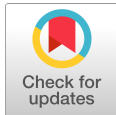


REVIEW

유당불내증에 효과적인 유당이 없는 낙농 유제품의 개발: 현재와 미래

천정환^{1†} · 서건호^{1†} · 정동관² · 송광영^{1,3*}¹건국대학교 수의과대학 KU식품안전건강연구소, ²고신대학교 식품영양학과,
³연변대학 과학기술학원 생물공정전업

Development of Lactose-Free Dairy Products Effective against Lactose Intolerance: Present and Future

Jung-Whan Chon^{1†}, Kun-Ho Seo^{1†}, Dongkwan Jeong², and Kwang-Young Song^{1,3*}¹KU Center for Food Safety, College of Veterinary Medicine, Konkuk University, Seoul, Korea²Dept. of Food and Nutrition, Kosin University, Busan, Korea³Dept. of Biological Engineering, Yanbian University of Science and Technology, Yanji, Jilin Province, China

Received: March 14, 2020

Revised: March 27, 2020

Accepted: March 27, 2020

†These authors contributed equally to this study.

*Corresponding author :

Kwang-Young Song

KU Center for Food Safety, College of Veterinary Medicine, Konkuk University, Seoul 05029, Korea, and Dept. of Biological Engineering, Yanbian University of Science and Technology (YUST), Yanji, Jilin Province 133000 China.

Tel : +82-2-450-4121

Fax : +82-2-3436-4128

E-mail : drkysong@gmail.com

Copyright © 2020 Korean Society of Dairy Science and Biotechnology.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Jung-Whan Chon

<https://orcid.org/0000-0003-0758-6115>

Kun-Ho Seo

<https://orcid.org/0000-0001-5720-0538>

Dongkwan Jeong

<https://orcid.org/0000-0002-6305-794X>

Kwang-Young Song

<https://orcid.org/0000-0002-5619-8381>

Abstract

Lactose intolerance is a pathophysiological phenomenon caused by a deficiency of the enzyme lactase present in human intestines. Changes in intestinal digestion and colon fermentation after the intake of lactose-containing products cause diarrhea and other clinical discomforts. Therefore, lactose intolerance can be easily ameliorated by consuming lactose hydrolyzed milk and dairy products. In the recent years, lactose-free dairy products have provided lactose intolerant consumers with several options, due to an improvement in the quality and an increase in the variety of products. Currently, the manufacturing of lactose-free products also represents the fastest growing sector in the dairy industry. This review, thus, aims to provide an overview of the current availability and prospects of lactose-free dairy products, and also discuss the potential benefits of the development of a variety of lactose-free dairy foods.

Keywords

lactose intolerance, lactose-free, lactase, milk

서론

유당을 소화하는데 장애가 있는 사람을 유당불내증 환자라고 부르며, 비율을 살펴보면 동남아시아 성인의 98%-100%에서 네덜란드의 1%에 이르기까지 국가별, 대륙별로 매우 다양하다[1]. 유당불내증 환자들은 장내의 갈락토시아제(유당분해효소)가 유전적으로 감소되어서 유당을 분해하지 못하여 흡수되지 못하는데, 이것을 유당분해효소의 병리생리학적 저항성이라고 하며, 또한 소화관 상피세포의 내벽에 손상을 유발하기도 한다[2]. 일반적으로 신생아의 건강을 증진시키기 위해서 유당은 필수적으로 섭취되어야 한다[3]. 장내미소용모효소 “유당분해효소”는 유당을 가수분해하여 에너지를 생산하는 흡수가능한 당인 포도당과 칼로토스로 분해한다(Fig. 1) [1-4]. 대부분의 신생아들은 장내 효소인 유당분해효소의 활력은 가장 높다[4]. 그러나, 2-12세의 아동들 사이에서는 두 개의 그룹으로 나누어지는데, 유당분해효소감소증인 유당분해효소가 지속되지 않는 그룹과 유당분해효소가 지속되는 그룹(십지어는 신생아의 유당분해효소활력이 지속되기도 함)이다[4]. 유당에 따른 증상은 사람마다

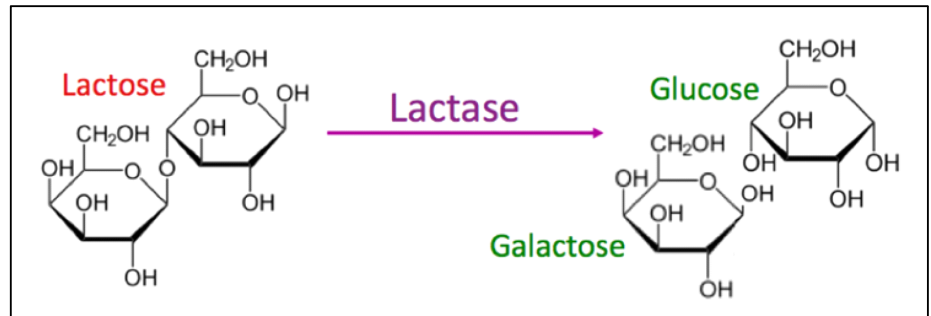


Fig. 1. Lactase breaks down to glucose and galactose for better absorption of lactose into small intestine.

매우 다양하게 나타난다[4]. 예를 들면, 유당 섭취량, 유당분해효소 결핍의 정도, 유당이 분해되어 있는 식품의 형태 등에 의해서도 영향을 받는다[2]. 일반적으로 전 세계 성인 인구의 약 75%가 유당 불내증 환자로 알려져 있다[1, 2]. 유당불내증에 의한 신체적인 징후는 일반적으로 5가지로 나눌 수 있는데, 첫째는 위장관에서 설사, 구토, 복부 경련, 가스가 차는 등의 징후를 보이며, 둘째는 신경 및 정신면에서는 의기소침, 두통 또는 편두통, 신경 자기 면역성 등의 징후를 보이며, 셋째는 구강과 뼈에서는 치아의 에나멜결함, 골다공증, 골절 등의 징후를 보이며, 넷째는 피부에서는 여드름과 습진, 피부염, 건선증 및 탈모증 등의 징후를 보이며, 그리고 다섯째는 간에서 간경변, 자가면역간염, 지방간, 간성뇌증 및 간 기능 저하 등의 징후를 보인다[1, 2]. 따라서, 모든 점을 감안하여, 유당불내증 환자들을 위한 기능성 식품을 개발하기 전에 반드시 다양한 연령층(신생아, 청소년, 노년 등)의 현재 수요, 비용 및 요구 등을 고려하여야 할 것이다.

최근에 유당이 없는 유제품은 현재 유당불내증을 가지고 있는 사람뿐만 아니라 유당을 충분히 분해할 수 있는 사람에서도 건강적인 측면의 관점에서 점점 더 많은 주목을 받고 있는 것이 사실이다[5]. 유당이 없는 유제품은 유당불내증인 사람들에게 우유에 존재하는 필수 영양소를 제공할 수 있다는 장점이 있다[4, 5]. 유당을 거의 함유하지 않거나 전혀 함유하지 않는 유제품이 다수 있는데, 이런 제품들은 유당불내증을 가진 사람들을 위해서 일부 품목에 한해서 제품이 제조되고 이용되었다[5]. 예를 들면, Gouda치즈와 같은 일부 치즈들을 생산할 때, 생산과정 중에 유당 함량을 낮추기 위해서 커드 세척 단계가 포함되기도 한다[6]. 이렇게 처리된 치즈들은 숙성되기도 전에 이미 유당 함량이 비교적 낮게 나타난다[5]. 그러나 다른 많은 치즈들의 경우, 유산 박테리아는 숙성하는 동안 작용하기 때문에 유당 함량이 서서히 낮아진다[5]. 따라서 일반적으로 파마산, 체다 또는 스위스 치즈와 같이 오랫동안 숙성되어 단단한 치즈의 경우에는 유당 농도가 매우 낮을 것이다[5]. 그러나 숙성기간이 짧거나 신선한 치즈의 경우에는 소비되는 양에 따라 유당불내증을 가진 사람들에게 반응을 일으키기에 충분한 유당을 함유할 수도 있다[5]. 유당이 낮은 다른 유제품으로는 버터이다. 버터 생산 중에는 유당을 포함한 우유에 함유된 수용성 성분이 대부분 제거되어 버터의 유당 함량이 < 0.1%로 감소하기 때문이다[4, 5].

하지만, 그 외 많은 신선한 유제품들은 상당히 많은 양의 유당을 함유하고 있다. 우유와 우유 음료 외에도 발효유 제품, 아이스크림, 그리고 가당화된 연유와 같은 유제품 디저트 등도 포함된다[5]. 또한 유청(예를 들면, 유청단백질농축물, 분리유청단백질, 유청막투과액으로 만든 제품)이나 분유들은 유당을 함유하고 있다. 유제품뿐만 아니라, 현재 초콜릿, 커피 음료처럼 현재 많은 식품들이 유당을 함유하고 있다[4, 5].

최근 유당불내증을 갖고 있는 사람들이 유제품의 섭취와 영양가치를 완전하게 회피할 필요가 전혀 없다[7]. 유당을 포도당과 갈락토스로 가수 분해시키는 유당분해효소에 의존하는 것이 가장 제일 좋은 방법이다. 이러한 단당류는 소장에서 쉽게 흡착되며, 유당불내증의 증상의 발생을 방지하게 한다.

