

Wpływ rodzaju ekstraktu i poziomu inuliny na stężenie krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych w jelicie grubym oraz wskaźniki lipidowe krwi tuczników^{*)}

SANDRA SOBOLEWSKA, WIOLETTA SAMOLIŃSKA,
JACEK SKOMIAŁ*, EUGENIUSZ R. GRELA

Institute of Animal Nutrition and Bromatology, University of Life Sciences in Lublin, 20-950 Lublin, Akademicka 13, Poland

*The Kielanowski Institute of Animal Physiology and Nutrition PAS, Instytutcka 3, 05-110 Jabłonna, Poland

Otrzymano 25.09.2013

Zaakceptowano 20.12.2013

Sobolewska S., Samolińska W., Skomiał J., Grela E. R.

Effect of inulin content and extract type on short-chain fatty acid concentration in the large intestine and lipid parameters in fattener blood

Summary

The research objective was to assess the influence of a dietary inulin supplement (the way of obtaining it and its level) on chosen lipid parameters in fattener blood plasma as well as on volatile fatty acid content in the cecum and colon. The experimental trial involved 140 growers, (PL × PLW) × Duroc crossbred pigs, with an initial body weight of 29.0 ± 0.5 kg, and assigning them into 7 diet groups. Group I was the control group; the others had diets supplemented with 1%, 2% and 3% inulin (water extract in group II-IV and water-alcohol extract in V-VII groups). Blood samples for examination were collected three times during the fattening period (at 40, 70 and 100 kg BW). Large bowel contents obtained at animal slaughter made it possible to determine the volatile fatty acid level and pH. The blood plasma was examined to establish the content of triacylglycerols, total cholesterol and high density lipoprotein fraction (HDL).

Inclusion of the investigated prebiotic has affected the level of some volatile fatty acids in the bowel contents. The group with 3% water-alcohol inulin extract supplementation showed increased concentration of acetic, isobutyric and butyric acid (cecum) as well as acetic and butyric acid (colon). Throughout the whole fattening period, an increase was observed in ($p \leq 0.01$) HDL cholesterol fraction in each diet group with inulin additive (II-VII), i.e. by 48, 49, 44, 47, 41 and 40%, respectively, as compared to the control (I). On the other hand a decrease ($p \leq 0.01$) of triacylglycerols content was noted in group II and VII in comparison to the control group. All the fatteners fed mixtures containing inulin had a lower total cholesterol/HDL cholesterol ratio in comparison to the control group ($p \leq 0.01$).

The key findings of the study have shown that an increased inulin level positively affected the chosen lipid parameters in fattener blood plasma as well as the production of short-chain fatty acids in the large intestine. However, no substantial influence of an inulin extraction method on the studied parameters was noted.

Keywords: inulin, extraction method, blood lipid parameters, SCFA, fattener

Odpowiedni dobór składników pokarmowych pod względem jakościowym i ilościowym oraz stosowanie właściwych dodatków paszowych przyczyniać się może do modyfikowania poziomu wskaźników lipidowych w osoczu krwi (8). Działanie hipocholesterolemiczne probiotyków zostało już dość dobrze udokumentowane (29, 34). Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły skierować uwagę również na prebiotyki, które odgrywają istotną rolę w zwiększaniu populacji korzystnej mikroflory jelit. Liczne badania wskazują na obiecujące wyniki w obniżaniu poziomu

triacylogliceroli, cholesterolu całkowitego oraz jego frakcji LDL (Low Density Lipoproteins) po wprowadzeniu do żywienia probiotyków i/lub prebiotyków (11). Inulina, jako naturalny oligomer fruktozy, zaliczana jest do składników żywności wykazujących działanie prebiotyczne. Znajduje się ona w tkankach spichrzowych niektórych roślin, np. w: cykorii, słoneczniku bulwiastym, mniszku lekarskim, omanie wielkim (14, 26). Po spożyciu inulina przechodzi do dolnego odcinka układu pokarmowego w stanie niezmienionym, gdzie ulega beztlenowej fermentacji bakteryjnej, której produktami są krótkołańcuchowe

^{*)} Projekt finansowany przez NCBiR – nr 12 0067 10/2010.

Tab. 1. Układ doświadczenia

Wyszczególnienie	Grupy żywieniowe						
	I-K ³⁾	II-EW10	III-EW20	IV-EW30	V-EWA10	VI-EWA20	VII-EWA30
Dodatek inuliny ¹⁾ z ekstrakcji wodnej w g/kg paszy	0	10	20	30	0	0	0
Dodatek inuliny ²⁾ z ekstrakcji wodno-alkoholowej w g/kg paszy	0	0	0	0	10	20	30
Liczba zwierząt	20	20	20	20	20	20	20

