

Wioletta BIEL

SKŁAD CHEMICZNY I JAKOŚĆ BIAŁKA KONWENCJONALNEJ I GENETYCZNIE ZMODYFIKOWANEJ POEKSTRAKCYJNEJ ŚRUTY SOJOWEJ

COMPOSITION AND QUALITY OF PROTEIN OF CONVENTIONAL AND GENETICALLY-MODIFIED SOYBEAN MEAL

Zakład Żywienia Zwierząt i Żywności, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Doktora Judyma 2, 71-466 Szczecin, e-mail: wioletta.biel@zut.edu.pl

Abstract. The aim of this study was estimation of composition and quality of protein of genetically-modified (GM) soybean meal studied in experiment on laboratory rats. No statistical differences were found in the results of chemical composition and nutritive value. A high content of exogenous amino acids was found. This was reflected in high nutritive value on the basis of CS, EAAI and predicted PER and BV. The final indicators of biological value (PER, BV and TD) were high and did not differ statistically across GM soybean meal and non-modified and were similar with caseine. It was concluded that soybean meal produced from glyphosate-tolerant GM soybean (*Roundup Ready*) are nutritionally equivalent to conventional feed.

Słowa kluczowe: aminokwasy, GM śruta sojowa, jakość białka, skład chemiczny.

Keywords: amino acids, chemical components, GM soybean meal, quality of protein.

WSTĘP

Rośliny, które uprawiane są dla potrzeb żywienia ludzi i zwierząt, charakteryzują się właściwościami kształtowanymi przez człowieka od tysiącleci. Tradycyjne metody udoskonalania roślin uprawnych osiągnęły kres swoich możliwości (Sieradzki i Kwiatek 2006). W związku z tym od kilkunastu lat istnieje duże zainteresowanie ich genetycznym modyfikowaniem. Warunkiem rejestracji rośliny GM, jako materiału paszowego, jest poddanie jej szczegółowym badaniom. Obejmuje to dokładną analizę składu chemicznego i jego porównanie ze składem odmian rodzicielskich, co pozwala na określenie tzw. równoważności składnikowej obu odmian. Szacuje się, że około 80% śruty sojowej na rynku światowym, to śruta otrzymywana z soi zmodyfikowanej GM, odporna na preparat chemiczny glifosat zawarty w preparacie *Roundup Ready* (James 2010). Jej cena jest niższa niż śruty niezmodyfikowanej ze względu na niższe koszty produkcji. Poekstrakcyjna śruta sojowa jest najlepszym źródłem białka i aminokwasów egzogennych, przy niskiej zawartości włókna surowego i substancji przeciwożywczych w żywieniu zwierząt gospodarskich. Na terenie Unii Europejskiej jedyną dopuszczoną do obrotu genetycznie zmodyfikowaną odmianą soi jest linia MON 40-3-2 (RR), tj. jej nasiona i produkty pochodne. Nie można natomiast soi GM uprawiać. W celu pokrycia

potrzeb krajowego przemysłu paszowego sprowadza się jej rocznie prawie 1,9 mln ton (Brzońska 2009a). Liczne badania na różnych gatunkach zwierząt (szczury, kurczęta brojlery, krowy mleczne, ryby hodowlane) wykazały, że stosowanie poekstrakcyjnej śruty sojowej GM, odpornej na herbicydy, nie miało negatywnego wpływu na organizm zwierzęcy, wskaźniki produkcyjne, jakość produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego czy strawność składników pokarmowych (Hammond i in. 1996, Flachowsky i in. 2007). Pomimo wykonania precyzyjnych badań, zagadnienie stosowania pasz z genetycznie zmodyfikowanych roślin uprawnych w żywieniu zwierząt wzbudza, również w naszym kraju, znaczne kontrowersje.

Celem niniejszej pracy była ocena wartości pokarmowej konwencjonalnej poekstrakcyjnej śruty sojowej i śruty sojowej zmodyfikowanej genetycznie na podstawie składu chemicznego, ze szczególnym uwzględnieniem jakości białka określonej metodą chemiczną i biologiczną na szczurach laboratoryjnych.

