

ANNA MICHALSKA, HENRYK ZIELIŃSKI, MARIA SORAL-ŚMIETANA,
KAROLINA STEMPIŃSKA

**ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW FENOLOWYCH I POJEMNOŚĆ
PRZECIWUTLENIAJĄCA PRODUKTÓW ŻYTNICH
W SYMULOWANYCH *IN VITRO* ZMIANACH pH
W PRZEWODZIE POKARMOWYM ORAZ PO TRAWIENIU
ENZYMATYCZNYM *IN VITRO***

Streszczenie

W pracy badano pojemność przeciwutleniającą i poziom zmian związków fenolowych i flawonoidów ogółem w czterech typach pierników żytnich i dwóch typach chleba żytniego po symulowanych *in vitro* zmianach pH w przewodzie pokarmowym oraz po trawieniu enzymatycznym *in vitro*. Uzyskane wyniki wskazały, że zarówno symulowane *in vitro* zmiany pH, jak i trawienie enzymatyczne *in vitro* prowadzą do wzrostu zawartości związków fenolowych i flawonoidów ogółem oraz do znaczącego zwiększenia pojemności przeciwutleniającej badanych produktów żytnich. W pracy stwierdzono dodatnią korelację pomiędzy pojemnością przeciwutleniającą a poziomem związków fenolowych i flawonoidów produktów żytnich po zmianach pH, jak również po trawieniu enzymatycznym. Należy przypuszczać, że trawienie enzymatyczne może prowadzić do takiej modyfikacji matrycy, w wyniku której uwalniane są z niej związki fenolowe kształtujące w znacznej mierze pojemność przeciwutleniającą spożywanych produktów żytnich.

Słowa kluczowe: produkty żytnie, zmiany pH, trawienie enzymatyczne, pojemność przeciwutleniająca, związki fenolowe

Wstęp

Aktualna sytuacja epidemiologiczna w Polsce wskazuje na występowanie znaczącej liczby chorób związanych z nieodpowiednim stylem życia, a przede wszystkim z nieodpowiednim sposobem odżywiania. Coraz więcej uwagi skupia się na stworzeniu modelu żywienia, w którym diety, oprócz składników o podstawowych funkcjach żywieniowych, zawierają związki bioaktywne powszechnie występujące w świecie roślinnym [1]. Związki te obejmują m.in. witaminy, makro- i mikroelementy, związki

fitynowe oraz fenolowe. Dla konsumenta ważne jest, aby związki te były dostarczane wraz z dietą. Obecnie duże zainteresowanie budzą produkty zbożowe z powodu ich stałej i wysokiej konsumpcji. Szacuje się, że rocznie statystyczny Polak spożywa około 100 kg różnego typu pieczywa [2]. Jednym z najpopularniejszych zbóż uprawianych w krajach skandynawskich i środkowo-wschodniej Europie oraz Rosji jest żyto (*Secale cereale*) [3]. Ziarno żyta jest doskonałym źródłem błonnika pokarmowego, a także w porównaniu z innymi zbożami charakteryzuje się większą zawartością pentozańców [4]. Z tego też względu jest ono cennym surowcem w przetwórstwie rolno-spożywczym. To ostatnie obejmuje głównie piekarstwo i cukiernictwo, a najbardziej cenionymi produktami są chleby oraz pierniki żytnie wypieczone według tradycyjnych technologii. Zarówno chleb, jak i piernik stanowią cenne źródło składników bioaktywnych istotnie wpływających na poprawę modelu żywienia. Do składników tych zalicza się: składniki mineralne, witaminy z grupy B, lignany oraz niskocząsteczkowe przeciwutleniacze, takie jak: tokoferole i tokotrienole, fosforany inozytolu, związki tiolowe i fenolowe. Te ostatnie, obejmujące głównie kwasy fenolowe i w mniejszym stopniu flawonoidy, w znacznej mierze wpływają na pojemność przeciwutleniającą gotowych produktów żywnych [5, 14]. Doniesienia ostatnich lat wskazują, że przeciwutleniacze występujące w produktach żywnych wykazują zdolność do neutralizacji różnego typu wolnych rodników, których negatywny wpływ na organizm człowieka został udokumentowany. Istnieją fragmentaryczne doniesienia, że po spożyciu produktów żywnych może zachodzić dalsza modyfikacja ich pojemności przeciwutleniającej wywołana trawieniem enzymatycznym, jak również zmianami pH, które odzwierciedlają przemieszczanie się treści pokarmowej w układzie pokarmowym człowieka oraz jej interakcje z mikroflorą jelitową.

