

Mikronizacja metodą modyfikacji składu chemicznego nasion fasoli, ze szczególnym uwzględnieniem węglowodanów

¹Bożena Kiczorowska, ¹Wioletta Samolińska, ²Dariusz Andrejko, ^{1,3}Ali Al-Yasiry

¹Instytut Żywienia Zwierząt i Bromatologii, ²Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin

³Department of Animal Resources, University of Wasit, Iraq

Abstrakt. Głównym czynnikiem ograniczającym użyteczność żywieniową nasion fasoli są substancje antyżywniowe. W celu ich usunięcia lub unieczynnienia stosuje się termiczne metody obróbki nasion, do których m.in. należy mikronizacja. Podczas tego rodzaju przetwarzania nasion może dochodzić również do wielokierunkowych modyfikacji składu chemicznego, który determinuje wartość odżywczą nasion. Dlatego za cel pracy przyjęto określenie zmian składu chemicznego nasion fasoli białej zachodzących pod wpływem naświetlania promieniami podczerwonymi w temperaturze 90, 130 i 180°C przez 30, 60, 90, 130 i 180 s. W nasionach fasoli oznaczono zawartość: suchej masy, popiołu surowego, tłuszczu surowego, białka ogólnego, włókna surowego, związków bezazotowych wyciągowych (BAW), frakcji włókna oraz skrobi. Oznaczenie podstawowego składu chemicznego i skrobi w materiale badawczym wykonano według standardowych procedur podanych w AACC (2000) i AOAC (2000). Naświetlanie promieniami podczerwonymi nasion fasoli spowodowało zwiększenie zawartości suchej masy i BAW ($P < 0,05$). Odwrotne zjawisko obserwowano natomiast w zawartości białka ogólnego i włókna surowego. Najmniej tych składników odżywczych oznaczono w wariantach FC-3 (180°C/90 s: białko – 22,09% suchej masy) i FC-5 (180°C/180 s: włókno 4,35% suchej masy). Naświetlanie wpłynęło również na zmniejszenie ($P < 0,05$) zawartości włókna kwaśno- i neutralno-detergentowego, celulozy oraz skrobi. Temperatury procesu 90°C i 130°C wpłynęły na największe obniżenie zawartości celulozy (ponad połowę oznaczonej ilości). Optymalną, z żywieniowego punktu widzenia, modyfikację składu chemicznego uzyskano w fasoli mikronizowanej w temperaturze 130°C.

słowa kluczowe: nasiona fasoli, naświetlanie promieniami podczerwonymi, węglowodany

WSTĘP

Wykorzystanie nasion roślin bobowatych, w tym fasoli, w żywieniu zwierząt, głównie wiąże się z ich zasob-

nością w białko. Są one także źródłem dobrze przyswajalnych związków węglowodanowych (Podleśny, 2005). W celu zwiększenia wartości odżywczej nasion bobowatych stosuje się wiele metod mających na celu usunięcie lub unieczynnienie związków, które niekorzystnie działają na organizm zwierzęcia. Od wielu lat z powodzeniem wykorzystuje się do tego celu procesy termiczne, barotermiczne lub barohydrotermiczne, jak np.: toastowanie, kondycjonowanie czy ekstruzję. Do termicznych procesów przetwarzania surowców roślinnych należy również mikronizacja, polegająca na naświetlaniu materiału roślinnego promieniami podczerwonymi. Proces ten znajduje również zastosowanie w przemyśle paszowym, w którym wykorzystywany jest m.in. do przetwarzania poszczególnych surowców przed włączeniem ich do mieszanek paszowych (Andrejko i in., 2008; Kiczorowska, 2013).

Podczas mikronizacji dochodzi do szerokiej modyfikacji składu chemicznego. Istotnym zmianom ulegają wszystkie grupy podstawowych składników pokarmowych: białka, tłuszcze i węglowodany. Szczególnie interesujące, bo wielokierunkowe, modyfikacje obserwuje się w obrębie węglowodanów (Kiczorowska, 2011). Do tej różnicowanej pod względem budowy grupy związków należą zarówno strawna skrobia, cukry proste, jak i ciężkostrawne lub całkowicie niestrawne składniki włókna pokarmowego. Niewątpliwie korzystnym efektem mikronizacji suchych surowców paszowych jest zwiększenie strawności skrobi, a także poprawa właściwości funkcjonalnych składników włóknistych surowców roślinnych (Zarkadas, Wiseman, 2001, 2005; Kiczorowska i in., 2015). Konwersja struktur włókna pokarmowego surowców roślinnych wpływa nie tylko na zmiany składu chemicznego, ale również na zdolności oddziaływania paszy na przewod pokarmowy. Obserwowane zmniejszenie ilości frakcji nierozpuszczalnych obniża jej właściwości balastotwórcze i siłę oddziaływania na perystaltykę jelit, jednocześnie zwiększając poziom energii metabolicznej, co pożądane jest szczególnie w żywieniu zwierząt monogastrycznych