Objaśnienia: ¹⁾ Zawartość: inulina (~92%), glukoza/fruktoza/sacharoza (~8%); ²⁾ Zawartość: inulina (~89%), glukoza/fruktoza/sacharoza (~8%), inne cukry (~1%), polifenole (~2%); ³⁾ Akronimy: K – kontrola, EW – ekstrakt wodny, EWA – ekstrakt wodno-alkoholowy

kwasy tłuszczowe, przyczyniające się do stymulacji wzrostu flory saprofitycznej – bifidobakterii. Wzrost produkcji lotnych kwasów tłuszczowych może regulować stężenie cholesterolu, a także wspomagać wchłanianie wapnia, żelaza oraz magnezu (21, 27). Inulina wywiera korzystny wpływ na gospodarkę lipidową krwi, obniżając stężenie lipoprotein o niskiej gęstości LDL oraz triacylogliceroli u ludzi i zwierząt (7, 33). Badania dotyczące skuteczności probiotyków w redukcji poziomu cholesterolu często opisują mechanizmy modulujące efekt hipocholesterolemiczny probiotyków w stopniu niewystarczającym. Istnieje kilka hipotez, które mają na celu wyjaśnić ten mechanizm, a wśród nich: dekonjugacja kwasów żółciowych dzięki aktywności wytwarzanej przez probiotyki hydrolazy soli żółci (BSH – Bile Salt Hydrolase) (14), asymilacja cholesterolu przez probiotyki (23), obniżanie poziomu cholesterolu poprzez wytrącanie (koprecypitację) z wolnymi kwasami żółciowymi (16), przyłączanie cholesterolu do ścian komórkowych bakterii probiotycznych (15), przetwarzanie cholesterolu do koprostanolu (18) i produkcja krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych przez bakterie probiotyczne w obecności prebiotyków (25).

Fermentacja polisacharydów nieskrobiowych w jelicie grubym świń prowadzi do produkcji znacznych ilości krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (SCFA – Short-Chain Fatty Acids) o różnej koncentracji i proporcjach, uzależnionych od odcinka przewodu pokarmowego. Krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe dominują w okrężnicy i jelicie ślepym. Typowy stosunek tych kwasów w dolnych odcinkach przewodu pokarmowego świń to: 60 : 25 : 15, odpowiednio: octowy, propionowy i masłowy (1, 32). Są one szybko absorbowane ze światła jelita i np. kwas octowy staje się źródłem energii dla tkanki mięśniowej, a kwas propionowy zostaje przetworzony do glukozy w wątrobie. Kwas masłowy natomiast jest głównym źródłem energii dla kolonocytów (komórki nabłonka jelita grubego). Ich udział w pokryciu zapotrzebowania energetycznego świń w końcowym okresie tuczu może wynosić od 15% do 24% (1, 20).

Celem przeprowadzonego doświadczenia była ocena, czy i w jakim stopniu dodatek inuliny (jej poziom oraz metoda ekstrakcji) wpływa na wybrane wskaźniki lipidowe osocza krwi tuczników oraz stężenie krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych w jelicie grubym.

Materiał i metody

Doświadczenie przeprowadzono na 140 warchlakach mieszańcach rasy (pbz × wbp) × Duroc o masie początkowej $29,0 \pm 0,5$ kg, podzielonych na 7 równolicznych grup (tab. 1). Zwierzęta utrzymywane były po 4 sztuki w kojcu. Tuczniki żywiono mieszankami pełnodawkowymi typu grower (25-70 kg) i finisz (71-115 kg).

W skład mieszanek paszowych wchodziły śrutki zbożowe (pszenica i jęczmień), poekstrakcyjna śruta sojowa, olej sojowy oraz pasze mineralne (kreda pastewna i fosforan jednowapniowy). Mieszanki były zbilansowane pod względem zawartości energii metabolicznej, białka, aminokwasów oraz składników mineralnych i witamin (10). Czynnikiem doświadczalnym był dodatek inuliny (0, 10, 20 i 30 g/kg mieszanki) w formie ekstraktu wodnego lub wodno-alkoholowego. Inulinę pozyskiwano z korzeni cykorii wg zmodyfikowanej metody Stahla i Schilda (28), przy czym substrat traktowano tylko wodą (ekstrakt wodny – EW) lub roztworem wody i alkoholu etylowego w proporcji 70 : 30 (ekstrakt wodno-alkoholowy – EWA). Zwierzęta miały swobodny dostęp do poideł i karmideł (żywienie *ad libitum*). Warunki zoohigieniczne w pomieszczeniach, tj. temperatura i wilgotność względna oraz ochładzanie były identyczne dla wszystkich grup.