현재 상업적으로 이용할 수 있는 두 가지 종류의 유당분해효소가 있는데, 중성 유당분해효소와 산성 유당분해효소이다[8]. 비록 일부 국가에서는 중성 유당분해효소를 가정에서 우유를 직접 처리할 때 사용하도록 제공을 하기도 하지만, 일반적으로 산업적인 차원에서 유당 없는 유제품의 생산에 주로 사용되고 있다[5]. 산성 유당분해효소는 일반 유제품과 함께 섭취할 수 있는 영양 보충제로서 소비자들이 이용할 수 있으며, 위 속의 유당을 분해하는 역할을 한다[5].

따라서 본 총설에서는 현재까지 유당이 없는 유제품의 생산, 유당분해효소의 이용방안, 시장의 잠재력, 유당이 없는 유제품을 섭취한 후 영양학적인 평가 등에 집중하여 정리할 것이며, 모든 자료들은 이미 발표된 문헌들을 조사하여 재정리하였다.

본 론

1. 유당이 함유된 유제품

유당이 없는 제품을 조제할 때 고려할 첫 번째 사항은 유당이 과민증을 유발하기 때문에 유당관련 물질을 식품에서 제거하는 것이다[4]. 최근 연구자들의 많은 노력으로 선진국의 대부분 슈퍼마켓에서 유당이 없는 또는 유당이 많이 감소된 우유 및 유제품이 다양하게 보급되고 있으며, 또한 일반 우유 및 유제품과 영양학적인 비교에서도 유사하다고 보고하였다[9].

다양한 포유동물로부터 분비되는 초유와 원유에서의 100 mL당 유당 함량(g)을 살펴보면 Table 1과 같다[4].

그리고 우유를 이용하여 제조되는 다양한 유제품들에서의 유당함량은 Table 2와 같다[4].

2. 유당이 없는 유제품의 시장 잠재력

유당이 없는 유제품 시장은 유제품 업계에서 가장 빠르게 성장하고 있는 부문이다. 유로모니터 (Euromonitor) 분석의 자료에 의하면, 유당이 없는 유제품의 매출은 2022년까지 90억 유로까지 도달할 것으로 예상되며, 전체 유제품의 성장률인 2.3%보다 더 높은 7.3% 이상 상회할 것으로 예상하고 있다[10]. 유당이 없는 유제품의 가장 큰 항목은 이동하면서 간편하게 먹을 수 있는 우유제품으로 3분의 2이상을 차지하며, 지속적으로 큰 범위로 성장하고 있다[10]. 두 번째 항목은 유당이 없는 요거트이며, 2020년까지 매출이 대략 10억 유로에 이를 것으로 예상하고 있다. 유당이 없는 치즈도 예측 기간 동안 8.4%로 가장 빠르게 성장할 것으로 예상하고 있다[5, 10]. 유당이 없는 유제품 시장이 가장 크고 빠르게 성장하는 곳은 유럽의 서부지역이며, 그 다음은 남미지역이다[5]. 민텔 (Mintel) 테이터베이스 분석의 자료에 의하면, 유당이 없는 제품은 2012년에서 2016년 사이에 크게 증가한 신제품 출시 횟수에서 알 수 있듯이 유제품 산업의 판매 성장을 주도하고 있음을 알 수 있다 [11]. 전세계적으로 유당이 없는 제품의 요구는 더 이상 일부 제품에만 국한되어 사용되는 것은 아니다. 최근에는 새로운 우유 제품 출시에서 최고의 건강 제품들 중 하나가 바로 유당이 없는 제품이기 때문이다[11].

유당이 없는 제품의 폭넓은 가용성은 소비자들에게 유당을 사용하지 않는 것을 점점 더 넓은 제품 범위까지 확대하여 결국은 유제품을 선호하게 되게끔 장려하고 있다는 것이다. 제품의 다양성은 최근 우리가 주목하는 주요 변화 중 가장 중요한 것이기도 하다. 유당이 없는 것이 점점 더 광범위한 유제품 범주에서 나타나고 있다는 것이다. 상온에서 보관이 가능한 유당이 없는 유제품판매는 UHT(초고온열처리) 방법으로 처리된 유당이 없는 우유의 출시로 인해 소폭 증가하였으며, 또한 이것은 전통적으로 대부분의 나라에서 유당이 없는 제품의 생산시에 선택하는 가장 일반적이고 유일한 방법이다 [5]. 그러나 냉장 보관을 요구하는 다양한 유당이 없는 제품의 출시 횟수가 증가한다는 것은 소비자들이 더 쉽게 찾을 수 있어서 더 편리하게 이용할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 이것은 공장에서

Table 1. Comparison of lactose content in colostrum and raw milk from various mammals (다양한 포유동물의 초유와 원유에 포함된 유당함량 비교)

Classification of milk (우유의 종류)	Type of mammals (포유동물의 종류)	Lactose content(유당함량) (g/100 mL)	
		Colostrum (초유)	Milk (우유)
Raw milk (살균하지 않은 원유)	Buffalo (물소)	5.2	4.5-5.5
	Camel (낙타)	3.63	3.3-4.8
	Cow (소)	4.3	3.7-5.1
	Goat (염소)	2.9-4.4	3.6-4.8
	Human (인간)	5.3	6.2-7.5
	Sheep (양)	3.3	3.7-4.8
	Yak (야크)	3.2-4.7	4.17-5.6

Adapted from Suri et al., 2019 [4].

Table 2. Comparison of lactose content in various milk based products (다양한 유제품에 포함된 유당함량의 비교)

Classification (분류)	Type (종류)	Lactose content (g/100 mL)
	Butter (버터)	0.8-1.0
	Butter milk (버터밀크)	3.6-5.0
Cheese	Cheddar (체다치즈)	0.095-0.5
	Cottage (카터지)	1.0-3.1
	Goat cheese (염소치즈)	2.2
	Mozzarella (모짜렐라)	0.1-1.59
Milk based products (우유로 제조된 유제품)	Chocolate flavored milk (초콜릿향우유)	4.1-4.9
	Condensed milk (연유)	9.9-14.0
	Cream (크림)	0.1
	Evaporated milk (농축우유)	10-11
	Ice cream (아이스크림)	3.6-8.4
	Kefir (케피어)	4.0
	Koumiss (쿠미스)	5.5
	Lactose hydrolyzed milk (유당이 가수분해된 우유)	0.43-0.6
	Low fat milk (저지방우유)	3.7-5.5
	Milk cake (밀크케이크)	7.7
	Skim milk (탈지분유)	4.3-5.7
	Whey (유청)	5.1
	Whipping cream (휘핑크림)	2.8-3.0
	Yoghurt (요구르트)	4.70-4.76

Adapted from Suri et al., 2019 [4].

주요한 품목으로 자리잡게 될 것으로 예상된다. 또한, 현 상태에서 유당이 없는 유제품의 우수한 품질 때문에, 만약 가족 구성원 중에서 한 명이라도 유당불내증이 있으면 많은 가정들은 유당이 없는 유제품을 구입하는 방식으로 완전히 전환되어서 유당이 없는 제품의 판매를 급격히 촉진시킬 수 있기 때문이다[5].

유당이 없는 유제품의 생산에 사용되는 효소는 전통적인 유제품 효모인 *Kluyveromyces lactis* (이것과 매우 가까운 *K. fragilis*, *K. marxianus*, 또는 *Saccharomyces lactis*)에서 유래한 중성 β-갈락토시아이드아제이다[8]. 이런 전통적인 효소는 현재 유럽 1개사와 일본 3개사에서 생산되고 있다. 자세히 살펴보면, 유럽의 경우 네덜란드 헬렌에 위치한 DSM Food Specialties에서 생산되지만 판매할 때는 Maxilact® 브랜드를 사용하고 있으며, 일본은 Amano, Godo, 그리고 Nagase 등에서 생산되고 있다[5]. 일본 기업들은 미국 Dupont의 Godo YNL2® 이름으로, 덴마크 Chr. Hansen의 Halactase® 이름으로, 덴마크 Novozymes의 Lyctozyme® Pure의 이름으로 그리고 다른 상표명

으로 많은 공급업체를 통해 그들의 제품을 판매하고 있다[5]. *K. lactis*에 유래한 모든 상업적인 효소는 기본적으로 유당 가수분해에서 같은 성능을 가지지만, 이 효소의 다양한 능력과 다양한 온도 등을 손쉽게 이용할 수 있다. 예를 들면, *Bacillus circulans* 또는 *Aspergillus oryzae*로부터 유래된 다른 상업용 β -갈락토사아제는 최적 pH나 온도가 다양하기 때문에 대부분의 낙농공장에서 유당이 없는 제품을 생산할 때 잘 사용하지 않는 것이 사실이며, 주로 갈락토-올리고사카라이드(GOS) 생산이나 영양 효소로 판매되고 있다[8]. 최근 급격한 판매 증가로 유전자 변형 생산 숙주로부터 생산된 β -갈락토사아제의 공급이 이루어지고 있다. 예를 들면, Novozymes에 의해서 Saphera®와 Chr. Hansen에 의해서 Nola-Fit®가 판매되고 있는데, 이것들은 *Bacillus* 숙주 균주변형으로 생성된 *Bifodobacterium* 유당분해효소이며 불완전한 상태이다. Maxilact® Smart는 DSM Food Specialities에 의해서 생산 및 판매가 되고 있으며, 상대적으로 높은 특이 활성을 가진 일반적인 *K. lactis* 유당분해효소의 자기복제본이다[5]. 따라서 이러한 유당분해효소 신제품들이 시장에서 얼마나 받아들여질지, 그리고 낙농업 생산자에 대한 부가가치가 얼마나 될지는 매우 흥미로운 것임에는 틀림없다. 유당이 없는 우유를 생산하기 위해서 상용되는 모든 상업용 유당분해효소는 안정화된 액체로 사용할 수 있으며, 또한 코셔/할랄 인증을 이미 받았다는 것에 유념을 하여야 할 것이다.

