



Lactose: Technological Aspects and Usage



IDF Factsheet 010/2019

Doskonałość naukowa

Zastosowania przemysłowe

Strategie współpracy

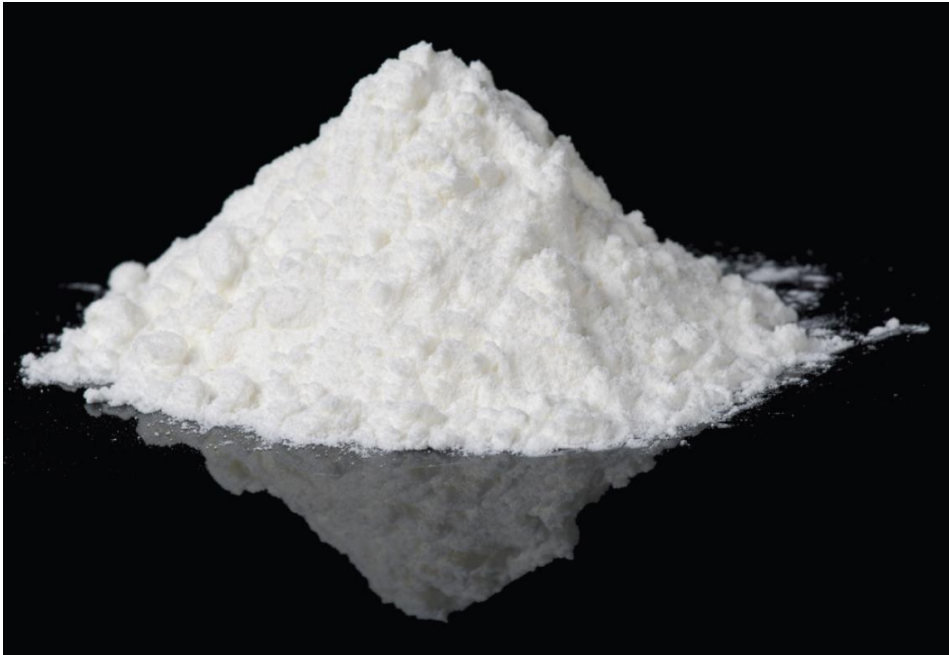
Wpływy globalne

Laktoza: aspekty technologiczne i zastosowanie

UWAGA: Niniejsze tłumaczenie na język polski zostało sfinansowane ze środków FUNDUSZU PROMOCJI MLEKA

Fizykochemiczne właściwości laktozy

Laktoza (4-) – (β -galaktopiranozylo-D-glukopiranoza) jest disacharydem zawierającym monosacharydy: glukozę i galaktozę połączonych wiązaniem β -1 \rightarrow . Laktoza występuje w sposób naturalny i prawie wyłącznie w mleku ssaków, w którym jest głównym węglowodanem i często jest nazywana „cukrem mlekowym” (Rys.1). Przeciętna zawartość laktozy w mleku waha się od 2 – do 8%; mleko krowie i mleko kobiece zawiera, odpowiednio, 4,5% i 7% laktozy. Laktoza występuje w dwóch cząsteczkowych postaciach (α i β) oraz w wodnych roztworach; w procesie zwanym mutarotacją, następują wzajemne wymiany form α i β aż do osiągnięcia stanu równowagi, stanowiącej około 37% laktozy α i 63% laktozy β w obojętnym pH i temperaturze otoczenia (20° – 25°C). W porównaniu do innych disacharydów (np. sacharozy), rozpuszczalność laktozy jest niska, a wskaźnik słodkości laktozy stanowi 1/3 słodkości sacharozy. Laktoza może być hydrolizowana do glukozy i galaktozy (swoich składowych monosacharydów) pod wpływem działania enzymu β galaktozydazy.



Rys. 1: Typowe kryształy laktozy wyizolowane z mleka krowiego

Trawienie laktozy, złe wchłanianie laktozy, nietolerancja laktozy

Trawienie laktozy u ludzi jest różne i zmienia się wraz z wiekiem danej osoby.

