

Włókno pokarmowe w paszach dla drobiu – zawartość, działanie fizjologiczne i znaczenie żywieniowe*

Stefania Smulikowska

*Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt im. Jana Kielanowskiego PAN
ul. Instytucka 4, 05-110 Jabłonna*

Słowa kluczowe: drób, włókno pokarmowe, rozpuszczalność, lepkość

Wprowadzenie

Wyczerpujące omówienie zagadnienia przedstawionego w tytule nie jest łatwe, gdyż wśród badaczy zajmujących się tym problemem nie ma zgodności co do definicji włókna pokarmowego, ponadto nazwą „drób” określa się wiele gatunków ptaków hodowanych w celu uzyskania jaj lub mięsa. Jaja do celów spożywczych pozyskuje się obecnie prawie wyłącznie od kur i przepiórek japońskich, natomiast mięso od znacznie większej liczby gatunków ptaków, obok kur i indyków hoduje się obecnie w tym celu gęsi, kaczki, perliczki, strusie, emu, a nawet gołębie, bażanty i kuropatwy. Niektóre z wymienionych gatunków ptaków zostały bardzo dawno udomowione, inne są hodowane na większą skalę od niedawna. Głównym rodzajem pokarmu pobieranego przez dziko żyjących przodków kur, indyków, perliczek, przepiórek japońskich i gołębi były ziarna i nasiona, a gęsi, kaczek, emu i strusi – zielone części roślin. Przystosowanie ewolucyjne przewodu pokarmowego do pobierania, rozdrabniania, trawienia i wykorzystywania pasz roślinnych, będących głównymi składnikami ich pożywienia, ma zasadniczy wpływ na stopień wykorzystania włókna pokarmowego pasz roślinnych przez poszczególne gatunki ptaków [26].

Do 30–40. lat ubiegłego wieku wszystkie ptaki żywiono w sposób ekstensywny, a przetworzenie paszy na produkty drobiarskie było stosunkowo mało wydajne. Emu i strusie nadal są utrzymywane w sposób ekstensywny na pastwiskach; w dużej mierze dotyczy to też gęsi i kaczek [23, 34]. W żywieniu tych ptaków dużą rolę odgrywają

* Wykonano w ramach grantu KBN nr 5 P06E 031 15.

zielonki i kiszonki, a pasze treściwe i koncentraty stanowią jedynie uzupełnienie pasz zielonych i okopowych. Ptaki te lepiej wykorzystują włókno pokarmowe pasz roślinnych niż gatunki zaliczane do ziarnojadów.

Wytworzenie ras i linii drobiu o zwiększonej produktywności (dotyczy to zwłaszcza kur i indyków), dokładne poznanie zapotrzebowania tych ptaków na składniki pokarmowe i poznanie składu chemicznego pasz umożliwiło wprowadzenie intensywnych systemów żywienia, w których ptaki utrzymywane są w zamkniętych pomieszczeniach i żywione mieszankami pełnoporcjowymi. Aby umożliwić wysoką wydajność biologicznej przemiany pasz roślinnych na produkty zwierzęce, mieszanki pełnoporcjowe powinny zawierać wszystkie niezbędne dla wysokiej produktywności ptaków składniki pokarmowe w odpowiednich proporcjach i możliwie wysokiej koncentracji. Włókno pokarmowe – składnik pasz roślinnych oporny na działanie enzymów trawiennych ptaków – w tych systemach traktuje się jedynie jako balast niezbędny do zapewnienia prawidłowej perystaltyki przewodu pokarmowego. Względy ekonomiczne (konieczność obniżania kosztu paszy) i pozaekonomiczne (ograniczenia nakładane na import mączek zwierzęcych, preferencje konsumentów) zmuszają obecnie producentów pasz i hodowców do wykorzystywania, także w mieszankach pełnoporcjowych dla drobiu utrzymywanego w systemach intensywnych, tanich i produkowanych w kraju roślinnych surowców paszowych. Poznanie składu, właściwości fizykochemicznych i działania fizjologicznego włókna pokarmowego tych pasz oraz zastosowanie nowych technologii umożliwia ich szersze wykorzystanie. Z tego powodu w niniejszym omówieniu najwięcej miejsca poświęcono włóknu pokarmowemu ziarna i nasion używanych do produkcji mieszanek pełnoporcjowych dla drobiu grzebiącego.

Definicja włókna pokarmowego i metody jego oznaczania

Włókno pokarmowe obejmuje komponenty roślinnych ścian komórkowych o różnym składzie, strukturze i właściwościach, zależnych od rodzaju rośliny, jej części i stopnia dojrzałości [5, 6, 10, 20, 22, 42, 44]. W składzie tej frakcji dominują polisacharydy nieskrobiowe (NSP) i lignina. Cząsteczki NSP są zbudowane z pentoz i heksoz, a ich skład i struktura są bardzo zróżnicowane [3, 5, 20]. Nie ma, jak dotąd, jednej uniwersalnej metody oznaczania zawartości włókna pokarmowego, a istniejące metody uwzględniają różne zestawy związków chemicznych występujących w paszach.

W polskich tabelach wartości pokarmowej pasz dla drobiu i w zaleceniach dotyczących składu dawek pokarmowych dla drobiu [34] znajdują się dane dotyczące tzw. włókna surowego. Włókno surowe oznaczane metodą wprowadzoną w połowie dziewiętnastego wieku przez Henneberga i Stohmanna obejmuje składniki pasz roślinnych niehydrolizowane przez 1,25% kwas siarkowy i 1,25% zasadę sodową. Jest to niewielka i zmienna frakcja całkowitej zawartości włókna obejmująca ligninę, część

celulozy oraz niewielką część hemiceluloz. Pozostała część celulozy oraz hemicelulozy i pektyny w tych warunkach ulegają rozpuszczeniu. Włókno surowe jest zatem jedynie przybliżeniem całkowitej zawartości węglowodanów nierozpuszczalnych w warunkach panujących w przewodzie pokarmowym ptaków. Opracowana przez Van Soesta metoda oznaczania włókna kwaśno- (ADF) i neutralnodetergentowego (NDF) pozwala na lepsze przybliżenie całkowitej zawartości włókna, ale w procedurze tej nie uwzględnia się polisacharydów nieskrobiowych (NSP) rozpuszczalnych w wodzie i nierozpuszczalnych w wodzie pektyn [10].

W ciągu ostatnich dwudziestu lat powstało kilka bardziej dokładnych metod oznaczania włókna pokarmowego, których zalety i wady omówili Bach Knudsen i in. [3]. Są to metody grawimetryczne AOAC (enzymatyczna i nieenzymatyczna) oraz metody enzymatyczno-chemiczne: Englysta i tzw. metoda Uppsala. Metody te pozwalają na pomiar włókna pokarmowego rozpuszczalnego i nierozpuszczalnego w wodzie. Metody enzymatyczno-chemiczne pozwalają na ilościowe oznaczenie ligniny i określenie składu cukrów prostych w polisacharydach nieskrobiowych obydwóch frakcji włókna. W metodach grawimetrycznych, oprócz ligniny i polisacharydów nieskrobiowych, oznacza się także takie składniki, jak produkty reakcji Maillarda, taniny, saponiny i inne. Natomiast zarówno w metodach enzymatyczno-grawimetrycznych, jak i enzymatyczno-chemicznych nie uwzględnia się składników mineralnych i białek związanych z NSP i ligniną. Carré i Brillouet [10] oraz Bjerregaard i in. [5] opracowali metody oznaczania całkowitej zawartości włókna pokarmowego obejmujące także białka, lipidy, związki fenolowe, taniny i inne związki stanowiące integralne składniki kompleksów tworzących ściany komórkowe roślin. Według Bjerregaard i in. [5], w badaniach nad włóknem powinny być uwzględniane następujące czynniki: ilość i rodzaj węglowodanów, tłuszczów, białek, związków fenolowych i innych składników, struktura i konfiguracja składników włókna, rozpuszczalność oraz konfiguracja i budowa przestrzenna składników rozpuszczalnych. Postulat ten, niewątpliwie słuszny, jest bardzo trudny analitycznie.