Autor do kontaktu:

Bożena Kiczorowska
e-mail: bozena.kiczorowska@up.lublin.pl
tel. +48 81 4445 69 15

(De Vries i in., 2012; Choct, 2015). Z drugiej jednak strony w suchych surowcach roślinnych poddawanych obróbce termicznej może dochodzić do tworzenia się kompleksów lipidowo-skrobiowych, które nie poddają się działaniu enzymów trawiennych (Pineda-Gomez i in., 2011; Doporto i in., 2012; Moongngarm, 2013). Zmiany w obrębie składu chemicznego naświetlanych surowców mogą zachodzić z różną intensywnością w zależności od wartości parametrów, w jakich jest prowadzone naświetlanie. W celu uzyskania optymalnego pod względem walorów odżywczych produktu koniecznością wydaje się indywidualny dobór warunków mikronizacji (temperatury i czasu naświetlania) dla surowca uwzględniający jego właściwości fizykochemiczne.

Dlatego za cel pracy przyjęto określenie zmian składu chemicznego nasion fasoli białej zachodzących pod wpływem naświetlania promieniami podczerwonymi w trzech zakresach temperatury: 90, 130 i 180°C przez 30, 60, 90, 130 i 180 s.

MATERIAŁY I METODY

Materiał do badań i parametry procesu naświetlania

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem nasion fasoli będących kwalifikowanym materiałem roślinnym wysokiej jakości, pochodzącym ze zbiorów w 2013 i 2014 roku. Do badań, w okresie 3-4 tygodni po zbiorze, wybrano surowe nasiona fasoli białej (odmiana Mela). W każdym

roku doświadczenia pobierano po 20 próbek bezpośrednio od producentów w województwach podlaskim, lubelskim i podkarpackim.

Proces naświetlania promieniami podczerwonymi prowadzono 2-krotnie przy identycznie ustawionych parametrach (tab. 1). Nasiona zasypywano na taśmę pojedynczą warstwą o grubości ok. 100 milimetrów (gęstość usypowa warstwy nasion 960 kg m⁻³, kąt usypu 35,8°). Do obróbki termicznej zastosowano generator promieni podczerwonych z płaszczyznowym promiennikiem podczerwieni ESC-1 o mocy 400 W i średniej temperaturze żarnika ok. 500°C, a długość fal promieniowania podczerwonego (λ) wynosiła 2,5–3 mm. Promiennik ustawiono w odległości około 100 mm od warstwy nasion.

Metody analityczne

Z każdej partii nasion fasoli surowej i naświetlanej po uprzednim uśrednieniu pobierano 4 próbki o masie około 1 kg. Materiał rozdrabniano w młynku laboratoryjnym i oznaczano zawartość: suchej masy, popiołu surowego, tłuszczu surowego, białka ogólnego, włókna surowego, związków bezazotowych wyciągowych, frakcji włókna oraz skrobi. Analizy chemiczne przeprowadzono na zebranych materiale w każdym roku doświadczenia w co najmniej 3 powtórzeniach. Wyniki prezentowane w pracy są średnimi uzyskanych oznaczeń. Według standardowych procedur podanych w Official Methods of Analysis (AACC, 2000) w materiale badawczym oznaczano suchą masę (metoda 44-15A), związki mineralne w postaci popiołu (metoda 08-01), białko ogólne metodą Kjeldahla (46-06), tłuszcz surowy metodą Soxhleta (30-10), włókno surowe metodą weendeńską (32-10). Zawartość związków bezazotowych wyciągowych (BAW) obliczono na podstawie podstawowego składu chemicznego.

Zawartość frakcji włókna oznaczano metodą opracowaną przez Van Soesta (1963a, b). Metoda ta różnicuje skład włókna na frakcje: neutralno-detergentowe (NDF), kwaśno-detergentowe (ADF), celulozy (CEL), hemiceluloz (HCEL) i ligniny (ADL). Pomiary wykonywano w aparacie Ankom 220 Fiber Analyzer (ANKOM Technology, Macedon New York, USA). Włókno neutralno-detergentowe stanowi cała ściana komórkowa, która składa się głównie z celulozy, hemiceluloz i ligniny. Włókno kwaśno-detergentowe to przede wszystkim celuloza i ligniny. Różnicę między zawartością NDF i ADF stanowi hemiceluloza, a między ADF i ADL - celuloza.