MATERIAŁ I METODY

Podstawowy materiał badawczy stanowiła poekstrakcyjna śruta sojowa uzyskana z nasion soi odmiany *Glycine max* L. cv A 5043, linii 40-3-2, charakteryzująca się cechą odporności na herbicyd *Roundap Ready* (zmodyfikowana genetycznie) oraz śruta sojowa konwencjonalna z 2008 roku. Zastosowana w pracy soja GM jest jedyną spośród zmodyfikowanych odmian soi, której nasiona i produkty pochodne dopuszczono do obrotu w Unii Europejskiej. Jest to najbardziej na świecie rozpowszechniona modyfikacja. Linia ta posiada wbudowany do genomu gen pochodzący z *Agrobacterium sp.*, kodujący enzym powodujący odporność na *Roundap*. Enzym ten jest szybko rozkładany *in vitro* w warunkach symulujących te, które panują w przewodzie pokarmowym (Harrison i in. 1996).

Analizy chemiczne

Podstawowy skład chemiczny badanych śrut poekstrakcyjnych sojowych oznaczono metodą standardową (AOAC 1990). Na fotometrze Flapho-4 oznaczono wapń, potas i sód. Fosfor – metodą kolorymetryczną na aparacie SPEKOL 11 firmy Carl Zeiss Jena. Wyniki podstawowego składu chemicznego przedstawiono w g na kg suchej masy (SM).

Udział aminokwasów w białku ocenianych prób, z wyjątkiem tryptofanu, oznaczono na analizatorze aminokwasowym typ AAA-400 (INGOS, Czechy), po uprzedniej hydrolizie 6 M HCl. Ponadto aminokwasy siarkowe poddano hydrolizie po uprzednim utlenieniu mieszaniną kwasu mrówkowego i nadtlenku wodoru. Tryptofan oznaczono zgodnie z metodą AOAC (1990).

Skład aminokwasowy przedstawiono w g na 16 g azotu.

Ocena jakości białka

Wskaźnik CS (chemical score) określono na podstawie procedury podanej przez Block i Mitchell (1946) z zastosowaniem dwóch standardów: aminokwasów dla człowieka dorosłego (MH) (FAO/WHO 1991) oraz białka jaja kurzego (WE) (FAO 1985).

Indeks aminokwasów niezbędnych (EAAI – ang. Essential Amino Acids Index) obliczono jako średnią geometryczną wszystkich aminokwasów egzogennych do zawartości tych aminokwasów w danym wzorcu.

Przewidywaną wartość PER (protein efficiency ratio) obliczono za pomocą trzech równań regresji podanych przez Alsmeyer i in. (1974):

$$PER_1 = -0,684 + 0,456 \times \text{Leu} - 0,047 \times \text{Pro}$$

$$PER_2 = -0,468 + 0,454 \times \text{Leu} - 0,105 \times \text{Tyr}$$

$$PER_3 = -1,816 + 0,435 \times \text{Met} + 0,780 \times \text{Leu} + 0,211 \times \text{His} - 0,944 \times \text{Tyr}$$

Przewidywaną wartość BV (biological values) obliczono, stosując równanie regresji Mørupa i Olesna (1976):

$$BV = 10^{2,15} \times q_{\text{Lys}}^{0,41} \times q_{(\text{Phe}+\text{Tyr})}^{0,60} \times q_{(\text{Met}+\text{Cys})}^{0,77} \times q_{\text{Thr}}^{2,4} \times q_{\text{Trp}}^{0,21}$$

gdzie: $q_i = a_i \text{ próby} / a_i \text{ wzorca}$ dla $a_i \text{ próby} \leq a_i \text{ wzorca}$ i $q_i = a_i \text{ wzorca} / a_i \text{ próby}$ dla $a_i \text{ próby} \geq a_i \text{ wzorca}$.

