

Wykorzystanie alg morskich w modyfikacji profilu kwasów tłuszczowych mleka krów*)

ROBERT KUPCZYŃSKI, WITOLD JANECEK, STEFANIA KINAL*, MARIAN KUCZAJ**

Zakład Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt, *Katedra Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa,
**Zakład Hodowli Bydła i Produkcji Mleka Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt UP,
ul. Chelmońskiego 38 C, 51-630 Wrocław

Kupczyński R., Janeczek W., Kinal S., Kuczaj M.

Possibility of modifying the fatty acid profile of cow's milk: marine algae application

Summary

Marine algae contain polyunsaturated fatty acids (PUFA), including docosahexaenoic acid (DHA). It was observed that microalgae inhibited the development of protozoa and/or bacteria in the rumen, lowered the total VFA content and the ratio of non-glucogenic volatile acids to glucogenic ones. In research conducted *in vitro*, microalgae of *Schizochytrium* sp. inhibited the biohydrogenation of linolenic and linoleic acids, leading to an increase in trans-C 18:1 isomers and DHA. The introduction of microalgae into cows' diet led to a significant increase in the content of cis-9, trans-11 CLA isomers, EPA and DHA in milk fat. The concentration of CLA in milk fat increased more rapidly than that of DHA. The coefficient of DHA transfer to milk ranged from 5.5% (unprotected algae) to 8.4% (protected ones). Microalgae may be used as an alternative to fish oil in dairy cows' diets, modifying biohydrogenation processes in the rumen, increasing the content of cis-9, trans-11 CLA in milk, and decreasing the ratio of n-6 to n-3 acids in milk fat.

Keywords: cows, marine algae, conjugated linoleic acid, fatty acids n-3

Badania dotyczące modyfikacji profilu kwasów tłuszczowych tłuszczu mleka krów w kierunku prozdrowotnym dla człowieka od wielu lat stanowią przedmiot badań w wielu ośrodkach naukowych na całym świecie. Ukierunkowane są głównie na określenie ścieżek biouwodrogowania wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) i syntezy izomerów kwasów tłuszczowych (7, 8, 27, 30, 37), wpływu temperatury w badaniach *in vitro* na biouwodrogowanie C18:2 (32). Dotyczyły także możliwości zwiększenia transferu izomeru cis-9, trans-11 CLA, kwasów n-3 eikozapentaenowego C20:5 n-3 (EPA) i dokozaheksaenowego C22:6 n-3 (DHA) do tłuszczu mleka poprzez suplementację olejów roślinnych (3, 5, 31) oraz oleju rybnego (20, 33, 34, 38). Opracowano również koncentraty kwasów tłuszczowych n-3, które mogą modyfikować profil kwasów tłuszczowych tłuszczu mleka przeżuwaczy (29, 32).

Oznaczonych zostało wprowadzić około 28 izomerów kwasu linolowego (oktadekadienowego C18:2 n-6), jednak największe zainteresowanie dotyczy skoniugowanych dienów kwasu linolowego cis-9, trans-11 CLA. Wynika to z jego potencjalnie prozdrowotnych właściwości. W badaniach *in vivo* i *in vitro* wykazano, że

izomery te wpływają na: hamowanie rozwoju komórek nowotworowych (cis-9, trans-11 CLA), opóźniają rozwój arteriosklerozy i cukrzycy typu II, redukują tkankę tłuszczową (trans-10, cis-12 CLA), działają immunomodulująco, bakteriostatyczne i antyutleniająco (11, 15, 21, 24).

Działanie antykancerogenne izomeru cis-9, trans-11 CLA zostało potwierdzone w badaniach laboratoryjnych na zwierzętach modelowych (15, 21). Spektakularne wyniki uzyskano w badaniach *in vitro*, stwierdzając bardzo wysoką aktywność antyproliferacyjną w kierunku linii komórkowej ludzkiej białaczki promielocytarnej HL-60 oraz linii komórkowej raka jamy ustnej KB (24). Badania kliniczne wykonane u ludzi nie potwierdziły jednak jednoznacznie tych spostrzeżeń. Analogicznie jak w badaniach na zwierzętach laboratoryjnych (21), dawka CLA wywołująca antykancerogeny wpływ powinna być wyższa niż 2,8 g/dzień dla człowieka o masie 70 kg. W rzeczywistości dzienne spożycie CLA wynosi w niektórych krajach zaledwie 94,9 mg (17). Podobny problem stanowi również niskie spożycie kwasów tłuszczowych z rodziny n-3 (EPA, DHA).

