

JAROSŁAWA RUTKOWSKA, IZABELA SINKIEWICZ, AGATA ADAMSKA

## PROFIL KWASÓW TŁUSZCZOWYCH MLEKA POCHODZĄCEGO OD KRÓW ŻYWIANYCH W SYSTEMIE TMR

### Streszczenie

W pracy analizowano profil kwasów tłuszczowych (KT) mleka pochodzącego od krów żywionych w systemie TMR (*Total Mixed Ratio*) w cyklu rocznym, uwzględniając skład lipidów paszy. Pasze objętościowe (kiszonka z kukurydzy i sianokiszonka) były znaczącym źródłem PUFA, zwłaszcza pochodzące z roku 2009, a ich skarmianie rozpoczęto w okresie jesiennym. W składzie KT mleka z tego okresu stwierdzono znacznie większą zawartość: MUFA, CLA i kwasu linolowego w porównaniu z pozostałymi sezonami. Różnice te były spowodowane zmianami zawartości KT zachodzącymi podczas przechowywania pasz, np. w kieszonce z kukurydzy stwierdzono zmniejszenie zawartości kwasu  $\alpha$ -linolenowego z 14,50 do 6,43 g·100 g<sup>-1</sup> KT. Cenną zaletą profilu KT badanego mleka była znaczna zawartość prozdrowotnych KT należących do nieparzystych i rozgałęzionych (OBCFA) – 4,86 g·100 g<sup>-1</sup> KT oraz nasyconych krótko- i średniołańcuchowych (SCFA) – 15,10·100 g<sup>-1</sup> KT.

**Słowa kluczowe:** skład pasz, żywienie krów w systemie TMR, kwasy tłuszczowe mleka

### Wprowadzenie

Tłuszcz mleczny jest w diecie człowieka najłatwiej trawionym tłuszczem zwierzęcym. Stwierdzono, że w jego skład wchodzi ponad 400 kwasów tłuszczowych różniących się między sobą nie tylko strukturalnie, ale również właściwościami biologicznymi i żywieniowymi [5, 14].

Żywienie krów jest najważniejszym czynnikiem pozagenetycznym wpływającym na ilość, skład oraz jakość produkowanego mleka [23, 24]. Pasze charakteryzują się specyficznym składem, dzięki czemu hodowca poprzez odpowiednie ich zestawienie może wpłynąć na zawartość składników w mleku. Sposób żywienia wywiera największy wpływ na zawartość tłuszczu. Wg danych literaturowych [10, 17, 21, 24] zwiększenie jego zawartości jest wprost proporcjonalne do udziału pasz o dużej zawartości

---

*Dr inż. J. Rutkowska, dr inż. I. Sinkiewicz, mgr inż. A. Adamska, Katedra Technologii Gastronomicznej i Higieny Żywności, Wydz. Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa*

włókna pokarmowego. Należy zatem skarmiać więcej pasz objętościowych. Wiąże się to z hydrolizą oraz fermentacją przeprowadzaną przez mikroorganizmy w żwaczu, których enzymy rozkładają celulozę, hemicelulozy oraz inne węglowodany strukturalne, w wyniku czego powstają kwasy: octowy, propionowy oraz masłowy, spośród których kwas octowy jest głównym substratem w procesie tworzenia kwasów tłuszczowych i wzrost jego produkcji powoduje zwiększenie udziału tłuszczu w mleku [22].

We współczesnym żywieniu krów można wyróżnić następujące systemy: tradycyjny, PMR, TMR i SCF [15]. System tradycyjny charakteryzuje się oddzielnym skarmianiem pasz objętościowych i treściwych, co stwarza możliwość osobnego ich porcjowania. Bardziej nowoczesnym rozwiązaniem bazującym na stałym dostępie do pełnoporcjowej mieszanki pasz objętościowych, treściwych, witaminowych i mineralnych jest system żywienia TMR (*Total Mixed Ratio*). Zalecany jest on w hodowli krów o wysokim potencjale produkcyjnym, powyżej 8000 kg mleka rocznie. Zaletą stosowania monodiety TMR jest zapewnienie wysokiej zawartości białka w mleku, składnika determinującego wartość odżywczą oraz handlową tego surowca. Ze względów żywieniowych i technologicznych istotnym aspektem jakościowym mleka jest skład frakcji lipidowej, będący przedmiotem wcześniejszych badań [4, 15]. Ważne jest także poznanie składu KT mleka produkowanego systemie TMR w cyklu rocznym, wynikającego ze zmian zachodzących w paszach podczas przechowywania.

Celem pracy było określenie profilu kwasów tłuszczowych w mleku pochodzącym od krów żywionych w systemie TMR, w cyklu rocznym, uwzględniając skład lipidów paszy.