W surowych i przetworzonych nasionach fasoli oznaczano zawartość skrobi metodą polarymetryczną (AOAC, 2000). 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

Tabela 1. Warianty warunków naświetlania nasion
Table 1. Variants of the seeds infrared radiation conditions

Wariant doświadczalny Variant of experiment	Parametry naświetlania promieniami podczerwonymi Parameters of infrared radiation	
	Temperatura Temperature [°C]	Czas Time [s]
	FA-1	90
FA-2	60	
FA-3	90	
FA-4	130	
FA-5	180	
FB-1	130	30
FB-2		60
FB-3		90
FB-4		130
FB-5		180
FC-1	180	30
FC-2		60
FC-3		90
FC-4		130
FC-5		180
FK	Nasiona surowe Raw seeds	

i gotowano. Po sklarowaniu i przesączeniu w próbce ponownie mierzono kąt skręcenia płaszczyzny światła spolaryzowanego. Zawartość skrobi wyliczono stosując wzór:

$$\text{zawartość skrobi (\%)} = \frac{2000 (P - P')}{[\alpha]_D^{20^\circ}}$$

gdzie:

P = całkowita skręcalność optyczna w stopniach kątowych,
P' = skręcalność optyczna w stopniach kątowych substancji rozpuszczalnych w 40% (v/v) alkoholu etylowym,

$[\alpha]_D^{20^\circ}$ = skręcalność optyczna czystej skrobi (+ 184°).

Wyniki otrzymanych oznaczeń poddano analizie statystycznej. Obliczono wartości średnie i współczynniki zmienności. Jeżeli współczynnik zmienności przekraczał wyznaczone doświadczalnie granice błędu danej metody, analizy wykonywano ponownie aż do uzyskania właściwego rozrzutu wyników. Dla powtórzeń obliczono odchylenie standardowe (SD), a różnice pomiędzy średnimi określono wykorzystując wieloczynnikową analizę wariancji, przyjmując za czynniki doświadczalne czas i temperaturę działania promieniowania podczerwonego, z zastosowaniem testu wielokrotnego rozstępu Duncana (dla wszystkich kombinacji określając istotność przy $\alpha = 0,95$; $P < 0,05$). W celu wykazania zależności i siły związku między zawartością skrobi a natężeniem czynników działających podczas mikronizacji (czas i temperatura) wyliczono współ-

czynniki korelacji (r). Obliczenia wykonywano w programie Statistica 10.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, 2011).

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 2 przedstawiono zmiany podstawowego składu chemicznego nasion fasoli białej poddawanej naświetlaniu promieniami podczerwonymi. Mikronizacja istotnie wpłynęła na zwiększenie zawartości suchej masy, szczególnie w nasionach naświetlanych w najwyższej z zastosowanych temperatur, oraz związków bezazotowych wyciągowych (BAW) w nasionach fasoli. W naświetlanej fasoli notowano obniżenie zawartości białka ogólnego (FA-2, FA-3, FB-3, FB-4 i FC) w suchej masie w porównaniu do nasion surowych ($P < 0,05$). Nie obserwowano natomiast istotnego wpływu zastosowanego procesu na udział popiołu surowego oraz tłuszczu surowego w suchej masie.

W porównaniu z surowymi mikronizowane nasiona fasoli charakteryzowały się istotnie ($P < 0,05$) większą zawartością suchej masy, nawet o około 9 punktów procentowych w wariancie FC. Efekt podsuszania materiału roślinnego w wyniku mikronizacji obserwowało wielu badaczy (Huang i in., 1998; Rehman, Shah, 2005; Panasiewicz i in., 2011; Kiczorowska, 2013). Zmniejszenie wilgotności materiałów roślinnych w wyniku działania procesów termicznych zwiększa ich bezpieczeństwo mikrobiologiczne i wydłuża okres przydatności do spożycia (Datta, Ni, 2002).

Tabela 2. Skład podstawowy nasion fasoli białej naświetlanych promieniami podczerwonymi [% suchej masy]
Table 2. Basic chemical composition of raw and infrared radiation white bean's seeds [% dry matter].