Próbki krwi do badań pobrano 3-krotnie z żyły szyjnej jarczowej (*vena jugularis externa*) przy masie ciała 40, 70 i 100 kg od 6 zwierząt z każdej grupy. Osocze otrzymywano poprzez wirowanie krwi pełnej przy 3000 rpm przez 15 min. w temperaturze 4°C. W osoczu krwi oznaczono zawartość triacylogliceroli, cholesterolu całkowitego oraz frakcji lipoproteinowej cholesterolu o wysokiej gęstości (HDL – High Density Lipoprotein). Analizę wymienionych wskaźników w osoczu krwi przeprowadzono metodami kolorymetrycznymi, używając zestawów odczynnikowych BioMaxima (Lublin, Poland) na analizatorze biochemicznym swobodnego dostępu Metrolab 2300GL (Metrolab SA, Buenos Aires, Argentyna). Frakcję lipoproteinową cholesterolu o niskiej gęstości (LDL) wyliczono ze wzoru Friedewalda i wsp. (9). Podczas uboju (około 115 kg) od 6 zwierząt z każdej grupy pobrano treść z jelita ślepego oraz z końcowego odcinka okrężnicy w celu pomiaru pH oraz oznaczeń zawartości lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) (24).

Analizy statystycznej dokonano za pomocą pakietu statystycznego StatSoft, Inc. Statistica (Data Analysis Software System), version 5.1. Dane liczbowe poddano jednoczynnikowej analizie wariancji, zaś do wyznaczenia różnic pomiędzy średnimi wykorzystano wielokrotny test Tukeya ($\alpha = 95\%$ i 99% ; $p \leq 0,05$ i $p \leq 0,01$). Poszczególne grupy żywieniowe oraz grupy z różnym poziomem inuliny w mieszance zostały analizowane względem kontroli, natomiast

Tab. 2. Kwasowość oraz zawartość lotnych kwasów tłuszczowych w $\mu\text{M/g}$ treści jelita ślepego

LKT ($\mu\text{M/g}$ treści jelita)	Grupy żywieniowe							Ekstrakt inuliny		Poziom inuliny w mieszance, g/kg			SEM
	I-K	II- EW10	III- EW20	IV- EW30	V- EWA10	VI- EWA20	VII- EWA30	II-IV EW	V-VII EWA	II i V 10	III i VI 20	IV i VII 30	
pH	5,94	5,98	5,95	5,89	5,88	5,91	5,93	5,93	5,91	5,92	5,92	5,91	0,04
Kwas octowy	49,12 ^b	49,31 ^{ab}	49,54 ^{ab}	49,72 ^{ab}	49,35 ^{ab}	51,04 ^a	51,24 ^a	49,52	50,54	49,33 ^{ab}	50,29 ^a	50,48 ^a	4,27
Kwas propionowy	15,13 ^{bc}	15,67 ^b	16,53 ^{ab}	17,14 ^a	14,85 ^c	15,11 ^{bc}	15,52 ^b	16,45	15,16	15,26	15,82	16,33	1,32
Kwas izomasłowy	0,514 ^b	0,524 ^b	0,516 ^b	0,575 ^{ab}	0,568 ^{ab}	0,619 ^a	0,626 ^a	0,538 ^b	0,604 ^a	0,55	0,57	0,60	0,04
Kwas masłowy	10,14 ^b	10,09 ^b	10,11 ^b	10,76 ^{ab}	10,18 ^b	10,11 ^b	11,14 ^a	10,32	10,48	10,14 ^b	10,11 ^b	10,95 ^a	0,95
Kwas izowalerianowy	0,641 ^a	0,578 ^{ab}	0,539 ^b	0,548 ^b	0,635 ^a	0,639 ^a	0,642 ^a	0,555 ^b	0,639 ^a	0,607	0,589	0,595	0,06
Kwas walerianowy	0,764 ^b	0,795 ^b	0,892 ^a	0,993 ^a	0,754 ^b	0,783 ^b	0,818 ^{ab}	0,893 ^a	0,785 ^b	0,775 ^b	0,838 ^{ab}	0,906 ^a	0,06

Objaśnienia: a, b – różnice statystycznie istotne przy $p \leq 0,05$

Tab. 3. Kwasowość oraz zawartość lotnych kwasów tłuszczowych w $\mu\text{M/g}$ treści końcowego odcinka okrężnicy

LKT ($\mu\text{M/g}$ treści jelita)	Grupy żywieniowe							Ekstrakt inuliny		Poziom inuliny w mieszance, g/kg			SEM
	I-K	II- EW10	III- EW20	IV- EW30	V- EWA10	VI- EWA20	VII- EWA30	II-IV EW	V-VII EWA	II i V 10	III i VI 20	IV i VII 30	
pH	6,51	6,44	6,39	6,38	6,36	6,28	6,29	6,40	6,32	6,41	6,32	6,32	0,05
Kwas octowy	45,52 ^c	44,89 ^c	45,65 ^c	46,13 ^{bc}	47,16 ^b	47,94 ^{ab}	48,68 ^a	45,56 ^b	47,93 ^a	46,03 ^b	46,80 ^{ab}	47,41 ^a	4,57
Kwas propionowy	17,32 ^{ab}	17,12 ^b	16,87 ^b	17,37 ^{ab}	17,54 ^{ab}	18,09 ^a	18,45 ^a	17,12 ^b	18,03 ^a	17,33	17,48	17,91	1,16
Kwas izomasłowy	1,14	1,18	1,22	1,25	1,21	1,27	1,32	1,22	1,27	1,20	1,25	1,29	0,11
Kwas masłowy	12,58 ^b	11,59 ^b	12,02 ^b	12,45 ^b	12,22 ^b	12,89 ^b	14,03 ^a	12,02	13,05	11,91	12,46	13,24	1,13
Kwas izowalerianowy	1,57	1,66	1,85	1,89	1,81	1,89	1,98	1,80	1,89	1,74	1,87	1,94	0,12
Kwas walerianowy	1,25	1,29	1,32	1,41	1,46	1,49	1,53	1,34	1,49	1,38	1,41	1,47	0,11

