

REVIEW

우유 대체 식물성 기반 우유 유사체 개발에 관한 현황과 미래

김태진^{1†} · 서건호^{1†} · 천정환² · 윤혜영¹ · 김현진¹ · 김영선¹ · 김빈¹ · 정동관³ · 송광영^{1,4*}

¹건국대학교 수의과대학 및 원헬스연구소, ²경인여자대학교 펫토탈케어과, ³고신대학교 식품영양학과, ⁴국제올란바트로대학교 농공대학 축산학과

Development of Plant-Based Milk Analogues as Alternatives to Cow Milk: Current Status and Future Prospects

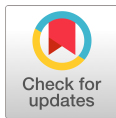
Tae-Jin Kim^{1†}, Kun-Ho Seo^{1†}, Jung-Whan Chon², Hye-Young Youn¹, Hyeon-Jin Kim¹, Young-Seon Kim¹, Binn Kim¹, Dongkwan Jeong³, and Kwang-Young Song^{1,4*}

¹Center for One Health and College of Veterinary Medicine, Konkuk University, Seoul, Korea

²Department of Pet Total Care, Kyung-in Women's University, Incheon, Korea

³Dept. of Food and Nutrition, Kosin University, Busan, Korea

⁴Department of Zoo Engineering, International University of Ulaanbaatar (IUU), Ulaanbaatar, Mongolia



Received: November 17, 2021

Revised: December 6, 2021

Accepted: December 6, 2021

[†]These authors contributed equally to this study.

*Corresponding author :
Kwang-Young Song
Center for One Health and College of Veterinary Medicine, Konkuk University, Seoul 05029, Korea
Tel : +82-2-450-4121
Fax : +82-2-3436-4128
E-mail : drkysong@gmail.com

Copyright © 2021 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

Tae-Jin Kim
<https://orcid.org/0000-0003-2776-7319>
Kun-Ho Seo
<https://orcid.org/0000-0001-5720-0538>
Jung-Whan Chon
<https://orcid.org/0000-0003-0758-6115>

Abstract

Following the COVID-19 pandemic, many people are increasingly becoming interested in health and environmental issues. Therefore, the sale of vegan or vegetarian products has been increasing over the last few years, as well as interest in non-dairy plant-based milk that can replace cow's milk. Furthermore, the global food industry has developed an interest in such products, considering the recent changes in consumer trends. In Korea, various products are being launched annually due to the increasing interest in non-dairy plant-based milk. However, research with regard to the quality and type of products produced in Korea is still at the preliminary stage when compared to those in the United States and Europe. Therefore, the present review has summarized non-dairy plant-based milk analogues based on the following key aspects. First, the types of non-dairy plant-based milk analogues and their production technologies (in the order of almond milk > cocoa milk > coconut milk > hemp milk > kidney bean milk > oat milk > peanut milk > rice milk, and soy milk). Second, the current status and future prospects for non-dairy plant-based milk analogues. Third, recent trends and future challenges associated with the production and quality improvement of non-dairy plant-based milk analogues. Fourth, the current status and outlook of the non-dairy plant-based milk analogue market in Korea. In conclusion, the present review could provide the food industry with valuable information regarding non-dairy plant-based milk analogues to facilitate the development of related products. Data were obtained from previously published studies.

Keywords

milk analogues, cow's milk, plant-based milk, bioactive ingredients, functional properties

서론

전 세계적으로 우유 및 유제품의 소비 패턴이 급격히 증가하고 있으며 미래에도 꾸준히 증가하는 방향으로 이동할 것으로 예상하고 있다[1]. 우유는 일반적으로 대다수의 인구가 소비하며 지방, 단백질 및 탄수화물과 같은 주요 영양소를 제공하는 건강에 좋은 완전 식품으로 잘 알려져 있다[1,2].

Hye-Young Youn
<https://orcid.org/0000-0003-4626-5859>
Hyeon-Jin Kim
<https://orcid.org/0000-0002-7914-7771>
Young-Seon Kim
<https://orcid.org/0000-0002-8175-0334>
Binn Kim
<https://orcid.org/0000-0003-0632-7621>
Dongkwan Jeong
<https://orcid.org/0000-0002-6305-794X>
Kwang-Young Song
<https://orcid.org/0000-0002-5619-8381>

이러한 다량 영양소 외에도 우유에는 칼슘, 셀레늄, 비타민 B 복합체 등과 같은 수 많은 미량 영양소가 포함되어 있어 신체 시스템의 전반적인 성장과 유지에 크게 기여할 수 있다[1-3].

우유에 있어서 건강증진효과에는 식욕억제 성분, 항균 활성, 저콜레스테롤혈증 펩타이드의 존재로 혈중 콜레스테롤 수치 감소, 신체 시스템의 전반적인 성장과 유지를 개선 등이 있으며, 우유의 생리활성물질에는 락토페리신, 카소시딘, 카소키닌, 카속신, 카제인, 면역글로블린 A, 면역글로블린 G 등이 있다[3].

우유는 완전한 식품으로 간주되지만 제한적인 이용 가능성뿐만 아니라 철과 같은 특정 미네랄 부족 및 엽산 및 기타 생체 분자(아미노산)와 같은 비타민이 존재하지 않기 때문에, 따라서 12개월 이상의 영유아를 위한 완전식품으로 우유를 권고하기 위해서는 이러한 부분에 대한 고려가 필요하다 [3,4]. 또한, 유당 불내증은 선진국의 노인 인구에서 지속적으로 증가하고 있기에 특히 노년층의 우유 및 유제품의 이용을 직접적으로 감소시키는 원인이 되고 있다. 또한 일부 특정 지리적 위치(건조한 지역)에서 제한된 우유 이용가능성, 높은 가격 및 질병 발생을 유발할 수 있는 일부 강력한 병원체(살모넬라 균, 장출혈성 대장균 O157:H7 등)의 존재 때문에 우유 및 유제품의 소비에 영향을 줄 수도 있다[5]. 더 나아가서 다양한 이유(예를 들면, 콜레스테롤과 같은 특정 건강 문제, 일부 영유아에서 주로 나타나는 우유 알레르기, 항생제의 잔류, 부분 또는 완전한 채식주의자 등)에 의해서 최근에 들어와서 우유 대체품(또는 우유 유사체)의 개념화 및 개발에 대한 많은 관심과 집중된 연구가 진행되고 있는 것 또한 우유 및 유제품의 소비에 직접적으로 많은 영향을 주고 있다[1-3,5].

보다 건강하고 맛있는 음식 선택에 대한 현재 소비자의 높은 기대로 인하여 낙농 산업은 우유와 동일한 건강상의 이점을 가진 다양한 식물성 비전통 음료 생산을 위해서 기존의 유제품에 대한 지식을 뛰어 넘어서고 넓게 확장되고 있다[6]. 그러나 이러한 우유 대체품이 우유의 전통적인 정의와 영양 함량을 충족하지 못하는 이유로 해당 대체품이 속하는 범주에 대해 논란이 지속적으로 제기되고 있는 것 또한 사실이다. 그럼에도 불구하고 최근 연구에서는 이러한 식물성 음료가 면역 체계를 개선하거나 건강을 관리하는 데 중요한 역할을 하고, 잠재적인 항균 효과가 있으며, 개선된 생리 기능으로 심혈관 및 위장 질환의 위험을 줄이는 데 큰 도움이 된다는 사실이 잘 확립되어 있다[1-2,4-7]. 또한 낮은 골밀도의 위험을 감소시키고 자유 라디칼 소거 특성을 갖는 매우 높은 수준의 항산화제의 특성을 갖는 식물성 음료 제품도 있다고 보고되었다. 왜냐하면 식물 유래 우유 또는 추출물은 대부분 생리 활성 화합물의 활성을 자극하는 자연적(또는 인위적) 발효를 거치기 때문이다. 게다가, 확실하게 가치 있고 영양학적으로 중요한 성분의 통합은 주로 단백질 함량, 미네랄의 생체 이용률 및 일부 중요한 요소를 풍부하게 하여 제품의 품질을 향상시킬 수 있다[1-3,6,7]. 콩류, 곡물 및 유지종자는 풍부한 영양 특성으로 인해 다양한 우유 대체품을 생산하는데 널리 이용될 수 있으며, 또한 일반 동물성 우유와 비교할 때 특정 생리 활성 성분으로 우유 품질을 개선할 수 있다.

