

Stefania Smulikowska, Ewa Święch, Jan Czerwiński

Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt im. Jana Kielanowskiego PAN, Jabłonna

Wartość paszowa żółtonasiennych roślin oleistych z rodzaju *Brassica* dla drobiu i świń*

Nutritional value of yellow-seeded plants from *Brassica* genus for poultry and pigs

Słowa kluczowe: rzepak żółtonasienny, włókno pokarmowe, wartość paszowa, świnie, drób

Programy selekcji skierowane na uzyskanie żółtonasiennych linii rzepiku (*Brassica rapa* L.) i rzepaku (*Brassica napus* L.) są prowadzone od wielu lat w wielu krajach, także w Polsce. Publikowane dane wskazują, że nasiona linii/odmian żółtonasiennych charakteryzują się cieńszą okrywą nasienną, która zawiera na ogół nieco mniej włókna pokarmowego (w tym lignin, polifenoli, włókna surowego, włókna neutralno-detergentowego), natomiast nieco więcej niż nasiona odmian czarnonasiennych tłuszczu, białka i sacharozy. Oprócz barwy nasion również wielkość nasion i wielkość komórek w nasionach wpływa na zawartość i właściwości fizykochemiczne włókna pokarmowego, które warunkują jego działanie fizjologiczne u zwierząt monogastrycznych. Wartość paszowa nasion i śrut rzepakowych zależy także od zawartości w nich składników o działaniu antyżywniowym — glukozynolanów i fitynianów. Wyniki publikowanych prac są niejednoznaczne, w wielu pracach otrzymano wyższą wartość energetyczną i lepszą strawność białka poekstrakcyjnych śrut żółtonasiennych niż czarnonasiennych u szczurów, kurcząt i świń, w innych wykorzystanie nasion i śruty z rzepaków żółtonasiennych było podobne jak z tradycyjnych odmian czarnonasiennych.

Key words: yellow seeded rapeseed, dietary fibre, nutritive value, pigs, poultry

Plant selection programs directed toward development of yellow-seeded turnip rape (*Brassica rapa*) and rapeseed (canola) (*Brassica napus*) have been underway for the last years in many countries, among others in Poland. It was reported, that seeds of the yellow-seeded lines/varieties had thinner hulls, with lower dietary fibre (in it lignin, polyphenols, crude fibre, neutral detergent fibre) content and have been higher in protein, oil and sucrose content than dark-seeded varieties. However, apart from seed colour also the seed size, and embryo cell size may significantly affect the dietary fibre content and its physiological effects in monogastric animals. The published experimental results often indicated better metabolizable energy value, and digestibility of protein of yellow seeds and meals for rats, chickens and pigs. The nutritive value for non-ruminants depends also on the content of some other anti-nutrients, such as glucosinolates and phytic acid, so with some of the yellow-seeded lines the improvement of nutritional value for non-ruminants in comparison to brown-seeded counterparts have not been evident.

* Opracowanie wykonano w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R12 047 03 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego — *The work was supported by Ministry of Science and Higher Education, project no R12 047 03.*

Rzepak jest rośliną przemysłową o wzrastającym znaczeniu gospodarczym w świecie i Unii Europejskiej gdyż jego uprawa w strefie klimatu umiarkowanego jest możliwa i uzasadniona ekonomicznie. Wielkość światowej produkcji nasion rzepaku w ciągu ostatnich 25 lat uległa zwielokrotnieniu, w Polsce jest obecnie uprawiany na około 800 tys. ha. Sukces tej rośliny jest wynikiem prowadzonej w ciągu ostatnich 40 lat intensywnej hodowli jakościowej, dzięki której otrzymano odmiany o obniżonej prawie do zera zawartości kwasu erukowego w oleju (odmiany „0”) oraz odmiany podwójnie ulepszone (odmiany „00” — bezerukowe i niskoglukozynolanowe), które są źródłem wysokiej jakości oleju oraz paszy wysokobiałkowej dla zwierząt gospodarskich. W Polsce obecnie uprawia się wyłącznie odmiany rzepaku „00”, z których po częściowym odolejeniu otrzymuje się wytloki, a po zastosowaniu dodatkowo ekstrakcji rozpuszczalnikami poekstrakcyjną śrutę rzepakową. Wartość pokarmowa śruty rzepakowej jako paszy dla zwierząt monogastrycznych jest jednak ograniczona przez jej niską wartość energetyczną, gdyż zawiera ona dużo nie trawionego przez te zwierzęta włókna pokarmowego. Dlatego od lat 80 ubiegłego wieku w wielu krajach prowadzone są intensywne prace nad wyhodowaniem odmian żółtonasiennych, tzw. potrójnie ulepszonych („000”) o obniżonej zawartości kwasu erukowego, glukozynolanów i włókna pokarmowego (Hernacki 2007, Meng i in. 1998, Potapow i Osipowa 2004, Rashid i in. 1994, Relf-Eckstein 2003). Rozwój odmian rzepaku żółtonasiennego podwójnie ulepszonych jest jednym ze strategicznych celów podniesienia zawartości oleju w nasionach oraz zwiększenia zawartości i dostępności białka. Z punktu widzenia dalszego ulepszenia rzepaku żółtonasiennosc jest istotnym czynnikiem wpływającym na jakość nasion i prowadzącym do zwiększenia strawności i wykorzystania białka (Hernacki 2007, Słominski 1997, Słominski i in. 1999).