W organizmie człowieka kwasy tłuszczowe n-3 wchodziły w skład fosfolipidów błon komórkowych, a szczególnie wysoki ich poziom występuje w tkance

*) Praca wykonana w ramach projektu badawczego Nr N N311 342637 finansowanego przez MNiSW.

Tab. 1. Skład chemiczny wybranych alg morskich (%)

Rodzaj alg morskich	Sucha masa	Białko ogólne	Tłuszcz	Włókno surowe	NDF	ADF
<i>Spirulina spp.</i> *	91,96	7,36	0,03	3,40	21,90	8,86
Makroalgi**	12,47	6,57	0,05	0,12	0,18	8,86
DHA Gold***	99,91	12,17	21,06	0,93	4,65	1,38
<i>Cryptocodinium Cohnie</i> ****	92,20	19,40	57,70	x	x	x
<i>Cryptocodinium Cohnie</i> *****	90,30	26,20	4,50	x	18,20	6,90

Objaśnienia: * – algi suche (badania własne); ** – makroalgi bałtyckie (badania własne); *** – DHA Gold (Novus Polska), badania własne; **** – preparat z mikroalg *TV-20 C. cohnii* (18); ***** – preparat z mikroalg (28); x – brak danych

centralnego układu nerwowego. Kwasy te są także prekursorami wewnątrzustrojowej syntezy eikozanoidów (substancji hormonopodobnych). EPA i DHA wpływają na hamowanie rozwoju schorzeń układu krążenia, zakrzepów naczyniowych, niektórych postaci nowotworów, reakcji zapalnych i alergicznych oraz na obniżenie poziomu triglicerydów i wzrost poziomu cholesterolu HDL we krwi (6, 23). DHA odgrywa także ważną rolę w funkcjonowaniu układu nerwowego.

Badania ostatnich lat wskazują, że największy wpływ na zawartość CLA i kwasów n-3 w tłuszczu mleka krów ma żywienie, zwłaszcza stosowanie dodatków tłuszczowych. Wciąż jednak poszukuje się nowych możliwości modyfikacji profilu kwasów tłuszczowych mleka. Algi morskie są alternatywnym źródłem wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w porównaniu do np. oleju rybnego (10). Zawierają znaczne ilości DHA, 5,24-5,52%, a także węglowodany, białko, szereg mikro- i makroelementów, β -karoten, wit. C, B12 (19, 28). Algi *Spirulina spp.* zawierają 8,73% cukrów. Na bazie alg morskich produkowane są także preparaty komercyjne, które poddawane są ochronie lub wzbogacaniu w tłuszcz. Skład chemiczny mikro- i makroalg oraz preparatów na bazie mikroalg zestawiono w tab. 1. Jak wynika z przytoczonych danych, w preparatach handlowych zawartość tłuszczu może być wysoka, co wzbogaci dawkę pokarmową w energię. Poszczególne gatunki alg różnią się także udziałem frakcji włókna.

Biomasa alg może być pozyskiwana albo na drodze hodowli (mikroalgi), albo poprzez odławianie z wód powierzchniowych (głównie makroalgi). W Atlantyku dominuje brunatna makroalga *Ascophyllum nodosum*. Mikroalgi pozyskuje się

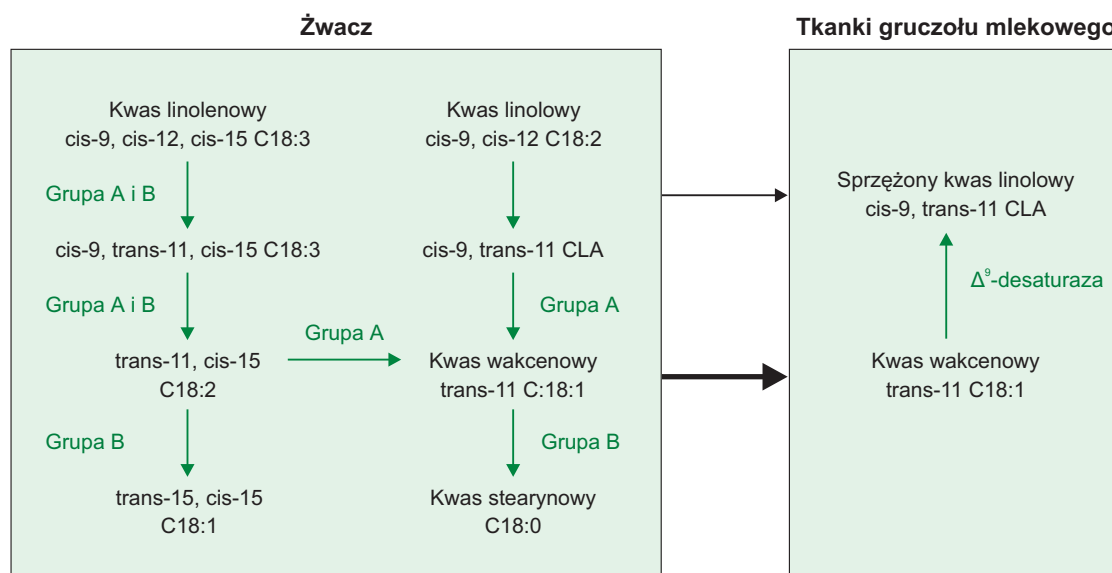
głównie poprzez hodowlę w systemach otwartych (rowy cyrkulacyjne) lub zamkniętych – fotobioreaktory (35). Najważniejsze parametry procesowe to: nasłonecznienie, głębokość hodowli, temperatura i skład pożywki. W specjalnych fotobioreaktorach mikroalgi mogą podwoić swoją biomasa w ciągu 24 godzin. Wydajność produkcyjna oleju z mikroalg (przeliczając na ha produkcji pierwotnej roślin) przy zastosowaniu odpowiedniej technologii może przewyższać wydajność roślin oleistych (14).

