

Glicerol – zastosowanie w profilaktyce i żywieniu przeżuwaczy

JERZY PREŚ, RAFAŁ BODARSKI, JÓZEF NICPOŃ*,
JANUSZ ORDA, ROBERT KUPCZYŃSKI**

Katedra Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa, **Katedra Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt
Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt UP, ul. J. Chełmońskiego 38C, 51-630 Wrocław

*Katedra Chorób Wewnętrznych z Kliniką Koni, Psów i Kotów Wydziału Medycyny Weterynaryjnej UP,
pl. Grunwaldzki 47, 50-366 Wrocław

Preś J., Bodarski R., Nicpoń J., Orda J., Kupczyński R.

Glycerol – its application in the prophylaxis and nutrition of ruminants

Summary

Glycerol can be an efficient glucogenic substrate, if it is absorbed directly from the rumen. In that case its advantage consists in entering the neoglucogenic pathway as phosphate triose, without entering the Krebs cycle. A cow in negative energy balance activates this extra pathway, using glycerol obtained by the hydrolysis of triglycerides. This way of absorbing glycerol is superior to its fermentation in the rumen to propionates and butyrates because of the ketogenic nature of butyrates. Unfortunately, the greater part of glycerol is fermented in the rumen. The only organ where glycerol is transformed into glucose is the liver. In other organs gluconeogenesis does not occur owing to lack of an appropriate enzyme. An effective method of protecting cows against ketosis is using combinations of glycerol, propylene glycol and propionate in a drenching form. Glucogenic substrates from this mixture are metabolized on all pathways of gluconeogenesis. In all animal species glycerol can be a good energy source, comparable with corn starch. The only disadvantage of glycerol obtained in the process of biodiesel production is its potential contamination with methanol.

Keywords: glycerol, ketosis prevention, dairy cows

Glicerol jest płynną, lepka, bezbarwną i bezwoną substancją o słodkim smaku. Synonimicznymi nazwami tego związku są: gliceryna, propano-1,2,3-triol, 1,2,3-propanetriol, 1,2,3-trihydroksypropan, glicetriol i alkohol glicylowy. Ze względu na właściwości nawilżające, koncentrację energii oraz dużą rozpuszczalność w wodzie glicerol od dawna jest szeroko wykorzystywany w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym. Obserwowany w ostatnich latach gwałtowny wzrost produkcji biodiesla spowodował zwiększenie na rynku ilości gliceryny jako produktu ubocznego estryfikacji metanolem kwasów tłuszczowych pochodzących z triglicerydów olejów roślinnych (głównie sojowego i rzepakowego). Na każdy litr biodiesla uzyskuje się 79 g tzw. surowego glicerolu o średniej czystości 87% (od 75% do 90%). O skali podaży glicerolu świadczyć mogą dane z USA, gdzie w 2008 r. jego produkcja wyniosła ponad 200 tysięcy ton (ponad 2,6 mld litrów biodiesla) (http://abqbiofuel.com.p4.hostingprod.com/using_biodiesel). Wraz ze wzrostem ilości dostępnej gliceryny jej cena wyraźnie spadła, co skłania wielu hodowców do stosowania tego produktu w żywieniu

zwierząt (6). Trzeba jednak pamiętać, że niezależnie od relacji ekonomicznych ten sposób zagospodarowania glicerolu u przeżuwaczy, w tym u krów mlecznych, jest ograniczony przez pewne czynniki natury fizjologiczno-żywnieniowej.

Metabolizm glicerolu w organizmie krowy

Niedobór energii lub/i spadek pobrania paszy w okresie okołoporodowym powoduje wzrost lipolizy tłuszczu zapasowego i uwalnianie wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) do krwi. Nadmierny wzrost stężenia WKT w surowicy krwi powoduje akumulację triglicerydów w wątrobie oraz znaczny wzrost produkcji związków ketonowych (28). Redukcja pobrania suchej masy w ostatnim tygodniu przed wycieleniem może wynieść nawet 30% w porównaniu do okresu zasuszenia właściwego (1, 11). Pobranie suchej masy paszy w okresie okołoporodowym jest także znacznie mniejsze u krów wykazujących ponadnormatywną kondycję przed porodem.