Objaśnienia: a, b – różnice statystycznie istotne przy $p \leq 0,05$

grupy otrzymujące inulinę pochodzącą z różnych metod ekstrakcji (II-IV i V-VII) były porównywane między sobą.

Wyniki i omówienie

Uzyskane wyniki wskazują, że dodatek inuliny wpłynął na stężenie lotnych kwasów tłuszczowych w jelicie grubym tuczników (tab. 2 i 3). Stwierdzono zwiększenie ilości kwasu octowego i masłowego ($p \leq 0,05$), zarówno w jelicie ślepy, jak i w końcowym odcinku okrężnicy tuczników otrzymujących w mieszance wyciąg wodno-alkoholowy inuliny w ilości 30 g/kg (grupa VII) w odniesieniu do kontroli. W grupie tej stwierdzono również istotne zwiększenie stężenia kwasu izomasłowego, ale tylko w jelicie ślepy. W grupie VI (EWA 2% inuliny) podobnie stwierdzono zwiększenie ilości kwasu octowego w jelicie ślepy i okrężnicy, a izomasłowego tylko w jelicie ślepy ($p \leq 0,05$). Natomiast w grupie V (EWA 1% inuliny), zaobserwowano tylko zwiększone stężenie kwasu octowego w końcowym odcinku okrężnicy ($p \leq 0,05$). W grupach III i IV, w których zastosowano ekstrakt wodny inuliny w ilości 20 lub 30 g/kg mieszanki, w jelicie ślepy nastąpiło zwiększenie ilości kwasu walerianowego ($p \leq 0,05$) i obniżenie stężenia kwasu izowalerianowego w porównaniu do zwierząt z grupy kontrolnej ($p \leq 0,05$). Wyniki te nie zawsze są zbieżne z uzyskanymi przez innych autorów w badaniach na prosiętach, chociaż zgodna jest obserwacja

dotycząca zmian w zawartości izokwasów powstałych w wyniku fermentacji mikrobiologicznej (2). Może to być spowodowane ilością dodawanej inuliny lub stopniem jej polimeryzacji (22).

Dodatek inuliny wpłynął również na profil lipidowy krwi tuczników (tab. 4). Zastosowanie inuliny w ilości 3%, niezależnie od metody jej pozyskiwania przyczyniło się do zmniejszenia zawartości cholesterolu ogólnego, zwłaszcza w grupie IV (EW 30) ($p \leq 0,01$). Pomiędzy grupami zwierząt otrzymującymi różny rodzaj ekstraktu nie stwierdzono praktycznie żadnych różnic. W przypadku triacylogliceroli odnotowano zmniejszenie ich zawartości w osoczu w grupach II i VII, w których stosowano dodatek wyciągu wodnego inuliny w ilości 1% (grupa II) ($p \leq 0,01$) lub 3% dodatku wyciągu wodno-alkoholowego ($p \leq 0,01$). Natomiast zmiany poziomu frakcji lipoprotein osocza krwi o wysokiej gęstości (HDL) były wyraźnie widoczne, w odniesieniu do kontroli, we wszystkich grupach żywieniowych, w których uwzględniono dodatek inuliny do mieszanki (tab. 4). Poziom frakcji HDL cholesterolu w osoczu krwi tuczników żywionych mieszankami o różnym dodatku inuliny (1, 2 i 3%) i sposobie jej ekstrakcji (ekstrakt wodny lub wodno-alkoholowy) był wyższy w porównaniu do kontroli ($p \leq 0,01$) (tab. 4). W całym okresie tuczu odnotowano wzrost frakcji HDL cholesterolu w grupach żywieniowych II-VII, odpowiednio, o 48, 49, 44, 47, 41 i 40%