세계 시장에서 낙농 산업에 대한 수요가 매우 높기 때문에 많은 관심과 함께 중요한 위치를 차지하고 있다. 그러나 동물을 이용한 우유 생산은 다른 종류의 식량 생산보다 환경에 훨씬 더 많은 부담을 주고 있다. 특히, 가축용 사료의 대부분은 동물의 신진대사 과정과 뼈 성장 등에 사용되기 때문에 사료의 극히 일부만이 근육 조직(예를 들면, 고기, 계란 또는 우유)으로 변환된다. 이것은 인간이 직접 소비하는 식물성 우유 대용품과 비교할 때 동일한 양의 우유를 생산하기 위해 토지에 대한 훨씬 더 높은 수요로 이어진다. 이것은 시장에서 비유제품 유사품에 대한 관심을 일으켰으며 최근에 비유제품 음료 산업(주로 콩, 아몬드 및 기타 완전채식 재료를 기반으로 함)이 활발하게 발전하고 있다[2-4,6,7]. 결과적으로 냉장에서만 보관되는 유제품보다 냉장과 상온 모두에서 안전하게 보관할 수 있는 장점이 있기에 시장 점유율을 빠르게 확보하고 있다. 우유 대체품의 시장은 기존의 우유 및 유제품보다 대략 6% 정도 증가할 것으로 예상하고 있으며, 스타트업은 물론 주요 식품회사들의 주목을 받고 있으며, 현재 서유럽 및 유럽 시장이 지배하고 있으며 북미가 그 뒤를 잇고 있다[1-7]. 농업 부문 개선을 위한 소비자의 적극적인 요구와 정부 정책 등이 원재료의 이용 가능성을 높이고 제조사들에게

확실한 동기 부여를 제공할 수 있다. 이러한 결과로 더 좋은 품질, 차별적인 포장, 긍정적인 영향을 통해서 관련 산업의 성장에 도움을 줄 수 있는 새로운 식품이 만들어져서 소비자들에게 제공될 것이다. 두유는 2017년 세계 생산량의 58.0%로 가장 큰 몫을 차지하는 부산물이며 아몬드, 쌀, 코코넛 밀크 등도 상당한 기여를 하고 있고, 그리고 다양한 비낙농 우유 음료로 이용되고 있다[1-3,5-7]. 예를 들면, 일반적인 플레인 형태에서 바닐라 및 초콜릿 맛이 첨가된 제품, 당이 첨가된 것과 첨가되지 않은 제품까지 다양한 제품 등이 현재 생산되고 있다.

일반적으로 발효는 다양한 음식과 음료를 준비하고 보존하고 만들기 위해 먼 옛날부터 현재까지 이용되고 있는 가장 오래된 방법 중 하나이다. 식품의 발효는 혐기성 조건에서 효모 또는 박테리아를 사용하여 이산화탄소를 동시에 생성하면서 전분 및 설탕과 같은 복합 탄수화물을 알코올 및 산과 같은 단순한 제품으로 전환하는 것으로 알려져 있으며, 또한 발효공정에 사용되는 미생물 바이오매스는 파일럿 플랜트 방법에서 대규모 산업에 이르기까지 다양한 분자의 발효 및 생산 과정을 결정한다 [8]. 이러한 비낙농 기반 우유 음료가 항상 발효되는 것은 아니지만 발효가 2차 대사 산물의 생산으로 이어지기 때문에 더욱더 강조가 된다. 또한 초음파 처리와 같은 다른 방법으로 처리하였을 때 생체 분자 추출에 도움을 줄 뿐만 아니라 제품의 식물 화학적 특성을 향상시키기도 하였다. 예를 들면, 초음파 처리의 다양한 조건에 관계없이 스트렙토코커스 써머필러스와 락토바실러스 애시도필러스의 혼합 배양보다 락토바실러스 애시도필러스의 단일 배양에서 더 안정적인 것으로 관찰되기도 하였다 [9].

따라서 본 총설 논문은 최근에 급속히 성장하고 있는 식물성 유래 우유 대체품(우유 유사체)의 잠재력, 생산 기술 및 적용 등에 있어서 현재 상태와 미래에 대한 전망 등을 정리하여, 식물성 유래 우유 대체품(우유 유사체)에 대한 기본적인 자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 그리고 모든 자료들은 이미 발표된 다양한 문헌 등을 조사하여 재정리하였다.

비낙농 식물성 기반 우유 유사체의 현형과 전망

1. 비낙농 식물성 기반 우유 유사체의 종류와 생산 기술의 설명은 아몬드 우유, 코코아 우유, 코코넛 우유, 대마 우유, 강낭콩 우유, 귀리 우유, 땅콩 우유, 쌀 우유 그리고 두유 순으로 다음과 같이 자세하게 정리되어 있다.

1) 아몬드 우유

아몬드는 정신 각성, 집중력, 회상 기술, 기억력을 촉진하여 건강한 두뇌를 유지할 뿐만 아니라 밤에 섭취할 때 숙면을 취하는 데 도움이 되기 때문에 “두뇌 식품”으로 알려져 있다. 두뇌에 좋은 3가지 식품은 아몬드 외에도 헤이즐넛과 호두가 포함된다. 아몬드에는 α -토코페롤(25.87 mg/100 g, 비타민 E), 비타민 B 복합체(B1의 함량은 0.24 mg/100 g, B2의 함량은 0.8 mg/100 g, B3의 함량은 4 mg/100 g, B5의 함량은 0.3 mg/100 g, 그리고 B6의 함량은 0.13 mg/100 g), 단백질 (16-23 g/100 g), 단일불포화 지방(31-35 g/100 g), 올레산, 총 식이 섬유(11-14 g/100 g), 총 페놀 화합물(260-350 mg/100 g), 그리고 충분한 양의 미네랄(마그네슘, 인, 칼륨, 칼슘 등) 등이 포함되어 있다[10]. 아몬드는 구운 식품, 제과류, 그래놀라 바, 아침용 시리얼 등의 주요 성분으로 사용되며, 아몬드는 항염, 항고지혈증, 항종양 및 항산화 물질의 공급원으로 잘 알려져 있다[10]. 아몬드는 지방산이 매우 풍부하여서 장출혈성대장균 O157:H7 및 리스테리아 모노사이토제네스와 같은 병원성 미생물들의 성장에 도움을 주는 역할을 할 수도 있다. 따라서 열처리 방법은 이러한 병원체를 최소화할 수 있지만, 이와 동시에 영양가는 상당히 감소될 수 있다[11]. 또한 아몬드 알레르기는 일반적인 견과류 알레르기(미국에서 다른 견과류 중 4위)이며 그 영향의 범위는 단순한 구강 알레르

기만큼 경미한 것부터 시작하여 치명적인 아나필락시스만큼 매우 복잡하고 넓다. 아몬드 주요 단백질인 아만딘, 레구민, 프루닌이 주요 종자 저장 단백질로 인식되고(약 65%), 또한 이것이 아몬드의 중요한 알레르겐이기도 하다[12]. 아몬드는 일반적으로 로스팅, 데치기, 분쇄 환원 및 오일 추출을 통해 가공된다. 알레르겐 아만딘은 열처리에 대한 저항성이 높지만 펄핑 효소에 민감하다[10]. 하지만 기계적 처리 및 발효 처리를 사용하여 쉽게 제거할 수 있으며 아몬드 우유는 시장에서 다른 식물성 우유 대체품 중에서 입지를 굳히고 있다[10-12]. 또한 유당불내증 환자는 두유 대신 아몬드 우유를 섭취하는 것이 좋다. 특히 충치를 걱정하는 사람들을 위해서는 자당으로 단맛을 내면 된다. 아몬드 우유에 있어서 건강증진효과에는 α -토코페롤(비타민 E)이 풍부, 낮은 칼로리, 강력한 항산화, 프리바이오틱 특성 등이 있으며, 아몬드 우유의 생리활성물질에는 아라비노스, 캄페스테롤, 엽산, 나이아신(B3), 스티그마스테롤, β -시토스테롤, α -토코페롤 등이 있다[10-12].

2) 코코아 우유

코코아는 폴리페놀(12%-18%)이 풍부하고, 주로 플라보노이드(플라반-3-올, 에피카테킨 및 카테킨)는 심장 보호, 항염증, 항비만, 항암 및 신경 보호 작용 등에 도움을 줄 수 있다[13]. 코코아는 중앙아메리카의 마야문명에서 처음 사용된 것으로 알려져 있으며, 16세기 중반부터 미국에서 소비되기 시작하여 더욱 확산되기 시작하였다. 서양식 식단에는 고에너지 초콜릿이 포함되어 있어 충치, 비만, 고혈압, 당뇨병이 가장 흔한 질병이었다[13,14]. 특히 락토오스 불내증이 심각한 문제로 급부상하여 적절한 대안을 찾는 노력이 진행되었으며, 결과적으로 기존 우유에 가장 적합한 우유 유사체로 코코아 우유가 확립된 후 해결될 수 있었다. 특히, 유당 불내증에 대한 코코아의 억제 효과가 입증은 과학적인 다양한 연구를 통해서 매우 잘 확립되어 있다. 코코아 섭취는 효과적인 혈압 감소, 혈관 기능 개선, 지질 및 포도당 대사 조절, 혈소판 응집 감소를 통해 심혈관 건강을 개선하여 심혈관 질환 위험을 줄일 수 있다[13,14]. 코코아의 건강상의 이점을 담당하는 주요 잠재적 메커니즘은 산화질소(NO) 합성 효소의 활성화, 산화질소의 생체 이용률 증가 및 항산화 특성이다[14]. 최근 코코아 플라보놀은 인슐린 분비를 크게 개선하여 장에서 탄수화물 소화 및 흡수를 늦출 수 있다고 보고되었다[15]. 또한 혈액에서 근육으로의 당 흡수를 자극하여 당뇨병 관리에 효과적인 도구가 될 수 있다[15]. 인디언 원주민들은 폴리페놀(플라반-3-올, 안토시아닌, 플라보놀, 페놀산, 스틸벤, N-페닐프로페노일-L-아미노산[NPA])에 의한 항산화 특성을 제공하는 생 또는 분말 형태의 무가당 음료로 코코아를 섭취하였다[13-15]. 코코아 우유에 있어서 건강증진효과에는 정신을 맑게 하고 심신의 안정에 기여, 노화방지 등이 있으며, 코코아 우유의 생리활성물질에는 카페인, 테오브로민 등이 있다[13-15].