Prawidłowo wzrost poziomu WKT w surowicy krwi następuje bezpośrednio przed porodem (ok. tygodnia),

uzyskując szczyt 3-5 dni po porodzie, zaś powrót do niskiej ich koncentracji przypada na około 14.-21. dzień po porodzie. Dodatkowo, na początku laktacji osiągnięcie szczytu wydajności mleka następuje szybciej niż maksymalne możliwości pobrania paszy (24). Dodatek do dawki pokarmowej prekursorów glukogenicznych może ograniczyć deficyt energii lub skrócić czas jego trwania, działając jednocześnie antylipolitycznie i antyketogennie.

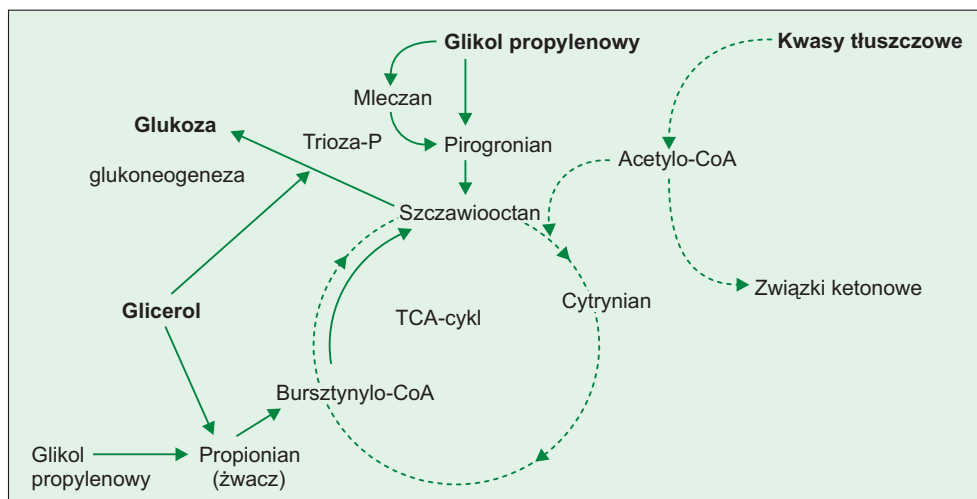
Krowy o wydajności 30 kg mleka pobierają ok. 100 g glicerolu pochodzącego z wchłoniętych triglicerydów. Uwalnianie glicerolu w organizmie następuje dwiema drogami: podczas hydrolizy lipoprotein we krwi oraz podczas lipolizy tłuszczu zapasowego. Wykorzystanie glicerolu ma miejsce tylko w dwóch narządach – w wątrobie i gruczole mlekowym. Natomiast w mięśniach, w których przy wykorzystaniu tłuszczu do procesów oksydacyjnych uwalniane jest około 120 g glicerolu na dzień, nie może być on zużyty, ponieważ brakuje czynnika aktywującego – kinazy glicerolowej (17).

Glicerol w wątrobie włączany jest w proces glukoneogenezy, do cyklu kwasów trikarboksylowych (produkcja energii) i do syntezy tłuszczów (ok. 10% całości tłuszczu). W badaniach na owcach wykazano, że cała ilość glicerolu dopływająca do wątroby jest tam metabolizowana (7). W gruczole mlekowym nieduża ilość glicerolu włączana jest do syntezy tłuszczu mleka (ok. 5%). Według Lomaxa i Bairda (19), udział w glukoneogenezie poszczególnych substratów w wątrobie krowy jest następujący: propioniany 46%, mlecza 16%, glicerol 0,8%, pirogronian 0,6%, cztery podstawowe aminokwasy glukogenne 8,6%¹⁾. Brakujące 28% przypisuje się głównie innym aminokwasom, ale w części również glicerolowi. W wątrobie dziennie metabolizowane jest ok. 100 g, a w gruczole mlekowym – ok. 20-30 g glicerolu.

Glicerol i glikol propylenowy – podobieństwa i różnice przy stosowaniu u krów

Przemiany glikolu propylenowego (1,2-propandiol) są częściowo podobne do przemian glicerolu – ryc. 1. W badaniach *in vitro* przy dodaniu glikolu propylenowego stwierdzono, iż duża jego część była metabolizowana na poziomie żwacza i wątroby. Po dodaniu glicerolu ok. 80% uległa przemianom. Produkty końcowe uzyskane po inkubacji to – w kolejności wielkości udziału w sumie lotnych kwasów tłuszczowych (LKT): octany, propioniany, maślany, waleriany i kaprylany. Bakteriami zwa-

¹⁾ Aminokwasami glukogenicznymi są te, które mogą być substratami w szlaku glukoneogenezy, odpowiedzialnym za syntezę glukozy z niecukrowych prekursorów. Należą do nich: glicyna, alanina, walina, seryna, cysteina, metionina, treonina, asparaginan, glutaminian, histydyna, arginina i prolina.