### **Material i metody badań**

Stado doświadczalne, pochodzące z gospodarstwa położonego w województwie wielkopolskim, liczyło 120 krów rasy holsztyńsko-fryzyjskiej (HF). Krowy żywiono w systemie TMR. Próby mleka (łącznie 26) pobierano 2 razy w miesiącu (2009/2010) z wyjątkiem prób z października i listopada, kiedy pobrano po 3 próby, ponieważ był to początek skarmiania paszami z nowej produkcji.

Skład kwasów tłuszczowych (KT) oznaczano zarówno w paszach objętościowych (w kiszonce z kukurydzy i sianokiszonce oraz w zbożowej mieszance paszowej, z różnych okresów przechowywania), jak i w mleku.

Ekstrakcję lipidów z prób pasz prowadzono metodą Folcha [12], stosując mieszaninę chloroform : metanol (2 : 1 v/v). Ekstrakcję substancji tłuszczowej z mleka prowadzono wg zmodyfikowanej metody Rose-Gottlieba [2] wg procedury: do przygotowanej próby mleka dodawano amoniak w celu rozpuszczenia białek, w tym otoczek, z których uwalniana była frakcja lipidowa ekstrahowana rozpuszczalnikami organicznymi. Próby tłuszczu poddawano transmetylacji, przeprowadzając bezpośrednią kon-

wersję do estrów metylowych (FAME), stosując stężony  $H_2SO_4$  jako katalizator (metanol : kwas siarkowy, 94 : 1 v/v).

Analizę profilu KT jako FAME wykonywano metodą chromatografii gazowej, stosując aparat HP-Agilent 6890N wyposażony w dozownik split/splitless (split 1 : 50) oraz detektor FID. Zastosowano kolumnę kapilarną Rtx 2330 (dł.: 100 m; ID: 0,25 mm) z wysokopolarną fazą stacjonarną, temp. kolumny: początkowa 120 °C, końcowa 210 °C, czas analizy 110 min. Temp. dozownika i detektora wynosiła 250 °C, przepływ gazu nośnego (helu): 0,9 ml/min. Do identyfikacji KT zastosowano wzorzec tłuszczu mlecznego CRM 164 (Community Bureau of Reference, EU, Brussels, Belgium) oraz wzorzec Supelco 37 No:47885-U (Sigma Aldrich). Przy użyciu wzorca CRM 164 wyznaczano współczynniki korekcyjne, co pozwoliło na uzyskanie wartości wyrażonych w  $g \cdot 100 g^{-1} KT$ .

Wyniki badań poddano analizie statystycznej z użyciem programu Statistica 9.0 PL (Statsoft Poland). Do wykazania istotności różnic pomiędzy wartościami średnimi prób z różnych sezonów zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) z testem Tukey'a HSD *post-hoc* dla nierównych licznosci ( $p < 0,05$ ).

## Wyniki i dyskusja

Stwierdzono, że pasze objętościowe, stanowiące podstawę monodiety stada krów, były znaczącym źródłem nienasyconych KT w tym wielonienasyconych KT (PUFA). Średnia roczna zawartość PUFA wynosiła odpowiednio: w kiszonce z kukurydzy  $49 g \cdot 100 g^{-1} KT$ , a w sianokiszonce  $37 g \cdot 100 g^{-1} KT$ . Stwierdzono również zmiany ich zawartości podczas przechowywania (tab. 1). Zmiany te dotyczyły kwasu  $\alpha$ -linolenowego – *c-9 c-12 c-15 C18:3* należącego do PUFA, w przypadku którego stwierdzono zmniejszanie jego zawartości wraz z upływem czasu przechowywania pasz. Wielkość strat kwasu  $\alpha$ -linolenowego była różna w dwóch rodzajach pasz objętościowych. W kiszonce z kukurydzy stwierdzono ponad dwukrotne zmniejszenie zawartości tego kwasu, podczas gdy w sianokiszonce wynosiło około 40 % (w ciągu 7 miesięcy przechowywania).