Ocena wartości odżywczej białka na szczurach

Badania biologiczne metodą wzrostową i bilansową przeprowadzono na 30 szczurach białych *Wistar* o początkowej średniej masie ciała 70 ± 5 g, które losowo podzielono na trzy grupy. Uzyskano zgodę Lokalnej Komisji Etycznej ds. Doświadczeń na Zwierzętach na przeprowadzenie eksperymentu. Zwierzętom podawano diety zgodnie z wymogami metodycznymi (Rakowska i in. 1978): ze śrutą sojową GM, ze śrutą sojową konwencjonalną oraz dietę kontrolną z białkiem wzorcowym – kazeiną – przez cztery tygodnie *ad libitum*. W czasie doświadczenia kontrolowano spożycie diet oraz przyrost masy ciała zwierząt. Na podstawie zebranych w trakcie eksperymentu informacji oraz oznaczonego azotu w dietach i wydalinach szczurów określono parametry wzrostowe i bilansowe wartości biologicznej białka: PER (ang. – protein efficiency ratio) oraz wartość biologiczną (BV – ang. biological value) i strawność rzeczywistą (TD – ang. – true digestibility).

Wszystkie wyniki z analiz chemicznych wykonano w dwóch powtórzeniach dla każdej obserwacji i przedstawiono w tabelach jako wartości średnie.

Uzyskane wyniki z analiz chemicznych i eksperymentu na zwierzętach poddano analizie statystycznej za pomocą testu t-Studenta przy użyciu pakietu Statistica® (StatSoft 2009).

WYNIKI I DISKUSJA

Analizy chemiczne wykazały, że transgeniczna śruta sojowa i jej odmiana konwencjonalna charakteryzowały się podobną zawartością podstawowych składników pokarmowych (tab. 1). Jednym z najważniejszych składników chemicznych decydujących o jakości żywienia jest białko. Jego poziom w śrucie konwencjonalnej był o $13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ SM wyższy niż w śrucie GM, ale różnica nie była istotna. Podobne wyniki przedstawia Świątkiewicz i in. (2010). Istnieje pogląd, że śruta sojowa w żywieniu zwierząt może być zastąpiona paszami rzepakowymi i nasionami roślin strączkowych.

Tabela 1. Skład chemiczny badanych śrut poekstrakcyjnych sojowych ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ SM)
 Table 1. Chemical compositions of examined soybeans meal ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM)

Wyszczególnienie – Item	Śruta poekstrakcyjna sojowa Soybean meal	GM – śruta poekstrakcyjna sojowa GM – soybean meal
Sucha masa – Dry matter ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	933,55 ^a ± 0,15	931,55 ^a ± 0,65
Białko ogólne – Crude protein ($\text{N} \times 6,25$)	542,4 ^a ± 5,60	529,25 ^a ± 9,05
Tłuszcz surowy – Crude oil	33,45 ^A ± 0,25	12,05 ^B ± 0,25
Włókno surowe – Crude fibre	27,80 ^a ± 0,20	28,20 ^a ± 0,10
Popiół surowy – Crude ash	77,25 ^a ± 2,55	82,25 ^a ± 0,05
BAW – NFE	252,65 ^a ± 2,95	280,3 ^a ± 8,00
Wapń – Calcium	3,63 ^a ± 0,08	3,80 ^a ± 0,05
Fosfor – Phosphorus	5,82 ^B ± 0,03	7,11 ^A ± 0,13
Potas – Potassium	17,71 ^a ± 0,01	16,73 ^b ± 0,20
Sód – Sodium	0,355 ^a ± 0,015	0,335 ^a ± 0,015

Wartości średnie w tych samych wierszach z różnymi literami różnią się statystycznie istotnie A, B – $P \leq 0,01$; a, b – $P \leq 0,05$.

Means in the same row with different letters are significantly different A, B – $P \leq 0.01$; a, b – $P \leq 0.05$.

Warto jednak podkreślić, że w stosunku do grochu śruta sojowa zawiera około dwukrotnie więcej białka. W badaniach Maciejewicz-Ryś i Ślusarczyk (2001) stwierdzono średnio 220 g białka w nasionach grochu. Natomiast śruta poekstrakcyjna rzepakowa charakteryzuje się białkiem na poziomie 360 g (Pastuszewska i in. 1992). Są to materiały paszowe pochodzenia krajowego, jakkolwiek ich podaż jest za mała w stosunku do potrzeb (Brzóska 2009b). Już pierwsze badania wykazały, że opisana modyfikacja nie wpłynęła na wartość odżywczą nasion soi (Hammond i in. 1996). W stosunku do konwencjonalnych odpowiedników nie stwierdzono zmiany zawartości w nasionach składników pokarmowych, a także substancji antyodżywczych, takich jak lektyny i inhibitory trypsyny.

