

BOŻENA KICZOROWSKA, DARIUSZ ANDREJKO,
ANNA WINIARSKA-MIECZAN, WIOLETTA SAMOLIŃSKA,
ELŻBIETA PRYSTUPA-RUSINEK

WPLYW PROCESÓW TERMICZNYCH NA ZMIANY PODSTAWOWEGO SKŁADU CHEMICZNEGO ZIARNA PSZENICY

Streszczenie

Celem pracy było określenie zmian składu chemicznego ziarna pszenicy odmian: 'Finezja', 'Retro' i 'Nikol' zachodzących pod wpływem ekstruzji i naświetlania promieniami podczerwonymi. Ziarno nawilżano do 15 i 25 % wilgotności i ekstrudowano w temp. 110/135/175/180/124 °C oraz naświetlano promieniami podczerwonymi w 100 i 130 °C przez 30 i 90 s. W materiale doświadczalnym oznaczono zawartość: suchej masy, popiołu surowego, tłuszczu surowego, białka ogólnego, włókna surowego, BAW, frakcji włókna (ADF, NDF, CEL, HCEL i ADL) oraz skrobi.

W ziarnie pszenicy naświetlanej w temp. 130 °C przez 90 s stwierdzono istotne zmniejszenie ($p \leq 0,05$) zawartości białka ogólnego (o 7 % w ziarnie 'Finezja' i o 5 % w ziarnie 'Retro') oraz tłuszczu surowego (o 4 % w odmianie 'Finezja'). W analizowanym materiale procesy termiczne spowodowały zmniejszenie zawartości włókna surowego, najwięcej w ekstrudowanym ziarnie 'Finezja', 'Retro' i 'Nikol', odpowiednio o: 38, 26 i 39 %. Zmniejszeniu uległa także zawartość skrobi w ekstrudowanym i w naświetlanym ziarnie 'Finezja' (odpowiednio o: 18,5 i 10 %). Zjawisko to obserwowano również w przypadku frakcji włókna pokarmowego. Największe ubytki dotyczyły: ADF (24 % – 'Nikol'), NDF (12 % – 'Retro' i 9 % – 'Nikol'), CEL (17 % – 'Nikol') oraz HCEL (16 % – 'Retro' i 10 % – 'Nikol'). Niekorzystnym efektem zastosowanych procesów był wzrost zawartości ADL (o 7 % w naświetlanym ziarnie pszenicy 'Finezja' i o 11 % – w ekstrudowanym ziarnie 'Retro'). Najlepszą modyfikację składu chemicznego ziarna w wyniku ekstruzji uzyskano w pszenicy 'Finezja' i 'Nikol', nawilżanej przed procesem do 25 % wilgotności, a w efekcie naświetlania – w odmianie 'Nikol'.

Słowa kluczowe: ziarno pszenicy, ekstruzja, naświetlanie promieniami podczerwonymi, węglowodany

Dr hab. inż. B. Kiczorowska, dr inż. A. Winiarska-Mieczan, dr inż. W. Samolińska, Instytut Żywności i Żywienia Zwierząt i Bromatologii, dr E. Prystupa-Rusinek, Katedra Biochemii i Toksykologii, Wydz. Biologii i Hodowli Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-934 Lublin, prof. dr hab. D. Andrejko, Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, Wydz. Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin

Wprowadzenie

Odmiany konsumpcyjne pszenicy przeznaczone są głównie do produkcji mąki o wysokiej jakości. Obok tradycyjnych zbożowych produktów żywnościowych na rynku coraz częściej pojawiają się produkty wytworzone w nowoczesnych procesach przetwarzania surowców roślinnych, tzw. galanteria śniadaniowa [3, 20, 21]. Ich popularność wśród konsumentów wynika nie tylko z wygody w przygotowywaniu posiłków, długiego terminu przydatności do spożycia, ale także wiąże się z pożądaną teksturą i smakiem [10, 12]. Produkty te charakteryzują się również zmienionym składem chemicznym i właściwościami odżywczymi w porównaniu z surowcem [6, 7, 8, 9]. Zboża w żywieniu człowieka są źródłem węglowodanów i głównie ta frakcja ulega modyfikacjom podczas procesów przetwarzania. Do najczęściej stosowanych technologii zalicza się metody termiczne, np. ekstruzję. Natomiast metodą mało popularną w Polsce, a dość rozpowszechnioną w Anglii, jest naświetlanie surowców promieniami podczerwonymi [4, 5].

Celem pracy było określenie zmian podstawowego składu chemicznego, włókna surowego oraz frakcji włókna i skrobi w ziarnie pszenicy odmian: 'Finezja', 'Retro' i 'Nikol', zachodzących pod wpływem procesów ekstruzji i naświetlania promieniami podczerwonymi.

Material i metody badań

Badania przeprowadzono na kwalifikowanym materiale roślinnym wysokiej jakości, pochodzącym ze zbiorów w 2011 i 2012 roku. Do badań wybrano ziarno pszenicy odmian: 'Finezja', 'Retro' i 'Nikol'. Pierwsze dwie odmiany charakteryzują się wysokimi parametrami jakości wypiekowej (typ A), natomiast odmiana pszenicy 'Nikol' zaliczana jest do ziarna o chlebowej jakości wypiekowej (typ B) [18]. W każdym roku doświadczenia, bezpośrednio od producentów w województwach warmińsko-mazurskim, podlaskim, lubelskim i podkarpackim, pobierano po 20 próbek ziarna każdej z odmian.