Tab. 4. Wskaźniki lipidowe w osoczu krwi tuczników

Wskaźnik	Okres tuczu, kg	Grupy żywieniowe							Ekstrakt inuliny		Poziom inuliny w mieszance, g/kg			SEM
		I-K	II-EW10	III-EW20	IV-EW30	V-EWA10	VI-EWA20	VII-EWA30	II-IV EW	V-VII EWA	II i V 10	III i VI 20	IV i VII 30	
Cholesterol (mmol l ⁻¹)	40	2,32 ^a	2,36 ^a	2,32 ^a	2,18 ^b	2,20 ^b	2,19 ^b	2,17 ^b	2,29	2,19	2,28 ^{ab}	2,26 ^{ab}	2,18 ^b	0,03
	70	2,34 ^A	2,35 ^A	2,25 ^{AB}	2,07 ^B	2,30 ^A	2,34 ^A	2,21 ^{AB}	2,22	2,28	2,33 ^A	2,30 ^{AB}	2,14 ^B	0,04
	100	2,41 ^A	2,33 ^{AB}	2,16 ^B	2,09 ^B	2,32 ^{AB}	2,32 ^{AB}	2,23 ^{AB}	2,19	2,29	2,33 ^{AB}	2,24 ^{AB}	2,16 ^B	0,03
	\bar{x}	2,36 ^A	2,35 ^A	2,24 ^{AB}	2,11 ^B	2,27 ^{AB}	2,28 ^{AB}	2,21 ^{AB}	2,23	2,25	2,31 ^A	2,26 ^{AB}	2,16 ^B	0,02
HDL (mmol l ⁻¹)	40	0,83 ^B	0,98 ^{AB}	1,06 ^A	1,08 ^A	0,99 ^{AB}	0,94 ^{AB}	1,08 ^A	1,04	1,00	0,98 ^{AB}	1,00 ^A	1,08 ^A	0,03
	70	0,72 ^B	1,13 ^A	1,06 ^A	1,03 ^A	1,12 ^A	1,06 ^A	1,01 ^A	1,07	1,06	1,13 ^A	1,06 ^A	1,02 ^A	0,04
	100	0,63 ^B	1,14 ^A	1,15 ^A	1,04 ^A	1,11 ^A	1,09 ^A	0,99 ^A	1,11	1,06	1,13 ^A	1,12 ^A	1,02 ^A	0,04
	\bar{x}	0,73 ^B	1,08 ^A	1,09 ^A	1,05 ^A	1,07 ^A	1,03 ^A	1,02 ^A	1,07	1,04	1,07 ^A	1,06 ^A	1,04 ^A	0,02
Triacyloglycerole (mmol l ⁻¹)	40	0,29	0,21	0,25	0,26	0,25	0,28	0,22	0,24	0,25	0,23	0,27	0,24	0,01
	70	0,34 ^a	0,23 ^b	0,27 ^{ab}	0,28 ^{ab}	0,31 ^a	0,26 ^{ab}	0,24 ^b	0,26	0,27	0,27	0,27	0,26	0,01
	100	0,35 ^{Aa}	0,22 ^B	0,26 ^{AB}	0,29 ^{AB}	0,32 ^A	0,25 ^{AB}	0,23 ^B	0,26	0,27	0,27 ^b	0,26 ^b	0,26 ^b	0,01
	\bar{x}	0,33 ^A	0,22 ^B	0,26 ^{AB}	0,28 ^{AB}	0,29 ^{AB}	0,26 ^{AB}	0,23 ^B	0,25	0,26	0,25 ^B	0,26 ^B	0,26 ^B	0,01
LDL (mmol l ⁻¹)	40	1,36 ^a	1,25 ^{ab}	1,14 ^b	0,98 ^c	1,10 ^b	1,12 ^b	0,99 ^c	1,12	1,07	1,18	1,13	0,99	0,03
	70	1,46 ^a	1,11 ^b	1,07 ^b	0,91 ^c	1,04 ^{bc}	1,16 ^b	1,10 ^b	1,03	1,10	1,07	1,12	1,01	0,04
	100	1,63 ^A	1,14 ^{AB}	0,89 ^B	0,93 ^B	1,06 ^{AB}	1,12 ^{AB}	1,14 ^{AB}	0,99	1,11	1,10 ^B	1,01 ^B	1,04 ^B	0,04
	\bar{x}	1,48 ^A	1,17 ^{AB}	1,03 ^B	0,94 ^B	1,07 ^{AB}	1,13 ^{AB}	1,08 ^{AB}	1,05	1,09	1,12 ^B	1,08 ^B	1,01 ^B	0,02
CHOL/HDL	40	2,79 ^A	2,38 ^B	2,18 ^{BC}	2,02 ^C	2,05 ^{BC}	2,34 ^B	2,01 ^C	2,19	2,13	2,22 ^B	2,26 ^B	2,02 ^B	0,06
	70	3,23 ^A	2,09 ^B	2,20 ^B	2,01 ^B	2,09 ^B	2,25 ^B	2,20 ^B	2,10	2,18	2,09 ^B	2,23 ^B	2,11 ^B	0,13
	100	3,85 ^A	2,10 ^B	1,88 ^B	2,03 ^B	2,23 ^B	2,13 ^B	2,26 ^B	2,00 ^b	2,20 ^a	2,16 ^B	2,01 ^B	2,14 ^B	0,13
	\bar{x}	3,29 ^A	2,19 ^B	2,09 ^B	2,02 ^B	2,13 ^B	2,24 ^B	2,16 ^B	2,10	2,18	2,16 ^B	2,16 ^B	2,09 ^B	0,06