Celem badań było określenie wpływu symulowanych *in vitro* zmian pH w przewodzie pokarmowym oraz trawienia enzymatycznego na pojemność przeciwutleniającą i poziom związków fenolowych produktów żywnych.

Materiał i metody badań

Materiał badawczy stanowiły 2 rodzaje chleba wypieczonego z mąk żytnich o wyciągu 100% (CH1) i 92% (CH2) według tradycyjnej technologii na zakwasie i dodatkiem drożdży oraz pierniki żytnie: (P1) wypieczone na bazie mąki żytniej o wyciągu 100% i (P2) wypieczone na bazie mąki żytniej o wyciągu 92% oraz pierniki pszenno-żytnie (P3) wypieczone z mąki żytniej o wyciągu 100% i mąki pszennej jasnej i (P4) wypieczone z mąki żytniej o wyciągu 92% i mąki pszennej jasnej (P4). Mąki żytnie mieszano z mąką pszenną w proporcjach wagowych 40 : 60 (g/g). Receptura pierników obejmowała dodatek następujących składników w stosunku do 100 g mąki: 40 g miodu, 50 g cukru, 3 g proszku do pieczenia oraz 5 g przyprawy korzennej.

W celu określenia *in vitro* wpływu pH w warunkach obecnych w układzie pokarmowym na pojemność przeciwutleniającą oraz zawartość związków fenolowych i flawonoidów badanych produktów żywnych, homogenaty wodne chlebów oraz pierników inkubowano w temp. 37°C przez 30 min w środowisku o pH 6,5–7,0, następnie przez 30 min w pH 2,0 (symulacja przemieszczania się treści pokarmowej do żołądka), dalej przez 30 min w pH 6,0 (symulacja przemieszczania się treści pokarmowej w jelicie cienkim). Próby kontrolne stanowiły odpowiednie homogenaty inkubowane w temp. 37°C przez 90 min w pH 6,5–7,0. Po inkubacji próby wirowano przy 7500 × g przez 15 min w temperaturze pokojowej, po czym uzyskany supernatant przeznaczano do dalszej analizy [6].

Trawienie enzymatyczne produktów żywnych prowadzono metodą mimiczną ze wstępnym przeżuwaniem próbki i włączeniem enzymów ślinowych [7]. Tak uzyskany materiał poddawano działaniu pepsyny (2000 FIB-V/g), a następnie pankreatyny (40 g/L; 8 × USP) oraz amyloglukozydazy (3500 U). Trawienie prowadzono przez 16 godz., po czym całość wirowano w temp. 4°C, a uzyskany supernatant przeznaczano do dalszych badań. Próby kontrolne stanowił materiał uzyskany w identycznych warunkach bez zastosowania enzymów.

Związki fenolowe ogółem (TPC; z ang. Total Phenolic Compounds) oznaczano wg Shahidi i Naczka [8] i wyrażano w mg ekwiwalentu kwasu ferulowego (FA). Zawartość flawonoidów ogółem (TF; z ang. Total Flavonoids)) oznaczano wg metody Jia i wsp. [9] i wyrażano w µg katechiny. Pojemność przeciwutleniającą (TEAC; z ang. Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) określano metodą spektrofotometryczną wg Re i wsp. [10], natomiast zdolność do wygaszania rodników nadtlenkowych (PRTC, z ang. Peroxyl Radical Scavenging Capacity) wg metody Bartosza i wsp. [11].

Wyniki i dyskusja

Zmiany zawartości związków fenolowych (TPC) i flawonoidów (TF) ogółem po symulowanych in vitro zmianach pH w przewodzie pokarmowym i trawieniu enzymatycznym

W tab. 1. przedstawiono wyniki badań dotyczące poziomu związków fenolowych i flawonoidów ogółem po symulowanych *in vitro* zmianach pH. Zawartość związków fenolowych ogółem w próbach kontrolnych pierników żywnych i chleba żywnego wynosiła od 3,20 do 1,82 mg/g s.m. Stwierdzono, że symulowane *in vitro* zmiany pH w przewodzie pokarmowym powodowały w odniesieniu do prób kontrolnych wzrost zawartości TPC w piernikach typu P1, P2, P3 i P4, odpowiednio o 12,1, 6,2, 7,3 i 24,7%. Z kolei w chlebach żywnych CH1 i CH2 wykazano wyższy poziom TPC o 3,0 i 2,6% w stosunku do prób kontrolnych.