Ryc. 1. Schemat przemian w wątrobie glicerolu i glikolu propylenowego

czowymi wykorzystującymi glicerol są *Selenomonas uvinantium* i *Anaerovibrio lipolytica*. Przy dodaniu glikolu propylenowego wzrasta silnie udział w sumie LKT kwasu propionowego, a maleje kwasu masłowego. Jednocześnie emitowane są gazy zawierające siarkę (1-propanetriol, 1-metylotiopropanol, dipropyl, disulfid, tripropyltrisulfid i inne). Gazy te mogą doprowadzić do zatrucia w wyniku toksycznego działania na organizm bydła, jeśli ich ilości będą wysokie. Z tego powodu w UE ograniczono do 250 g/dzień ilość dodatku glikolu propylenowego.

Odpowiedź metaboliczna na podanie glikolu propylenowego opiera się na mechanizmie powodującym wzrost stężenia glukozy i insuliny oraz spadku zawartości WKT i związków ketonowych we krwi. Zwiększona produkcja glukozy pobudza wydzielanie insuliny, która zmniejsza uruchamianie wolnych kwasów tłuszczowych, które są substratem dla wątrobowej ketogenezy (ryc. 1). Jednocześnie wzrost poziomu insuliny powoduje zwiększenie przepuszczalności błony komórkowej dla glukozy. Według Grummera (10), glikol propylenowy jest najlepszym środkiem zarówno przy zapobieganiu, jak i leczeniu ketozy. Jego podanie w postaci drenchu²⁾ (1 l) przez 10 dni przed porodem zwiększa poziom glukozy i insuliny, i redukuje ilość lipidów w wątrobie oraz poziom wolnych kwasów tłuszczowych we krwi po ocieleniu.

Glicerol podawany krowom ulega szybkiej fermentacji w żwaczu, zwiększając udział kwasu propionowego i masłowego w stosunku do kwasu octowego (6). Kristensen i Raun (15) przy podawaniu dużej ilości glicerolu (ok. 900 g/d) do żwacza stwierdzili, iż tylko 10% tego związku znajdowano w żyłce bramnej (*vena porta*) przed wątrobą, a reszta docierała do wątroby w postaci LKT. W badaniach Kijory i wsp. (14) 85% podanego wołcom glicerolu zniknęło w żwaczu już po 2 godzinach w wyniku fermentacji. Nie znaleziono śladów glicerolu w treści dwunastnicy. Wykorzystanie glicerolu w procesie glukoneogenezy następuje więc głównie poprzez kwas propionowy, a kwas masłowy włączany jest

²⁾ Duża dawka płynu podawana zwierzęciu przez wlewanie doustne.

Tab. 1. Charakterystyka fermentacji w żwaczu krów, którym podawano 800 g glicerolu dziennie, wg Linkego i wsp. (18)

LKT	Kontrola	Z paszą	Wlewka	Tuba	P
Octowy %mol	53,3	44,9	44,6	43,0	0,05
Propionowy %mol	26,4	28,7	30,4	30,4	0,05
Masłowy %mol	14,1	20,0	20,3	21,5	0,05

do syntezy octanów i kwasu betahydroksymasłowego (BHBA), co przedstawiono w tab. 1.

Nieco inaczej przebiegają przemiany glikolu propylenowego w żwaczu krów. Jak podają Nielsen i Ingwartzen (20), tylko ok. 35% podanego glikolu ulega w żwaczu fermentacji do kwasu octowego, propionowego i częściowo do masłowego. Natomiast ponad 60% dociera w niezmięnionej formie ze żwacza do wątroby i tam jest włączane w proces glukoneogenezy poprzez pirogroniany i mlecza. Absorpcja ze żwacza jest bardzo szybka i w związku z tym następuje szybki wzrost poziomu glukozy i insuliny we krwi. Duży wzrost insuliny (> 200%) oznacza wzrost poziomu glukozy we krwi, ale jednocześnie hamuje lipolizę tłuszczu zapasowego. Zmniejszają się więc poziomy WKT i BHBA we krwi i triglicerydów w wątrobie (działanie antyketogenne). Przy fermentacji glikolu w żwaczu udział kwasu propionowego i masłowego w sumie LKT jest wyraźnie niższy niż przy fermentacji glicerolu.

