

Skład i synteza składników mleka klaczy w odniesieniu do innych gatunków zwierząt hodowlanych

Aleksandra Cichy, Alicja Dratwa-Chałupnik, Weronika Medeńska

**Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt,
Katedra Fizjologii Cytobiologii i Proteomiki**

Siara i mleko są dla ssącego źrebięcia jedynymi źródłami składników odżywczych (białek, laktozy, tłuszczów) oraz związków pełniących funkcje regulacyjne w tym immunoglobulin, enzymów, hormonów, czynników wzrostu, cytokin, witamin, związków mineralnych, nienasyconych kwasów tłuszczowych i innych. Wszystkie składniki wydzieliny gruczołu mlekowego klaczy są niezbędne dla prawidłowego wzrostu i dojrzewania oseska [76].

Laktacja u klaczy w warunkach naturalnych trwa około jednego roku, a w warunkach hodowlanych źrebięta odsadzane są między piątym a szóstym miesiącem życia [40]. Okres laktacji u zwierząt wykorzystywanych do produkcji mleka trwa: u krów 305 dni, u kóz 250 dni, u owiec 210 dni [4, 57, 72]. Natomiast u wielbłądów okres laktacji trwa średnio 415 dni [37].

Skład siary i mleka klaczy jest cechą osobniczą. Wpływa na niego sposób żywienia, wiek, stan fizjologiczny, liczba laktacji oraz predyspozycje genetyczne [47, 75]. U klaczy wydzielanie siary trwa krótko, około doby [46]. Do dwunastej godziny po porodzie stężenie immunoglobulin utrzymuje się na względnie stałym poziomie, a po tym czasie drastycznie zmniejsza się, osiągając w 24 godzinie stężenie zbliżone do obserwowanego w mleku [75, 77]. Wraz z kolejnymi dniami laktacji zmienia się również procentowa zawartość tłuszczu (z 2,9% do 2,1%) oraz białka całkowitego (z 16,4% do 4,1%) w mleku klaczy [46]. Natomiast stężenie laktozy utrzymuje się na względnie stałym poziomie podczas całego okresu laktacji [41].

Maksymalna wydajność mleczna klaczy wynosi średnio 3l mleka dziennie i utrzymuje się do 3 miesiąca po wyżrebieniu [75]. Taką samą wydajność mleczną obserwuje się u kóz [30]. U owiec jest niższa i wynosi średnio 2l mleka dziennie [51]. Wyższą średnią wydajnością mleczną charakteryzują się wielbłądy (13l mleka dziennie) i krowy (40l mleka dziennie). Wysoka średnia wydajność mleczna u krów wynika z ukierunkowanej, długoletniej hodowli tych zwierząt w celu pozyskania mleka

[37, 68]. U klaczy pierworódek całkowita objętość siary wynosi od 1,5 do 2l, natomiast u wieloródek od 3,5 do 7l [75].

Budowa gruczołu mlekowego klaczy

Wielkość gruczołu mlekowego klaczy oraz liczba budujących go pęcherzyków wydzielniczych jest cechą osobniczą zależną od wieku. Wraz z wiekiem gruczoł mlekowy rozrasta się na skutek zwiększania się ilości i powierzchni pęcherzyków mlekowych.

Gruczoł mlekowy klaczy składa się z dwóch połówek o kształcie bocznie spłaszczonych stożków. Połówki oddzielone są od siebie podłużną bruzdą międzygruczołową. Każda z połówek zawiera sutek i brodawkę sutkową, do której otworu uchodzi od dwóch do czterech przewodów brodawkowatych. Każdy przewód brodawkowy połączony jest z krótką zatoką mleczną, do której doprowadzane jest mleko z pęcherzyków mlecznych przez zespół przewodów mlecznych.

Mleko wydzielane jest przez wyspecjalizowane komórki nabłonkowe wyściełające pęcherzyki mleczne. Pęcherzyki otwierają się do krótkich przewodów mlecznych. Zespół pęcherzyków mlecznych wraz z krótkimi przewodami tworzy płaciki. Płaciki otoczone są komórkami mioepitelialnymi, które odpowiedzialne są za transport mleka przez przewód mleczny do zatoki mlecznej. Każdy przewód brodawkowy posiada osobne przewody mleczne oraz zespół płacików [6, 57, 75].

Rozwój gruczołu mlekowego

Za rozwój gruczołu mlekowego odpowiadają przede wszystkim: prolaktyna, estrogeny i progesteron. Hormony te pobudzają komórki nabłonka wyściełającego przewody i pęcherzyki mleczne do intensywniejszej proliferacji w pierwszym etapie życia płodowego [42, 75].

W drugiej połowie życia płodowego następuje stopniowa reorganizacja tkanki gruczołu mlekowego. Komórki tłuszczowe zastępowane są przez wydzielnicze komórki nabłonkowe, co w konsekwencji prowadzi do stopniowego zanikania tkanki tłuszczowej i zwiększenia ilości przewodów mlecznych oraz struktur zrazikowo-pęcherzykowych. Za rozwój przewodów mlecznych odpowiedzialne są estrogeny. Natomiast rozrost struktur zrazikowo-pęcherzykowych w gruczole mlekowym regulowany jest przez progesteron [42].

U klaczy synteza składników wydzieliny gruczołu mlekowego (laktogeneza) rozpoczyna się w drugiej połowie ciąży. W laktogenezie wyróżnia się fazę inicjacji i aktywacji. W fazie inicjacji następuje ekspresja genów kodujących białkowe składniki mleka, między innymi kodujących kazeinę (CSN_1S_1 , CSN_1S_2 , CSN_2 , CSN_3) [8], β -laktoglobulinę ($LGB1$, $LGB2$) [74] i α -laktalbuminę ($LALBA$) [73] oraz genów kodujących enzymy odpowiedzialne za regulację syntezy składników mleka. Dochoodzi także do gromadzenia się kropli tłuszczowych w komórkach nabłonkowych gruczołu mlekowego.

Faza aktywacji rozpoczyna się na krótko przed porodem. W fazie tej w komórkach wyściełających pęcherzyki mleczne wzrasta ekspresja genów oraz rośnie ilość enzymów odpowiedzialnych za syntezę białko-

wych składników mleka. W komórkach nabłonkowych pęcherzyków mlecznych zachodzi także reorganizacja organelli komórkowych. Następuje rozbudowa aparatu Golgiego. Siateczka śródplazmatyczna szorstka, aparat Golgiego i mitochondria ustawiają się zgodnie z kierunkiem transportu składników mleka zarówno tych pochodzących z krwi kłaczy, jak i zsyntetyzowanych w komórkach nabłonkowych pęcherzyków mlecznych. Dochodzi do stopniowego uszczelniania połączeń kompleksów obwódok zamykających (ang. tight junctions, zonulae occludentes). Zatrzymuje to swobodny przepływ substancji o dużej masie cząsteczkowej z krwi do światła pęcherzyków mlecznych, poprzez przestrzeń międzykomórkową, który był możliwy w fazie inicjacji [42].

Synteza i sekrecja składników siary i mleka

Transport aminokwasów z krwi do komórek pęcherzyków mlecznych odbywa się poprzez transportery zarówno zależne, jak i niezależne od nośników sodu (ryc. 1). Są one zlokalizowane w bazolateralnych częściach komórek pęcherzyków mlecznych.

Obecność aminokwasów w komórkach pęcherzyków mlecznych jest niezbędna do syntezy kazeiny i białek serwatkowych. Synteza białek odbywa się na rybosomach siateczki śródplazmatycznej, z której są one transportowane do aparatu Golgiego. W trakcie transportu do kazeiny dołączane są jony wapnia i fosforany. Tym samym kazeina staje się źródłem tych składników mineralnych. Natomiast albuminy i immunoglobuliny są transportowane z krwi kłaczy do komórek nabłonkowych pęcherzyków mlecznych na drodze endocytozy zachodzącej w części podstawnej tych komórek. Następnie zarówno białka zsyntetyzowane, jak i pochodzące z krwi samicy są pakowane w pęcherzyki wydzielnicze powstające w aparacie Golgiego. W takiej postaci przenoszone są one do szczytowej części błony komórek wydzielniczych, gdzie na drodze egzocytozy są uwalniane do światła pęcherzyków mlecznych (ryc. 1). Za transport aminokwasów oraz utrzymanie syntezy i sekrecji białek mleka odpowiedzialna jest prolaktyna [42, 66, 75].