W próbach mleka zidentyfikowano 31 KT (tab. 2) należących do różnych grup w zależności od liczby atomów węgla i stopnia nienasycenia. Sezon jesienny istotnie różnił się ( $p < 0,05$ ) od pozostałych trzech, ponieważ wtedy następowała zmiana pasz objętościowych – wprowadzano pasze z nowej produkcji. Pomimo że synteza krótko- i średniołańcuchowych KT (SCFA) odbywa się endogennie w gruczole mlecznym, w momencie rozpoczęcia skarmiania paszami pochodzącymi z nowej produkcji stwierdzono różnice pod względem ich zawartości w porównaniu z pozostałymi okresami. W jesieni oznaczono  $13,76 g \cdot 100 g^{-1} KT$ , a w pozostałych okresach średnio  $15,50 g \cdot 100 g^{-1} KT$ . Wartości te były większe niż w pracach innych autorów [15, 26], w których oznaczono: 14 i 11 % SCFA. Krótko- i średniołańcuchowe KT są bardzo

cennymi składnikami tłuszczu mlecznego, ponieważ nie stwarzają ryzyka otyłości, wykazują działanie przeciwdrobnoustrojowe oraz wiele innych prozdrowotnych właściwości [13, 18]. Zidentyfikowano pięć KT należących do SCFA: masłowy C4:0, kapronowy C6:0, kaprylowy C8:0, kaprynowy C10:0 i laurynowy C12:0, spośród których najbardziej wartościowy jest kwas masłowy [18]. W analizowanych próbach mleka oznaczono większą zawartość tego cennego kwasu niż w pracach autorów zajmujących się badaniem składu mleka z systemu TMR żywienia krów [3, 4, 20]. Mniejszą (3-krotnie) jego zawartości (1,05 - 1,87 %) wykazali także Rego i wsp. [25] oraz Wongtangintharn i wsp. [29]. Różnice wynikały najprawdopodobniej z błędów w postępowaniu analitycznym, w którym nie przewidziano lotności tego kwasu.

Tabela 1

Średnia zawartość głównych kwasów tłuszczowych w paszach [ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{KT}$ ].  
Mean content of major fatty acids in forages [ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{FA}$ ].

Kwasy tłuszczowe Fatty acids	Kiszonka z kukurydzy / Corn silage			Sianokiszonka / Haylage		Pasza treściwa Grain concentrates
	15 XI 2009	2 II 2010	26 V 2010	15 XI 2009	26 V 2010	
C14:0	1,05 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,60 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,52 ± 0,08 <sup>b</sup>	2,40 ± 0,26	2,90 ± 0,28	0,36 ± 0,05
C16:0	13,86 ± 1,76 <sup>a</sup>	16,04 ± 2,06 <sup>b</sup>	18,10 ± 2,19 <sup>b</sup>	23,60 ± 2,98	32,35 ± 3,93	16,54 ± 2,53
C18:0	2,20 ± 0,21	2,34 ± 0,30	2,62 ± 0,39	2,50 ± 0,30	3,70 ± 0,46	2,06 ± 0,20
Σ SFA	17,11 ± 2,68 <sup>a</sup>	18,98 ± 2,65 <sup>a</sup>	21,24 ± 2,78 <sup>b</sup>	28,50 ± 3,32	38,95 ± 4,10	18,96 ± 2,90
c-9 C18:1	21,47 ± 2,85 <sup>a</sup>	22,55 ± 2,98 <sup>ab</sup>	23,62 ± 3,08 <sup>b</sup>	2,67 ± 0,32	3,32 ± 0,45	26,50 ± 3,38
c-9 c-12 C18:2	38,32 ± 4,90	38,41 ± 4,60	38,10 ± 4,78	14,13 ± 1,48	14,10 ± 1,62	42,70 ± 4,96
c-9 c-12 c-15 C18:3	14,50 ± 1,85 <sup>a</sup>	10,68 ± 1,30 <sup>b</sup>	6,43 ± 0,79 <sup>c</sup>	28,65 ± 3,60 <sup>a</sup>	17,60 ± 2,2 <sup>b</sup>	2,92 ± 0,08
Σ PUFA	52,82 ± 5,90 <sup>a</sup>	49,09 ± 5,85 <sup>b</sup>	44,53 ± 5,24 <sup>c</sup>	42,78 ± 4,95 <sup>a</sup>	31,70 ± 3,7 <sup>b</sup>	45,62 ± 5,12

Objaśnienie: / Explanatory note:

Wartości w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy  $p < 0,05$  / Values in lines and denoted with different superscripts differ statistically significantly at  $p < 0,05$ .

Próby mleka charakteryzowała zróżnicowana zawartość kwasu laurynowego C12:0, najmniejszą stwierdzono jesienią –  $3,46 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{KT}$ , a największą wiosną –  $4,30 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{KT}$ . Były to znacznie większe zawartości od oznaczonych przez innych autorów analizujących skład KT tłuszczu mleka od krów żywionych w systemie TMR: od 2,86 do  $3,60 \text{ g} / 100 \text{ g}$  tłuszczu [3, 4, 15]. Jednak cytowani autorzy nie badali zmienności sezonowej analizowanej przez Locka i Garnworthy'ego [16], którzy wykazali mniejszą zawartość kwasu C12:0 latem ( $3,3 \text{ g} / 100 \text{ g}$  tłuszczu), kiedy krowy oprócz dawki TMR również żywiono pastwiskowo.