Metody oznaczania włókna pokarmowego

Włókno pokarmowe stanowią heterogenne polimeryczne związki tworzące ściany komórkowe roślin, które są odporne na działanie enzymów trawiennych zwierząt monogastrycznych i z tego względu ich zawartość w paszy stanowi przedmiot zainteresowania żywieniowców. Głównymi składnikami włókna pokarmowego są polisacharydy nieskrobiowe (hemicelulozy, celuloza i pektyny), lignina oraz związane z nimi białka strukturalne (w tym niektóre enzymy), związki fenolowe, lipidy i związki mineralne (Bjergegaard i in. 1997a). Istnieje wiele metod wyodrębniania i ilościowego oznaczania zawartości włókna pokarmowego w paszach, w których uwzględnia się różne związki wchodzące w skład tych struktur. Najczęściej zawartość włókna w paszach określa się jako: włókno surowe, włókno neutralno detergentowe (*neutral dietary fibre* — NDF) i kwaśno detergentowe (*acid dietary fibre* — ADF) lub rozpuszczalne (*soluble dietary fibre* — SDF)

i nierozpuszczalne (*insoluble dietary fibre* — IDF) włókno pokarmowe. Najstarsza, ale do dziś stosowana, grawimetryczna metoda oznaczania włókna surowego, opracowana przez Henneberga i Stohmanna (1859), polega na wyodrębnieniu z paszy frakcji nierozpuszczalnej w rozcieńczonym kwasie siarkowym i rozcieńczonym ługu sodowym. Metoda ta nie pozwala dokładnie ocenić zawartości związków nie trawionych przez zwierzęta monogastryczne, gdyż frakcja włókna surowego zawiera jedynie od 10 do 50% ligniny, od 50 do 80% celulozy oraz około 10% hemiceluloz znajdujących się w paszy (Van Soest i McQueen 1973). Van Soest i Wine (1967) opracowali nieco dokładniejszą grawimetryczną metodę ekstrakcji włókna detergentami. Po ekstrakcji detergentem o odczynie obojętnym otrzymuje się frakcję NDF, która zawiera celulozę, ligninę i większość hemiceluloz, po ekstrakcji detergentem o odczynie kwaśnym frakcję ADF, która zawiera celulozę i ligninę. Duża zawartość tłuszczu w paszy może zakłócać wyniki oznaczeń NDF i ADF, dlatego oznaczenia te w nasionach i wytłokach z rzepaku należy prowadzić w materiale odtłuszczonym. Pasze zawierają jednak także rozpuszczalne polisacharydy nieskrobiowe, w tym arabinoksylany i β -glukany, które mogą negatywnie oddziaływać na procesy trawienne u zwierząt, lecz nie wchodzą w skład frakcji NDF i ADF. Enzymatyczno-grawimetryczna metoda oznaczania włókna pokarmowego opracowana przez Aspa i in. (1983) pozwala na pomiar związków nie hydrolizowanych przez enzymy amylolityczne i proteolityczne z podziałem na nierozpuszczalne (IDF) i rozpuszczalne (SDF) w wodzie. Bach-Knudsen i in. (1997) opisali metody enzymatyczno-grawimetryczne zalecane przez AOAC oraz metody enzymatyczno-chemiczne. Metodami tymi oznacza się celulozę, pektyny i hemicelulozy oraz ligninę wraz ze związkami fenolowymi, nie oznaczane są natomiast białka strukturalne i związki mineralne związane z włóknem pokarmowym. Bjerregaard i in. (1997b) przeprowadzili szeroką charakterystykę włókna pokarmowego rzepaku i grochu, rozdzielając je przy użyciu metody Aspa i in. (1983) na cztery frakcje: pektyny, hemicelulozy, celulozy i ligniny. Dalsza analiza tych frakcji wykazała obecność w nich związków nie będących węglowodanami, większą w rzepaku niż w grochu. Były to głównie białka (w tym myrozynaza) i fenole prawdopodobnie silnie adsorbowane lub związane kowalencyjnie, których najwięcej znaleziono we frakcji hemicelulozy rzepaku.

Wielu uczonych podkreśla, że w badaniach nad działaniem fizjologicznym włókna pokarmowego powinno się uwzględniać informacje dotyczące nie tylko rodzaju węglowodanów, tłuszczów, białek, związków fenolowych i innych składników, ale także dane dotyczące budowy, konfiguracji, stereochemii, struktury i budowy przestrzennej tych składników i ich kompleksów. Od tych ostatnich zależą bowiem właściwości włókna pokarmowego bardzo istotne dla jego oddziaływania w przewodzie pokarmowym zwierząt i ludzi, takie, jak: rozpuszczalność w wodzie, właściwości sorpcyjne, wodochłonność i lepkość w roztworach wodnych.

Włókno pokarmowe rzepaku silniej wiąże białka i lipidy niż włókno pokarmowe roślin strączkowych (Bjergegaard i in. 1997b), ma niewielką wodochłonność — większą dla IDF z liścieni, mniejszą dla IDF z okrywy nasiennej (Ochodzki 1997). Jego lepkość w roztworach wodnych jest niska (1,1–1,2 mPa·s) i porównywalna do lepkości włókna pokarmowego pszenicy (Nguyen i in. 2003, Simbaya i in. 1995, Słominski 1997).