Tabela 1

Zawartość związków fenolowych ogółem (TPC) i flawonoidów (TF) w piernikach i chlebach żytnich po symulowanych *in vitro* zmianach pH w przewodzie pokarmowym.

Total phenolic compounds (TPC) and total flavonoids (TF) content in ginger and rye breads after simulated *in vitro* changes of pH in gastrointestinal tract.

Próba Sample	Związki fenolowe ogółem Total phenolic compounds [mg kwasu ferulowego/ g s.m.]	Flawonoidy ogółem Total flavonoids [µg katechiny/ g s.m.]
P1	3,05 ± 0,07 ^a	147,84 ± 5,73 ^a
P1 Próba kontrolna Control sample	2,72 ± 0,26 ^b	141,08 ± 3,82 ^a
P2	3,40 ± 0,11 ^c	172,16 ± 5,73 ^b
P2 Próba kontrolna Control sample	3,20 ± 0,03 ^{a,c}	166,76 ± 5,73 ^b
P3	2,36 ± 0,16 ^{f,e,d}	69,46 ± 1,91 ^c
P3 Próba kontrolna Control sample	2,22 ± 0,04 ^{h,g,f}	100,54 ± 0,00 ^f
P4	2,27 ± 0,09 ^{g,f,e}	66,76 ± 1,91 ^c
P4 Próba kontrolna Control sample	1,82 ± 0,15 ⁱ	77,57 ± 1,91 ^e
CH1	2,38 ± 0,01 ^{e,d,b}	203,24 ± 1,91 ^g
CH1 Próba kontrolna Control sample	2,31 ± 0,02 ^{d,b}	193,78 ± 3,82 ^d
CH2	2,00 ± 0,10 ^{i,h}	191,08 ± 3,82 ^d
CH2 Próba kontrolna Control sample	1,95 ± 0,04 ^{i,h,g}	170,81 ± 1,91 ^b

Objaśnienia: / Explanatory notes:

P1, P2, P3, P4 - próby pierników po symulowanych *in vitro* zmianach pH / ginger samples after simulated *in vitro* changes of pH;

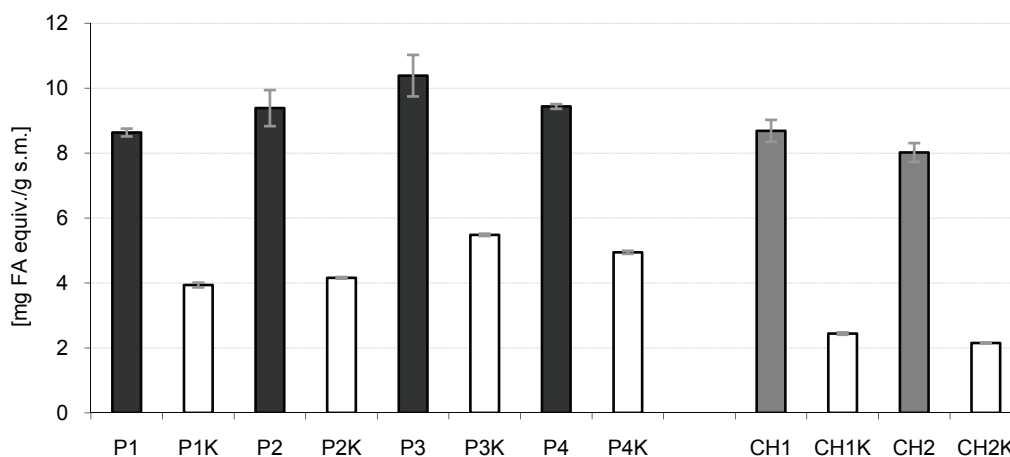
CH1, CH2 - próby chleba żytniego po symulowanych *in vitro* zmianach pH / rye bread samples after simulated *in vitro* changes of pH.