W ziarnie zbóż zawartość włókna pokarmowego można obliczać z różnicy, odejmując od zawartości suchej masy zawartość białka ogólnego, tłuszczu, popiołu oraz skrobi i cukrów prostych. Daje to dość dobrą zgodność z oznaczeniami enzymatyczno-grawimetrycznymi. Zawartość rozpuszczalnego i nierozpuszczalnego włókna pokarmowego, oznaczonego enzymatyczno-grawimetryczną metodą Aspa i in. [2], podano w tabeli 1. W badaniach własnych (Smulikowska i Nguyen, niepublikowane) stwierdzono, że suma włókna pokarmowego oznaczonego tą metodą daje dość dobrą zgodność z ilością obliczoną z różnicy (jw.) dla zbóż i otrąb pszennych, natomiast w paszach, takich jak nasiona rzepaku lub śruta sojowa, wyniki otrzymane metodą Aspa i in. [2] były niższe o 25–50%.

Tabela 1. Zawartość rozpuszczalnego i nierozpuszczalnego włókna pokarmowego [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy] oznaczona metodą enzymatyczno-grawimetryczną [2] w niektórych paszach krajowych oraz lepkość roztworów wodnych zbóż krajowych [$\text{mPa} \cdot \text{s}$]*

Pasza	Włókno pokarmowe			Lepkość ekstraktu	
	rozpuszczalne	nierozpuszczalne	ogólne	wodnego	kwaśnego
Pszenica ozima	25 ¹ (25–55) ⁶	116 ¹ (128–132) ⁶	141 ¹ (153–187) ⁶	1,14 ¹	1,31 ¹
Pszenica jara	27 ¹	115 ¹	142 ¹	1,07 ¹	1,27 ¹
Pszenżyto ozime	26 ¹ (15) ⁶	131 ¹ (121) ⁶	157 ¹ (136) ⁶	1,20 ¹	1,31 ¹
Pszenżyto jare	24 ¹	107 ¹	131 ¹	1,46 ¹	1,53 ¹
Jęczmień ozimy	69 ¹ (44) ⁶	186 ¹ (176) ⁶	254 ¹ (220) ⁶	1,39 ¹	8,02 ¹
Jęczmień jary	66 ¹	156 ¹	222 ¹	2,36 ¹	16,6 ¹
Jęczmień jary nagi	65 ³	88 ³	153 ³	—	—
Owies	43 ¹	317 ¹	360 ¹	1,05 ¹	7,75 ¹
Żyto	51 ¹	139 ¹	190 ¹	4,27 ¹	4,34 ¹
	39–67 ²	129–149 ²	175–201 ²	3,9–13,5 ²	—
Kukurydza	6 ¹ (9–65) ⁶	98 ¹ (76–88) ⁶	104 ¹ (85–153) ⁶	0,80 ¹	0,83 ¹
Otręby pszenne	37 ⁶	315 ⁶	352 ⁶	0,77 ⁶	0,78 ⁶
Rzepak 00 ozimy	33–56 ⁴ (82) ⁵	336–362 ⁴ (382) ⁵	380–418 ⁴ (464) ⁵	1,21 ⁶	0,97 ⁶
Rzepak 00 jary	34–56 ⁴	299–359 ⁴	352–392 ⁴	—	—
Rzepak 000	47–58 ⁵	345–409 ⁵	403–410 ⁵	—	—
Nasiona lnu	82 ⁶	189 ⁶	271 ⁶	22,1 ⁶	5,87 ⁶
Śruta sojowa	16–53 ⁶	128–211 ⁶	144–264 ⁶	0,83 ⁶	0,78 ⁶

* Pomiar lepkości in vitro wykonano według metody opisanej przez Rutkowskiego i Boros [39], pH roztworów wodnych 6–6,8; roztworów kwaśnych 1,5. W badaniach Smulikowskiej i Nguyen [49] pH roztworów wynosiło 5,0. ¹ [39]; ² [49]; ³ [7]; ⁴ [35]; ⁵ [29]; ⁶ Smulikowska i Nguyen (niepublikowane).

Właściwości fizykochemiczne włókna pokarmowego

Do właściwości fizykochemicznych cząsteczek tworzących włókno pokarmowe, ważnych w żywieniu drobiu, należą: rozpuszczalność w roztworach o różnym pH, wodochłonność, lepkość, właściwości chelatujące, aktywność powierzchniowa oraz podatność na trawienie enzymatyczne [20]. Właściwości te zależą od rodzaju cukrów, rodzaju wiązań między tymi cukrami, długości łańcuchów polisacharydów oraz stopnia ich rozgałęzienia [1, 42].

Rozpuszczalność. Ze względu na różnice w rozpuszczalności dzieli się włókno pokarmowe na rozpuszczalne i nierozpuszczalne w roztworach wodnych. Podział ten, chociaż nie jest zbyt precyzyjny, jest bardzo użyteczny dla zrozumienia fizjologicznej roli obu frakcji włókna – włókno rozpuszczalne jest znacznie bardziej podatne na fermentację bakteryjną niż nierozpuszczalne, ponadto niektóre związki wchodzące w skład włókna rozpuszczalnego tworzą roztwory o dużej lepkości. W zbożach takich

jak żyto, pszenżyto, pszenica dominującą frakcją rozpuszczalnych NSP są arabino-ksylany, w takich jak jęczmień i owies – β -(1-3, 1-4) glukany [6, 14, 22, 42, 44]. W nasionach roślin dwuliściennych we frakcji tej dominują substancje zaliczane do pektyn – ramnogalaktouronan, arabinan, galaktan, arabino- β -(1-4) galaktan, ksyloglukany i mannany [5, 10, 20, 42].

Rozpuszczalność włókna zależy nie tylko od budowy cząsteczek, lecz także od stopnia ich powiązania z innymi składnikami ścian komórkowych, m.in. z białkiem [6, 14, 49]. Rozpuszczalność włókna pokarmowego ulega zmianom w zależności od warunków panujących w czasie wegetacji, zależy też od stopnia dojrzałości roślin. Hesselman i in. [19] donosili, że całkowita zawartość β -glukanów w ziarnie jęczmienia zebranych w dwóch kolejnych fazach dojrzałości ziarna zwiększyła z 4,5% do 5,2% SM, ale lepkość wyciągu wodnego tych zbóż powodowana przez rozpuszczalne β -glukany zmniejszyła z 13,1 do 4,5 mPa.s.

Rozpuszczalność zależy także od warunków przyjętych w trakcie rozpuszczania – czasu inkubacji, temperatury, pH roztworu i wielu innych czynników [6, 14]. Dlatego bezwzględne wartości dotyczące zawartości włókna rozpuszczalnego i nierozpuszczalnego w różnych paszach, podawane przez różnych autorów, nie zawsze są porównywalne. W trakcie ekstrakcji włókna pokarmowego kolejno wodą, roztworami alkalicznymi i roztworami kwasu siarkowego otrzymujemy frakcje pektyn, hemiceluloz, celulozy i ligniny [5]. Każda z tych frakcji jest złożona z heterogennych składników o składzie specyficznym dla danej paszy.

Pektyny oraz gумы roślinne są to rozpuszczalne w wodzie wielkocząsteczkowe związki o skomplikowanej rozgałęzionej strukturze – arabiniany, galaktany, arabino-galaktany, galaktouroniany, homogalaktouroniany i ramnogalaktouroniany. Metodami analitycznymi razem z tą frakcją oznaczane są także wyższe oligocukry – rafinoza, stachioza i werbaskoza [5]. Hemicelulozy – ksylany, ksyloglukany, galaktomannany, glukomannany, mannany, arabinogalaktany, galaktoglukomannany, β -glukan i arabino-ksylany – różnią się bardzo zarówno budową chemiczną, wielkością i stopniem rozgałęzienia cząsteczek oraz stopniem rozpuszczalności (mogą wchodzić w skład frakcji nierozpuszczalnego, jak i rozpuszczalnego włókna pokarmowego), jak i działaniem fizjologicznym [5, 42].

Ilościowo w składzie włókna pokarmowego dominuje celuloza, homopolimer zbudowany z reszt β -D-glukopiranozowych [14], która z uwagi na wielkość cząsteczek i ich konfigurację jest prawie nierozpuszczalna w wodzie. Celuloza składa się z nierozgałęzionych łańcuchów glukozy połączonych wiązaniami β -1-4-glikozydowymi.

