



REVIEW

치즈의 저장 기간 증가에 이용되는 다양한 기술에 관한 현황과 전망: 총설

천정환^{1†} · 김태진^{2†} · 서건호² · 윤혜영² · 김현진² · 허제강¹ · 정동관³ · 송광영^{1,2*}

¹경인여자대학교 펫토탈케어과, ²건국대학교 수의과대학 및 원헬스연구소, ³고신대학교 식품영양학과

Techniques to Extend the Storage Period of Cheese – A Review of the Current Status and Future Prospects

Jung-Whan Chon^{1†}, Tae-Jin Kim^{2†}, Kun-Ho Seo¹, Hye-Young Youn², Hyeon-Jin Kim², Jekang Her¹, Dongkwon Jeong³, and Kwang-Young Song^{1,2*}

¹Department of Pet Total Care, Kyung-in Women's University, Incheon, Korea

²Center for One Health and College of Veterinary Medicine, Konkuk University, Seoul, Korea

³Department of Food and Nutrition, Kosin University, Busan, Korea



Received: March 9, 2022
Revised: March 20, 2022
Accepted: March 21, 2022

†These authors contributed equally to this study.

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

Copyright © 2022 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>
Tae-Jin Kim
<https://orcid.org/0000-0003-2776-7319>
Kun-Ho Seo
<https://orcid.org/0000-0001-5720-0538>
Hye-Young Youn
<https://orcid.org/0000-0003-4626-5859>
Hyeon-Jin Kim
<https://orcid.org/0000-0002-7914-7771>

Abstract

The safety and storage periods of various foods, including dairy products, can be affected by a variety of internal and external factors. Therefore, all foods have a risk of deterioration after storage for a certain period of time for many different reasons. Among dairy products, cheese is enriched in necessary nutrients; however, it can also easily undergo physical, chemical, and biochemical changes under various conditions. Therefore, the storage period of cheese is an important issue. If various factors that can affect the safety and storage period of cheese can be controlled, the safety of cheese can be preserved and its storage period extended. This review of the literature published on the issue summarizes various state-of-the-art technologies currently used to extend the storage period of cheese without affecting its quality. This basic data will inform future research concerning the storage period of various cheeses.

Keywords

storage period of cheese, preservation, coating, high pressure process, modified atmosphere packaging

서론

치즈는 영양이 매우 풍부한 다용도 유제품으로 물리적, 화학적 및 생화학적 부패에 취약한 성질을 가지고 있다[1-3]. 영양학적으로 우수한 유제품인 치즈는 단백질, 미네랄, 특히 칼슘과 인의 좋은 공급원이며, 이는 가장 많이 소비되는 식품의 필수 구성요소이다[1-3]. 치즈 소비는 전 세계적으로 크게 증가하였으며 결과적으로 치즈 산업은 이제 유통 기한 연장과 치즈 제품의 품질 및 안전성 증진에 대한 연구가 중요한 역할을 하는 글로벌 비즈니스로 진화하였다[2]. 따라서 유제품 중에서 치즈의 유통기한 연장은 매우 중요하다[1-3]. 이러한 다양한 이유 등으로 치즈의 저장 기간 연장에 사용되고 있거나 활용될 수 있는 기술에 대한 관심이 높은 것은 사실이다.

식품의 안전성과 그에 따른 저장 기간은 성분의 품질, 제품 구성 및 구조, 제조 중 사용되는 가공 조건, 포장 특성, 마지막으로 보관, 취급 및 유통 조건을 비롯한 여러 요인에 따라 달라질 수 있다 [2,3]. 이는 모든 식품이 다양한 이유 등으로 일정 시간 저장 후 변질의 우려가 있음을 의미하는 것이

Jekang Her

<https://orcid.org/0000-0002-8842-3053>

Dongkwan Jeong

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

Kwang-Young Song

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

다[2,4].

식품과학기술연구소(IFST, Institute of Food Science and Technology)는 유통 기한을 다음과 같이 정의하였다. “식품이 (a) 안전하게 유지되는 기간, (b) 바람직한 관능적 성질, 화학적, 물리적, 미생물학적 및 기능적 특성을 확실히 유지하는 기간, 그리고 (c) 적절한 권장되는 조건에서 보관할 때 영양함량의 수준이 유지되어야 한다[3]”.