Próby kontrolne – próby pierników i chleba żytniego inkubowane w pH 6,5 - 7,0 / Control samples – ginger and rye bread samples incubated At pH 6,5 - 7,0.

a ,b,... – wartości oznaczone w indeksie tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie (P>0,5) / those mean values that are followed by the same letter in superscripts are not significantly different (P>0.5).

Zawartość flawonoidów ogółem (TF) w próbach kontrolnych pierników mieściła się w zakresie od 166,8 do 77,6 μg katechiny/g s.m., natomiast w chlebach żytnich CH1 i CH2 ich poziom był wyższy i wynosił od 170,8 do 193,8 μg katechiny/g s.m. Symulowane *in vitro* zmiany pH powodowały w piernikach P1 i P2 wypieczonych na bazie mąki żytniej o wyciągu 100 i 92% wzrost zawartości flawonoidów, odpowiednio o 4,8 i 3,2%. Jednakże w tych samych warunkach w piernikach pszenno-żytnich P3 i P4 stwierdzono zmniejszenie zawartości tych związków o 30,9 i 13,9% w odniesieniu do odpowiednich prób kontrolnych. Z kolei, w chlebie żytnim CH1 i CH2 po symulowanych *in vitro* zmianach pH zaobserwowano wzrost zawartości flawonoidów, odpowiednio o 4,8 i 11,8%.

Zmiany zawartości związków fenolowych (TPC) i flawonoidów (TF) ogółem po trawieniu enzymatycznym *in vitro*.



Objaśnienia: / Explanations:

P1, P2, P3, P4 - próby pierników po trawieniu enzymatycznym *in vitro* / ginger samples after enzymatic digestion *in vitro*;

CH1, CH2 - próby chleba żytniego po trawieniu enzymatycznym *in vitro* / rye bread samples after enzymatic digestion *in vitro*;

Próby kontrolne (K) - próby pierników i chleba żytniego niepodane trawieniu enzymatycznemu, Control samples (K) - ginger and rye bread samples not digested.

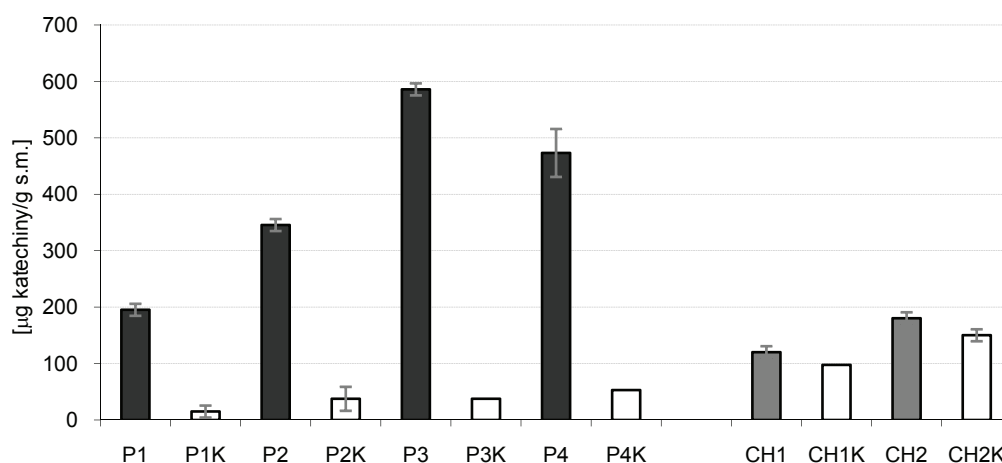
Rys. 1. Zawartość związków fenolowych ogółem w piernikach i chlebach żytnich po trawieniu enzymatycznym *in vitro*.

Fig. 1. Total phenolic compounds content in ginger and rye breads after enzymatic digestion *in vitro*.