3) 코코넛 우유

코코넛은 영양가 있는 과일로서 코코넛의 각 부분이 다른 용도로 사용되며 인도네시아, 필리핀, 남아시아, 동아프리카, 카리브해 등 전세계 92개국에서 재배되고 있다[16]. 코코넛에서 얻은 코코넛 우유는 제과, 제과점, 비스킷, 아이스크림 등에 전 세계적으로 널리 사용되고 있다. 인도, 스리랑카 및 기타 아시아 국가와 같은 국가에서는 요리 목적으로 코코넛 크림과 코코넛 우유를 널리 사용한다. 중쇄중성지방의 존재는 코코넛 우유를 쉽게 소화할 수 있는 비난용 대체물로 만들 수 있다. 장쇄 지방산을 함유한 다른 우유 유사체와 달리, 코코넛에는 간에서 쉽게 흡수되고 대사되어 케톤 화합물로 전환될 수 있는 중간 사슬 지방산이 포함되어 있으며, 이는 뇌 기능과 알츠하이머와 같은 기억 장애를 완화하는 데 유용하게 작용할 수 있다. 중쇄중성지방과 함께 가용성 및 불용성 섬유 함량은 다양한 항산화 특성으로 코코넛의 영양가를 높인다[16]. 또한 코코넛 우유에는 상당한 양의 미네랄과 비타민이 포함되어 있다. 코코넛 우유는 비유제품 우유 중 지방 함량이 가장 높고 단백질 함량이 가장 적다고 보고되었다[16,17]. 또한, 이 지방의 약 87%가 라우르산(44%)으로 포함되어 있고, 그

다음으로 카프릴산 및 카프르산이 포화되어 있어, 저밀도지단백(LDL) 수치를 증가시킬 수도 있다 [17]. 그리고 코코넛 우유의 칼슘 수치는 비교적 매우 낮아(총 권장 수치의 4%), 결국 칼슘이 부족한 비낙농 우유 음료가 된다. 코코넛 우유는 일반적으로 기계적 방법으로 제조되는데, 먼저 견과류 껍질을 벗기고 코코넛 미트(코코넛 껍질 안에 있는 흰색 안감 또는 코코넛 씨앗의 내과피)를 분리한 다음 세척하고 일정한 간격으로 절단한다. 따뜻한 물과 혼합하여 오일, 우유 및 방향 성분을 추출한다. 예를 들어, 분쇄 시간, 배양시간 및 Viscozyme-L 효소와 같은 요소들은 코코넛 우유 생산 수율에 매우 큰 영향을 줄 수 있다. 다시 설명하면, 분쇄 시간은 수율에 영향을 주며 간접적으로 비례하고, 효소와 배양시간 사이의 상호작용 또한 수율에 약간의 영향을 줄 수도 있다. 코코넛 우유에 있어서 건강증진효과에는 피부에 영양을 공급하여 항노화 효과, 면역 체계를 강화, 중성지방으로 인한 체중 감소, 혈관의 탄력을 유지, 두뇌 발달 촉진 등이 있으며, 코코넛 우유의 생리활성물질에는 라우르산, 비타민 E 등이 있다[16,17].

4) 대마 우유

대마씨는 α -리놀렌산 및 리놀레산과 같은 고도 불포화 지방산의 가장 풍부한 공급원 중 하나로 간주되며 많은 건강 증진을 위해서 적극적으로 권장되고 있다[18]. 한편, 대마씨에서 추출한 기름, 가루, 단백질 분말과 같은 다양한 제품들이 시중에서 시판되고 있다. 모든 필수 아미노산과 지방산과 함께, 지질(25%-35%), 단백질(20%-25%), 탄수화물(20%-30%), 불용성 섬유질(10%-15%), 비타민 E(90 mg/100 g) 및 미네랄(인, 칼륨, 나트륨, 마그네슘, 황, 칼슘, 철, 아연)이 포함되어 있다[18]. 낮은 알레르기 유발성과 높은 영양가는 기존의 우유와 두유 및 기타 견과류 우유에 대한 좋은 대안이 될 수 있다. 리놀레산 및 α -리놀렌산은 주요 지방산(총 지방산의 80-90 g/100 g)으로 프로스타노이드와 류코트리엔에 항혈전, 항혈관 수축 및 항염증 특성을 제공한다. 또한 현존하는 가장 우세한 생리활성 성분이 칸나비디올산이다[19]. 이것은 비만, 염증성 장질환, 류마티스 관절염 및 알츠하이머 병과 같은 만성 질환에 대한 건강상의 이점을 제공한다[19]. 다양한 항염양 요인 중에서 피트산(이노시톨 헥사포스페이트, IP6) 및 트립신 억제제가 주요 기여를 한다. 대마 씨앗은 리그나마이드의 존재로 인해서 항 신경 염증 활성을 나타낸다[19]. 그럼에도 불구하고 페닐프로피온아미드는 항신경염 활성에 중요한 역할을 하지만, 그러나 총 페닐프로판아미드의 매우 높은 투여량은 염증성 사이토카인 생성 억제에 대한 효과를 상쇄하는 독성을 유발할 수 있다고 보고되었다. 대마유는 수중유(oil-in-water) 유화액이므로 매우 불안정하고 응집, 유착 및 크림을 생성하는 경향이 있어 품질 및 유통 기한의 손실로 이어지기 때문에 식품업계에서 문제가 된다. 유화제 또는 안정제는 종종 이러한 상황에 대처하는 데 사용된다[18,19]. 그러나 이러한 화학 물질의 사용은 생산 비용을 증가시켜 경제적이지 않다. 또한 만성 염증성 질환, 비만 관련 질환 및 대사 장애와 같은 일부 건강 문제는 이러한 화학 물질의 사용을 허용하지 않는다. 이를 극복하기 위해 지질 방울 표면에 단백질을 흡착시켜 산패를 줄이는 고압 균질화법을 시행하고 있다[20]. 오일 방울을 파쇄하고 새로운 인터페이스를 생성하는데 적합한 기계적 에너지는 균질화 압력으로 결정된다[20]. 초음파 처리는 폴리페놀의 최적화를 위해 사용될 수 있으며, 이 기술은 산업계에서 경제적, 환경적으로 화학 물질의 사용과 추출 시간을 줄이고 저장 수명을 향상시키는 데 도움을 줄 수 있다[21]. 대안적으로, 더 긴 추출은 비록 수율은 비교적 작아지지만, DPPH(1,1-디페닐-2-피크릴하이드라질) 활성 및 총 페놀릭이 각각 약 17.2% 및 123.7% 증가하여 비슷한 효과를 나타낸다[21]. 대마 우유에 있어서 건강증진효과에는 항염 작용, 항신경염 작용, 항혈전 활성, 항혈관수축 작용, 중성지방으로 인한 체중 감소, 운동 유발 및 독소 유발 구토 감소 등이 있으며, 대마 우유의 생리활성물질에는 칸나비디올산, 리그난아미드, 리놀레산, 리놀렌산, γ -토코페롤 등이 있다[18-21].

5) 강낭콩 우유

강낭콩은 복합 탄수화물(50%-60%), 식이 단백질(20%-30%), 비타민 및 미네랄(비타민 K1, 엽산, 폴리브텐, 철, 구리, 망간, 칼륨 및 인), 페놀류(건조시료 g당 45.7 mg), 시아니딘 3,5-디글루코시드(건조시료 g당 0-0.04 mg), 시아니딘 3-글루코시드(건조시료 g당 0-0.12 mg), 텔피니딘 3-루티노시드(건조시료 g당 0-2.61 mg), 피투니딘-3-글루코시드(건조시료 g당 0-0.17 mg), 펠라르고니딘 3-글루코시드(건조시료 g당 0-0.59 mg), 피토스테롤(건조시료 100 g당 134 mg) 등의 풍부한 공급원으로 간주되고 있다[22]. 강낭콩은 다양한 녹말 식품 중 혈당 지수가 27 이하로 낮아 당뇨병 환자에게 일반적으로 권장된다. 참고로 혈당지수(glycemic index)가 높은 식품(70 이상), 보통 식품(55-69), 그리고 낮은 식품(55 이하)으로 분류되며, 혈당지수가 낮은 식품에는 고구마(46), 두부 또는 연두부(42), 당근(41), 저지방우유(34-39), 강낭콩(25-29), 보리(25), 아몬드(25), 두유(23), 체리(22), 콩(15-19), 땅콩(13) 등이 있다.