3. 유당이 없는 낙농유제품 생산

이번에는 유당이 없는 제품의 생산을 위해서 유제품 산업에서 사용되는 다양한 과정들을 소개와 설명을 하려고 한다. 또한, 유당이 없는 유제품을 생산할 때 유당 가수분해가 처리와 품질 측면에 미칠 수 있는 영향뿐만 아니라, 유당의 함량이 다양하게 감소된 낙농유제품들의 경제적인 관련성도 함께 소개 및 설명할 것이다.

1) 우유

유당에 대한 과민증을 앓고 있는 사람들을 위해서 간편하게 구입하여 섭취할 수 있는 우유는 다양한 형태로 많은 나라에서 찾아볼 수가 있다. 비록 유당불내증을 가진 대부분의 사람들이 유당 복용량이 매 식사 때마다 12그램 이하이면 증상이 거의 나타나지 않을지라도, 이 산업의 일반적인 경향은 유당 함유량을 가능하면 낮게 줄이는 것이다[7]. 하지만 현재까지 유당이 없는 제품의 건강표시 규제 요건에 대한 세계적인 합의가 이루어지지 않은 것은 사실이다. 과거에는 대부분의 유제품 생산자들이 유당 감소량을 0.5% 또는 0.1%로 간주했지만, 일부 국가의 현재 요구량은 유당이 전혀 없다고 볼 수 있을 만큼인 0.01% 이하로 낮추기까지 하였다[5]. 따라서 유당이 없는 우유 500 mL는 50 mg 미만의 유당을 가지는데, 이것은 영양학적 관점에서 요구되는 것보다 훨씬 적은 양이다. 우유 생산에서 이처럼 적은 양의 유당을 획득하려면 우유 처리와 이 과정에서 사용되는 효소의 용량과 효과뿐만 아니라, 그러한 낮은 양의 유당을 결정하기 위한 민감한 분석 방법에도 각별한 주의가 필요하다[12].

일반적으로 북유럽 국가, 북아메리카, 호주에서 대부분 판매되고 이용되는 우유는 저온 살균되어 2주 동안 냉각된 조건에서 저장하게 된다. 남유럽 국가들, 남아메리카 그리고 아시아에서 대부분의 우유는 UHT 살균 처리되어 최대 9개월까지 상온 온도에 저장이 가능하다. 흥미롭게도, 저온 살균 우유나 UHT 살균 우유 중에서 하나의 맛에 대한 소비자의 선호 외에, 우유에서의 단맛에 대한 선호도는 대략 아래의 내용 등에 의해서 분류되어질 수 있다[5]. 유당가수분해에 의해서 우유에서 생성되는 부가적인 단맛은 라틴과 아시아 국가에서는 특히 높이 평가되지만, 북유럽이나 북아메리카와 같은 전통적으로 우유 마시는 지역에서는 싫어하기 때문이다[5].

현재 유당이 없는 우유를 생산하기 위해서 두 가지 공정인 배치형태와 무균형태가 사용되고 있으며, 이 두 공정 모두 수용성 유당분해 효소를 사용하게 된다[13]. 고정된 효소에 의존하는 과정은 오래 전에 문헌에서 제안되었으며, 심지어는 실험적인 척도로 이용되기도 하였다[14]. 그러나 최종

제품의 미생물 안정성에 문제가 있어 유당이 없는 우유 생산을 위해서 산업계에서는 유당분해효소의 고정화가 오늘날까지 사용되고 있지는 않다[5]. 따라서 산업 환경에서 고정된 효소의 재활용은 제한적인데, 왜냐하면 수용성 효소를 이용한 가수 분해보다 운영시 비용 효율이 떨어지고 품질 결함이 더 많기 때문이다.

2) 발효유 제품

요구르트에서의 유당함량은 대략 30-40 g/kg인데, 대부분의 발효유제품에 상당한 양의 유당이 존재한다는 것은 유당에 내성이 없는 유당불내증 사람들이 이러한 유제품을 섭취하였을 때 다양한 문제를 야기할 수 있다는 것을 시사하고 있다[4, 5]. 그러나 이것은 소비되는 유당의 양에서 기대했던 것보다 훨씬 적은 양으로 보인다. 이 현상을 설명하기 위해 두 가지 다른 이론이 제시되었는데, 다음과 같다.

요구르트에 존재하는 유산균은 위장에서 살아남을 것이며, 이들 박테리아에 존재하는 유당분해효소는 소장에서 유당은 전부(또는 일부)를 분해하는데 도움을 준다. 단당류는 모두 박테리아에 의해 소비되고, 소장에서 섭취되므로 유당불내증 증세가 감소한다. 일부 낙농업체들은 이런 효과를 지닌 특별한 균주를 포함한 요구르트를 생산하고 있다고 주장하기도 한다. 이러한 가설은 요구르트 박테리아와 세포내 유당분해효소가 위장에서 살아남을 경우에만 적용될 수 있다. 실제로 요구르트의 살균은 유당 과민증 증상을 악화시킬 수도 있다[15].

두 번째로 제시된 설명은 요구르트의 유당이 액체 우유에 비해 점성이 있는 요구르트를 섭취하였을 때 전달 시간이 줄어들었기 때문에 더 잘 소화된다는 것을 시사하기도 한다. 이 때문에 소장의 잔류 유당분해는 유당을 소화하는데 더 많은 시간을 갖게 되고, 따라서 과민증상을 감소시킬 수 있다. 실제로 우유 한 잔과 함께 식사를 하면 증상을 줄일 수 있다는 사실이 밝혀져, 유당 소화에는 환승 시간이 역할을 할 수 있음을 시사한다[16].

이러한 효과들 중 어느 것이 유당불내증 사람들에게 발효유제품이 주요한 역할을 하는가에 관계없이, 가장 신뢰할 수 있는 것은 요구르트에 존재한 유당의 완전한 효소적인 소화가 일어난다는 것이다 [5]. 이것은 살균하기 전에(우유를 배치형태로 하는 것과 비슷함) 유당분해효소를 첨가하거나 또는 우유의 살균 후 배양액과 함께 유당분해효소를 첨가에 의해서 이루어진다. 전소화가 어떤 요구르트 균주들의 활력을 억제할 수 있기 때문에, 대부분의 요구르트 생산자들은 후자의 접근법인 공동가수분해를 선택한다[17]. 아마도 이것은 주요 탄소 공급원이 유당으로부터 포도당으로의 전환되거나 또는 유당이 가수분해된 우유에서 삼투압이 증가하기 때문이다.

요구르트 배양과 동시에 우유에 (중성)유당분해효소를 첨가하면, 유당 소화에는 제한된 시간만 남게 된다. 대부분의 중성 유당분해효소는 pH가 5.5 이하에서 완전히 비활성화되며, 이는 일반적인 요구르트 제조 공정에서는 2.5-3시간의 배양 후 도달하게 된다[8]. 따라서 유당이 없는 상태를 얻으려면 유당분해효소의 투여량이 상대적으로 높아야만 한다. 산성에 안정적인 유당분해효소는 현재 시판되고 있으며, 이는 총 효소 투여량을 감소시킬 수 있다[8]. 그러나 이들 효소는 최종 제품의 낮은 pH에서도 비활성화가 되지 않기 때문에, 일부 국가에서는 요구르트 포장에 추가적인 표시를 반드시 붙여야만 한다.

요구르트의 생산에 유당분해효소를 사용하는 주요 장점은 유당의 분열로 인한 단맛이 증가한다는 것이다[18]. 따라서, 첨가된 설탕의 총량은 향미 특성을 변경하지 않고도 1.5-2 g/100 g으로 줄일 수가 있다. 최종 제품은 유당이 없을 필요가 없기 때문에 이 적용을 위해 효소 첨가물을 줄일 수 있지만, 하지만 단맛의 현저한 차이 없이 약간 높은 잔류 유당이 허용된다. 왜냐하면, *K. lactis* 유당분해효소는 pH가 낮아짐에 따라 요구르트 과정에서 불활성되기 때문에, 요구르트 포장에 이 효소의 라벨 표시는 필요치 않은 경우가 많이 있다[18]. 따라서, 많은 요구르트 제조업체들은 설탕 첨가물을 줄이기 위해 이 효소를 포장에 표기하여 사용하기도 한다.

요구르트에서 유당을 분해하는 또 다른 이점은 특정 요구르트 균주를 사용하면 유통기간 동안에 사후 산성화가 감소한다는 것이다[19]. 분명히 어떤 요구르트 박테리아는 유당이 없을 때 덜 활동적이거나 또는 주요 탄소 공급원인 유당에서 다른 탄소공급원인 포도당으로 전환하는데 어려움을 겪게 되어 제품의 관능적 특성을 안정적으로 더 좋아지게 된다.