Na rys. 1. przedstawiono zawartość związków fenolowych w próbach kontrolnych i próbach poddanych trawieniu enzymatycznemu *in vitro*. Badane pierniki niepoddane działaniu enzymów (P1K-P4K) charakteryzowały się wyższą zawartością TPC aniżeli chleby żytnie (CH1K, CH2K). I tak np. niepoddane działaniu enzymów pierniki P1K

zawierały o 38% więcej TPC w porównaniu z chlebem żytnim CH1K wypieczonym z mąki o wyciągu 100%. To zróżnicowanie wynikało jednak z doboru ilościowego składników do wypieku pierników i chleba, jak i również stosowania miodu podczas przygotowania ciasta piernikowego. Po trawieniu *in vitro* pierników, wypieczonych z mąk żytnich o wyciągu 100 i 92% (P1 i P2), jak również z mąki żytniej i pszennej (P3 i P4), zaobserwowano 2-krotny wzrost zawartości związków fenolowych. Obserwowane zmiany znajdują potwierdzenie w badaniach Liyana-Pathirana [12] oraz Andreasen i wsp. [13] dotyczących produktów pszennych i żytnich. Przedstawione zmiany zawartości TPC mogą być związane z uwolnieniem związków fenolowych z matrycy zachodzącym podczas enzymatycznej hydrolizy produktów zbożowych.

Na rys. 2. zamieszczono dane dotyczące zmian zawartości flawonoidów ogółem po trawieniu enzymatycznym *in vitro*.



Objaśnienia jak pod rys. 1. / Explanations as under Fig. 1.

Rys. 2. Zawartość flawonoidów ogółem w piernikach i chlebach żytnich po trawieniu enzymatycznym *in vitro*.

Fig. 2. Total flavonoids content in ginger and rye breads after enzymatic digestion *in vitro*.

Zawartość flawonoidów (TF) w próbach kontrolnych czterech typów pierników wynosiła 52,58–15,02 µg/g s.m. i była największa w piernikach P3K i P4K wypieczonych z mąk żytnich i pszennych. Trawienie enzymatyczne *in vitro* powodowało 13-, 9,2-, 15,6- i 9-krotny wzrost zawartości TF, odpowiednio w P1, P2, P3 i P4, w odniesieniu do prób kontrolnych. Zawartość flawonoidów w chlebach żytnich CH1K i CH2K wahała się od 150,2–97,7 µg katechiny/g s.m. i była 6,5 razy wyższa w chlebie żytnim CH1K w odniesieniu do piernika żytniego P1K, wypieczonego podobnie jak chleb z mąki żytniej o wyciągu 100%. Z kolei zawartość TF w chlebie żytnim CH2K

wypieczonym z mąki o wyciągu 92% była 10-krotnie wyższa w porównaniu z piernikami P2K wyprodukowanymi na bazie tej samej mąki. Proces trawienia *in vitro* chleba żytniego CH1 i CH2 prowadził do wzrostu zawartości flawonoidów o 23,1 i 20%.

Pojemności przeciwutleniająca pierników i chlebów żytnich mierzona testem TEAC i PRTC po zmianach pH i trawieniu enzymatycznym in vitro

Stwierdzono, że poddanie pierników i chlebów żytnich symulowanym *in vitro* zmianom pH, jak i trawieniu enzymatycznemu, ma wpływ na wartość ich pojemności przeciwutleniającej mierzonych testem TEAC wobec kationorodników ABTS⁺. Symulowane zmiany pH przewodności pokarmowej powodowały wzrost pojemności przeciwutleniającej pierników P1 i P2 wypieczonych z mąk żytnich (o wyciągu 100 i 92%) o 4 i 13,7%. Analogiczny wzrost TEAC o 5 i 34,6% wykazano w piernikach wypieczonych z mąk żytnich i pszennych (P3 i P4). Uzyskane wyniki zostały potwierdzone

Tabela 2

Pojemność przeciwutleniająca (TEAC) pierników i chlebów żytnich po symulowanych *in vitro* zmianach pH w przewodzie pokarmowym.

Antioxidant capacity of ginger and rye breads after simulated *in vitro* changes of pH in gastrointestinal tract.