Podawanie glikolu w końcowym okresie zauszenia (1 litr dziennie przez 10 dni do porodu) redukuje zawartość triglicerydów w wątrobie o 32% 1. dnia i o 42% 21. dnia po porodzie (28). Potwierdzają to nowsze badania Picketta i wsp. (25), w których podawano doustnie 500 ml/sztukę glikolu przez pierwsze 3 dni po porodzie. W 7. dniu po porodzie stwierdzono o 44% mniejszą zawartość triglicerydów w wątrobie w porównaniu do grupy kontrolnej. Jednoczesne zastosowanie glikolu i tłuszczu chronionego po porodzie obniża odpowiedź metaboliczną na podanie glikolu (25). Tezę tę potwierdzają badania przeprowadzone na krowach w laktacji (8), w których podanie oleju rzepakowego poprzez infuzję do dwunastnicy nie obniżyło lipolizy tkanki tłuszczowej, czego dowodem był brak zmian w zakresie poziomu WKT i glicerolu we krwi.

Procesy przemian glicerolu i glikolu propylenowego są tylko w części podobne, bowiem występują spore różnice, w efekcie których skutki działania tych dodatków są inne. Glicerol należy traktować głównie jako źródło energii, a tylko dodatkowo jako czynnik wspomagający proces glukoneogenezy. Natomiast glikol propylenowy w 2/3 uczestniczy w procesach glukoneogenezy, a tylko 1/3 przeznaczona jest na pokrycie potrzeb energetycznych. Istnieją także różnice w wysokości maksymalnych dziennych dawek obu preparatów dodawanych do paszy dla krów. Prawo paszowe ogranicza dawki glikolu propylenowego do 200-250 g/dzień, gdyż stwierdzono przy wyższych ilościach objawy zatrucia, a dawka toksyczna (TD50) tego związku dla krowy o masie 600 kg wynosi 1,5 kg (20). Takich ograniczeń natomiast nie ma przy podawaniu glicerolu, choć stwierdzono, że duże ilości tego związku (5% w stosunku do

ilości płynu żwacza) wyraźnie negatywnie wpływają na rozwój i aktywność bakterii celulolitycznych (6). Glicerol z produkcji biodiesla może ponadto zawierać metanol w ilości od 1,3% do 26,7% (27). Chociaż wiadomo, że związek ten jest częściowo detoksykowany w żwaczu, niekiedy jego ilość w glicerolu jest nadmierna – według amerykańskiej Agencji ds. Żywności i Leków (FDA) stężenie metanolu wyższe od 150 ppm w dawce jest traktowane jako niebezpieczne dla zdrowia zwierząt (6). Można jednak przyjąć, że rozsądne dawki glikolu szybko fermentowanego w żwaczu przez bakterie mogą powodować lepsze wykorzystanie azotu i wzrost syntezy mikrobiologicznej. Oczywiście, należy pamiętać o dodaniu razem z glicerolem odpowiednich ilości białka i soli mineralnych.

Wartość odżywcza glicerolu dla przeżuwaczy

Badacze niemieccy (27) ustalili, iż zawartość energii netto w glicerolu wynosi 1,03-1,05 Mcal/funt suchej masy. Wartość ta odnosi się do krów mlecznych, bydła opasowego i owiec. Poziom energii ulega obniżeniu o 13% (do 0,90 Mcal/funt s.m.) przy dodawaniu glicerolu do dawek bogatych w skrobię w wyniku obniżenia strawności włókna neutralno detergentowego (NDF, ściany komórek). Na podstawie tych badań można uznać, iż wartość energetyczna czystego glicerolu odpowiada wartości ziarna kukurydzy. Stwierdzenia te zostały potwierdzone przez naukowców amerykańskich (5). Oczywiście, należy uwzględnić ponadto zawartość składników mineralnych w surowym glicerolu. Przy produkcji biodiesla z oleju sojowego glicerol surowy zawierał 2,73% popiołu, w tym 1,2% Na, 53 ppm P, 1 ppm Ca, 6,8 ppm Mg (używano NaOH jako katalizatora). W innych badaniach (27), w których szczegółowo oceniano skład glicerolu pochodzącego z produkcji biopaliwa z oleju rzepakowego, związek ten w formie surowej zawierał 2,3% K i 1,05% do 2,36% P (stosowano KOH jako katalizator).