Skład chemiczny nasion rzepaku i rzepiku

Nasiona *Brassicaceae* są na ogół ciemne, przeważnie czarne lub ciemnobrązowe, w liniach żółtonasiennych mogą występować nasiona o zabarwieniu od jasnobrązowego do jasnożółtego. Pigment zlokalizowany jest w warstwie palisadowej i parenchymatycznej okrywy nasiennej, w której zlokalizowana jest także znaczna część włókna pokarmowego rzepaku (Hernacki 2007). Zmniejszenie grubości warstwy palisadowej i parenchymatycznej w okrywie nasiennej, a także zahamowanie syntezy polifenoli wiąże się z obniżeniem zawartości włókna pokarmowego w okrywie nasiennej rzepaku. Okrywa nasienna stanowi średnio około 19% masy całych nasion i 30% śruty poekstrakcyjnej rzepaku czarnonasiennego. W badaniach własnych (Smulikowska i in. 1998) stwierdzono, że w drobnych (o średnicy mniejszej niż 1,6 mm) nasionach rzepaku czarnonasiennego okrywa nasienna stanowiła 23%, w nasionach większych 22% masy. Natomiast w nasionach rzepiku żółtonasiennego o średnicy mniejszej niż 1,6 mm okrywa nasienna stanowiła 25%, a w nasionach większych od 1,6 mm jedynie 17% masy nasion.

Słominski (1997) podaje, że w różnych odmianach rzepaku i rzepiku o zawartości i właściwościach fizykochemicznych włókna pokarmowego decydują trzy czynniki:

- a) kolor nasion (im większa proporcja nasion żółtych w próbce, tym niższa zawartość lignin i polifenoli),
- b) wielkość nasion (im większe nasiona, tym mniej włókna pokarmowego w śrucie poekstrakcyjnej),
- c) wielkość komórek w zarodku i liścieniach (im większe komórki, tym mniejszy udział polisacharydów ścian komórkowych w śrucie poekstrakcyjnej).

We wczesnych badaniach prowadzonych w Kanadzie stwierdzono, że w liścieniach nasion rzepaku o żółtobrązowym i żółtym zabarwieniu znajdowało się więcej, a w okrywie nasiennej mniej włókna surowego, frakcji włókna NDF i ADF oraz lignin (Bell i Shires 1982, Mitaru i in. 1984). Wynikało to prawdopodobnie z mniejszych rozmiarów komórek w nasionach żółtych. Wskutek tego różnica w całkowitej zawartości włókna między nasionami linii żółtych i brązowych była niewielka i zawierały one nieco mniej białka i tłuszczu. Natomiast w okrywie

nasiennej obu odmian rzepaku zawartość hemicelulozy i celulozy była podobna i wynosiła odpowiednio: hemicelulozy 5,7 i 5,8%, celulozy odpowiednio 28,6 i 28,4% (Mitaru i in 1984) (tab. 1). Słominski i in. (1994) podają, że pierwsza handlowa odmiana rzepiku żółtonasiennego (Parkland) zawierała dużo włókna i porównywalną ilość białka i tłuszczu jak śruty czarnonasiennych handlowych odmian rzepaku. Późniejsze badania porównawcze (Simbaya i in. 1995) przeprowadzone łącznie na 33 odmianach należących do *B. napus*, *B. rapa*, *B. juncea* i *B. carinata* wykazały, że śruty poekstrakcyjne z odmian o żółtym zabarwieniu nasion zawierały więcej białka (średnio 44,5 vs 42,7%) i sacharozy (średnio 8,7 vs. 7,5%), a mniej włókna pokarmowego (średnio 33 vs 26,4%). W badaniach in vitro stwierdzono, że zawartość rozpuszczalnego włókna pokarmowego we wszystkich badanych odmianach była niska (od 1,2 do 2,8, średnio 1,9% beztłuszczowej suchej masy) i nie korelowała ze strawnością białka ani lepkością roztworów wodnych.

Tabela 1

Skład chemiczny nasion, liścieni wraz z zarodkiem oraz okrywy nasiennej rzepaku żółto- (YSR) i czarnonasiennego (DSR), w % suchej masy — *Chemical composition of seeds, cotyledons and hulls of yellow- (YSR) and black-seeded (DSR) rapeseed, % DM*

Składnik Component	Nasiona Seeds ¹		Liścienie Cotyledons ¹		Okrywa nasienna Seed coats ¹		Okrywa nasienna Seed coats ²	
	YSR	DSR	YSR	DSR	YSR	DSR	YSR	DSR
Tłuszcz surowy Crude fat	44,5	45,5	50,4	52,9	20,7	10,6	18,8	10,9
Białko ogólne Crude protein	24,4	25,2	25,3	26,7	18,2	15,3	17,4	15,1
Popiół surowy Crude ash	3,7	3,4	3,5	3,3	4,7	3,8	6,0	5,1
Włókno surowe Crude fibre	6,3	8,1	3,6	3,1	20,3	39,7	20,0	39,4
NFE/NFE	21,1	17,8	17,2	19,8	36,1	30,6	37,8	29,5
NDF/NDF	21,9	23,6	17,7	12,7	52,6	71,2	39,9	63,1
ADF/ADF	13,4	17,7	9,0	7,4	41,0	59,9	34,1	57,3
Lignina Lignin	5,0	5,6	3,0	2,3	11,7	16,5	5,5	28,9