강낭콩의 알레르겐은 비기관지 비염 및 알레르기성 비염을 유발할 수 있다고 보고되었으며, 강낭콩의 알레르겐 성분은 렉틴(식물적혈구응집소), 파세올린, α -아밀라아제 억제제 전구체 그리고 그룹 3 후기배아발생 단백질 등의 4가지로 분류될 수 있다[23]. 그리고 일반적으로 강낭콩의 콩단백질의 기본 소단위인 20 kDa 폴리펩타이드는 다른 5가지 펩신내성단백질(분자량은 대략 45, 29, 24, 20 및 6.5 kDa)과 함께 열에 대해서 안정한 것으로 밝혀졌다[23]. 라피노스, 스타키오스 및 버바스코스는 결정에서 비피더스균 및 유산균에 대한 프리바이오틱으로 작용하고 가용성 및 불용성 식이 섬유 존재는 강낭콩을 식단의 중요한 부분으로 만들고 있다. 그러나 항영양 인자(피트산, 트립신 억제제, 렉틴 및 일부 올리고당)는 영양소의 소화 및 생체 이용률에 대한 악영향으로 인하여 주요한 건강상의 관심사이기도 하다[23]. 강낭콩 우유는 주로 행구고 완전히 부풀 때까지 불린 다음 갈아서 끓이는 '불린 콩' 과정을 거쳐 준비된다[22,23]. 원심분리 결과 상층액은 강낭콩 우유로 사용된다. 항영양인자와 알레르기를 줄이기 위해서, 고액 및 액체 상태 발효시 일반적으로 스타터 균주로 바실러스 서브틸리스를 사용한다. 결과적으로 이소플라본 아글리콘의 생성을 증가시켜 항산화 활성을 향상시킬 수 있으며, 유산균은 자연적으로 존재하게 된다. 다양한 효소, 기체 처리(CO₂) 및 발효(유산균 포함)는 비단백성 아미노산인 감마아미노부티르산(GABA)의 증가를 돕는데, 이것은 암 세포 증식, 알코올 관련 만성 질환 예방 및 고혈압 및 혈중 콜레스테롤 수치 감소에 중요한 역할을 한다[24]. 12주 동안 발효를 통해서 생성된 감마아미노부티르산 함량이 10 mg의 포함된 것을 매일 섭취하였을 때, 고혈압 환자의 혈압이 약 17.4 mmHg 감소하는 것으로 보고되었다[24]. 강낭콩 우유에 있어서 건강증진효과에는 항산화 특성, β -글루코시다아제 활성 등이 있으며, 강낭콩 우유의 생리활성물질에는 식이 섬유, 감마아미노부티르산 등이 있다[22-24].

6) 귀리 우유

기존 및 비전통 우유 및 유제품 시장이 지속적으로 확장되는 시점에서 귀리 우유는 중요한 위치를 차지하고 있다. 더 나아가서, 다른 다양한 대체품 및 우유와의 경쟁관계가 될 정도로 단시간에 급속하게 성장하였다. 귀리의 영양적인 성분에는 페놀 화합물, 아베난쓰라마이드(2-289 mg/kg), 사포닌(아베나코사이드 A-290 mg/kg 및 아베나코사이드 B-110 mg/kg), 피트산, 스테롤 및 기타 많은 성분 등이 있으며, 이러한 성분들이 귀리와 귀리 제품들에서 좋은 항산화제의 능력을 가지게 한다[25]. 식이 섬유는 "대장에서 완전 또는 부분 발효와 함께 인간 소장에서 소화 및 흡수에 저항하는 식물 또는 유사 탄수화물의 식용 부분"으로 정의하며, 여기에는 다당류, 올리고당, 리그닌 및 관련 식물 물질이 포함된다. 또한 식이 섬유는 이완 및/또는 혈중 콜레스테롤 감소 및/또는 혈당 감소를 비롯한 유익한 생리학적 효과를 촉진한다. 귀리는 다양한 비율의 거대분자를 가진 항산화제와 폴리페놀이 풍부하다. 예를 들면, 귀리는 상대적으로 균형 잡힌 단백질 함량(11%-15%)과 지질(5%-9%)을 가진

가장 높은 비율의 전분(60%)으로 구성되어 있다. 게다가 귀리에 포함된 식이섬유인 β -글루칸 함량은 2.3-8.5/100 g이며, 칼슘 함량은 0.54%이다[26]. 귀리의 β -글루칸은 혈중 콜레스테롤 수치를 현저히 감소시켜 대장암의 원인 물질인 화학물을 감소시키는 것으로 보고되어서 항암 효과도 있다. 단일 식품에 대한 β -글루칸의 권장 복용량은 일반적으로 0.75 g/1인분이다. 또한 필수 아미노산인 올레산(45.60 g/kg), 리놀레산(36.2%-40.4%) 및 리놀렌산(38.4%-41.6%)의 존재 때문에 하루 식단에서 귀리의 중요성이 증가하고 있다[26]. 또한 귀리의 모나스쿠스 앵카 발효는 글루코사민 함량의 증가와 함께 페놀 화합물(유리, 접합 및 결합)을 크게 증가시켜 귀리의 자유 라디칼 소거 특성을 향상시킨다[27]. 많은 잠재적인 건강상의 이점에도 불구하고 귀리 우유는 사람의 성장과 발달에 반드시 필요한 칼슘의 열악한 공급원이다. 따라서 상업적으로 판매하기 위해서는 귀리 우유에 칼슘이 반드시 첨가되어야 할 것이다. 발효는 귀리 우유 생산에서 중요한 도구이지만 일부 중요한 파이토케미컬이 공정의 기질로 활용될 수 있기 때문에 항상 유익한 것은 아니다. 모나스쿠스 앵카에 의한 발효 후 귀리에서 검출된 클로로겐산 및 케르세틴과 같은 페놀 화합물과 같은 중요한 2차 대사산물의 동시 생성이 있을 수 있다[27]. 반면에 일부 화합물은 이 과정에서 손실될 수 있는데, 예를 들면, 발효되지 않은 종자의 주성분인 시나프산은 발효 귀리에서 검출되지 않기 때문이다[27]. 따라서 이것은 표준 발효 절차의 중요성을 의미하고 있는데 왜냐하면 제품에 도움이 되거나 부정적인 영향을 미칠 수도 있기 때문이다. 귀리 우유에 있어서 건강증진효과에는 항병원성 효과, 저콜레스테롤혈증 활성, 용액 점도 개선 및 위 배출 시간 지연 가능, 혈당 수치 감소 등이 있으며, 귀리 우유의 생리활성물질에는 베타글루칸, 파이토케미컬, 아베난쓰라마이드(AVA), 아베나코사이드 A, 아베나코사이드 B 등이 있다[25-27].

7) 땅콩 우유

땅콩 우유, 버터와 같은 땅콩 제품은 단백질, 미네랄 및 인간 영양의 중요한 구성 요소인 리놀레산, 올레산과 같은 필수 지방산이 풍부하기 때문에 영양학적 의미가 있다. 총 지방(49.24 g/100 g) 중 단일불포화지방산(50%)의 존재는 소비되는 저밀도지단백(LDL)의 양이 비교적 적기 때문에 콜레스테롤 수치에 중요한 역할을 한다[28]. 캄페스테롤과 스티그마스테롤의 농도는 각각 198.3 mg/g 및 163.3 mg/g으로 땅콩에서 매우 높다[28]. 땅콩에는 거의 모든 20개의 아미노산이 포함되어 있으며 아르기닌의 중요한 공급원이다. 땅콩 단백질(25.80 g/100 g)은 우수한 기능적 특성을 가지고 있으며, 식품에 혼입될 때 안정성, 높은 기포성, 수분 보유력 및 용해성을 갖는 우수한 유화를 나타낸다. 따라서 식품 산업에서 새로운 고단백 식품 성분 제품 제형 및 단백질 제형을 제공할 수 있다[28]. 이에 비해 땅콩 알레르기는 땅콩 유통계에서도 피할 수 없는 심각한 문제이다[29]. 땅콩 단백질을 조기에 섭취하면 효과를 어느 정도 줄일 수 있다는 연구 결과가 보고되었지만, 현재까지 알레르기에 대한 효과적인 예방 방법은 없다. 땅콩 알레르겐은 *Arachis hypogaea*(Ara) h 1부터 h 8까지가 알려져 있다[29]. 이러한 땅콩 알레르겐 중 Ara h 2 및 Ara h 6은 강력한 알레르겐이다[29]. 또한, 땅콩은 콩과 식물로 다른 영양소의 생체 이용률을 낮추고 불용성 섬유를 갖는 피트산을 함유하고 있다[28]. 추출 방법에는 탈지, 로스팅, 알칼리 담금질, 짬, 분쇄, 때로는 가열 또는 발효가 포함되며, 그 후 여과는 항영양 인자 및 다양한 식품 알레르겐의 함량을 어느 정도 감소시키는 데 효과적인 것으로 밝혀졌다. 분쇄 방식으로 생산된 땅콩 우유는 지방을 제거하여 노란색 액체(무지방에 가깝고 단백질이 풍부한)를 얻거나 유산균에 의해 발효될 수 있다[28]. 땅콩 우유 생산 중 발생하는 주요 문제 중 하나는 고지방 함량으로 인한 안정성 저하이다. 안정성을 향상시키기 위해 유화제(알긴산염, 젤라틴 또는 식물성 검 1%[w/w])를 첨가하여 가공, 운송 및 보관 중에 에멀전(유화액)을 안정화할 수 있다. 땅콩 우유에 있어서 건강증진효과에는 아르기닌은 T-림프구의 활력을 증가시켜 면역 체계를 자극, 소화기 계통, 피부, 신경의 기능향상, 관상 동맥 심장 질환, 뇌졸중 등의 질병으로부터 보호, 음식을 에너지로 전환하는 데 도움 등이 있으며, 땅콩 우유의 생리활성물질에는 아르기닌, 나이아신, 레스베라트롤, 비타민 E 등이 있다[28,29].