Zastosowanie glicerolu u krów mlecznych w okresie okołoporodowym

Naukowcy amerykańscy próbowali stosować glicerol jako środek prewencyjny przeciw ketozie w tzw. okresie przejściowym. Podając 3 l płynnego glicerolu w postaci wlewu doustnego lub 1, 2 i 3 litry pompą do żwacza uzyskano wzrost poziomu glukozy we krwi od 16% do 25% w porównaniu do wartości wyjściowych (9). DeFrain i wsp. (4) podawali glicerol surowy krowom 14 dni a.p. i 21 dni p.p. w ilości 0,43 kg i 0,86 kg dziennie w dawce kompletnej (TMR). W badaniach tych nie stwierdzono wpływu dodatku na poziom glukozy, insuliny, WKT i BHBA przed i po ocieleniu. Pobranie paszy przed ocieleniem było nieco niższe, natomiast po ocieleniu podobne jak w grupie kontrolnej – bez dodatku glicerolu. Wydajność mleczna krów nie uległa dużej zmianie, choć obserwowano niewielkie jej obniżenie w grupie nie otrzymującej glicerolu. Naukowcy z Uniwersytetu Cornell (21) zastosowali glicerol jako krótkotrwałe wlewki doustne u krów po ocieleniu. 21 dni przed ocieleniem stosowano 80% preparat glicerolu

w ilości 5% suchej masy dawki. Po ocieleniu stosowano: grupa A – glicerol w dawce w ilości 3,3% w s.m. do 21. dnia, grupa B – glicerol w postaci wlewu doustnego 500 ml (625 g) raz dziennie przez pierwsze 5 dni po porodzie, grupa C – kombinacja sposobu z grupy A i B. Krowy otrzymujące glicerol przed ocieleniem pobierały 14,8 kg suchej masy, a w grupie kontrolnej tylko 13,2 kg. Podawanie glicerolu przed ocieleniem nie wpłynęło na poziom glukozy we krwi, stężenie WKT i BHBA oraz na zawartość w wątrobie triglicerydów i glikogenu. Dodatek glicerolu po ocieleniu spowodował zmniejszenie pobrania suchej masy w grupie A o 1 kg/d, a w grupie B o 1,5 kg. Glicerol podawany po ocieleniu z paszą (gr. A) nie wpłynął na ilość i skład mleka, wskaźniki biochemiczne we krwi, skład wątroby i wskaźniki kondycji BCS. Podawanie w postaci wlewów działało podobnie: krótkotrwały zabieg (5 dni po porodzie) wywołał wzrost poziomu glukozy i spadek ilości WKT w pierwszych 6 godzinach po podaniu glicerolu.

W badaniach Osmana i wsp. (23) glicerol podawany *per os* przez pierwsze 2 tygodnie po porodzie obniżył we krwi poziom glukagonu i WKT w 1., 7. i 13. dniu oraz BHBA w 1. dniu po porodzie. Intensywniejszy, korzystny wpływ na metabolizm miało łączne zastosowanie podskórnej iniekcji glukagonu i doustne podawanie glicerolu. Natomiast Osborne i wsp. (22), którzy dodawali w okresie okołoporodowym 20 g glicerolu na litr odpajanej wody, nie stwierdzili glukogennego wpływu tego zabiegu ani obniżenia koncentracji WKT i BHBA we krwi. Z kolei Chung i wsp. (3), podając przez 21 dni po porodzie 250 g/dz./szt. syпки glicerol, zaobserwowali tendencję do wzrostu poziomu glukozy w surowicy krwi w 14. dniu laktacji.

Glicerol w żywieniu krów w pełnej laktacji

Liczba wykonanych badań w tym zakresie jest niewielka. Na uwagę zasługują doświadczenia przeprowadzone w USA przez Donkina i Doane (5). W dawkach dla 60 krów hf zastępowano ziarno kukurydzy dodatkiem glicerolu i glutenu kukurydzianego (6,25 : 1). Krowy w grupach otrzymywały 0, 5, 10 i 15% glicerolu w przeliczeniu na suchą masę dawki. W grupie 2 i 3 wystąpił wzrost pobrania paszy, obniżenie poziomu tłuszczu, istotny spadek zawartości mocznika oraz istotne zwiększenie masy ciała krów przy podaniu glicerolu (tab. 2). Spadek zawartości tłuszczu sprzeczny jest z tezą Riisa i wsp. (26), którzy sugerują, że ze względu na wzrost udziału kwasu masłowego przy fermentacji glicerolu w żwaczu, po jego dodatku można spodziewać się pewnego wzrostu ilości tłuszczu w mleku krów. Donkin i Doane (5) nie odnotowali wpływu glicerolu na wydajność mleczną. Inne wyniki uzyskano w badaniach Chunga i wsp. (3), w których obserwowano niewielki wzrost produkcji mleka przy podaniu suchego glicerolu w pierwszych 6 tygodniach laktacji.

