

JAROSŁAW KORUS

**ZAWARTOŚĆ FOSFORANÓW INOZYTOLU W SUCHYCH
I EKSTRUDOWANYCH NASIONACH FASOLI
(*PHASEOLUS VULGARIS* L.)**

Streszczenie

W pracy określono zawartość tri-, tetra-, penta- i heksafosforanów inozytolu w suchych nasionach pięciu odmian fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.) oraz wpływ parametrów ekstruzji na zawartość tych składników. Suche nasiona fasoli nie zawierały IP₃, natomiast dominującą formą był heksafosforan. Ekstruzja spowodowała hydrolizę IP₆ i wzrost zawartości pozostałych fosforanów. Najmniejszy wzrost zawartości IP₃, IP₄ i IP₅ i najmniejsze straty IP₆ stwierdzono w ekstrudatach uzyskanych przy wilgotności początkowej surowca 20% i temperaturze 120°C, a największy wzrost zawartości IP₃, IP₄ i IP₅ i największe straty IP₆ – przy wilgotności 14% i temperaturze 180°C.

Słowa kluczowe: fasola, ekstruzja, fosforany inozytolu

Wstęp

Właściwości fosforanów inozytolu zależą od stopnia ich fosforylacji. Pochodne o wyższym stopniu fosforylacji (IP₄, IP₅, IP₆) są zdolne tworzyć nierozpuszczalne kompleksy z wielowartościowymi kationami, np. wapnia, miedzi, żelaza, kobaltu, manganu i cynku, ograniczając w ten sposób ilość tych pierwiastków wchłanianych z przewodu pokarmowego. Natomiast pochodne inozytolu o niższym stopniu fosforylacji (IP₁, IP₂ i IP₃) nie tworzą takich kompleksów [10]. Najdokładniej poznano działanie na organizm heksafosforanu inozytolu IP₆ (kwas fitynowy), który w największych ilościach znajduje się w nasionach roślin strączkowych i ziarnach zbóż. W badaniach klinicznych stwierdzono, że wysoka zawartość tego składnika w diecie (wynikająca z dużego udziału w niej nasion roślin strączkowych i zbóż) była ujemnie skorelowana z występowaniem raka jelita grubego. Jego skuteczność wzrastała przy jednoczesnym podawaniu inozytolu. Oprócz działania antykancerogennego IP₆ stwierdzono również

wpływ tego składnika na zmniejszenie tendencji tworzenia się kamieni nerkowych, redukcję ryzyka rozwoju chorób sercowo-naczyniowych, wykazano także efekt hipocholesterolemiczny [6, 17]. Także produkty defosforylacji IP_6 odgrywają istotną rolę w organizmie. Na przykład IP_3 działając na poziomie komórkowym, wpływa na zwiększenie aktywności komórek NK (ang. natural killer), co intensyfikuje odpowiedź systemu immunologicznego na karcynogenezę [6].

Kwas fitynowy jest główną formą magazynowania fosforu w nasionach roślin strączkowych. W nasionach fasoli występuje głównie w postaci soli potasowych lub magnezowych, a w nasionach soi – wapniowych i potasowych [4, 5, 15]. Podczas przetwarzania żywności fityniany, pod działaniem natywnych fitaz znajdujących się w roślinach lub zewnętrznych enzymów, np. pochodzenia mikrobiologicznego, ulegają hydrolizie do inozytolu i fosforanu nieorganicznego poprzez pośrednie mono-, di-, tri-, tetra- i penta-fosforany inozytolu. Także procesy termiczne podczas przetwarzania żywności mogą prowadzić do częściowej nieenzymatycznej hydrolizy fitynianów [13]. Fityniany mogą tworzyć kompleksy z białkami, zmniejszając tym samym ich biodostępność, dlatego są uważane za związki przeciwodżywcze. Jednak z drugiej strony spełniają także w organizmie pozytywną rolę, działając jako przeciwutleniacze przez kompleksowanie jonów żelaza, co redukuje powstawanie wolnych rodników hydroksylowych i zmniejsza peroksydację membran komórkowych [4, 6, 14].

Celem badań było określenie wpływu wilgotności materiału i temperatury ekstruzji fasoli na zawartość w otrzymanych ekstrudatach poszczególnych fosforanów inozytolu.