W badaniach na krowach stosowano m.in. mikroalgi *Schizochytrium spp.* (9, 19) oraz *Cryptocodinium cohnii* (28). Zainteresowania badaczy skupiają się na ich wpływie na procesy fermentacyjne w żwacu, metanogenezę, biouwodorowanie PUFA, jak również możliwości ukierunkowanej zmiany zawartości kwasów tłuszczowych w tłuszczu mleka (2).

Algi morskie a procesy fermentacyjne w żwacu

W tłuszczu mleka krów zasadniczym źródłem izomeru cis-9, trans-11 CLA jest endogenna synteza z kwasu wakcenowego trans-11 C18:1 (TVA), pochodzącego z treści żwacza pod wpływem enzymu Δ^9 -desaturazy (stearoyl-CoA desaturase). Około 80% (64-78%) izomeru cis-9, trans-11 CLA obecnego w tłuszczu mleka jest syntezowane w gruczole mlekowym z TVA przez Δ^9 -desaturazę (5, 7, 22). Uwodorowanie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych prowadzą bakterie z grupy A (głównie *Butyrivibrio fibrisolvens*) i grupy B. Ścieżkę biouwodorowania kwasu linolowego i linolenowego przedstawiono na ryc. 1.

Niepełne biouwodorowanie kwasów linolowego i linolenowego wynika m.in. ze wzrostu podaży wielo-



Ryc. 1. Ścieżki biouwodorowania i endogenna synteza cis-9, trans-11 CLA u krów (wg 7, 13)

nienasyconych kwasów tłuszczowych w dawkach pokarmowych krów. Wśród dodatków tłuszczowych bogatych w PUFA stosowano oleje roślinne, olej rybny lub oleje roślinne w połączeniu z olejem rybnym (1, 4, 5, 16, 34, 39). Badania *in vitro* wykazywały, że wysoka zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (EPA, DHA) w diecie krów miała hamujący wpływ na biouwodorowanie kwasów tłuszczowych i prowadziła do wzrostu ilości produktów pośrednich, w tym trans-11 C18:1 (1, 8). Wraz ze wzrostem zawartości trans-11 C18:1 w treści żwacza zwiększa się endogenna synteza CLA w gruczole mlekowym (27, 33). Zastosowanie w żywieniu krów oleju rybnego czy słonecznikowego okazało się efektywną strategią zwiększania syntezy CLA w gruczole mlekowym, zmniejszając jednocześnie zawartość tłuszczu w mleku (16, 26). Wzrost podaży PUFA uzyskano także podając krowom algi morskie (9, 19).

Zarówno olej rybny, jak i algi morskie bogate są w kwasy tłuszczowe z rodziny n-3 (19, 28). Preparaty komercyjne (np. DHA-Gold) mogą zawierać nawet 19% DHA (8). Mikroalgi (np. *Spirulina platensis*) zawierają pewne ilości kwasu γ -linolenowego, którego zawartość można zwiększyć przez kompleksowanie z mocznikiem, nawet powyżej 96% (32).