Bodarski i wsp. (2) podawali glicerol krowom od 21. dnia przed porodem i przez pierwsze 70 dni laktacji. Utworzono 3 grupy krów po: I kontrolna – bez dodatku

Tab. 2. Wpływ podania glicerolu w dawkach na wydajność krów (5)

Parametr	Glicerol % s.m. dawki pokarmowej				
	0	5	10	15	P
Pobranie suchej masy kg/dzień	23,9	24,4	24,5	24,0	0,4
Mleko kg/dzień	36,9	36,8	37,2	36,3	0,3
Tłuszcz %	3,70	3,52	3,58	3,58	0,69
Białko %	2,79	2,84	2,86	2,89	0,62
Azot mocznika w mleku mg/dl	12,9	10,9	10,7	10,2	0,05
Wzrost masy ciała kg	31,4	40,5	49,5	51,4	0,0

Tab. 3. Efekt dodatku glicerolu na strawność suchej masy, NDF i poziom LKT w żwaczu (5)

Parametr	Glicerol % s.m. dawki pokarmowej			
	0	5	10	15
Strawność s.m. %	62,7	59,8	61,3	63,1
Strawność NDF %	34,9	30,8	32,4	35,2
Octany %mol	37,1	37,6	37,7	38,7
Propioniany %mol	18,1	20,2	20,1	21,6
Maślaniany %mol	13,0	13,8	13,3	14,5
Walerianiany %mol	5,7	9,1	6,9	8,2

glicerolu, II – otrzymywała 300 ml/szt. glicerolu dziennie, III – 500 ml glicerolu. Glicerol dodawano do mieszanki pasz – dawki kompletnej (TMR). Wydajność krów przy dodatku glicerolu była wyższa w gr. II o 14,6%, a w gr. III o 12,5%. Wyższa była również zawartość białka w mleku. Koncentracja WKT we krwi w grupie II w 1. tygodniu laktacji oraz w grupie II i III w 3. tygodniu uległa korzystnemu obniżeniu. Pobranie paszy było statystycznie istotnie lepsze między 4. a 9. tygodniem po porodzie, lepsza również była ocena kondycji krów w 10. tygodniu laktacji przy dodatku glicerolu. Donkin i Doane (5) w badaniach *in vitro* sprawdzali przemiany składników dawki dla krów z różnym udziałem glicerolu. W dawce dominowały kiszonki z kukurydzy i lucerny oraz siano z lucerny. Wyniki przedstawiono w tab. 3. Strawność suchej masy i NDF nieznacznie obniżała się przy 5% i 10% dodatku glicerolu. W produkcji LKT następował wyraźny wzrost udziału kwasu propionowego i walerianowego, a niewielki kwasu masłowego.

W innych badaniach Linkego i wsp. (18) przeprowadzonych na krowach w środkowym okresie laktacji nie stwierdzono wpływu glicerolu na wydajność mleczną i pobranie paszy. Wzrosła nieco koncentracja propionianów i maślanów w płynie żwacza, a spadła istotnie ilość mocznika w mleku. Lepsze wykorzystanie pasz i niższy poziom mocznika świadczą o wzroście wydajności mikroorganizmów żwacza. Stwierdzono, że wartość energetyczna glicerolu jest nieco wyższa od ziarna kukurydzy.

Hippen i wsp. (13) sprawdzali połączenie dodatku glukagonu z dawką 500 ml glicerolu. Dodatek glukagonu w 1., 7. i 13. dniu po porodzie podwyższył koncentrację glukozy w surowicy o ponad 40 mg/dl w porównaniu do samego glicerolu. Sposób ten uważany jest za

bardzo efektywny przy prewencji ketozy i stłuszczenia wątroby, gdyż jednocześnie spada ilość WKT we krwi krów podanych temu zabiegowi.