유통 기한은 원료, 재료 및 반제품을 포함한 모든 식품의 중요한 특징이다[1-4]. 이러한 모든 제품에는 자체 유통 기한이 있지만, 생산자, 성분 및 포장 공급 업체, 제조업체, 도매 업체, 소매 업체 및 소비자와 같이 먹이 사슬과 관련된 모든 요소들이 제품에 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 인식해야 할 것이다[1,3-5].

유제품들은 본질적으로 이화학적, 화학적 또는 생화학적으로 영향을 받기 때문에 유통 기한을 변경하는 것에는 제한을 받고 있다[1-5]. 여기에는 아래와 같은 3가지의 이유를 설명할 수 있다. 지방의 크림화, 단백질 용액의 겔화, 치즈 응고물로부터의 유청분리 및 무기질의 결정화와 같은 이화학적인 변화가 첫 번째이다[6]. 비효소적 갈변화 반응 및 지방 산화와 같은 화학 반응이 두 번째이다[6]. 그리고 미생물 성장, 효소 분해, 치즈 숙성 및 발효와 같은 생화학적 변화가 세 번째이다[6].

유통 기한이 짧은 유제품의 안정성은 부패 미생물의 성장과 그에 따른 분해의 조절에 달려 있다[1-6]. 대조적으로, 유제품의 저장 기간이 중간 또는 긴 경우에는 일반적으로 효소 분해 또는 화학적 분해에 의해 전적으로 결정된다[1-6].

원유에서 발견되는 부패 박테리아의 주목할만한 특징 중에서 중요한 것은 세포의 효소를 생산한다는 것이다[3]. 이러한 효소는 열에 대한 저항성을 나타내기 위해 내열성 효소라고 정의한다. 대부분의 그람음성 내저온성(psychrotroph) 박테리아는 살균에 의해 쉽게 사멸되지만, 하지만 이러한 열처리로는 세포의 유도체 효소에는 영향을 거의 미치지 않는다[3]. 초고온살균(ultra-high temperature processing, UHT) 처리는 무당연유, 멸균 및 응고 크림과 같이 멸균된 용기에 담아서 처리하는 것뿐만 아니라 다양한 유제품에 적용되는 가장 높은 온도에서 진행되는 열처리 방법이다[3]. 우유에서 발견되는 내저온성(psychrotroph) 박테리아의 압도적인 비율은 열에 저항성을 가진 효소를 생산한다[3].

다양한 영양물질이 매우 풍부한 유제품인 치즈는 식사의 주성분뿐만 아니라 디저트, 간식, 조미료, 또는 식품 재료로서 이용될 수 있기에 많은 소비자들은 오랫동안 손쉽게 이용할 수 있는 식품으로 인식되고 있다[1-4].

일반적으로 치즈의 종류는 대략 500가지가 넘는다고 알려져 있다[1-4]. 이러한 치즈의 종류가 많은 사실에도 불구하고, 지속적으로 새로운 종류의 치즈가 계속 개발되고 있다. 왜냐하면 이러한 치즈 유제품은 단백질, 비타민, 미네랄, 특히 칼슘과 인의 좋은 공급원으로 가장 많이 소비되는 식품의 필수 성분이기 때문이다[1-4,6]. 따라서 이러한 치즈 유제품의 유통기한 연장은 매우 중요하게 인식되고 있다[1,3,4,6].

다양한 연구보고서 및 과학문헌에 따르면, 치즈의 유통 기한을 연장하는 주요 방법으로는 보존제 첨가, 코팅(식용코팅 및 활성코팅), 고압처리공정, 가스치환포장 그리고 이들의 상호 결합 등이 있다 (Fig. 1)[1-3]. 연질 신선한 치즈, 연질 숙성 치즈, 표면 곰팡이 숙성 치즈, 반연질 치즈, 경질 치즈 및 초경질 치즈를 포함한 거의 모든 범주의 치즈에 대해 다양한 연구가 진행되고 있다[1-6].

따라서 본 총설 논문은 치즈의 저장 기간 연장 방법을 이용되고 있는 최신의 다양한 기술들을 소개하고 그리고 향후 치즈의 유통기간 설정 연구 등에 기초적인 자료를 제공하는 데 그 목적이 있다. 그리고 모든 자료들은 이미 발표된 다양한 과학적인 문헌 등을 조사하여 재정리하였다.

