

Glucosinolates – anti-nutritional feed constituents

Patyra E., Kwiatek K., Department of Hygiene of Animal Feedingstuffs, National Veterinary Research Institute in Pulawy

The aim of this article was to discuss the chemical structure of glucosinolates and present their toxicity, as feed components, for livestock such as pigs, poultry and ruminants. The glucosinolates are a large group of sulphur-containing secondary plant metabolites, which occur in all, economically important, members of *Brassica*. A wide variety of glucosinolates exists owing to modification of the side-chain structure. The ingestion of substantial amount of glucosinolates may be deleterious to animal health and production. The fodder and seed meals of genus *Brassica* are the main source of glucosinolates in animal diets. For a long time glucosinolates are known to reduce the intake and induce iodine deficiency, hypertrophy of liver, kidney and thyroid gland and, at higher levels, to cause mortality. The purpose of this review was to describe the anti-nutritional characteristics of feed glucosinolates.

Keywords: glucosinolates, animal feedingstuffs, anti-nutritional properties.

Glukozyzyny – składniki antyżywniowe pasz

Ewelina Patyra, Krzysztof Kwiatek

z Zakładu Higieny Pasz Państwowego Instytutu Weterynaryjnego – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach

walina, leucyna i izoleucyna), aromatycznych (tyrozyna i fenyloalanina) oraz indolowych (tryptofan) (3, 4, 5). Różnorodność występujących kombinacji łańcucha bocznego sprawia, że do chwili obecnej zidentyfikowano ponad 120 różnych glukozyzynolanów (1).

W roślinach glukozyzyny występują w postaci glikozydowej, dzięki czemu nie wykazują one toksyczności w stosunku do roślin, zwierząt, jak i patogenów (6). Skład jakościowy i ilościowy glukozyzynolanów zależy od gatunku rośliny, organu i fazy rozwojowej. Najwyższą zawartość stwierdza się w nasionach i młodych siewkach, niższą zaś w kwiatostanach, łuszczynach oraz korzeniach i liściach (4). W fazie kwitnienia w organach roślinnych obserwuje się spadek zawartości glukozyzynolanów, przy czym w miarę starzenia ich dominującą formą są glukozyzyny indolowe. Zawartość glukozyzynolanów mogą także modyfikować czynniki środowiska oraz cząsteczki sygnałowe związane z reakcjami na stres biotyczny i abiotyczny (7, 8).

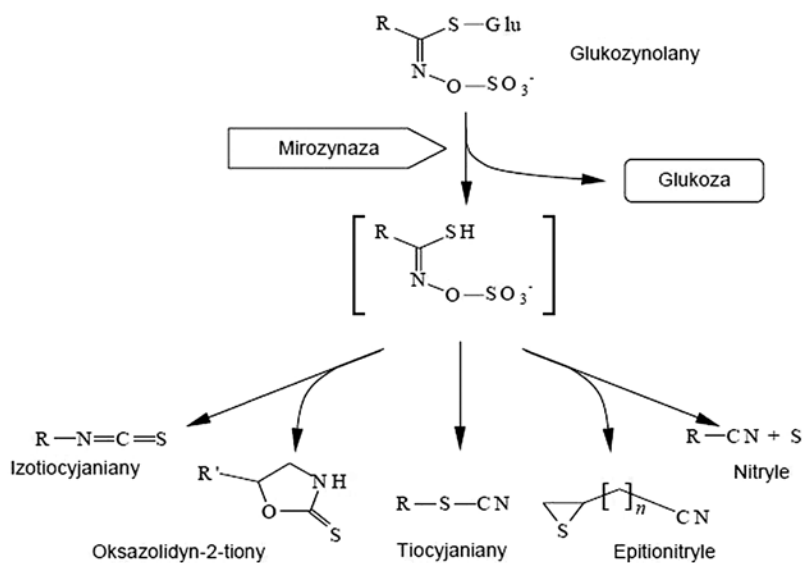
Glukozyzyny są związkami o dużej stabilności chemicznej, mogą występować w różnej ilości i formach chemicznych (9). Związki te są stosunkowo trwałe i odporne na działanie wysokiej temperatury, natomiast łatwo ulegają hydrolizie enzymatycznej pod wpływem