O wartości energetycznej pasz decyduje głównie zawartość tłuszczu. W badaniach własnych zawartość tego składnika różni się istotnie ($P \leq 0,01$) między obiema śrutami i wynosi 12,05 i 33,45 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ SM odpowiednio dla śruty GM i konwencjonalnej. Różnice te wynikają prawdopodobnie z powodu silniejszego wydzielenia oleju próby ze śrutą zmodyfikowaną.

Śruta sojowa, poza najlepszym źródłem białka, charakteryzuje się niską zawartością włókna surowego, co potwierdzają prezentowane badania (średnia 28 g). W badaniach Świątkiewicz i in. (2010) uzyskano wyższe wartości – 42,8 i 36,6 g odpowiednio dla śruty GM i konwencjonalnej.

Wartość pokarmową badanych pasz uzupełniają składniki mineralne. Śruta poekstrakcyjna sojowa jest rezerwuarem składników mineralnych zwanych potocznie popiołem surowym, mających duże znaczenie zarówno z żywieniowego, jak i technologicznego punktu widzenia. W badaniach stwierdzono istotnie ($P \leq 0,01$) więcej fosforu w śrucie GM, natomiast w śrucie konwencjonalnej więcej ($P \leq 0,05$) potasu (tab. 1). Fosfor jest związkami, którego w śrucie sojowej jest dwa razy więcej niż zawierają śrutę zbożowe (Charalampopoulos i in. 2002).

Kolejnym etapem badań było określenie składu aminokwasowego (tab. 2), który decyduje o wartości odżywczej białka. Spośród 20 aminokwasów zawartych w pokarmie, człowiek jak i zwierzę potrafią syntetyzować tylko dziewięć (non-essential amino acid). Pozostałe aminokwasy należy dostarczyć z pożywieniem (EAA – essential amino acids).

Tabela 2. Skład aminokwasowy
Table 2. Amino acid compositions

Wyszczególnienie – Item	Śruta poekstrakcyjna sojowa Soybean meal	GM – śruta poekstrakcyjna sojowa GM – soybean meal	Kazeina Caseine
Aminokwasy niezbędne – Essential amino acids ($\text{g} \cdot 16 \text{ g N}^{-1}$)			
Lys	5,51 ^a ± 0,15	5,32 ^a ± 0,09	8,62 ± 0,03
Met + Cys ^a	2,69 ^a ± 0,04	2,78 ^a ± 0,05	2,88 ± 0,36
Cys	1,35 ^b ± 0,02	1,45 ^a ± 0,03	0,31 ± 0,08
Thr	3,65 ^a ± 0,13	3,47 ^a ± 0,07	3,51 ± 0,06
Ile	3,76 ^a ± 0,08	3,20 ^b ± 0,04	3,83 ± 0,08
Trp	1,15 ^a ± 0,04	1,15 ^a ± 0,04	1,35 ± 0,15
Val	4,18 ^a ± 0,13	3,91 ^a ± 0,12	6,11 ± 0,21
Leu	7,08 ^a ± 0,28	6,56 ^a ± 0,11	11,27 ± 0,25
His	3,36 ^a ± 0,14	3,03 ^a ± 0,08	2,73 ± 0,10
Phe + Tyr	6,45 ^a ± 0,16	5,98 ^a ± 0,13	9,61 ± 0,34
Tyr	1,82 ^a ± 0,06	1,82 ^a ± 0,06	4,76 ± 0,21
Aminokwasy endogenne – Non-essential amino acids ($\text{g} \cdot 16 \text{ g N}^{-1}$)			
Arg	8,09 ^a ± 0,17	7,46 ^b ± 0,01	3,67 ± 0,02
Asp	11,65 ^a ± 0,38	10,96 ^a ± 0,21	8,04 ± 0,10
Ser	4,60 ^a ± 0,11	4,27 ^a ± 0,05	6,27 ± 0,05
Glu	18,46 ^a ± 0,33	18,06 ^a ± 0,52	22,36 ± 0,48
Pro	3,90 ^a ± 0,15	3,32 ^a ± 0,13	3,43 ± 0,06
Gly	4,10 ^a ± 0,18	3,84 ^a ± 0,09	1,62 ± 0,09
Ala	4,18 ^a ± 0,13	3,73 ^a ± 0,11	2,75 ± 0,19
Suma – Total AA ($\text{g} \cdot 16 \text{ g N}^{-1}$)	92,77 ^a ± 2,52	87,01 ^a ± 1,69	98,05 ± 2,19