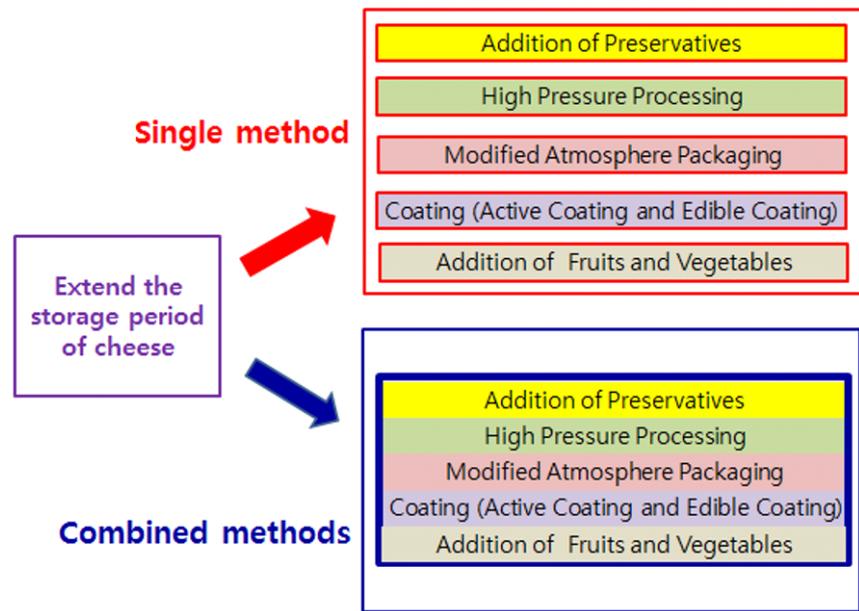


Fig. 1. Various techniques being used to extend the storage period of cheese.

치즈의 저장 기간 증가에 이용되는 기술에 관한 현황과 전망

치즈의 저장 기간 증가에 이용되는 기술에 관한 설명은 보존제 첨가, 코팅(식용코팅과 활성코팅), 고압처리공정, 가스치환포장, 상호결합, 치즈의 후가공 기술, 그리고 다양한 과일 및 야채 제품 첨가 등의 순으로 다음과 같이 정리되었다.

1. 보존제 첨가에 의한 저장 기간 연장

보존제를 첨가하는 것은 치즈의 저장 기간을 연장하는 방법으로 매우 간단하고 오래된 방법 중 하나이다[1,3]. 치즈 가공에 이용되는 보존제는 미생물의 성장으로 인한 변형을 지연시키는 데 도움이 되거나 물리적 특성 화학적 조성 및 원래 영양가가 영향을 받지 않은 상태로 유지되도록 한다 [1,3]. 보존제를 사용하는 경우 오남용이나 불필요한 사용을 방지하기 위해 반드시 관리를 철저히 해야 한다. 피망, 소르브산, 벤조산나트륨, 벤조산, 과산화수소, 니신, 나타마이신 및 키토산을 첨가제로 사용하여 치즈 유통기한을 연장할 수 있다[3].

니신은 특히 치즈에서 식품 보존제로 가장 널리 사용되는 박테리오신이다[3,7]. 니신은 bacilli, *Clostridium botulinum*, lactococci, *Listeria monocytogenes*, micrococci 및 *Staphylococcus aureus*를 포함한 대부분의 그람 양성 박테리아에 대해 활성을 나타내지만 그람 음성 박테리아, 효모 또는 곰팡이에 대해서는 거의 또는 전혀 활성을 나타내지 않는다[8].

나타마이신은 살진균제(곰팡이 방지약)이며 *Streptomyces natalensis* 및 관련 종의 호기성 발효에 의해 생성되는 폴리에틸렌 항생제에 속한다[3,9]. 이는 식품 산업, 특히 곰팡이 및 효모 오염 방지를 위한 유제품(치즈)에서 일반적으로 사용되며, 나타마이신의 사용농도는 일반적으로 1-20 ppm 정도이다[9]. 왜냐하면 효모의 최소억제농도(minimal inhibitory concentration, MIC)는 5 ppm 미만으로 최소억제농도(MIC) 10 ppm 이상인 곰팡이보다 저항성이 낮기 때문이다[3,9]. 나타마이신은 전세계의 대략 32개국에서 표면 및 치즈 처리에서 항진균제로 허용되지만, 하지만 일반 식품 첨가물로 사용하는 것은 더욱더 제한적으로 이용되고 있다[3,9]. 유럽 연합에서 나타마이신은 건조 소시

지뿐만 아니라 경질, 반경질 및 반연질 치즈의 표면 처리에 허용되고 있다[9,10]. 식품 첨가물 및 영양성분에 관한 European Food Safety Authority(EFSA) 위원회에서는 나타마이신이 매우 잘 흡수되지 않는다는 점을 감안할 때 현재 적용되고 있는 상황에서는 안전하다고 평가되고 무엇보다 현재 까지는 항균제 내성 유도에 대한 우려가 없다는 결론을 내림으로써 사용에 대한 규정을 개정하였다[9,10].