Materiał i metody badań

Materiałem badawczym były suche nasiona pięciu polskich odmian fasoli, o różnym zabarwieniu okrywy nasiennej: czerwonym - Augusta, Rawela, czarnym - Nigeria, Tip-Top i kremowym - Toffi, pochodzące z hodowli twórczej Zakładu Hodowli i Nasiennictwa Ogrodniczego PlantiCo w Szymanowie. Nasiona rozdrabniano w młynku Pulverisette 14 firmy Fritsch i nawilżano do 14 lub 20% wilgotności. Ekstruzję prowadzono w ekstruderze jednoślismakowym 20DN firmy Brabender. Stosowano dwa profile temperaturowe: $80^{\circ}C/100^{\circ}C/120^{\circ}C$ i $120^{\circ}C/160^{\circ}C/180^{\circ}C$. Ekstrudaty chłodzono w temperaturze pokojowej, mielono jak opisano wyżej i przesiewano przez sito o średnicy oczek 0,5 mm.

Oznaczenia zawartości tri-, tetra-, penta- i heksafosforanu inozytolu wykonywano według Sandberga i Adherinne [12]. Próbkę w ilości 0,5 g ekstrahowano 20 cm^3 0,5 M roztworu HCl w probówce wirówkowej, stale mieszając mieszadłem magnetycznym przez 5 godz. Po odwirowaniu supernatant mrożono przez noc w temp. $-18^{\circ}C$. Po rozmrożeniu próbkę ponownie wirowano i 10 cm^3 uzyskanego supernatantu przenoszono do próbki wirówkowej, po czym odparowywano do sucha (przy użyciu nadmuchu

powietrza). Wysuszoną próbkę rozpuszczano w 15 cm³ 0,025 M HCl, наносzono na kolumnkę wypełnioną Dowexem AG 1x8 i przemywano kolejno 10 i 5 cm³ 0,025 M roztworu HCl. Fosforany inozytoli wymywano z kolumnki pięcioma porcjami 4 cm³ 2M roztworu HCl. Eluent zbierano do próbki szklanej, odparowywano do sucha i rozpuszczano w 2 cm³ fazy ruchomej.

Zawartość poszczególnych form fosforanów inozytoli oznaczano przy użyciu chromatografu cieczowego Shimadzu (pompa LC-10 AD, detektor RID-6A). Rozdziału związków dokonywano w kolumnie NovaPac RP-18 (Waters) o wymiarach 3,9 x 150 mm. Jako fazy ruchomej używano mieszaniny 0,05 M kwasu mrówkowego i metanolu w stosunku 49:51 z dodatkiem wodorotlenku tetrabutylamonu w ilości 1,5 cm³/100 cm³ fazy. Stosowano przepływ 0,5 cm³/min. Standardem zewnętrznym była sól sodowa heksaforfanu inozytoli.

Uzyskane wyniki poddano ocenie statystycznej testem F-Snedecora i t-Studenta. Najmniejszą istotną różnicę (NIR) obliczano na poziomie p=0,01.

Wyniki i dyskusja

W suchych nasionach badanych odmian fasoli nie stwierdzono obecności trifosforanu inozytoli. Podobnie Villavicencio i wsp. [16] w fasoli, Alonso i wsp. [2] w fasoli i grochu oraz Morris i Hill [11] w fasoli i ciecierzycy nie stwierdzili IP₃, natomiast ci ostatni w nasionach soczewicy oznaczyli 0,13 mg tego składnika w 1 g suchej masy. Natomiast po ekstruzji zawartość IP₃ kształtowała się w zakresie 0,03–1,45 mg/g suchej masy (tab. 1). Najmniej zawierały go ekstrudaty uzyskane w temp. 120°C i wilgotności początkowej 20%, a najwięcej ekstrudaty otrzymane przy 14% wilgotności i maksymalnej temp. ekstruzji 180°C. Alonso i wsp. [2] nie stwierdzili obecności tego związku w ekstrudatach z fasoli i grochu. Inni autorzy [11] stwierdzili w gotowanych nasionach fasoli zawartość IP₃ w zakresie 0,07–0,08 mg, w ciecierzycy 0,04 mg, a w soczewicy 0,18 mg.