enzymu – mirozyny (9). Enzym ten, występujący w tzw. komórkach mirozynazowych, zostaje uwolniony dopiero podczas uszkodzenia komórek roślinnych w wyniku miażdżenia lub innych procesów technologicznych oraz w trakcie żucia pokarmów i może być katalizatorem procesu hydrolizy wiązania glikozydowego. Podczas hydrolizy enzymatycznej powstaje glukoza, jon siarczanowy oraz w zależności od warunków pH szereg produktów degradacji, wśród których wyróżnia się m.in.: tiocyjaniany, izotiocyjaniany, nityle i indole, które charakteryzuje wysoka aktywność biologiczna (ryc. 1).

Zawartość poszczególnych produktów hydrolizy glukozyzynolanów zależy od wielu czynników, a mianowicie: gatunku rośliny, jej odmiany, miejsca hydrolizy, występowania kofaktorów (np. witaminy C) oraz warunków środowiska (pH, temperatura, wilgotność; 10).

W żywieniu zwierząt gospodarskich glukozyzyny mogą być dostarczane zwierzętom w mieszankach paszowych, w których znajduje się makuch lub śruta rzepakowa jako komponent białkowy. W zależności od metody produkcji oleju – ekstrakcja rozpuszczalnikami lub tłoczenie – otrzymuje się dwa rodzaje produktu paszowego: śrutę lub wytlóki, czyli makucho rzepakowe (11). Makucho jest produktem białkowym pozostającym z nasion po wytłoczeniu oleju. W klasycznej technologii przerobu nasion makucho poddawany jest ekstrakcji rozpuszczalnikami organicznymi. Zawartość tłuszczu w makucho jest zmienna i zależy od rodzaju pras, na których prowadzi się tłoczenie oleju (12). Ubocznym produktem pozyskiwanym w procesie przerobu nasion rzepaku jest śruta poekstrakcyjna. Ma ona dość ustabilizowany skład chemiczny. Problemem jest jednak wysoka, zbliżona do wytlóków koncentracja włókna surowego (ok. 10%), która obniża strawność i wartość energetyczną paszy. Ponadto zawiera najmniejszą spośród produktów rzepakowych zawartość tłuszczu – ok. 2% (13). Makucho zawiera natomiast znaczną ilość białka, w tym aminokwasów, stąd jest stosunkowo dobrym materiałem paszowym. W porównaniu do śruty rzepakowej makucho różni się wyższą zawartością tłuszczu, przy nieco niższej zawartości białka

Glukozyzyny (Gls) są związkami chemicznymi występującymi w wielu roślinach z rodziny kapustowatych (Brassicaceae), takich jak: kapusta biała, kapusta czerwona, kapusta włoska, kapusta pekińska, brukselka, kalafior, brokuł, rzodkiew, rzodkiewka, kalarepa, jarmuż, rzeżucha, rukola, chrzan oraz gorczyca, rzepik i rzepak (1, 2). Glukozyzyny to anionowe związki organiczne posiadające cząsteczkę β-D-glukozy, sulfonowany oksym i łańcuch boczny pochodzący od aminokwasów alifatycznych (metionina, alanina,



Ryc. 1. Rozkład glukozyzynolanów katalizowany przez mirozynazę i produkty hydrolizy; R – rodnik (5)

(12). Oba produkty – śruta poekstrakcyjna i makuch rzepakowy – wpisane są do Rejestru Materiałów Paszowych Unii Europejskiej i można je stosować w żywieniu zwierząt. Oznacza to, że mogą być wykorzystywane do produkcji mieszanek paszowych lub stosowane w dietach dla zwierząt gospodarskich w sposób bezpośredni. Zainteresowanie nasionami rzepaku i produktami jego przerobu wzrosło, gdy wprowadzono ograniczenia w stosowaniu niektórych pasz pochodzenia zwierzęcego (mączki mięsne i kostne) w mieszankach ze względu na możliwość transmisji niektórych czynników chorobotwórczych (11). Jest to tym ważniejsze, że zaspokojenie zapotrzebowania zwierząt na białko charakteryzuje się ujemnym bilansem w skali naszego kraju, co zmusza do importu śruty sojowej. Białko pasz rzepakowych łagodzi ten niedobór i jest istotną pozycją w bilansie pasz białkowych w naszym kraju.