Synteza lipidów, głównie triacylogliceroli i fosfolipidów zachodzi w retikulum endoplazmatycznym, zlokalizowanym u podstawy komórek nabłonkowych pęcherzyków mlecznych, w którym syntezowane są kwasy tłuszczowe i glicerol. Kolejne etapy powstawania tłuszczów mają miejsce w aparacie Golgiego [42].

Zsyntezowane lipidy tworzą ciała lipidowe (krople tłuszczowe) pokryte otoczką białkowo-lipidową (ryc. 1). Ciała lipidowe łączą się ze sobą i przesuwiają do szczytowej części komórek nabłonkowych pęcherzyków mlecznych. Do światła pęcherzyków mlecznych dostają się, wypychając błonę komórkową komórek nabłonkowych wyścielających pęcherzyki mleczne. Tworzone są w ten sposób kuleczki (globule) tłuszczowe (ang. milk fat globules, MFG), czyli struktury otoczone błoną białkowo-lipidowo-węglowodanową, wewnątrz których znajdują się ciała lipidowe oraz elementy cytoplazmy pochodzące z komórek wydzielniczych gruczołu mlecznego. Tłuszcze zawarte w ciałach lipidowych wykorzystywane

są głównie do produkcji energii niezbędnej do funkcjonowania organizmu oseska. Warstwy białkowo-lipidowe otaczające krople tłuszczowe są źródłem fosfolipidów, niezbędnych struktur budulcowych błon komórkowych. Ponadto, warstwy białkowo-lipidowe kuleczek tłuszczowych zawierają m.in. oksydazy, reduktazy i hydrolazy, które wspomagają przyswajanie tłuszczów mleka przez oseska. Ilość lipidów w mleku zwiększa się wraz ze zmniejszaniem się stężenia prolaktyny we krwi samicy. Razem z tłuszczami do mleka uwalniane są rozpuszczalne w nich substancje, tj. hormony i witaminy [42, 75].

Do syntezy laktozy niezbędna jest glukoza, która z krwi laktującej samicy transportowana jest do komórek nabłonkowych pęcherzyków mlecznych poprzez transporter glukozy 1 GLUT1 (ryc. 1). Na czynność tego transportera ma wpływ prolaktyna. W cytoplazmie komórek nabłonkowych glukoza jest fosforylowana do glukozy-6-fosforanu i przekształcana do urydynodifosfogalaktozy (UDP-galaktozy). Następnie glukoza oraz UDP-galaktoza są transportowane do aparatu Golgiego, w którym odbywa się synteza laktozy, regulowana przez syntazę laktozy, enzym wbudowany w błonę aparatu Golgiego. W odpowiedzi na wzrost stężenia glukozy w komórkach nabłonkowych pęcherzyków mlecznych rozpoczyna się proces syntezy laktozy. Zsyntetyzowana laktoza jest gromadzona w pęcherzykach wydzielniczych, skąd na drodze egzocytozy zostaje wydzielona do światła pęcherzyków mlecznych [1, 42, 75, 78].

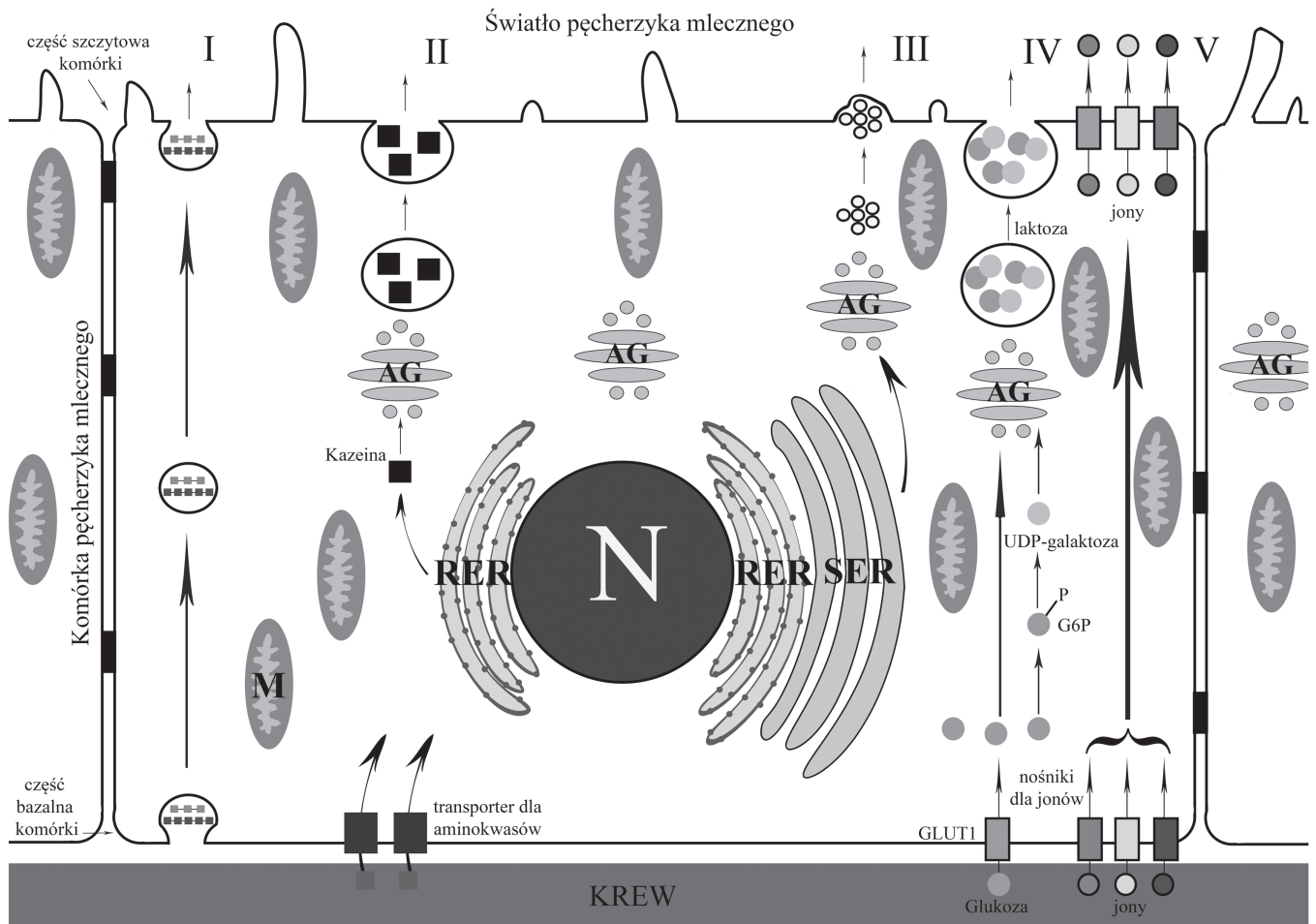
Obecne w mleku kłaczy jony sodowe, potasowe, chlorkowe, wapniowe, fosforanowe i jodu pochodzą z jej krwi, skąd są transportowane do komórek nabłonkowych pęcherzyków mlecznych przez nośniki (transportery) zlokalizowane w części podstawno-bocznej tych komórek (ryc. 1). Ze światła komórek nabłonkowych jony są następnie transportowane do światła pęcherzyków mlecznych poprzez nośniki lub kanały zlokalizowane w szczytowej części tych komórek. Prolaktyna poprzez wpływ na aktywność pompy sodowo-potasowej i kotransportery sodowo-potasowo-chlorkowe reguluje transport elektrolitów z krwi samicy do światła pęcherzyków mlecznych. Hormon ten odpowiedzialny jest również za transport jodu, który odbywa się poprzez symporter sodowo-jodowy [42].