W doświadczeniach *in vitro* stwierdzono, że DHA jest silnym inhibitorem biouwodorowania trans-11, cis-15 C18:2, hamuje hydrogenację trans-11 C18:1 do C18:0 (kwasu stearynowego), przy jednoczesnym wzroście zawartości trans-11 C18:1 w treści żwacza. Hydrogenacja ta zachodziła jedynie w inkubacji bez dodatku DHA pochodzącego z alg (36). Dodatek DHA hamuje wzrost oraz aktywność izomerazy wydzielanej przez *Butyrivibrio fibrisolvens* i *Clostridium proteoclasticum* (37, 38). W badaniach *in vitro* DHA powodowało obniżenie zawartości lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), prowadząc do spadku zawartości kwasu octowego i masłowego, przy jednoczesnym wzroście kwasu propionowego (36). W innych badaniach obniżenie produkcji kwasów krótkołańcuchowych wyniosło nawet 30% (18). Wyraźne zmiany obserwowano wówczas, gdy nie podawano wcześniej do paszy krów alg morskich (tab. 2).

Algi morskie *Cryptocodinium cohnii* (makroalgi) dodane do paszy krów hamowały w treści żwacza redukcję izomerów trans-18:1 do 18:0, powodując jednocześnie istotny ($p < 0,001$) wzrost izomerów trans-18:1 (28). Zawartość trans-C18:1 wzrosła i wyniosła aż do 43% ogólnej zawartości kwasów tłuszczowych. Zwiększenie zawartości trans-11 C18:1 wykazano u krów otrzymujących niską (1,1 kg/dzień) i średnią (2,1 kg/dzień) ilość alg. Stosowanie w dawce pokarmowej 4,2 kg/dzień zawartości alg powodowało najwyższy (2-krotny) wzrost cis-9, trans-11 CLA. Wraz ze wzrostem ilości alg wykazano jednocześnie linio-

Tab. 2. Wpływ dodatku DHA na zawartość lotnych kwasów tłuszczowych (mmol/l) w warunkach inkubacji treści żwacza po 24 h (36)

Lotne kwasy tłuszczowe	Brak okresu adaptacji do alg		Po okresie stosowania alg (21 dni)	
	-DHA	+DHA	-DHA	+DHA
Ogółem	103,9	87,6	78,4	74,0
Kwas octowy	656	489	626	504
Propionowy	215	419	247	400
Masłowy	105,3	63,1	95,7	61,1
Walerianowy	13,7	16,6	18,8	22,3

wy wzrost trans-10, cis-12 CLA (28). Zastosowana suplementacja alg również spowodowała istotny wzrost ($p < 0,002$) zawartości DHA w treści żwacza, z 0,3% do 1,4%.

Podobny wpływ na zawartość krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych miało podawanie krowom mikroalg *Schizochytrium sp.* w ilości 43 g/kg pobranej suchej masy dawki (9). Obserwowano wyraźny spadek zawartości krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych. Ponadto algi powodowały wzrost pH treści żwacza, większy niż u krów otrzymujących dietę glukogeniczną z udziałem buforów (9).

Zastosowanie *Schizochytrium sp.* w ilości 2% suchej masy dawki pokarmowej obniżało koncentrację nasyconych kwasów tłuszczowych, przy jednoczesnym wzroście jedno- i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w treści żwacza (8). Stwierdzono niepełne biouwodorowanie kwasu linolowego (C18:2 n-6) i linolenowego (C18:3 n-3), co skutkowało wyraźną akumulacją trans-11 C18:1, trans-10 C18:1 oraz trans-11, cis-15 C18:2 (8). Zawarty w mikroalgach kwas DHA jest silnym inhibitorem rozwoju bakterii, modyfikując jednocześnie populację mikroorganizmów żwaczowych. Stwierdzono po ich zastosowaniu zmniejszenie w płynie żwaczowym ilości pierwotniaków *Isotricha prostoma*, *I. intestinalis*, a także takich gatunków, jak: *Epidinium caudatum*, *Eudiplodinium maggii* i *Diplodinium dentatum* (8). Niepełne bioudorowanie kwasów tłuszczowych, a także wzrost produktów pośrednich mógł wynikać z obniżenia ilości pierwotniaków i/lub powiązanych z nimi bakterii.

Zainteresowanie budzą także badania zmierzające do ograniczenia emisji metanu (CH_4) od przeżuwaczy, co podyktowane jest ochroną warstwy ozonowej atmosfery, którą niszczy ten gaz. W badaniach *in vitro* zastosowanie alg *C. cohnii* (powyżej 41,6 mg) hamowało produkcję LKT przy jednoczesnym zmniejszeniu o 30% produkcji amoniaku (18). Wyższe dawki alg zmniejszały istotnie ($p < 0,001$) produkcję amoniaku o maksymalnie 80%.

