

Laktoza w żywieniu ludzi i zwierząt

JÓZEF SYNOWIECKI, JADWIGA MACIUŃSKA

Katedra Technologii Utrwalania Żywności Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej,
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk

Synowiecki J., Maciuńska J.

Lactose in human and animal nutrition

Summary

A review of the effect of lactose hydrolysis on the functional, sensory and biological properties of milk and dairy products has been carried out. The deficiency of β -D-galactosidase secretion in human and animal digestive tracts leads to lactose intolerance which results in the elimination of calcium and other valuable milk compounds from the diet. The hydrolysis of lactose in milk and whey results in several changes in their physical and chemical properties which are of interest to the dairy industry. These changes include reduced lactose content, prevention of lactose crystallization, increased sweetness and more readily fermentable sugars. This has obvious implications for producing dairy products for lactose intolerant individuals. Many products of low-lactose milk and whey find very diversified applications such as: food and animal feed components, sweeteners, ice-cream, and also in probiotics, yogurts, beverages and ethanol production.

Keywords: β -D-galactosidase, lactose hydrolysis, lactose intolerance.

Mleko i jego przetwory są ważnym składnikiem diety zapewniającym w niektórych przypadkach zaspokojenie 60-75% ogólnego zapotrzebowania organizmu na wapń (4, 18). Produkty te są też źródłem witamin, białek i aktywnych biologicznie peptydów o działaniu immunostymulacyjnym, intensyfikujących transport i przyswajanie żelaza, gromadzenie zapasów glikogenu, zmniejszających stężenie kwasów tłuszczowych i LDL cholesterolu we krwi oraz intensyfikujących rozwój pożądanej mikroflory przewodu pokarmowego (4). Kontrowersyjnym składnikiem mleka jest laktoza (O- β -D-galaktopiranozylo-(1 \rightarrow 4)-D-glukopiranoza), utrudniająca rozmaite procesy technologiczne i wywołująca u niektórych ludzi zaburzenia pokarmowe zwane nietolerancją laktozy. Schorzenie to powoduje konieczność niekorzystnego ograniczenia lub wyeliminowania spożycia produktów mlecznych. Znajdująca się w mleku krowim w ilości od 3,5% do 4,5% laktoza jest dla organizmu ludzkiego źródłem energii, pobudza perystaltykę jelit, intensyfikuje rozwój bakterii fermentacji mlekowej oraz stymuluje przyswajanie wapnia. Dzienna dawka tego disacharydu nie powinna jednak przekraczać 2,2 g/kg masy ciała gdyż przy większym spożyciu nie jest on całkowicie trawiony (17). Przyswajanie laktozy źle przenikającej przez śluzówkę przewodu pokarmowego znacznie ułatwia zachodząca w jelicie czczym sekrecja odpowiedniej β -D-galaktazydazy (EC.3.2.1.23) gromadzącej się w war-

stwie glikoprotein pokrywających kosmki jelitowe (14). Enzym ten hydrolizuje laktozę z wytworzeniem D-glukozy i D-galaktozy, dobrze, chociaż z różną szybkością adsorbowanych w jelitach. Najwięcej β -D-galaktazydazy wydziela się w przewodzie pokarmowym dzieci w okresie żywienia mlekiem matki zawierającym do 6,8% laktozy. Jednak po przekroczeniu wieku 3 do 5 lat wytwarzanie enzymu maleje o 90-95% pierwotnej ilości, a u niektórych ludzi prawie zupełnie zanika (1, 6). U prosiąt i cieląt zmniejszenie sekrecji enzymu następuje już po kilkunastu tygodniach życia stwarzając konieczność ograniczenia ilości dodawanych do paszy preparatów mlekozastępczych. Nie strawiona laktoza ulega w jelicie grubym człowieka fermentacji wywołanej przez rozmaite mikroorganizmy wytwarzające kwas octowy i inne kwasy tłuszczowe oraz duże ilości wodoru, dwutlenku węgla i metanu. Powstające kwasy organiczne wywołują podrażnienia śluzówki jelit oraz obniżają kwasowość zawartości jelita, zmniejszając wskutek tego przyswajanie znajdującego się w pożywieniu wapnia (1, 6). Ponadto, pozostałość nie rozłożonej przez drobnoustroje laktozy wywołuje zmiany ciśnienia osmotycznego w okrężnicy i przechodzenie wody z tkanek do treści jelita, a w konsekwencji silną biegunkę i odwodnienie organizmu. Innymi przykrymi objawami nietolerancji laktozy są skurcze brzucha z napadowymi osiowymi bólami oraz parcie i wzdęcia.