Ziarno pszenicy wybranych odmian poddawano obróbce termicznej w procesie ekstruzji i naświetlania promieniami podczerwonymi według schematu zamieszczonego w tab. 1.

Surowiec przeznaczony do ekstruzji rozdrabniano w rozbijaczu bijakowym, stosując kolejno sita o średnicy 6 i 3 mm. W rozdrobnionych próbkach przez 3 h stabilizowano zawartość suchej masy (temp. 105 °C). Ziarna pszenicy na 5 h przed ekstruzją nawilżano w suszarce bębnowej do założonych poziomów wilgotności 15 i 25 %. Ekstruzję przeprowadzano w ekstruderze dwuślimakowym. Proces odbywał się przy stałej liczbie obrotów ślimaków (60 obr./min). Temperatura kondycjonowania wynosiła 80 ÷

90 °C, a temp. ekstruzji wahała się od 110 °C, przez 180 °C do 124 °C. Produkt suszono w temp. ok. 30 °C.

Tabela 1. Schemat doświadczenia
Table 1. Schematic diagram of experiment

Odmiana pszenicy Wheat cultivar	Wariant dośw. Variant of experiment	Parametry ekstruzji Parameters of extrusion		Parametry naświetlania promieniami podczerwonymi Parameters of infrared radiation	
		Temperatura Temperature [°C]	Wilgotność Moisture [%]	Temperatura Temperature [°C]	Czas Time [s]
'Finezja'	Ziarno surowe (próba kontrolna) Raw grain (control sample) – F.C			-	-
	F.E - 1	110/135/175/180/124	15	-	-
	F.E - 2	110/135/175/180/124	25	-	-
	F.IR - 1A	-	-	100	30
	F.IR - 1B	-	-	100	90
	F.IR - 2A	-	-	130	30
	F.IR - 2B	-	-	130	90
'Retro'	Ziarno surowe (próba kontrolna) Raw grain (control sample) – R.C			-	-
	R.E - 1	110/135/175/180/124	15	-	-
	R.E - 2	110/135/175/180/124	25	-	-
	R.IR - 1A	-	-	100	30
	R.IR - 1B	-	-	100	90
	R.IR - 2A	-	-	130	30
	R.IR - 2B	-	-	130	90
'Nikol'	Ziarno surowe (próba kontrolna) Raw grain (control sample) – N.C			-	-
	N.E – 1	110/135/175/180/124	15	-	-
	N.E - 2	110/135/175/180/124	25	-	-
	N.IR - 1A	-	-	100	30
	N.IR - 1B	-	-	100	90
	N.IR - 2A	-	-	130	30
	N.IR - 2B	-	-	130	90

Do naświetlania promieniami podczerwonymi ziarno kalibrowano na sitach o prostokątnych oczkach. Do badań wybrano frakcję o średnicy 2,8 mm. Proces prowadzono 2-krotnie przy identycznie ustawionych parametrach. Ziarno zasypywano na taśmę pojedynczą warstwą – około 80-milimetrową (gęstość usypowa 711 kg·m⁻³, kąt usypu 34,9 °). Do obróbki termicznej zastosowano generator promieni podczerwonych z płaszczyznowym promiennikiem podczerwieni ESC-1 o mocy 400 W i średniej tem-

peraturze żarnika ok. 500 °C, a $\lambda = 2,5 - 3 \mu\text{m}$. Promiennik ustawiono w odległości około 100 mm od warstwy ziarna.

Z tak przygotowanych partii ziarna zbóż przetwarzanych i nieprzetwarzanych, po uprzednim uśrednieniu, pobierano 4 próbki o masie około 1 kg. Analizy chemiczne przeprowadzano w co najmniej 3 powtórzeniach. Według standardowych procedur w materiale badawczym oznaczano suchą masę (metoda 44-15A) [1], związki mineralne w postaci popiołu (metoda 08-01) [1], białko ogólne metodą Kjeldahla (46-06) [1], tłuszcz surowy metodą Soxhleta (30-10) [1], włókno surowe metodą weendeńską (32-10) [1] oraz zawartość związków bezazotowych wyciągowych (BAW – obliczone na podstawie podstawowego składu chemicznego).

Zawartość frakcji włókna oznaczano metodą opracowaną przez van Soesta [26, 27]. Metoda ta różnicuje skład włókna na frakcje: neutralno-detergentowe (NDF), kwaśno-detergentowe (ADF), celulozy (CEL), hemiceluloz (HCEL) i lignin (ADL). Pomiary wykonywano w aparacie Ankom²²⁰ Fiber Analyzer (ANKOM Technology, Macedon New York, USA). Neutralne włókno detergentowe (NDF) stanowi cała ściana komórkowa, która składa się głównie z celulozy, hemiceluloz i ligniny. Kwaśne włókno detergentowe (ADF) to przede wszystkim celuloza i ligniny. Różnice między zawartością NDF i ADF stanowi hemiceluloza.

W surowym i przetworzonym ziarnie pszenicy oznaczano zawartość skrobi metodą polarymetryczną [2]. Metoda ta składa się z dwóch etapów oznaczeń. W pierwszym etapie próbkę poddawano działaniu kwasu chlorowodorowego i w celu sklarowania dodawano roztwory Carreza I i Carreza II. Po sklarowaniu i przesączeniu mierzono skręcalność właściwą światła spolaryzowanego. W drugim etapie próbkę ekstrahowano 40-procentowym etanolem. Następnie dodawano kwas chlorowodorowy i gotowano. Po sklarowaniu i przesączeniu w próbce ponownie mierzono kąt skręcenia płaszczyzny światła spolaryzowanego. Różnicę (nie większą niż 0,4 % wartości bezwzględnej) pomiędzy dwoma pomiarami mnożono przez współczynnik skręcalności właściwej czystej skrobi (+ 182,7 °).