Frakcje białkowe mleka kłaczy

W skład siary i mleka kłaczy wchodzi kazeina oraz białka serwatkowe, wśród których wyróżniamy między innymi immunoglobuliny. Procentowy udział poszczególnych frakcji białkowych w odniesieniu do białka całkowitego mleka jest cechą gatunkową [12, 57, 58].

Immunoglobuliny

Immunoglobuliny (Igs) wydzielane są do krwi, limfy oraz płynów ustrojowych w odpowiedzi na obecność antygenów. W sianie i mleku kłaczy obecne są trzy główne klasy immunoglobulin: immunoglobuliny G (ang. immunoglobulins G, IgG), immunoglobuliny A (ang. immunoglobulins A, IgA) oraz immunoglobuliny M (ang. immunoglobulins M, IgM) [18, 31, 35]. Dzięki immunoglobulinom noworodki nabywają odporności humoralnej, swo-



I - transport i sekrecja albumin i immunoglobulin; II - transport aminokwasów, synteza i sekrecja kazein; III - synteza i sekrecja lipidów; IV - transport glukozy, synteza i sekrecja laktozy; V - transport i sekrecja jonów. (N - jądro komórkowe; RER - retikulum endoplazmatyczne szorstkie; SER - retikulum endoplazmatyczne gładkie; AG - aparat Golgiego; M - mitochondrium; GLUT1 - transporter glukozy 1; G6P - glukoza-6-fosforan)

Ryc. 1. Schemat transportu, syntezy i sekrecji składników siary i mleka w komórkach pęcherzyków mlecznych gruczołu mlekowego kłaczy [1, 42, 66, 76, 78]

istej biernej. Ponadto zadaniem immunoglobulin jest zapobieganie powstawaniu stanu zapalnego w gruczole mlekowym.

Żrebięta rodzą się ze śladowymi ilościami immunoglobulin. Łożysko nabłonkowo-kosmówkowe kłaczy uniemożliwia bowiem przejście immunoglobulin z organizmu matki do płodu w trakcie rozwoju płodowego. Przeciwciała matczyne mogą być dostarczone żrebięciu wyłącznie po urodzeniu wraz z siarą i mlekiem [18, 31, 46].

Zawarte w siarze immunoglobuliny nie ulegają strawieniu w przewodzie pokarmowym nowonarodzonych żrebiąt ze względu na niską aktywność proteaz soków trawiennych osesków oraz obecność w siarze inhibitorów trypsyny. Immunoglobuliny są przenoszone z przewodu pokarmowego żrebięcia do jego krwi na drodze pinocytozy. Ten pęcherzykowy transport przeciwciał u żrebiąt jest możliwy do 24-36 godziny po porodzie. Po tym czasie następuje bowiem uszczelnianie błony komórkowej enterocytów, co uniemożliwia przenoszenie immunoglobulin z jelita do krwi [18, 31, 46, 74].

Stężenie poszczególnych klas immunoglobulin zależy od gatunku, stanu zdrowia, przebiegu laktacji, żywienia i wieku zwierząt [18, 46]. Najwyższe stężenie lgs obser-

wuje się w siarze (tab. 1). Stężenie IgG w siarze kłaczy wynosi $89,12 \pm 10,47 \text{ g/l}$, stężenie IgA – $9,57 \pm 1,84 \text{ g/l}$, a stężenie IgM – $1,23 \pm 0,13 \text{ g/l}$ [76, 77]. Stężenie immunoglobulin w siarze kłaczy po 12 godzinach po porodzie zmniejsza się do średniej wartości $10,39 \text{ g/l}$, a po 24 h jest zbliżone do stężenia immunoglobulin obserwowanych w mleku dojrzalym [46]. U kłaczy immunoglobuliny stanowią około 45% wszystkich białek siary, a w mleku dojrzalym 19,77% [12, 76]. U krowy, kozy i wielbłąda okres wytwarzania siary trwa 5-7 dni, natomiast u owcy 3-4 dni po porodzie. Immunoglobuliny u tych gatunków stanowią 70-80% wszystkich białek siary i zaledwie od 1 do 3% białek mleka [9, 18, 62, 78].

Immunoglobuliny G występujące w siarze ssaków stanowią największy procent wszystkich immunoglobulin. Wraz z upływem laktacji maleje ich ilość w mleku (tab. 1). Przy czym zarówno u kłaczy, jak i krow stężenie IgG wyraźnie zmniejsza się przy przemianie siary w mleko. Immunoglobuliny G pochodzą z krwi laktującej samicy. Stymulują one układ immunologiczny osesków poprzez opsonizację antygenów, która umożliwia związanie ich z fagocytami, limfocytami, płytkami krwi, komórkami tucznyymi i bazofilami [31]. Aktywują one również

układ dopełniacza uczestniczący w niszczeniu patogenów oraz wpływają na powstanie odpowiedzi immunologicznej w trakcie neutralizacji toksyn i wirusów [35, 63].

Procentowy udział immunoglobulin A w mleku kłaczy, jak i pozostałych omawianych gatunków zwierząt zwiększa się wraz z kolejnymi dniami laktacji (tab. 1). Największą procentową ilość tej immunoglobuliny obserwuje się w mleku kłaczy, a najmniejszą w mleku owcy. Immunoglobuliny A produkowane są głównie w gruczole mlekowym przez plazmocyty i limfocyty B, a tylko niewielka ich ilość pochodzi z krwi samicy. Matczyne IgA charakteryzują się swoistym działaniem wobec mikroflory jej układu pokarmowego i oddechowego. Zadaniem IgA jest neutralizacja wirusów, bakterii i toksyn. Zapobiegają one adhezji patogenów do enterocytów i utrudniają im kolonizację błony śluzowej przewodu pokarmowego i układu oddechowego oseska [31, 63].

W sianie i mleku kłaczy oraz innych omawianych zwierząt gospodarskich najmniej jest immunoglobuliny M (tab. 1). U kłaczy, stężenie IgM maleje wraz z kolejnymi dniami laktacji, natomiast u przeżuwaczy wzrasta. IgM biorą udział w pierwotnej odpowiedzi immunologicznej organizmu wywołanej ekspozycją na patogeny lub immunogeny [63].

Tabela 1
Procentowa zawartość poszczególnych frakcji białek w mleku kłaczy i wybranych przeżuwaczy [3, 5, 9, 17, 18, 24, 25, 26, 32, 34, 35, 39, 48, 50, 54, 58 60, 65]

Frakcje białek	Klacz	Krowa	Koza	Owca	Wielbłąd
Immunoglobuliny [%]					
IgGs ⁽¹⁾	43,71	60	91,59	89,82	101,8 [g/l]
IgGm ⁽²⁾	8,69	11,93	75,76	73,34	10,55 [g/l]
IgAs ⁽¹⁾	34,47	37,67	2,75	2,40	-
IgAm ⁽²⁾	83,75	69,79	16,66	13,33	-
IgMs ⁽¹⁾	21,82	2,33	5,66	7,77	-
IgMm ⁽²⁾	7,56	18,28	7,58	13,33	-
Frakcje kazeiny [%]					
α-kazeina	19,26	51,45	30,99	34,02	37,14
β-kazeina	78,96	36,98	51,97	49,47	59,36
κ-kazeina	1,78	11,57	17,04	16,51	3,50
Białka serwatkowe [%]					
α-laktoalbumina	30,17	22,39	35,90	19,46	12,14
β-laktoglobulina	34,71	65,68	61,96	67,90	-
albumina osocza	4,01	9,71	-	8,66	85,91
laktoferyna	17,36	2,28	2,13	3,98	1,95
lizozym	13,75	śladowe	śladowe	śladowe	śladowe

IgGs, IgAs, IgMs – immunoglobuliny siary
IgGm, IgAm, IgMm – immunoglobuliny mleka

Kazeina

Głównym białkiem mleka jest kazeina, która stanowi ok. 80% wszystkich białek mleka [57]. Kazeina syntetyzowana jest przez komórki nabłonkowe pęcherzyków mlecznych i wydzielana do gruczołu mlekowego w postaci miceli. U kłaczy występują trzy frakcje kazeiny: α-kazeina (α_{s1}, α_{s2}), β-kazeina, κ-kazeina [20, 56].