Symptomy nietolerancji laktozy przejawia około 30% ludzi w świecie, a szczególnie Indianie, Eskimosi oraz mieszkańcy południowo-wschodniej i wschodniej Azji (14). Częstotliwość występowania tego schorzenia jest uwarunkowana genetycznie i zmienia się zależnie od rasy ludzi i rejonu ich zamieszkiwania. W Polsce odsetek osób z objawami nietolerancji laktozy wynosi około 37% (6). Zbyt małe wydzielanie β -D-galaktozydazy następuje także w przypadku resekcji dużych fragmentów jelita cienkiego, zakażenia niektórymi wirusami oraz po zabiegach radioterapii i chemoterapii. Objawy nietolerancji laktozy ogranicza spożycie jogurtów zawierających β -D-galaktozydazę wytworzoną przez kultury bakteryjne oraz w niewielkim stopniu systematyczne zażywanie małych dawek laktozy stymulujących w okrężnicy rozwój bakterii wytwarzających pożądaną enzym. Najlepszą metodą łagodzenia skutków tego schorzenia jest jednak stosowanie dietetycznych przetworów mlecznych i mleka z obniżoną zawartością laktozy lub preparatów probiotycznych zawierających wytwarzające β -D-galaktozydazę bakterie rodzaju *Lactobacillus* lub *Bifidobacterium* (12, 16). Przydatne w produkcji tych preparatów są łatwo kolonizujące śluzówkę jelit szczepy *Lactobacillus acidophilus*, odporne na niskie pH soku żołądkowego i znajdujące się w jelitach kwasy żółciowe oraz wykazujące dobrą aktywność antagonistyczną względem patogennej mikroflory przewodu pokarmowego.

Laktoza ogranicza zastosowanie serwatki i innych preparatów mlekozastępczych w żywieniu zwierząt. Suszona serwatka wytwarzana między innymi w Europie Zachodniej i w Stanach Zjednoczonych w ilości około 960 tys. oraz 610 tys. ton jest cennym składnikiem paszy zawierającym do 68% laktozy, ryboflawinę, kwas pantotenowy, rozmaite mikroelementy i ponad 12% cennych żywieniowo białek, bogatych w lizynę i inne aminokwasy egzogenne. Produkt ten o dobrej jakości mikrobiologicznej, określonej wymaganiami normy PN-94/R-64791 jest także wytwarzany w OSM w Giżycku i innych krajowych zakładach mleczarskich. Suszoną serwatkę stosuje się w żywieniu prosiąt i cieląt w ilości nawet do 40-50% składu mieszanek, co zapewnia szybki przyrost ich masy. Tak duży dodatek serwatki do paszy starszych zwierząt jest przyczyną biegunek i odwodnienia organizmu wywołanego zbyt małym wydzielaniem β -D-galaktozydazy w przewodzie pokarmowym. Dlatego w żywieniu trzody chlewnej i koni produkt ten powinien stanowić nie więcej niż 10-20% oraz 7% mieszanek paszowych (11). Ograniczone zastosowanie ma natomiast serwatka w żywieniu drobiu, trawiącego laktozę jedynie przy udziale mikroflory jelitowej.

Wpływ laktozy na jakość i wartość żywieniową wyrobów

Niewielka rozpuszczalność laktozy w obniżonej temperaturze utrudnia produkcję lodów, mleka skondensowanego, napojów z serwatki i innych niefermen-