Tabela 2

Średnia zawartość KT w mleku w zależności od sezonu produkcji [g·100 g<sup>-1</sup> KT].  
Mean content of FA in milk depending on season of production [g·100 g<sup>-1</sup> FA].

Kwasy tłuszczowe Fatty acids	Sezon produkcji / Season of production			
	Jesień / Autumn	Zima / Winter	Wiosna / Spring	Lato / Summer
	Wartość średnia ± SD / Mean value ± SD			
C4:0	3,88 ± 0,18	4,15 ± 0,14	3,98 ± 0,28	4,15 ± 0,14
C6:0	2,20 ± 0,09 <sup>a</sup>	2,45 ± 0,07 <sup>b</sup>	2,44 ± 0,12 <sup>b</sup>	2,43 ± 0,10 <sup>b</sup>
C8:0	1,30 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,49 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,52 ± 0,05 <sup>b</sup>	1,46 ± 0,08 <sup>b</sup>
C10:0	2,92 ± 0,13 <sup>a</sup>	3,44 ± 0,06 <sup>bc</sup>	3,62 ± 0,09 <sup>c</sup>	3,33 ± 0,20 <sup>b</sup>
C12:0	3,46 ± 0,16 <sup>a</sup>	4,04 ± 0,04 <sup>bc</sup>	4,30 ± 0,11 <sup>c</sup>	3,87 ± 0,23 <sup>b</sup>
Σ SCFA	13,76 ± 0,52 <sup>a</sup>	15,56 ± 0,31 <sup>b</sup>	15,85 ± 0,53 <sup>b</sup>	15,24 ± 0,68 <sup>b</sup>
C14:0	10,45 ± 0,30 <sup>a</sup>	11,31 ± 0,20 <sup>b</sup>	11,47 ± 0,32 <sup>b</sup>	10,96 ± 0,36 <sup>ab</sup>
C16:0	27,71 ± 1,75	29,84 ± 0,20	29,66 ± 0,95	29,21 ± 1,03
C18:0	7,94 ± 0,38	8,20 ± 0,08	7,52 ± 0,55	7,82 ± 0,48
C20:0	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0,02
Σ LCFA	46,23 ± 1,74 <sup>a</sup>	49,47 ± 0,44 <sup>b</sup>	48,76 ± 1,59 <sup>ab</sup>	48,12 ± 0,80 <sup>ab</sup>
C10:1	0,33 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,37 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,36 ± 0,03 <sup>b</sup>
C12:1	0,11 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,11 ± 0,00 <sup>ab</sup>	0,12 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,11 ± 0,01 <sup>ab</sup>
C15:1	0,19 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,20 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,21 ± 0,01 <sup>ab</sup>
C14:1	0,19 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,19 ± 0,01	0,20 ± 0,01
C16:1	2,13 ± 0,09 <sup>a</sup>	1,85 ± 0,05 <sup>b</sup>	1,86 ± 0,09 <sup>b</sup>	1,91 ± 0,10 <sup>b</sup>
C17:1	0,36 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,30 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,31 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,37 ± 0,02 <sup>a</sup>
Σ izomerów trans / isomers of <i>trans</i> C18:1	3,20 ± 0,74 <sup>a</sup>	1,65 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,78 ± 0,16 <sup>b</sup>	1,90 ± 0,17 <sup>b</sup>
<i>t</i> -11C18:1	1,50 ± 0,63	0,78 ± 0,07	0,81 ± 0,06	0,85 ± 0,04
<i>c</i> -9 C18:1	20,74 ± 0,91 <sup>a</sup>	19,24 ± 0,55 <sup>bc</sup>	18,28 ± 0,41 <sup>b</sup>	19,84 ± 0,76 <sup>ac</sup>
<i>c</i> -11 C18:1	1,12 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,86 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,98 ± 0,13 <sup>ab</sup>	1,06 ± 0,04 <sup>a</sup>
Σ MUFA	29,85 ± 2,00 <sup>a</sup>	25,59 ± 0,68 <sup>b</sup>	24,90 ± 0,49 <sup>b</sup>	26,81 ± 0,80 <sup>b</sup>
<i>c</i> -9 <i>c</i> -12 C18:2	2,10 ± 0,13 <sup>a</sup>	1,83 ± 0,04 <sup>b</sup>	2,06 ± 0,13 <sup>ab</sup>	1,91 ± 0,14 <sup>ab</sup>
<i>c</i> -9 <i>c</i> -12 <i>c</i> -15 C18:3	0,29 ± 0,06	0,27 ± 0,01	0,31 ± 0,03	0,36 ± 0,07
<i>c</i> -9 <i>t</i> -11 C18:2	0,65 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,44 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,42 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,47 ± 0,03 <sup>b</sup>
Σ PUFA	3,04 ± 0,22 <sup>a</sup>	2,54 ± 0,04 <sup>b</sup>	2,79 ± 0,15 <sup>ab</sup>	2,74 ± 0,23 <sup>ab</sup>
<i>izo</i> C13:0	0,12 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,13 ± 0,00 <sup>ab</sup>	0,14 ± 0,00 <sup>bc</sup>	0,13 ± 0,01 <sup>ac</sup>
<i>izo</i> C14:0	0,07 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01
<i>izo</i> C15:0	0,44 ± 0,03	0,44 ± 0,02	0,42 ± 0,01	0,45 ± 0,02
<i>izo</i> C15:1	1,40 ± 0,13	1,32 ± 0,02	1,52 ± 0,16	1,48 ± 0,06
<i>anteizo</i> C17:0	0,53 ± 0,02 <sup>ac</sup>	0,50 ± 0,02 <sup>bc</sup>	0,48 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,54 ± 0,01 <sup>a</sup>
<i>izo</i> C17:0	0,16 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,21 ± 0,01 <sup>bc</sup>	0,19 ± 0,02 <sup>ac</sup>
C13:0	0,17 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,03 <sup>bc</sup>	0,18 ± 0,01 <sup>ac</sup>
C15:0	1,40 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,26 ± 0,05 <sup>b</sup>	1,27 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,23 ± 0,07 <sup>b</sup>
C17:0	0,56 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,81 ± 0,65	0,59 ± 0,02
Σ OBCFA	4,85 ± 0,24	4,60 ± 0,06	5,15 ± 0,80	4,86 ± 0,18