Tetrafosforan inozytoli był obecny w nieprzetworzonych nasionach czterech odmian fasoli, za wyjątkiem Toffi (tab. 2). Najwięcej IP₄ zawierały nasiona odmiany Rawela – 0,33 mg, a najmniej odmiany Augusta – 0,04 mg/g. Villavicencio i wsp. [16] oraz Máñez i wsp. [10] nie stwierdzili tetrafosforanu inozytoli w badanych odmianach fasoli, ciecierzycy i soczewicy. Natomiast Morris i Hill [11] oznaczyli w trzech odmianach fasoli – Pinto, Red Kidney i Black – od 0,065 do 0,08 mg tego składnika, a w ciecierzycy i soczewicy odpowiednio 0,02 mg i 0,105 mg/g. Alonso i wsp. [2] nie stwierdzili w nasionach fasoli tetrafosforanu inozytoli, natomiast nasiona grochu zawierały go 0,02 mg/g.

Po ekstruzji odnotowano znaczny wzrost zawartości tego składnika, zależny od parametrów procesu. W odniesieniu do surowca, średni wzrost zawartości IP₄ w pięciu odmianach wynosił w ekstrudatach otrzymanych przy kombinacji wilgotności począt-

kowej surowca i maksymalnej temperatury procesu: 20%/120°C – 118%, 14%/120°C – 757%, 20%/180°C – 994% i 14%/180°C – 2319%. Alonso i wsp. [2] stwierdzili w ekstrudatach z fasoli i grochu odpowiednio 0,23 mg tego składnika (nieobecnego w surowcu) i 0,04 mg (wzrost zawartości o 100%). Także inni autorzy wskazują na wzrost zawartości tego fosforanu w nasionach roślin strączkowych po obróbce termicznej. W trzech odmianach gotowanej fasoli wynosił on od 435 do 654%, w ciecierzycy 1300%, a w soczewicy 362% [11].

Tabela 1

Zawartość trifosforanu inozytolu (IP₃) w suchej masie nasion fasoli i ekstrudatów.
Content of inositol triphosphate (IP₃) in the dry substance of bean seeds and extrudates.

Odmiana fasoli Bean cultivar	Surowiec Raw bean seeds	Parametry ekstruzji (wilgotność [%] / temperatura [°C] Extrusion parameters (moisture content in percent/temperature in DC)								Wartość średnia po ekstruzji Mean value after extrusion		NIR ² LSD ² p=0,01
		14/120		20/120		14/180		20/180		[mg/g]	A ¹ [%]	
		[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]			
Augusta	0,00	0,16	-	0,03	-	1,25	-	0,36	-	0,45	-	I – 0,042 II – 0,042 I×II – 0,095
Nigeria	0,00	0,54	-	0,03	-	1,58	-	0,47	-	0,66	-	
Rawela	0,00	0,72	-	0,03	-	1,87	-	0,55	-	0,79	-	
Tip-Top	0,00	0,15	-	0,04	-	1,25	-	0,81	-	0,56	-	
Toffi	0,00	0,00	-	0,00	-	1,30	-	0,08	-	0,35	-	
Wartość średnia Mean value	0,00	0,31	-	0,03	-	1,45	-	0,45	-	X	X	

¹ zmiana w stosunku do surowca / change relative to raw seeds;

² NIR: czynnik I – odmiana, czynnik II – parametry ekstruzji, czynnik III – współdziałanie (I×II)
LSD for: factor I – cultivar; factor II – extrusion parameters; factor III – interaction (I×II).

Pentafosforan inozytolu zawierały nieprzetworzone nasiona wszystkich odmian fasoli, najwięcej odmiany Tip-Top – 3,03 mg, a najmniej odmiany Nigeria – 0,81 mg/g (tab. 3). Morris i Hill [11] stwierdzili w fasoli 1,07 – 1,19 mg IP₅/g s.m., w nasionach ciecierzycy 1,02 mg, a w soczewicy 0,81 mg, natomiast Alonso i wsp. [2] – 0,2 mg/g w fasoli i 0,39 mg/g w grochu. Villavicencio i wsp. [16] oznaczyli w fasoli 1,9 μmol/g (ok. 1,1 mg/g) tego składnika.