8) 쌀 우유

전 세계 인구의 약 절반이 쌀을 주식으로 사용하고 있으며 주로 동남아시아 국가들에서 사용하고 있다[30]. 그러나 최근에는 서구 국가에서도 쌀 소비가 증가하여 생산량이 증가하는 것으로 나타나고 있다. 쌀은 전분(거의 90%)이 매우 풍부한 반면 단백질(약 10%) 함량은 가장 적으며 트레오닌과 라이신이 부족하며 상당한 양의 페롤산, 시나프산 및 p-쿠마르산이 있다[30]. 이산화탄소가 포함된 시나프산은 p-하이드록시벤조산과 함께 환원된다[30]. 쌀에는 비타민 A 전구체(β -카로틴)가 결합되어 있으며, 이는 식물 효소(피토엔 합성효소, 피토엔 불포화효소, β -카로틴 불포화효소, 리코펜 β -사이클라제)의 도움으로 합성되어 제라닐제라닐 이인산을 β -카로틴으로 전환한다[31]. 이러한 효소 시스템은 줄기 위에서 완전히 기능하지만 곡물에는 부족하다. 또한 쌀은 유익한 폴리페놀(페놀산, 안토시아닌, 카테킨과 에피카테킨으로 구성된 프로안토시아닌)을 함유하고 있어 겨와 함께 섭취하는 것이 좋다[31]. 그러나 이것은 특히 쌀 우유와 같은 제품의 경우 좋은 식감 특성을 얻기 위해 거의 불가능하다. 쌀에 존재하는 필수 원소인 철분은 겨에 85% 이상이 함유되어 있으며 쌀을 우유로 만드는 과정에서 제거된다. 따라서 철분을 함유한 쌀 우유의 강화가 필요하다. 그러나 현재 식품 산업계에서는 활용도가 낮고 영양가가 높은 미강유(rice bean milk)의 생산에 집중하고 있다[32]. 쌀겨 우유는 두유보다 부유고형물총량 값과 점도가 낮았다[33]. 또한 담그는 것은 미네랄과 비타민(B6, B12), 불용성 섬유질 및 생리활성 성분을 증가시키는 데 효과적이었다[33]. 이것은 자연 발효를 위해 보관되며, 이때 유산균이 항염증 인자를 분해하여 칼슘, 마그네슘, 철분 함량을 향상시킨다. 결국 다른 내부 장기의 소화와 면역에 도움이 되는 유익균을 증가시키기 때문이다[33]. 쌀 우유에 있어서 건강증진 효과에는 항염 작용, 다중 알레르기가 있는 사람들을 위한 최고의 선택이 될 수 있으며, 콜레스테롤 및 고혈압 감소 등이 있으며, 쌀 우유의 생리활성물질에는 나이아신, 감마오리자놀, 피리독신, β -시토스테롤, 티아민, α -토코페롤 등이 있다[30-33].

9) 두유

다양한 식물로 제조된 우유 대체품의 건강 잠재력에 대한 일반 사람들의 건강에 좋다는 인식의 증가로 인하여 관련 제품들의 소비가 크게 증가하는데 기여하였으며, 많은 사람들은 특정 건강상의 이점을 활용하기 위해 이러한 기능성 음료에 많은 관심을 보여 왔다. 대두 및 대두 제품은 높은 단백질 함량(36.49 mg/100 g)으로 인해 채식주의자 사이에서 자리를 잡는 데 성공하였다[34]. 미국 농무부인 USDA의 식품 구성 데이터베이스에 의하면, 두유에는 236.6 mL당 7 g의 단백질이 함유되어 있으며 이는 기존의 우유와 비슷하다[34]. 두유에는 심혈관 건강과 상관관계가 있는 필수 단일불포화 및 다중불포화 지방산이 매우 많이 함유되어 있다. 두유는 신체 내부의 유익한 상호 작용을 담당하는 다양한 기능적 활성 성분을 가진 저렴하고 상쾌하며 영양가 있는 음료이다. 이소플라본은 암, 심혈관 질환 및 골다공증과 같은 가장 중요한 건강 상태에 대한 보호 효과가 있다는 것이 이미 잘 알려져 있다. 또한 다량의 이소플라본(제니스테인, 다이드제인, 글리시테인), 섬유질, 미네랄(주로 철, 칼슘, 아연), 비타민 B, 불포화지방산이 다량 함유되어 있다[34]. 피트산(1.0%-2.2%), 스테롤(0.23%-0.46%) 및 사포닌(0.17%-6.16%)과 같은 파이토케미컬은 잠재적인 건강상의 이점을 증가시킬 수 있다. 발효 시 글루코시다아제가 있는 이소플라본 글루코시드는 가수분해되어 소장에서 아글리콘을 형성한 다음 미생물총에 의해 대장에서 다른 대사물(예를 들면, 에쿠올 및 O-데스메틸알골렌신)로 대사된다[34]. 반대로, 약한 에스트로겐과 유사한 이소플라본 또는 식물성 에스트로겐은 임신 및 유아기에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다. 예를 들면, 난소, 자궁, 유선 및 전립선, 조기 사춘기, 생식 능력 감소, 뇌 조직 장애, 생식기 암 등이다. 또한, 인간의 장관에 α -갈락토시다아제가 없으면 스타키오스 및 라피노오스와 같은 올리고당이 소화되지 않아 당과 소화계(GI) 상주 박테리아 군집 사이의 상호 작용으로 인해 가스 생성이 발생한다[35]. 따라서 대두의 건강 측면, 특히 생리 활성 성분이 웰빙에

미치는 영향에 대해 보다 체계적인 연구가 더 많이 진행되어야 할 것이다. 또한 다른 연구에 의하면, 우유를 섭취하는 사람들의 약 14% 정도가 두유에도 알레르기가 있음을 보여주었다[36]. 발효는 항영양 인자(프로테아나제 억제제, 피트산, 우레아제, 옥살산)를 줄이고 미생물이 복잡한 유기 물질을 더 단순한 분자로 분해하여 공발효제품에서 유리 이소플라본과 펩타이드의 수를 증가시키기 때문에 생리 활성 성분의 생체 이용률을 높이는 데 도움이 된다. 가수분해물의 기능성에 대한 발효 효율은 공정에 사용되었던 균주에 전적으로 의존한다. 예를 들면, 바실러스 서브틸리스 MTCC5480로 발효된 대두는 더 많은 단백질 가수분해와 유리 아미노산을 생성한 반면, 리조푸스 올리고스포루스와 바실러스 서브틸리스를 사용하면 필수 아미노산에는 영향을 미치지 않으면서, 아스파르트산과 글루탐산을 증가시키고 펩타이드 함량은 더 작아지는 것으로 밝혀졌다[37]. 또한, 동일한 바실러스 서브틸리스는 자유 라디칼 소거 특성을 높은 수준으로 증가시키고 안지오텐신-1-전환 효소(ACE)를 억제하여 혈압 수준을 감소시킨다. 그러나 총 이소플라본 농도는 스트렙토코쿠스 써모필리스 균주를 사용하는 것보다 락토바실러스 람노시스 CRL981을 사용한 두유의 발효에서 약 40배 더 많은 β -글루코시다아제를 생성하였다[38]. 두유에 있어서 건강증진효과에는 혈압 수치 감소, 만성질환에 효과적임, α -갈락토시다아제 활성, 골밀도가 높고 골절율이 낮음, 고지혈증 및 골다공증에 예방에 도움을 줄 수 있으며, 두유의 생리활성물질에는 다이제인, 제니스테인, 글리시틴 등이 있다[34-38].

2. 비낙농 식물성 기반 우유 유사체의 현재의 상황과 전망

Fig. 1은 현재 시중에서 상업적으로 판매되고 있는 비낙농 식물기반 우유의 종류들을 정리한 것이다. 기존의 우유에서 발생할 수 있는 유당불내증, 우유알레르기, 유지방에 의한 심혈관질환 등에 의한 의학적인 문제뿐만 아니라 생활 습관의 변화로 인하여 고단백질 요구, 권장요구량에 충족하는 아미노산의 섭취, 장내 개선을 위한 프로바이오틱 음료 이용 등으로 많은 소비자들은 일반 포유동물 우유보다 식물성 기반으로 제조된 비건 식단에 더 많은 관심을 가지고 있는 상황이다[1-9]. 비록 현재 우유 유사체 시장은 우유의 직접 소비할 수 없는 특정 사람들의 요구에 의해서 진행되고

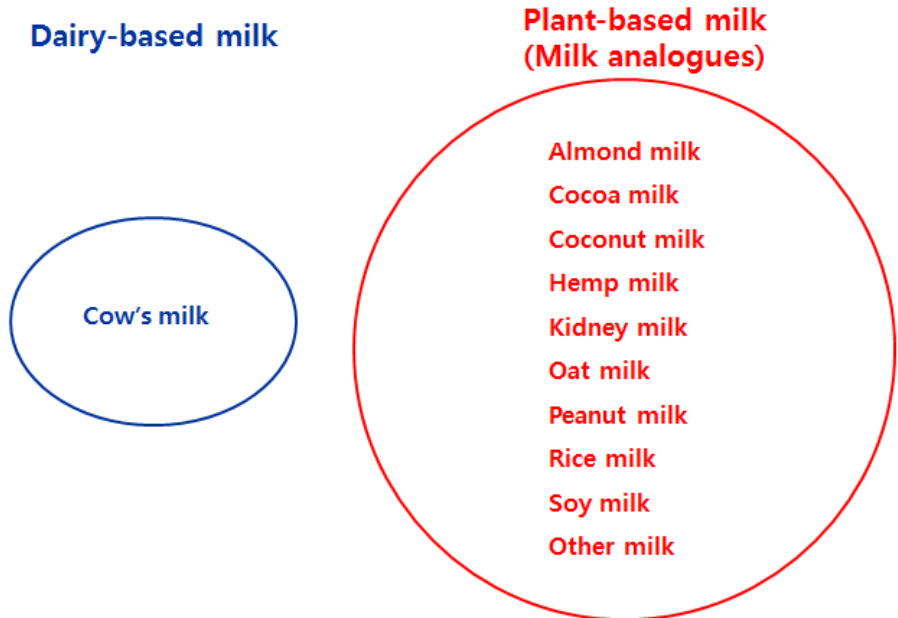


Fig. 1. Various types of plant-based milk (milk analogues) currently commercially available on the market.