Objaśnienie jak pod tab. 1. / Explanatory note as in Tab. 1.

Zawartość długołańcuchowych KT należących do SFA (LCFA), stanowiąca największy udział KT tłuszczu mlecznego, wynosiła w zależności od sezonu: od 46,23 do 49,47 g·100 g<sup>-1</sup> KT i była mniejsza od oznaczonych przez innych autorów badających mleko od krów żywionych w systemie TMR: 52 i 51 % [15, 26]. Mniejszą zawartość LCFA oznaczono w okresie jesieni, kiedy zwierzęta spożywały więcej nienasyconych KT, w szczególności PUFA pochodzących ze świeżo zakiszonych pasz. Wykazano, że wprowadzenie do systemu TMR zielonych pasz (zwiększających PUFA w diecie) zmniejszało zawartość LCFA w mleku z 45,06 do 48,11 g·100 g<sup>-1</sup> KT [4]. Ponad połowę frakcji LCFA mleka stanowił kwas palmitynowy C16:0, którego zawartość była zbliżona do oznaczonych przez innych autorów [3, 19]. Mniejszą zawartość kwasu C16:0 stwierdzano jesienią (27,71 g·100 g<sup>-1</sup> KT), kiedy zwierzęta spożywały paszę jednocześnie o mniejszej zawartości SFA, a większej PUFA. Wpływ zmniejszania zawartości kwasu C16:0 w mleku poprzez zwiększanie PUFA w paszy systemu TMR, przez udział traw (pastwisko) lub dodatek olejów roślinnych, stwierdzono w pracach innych autorów [4, 16, 25]. Biorąc pod uwagę fakt, że zwiększone spożycie kwasów C16:0 i C14:0 związane jest z powstawaniem blaszki miażdżycowej, mniejsza ich zawartość korzystnie wpływa na skład lipidów mleka.

Zawartość kwasu stearynowego C18:0 wykazującego neutralny wpływ na poziom lipidów osocza kształtowała się na poziomie od 7,52 do 8,20 g·100 g<sup>-1</sup> KT i nie podlegała istotnym zmianom sezonowym. Wartości te były zbliżone do wyników badań Baltušnikiene i wsp. [3] – 7,49 %, a mniejsza od otrzymanych przez innych autorów [15, 19]. Pasje są ubogim źródłem kwasu stearynowego, co zostało stwierdzono również w niniejszej pracy (tab. 1). Kwas C18:0 jest końcowym produktem biouwodrodnienia u przeżuwaczy, jego zawartość zależy więc od wielkości spożycia PUFA – substratów niezbędnych w tym procesie [9]. Z tego powodu w wielu pracach stwierdzano korzystny wpływ żywienia pastwiskowego [4, 28] oraz suplementacji żywienia pastwiskowego olejami roślinnymi [25] na zwiększenie jego zawartości w mleku. Wykazano również, że zmniejszenie ilości włókna pokarmowego w diecie TMR wpływało na zmniejszenie zawartości kwasu C18:0 z 10,33 do 7,82 % [1].

