennych człowieka [10, 13, 18]. Innym działaniem kwasu mlekowego jest obniżanie pH środowiska, wpływającego na zmianę aktywności enzymów trawiennych, co może doprowadzać do zmniejszenia strawności skrobi [10].

Zawartość frakcji SDS w bułkach przechowywanych zamrażalniczo była istotnie większa ($p < 0,05$) od ilości tego składnika w bułkach wypiekanych tradycyjnie. Englyst i wsp. [9] również stwierdzili zwiększenie ilości skrobi wolno trawionej po mrożeniu gotowanych ziemniaków i makaronu. W świeżo gotowanych ziemniakach cytowani autorzy oznaczyli zawartość SDS na poziomie 5 % s.m., a po ich schłodzeniu – 11 % s.m. Natomiast w świeżo ugotowanym spaghetti zawartość frakcji SDS wynosiła 33 % s.m., a w makaronie schłodzonym zwiększyła się do 42 % s.m. Z kolei Ronda

i wsp. [28], w pieczywie poddanym zamrażalnemu przechowywaniu (-18 °C) przez 22 i 63 dni uzyskali zawartość SDS na poziomie odpowiednio: 26,0 i 29,9 % s.m. Wartości te były istotnie większe ($p < 0,05$) od zawartości SDS w pieczywie niepoddanym zamrażalnemu przechowywaniu (18,8 % s.m.). Natomiast zawartość frakcji RDS w cytowanych badaniach [28] zmniejszyła się z 51,9 % s.m. w pieczywie nieprzechowywanym zamrażalniczo poprzez 48,8 % s.m. w przechowanym przez 21 dni do 42,7 % s.m. w 63. dniu zamrażalnego przechowywania.

Podczas mrożenia dochodzi do retrogradacji skleikowanej uprzednio skrobi, poprzedzonej powstawaniem wiązań wodorowych pomiędzy cząsteczkami amylozy. W tej postaci skrobia tworzy uporządkowaną, zwartą strukturę, oporną na działanie enzymów trawiennych człowieka [29].

Związki fenolowe w zbożach występują głównie w postaci kwasów fenolowych: wolnych, rozpuszczalnych ich frakcji, następnie rozpuszczalnych, ale sprzężonych poprzez wiązanie estrowe z cukrami i innymi niskocząsteczkowymi składnikami roślin. Trzeci rodzaj to nierozpuszczalna frakcja kwasów fenolowych, związanych z komponentami ścian komórkowych, takimi jak: polisacharydy, białka, ligniny, kuty-na czy suberyna [21]. Ogólną pulę kwasów fenolowych w ziarniakach zbóż tworzą kwasy fenylokarboksylowe (p-hydroksybenzoesowy, salicylowy, protokatechowy, wanilinowy, galusowy i elagowy) i kwasy fenylopropenowe (kawowy, p-kumarowy, ferulowy, synapinowy), tworzące tzw. fenolokwasy. W ziarniakach zbóż dominującym kwasem fenolowym jest kwas *trans*-ferulowy [20]. W pszenicy najpowszechniej występują związane i nierozpuszczalne frakcje kwasów fenolowych (77 %), następnie – związane kwasy rozpuszczalne (22 %), a w najmniejszej ilości występuje frakcja wolnych i rozpuszczalnych kwasów fenolowych (0,5 ÷ 1 %) [16]. Oprócz kwasów fenolowych, w pszenicy oznaczono znaczne ilości alkilorezorcynoli, które są stabilne podczas procesu przetwarzania ziarna [21]. Całkowita zawartość polifenoli w mące pszennej i w pieczywie wynosi 28,3 ÷ 344 mg/100 g s.m., w przeliczeniu na kwas galusowy [1, 2, 24]. Wyniki uzyskane w badaniach własnych zawierają się w powyższym zakresie. Największą zawartość polifenoli ogółem stwierdzono w bułkach [mg kwasu galusowego w 100 g s.m.]: ODR+Z – 105,2 i ODR – 105,7. W bułkach wypiekanych tradycyjnie wykazano istotnie mniejszą ($p < 0,05$) zawartość tych związków [mg kwasu galusowego w 100 g s.m.]: 60,2 – w bułkach TRAD i 57,7 – w bułkach TRAD+Z. Dowodzi to, że proces zamrażania istotnie ($p < 0,05$) wpłynął na zwiększenie zawartości polifenoli ogółem w bułkach pszennych. W literaturze brak jest danych na temat wpływu procesu zamrażania pieczywa na zawartość polifenoli ogółem. Badania przeprowadzone przez Kolniak [14] dotyczyły zawartości polifenoli ogółem w przechowywanych zamrażalniczo truskawkach. Stwierdzono, że w wyniku zastosowania procesu mrożenia zawartość polifenoli ogółem w tych owocach wzrosła o 17 do 18,5 %, w zależności od odmiany truskawek. Zjawisko tłumaczono efektem uwolnienia się