Jednak ze względu na obecność glukozyzolanów zastosowanie śruty, jak i makuchu rzepakowego w paszach ma pewne ograniczenia. Jak wynika z badań Pastuszewskiej (14), na wartość pokarmową makuchu wpływa przede wszystkim zawartość glukozyzolanów. Od lat 60. XX w. prowadzone są w Polsce intensywne badania nad zmniejszeniem zawartości glukozyzolanów i kwasu erukowego w nasionach rzepaku. W wyniku prowadzonych badań uzyskano rzepak bezerukowy, zerowy, o lepszych parametrach jakościowych i obniżonej zawartości kwasu erukowego. Dalsze badania doprowadziły do powstania odmian podwójnie ulepszonych – dwuzerowych, w których koncentracja kwasu erukowego zmalała do poziomu poniżej 2%, a zawartość glukozyzolanów zmniejszyła się 15-krotnie w porównaniu z odmianami tradycyjnymi. Na przestrzeni ostatnich lat zabiegi technologiczne umożliwiły wytworzenie odmian rzepaku potrójnie ulepszonych o zmniejszonej zawartości włókna surowego, jednak duża wrażliwość na szkodniki i choroby sprawia, że nie jest on powszechnie uprawiany (15). Szacuje się, że w polskich odmianach rzepaku zawartość glukozyzolanów nie przekracza 15–20 µM/g suchej masy beztłuszczowej (s.m.b.). Do Krajowego Rejestru Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) wpisywane są tylko odmiany rzepaku, w których zawartość glukozyzolanów nie przekracza 15 µM/g s.m.b., natomiast do Katalogu Odmian Europejskich nasiona odmian, w których zawartość glukozyzolanów nie przekracza 25 µM/g s.m.b. Z kolei za dopuszczalną normę glukozyzolanów w paszach rzepakowych stosowanych w żywieniu zwierząt przyjęto poziom 15–20 µM/g s.m.b. (16).

Działanie biologiczne glukozyzolanów

Glukozyzolany są nieaktywnymi biologicznie cząsteczkami, ale produkty ich rozpadu powstające w wyniku działania enzymu mirozynyzy wykazują negatywne oddziaływanie biologiczne na organizm zwierząt. Właściwości antyodżywcze glukozyzolanów związane są z ilością śruty lub makuchu rzepakowego dodawanego do mieszanek paszowych. Produkty rozpadu glukozyzolanów takie jak izotiocyjaniiny odpowiedzialne są za gorycz, natomiast nitryle wywierają negatywny wpływ na ogólny stan zdrowia zwierząt (17). Tiocyjaniiny, tiomocznik i oksazyloid mogą hamować dostępność jodu, wpływając na funkcję tarczycy. Produkty hydrolizy glukozyzolanów, a w szczególności oksazolidon, wykazują silne działanie goitrogenne (18). Zjawisko to spowodowane jest hamowaniem utleniania jodku do formy aktywnej, przez co zmniejsza się zdolność wiązania jodu w tarczycy. Podawanie mieszanek paszowych z dużą zawartością rzepaku, przy jednoczesnym niedoborze jodu może doprowadzić do upośledzenia funkcji wydzielniczej tarczycy, a następnie do wzrostu aktywności tyreotropowej, co powoduje przerost tarczycy (wole; 13). Glukozyzolany mogą ponadto wykazywać działanie mutagenne, jak również doprowadzać do uszkodzenia wątroby i nerek. Obecność glukozyzolanów w diecie zwierząt może prowadzić do zaburzenia gospodarki hormonalnej, co skutkuje spowolnieniem tempa wzrostu zwierząt (19).