towanych przetworów mlecznych. Tworzące się po pewnym czasie kryształy monohydratu laktozy o wielkości przekraczającej 30 μ m wywołują wrażenie mącznego lub piaszczystego smaku. Jego powstaniu można zapobiec zapewniając warunki procesu nie dopuszczające do wytworzenia kryształów większych od 10 μ m lub lepiej poprzez enzymatyczną hydrolizę laktozy, której produkty mają znacznie większą rozpuszczalność. Skutkiem szybkiego odparowywania wody podczas rozpyłowego suszenia mleka w proszku jest występowanie laktozy w postaci silnie higroskopijnej mieszaniny anomerów α i β o małej ilości międzycząsteczkowych wiązań wodorowych, powodujące zbrylanie się produktu przechowywanego w nieuszczelnionych opakowaniach. Laktoza jako cukier redukujący łatwo uczestniczy w reakcjach Maillarda wywołujących niepożądane brunatnienie i zmiany smaku produktów oraz zmniejszenie przyswajania składników mineralnych. Wartość żywieniową przetworów mlecznych poddanych długotrwałej cieplnej obróbce obniża izomeryzacja laktozy z wytworzeniem nieprzyswajalnej w organizmie ludzkim laktulozy (O- β -D-Galp-(1 \rightarrow 4)-D-Fruf) stymulującej jednak rozwój mikroflory przewodu pokarmowego. Ścieki z zakładów mleczarskich zawierające resztki niewykorzystanego mleka, serwatki oraz wodę pochodzącą z mycia maszyn i urządzeń stwarzają znaczne zagrożenie dla środowiska. Jego przyczyną jest duże biochemiczne zapotrzebowanie tlenu, wynoszące w przypadku serwatki od 30 g/dm³ do 60 g/dm³ i w 90% spowodowane znajdującą się w niej laktozą (7). Intensywny rozwój przemysłu mleczarskiego wymagał opracowania sposobów przetworstwa dużych ilości kwaśnej lub słodkiej serwatki zawierającej w suchej masie 70-74% laktozy, 14-15% cennych żywieniowo białek, głównie α -laktoalbumin, β -laktoglobulin i immunoglobulin oraz 1-5% lipidów. Pełne jej wykorzystanie jako dodatku do paszy trzody chlewnej i bydła w pobliskich gospodarstwach rolnych jest możliwe tylko w przypadku niewielkich mleczarni. Natomiast w większych zakładach brak urządzeń do przetwarzania serwatki wymusza odprowadzanie jej nadmiaru do ścieków. Przed rozpowszechnieniem odpowiednich technologii przerobu powodowało to w USA straty ponad 205 tys. ton laktozy i około 40 tys. ton białek (3). Obecnie serwatkę suszy się rozpyłowo lub wytwarza się z niej wiele rozmaitych produktów jak np. fermentowane napoje, alkohol etylowy, koncentrat białkowy z biomasy drożdży *Kluyveromyces fragilis* rosnących na zawierających serwatkę pożywkach oraz białka i koncentrat laktozy izolowane z zastosowaniem odwróconej osmozy lub ultrafiltracji. Roczna produkcja rozmaitych produktów wytwarzanych z serwatki w USA oraz w krajach Europy Zachodniej i rejonu pacyfiku wynosi około 2,5 mln ton (tab. 1).

Zastosowanie serwatki jako źródła węgla w fermentacji alkoholowej ogranicza stosunkowo niewielką ilość gatunków mikroorganizmów zdolnych do meta-

Tab. 1. Roczna produkcja niektórych wyrobów wytwarzanych z serwatki (wg Horton B. S., 1994)

Produkt	Roczna produkcja w tys. ton:		
	USA	Europa Zachodnia	Kraje rejonu Pacyfiku
Suszona serwatka	610	960	25
Koncentrat białkowy	80	60	10
Laktoza	107	300	40
Skondensowana serwatka	25	-	-
Serwatka pozbawiona laktozy	45	-	20
Odmineralizowana suszona serwatka	20	100	15

bolizowania laktozy. Należą do nich głównie drożdże *Kluyveromyces fragilis* i *Candida pseudotropicalis* produkujące etanol z niewielką wydajnością, nie przekraczającą 3,7%-10% masy pożywki (10, 15). Rozwiązaniem problemu jest enzymatyczna hydroliza laktozy z wytworzeniem monosacharydów znacznie lepiej przyswajanych przez rozmaite mikroorganizmy. Zdolność fermentacji laktozy przejawiają też bakterie *Lactobacillus bulgaricus* i *Streptococcus thermophilus* wchodzące w skład szczepionek jogurtowych.