Algi morskie a zawartość CLA i kwasów n-3 w tłuszczu mleka krów

Stosowane w żywieniu krów mikroalgi podobnie jak olej rybny powodowały wyraźne zmiany profilu kwasów tłuszczowych tłuszczu mleka (2). Stwierdzono

w szeregu badań wyraźny wzrost zawartości TVA i CLA w mleku po zastosowaniu oleju rybnego (3, 5, 16, 20). Castañeda-Gutiérrez i wsp. (12) wskazują, że wysokie dawki oleju rybnego w postaci mydeł wapniowych nie powodowały tak dużego wzrostu CLA w tłuszczu mleka (1,04 g/100 g kwasów tłuszczowych) jak infuzja dożwaczowa (6,05 g/100 g kwasów tłuszczowych).

Suplementacja do dawek pokarmowych alg lub oleju rybnego wraz z algami prowadziła również do zwiększenia zawartości CLA w tłuszczu mleka (tab. 3). Zastosowanie alg w większym stopniu powodowało obniżenie zawartości C18:0 w porównaniu do oleju rybnego (2). Wynikało to z redukcji biouwodorowania kwasu wakcenowego do C18:0, jako efekt oddziaływania DHA alg morskich na mikroflorę żwacza. W badaniach tych stwierdzono wyższy poziom CLA i TVA oraz niższy DHA w tłuszczu mleka niż w badaniach Boeckert i wsp. (9).

Franklin i wsp. (19) dokonali porównania wpływu alg *Schizochytrium sp.* podanych krowom w postaci niechronionej i chronionej. W badaniach tych wprowadzono dziennie do dawki pokarmowej wraz z algami, odpowiednio, 2,52 i 9,54 g DHA. Zawartość CLA w tłuszczu mleka krów kontrolnych wyniosła 0,37 g/100 g kwasów tłuszczowych, a po 6 tygodniach stosowania alg aż 2,31 (algi chronione) i 2,62 g/100 g kwasów tłuszczowych (algi niechronione). Stwierdzono również wzrost zawartości w tłuszczu mleku DHA, do 0,76 g/100 g (algi chronione), podczas gdy zawartość DHA w mleku krów kontrolnych była poniżej progu detekcji. Obie formy alg nie miały wpływu na wydajność mleka, a jego smak był do zaakceptowania przez konsumenta.

Podanie krowom 9,35 g alg/kg suchej masy nie miało wpływu na pobranie suchej masy dawki pokarmowej, natomiast dodatek alg w ilości 43 g/kg wyraźnie ograniczyło pobranie suchej masy (o około 10%) oraz wydajność mleka, powodując spadek zawartości tłuszczu (9). Przy dawce mikroalg *Schizochytrium sp.* w ilości 10 g/kg suchej masy dawki pokarmowej istotnie ($p < 0,05$) uległa obniżeniu zawartość tłuszczu w mleku i korzystnie kształtował się profil kwasów tłuszczowych (wzrost CLA i DHA). Ogólna zawartość izomerów z rodziny n-3 w tłuszczu mleka wzrosła ok. 3-krotnie (9). Wzrost zawartości w mleku CLA był szybszy niż DHA (tab. 4).

Podobne tempo zmian zawartości CLA w mleku zachodzi, gdy do dawki pokarmowej krów wprowadzony zostanie olej rybny. Po 5 dniach odnotowano wzrost izomeru cis-9, trans-11 CLA do 5,37%, a 15. dnia nastąpiło jego obniżenie. Jednak był to poziom nadal wysoki, wynoszący 2,35% (34). Mikroalgi (*Schizochytrium sp.*) mogą powodować wzrost pH treści żwacza i obniżenie zawartości kwasów krótkołańcuchowych (9). Wyraźnemu zwiększeniu ulega natomiast zawartość DHA w treści żwacza z 0,3% do 1,4% (28).

Tab. 3. Wpływ żywienia na zawartość wybranych kwasów tłuszczowych w mleku krów, g/100 g kwasów tłuszczowych (2)

Kwasy tłuszczowe	Grupa				
	FO	2/3 FO	1/3 FO	ALG	SEM
C18:1 t11	11,80	12,83	13,87	13,53	0,779
CLA c9t11	3,41	3,69	4,47	4,21	0,08
C20:5 n-3 (EPA)	0,04	0,03	0,04	0,04	0,58
C22:6 n-3 (DHA)	0,03	0,04	0,06	0,05	0,18

Objaśnienia: FO – 150 g oleju rybnego na dzień; 2/3 FO – 100 g oleju rybnego i 50 g alg dziennie; 1/3 FO – 50 g oleju rybnego i 100 g alg dziennie; ALG – 150 g alg/dzień