Wariant Variant	Sucha masa Dry matter		Popiół surowy Crude ash		Tłuszcz surowy Ether extract		Białko ogólne Crude protein		Włókno surowe Crude fibre		BAW NFE	
	średnia mean	SD	średnia mean	SD	średnia mean	SD	średnia mean	SD	średnia mean	SD	średnia mean	SD
FA-1	86,94 a	0,29	4,74*	0,19	2,70*	0,19	24,34 ab	0,22	5,04 a	0,08	63,18 a	0,59
FA-2	87,16 a	0,36	4,75	0,23	2,74	0,05	23,88 b	0,23	4,68 ab	0,15	63,95 a	0,48
FA-3	87,63 a	0,43	4,71	0,16	2,91	0,18	23,91 b	0,35	4,78 ab	0,13	63,69 a	0,43
FA-4	88,29 a	0,27	4,73	0,21	2,71	0,09	24,08 ab	0,18	4,77 ab	0,19	63,71 a	0,31
FA-5	88,34 a	0,48	4,77	0,15	2,74	0,05	24,20 ab	0,23	4,82 ab	0,08	63,47 a	0,29
FB-1	87,06 a	0,37	4,81	0,16	2,86	0,18	24,42 ab	0,24	4,80 ab	0,22	63,11 a	0,66
FB-2	87,19 a	0,39	4,70	0,24	2,91	0,17	24,23 ab	0,16	5,17 a	0,21	62,98 a	0,29
FB-3	88,38 a	0,27	4,67	0,26	2,67	0,19	23,38 b	0,18	4,67 ab	0,16	64,61 a	0,45
FB-4	88,89 a	0,28	4,85	0,14	2,88	0,18	23,38 b	0,17	4,57 b	0,32	63,82 a	0,34
FB-5	88,93 a	0,34	4,89	0,46	2,84	0,28	24,01 ab	0,16	4,82 ab	0,24	63,43 a	0,56
FC-1	87,33 a	0,26	4,82	0,17	3,08	0,14	23,11 b	0,24	5,19 a	0,15	63,80 a	0,31
FC-2	87,84 a	0,37	4,76	0,15	2,93	0,04	23,49 b	0,19	4,77 ab	0,17	64,06 a	0,43
FC-3	88,51 a	0,45	4,76	0,17	3,03	0,16	22,09 b	0,11	5,11 a	0,27	65,02 a	0,48
FC-4	88,52 a	0,27	4,78	0,14	2,99	0,12	22,73 b	0,18	4,42 b	0,26	65,08 a	0,35
FC-5	88,87 a	0,33	4,83	0,21	2,67	0,13	22,61 b	0,28	4,35 b	0,18	65,21 a	0,27
FK	80,79 b	0,41	5,19	0,27	2,96	0,16	27,84 a	0,23	5,48 a	0,21	58,53 b	0,26

BAW – związki bezazotowe wyciągowe; NFE – N-free extractives

SD – odchylenie standardowe; standard deviation

a, b... – wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie statystycznie ($P < 0,05$); values in columns marked with different letters are significantly differentiated ($P < 0,05$)

* nieistotne statystycznie; not significant differences

Odwrotne zjawisko obserwowano natomiast w zawartości białka ogólnego. Istotne ($P < 0,05$) zmniejszanie się zawartości białka wystąpiło w nasionach przetwarzanych w najwyższej temperaturze i w najdłuższym czasie, nawet o 5 punktów procentowych w wariantach: FC-3, FC-4, FC-5. Podobny efekt mikronizacji obserwowali również Vervuert i in. (2004) w ziarnie kukurydzy, która naświetlana była przez 30 s w temperaturze 300°C. Duże straty białka, sięgające nawet do 12 punktów procentowych, autorzy wiąźali z wysoką temperaturą procesu.

Zmiany frakcji białkowej wiąź się głównie ze stratą aminokwasów, szczególnie wrażliwe na działanie wysokiej temperatury są: lizyna, metionina i cysteina (Khattab i in., 2009). Wówczas tworzą się trudno strawne kompleksy białkowo-tłuszczowe, ale jednocześnie powstają melanoïdyny – lotne zwiąźki reakcji Maillarda, odpowiedzialne m.in. za zapach i barwę produktów. Należy do nich metianol, powstający z metioniny i bardzo łatwo przekształcany w lotne reaktywne zwiąźki siarkowe (metanotiol, disulfid dimetylowy). Mikronizacja, w zależności od surowca i warunków procesu, może mieć również nieznaczny wpływ na zawartość białka ogólnego. Zheng i in. (1998) nie notowali istotnych różnic w ilości tego składnika pokarmowego w mikronizowanych w temperaturze 140°C nasionach bobowatych (groszek zielony, groch, fasola, soczewica) oraz ziarnie zbóż (ryż, żyto, pszenica, jęczmień) naświetlanych promieniami podczerwonymi w 115°C. W naświetlanym materiale roślinnym obserwowali oni natomiast istotne zmniejszenie rozpuszczalności białka ogólnego w NaCl i etanolu w porównaniu z próbkami kontrolnymi.