związków polifenolowych z uszkodzonych komórek miąższu owoców bądź też obecnością związków kriochronnych, do których należą m.in. skrobia i pektyny [29]. W badaniach własnych, zastosowany proces mrożenia i zamrażalniczego przechowywania bułek pszennych mógł przyczynić się do uwolnienia związanych ze strukturami ścian komórkowych frakcji polifenoli i to mogło przyczynić się do istotnego ($p < 0,05$) wzrostu zawartości polifenoli ogółem w bułkach pochodzących z odroczonego wypieku. Innym wyjaśnieniem jest zastosowanie odczynnika Folina-Ciocalteu'a, który może reagować także z cukrami, kwasem askorbinowym, białkami, aminokwasami, jonami miedzi i żelaza [14]. Bułki ODR+Z charakteryzowały się największym dodatkiem polepszacza (3 g/100 g mąki), który zawierał m.in. kwas askorbinowy.

Dodatek zakwasu nie wpłynął na wzrost zawartości polifenoli ogółem w badanych bułkach ($p < 0,05$). Polifenole, w tym kwasy fenolowe oraz alkilorezorcynole, są klasą związków określaną mianem składników fitochemicznych [12]. Właściwości antyoksydacyjne produktów spożywczych determinowane są ich zawartością i biodostępnością [17, 20]. W przypadku produktów piekarskich ich ilość zależeć będzie od procesów przemiału mąki oraz technologii wypieku [7]. Fermentacja zakwasu przyczynia się do wzrostu łatwo ekstrahowalnych związków fenolowych [12, 17]. Z drugiej strony wiadomo jest, że poziom fitynianów, alkilorezorcynoli i tokoferoli ulega zmniejszeniu w pieczywie wypiekanym na zakwasie [12]. Stąd prawdopodobnie wynika brak wpływu dodatku zakwasu na poziom polifenoli ogółem w badanych bułkach.

Indeks glikemiczny oznaczono metodą *in vitro* i wyrażono jako wskaźnik trawienia skrobi (SDI). Istotnie ($p < 0,05$) największą wartością SDI [% s.m.] charakteryzowały się bułki TRAD – 76,4, a najmniejszą – bułki ODR+Z – 53,2. Wartość SDI bułek TRAD+Z oraz ODR kształtowała się na poziomie odpowiednio [% s.m.]: 65,8 i 56,4. Pomiędzy wszystkimi rodzajami bułek wystąpiły statystycznie istotne ($p < 0,05$) różnice wartości SDI.