NFE — związki bezazotowe wyciągowe — *nitrogen-free extractives*

NDF — włókno neutralno-detergentowe — *neutral detergent fibre*

ADF — włókno kwaśno-detergentowe — *acid detergent fibre*

¹ według — *according to*: Bell i Shires (1982); ² według — *according to*: Mitaru i in. (1984)

W Zakładzie Genetyki i Hodowli Roślin Oleistych IHAR poprzez selekcję oraz chów wsobny wyprowadzono szereg linii żółtonasiennych rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.) (Piotrowska i in. 2003, 2004). Skład chemiczny nasion 3 linii o różnym stopniu żółtonasienności oraz wzorcowej odmiany rzepaku ozimego czarnonasiennego Bojan wyprodukowanych w tych samych warunkach glebowo-klimatycznych przedstawiono w tabeli 2. W latach 2003–2005 plon najlepszych linii żółtonasiennych kształtował się w granicach od 61,4 do 80% plonu nasion odmiany czarnonasiennej Lisek. Zawartość tłuszczu w jasnych nasionach wynosiła od 49,8 do 52% i stanowiła od 107 do 112% zawartości tłuszczu wzorcowej czarnonasiennej odmiany Lisek. Zawartość glukozyzolanów w liniach żółtonasiennych wynosiła od 3,5 do 12 $\mu\text{mola}\cdot\text{g}^{-1}$ nasion i była znacznie niższa od normy dla nasion konsumpcyjnych (25 $\mu\text{mola}\cdot\text{g}^{-1}$ suchej masy beztłuszczowej) dopuszczalnej w Polsce. Ochodzki i Piotrowska (2006) podają, że w nasionach czarnonasiennych odmian rzepaku ligniny stanowiły średnio 22% suchej masy beztłuszczowej (smb), podczas gdy w formach żółtonasiennych od 8,8 do 15,2%, średnio około 10%. W tych ostatnich było także więcej sacharozy (9,6 vs 7,5% smb), a mniej stachiozy (1,6 vs 2,5% smb) niż w odmianach czarnonasiennych. Linie żółtonasienne rzepaku ozimego uzyskane w Zakładzie Genetyki i Hodowli Roślin Oleistych IHAR są ustabilizowane pod względem cechy żółtonasienności, charakteryzują się istotnie mniejszą zawartością włókna pokarmowego w stosunku do nasion linii czarnonasiennych, a jednocześnie posiadają cechy rzepaku podwójnie ulepszanego (0% kwasu erukowego i zawartość glukozyzolanów poniżej 15 $\mu\text{M/g}$ nasion). Jak dotąd nasiona tych linii nie były stosowane w badaniach żywieniowych na zwierzętach.

Tabela 2

Skład chemiczny nasion linii żółtonasiennych rzepaku ozimego (PNz) i czarnonasiennej odmiany Bojan — *Chemical composition of seeds of winter rapeseed yellow-seeded lines (PNz) and winter black-seeded Bojan cultivar*

Linia Odmiana Line Cultivar	Kwasy tłuszczowe [% sumy KT] Fatty acids [% total FA]			Tłuszcz surowy Crude fat [%]	Glukozyzolany Glucosinolates, [$\mu\text{M/g}$ seeds]		Włókno Fibre [%]		Białko ogólne Crude protein [%]	Kolor nasion Seed colour*
	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}		suma total	alkenowe alkenyl	ADF	NDF		
PNz 022	60,8	22,6	10,1	46,9	5,7	1,9	12,7	16,3	23,0	4
PNz 015	65,0	18,3	8,0	48,8	6,5	2,8	13,5	15,3	19,8	3
PNz 041	56,2	25,7	11,6	46,8	6,5	1,7	12,3	15,4	21,9	4,5
Bojan	60,6	21,9	9,8	44,7	10,6	5,6	20,8	26,6	20,3	czarny black

* Skala barwy nasion — *colour score*:

1 — brązowa — *brown*, 2 — brązowa z przebarwieniem żółtym — *brown with some yellow*,

3 — barwa w połowie żółta i brązowa — *half brown, half yellow*,

4 — barwa w przewadze żółta — *yellow predominated*, 5 — barwa żółta — *yellow*

W Polsce dotychczas w ograniczonym zakresie uprawiano i używano w badaniach na zwierzętach rzepik żółtonasienny jary (*Brassica rapa* L.), którego plony były znacznie niższe niż rzepaku czarnonasiennego. W tabeli 3 podano skład chemiczny nasion tego rzepiku podany przez Smulikowską i in. (1998) oraz Lipińskiego (2003). Nasiona rzepiku żółtonasiennego zawierały mniej tłuszczu, więcej białka i podobną ilość substancji mineralnych, mniej NDF i ADF niż nasiona rzepaku czarnonasiennego (tab. 3). Nasiona rzepiku użyte w obu badaniach miały niską zawartość glukozynolanów. Lipiński (2003) stwierdził, podobnie jak Simbaya i in. (1995), że nasiona rzepiku zawierały nieco więcej sacharozy i porównywalną ilość oligosacharydów jak nasiona handlowej czarnonasiennej odmiany Polo. Zawartość związków mineralnych w nasionach obu odmian była porównywalna, lecz nasiona rzepiku zawierały więcej fosforu (76 vs. 66 g/kg), w tym więcej fosforu fitynowego (61,3 vs. 44,6 g/kg) niż nasiona odmiany Polo. W wielu badaniach stwierdzono, że skład chemiczny białka i tłuszczu odmian żółto- i czarnonasiennych nie różni się w sposób zasadniczy (Ochodzki i Piotrowska 2006, Smulikowska i in. 1998, Lipiński 2003, Słominski i in. 1999).