W mleku kłaczy oraz kozy, owcy i wielbłąda, najwięcej jest β-kazeiny, natomiast w mleku krowy α-kazeiny (tab. 1). U kłaczy, podobnie jak u pozostałych gatunków zwierząt gospodarskich najmniej jest κ-kazeiny [5, 9, 17, 25, 48, 54].

Kazeiny α i β są fosfoproteinami, natomiast κ-kazeina jest glikoproteiną. Poszczególne frakcje kazein różnią się między sobą ilością reszt fosforoserynowych (w κ-kazeinie jest jedna reszta) oraz regionami hydrofobowymi i hydrofilowymi łańcucha białkowego. Kazeina dostarcza aminokwasy rozwijającemu się źrebięciu. Zapewnia ona również odpowiednią ilość fosforanów i wapnia niezbędnych do mineralizacji kości rosnącego oseska [42, 56].

Dostarczenie źrebięciu odpowiedniej ilości składników odżywczych jest możliwe dzięki tworzeniu się miceli, czyli kompleksów białka z dużymi ilościami fosforanu wapnia. W zależności od gatunku ssaków średnice miceli osiągają rozmiary od 50 do 500 nm, a masy cząsteczkowe od 106 Da do 109 Da [56]. W mleku kłaczy ich wielkość wynosi średnio 250 nm. Natomiast w mleku krowy, kozy, owcy i wielbłąda średnia wielkość miceli wynosi kolejno: 182 nm, 305 nm, 340 nm i 300 nm [9, 38, 55, 57, 59].

Frakcja κ-kazeiny opłaszca micidele, a w obecności jonów wapnia dodatkowo utrzymuje ich stabilną postać [20, 56]. Proces ten wspomaga wysokofosforylowana β-kazeina odpowiedzialna za wiązanie jonów wapnia. Kazeina κ zawiera również w swoim łańcuchu grupy węglowodanowe, które zwiększają podatność białek micelarnych na działanie pepsyny [16, 38, 59].

W żołądku źrebiąt enzymy proteolityczne hydrolizują kazeinę do parakazeinianu wapnia, powodując koagulację mleka. Dzięki temu mleko pozostaje dłużej w przewodzie pokarmowym źrebięcia. Zapewnia to strawienie mleka i zabsorbowanie z niego niezbędnych składników do wzrostu i rozwoju oseska. Ponadto fosfopeptydy, powstające po strąceniu kazeiny, wspomagają wchłanianie dwuwartościowych jonów tj. wapnia i cynku [12, 20, 56, 59].

Poza funkcjami odżywczymi frakcje kazein mogą pełnić funkcje immunomodulujące. Kazeina-α wykazuje działanie przeciwbakteryjne i immunostymulujące, a kazeina-κ hamuje adhezję bakterii do komórek błony śluzowej żołądka oseska [45].

Białka serwatkowe

Obecne w mleku globularne białka serwatkowe występują w mleku w postaci rozpuszczonej.

Ich stężenie jest cechą gatunkową. Najwięcej jest ich w mleku owcy (10,60 g/kg) oraz kłaczy (8,30 g/kg), a mniej w mleku wielbłąda (7 g/kg), krowy (6,20 g/kg) i kozy (5,35 g/kg) [9].

Głównymi białkami serwatkowymi jest α -laktoalbumina i β -laktoglobulina [38, 59]. W mleku kobyli, tak jak w kozim, owczym i wielbłądzim najwięcej jest β -laktoglobuliny, natomiast w mleku krowim najwięcej jest α -laktoalbuminy (tab. 1).

α -laktoalbumina jest hydrofilowym białkiem wykazującym duży stopień homologii u różnych gatunków ssaków. Poza funkcją odżywczą α -laktoalbumina uczestniczy w biosyntezie laktozy w komórkach nabłonkowych pęcherzyków wydzielniczych oraz jest nośnikiem jonów wapnia, cynku, magnezu i kobaltu. Wykazuje ona również działanie antybakteryjne i stymuluje rozwój prawidłowej mikroflory jelitowej u osesków, przez co zmniejsza ryzyko wystąpienia u nich biegunek pochodzenia zakaźnego [36].

β -laktoglobulina jest globularną albuminą, która wykazuje zdolność wiązania retinolu niezbędnego do prawidłowego rozwoju narządu wzroku osesków. Jest także odpowiedzialna za wiązanie witaminy D, długołańcuchowych kwasów tłuszczowych oraz cholesterolu. Ponadto jest czynnikiem stymulującym aktywność lipaz. β -laktoglobulina wykazuje właściwości antybakteryjne oraz wspomaga organizm w trakcie infekcji wirusowych. Hamuje ona adhezję patogennych drobnoustrojów, zapobiegając ich kolonizacji w błonie śluzowej układu pokarmowego osesków [36].

W mleku kłaczy obecne są również białka enzymatyczne o działaniu przeciwdrobnoustrojowym. Najważniejszym z nich jest lizozym, który wykazuje działanie bakteriobójcze i antywirusowe. Ponadto, wykazuje zdolność wiązania wapnia. Stężenie lizozymu w mleku kłaczy jest istotnie większe niż w mleku pozostałych omawianych gatunków ssaków, u których stwierdza się jego śladowe ilości (tab. 1).

Mleko kłaczy charakteryzuje się ponadto największym stężeniem laktoferyny. Enzym ten oprócz właściwości bakteriostatycznych wynikających z możliwości wiązania jonów żelaza wykazuje działanie przeciwwirusowe, przeciwwzapalne i przeciugrzybiczne [9, 27, 34, 40, 54].

Lipidy

Lipidy zawarte w mleku mają postać małych kuleczek o średnicy zależnej od gatunku ssaków [38]. Najmniejszą średnicę mają kuleczki tłuszczu mleka kłaczy (2-3 μ m), następnie mleka kozy (2,6-3,5 μ m), wielbłąda (3 μ m), owcy (3,0-3,8 μ m) i krowy (3-5 μ m) [9, 13]. Wykazano, że zawartość tłuszczu w mleku jest dodatnio skorelowana z wielkością kuleczek tłuszczowych [44]. Najniższą zawartość tłuszczu obserwuje się u kłaczy (2,10%), następnie u wielbłąda (3,35%), krowy (3,75%), kozy (4,8%) i owcy (7,4%) [11, 44, 45, 49, 53, 70].

Zawartość tłuszczu w mleku kłaczy zmniejsza się w trakcie laktacji. W pierwszym etapie laktacji całkowita zawartość tłuszczu w 1 kg mleka kłaczy mieści się w przedziale od 15 do 25 g, a w końcowym etapie laktacji wynosi od 5 do 15 g [15].

Triacyloglicerole

Tłuszcz mleka tworzą głównie triacyloglicerole, które w mleku kłaczy stanowią ok. 80% tłuszczów, a w mleku przeżuwaczy 97%.

Struktura triacylogliceroli jest charakterystyczna dla danego gatunku zwierząt, a te zawarte w mleku kłaczy zbudowane są zwykle z 50 do 52 atomów węgla. Natomiast triacyloglicerole mleka krowy, kozy i owcy składają się z 34-40 oraz/lub 42-54 atomów węgla [33, 38].