있지만 시간이 지남에 따라 다양한 사람들의 다양한 의견에 의해서 발전하게 될 것으로 예상되고 있다. 그러나 우유 유사체에 대한 선호도는 더 저렴하고 효율적인 다양한 식품 공급원을 찾는데 있다. 이미 알려진 것처럼, 식물성 비낙농 유제품 음료의 소비는 인류 초기 문명에서부터 현재까지 다양한 곳(예를 들면, 집, 공동체, 시장 등등)에서 제한적으로 이용되어져 오고 있다[36]. 또한 식물성 우유 음료의 존재와 종류는 전 세계적으로 매우 다양하다. 이러한 식물성 단백질을 식품에서 필요한 영양 개념으로 인식을 전환한 결과 건강에 도움을 주는 음식 선택에 꼭 필요한 웰빙 식품으로 인식되었다 [36]. 따라서 이러한 결과로 건강 강조 표시가 된 식물성 우유 음료의 소비가 크게 증가하는 계기가 되었다. 관련 표시의 예시를 들면, 비타민과 섬유질이 풍부하고 콜레스테롤이 거의 없다는 등이다. 이와 아울러 동물성 우유와 관련된 부정적인 인식이 동시에 증가한 것도 무시할 수 없는 현상이다.

전 세계 비낙농 식물성 우유 시장은 2024년까지 380억 달러 이상의 매출에 도달할 것으로 예상되며, 2018-2024년 동안 연평균 성장률이 14% 이상 증가할 것으로 예상된다[39-41].

2018년에 전 세계 아몬드 우유 시장 규모는 52억 달러를 기록하였으며, 예상되는 연평균 성장률은 14.3%로 2025년까지 133억 달러까지 증가할 것으로 예상하고 있다[39]. 아몬드 우유 분야에서 주요 생산 회사는 Blue diamond growers, Daiya foods, Galaxy nutritional foods, Hain celestial group, Sunopta, White wave foods 등이 있다[39].

코코넛 우유는 전 세계 시장에서 매년 14.6%로 증가하는 연평균 성장률을 보이고 있으며, 2023년 까지 대략 24억 달러에 이를 것으로 예상된다[40]. 따라서 코코넛 우유도 우유 유사체의 또 다른 중요한 부문으로 인식되고 있다, 액상 코코넛 우유는 대략 16억 달러까지 도달할 것으로 예상되고, 또한 분말 코코넛 우유는 유통기한을 연장할 수 있기에 2023년 말까지 14.8% 이상의 빠른 성장을 나타낼 것으로 예상된다[40]. 코코넛 우유분야에서 주요 생산 회사는 Celebes coconut, Dabur India, Goya Foods, McCormick & Company, Thai agri-foods public, Thai coconut public, Vita coco 등이 있다[39,40].

대마유는 전 세계적으로 약 50개국에서 상당한 양의 대마유를 생산 및 수출하는 우유 유사제품으로 크게 성장하고 있다[39]. 전 세계 대마유 시장은 2018년에 대략 2억 달러로 평가되고 있으며, 2019년부터 2026년까지 매년 대략 16%의 성장으로 2026년에는 대략 5억 3천만 달러의 수익 창출이 예상된다[39]. 대마유 분야에서 주요 생산 회사는 Braham & Murray, Drink daily greens, Healthy brands collective, Pacific foods of Oregon, Waska farms, Wild harvest organics 등이 있다[39].

전 세계 쌀 우유 시장은 2018년에서 2023년 사이의 예측 기간 동안 매년 15% 이상의 성장을 기록할 것으로 예상하였다[39]. 쌀 우유 분야에서 주요 생산 회사는 Campbell soup, Pureharvest, Panos brands, The Hain celestial group, Vitasoy Australia products, White wave foods 등이 있다[39].

사용 가능한 다양한 형태의 우유 유사체 중에서 두유는 여전히 시장에서 가장 선호되는 품목이며, 세계 시장 규모는 73억 달러이며 앞으로 몇 년 동안 계속 증가할 것으로 예상된다[41]. 두유 분야에서 주요 생산 회사는 Eden foods, Organic valley, Pacific foods of Oregon, Pureharvest, Vitasoy international holdings 등이 있다[39,41].

즉, 이러한 비낙농 식물성 우유 관련 성장 예측 자료들은 우유 유사체에 대한 기업들의 관심을 유발할 뿐만 아니라 비낙농 식물기반 우유 음료의 상업적 시장 잠재력이 매우 크다는 것을 보여주고 있다.

3. 비낙농 식물성 기반 우유 유사체의 생산 및 품질 개선에 있어서 최근의 동향

식물성 우유 대체품의 관능적, 영양적, 기능적 특성을 개선하기 위한 지속적인 연구 노력이 진행 중에 있다. 특히 4가지 주요 영역에 중점을 두고 있는데, 안정성, 이취 제거, 억제제의 비활성화/제거,

그리고 식물성 우유 음료의 저장 수명 개선 등이다. 왜냐하면, 우유 유사체의 생산 및 개선에 매우 중요하기 때문이다. 또한 이러한 식물성 우유 대체품의 안정성은 분산상 입자(지방구, 고체 물질 입자, 단백질 등)의 크기 등에 의해서 영향을 많이 받는다. 예를 들면, 특히 식물성 우유 대체품을 섭취할 때 이러한 제품에서 모래 또는 분필 같은 성상(sandy, gritty, or chalky body)으로 이어질 뿐만 아니라 보관 중 상분리(phase separation)를 일으켜 포장된 용기 바닥에 침전물을 형성할 수도 있기 때문이다. 보관 중 시간이 지남에 따라 이취가 생길 수 있거나 또는 불포화 지방산과 리폭시게나제의 존재로 인해 이취가 발생할 수도 있다[42]. 물리적, 화학적 처리에 의한 효소의 불활성화는 오래전부터 사용되어 왔다. 고압 처리, 펄스 전기장, 저항 가열, 저온 플라즈마, 초음계 유체 추출 및 고체상 미세 추출과 같은 최근에 개발된 방법의 이용은 다양한 음료에서 이취를 제거하는 효과적인 방법으로 사용되고 있다[43]. 트립신 억제제, 피트산, 렉틴, 탄닌, 프로테아제 억제제, 사포닌 등은 대부분의 식물성 우유 음료에 존재하는 주요 항영양 인자들이다. 항영양 인자를 제거하기 위해 다양한 물리적 처리(끓이기, 담그기, 발아, 증기 주입), 화학적 방법(β -시클로덱스트린 포획), 생물공정 및 생명공학 적 개입(발효, 효소 처리) 등이 사용되고 있다[44]. 일반적으로 식물성 우유 음료의 전반적인 안정성과 저장 수명은 주로 생산 공정과 관련된 다양한 공정 매개변수에 따라 달라질 수 있다[45]. 향후 이러한 혁신적인 기술에 대한 더 많은 연구가 절실히 필요한 실정이다.

4. 한국에서의 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체) 시장의 현황과 전망

코로나 19 이후로 건강에 대한 관심이 급속히 증가되면서 우유뿐만 아니라 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체)에 대해서도 많은 관심이 집중되고 있는 것이 사실이다. 최근에 한국의 원유 가격이 평균 6% 정도 인상되었지만, 여전히 낙농기반 우유시장의 규모가 큰 것은 사실이다. 한국의 우유 시장 규모는 최근 5년 동안 매년 평균 2% 내외로 지속적으로 성장하고 있으며, 2020년에는 대략 3조 1천억 원을 기록하였고, 우유소비량은 역대 최대치인 대략 435만 톤이었다[46]. 그럼에도 불구하고, 한국에서 우유 시장은 언제든 외부 환경의 다양한 요인들에 의해서 직접적 또는 간접적으로 많은 영향을 받을 수 있다는 것이다. 예를 들면, 기후변화와 관련된 환경 문제는 전 세계적인 '환경·사회·지배구조' 흐름과 함께 채식만 섭취하는 인구가 두드러지게 증가하고 있기 때문이다[47]. 특히, 20·30대가 주축인 MZ세대는 환경오염 문제를 가장 중요하게 인식하고 있다는 것이다.

여기서 주목해야 할 부분은 바로 비낙농 식물성기반 우유의 성장 속도가 낙농기반 우유 시장보다 더 높다는 것이다. 한국에서는 비낙농 식물성 기반 우유 산업이 현재 시작하는 단계일지라도, 음료를 생산하는 많은 식품업체들이 소비자의 다양한 요구를 적극적으로 반영하여 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체)을 출시하였거나 준비 중에 있는 것으로 파악되고 있다. 한국에서의 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체) 시장의 규모는 2016년 대략 83억 원 수준에서 2020년 대략 431억 원 규모로 대략 5배 이상 급속한 성장을 보이고 있으며, 2025년에는 668억 원까지 증가할 것으로 예상하고 있다[48]. 이러한 비낙농 식물성 기반 우유의 대체품(유사체) 성장 배경에는 다양한 이유가 있겠지만, 건강에 대한 관심 증가 그리고 비건을 포함한 채식주의자의 증가(2021년 대략 250만 명으로 추정하는데 2008년 대비 대략 17배 정도 증가함) 등이 주요한 원인으로 이해되고 있다[49]. 따라서 이러한 요구에 가장 적합하면서도 신속하게 대응할 수 있는 방법이 바로 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체)과 비건 제품일 것이다.