과거에 많은 상업용 유당분해효소에 자당분해효소 활성이 부작용으로 존재하였다는 것이다. 자당분해효소는 자당을 포도당과 과당으로 분해하여 결국 첨가된 자당을 포함한 발효유제품의 단맛의 강도에 영향을 미친다는 것이다. 이러한 문제가 심각하게 인식되어서 Maxilat® LGi와 같이 자당분해효소 활성이 없는 특별한 유당분해효소 개발로 이어졌다[5].

예를 들면, 발효유제품의 제조에 전분 또는 펙틴이 사용할 경우, 다른 관련 부작용들은 조직을 나쁘게 할 수도 있다. 종종 박테리아나 곰팡이 효소 준비 중에 흔히 존재할 수도 있는데, 아밀라아제(예를 들면, α -아밀라아제 또는 글루코아밀라아제)와 펙티나아제(예를 들면, endo-갈락타나제, 펙틴리아제 또는 폴리갈락투로나제) 부작용은 요구르트의 생산 또는 보관중에 요구르트의 조직에 영향을 미칠 수 있으며, 따라서 이러한 부작용 때문에 부족한 유당분해효소가 선호되기도 한다. 다행히도, 대부분의 증성 유당분해효소는 그와 같은 활성이 부족한 낙농 효모인 *Kluyveromyces lactis*에서 만들어진다. 유당이 없는 우유를 사용하여 생산된 전분 기반 디저트에서는 조직의 차이는 감지되지 않았다.

3) 기타 유제품

많은 다양한 유제품들에 효소 처리를 통해 유당이 없는 제품들이 만들어지고 있다. 모든 적용은 유당이 단당류로 전환될 때 다양한 조건들이 있기 때문에, 종종 처리공정이나 제조법이 최적의 결과를 얻기 위해 조정되어야 한다는 것을 인식하는 것이 매우 중요하다.

향이 첨가된 우유는 우유 공정에서 이미 널리 사용되는 익숙한 공정으로 만들어진다. 그러나, 유당분해효소 처리에 의한 추가적인 단맛의 발생은 대부분의 요구르트의 상황과 유사하게 설탕 첨가물을 감소시킬 수 있기 때문에 장점이 될 수 있다[18]. 향이 첨가된 유당이 없는 우유는 일반적인 유당이 없는 우유보다 마일라드 관련 이상취 그리고 갈변화 같은 문제가 훨씬 적었다. 왜냐하면 이 제품은 일반적으로 그 자체로 강한 향과 색깔을 가지고 있기 때문이다. 당 함량이 높은 초콜릿 우유와 같은 일부 향이 첨가된 우유들의 경우, 유당 가수분해는 모든 설탕 첨가물을 완전히 대체하기에 불충분할 수 있으므로[20] 감미료의 추가가 여전히 필요할 수 있다.

유제품 분말은 우유나 유청에서 생산할 수 있으며, 배지 공정을 통해 유당이 없게 만들어질 수 있다. 처리된 우유에 있어서 단당류의 높은 농도로 존재하는 것이 주요 문제인데, 유리전이온도의 하락으로 이어지기 때문이다. 따라서 이 제품은 건조 조건이 조정되지 않을 때 분무건조기에 달라붙을 수도 있다[21]. 온도가 훨씬 낮은 상태에서 분무 건조 조건은 건조 공정의 생산성의 급격한 감소와 비용 증가로 이어질 수 있다. 또한 유당이 없는 우유(또는 유청) 분말은 습기를 흡수하는 능력이 매우 높기 때문에 각별히 주의하여 포장하지 않을 경우 보관 중에 딱딱해질 수 있다. 이러한 어려운 기술적 문제들로 인해, 유당이 없는 유제품 분말은 일반 우유 분말과는 대조적으로 여전히 작은 시장으로 남아 있다.

치즈는 응고하기 전에 유당분해효소를 치즈제조용 우유에서 배양하여 유당이 없게 만들 수 있다. 이것은 상당량의 유당을 함유하고 있는 것으로 알려진 바로 제조한 신선한 치즈에 대부분 유용하게 적용할 수 있으며, 현재 유당분해효소는 이 목적을 위해서 사용되고 있다. 숙성된 치즈의 경우, 유산균이 모든 유당을 섭취하므로 어떠한 유당분해효소 배양이 필요하지 않다. 요구르트에서의 상황과 대조적으로, 유당분해효소로 처리한 치즈용 우유는 치즈를 제조하는 동안 산성화를 자극하기 위해서 사용된다고 많은 문헌에서 보고되었다. 또한, 숙성하는 동안 치즈 맛 형성을 증가시키기 위해 유당분해효소를 첨가한다고도 알려져 있다. 그러나 이러한 효과가 유당의 가수분해로 인한 치즈 미생물의

자극 때문인지, 아니면 과거에 상업적으로 이용할 수 있었던 유당분해효소에 존재하는 잔류 단백질분해 활성에 의한 것인지는 완전히 명확하게 밝혀지지는 않았다. 우유 단백질에서 아미노산의 방출은 이러한 실험에서 치즈균 활력을 자극하였을지도 모른다[22]. 현재까지 후자의 설명이 가장 유력한 것으로 보인다.

아이스크림 믹스에서 유당이 없는 우유와 분말을 사용하거나 또는 동결하기 전 숙성단계에서 살균과 배양 후 유당분해효소를 첨가하여 유당이 없는 아이스크림을 만들 수 있다[23]. 왜냐하면 유당 가수 분해 후 단당류의 함량이 증가하기 때문에, 아이스크림 혼합물의 동결점은 감소하게 된다. 결국 같은 온도에서 더 부드러운 아이스크림을 만들 수 있게 된다. 비록 “soft scoopt(부드럽게 되는 능력)” 때문에 몇몇 냉동 디저트의 경우 이것이 장점이 될 수도 있지만, 그것은 또한 더 빨리 녹게 할 수도 있다. 그러나 유당의 가수분해로 인해 단맛이 증가하기 때문에, 아이스크림 제조자는 설탕 첨가물을 줄이기로 결정하였고, 그래서 녹는 온도를 다시 증가하기로 결정하였다. 이러한 조리법의 변경은 혼합물의 총고형분 함량을 감소시키기 때문에, 아이스크림에 대한 현지 규정을 준수하기 위한 추가 조치가 필요할 수도 있다. 또한 유당분해효소 처리는 유당 결정화를 막기 위해 아이스크림에 사용되기도 한다. 특히 아이스크림 믹스에서 유청분말 또는 유청단백질 농축물을 사용할 경우, 동결시 유당 결정체를 형성할 수 있을 만큼의 정도로 유당함량이 높을 수도 있다. 이것은 “모래화”라고 불리는 관능검사 평가시 감각적인 결함을 초래하기도 한다. 유당분해효소 처리는 낮은 온도에서도 잘 용해될 수 있도록 유당을 포도당과 갈락토스로 쪼개어 아이스크림의 모래화가 형성되는 것을 막을 수가 있다. 유당 가수 분해는 아이스크림 믹스의 점도를 뚜렷하게 높이고, 동결점을 감소시키며, 당분을 25% 줄일 수 있도록 단맛을 증가시키며, 모래화 생성을 감소시키며, 아이스크림의 전반적인 관능검사 평가를 향상시키는 것으로 조사되었다[23].

둘세 드레체(Dulce de Leche)는 Maillard 반응으로 카라멜화가 일어날 때까지 설탕이 들어간 농축 우유를 가열하여 생산한다[5]. 우유에 대한 유당분해효소 처리는 최종 제품에 유당이 없어지게 할 뿐만 아니라, 갈락토스의 방출로 인한 마일라드 반응을 자극하기도 한다. 따라서, 유당분해효소로 치료하면 둘세 드레체(Dulce de Leche)의 생산 과정에서 맛과 색 형성을 향상시킬 수 있다. 또한, 아이스크림에서처럼, 유당 가수분해는 최종 제품이 냉장 보관될 때 모래화가 되는 경향을 방지할 수 있다.

치즈 유청은 단백질, 유당, 우유염으로 분해되는 귀중한 부산물이며, WPC, WPI 및 다양한 등급을 가진 유당 등이 판매되고 있다. 그러나 모든 낙농가들이 이러한 제품을 생산할 수 있는 능력이나 시설을 갖추고 있는 것은 아니다. 또한 액체 유청 또는 유청투과액의 달콤한 유제품 향은 시럽이나 분말로 농축하기 전에 유당을 자유 형태, 고정 또는 세포 부유물로 분해함으로써 향상시킬 수 있다[24]. 이러한 유당이 없는 제품은 감미료로 사용될 수 있으며, 예를 들면, 아이스크림, 과자 또는 빵집 등에 적용할 수 있다. 유청 또는 유청투과액에 있어서 유당의 가수분해하였을 때 추가적인 다른 장점으로는 결정화 문제 없이 미세하게 안정된 시럽을 형성할 수 있어 건조 비용을 절감할 수 있다는 것이다. 기질의 pH에 따라, 중성 또는 산성 유당분해효소 중에서 하나를 사용할 수가 있다[24].

유당분해효소 처리가 추가적인 이점을 가질 수 있는 유당이 없는 유제품의 위에서 언급한 다양한 예시들 외에도, 디저트, 크림 등과 같은 많은 유당이 없는 유제품이 오늘날 많이 생산되고 있으며, 또한 유당이 없는 제품의 범위를 확장하는 데 도움이 되고 있다.