Znaczenie enzymatycznej hydrolizy laktozy

Negatywnym skutkiem nietolerancji laktozy oraz trudnościom technologicznym wywołanym występowaniem tego cukru w mleku i serwatce można zapobiec poprzez hydrolizę enzymatyczną. Stosuje się ją głównie w celu wytworzenia dietetycznego mleka i jego przetworów, jogurtów, przydatnych w cukiernictwie syropów glukozowo-galaktozydowych i słodzików, bezlaktozowej, skondensowanej serwatki używanej w produkcji lodów i fermentowanych napojów oraz suszonej serwatki wchodzącej w skład paszy trzody chlewnej bydła i zwierząt futerkowych. Hydroliza laktozy w tych produktach eliminuje niepożądaną krystalizację disacharydu w niskiej temperaturze, zwiększa słodkość wyrobów i umożliwia fermentację rozmaitych produktów ubocznych przemysłu mleczarskiego przez mikroorganizmy źle przyswajające laktozę. Źródłem stosowanej w tych procesach β -D-galaktozydazy mogą być tkanki roślinne lub zwierzęce oraz drożdże, pleśnie i bakterie (5). Zależnie od pochodzenia enzymy te różnią się znacznie strukturą i ilością podjednostek wchodzących w skład cząsteczek, ciężarem cząsteczkowym, aktywnością, termostabilnością, wrażliwością na działanie inhibitorów i aktywatorów oraz optymalnymi warunkami reakcji. Umożliwia to dostosowanie rodzaju enzymu do właściwości surowca i warunków procesu. Wyizolowane z *Aspergillus niger* i innych pleśni preparaty o maksymalnej aktywności przy pH 4,0-4,5 są przydatne głównie do hydrolizy laktozy w kwaśnej serwatce. Natomiast β -D-galaktozydazę wy-

tworzoną przez drożdże *Saccharomyces lactis* o optymalnym pH 6,8-7,0 stosuje się w przetwórstwie mleka (pH 6,6) i słodkiej serwatki (pH 6,2). Obniżenie kosztów zapewnia coraz częstsze stosowanie unieruchomionych enzymów lub bakterii wytwarzających β -D-galaktozydazę oraz zawiesiny komórek mikroorganizmów, z których enzym uwolniono oddziaływaniem ultradźwięków (1, 4). Niepożądanemu rozwojowi mikroorganizmów podczas długotrwałego działania reaktora z unieruchomionym enzymem można zapobiec stosując termostabilne β -D-galaktozydazy aktywne w temperaturze powyżej 70°C (9).

Produktem ubocznym enzymatycznej hydrolizy laktozy są powstające w reakcjach transgalaktozylacji oligosacharydy z wiązaniami glikozydowymi β -(1→6) lub rzadziej β -(1→3) i β -(1→2). Ilość, rodzaj i masa cząsteczkowa tych substancji zależy od pochodzenia enzymu, stężenia i rodzaju substratu oraz od pH i temperatury reakcji (17). Tworzenie się oligosacharydów w żywności i paszy modyfikowanej β -D-galaktozydazą nie jest korzystne z powodu nieprzyswajalności w przewodzie pokarmowym człowieka i zwierząt. Zmniejszeniu wartości żywieniowej zapobiega zastosowanie enzymów aktywnych w kwaśnym środowisku (pH 4,5), w którym ilość syntetyzowanych oligosacharydów nie przekracza 1-2% hydrolizowanej laktozy (21). Żywność zawierająca produkty hydrolizy laktozy nie jest zalecana dla ludzi cierpiących na galaktozemię powodującą osłabienie wzroku, uszkodzenia wątroby i zaburzenia umysłowe. Przyczyną tego schorzenia jest uwarunkowany genetycznie deficyt transferazy niezbędnej w metabolizmie galaktozy.