W ekstrudatach uzyskanych z nasion pięciu odmian fasoli zawartość IP₅ była większa niż w surowcu, a wzrost kształtował się w zakresie od 11% (ekstrudaty uzyskane przy 20% wilgotności i w temp. 120°C) do 186% (14%/180°C). Inni autorzy wykazali po ekstruzji wzrost zawartości IP₅ w fasoli i grochu do poziomu 1,04 mg i 0,62 mg, tj. o 420 i 59% [2]. Także gotowanie spowodowało niewielki wzrost zawar-

tości tego składnika, w nasionach fasoli kształtował się on w zakresie 53–94%, w ciecierzycy 16%, a w soczewicy 160% [11].

Tabela 2

Zawartość tetrafosforanu inozytolu (IP₄) w suchej masie nasion fasoli i ekstrudatów.
Content of inositol tetrakisphosphate (IP₄) in the dry substance of bean seeds and extrudates.

Odmiana fasoli Bean cultivar	Surowiec Raw bean seeds	Parametry ekstruzji (wilgotność [%] / temperatura [°C]) Extrusion parameters (moisture content in percent/temperature in DC)								Wartość średnia po ekstruzji Mean value after extrusion		NIR ² LSD ² p=0,01
		14/120		20/120		14/180		20/180				
		[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	
Augusta	0,04	0,45	1025	0,10	150	1,93	4725	0,80	1900	0,82	1950	I – 0,666 II – 0,666 I×II – 0,149
Nigeria	0,09	1,22	1256	0,27	200	2,32	2478	0,99	1000	1,20	1233	
Rawela	0,33	1,34	306	0,43	30	2,62	694	1,21	267	1,40	324	
Tip-Top	0,10	0,54	440	0,19	90	1,48	1380	0,91	810	0,78	680	
Toffi	0,00	0,90	-	0,00	-	1,45	-	0,39	-	0,69	-	
Wartość średnia Mean value	0,11	0,89	757	0,20	118	1,96	2319	0,86	994	X	X	

¹ zmiana w stosunku do surowca / change relative to raw seeds;

² NIR: czynnik I – odmiana, czynnik II – parametry ekstruzji, czynnik III – współdziałanie (I×II)
LSD for: factor I – cultivar; factor II – extrusion parameters; factor III – interaction (I×II).

Tabela 3

Zawartość pentafosforanu inozytolu (IP₅) w suchej masie nasion fasoli i ekstrudatów.
Content of inositol pentakisphosphate (IP₅) in the dry substance of bean seeds and extrudates.

Odmiana fasoli Bean cultivar	Surowiec Raw bean seeds	Parametry ekstruzji (wilgotność [%] / temperatura [°C]) Extrusion parameters (moisture content in percent/temperature in DC)								Wartość średnia po ekstruzji Mean value after extrusion		NIR ² LSD ² p=0,01
		14/120		20/120		14/180		20/180				
		[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	
Augusta	0,84	2,26	169	0,87	4	3,72	343	3,27	289	2,53	201	I – 0,161 II – 0,161 I×II – 0,361
Nigeria	0,81	3,32	310	1,14	41	3,45	326	3,03	274	2,74	238	
Rawela	2,03	4,19	106	2,16	6	4,33	113	3,56	75	3,56	75	
Tip-Top	3,03	4,31	42	2,91	-4	3,70	22	3,62	19	3,64	20	
Toffi	1,18	3,56	202	1,30	10	2,69	128	2,65	125	2,55	116	
Wartość średnia Mean value	1,58	3,53	166	1,68	11	3,58	186	3,23	157	X	X	

¹ zmiana w stosunku do surowca / change relative to raw seeds;

² NIR: czynnik I – odmiana, czynnik II – parametry ekstruzji, czynnik III – współdziałanie (I×II)
LSD for: factor I – cultivar; factor II – extrusion parameters; factor III – interaction (I×II).