Wyniki poddano analizie statystycznej. Obliczano wartości średnie i współczynniki zmienności. Jeżeli współczynnik zmienności przekraczał wyznaczone doświadczalnie granice błędu danej metody, analizy wykonywano ponownie aż do uzyskania właściwego rozrzutu wyników. Obliczano również odchylenia standardowe, równania i współczynniki regresji. Określano różnice pomiędzy średnimi (jedno- lub wieloczynnikową analizą wariancji) z zastosowaniem testu wielokrotnego rozstępu Dunkana ($p = 95$ i 91 %, $p \leq 0,05$ i $p \leq 0,01$). Obliczenia wykonywano w programie Statistica 5.1.M (StatSoft Inc., Tulsa, OK).

Wyniki i dyskusja

Nieprzetworzone ziarno pszenicy, niezależnie od odmiany, charakteryzowało się zawartością wody poniżej 10 % (tab. 2). Zastosowanie ekstruzji, pomimo wcześniejszego nawilżenia surowca, i naświetlania promieniami podczerwonymi zwiększyło zawartość suchej masy, zwłaszcza w ziarnie odmian 'Finezja' i 'Retro'. Zmniejszenie wilgotności materiałów roślinnych w wyniku działania procesów termicznych zwiększa ich bezpieczeństwo mikrobiologiczne i wydłuża okres przydatności do spożycia [5, 13].

Zastosowane procesy przetwarzania nie spowodowały zmian ogólnej zawartości związków mineralnych. Natomiast zmiany wystąpiły we frakcji lipidowej. Stwierdzono istotne zmniejszenie ($p \leq 0,01$) zawartości tłuszczu surowego w ziarnie pszenicy odmiany 'Finezja' naświetlanej promieniami podczerwonymi, która charakteryzowała się największą jego zawartością ze wszystkich badanych odmian. Promienie podczerwone wnikające w głąb struktur tkankowych powodują wzrost temperatury. W takich warunkach wolne rodniki zwiększają aktywność do rekombinacji. Może wówczas dochodzić m.in. do tworzenia się kompleksów lipidowo-skrobiowych. Powstawanie tzw. skrobi odpornej obserwowali De Pilli i wsp. [14] w surowcach zbożowych z dodatkami wysokotłuszczowymi poddawanych ekstruzji.

Zmniejszenie zawartości białka ogólnego ($p \leq 0,01$) wykazano jedynie w wyniku naświetlania promieniami podczerwonymi i dotyczyły one ziarna odmian 'Finezja' i 'Retro'. Zjawisko to nasiliło się w ziarnie przetwarzanym w najwyższej temperaturze i w najdłuższym czasie (wariant IR – 2B). Jak podają Chaiyakul i wsp. [9], zmiany frakcji białkowej wiążą się głównie ze stratą aminokwasów. Szczególnie wrażliwe na prażenie są: lizyna, metionina i cysteina. Powstają wówczas nie tylko trudno strawne kompleksy białkowo-tłuszczowe, ale również tworzą się melanoidyny – lotne związki reakcji Maillarda, odpowiedzialne m.in. za zapach i barwę produktów. Należy do nich metianol, powstający z metioniny i bardzo łatwo przekształcany w lotne reaktywne związki siarkowe (metanotiol, disulfid dimetylowy).

W całym materiale badawczym wykazano istotne zmniejszenie ($p \leq 0,05$) zawartości włókna surowego. W próbkach F.E-2, R.E-2, N.E-2 oznaczono mniej tej frakcji w porównaniu z ziarnem surowym (odpowiednio o: 38, 26 i 39 %). Podobne zmiany stwierdzono w ziarnie naświetlanym promieniami podczerwonymi. Największe straty, nawet o 30, 18 i 37 % w odniesieniu do próby kontrolnej, stwierdzono w wariantach F.IR - 2B, R.IR - 1B i N.IR-1B. Jednocześnie w całym przetwarzanym materiale doświadczalnym, niezależnie od zastosowanej technologii, obserwowano zwiększenie ($p \leq 0,01$) zawartości cukrów łatwo hydrolizujących (BAW). Ze względu na zastosowaną metodę oznaczania, zmiany zawartości włókna surowego nie pozwalają na

Tabela 2. Podstawowy skład chemiczny ziarna wybranych odmian pszenicy [% suchej masy]
 Table 2. Basic chemical composition of grains of selected wheat cultivars [% dry matter]