Mleko o obniżonej zawartości laktozy jest zazwyczaj wytwarzane poprzez aseptyczne dozowanie odpowiedniej ilości preparatu β -D-galaktozydazy po pasteryzacji lub sterylizacji UHT, a następnie kilkudniowe inkubowanie produktu lub też przez zaszczepienie mleka kulturą *Lactobacillus*, którą po 4h rozwoju niszczy się ultradźwiękami uwalniającymi z komórek wytworzoną β -D-galaktozydazę. Metoda ta zapewnia zmniejszenie pierwotnej zawartości laktozy w mleku

o 71-74% (19). W USA stosuje się ponadto przeznaczone do domowego użytku preparaty enzymatyczne rozkładające po 30 min. inkubacji ponad 70% znajdującą się w mleku laktozy. Mleko UHT o małej zawartości laktozy jest też produkowane w Polsce od 1997 r., po wdrożeniu w SM Maćkowy w Gdańsku technologii opracowanej w Instytucie Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN w Olsztynie. Polega ona na hydrolizie laktozy preparatem Maxilact z holenderskiej firmy Gist-Brocades, zawierającym β -D-galaktozydazę drożdży *Kluyveromyces lactis*. Hydrolizę enzymatyczną prowadzi się przy pH 6,6 w temperaturze obniżonej do około 10°C w celu ograniczenia rozwoju mikroorganizmów (1). Preparat Maxilact jest też przydatny do wytwarzania skondensowanego mleka, które można przechowywać chłodniczo bez wywołania krystalizacji laktozy powodującej koagulację i strącanie kazeiny. Wydłuża przez to okres przechowywania chłodniczego mleka o około 1 miesiąc w porównaniu z nie poddaną hydrolizie próbą kontrolną (2).

Zastosowanie bezlaktozowego mleka do wypieku niektórych gatunków chleba przyspiesza fermentację wskutek wytworzenia monosacharydów przyswajanych przez drożdże znacznie lepiej od laktozy. Ponadto produkty hydrolizy są słodsze od laktozy oraz poprawiają barwę, smak i teksturę pieczywa (22). Po hydrolizie laktozy w mleku i serwatce następuje spowodowane wytworzeniem D-glukozy i D-galaktozy 3-4-krotne zwiększenie słodkości produktu. Ma to znaczenie przy wytwarzaniu jogurtów, niektórych rodzajów pieczywa i niekrystalizującego syropu glukozowo-galaktozydowego. Jest on produkowany poprzez enzymatyczną hydrolizę ponad 90% laktozy znajdującej się w serwatce lub permeacie serwatki uzyskanym po ultrafiltracji cennych żywnościowo białek. Tak otrzymany syrop zawierający 60% suchej masy ma słodycz porównywalną z 50% roztworem sacharozy (2). Produkt ten jest dobrym substytutem mleka odtłuszczonego lub cukru w chlebie, pieczywie cukierniczym, czekoladzie, cukierkach oraz w lodach, mrożonych jogurtach i deserach.

Spowodowane działaniem β -D-galaktozydazy zwiększenie słodkości i wyeliminowanie krystalizacji laktozy w obniżonej temperaturze umożliwia zastosowanie serwatki jako zamiennika mleka i cukru w produkcji niskokalorycznych lodów. Hydroliza enzymatyczna ułatwia też wytwarzanie z serwatki fermentowanych napojów chłodzących i alkoholu etylowego (13). Wynika to z dużej wrażliwości na zwiększone stężenie etanolu drożdży *Kluyveromyces fragilis* i innych mikroorganizmów zdolnych do fermentacji nie rozłożonej laktozy. Zastosowanie drożdży *Saccharomyces cerevisiae* dobrze rosnących na zawierającym glukozę hydrolizacie permeatu serwatki umożliwia uzyskanie prawie dwukrotnie większego stężenia etanolu w produkcie (13).

Przy wytwarzaniu jogurtu hydroliza laktozy przyspiesza fermentację wskutek wytworzenia glukozy

dobrze przyswajanej przez drobnoustroje *Lactobacillus bulgaricus* oraz *Streptococcus thermophilus* i ułatwia wytworzenie produktu o pożądanej smakowitości i konsystencji. Wstępna hydroliza laktozy w mleku przeznaczonym do wytwarzania jogurtów owocowych zapewnia uzyskanie odpowiedniej słodkości produktu przy znacznie mniejszym dodatku sacharozy, co obniża kaloryczność gotowego wyrobu.