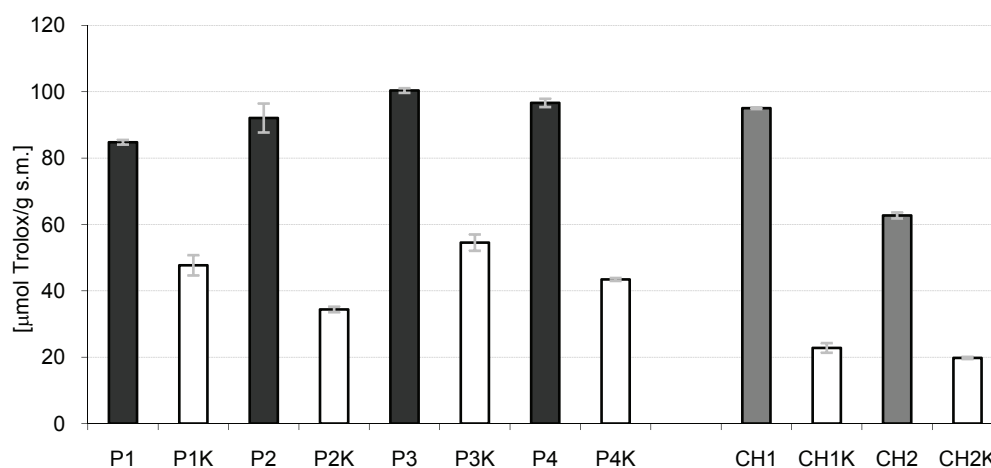
Próby Samples	TEAC [μmol Trolox / g s.m.]	PRTC [μmol Trolox / g s.m.]
P1	14,88 ± 0,48 ^a	1,85 ± 0,37 ^{a, d, e}
P1 Próba kontrolna Control sample	14,32 ± 0,59 ^{a, b}	1,18 ± 0,00 ^b
P2	18,46 ± 0,56 ^c	3,98 ± 0,15 ^c
P2 Próba kontrolna Control sample	16,23 ± 0,50 ^d	2,06 ± 0,37 ^{d, e, f}
P3	11,49 ± 1,05 ^{e, f}	1,85 ± 0,07 ^{a, d, e}
P3 Próba kontrolna Control sample	10,94 ± 0,56 ^e	0,74 ± 0,11 ^g
P4	12,81 ± 0,18 ^h	1,65 ± 0,07 ^a
P4 Próba kontrolna Control sample	9,49 ± 0,19 ^g	0,46 ± 0,15 ^g
CH1	14,65 ± 0,54 ^{b, a}	2,32 ± 0,00 ^f
CH1 Próba kontrolna Control sample	13,81 ± 0,44 ^{h, b, a}	1,70 ± 0,00 ^{a, d}
CH2	13,43 ± 0,08 ^{h, b}	2,09 ± 0,04 ^{e, f}
CH2 Próba kontrolna Control sample	12,65 ± 1,00 ^h	1,65 ± 0,18 ^a

Objaśnienia jak w tab. 1. / Explanation as in Tab. 1.

a ,b,... – wartości średnie oznaczone w indeksie tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie (P > 0,5) / those mean values that are followed by the same letter in superscripts are not significantly different (P > 0.5).

testem PRTC, w którym zdolność do neutralizowania rodników nadtlenkowych (ROO[•]) ekstraktów 4 typów pierników i 2 typów chleba poddanych symulowanym zmianom pH była wyższa odpowiednio o 56,7–25,8% i o 26,7–36,5% w stosunku do odpowiednich prób kontrolnych (tab. 2).

Pojemność przeciwutleniająca niepodanych działaniu enzymów pierników i chlebów żytnich mierzona testem TEAC wynosiła odpowiednio od 34,4 do 54,5 μg Trolox/g s.m. i od 19,8 do 22,8 μg Trolox/g s.m. Trawienie enzymatyczne *in vitro* pierników i chlebów żytnich prowadziło do wzrostu pojemności przeciwutleniającej TEAC (rys. 3). W przypadku pierników stwierdzono prawie 2–3-krotny wzrost TEAC. Analogiczne zmiany wystąpiły także w chlebach żytnich, wypieczonych z mąk o wyciągu 100 i 92%, w których stwierdzono wzrost TEAC odpowiednio o 317 i 217%.



Objaśnienia jak pod rys. 1. / Explanations as under Fig. 1.