Jesienne próby mleka wyróżniała ponadto istotnie większa zawartość MUFA – 29,43 g·100 g<sup>-1</sup> KT, w porównaniu z najmniejszą zawartość oznaczoną wiosną 24,40 g·100 g<sup>-1</sup>KT. Podobne sezonowe różnice zawartości MUFA w mleku z systemu TMR wykazali również Lock i Garnsworthy [16]. Ilościowo najistotniejszym był kwas oleinowy *c*-9 C18:1 stanowiący prawie 80 % MUFA. Stwierdzono, że w momencie rozpoczęcia skarmiania zwierząt świeżymi kiszonkami (jesień), kiedy zawartość nienasyconych KT była większa, w mleku oznaczono większe zawartości kwasu oleinowego 20,80 g·100 g<sup>-1</sup>KT w porównaniu z pozostałymi okresami (tab. 2). Podobnie wyniki uzyskali inni autorzy [20, 25]. Zgodnie z oczekiwaniami w jesiennych próbach mleka oznaczono również większą zawartość kwasów C18:1 o konfiguracji *trans*:



3,25 g·100 g<sup>-1</sup> KT w porównaniu z pozostałymi okresami średnio 1,85 g·100 g<sup>-1</sup> KT. Jednak porównując z wynikami innych badań nie były to znaczące zawartości z powodu braku żywienia pastwiskowego, którego ważny udział w systemie TMR podkreślali Lock i Garnsworthy [16], oznaczając 3 - 4 g/100 g KT *trans* 18:1. Inni autorzy wykazali też korzystną rolę pasz o większej zawartości włókna pokarmowego zwiększającego zawartość izomerów *trans* do poziomu 3,37 % [1].

Wśród izomerów *trans* występujących w mleku na szczególną uwagę zasługuje izomer *t*-11 C18:1 ze względu na miejsce syntezy nazwany kwasem wakcenyowym (VA). Wśród korzystnych efektów działania VA należy wymienić: działanie przeciwmiażdżycowe poprzez obniżanie poziomu TAG i frakcji cholesterolu LDL, przeciwnowotworowe oraz korzystny wpływ na system immunologiczny [7, 11, 18]. W badanych próbach mleka zawartość VA nie była duża: średnio 1,08 g·100 g<sup>-1</sup> KT (tab. 2). Przyczynę mniejszej zawartości VA wyjaśnia wiele prac [4, 20], w których zaleca się, oprócz diety TMR, żywienie pastwiskowe zapewniające bogate źródło PUFA niezbędne do syntezy VA w żwaczu [9, 28].

Z kwasów PUFA w mleku oznaczono linolowy i  $\alpha$ -linolenowy należące do NNKT i będące podstawowymi substratami w procesie biouwodorowania [9]. Zawartość kwasu linolowego, należącego do rodziny omega-6, była dość stabilna w ciągu roku i wynosiła od 1,83 do 2,11 g·100 g<sup>-1</sup> KT i była zbliżona do wyników innych badań dotyczących składu mleka z systemu żywienia TMR [15, 28]. Można zauważyć, że system żywienia TMR zapewnia wysoki poziom kwasu linolowego.

Zawartość kwasu  $\alpha$ -linolenowego była stosunkowo mała (średnio 0,32 g·100 g<sup>-1</sup> KT), co jest typowym zjawiskiem dla tego systemu żywienia, stwierdzonym we wcześniejszych pracach [15, 28]. Konserwowane pasze, na których bazowała monodieta TMR nie zapewniają znaczących zawartości kwasu  $\alpha$ -linolenowego, co zostało zauważone podczas analiz KT pasz (tab. 1).

Sprężone dieny kwasu linolowego należą do najcenniejszych, pod względem prozdrowotnym, składników tłuszczu mlecznego. Dotychczas zidentyfikowano około 20 izomerów tego kwasu przy czym izomer *c*-9 *t*-11 C18:2 (CLA) jest ilościowo najistotniejszym, stanowiącym około 80 % całej puli sprężonych dienów w tłuszczu mlecznym [9]. W wielu badaniach wykazano unikalne właściwości CLA, wśród których można wymienić m.in.: działanie przeciwnowotworowe, przeciwmiażdżycowe, wspomagające odchudzanie, antybakteryjne, a także wzmacniające układ odpornościowy [6, 8, 9]. W próbach mleka największą zawartość CLA oznaczono jesienią – 0,65 g·100 g<sup>-1</sup> KT, natomiast mniejsze w pozostałych porach roku – średnio 0,45 g·100 g<sup>-1</sup> KT. Wartości te były podobne i typowe dla mleka pochodzącego od krów żywionych w systemie TMR [4, 20].