Warianty dośw. Variants of experiment	Sucha masa Dry matter		Zw. miner. jako popioły surowy Mineral components in the form of crude ash		Tłuszcz surowy Crude fat (Ether extract)		Białko ogólne Total protein		Włókno surowe Crude fibre		BAW NFE	
	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD
'Fimezja'												
F.C	91,15	± 0,28	1,86	± 0,18	1,84 ^A	± 0,17	13,41 ^A	± 0,12	5,87 ^a	± 0,18	68,48 ^B	± 0,17
F.E - 1	92,41	± 0,24	1,84	± 0,13	1,86 ^A	± 0,16	13,33 ^A	± 0,13	3,88 ^c	± 0,16	71,50 ^B	± 0,28
F.E - 2	93,65	± 0,18	1,86	± 0,17	1,87 ^A	± 0,13	13,14 ^A	± 0,17	3,64 ^c	± 0,17	73,14 ^A	± 0,16
F.IR - 1A	92,83	± 0,24	1,85	± 0,28	1,81 ^{AB}	± 0,14	12,85 ^{AB}	± 0,13	4,24 ^b	± 0,13	72,08 ^{AB}	± 0,23
F.IR - 1B	93,67	± 0,17	1,83	± 0,21	1,79 ^{AB}	± 0,15	12,72 ^{AB}	± 0,14	4,18 ^b	± 0,15	73,15 ^A	± 0,28
F.IR - 2A	93,39	± 0,16	1,84	± 0,16	1,83 ^A	± 0,21	12,90 ^{AB}	± 0,17	4,33 ^b	± 0,17	72,49 ^{AB}	± 0,17
F.IR - 2B	93,92	± 0,23	1,86	± 0,18	1,76 ^B	± 0,15	12,51 ^B	± 0,16	4,09 ^{bc}	± 0,13	73,70 ^A	± 0,16
'Retro'												
R.C	92,16	± 0,09	1,79	± 0,16	1,77	± 0,23	12,13 ^A	± 0,21	6,17 ^a	± 0,24	70,30 ^B	± 0,17
R.E - 1	93,54	± 0,18	1,76	± 0,23	1,78	± 0,14	11,84 ^{AB}	± 0,21	4,78 ^c	± 0,21	73,38 ^A	± 0,16
R.E - 2	94,58	± 0,17	1,78	± 0,24	1,81	± 0,21	11,97 ^A	± 0,21	4,56 ^c	± 0,15	74,46 ^A	± 0,17
R.IR - 1A	95,68	± 0,24	1,75	± 0,15	1,76	± 0,16	12,00 ^A	± 0,16	5,12 ^b	± 0,16	75,05 ^A	± 0,18
R.IR - 1B	96,58	± 0,18	1,74	± 0,17	1,74	± 0,34	11,76 ^{AB}	± 0,23	5,07 ^{bc}	± 0,17	76,27 ^A	± 0,16
R.IR - 2A	95,14	± 0,17	1,76	± 0,19	1,76	± 0,16	11,95 ^A	± 0,16	5,32 ^b	± 0,16	74,35 ^A	± 0,18
R.IR - 2B	94,58	± 0,16	1,77	± 0,24	1,73	± 0,14	11,53 ^B	± 0,12	5,13 ^{bc}	± 0,24	74,42 ^A	± 0,19

‘Nikol’												
N.C	93,48	± 0,21	1,83	± 0,15	1,69	± 0,21	12,69	± 0,23	4,97 ^a	± 0,20	72,30 ^B	± 0,24
N.E - 1	94,58	± 0,16	1,82	± 0,14	1,71	± 0,24	12,51	± 0,23	3,19 ^{bc}	± 0,23	75,35 ^{AB}	± 0,16
N.E - 2	95,87	± 0,17	1,84	± 0,16	1,73	± 0,15	12,34	± 0,13	3,03 ^c	± 0,15	76,93 ^A	± 0,16
N.IR - 1A	96,85	± 0,09	1,82	± 0,21	1,66	± 0,16	12,53	± 0,14	3,45 ^b	± 0,17	77,39 ^A	± 0,17
N.IR - 1B	95,84	± 0,08	1,79	± 0,17	1,65	± 0,17	12,46	± 0,18	3,12 ^c	± 0,19	76,82 ^A	± 0,19
N.IR - 2A	93,84	± 0,15	1,86	± 0,17	1,72	± 0,15	12,67	± 0,17	3,57 ^b	± 0,16	74,02 ^A	± 0,21
N.IR - 2B	94,56	± 0,17	1,84	± 0,16	1,70	± 0,13	12,40	± 0,13	3,24 ^{bc}	± 0,17	75,38 ^B	± 0,23

Objaśnienia: / Explanatory notes:

BAW – związki bezazotowo-wyciągowe / NFE – nitrogen-free extract fraction; \bar{x} – wartość średnia / mean value; s – odchylenie standardowe / SD – odchylenie standardowe / standard deviation; n = 24

a, b, c – wartości średnie w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$) / mean values in columns and denoted by different small letters differ statistically significantly ($p \leq 0,05$); A, B, C – wartości średnie w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ($p \leq 0,01$) / mean values in columns and denoted by different capital letters differ statistically significantly ($p \leq 0,01$)

dokładną analizę zachodzących w nim zmian. W tym celu oznaczono zawartość poszczególnych frakcji wchodzących w jego skład. Jednak wykazane różnice ($p < 0,05$) zawartości włókna surowego w badanych ziarnach mogą sygnalizować kierunek konwersji jego struktur chemicznych. Zmniejszanie ogólnej zawartości włókna pokarmowego wiązane jest ze zwiększaniem rozpuszczalności frakcji trudno strawnych. Może dochodzić wówczas do formowania się nowych wiązań anhydroglukozy za pomocą dodatkowych transglukozydationów [6, 25]. Rehman i wsp. [22] oraz Guillon i Champ [16] wykazali, że gotowanie surowców roślinnych pod ciśnieniem powoduje degradację polisacharydów: celulozy i hemicelulozy do cukrów prostych, łatwiej trawionych w przewodzie pokarmowym. Jednocześnie produkt traci swoje właściwości włókniste i nie spełnia już swojej roli balastowej [24]. Duża zawartość frakcji rozpuszczalnej włókna w diecie jest jednak pożądana, ponieważ prowadzi do obniżenia poziomu cholesterolu i triacylogliceroli we krwi poprzez wiązanie cholesterolu dostarczanego z pożywieniem w strukturze żelowej, a to powoduje zmniejszenie jego wchłaniania oraz zwiększenie wydalania z kałem [12].