Tab. 4. Wpływ alg *Schizochytrium sp.* na zmianę wybranych kwasów tłuszczowych w tłuszczu mleka, g/100 g kwasów tłuszczowych (9)

Kwasy tłuszczowe	Czas (dni)			
	-1	6	13	20
C18:1 t11	0,46 ^b	5,32 ^a	4,10 ^a	4,50 ^a
CLA c9t11	0,29 ^c	2,31 ^a	1,60 ^b	2,03 ^{ab}
C22:6 n-3	0,01 ^c	0,14 ^b	0,21 ^{ab}	0,28 ^a
Nasycone	73,1 ^a	67,5 ^{ab}	64,5 ^{bc}	61,1 ^c
Jednonienasycone	22,4 ^c	23,8 ^{bc}	26,7 ^{ab}	29,0 ^a
Wielonienasycone	1,85 ^b	4,35 ^a	3,73 ^a	4,00 ^a
Kwasy tłuszczowe n-3	0,32 ^c	0,42 ^{bc}	0,51 ^{ab}	0,59 ^a

Objaśnienia: a, b, c – istotność różnic, $p < 0,05$

Transfer EPA i DHA z dawki pokarmowej krów do mleka jest niewielki (3, 20). Mleko krów otrzymujących olej rybny charakteryzuje się jednak wyższą koncentracją kwasów tłuszczowych n-3 (16). Ochrona przed biouwodorowaniem w żwaczu olejów bogatych w kwasy EPA i DHA nie przyniosła spektakularnych rezultatów. Stosując wysokie dawki soli wapniowych oleju rybnego stwierdzono zawartość DHA w tłuszczu mleka na poziomie 0,14 mg/100 g kwasów tłuszczowych, podając go do żwacza 0,2 mg/100 g, a po infuzji do trawieńca aż 0,63 g/100 g kwasów tłuszczowych (12). Wartość współczynnika transferu DHA z dawki pokarmowej do mleka po zastosowaniu alg (43,0 g/kg suchej masy) wynosi 5,9% (9). Podanie alg chronionych spowodowało wzrost współczynnika transferu DHA do 8,4% (19). Uzyskany w niektórych badaniach niższy współczynnik transferu DHA do mleka (4,1%), wynikać może z intensywnego biouwodorowania DHA w żwaczu i preferencyjnego wchłaniania DHA do fosfolipidów i estrów cholesterolu krwi (13). Dla porównania, po zastosowaniu oleju rybnego współczynnik transferu DHA wynosił 5,4% (34). Przy dużych dawkach oleju rybnego (15,3 g/kg suchej masy) wartość tego współczynnika była wysoka, wynosiła bowiem 13% (25).

Reasumując należy stwierdzić, że algi morskie mają wyraźny wpływ na procesy biouwodorowania wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w treści żwa-

cza, prowadząc do wzrostu zawartości w tłuszczu mleka cis-9, trans-11 CLA oraz EPA i DHA. Stosowanie w żywieniu krów alg morskich wpływa na obniżenie zawartości tłuszczu w mleku. Podaż alg wraz z dawką pokarmową nie powinna być jednak nadmierna, gdyż wpływa to negatywnie na obecność mikroorganizmów w treści żwacza, jak i biouwodorowanie kwasów tłuszczowych. Udział mikroalg w ilości około 1% suchej masy dawki pokarmowej w pewnym stopniu obniża zawartość tłuszczu w mleku, jednak prowadzi do wyraźnego wzrostu zawartości cis-9, trans-11 CLA i kwasów n-3 w tłuszczu mleka.