Całkowicie nierozpuszczalna w wodzie jest lignina, polimer fenylo-propylowy o masie cząsteczkowej około 4500, który jest składnikiem włókna pokarmowego najbardziej opornym na działanie czynników fizycznych i chemicznych. Metodami analitycznymi jako lignina oznaczane są także inne substancje, takie jak kutyna, kompleksy białkowo-taninowe, produkty reakcji Maillarda (kompleksy białkowo-węglowodanowe).

Celuloza w powiązaniu z hemicelulozami, białkami, ligniną i innymi związkami tworzy ściany komórkowe roślin.

Wodochłonność i lepkość. Zarówno nierozpuszczalne, jak i rozpuszczalne NSP mają zdolności hydratacyjne. Nierozpuszczalne NSP chłoną wodę i zwiększają przy tym swoją objętość, lecz ich lepkość jest stosunkowo niewielka [6, 42], natomiast cząsteczki rozpuszczalnych NSP chłoną znacznie więcej wody i unieruchamiają cząsteczki wody wewnątrz swoich struktur, tworząc sieć, co powoduje dużą lepkość ich roztworów [42]. Lepkość ekstraktów wodnych zależy od stężenia rozpuszczalnych NSP. Do pewnego granicznego stężenia lepkość roztworów NSP wzrasta w sposób liniowy, po przekroczeniu tego stężenia w sposób wykładniczy (jest proporcjonalna do stężenia wyrażanego w skali logarytmicznej), gdyż uwodnione cząsteczki NSP wiążą się ze sobą, tworząc hydrożele [1]. W badaniach Boros [7] współczynnik korelacji między lepkością ekstraktu a zawartością rozpuszczalnego β -glukanu w jęczmieniu wynosił około 0,90; między lepkością ekstraktu a zawartością rozpuszczalnych arabinoksylianów w ziarnie pszenicy i żyta był niższy i wynosił odpowiednio około 0,73 i 0,55.

Lepkość roztworów NSP zależy od wielkości cząsteczek, gdyż cząsteczki o wyższej masie cząsteczkowej wykazują większą zdolność do tworzenia hydrożeli [1, 6]. Bedford i Classen [4] stwierdzili, że największą lepkość treści jelit u kurcząt powodowały arabinoksyliany żyta o MW <500 kD, ich częściowe hydrolityczne rozbicie do cząsteczek o MW <40 kD znacząco obniżało lepkość treści jelit. Lepkość roztworów NSP zależy także od stopnia rozgałęzienia cząsteczek i obecności ładunków elektrycznych na ich powierzchniach, gdyż w miarę zwiększania stopnia rozgałęzienia zwiększa się też tzw. średnica hydrodynamiczna cząsteczek, czyli objętość, którą zajmują one w roztworze po przyłączeniu cząsteczek wody [1].

Lepkość roztworów NSP zależy także od pH roztworu. W badaniach *in vitro* stwierdzono, że lepkość ekstraktów wodnych z ziarna zbóż, w których wśród rozpuszczalnych NSP dominują arabinoksyliany (pszenica, pszenżyto, kukurydza i żyto), nie zmieniała się znacząco wraz z obniżeniem pH roztworu, lepkość ekstraktów wodnych ze zbóż, w których wśród rozpuszczalnych NSP dominują β -glukany (jęczmień i owies), była 6–7-krotnie mniejsza niż ekstraktów kwaśnych, natomiast lepkość ekstraktów wodnych z nasion lnu była około 4-krotnie większa niż ekstraktów kwaśnych (tab. 1). Podobnie Mazza i Biliaderis [30] stwierdzili, że *in vitro* lepkość NSP z nasion lnu była największa przy pH 6–8 i zmniejszała się znacznie w silnie kwaśnym lub silnie zasadowym roztworze. W badaniach własnych (Smulikowska, niepublikowane) stwierdzono, że po wprowadzeniu 80, 160 lub 240 g nasion lnu do diety, lepkość treści jelita biodrowego wynosiła odpowiednio około 9,5; 25 i 38 mPa.s i była wielokrotnie większa niż na dietach zbożowych. W pH bliskim obojętnemu, jakie panuje w jelicie cienkim kur, lepkość NSP lnu jest szczególnie wysoka, natomiast β -glukany mogą powodować dużą lepkość w kwaśnej treści żołądka.

Na podstawie pomiarów *in vitro* (tab. 1) oraz *in vivo* (Smulikowska niepublikowane) można stwierdzić, że NSP pasz, takich jak kukurydza, rzepak, śruta sojowa, otręby pszenne, nie powodują dużej lepkości treści u ptaków, a NSP pasz, takich jak len, żyto, owies, jęczmień, zwiększają jej lepkość. Lepkość NSP żyta, a także innych zbóż jest bardzo zmienna i nie można jej przewidywać jedynie na podstawie składu chemicznego ziarna [6, 19, 49].

Aktywność powierzchniowa i zdolności chelatujące. Rozpuszczalne NSP dzięki obecności grup ujemnie naładowanych mogą wiązać jony dodatnio naładowane (kationy). Mają one także zdolności chelatujące, tzn. mogą wiązać jony w swoich trójwymiarowych strukturach. W badaniach *in vitro* wykazano [18], że w obecności rozpuszczalnych NSP żyta zmniejszało się tempo dyfuzji związków nieorganicznych – NaCl, CaCl₂, (NH₄)₂SO₄ i organicznych – glukoza oraz trawienia skrobi przez α -amylazę. Lee i Campbell [28] stwierdzili, że kolostomizowane koguty żywione dietą żytnią wydalają mniej Na w moczu, a więcej w kale, co świadczy o wiązaniu Na przez NSP żyta i pogorszeniu absorpcji tego pierwiastka. Kationy obecne w roztworze mogą tworzyć mostki między cząsteczkami NSP, przyczyniając się do zwiększenia lepkości roztworu. Cząsteczki NSP wykazują także tzw. aktywność powierzchniową (ujemną lub rzadziej dodatnią), dzięki czemu mogą wiązać się za pomocą słabych wiązań wodorowych z dodatnio lub ujemnie naładowanymi cząsteczkami pokarmu, micelami lipidowymi lub z powierzchnią rąbka prążkowanego śluzówki przewodu pokarmowego [42].

Podatność włókna pokarmowego na trawienie enzymatyczne. Oligo- i polisacharydy są polimerami złożonymi z cukrów prostych połączonych wiązaniami glikozydowymi, identyfikowanymi przez określenie łączących się atomów węgla i orientację przestrzenną atomu tlenu (α - lub β -). Ptaki wydzielają enzymy hydrolizujące wiązania α -(1-4) i α -(1-6) występujące w skrobi, α -(1-2) występujące w sacharozie i α -(1-1) występujące w trehalozie. Inne typy wiązań glikozydowych, występujące w polisacharydach nieskrobiowych oraz w oligosacharydach, nie są hydrolizowane przez endogenne enzymy ptaków, lecz mogą być hydrolizowane w ich przewodzie pokarmowym przez endogenne enzymy roślinne, przez enzymy pochodzenia mikrobiologicznego dodane do paszy oraz przez enzymy mikroorganizmów bytujących w tylnej części jelita cienkiego, w jelitach ślepych i w jelicie prostym (fermentacja bakteryjna). Hydroliza NSP do cukrów prostych przez enzymy endogenne ziarna lub enzymy pochodzenia mikrobiologicznego wymaga kilkudziesięciu godzin inkubacji. Pobrana pasza przebywa w przewodzie pokarmowym ptaków grzebiących przez 4–8 godzin i czas ten jest zbyt krótki, aby włókno pokarmowe mogło ulec rozkładowi do cukrów prostych.