Triacyloglicerole są jednym z głównych czynników wpływających na wchłanianie tłuszczów z przewodu pokarmowego. Szczególną rolę odgrywa tu kwas palmitynowy związany z drugim atomem węgla glicerolu. Kwas ten występuje w mleku w największej ilości (tab. 2). Przypisuje mu się funkcję enzymów lipolitycznych przewodu pokarmowego oseska.

Fosfolipidy

Fosfolipidy są składnikami błon komórkowych składających się m.in. z wielonienasyconych kwasów tłuszczowych. W mleku kłaczy fosfolipidy stanowią 5%, a w mleku przeżuwaczy od 0,5 do 1,5% [3, 9, 29, 38, 71].

Zawartość poszczególnych fosfolipidów w puli wszystkich tłuszczów mleka jest cechą gatunkową [9, 36, 60]. Mleko kłaczy ma więcej sfingomieliny oraz fosfatydyloseryny niż mleko kozy, krowy i owcy. W mleku wielbłąda oba fosfolipidy występują w ilości bardzo zbliżonej do obserwowanej w mleku kłaczy. W porównaniu z mlekiem omawianych w pracy przeżuwaczy, mleko kłaczy charakteryzuje się mniejszą ilością fosfatydyloetanoloaminy. Najmniej w mleku kłaczy jest fosfatydyloinozytolu, a najwięcej sfingomieliny i fosfatydylocholinu (tab. 2).

Cholesterol

Cholesterol jest niezbędnym składnikiem budulcowym błon komórkowych, przede wszystkim pełni on funkcję ważnego elementu strukturalnego komórek centralnego układu nerwowego. Obecność cholesterolu w mleku jest niezbędna do prawidłowego rozwoju układu nerwowego oseska. Mleko kłaczy charakteryzuje się najmniejszym stężeniem cholesterolu wśród omawianych zwierząt (5-8,8 g/l). Największe stężenie cholesterolu jest w mleku wielbłądzim (31,3-37,1 g/l) i w mleku krowim (13,1-31,4 g/l), następnie w mleku owczym (14-29 g/l) i kozim (10,7-18,1 g/l) [9, 10, 21, 23, 29, 38].

Kwasy tłuszczowe

W mleku zwierząt gospodarskich występują nienasycone, jak i nasycone kwasy tłuszczowe (tab. 2). Zawartość poszczególnych kwasów w obrębie każdej frakcji jest cechą gatunkową. Charakterystyczną cechą mleka kłaczy w porównaniu do mleka krowy, kozy i owcy jest większy udział nienasyconych kwasów tłuszczowych, głównie dzięki zwiększonej zawartości wielonienasyconych kwasów omega-3 i omega-6, tj. kwasu α -linolowego i kwasu linolowego oraz kwasu palmitooleinowego [9, 19, 38, 52].

Mleko omawianych ssaków różni się pod względem zawartości krótko-, średnio- i długołańcuchowych nasy-

Tabela 2

Procentowa zawartość poszczególnych frakcji lipidów w mleku kłaczy i w mleku wybranych przeżuwaczy [3, 9, 10, 19, 39, 42, 58, 61]

		Klacz	Krowa	Koza	Owca	Wielbłąd
Fosfolipidy [%]						
fosfatydylocholina		27,8	24,6	28,6	28,5	22,1
fosfatydyloseryna		10,6	7,28	5,2	8,3	10,5
fosfatydyloinozytol		8,5	7,28	4,4	6,3	4,9
fosfatydyloetanoloamina		23,4	36,58	34,4	31,7	34,3
sfingomielina		28,9	20,25	27,4	25,2	28,1
Kwasy tłuszczowe [%]						
Nasycone kwasy tłuszczowe	kwasy masłowy (C4:0)	0,2	1,4	2,2	3,5	0,1
	kwasy kapronowy (C6:0)	0,4	2,1	2,4	2,9	2,3
	kwasy kaprylowy (C8:0)	3,3	1,7	2,7	2,6	0,9
	kwasy kaprynowy (C10:0)	8,6	3,5	9,9	7,8	0,9
	kwasy laurynowy (C12:0)	9,3	3,9	4,9	4,4	1,5
	kwasy mirystynowy (C14:0)	8,5	12,6	9,8	10,4	9,8
	kwasy palmitynowy (C16:0)	23,8	29,5	28,2	25,9	25,6
	kwasy stearynowy (C18:0)	1,7	13,3	8,8	9,6	10,6
Nienasycone kwasy tłuszczowe	kwasy palmitoleinowy (C16:1)	6,1	1,7	1,6	1,0	9,3
	kwasy oleinowy (C18:1)	19,1	26,3	19,3	21,1	24,6
	kwasy linolowy (C18:2)	9,6	6,4	3,2	3,2	1,4
	kwasy α-linolenowy (C18:3)	9,4	1,1	0,4	0,8	1,5

conych kwasów tłuszczowych (tab. 2). Mleko kłaczy cechuje się większą zawartością kwasów tłuszczowych o średniej długości łańcuchów (C₈, C₁₀, C₁₂) w porównaniu do pozostałych omawianych zwierząt hodowlanych. W organizmie żrebięcia te średniołańcuchowe kwasy tłuszczowe wykorzystywane są w całości jako substrat energetyczny i nie odkładają się jako substancje zapasowe [69].

Mleko kłaczy charakteryzuje się większą ilością wolnych kwasów tłuszczowych (ang. free fatty acid, FFA), które stanowią 9,4% wszystkich tłuszczów mleka, w porównaniu do mleka krowiego, w którym FFA występuje w śladowych ilościach [38].

Źródłem kwasów tłuszczowych w mleku jest między innymi pasza. W żwaczu przeżuwaczy dostarczone z pokarmem nienasycone kwasy tłuszczowe (m.in. kwasy linolowy) ulegają biohydrogenacji do nasyconych kwasów tłuszczowych. Podczas przemiany nienasyconych kwasów tłuszczowych o osiemnastu atomach węgla powstaje między innymi kwas stearynowy oraz produkt pośredni – sprzężony izomer kwasu linolowego (ang. conjugated linoleic acid, CLA). Stąd stężenie CLA w mleku omawianych przeżuwaczy: krowy (0,2-2,4%), kozy (0,3-2,1%),

owcy (0,6-1,1%) i wielbłąda (0,4%) jest dużo większe niż w mleku kłaczy (0,09%) [7, 9, 21]. Natomiast u ssaków monogastrycznych synteza na drodze fermentacji mikrobiologicznej krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (ang. short-chain fatty acids, SCFA), takich jak octan, propionian i maślan, ma miejsce w jelicie grubym. Krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe są wykorzystywane jako substrat syntezy cholesterolu i długołańcuchowych kwasów tłuszczowych (ang. Long-chain fatty acid, LCFA) [22].

Węglowodany

Głównym źródłem węglowodanów dla noworodków jest laktoza. Największe stężenie laktozy obserwuje się w mleku kłaczy (64g/kg mleka), mniejsze w mleku owcy (50g/kg mleka) i krowy (49g/kg mleka), a najmniejsze w mleku wielbłąda (43g/kg mleka) i kozy (41g/kg mleka) [9, 57]. Laktoza jest jedynym źródłem galaktozy. Ten cukier prosty wspomaga zasiedlanie przewodu pokarmowego przez bakterie fermentacji mlekowej, korzystnie wpływając na procesy żołądkowo-jelitowe, stany zapalne oraz pełni funkcję ochronną w układzie pokarmowym oseska przed infekcjami bakteryjnymi i wirusowymi [9, 14, 52, 57].

Ponadto, w mleku kłaczy na powierzchni kuleczek tłuszczowych obecne są rozgałęzione struktury oligosacharydowe. Spowalniają one proces pasażu tłuszczów w jelicie, wydłużając tym samym czas działania na nie soli żółciowych i lipaz. Oligosacharydy przeciwdziałają również infekcjom bakteryjnym, a także wspomagają prawidłowy wzrost i aktywność bifidobakterii zasiedlających przewód pokarmowy osesków [52, 57].