W przetworzonym ziarnie pszenicy obserwowano zmniejszenie ($p \leq 0,01$ i $p \leq 0,05$) zawartości frakcji ADF. Na taki efekt duży wpływ miała frakcja celulozy (tab. 3). Wśród próbek ekstrudowanych największe zmiany frakcji ADF ($R^2 = 0,88$) i CEL ($R^2 = 0,88$) stwierdzono w ziarnie 'Nikol' (odpowiednio 24 i 17 % w porównaniu z próbą kontrolną) – tab. 3 i 4.

Podobne zjawisko obserwowano w ziarnie pszenicy naświetlanej promieniami podczerwonymi. W tym przypadku wpływ procesu najmocniej zaznaczył się w stratach frakcji ADF ($R^2 = 0,64 - 0,81$) i CEL ($R^2 = 0,73 - 0,85$) pszenicy odmian 'Retro' i 'Nikol' (R.IR-2 – odpowiednio o około 8 i 10 % oraz N.IR-2 – odpowiednio o 11 i 16 % w odniesieniu do próby kontrolnej). Straty celulozy mogą wynikać z rozrywania wiązań wodorowych, związanych z grupą hydroksylową. Szczególnie istotne jest pękanie wiązań międzycząsteczkowych łączących łańcuchy celulozy, które są odpowiedzialne za wiele właściwości celulozy, takich jak: pęcznienie, rozpuszczalność i higroskopijność [19].

Zmiany frakcji NDF związane były głównie ze zmianami zawartości hemiceluloz. We wszystkich analizowanych wariantach stwierdzono zmniejszenie zawartości NDF w porównaniu z nieprzetworzonym ziarnem pszenicy. Największe straty wykazano w ziarnie ekstrudowanym (R^2 (NDF) = 0,82 - 0,85, R^2 (HCEL) = 0,82 - 0,88) – tab. 4. Wynosiły one nawet 12, 9 i 8 % NDF oraz 16, 10 i 7 % HCEL w porównaniu z próbą kontrolną (odpowiednio wariant RE, NE i FE) – tab. 3.

Tabela 3. Zawartość frakcji włókna pokarmowego oraz skrobi w ekstrudowanym i naświetlanym promieniami podczerwonymi ziarnie pszenicy [% suchej masy]

Table 3. Content of dietary fibre fraction and starch in extruded and infrared irradiated wheat grain [% dry matter]

Warianty dośw. Variants of experiment	ADF		NDF		ADL		CEL		HCEL		Skrobia Starch	
	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD	\bar{x}	s / SD
'Finezja'												
F.C	3,25 ^a	± 0,28	11,34 ^a	± 0,18	0,56 ^B	± 0,24	2,69	± 0,18	8,09	± 0,17	66,54 ^a	± 0,23
F.E - 1	2,95 ^b	± 0,24	10,56 ^{ab}	± 0,13	0,60 ^A	± 0,21	2,35	± 0,16	7,61	± 0,28	56,12 ^b	± 0,28
F.E - 2	2,97 ^b	± 0,18	10,48 ^{ab}	± 0,17	0,61 ^A	± 0,16	2,36	± 0,17	7,51	± 0,16	54,13 ^b	± 0,24
F.IR - 1A	3,15 ^{ab}	± 0,24	10,89 ^{ab}	± 0,28	0,59 ^A	± 0,17	2,56	± 0,13	7,74	± 0,23	61,24 ^{ab}	± 0,19
F.IR - 1B	3,18 ^{ab}	± 0,17	10,84 ^{ab}	± 0,21	0,58 ^{AB}	± 0,15	2,6	± 0,15	7,66	± 0,28	60,13 ^{ab}	± 0,16
F.IR - 2B	3,24 ^{ab}	± 0,16	10,94 ^{ab}	± 0,16	0,59 ^A	± 0,13	2,65	± 0,17	7,7	± 0,17	59,47 ^{ab}	± 0,25
F.IR - 2B	3,19 ^{ab}	± 0,23	10,23 ^b	± 0,18	0,60 ^A	± 0,09	2,59	± 0,13	7,04	± 0,16	58,46 ^{ab}	± 0,24
'Retro'												
R.C	3,18	± 0,09	10,87 ^a	± 0,16	0,61 ^b	± 0,28	2,57	± 0,24	7,69 ^A	± 0,17	63,17	± 0,17
R.E - 1	2,87	± 0,18	9,54 ^b	± 0,23	0,66 ^{ab}	± 0,16	2,21	± 0,21	6,67 ^B	± 0,16	60,15	± 0,13
R.E - 2	2,89	± 0,17	9,34 ^b	± 0,24	0,68 ^a	± 0,21	2,21	± 0,15	6,45 ^B	± 0,17	61,03	± 0,15
R.IR - 1A	2,98	± 0,24	10,78 ^a	± 0,15	0,61 ^b	± 0,13	2,37	± 0,16	7,8 ^B	± 0,18	61,48	± 0,17
R.IR - 1B	3,08	± 0,18	10,68 ^a	± 0,17	0,64 ^b	± 0,14	2,44	± 0,17	7,6 ^B	± 0,16	62,18	± 0,16
R.IR - 2A	2,94	± 0,17	10,09 ^{ab}	± 0,19	0,63 ^b	± 0,17	2,31	± 0,16	7,15 ^{AB}	± 0,18	63,08	± 0,13
R.IR - 2B	2,93	± 0,16	9,87 ^b	± 0,24	0,63 ^b	± 0,16	2,3	± 0,24	6,94 ^B	± 0,19	61,12	± 0,14