W badaniach własnych [44] stwierdzono, że 50–60% rozpuszczalnego i 20–35% nierozpuszczalnego włókna pokarmowego zbóż ulegało strawieniu w przewodzie pokarmowym kurcząt brojlerów, odpowiednie wartości dla dorosłych kogutów wynosiły 60–75% i 20–45% (tab. 2). Stwierdzany ubytek nierozpuszczalnej frakcji NSP,

Tabela 2. Wpływ dodatku ksylanazy (+) na wartość energetyczną (EM_N , $MJ \cdot kg^{-1}$ suchej masy) żyta, pszenżyta i pszenicy, ubytek nierozpuszczalnego (IDF) i rozpuszczalnego (SDF) włókna pokarmowego w przewodzie pokarmowym i lepkość względną (LW^*) treści jelita cienkiego u kurcząt brojlerów w wieku 2 tygodni i dorosłych kogutów [44]

Zboże	Enzym	Kurczęta brojlery				Dorosłe koguty			
		EM_N	IDF [%]	SDF [%]	LW	EM_N	IDF [%]	SDF [%]	LW^*
Żyto	–	10,4	34	52	14,7	13,3	21	63	16,7
Żyto	+	13,0	34	51	4,7	13,8			6,7
Pszenżyto	–	13,4	26	66	4,0	13,6	44	77	
Pszenżyto	+	14,5	34	67	2,6	14,0			
Pszenica	–	12,5	23	49	2,1	13,2	20	73	
Pszenica	+	14,5	28	72	1,4	14,0			

* LW – lepkość treści jelita cienkiego zmieszanej z wodą (1 : 1) w stosunku do lepkości wody.

zwłaszcza pochodzącego ze zbóż, należy traktować jako jej częściową solubilizację, a nie rozkład do monomerów. W badaniach Carré i in. [11] stwierdzono, że strawność NSP z diet zawierających $69 g NSP \cdot kg^{-1}$, w których udział rozpuszczalnej frakcji wahał się od 8 do 20%, różnicowała się i wynosiła 13–22% u kogutów brojlerów w wieku 10 tygodni, 8–19% u kaczek w wieku 8 tygodni i 44–86% u szczurów w wieku 7 tygodni. Badania te wskazują, że w odróżnieniu od szczurów, u ptaków strawieniu ulega w głównej mierze rozpuszczalna frakcja NSP. Trawienie rozpuszczalnych NSP u większości gatunków ptaków zaliczanych do drobiu zachodzi głównie w jelitach ślepych, gdyż jelito grube (prostnica) jest bardzo krótkie i mało pojemne. Usunięcie jelit ślepych powodowało u dorosłych kogutów zmniejszenie strawności pektyn o 20%. System filtracyjny, znajdujący się u wejścia do jelit ślepych, umożliwia jedynie transport płynów i bardzo małych cząstek do jelit ślepych [26], co powoduje, że strawność nierozpuszczalnej frakcji ścian komórkowych jest u ptaków grzebiących zbliżona do zera.

U ptaków, których głównym pożywieniem są zielone części roślin, fermentacji może ulegać także część włókna nierozpuszczalnego. W badaniach Jamroz i in. [24] stwierdzono, że rosnące gąsienice trawiły 15–34% celulozy i 40–65% hemicelulozy z mieszanek złożonych z różnych pasz roślinnych. Pakulska [36] stwierdziła, że dorosłe gęsi trawiły 12–22% ligniny, 20–33% celulozy, 67–82% pentozanów i 63–89% pektyn podawanych w paszy. Podwiązanie u gęsi jelit ślepych obniżyło w tych badaniach w sposób istotny jedynie trawienie celulozy (do 2–7%) i pektyn (do 13–70%).

Emu mają bardzo długie i pojemne jelito biodrowe, a strusie bardzo długie i pojemne jelito grube, pokarm pozostaje więc w ich przewodzie pokarmowym znacznie dłużej niż u ptaków grzebiących (u strusi 36–48 godzin), co pozwala im na bardziej efektywne wykorzystywanie pasz włóknistych. Dane z literatury, cytowane przez Jamroz [23], świadczą jednak, że u emu strawność celulozy (3–19%) i ligniny (4–23%) jest podobna jak u gęsi.

Wykorzystanie włókna pokarmowego do celów energetycznych

Końcowym produktem fermentacji bakteryjnej NSP są u ptaków krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe. Jamroz [22] podaje, że u kurcząt, kaczek i gęsi w treści jelita biodrowego kwas octowy stanowił ponad 90%, kwasy propionowy i masłowy po 3–4% sumy krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych. W treści jelita grubego udział kwasu octowego był nieco mniejszy (81–85%), kwasu propionowego wynosił 9–14%, a masłowego 5–6%, w treści jelit ślepych kwas octowy stanowił około 55%, propionowy 21–26%, masłowy 18–20% sumy tych kwasów. U kurcząt brojlerów i kaczek żywionych mieszankami z jęczmieniem i owsem stężenie krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych było niewielkie ($12\text{--}15\text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ treści), natomiast w treści jelit ślepych wynosiło ponad $140\text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, czyli było podobne jak w treści zwacza u przeżuwaczy. Krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe wytwarzane w procesie fermentacji przez florę bakteryjną służą głównie jako źródło energii do syntezy bakteryjnej, a są mniej efektywnie wykorzystywane w przemianach energetycznych ptaków niż glukoza pochodząca z rozkładu skrobi.

Wykorzystanie włókna pokarmowego do celów energetycznych zależy od jego rodzaju (łatwiej fermentowane jest włókno rozpuszczalne), od masy treści i czasu jej przebywania w przewodzie pokarmowym ptaków oraz od objętości odcinków jelita, w których zachodzi intensywne fermentacja, i ich umiejscowienia w stosunku do dwunastnicy i jelita czczego, będących głównym miejscem wchłaniania strawionych składników pokarmowych. U wszystkich ptaków odcinki jelita, w których zachodzi intensywne fermentacja, są umiejscowione za jelitem czczym. U większości ptaków fermentacja zachodzi głównie w jelitach ślepych, lecz u emu i gęsi treść może pozostawać dostatecznie długo w jelicie biodrowym, aby mogła tam zachodzić efektywna fermentacja, a u strusi fermentacja zachodzi w bardzo pojemnym jelicie grubym. Fermentacja bakteryjna może dostarczać u niektórych ptaków (strusie) nawet do 50% zużywanej energii, ale u kurcząt jej udział w pokryciu potrzeb energetycznych nie przekracza 3–4%, niezależnie od zawartości włókna w pożywieniu [26].

Przy szacowaniu wartości energetycznej pasz przeznaczonych dla drobiu utrzymywanego w systemach intensywnych nie uwzględnia się włókna nierozpuszczalnego (oznaczanego jako włókno surowe) jako składnika dostarczającego energii, a w wielu paszach o dużej i zmiennej zawartości włókna surowego jest ona ujemnie skorelowana z wartością energetyczną. W tabelach europejskich [17] podano równania pozwalające na obliczenie energii metabolicznej pasz dla drobiu z ujemnym współczynnikiem przy zawartości włókna surowego dla owsa, śrut poekstrakcyjnych z bawełny, orzeszków arachidowych, słonecznika oraz otrąb i innych produktów z przerobu kukurydzy, ryżu, pszenicy i jęczmienia. W badaniach własnych [12] stwierdzono, że równanie z ujemnym współczynnikiem przy zawartości włókna surowego należałoby także stosować do szacowania wartości energetycznej dla drobiu poekstrakcyjnych śrut rzepakowych.

Działanie fizjologiczne włókna pokarmowego

Wpływ włókna pokarmowego paszy na procesy trawienia i wchłaniania jest wielokierunkowy i zależy od jego cech fizykochemicznych (najsilniejszy wpływ u ptaków wywierają rozpuszczalność i lepkość) i ilości, zależy także od wieku ptaków, czyli stopnia dojrzałości przewodu pokarmowego.

Zwiększanie zawartości nierozpuszczalnego włókna pokarmowego w diecie powoduje zwiększenie objętości treści, skrócenie czasu przechodzenia pokarmu przez jelito cienkie, zwiększenie objętości kału i częstości defekacji. Podawanie przez 3 tygodnie diet o dużej zawartości włókna nierozpuszczalnego (do 40% suszu z traw lub do 20% celulozy) spowodowało wydłużenie dwunastnicy, jelita biodrowego i jelit ślepych u kurek, lecz długość kosmków jelitowych w jelicie czczym i jelitach ślepych nie uległa zmianie [40]. Nie ma jednoznacznych dowodów, aby zwiększanie zawartości włókna nierozpuszczalnego w diecie obniżało u ptaków tempo trawienia skrobi i wchłaniania glukozy. Duża zawartość włókna nierozpuszczalnego w paszy powoduje natomiast zwiększenie wydalania tzw. białka metabolicznego w kale (złuszczone nabłonki, mucyny), co może niekorzystnie wpływać na retencję białka [37].