Objaśnienia: a, b, c – wartości w wierszu oznaczone różnymi małymi literami różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$; A, B, C – wartości w wierszu oznaczone różnymi dużymi literami różnią się istotnie przy $p \leq 0,01$

w odniesieniu do grupy kontrolnej. Różny poziom dodatku inuliny w mieszankach także istotnie wpłynął na średnią zawartość frakcji HDL. Stwierdzono jej wzrost o 47% przy dodatku 10 g inuliny (grupa II i IV), przy dodatku 20 g inuliny o 45%, a przy 30 g o 42% w porównaniu z grupą kontrolną (I).

Średnio w całym okresie tuczu zastosowanie inuliny w ilości 2% lub 3% w postaci ekstraktu wodnego (grupa III i IV) obniżyło, odpowiednio, o 30% i 36% zawartość LDL cholesterolu ($p \leq 0,01$), w porównaniu do tuczników z grupy kontrolnej (tab. 4). W pozostałych grupach żywieniowych, gdzie także zastosowano dodatek inuliny w żywieniu tuczników, obserwowano zmniejszenie zawartości frakcji LDL, ale różnice te nie zostały statystycznie potwierdzone. Zwiększający się udział inuliny w mieszankach również efektywnie obniżył zawartość LDL w osoczu krwi zwierząt: o 24% przy 1% dodatku inuliny (grupa II i IV), o 27% przy 2% dodatku (grupa III i VI) oraz o 32% przy 3% dodatku inuliny (grupa IV i VII). W odniesieniu do kontroli u wszystkich tuczników otrzymujących mieszanki z inuliną stwierdzono niższe wartości stosunku cholesterolu całkowitego do jego frakcji HDL ($p \leq 0,01$), kolejno o 33, 36, 39, 35, 32 i 34% w poszczególnych grupach żywieniowych (II-VII). Wpływ ten obserwowano zarówno w przypadku porównania dwóch

rodzajów ekstraktów inuliny (wyłącznie w końcowym okresie tuczu, kiedy w grupie EW stwierdzono wartość niższą o ok. 9% w stosunku do grupy EWA), jak i zwiększającego jej dodatku do mieszanek (grupy II i V – zmniejszenie zawartości o 34%, grupy III i VI – o 34% i o 36% w grupach IV i VII). Wyniki dotyczące wpływu inuliny na profil lipidowy krwi pokrywają się z wynikami badań innych autorów (3, 6). W badaniach na szczurach normo- i hipercholesterolemicznych, stosując 6% dodatek inuliny, w osoczu krwi szczurów normocholesterolemicznych stwierdzono zwiększenie frakcji HDL cholesterolu kosztem frakcji LDL (30). Odnotowano również istotne obniżenie poziomu cholesterolu we krwi, ale także tylko u szczurów normocholesterolemicznych. W badaniach własnych wykazano zmniejszenie poziomu cholesterolu w osoczu krwi tuczników otrzymujących największą ilość inuliny w postaci ekstraktu wodnego (grupa IV – EW 30). Podobne badania przeprowadzili Kim i Shin (12), którzy oceniali wpływ dodatku do diety szczurów 1% lub 5% ekstraktu cykorii (wodny ekstrakt) lub 5% inuliny i wprowadzenia do wszystkich mieszanek 0,2% cholesterolu. U szczurów otrzymujących dietę z dodatkiem ekstraktu z cykorii lub inuliny stwierdzono istotnie wyższą zawartość lipoprotein o wysokiej gęstości (HDL) w surowicy i niższą lipoprotein o ni-

skiej gęstości (LDL) w porównaniu z grupą kontrolną ($p \leq 0,05$). Nie odnotowano wpływu dodatku ekstraktu z cykorii ani inuliny na poziom cholesterolu i triacylogliceroli w krwi. Zbliżone wyniki otrzymano w badaniach własnych.

Zmniejszenie poziomu cholesterolu we krwi może wynikać ze zwiększonej syntezy kwasu propionowego, będącego produktem ubocznym fermentacji inuliny. Kwas propionowy jest bowiem inhibitorem enzymu niezbędnego do syntezy cholesterolu – reduktazy hydroksy-metylo-glutarylo-CoA, co wpływa na zmniejszenie biosyntezy cholesterolu endogenego w wątrobie (4, 5, 31). W badaniach własnych obserwowano istotny wzrost stężenia tego kwasu tłuszczowego w jelicie ślepym ($p \leq 0,05$), jedynie u tuczników żywionych mieszanką z dodatkiem 3% wodnego ekstraktu inuliny i tylko w tej grupie obserwowano tendencje do niższych zawartości cholesterolu przy masie ciała tuczników 40, 70 oraz 100 kg, a także przez cały okres trwania tuczu w porównaniu z grupą kontrolną.