Zmniejszone pobieranie pasz zawierających glukozyzolany spowodowane jest obecnością sinigriny i pirogotropin posiadających gorzki smak. Dlatego też zwierzęta niechętnie pobierają pasze zawierające te związki. Wśród zwierząt istnieje różna tolerancja na zawartość glukozyzolanów w paszach. Ponadto wysokie stężenia tych związków przyjmowane przez zwierzęta z paszą mogą doprowadzać do śmierci zwierząt, szczególnie królików, świń i szczurów (20).

Świnie

Badania przeprowadzone na świniach wskazują na zróżnicowaną tolerancję tych zwierząt na obecność glukozyzolanów w ich diecie (21). Młode zwierzęta są bardziej narażone na negatywne działanie glukozyzolanów od zwierząt dorosłych. W żywieniu loch nie stwierdzono negatywnego wpływu glukozyzolanów na wskaźniki reprodukcyjne, o ile ich poziom nie przekraczał 1,8 g w kilogramie paszy. Wyższa zawartość tych związków może wpływać na opóźnienie rui u loszek, obniżenie wagi miotów i mniejszą przeżywalność prosiąt (22). Dieta loch z udziałem pasz

Automat biochemiczny MINDRAY BS-120



Automat hematologiczny 3-diff MINDRAY BC-2800vet



Najnowszy automat hematologiczny 5-diff MINDRAY BC-5000vet



(cytometria przepływowa + laser)

STAMAR[®]

Autoryzowany
i wyłączny dystrybutor sprzętów
firmy **mindray**
do laboratorium weterynaryjnego

Tel.: 601 845 055 (Marek)
726 300 777 (Dominika)

rzepakowych nie powinna zawierać więcej niż 2 mM glukozyzolanów w kilogramie paszy. Powinna ponadto zostać uzupełniona jodem (J) w dawce wynoszącej przynajmniej 1 mg J na kilogram paszy. Z badań przeprowadzonych przez Schöne i wsp. (23) wynika, że dodatek makucho rzepakowego w ilości 7,5% nie wywierał negatywnych efektów na zdrowie loch, ale następował wzrost wydalania jodu z moczem oraz zmniejszenie jego stężenia w mleku (23). Dlatego za bezpieczny poziom dodatku rzepakowego w mieszance paszowej dla loch przyjęto zawartość na poziomie 6–7% (12).

Mieszanki paszowe dla loch karmiących nie powinny zawierać pasz rzepakowych, ponieważ glukozyzolany zawarte w paszach mogą przenikać do ich mleka i zakłócać metabolizm jodowy prosiąt, co obniża tempo ich wzrostu i może doprowadzać do przerostu tarczycy (12).

Poekstrakcyjna śruta rzepakowa, jak również makucho rzepakowy mogą być stosowane w żywieniu tuczników w drugiej połowie tuczu, w zakresie masy warchlaków od 60 do 110 kg, kiedy przewód pokarmowy świń jest w pełni ukształtowany. Natomiast w pierwszym okresie tuczu, przy masie od 30 do 60 kg, najkorzystniej podawać jest dwa różne źródła białka. W przypadku stosowania w mieszankach paszowych dla tuczników do 15% makucho rzepakowego w okresie tuczu tylko nieznacznie obniżeniu ulegają dzienne przyrosty masy ciała (12). Jednak może powodować to znaczne powiększenie masy narządów, głównie tarczycy, wątroby i nerek oraz obniżenie stężenia hormonów tarczycy we krwi (24). Świnie młodsze szybciej reagują na obecność glukozyzolanów niż starsze, dlatego też zawartość tych związków w dziennej dawce pokarmowej nie powinna przekraczać 2,5 mM/kg paszy. Oznacza to, że ilość śruty rzepakowej wprowadzonej do dawek dla świń rosnących powinna być dostosowana do zawartości w niej glukozyzolanów (25).