Przyjmuje się, że 2–3-procentowa zawartość włókna nierozpuszczalnego w diecie jest niezbędna do utrzymania prawidłowej perystaltyki jelit i umożliwia wystarczającą fermentację bakteryjną w jelitach ślepych. Zwiększanie udziału nierozpuszczalnego włókna pokarmowego nie zakłóca rozwoju przewodu pokarmowego młodych ptaków pod warunkiem, że nie zawiera ono składników o działaniu antyżywniowym, a koncentrację energii i białka w mieszance można utrzymać na tym samym poziomie przez zamianę śrut zbożowych tłuszczem i paszami wysokobiałkowymi. W badaniach własnych [32], po podaniu kurczętom brojlerom w pierwszych tygodniach życia izobiałkowych i izoenergetycznych diet zawierających od 0 do 90 g · kg⁻¹ łuski z nasion łubinu, nie stwierdzono różnic w masie poszczególnych części przewodu pokarmowego kurcząt, a przyrost masy ciała i wykorzystanie paszy było we wszystkich grupach podobne.

Górną granicę zawartości włókna nierozpuszczalnego w mieszankach wyznacza pojemność przewodu pokarmowego ptaków. Gdy paszę rozcieńczamy składnikiem niestrawnym, ptaki mogą utrzymać pobranie energii na tym samym poziomie, zwiększając pobranie paszy. W pewnym zakresie koncentracji energii jest to możliwe, przy znacznym obniżeniu koncentracji energii pojemność przewodu pokarmowego nie pozwala na proporcjonalne zwiększenie pobrania paszy i ptaki reagują obniżeniem produktywności. Obniżenie koncentracji energii w paszy przez zwiększenie zawartości włókna nierozpuszczalnego jest korzystne w żywieniu ptaków reprodukcyjnych (np. stada rodzicielskie kur mięsnych), gdyż przeciwdziała ich nadmiernemu otluszczeniu bez konieczności wywołującego stres ograniczania ilości podawanej paszy. W pierwszych dniach życia kurcząt brojlerów można podawać diety o koncentracji energii i białka obniżonej przez wprowadzenie pasz o dużej zawartości włókna nierozpuszcz-

czalnego w celu wykorzystania zjawiska kompensacji wzrostu w późniejszym okresie odchowu.

Rozpuszczalna frakcja włókna pokarmowego wykazuje u ptaków działanie antyżywniowe i może powodować zakłócenia w rozwoju przewodu pokarmowego. Badania nad zmianami w przewodzie pokarmowym, powodowanymi przez włókno rozpuszczalne prowadzone zarówno z użyciem pasz naturalnych, jak również karboksymetylocelulozy lub wysokozmetylowanej pektyny, wykazały, że niekorzystne działanie tej frakcji jest tym silniejsze, im większa jest jej lepkość [6, 8, 9, 13, 15, 16, 19, 24, 27, 42, 44, 45, 52].

Zwiększenie zawartości lepkiego włókna pokarmowego w treści powoduje wydłużenie czasu przechodzenia pokarmu przez przewód pokarmowy [16, 20] i zakłóca perystaltykę żołądka i jelit [20, 50]. Trawienie pokarmu wymaga ciągłego przemieszczania cząsteczek enzymów, substratów i produktów hydrolizy enzymatycznej w świetle przewodu pokarmowego. Na skutek specyficznej budowy przewodu pokarmowego ptaków (ujście przewodów trzustkowych i żółciowych znajduje się w końcowej części dwunastnicy), dla dobrego wymieszania treści z enzymami i solami kwasów żółciowych, konieczne jest jej zwrotne przemieszczanie w obrębie dwunastnicy i żołądka. U bardzo młodych ptaków mięśnie mielca nie są jeszcze w pełni wykształcone, a grubość warstwy mięśniowej i średnica jelit są niewielkie [43]. U kurcząt, którym w pierwszych tygodniach życia podawano mieszanki powodujące dużą lepkość treści, obserwowano rozdęcie i atrofię mięśni żołądka mięśniowego [6, 45]. W skrajnych wypadkach zanikało całkowicie przewężenie między mielcem a żołądkiem gruczołowym i w takim żołądku znajdowało się nawet ponad 100 g treści [50]. Kurczęta z silnie rozdętym żołądkiem często padają w wieku 2–3 tygodni na skutek niedotlenienia.

Oprócz opisanych wyżej poważnych deformacji w budowie przewodu pokarmowego u kurcząt żywionych dietami zawierającymi lepkie NSP stwierdzano: zwiększenie długości, zmniejszenie masy i pocienienie ścian jelita cienkiego [6], zwiększenie długości i masy jelita cienkiego [20, 41, 52], u gąsiat stwierdzano pogrubienie warstwy śluzówki i mięśniówki jelita cienkiego i skrócenie kosmków jelitowych [24]. Porównując wpływ zwiększenia lepkości treści u kurcząt konwencjonalnych i odchowanych w warunkach sterylnych („germ-free”) stwierdzono [27], że u tych pierwszych powodowało to zwiększenie liczby komórek kubkowych, zmniejszenie długości, zmianę kształtu i ułożenia kosmków jelitowych, podczas gdy u tych drugich zmiany były niewielkie. Skarmianie w pierwszych tygodniach życia paszy zawierającej żyto [38] lub jęczmień [52] powodowało u kurcząt zmiany w budowie śluzówki jelita (skrócenie, pogrubienie i atrofię kosmków jelitowych) i zwiększenie liczby komórek kubkowych, wydzielających śluz; zmiany te nie występowały, gdy dietę uzupełniano antybiotykiem [38] lub β -glukanazą [52]. Podobne zmiany obserwowano u kurcząt żywionych dietą z nasionami lnu [Nguyen, niepublikowane]. Wskazuje to, że wyżej opisane zmiany w budowie ścian jelita mogą być w dużej mierze spowodowane przez mikroflorę.

Przy normalnym żywieniu w składzie mikroflory jelita cienkiego dominują bakterie względnie beztlenowe, a w jelitach ślepych bakterie beztlenowe [31]. Lepkie polisacharydy nieskrobiowe, łącząc się z mukopolisacharydami rąbka prażkowanego śluzówki, zwiększają grubość przylegającej do nich warstwy wodnej, co powoduje zmniejszenie stężenia tlenu w treści jelita cienkiego i stwarza lepsze warunki do rozwoju mikroflory beztlenowej. Lepkość treści powoduje pogorszenie trawienia i wchłaniania składników odżywczych w górnej części jelita cienkiego [13, 52]. Podobne jak u kurcząt brojlerów zakłócenia po podaniu pasz zawierających lepkie polisacharydy mogą wystąpić u młodych ptaków innych gatunków [22, 44]. Zakłócenia we wchłanianiu i tzw. efekt klatkowy, czyli utrudniony dostęp enzymów trawiennych ptaków do białka i skrobi związanych z NSP [41, 45] powoduje, że więcej substancji odżywczych dociera do końcowej części jelita cienkiego, stając się pożywką dla flory bakteryjnej. W rezultacie zmienia się skład gatunkowy i umiejscowienie oraz wzrasta liczebność mikroflory w jelicie cienkim [16, 41]. W doświadczeniu Chocta i in. [13] po podaniu paszy o zwiększonej zawartości arabinoksylianów pszenicy stężenie krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych w treści jelita biodrowego wzrosło 14-krotnie, co świadczy o zwiększeniu fermentacji bakteryjnej.