^a Pierwszy aminokwas ograniczający – First limiting amino acid.

Wartości średnie w tych samych wierszach z różnymi literami różnią się statystycznie istotnie A, B, C – $P \leq 0,01$; a, b, c – $P \leq 0,05$.

Means in the same row with different letters are significantly different A, B, C – $P \leq 0.01$; a, b, c – $P \leq 0.05$.

Arginina zaliczana jest do EAA u ptaków i ryb. W związku z powyższym traktowana jest jako semi-essential amino acid. Również cystynę i tyrozynę do tej grupy można zaliczyć (Boisen i in. 2000). W tabeli 2 przedstawiono skład aminokwasowy badanych śrut w odniesieniu do wzorca białka w doświadczeniu biologicznym – kazeiny. Mimo że niektóre poszczególne aminokwasy charakteryzuje wyższa wartość dla kazeiny (Lys, Val, Leu, Phe+Tyr) niż dla obu śrut, to jednak suma wszystkich aminokwasów (AA) nie różni się istotnie. Warto natomiast podkreślić, że białko śruty sojowej charakteryzuje się najwyższą spośród roślinnych pasz białkowych zawartością aminokwasów egzogennych. W stosunku do strączkowych zawiera więcej lizyny (Sujak i in. 2006), aminokwasu ograniczającego jakość białka zbóż (Shewry 2007). Różnice w zawartości poszczególnych aminokwasów egzogennych pomiędzy obiema śrutami, z wyjątkiem cystyny, izoleucyny i argininy, nie były istotne. Jak podaje Świątkiewicz i in. (2010), liczne badania potwierdziły, że nie ma istotnych różnic w składzie chemicznym pomiędzy konwencjonalnymi produktami a ich rekombinowanymi genetycznie odpowiednikami.

Pierwszymi aminokwasami ograniczającymi wartość odżywczą (tab. 3) są aminokwasy siarkowe – metionina z cystyną zarówno przy zastosowanym wzorcu dla człowieka (CS_{MH}), jak i jaja kurzego (CS_{WE}). Aminokwasy siarkowe ograniczają również jakość białka kazeiny. Wysoki poziom aminokwasów egzogennych znalazł odzwierciedlenie we wskaźniku aminokwasów niezbędnych EAAI (MH, WE). Obliczone przewidywane wskaźniki BV oraz PER potwierdzają wysoką wartość odżywczą białka śruty sojowej. Zarówno wartości przewidywanych wskaźników PER, jak i BV nie różnią się istotnie pomiędzy obiema badanymi śrutami.

Tabela 3. Chemiczne wskaźniki jakości białka
Table 3. Chemical parameters of quality protein