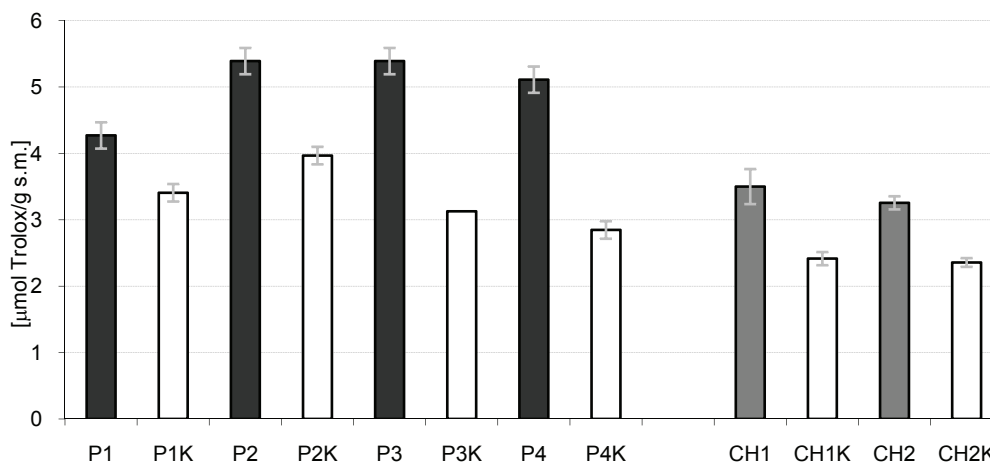
Rys. 3. Pojemność przeciwutleniająca pierników i chlebów żytnich po trawieniu enzymatycznym *in vitro*.

Fig. 3. Antioxidant capacity of ginger and rye breads after enzymatic digestion *in vitro*.

Uzyskane rezultaty pojemności przeciwutleniającej poddano weryfikacji za pomocą testu PRTC. Stwierdzono, że ekstrakty z nietrawionych enzymatycznie pierników P1K i P2K wykazywały wyższą zdolność do neutralizowania rodników nadtlenkowych odpowiednio o 68 i 41% w porównaniu z analogicznymi ekstraktami chlebów CH1K i CH2K (rys. 4). Z kolei trawienie enzymatyczne *in vitro* pierników prowadziło do prawie 2-krotnego wzrostu PRTC. W przypadku chlebów żytnich CH1 i CH2 odnotowano wzrost PRTC o około 45 i 37%.

Zastosowane w pracy dwie metody badania pojemności przeciwutleniającej wykorzystujące dwa typy rodników (ABTS^{•+} i ROO[•]) były z sobą dodatnio skorelowane

($r = 0,96$). Dostarczały one jednak odmiennych informacji o zdolności związków przeciwutleniających obecnych w badanych ekstraktach do neutralizowania generowanych *in vitro* wolnych rodników, albowiem wyniki uzyskane testem TEAC były wielokrotnie wyższe od uzyskanych testem PRTC. Pomimo tego stwierdzono, że zmiany pojemności przeciwutleniającej po trawieniu enzymatycznym *in vitro* mierzone testem TEAC i PRTC były dodatnio skorelowane ze zmianami zawartości TPC ($r = 0,98$ i $r = 0,94$) oraz ze zmianami zawartości TF ($r = 0,86$ i $r = 0,95$).



Objaśnienia jak pod rys. 1. / Explanations as under Fig. 1.

Rys. 4. Pojemność przeciwutleniająca pierników i chlebów żytnich mierzona testem PRTC.

Fig. 4. Peroxyl Radical Trapping Capacity of ginger and rye breads.

Wnioski

1. Symulowane *in vitro* zmiany pH w przewodzie pokarmowym czterech typów pierników i chlebów żytnich prowadziły do niewielkiego wzrostu poziomu związków fenolowych i flawonoidów ogółem.
2. W wyniku trawienia enzymatycznego *in vitro* badanych produktów żytnich następował znaczący wzrost poziomu związków fenolowych.
3. Stwierdzono pozytywną korelację pomiędzy pojemnością przeciwutleniającą a poziomem związków fenolowych badanych produktów żytnich po zmianach pH, jak również po trawieniu enzymatycznym.
4. Trawienie enzymatyczne może prowadzić do modyfikacji matrycy, w wyniku której uwalniane są z niej związki fenolowe kształtujące w znacznej mierze pojemność przeciwutleniającą spożywanych produktów żytnich.