Śruta zawierająca nie więcej niż 5 $\mu\text{M/g}$ może być stosowana w żywieniu świń o dużym potencjale wzrostu jako jedyne białko uzupełniające zboże, pod warunkiem prawidłowego zbilansowania dawki pokarmowej, głównie w lizynę (25).

Drób

Glukozyzolany zawarte w diecie drobiu wpływają pozytywnie na wzrost i wydajność ptaków, przy czym bardziej szkodliwe są dla kur niosek i indyków niż brojlerów. Krótki okres hodowli brojlerów wynoszący od 6 do 8 tygodni nie jest wystarczający, aby glukozyzolany zawarte w makucho lub śrucie rzepakowej wpłynęły

szkodliwie na zdrowie tej grupy drobiu (26). Rotkiewicz i wsp. (26) stwierdzili, że od 55 do 70% pobranych glukozyzolanów opuszcza przewód pokarmowy kurczą w stanie nierozłożonym. Może być to jeden z powodów, dla których drób jest mniej wrażliwy na niekorzystne działanie glukozyzolanów niż świnie. Campbell i wsp. (27) stwierdzili, że hydroliza glukozyzolanów w przewodzie pokarmowym kur przebiega szybciej w mieszance bez dodatku antybiotyków, a wolniej w mieszance paszowej dla kur zawierającej antybiotyki (16). Zawartość glukozyzolanów w mieszankach dla drobiu nie powinna przekraczać 1,5 $\mu\text{M/g}$ mieszanki (ptaki starsze są mniej wrażliwe niż młodsze). Wysoki udział glukozyzolanów w diecie drobiu może doprowadzać do obniżenia spożycia paszy, zaburzenia wzrostu i podwyższenia śmiertelności. Według Karunajeewei i wsp. (28) dodatek 149 g/dzień śruty rzepakowej w istotny sposób przyczynia się do wzrostu śmiertelności kurczą brojlerów, a przyczyną są zaburzenia w funkcjonowaniu wątroby, serca oraz układu ruchu (29). Podobne przypadki obserwowano w badaniach prowadzonych przez Palandra i wsp. (29), w których odnotowano pęknięcie tętnic brzusznych u drobiu. W obu przypadkach za przyczynę zmian patologicznych uznano toksyczny wpływ produktów hydrolizy glukozyzolanów. Dlatego też w mieszankach dla drobiu rzeźnego należy ograniczać udział makucho lub śruty rzepakowej do około 10% (16).

Przeżuwacze

Przeżuwacze wykazują największą tolerancję na działanie glukozyzolanów w porównaniu do innych zwierząt gospodarskich. Przy czym zwierzęta dorosłe posiadają większą tolerancję na działanie glukozyzolanów w porównaniu do zwierząt młodych. Część glukozyzolanów zawartych w rzepaku ulega hydrolizie i rozkładowi w procesie bakteryjnego trawienia i fermentacji żwaczowej, tracąc swoje szkodliwe właściwości (12). Pomimo dużej tolerancji zwierząt przeżuwających na obecność glukozyzolanów w paszy ich długotrwałe podawanie może być przyczyną wzrostu stężenia tiocyjanianów oraz obniżenia poziomu tyroksyny w osoczu (31). W żywieniu krów mlecznych wysoka zawartość glukozyzolanów w dawce pokarmowej może doprowadzać do zaburzenia płodności oraz indukować zaburzenia tarczycy. W przypadku cieląt wpływ glukozyzolanów zależy jest od wieku i masy zwierząt. Dieta zawierająca 1,2–2,4 $\mu\text{M/g}$ glukozyzolanów nie wpływa na funkcje tarczycy i wątroby oraz wzrost młodych buhajów (32). Rosnące bydło

toleruje zawartość glukozyzolanów zawartych w paszy na poziomie 10–15 $\mu\text{M/g}$ bez widocznego wpływu na ich wzrost i konwersję paszy. Cielęta tolerują dość wysoki poziom glukozyzolanów w diecie, sięgający rzędu do 7,7 $\mu\text{M/g}$ bez wpływu na ich wzrost. Poziom glukozyzolanów w diecie sięgający 11 $\mu\text{M/g}$ wydaje się być bezpieczny, lecz przekroczenie zakresu stężeń od 11,7 do 24,3 $\mu\text{M/g}$ zmniejsza spożycie paszy i produkcję mleka u krów mlecznych (33, 34, 35).