Tabela 3

Skład chemiczny nasion i poekstrakcyjnej śruty rzepiku żółtonasiennego odm. Parkland (YSR) i rzepaku ozimego czarnonasiennego (DSR) oraz nasion YSR i DSR w % suchej masy — *Chemical composition of seeds and solvent extracted oil meal of yellow-seeded turnip rape (YSR) cv. Parkland and dark-seeded winter rapeseed (DSR) and YSR and DSR seeds, in % DM*

Składnik <i>Component</i>	wg Smulikowska i in. (1998)				wg Lipiński (2003)	
	nasiona — <i>seeds</i>		śruta — <i>meal</i>		nasiona — <i>seeds</i>	
	YSR	DSR	YSR	DSR	YSR	DSR
Tłuszcz surowy — <i>Crude fat</i>	45,8	46,6	4,8	3,0	40,3	43,0
Białko ogólne — <i>Crude protein</i>	21,2	20,1	38,1	35,6	23,2	20,7
Popiół surowy — <i>Crude ash</i>	4,2	4,1	7,4	7,4	4,5	4,4
NDF — <i>NDF</i>	13,5	14,2	23,7	25,8	12,8	13,4
ADF — <i>ADF</i>	8,9	11,4	15,6	20,7	10,1	11,1
Glukozynolany [μM / g sm beztl.] <i>Glucosinolates [μM / g fat-free DM]</i>	nd	nd	10,3	20,9	12,0	12,3

nd — nie oznaczano — *not determined*

Badania na zwierzętach

Na wykorzystanie białka zawartego w nasionach rzepaku i produktach rzepakowych wpływa stopień jego związania z włóknem pokarmowym, który jest silniejszy w okrywie nasiennej, słabszy w liścieniach. Chibowska i in. (2000) po podaniu kurczętom diet zawierających frakcje mączki, otrąb i okrywy nasiennej

powstałych w drodze separacji czarnonasiennej śruty rzepakowej stwierdziły negatywną korelację między zawartością włókna w diecie a strawnością białka, tłuszczu i wartością energii metabolicznej. Kurczęta trawiły białko mączki w 80%, a białko okrywy nasiennej tylko w 41%. Powodem tego może być znacznie silniejsze powiązanie białka i lipidów włókna pokarmowego w okrywie nasiennej rzepaku niż białka znajdującego się w liścieniach. Ochodzki i Rakowska (1995) podają, że w nasionach rzepaku 46%, a w śrucie aż 48% białka jest powiązane z włóknem pokarmowym. Z tego od 46 do 56% jest związane z pektynami, około 20% z hemicelulozami, 9–11% z ligniną i od 5 do 8% z celulozą (Ochodzki 1997). Ochodzki i in. (1995) wprowadzili wyizolowane z rzepaku frakcje IDF i SDF do diety szczurów i stwierdzili, że 98% azotu związanego z frakcją IDF zostało wydalone w kale, a tylko 2% w moczu, podczas gdy tylko 18% azotu związanego z frakcją SDF zostało wydalone w kale, a 82% w moczu. Świadczy to, że białko związane z frakcją IDF nie jest trawione ani przez enzymy wydzielane do przewodu pokarmowego, ani przez enzymy mikroflory przewodu pokarmowego. Natomiast białko związane z frakcją SDF jest hydrolizowane i dezaminowane przez enzymy mikroflory końcowego odcinka przewodu pokarmowego, a powstały amoniak jest wchłaniany i wydalany w postaci mocznika w moczu.

Na strawność białka produktów rzepakowych wpływają także warunki toastowania. Slominski (1997) podaje, że białko ze śrut rzepakowych poddanych łagodnemu procesowi toastowania (parowanie w temperaturze około 100°C przez około 20 min.) było lepiej trawione w warunkach *in vitro* niż białko ze śrut nie toastowanych, co prawdopodobnie wiązało się ze zmianą przestrzennej konfiguracji cząsteczek białka, czyniąc je bardziej podatnymi na działanie enzymów proteolitycznych. Podobne wyniki otrzymano także korzystając z metod *in vivo*. Dość duża zawartość sacharozy i oligosacharydów w nasionach rzepaku powoduje, że przy stosowaniu zbyt wysokiej temperatury podczas zabiegu toastowania cukry te tworzą z lizyną tzw. związki Maillarda, które są nieprzyswajalne dla zwierząt monogastrycznych i charakteryzują się ciemną barwą. Wskutek tego przyswajalność lizyny i strawność białka ze śrut przegrzanych obniża się (Graża i in. 1994, Slominski 1997).