Piśmiennictwo

1. Abu-Ghazaleh A. A., Jenkins T. C.: Disappearance of docosahexaenoic and eicosapentaenoic acids from cultures of mixed ruminal microorganisms. *J. Dairy Sci.* 2004, 87, 645-651.
2. Abu-Ghazaleh A. A., Potu R. B., Ibrahim S.: Short communication: The effect of substituting fish oil in dairy cow diets with docosahexaenoic acid-micro algae on milk composition and fatty acids profile. *J. Dairy Sci.* 2009, 92, 6156-6159.
3. Abu-Ghazaleh A. A., Schingoethe D. J., Hippen A. R., Kalscheur K. F.: Conjugated linoleic acid increases in milk when cows fed fish meal and extruded soybeans for an extended period of time. *J. Dairy Sci.* 2004, 87, 1758-1766.
4. Abu-Ghazaleh A. A., Schingoethe D. J., Hippen A. R., Kalscheur K. F.: Milk conjugated linoleic acid response to fish oil supplementation diets differing in fatty acid profiles. *J. Dairy Sci.* 2003, 86, 944-953.
5. Abu-Ghazaleh A. A., Schingoethe D. J., Hippen A. R., Whitlock L. A.: Feeding fish meal and extruded soybeans enhances the conjugated linoleic acid (CLA) content of milk. *J. Dairy Sci.* 2002, 85, 624-631.
6. Banning M.: The role of omega-3 fatty acids in the prevention of cardiac events. *British J. Nurs.* 2005, 14, 503-508.
7. Bauman D. E., Baumgard L. H., Corl B. A., Griinari J. M.: Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *J. Anim. Sci.* 2000, 77, 1-15.
8. Boeckaert C., Fievez V., Van Hecke D., Verstraete W., Boon N.: Changes in rumen biohydrogenation intermediates and ciliate protozoa diversity after algae supplementation to dairy cattle. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2007, 109, 767-777.
9. Boeckaert C., Vlaeminck B., Dijkstra J., Issa-Zacharia A., van Nespen T., van Straalen W., Fievez V.: Effect of dietary starch or micro alga supplementation on rumen fermentation and milk fatty acid composition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2008, 91, 4714-4727.
10. Boeckaert C., Vlaeminck B., Fievez V., Maignien L., Dijkstra J., Boon N.: Accumulation of trans C18:1 fatty acids in the rumen after diet ary algae supplementation is associated with changes in the Butyrivibrio community. *Appl. Environ. Microb.* 2008, 74, 6923-6930.
11. Brownbill R. A., Petrosian M., Ilich J. Z.: Association between dietary conjugated linoleic acid and bone mineral density in postmenopausal women. *J. Am. Coll. Nutr.* 2005, 24, 177-181.
12. Castañeda-Gutiérrez E., de Veth M. J., Lock A. L., Dwyer D. A., Murphy K. D., Bauman D. E.: Effect of supplementation with calcium salts of fish oil on n-3 fatty acids in milk fat. *J. Dairy Sci.* 2007, 90, 4149-4156.
13. Chilliard Y., Glasser F., Ferlay A., Bernard L., Rouel J., Doreau M.: Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lip. Sci. Tech.* 2007, 109, 828-855.
14. Chisti Y.: Biodiesel from microalgae. *Biotach. Adv.* 2007, 25, 294-306.
15. Corl B. A., Barbano D. M., Bauman D. E., Ip C.: Cis-9, trans-11 CLA derived endogenously from trans-11 18:1 reduces cancer risk in rats. *J. Nutr.* 2003, 133, 2893-2900.
16. Donovan C. D., Schingoethe D. J., Baer R. J., Ryali J., Hippen A. R., Franklin S. T.: Influence of dietary fish oil on conjugated linoleic acid and other fatty acids in milk fat from lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2000, 83, 2620-2628.
17. Ens J. G., Ma D. W. L., Cole K. S., Field C. J., Clandinin M. T.: An assessment of c9,t11 linoleic acid intake in a small group of young Canadians. *Nutr. Res.* 2001, 21, 955-960.
18. Fievez V., Boeckaert C., Vlaeminck B., Mestdagh J., Demeyer D.: In vitro examination of DHA-edible micro-algae 2. Effect on rumen methane production and apparent degradability of hay. *A. Feed Sci. Technol.* 2007, 136, 80-95.
19. Franklin S. T., Martin K. R., Baer R. J., Schingoethe D. J., Hippen A. R.: Dietary marine algae (*Schizochytrium* sp.) increases concentrations of conjugated linoleic, docosahexaenoic and transvaccenic acids in milk of dairy cows. *J. Nutr.* 1999, 129, 2048-2054.
20. Heravi-Moussavi A. R., Gilbert R. O., Overton T. R., Bauman D. E., Butler W. R.: Effects of feeding fish meal and n-3 fatty acids on milk yield and metabolic responses in early lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2007, 90, 136-144.
21. Ip C., Banni S., Angioni E., Carta G., McGinley J., Thompson H. J., Barbano D., Bauman D.: Conjugated linoleic acid-enriched butter fat alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats. *J. Nutr.* 1999, 129, 2135-2142.