현재 한국에서 시판되고 있는 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체) 몇 가지를 소개하면 다음과 같다. 지금까지 한국의 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체)은 정식품과 삼육두유에서 생산하는 두유 중심으로 오랫동안 성장 발전하였다. 2021년 한국의 두유 시장은 대략 5천 4백억 원으로 2020년보다 5.4% 성장할 것으로 예상된다. 현재 두유 제품은 한국의 많은 식품업체에서 제조되어 판매하고 있다. 최근에 와셔야 콩에서 벗어나서 다양한 식물성 기반 우유 대체품(유사체)이 서서히 출시되고 있는 상황이다. 우유 알레르기가 있는 소비자와 채식주의자들에게 낙농 기반 유제품을 대체할 수 있도록

록 매일유업이 2015년에 '아몬드브리즈'를 출시하였는데, 매출 성장률이 최근 3년간 대략 45% 정도로 급속히 증가하고 있다. 귀리를 사용하여 '조지아 크래프트 디카페인 오프라떼' 제품은 코카콜라에서 생산 및 판매되고 있으며, 귀리 우유를 우유 대신 선택할 수 있도록 스타벅스에서 이미 시행하고 있으며, 그리고 '어메이징 오프' 제품은 2021년 하반기 매일유업에서 생산 및 판매하기 시작하였다. 그 외에도 매우 다양한 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체) 등이 한국에서 생산 및 판매되고 있으며 그 영역이 점차 확대되어가고 있다.

결론적으로 한국의 저출산률을 포함하여 다양한 이유 등으로 인하여 향후 한국에서 낙농기반 우유 시장은 성장보다는 현상유지 또는 약간 감소하는 방향으로 예상되고 있다. 무엇보다 소비자들의 관심은 건강 증진 효과와 경제적이면서 영양가가 풍부한 맞춤형 제품을 선호하고 있다는 것이다. 따라서 여기에 가장 적합한 것이 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체)으로 인식되고 있기에 더 많은 관심이 지속될 것이다. 따라서 비낙농 식물성 기반 우유 대체품(유사체)과 관련된 연구가 과학적인 기반에서 다양한 연구가 신속하게 진행되어야 할 것으로 사료된다.

결론

우유는 지금까지 알려진 바에 의하면 그 어떤 것도 대체할 수 없는 완전한 식품이지만, 최근에 들어와서 낙농 산업에 비해 식물성 대체품의 이점 등이 많이 알려지고 있다. 다양한 생리활성 식물화학물질의 존재, 콜레스테롤의 부재, 생산을 위한 높은 에너지 투입, 일부 지역의 제한된 우유 가용성, 완전채식자의 출현 그리고 토지, 사료 등과 같은 제한된 자원 등에 의해서 비낙농 산업에 관한 관심이 급격하고 증가하고 있다. 추출 방법의 적용은 추출에 사용되는 식물이 전부 또는 일부에 따라서 매우 다양하게 적용될 수 있다. 예를 들면, 아몬드, 코코넛, 대마 등은 일반적으로 기계적으로 생산되는 반면 콩, 귀리, 쌀 등은 추출 전에 발효 과정을 거친다. 추출 과정에서 더 높은 수율을 위해서 효소를 첨가하기도 한다. 특히, 자연적으로 발생하거나 또는 식품의 일부로 가공 중에 발생할 수 있는 항영양 인자들의 존재가 이러한 제품들의 상업화할 때 식품 가공 산업이 직면한 주요 문제중의 하나이다. 그러나 항영양 인자를 줄이기 위해 세척, 볶음, 담그기, 발아, 발아, 발효 등 다양한 열처리 및 비열처리와 같은 간단한 가공 방법이 표준화되어 있다. 예를 들면, 적절한 기술을 이용하여 관능강화를 개선하기 위해서 다양한 첨가제, 안정제 또는 유화제를 첨가할 뿐만 아니라, 현탁액, 미생물 안정성 및 저장 수명을 개선하기 위해 저온살균 또는 초고온살균처리를 하기도 한다. 비낙농 산업은 특히 유당 불내증, 유아의 우유 알레르기, 병원균 존재 및 일부 필수 영양소 결핍과 같은 낙농 산업이 직면한 문제점 등을 직접적(또는 간접적)으로 해결할 수 있기에 매우 큰 잠재력을 보유하고 있다. 그러나 다양한 건강 관련 문제의 관리 또는 개선 등에 다양한 생리활성 식물화학물질이 직접 관여하고, 경제적이면서도 영양적으로 우유와 동등한 새로운 제품 개발을 위한 다양한 다른 식물들의 역할에 대한 과학적인 연구 시험이 반드시 수행되어야 할 것이다. 또한 새로운 식품에 대한 형태가 끊임없이 변화하여 소비자의 요구에 적극적으로 부응하기 위해 과학계에서는 비낙농 식물기반 우유 대체품(유사체) 관련 연구개발 활동과 기술적 개입을 통한 제품 품질 향상을 위한 진보적인 노력이 절실히 요구되고 있다. 결론적으로 식물성 우유 대체품(유사체)은 식품 과학 및 기술의 새로운 제품 개발 범주에서 계속해서 주요 연구 영역이 될 것으로 예상된다.

요약

기능 식품 및 기능성 식품 시장은 새로운 식품 개발 범주에서 가장 빠르게 성장하는 식품 부문 중 하나이다. 최근 음료 산업의 초점은 식품을 보다 영양가 있고 기능적으로 풍부하게 만드는 방향으로 급속하게 이동하고 있다. 일반적으로 영양학적 기능이 있는 식품을 만들기 위해서는 기능성이 발

혀진 식물재료들을 식품에 직접 첨가하여 사용하거나 또는 추출방법으로 기능성 물질을 분리하여 사용한다. 다양한 음료 중에서 우유는 다량 영양소(지방, 단백질, 탄수화물)와 미량 영양소(칼슘, 셀레늄, 비타민 B 복합체 등)를 균형 잡힌 비율로 제공하는 건강에 좋은 완전 식품으로 인식되고 있다. 하지만, 전 세계의 일부 나라 또는 특정 지역에서는 우유를 이용할 수 없는 환경에 있는 경우도 있다. 특정 미네랄(철), 비타민(엽산) 및 기타 생체 분자(아미노산)의 낮은 함량뿐만 아니라 우유 알레르기, 유당 불내증 및 고콜레스테롤혈증과 같은 복합적인 이유 등으로 많은 사람들이 식물성 기반 우유 대체품(유사체)을 찾고 있는 실정이다. 또한 우유 대체품(유사체)의 조건으로는 기존 우유보다 영양가가 최소한 동일하거나 그 이상이 되어야 한다는 것이다. 식물성 우유 또는 혼합 우유 유사체는 한 가지 또는 다른 이유 등으로 더 좋은 비낙농 식물 우유 유사체를 찾는 사람들을 위해 식품산업계에서는 기존 우유를 대체할 수 있는 대안으로 많은 연구가 진행되고 있다. 식물기반 우유 유사체의 시장은 현재 두유, 귀리 우유, 코코넛 우유, 대마 우유, 코코아 우유, 잭콕 우유 등이 주요 시장을 형성하고 있으며, 이들 대부분은 생리활성물질이 포함되어 있다. 따라서 이러한 우유 대체품(유사체)들은 건강 증진 및 질병 예방 특성과 상관관계가 있는 기능적 활성 성분으로 인해 높이 평가되고 있다. 기존 우유에 비해 우유 대체품(유사체)의 주요 이점 중 하나는 생산된 우유 단위당 에너지 요구량이 동물성 우유에 비해 훨씬 적으면서 수요에 따라 구성을 쉽게 조정(변경)할 수 있다는 것이다. 그러나 이러한 비전통적인 음료를 생산하는데 있어서 주요 제한 요소는 까다로운 생산기술 등이다. 예를 들면, 콩과 식물에서 추출한 음료의 경우에는 좋지 않은 관능 특성을 보이기도 한다는 것이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 기능성 생리활성 식품 분야에서 경제적이면서도 영양적으로 우수하고 기능이 개선된 맞춤형 신규 음료를 생산할 수 있도록 지속적인 연구개발이 절실히 요구되어진다. 따라서, 본 총설논문에서는 비낙농 식물성 우유 대체품(유사체)의 현재 상태, 시장 잠재력 및 건강 문제에 대한 과학적 비교 및 전반적인 개요, 그리고 비낙농 식물성 우유 대체품(유사체)에 적용되는 다양한 기술관련 자료 등을 재정리하였으며, 궁극적으로 비낙농 식물성 우유에 관한 기본적인 자료를 제공하는 데 있다.

Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

감사의 글

농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 유용농생명자원산업화학기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(121051021HD020).