Zdrowe niemowlęta trawią z powodzeniem laktozę, która jest także składnikiem mleka kobiecego. Czasami jednakże, po odłączeniu dziecka od karmienia piersią, u większości dzieci na świecie może wystąpić genetycznie zaprogramowany spadek syntezy enzymu laktazy. Ten spadek jest nazywany pierwotnym niedoborem laktazy lub nietrwałością laktazy. Wyjątkami od wspomnianego niedoboru są potomkowie populacji, tradycyjnie zajmujących się chowem bydła (n.p. w północnej Europie) którzy wykazują wciąż zdolność syntetyzowania laktazy i wobec tego, utrzymują zdolność trawienia mleka i innych przetworów mlecznych do czasu dojrzałości (trwałość laktozy, **ang.** lactose persistence).

U osób z trwałością laktazy, laktoza jest hydrolizowana, a jej składowe monosacharydy są trawione w jelicie cienkim. U osób z nietrwałością laktazy, występuje pewien stopień złego wchłaniania laktozy, co powoduje, że pewna część laktozy jest uwalniana w jelicie grubym, gdzie jest poddana fermentacji przez mikrobiotę jelitową.

Uwolnienie laktozy w jelicie grubym wskutek złego wchłaniania powoduje niewielkie lub żadne objawy u większości osób. Jednakże, u niektórych konsumentów, fermentacja bakteryjna laktozy powoduje niepożądane objawy żołądkowo-jelitowe, w tym wzdęcia, biegunkę osmotyczną lub skurcze jelit. Wspomniane objawy są wspólnie nazywane nietolerancją laktozy. Ogólnie, ilość 15g/dziennie uważa się za wartość progową, powyżej której laktoza może spowodować podane objawy u osób nietolerujących laktozy.

Warto zauważyć, że większość osób ze złym wchłanianiem laktozy nie wykazuje klinicznych objawów nietolerancji laktozy. Niestrawiona laktoza w jelicie grubym może także działać jak źródło pożywienia dla mikrobioty jelitowej i może też stymulować aktywność dobroczynnych drobnoustrojów porównywalnych do prebiotycznych oligosacharydów.

Złożoność trawienia laktozy, złego wchłaniania i nietolerancji laktozy podkreśla znaczenie obecności laktozy w produktach mleczarskich, składnikach produktów i innych produktach spożywczych oraz wskazuje na różne podejścia do zmniejszenia i/lub usunięcia laktozy ze wspomnianych produktów lub składników produktów spożywczych.

Zawartość laktozy w produktach mleczarskich i w produktach zawierających składniki mleczne

Zawartość laktozy w produktach mleczarskich zależy od procesu produkcji. W Tabeli 1 przedstawiono przeciętną zawartość laktozy w typowych produktach mleczarskich, w składnikach mlecznych i w produktach spożywczych.

Tab.1: Przeciętna zawartość laktozy w typowych składnikach mlecznych, w produktach mleczarskich i w produktach spożywczych

Produkt/składnik	Zawartość laktozy (% w/w)
Mleko krowie (pełnotłuste)	4.5
Mleko kobyce	7
Jogurt	3.2 – 4
Sery dojrzewające (n.p. Cheddar, Gouda)	0 – 0.1
Ser Feta	0.5
Masło	0.1 – 1
Ukwaszona śmietana	3
Czekolada mleczna	2 – 9
Mleko odtłuszczone w proszku	~ 50
Serwatka w proszku	~ 73

Zmniejszenie zawartości laktozy w produktach mleczarskich uzyskuje się poprzez zmaślanie, fermentację, usunięcie serwatki i/lub hydrolizę. Ten ostatni proces zazwyczaj daje w wyniku produkty/składniki, które są uważane za produkty bezlaktozowe (przeważnie <0.1% laktozy w/w) lub „zerolaktozowe” (przeważnie <0.01% laktozy w/w).

Zmaślanie

Laktoza jest zagęszczana w wodnej fazie mleka. W ten sposób, ukwaszona śmietana i masło zawierają zawartość laktozy zmniejszoną proporcjonalnie do zwiększonej zawartości tłuszczu. Na przykład, masło zawiera <1% laktozy. Poza tym, niektóre fermentowane produkty mleczarskie zawierające tłuszcz posiadają zmniejszoną zawartość laktozy poprzez oddziaływanie bakterii kwasu mlekowego.