4. 유당을 대체할 수 있는 식품자원들

식품에 함유된 유당을 피하게 되면 우유와 유제품에 존재하는 주요 탄수화물(유당) 공급원이 배제된다. 식품 또는 유제품을 포함한 유당에 대한 대안으로 사용되는 유당분해효소로 처리 유제품 또는 구강으로 섭취되는 유당분해효소 보충제의 사용을 선택할 수 있다[25]. 동물과 인간의 우유에 함유된 유당 함량은 고량이고, 식단에서 유당을 완전히 제거하면 어린이와 어른들의 칼슘이 부족하게 되어

쉽게 골절을 일으킬 수 있는 골밀도가 낮아서 연약한 뼈가 될 수 있다[26]. 따라서 특정 연령 그룹에 해당하는 인체의 원하는 영양 요구 조건을 얻기 위해서는 대체 공급원을 탐색하고 개발하기 위한 연구가 절실히 요구된다.

생균제는 가장 큰 기능성 식품 시장 중 하나이다. 비유제품 중에서, 콩의 고유한 건강상의 이점 때문에 콩으로 만든 것은 많다. 이와는 별도로 유당이 없는 공급원으로 요구르트, 치즈, 케피어 등이 유당불내증 환자의 식품 개발에 사용되고 있다[27]. 또한 두유, 쌀 밀크, 코코넛 밀크, 귀리 밀크, 유당 가수분해 우유들이 유당이 없는 제품 개발에 사용되어지고 있다[4]. 또한 지금까지 다양한 연구자들이 유당불내증 환자들을 위해서 유당이 없는 다양한 식품을 설계하고 개발하기 위해 많은 연구가 있었다. 이 외에도, 다양한 외부의 유당분해효소(β -galactosidase와 tilactase)와 기능성 식품 시장 중에서 가장 큰 프로바이오틱스 식품(*Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium animalis*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus acidophilus* or *Lactobacillus rhamnosus*)을 사용하는 대체요법은 유당불내증 환자에게 효과적인 전략을 제시하고 있다.

따라서 이러한 장점으로 유당불내증에 대한 영향과 함께 최근 연구된 유당분해효소와 관련된 내용은 Table 3과 같다[4].

또한 생균제와 관련된 내용은 Table 4와 같다[4].

5. 유당이 없는 유제품의 건강적인 측면

1) 유당이 없는 유제품과 일반 유제품간의 영양적 차이

유당이 없는 유제품은 유당불내증을 가진 사람들에게 많은 혜택을 줄 수 있기 때문에 유당의 섭취에 따른 불편한 장 증상 없이 유제품의 맛을 즐길 수 있다. 또한 유당이 없는 유제품은 유당에 내성이 있는 사람들에게 건강적인 측면에서 점점 더 많은 매력을 가지고 있다. 유당이 없는 유제품에서 유당은 포도당과 갈락토스로 미리 분해된다. 따라서 유당 함량은 매우 낮을 수 있지만(< 0.1 g/L), 그러나 유당이 없는 우유의 포도당과 갈락토스 함량은 약 25 g/L가 될 것이다. 위에서 언급한 바와 같이 유당이 없는 유제품에서 포도당과 갈락토스는 유당보다 당도가 높기 때문에, 유제품에 첨가되는 당분을 최대 10-15 g/kg까지 감소할 수 있기에 결국 칼로리 첨가물을 줄일 수 있다[18]. 유당불내증을 가진 사람들이 감소된 유당을 섭취하는 장점 이외에도, 유당이 없는 유제품은 일반 유제품과 비교하여 인체에 영양적으로 다른 효과를 줄 가능성이 없다. 유당이 이미 분해된 것을 섭취하면, 포도당과 갈락토스를 소장에 흡수되는데, 이것은 마치 유당에 내성이 있는 사람들이 온전한 유당을 섭취하여도 포도당과 갈락토스로 분해되는 것과 같은 경우이다. 쥐가 유당 또는 포도당 및 갈락토스를 섭취하였을 때, 쥐의 위내용물 배출 조사에서 어떠한 차이도 발견되지 않았다[28] 송아지들이 우유 또는 유당이 없는 우유를 각각 급여하여 혈당 반응을 조사하였지만, 아무런 차이를 발견하지 못하였다[29]. 심지어 우유 또는 유당이 없는 우유를 각각 섭취한 건강한 사람의 연구에서도 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 당뇨병 환자들이 유당 또는 유당분해산물인 포도당 및 갈락토스를 섭취하였을 때와 같이 혈당반응에서 차이가 없는 것으로 관찰되었다[30].

2) 유당이 없는 유제품과 유제품 기피증과의 건강과 경제적인 영향

미국 국립보건원(NIH)은 유당을 잘 흡수하지 못하는 대부분의 사람들은 매 식사당 1인분당 최대 12 g의 유당 섭취를 허용하며, 이것보다 적은 양의 유당을 섭취하여도 일반적으로 큰 문제를 일으키지 않는다고 결론을 내렸다[7]. 여전히 자가진단이나 의사진단에 의해서 유당불내증을 가지고 있는 사람들은 유당을 함유하는 모든 제품을 피하려고 노력을 해야할 것이다. 그러나, 국립의학협회의 최근 보고서에 의하면 유당불내증을 가진 사람들 중에서 일반 유제품의 가장 이상적인 대용품이 바로

Table 3. Various effect on the lactose intolerance using lactase enzyme (유당분해효소를 이용하여 유당불내증에 대한 다양한 영향)

Classification (분류)	Research method (연구방법)	Effect (효과)
Lactase enzyme (유당분해효소)	<p>섭취 전에 <i>Kluyveromyces lactis</i>로부터 유래된 β-갈락토시아제를 우유에 첨가하였을 때 효과. (To study the effect of β-galactosidase derived from <i>Kluyveromyces lactis</i> by adding it to cow's milk prior to consumption.)</p>	<p>유당불내증 증상 중에서 과민증상이 억제됨. (Intolerance symptoms are suppressed by this treatment amongst symptomatic malabsorbers.) 유당불내증 환자의 60%~77%에서 상당한 불완전 당 흡수가 제거됨. (Eliminates significant incomplete sugar absorption in 60%~77% of malabsorbers.)</p>
	<p>유산균의 농도(20, 50 g)가 다른 제품의 효능을 비교하기 위해 lactogest(부드러운 젤 캡슐), lactaid(캡슐), dairyease(씹을 수 있는 알약)과 위약 등 3가지 다른 β-갈락토시아제 조제하여 유당불내증 환자들에게 섭취하여 조사한 결과. (To compare the efficacy of products with different concentration (20 and 50 g) of lactose, three different β-galactosidase preparations were fed to lactose patients including lactogest (soft gel capsule), lactaid (caplet), and dairyease (chewable tablet) and placebo.)</p>	<p>대부분의 유당을 분해하지 못하는 환자들 중에서 20 g의 유당을 함유한 우유에 β-갈락토시아제(6,000 IU 활력)를 첨가한 제품에서 획기적으로 개선됨. (Digestion and tolerance dramatically improved on introducing β-galactosidase products (with 6,000 IU of activity) in 20 g of lactose containing milk among most lactose maldigesters.) 이와는 대조적으로, 물에 함유된 50 g의 유당은 β-갈락토시아제 활력의 3,000 또는 6,000 IU의 분해를 시작하는 능력을 압도함. (In contrast, 50 g of lactose in water overwhelmed the ability of 3,000 or 6,000 IU of β-galactosidase products to initiate digestion.)</p>
	<p>위약(placebo)과 비교했을 때 유당분해효소(tilactase) 또는 <i>Lactobacillus reuteri</i>를 연속적으로 첨가하여 평가결과. (To assess the success of supplementation with tilactase or <i>Lactobacillus reuteri</i> when compared to placebo.)</p>	<p>유당불내증의 경우, 티락타제는 위약에 관한 유당 섭취 후 유당 호흡 테스트 결과와 위장 증상 모두를 강하게 개선됨. (In lactose intolerant, tilactase strongly improves both lactose breath test results and gastrointestinal symptoms after lactose ingestion with respect to placebo.) <i>Lactobacillus reuteri</i>는 또한 효과가 있었지만 tilactase보다는 낮았음. (<i>Lactobacillus reuteri</i> also is effective but lesser than tilactase.)</p>
	<p>유당불내증 환자의 치료에 있어 새로운 베타-D-갈락토시아제 알갱이 형태로 조제하여 효과를 평가 결과. (To study the effectiveness of a new beta-d-galactosidase pellet formulation in the treatment of lactose intolerance patients.)</p>	<p>새로운 형태의 제품은 배에서 불활성화에 저항하며, 유당을 생체내 포도당으로 효과적으로 변형시키고, 그리고 유당불내증의 증상을 감소시킴. (The formulation resisted inactivation in the stomach, effectively transformed lactose to glucose <i>in vivo</i> and reduced symptoms of lactose intolerance.)</p>



Table 3. Continued

Classification (분류)	Research method (연구방법)	Effect (효과)
Lactase enzyme (유당분해효소)	베타-갈락토시아제의 표준 경구 투여량으로 보충하였을 때 유당불내증 환자의 수소호흡배설에 미치는 영향. (To study the effect of supplementation with a standard oral dose of Beta-Galactosidase on hydrogen breath excretion among lactose malabsorbers.)	유당불내증 환자 개인에게 15,000 unit의 β -갈락토시아제를 경구 투여할 때 소수의 환자군에서 호흡 수소 배출 누적 값과 평균 수소 수준의 최고점을 줄이는데 상당히 효과가 있음. (Oral administration of 15,000 Units of β -galactosidase in lactose malabsorber individuals is effective in decreasing significantly the mean peak hydrogen levels and the cumulative values of breath hydrogen excretion in a small group of patients.)
	특정 식품에서 유당 수치를 낮추는 데 <i>B. bassiana</i> β -갈락토시아제의 영향을 평가. (To see the impact of <i>B. bassiana</i> β -galactosidase in lowering the lactose levels in certain food products.)	<i>B. bassiana</i> 는 다양한 탄소원으로부터 성장할 수 있었고 모든 경우에 β -갈락토시아제가 표현됨. (<i>B. bassiana</i> was capable of growth on a variety of carbon sources and β -galactosidase was expressed in every case.) <i>B. bassiana</i> 는 β -갈락토시아아제 등 다양한 세포의 효소를 생산하며, 그 결과 이 곰팡이는 산업에서 β -갈락토시아제의 공급원으로서 대안이 될 수 있음. (<i>B. bassiana</i> produces a variety of extracellular enzymes, including β -galactosidase. As a result this fungus may provide an alternative as a source of β -galactosidase in industry.)