Produkty spożywcze zawierające węglowodany można podzielić na trzy grupy: 1) o niskim indeksie glikemicznym (IG) ($< 55\%$), 2) o średnim indeksie glikemicznym ($55 \div 69\%$), 3) o wysokim IG ($> 70\%$) [26]. Pieczywo pszenne, niezależnie od stopnia przemiału mąki użytej do wypieku, charakteryzuje się wysoką odpowiedzią glikemiczną. Podczas wypieku pieczywa pszennego dochodzi do prawie całkowitego skleikowania skrobi i jej przejścia w formę łatwo trawioną, przyswajalną w przewodzie pokarmowym człowieka, co jest jedną z przyczyn wysokiego IG. SDI bułek TRAD znajdował się w przedziale powyżej 70 % s.m., tym samym zostały one zaklasyfikowane do produktów o wysokim IG. Dodatek zakwasu oraz zmiana technologii wypieku poprzez zastosowanie procesu zamrażania i zamrażalniczego przechowywania wpłynęły istotnie na obniżenie wartości SDI, dzięki czemu bułki TRAD+Z oraz ODR zaklasyfikowano do produktów o średnim indeksie glikemicznym ($55 \div 69\%$ s.m.), a bułki ODR+Z do produktów o niskiej odpowiedzi glikemicznej (poniżej 55 % s.m.).

Wpływ procesu zamrażania na obniżenie odpowiedzi glikemicznej w pieczywie psennym zaobserwowano w badaniach *in vitro* [9, 28] oraz *in vivo* [3, 4, 23]. Podczas zamrażalniczego przechowywania dochodzi do powstania m.in. skrobi odpornej [3, 23, 28]. Nie jest ona trawiona przez enzymy układu pokarmowego człowieka, tym samym produkty ją zawierające charakteryzują się obniżoną wartością indeksu glikemicznego [22].

W badaniach Englysta i wsp. [9], w świeżo ugotowanym spaghetti, wartość indeksu glikemicznego wyniosła 52 %, a po ochłodzeniu zmniejszyła się do 42 %. Badaniom poddano również ziemniaki, które, podobnie jak pieczywo pszenne, można zakwalifikować do produktów o wysokim IG. W świeżo ugotowanych ziemniakach wartość indeksu glikemicznego kształtowała się na poziomie 98 %, a po ich ostudzeniu – 87 %. Działanie naprzemiennych cykli niskiej i wysokiej temperatury (gotowanie i chłodzenie) doprowadziło do zmniejszenia przyswajalności skrobi zawartej w badanych produktach skrobiowych, co istotnie obniżyło ich odpowiedź glikemiczną.

W badaniach własnych bułki z dodatkiem zakwasu (TRAD+Z, ODR+Z) osiągnęły istotnie mniejszą ($p < 0,05$) wartość SDI, w porównaniu z bułkami kontrolnymi, wypiekаныmi bez dodatku zakwasu (TRAD, ODR). Wpływ dodatku zakwasu na wartość indeksu glikemicznego pieczywa psennego badali wcześniej inni autorzy [3, 15, 23], wykazując wpływ dodatku zakwasu na zmniejszenie odpowiedzi glikemicznej. De Angelis i wsp. [6] w badaniach *in vitro* sprawdzili wpływ dodatku zakwasu i błonnika z owsa na wartość indeksu glikemicznego. Wartość ta w pieczywie psennym wyniosła 72 %, natomiast w pieczywie z dodatkiem zakwasu i błonnika była znacznie mniejsza i wyniosła 53,7 %. Z kolei w badaniach przeprowadzonych z udziałem zdrowych ochotników [3] uzyskano wartość wskaźnika glikemicznego na poziomie 87 % w pieczywie wypiekanyim tradycyjnie, natomiast w pieczywie wypiekanyim w ten sam sposób, lecz z dodatkiem zakwasu – na niższym poziomie (63 %). Podobną zależność zaobserwowano także w przypadku pieczywa wypiekanyego metodą odroczonego wypieku [3, 23].

Wyjaśnieniem mogą być kwasy organiczne (np. kwas mlekowy) zawarte w zakwasie, które spowalniają rozkład węglowodanów pieczywa i opóźniają absorpcję w jelitach, poprzez obniżanie pH środowiska i tym samym optimum pH działania enzymów amylolitycznych [18]. Ponadto kwas mlekowy stwarza dobre warunki do reakcji pomiędzy skrobią a glutenem, a powstałe połączenie zmniejsza ilość skrobi dostępnej do trawienia enzymatycznego [13]. Do najmniejszej wartości wskaźnika SDI bułek ODR+Z mogła się również przyczynić największa zawartość w nich polifenoli ogółem, spośród wszystkich badanych bułek. Związki polifenolowe mogą, podobnie jak zawarte w zakwasie kwasy organiczne, opóźnić pasaż żołądkowy i tym samym zmniejszać odpowiedź glikemiczną produktów zbożowych [23].