Fermentacja

Fermentacja mleka w celu uzyskania fermentowanych produktów mleczarskich (takich jak np. jogurt, kefir i maślanka) zmniejsza zawartość laktozy o 10-40% poprzez działanie fermentujących kultur bakteryjnych, które zużywają laktozę. W przeciwieństwie do powyższego, wzbogacenie jogurtu mlekiem odtłuszczonym w proszku zwiększa zawartość laktozy. Kultury mleczarskie wytwarzają β -galaktozydazę, który to enzym pozostaje aktywny po spożyciu jogurtu i wspomaga w pewnym stopniu trawienie laktozy w jelitach, nawet jeśli nie ma aktywności laktazy w przewodzie pokarmowym. Jogurt jest wobec tego, produktem mleczarskim zawierającym laktozę, który jest bardziej tolerowany przez osoby z nietolerancją laktozy. Ważne jest zauważenie, jednakże, że jogurt poddany wysokiej obróbce cieplnej w celu przedłużenia jego okresu przydatności do spożycia może zawierać unieruchomioną β -galaktozydazę i w ten sposób może nie być tak tolerowany przez osoby z nietolerancją laktozy jak produkt poddany obróbce cieplnej w niskiej temperaturze lub nie poddany temu procesowi.

Produkcja sera i usuwanie serwatki

Podczas produkcji sera, większość laktozy obecnej w mleku jest usuwana wraz z serwatką. Dodatkowe obniżenie zawartości laktozy uzyskuje się drogą fermentacji. W serach świeżych, w tym w serze typu cottage cheese i quark oraz w serze typu greckiego, usuwanie serwatki jest niecałkowite, a zawartość laktozy waha się w zakresie 1- 3% w produkcie gotowym. W serach miękkich i niektórych serach twardych, w tym w serze Camembert, Gouda i łagodnym serze Cheddar, metabolizm bakterii w dalszym ciągu zmniejsza zawartość laktozy podczas

(krótkiego) okresu dojrzewania; poziom laktozy w produkcie gotowym wynosi zazwyczaj 2%. W większości serów twardych, usunięcie serwatki jest większe i zawartość laktozy w serach twardych niedojrzewających wynosi przeważnie <1%.

Pozostała zawartość laktozy (i galaktozy) jest następnie usuwana w wyniku metabolizmu bakterii podczas okresu dojrzewania. W zależności od typu sera, podczas procesu dojrzewania, trwającego 1 – 12 miesięcy, zawartość laktozy (i galaktozy) zmniejsza się do wartości <0.1% i takie sery są uważane za bezlaktozowe.

Produkty spożywcze zawierające składniki mleczarskie

Dodanie mleka lub składników mleka podczas produkcji żywności może spowodować obecność laktozy w tych produktach spożywczych. Zwykle przykłady obejmują produkty piekarnicze, zbożowe płatki śniadaniowe, zupy, sałatki delikatesowe zawierające śmietankę oraz wyroby cukiernicze takie jak czekolada mleczna. Odpowiednio do niskiego poziomu laktozy w produktach mleczarskich, zawartość laktozy w spożywczych produktach niemleczarskich zawierających składniki pochodzące z mleka wynosi ogólnie <1%. Jednakże, w oparciu o wyższą zawartość suchej masy mleka, czekolada mleczna może zawierać aż 9% laktozy. Laktoza i /lub mleko odtłuszczone mogą być także stosowane w standaryzowaniu kultur starterowych oraz do poprawy ich trwałości podczas przechowywania w formie suchej lub zamrożonej. Jednakże, dawkowanie (<0.1%) wspomnianych kultur starterowych w procesach fermentacji żywności wprowadza tylko śladowe ilości laktozy do gotowego produktu. Owe śladowe ilości laktozy mogą być następnie zmniejszone poprzez proces fermentacji.

Farmaceutyki

Laktoza jest szeroko stosowana w standaryzacji i produkcji farmaceutyków. Laktoza klasy farmaceutycznej jest często substancją pomocniczą z wyboru w produkcji preparatów farmaceutycznych z powodu niskiej ceny, dostępności w czystej formie jako monohydrat laktozy lub w postaci bezwodnej oraz z powodu odpowiedniej charakterystyki fizycznej, w tym higroskopijności i ściśliwości. Pobranie laktozy z preparatów farmaceutycznych jest ogólnie dużo niższe od poziomu (~ 15g/dziennie), który może powodować objawy u osób z nietolerancją laktozy.