Wyszczególnienie – Item	Śruta poekstrakcyjna	GM – śruta	Kazeina Caseine
	sojowa Soybean meal	poekstrakcyjna sojowa GM – soybean meal	
EAA _{MH} (g · 16 g N ⁻¹)	34,45 ± 0,93	32,35 ± 0,48	47,17 ± 1,36
EAA _{MH} as per cent of total AA	37,13 ± 0,01	37,18 ± 0,17	48,11 ± 0,31
CS _{MH}	76,72 ± 1,01	79,15 ± 1,62	82,38 ± 10,23
EAAI _{MH}	92,58 ± 1,48	88,77 ± 1,05	95,44 ± 1,55
EAA _{WE} (g · 16 g N ⁻¹)	37,81 ± 1,07	35,38 ± 0,57	49,90 ± 1,46
EAA _{WE} as per cent of total AA	40,76 ± 0,05	40,67 ± 0,14	50,89 ± 0,35
CS _{WE}	47,11 ± 0,62	48,69 ± 0,8	50,58 ± 6,28
EAAI _{WE}	71,48 ± 1,29	68,12 ± 0,54	83,39 ± 2,57
BV _{MH}	85,25 ± 7,59	79,85 ± 4,11	51,61 ± 1,70
BV _{WE}	28,84 ± 3,39	24,74 ± 1,21	35,45 ± 2,04
PER ₁	2,36 ± 0,12	2,15 ± 0,05	4,29 ± 0,12
PER ₂	2,56 ± 0,12	2,32 ± 0,05	4,15 ± 0,09
PER ₃	3,29 ± 1,29	2,80 ± 0,04	4,22 ± 0,21

Skład aminokwasowy białka determinuje jego wartość odżywczą. Dodatkowo dla pełnej oceny biologicznej białka śrut, określono wskaźniki na podstawie informacji uzyskanych w eksperymencie z udziałem zwierząt laboratoryjnych. Doświadczenia biologiczne przeprowadzone dwiema metodami – wzrostową i bilansową – jednocześnie umożliwiły określenie w szerszym zakresie wartości odżywcze białka (tab. 4).

Tabela 4. Biologiczne wskaźniki jakości białka
Table 4. Biological parameters of quality protein

Wyszczególnienie – Item	Śruta poekstrakcyjna	GM – śruta	Kazeina Caseine
	sojowa Soybean meal	poekstrakcyjna sojowa GM – soybean meal	
PER	1,97 ^a	1,93 ^a	2,41
Pobranie diety (g/dzień/szczura) Feed intake (g/day/rat)	11,08 ^a	11,14 ^a	13,40
Przyrost masy ciała (g/dzień/szczura) Live weight gain (g/day/rat)	2,24 ^a	2,18 ^a	3,22
TD	85 ^a	83 ^a	86
BV	75 ^a	73 ^a	76

Wartości średnie w tych samych wierszach z różnymi literami różnią się statystycznie istotnie A, B – P ≤ 0,01.
Means in the same row with different letters are significantly different A, B – P ≤ 0.01.

Wysokie wskaźniki oceny chemicznej znalazły odbicie we wskaźnikach oceny biologicznej. Wskaźnik określający przyrost masy ciała, otrzymany w wyniku spożytego badanego białka (PER), nie różnił się istotnie między obiema badanymi grupami i był wysoki, choć w porównaniu z grupą kontrolną z kazeiną istotnie niższy (P ≤ 0,01). W badaniach Hoffman i Falvo (2004) uzyskano dla grupy żywionej białkiem sojowym wskaźnik PER równy 2,2, natomiast dla grupy z kazeiną taką samą wartość, jak w badaniach własnych (PER = 2,41). Białko obu śrut charakteryzowało się wysoką strawnością rzeczywistą (TD) na zbliżonym poziomie do kazeiny. Parametr ten uwzględnia swoiste różnice w strawności białek, rolę naturalnych składników żywności modyfikujących tę strawność oraz wpływ procesów technologicznych na strawność białka. Również kolejny wskaźnik BV uznawany jest za obiektywny parametr określający jakość białka. W badaniach własnych dla śrut sojowych uzyskano również wysokie, jak dla kazeiny, wartości BV (średnio 75%).

PODSUMOWANIE

Podsumowując wyniki można stwierdzić, że w stosunku do konwencjonalnej śruty poekstrakcyjnej sojowej nie stwierdzono w genetycznie zmodyfikowanej śrucie sojowej (*Roundup Ready*, MON 40-30-2) zmian w zawartości podstawowych składników pokarmowych, a także w składzie aminokwasowym i wartości odżywczej białka. Należy również podkreślić, że mimo wielu obaw dotyczących roślin GMO, badania własne potwierdzają brak negatywnych skutków w żywieniu szczurów laboratoryjnych GM śrutą sojową oraz wpływu na wysoką wartość biologiczną. Oczywiście, należy rozszerzyć badania o dodatkowe czynniki obserwacyjne.