U ptaków lepkość treści w największym stopniu zakłóca proces trawienia i wchłaniania tłuszczu [13, 15, 20, 41, 44, 52], co z kolei pogarsza wchłanianie witamin i barwników rozpuszczalnych w tłuszczach, które transportowane są do ściany jelita wewnątrz miceli złożonych z monoglicerydów, soli kwasów żółciowych i wolnych kwasów tłuszczowych. Zakłócenia te występują w najostrejszej formie u ptaków bardzo młodych. Dlatego u kurcząt żywionych mieszankami z dużym udziałem żyta stwierdza się zazwyczaj pogorszoną mineralizację kości i objawy krzywicy [9, 44]. U młodych ptaków żywionych dietami powodującymi dużą lepkość treści może dochodzić także do występowania objawów niedoboru sodu i wapnia. Ponadto skarmianie mieszanek zawierających dużo włókna rozpuszczalnego o lepkich właściwościach powoduje wydalanie wodnistych i kleistych odchodów, które oblepiają okolice kloaki i pióra ptaków i zwiększają wilgotność ściółki, co stwarza korzystne warunki do rozwoju wielu chorób [6, 8, 20, 38, 42, 44].

Opisane powyżej objawy, związane głównie z działaniem wywołującego lepkość włókna pokarmowego, nie występują u ptaków dorosłych, o prawidłowej budowie przewodu pokarmowego. Mięśnie mielca i warstwa mięśniowa jelita są już u tych ptaków dość silne, aby nawet przy zwiększonej lepkości treści zapewnić jej prawidłowe mieszanie i przesuwanie przez przewód pokarmowy. Flora jelitowa w przewodzie pokarmowym ptaków dorosłych jest ustabilizowana [31] i obecność lepkich polisacharydów nie zmienia w drastyczny sposób jej składu. Mechanizmy regulacyjne pozwalają na zwiększenie wydzielania enzymów trawiennych i żółci, gdy ich efektywność zostaje nieco obniżona. Dlatego wartość energetyczna żyta dla ptaków dorosłych jest znacznie wyższa niż dla ptaków młodych [31], a jęczmień i owies [8] oraz żyto [44] można wprowadzać do mieszanek dla kur nieśnych bez ujemnych skutków dla wyników produkcji-

nych. U ptaków dorosłych obniżenie lepkości treści przez dodatek enzymów ksylanolitycznych w niewielkim stopniu poprawia wartość energetyczną żyta (tab. 2).

Wyższe oligocukry nasion roślin strączkowych, zaliczane także niekiedy do rozpuszczalnej frakcji włókna pokarmowego, nie zwiększają lepkości treści, lecz powodują wzrost ciśnienia osmotycznego w przewodzie pokarmowym i zwiększenie uwodnienia treści. Są one fermentowane przez florę bakteryjną, która – metabolizując te związki – przekształca je częściowo w gazy, m.in. dwutlenek węgla, wodór i metan [21]. Energia produktów gazowych jest bezpowrotnie tracona, a wzmożona produkcja gazów może upośledzać przesuwanie treści i wywoływać uczucie sytości, zmniejszając pobranie paszy. Wydaje się jednak, że oligocukry z nasion roślin strączkowych i śruty sojowej nie wpływają ujemnie na wykorzystanie mieszanek przez drób, gdyż ich ekstrakcja nie poprawiała wyników produkcyjnych [21].

Podejmowane są próby wykorzystania niektórych oligocukrów, np. inuliny, manno- i glukoooligosacharydów pozyskiwanych z drożdży jako tzw. prebiotyków, czyli preparatów o charakterze stymulatorów wzrostu. Związki te mogą w korzystny sposób wpływać na ekosystem przewodu pokarmowego ptaków, gdyż są wykorzystywane przez niektóre pożądane grupy bakterii, a wiążą i ograniczają zasiedlanie jelita ptaków przez mikroflorę patogenną (np. *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Clostridia*), poprawiając tym samym stan zdrowia ptaków i ich produktywność [21].

Sposoby poprawy wartości pokarmowej pasz o dużej zawartości włókna pokarmowego

Większość nierozpuszczalnego włókna pokarmowego nasion i ziarniaków używanych jako pasze znajduje się w łuskach i okrywach owocowo-nasiennych, natomiast większość rozpuszczalnego włókna pokarmowego znajduje się w bielmie i liścieniach, stanowiąc budulec ścian komórkowych [10, 14, 35]. Pozwala to na podejmowanie prób poprawy wykorzystania niektórych pasz przez ich frakcjonowanie i dodatek enzymów.

Zmniejszenie zawartości nierozpuszczalnego włókna pokarmowego w nasionach i ziarniakach zbóż przeznaczonych na pasze można osiągnąć przez obłuszczenie nasion roślin strączkowych i oleistych lub frakcjonowanie przemiał zbóż. Większe znaczenie dla poprawy wartości pokarmowej mieszanek dla drobiu może mieć pierwszy z tych zabiegów stosowany do nasion takich jak bobik lub grochy kolorowo kwitnące, których łuska, oprócz nietrawionego przez ptaki włókna, zawiera także taniny, które pogarszają trawienie białka. Wartość pokarmowa frakcji pozostałej po obłuszczeniu tych nasion wzrasta nie tylko dzięki zwiększeniu w niej koncentracji białka, ale także dzięki poprawie jego strawności [12, 46, 48]. Próby stosowania zabiegu frakcjonowania na skalę przemysłową dla nasion, których łuska nie zawiera dodatkowych czynni-

ków antyżywniowych, np. łubinu białego [48] lub śruty rzepakowej [25], nie dały – jak dotąd – zadowalających wyników. Wydajność separacji łuski w trakcie tych zabiegów była mała, a poprawa wykorzystania frakcji obłuszczonej nie zapewniała pokrycia dodatkowego kosztu, związanego z zabiegiem frakcjonowania.

Frakcjonowany przemiał zbóż stosuje się w celu poprawy wartości odżywczej zbóż dla ludzi. Otręby pozostałe po tym zabiegu są wartościowym komponentem mieszanek dla ptaków utrzymywanych w systemach ekstensywnych, a także dla ptaków reprodukcyjnych oraz kur nieśnych średniociężkich, gdy celem żywienia jest utrzymanie zwierząt w dobrej kondycji i przeciwdziałanie ich nadmiernemu otłuszczeniu. Dużych ilości otrębów nie należy natomiast wprowadzać do mieszanek dla zwierząt młodych, przeznaczonych na tucz i wymagających dużej koncentracji energii w paszy (kurczęta brojlery, indyki rzeźne).

Wprowadzenie do obrotu rynkowego preparatów enzymatycznych umożliwiło znaczną poprawę wykorzystania przez ptaki pasz zawierających rozpuszczalne włókno pokarmowe o dużej lepkości. Jak dotąd najlepsze rezultaty w praktyce osiąga się, stosując preparaty zawierające β -glukanazę, ksylanazy i arabinoksylianazy. Enzymy te rozkładają β -glukany i arabinoksyliany zbóż na związki o mniejszej masie cząsteczkowej i znacznie mniejszej lepkości [4, 13, 41, 42, 44]. Dzięki ich stosowaniu jęczmień (a zwłaszcza jego odmiany bezłuskie) stał się zbożem o wartości równej kukurydzy w żywieniu kurcząt brojlerów i indyków rzeźnych, poprawiło się wykorzystanie pszenicy i pszenżyta, możliwe jest nawet stosowanie do 20% żyta w mieszankach dla brojlerów bez obniżenia wyników tuczu [42, 44]. Zmniejszenie lepkości treści powodowane przez uzupełnianie mieszanek enzymami umożliwia zmniejszenie lub eliminację zakłóceń w przepływie i mieszaniu treści pokarmowej oraz w trawieniu i wchłanianiu składników odżywczych, natomiast nie ma większego wpływu na wykorzystanie NSP przez ptaki. Annison [1992 za 1] stwierdził, że strawność jelitowa pentozanów pszenicy u kurcząt nie zwiększała się po uzupełnieniu diety enzymami, natomiast w odchodach wykazano zwiększenie strawności (ubytek) pentozanów z 26% w diecie nieuzupełnionej do 30–44% w dietach uzupełnionych enzymami. W wielu badaniach wykazano [1, 13, 15, 16, 43, 44], że obniżenie lepkości treści przez dodatek enzymów umożliwia poprawę trawienia tłuszczu, skrobi i białka, a tym samym umożliwia wchłanianie produktów ich rozkładu w dwunastnicy i jelicie czczym. Zmniejsza to dopływ tych składników do jelita biodrowego i ogranicza namnażanie się szkodliwych mikroorganizmów, które mogą m.in. dekonjugować sole kwasów żółciowych, uniemożliwiając ich wchłanianie i produkować toksyny [1, 9, 20, 42]. Badania Chocta i in. [13] wykazały, że po uzupełnieniu diety ksylanazą fermentacja bakteryjna w jelicie biodrowym została wydatnie ograniczona na skutek zmniejszenia dopływu substratów, natomiast zwiększała się fermentacja w jelitach ślepych, o czym świadczy wzrost stężenia krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych w treści. Enzymy „tnąc” duże cząsteczki NSP na mniejsze fragmenty i zmniejszając ich lepkość, ułatwiają ich przepływ do jelit ślepych i tym samym zmieniają miejsce ich fermentacji