Ze względu na udowodnione działanie przeciwnowotworowe ważna jest grupa KT zawierających nieparzystą liczbę atomów węgla i łańcuchy rozgałęzione

(OBCFA). Kwasy te pochodzą od bakterii bytujących w żwaczu. Tłuszcz mleczny uważany jest za ich najlepsze źródło w diecie [28]. Sumaryczna zawartość OBCFA w badanym mleku nie podlegała zmienności sezonowej i średniorocznie wynosiła  $4,86 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ KT}$  (tab. 2). Porównując z danymi literaturowymi [27], była to znacząca zawartość, stanowiąca o wartości badanego mleka. W analizowanych próbach na uwagę zasługuje również duży udział kwasów *izo* w szczególności *izo* C15:0 charakteryzujących się dużą cytotoksycznością *in vitro* oraz *in vivo* w odniesieniu do komórek nowotworowych piersi [29].

### Wnioski

1. Pasze objętościowe były znaczącym źródłem PUFA, zwłaszcza pochodzące z produkcji w 2009 r., a ich skarmianie rozpoczęto w okresie jesiennym. W składzie KT mleka z tego okresu stwierdzono znacznie większą zawartość nienasyconych KT (MUFA, CLA i kwas linolowy) w porównaniu z pozostałymi sezonami.
2. Ceną zaletą profilu kwasów tłuszczowych badanego mleka z technologii TMR była znaczna zawartość prozdrowotnych kwasów należących do OBCFA i SCFA.

### Literatura

- [1] AlZahal O., Or-Rashid M.M., Greenwood S.L., Douglaas M.S., McBride B.W.: The effect of dietary fiber level on milk fat concentration and fatty acid profile of cows fed diets containing low levels of polyunsaturated fatty acids. *J. Dairy Sci.*, 2009, **92**, 1108-1116.
- [2] AOAC: Official Methods of Analysis. International Method IDF-ISO-AOAC Nr 905.02. Gravimetric method (Röse-Gottlieb), 2000.
- [3] Baltušnikienė A., Bartkevičiūtė Z., Černauskienė J.: Fatty acids and composition of milk fat from cows consuming pasture and total mixed ration. *Veterinarija i Zootechnika*, 2008, **42 (64)**, 28-33.
- [4] Bargo F., Delahoy J. E., Schroeder G.F., Baumgard L.H., Muller L.D.: Supplementing TMR with pasture increase the content of CLA in milk. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2006, **131**, 226-240.
- [5] Barłowska J., Litwińczuk Z.: Właściwości odżywcze i prozdrowotne tłuszczu mlecznego. *Med. Wet.*, 2009, **65 (3)**, 171-174.
- [6] Bassaganya-Riera, J., Hontecillas, R., Beitz, D.C.: Colonic anti-inflammatory mechanisms of conjugated linoleic acid. *Clin. Nutr.*, 2002, **21**, 451-459.
- [7] Basset Ch.M.C., Edel A.L., Patenaude A.F., McCullough R.S., Blackwood D.P., Chouinard D.P.: Dietary vaccenic acid has antiatherogenic effects in LDLr2/2 mice 1-3. *J. Nutr.* 2010, **1**, 18-24.
- [8] Bhattacharya A., Banu J., Rahman M., Causey J., Fernandes G.: Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. *J. Nutr. Biochem.*, 2006, **17**, 789-810.
- [9] Collomb M., Schmid A., Sieber R., Wechsler D., Ryhänen E.L.: Conjugated linoleic acids in milk fat: variation and physiological effects. *Int. Dairy J.*, 2006, **16**, 1347-1361.
- [10] Danków R., Osten-Sacken J.: Wpływ żywienia na skład i właściwości mleka. *Chów Bydła*, 1995, **5**, 10-11.
- [11] Field C.J., Blewett H.H., Proctor S., Vine D.: Human health benefits of vaccenic acid. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2009, **34**, 979-991.
- [12] Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H.: A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 1957, **226**, 497-509.