Badany proces przetwarzania nasion spowodował wielokierunkowe modyfikacje włókna surowego i jego frakcji. Istotnie najmniej ($P < 0,05$) składników włóknistych oznaczono w fasoli naświetlanej w temperaturze 180°C przez 130 s (FC-4) i 180 s (FC-5), o około 1/5 w porównaniu z nasionami surowymi (tab. 2). Podobne zjawisko notowali również Vervuert i in. (2004) w mikronizowanym ziarnie kukurydzy. Zmniejszanie ogólnej zawartości włókna pokarmowego wiąźane jest ze zwiększaniem rozpuszczalności frakcji trudno strawnych. Może dochodzić wówczas do formowania się nowych wiąźań anhydroglukozy za pomocą dodatkowych transglukozydationów (Rehman, Shah, 2005). Kiczorowska i in. (2015) oraz Komolka i Górecka (2012) podkreślają, że wysokie przetwarzanie surowców roślinnych prowadzi do degradacji polisacharydów: celulozy i hemicelulozy. Jednocześnie produkt traci swoje właściwości włókniste i nie spełnia już swojej roli balastowej (Panasiewicz i in., 2011). Duża zawartość frakcji włókna w diecie jest korzystna. Toeller (2002) podaje, że prowadzi ona do obniżenia poziomu cholesterolu i triacylogliceroli we krwi poprzez wiąźanie cholesterolu dostarczanego z pożywieniem w strukturze żelowej. To powoduje zmniejszenie jego wchłaniania oraz zwiększenie wydalania z kałem (Cohn i in., 2010; Choct, 2015). Jednocześnie obserwowano istotne zwiększenie frakcji BAW ($P < 0,05$) nawet

o około 7 punktów procentowych w suchej masie nasion fasoli naświetlanych w najwyższej temperaturze (kombinacja FC).

Naświetlanie fasoli wpłynęło istotnie ($P < 0,05$) na zmniejszenie ilości włókna kwaśno-detergentowego we wszystkich analizowanych wariantach i neutralno-detergentowego w próbkach FA-1, FA-2, FB-1, FB-2 oraz FB-4 i FB-5 (tab. 3). Straty w zawartości ADF i NDF w wyniku mikronizacji obserwowali również Douglas i in. (1991) w ziarnie kukurydzy. Także Huang i in. (1998) notowali obniżenie zawartości frakcji NDF w ziarnie jęczmienia nawilżanym do wilgotności 18–20% i mikronizowanym w temperaturze 90–95°C przez 50 s. W prezentowanych badaniach zmiany zawartości frakcji ADF głównie uzależnione były od ilości celulozy. W całym naświetlanym materiale notowano istotnie ($P < 0,05$) duże straty celulozy, które w wariantach FB-4 i FB-5 sięgały średnio ponad 1/2 w odniesieniu do próbki kontrolnej. Mogą one wynikać z rozrywania wiąźań wodorowych, zwiąźanych z grupą hydroksylową. Waźnym zjawiskiem w kształtowaniu cech fizyko-chemicznych produktu jest pękanie wiąźań międzycząsteczkowych łączących łańcuchy celulozy, które są odpowiedzialne za wiele właściwości celulozy, takich jak: pęcznienie, rozpuszczalność i higroskopijność (Muensri i in., 2011). Natomiast obniżenie zawartości frakcji NDF, nawet o około 1/4 (FA, FB, FC) w porównaniu z udziałem tej frakcji w nasionach surowych, należy wiąźać ze zmianami ilości hemicelulozy i celulozy w przetworzonym materiale. Naświetlanie nasion fasoli w temperaturze 130°C (60 s) wpłynęło istotnie ($P < 0,05$) na obniżenie udziału HCEL (FB-2). Natomiast wydłużenie czasu procesu (180 s) i podniesienie temperatury zwiększyło istotnie ($P < 0,05$) zawartość HCEL w fasoli przetwarzanej w odniesieniu do kontroli (FC-1, FC-2 i FB-5).

Naświetlanie promieniami podczerwonymi nasion fasoli spowodowało obniżenie zawartości ($P < 0,05$) skrobi. Ilość tego składnika pokarmowego była ujemnie skorelowana z wzrastającą temperaturą procesu ($r = -0,82$). Wydłużanie czasu naświetlania nasion fasoli w temperaturze 90°C i 130°C wykazało silne ujemnie zależności korelacyjne z ilością oznaczanej skrobi (odpowiednio $r = -0,83$ i $-0,91$). Odwrotną korelację o podobnej sile obserwowano między czasem obróbki nasion a zawartością skrobi w fasoli naświetlanej w temperaturze 180°C ($r = 0,95$). Istotnie ($P < 0,05$) najniższą zawartość skrobi oznaczono w materiale przetwarzanym w temperaturach: 130°C (130 s) i 180°C (30, 90 s). Skrobia w warunkach wysokiej temperatury może ulegać żelatynizacji, w wyniku której może poprawiać się jej strawność. Proces ten najczęściej przebiega w obecności wody (Alsaffar, 2010; Hernández-Salazar i in., 2006). Jednak Aimone i Wagner (1977) obserwowali również degradację skrobi ziarna pszenicy w wyniku mikronizacji, a więc procesu termicznego prowadzonego na sucho. W warunkach *in vitro* stwierdzili istotnie zwiększoną jej podatność na hydrolizę enzymatyczną. O niecałko-

Tabela 3. Zawartość frakcji włókna pokarmowego w surowych i naświetlanych promieniami podczerwonymi nasionach fasoli białej (% s.m.)