U owiec obserwowano utratę masy ciała, gdy zawartość glukozyzolanów w paszy wynosiła od 1,2 do 2,2 $\mu\text{M/g}$ suchej masy beztłuszczowej (36). W przypadku jagniąt stwierdzono, że zawartość glukozyzolanów na poziomie 4,2 $\mu\text{M/g}$ s.m.b. nie powoduje zmniejszenia pobierania paszy i nie wpływa na zahamowanie wzrostu jagniąt, ale przy takiej ich zawartości dochodzi do wystąpienia niedoboru jodu, który ma wpływ na masę tarczycy (31). Zawartość glukozyzolanów poniżej 10 $\mu\text{M/g}$ nie wpływała negatywnie na przyjmowanie i strawność paszy, z kolei ich zawartość na poziomie wyższym niż 10 $\mu\text{M/g}$ ograniczała wzrost jagniąt (37, 38). Skarmianie młodych zwierząt paszą zawierającą znaczną ilość śruty rzepakowej o niskiej zawartości glukozyzolanów może wynosić od 242 do 692 μM dziennie przed odstawieniem i od 1,6 do 3,9 mM/g po odstawieniu. Według szeregu autorów zawartość taka może mieć wpływ na funkcję tarczycy, ale nie powoduje zahamowania tempa wzrostu młodych zwierząt (31, 39). Dlatego też śruta rzepakowa z niską zawartością glukozyzolanów może być jedynym źródłem białka dostarczanego w paszy dla owiec.

Podsumowanie

Mieszanki paszowe dla bydła i owiec ze względu na tolerowane przez te gatunki zwierząt duże ilości glukozyzolanów w diecie są najlepszym miejscem dla lokowania znacznych ilości śruty lub makucho rzepakowego. W przypadku drobiu możliwości stosowania makucho lub śruty rzepakowej w mieszankach paszowych jest ograniczone ze względu na niską granicę tolerancji drobiu na występujące w nich glukozyzolany, szczególnie w paszach dla kur niosek. Śruta i makucho rzepakowy mogą być składnikiem mieszanek pełnoporcjowych, ale również tzw. mieszanek paszowych uzupełniających dla trzody chlewnej. Obecnie zakres stosowania śruty rzepakowej w żywieniu zwierząt zależy przede wszystkim od zawartości glukozyzolanów, których zawartość waha się w szerokich granicach, dlatego też nadal potrzebna jest kontrola zawartości tych

związków w śrucie w celu zapewnienia odpowiedniego stanu zdrowia bez negatywnego działania tych związków na organizm zwierząt rzeźnych. Niezbędne jest ponadto prowadzenie dalszych badań mających na celu obniżenie zawartości glukozynolanów w nowych odmianach rzepaku.