Wyniki niniejszej pracy kształtują się na poziomie bardzo zbliżonym do rezultatów uzyskanych w warunkach *in vivo* przez innych autorów [3, 23] i wskazują na podobną tendencję w obniżaniu indeksu glikemicznego pod wpływem zastosowanych modyfikacji recepturowych (zakwas) i technologicznych (technologii wypieku pieczywa z zastosowaniem mrożenia i zamrażalniczego przechowywania). Tym samym można stwierdzić, że zastosowana metoda *in vitro* umożliwia uzyskanie porównywalnych, powtarzalnych i wiarygodnych wyników oraz jest tańsza i łatwiejsza w przeprowadzeniu.

Równoczesne zastosowanie zamrażalniczego przechowywania, realizowanego w ramach technologii odroczonego wypieku oraz dodatku zakwasu w proszku do ciasta z mąki pszennej jasnej doprowadziło do uzyskania produktu piekarskiego o niskiej odpowiedzi glikemicznej *in vitro* oraz zawierającego więcej substancji przeciwutleniających, co może być korzystne pod względem żywieniowym.

Wnioski

1. Zastosowanie technologii odroczonego wypieku przyczyniło się do zmniejszenia zawartości suchej masy w badanych bułkach ($p < 0,05$).
2. Dodatek zakwasu istotnie ($p < 0,05$) wpłynął na zmniejszenie zawartości frakcji RDS w badanych bułkach, niezależnie od zastosowanej technologii wypieku (TRAD+Z, ODR+Z). Dodatek zakwasu oraz zastosowanie mrożenia i zamrażalniczego przechowywania wpłynęła na zwiększenie zawartości frakcji SDS w bułkach pochodzących z odroczonego wypieku (ODR, ODR+Z).
3. Zastosowanie procesu mrożenia i zamrażalniczego przechowywania przyczyniły się do istotnego ($p < 0,05$) zwiększenia zawartości polifenoli ogółem w badanych bułkach.
4. Dodatek zakwasu oraz zastosowanie mrożenia i zamrażalniczego przechowywania spowodowały istotne ($p < 0,05$) zmniejszenie wartości indeksu glikemicznego oznaczonego metodą *in vitro*.

Pracę wykonano w ramach grantu BM-4736/KZCz/2013 finansowanego przez Uniwersytet Rolniczy w Krakowie z dotacji celowej na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich

Literatura

- [1] Alvarez- Jubete L., Wijngaard H., Arendt E.K., Gallagher E.: Polyphenol composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chem.*, 2010, **119**, 770-778.