22. Kay J. K., Mackle T. R., Auldist M. J., Thomsan N. A., Bauman D. E.: Endogenous synthesis of cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid in dairy cows fed fresh pasture. *J. Dairy Sci.* 2004, 87, 369-378.
23. Kolanowski W.: Długołańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe omega-3 – znaczenie zdrowotne w obniżaniu ryzyka chorób cywilizacyjnych. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2009, XL, 229-237.
24. Lipowski A., Wasilewicz-Niedbalska W., Patkowska-Sokoła B., Opolski A., Bodkowski R., Wielczyk J., Pelczyńska M., Nasulewicz A., Gwardiak H., Kwiatkowski J.: In vitro anti-cancer properties of natural vs synthetic conjugated linoleic acid. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 2003, 21, 47-55.
25. Looor J. J., Doreau M., Chardigny J. M., Ollier A., Sebedio J. L., Chilliard Y.: Effects of ruminal or duodenal supply of fish oil on milk fat secretion and profiles of trans-fatty acids and conjugated linoleic acid isomers in dairy cows fed maize silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2005, 119, 227-246.
26. Looor J. J., Ferlay A., Ollier A., Ueda K., Doreau M., Chilliard Y.: High-concentrate diets and polyunsaturated oils alter trans and conjugated isomers in bovine rumen, blood, and milk. *J. Dairy Sci.* 2005, 88, 3986-3999.
27. Mosley E. E., Powell G. L., Riley M. B., Jenkins T. C.: Microbial biohydrogenation of oleic acid to trans isomers in vitro. *J. Lipid Res.* 2002, 43, 290-296.
28. Or-Rashid M. M., Kramer J. K. G., Wood M. A., McBride B. W.: Supplemental algal meal alters the ruminal trans-18:1 fatty acid and conjugated linoleic acid composition in cattle. *J. Anim. Sci.* 2008, 86, 187-196.
29. Patkowska-Sokoła B., Usydus Z., Szlinder-Richert J., Bodkowski R.: Technologia pozyskiwania z olejów rybnych kwasów z rodziny omega-3 i zabezpieczenie ich przed zmianami oksydacyjnymi. *Przemysł Chem.* 2009, 88, 2-6.
30. Piperova L. S., Teter B. B., Bruckental I., Sampugna J., Mills S. E.: Mammary lipogenic enzyme activity, trans fatty acids and conjugated linoleic acids are altered in lactating dairy cows fed a milk fat-depressing diet. *J. Nutr.* 2000, 130, 2658-2674.
31. Privé F., Combes S., Cauquil L., Farizon Y., Enjalbert F., Troegeler-Meynadier A.: Temperature and duration of heating of sunflower oil affect ruminal biohydrogenation of linoleic acid in vitro. *J. Dairy Sci.* 2010, 93, 711-722.
32. Sajilata M. G., Singhal R. S., Kamat M. Y.: Fractionation of lipids and purification of γ -linolenic acid (GLA) from *Spirulina platensis*. *Food Chem.* 2008, 109, 580-586.
33. Shingfield K., Ahvenjärvi S., Toivonen V., Ärölä A., Nurmela K. V., Huhtanen P., Griinari J.: Effect of dietary fish oil on biohydrogenation of fatty acids and milk fatty acid content in cows. *J. Anim. Sci.* 2003, 77, 165-179.
34. Shingfield K. J., Reynolds C. K., Hervas G., Griinari J. M., Grandison A. S., Beaver D. E.: Examination of the persistency of milk fatty acid composition responses to fish oil and sunflower oil in the diet of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2006, 89, 714-732.
35. Ugwu C. U., Aoyagi H., Uchiyama H.: Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Biores. Techn.* 2008, 99, 4021-4028.
36. Vlaeminck B., Mengistu G., Fievez V., De Jonge L., Dijkstra J.: Effect of in vitro docosahexaenoic acid supplementation to marine algae-adapted and unadapted rumen inoculum on the biohydrogenation of unsaturated fatty acids in freeze dried grass. *J. Dairy Sci.* 2008, 91, 1122-1132.
37. Wallace R. J., McKain N., Shingfield K. J., Devillard E.: Isomers of conjugated linoleic acids are synthesized via different mechanisms in ruminal digesta and bacteria. *J. Lipid Res.* 2007, 48, 2247-2254.
38. Wasowska I., Maia M. R. G., Niedzwiedzka K. M., Czauderna M., Ribeiro J. M. C. R., Devillard E., Shingfield K. J., Wallace R. J.: Influence of fish oil on ruminal biohydrogenation of C18 unsaturated fatty acids. *Br. J. Nutr.* 2006, 95, 1199-1211.
39. Whitlock L. A., Schingoethe D. J., Hippen A. R., Kalscheur K. F., Abu-Ghazaleh A. A.: Milk production and composition from cows fed high oil or conventional corn at two forage concentrations. *J. Dairy Sci.* 2003, 86, 2428-2437.

Adres autora: dr inż. Robert Kupczyński, ul. Chelmońskiego 38 C, 51-630 Wrocław; e-mail: robert.kupczynski@up.wroc.pl