



Tłuszcz mlekowy – budowa i składniki kuleczek tłuszczowych mleka

Michał Smoczyński*, Katarzyna Kiełczewska

Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością
Wydział Nauki o Żywności
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

*Kontakt e-mail: michal.smoczynski@uwm.edu.pl

Mleko jest biologiczną substancją podlegającą ewolucyjnej presji, uznawaną za idealne pożywienie, którego głównym celem jest dostarczenie oseskom wszystkich składników odżywczych w odpowiednich proporcjach. Coraz więcej doniesień wskazuje, że karmienie piersią stanowi kluczowy element dla prawidłowego rozwoju dziecka. Poprzez mleko matka dalej chroni swoje dziecko, nie tylko dostarczając substancje ochronne przed infekcjami bakteryjnymi czy wirusowymi, ale również przekazując informacyjne cząsteczki biorące udział w przemianach komórkowych, stymulujące właściwe wykształcenie systemu immunologicznego, nerwowego oraz prawidłowy rozwój i funkcjonowanie układu metabolicznego, przewodu pokarmowego, w tym m.in. poprzez selektywne oddziaływanie na naturalną symbiotyczną mikroflorę [4, 6].

Lipidy mleka stanowią prawdopodobnie najbardziej złożoną i najmniej poznaną grupę składników mleka. Zawartość tych związków w mleku zależy od gatunku i zawiera się w granicach 3,8-3,9% dla mleka kobiecego czy też 3-5% dla mleka krowiego. Tłuszcz mlekowy wydzielany jest w formie kuleczek tłuszczowych mleka, które charakteryzują się uporządkowaną i zorganizowaną strukturą. Powstają one w komórkach nabłonkowych gruczołu mlekowego. Wielkość kuleczek tłuszczowych zawiera się w przedziale od 0,2 do 15 μm , ze średnią wielkością 4 μm oraz małą ilością kuleczek przekraczających 10 μm . Wnętrze stanowi trójglicerydowy rdzeń, który otacza tzw. otoczka kuleczki tłuszczowej o grubość ok. 10-20 nm, zabezpieczająca kuleczki głównie przed koalescencją i aktywnością lipolityczną. Materiał otoczki stanowi 3-4% całkowitej objętości mleka i stanowi potrójną warstwę białkowo-fosfolipidową [12].

Przeciętny skład chemiczny otoczki kuleczki tłuszczowej przedstawiony został w tabeli 1. Jednak dane dostępne w literaturze mogą się różnić zależnie od metod izolowania i oczyszczania składników otoczki oraz stosowanych metod analitycznych. Skład kuleczek tłuszczowych, jak i otoczki kuleczek tłuszczowych, może zależeć od wielu czynników, np. wielkości kuleczek tłuszczowych [2], na co z kolei może wpływać okres laktacji [1], jak i czynniki związane z obróbką technologiczną.



Tabela 1. Skład oraz średnia zawartość składników otoczki kuleczek tłuszczowych [13]

Składnik	mg · 100 g ⁻¹ frakcji kuleczek tłuszczowych	g · 100 g ⁻¹ suchej masy otoczki kuleczek tłuszczowych
Białka	1800	70
Fosfolipidy	650	25
Cerebrozydy	80	3
Cholesterol	40	2
Monoglicerydy	+	?
Woda	+	-
Karotenoidy + wit.A	0,04	0,0
Fe	0,3	0,0
Cu	0,01	0,0
Ogółem	>2570	100

Składniki białkowe otoczki kuleczki tłuszczowej

Białka otoczki kuleczki tłuszczowej stanowią tylko 1% masy całej kuleczki, 25-60% masy otoczki i ok. 1-2% całkowitej masy białek w mleku. Rozdział i charakterystyka białek otoczki kuleczki tłuszczowej oparta jest głównie o metody proteomiczne [11]. Główne składniki białkowe otoczki kuleczek tłuszczowych przedstawione są w tabeli 2.

Tabela 2. Główne składniki białkowe otoczki kuleczki tłuszczowej [8]

Białko	Numer w bazie Swiss prot		Masa cząsteczkowa Da
	człowiek	krowa	
Mucyna 1 (MUC 1)	P15941, Q04900, Q99102, Q02505, Q02817, P98088	P98091	50 000-500 000
Dehydrogenaza/oksydaza ksantynowa (XDH/XO)	P47989	P80457	300 000 (2x150 000)
Mucyna 15 (MUC 15, PAS III)	Q8N387	Q8MI01	94 000-100 000
CD 36 (PAS IV)	P16671	P26201	53 000
Butyrofilina (BTN)	Q13410	P18892	56 000
Laktadheryna (PAS VI/VII)	Q08431	Q95114	43 000-59 000
Adipofilina (ADPH)	Q99541	Q9TUM6	52 000
Białka wiążące kwasy tłuszczowe (FABP)	P15090	P48035	13 000

Oprócz tych głównych frakcji białkowych, otoczka kuleczek tłuszczowych zawiera wiele innych białek, takich jak: enzymy, immunoglobuliny, jak i przyłączone do niej białka kazeinowe i serwatkowe. Białka te oprócz roli strukturalnej, wykazują wiele biologicznych aktywności i mogą odgrywać istotną rolę w odżywianiu.