'Nikol'													
N.C	2,98	± 0,21	11,68	± 0,15	0,66	± 0,15	2,32 ^a	± 0,20	8,7 ^a	± 0,24	67,89 ^A	± 0,21	
N.E - 1	2,56	± 0,16	10,54	± 0,14	0,70	± 0,17	1,86 ^c	± 0,23	7,98 ^b	± 0,16	63,45 ^B	± 0,23	
N.E - 2	2,47	± 0,17	10,37	± 0,16	0,71	± 0,13	1,76 ^c	± 0,15	7,9 ^b	± 0,16	63,12 ^B	± 0,24	
N.IR - 1A	2,78	± 0,09	11,26	± 0,21	0,68	± 0,21	2,1 ^b	± 0,17	8,48 ^{ab}	± 0,17	65,48 ^{AB}	± 0,26	
N.IR - 1B	2,81	± 0,08	11,37	± 0,17	0,69	± 0,20	2,12 ^b	± 0,19	8,56 ^{ab}	± 0,19	64,12 ^{AB}	± 0,19	
N.IR - 2A	2,76	± 0,15	11,56	± 0,17	0,70	± 0,15	2,06 ^b	± 0,16	8,8 ^a	± 0,21	63,15 ^B	± 0,17	
N.IR - 2B	2,65	± 0,17	11,49	± 0,16	0,71	± 0,17	1,94 ^{bc}	± 0,17	8,84 ^a	± 0,23	62,45 ^B	± 0,16	

Objasnienia: / Explanatory notes:

ADF – włókno kwaśno-detergentowe / ADF: Acid-detergend fibre; NDF – włókno neutralno-detergentowe / NDF: Neutral-detergent fibre; ADL – ligniny / ADL: lignin; CEL – celuloza / CEL: cellulose; HCEL – hemicelulozy / HCEL: hemicellulose. Pozostate objaśnienia jak pod tab. 2. / Other explanatory notes as in Tab. 2.

Tabela 4. Równania regresji liniowej zmian zawartości frakcji włókna i skrobi w ziarnie pszenicy w zależności od przeprowadzonego procesu termicznego oraz współczynniki determinacji

Table 4. Linear regression equations of changes in contents of fibre fraction and starch in wheat grain depending on thermal process conducted and on coefficient of determination

Wyszczególnienie Specification	‘Finezja’		‘Retro’		‘NikoI’	
	E	IR	E	IR	E	IR
ADF						
y	-0,14 x + 3,34	-0,003 x + 3,21	-0,145 x + 3,3	-0,054 x + 3,18	-0,255 x + 3,18	-0,068 x + 3
R ²	0,6967	0,0127	0,6985	0,6440	0,8775	0,8124
NDF						
y	0,43 x + 11,65	-0,22 x + 11,49	-0,76 x + 11,4	-0,27 x + 11,26	0,655 x + 12,173	0,008 x + 11,45
R ²	0,8191	0,8191	0,8461	0,9001	0,8455	0,0060
ADL						
y	0,025 x + 0,54	-0,011 x + 2,65	0,035 x + 0,58	-0,08 x + 2,348	0,025 x + 0,64	0,012 x + 0,652
R ²	0,8929	0,1133	0,9423	0,5000	0,8929	0,9730
CEL						
y	-0,165 x + 2,79	0,008 x + 0,56	-0,18 x + 2,69	-0,06 x + 2,578	-0,28 x + 2,54	-0,08 x + 2,348
R ²	0,7214	0,6957	0,7512	0,75	0,8789	0,8457
HCEL						
y	-0,29 x + 8,317	0,214 x + 8,288	-0,62 x + 8,18	-0,215 x + 8,08	-0,4 x + 8,9933	0,06 x + 8,496
R ²	0,8748	0,7946	0,8782	0,8378	0,8242	0,3801
Skrobia / Starch						
y	-6,205 x + 71,34	-1,79 x + 66,55	-1,07 x + 63,59	-0,25 x + 62,96	-2,385 x + 69,59	-1,321 x + 8,581
R ²	0,8667	0,8006	0,4746	0,1838	0,1838	0,9406

Objasnienia: / Explanatory notes:

E – ziarno poddane ekstruzji / extruded grain; IR – ziarno naswietlane promieniami podczerwonymi / infrared irradiated grain; y – zmienna zależna / the dependent variable ; R² – współczynnik determinacji / coefficient of determination.

W całym materiale doświadczalnym, niezależnie od zastosowanych procesów, obserwowano zwiększenie zawartości ligniny, zwłaszcza w ziarnie odmiany 'Finezja' (F.IR-2B – 7 %, $p \leq 0,01$) i 'Retro' (R.E. – 11 %, $p \leq 0,05$) – tab. 3. Ligniny zbożowe są polimerami fenylopropanu, a ich rola w komórce roślinnej polega na jej ochronie w wyniku silnego scementowania włókienek celulozy. Dzięki temu lignina jest bardzo odporna na działanie czynników chemicznych oraz enzymatycznych i jednocześnie niemal całkowicie niestrawna [6].