References

1. Fructuoso I, Romão B, Han H, Raposo A, Ariza-Montes A, Araya-Castillo L, et al. An overview on nutritional aspects of plant-based beverages used as substitutes for cow's milk. *Nutrients*. 2021;13:2650.
2. Haas R, Schnepps A, Pichler A, Meixner O. Cow milk versus plant-based milk substitutes: a comparison of product image and motivational structure of consumption. *Sustainability*. 2019;11:5046.
3. Paul AA, Kumar S, Kumar V, Sharma R. Milk analog: plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Crit Rev Food Sci*

- Nutr. 2020;60:3005-3023.
4. Mäkinen OE, Wanhalinna V, Zannini E, Arendt EK. Foods for special dietary needs: non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2016;56:339-349.
 5. Vanga SK, Raghavann V. How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *J Food Sci Technol.* 2018;55:10-20.
 6. Grant CA, Hicks AL. Comparative life cycle assessment of milk and plant-based alternatives. *Environ Eng Sci.* 2018;35:1235-1247.
 7. Akin Z, Ozcan T. Functional properties of fermented milk produced with plant proteins. *LWT-Food Sci Technol.* 2017;86:25-30.
 8. Worku A, Sahu O. Significance of fermentation process on biochemical properties of *Phaseolus vulgaris* (red beans). *Biotechnol Rep.* 2017;16:5-11.
 9. Ojha P, Adhikari R, Karki R, Mishra A, Subedi U, Karki TB. Malting and fermentation effects on antinutritional components and functional characteristics of sorghum flour. *Food Sci Nutr.* 2018;6:47-53.
 10. Özdemir B, Yücel SS, Okay Y. Health properties of almond. *J Hyg Eng Des.* 2016;17:28-33.
 11. Van Impe J, Smet C, Tiwari B, Greiner R, Ojha S, Stulić V, et al. A. State of the art of nonthermal and thermal processing for inactivation of micro-organisms. *J Appl Microbiol.* 2018;125:16-35.
 12. Chhabra GS, Liu C, Su M, Venkatachalam M, Roux KH, Sathe SK. Effects of the Maillard reaction on the immunoreactivity of amandin in food matrices. *J Food Sci.* 2017;82:2495-2503.
 13. Rodriguez-Lagunas MJ, Vicente F, Pereira P, Castell M, Pérez-Cano FJ. Relationship between cocoa intake and healthy status: a pilot study in university students. *Molecules.* 2019;24:812.
 14. Ludovici V, Barthelmes J, Nägele MP, Enseleit F, Ferri C, Flammer AJ, et al. Cocoa, blood pressure, and vascular function. *Front Nutr.* 2017;4:36.
 15. Ramos S, Marti n MA, Goya L. Effects of cocoa antioxidants in type 2 diabetes mellitus. *Antioxidants.* 2017;6:84.
 16. Fernando WMADB, Martins IJ, Goozee KG, Brennan CS, Jayasena V, Martins RN. The role of dietary coconut for the prevention and treatment of Alzheimer's disease: potential mechanisms of action. *Br J Nutr.* 2015;114:1-14.
 17. Ekanayaka RA, Ekanayaka NK, Perera B, De Silva PG. Impact of a traditional dietary supplement with coconut milk and soya milk on the lipid profile in normal free living subjects. *J Nutr Metab.* 2013;2013:481068.
 18. Frassinetti S, Moccia E, Caltavuturo L, Gabriele M, Longo V, Bellani L, et al. Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts. *Food Chem.* 2018;262:56-66.
 19. Crescente G, Piccolella S, Esposito A, Scognamiglio M, Fiorentino A, Pacifico S. Chemical composition and nutraceutical properties of hempseed: an ancient food with actual functional value. *Phytochem Rev.* 2018;17:733-749.
 20. Wang Q, Jiang J, Xiong YL. High pressure homogenization combined with pH shift

- treatment: a process to produce physically and oxidatively stable hemp milk. *Food Res Int.* 2018;106:487-494.
21. Teh SS, Birch EJ. Effect of ultrasonic treatment on the polyphenol content and antioxidant capacity of extract from defatted hemp, flax and canola seed cakes. *Ultrason Sonochem.* 2014;21:346-353.
 22. Jayamanohar J, Devi PB, Kavitate D, Priyadarisini VB, Shetty PH. Prebiotic potential of water extractable polysaccharide from red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT-Food Sci Technol.* 2019;101:703-710.
 23. Kumar S, Verma AK, Das M, Jain SK, Dwivedi PD. Clinical complications of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) consumption. *Nutrition* 2013;29:821-827.
 24. Nikmaram N, Dar BN, Roohinejad S, Koubaa M, Barba FJ, Greiner R, et al. Recent advances in γ -aminobutyric acid (GABA) properties in pulses: an overview. *J Sci. Food Agric.* 2017;97:2681-2689.
 25. Sang S, Chu Y. Whole grain oats, more than just a fiber: role of unique phytochemicals. *Mol Nutr Food Res.* 2017;61:1600715.
 26. Sterna V, Zute S, Brunava L. Oat grain composition and its nutrition benefice. *Agric Agric Sci Procedia.* 2016;8:252-256.
 27. Bei Q, Liu Y, Wang L, Chen G, Wu Z. Improving free, conjugated, and bound phenolic fractions in fermented oats (*Avena sativa* L.) with *Monascus anka* and their antioxidant activity. *J Funct Foods.* 2017;32:185-194.
 28. Arya SS, Salve AR, Chauhan S. Peanuts as functional food: a review. *J Food Sci Technol.* 2016;53:31-41.
 29. Chen X, Negi SS, Liao S, Gao V, Braun W, Dreskin SC. Conformational IgE epitopes of peanut allergens Ara h 2 and Ara h 6. *Clin Exp Allergy.* 2016;46:1120-1128.
 30. Jiang SY, Ma A, Xie L, Ramachandran S. Improving protein content and quality by over-expressing artificially synthetic fusion proteins with high lysine and threonine constituent in rice plants. *Sci Rep.* 2016;6:34427.
 31. Qureshi AMI, Dar ZA, Wani SH. Quality breeding in field crops. New York, NY: Springer; 2019. p. 199-216.
 32. Issara, U, Rawdkuen S. 2014. Organic rice bran milk: production and its natural quality attributes. In: 1st Joint ACS AGFD-ACS ICSCT Symposium on Agricultural and Food Chemistry; 2014; Bangkok, Thailand. p. 82-88.
 33. Sharma MN, Gayathri R, Priya VV. Assessment of nutritional value of overnight soaked cooked rice over un-soaked cooked rice. *Int J Pharm Sci Res.* 2018;9:616-619.
 34. Rizzo G, Baroni L. Soy, soy foods and their role in vegetarian diets. *Nutrients* 2018; 10:43.
 35. Janpaeng J, Santivarangkna C, Suttisansanee C, Emsawasd V. 2018. Effect of probiotic fermentation on bioactivity in fermented soy milk. In: The International Conference on Food and Applied Bioscience hosted by Agro-Industry, Chiang Mai University; 2018; Chiang Mai, Thailand, p. 209-216.
 36. Jeske S, Zannini E, Arendt EK. Past, present and future: the strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Res Int.* 2018;110:42-51.

37. Sanjukta S, Rai AK. Production of bioactive peptides during soybean fermentation and their potential health benefits. *Trends Food Sci Technol.* 2016;50:1-10.
38. Marazza JA, Nazareno MA, de Giori GS, Garro MS. Enhancement of the antioxidant capacity of soymilk by fermentation with *Lactobacillus rhamnosus*. *J Funct Foods.* 2012;4:594-601.
39. Arizton Advisory and Intelligence, Non-dairy milk market: global outlook and forecast 2019-2024 [Internet]. 2019 [cited 2021 Oct 10]. Available from: https://www.reportbuyer.com/product/5758037/non-dairy-milk-marketglobal-outlook-and-forecast-2019-2024.html?utm_source=PRN
40. Market Research Future, Coconut milk market research report: information by category (conventional & organic), by form (powder, & liquid), by packaging type (bottles, cans, pouches, & others), by distribution channel (store-based & non-store-based) – global forecast till 2027 [Internet]. 2019 [cited 2021 Oct 20]. Available from: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/coconut-milk-market-3024>
41. Global Market Insights, Soy milk market size, regional outlook, application development potential, price trends, covid-19 impact analysis, competitive market share & forecast, 2021-2027 [Internet]. 2019 [cited 2021 Oct 15]. Available from: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/soy-milk-market>
42. Maestri DM, Labuckas DO, Guzmán CA. Chemical and physical characteristics of a soybean beverage with improved flavor by addition of ethylenediaminetetraacetic acid. *Grasas Y Aceites.* 2000;51:316-319.
43. Chang C, Stone AK, Green R, Nickerson MT. Reduction of off-flavours and the impact on the functionalities of lentil protein isolate by acetone, ethanol, and isopropanol treatments. *Food Chem.* 2019;277:84-95.
44. Vagadia BH, Vanga SK, Singh A, Garipey Y, Raghavan V. Comparison of conventional and microwave treatment on soymilk for inactivation of trypsin inhibitors and in vitro protein digestibility. *Foods.* 2018;7:6.
45. Tangyu M, Muller J, Bolten CJ, Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2019;103:9263-9275.
46. Korea Dairy Committee, Dairy statistics [Internet]. 2021 [cited 2021 Oct 8]. Available from: https://www.dairy.or.kr/kor/sub05/menu_01_4_1.php
47. Kim HY, Choi SG, Kang SJ, Shin WS, Shim YY, Reaney MJT, et al. Awareness of vegetarian-based food (aquafaba) and vegetarian restaurant according to the food consumption value of vegetarians. *J Korean Soc Food Cult.* 2021;36:430-440.
48. Euromonitor International, Drinking milk products in South Korea [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 13]. Available from: <https://www.euromonitor.com/drinking-milk-products-in-south-korea/report>
49. I have a questions regarding the vegetarian population in Korea [Internet]. Seoul, Korea: Korea Vegan Union; 2021 [cited 2021 Oct 5]. Available from: https://www.vege.or.kr/story.html?mode=read&idx=60271&db_name=a_5&kwd=%C3%A4%BD%C4%20%C0%CE%B1%B8&page=1&page_list=1