Zarówno nasiona nieprzetworzone, jak i uzyskane z nich ekstrudaty zawierały najwięcej heksafosforanu inozytolu. Najbogatsze w ten składnik były surowe nasiona odmiany Toffi – 21,56 mg, zaś najmniej zawierały go nasiona odmiany Augusta – 16,22 mg (tab. 4). Máñez i wsp. [10] oznaczyli w badanej przez nich odmianie fasoli podobną ilość IP_6 – 18,7 mg/g s.m., a w ciecierzycy i soczewicy odpowiednio 16,0 i 15,1 mg. Znacząco niższe wartości przedstawiają inni autorzy: 7,72 – 9,37 mg w fasoli, 3,96 mg w ciecierzycy i 5,52 mg w soczewicy [11]; 4,7 mg w fasoli i 4,77 mg w grochu [2] oraz 13,5 μ mol (ok. 8,9 mg) w fasoli [16]. W wyniku ekstruzji nastąpiło zmniejszenie zawartości IP_6 w stosunku do surowca. Średnie straty w ekstrudatach pięciu odmian fasoli były najmniejsze w przypadku stosowania 20% wilgotności początkowej i temp. procesu 120°C – wynosiły wtedy 24%. Natomiast najwyższe, 60% straty wystąpiły przy 14% wilgotności surowca i w maksymalnej temp. ekstruzji 180°C. Alonso i wsp. [2] uzyskali po ekstruzji nasion fasoli i grochu zawartość IP_6 na poziomie odpowiednio 3,44 mg i 3,45 mg, tj. zmniejszenie o 27 i 28%. Podobnie Máñez i wsp. [10] stwierdzili ubytek zawartości heksafosforanu w gotowanych nasionach fasoli, ciecierzycy i soczewicy. Procentowy udział IP_6 w sumie wszystkich fosforanów inozytolu obniżył się z 90% w suchych nasionach fasoli do 86% w gotowanych tradycyjnie. Inni autorzy stwierdzili w gotowanych nasionach fasoli, ciecierzycy i soczewicy ubytek zawartości IP_6 odpowiednio o 30, 14 i 15% [11]. Znaczne straty heksafosforanu inozytolu podczas przetwarzania żywności są wynikiem jego hydrolizy pod wpływem fitaz znajdujących się naturalnie w roślinach lub pochodzenia mikrobiologicznego. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym rozkładowi IP_6 jest wysoka temperatura, która prowadzi do nieenzymatycznej hydrolizy fitynianów [13]. W przypadku ekstruzji, właśnie ten czynnik odgrywa największą rolę w rozkładzie heksafosforanu [2].

W niniejszych badaniach procentowy udział heksafosforanu inozytolu w sumie IP_3 - IP_6 wynosił w surowcu 92%, a w ekstrudatach wahał się w zakresie od 50% (14%/180°C) do 88% (20%/120°C) (rys. 1). Procentowy udział IP_6 w sumie wszystkich fosforanów wykazywał wysoką ujemną korelację z procentowym udziałem IP_3 , IP_4 i IP_5 – odpowiednio $r = -0,934$, $-0,985$ i $-0,949$. Najmniejsze straty IP_6 wystąpiły przy zastosowaniu kombinacji wilgotności surowca i temperatury procesu 20%/120°C, a największe – 14%/180°C. Na tej podstawie można wnioskować, że niska temperatura ekstruzji i wysoka zawartość wody powodują najmniejsze zmiany w przetwarzanym surowcu. Podobną zależność obserwowano także w innych badaniach w odniesieniu do składników chemicznych czy też aktywności przeciwutleniającej [7, 8, 9].