W swym opracowaniu na temat stosowania glicerolu w żywieniu paszami objętościowymi przeżuwaczy Hess i wsp. (12) stwierdzają, iż dodanie glicerolu w ilości do 15% nie wpływa ujemnie na strawność suchej masy i włókna surowego. Dodanie 9% glicerolu zamiast ziarna zbóż u bydła opasowego nie spowodowało żadnych zmian w trawieniu. Autorzy ci uważają, iż glicerol jest dobrym dodatkiem do paszy dla przeżuwaczy karmionych dawkami zawierającymi duży udział pasz objętościowych.

Podsumowanie

Glicerol może być efektywnym substratem glukogennym przy bezpośredniej absorpcji ze żwacza. Wówczas jego zaletą jest wejście na szlak glukoneogenezy jako triozy fosforanowej, przy pominięciu cyklu Krebsa. Krowa w ujemnym bilansie energii uruchamia ten dodatkowy szlak, wykorzystując uwolniony przy hydrolizie triglicerydów glicerol. Ta droga jest korzystniejsza niż fermentacja glicerolu w żwaczu do propionianów i maślanów ze względu na ketogenny charakter maślanów. Niestety, większa część glicerolu ulega takiej fermentacji. Jedynym miejscem produkcji glukozy z glicerolu jest wątroba, natomiast w innych narządach ze względu na brak odpowiedniego enzymu proces glukoneogenezy nie występuje. Glikol propylenowy wykazuje dużą skuteczność w przeciwdziałaniu ketozie. Jego glukogenna cecha przejawia się zarówno wówczas, gdy jest fermentowany w żwaczu do propionianów, jak i wtedy, gdy jest absorbowany i metabolizowany w wątrobie. Ten proces polega na konwersji do pirogronianów przy obecności dehydrogenazy mleczanowej.

Według Hippena i wsp. (13), dobre efekty dają wlewy doustne glicerolu z glikolem propylenu, gdyż w takiej mieszance wykorzystane są wszystkie szlaki prowadzące do produkcji glukozy. Skutecznym środkiem przeciw ketozie jest stosowanie kombinacji 125 g glicerolu, 100 g glikolu propylenu i 75 g propionianu sodu na dzień i sztukę. Oczywiście, u wszystkich gatunków zwierząt glicerol może być dobrym źródłem energii porównywalnym z energią skrobi ziarna zbóż. Podawanie w ilości 5-10% s.m. nie powoduje żadnych zmian w trawieniu i w przemianach metabolicznych. Mimo braku ograniczeń prawnych dotyczących stosowania glicerolu w krajach UE, w praktyce mogą one pojawić się ze względu na pozostałości metanolu po procesie estryfikacji kwasów tłuszczowych w czasie produkcji biodiesla.