Table 3. The content of dietary fiber in raw and infrared radiation white bean's seeds (% d.m.).

Wariant Variant	ADF		NDF		ADL		HCEL		CEL		Skrobia	
	średnia mean	SD	średnia mean	SD	średnia mean	SD	średnia mean	SD	średnia mean	SD	średnia mean	SD
FA-1	3,32 bc	0,28	8,35 b	0,22	śląd	-	5,03 bc	0,26	3,32 bc	0,28	38,59 a	0,45
FA-2	3,15 bc	0,34	8,67 b	0,38	śląd	-	5,52 b	0,28	3,15 bc	0,34	39,02 a	0,56
FA-3	4,32 b	0,37	9,24 ab	0,15	śląd	-	4,92 bc	0,35	4,32 b	0,37	38,92 a	0,35
FA-4	3,82 bc	0,16	9,23 ab	0,19	śląd	-	5,41 b	0,15	3,82 bc	0,16	37,92 a	0,67
FA-5	3,78 bc	0,18	9,33 ab	0,36	śląd	-	5,55 b	0,16	3,78 bc	0,18	37,52 a	0,16
FB-1	3,33 bc	0,24	8,32 b	0,34	śląd	-	4,99 bc	0,17	3,33 bc	0,24	37,82 a	0,98
FB-2	3,78 bc	0,38	8,15 b	0,18	śląd	-	4,37 c	0,34	3,78 bc	0,38	37,03 ab	0,47
FB-3	3,56 bc	0,46	9,26 ab	0,54	śląd	-	5,70 b	0,28	3,56 bc	0,46	36,81 b	0,33
FB-4	2,87 c	0,38	8,34 b	0,25	śląd	-	5,47 b	0,16	2,87 c	0,38	32,96 d	0,59
FB-5	2,54 c	0,28	8,78 b	0,13	śląd	-	6,24 a	0,18	2,54 c	0,28	33,25 cd	0,80
FC-1	3,99 bc	0,21	10,49 ab	0,25	śląd	-	6,50 a	0,24	3,99 bc	0,21	32,82 d	0,24
FC-2	4,44 b	0,16	10,74 a	0,23	śląd	-	6,30 a	0,36	4,44 b	0,16	33,44 c	0,36
FC-3	4,95 b	0,18	10,89 a	0,24	śląd	-	5,94 ab	0,22	4,95 b	0,18	33,26 cd	0,56
FC-4	3,89 bc	0,38	9,24 ab	0,17	śląd	-	5,35 b	0,35	3,89 bc	0,38	33,85 c	0,35
FC-5	4,21 b	0,46	9,87 ab	0,19	śląd	-	5,66 b	0,33	4,21 b	0,46	34,63 c	0,33
FK	6,34 a	0,54	11,68 a	0,33	śląd	-	5,34 b	0,31	6,34 a	0,54	38,84 a	0,43

ADF – włókno kwaśno-detergentowe; acid-detergent fiber

NDF – włókno neutralno-detergentowe; neutral-detergent fiber

HCEL – hemiceluloza; hemicellulose (NDF-ADF)

CEL – celuloza; cellulose (ADF-ADL)

ADL – lignina; lignine

SD – odchylenie standardowe; standard deviation

a, b, c, d – wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie statystycznie ($P < 0,05$); values in columns marked with different letters are significantly differentiated ($P < 0,05$)

witym zżelowaniu skrobi w suchych autoklawowanych nasionach bobu donoszą także Piecyk i in. (2012). Również oni obserwowali poprawę strawności nasion ogrzewanych na sucho w porównaniu do surowych, chociaż nie aż tak dużą jak w wyniku gotowania. Pojawienie się termicznej destrukcji skrobi, w wyniku działania wysokiej temperatury (160°C, 30 min), podczas prażenia obłuszczonego ziarniaków gryki o naturalnej wilgotności 14,5% sugeruje także Stempińska i in. (2007).

WNIOSKI

1. Naświetlanie promieniami podczerwonymi (mikronizacja) wpłynęło na wielokierunkowe zmiany podstawowego składu chemicznego nasion fasoli. Zastosowany proces spowodował istotne zmniejszenie ilości białka ogólnego i włókna surowego oraz zwiększenie ilości związków bezazotowych wyciągowych w porównaniu z materiałem surowym. W całym materiale roślinnym wystąpił również efekt podsuszenia, w wyniku którego zwiększyła się zawartość suchej masy.