Proces ekstruzji i naświetlania promieniami podczerwonymi spowodował zmniejszenie zawartości skrobi w ziarnie wybranych odmian pszenicy (tab. 3). Najbardziej wrażliwe na zastosowane czynniki procesów było ziarno 'Finezja'. Pod wpływem ekstruzji strata skrobi wyniosła w nim (F.E-2, $R^2 = 0,87$) 18,5 % ($p \leq 0,05$), a w wyniku naświetlania promieniami podczerwonymi (F.IR, $R^2 = 0,80$) – ponad 10 % (tab. 3 i 4). W ziarnie pszenicy 'Nikol' zarówno proces ekstruzji, jak i naświetlania promieniami podczerwonymi, wywołał średnio 7,5-procentowe zmniejszenie ($p \leq 0,05$) ilości tego składnika pokarmowego. Straty zawartości skrobi występują wskutek jej żelatynizacji zachodzącej w warunkach wysokiej temperatury. Jest ona definiowana jako nieodwracalne zniszczenie krystalicznej struktury skrobi w taki sposób, że każda cząsteczka jest udostępniana dla rozpuszczalników i reagentów [17]. Proces żelatynizacji zwiększa również zdolność skrobi do absorpcji dużych ilości wody, co może sugerować poprawę strawności produktu. Ponadto modyfikacja formy spirali amyloz może wpływać na strukturę produktów żywnościowych [15, 23, 28].

Wnioski

1. Stwierdzono wielokierunkowość zmian podstawowego składu chemicznego, charakterystycznego dla ziarna każdej z badanych odmian pszenicy, poddawanego procesom ekstruzji i naświetlania promieniami podczerwonymi. Głównie dotyczyły one zmniejszenia zawartości tłuszczu surowego (odmiana 'Finezja') i białka ogólnego (odmiana 'Finezja' i 'Retro'). W całym materiale roślinnym wystąpił również efekt podsuszenia, w wyniku którego zwiększyła się zawartość składników pokarmowych.
2. W ziarnie wszystkich analizowanych odmian pszenicy zastosowane procesy termiczne wpłynęły istotnie na zmniejszenie zawartości włókna surowego i skrobi. Efekt ten obserwowano również w przypadku frakcji włókna pokarmowego: ADF ('Finezja'), NDF ('Finezja' i 'Retro'), CEL ('Nikol') oraz HCEL ('Retro' i 'Nikol'). Niekorzystnym wynikiem zastosowania ekstruzji i naświetlania promieniami podczerwonymi był istotny wzrost zawartości niestrawnej ligniny ('Finezja' i 'Retro').
3. Pod względem żywieniowym najlepszą modyfikację składu chemicznego uzyskano w wyniku ekstruzji ziarna pszenicy 'Finezja' i 'Nikol', nawilżanej przed proce-

sem do 25 % wilgotności. Ziarno pszenicy 'Nikol' okazało się najmniej podatne na straty białka ogólnego i tłuszczu surowego oraz na tworzenie niestrawnych lignin podczas naświetlania promieniami podczerwonymi.

Literatura

- [1] AACC: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. American of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA, 2000.
- [2] AOAC: Official Methods of Analysis. 12th ed., Washington, USA, 1975. AOAC: Official methods of analysis of AOAC International. 17th edition. Gaithersburg, MD, USA, 2000.
- [3] Albertson A.M., Thompson D., Franko D.L., Kleinman R.L., Barton B.A., Crockett S.J.: Consumption of breakfast cereal is associated with positive health outcomes: evidence from the National Heart, Lung, and Blood Institute Growth and Health Study. *Nutr. Res.*, 2008, **28** (11), 744-752.
- [4] Alsaffar A.: Effect of thermal processing and storage on digestibility of starch in whole wheat grains. *J. Cereal Sci.*, 2010, **52** (3), 480-485.
- [5] Andrejko D.: Effect of micronization on the content of bacteria and fungi in a finely ground wheat grain (in Polish) *Inż. Roln.*, 2001, **10** (30), 9-14.
- [6] Anioła J., Górecka D.: Characteristics of the content and composition of the new high-fibers's preparations (in Polish). *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2004, **37**, 145-148.
- [7] Arntfield S.D., Scanlon M.G., Malcolmson L.J., Watts B., Ryland D., Savoie V.: Effect of tempering and end moisture content on the quality of micronized lentils. *Food Res. Int.*, 1997, **30** (5), 371-380.
- [8] Camire M.E.: Extrusion and nutritional quality. In: Guy R.: Extrusion cooking, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2001.
- [9] Chaiyakul S., Jangchud K., Jangchud A., Wuttijumnong P., Winger R.: Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT - Food Sci. Technol.* 2009, **42** (3), 781-787.
- [10] Charalampopoulos D., Wang R., Pandiella S.S., Webb C.: Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. *Int. J. Food Microbiol.*, 2002, **79**, 131-141.
- [11] Chaunier L., Valle G.D., Lourdin D.: Relationships between texture, mechanical properties and structure of cornflakes. *Food Res. Int.*, 2007, **40** (4), 493-503.
- [12] Cohn J.S., Kamili A., Wat E., Chung R.W.S., Tandy S.: Reduction in intestinal cholesterol absorption by various food components: Mechanisms and implications. *Atherosclerosis Suppl.*, 2010, **11** (1), 45-48.
- [13] Datta A.K., Ni H.: Infrared and hot-assisted microwave heating of food for control of surface moisture. *J. Food Eng.*, 2002 **51**, 355-364.
- [14] De Pilli T., Derossi A., Talja R.A., Jouppila K., Severini C.: Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology. *Innov. Food Sci. Emerg.*, 2011, **12** (4), 610-616.
- [15] Elleuch E., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker Ch., Attia H.: Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem.*, 2011, **124** (2), 411-421.
- [16] Guillon F., Champ M.: Structural and physical properties of dietary fiber, and consequence of processing on human physiology. *Food Res. Int.*, 2000, **33**, 233-245.
- [17] Hernández-Salazar M., Agama-Acevedo E., Sáyago-Ayerdi S.G., Tovar J., Bello-Pérez L.A.: Chemical composition and starch digestibility of tortillas prepared with non-conventional commercial nixtamalized maize flours. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2006, **57** (1-2), 143-150.