Piśmiennictwo

- Bell A. W.: Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 1995, 73, 2804-2819.
- Bodarski R., Wartecki T., Bommer F., Gosiewski S.: The changes of metabolic status and lactation performance in dairy cows under feeding tnr with glycerin (glycerol) supplement at periparturient period. *Electron. J. Pol. Agric. Univ., Anim. Husb.* 2005, 8 (4).
- Chung Y. H., Rico D. E., Martinez C. M., Cassidy T. W., Noirot V., Ames A., Varga G. A.: Effects of feeding dry glycerin to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles. *J. Dairy Sci.* 2007, 90, 5682-5691.
- DeFrain M., AHippen. R., Kalscheur K. F., Jardon P. W.: Feeding glycerol to transition dairy cows: effects on blood metabolites and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 2004, 87, 4195-4206.
- Donkin S. S., Doane P.: Glycerol as feed ingredient in dairy rations. *Proc. Tri-State Dairy Nutrition Conf., Fort Wayne, Indiana, USA 24-25 April 2007*, s. 97-103.
- Drackley J. K.: Opportunities for glycerol use in dairy diets. *Proc. Four-State Dairy Nutrition and Management Conf., Dubuque, Iowa, USA 11-12 June 2008*, s. 113-118.
- Freely H. C., Ferrell C. L.: Net flux nonesterified fatty acids, cholesterol, triacylglycerol, and glycerol across the portal-drained viscera and liver of pregnant ewes. *J. Anim. Sci.* 2000, 78, 1380-1388.
- Gagliostro G., Chillard Y.: Duodenal rapeseed oil infusion in early and mid lactation cows. 2. Voluntary intake, milk production and composition. *J. Dairy Sci.* 1991, 74, 499-509.
- Goff J. P., Horst R. L.: Oral glycerol as an aid in the treatment of ketosis/fatty liver complex. *J. Dairy Sci.* 2001, 84, 153-154.
- Grummer R. R.: Nutrition and management strategies for the prevention of fatty liver in dairy cattle. *Vet. J.* 2008, 176, 10-20.
- Hayirli A., Grummer R. R., Nordheim E. V., Crump P. M.: Models for predicting dry matter intake of Holsteins during the prefresh transition period. *J. Dairy Sci.* 2003, 86, 1771-1779.
- Hess B. W., Moss G. E., Rule D. C.: A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *J. Anim. Sci.* 2008, 86 (E. Suppl.), E188-E204.
- Hippen A. R., DeFrain J. M., Linke P. L.: Glycerol and other energy sources for metabolism and production of transition dairy cows. *Proc. Florida Ruminant Nutrition Symposium. Gainesville, Florida, USA 29-30 January 2008*, s. 1-17.
- Kijora C., Bergner H., Gotz K. P., Bartelt J., Szakacs J., Sommer A.: Research note: investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls. *Arch. Tierernähr.* 1998, 51, 341-348.
- Kristensen N., Raun B.: Ruminant and intermediary metabolism of propylene glycol in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 2007, 90, 4707-4717.
- Lammers P. J., Kerr B. J., Weber T. E., Dozier W. A., Kidd M. T., Bregendahl K., Honeyman M. S.: Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 2008, 86, 602-608.
- Lindsay D. B.: Carbohydrate metabolism in ruminants, [w:] Philipson A. T.: *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant.* Oriel Press, Newcastle upon Tyne, 1970, 438-451.
- Linke P. E., DeFrain J. M., Hippen A. R., Jardon P. W.: Ruminant and plasma responses in dairy cows to drenching or feeding glycerol. *J. Dairy Sci.* 2004, 87, 343.
- Lomax M. A., Baird G. D.: Blood flow and nutrient exchange across the liver and gut of the dairy cow. Effects of lactation and fasting. *Br. J. Nutr.* 1983, 49, 481-496.
- Nielsen N. I., Ingwersen K. L.: Propylene glycol for dairy cows. A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Anim. Feed Sci. Tech.* 2004, 115, 191-213.
- Ogborn K. L., Paratte R., Smith K. L., Jardon P. W., Overton T. R.: Effects of method of delivery of glycerol on performance of dairy cows during the transition period. *J. Dairy Sci.* 2004, 87, 440.
- Osborne V. R., Odongo N. E., Cant J. P., Swanson K. C., McBride B. W.: Effects of supplementing glycerol and soybean oil in drinking water on feed and water intake, energy balance, and production performance of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2009, 92, 698-707.
- Osman M. A., Allen P. S., Mehyar N. A., Bobe G., Coetzee J. F., Koehler K. J., Beitz D. C.: Acute metabolic responses of postpartal dairy cows to subcutaneous glucagon injections, oral glycerol, or both. *J. Dairy Sci.* 2008, 91, 3311-3322.
- Overton T. R., Waldron M. R.: Nutritional management of transition dairy cows: Strategies to optimize metabolic health. *J. Dairy Sci.* 2004, 87 (Suppl.), 105-119.
- Pickett M. M., Piepenbrink M. S., Overton T. R.: Effects of propylene glycol or fat drench on plasma metabolites, liver composition, and production of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 2003, 86, 2113-2121.
- Riis P. M., Danfsee A., Hvelplund T., Nielsen M. O., Petersen P. H., Sejrsen K., Thilsted S. H.: A model for the efficient use of new information within physiology, nutrition and breeding of dairy cows. *Rep. Nat. Inst. Anim. Sci. Denmark* 1990, 666, 69.
- Schröder A., Stedekum K.-H.: Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. In *New Horizons for an Old Crop. Proc. 10th Int. Rapeseed Congr., Canberra, Australia September 26-29, 1999, Paper No. 241.*
- Studer V. A., Grummer R. R., Bertics S. J., Reynolds C. K.: Effect of prepartum propylene glycol administration on periparturient fatty liver in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1993, 76, 2931-2939.

Adres autora: prof. dr hab. inż. Jerzy Preś, ul. J. Chelmońskiego 38C, 51-630 Wrocław; e-mail: rafal.bodarski@up.wroc.pl