Oceniając zastosowanie ekstraktów inuliny, stwierdzono, że wykorzystanie ekstraktu wodno-alkoholowego wpłynęło na zwiększenie zawartości w jelicie ślepym kwasu izomasłowego oraz izowalerianowego przy jednoczesnym obniżeniu zawartości kwasu walerianowego w porównaniu z zastosowaniem ekstraktu wodnego. Natomiast w końcowym odcinku okrężnicy w grupach EWA odnotowano istotne zwiększenie zawartości kwasu octowego oraz propionowego w porównaniu do grup EW. Porównując wielkość dodatku inuliny, najwyraźniejsze różnice w zmianie zawartości lotnych kwasów tłuszczowych w jelicie grubym były zauważalne w grupie otrzymującej 3% dodatek tego prebiotyku. Grupa ta charakteryzowała się istotnie wyższą zawartością kwasu masłowego i walerianowego w treści jelita ślepego, a także kwasu octowego w treści jelita ślepego oraz okrężnicy w porównaniu do grupy kontrolnej. Zdaniem Loha i wsp. (17), dodatek inuliny zwiększa produkcję kwasu masłowego, a obniża kwasu octowego i propionowego w jelicie ślepym i okrężnicy.

Krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, obniżając pH treści jelitowej, mogą hamować rozwój bakterii patogennych i gnilnych, takich jak: *Salmonella*, *Clostridium difficile* i *Escherichia coli* (19) oraz sprzyjają utrzymaniu równowagi i rozwojowi mikroflory sa-profitycznej jelita grubego, która wykorzystuje receptory na błonie jelita, blokując tym samym miejsce przyczepu drobnoustrojów chorobotwórczych (27). W badaniu nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy wartościami pH w poszczególnych grupach zarówno w jelicie ślepym, jak i w okrężnicy, jednak w większości grup żywieniowych dodatek inuliny powodował nieznaczne obniżanie wartości pH szczególnie w końcowym odcinku okrężnicy.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić pozytywny wpływ 3% dodatku inuliny w formie ekstraktu wodnego na zwiększenie produkcji kwasu

propionowego w jelicie ślepym oraz ze względu na możliwość modyfikacji wskaźników lipidowych osocza krwi tuczników. Natomiast wprowadzenie do mieszanek dla tuczników 3% inuliny w formie ekstraktu wodno-alkoholowego efektywnie zwiększyło produkcję w jelicie grubym takich krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, jak: octowy, masłowy i izomasłowy.

Dodatek inuliny wpłynął również korzystnie na frakcję lipoproteinową cholesterolu o wysokiej gęstości (HDL) oraz wartość stosunku całkowitego cholesterolu do HDL.

Piśmiennictwo

1. Bach Knudsen K. E., Hansen J.: Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. Br. J. Nutr. 1991, 65, 217-232.
2. Barszcz M., Taciak M., Tuśnio A., Świąch E., Staśkiewicz L., Skomial J.: Microbial activity in the large intestine of piglets fed diets with different sources of inulin. 4th EAAP Intern. Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition. EAAP Publ, Ed. Oltjen J. W., Kebreab E., Lapierre H. 2013, 134, 379-380.
3. Causey J. L., Feirtag J. M., Gallaher D. D., Tunland B. C., Slavin J. L.: Effects of dietary inulin on serum lipids, blood glucose and the gastrointestinal environment in hypercholesterolemic men. Nutr. Res. 2000, 20, 191-201.
4. Chen W. J., Anderson J., Jennings D.: Propionate may mediate the hypocholesterolemic effects of certain soluble plant fibers in cholesterol-fed rats. Proc. Sot. Exp. Biol. Med. 1984, 175, 215-218.
5. Danielson A. D., Peo E. R., Shahani K. M., Lewis A. J., Whalen P. J.: Anticholesteremic property of Lactobacillus Acidophilus yogurt fed to mature boars. J. Anim. Sci. 1989, 67, 966-974.
6. Davidson M. H., Maki K. C.: Effects of dietary inulin on serum lipids. J. Nutr. 1999, 129, 1474-1474.
7. Delzenne N. M., Kok N. N.: Biochemical basis of oligofructose – induced hypolipidemia in animal models. J. Nutr. 1999, 129, 1467-1470.
8. Delzenne N. M., Williams C. M.: Prebiotics and lipid metabolism. Curr. Opin. Lipidol. 2002, 13, 61-67.
9. Friedewald W. T., Levy R. I., Fredrickson D. S.: Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. Clin. Chem. 1972, 18, 499-502.
10. Grela E. R., Pastuszak J., Bloch U.: Poradnik nowoczesnego żywienia świń. SRRiL „Progress”, Lublin 2009.
11. Jin L. Z., Ho Y. W., Abdullah N., Jalaludin S.: Growth performance, intestinal microbial populations and serum cholesterol of broiler on diets containing Lactobacillus culture. Poultry Sci. 1998, 77, 1259-1265.
12. Kim M., Shin H. K.: The water-soluble extract of chicory influences serum and liver lipid concentrations, cecal short-chain fatty acid concentrations and fecal lipid excretion in rats. J. Nutr. 1998, 128, 1731-1736.
13. Laere A. van, Van den Ende W.: Inulin metabolism in dicots: chicory as a model system. Plant Cell Environ. 2002, 25, 803-813.
14. Lambert J. M., Bongers R. S., de Vos W. M., Kleerebezem M.: Functional analysis of four bile salt hydrolase and penicillin acylase family members in Lactobacillus plantarum WCFS1. Appl. Environ. Microbiol. 2008, 74, 4719-4726.
15. Liang M. T., Shah N. P.: Acid and bile tolerance and cholesterol removal ability of lactobacilli strains. J. Dairy Sci. 2005, 88, 55-66.
16. Liang M. T., Shah N. P.: Effects of a Lactobacillus casei synbiotic on serum lipoprotein, intestinal microflora, and organic acids in rats. J. Dairy Sci. 2006, 89, 1390-1399.
17. Loh G., Eberhard M., Brunner R. M., Hennig U., Kuhla S., Kleessen B., Metges C. C.: Inulin alters the intestinal microbiota and short-chain fatty acid concentrations in growing pigs regardless of their basal diet. J. Nutr. 2006, 136, 1198-1202.
18. Lye H. S., Rusul G., Liang M. T.: Removal of cholesterol by Lactobacilli via incorporation of and conversion to coprostanol. J. Dairy Sci. 2010, 93, 1383-1392.
19. May T., Mackie R. I., Fahey G. C. Jr, Cremin J. C., Garleb K. A.: Effect of fiber source on short-chain fatty acid production and on the growth and toxin production by Clostridium difficile. Scand. J. Gastroenterol. 1994, 29, 916-922.