- [18] KR- National Register of Variety (in Polish), Krajowy Rejestr Odmian, Centralny Ośrodek Badań Roślin Uprawnych, 2006.
- [19] Muensri P., Kunanopparat T., Menut P., Siriwattanayotin S.: Effect of lignin removal on the properties of coconut coir fiber/wheat gluten biocomposite. *Composites Part A: Appl. Sci. Manufact*, 2011, **42** (2), 173-179.
- [20] Niemeier H.M., Raynor H.A., Lloyd-Richardson E.E., Rogers M.L., Wing R.R.: Fast food consumption and breakfast skipping: Predictors of weight gain from adolescence to adulthood in a nationally representative sample. *J. Adolescent Health*, 2006, **39** (6), 842-849.
- [21] Panagiotakos D.P., Antonogeorgos G., Papadimitriou A., Anthracopoulos M.B., Papadopoulos M., Konstantinidou M., Fretzayas A., Priftis K.P.: Breakfast cereal is associated with a Lower prevalence of obesity among 10-12-year-old children: The PANACEA study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2008, **18** (9), 606-612.
- [22] Rehman Z.U., Islam M., Shah W.H.: Effect of microwave and conventional cooking on insoluble dietary fibre components of vegetables. *Food Chem.*, 2003, **80** (2), 237-240.
- [23] Stojceska V., Ainsworth P., Plunkett A., Ibanoglu S.: The advantage of sing extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chem.*, 2010, **121**, 156-164.
- [24] Toeller M.: Fibre consumption, metabolic effects and prevention of complications in diabetic patients: epidemiological evidence. *Digest. Liver Dis.*, 2002, **34** (2), 145-149.
- [25] Vasanthan T., Gaosong J., Yeung J., Jihong L.: Dietary fiber profile of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chem.*, 2002, **77**, 35-40.
- [26] Van Soest P.: Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I: Preparation of fiber residues of low nitrogen content. *J. Offic. Agricult. Chem.*, 1963, **46** (5), 825-829.
- [27] Van Soest P.: Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II: A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Offic. Agric. Chem.*, 1963, **46** (5), 829-835.
- [28] Zarkadas L.N., Wiseman J.: Influence of processing variables during micronization of wheat on starch structure and subsequent performance and digestibility in weaned piglets fed wheat-based diets. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2001, **93** (1-2), 93-107.

EFFECT OF THERMAL PROCESSES ON CHANGES IN BASIC CHEMICAL COMPOSITION OF WHEAT GRAIN

Summary

The objective of the research study was to determine the changes in the chemical composition of grains of the 'Finezja', 'Retr' and 'Nikol' wheat cultivars resulting from the processes of extrusion and infrared radiation. The grains were moisturized to obtain 15 and 15 % of moisture therein and extruded at a temperature of 110/135/175/180/124 °C as well as irradiated by infrared radiation at 100 and 130 °C for 30 and 90 s. In the material analyzed, the following was determined: dry matter, crude ash, ether extract (crude fat), total protein, crude fibre, NFE, fibre fractions (ADF, NDF, CEL, HCEL and ADL), and starch.

In the wheat grains irradiated at a temperature of 130 °C for 90, a significant ($p \leq 0.05$) decrease in the content of crude protein was reported (about 7 % in the 'Finezja' grains and 5 % in the 'Retro' grains) and in the content of crude fat (4 % in the 'Finezja' grains). In the analyzed material, the thermal processes performed caused the content of crude fibre to decrease (the highest decrease was in the extruded 'Finezja', 'Retro', and 'Niko' grains, respectively: 38, 26, and 39 %). Additionally, the content of starch decreased in the extruded and irradiated 'Finezja' grains (respectively: 18.5 % and 10 %). The same phenomenon was also found in the case of dietary fibre fraction. The highest losses referred to the following: ADF (24 % - 'Nikol'); NDF (12 % - 'Retro' and 9 % - 'Nikol'); CEL (17 % - 'Nikol'); and HCEL (16 % -

and 10 % 'Retro' – 'Nikol'). An unfavourable effect of the processes applied was the increase in ADL (7 % in the irradiated 'Finezja' wheat grains and 11 % in the extruded 'Retro' grains). The best modification of the chemical composition was achieved by the process of extruding the 'Finezja' and 'Nikol' wheat grains that were moisturized to 25 % prior to the process; the infrared irradiation process resulted in the best modification of the chemical composition of the 'Nikol' wheat grains.

Key words: wheat grains, extrusion, infrared radiation, carbohydrates ☒