Piśmiennictwo

- Fahey J.W., Zalcmann A.T., Talalay P.: The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry* 2001, **56**, 5–51.
- Mithen R.F., Dekker M., Verkerk R., Rabot S., Johnson I.T.: The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods. *J. Sci. E. Agric.* 2000, **80**, 967–984.
- Dżugan M.: Znaczenie warzyw kapustnych w profilaktyce nowotworów. *Zdrowie Publiczne* 2007, **117**, 397–401.
- Petersen B., Chen S., Hansen C., Olsen C., Halkier B.: Composition and content of glucosinolates in developing *Arabidopsis thaliana*. *Planta* 2002, **214**, 562–571.
- Troczynska J.: System mirozynaza – glukozynolany – charakterystyka i funkcje w roślinie. *Rośliny oleiste – Oilseed Crops* 2005, **26**, 51–64.
- Oleszek W.: Glukozynolany – występowanie i znaczenie ekologiczne. *Wiad. Bot.* 1995, **39**, 49–58.
- Koritsas V.M., Lewis J.A., Fenwick G.R.: Glucosinolate response of oilseed rape, mustard and kale to mechanical wounding and infestation by cabbage stem flea beetle (*Psylliodes chrysocephala*). *Ann. Appl. Biol.* 1991, **118**, 209–221.
- Hosegawa T., Yamada K., Kosemura S., Yamamura S., Hasegawa K.: Phototropic stimulation induces the conversion of glucosinolate to phototropism-regulating substances of radish hypocotyls. *Phytochem.* 2000, **54**, 275–279.
- Szwejd-Grzybowska J.: Antykancerogenne składniki warzyw kapustnych i ich znaczenie w profilaktyce chorób nowotworowych. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2011, **4**, 1039–1046.
- Jin L., Qi M., Chen D.Z., Anderson A., Yang G.Y., Arbeit J.M.: Indole-3-carbinol prevents cervical cancer in human papilloma virus type 16 (HPV 16) transgenic mice. *Cancer Res.* 1999, **59**, 3991–3997.
- Hanczakowska E., Węglarzy K.: Makuch rzepakowy w mieszankach z dodatkiem jodu, ksylnazы lub fitazy w tuczu świń. *Rocz. Nauk. Zoot.* 2012, **39**, 105–117.
- Brzóška F., Śliwiński B., Michalik-Rutkowska O.: Pasze rzepakowe – wykorzystanie w żywieniu zwierząt oraz bioenergetyce. *Cz. 2, Wiad. Zootech.* 2010, **2–3**, 19–29.
- Czech A.: Lucerna i inne pasze białkowe w żywieniu zwierząt. W: *Lucerna w żywieniu ludzi i zwierząt. Nowe możliwości zastosowania ekstraktów z liści lucerny*. Monografie pod redakcją E.R. Greli, Lublin – Sandmierz 2010.
- Pastuszewska B. (1992). Skład i wartość pokarmowa śruty, nasion i makuchu z rzepaku podwójnie ulepszonego. W: *Rzepak w żywieniu zwierząt*. B. Pastuszewska (red.), Omnitech Press, Warszawa, 5–11.
- Walczak M., Kwiatek K.: Wybrane aspekty uprawy i wykorzystania rzepaku w Polsce. *Pasze Przem.* 2006, **15**, 5–9.
- Smulikowska S.: Brązowe zabarwienie skorupy jaj ogranicza zastosowanie pasz rzepakowych w żywieniu niosek. *Pol. Drob.* 2002, **12**, 18–19.
- Tanii H., Takayasu T., Higashi T., Leng S., Saojoh Allynitrile K.: Generation from cruciferous vegetables and behavioral effect on mice of repeated exposure *Food Chem. Toxicol.* 2004, **42**, 453–458.
- Wallig M.A., Belyea R.L., Tumbleson M.E.: Effect of pelleting on glucosinolates content of Crambe meal *Anim. Feed Sci. Technol.* 2002, **99**, 205–214.
- Ahlin K.A., Emmanuelsen M., Wiktorsson H.: Rapeseed products from double low cultivars as feed for dairy cow: effects of long term feeding on thyroid function, fertility and animal health. *Acta Vet. Scand.* 1994, **35**, 37–53.
- Tripathi M.K., Santra A., Chaturvedi O.H., Karim S.A.: Effect of sodium bicarbonate supplementation on ruminal fluid pH, feed intake, nutrient utilisation and growth of lambs fed high concentrate diets *Anim. Feed Sci. Technol.* 2004, **111**, 27–39.
- Corino C., Baldi A., Bontempo V.: Influence of low glucosinolate rapeseed meal on performance and thyroid hormone status of heavy pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1991, **35**, 3–4, 321–331.
- Fenwick G.R., Spinks E.A., Wilkinson A.P., Heaney R.K., Legoy M.A.: Effect of processing on the antinutrient content of rapeseed. *J. Sci. Food Agric.* 1986, **37**, 735–741.