przez florę bakteryjną. Podczas gdy nadmierna fermentacja w jelicie biodrowym może powodować uszkodzenia śluzówki jelita [38] zwiększenie fermentacji w jelitach ślepych może nie tylko zwiększać wykorzystanie włókna, lecz także poprawiać stan zdrowia ptaków, gdyż wykazano, że zwiększenie stężenia krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych w treści jelit ślepych ogranicza liczebność *Enterobacteriaceae*, a także zapobiega infekcjom przez bakterie chorobotwórcze, m.in. *Salmonella* [51].

Rozwój niepożądanego mikroflory w jelicie cienkim może być także hamowany przez podawanie antybiotyków paszowych, a modyfikacja cząsteczek NSP, powodująca zmniejszenie ich lepkości, następuje także pod wpływem naświetlania promieniami gamma lub w czasie moczenia nasion [44].

Rozpuszczalne włókno pokarmowe w znacznie mniejszym stopniu zakłóca trawienie w przewodzie pokarmowym ptaków dorosłych, a konieczność stosowania enzymów paszowych w żywieniu tych ptaków nie została przekonująco udowodniona [8, 44].

W wielu ośrodkach badawczych i firmach produkujących enzymy paszowe podejmuje się próby wytworzenia enzymów rozkładających włókno nasion roślin motylkowatych i oleistych. Próby te dotychczas nie zostały uwieńczone pełnym powodzeniem z uwagi na to, że włókno to ma bardzo skomplikowaną strukturę i do rozłożenia go potrzebny jest długi czas i współdziałanie wielu różnych enzymów. W badaniach własnych stwierdzano wprawdzie ubytek włókna pokarmowego po długotrwałej inkubacji *in vitro* nasion łubinu lub śruty rzepakowej z enzymami [Alloui i in. 1994 za 44], lecz uzupełnienie enzymami diet z łubinem lub śrutą rzepakową nie poprawiało ich wykorzystania przez kurczęta [33, 44].

W świetle wcześniej cytowanych badań nie ulega wątpliwości, że duża lepkość treści w poważny sposób ogranicza trawienie i wchłanianie tłuszczu przez młode ptaki. Wskutek tego wartość energetyczna pasz o dużej zawartości tłuszczu jest mniejsza, gdy oznacza się ją na młodych ptakach w połączeniu z nieuzupełnioną dietą pszenną, większa – gdy oznacza się ją z dietą pszenną uzupełnioną enzymem zmniejszającym lepkość treści [47]. Ponieważ ta druga sytuacja odpowiada warunkom spotykanym obecnie w praktyce, przygotowywane są zmiany w metodyce oznaczania wartości energetycznej pasz dla rosnących ptaków.

Wnioski

W dotychczasowych wydaniach Norm Żywienia Drobiu [34] podawano górne granice zawartości włókna surowego w mieszankach. W świetle powyższych rozważań nie mają one większego znaczenia dla wykorzystania mieszanek przez różne gatunki ptaków. Zastąpienie ich ograniczeniami dotyczącymi dopuszczalnego udziału włókna nierozpuszczalnego i rozpuszczalnego także nie wydaje się możliwe, gdyż rozpuszczalność włókna jest pojęciem względnym, ponadto fizjologiczne działanie

rozpuszczalnego włókna pokarmowego zależy nie od jego ogólnej zawartości w mieszance, lecz w największej mierze od jego właściwości fizykochemicznych, a zwłaszcza lepkości. Konieczne jest jednak zwrócenie uwagi producentów i użytkowników mieszanek dla drobiu na działanie antyżywniowe włókna pokarmowego niektórych pasz oraz popularyzacja sposobów poprawy wykorzystania pasz zawierających takie włókno.

Literatura

- [1] Annison G. 1995. Feed enzyme – the science, future developments and practical aspects in feed formulation. Proceedings 10 European Symposium on Poultry Nutrition, Antalya, Turcja: 193–201.
- [2] Asp N-G., Johansson C-G., Hallmer H., Sijestrom M. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fibre. *J. Agr. Food Chem.* 31: 476–482.
- [3] 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.
- [4] Bedford M.R., Classen H.L. 1992. Reduction of intestinal viscosity through manipulation of dietary rye and pentosanase concentration is effected through changes in carbohydrate composition of the intestinal aqueous phase and results in improved growth rate and feed conversion. *J. Nutr.* 122: 560–569.
- [5] Bjerregaard Ch., Sørensen H., Sørensen S. 1997. Dietary fibres – important parts of high quality food and feeds. *J. Anim. Feed Sci.* 6: 145–161.
- [6] Boros D. 1997. Włókno pokarmowe zbóż w żywieniu drobiu. *Biul. IHAR* 203: 241–256.
- [7] Boros D., Rek-Cieply B., Cyran M. 1996. A note on the composition and nutritional value of hullless barley. *J. Anim. Feed Sci.* 5: 417–424.
- [8] Brenes A., Guenter W., Marquardt R.R., Rotter B.A. 1993. Effect of β -glucanase/pentosanase enzyme supplementation on the performance of chickens and laying hens fed with wheat, barley, naked oats and rye diets. *Can. J. Anim. Sci.* 73: 941–951.
- [9] Campbell G.L., Campbell L.D., Classen H.L. 1983. Utilisation of rye by chickens: effect of microbial status, diet gamma irradiation and sodium taurocholate supplementation. *Brit. Poultry Sci.* 24: 191–203.
- [10] Carré B., Brillouet J.M. 1986. Yield and composition of cell wall residues isolated from various feedstuffs used for non-ruminant farm animals. *J. Sci. Food Agric.* 37: 341–351.
- [11] Carré B., Derouet L., Leclercq B. 1990. The digestibility of cell-wall polysaccharides from wheat (bran or whole grain) soybean meal and white lupin meal in cockerels, muscovy ducks and rats. *Poultry Sci.* 69: 623–633.
- [12] 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.
- [13] Choct M., Hughes R.J., Wang J., Bedford M.R., Morgan A.J., Annison G. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Brit. Poultry Sci.* 37: 609–621.