Piśmiennictwo

1. Bielecka M.: Przem. Spoż. 52, 13, 1998.
2. Holsinger V. H.: Food Technol. 41, 35, 1978.
3. Horton B. S.: Whey processing and utilization. Report of Subject B31, Horton International Inc., Cambridge, USA, 1994.
4. Jelen P., Lutz S.: W: Functional Food. Mazza G., Technomic Publ., Co., Lancaster-Basel, 1998, s. 357.
5. Kowalewska-Piontas J.: Przegląd Mlecz. 8, 197, 1993.
6. Kaczmarek M.: Alergie i nietolerancje pokarmowe. Sanmedia, Warszawa, 1993.
7. Kisaalita W. S., Pinder K. L., Lo K. V.: Biotechnol. Bioeng. 30, 88, 1987.
8. Komrower G. M., Schwarz V., Hotzel A., Goldberg L.: Arch. Dis. Child. 31, 254, 1956.
9. Maciuńska J., Czyż B., Synowiecki J.: Food Chem. 63, 441, 1998.
10. Michel A., Jacob F., Perrier J., Poncet S.: Biotechnol. Bioeng. 30, 780, 1987.
11. Minakowski D., Lipiński K., Tywończuk J.: Przegląd Mlecz. (4), 119, 1998.
12. Motyl I., Libudzisz Z.: Przegląd Mlecz. (3), 72, 1996.
13. O'Leary V. S., Sutton C., Bencivengo M., Sullivan B., Holsinger V. M.: Biotechnol. Bioeng. 19, 1689, 1977.
14. Pelczyńska E.: Medycyna Wet. 53, 11, 1997.
15. Porro D., Martegani E., Ranzi B. M., Alberghina L.: Biotechnol. Bioeng. 39, 799, 1992.
16. Prost E. K.: Medycyna Wet. 55, 75, 1999.
17. Shukla T. P.: CRC Crit. Rev. Food Technol. 5, 325, 1975.
18. Suarez F. L., Dennis M. D., Savaiano A.: Food Technol. 51, 74, 1997.
19. Toba T., Hayasaka I., Taguchi S., Adachi S.: J. Sci. Food Agric. 52, 403, 1990.
20. Tsvikia S., Hashimoto Y., Pigman W.: Comprehensive Biochem., vol. 5. Florin M., Stotz E. H., Elsevier, New York, 1963, s. 178.
21. Wierzbicki I., Kosikowski F. V.: J. Dairy Sci. 56, 1182, 1973.
22. Zaehring M. V.: Cereal Chem. 49, 307, 1972.

Adres autora: dr hab. Józef Synowiecki, ul. Paderewskiego 4A/28, 80-170 Gdańsk

LUQUE I., TARRADAS C., ARENAS A., MALDONADO A., ASTORGA R., PEREA A.: Serotypy *Streptococcus suis* związane z różnymi chorobami świń. (*Streptococcus suis* serotypes associated with different disease conditions in pigs). Vet. Rec. 142, 726-727, 1988 (26)

Streptococcus suis wywołuje u trzody chlewnej posocznicę, zapalenie opon mózgowych, zapalenie stawów, zaburzenia w rozrodzie oraz odoskrzelowe zapalenie płuc. Jest on też patogenny dla ludzi. Spośród 91 szczepów *S. suis* izolowanych od świń z różnymi objawami chorobowymi oraz z różnych stad świń na terenie Hiszpanii wśród otoczkowych szczepów tego zarazka dominował serotyp 2 (57,8%). Ponadto izolowano serotypy 1 (4,4%), 2 (5,5%), 4 (1,1%), 5 (1,1%), 9 i 14 po 4,4%, 10, 13, 27 i A po 1,1%, 7, 15, 16 i 22 po 2,2%. Czterdzieści trzy (47,2%) szczepów *S. suis* izolowano od prosiąt w okresie do 3 tygodni po odsadzeniu z przypadków zapalenia opon mózgowych, u których występowały objawy neurologiczne i nagłe padnięcia po 24-48 godz. Wśród 8 serotypów *S. suis* izolowanych z przypadków zapalenia opon mózgowych dominował serotyp 2 (65,1%). Posocznica występowała u 30,8% prosiąt w pierwszych 2 tygodniach życia i towarzyszyły jej nagłe padnięcia. Najczęściej z przypadków posocznicy izolowano serotyp 2 (46,4%). Za zapalenie stawów odpowiadały serotypy 2, 7 i 14, za tworzenie ropni serotyp 2, odoskrzelowe zapalenie płuc serotypy 2, 3, 7, 10, 15 i 27. Natomiast serotypy 2, 13, i 22 powodowały zaburzenia w rozrodzie.