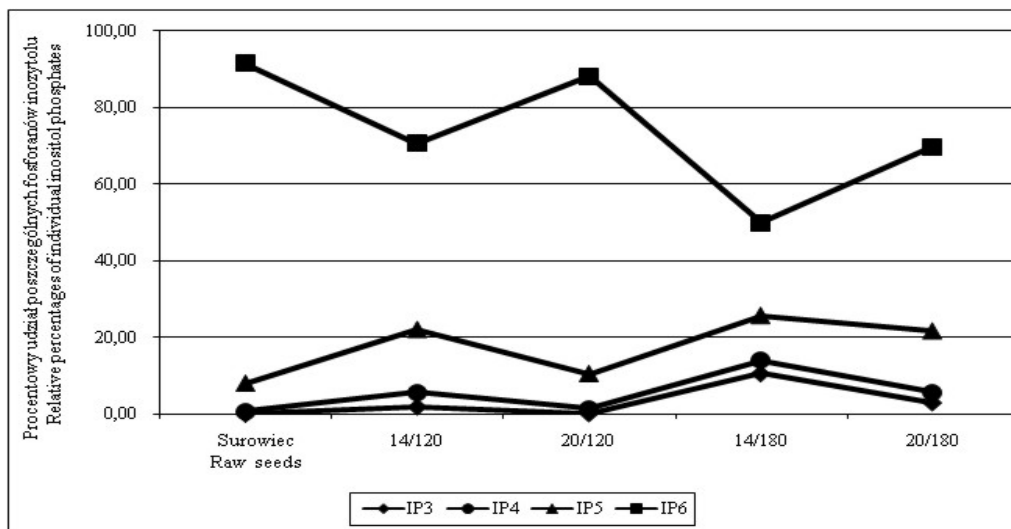
Tabela 4

Zawartość heksafosforanu inozytoli (IP₆) w suchej masie nasion fasoli i ekstrudatów.
Content of inositol hexakisphosphate (IP₆) in the dry substance of bean seeds and extrudates.

Odmiana fasoli Bean cultivar	Surowiec Raw bean seeds	Parametry ekstruzji (wilgotność [%] / temperatura [°C]) Extrusion parameters (moisture content in percent/temperature in DC)								Wartość średnia po ekstruzji Mean value after extrusion		NIR ² LSD ² p=0,01
		14/120		20/120		14/180		20/180		[mg/g]	A ¹ [%]	
		[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]			
Augusta	16,22	8,63	-47	11,48	-29	7,70	-53	10,75	-34	9,64	-41	I – 0,214 II – 0,214 I×II – 0,478
Nigeria	16,67	9,85	-41	13,19	-21	7,68	-54	10,26	-38	10,25	-39	
Rawela	18,34	13,31	-27	16,41	-11	6,82	-63	10,88	-41	11,86	-35	
Tip-Top	17,34	14,84	-14	14,12	-19	8,92	-49	9,89	-43	11,94	-31	
Toffi	21,56	10,08	-53	12,93	-40	4,30	-80	10,25	-52	9,39	-56	
Wartość średnia Mean value	18,03	11,34	-37	13,63	-24	7,08	-60	10,41	-42	X	X	

¹ zmiana w stosunku do surowca / change relative to raw seeds;

² NIR: czynnik I – odmiana, czynnik II – parametry ekstruzji, czynnik III – współdziałanie (I×II)
LSD for: factor I – cultivar; factor II – extrusion parameters; factor III – interaction (I×II).



Objaśnienia: / Explanatory notes:

14, 20 - wilgotność ekstrudowanego materiału [%]; 120, 180 – temperatura ekstruzji [°C],
14, 20 – (initial humidity of the extruded material [%]; 120, 180 – extrusion temperature [°C])

Rys. 1. Procentowy udział poszczególnych fosforanów inozytoli w surowcu i w ekstrudatach.

Fig. 1. Relative percentage rates of individual inositol phosphates in raw bean seeds and extrudates.

Na łączną zawartość fosforanów inozytolu w suchych nasionach fasoli i ekstrudatach największy wpływ miał heksafosforan, ze względu na jego wyraźnie dominującą zawartość (tab. 5). Największą zawartość sumy IP₃, IP₄, IP₅ i IP₆ miały suche nasiona odmiany Toffi – 22,74 mg, nasiona odmian Rawela i Tip-Top zawierały zbliżoną, i nieco mniejszą ilość tych składników – odpowiednio 20,70 i 20,47 mg, a najmniejszą zawartość stwierdzono w nasionach odmian Nigeria i Augusta – odpowiednio 17,57 i 17,10 mg. Po ekstruzji, w zależności od parametrów tego procesu, zawartość IP₃ - IP₆ kształtowała się w zakresie od 14,07 mg (14%/180°C) do 16,07 mg (14%/120°C). Coelho i wsp. [3] stwierdzili w suchych nasionach dwóch odmian fasoli 12,5 oraz 7,1 mg fitynianów w 1 g materiału, zaś Abebe i wsp. [1] 7,2 mg/g w fasoli odmiany Red Kidney. Z kolei Alonso i wsp. [2] podają w fasoli znacznie mniejszą zawartość sumy fosforanów inozytolu, na poziomie 5,16 mg/g s.m. i 4,9 mg w grochu, a po ekstruzji odpowiednio 4,71 i 4,10 mg, co oznacza ubytek odpowiednio o 3,9 i 20%.