Składniki lipidowe otoczki kuleczki tłuszczowej

Drugim istotnym składnikiem otoczki kuleczek tłuszczowych w mleku są lipidy. W tabeli 3 podano skład i zawartość głównych składników lipidowych otoczki.



Tabela 3. Skład i zawartość procentowa głównych składników lipidowych otoczki kuleczek tłuszczowych [5, 9]

Grupa związków	Zawartość %
Triacyloglicerole	56,0 – 62,0
Diacyloglicerole	2,1 – 9,0
Monoacyloglicerole	0,4
Wolne kwasy tłuszczowe	0,6 – 6,0
Sterole	0,2 – 2,0
Fosfolipidy	26,0 – 40,6
w tym (% fosfolipidów):	
Sfingomielina	22,0
Fosfatydylocholina	36,0
Fosfatydyloetanolamina	27,0
Fosfatydyloinozytol	11,0
Fosfatydyloseryna	4,0
Lizofosfatydylocholina	2,0

Główną frakcją stanowią tu triacyloglicerole, których zawartość waha się w literaturze od 20 do 80% otoczki. Jednakże w odniesieniu do otoczki kuleczki tłuszczowej, duża część tych triacylogliceroli pochodzić może z wnętrza kuleczki i jako taka stanowić „zanieczyszczenie” w odniesieniu do zawartości w otoczce kuleczki. Stąd duża rozbieżność spotykana w literaturze, zależna od stosowanych metod izolowania czy też oznaczania. Niewielka zawartość wolnych kwasów tłuszczowych, oraz di- i monoacylogliceroli może z kolei wynikać z lipolitycznej aktywności i hydrolizy tri- i diacylogliceroli w trakcie przygotowywania próbki badawczej.

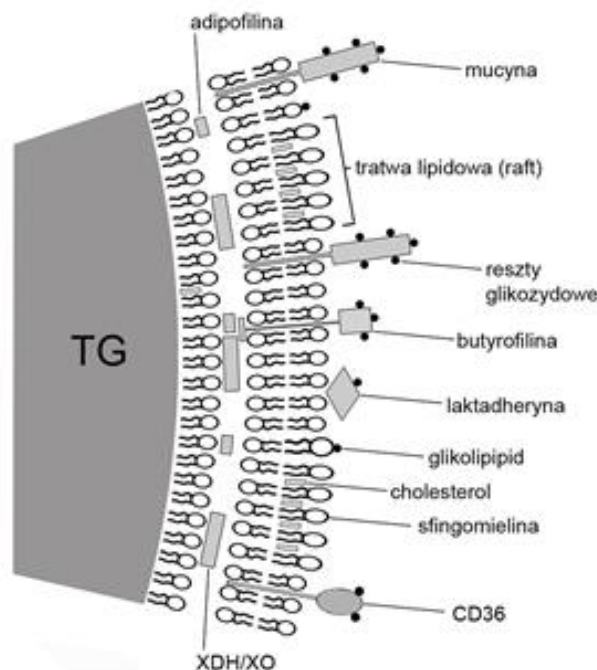
Ważnym składnikiem otoczki, ze względu na amfifilową budowę i swoje właściwości emulgujące, są fosfolipidy. Oddziałując z białkami otoczki jak i sterolami, determinują strukturę, płynność oraz stabilność otoczki kuleczek tłuszczowych. Ich rozmieszczenie w otoczce nie jest symetryczne. Fosfatydyloetanolamina, fosfatydyloseryna i fosfatydyloinozytol występują głównie na wewnętrznej stronie otoczki, natomiast fosfatydylocholina i sfingomielina głównie na zewnątrz [3]. Fosfolipidy charakteryzują się większą zawartością nienasyconych kwasów tłuszczowych, w porównaniu do tłuszczu mlekowego, oraz niską zawartością krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (C4-C10) [7].