- [2] Balestra F., Cocci E., Pinnavaia G., Romani S.: Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT*, 2011, **44**, 700-705.
- [3] Borczak B., Sikora E., Sikora M., van Haesendonck I.: The impact of sourdough addition to frozen stored wheat-flour rolls on glyceic response in human volunteers. *Starch - Stärke*, 2011, **63 (12)**, 801-807.
- [4] Cassab-Carreira M., Lajolo F.M., Wenzel de Menezes E.: Glycemic Index: Effect of food storage under low temperature. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2004, 569-574.
- [5] Chung HJ., Liu Q., Hoover R.: Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure, thermal properties, and nutritional fractions of pea, lentil, and navy bean starches. *Food Res. Int.*, 2010, **43**, 501-508.
- [6] De Angelis M., Gallo G., Corbo M.R., McSweeney P.L.H., Faccia M., Giovine M., Gobbetti M.: Phytase activity in sourdough lactic acid bacteria: purification and characterization of phytase from *Lactobacillus sanfranciscensis* cb1. *Int. J Food Microbiol.*, 2003, **87**, 259-270.
- [7] Dewettinck, K., van Bockstaele, F., Kühne, B., van De Walle, D., Courtens T.M., Gellynek X.: Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *J. Cereal Sci.*, 2008, **48 (2)**, 243-257.
- [8] Eckardt J., Ohgren, C., Alp A., Ekman S., Åström A., Chen G., Swenson J., Johansson D., Langton M.: Long-term frozen storage of wheat bread and dough. Effect of time, temperature and fibre on sensory quality, microstructure and state of water. *J. Cereal Sci.*, 2013, **57**, 125-133.
- [9] Englyst HN, Kingman SM, Cummings, JH.: Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1992, **46 (suppl)**, 33-50.
- [10] Fardet A., Leenhardt F., Lioger D., Scalbert A., Remsey C.: Parameters controlling the glyceic response to breads, *Nutr. Res. Rev.*, 2006, **19**, 18-25.
- [11] Garcia-Alonso A., Jiménez-Escrig A., Martin-Carrón N., Bravo, L., Saura-Calixto F.: Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chem.*, 1999, **66**, 181-187.
- [12] Gobbetti M., Rizello C.G., Di Cagno R., De Angelis M.: How sourdough may affect the functional features of leavened goods. *Food Microbiol.*, 2014, **37**, 30-40.
- [13] Katina K., Arendt E., Liukkonen K.H., Autio K., Flander L., Poutanen K.: Potential of sourdough for healthier cereal products, *Trends Food Sci. Technol.*, 2005, **16**, 104-112.
- [14] Kolniak J.: Wpływ sposobu zamrażania, rozmrażania oraz dodatków kriochronnych na zawartość polifenoli ogółem, antocyjanów i pojemność przeciwutleniającą mrozonek truskawkowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **5 (60)**, 135-148.
- [15] Lappi J., Selinheimo E., Schwab U., Katina K., Lehtinen P., Mykkänen H., Kolehmainen M., Poutanena K.: Sourdough fermentation of wholemeal wheat bread increases solubility of arabinoxylan and protein and decreases postprandial glucose and insulin responses. *J. Cereal Sci.*, 2010, **51 (1)**, 152-158.
- [16] Li I., Shewry R, Ward J.L.: Phenolic acids in wheat varieties in the Healthgrain diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, **56**, 9732-9739.
- [17] Liukkonen K.H., Katina K., Wilhelmson A., Myllymaki O., Lampi A.M., Kariluoto S., Piironen V., Satu-Maarit Heinonen S.M., Nurmi T., Adlercreutz H., Peltoketo A., Pihlava J.M., Hietaniemi V., Poutanen K.: Process induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proc. Nutr. Society*, 2003, **62**, 117-122.
- [18] Maioli M., Pes G.M., Sanna M., Cherchi S., Dettori M., Manca E., Farris G.A.: Sourdough-leavened bread improve postprandial glucose and insulin plasma levels in subject with impaired glucose tolerance, *Acta Diabetol*, 2008, **45**, 91-96.
- [19] Mały Rocznik Statystyczny Polski 2013. Główny Urząd Statystyczny, ISSN 1640-3630, Warszawa 2013. Matilla P., Pihlava J.M., Hellstrom J.: Contents of phenolic acids, alkyl- and alkenylresor-