Adapted from Suri et al., 2019 [4].

Table 4. Various effect on the lactose intolerance using probiotics (생균제를 이용하여 유당불내증에 대한 다양한 영향)

Classification (분류)	Types of probiotics used (사용된 생균제의 종류)	Effect (효과)
Probiotics (생균제)	<i>Bifidobacterium longum</i>	유당불내증 환자의 요구르트와 비피도박테리아 첨가는 대장균의 대사 활동을 조정하고, 유당불내증 환자의 증상을 완화시킴. (Supplementation of yogurt and bifidobacteria in lactose-intolerant subjects modified the metabolic activities of the colonic microbiota and alleviates symptoms in lactose-intolerant subjects.)
	<i>Bifidobacterium animalis</i> and <i>Lactobacillus plantarum</i>	프로바이오틱스 제품(새로운 프로바이오틱스 균주인 <i>B. parametis</i> subsp. <i>animalis</i> IM386과 <i>L. plantarum</i> MP2026의 결합)은 유당불내증환자에 있어서 일부 위장증상을 완화시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있음. (Probiotic product (combination of new probiotic strains <i>B. animalis</i> subsp. <i>animalis</i> IM386 and <i>L. plantarum</i> MP2026) have the potential for alleviation of some gastrointestinal symptoms in lactose intolerance subjects.) 프로바이오틱스 제품은 현저하게 설사를 낮추는 결과를 가져옴. (Probiotic product resulted in significant lowering of diarrhoea.)

Table 4. Continued

Classification (분류)	Types of probiotics used (사용된 생균제의 종류)	Effect (효과)
Probiotics (생균제)	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> and <i>Streptococcus thermophiles</i>	살아있는 <i>Lactobacillus bulgaricus</i> 와 <i>Streptococcus thermophilus</i> 가 함유된 요구르트의 만성 섭취는 유당 흡수를 가진 남성의 유당 흡수불량을 개선시킴. (Chronic consumption of yogurt containing live <i>Lactobacillus bulgaricus</i> and <i>Streptococcus thermophilus</i> ameliorated the maldigestion in men with lactose malabsorption.)
	<i>Lactobacillus reuteri</i>	<i>L. reuteri</i> 는 메스꺼움, 속이 거북한 상태, 설사를 줄임으로써 긍정적인 연관성을 보여줌. (<i>L. reuteri</i> shows positive association by reducing nausea, flatulence and diarrhoea.) 베타-갈락토시아제 활성을 높이고 인슐린 분비를 개선하는데, 이것은 incretin의 증가된 방출 때문으로 사료됨. (It has increased beta-galactosidase activity and improves secretion of insulin, possibly due to augmented release of incretin.)
	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>L. acidophilus</i> 의 DDS-1균은 유당이 갑자기 많아졌을 때 설사, 경련, 구토에 대한 위약과 비교해볼 때 복부 증상을 개선함. (DDS-1 strain of <i>L. acidophilus</i> improves abdominal symptom compared to placebo with respect to diarrhoea, cramping, and vomiting during an acute lactose challenge.)
	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	유당불내증을 가진 환자들은 <i>L. rhamnosus</i> 로 강화된 유제품을 먹은 후 염증 반응이 감소됨. (Subject with Lactose Intolerance show reduced inflammatory reaction after consuming dairy products fortified with <i>L. rhamnosus</i> .)

Adapted from Suri et al., 2019 [4].

유당이 없는 유제품이라고 보고하였다. 또한, 어린이들은 콩 음료보다 유당이 없는 우유 제품을 더 선호한다는 결과도 보고하였다[31].

우유의 영양 성분을 살펴보면 이들 식품이 특히 콜린, 인, 칼슘, 리보플라빈, 비타민 B₁₂와 비타민 A의 주요 공급원이기 때문에 모든 유제품을 식단에서 제외하는 것은 영양결핍으로 이어질 수도 있다 [5]. 미국과 캐나다에서 우유는 비타민 D를 반드시 첨가하여 공급원으로서의 역할을 하고 있다. 콩, 쌀, 아몬드에서 나오는 "유제품 대체물"은 종종 우유나 요구르트의 대용품으로 소비되며, 특히, 비타민 A, 비타민 B₁₂, 칼슘을 강화하면 영양가 있는 대체품으로 구성되어 있다[5]. 어떤 연구에 의하면 영양분이 충분히 첨가된 두유에서 나오는 칼슘의 생물학적 가용성이 우유에서 나오는 칼슘 효율의 75%에 불과하다고 보고하였다[32]. 결과적으로, 유당이 없는 유제품들은 칼슘 권장 섭취량보다 적어도 20% 이상 더 많이 함유되어 있다.

우유를 배제하지 않는 대안으로는 유당이 없는 유제품, 유산균을 함유한 요구르트, 유당분해효소와 우유를 함께 섭취하는 방법 등이 있을 것이다. 유당이 없는 유제품과 유당분해효소 보충제 섭취는 식이 섭취와 그 필수 영양소를 줄이지 않으므로 식단에서 유제품을 제외시키는 것보다 장점이 있을 수도 있다. 그러나, 칼슘과 무기물의 생물학적인 이용가능성에 대한 유당 역할에 대한 논쟁은 여전히

존재하고 있다. 유당은 포유류에서 칼슘 흡수의 촉진제로 인식되고 있으며, 동물 연구에 의하면 유당이 칼슘 흡수를 증진시키는 것으로 밝혀졌지만, 인간에서는 이러한 효과에 대한 논의가 여전히 진행되고 있다[33]. 이런 상충되는 결과는 대조군으로 사용되는 설탕의 차이 때문이라고 제안되고 있는데, 왜냐하면 설탕 성분의 포도당과 갈락토스는 유당과 비슷한 칼슘 흡수를 하는 반면, 다른 설탕들은 그렇지 않았기 때문이다.

유당불내증을 가진 사람들의 음식 선택에 대한 정보는 거의 없는 실정이다. 그러나 미국에서는 유당 불내증이 있는 사람들의 75%가 유제품을 피하는데, 그들 중 절반 이상이 이러한 식이 제한으로 인해 건강에 장기적인 위험을 우려하고 있다[4, 5, 34]. 낙농 유제품을 기피하는 다양한 다른 이유가 있는 것으로 또한 조사되었다. 미국의 한 조사에서 응답자의 61%가 유당불내증 또는 유제품에 의한 알레르기/민감성 때문에 유제품을 선택하지 않는다고 하였으며, 나머지 39%는 그 외의 다양한 이유들을 설명하였다[35]. 캐나다의 한 조사 결과에 의하면, 유제품이 높은 칼슘과 비타민 D 공급원임에도 불구하고, 유당불내증을 가진 사람들은 유제품 대체품 및 보충제를 섭취할지라도 칼슘과 비타민 D 섭취량은 더 낮다는 결론을 보였다[36].

유당섭취를 회피하는 피험자들의 영양 섭취에 관한 몇몇 연구보고가 있다. 결과에 따르면 유당불내증 사람들은 유당을 소화할 수 있는 사람들보다 평균적으로 칼슘을 적게 섭취하는데, RDA(권장식이 허용량)의 1,000 mg/d보다 낮은 것으로 나타났다. 다른 연구에 의하면 388-739 mg/d 등이 보고되기도 하였다[5, 36, 37].

관찰 연구에서 유제품을 회피한 사람들의 건강과 관련하여 다양한 문제가 나타나고 있음을 보여주고 있는데, 특히 뼈 건강이 악화되고, 혈압이 상승하며, 당뇨병이 발병할 수 있는 위험이 증가한다는 것이다. 34,696명의 영국인을 대상으로 한 EPIC-Oxford 코호트 연구에서 엄격한 채식주의자들은 우유, 요구르트, 치즈, 계란을 소비하는 채식주의자들과 모든 음식을 먹는 사람들보다 뼈의 골절 위험이 무려 30% 이상 높다는 것을 보여주었는데, 이것은 낮은 칼슘 섭취에 기인하기 때문이다[38]. 그러나 관찰 연구에서 중요한 교란 편향의 가능성을 완전히 배제할 수는 없다.