PIŚMIENNICTWO

- Alsmeyer R.H., Cunningham A.D., Happich M.L.** 1974. Equations predict PER from amino acid analysis. *Food Technol.* 28, 34–38.
- AOAC.** 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem. Washington, D.C.
- Block. R.J., Mitchell. H.H.** 1946. The correlation of the amino acid composition of proteins with their nutritive value. *Nutr. Abstr. Rev.* 16, 249.
- Boisen S., Hvelplund T., Weisbjerg M.R.** 2000. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livest. Prod. Sci.* 64, 239–251.
- Brzóška F.** 2009a. Czy istnieje możliwość substytucji białka GMO innymi surowcami białkowymi. Cz. I. *Wiad. Zootech.* 1, 3–9.
- Brzóška F.** 2009b. Czy istnieje możliwość substytucji białka GMO innymi surowcami białkowymi. Cz. II. *Wiad. Zootech.* 2, 3–11.
- Charalampopoulos D., Wang R., Pandiella S.S., Webb C.** 2002. Application of cereals and cereal components in functional foods: A review. *Int. J. Food Microbiol.* 79, 131–141.
- FAO** 1985. FAO/WHO. energy and protein requirements. Technical Report Series No. 522. Rome: World Health Organization.
- FAO/WHO** 1991. Protein quality evaluation. Report of a joint FAO-WHO expert consultation. Rome. FAO. *Food Nutr.* 51.
- Flachowsky G., Aulrich K., Bohme H., Halle I.** 2007. Studies on feeds from genetically modified plants (GMP). Contributions to nutritional and safety assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 133, 2–30.
- Hammond B.G., Vicini J.L., Hartnell G.F., Naylor M.W., Knight C.D., Robinson E.H., Fuchs R.L., Padgett S.R.** 1996. The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *J. Nutr.* 126, 717–727.
- Harrison L.A., Bailey M.R., Naylor M.W., Ream J.E., Hammond B.G., Nida D.L., Burnette B.L., Nickson T.E., Mitsky T.A., Taylor M.L., Fuchs R.L., Padgett S.R.** 1996. The expressed protein in glyphosate-tolerant soybean, 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase from *Agrobacterium* sp. strain CP4, is rapidly digested in vitro and is not toxic to acutely gavaged mice. *J. Nutr.* 126, 728–740.
- Hoffman J.R., Falvo M.J.** 2004. Protein – which is best? *J. Sci. Med. Sport.* 3, 118–130.
- James C.** 2010. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY.
- Maciejewicz-Ryś J., Ślusarczyk K.** 2001. Skład chemiczny i wartość odżywcza białka nowych odmian grochu (*Pisum sativum* L.). *Rocz. Nauk. Zootech.* 28 (2), 227–236.

- Mørup I., Olesn E.** 1976. New metod for prediction of protein value from essential amino acid pattern. *Nutr. Rep. Int.* 13, 355–365.
- Pastuszewska B., Smulikowska S., Raj S., Ziolecka A.** 1992. Rzepak w żywieniu zwierząt. Wydaw. IFŻŻ im. Jana Kielanowskiego PAN.
- Rakowska M., Szkiłłądziowa W., Kunachowicz H.** 1978. Biologiczna wartość białka żywności. NT. Warszawa.
- Shewry P.R.** 2007. Improving the protein content and composition of cereal grain. *J. Cereal Sci.* 46, 239–250.
- Sieradzki Z., Kwiatek K.** 2006. Wykrywanie w paszach kukurydzy i soi genetycznie zmodyfikowanych. *Med. Weter.* 62 (9), 1035–1037.
- StatSoft, Inc.** 2009. Statistica® (data analysis software system), version 9.0. www.statsoft.com.
- Sujak A., Kotlarz A., Strobel W.** 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chem.* 98, 711–719.
- Świątkiewicz S., Świątkiewicz M., Koreleski J., Kwiatek K.** 2010. Nutritional efficiency of genetically-modified insect resistant corn (MON 810) and glyphosate-tolerant soybean meal (Roundup Ready) for broilers. *Bull. Vet. Inst. Pulawy.* 54, 43–48.