- Schöne F., Tischendorf F., Leiterer M., Hartung H., Bargholz J.: Effects of rapeseed-press cake glucosinolates and iodine on the performance, the thyroid gland and the liver vitamin A status of pigs. *Arch. Tierernahr.* 2001, **55**, 333–350.
- Schöne F., Winnefeld K., Kirchner E., Grun M., Lüdke H., Hennig A.: Copper and iodine in pig diets with high glucosinolate rapeseed meal. Part 3. Treatment of rapeseed meal with copper and the effect of iodine on trace element status and some related blood (serum) parameters. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1990, **30**, 143–154.
- Fenwick G.R., Curtis R.F.: Rapeseed meal and its use in poultry diets *Anim. Feed Sci. Technol.* 1980, **5**, 255–298.
- Rotkiewicz D., Kozłowska H., Smulikowska S.: Changes of rapeseed glucosinolates in digestive tract of hen. *Proc. 7th International Rapeseed Congress*, Poznań, 1987, 1698–1703.
- Campbell L.D., Slominski B.A., Stanger N.E.: Influence of cecectomy and dietary antibiotics on the fate of ingested intact glucosinolates in poultry. *Proceedings 7th International Rapeseed Congress*, Poznań, 1987, 1704–1709.
- Karunajeewa H., Hjangbui E.G., Reece R.L.: Effect of dietary levels of rapeseed meal and polyethylene glycol on the performance of male broiler chickens. *Brit. Poultry Sci.* 1990, **31**, 545–556.
- Palander S., Näsi M., Ala-Fossi I.: Rapeseed and soybean products as protein sources for growing turkeys of different ages. *Brit. Poultry Sci.* 2004, **45**, 664–671.
- Tripathi M.K., Mishra A.S.: Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2007, **132**, 1–27.
- Anderssen H.R., Sorensen H.: Double low rapeseed meal in diets of young bulls. *Advances in the production and utilization of cruciferous crops Proceedings of the Seminar in the CEC Programme of Research on Plant Protein Improvement*, Copenhagen, 11–13 September 1984 (1985), 208–217.
- Waldern D.E.: Rapeseed meal versus soybean meal as the only protein supplement for lactating cows fed corn silage roughage. *Can. J. Anim. Sci.* 1973, **53**, 107–112.
- Ingalls J.R., Sharma H.R.: Feeding of Bronowski, Span and commercial rapeseed meal with or without addition of molasses or mustard in ration of lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.* 1975, **55**, 721–729.
- Laarveld B., Brockman R.P., Christensen D.A.: The goitrogenic potential of Tower and Midas rapeseed meal in dairy cow determined by thyrotropin-releasing hormone test. *Can. J. Anim. Sci.* 1981, **61**, 141–149.
- Mandiki S.N.M., Derycke G., Bister J.L., Mabon N., Wathelet J.P., Marlier M., Paquay R.: Chemical changes and influence of rapeseed antinutritional factor on gestating and lactating ewes. Part 1. Animal performances and plasma hormones and glucose. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2002, **98**, 25–35.
- Stanford K., Wallis G.L., Smart W.G., McAllister A.A.: Effect of feeding canola screenings on apparent digestibility, growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs. *Can. J. Anim. Sci.* 2000, **80**, 355–365.
- Tripathi M.K., Santra A., Chaturvedi O.H., Karim S.A.: Effect of sodium bicarbonate supplementation on ruminal fluid pH, feed intake, nutrient utilisation and growth of lambs fed high concentrate diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2004, **111**, 27–39.
- Derycke G., Mabon N., Mandiki S.N.M., Bister J.L., Wathelet J.P., Marlier M., Paquay R.: Chemical changes and influence of rapeseed antinutritional factor on lamb physiology and performance. Part 1. Animal performance and thyroid physiology. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1999, **81**, 81–91.
- Mabon N., Mandiki S.N.M., Derycke G., Bister J.L., Wathelet J.P., Paquay R., Marlier M.: Chemical changes and influence of rapeseed antinutritional factor on lamb physiology and performance. Part 3. Antinutritional factor in plasma and organ. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2000, **85**, 111–120.