Tabela 5

Zawartość sumy fosforanów inozytolu (IP₃- IP₆) w suchej masie nasion fasoli i ekstrudatów.
Content of the total inositol phosphates (IP₃- IP₆) in the dry substance of bean seeds and extrudates.

Odmiana fasoli Bean cultivar	Surowiec Raw bean seeds	Parametry ekstruzji (wilgotność [%] / temperatura [°C]) Extrusion parameters (moisture content in percent/temperature in DC)								Wartość średnia po ekstruzji Mean value after extrusion		NIR ² LSD ² p=0,01
		14/120		20/120		14/180		20/180		[mg/g]	A ¹ [%]	
		[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]	[mg/g]	A ¹ [%]			
Augusta	17,10	11,50	-33	12,48	-27	14,60	-15	15,18	-11	13,44	-21	I – 0,347 II – 0,347 I×II – 0,276
Nigeria	17,57	14,93	-15	14,63	-17	15,03	-14	14,75	-16	14,84	-16	
Rawela	20,70	19,56	-6	19,03	-8	15,64	-24	16,20	-22	17,61	-15	
Tip-Top	20,47	19,84	-3	17,26	-16	15,35	-25	15,23	-26	16,92	-17	
Toffi	22,74	14,54	-36	14,23	-37	9,74	-57	13,37	-41	12,97	-43	
Wartość średnia Mean value	19,72	16,07	-18	15,53	-21	14,07	-27	14,95	-23	X	X	

¹ zmiana w stosunku do surowca / change relative to raw seeds;

² NIR: czynnik I – odmiana, czynnik II – parametry ekstruzji, czynnik III – współdziałanie (I×II)
LSD for: factor I – cultivar; factor II – extrusion parameters; factor III – interaction (I×II).

Wnioski

- Ekstruzja wpłynęła na zmniejszenie w ekstrudatach, w porównaniu z surowcem, zawartości IP₆ oraz zwiększenie zawartości IP₃, IP₄ i IP₅.
- Wzrost zawartości fosforanów inozytolu o niższym stopniu fosforylacji związany był z hydrolizą heksafosforanu, o czym świadczą wysokie ujemne współczynniki

- korelacji między procentową zawartością IP₆ w sumie wszystkich fosforanów a procentowym udziałem IP₃, IP₄ i IP₅ – odpowiednio $r = -0,934$, $-0,985$ i $-0,949$.
3. Najmniejsze straty IP₆ odnotowano przy zastosowaniu kombinacji wilgotności surowca i temperatury procesu 20%/120°C, a największe – 14%/180°C.
 4. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że niska temperatura ekstruzji powoduje mniejsze zmiany w przetwarzanym surowcu, zwłaszcza w połączeniu z jego wyższą wilgotnością.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki w latach 2004-2006 jako projekt badawczy zamawiany nr PBZ-KBN-094/P06/2003/29; była prezentowana podczas VIII Konferencji Naukowej nt. „Żywność XXI wieku – Żywność a choroby cywilizacyjne”, Kraków, 21–22 czerwca 2007 r.