Witaminy i sole mineralne

Za prawidłowy rozwój osesków odpowiedzialne są nie tylko substancje odżywcze mleka, ale również związki regulujące procesy wzrostu i dojrzewania noworodków. Do związków tych należą między innymi witaminy, które są niezbędne w utrzymaniu metabolizmu komórkowego. Mleko jest również głównym źródłem soli mineralnych i elektrolitów dla noworodka. Podstawową funkcją soli mineralnych jest wspomaganie prawidłowego rozwoju organizmu oseska, natomiast elektrolity utrzymują optymalną objętość płynów ustrojowych i prawidłowe przewodzenie impulsów nerwowych [9, 57].

Zawartość witamin i soli mineralnych w mleku zwierząt gospodarskich jest cechą gatunkową i osobniczą, wynikającą z możliwości wchłaniania tych związków z przewodu pokarmowego (tab. 3). Zawartość soli mineralnych w mleku zależy również od zawartości innych składników mleka (laktozy, CLA, witaminy D, kazeiny), z którymi wiążą się sole mineralne [9, 57].

Najwięcej w mleku kłaczy oraz omawianych przeżuwaczy jest witaminy C (tab. 3). W mleku kłaczy koncentracja witamin z grupy B jest niższa w porównaniu do mleka omawianych w pracy przeżuwaczy. Ponadto koncentracja tych witamin w mleku kłaczy nie wykazuje tak dużych różnic osobniczych, jak w mleku pozostałych omawianych ssaków.

Tabela 3
Koncentracja witamin i składników mineralnych w mleku kłaczy i wybranych przeżuwaczy [2, 3, 9, 28, 40, 43, 52, 53, 57, 58, 64, 67]

	Klacz	Krowa	Koza	Owca	Wielbłąd
Witaminy [µg/100ml]					
Tiamina (B ₁)	20-40	28-90	40-68	28-80	10-60
Ryboflawina (B ₂)	10-37	116-202	110-210	160-429	42-168
Niacyna (B ₃)	70-140	50-120	187-370	300-500	400-770
Kwas pantotenowy (B ₅)	277-300	260-490	310	350-408	88-368
Pirodyksyna (B ₆)	30	30-70	7-48	27-80	50-55
Kwas foliowy (B ₉)	0,13	1-18	0,24-1	0,24-5,6	0,4
Kobalamina (B ₁₂)	0,3	0,27-0,7	0,3-0,71	0,06-0,07	0,2
Kwas askorbinowy (C)	1287-8100	300-2300	900-1500	425-6000	2400-18400
Witamina A	9,3-34	17-50	50-68	41-50	5-97
Witamina D ₃	0,32	0,3	0,25	0,18-1,18	0,3-1,6
Witamina E	26-113	20-184	40	110	21-150
Witamina K ₂	2,9	1,1-3,2	-	-	-
β-karoten	16,6-59,9	16,6-38	-	-	śladowe
Składniki mineralne [mg/100 ml]					
Ca	93	118	134	193	109
Mg	8	10	16	18	14
P	71	89	121	158	76
Fe	0,09	0,07	0,07	0,08	0,21
Zn	0,37	0,43	0,56	0,57	0,19
Cu	0,07	0,05	0,05	0,04	0,19
Na	47	42	41	44	58
K	56	135	181	136	179
Cl	19	110	150	160	132

U wszystkich omawianych gatunków ssaków witaminy rozpuszczalne w tłuszczach wykazują duże wahania osobnicze. Mleko kłaczy charakteryzuje się najniższą koncentracją witaminy A i najwyższą koncentracją β-karotenu. W mleku wielbłądzim β-karoten występuje w śladowych ilościach, a w mleku kozim i owczym nie wykazano jego obecności.

W porównaniu z wybranymi gatunkami zwierząt przeżuwających mleko kłaczy zawiera najmniej wapnia, magnezu, fosforu, potasu i chlorków (tab. 3). Natomiast stężenia żelaza, cynku, miedzi i sodu w mleku kłaczy mają wartości zbliżone do średnich wartości tych składników mineralnych w mleku pozostałych omawianych ssaków.

Podsumowanie

Skład siary i mleka ssaków jest cechą gatunkową i dostosowany jest do potrzeb rozwijającego się noworodka. Zawartość poszczególnych składników mleka zależy od okresu laktacji, systemu utrzymania, żywienia oraz stanu fizjologicznego samicy. Podstawową funkcją wydzieliny gruczołu mlekowego jest dostarczenie oseskom niezbędnych składników odżywczych oraz substancji pełniących funkcje regulacyjne.

Wszystkie składowe mleka kłaczy mają za zadanie zapewnić prawidłowy rozwój i dojrzewanie źrebęcia. Siara kłaczy bogata jest w immunoglobulinę M odpowiedzialną za pierwotną odpowiedź immunologiczną noworodka wywołaną jego ekspozycją na patogeny i immunogeny środowiska. Ponadto, mleko tego gatunku charakteryzuje się wysoką koncentracją laktoferyny i lizozymu. Zarówno IgM oraz wymienione enzymy uczestniczą w ochronie organizmu źrebęcia przed bakteriami, wirusami i grzybami. Ponadto mleko kłaczy bogate jest w β-kazeinę i laktozę. β-kazeina stanowi źródło aminokwasów, natomiast laktoza dostarcza rozwijającemu się oseskowi węglowodanów, zaspokajając jego potrzeby energetyczne.

Literatura: 1. Anderson S.M., Rudolph M.C., McManaman J.L., Neville M.C., 2007 – Secretory activation in the mammary gland: it's not just about milk protein synthesis!