2. W większości analizowanych wariantów przetwarzania nasion fasoli mikronizacja wpłynęła istotnie na

zmniejszenie zawartości skrobi. Efekt ten obserwowano również w przypadku frakcji włókna kwaśno- i neutralno-detergentowego oraz celulozy.

3. Zastosowane warunki mikronizacji różnie wpłynęły na frakcję hemiceluloz. Naświetlanie promieniami podczerwonymi nasion fasoli w temperaturze 90–130°C spowodowało zmniejszenie się jej zawartości, ale podniesienie temperatury do 180°C spowodowało zwiększenie udziału hemiceluloz.

4. Optymalną modyfikację składu chemicznego, z żywieniowego punktu widzenia, uzyskano w fasoli naświetlanej w temperaturze 130°C. W tych warunkach uwidocznił się efekt podsuszenia produktu. Nie notowano jednak znacznego obniżenia zawartości podstawowych składników pokarmowych, w tym białka ogólnego.

PIŚMIENNICTWO

- AACC, 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. American of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA.
- Aimone J.C., Wagner D.G., 1977. Micronized Wheat. II. Influence on Digestibility, Gas Production and Gelatinization. Journal of Animal Science, 44(6): 1096-1099.

- Alsaffar A., 2010.** Effect of thermal processing and storage on digestibility of starch in whole wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 52(3): 480-485.
- Andrejko D., Rydzak L., Ślaska-Grzywna B., Goździewska M., Kobus Z., 2008.** Influence of preliminary thermal processing applying infra-red radiation on pea seeds cooking process. *International Agrophysics*, 22:17-20.
- AOAC, 2000.** Official Methods of Analysis. 12th ed., Washington, USA, 1975. AOAC: Official methods of analysis of AOAC International. 17th edition. Gaithersburg, MD, USA.
- Choct M., 2015.** Feed non-starch polysaccharides for monogastric animals: classification and function. *Animal Production Science*, 55(12): 1360-1366.
- Cohn J.S., Kamili A., Wat E., Chung R.W.S., Tandy S., 2010.** Reduction in intestinal cholesterol absorption by various food components: Mechanisms and implications. *Atherosclerosis, Supplement*, 11(1): 45-48.
- Datta A.K., Ni H., 2002.** Infrared and hot-assisted microwave heating of food for control of surface moisture. *Journal of Food Engineering*, 51: 355-364.
- Douglas J.H., Sullivan T.W., Abdul-Kadir R., Rupnow J.H., 1991.** Influence of infrared (micronization) treatment on the nutritional value of corn and low-and high-tannin sorghum. *Poultry Science*, 70(7): 1534-1539.
- De Vries S., Pustjens A.M., Schols H.A., Hendriks W.H., Gerrits W.J.J., 2012.** Improving digestive utilization of fiber-rich feedstuffs in pigs and poultry by processing and enzymotechnologies: A review. *Animal Feed Sciences and Technology*, 178: 3-4, 123-138.
- Doperto M.C., Dini C., Mugridge A., Viña S.Z., García M.A., 2012.** Physicochemical, thermal and sorption properties of nutritionally differentiated flours and starches. *Journal of Food Engineering*, 113: 569-576.
- Hernández-Salazar M., Agama-Acevedo E., Sáyago-Ayerdi S.G., Tovar J., Bello-Pérez L.A., 2006.** Chemical composition and starch digestibility of tortillas prepared with non-conventional commercial nixtamalized maize flours. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57(1-2): 143-150.
- Huang S.X., Sauer W.C., Pickard M., Li S., Hardin R.T., 1998.** Effect of micronization on energy, starch and amino acid digestibility in hullless barley for young pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 78(1): 81-87.
- Khattab R.Y., Arntfield S.D., Nyachoti C.M., 2009.** Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6): 1107-1112.
- Kiczorowska B., 2011.** Zmiany składu ilościowego i jakościowego włókna pokarmowego ziarna żyta naświetlanego promieniami podczerwonymi w różnych warunkach procesu. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Biologia i Hodowla Zwierząt*, 580: 223-229.
- Kiczorowska B., 2013.** Zmiany wartości odżywczej nasion bobiku (*Vicia faba* L.) i łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius*) naświetlanego promieniami podczerwonymi oraz ich efektywność w odchowie kurcząt brojlerów. *Rozprawy Naukowe. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. ISSN 1899-2374*
- Kiczorowska B., Andrejko D., Winiarska-Mieczan A., Samo-lińska W., Rusinek-Prystupa E., 2015.** Modyfikacje podstawowego składu chemicznego z uwzględnieniem ilościowych i jakościowych zmian zawartości węglowodanów w ziarnie pszenicy pod wpływem procesów termicznych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(98): 116-130.
- Komolka, P., Górecka D., 2012.** Wpływ obróbki termicznej warzyw kapustnych na zawartość błonnika pokarmowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(81): 68-76.
- Moongngarm A., 2013.** Chemical compositions and resistant starch content in starchy foods. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 8(2): 107-113.
- Muensri P., Kunanopparat T., Menut P., Siritwattanayotin S., 2011.** Effect of lignin removal on the properties of coconut coir fiber/wheat gluten biocomposite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(2): 173-179.
- Panasiewicz M., Mazur J., Sosińska E., 2011.** Obróbka cieplna w prażaku wybranych nasion strączkowych przeznaczonych na cele spożywcze. *Inżynieria Rolnicza*, 15: 167-173.
- Piecnyk M., Worobiej E., Drużynska B., Wołosiak R., 2012.** Strawność skrobi i skład chemiczny nasion bobu (*Vicia faba*) poddanych obróbce termicznej. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 45(3): 414-420.
- Pineda-Gómez P., Coral D.F., Ramos-Rivera D., Rosales-Rivera A., Rodríguez-García M.R., 2011.** Thermo-alkaline treatment. A process that changes the thermal properties of corn starch. *Procedia Food Science*, 1: 370-378.
- Podleśny J., 2005.** Rośliny strączkowe w Polsce – perspektywy uprawy i wykorzystanie nasion. *Acta Agrophysica*, 6(1): 213-224.
- Rehman Z.U., Shah W.H., 2005.** Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chemistry*, 91(2): 327-331.
- Stempińska K., Soral-Smietana M., Zielinski H., Michalska A.N.N.A., 2007.** Wpływ obróbki termicznej na skład chemiczny i właściwości przeciwutleniające ziarniaków gryki. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 14(5): 66-76.
- Toeller M., 2002.** Fibre consumption, metabolic effects and prevention of complications in diabetic patients: epidemiological evidence. *Digestive and Liver Disease*, 34(2): 145-149.
- Van Soest P., 1963a.** Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I: Preparation of fiber residues of low nitrogen content. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 46(5): 825-829.
- Van Soest P., 1963b.** Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II: A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 46(5): 829-835.
- Vervuert I., Coenen M., Bothe C., 2004.** Effects of corn processing on the glycaemic and insulinaemic responses in horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 88(9/10): 348-355.
- Zarkadas L.N., Wiseman J., 2001.** Influence of processing variables during micronization of wheat-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 93: 93-107.
- Zarkadas L.N., Wiseman J., 2005.** Influence of processing of full fat soya beans included in diets for piglets: II. Digestibility and intestinal morphology. *Animal Feed Science and Technology*, 118(1-2): 121-137.
- Zheng G.H., Fasina O., Sosulski F.W., Tyler R.T., 1998.** Nitrogen solubility of cereals and legumes subjected to micronization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10): 4150-4157.