- cinols, and avenanthramides in commercial grain products. *J. Agric. Food Chem.*, 2005, **53**, 8290-8295.
- [20] Naczek M., Shahidi F.: Extraction and analysis of phenolics in food. *J. Chromatog. A*, 2004, **1054** (1 - 2), 95-111.
- [21] Niba L.L.: Effect of storage period and temperature on resistant starch and β -glucan content in corn-bread. *Food Chem.*, 2003, **83** (4), 493-498.
- [22] Novotni D., Ćurić D., Bituh M., Colić I.C., Skevin D., Cukelj N.: Glycemic index and phenolics of partially-baked frozen bread with sourdough. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2011, **61** (1), 26-33.
- [23] Pérez-Jiménez J., Fulgencio S.C.: Literature underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. *J. Agric. Food Chem.*, 2005, **53**, 5036-5040.
- [24] PN-A-74108:1996. *Pieczczywo. Metody badań.*
- [25] Powell K.F., Holt H.A., Brand-Miller J.C.: International table of glycemic index and glycemic load values. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2002, **76**, 5-56.
- [26] Reguła J., Gramza-Michałowska A.: Wartość odżywcza oraz indeks glikemiczny produktów zbożowych z dodatkiem suszu bocznika ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2013, **5** (90), 119-128.
- [27] Ronda F., Gomez M., Quilez J.: Prolonged frozen storage of partially-baked wheat bread increases *in vitro* slowly digestible starch after final bake. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2010, **61** (6), 1-6.
- [28] Selomulyo V.O., Zhou W.: Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *J. Cereal Sci.*, 2007, **45**, 1-17.
- [29] Swain T, Hillis W.E.: The phenolic constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric.*, 1959, **10**, 63-68.

EFFECT OF BAKE-OFF TECHNOLOGY AND ADDED SOURDOUGH ON *IN VITRO* GLYCEMIC INDEX AND ON CONTENT OF TOTAL STARCH AND POLYPHENOLS IN WHEAT FLOUR ROLLS

S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the effect of the sourdough added into the wheat flour dough and the baking method (traditional baking method and bake-off technology with the application of freezing and frozen storage processes) on the content of starch and total polyphenols in rolls, as well as on the value of glycemic index that was measured *in vitro*.

Four types of wheat flour rolls were analyzed: 1) traditionally baked rolls (TRAD) as a control sample; 2) traditionally baked rolls with 3 % of sourdough (TRAD+SD) added; 3) rolls that were partially baked, frozen, and, next, finally baked (PBF); 4) rolls that were partially baked and frozen, and, next, finally baked with 3 % of sourdough added (PBF+SD).

The application of bake-off technology contributed to a reduction in the content of dry matter (DM) ($p < 0.05$) in the rolls studied from ca. 74 to 65-66 %. The sourdough added and the application of freezing and frozen storage processes caused the content of slowly digestible starch (SDS) to significantly ($p < 0.05$) increase in the rolls baked using BOT (in PBF rolls by 12.6 % of dry matter; in PBF+SD rolls by 16.10 % of dry matter (DM)) compared to the traditionally baked rolls (in TRAD rolls: 7.4 % of DM; in TRAD+SD rolls: 7.5 % of DM). The content of rapidly digestible starch (RDS) was significantly lower ($p < 0.05$) in the rolls with the sourdough added: in PBF+SD rolls: 27.4 % of DM and in TRAD+SD rolls: 27.3 % of DM compared to the traditionally baked rolls: 30.8 % of DM, and to the PBF rolls: 29.1 % of DM. The applied freezing and frozen storage processes caused the content of total polyphenols in the rolls studied to significantly increase [mg of gallic acid in 100 g of DM]: in PBF + SD rolls: 105.2 and in PBF

rolls: 105.7 vs. in TRAD rolls: 60.2 and in TRAD+SD rolls: 57.7. However, the sourdough added had no impact on the increase in the content of total polyphenols in the rolls studied ($p < 0.05$). The sourdough added and the freezing and frozen storage processes applied caused the *in vitro* measured value of glycemic index, expressed as a starch digestibility index (SDI), to decrease. The TRAD rolls were characterized by the highest value of SDI: 76.4 % of DM; and the PBF+SD rolls by the lowest SDI value: 53.2 % of DM.

The powdered sourdough added into the white wheat flour and the BOT method with storing the partially baked products under the frozen conditions make it possible to produce wheat flour rolls showing a low value of glycemic index and an increased content of polyphenols.

Key words: wheat rolls, method of baking, starch, glycemic index, polyphenols 