Pracę wykonano w ramach grantu zamawianego PBZ-KBN-094/P06/2003/13 oraz w ramach wsparcia finansowego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej w ramach projektu Z/2.28/II/2.6/00015/06 „Transfer wiedzy pomostem do innowacyjności i konkurencyjności gospodarczej regionu – stypendia doktoranckie”. Praca stanowi fragment rozprawy doktorskiej A. Michalskiej. Była prezentowana podczas XII Ogólnopolskiej Sesji Sekcji Młodej Kadry Naukowej PTTŻ, Lublin, 23–24 maja 2007 r.

Literatura

- [1] Kunachowicz H., Nadolna I.: Jakość zdrowotna produktów zbożowych z uwzględnieniem żywności specjalnego żywieniowego przeznaczenia. *Przegl. Zboż. Młyn.*, 2002, **2**, 3-8.
- [2] Gąsiorowski H., Urbanowicz M., Kowalczyk Cz.: Chleb z żyta i owsa. *Problemy*, 1992, **545**, 31-32.
- [3] Lliukkonen K.-H., Heinio R.-L., Salmenkallio-Marttila M., Autio K., Katina K., Poutanen K.: Rye. In: *Bakery products – science and technology*, (red. Y.H. Hui), Blackwell Publishing, 1 August 2006, pp. 109-122.
- [4] Gąsiorowski H., Kączkowski J., Kołodziejczyk P.: Skład chemiczny ziarna żyta, W: *Żyto – chemia i technologia - pod red. Gąsiorowskiego H., PWRiL, Poznań 1994*, s. 52-72.
- [5] Michalska A., Ceglińska A., Amarowicz R., Piskula M.K., Szawara-Nowak D., Zieliński H.: Antioxidant contents and antioxidative properties of traditional rye breads. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, **55**, 734-740.
- [6] Baublis A.J., Clydesdale F.M., Decker E.A.: Antioxidants in wheat-based breakfast cereals. *Cereal Food World*, 2000, **45/2**, 71-74.
- [7] Akerberg A., Liljenberg H., Granfeldt Y., Drews A., Bjorck I.: An *in vitro* method, based on chewing, to predict resistant starch content in food allows parallel determination of potentially available starch and dietary fiber. *J. Nutr.*, 1998, **128**, 651-660.
- [8] Shahidi F., Naczek M.: Methods of analysis and quantification of phenolic compounds. In: *Food phenolic: sources, chemistry, effects and applications*. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania USA, 1995, pp. 287-293.
- [9] Jia Z., Tang M., Wu J.: The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem.*, 1998, **64**, 555-559.
- [10] Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C.: Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 1999, **26 (9/10)**, 1291-1237.
- [11] Bartosz G., Janaszewska A., Ertel D., Bartosz M.: Simple determination of peroxy radical-trapping capacity. *Biochem. Mol. Biol. Inter.*, 1998, **46/3**, 519-528.
- [12] Liyana-Pathirana Ch. M., Shahidi F.: Importance of insoluble-bound phenolics to antioxidant properties of wheat. *J. Agric. Food Chem.*, 2006, **54**, 1256-1264.
- [13] Andreasen M.F., Christensen L.P., Meyer A.S., Hansen A.: Release of hydrocinnamic and hydrobenzoic acids in rye by commercial plant cell wall degrading enzyme preparations. *J. Sci. Food Agric.*, 1999, **79**, 411-413.
- [14] Szajdek A., Borowska J.: Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, **4(41)**, 5-28.

**TOTAL PHENOLICS CONTENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF RYE PRODUCTS
AFTER SIMULATED *IN VITRO* pH CHANGES IN GASTROINTESTINAL TRACT AND
ENZYMATIC DIGESTION *IN VITRO***

S u m m a r y

The antioxidant capacity and the level of changes of phenolics compounds and total flavonoids in four types of ginger and two types of rye bread after stimulated *in vitro* pH changes in gastrointestinal tract and after enzymatic digestion *in vitro* were tested.

Obtained results showed that the stimulated *in vitro* pH changes and enzymatic digestion *in vitro* leads to increase phenolics compounds and total flavonoids content and to growth of antioxidant capacity of tested products. In the study, the positive correlation between antioxidant activity and content of total phenolic compounds and total flavonoids was shown. The results suggests that enzymatic digestions may lead to matrix modification, in which phenolics compounds are released and shape the antioxidant capacity in rye products.

Key words: rye-based products, pH changes, enzymatic digestion, antioxidant activity, phenolic compounds ☒