- [14] Cyran M. 1997. Skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne włókna pokarmowego ziarna zbóż. Materiały Konferencji „Włókno pokarmowe – skład chemiczny i biologiczne działanie”, Radzików: 59–74.
- [15] Dänicke S., Simon O., Jeroch H., Keller K., Kluge H., Bedford M. R. 1999. Effects of dietary fat type, pentosan level and xylanase supplementation on digestibility of nutrients and metabolizability of energy in male broilers. *Arch. Anim. Nutr.* 52: 245–261.
- [16] Dänicke S., Vahjeen W., Simon O., Jeroch H. 1999. Effects of dietary fat type and xylanase supplementation to rye-based broiler diets on selected bacterial groups adhering to the intestinal epithelium, on transit time of feed, and on nutrient digestibility. *Poultry Sci.* 78: 1292–1299.
- [17] European Table of Energy Values for Poultry Feedstuffs. 1986. Wyd. Subcommittee Energy of the Working Group No. 2. Nutrition, WPSA, Beekbergen, Holandia: 12–21.
- [18] Fengler A.I., Marquardt R.R. 1988. Water-soluble pentosans from rye. 2. Effects on rate of dialysis, and on the retention of nutrients by the chick. *Cereal Chem.* 65: 298–302.
- [19] Hesselman K., Elwinger K., Nilsson M., Thomke S. 1981. The effect of β -glucanase supplementation, stage of ripeness and storage treatment of barley in diets fed to broiler chickens. *Poultry Sci.* 60: 2664–2671.
- [20] Iji P.A. 1999. The impact of cereal non-starch polysaccharides on intestinal development and function in broiler chickens. *World's Poult. Sci. J.* 55: 375–387.
- [21] Iji P.A., Tivey D.R. 1998. Natural and synthetic oligosaccharides in broiler chicken diets. *World's Poult. Sci. J.* 54: 129–143.
- [22] Jamroz D. 1996. Charakterystyka węglowodanów ziarna zbóż, ich trawienie i mikrobiologiczna fermentacja w przewodzie pokarmowym drobiu. *Mag. Drobiarstwo* 6: 6–11.
- [23] Jamroz D. 2000. Żywnienie strusi i emu – podstawy fizjologiczne i zapotrzebowanie na składniki pokarmowe. *Prace i Materiały Zoot.* 56: 51–73.
- [24] Jamroz D., Wiliczekiewicz A., Skorupińska J. 1992. The effects of feeds containing various levels of structural substances on morphological changes in intestinal walls and on the digestibility of crude fibre fraction in geese. Part III. *J. Anim. Feed Sci.* 1: 37–50.
- [25] Kamińska B.Z., Brzóska F., Skraba B. 2000. High protein fraction of 00 type rapeseed meal in broiler nutrition. *J. Anim. Feed Sci.* 9: 123–136.
- [26] Klasing K.C. 1998. Comparative Avian Nutrition. CAB International, University Press, Cambridge, UK: 350 ss.
- [27] Langhout D.J., Schutte J.B., de Jong J., Sloetjes H., Verstegen M.W.A., Tamminga S. 2000. Effect of viscosity on digestion of nutrients in conventional and germ-free chicks. *Brit. J. Nutr.* 83: 533–540.
- [28] Lee B.D., Campbell L.D. 1983. Influence of rye and dietary salt level on water and sodium metabolism in intact and colostomized roosters. *Poultry Sci.* 62: 472–479.
- [29] Lipiński K., Tywończuk J., Minakowski D. 1997. Dietary fibre content of double and triple low rapeseed. Materiały Konferencji „Włókno pokarmowe – skład chemiczny i biologiczne działanie”, Radzików: 177.
- [30] Mazza G., Biliaderis C.G. 1989. Functional properties of flax seed mucilages. *J. Food Sci.* 54: 1302–1305.
- [31] Mead G.C. 1993. Microorganisms in the digestive tract of poultry. Proceedings 9 European Symposium on Poultry Nutrition, Jelenia Góra: 138–145.

- [32] Mieczkowska A., Smulikowska S. 1999. Wpływ poziomu dodatku łusek łubinu w diecie na wykorzystanie paszy oraz rozwój przewodu pokarmowego u kurcząt brojlerów. *Zesz. Nauk. PTZ, Chów i hodowla drobiu* 45: 327–333.
- [33] Mieczkowska A., Smulikowska S. 2001. Wpływ dodatku enzymów na wartość odżywczą mieszanek z łubinem dla kurcząt brojlerów. *Zesz. Nauk. PTZ, Chów i Hodowla Drobiu* 57: 145–152.
- [34] Normy Żywienia Drobiu. Zalecenia żywieniowe i wartość pokarmowa pasz. Wyd. 3. 1996. Praca zbiorowa. Red. S. Smulikowska. Wyd. Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt im. Jana Kielanowskiego PAN, Jabłonna: 142 ss.
- [35] Ochodzki P.M., Rakowska M., Bjerregaard Ch., Sørensen H. 1995. Studies on enzymatic fractionation, chemical composition and biological effects of dietary fibre in rape seed (*Brassica napus* L.). 1. Chemical composition of seeds and characteristics of soluble and insoluble dietary fibre of spring and winter type varieties of double improved oilseed rape. *J. Anim. Feed Sci.* 4: 127–138.
- [36] Pakulska E. 1983. Trawienie pektyn oraz niektórych frakcji włókna u gęsi. Praca doktorska. ZZZ IZ Kołuda Wielka: 68 ss.
- [37] Parsons C.M., Potter L.M., Brown jr. R.D. 1983. Effects of dietary carbohydrate and of intestinal microflora on excretion of endogenous amino acids by poultry. *Poultry Sci.* 62: 483–489.
- [38] Rakowska M., Rek-Cieply B., Sot A., Lipińska E., Kubiński T., Barcz I., Afanasjew B. 1993. The effect of rye, probiotics and nisine on faecal flora and histology of the small intestine in chicks. *J. Anim. Feed Sci.* 2: 73–81.
- [39] Rutkowski A., Boros D. 1997. Zawartość węglowodanów nieskrobiowych w zbożach pochodzenia krajowego. Materiały Konferencji „Włókno pokarmowe – skład chemiczny i biologiczne działanie”, Radzików: 215–219.
- [40] Savory C.J. 1992. Gastrointestinal morphology and absorption of monosaccharides in fowls conditioned to different types and levels of dietary fibre. *J. Nutr.* 67: 77–89.
- [41] Simon O. 1998. The mode of action of NSP hydrolysing enzymes in the gastrointestinal tract. *J. Anim. Feed Sci.* 7, Suppl. 1: 115–123.
- [42] Smits C.H.M., Annison G. 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition – towards a physiologically valid approach to their determination. *World's Poult. Sci. J.* 52: 203–221.
- [43] Smulikowska S. 1998. Relationship between the stage of digestive tract developments in chicks and the effect of viscosity-reducing enzymes on fat digestion. *J. Anim. Feed Sci.* 7 Suppl. 1: 125–134.
- [44] Smulikowska S. 1998. Wartość pokarmowa żyta, pszenżyta i pszenicy w żywieniu drobiu. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. IFZZ PAN, Jabłonna: 160 ss.
- [45] Smulikowska S. 2001. Wpływ enzymów paszowych na rozwój przewodu pokarmowego i wzrost kurcząt brojlerów. *Przegląd Hodowlany* 2: 18–23.
- [46] Smulikowska S., Chibowska M. 1993. The effect of variety, supplementation with tryptophan, dehulling and autoclaving on utilization of field bean (*Vicia faba* L.) seeds by broiler chickens. *J. Anim. Feed Sci.* 5: 379–393.
- [47] Smulikowska S., Mieczkowska A., Nguyen V. C. 2000. Enzyme supplementation of wheat-based diet affects the ME-value of other dietary components depending on their fat content. Proceedings 3 European Symposium on Feed Enzymes, Noodwijkerhout, Holandia: 80.

- [48] Smulikowska S., Mieczkowska A., Ochtabińska A., Pastuszewska B. 1996. Skład chemiczny frakcji otrzymanych w wyniku rozdrabniania i przesiewania nasion łubinu oraz ich wartość energetyczna dla kurcząt. Mat. Konferencji „Łubin–białko–ekologia”, Poznań, Wyd. PTL: 170–176.
- [49] Smulikowska S., Nguyen V.C. 2001. A note on variability of water extract viscosity of rye grain from north-east of Poland. *J. Anim. Feed Sci.* 10: 687–693.
- [50] Smulikowska S., Mieczkowska A., Nguyen C.V., Bąbelewska M. 2002. Influence of digesta viscosity on the development of stomach, on in vitro small intestinal motility and on the digestion of nutrients in broiler chickens. *J. Anim. Feed Sci.* 11(4) (w druku).
- [51] Van der Wielen P.W., Biesterveld S., Notermans S., Hofstra H., Urlings B.A.P., van Knapen F. 2000. Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 2536–2540.
- [52] Viveros A., Brenes A., Pizarro M., Castano M. 1994. Effect of enzyme supplementation of a diet based on barley and autoclave treatment, on apparent digestibility, growth performance and gut morphology of broilers. *Anim. Feed Sci. Techn.* 48: 237–251.

Dietary fiber in feeds for poultry – contents, physiological aspects and nutritive role of particular fiber fractions

Key words: poultry, dietary fiber, solubility, viscosity

Summary

Paper present a review of information on methods of dietary fiber determination and its unique characteristics most important in poultry nutrition. The physiological effects of soluble dietary fiber on development of gastrointestinal tract in young birds are highlighted, as well as the means of improving nutritive value for poultry of feed components of high dietary fiber content.