B. Kiczorowska, W. Samolińska, D. Andrejko, A. Al-Yasiry

MICRONIZATION AS A METHOD FOR IMPROVEMENT OF THE NUTRITIONAL VALUE OF BEAN SEEDS
WITH SPECIAL EMPHASIS
ON THE CARBOHYDRATE FRACTION

Summary

The main factor limiting the usefulness of the nutritional bean seeds are anti-nutritional substances. In order to remove them or apply thermal inactivation methods of seed treatment, which include be micronization. During this type of seeds treatment can occur also modify the chemical composition that determines the seeds nutritional value. The aim of the study was to determine changes in the chemical composition of white bean seeds induced by infrared irradiation at a temperature of 90, 130, and 180 °C for 30, 60, 90, 130, and 180 s. The bean seeds were analysed for the content of dry matter, crude ash, crude fat, total protein, crude fibre, nitrogen-free extract (NFE) compounds, and fibre and starch fractions. The basic chemical composition and starch were determined in the analysed material using standard procedures as AACC (2000) and AOAC (2000). Infrared irradiation of bean seeds increased the dry matter, and NFE contents ($P < 0.05$). A contrasting phenomenon was observed for the total protein and crude fibre contents. Lower amounts of these nutrients were noted in FC-3 (180 °C, 130 s: total protein – 22.09% dry matter) and FC-5(180° C/180 s: crude fibre 4.35% dry matter). The infrared irradiation of the bean seeds also resulted in a decrease ($P < 0.05$) in the content of acid and neutral detergent fibre, cellulose, and starch. The process temperature of 90 °C and 130 °C lowered the cellulose content. From a nutritional point an optimum modification of the chemical composition was achieved in bean seeds irradiated at a temperature of 130 °C.

key words: bean seeds, infrared radiation, carbohydrates