Literatura

- [1] Abebe Y., Bogale A., Hambidge K.M., Stoecker B.J., Bailey K., Gibson R.S.: Phytate, zinc, iron and calcium content of selected raw and prepared foods consumed in rural Sidama, Southern Ethiopia, and implications for bioavailability. *J. Compos. Anal.*, 2007, **20**, 161-168.
- [2] Alonso R., Rubio L.A., Muzquiz M., Marzo F.: The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2001, **94**, 1-13.
- [3] Coelho C.M.M., Bellato C.M., Santos J.C.P., Ortega E.M.M., Tsai S.M.: Effect of phytate and storage conditions on the development of the “hard-to-cook” phenomenon in common beans. *J. Sci. Food Agric.*, 2007, **87**, 1237-1243.
- [4] Coelho C.M.M., Santos J.C.P., Tsai S.M., Vitorello V.A.: Seed phytate content and phosphorus uptake and distribution in dry bean genotypes. *Braz. J. Plant Physiol.*, 2002, **14** (1), 51-58.
- [5] Coelho C.M.M., Tsai S.M., Vitorello V.A.: Dynamics of inositol phosphate pools (tris-, tetra- and pentakisphosphate) in relation to the rate of phytate synthesis during seed development in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *J. Plant Physiol.*, 2005, **162**, 1-9.
- [6] Fox C.H., Eberl M.: Phytic acid (IP6), novel broad spectrum anti-neoplastic agent: a systematic review. *Complement. Ther. Med.*, 2002, **10**, 229-234.
- [7] Ismail F.A., Zahran G.H.: Studies on extrusion conditions of some cereals and legumes. *Egypt. J. Food Sci.*, 2002, **30** (1), 59-76.
- [8] Korus J., Gumul D., Achremowicz B.: The influence of extrusion on chemical composition of dry seeds of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Elect. J. Pol. Agric. Univ., Food Sci. Technol.*, 2006, **9** (1), <http://www.ejpau.media.pl/volume9/issue1/art-10.html>
- [9] Korus J., Gumul D., Gibiński M.: Wpływ ekstruzji na zawartość polifenoli i aktywność antyoksydacyjną nasion fasoli zwyczajnej (*Phaseolus vulgaris* L.). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **2** (47), 102-111.
- [10] Mániz G., Alegria A., Farré R., Frigola R.: Effect of traditional, microwave and industrial cooking on inositol phosphate content in beans, chickpeas and lentils. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2002, **53**, 503-508.
- [11] Morris E.R., Hill A.D.: Inositol phosphate content of selected dry beans, peas, and lentils, raw and cooked. *J. Food Compos. Anal.*, 1996, **9**, 2-12.
- [12] Sandberg A.S., Ahderinne R.: HPLC method for determination of inositol tri-, tetra-, penta-, and hexaphosphates in food and intestinal contents. *J. Food Sci.*, 1986, **51**, 547-550.

- [13] Sandberg A.S., Brune M., Carlsson N.G., Hallberg L., Skoglund E., Rossander-Hulthén L.: Inositol phosphates with different numbers of phosphate groups influence iron absorption in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1999, **70**, 240-246.
- [14] Shi J., Arunasalam K., Yeung D., Kakuda Y., Mittal G.: Phytate from edible beans: chemistry, processing and health benefits. *J. Food Agric. Environ.*, 2004, **2 (1)**, 49-58.
- [15] Steiner T., Mosenthin R., Zimmermann B., Greiner R., Roth S.: Distribution of phytase activity, total phosphorus and phytate phosphorus in legume seeds, cereals and cereal by-products as influenced by harvest year and cultivar. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2007, **133**, 320-334.
- [16] Villavicencio A.L.C.H., Manicni-Filho J., Delincée H., Greiner R.: Effect of irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins and phytate) in Brazilian beans. *Radiat. Phys. Chem.*, 2000, **57**, 289-293.
- [17] Vucenik I., Shamsuddin A.M.: Cancer inhibition by inositol hexaphosphate (IP₆) and inositol: from laboratory to clinic. *J. Nutr.*, 2003, **133**, 3778S-3784S.

**THE CONTENT OF INOSITOL PHOSPHATES IN DRY AND EXTRUDED BEAN SEEDS
(*PHASEOLUS VULGARIS* L.)**

S u m m a r y

In the paper, the content of inositol tris-, tetrakis-, pentakis-, and hexakisphosphate in dry seeds of five bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars was determined, and the effect of extrusion parameters on the content of those compounds was defined. IP₃ was not detected in dry bean seeds yet IP₆ was a dominant form in them. The extrusion process caused IP₆ to hydrolyze and the other phosphates to increase in their amounts. The lowest increase in the contents of IP₃, IP₄, and IP₅ and the lowest losses in the IP₆ content were found in the extrudates produced at an initial humidity of the raw material amounting to 20% and at a temperature of 120°C, and the highest losses in the IP₆ content - at 14% of humidity, and at a temperature of 180°C.

Key words: bean, extrusion, inositol phosphates ☒