- Breast Cancer Research, 9, 1, 1-14. **2. Balthazar C.F., Pimentel T.C., Ferrao L.L., Almada C.N., Santillo A., Albenzio M., Mollakhalili N., Mortazavian A.M., Nascimento J.S., Silva M.C., Freitas M.Q., Sant'Ana A.S., Granato D., Cruz A.G.**, 2017 – Sheep Milk: Physicochemical Characteristics and Relevance for Functional Food Development. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 2, 247-262. **3. Barłowska J., Sz wajkowska M., Litwińczuk Z., Król J.**, 2011 – Nutritional Value and Technological Suitability of Milk from Various Animal Species Used for Dairy Production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10, 6, 291-302. **4. Bernecka H., Daszkiewicz D., Peter E., Mistrzak M.**, 2017 – Analiza użytkowości kóz na podstawie wybranych gospodarstw. *Przegląd Hodowlany*, 5, 20-23. **5. Bonizzi I., Buffoni J.N., Feligini M.**, 2009 – Quantification of bovine casein fractions by direct chromatographic analysis of milk. Approaching the application to a real production context. *Journal of Chromatography A*, 1216, 1, 165-168. **6. Chavatte-Palmer P.**, 2002 – Lactation in the mare. *Equine Veterinary Education*, 14, 5, 88-93. **7. Cieślak A., Potkański A., Szumacher-Strabel M., Janicki M., Nowakowska A., Nowacka M., Szymankiewicz E.**, 2005 – Biouwodowanie nienasyconych kwasów tłuszczowych pochodzących z pasz z dodatkiem olejów roślinnych w warunkach *in vitro*. *Rośliny Oleiste*, 26, 519-526. **8. Cieślak J., Wodas Ł., Borowska A., Pawlak P., Czyżak-Runowska G., Wójtowski J., Puppel K., Kuczyńska B., Maćkowski M.**, 2018 – 5'-flanking variants of equine casein genes (CSN1S1, CSN1S2, CSN2, CSN3) and their relationship with gene expression and milk composition. *Animal Genetics*, 60, 1, 71-78. **9. Claves W.L., Varraes C., Cardoen S., De Block J., Huyghebaert A., Raes K.**, 2014 – Consumption of raw or heated milk from different species: an evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*, 42, 188-201. **10. Contarini G., Povoło M.**, 2013 – Phospholipids in Milk Fat: Composition, Biological and Technological Significance, and Analytical Strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 2, 2808-2831. **11. Czyż K., Seghir N.M., Patkowska-Sokoła B., Szulc T., Dobrzański Z., Bodkowski R.**, 2014 – Biologiczne i technologiczne cechy mleka wielbłądźiego. *Przegląd Hodowlany*, 6, 18-20. **12. Danków R., Pikul J., Osten-Sacken N., Teichert J.**, 2012 – Charakterystyka i właściwości prozdrowotne mleka kłaczy. *Nauka Przyroda Technologie*, 6, 2, 1-12. **13. Devle H., Vetti I., Naess-Andressen C.F., Rukke E.O., Vegarud G., Ekeberg D.**, 2012 – A comparative study of fatty acid profiles in ruminant and nonruminant milk. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 144, 9, 1036-1043. **14. Dolińska B., Mikulska A., Ryszka F.**, 2009 – Promotory wchłaniania wapnia. *Annales Academiae Medicae Silesiensis*, 63, 1, 76-83. **15. Doreau M., Martuzzi F.**, 2006 – Fat content and composition of mare's milk. [w:] *Nutrition and Feeding of the Broodmare* (red. N. Maraglia, W. Martin-Rosset), EAAP publication, Compobasso, 77-87 (ISBN: 978-90-8686-014-2). **16. Egito A.S., Girardet J.M., Miclo L., Molle D., Humbert G., Gaillard J.L.**, 2001 – Susceptibility of equine κ - and β -caseins to hydrolysis by chymosin. *International Dairy Journal*, 11, 11/12, 885-893. **17. El-Hatmi H., Girardet J.M., Gaillard J.L., Yahyaoui M.H., Attia H.**, 2007 – Characterisation of whey proteins of camel (*Camelus dromedarius*) milk and colostrum. *Small Ruminant Research*, 20, 2/3, 267-271. **18. El-Loly M.M.**, 2007 – Bovine Milk Immunoglobulins in Relation to Human Health. *International Journal of Dairy Science*, 2, 3, 183-195. **19. Ereifej K.I., Alu'datt M.H., AlKhalidy H.A., Ali I., Rababah T.**, 2011 – Comparison and characterization of fat and protein composition for camel milk from eight Jordanian location. *Food Chemistry*, 127, 1, 282-289. **20. Farrell Jr. H.M., Malin E.L., Brown E.M., Qi P.X.**, 2006 – Casein micelle structure: What can be learned from milk synthesis and structural biology? *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 11, 2, 135-147. **21. Gantner V., Mijić P., Baban M., Skrtić Z., Turalija A.**, 2015 – The overall and fat composition of milk of various species. *Mljekarstvo*, 65, 4, 223-231. **22. Ghonimy A., Zhang D.M., Farouk M.H., Wang Q.**, 2018 – The Impact of Carnitine on Dietary Fiber and Gut Bacteria Metabolism and Their Mutual Interaction in Monogastrics. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 4, 1-11. **23. Gidding S.S., Dennison B.A., Birch L.L., Daniels S.R., Gilman M.W., Lichtenstein A.H.**, 2006 – Dietary recommendation for children and adolescents: a guide for practitioners. *Journal of Pediatrics*, 117, 2, 544-559. **24. Guliński P.**, 2006 – Immunoglobuliny – istotny składnik siary krów. *Bydło*, 5, 18-20. **25. Ha M., Bekhit A. El-Din, McConnell M., Mason S., Carne A.**, 2014 – Fractionation of whey proteins from red deer (*Cervus elaphus*) milk and comparison with whey proteins from cow, sheep and goat milks. *Small Ruminant Research*, 120, 1, 125-134. **26. Hamed H., Trujillo A.J., Juan B., Guamis B., Elfeki A., Gargouri A.**, 2012 – Interrelationships between somatic cell counts, lactation stage and lactation number and their influence on plasmin activity and protein fraction distribution in dromedary (*Camelus dromedaries*) and cow milks. *Small Ruminant Research*, 105, 1/3, 300-307. **27. Hurley W.L., Theil P.K.**, 2011 – Perspectives on Immunoglobulins in Colostrum and Milk. *Nutrients*, 3, 4, 442-474. **28. Jastrzębska E., Wadas E., Daszkiewicz T., Pietrzak-Fiećko R.**, 2017 – Nutritional Value and Health-Promoting Properties of Mare's Milk – a Review. *Czech Journal of Animal Science*, 62, 12, 511-518. **29. Jensen R.G.**, 2002 – The Composition of Bovine Milk Lipids: January 1995 to December 2000. *Journal of Dairy Science*, 85, 2, 292-350. **30. Kański J.**, 2017 – Podstawowe zagadnienia żywienia kóz. *Wiadomości Zootechniczne*, 55, 2, 83-91. **31. Kenzig A.R.**, 2009 – Colostral, Milk, and Serum Immunoglobulin G Concentrations in Quarter Horse Mares and their Foals from Birth to Weaning. *Journal of Equine Veterinary Science*, 29, 5, 486-487. **32. Kohn C.W., Knight D., Hueston W., Jacobs R., Reed S.M.**, 1989 – Colostral and serum IgG, IgA, and IgM concentrations in Standardbred mares and their foals at parturition. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 195, 1, 64-68. **33. Kowalska D., Gruczyńska E., Bryś J.**, 2015 – Mleko matki – pierwsza żywność w życiu człowieka. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 96, 2, 387-398. **34. Król J., Brodziak A., Litwińczuk A.**, 2011 – Podstawowy skład chemiczny i zawartość wybranych białek serwatkowych w mleku krów różnych ras i w serwatce podpuszczkowej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4, 77, 74-83. **35. Król J., Brodziak A.**, 2015 – Białka mleka o właściwościach antybakteryjnych. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 96, 2, 399-405. **36. Król J., Litwińczuk A., Zarajczyk A., Litwińczuk Z.**, 2008 – Alfa-laktalbumina i beta-laktoglobulina jako związki biologicznie czynne frakcji białkowej mleka. *Medycyna Weterynaryjna*, 64, 12, 1375-1378. **37. Kuźnicka E., Grondkowska A.**, 2017 – Baktrian (*Camelus bactrianus*) i dromader (*Camelus dromedarius*) – różne formy użytkowania. *Wiadomości Zootechniczne*, 52, 1, 82-91. **38. Malacarne M., Martuzzi F., Summer A., Mariani P.**, 2002 – Protein and fat composition of mare's milk: some nutritional remarks with reference to human and cow's milk. *International Dairy Journal*, 12, 11, 869-877. **39. Markiewicz-Kęszycka M., Wójtowski J., Czyżak-Runowska G., Kuczyńska B., Puppel K., Krzyżewski J., Strzałkowska N., Jóźwik A., Bagnicka E.**, 2014 – Concentration of selected fatty acids, fat-soluble vitamins and β -carotene in late lactation mares' milk. *International Dairy Journal*, 38, 31-36. **40. Markiewicz-Kęszycka M., Wójtowski J., Kuczyńska B., Puppel K., Czyżak-Runowska G.**