Po zastosowaniu takich samych warunków ekstrakcji i toastowania Slominski i in. (1999) stwierdzili, że u dorosłych kogutów strawność rzeczywista aminokwasów poekstrakcyjnych śrut z żółtonasiennych odmian rzepaku była podobna jak śruty z rzepaku czarnonasiennego, a strawność aminokwasów śruty z rzepiku odmiany Parkland o 3,5 punktów procentowych niższa. Smulikowska i in. (1998) oraz Lipiński (2003) podają, że szczury nieco lepiej trawiły i wykorzystywały białko poekstrakcyjnej śruty, wycieków i nasion z rzepiku żółtonasiennego niż z rzepaku czarnonasiennego (tab. 4). W tabeli 5 podano wartości otrzymane dla tych samych nasion i produktów pochodnych w doświadczeniach bilansowych na kurczętach brojlerach i warchlakach o masie ciała 25 i 70 kg. U kurcząt pozorna

strawność białka wycioku z rzepiku żółtonasiennego była porównywalna, a z nasion i śrutki nieco wyższa niż z rzepaku czarnonasiennego. Natomiast strawność tłuszczu z wycioków i śrutki rzepiku żółtonasiennego była odpowiednio o 16 i 25 punktów procentowych wyższa niż odpowiednich produktów z rzepaku czarnonasiennego. Chibowska i in. (2000) stwierdziły, że po ekstrakcji oleju pozostają w wyciokach i śrucie z rzepaku czarnonasiennego głównie lipidy bardzo silnie związane z włóknem pokarmowym okrywy nasiennej, które są niedostępne dla enzymów trawiennych zwierząt. Mniejsza zawartość włókna pokarmowego w nasionach rzepiku żółtonasiennego (tab. 3) prawdopodobnie przyczyniła się do lepszego trawienia tłuszczu i większej wartości energetycznej śrutki dla kurcząt niż śrutki z rzepaku czarnonasiennego (tab. 5).

Tabela 4

Rzeczywista strawność białka (TD), wartość biologiczna białka (BV) oraz wykorzystanie białka netto (NPU) z wycioków i poekstrakcyjnej śrutki rzepiku żółtonasiennego odm. Parkland (YSR) i rzepaku ozimego czarnonasiennego (DSR) oraz nasion YSR i DSR, oznaczona na szczurach (w %) — *True protein digestibility (TD), biological value (BV) and net protein utilization (NPU) of press cake and solvent extracted oil meal from yellow-seeded turnip rape (YSR) cv. Parkland and dark-seeded winter rapeseed (DSR) and YSR and DSR seeds determined on rats in %*

Wyszczególnienie <i>Item</i>	wg Smulikowska i in. (1998)				wg Lipiński (2003)	
	YSR		DSR		nasiona — <i>seeds</i>	
	wycioki <i>cake</i>	śruta <i>meal</i>	wycioki <i>cake</i>	śruta <i>meal</i>	YSR	DSR
TD	85,5	81,8	84,9	80,1	91,5	90,5
BV	89,4	91,6	87,5	90,6	90,3	89,8
NPU	76,4	75,0	74,3	72,5	82,7	81,2

Lipiński (2003) porównał strawność i wartość energetyczną nasion rzepiku żółtonasiennego i rzepaku czarnonasiennego u młodszych (MC 25 kg) i starszych (MC 70 kg) warchlaków. Niezależnie od rodzaju podawanych nasion warchlaki starsze trawiły ich składniki lepiej niż młodsze, a różnice między strawnością białka i tłuszczu nasion żółtonasiennych i czarnonasiennych były mniejsze u młodszych warchlaków, większe u starszych. Kurczęta trawiły białko i tłuszcz nasion lepiej niż młodsze warchlaki, a podobnie jak starsze. Natomiast strawność masy organicznej nasion była niższa u kurcząt niż u świń, gdyż pokarm przebywa znacznie dłużej w przewodzie pokarmowym świń niż drobiu i może w tym czasie ulegać fermentacji bakteryjnej. W końcowych odcinkach przewodu pokarmowego świń i drobiu fermentowane są oligosacharydy, u świń są także częściowo hydrolizowane hemicelulozy i pektyny. Końcowymi produktami fermentacji bakteryjnej są krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, które są wykorzystywane jako źródło energii (w większej mierze przez świnie niż przez kurczęta), oraz gazy

(metan, wodór, amoniak, dwutlenek węgla), których energia jest tracona. Wartość energii metabolicznej nasion rzepiku żółtonasiennego była u zwierząt obu gatunków większa niż nasion rzepaku czarnonasiennego, u kurcząt większa niż u młodszych, a mniejsza niż u starszych warchlaków (tab. 5).

Tabela 5

Pozorna strawność białka ogólnego (APD), tłuszczu surowego (FD) i retencja masy organicznej (OMR) (%) oraz energia metaboliczna (EM, MJ/kg suchej masy) nasion, wycioku i poekstrakcyjnej śrutki rzepiku żółtonasiennego odm. Parkland (YSR) i rzepaku ozimego czarnonasiennego (DSR) oznaczane na kurczętach brojlerach oraz nasion YSR i DSR oznaczane na warchlakach o masie ciała MC 25 i MC 70 kg — *Apparent digestibility of crude protein (APD), crude fat (FD), organic matter (OMR) (%) and metabolizable energy (ME, MJ/kg DM) of seeds, press cake and solvent extracted oil meal of yellow-seeded turnip rape (YSR) cv. Parkland and dark-seeded winter rapeseed (DSR) determined on chickens and YSR and DSR seeds determined on pigs of body weight 25 or 70 kg*