- [13] Hanczakowski P.: Fizjologiczne działanie kwasów tłuszczowych. *Rocz. Zoot.*, 2003, **3-4**, 3-5.
- [14] Jensen R.G.: The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. *J. Dairy Sci.* 2002, **85**, 295-350.
- [15] Kraszewski J., Mandecka B., Wawrzyńczak S.: Comparison of feeding efficiency of high-yielding cows in TMR and PMR systems. *Annals Anim. Sci.*, 2005, **2 (5)**, 335-344.
- [16] Lock A.L., Garnsworthy P.C.: Seasonal variation in milk conjugated linoleic acid and  $\Delta^9$  desaturase activity in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 2003, **79**, 47-59.
- [17] Litwińczuk Z., Litwińczuk A.: Możliwości modyfikacji składu chemicznego mleka w aspekcie wymagań konsumentów i potrzeb przemysłu mleczarskiego. *Zesz. Nauk. Przegł. Hod.*, 2001, **59**, 39-48.
- [18] Mills S., Ross R.P., Hill C., Fitzgerald G.F., Stanton C.: Milk intelligence: Mining milk for bioactive substances associated with human health. *Int. Dairy J.*, 2011, **21**, 377-401.
- [19] Moate P.J., Chalupa W., Boston R.C., Lean I.J.: Milk fatty acids. I. Variation in the concentration of individual fatty acids in bovine milk. *J. Dairy Sci.*, 2007, **90**, 4730-4739.
- [20] Nałęcz-Tarwacka T., Grodzki H., Kuczyńska B., Zdziarski K.: Wpływ dawki pokarmowej na zawartość składników frakcji tłuszczowej mleka krów. *Med. Wet.*, 2009, **65 (7)**, 487-491.
- [21] Pasierbski Z.: Żywnienie a skład chemiczny mleka. *Chów Bydła*, 1999, **7 (6)**, 15-16.
- [22] Pisulewski P.M.: Żywieniowe metody modyfikowania składu kwasów tłuszczowych żywności pochodzenia zwierzęcego. *Przem. Spoż.*, 2000, **2**, 59-71.
- [23] Potkański A.: Żywnienie krów mlecznych. W: *Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo - podstawy szczegółowego żywienia zwierząt*. Red. D. Jamroz i A. Potkański. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2001, s. 17.
- [24] Puchajda Z., Sztejn J.: Czynniki wpływające na wydajność, skład i jakość mleka. W: *Mleczarstwo*. Red. S. Ziajka Wyd. UWM, Olsztyn, 2008, s. 10.
- [25] Rego O.A., Slves S.P., Antunes L.M.S., Rosa H. J.D, Alfaia C.F.M., Prates J.A.M., Cabrita A.R.J., Fonseca A.J.M., Bessa R.J.B: Rumen biohydrogenation – derived fatty acids in milk fat from grazing dairy cows supplemented with rapeseed, sunflower, or linseed oils. *J. Dairy Sci.*, 2009, **92**, 4530-4540.
- [26] Sæbø A., Sæbø P.C., Mikko Griinari J., Shingfield K.J.: Effect of abomasal infusions of geometric isomers of 10, 12 CLA on milk fat synthesis in dairy cows. *Lipids*, 2005, **8 (40)**, 823-832.
- [27] Vlaeminck B., Fievez V., Cabrita A.R.J., Fonesca A.J.M., Dewhurst R.J.: Factors affecting odd- and branched- chain fatty acids in milk: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2006, **131**, 389-417.
- [28] White S.L., Bertrand J.A., Wade M.R., Washburn S.P., Green J.T.Jr., Jenkins T.C.: Comparison of fatty acid content of milk from Jersey and Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.*, 2001, **84**, 2295-2301.
- [29] Wongtangtharn S., Oku H., Iwasaki H., Toda T. Effect of branched chain fatty acids on fatty acid biosynthesis of human breast cancer cells. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 2004, **50**, 137-143.

#### PROFILE OF FATTY ACIDS IN MILK FROM COWS FED ON TOTAL MIXED RATION SYSTEM

##### Summary

In the paper, the profile of fatty acids (FA) was analyzed in milk from cows fed on a TMR system (Total Mixed Ration) during a one year cycle, with regard to the composition of lipids in the forages. Roughages (corn silage and haylage), especially those from the 2009 crops, were a significant source of polyunsaturated FA (PUFA), and the forage-based cow feeding started in autumn. It was found that, compared to other seasons, the fat in milk produced during this particular period contained significantly more

monounsaturated FA (MUFA), conjugated linoleic acid (CLA), and linoleic acid. The differences were caused by changes in the content of FA occurring whilst storing forage; for example, it was reported that the content of  $\alpha$ -linoleic acid in corn silage decreased from 14.50 to 6.43 g·100 g<sup>-1</sup>FA. A valuable advantage of the profile of FA in the milk analyzed was the essentially high amount of health-promoting FA belonging to the odd- and branched-chain FAcids (OBCFA): 4.86 g·100 g<sup>-1</sup>FA, as well as to the short- and medium-chained FAcids (SCFA): 15.10·100 g<sup>-1</sup>FA.

**Key words:** composition of forages, TMR system – based cow feeding, fatty acids in milk 