Struktura otoczki kuleczki tłuszczowej

Podstawową funkcją otoczki jest stabilizowanie tłuszczu mlekowego w formie zdyspergowanej i zabezpieczenie go przed koalescencją i enzymatyczną lipolizą. Zaczynając od wnętrza kuleczki w jej strukturze można wyróżnić hydrofobowy rdzeń, w którym znajdują się głównie triacyloglicerole. Następnie wyróżnić można warstwę białkową, czyli tzw. płaszcz białkowy, występujący w przestrzeni międzybłonowej oraz otaczającą całą kuleczkę tłuszczową zewnętrzną dwuwarstwę lipidową, składającą się z białek, glikoprotein, enzymów, niepolarnych i polarnych lipidów oraz fosfolipidów. Białka rozmieszczone są w błonie w uporządkowany sposób. Niektóre z nich są białkami transmembranowymi przechodzącymi przez przynajmniej jedną warstwę błony (np. butyrofilina). Inne natomiast mogą być częściowo zanurzone w błonie lub luźno z nią związane (laktadheryna). Fosfolipidy zawierające cholinę (PC i SM) oraz glikolipidy, cerebrozydy i gangliozydy (czyli molekuly zawierające składniki polarne w formie reszt cukrowcowych) również znajdują się głównie w zewnętrznej części dwuwarstwy, skierowane do środowiska wodnego. Natomiast fosfatydyloetanolamina, fosfatydyloseryna oraz fosfatydyloinozytol występują głównie na wewnętrznej części dwuwarstwy. Cholesterol występuje najprawdopodobniej zarówno wewnątrz kuleczek jak i w otoczce, jednak w przypadku obecności w błonie większa jego część może znajdować się w zewnętrznej części błony, co związane jest z jego



występowaniem w raftach lipidowych. Obecność raftów lipidowych, ich rola i funkcje w odżywianiu pozostają niewyjaśnione. Na rysunku 1 przedstawiono model kuleczki tłuszczowej mleka wraz z modelem otoczki [10].



Rys. 1. Główne składniki i ich rozmieszczenie w otoczce kuleczki tłuszczowej mleka

Podsumowanie

W pracy scharakteryzowane zostały główne białka oraz lipidy występujące w kuleczkach tłuszczowych mleka i omówiono budowę kuleczki. Biorąc pod uwagę żywieniowe aspekty związane ze składnikami otoczki kuleczek tłuszczowych oraz ich doskonałe naturalne właściwości emulgujące, zarówno pojedyncze składniki jak i cała otoczka wykazują duży potencjał prozdrowotny i możliwe jest ich zastosowanie w przemyśle spożywczym jako nutraceutyków lub/i emulgatorów. O ile obecność tych składników w mleku wskazuje na pozytywne właściwości, jednak należy tu wziąć pod uwagę spożywane ilości, rodzaj mleka, a także wpływ procesów technologicznych na skład i strukturę tych składników w mleku. Na ile czynniki te wpływają na potencjalne prozdrowotne właściwości tych składników wymaga wyjaśnienia z uwzględnieniem szczególnie badań żywieniowych.

Literatura

1. Aoki N., Ishii T., Ohira S., Yamaguchi Y., Negi M., Adachi T., Nakamura R., Matsuda T. (1997). Stage specific expression of milk fat globule membrane glycoproteins in mouse mammary gland: comparison of MFG-E8, butyrophilin, and CD36 with a major milk protein, β -casein. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1334, 182-190.
2. Donovan S. M. (2006). Role of human milk components in gastrointestinal development: current knowledge and future needs. *Journal of Pediatrics*, 149, 49-61.
3. Briard V., Leconte N., Michel F., Michalski M.C. (2003). The fatty acid composition of small and large naturally occurring milk fat globules. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 105, 677-682.



4. Deeth H.C. (1997). The role of phospholipids in the stability of milk fat globules. *Australian Journal of Dairy Technology*, 52, 44-46.
5. Donovan S.M. (2006). Role of human milk components in gastrointestinal development: current knowledge and future needs. *The Journal of Pediatrics*, 149, 49-61.
6. Fong B.Y., Norris C.S., MacGibbon A.K.H. (2007). Protein and lipid composition of bovine milk-fat-globule membrane. *International Dairy Journal*, 17, 275-288.
7. LoCascio R.G., Ninonuevo M.R., Freeman S.L., Sela D.A., Grimm R., Lebrilla C.B., Mills D.A., Bruce German J. (2007). Glicoprofiling of bifidobacterial consumption of human milk oligosaccharides demonstrates strain specific, preferential consumption of small chain glycans secreted in early human lactation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 8914-8919.
8. McPherson A.V., Kitchen B.J. (1983). The bovine milk fat globule membrane- its formation, composition, structure and behaviour in milk dairy products. *Journal of Dairy Research*, 50, 107-133.
9. Riccio P. (2004). The proteins of the milk fat globule membrane in the balance. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 458-461.
10. Singh H. (2006). The milk fat globule membrane - A biophysical system for food applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 11, 154-163.
11. Smoczyński M. (2014). Hipotezy tworzenia i funkcje składników kuleczek tłuszczowych mleka. *Medycyna Weterynaryjna*, 70 (4), 214-217.
12. Vanderghem C., Blecker C., Danthine S., Deroanne C., Haubruge E., Guillonneau F., De Pauw E., Francis F. (2008). Proteome analysis of the bovine milk fat globule: Enhancement of membrane purification. *International Dairy Journal*, 18, 885-893.
13. Walstra P. (1995). Physical chemistry of milk fat globules. In: *Advanced Dairy Chemistry Vol.2: Lipids*. Ed. P.F. Fox, Chapman & Hall, London (UK), 131-178.
14. Walstra P., Wouters J.T.M., Geurts T.J. (2006). *Dairy Science and Technology*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.