Wyszczególnienie Item	wg Smulikowska i in. (1998)						wg Lipiński (2003)			
	kurczęta — chickens						warchlaki — pigs nasiona — seeds			
	YSR			DSR			YSR		DSR	
	nasiona seeds	wycioki cake	śruta meal	nasiona seeds	wycioki cake	śruta meal	MC 25 BW 25	MC 70 BW 70	MC 25 BW 25	MC 70 BW 70
APD	84,2	88,0	87,1	82,0	89,0	83,6	75,7	83,6	74,6	79,7
FD	81,6	91,6	60,6	79,0	75,6	35,6	70,3	81,1	66,0	78,2
OMR	59,7	48,8	42,1	61,5	51,6	28,0	82,3	77,7	80,7	70,7
EM	18,7	13,6	8,9	18,1	12,1	6,1	17,7	19,4	17,0	18,8

Lipiński (2003) stwierdził, że w nasionach rzepiku żółtonasiennego znajdowało się więcej fosforu niż w nasionach rzepaku czarnonasiennego (odpowiednio 7,6 vs 6,6 g/kg suchej masy), lecz większy był udział fosforu fitynowego (80 vs 68% fosforu ogólnego). Fityniany są uznawane za związki o charakterze antyżywnościowym, gdyż chelatują kationy dwuwartościowe, a także aminokwasy. Fityniany rzepaku czarnonasiennego są dość odporne na działanie fitaz, lecz po uzupełnieniu mieszanek z wyciokami takiego rzepaku fitazą strawność białka i wartość energetyczna wycioków zwiększa się. Podawanie fitazy powoduje jednak również zwiększenie aktywności mikroflory przewodu pokarmowego i powiększenie masy tarczycy u kurcząt, co świadczy o hydrolizie glikozynolanów (Smulikowska i in. 2006). W literaturze nie spotkano badań nad stopniem podatności fitynianów rzepaku żółtonasiennego na działanie fitaz.

Hodowcy zwierząt gospodarskich niechętnie stosują pasze z udziałem produktów rzepakowych, które charakteryzują się ciemnym zabarwieniem. Można przypuszczać, że to negatywne nastawienie nie będzie się przenosić na odmiany żółtonasienne. Linie żółtonasienne uzyskane w Zakładzie Genetyki i Hodowli Roślin

Oleistych IHAR ustabilizowane pod względem cechy żółtonasienności powinny być jednak wszechstronnie zbadane przed zarejestrowaniem i wprowadzeniem na większą skalę do uprawy i użytkowania paszowego. Obecnie nie jest możliwe wyprodukowanie bardzo dużych partii rzepaku żółtonasiennego, umożliwiającą jego odolejenie w dużych zakładach tłuszczowych, dlatego planuje się przeprowadzenie doświadczeń na wyłokach uzyskanych w drodze tłoczenia na zimno w małym zakładzie. Pozwoli to równocześnie na opracowanie najkorzystniejszych parametrów tłoczenia dla tego typu nasion.

Planowane badania nad wpływem różnic w zawartości włókna pokarmowego i składników odżywczych oraz podatności tych ostatnich na trawienie między żółtonasiennymi i tradycyjnymi formami rzepaku na ich wartość pokarmową dla drobiu i świń mogą także wskazać kierunki prac hodowlanych w celu ewentualnej dalszej poprawy wykorzystania produktów odolejania nasion rzepaku żółtonasiennego w żywieniu zwierząt.

Literatura

- Asp N.G., Johansson C.G., Hallmer H., Siljestrom M. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fibre. *J. Agric. Food Chem.*, 31: 476-482.
- Bach-Knudsen K.E., Johansen H.N., Glitsø V. 1997. Methods for analysis of dietary fibre – advantage and limitations. *J. Anim. Feed Sci.*, 6: 185-206.
- Bell J.M., Shires A. 1982. Composition and digestibility by pigs of hull fractions from rapeseed cultivars with yellow or brown seed coats. *Can. J. Anim. Sci.*, 62: 557-565.
- Bjergegaard Ch., Sørensen H., Sørensen S. 1997a. Dietary fibres – important parts of high quality food and feeds. *J. Anim. Feed Sci.*, 6: 145-161.
- Bjergegaard Ch., Sørensen H., Sørensen S. 1997b. Dietary fibres and associated compounds in rapeseed and biorefined rapeseed products compared to DF in pea. *J. Anim. Feed Sci.*, 6: 163-184.
- Chibowska M., Smulikowska S., Pastuszewska B. 2000. Metabolisable energy value of rapeseed meal and its fractions for chickens as affected by oil and fibre content. *J. Anim. Feed Sci.*, 9: 371-378.
- Grala W., Pastuszewska B., Smulikowska S., Buraczewska L., Gdala J. 1994. Effect of thermal processing on the protein value of double-low rapeseed products. 2. Effect of processing stages in the oil plant and of toasting in laboratory conditions. *J. Anim. Feed Sci.*, 3: 43-55.
- Henneberg W., Stohmann F. 1859. Über das Ernährungsfutter volljährigen Rindviehs. *J. Landwirtsch.*, 3: 485-551.
- Hernacki B. 2007. Rzepak żółtonasienny – aktualny stan badań w skali światowej, problemy i zagadnienia. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXVIII (2): 125-150.
- Lipiński K. 2003. Wartość odżywcza i przydatność paszowa żółtonasiennego rzepiku (*Brassica rapa* L.) odmiany Parkland w żywieniu świń. Rozprawa habilitacyjna, UWM Olsztyn.
- Meng J., Shi S., Gan L., Li Z., Qu X. 1998. The production of yellow-seeded *Brassica napus* (AACC) through crossing interspecific hybrids of *B. campestris* (AA) and *B. carinata* (BBCC) with *B. napus*. *Euphytica*, 103: 329-333.
- Mitaru B.N., Blair R., Reichert R.D., Roe W.E. 1984. Dark and yellow rapeseed hulls, soybean hulls and a purified fibre source: their effects on dry matter, energy, protein and amino acid digestibilities in cannulated pigs. *J. Anim. Sci.*, 59, 6: 1510-1518.