최근 무작위로 통제된 개입 연구에서 건강한 소년 및 소녀들의 18개월 동안 유제품을 섭취하였을 때 골밀도에 미치는 영향을 조사하였다[39]. 골격의 미네랄 함량 증가를 제외하고, 골격 매개변수에는 아무런 영향도 발견되지 않았지만, 유제품을 섭취한 그룹에서 골격의 미네랄 함량 증가가 더 큼을 보였다[39]. 하지만, 2년 동안 유제품을 섭취한 10대 소녀들을 대상으로 한 장기간 연구에서는 대퇴골 상부의 돌기, 대퇴경부 및 요추에서 골밀도가 상당히 증가함을 보였다[40]. 칼슘과 비타민 D 섭취가 뼈에 직접적으로 영향을 준다는 것은 이미 다양한 연구 등을 통해서 증명되기도 하였다. 칼슘과 결합되어 있거나 그렇지 않은 경우에도 비타민 D는 폐경 후 여성이나 65세 이상의 남성에게서 엉덩이 골절과 다른 유형의 골절의 가능성을 감소시킬 수 있다[41]. 유당불내증이 있는 사람들의 경우, 칼슘과 비타민 D 섭취량이 일반적으로 권장 섭취량보다 낮기 때문에, 이것은 나이가 많은 남성과 여성들에게 골밀도를 감소시킬 가능성이 있다. 또한 유제품 섭취는 혈압을 낮춘다는 보고가 있는데, 이것은 유제품에 칼슘, 비타민 D, 생리활성펩타이드가 존재하기 때문이다. 유당불내증을 가진 사람들은 자신들도 모르게 과민성 대장 증후군(Inritable Bowel Syndrome)과 같은 매우 유사한 증상을 유발할 수 있으며, 이것은 건강과 관련된 삶의 질을 손상시킬 수도 있다[5]. 낙농제품을 기피하는 사람들이 걱정하는 부분은 본의 아니게 우연히 유당을 섭취하거나 또는 식단의 변경 등으로 삶의 질이 어느 정도 영향을 미칠 수 있다는 것이다.

유당불내증을 가진 사람들의 삶의 질에 미치는 영향에 대한 두 가지 연구 보고가 있었다. 첫 번째 연구에서 유당불내증을 스스로 인식하는 경우 낮은 건강 관련 삶의 질 점수(중간: 60대 70, $p < 0.01$)와 관련이 있었으며, 이와는 대조적으로, 두 번째 연구에서 유당불내증이 있는 사람들의 이 부분의 평가에서는 부정적인 영향을 발견하지 못하였다.

네덜란드, 프랑스, 스웨덴에서 증가된 유제품 섭취는 질병 부담을 감소한다는 긍정적인 연구보고

를 하기도 하였다. 따라서 권장 섭취량에 도달하기 위해 칼슘 일일 섭취량을 650 mg(약 200 mL 우유, 125 mL 요구르트 및 30 g 치즈 등)으로 증가하도록 재조정되었다. 예를 들어, 프랑스에서 유제품 섭취를 늘리면 연간 2,023번의 영명이 골과 623번의 장애 조정 수명(DALYs)을 예방하여, 1년에 대략 1억 2,900만 유로를 절약할 수 있다는 예측이 가능하다[42]. 하지만 네덜란드의 경우, 이미 유제품 섭취량이 상대적으로 높기 때문에 유제품 섭취량 증가에 의한 긍정적인 효과는 적게 나타났다. 유제품 소비로 인한 개인의 건강상의 이점 외에도, 사회에 대한 경제적 이익은 명백하다. 왜냐하면 유당불내증 환자가 많은 나라에서는 유당이 없는 유제품의 소비는 자연스럽게 증가되고 촉진될 수 있기 때문이다.

6. 유당이 없는 또는 유당이 감소된 제품에 대한 가이드라인

유당불내증 환자들을 위한 음식의 개발할 때, 국가 및 국제 기관이 발행하는 기준과 규정을 채택하는 것은 매우 중요하다. 다른 식품과 식품 알레르기 유발 요인에 대해서는 FDA와 FSSAI의 가이드라인을 발표했지만, 현재까지 “유당감소” 또는 “유당이 없는” 식품에 대한 정의는 없다. 미국FDA 웹사이트에서 이용할 수 있는 정보에 따르면, 제조자는 다음과 같은 점에 유의해야 할 것이다[43].

- 식품 라벨에 제공된 정보는 진실해야 하며, 오해의 소지가 없어야 한다.
- 개발된 제품, 즉 유당이 없는 식품은 유당을 함유하지 않아야 하며, 유당 감소 제품은 상당히 많은 양의 감소가 있는 제품이어야 한다.

유당이 없는 유아용 우유 대용품에 대한 FSSAI 규정과 유당이 없는 식품의 포장 및 라벨 표시는 다음과 같다[44].

- 콩 단백질 기반에 유당이 없는 조제 분유는 콩 단백질과 탄수화물인 포도당, 텍스트로스, 텍스트린/몰타텍스트린, 말토오스 또는 슈크로스(sucrose)를 함유해야 한다.
- 유당이 없는 젖소/버팔로 우유 기반 분유는 포도당, 텍스트로스, 텍스트린/몰타텍스트린, 말토세 및 자당 등의 탄수화물을 포함해야 한다.
- 우유 또는 우유 파생물을 포함하지 않는 제품은 눈에 띄는 방법으로 “우유나 우유 제품을 포함하지 않는다”라고 라벨을 붙여야 한다.
- 유당 또는 유당 및 자당을 분해하지 못하는 유아를 위한 분유 대체제 용기 또는 거기에 부착되는 라벨은 대문자로 눈에 띄게 “유당이 전혀 없음 또는 설탕이 전혀 없음 또는 유당과 설탕 모두 전혀 없음(LACTOSE-FREE or SUCROSE-FREE or LACTOSE-FREE and SUCROSE-FREE)”을 표시하며, “의사의 조언을 받으세요(THE TAKEN UNDER MEDICAL ADVICE)”로 설명하고 그리고 “유당이 없는 유아용 우유 대체제는 유당불내증 때문에 설사가 있을 경우에만 사용해야 된다. 만약 유당불내증의 증상이 계속되면 유당이 없는 또는 슈크로스 없는 유아용 우유 대체제 사용을 중단하여야 한다”라는 문구를 포함해야 한다.

한편, “북유럽각료회의”의 기록에 의하면, 유당불내증 식품에 대한 유당 함량의 기준에 있어서 제안되는 조성과 마케팅 요건은 다음과 같다[45].

구성 요구 사항은 다음과 같다.

- 저유당 식품은 즉석 식품 100 g당 최대 1 g의 유당을 포함해야 한다.
- 유당이 없는 식품은 유당이 없어야 하지만, 분석상의 이유로 100 g 제품당 최대 10 mg의 분석 함량은 허용한다(효소분석법, 물의 결정화가 없는 유당).
- 갈락토오스 과민증 환자들은 유당이 없는 음식을 사용할 수 있어야 한다. 그 제품들은 어떤 형태로든 갈락토스를 함유해서는 안 된다.

마케팅 요구 사항은 다음과 같다.

- 정보는 음식의 이름에 근접하여 제공되어야 한다.
- 유당이 없는 식품의 대안으로 사용되는 제품, 즉 제품 100 g당 최대 1 g의 유당을 구성하는 제품은 식품 이름에 근접하여 저유당이란 라벨을 붙여야 한다.
- “구성요소”의 주어진 기준에 따라 유당이 없는 제품은 식품 명칭과 근접하게 유당 없는 것으로 라벨을 붙여야 한다.
- 영양가뿐만 아니라, 저유당 식품의 유당함량을 표시해야 된다.

결론

전 세계 인구의 약 75%는 유당불내증으로 식이 유당을 섭취하는 데 영향을 미치며, 심지어 이 유당불내증 검사에서 진단되지 않는 경우가 종종 있기에 때문에 그 숫자는 더 증가할 것으로 예상된다. 유당분해를 할 수 없는 사람들을 위한 유일한 치료법은 유당이 없는 음식을 섭취하는 것이다. 그러나 유당이 없는 식단을 평생 복용하면 영양 불균형을 초래할 수도 있다. 유당이 없는 유제품은 점점 주류화되고 있으며, 유당불내증을 가진 사람들이 우유로 만든 다양한 영양과 맛있는 제품들의 넓은 범위에서 혜택을 볼 수 있는 좋은 기회를 제공하고 있다. 소비자들이 다양한 유당이 없는 유제품의 가능성 및 그 이점(요구르트에 설탕첨가 감소 및 아이스크림의 모래화 방지 등)과 결합하여 유제품의 영양적인 면을 인식한다면, 이러한 제품들의 시장 판매와 유통이 더욱더 활발하게 증가될 것으로 예상된다. 개별 낙농업자들에게 유당이 없는 부문은 혁신적인 신상품으로 변창할 수 있는 매우 흥미롭고, 수익성이 높고, 저변이 확대되고 있는 시장임을 인식하여 할 것이다. 따라서 여러 가지 조건 등을 고려를 하면서 영양가 있고 경제적으로 저렴하면서 유당이 없는 식품을 개발할 필요성이 요구되고 있다. 여기에는 유당을 함유하고 있는 가능한 모든 원료를 제외하고, 대체 우유 공급원의 선택, 제품의 허용 가능한 일관성 및 색상, 제품의 영양 품질 개선, 제품 안전 및 라벨 표시 등이다. 이러한 고려사항들은 유당불내증이 있는 사람들이 더욱더 건강해질 수 있도록 유당이 없으면서도 영양학적으로 완벽하고 안전한 음식을 개발하는 데 도움이 될 것이다. 유제품 산업 전체에 있어서, 유당이 없는 제품들은 전통적인 유제품에 의해 잘 공급되지 않았던 다른 소비자들을 끌어들이 수 있으며, 따라서 이들 제품은 전체 시장을 확대할 수 있는 가능성을 제공할 것이다. 또한 향후 낙농업 분야에서 급속하게 확장되고 있는 이 분야에서 많은 다양한 신제품이 출시될 것으로 기대된다.

Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

감사의 글

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2017R1D1A1B03035427).

References

1. Silanikove N, Leitner G, Merin U. The interrelationships between lactose intolerance and the modern dairy industry: global perspectives in evolutionary and historical

- backgrounds. *Nutrients*. 2015;7:7312-7331.
2. Tomar BS. Lactose intolerance and other disaccharidase deficiency. *Indian J Pediatr*. 2014;81:876-880.
 3. Wahlqvist ML. Lactose nutrition in lactase nonpersisters. *Asia Pac J Clin Nutr*. 2015; 24:s21-s25.
 4. Suri S, Kumar V, Prasad R, Tanwar B, Goyal A, Kaur S, et al. Considerations for development of lactose-free food. *J Nutr Intermed Metab*. 2019;15:27-34.
 5. Dekker PJT, Koenders D, Bruins MJ. Lactose-free dairy products: market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients*. 2019;11:551.
 6. Walstra P, Geurts TJ, Noomen A, Jellema A, van Boekel MAJS. *Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes*. New York, NY: Marcel Dekker; 1999. p. 555-600.
 7. Suchy FJ, Brannon PM, Carpenter TO, Fernandez JR, Gilsanz V, Gould JB, et al. National institutes of health consensus development conference: lactose intolerance and health. *Ann Intern Med*. 2010;152:792-796.
 8. Dekker PJT. Enzymes exogenous to milk in dairy technology: β -D-galactosidase. In: Reference Module in Food Sciences. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier; 2016.
 9. Deng Y, Misselwitz B, Dai N, Fox M. Lactose intolerance in adults: biological mechanism and dietary management. *Nutrients*. 2015;7:8020-8035.
 10. Euromonitor International. Euromonitor database [Internet]. 2019 [cited 2019 Oct 25]. Available from: <https://www.euromonitor.com>
 11. Mintel. Mintel global new product database [Internet]. 2019 [cited 2019 Oct 30]. Available from: <http://www.mintel.com/global-new-products-database>.
 12. Van Scheppingen WB, van Hilten PH, Vijverberg MP, Duchateau ALL. Selective and sensitive determination of lactose in low-lactose dairy products with HPAEC-PAD. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*. 2017;1060:395-399.
 13. Harju M. Chromatographic and enzymatic removal of lactose from milk. *Bull Int Dairy Fed*. 2004;389:4-8.
 14. Finocchiaro T, Olson NF, Richardson T. Use of immobilized lactase in milk systems. *Adv Biochem Eng*. 1980;15:71-88.
 15. Kies AK. Authorised EU health claims related to the management of lactose intolerance: reduced lactose content, dietary lactase supplements and live yoghurt cultures. In: Sadler MJ, editor. *Foods, nutrients and food ingredients with authorised EU health claims*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing; 2014. p. 177-211.
 16. Savaiano DA. Lactose digestion from yogurt: mechanism and relevance. *Am J Clin Nutr*. 2014;99:1251S-1255S.
 17. Kárnyáczki Z, Csanádi J. Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. *Acta Aliment*. 2017;46:403-410.
 18. McCain HR, Kaliappan S, Drake MA. Invited review: sugar reduction in dairy products. *J Dairy Sci*. 2018;101:8619-8640.
 19. Garrigues C, Gilleladien C, Curic-Bawden M, Janzen T, Birkelund M, Buchhorn GL,

- et al. Method of producing a fermented milk product with improved control of post-acidification. US patent US20170135360A1. 2017 May 18.
20. Li XE, Lopetcharat K, Qiu Y, Drake MA. Sugar reduction of skim chocolate milk and viability of alternative sweetening through lactose hydrolysis. *J Dairy Sci.* 2015; 98:1455-1466.
 21. Torres JKF, Stephani R, Tavares GM, de Carvalho AF, Costa RGB, de Almeida CER, et al. Technological aspects of lactose-hydrolyzed milk powder. *Food Res Int.* 2017;101:45-53.
 22. Marschke RJ, Nickerson DEJ, Jarrett WD, Dulley JR. A cause of increased proteolysis in cheddar cheese manufactured from milk containing added Maxilact. *Aust J Dairy Technol.* 1980;35:84-88.
 23. Abbasi S, Saeedabadian A. Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *J Food Sci Technol.* 2015; 52:367-374.
 24. Panesar PS, Kennedy JF. Biotechnological approaches for the value addition of whey. *Crit Rev Biotechnol.* 2012;32:327-348.
 25. Heyman MB. Lactose intolerance in infants, children and adolescents. *Pediatrics* 2006;118:1279-1286.
 26. Suchy FJ, Brannon PM, Carpenter TO, Fernandez JR, Gilsanz V, Gould JB, et al. NIH consensus development conference statement: lactose intolerance and health. *NIH Consens State Sci Statements.* 2010;27:1-27.
 27. Granato D, Branco GF, Nazzaro F, Cruz AG, Faria JAF. Functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts, and products. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2010;9:292-302.
 28. da-Costa-Pinto EA, Collares EF. Chronic lactose intake modifies the gastric emptying of monosaccharides but not of disaccharides in weanling rats. *Braz J Med Biol Res.* 1997;30:723-726.
 29. Gutzwiller A. Glucose and galactose absorption after ingestion of milk containing hydrolysed lactose in calves with diarrhoea. *J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med.* 2000;47:495-500.
 30. Ercan N, Nuttall FQ, Gannon MC, Redmon JB, Sheridan KJ. Effects of glucose, galactose, and lactose ingestion on the plasma glucose and insulin response in persons with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Metabolism.* 1993;42:1560-1567.
 31. Bailey RK, Fileti CP, Keith J, Tropez-Sims S, Price W, Allison-Otley SD. Lactose intolerance and health disparities among African Americans and Hispanic Americans: an updated consensus statement. *J Natl Med Assoc.* 2013;105:112-127.
 32. Heaney RP, Dowell MS, Rafferty K, Bierman J. Bioavailability of the calcium in fortified soy imitation milk, with some observations on method. *Am J Clin Nutr.* 2000;71:1166-1169.
 33. Kwak HS, Lee WJ, Lee MR. Revisiting lactose as an enhancer of calcium absorption. *Int Dairy J.* 2012;22:147-151.

34. Rogers S. Survey: 75% of People with lactose intolerance avoid dairy foods [Internet]. Northbrook, IL: Chiropractic Economics; 2013 [cited 2019 Nov. 7]. Available from: <https://www.chiroeco.com/survey-75-of-people-with-lactose-intolerance-avoid-dairy-foods>
35. Grebow J. Half of dairy consumers in the U.S. also use dairy alternatives, new research out of cargill shows [Internet]. Nutritional Outlook; 2018 [cited 2019 Nov. 23]. Available from: <https://www.nutritionaloutlook.com/food-beverage/half-dairy-consumers-us-also-use-dairy-alternatives-new-research-out-cargill-shows>
36. Barr SI. Perceived lactose intolerance in adult Canadians: a national survey. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2013;38:830-835.
37. Buchowski MS, Semanya J, Johnson AO. Dietary calcium intake in lactose maldigesting intolerant and tolerant African-American women. *J Am Coll Nutr*. 2002;21:47-54.
38. Appleby P, Roddam A, Allen N, Key T. Comparative fracture risk in vegetarians and nonvegetarians in EPIC-Oxford. *Eur J Clin Nutr*. 2007;61:1400-1406.
39. Vogel KA, Martin BR, McCabe LD, Peacock M, Warden SJ, McCabe GP, et al. The effect of dairy intake on bone mass and body composition in early pubertal girls and boys: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*. 2017;105:1214-1229.
40. Merrilees MJ, Smart EJ, Gilchrist NL, Frampton C, Turner JG, Hooke E, et al. Effects of dairy food supplements on bone mineral density in teenage girls. *Eur J Nutr*. 2000;39:256-262.
41. Avenell A, Mak JC, O'Connell D. Vitamin D and vitamin D analogues for preventing fractures in post-menopausal women and older men. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;4:CD000227.
42. Lötters FJ, Lenoir-Wijnkoop I, Fardellone P, Rizzoli R, Rocher E, Poley MJ. Dairy foods and osteoporosis: an example of assessing the health-economic impact of food products. *Osteoporos Int*. 2013;24:139-150.
43. Food and Drug Administration [FDA]. Problems digesting dairy products? [Internet]. 2015 [Cited 2019 Dec 1]. Available from: <http://www.fda.gov/forconsumers/consumerupdates/ucm094550.htm>
44. Food Safety and Standards Authority of India [FSSAI. Food]. Safety and standards regulations [Internet]. 2010 [Cited 2019 Dec 9]. Available from: http://old.fssai.gov.in/Portals/0/Final_Regulations_2010.pdf
45. The Nordic Council of Ministers. Dietetic foods: Proposed Nordic guidelines for assessment and regulation. Copenhagen: Nordic Council of Ministers; 1994. p. 20-48.