Produkcja bezlaktozowych produktów mleczarskich

Przemysłowa produkcja bezlaktozowych lub zero-laktozowych produktów mleczarskich obejmuje dodanie rozpuszczalnej β -galaktozydazy, hydrolizę laktozy z unieruchomioną laktazą lub oddzielenie laktozy od innych składników mleka z zastosowaniem metody chromatograficznej. Po takiej obróbce, „status laktozy” w produktach różni się znacznie w zależności od przepisów prawnych w danym kraju i waha się w zakresie od <0.1% laktozy (uważanej za bezlaktozowy produkt w wielu przepisach prawnych), 0.01 % laktozy (uważanej za produkt zerolaktozowy w wielu przepisach) do laktozy wykrywalnej w stopniu zerowym. Hydroliza laktozy z zastosowaniem rozpuszczalnych lub unieruchomionych enzymów zwiększa słodkość produktów ponieważ w porównaniu do laktozy, połączona słodycz glukozy i galaktozy jest 3 – 4 razy wyższa. Połączenie hydrolizy laktozy i usunięcia laktozy przy zastosowaniu metody membranowej lub technik chromatograficznych pozwala na produkcję mleka bezlaktozowego o słodkości porównywalnej do słodkości zwykłego mleka.

Produkcja laktozy do zastosowania jako składnik różnych produktów

Corocznie, przemysł mleczarski produkuje miliony ton laktozy do stosowania jako składnik, głównie w przemyśle farmaceutycznym jako substancja pomocnicza w tabletkach i kapsułkach, oraz w produkcji odżywek dla niemowląt jako główny składnik węglowodanowy. Można tutaj wspomnieć, że w mleku kobiecym znajduje się około 60% więcej laktozy niż w mleku krowim.

Po oddzieleniu serwatki w procesie produkcji sera lub też w przypadku serwatki pochodzącej z innych źródeł oraz wyizolowaniu cennych białek serwatkowych z serwatki, odbiałczony permeat serwatki jest zagęszczany do 60-65% suchej masy, przy zastosowaniu wielostopniowego odparowania (**ang.** evaporation). Przed odparowaniem, permeat może być następnie, według potrzeby, zagęszczony i/albo zdemineralizowany metodą osmozy odwróconej i/lub nanofiltracji. Po schłodzeniu zagęszczonego permeatu, następuje proces krystalizacji laktozy, a wyizolowanie kryształów odbywa się metodą dekantacji albo odwirowania. Po wyizolowaniu, wilgotne kryształy laktozy (~10% wody) są suszone metodą

błyskawiczną lub w suszarkach ze złożem fluidalnym. Laktoza klasy spożywczej może być następnie rafinowana lub wygładzana dla różnych bardziej wymagających zastosowań, takich jak wypełniacz tabletkowanych preparatów farmaceutycznych, metodą rekrytalizacji lub różnych technik chromatograficznych (np. chromatograficzna metoda wykluczania jonów).

Literatura

1. Belitz, H.D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009) Food Chemistry, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
2. Gänzle, M.G., Haase, G. & Jelen, P. (2008) Lactose – crystallization, hydrolysis and value-added derivatives. *Int. Dairy J.* 18, 685 – 694
3. Gille, D., Walther, B., Badertscher, R., Bosshart, A., Brügger, C., Brühlhart, M., Gauch, R., Noth, P., Vergéres, G. & Egger, L. (2018) Detection of lactose in products with low lactose content. *Int. Dairy J.* 83, 17 – 19
4. Harju, M., Kallioinen, H., & Tossavainen, O. (2012) Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products. *Int. Dairy J.* 22, 104 – 109
5. Hourigan, J.A., Lifran, E.V., Vu, L.T.T., Listiohadi, Y., & Sleight, R.W. (2013) Lactose: Chemistry, processing and utilization in *Advances in Dairy Ingredients* (Augustin, M.A., & Smithers, G.W., eds.) pp. 31 – 70, Wiley-Blackwell, Ames, Iowa
6. Kolars, J.C., Levitt, M.D., Aouji, M., & Savaiano, D.A. (1984) Yoghurt – An autodigesting source of lactose. *N. Engl. J. Med.* 310, 1 – 3.
7. Oku, T., & Nakamura, S. (2002) Digestion, absorption, fermentation and metabolism of functional sugar substitutes and their available energy. *Pure Appl. Chem.* 74, 1253 – 1291.
8. Swallow, D.M. (2003) Genetics of lactase persistence and lactose intolerance, *Annu. Rev. Genet.* 37, 197 – 219.