- Nguyen C.V., Smulikowska S., Mieczkowska A. 2003. Effect of linseed and rapeseed or linseed and rapeseed oil on performance, slaughter yield and fatty acid deposition in edible parts of the carcass in broiler chickens. *J. Anim. Feed Sci.*, 12: 271-288.
- Ochodzki P. 1997. Skład chemiczny włókna nasion rzepaku. Materiały Konferencji „Włókno pokarmowe – skład chemiczny i biologiczne działanie”, Radzików, 24-25.04.1997: 75-87.
- Ochodzki P., Piotrowska A. 2006. Skład chemiczny najnowszych form żółtonasiennego rzepaku ozimego. XXVIII Konferencja Naukowa Rośliny Oleiste. Streszczenia: 33-35.
- Ochodzki P., Rakowska M. 1995. Does the protein bound to dietary fibre influence the nutritional value of rapeseed meals? Proceedings 9th International Rapeseed Congress, 4-7 July, Cambridge, UK, 1: 206-208.
- Ochodzki P., Rakowska M., Rek-Cieply M., Bjergegaard C., Sorensen H. 1995. Studies on enzyme based fractionation, chemical composition and biological effects of dietary fibres in rapeseed (*Brassica napus* L.). 2. Influence of rape seed dietary fibre on digestibility of protein and organic matter using unprocessed and heated full fat rape seed and isolated dietary fibre fractions added to rat diets. *J. Anim. Feed Sci.*, 4: 139-151.
- Piotrowska A., Krzymański J., Bartkowiak-Broda I., Krótka K. 2003. Characteristics of yellow-seeded lines of winter oilseed rape. Proceedings 11th International Rapeseed Congress, 6-10 July, Copenhagen, Denmark, 1: 247-249.
- Piotrowska A., Krótka K., Bartkowiak-Broda I., Krzymański J. 2004. Genetyczna analiza cechy żółtonasienności u rzepaku ozimego. XXVI Konferencja Naukowa Rośliny Oleiste. Streszczenia: 52-53.
- Potapow D.A., Osipova G.M. 2004. Breeding of yellow-seeded summer rapeseed (*Brassica napus* L.) in West Siberia. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, 24, 1: 51-60.
- Rashid A., Rakow G., Downey R.K. 1994. Development of yellow-seeded *Brassica napus* through interspecific crosses. *Plant Breeding*, 112: 127-134.
- Relf-Eckstein J., Rakow G., Raney J.P. 2003. Yellow seeded *Brassica napus* – a new generation of high quality canola of Canada. Proceedings 11th International Rapeseed Congress, 6-10 July, Copenhagen, Denmark, 2: 458-460.
- Simbaya J., Slominski B.A., Rakow G., Campbell L.D., Downey R.K., Bell J.M. 1995. Quality characteristics of yellow-seeded Brassica seed meals: Protein, carbohydrates, and dietary fibre components. *J. Agric. Food Chem.*, 43: 2062-2066.
- Slominski B.A. 1997. Developments in the breeding of low fibre rapeseed/canola. *J. Anim. Feed Sci.*, 6: 303-317.
- Slominski B.A., Campbell L.D., Guenter W. 1994. Carbohydrates and dietary fibre components of yellow- and brown-seeded canola. *J. Agric. Food Chem.*, 42: 704-707.
- Slominski B.A., Simbaya J., Campbell L.D., Rakow G., Guenter W. 1999. Nutritive value for broilers of meals derived from newly developed varieties of yellow-seeded canola. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 78: 249-262.
- Smulikowska S., Mieczkowska A., Czerwiński J., Weremko D., Nguyen C.V. 2006. Effects of endogenous phytase in chickens fed diets with differently processed rapeseed expeller cakes. *J. Anim. Feed Sci.*, 15: 237-252.
- Smulikowska S., Pastuszewska B., Ochtabińska A., Mieczkowska A. 1998. Composition and nutritional value for chickens and rats of seeds, cake and solvent meal from low-glucosinolate yellow-seeded spring rape and dark-seeded winter rape. *J. Anim. Feed Sci.*, 7: 415-428.
- Van Soest P.J., McQueen R.W. 1973. The chemistry and estimation of fibre. *Proceedings Nutrition Society*, 32: 123-130.
- Van Soest P.J., Wine R.H. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. Preparation of fibre residues of low nitrogen content. Determination of cell-wall constituents. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 50: 50-55.