- Bagnicka E., Strzałkowska N., Jóźwik A., Krzyżewski J., 2013 – Chemical composition and whey protein fraction of late lactation mare's milk. *International Dairy Journal*, 31, 2, 62-64.
41. McManaman J.L., Neville M.C., 2003 – Mammary physiology and milk secretion. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 55, 5, 629-641.
42. Medhama E., Wijesinha-Bettoni R., Stadlmayr B., Nilsson E., Charrondiere U.R., Burlingame B., 2012 – Composition of milk from minor dairy animals and buffalo breeds: a biodiversity perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 3, 445-474.
43. Ménard O., Ahmad S., Rousseau F., Briard-Bion V., Gaucheron F., Lopez C., 2010 – Buffalo vs. cow milk fat globules: Size distribution, zeta-potential, compositions in total fatty acid and in polar lipids from the milk fat globule membrane. *Food Chemistry*, 120, 2, 544-551.
44. Mills S., Ross R.P., Hill C., Fitzgerald G.F., Stanton C., 2011 – Milk intelligence: Mining milk for bioactive substances associated with human health. *International Dairy Journal*, 21, 6, 377-401.
45. Mirowski A., Didkowska A., 2014 – Siara i mleko kłaczy. Część I. Siara – skład chemiczny i znaczenie w żywieniu źrebiąt. *Życie Weterynaryjne*, 89, 12, 1007-1009.
46. Mirowski A., Didkowska A., 2015 – Siara i mleko kłaczy. Część II. Mleko – skład chemiczny i znaczenie w żywieniu źrebiąt. *Życie Weterynaryjne*, 90, 1, 38-40.
47. Moatsou G., Moschopoulou E., Mollé D., Gagnaire V., Kandarakis I., Léonil J., 2008 – Comparative study of the protein fraction of goat milk from the Indigenous Greek breed and from international breeds. *Food Chemistry*, 106, 2, 509-520.
48. Molik E., Błasiak M., Nahajło K., 2018 – Walory prozdrowotne mleka owczego i czynniki wpływające na zawartość w nim aktywnych związków. *Przegląd Hodowlany*, 2, 16-19.
49. Nudda A., Feligini M., Battacane G., Macciotta N.P., Pulina G., 2003 – Effects of lactation stage, parity, β -lactoglobulin genotype and milk SCC on whey protein composition in Sarda dairy ewes. *Italian Journal of Animal Science*, 2, 29-39.
50. Olechnowicz J., Sobek Z., 2007 – Poziom produkcji i podstawowy skład mleka owcy mlecznej 05. *Medycyna Weterynaryjna*, 63, 12, 1595-1599.
51. Park Y.W., Juarez M., Ramos M., Haenlein G.F.W., 2007 – Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68, 1/2, 88-113.
52. Pastuszka R., Barłowska J., Litwińczuk Z., 2015 – Walory odżywcze i prozdrowotne mleka koziego. *Medycyna Weterynaryjna*, 71, 8, 480-485.
53. Pastuszka R., Barłowska J., Litwińczuk Z., 2016 – Alergenność mleka różnych gatunków zwierząt w porównaniu do kobiecego. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 70, 1451-1459.
54. Peterson S.W., Prichard C., 2015 – The sheep dairy industry in New Zealand: a review. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 75, 119-126.
55. Phadungath Ch., 2005 – Casein micelle structure: a concise review. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 27, 1, 201-212.
56. Pieszka M., Łuczyński J., Zamachowska M., Augustyn R., Długosz B., Hędrzak M., 2016 – Is mare milk an appropriate food for people? – A review. *Annals of Animal Science*, 16, 1, 33-51.
57. Potočník K., Gantner V., Kuterovac K., Cividini A., 2011 – Mare's milk: composition and protein fraction in comparison with different milk species. *Mlékárstvo*, 61, 2, 107-113.
58. Puppel K., Gołębiowski M., Grodkowski G., Ślósarz J., Kunowska-Słósarz M., Solarczyk P., Łukasiewicz M., Balcerak M., Przysucha T., 2019 – Composition and Factors Affecting Quality of Bovine Colostrum: A Review. *Animals*, 9, 12, 1-14.
59. Qinghai S., Xinping F., 2009 – Bioactive components in Mare Milk. [w:] *Bioactive Components in Milk and Dairy Products* (red. Y.W. Park, Wiley-Blackwell), Iowa 195-213 (ISBN: 978-0-813-81982-2).
60. Rodríguez-Alcalá L.M., Fontecha J., 2010 – Major lipids classes separation of buttermilk, and cows, goats and ewes milk by high performance liquid chromatography with an evaporative light scattering detector focused on the phospholipid fraction. *Journal of Chromatography A*, 1217, 18, 3063-3066.
61. Sanchez Macias D., Moreno-Indias I., Castro N., Morales-de la Nuez A., Aguelo A., 2014 – From goat colostrums to milk: Physical, chemical, and immune evolution from partum to 90 days postpartum. *Journal of Dairy Science*, 97, 1, 10-16.
62. Schroeder Jr. H.W., Cavacini L., 2010 – Structure and function of immunoglobulins. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125, 2, 41-52.
63. Shamsia S.M., 2009 – Nutritional and therapeutic properties of camel and human milks. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*, 1, 2, 52-58.
64. Shawki A., El-Baky N.A., Ahmed M., Linjawi M.H., Al-Jaddawi A.A., Redwan E.M., 2017 – Simple Protocol for immunoglobulin G Purification from Camel "*Camelus dromedarius*" Serum. *Open Life Sciences*, 12, 1, 143-155.
65. Sheenan D.B., Peaker M., 2000 – Transport of milk Constituents by the Mammary Gland. *Physiological Reviews*, 80, 3, 925-951.
66. Stahl T., Sallamann H.P., Duehlmeier R., Wernery U., 2006 – Selected vitamins and fatty acid patterns in dromedary milk and colostrums. *Journal of Camel Practice and Research*, 13, 1, 53-57.
67. Szarkowski K., Sablik P., Lachowski W., 2009 – Żywnienie krów wysokomlecznych a poziom mocznika w mleku. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 8, 3, 39-46.
68. Szewczyk A., Hanczakowska E., 2010 – Właściwości i zastosowanie średniołańcuchowych kwasów tłuszczowych (MCFA) i ich monogliceroili (MCM). *Wiadomości Zootechniczne*, 48, 1, 21-26.
69. Szwedziak K., Bylicki P., 2015 – Zawartość białka i tłuszczu w mleku przy zastosowaniu wody zdeklastrowanej do pojenia krów mlecznych. *Problematyka Rolno-Żywnościowa*, 2, 145-150.
70. Verado V., Gomez-Caravaca A.M., Arraez-Roman D., Hettinga K., 2017 – Recent Advances in Phospholipids from Colostrum, Milk and Dairy By-Products. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 1, 1-23.
71. Winnicki S., Jugowar J.L., Kujawiak R., Sobek Z., Różańska-Zawieja J., Nienartowicz-Zdrojewska A., 2016 – Separat gnojowicy bydłowej jako alternatywa ściółki dla krów mlecznych. *Przegląd Hodowlany*, 5, 23-27.
72. Witkowski M., Max A., Giziński S., Zajac S., 2005 – Status immunologiczny źrebięcia. *Życie Weterynaryjne*, 80, 2, 110-112.
73. Wodas Ł., Maćkowski M., Borowska A., Pawlak P., Puppel K., Kuczyńska B., Czyżak-Runowska G., Wójtowski J., Cieślak J., 2018 – 5'-flanking variants of the equine α -lactalbumin (LALBA) gene – relationship with gene expression and mare's milk composition. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 27, 4, 317-326.
74. Wodas Ł., Maćkowski M., Borowska A., Puppel K., Kuczyńska B., Cieślak J., 2020 – Genes encoding equine β -lactoglobulin (LGB1 and LGB2): Polymorphism, expression, and impact on milk composition. *PLoS ONE* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232066>.
75. Włodarczyk-Szydlowska A., Gniadzowski A., Gniadzowski M., Nowacki W., 2005 – Laktacja kłaczy oraz behawioryzm źrebięcia. *Życie Weterynaryjne*, 80, 9, 548-551.
76. Włodarczyk-Szydlowska A., Nowacki W., Wierzbicki H., 2005 – Wpływ wybranych czynników na jakość siary kłaczy i poziom immunoglobulin siarowych u źrebiąt. *Medycyna Weterynaryjna*, 61, 8, 923-926.
77. Zhao D., Bai Y., Niu Y., 2015 – Composition and characteristics of Chinese Bactrian camel milk. *Small Ruminant Research*, 127, 58-67.
78. Zhao F.Q., 2014 – Biology of Glucose Transport in the Mammary Gland. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 19, 1, 3-17.