20. *Montagne L., Pluske J. R., Hampson D. J.*: A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young monogastric animals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2003, 108, 95-117.
21. *Nowak A., Klimowicz A., Bielecka-Grzela S., Piechota M.*: Inulina – cenny składnik żywieniowy. *Ann. Acad. Med. Stetin.* 2012, 58, 62-65.
22. *Paßlack N., Al-Samman M., Vahjen W., Männer K., Zentek J.*: Chain length of inulin affects its degradation and the micro biota in the gastrointestinal tract of weaned piglets after a short-term dietary application. *Livest. Sci.* 2012, 149, 128-136.
23. *Pereira D. I. A., Gibson G. R.*: Cholesterol assimilation by lactic acid bacteria and bifidobacteria isolated from the human gut. *Appl. Environ. Microbiol.* 2002, 68, 4689-4693.
24. *Peu P., Béline F., Martinez J.*: Volatile fatty acids analysis from pig slurry using high-performance liquid chromatograph. *Inter. J. Environ. Anal. Chem.* 2004, 84 13, 1017-1022.
25. *Preter V. de, Vanhoutte T., Huys G., Swings J., De Vuyst L., Rutgeerts P., Verbeke K.*: Effects of *Lactobacillus casei* Shirota, *Bifidobacterium breve*, and oligofructose – enriched inulin on colonic nitrogen metabolism in healthy humans. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 2007, 292, 358-368.
26. *Roberfroid M. B.*: Inulin-type fructans: functional food ingredients. *J. Nutr.* 2007, 137, 2493-2502.
27. *Roediger W. E. W., Moore A.*: Effect of short chain fatty acid on sodium absorption in isolated human colon perfused through the vascular bed. *Dig. Dis. Sci.* 1981, 26, 100-106.
28. *Stahl E., Schild W.*: Pharmazeutische Biologie, 4: Drogenanalyse II: Inhaltsstoffe und Isolierungen. Gustav Fischer, Stuttgart/New York 1981.
29. *Steinka I.*: Wybrane aspekty stosowania probiotyków: *Ann. Acad. Med. Gedan.* 2011, 41, 97-108.
30. *Vanhoof K., de Schrijver R.*: Effect of unprocessed and baked inulin on lipid metabolism in normo- and hypercholesterolemic rats. *Nutr. Research.* 1995, 15, 1637-1646.
31. *Walker D. K., Gilliland S. E.*: Relationships among bile tolerance, bile salt deconjugation and assimilation of cholesterol by *Lactobacillus acidophilus*. *J. Dairy Sci.* 1993, 76, 956-961.
32. *Wenk C.*: The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2001, 90, 21-33.
33. *Williams C.*: Effect of inulin on lipid parameters in humans. *J. Nutr.* 1999, 129, 1471-1473.
34. *Ziarno M., Bartosz P.*: Wiązanie cholesterolu przez bakterie jogurtowe w modelowym soku jelitowym. *Żywność Nauka Technologia Jakość* 2007, 4, 126-138.

Adres autora: mgr inż. Sandra Sobolewska, Akademicka 13, 20-950 Lublin; e-mail: ehinokokus@wp.pl