10℃에서 12주간 보관하는 동안 피망, 소르브산, 벤조산나트륨, 벤조산 및 과산화수소가 총 박테리아 및 유산균 수와 장내 박테리아 파괴에 미치는 영향 등이 조사되었다[11]. 사용되는 보존제의 종류와 첨가된 양에 따라서 치즈의 산도, pH 및 유리 지방산 생성 등에 영향을 받을 수 있다고 보고하였다[11]. 하지만 치즈의 수확량, 수분 및 지방 함량 등에는 거의 영향을 주지 않았으며, 유산균의 수는 보존제로 처리된 치즈보다 처리되지 않은 치즈에서 항상 더 많았다고 보고하였다[11]. 과산화수소와 피망은 유산균의 성장을 지연시키지 않았으며, 소르브산은 벤조산염보다 덜 효과적이었다[11]. 과산화수소와 피망은 대부분의 대장균군을 파괴하였다[11]. 유리지방산의 함량은 보존제를 처리하지 않은 치즈와 피망 처리 치즈에서 가장 높았지만, 과산화수소 처리 치즈에서 가장 낮았다[11]. 또한 피망을 곁들인 치즈에서 풍미와 조직감이 더 좋은 결과를 보였다[11].

여러 형태의 농축 니신이 현재 상업적으로 생산되고 있으며 저온 살균 치즈 스프레드, 소스 및 샐러드 드레싱과 같은 제품의 식품 첨가물로 일상적으로 사용되고 있다[3,8,10]. 치즈 산업에서 Nisaplin™과 같은 유리형태(free-type)의 니신 사용은 비용이 많이 들고, 또한 활성, 안정성 및 생체이용률 등이 낮다는 단점이 있다[12]. 또한, 유리형태의 니신은 숙성 및 풍미 발달에 중요한 스타터 배양 또는 비스타터 유산균을 억제하여 치즈 제조 과정을 방해하거나 치즈 품질을 저하시킬 수도 있다[12]. 따라서 니신 생성 균주를 함유하는 혼합 스타터 배양물의 사용과 같이 니신을 치즈에 통합하는 다른 수단을 개발하는 데 계속 관심이 지속적으로 진행되어 오고 있다.

대부분의 스타터 배양은 니신에 대한 다양한 민감성을 나타내기 때문에, 니신을 생성하는 균주는 용해된 세포와 온전한 세포 사이의 적절한 균형을 보장하기 위해서 니신 내성 또는 내성 스타터 배양과 결합되어야 한다[3,13]. 니신의 효능은 현장에서 생산될 때 크게 달라질 수 있으며, 니신의 살균 효과는 건조 물질에 10%의 젤라틴을 포함함으로써 급격히 증가할 수 있다[14].

EDTA-이나트륨염($\text{Na}_2\text{-EDTA}$)과 리소자임은 유산균에 영향을 미치지 않으면서 대장균군 및 *Pseudomonas* 종과 같은 부패 미생물의 성장을 억제하는 데 효과적인 또 다른 첨가제이다[15].

키토산은 항균제이며 환경 친화적이며 비교적 저렴하기 때문에 치즈의 유통 기한을 연장하는 데 사용할 수 있다[16]. 키토산은 대장균군과 *Pseudomonas* 종과 같은 부패 미생물의 성장을 억제하는 데 효과적이다[16]. 더욱이 키토산의 존재는 유산균의 성장에 영향을 미치지 않아 기능성 유제품 미생물군을 보호하는 것으로 알려져 있다[16].

치즈 우유에 생체활성 지방질 화합물을 추가하면 제품의 유통 기한을 연장할 수 있지만, 유청에서 얻을 수 있는 인지질 50%, 비타민 D 60%, 치즈 숙성을 담당하는 효소 95% 등이 손실될 수 있다[17]. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 고정화 방법이 필요하다. 유화 입자의 형태로 치즈에 생체활성 성분을 캡슐화하면 커드에 머무름이 증가하여 저장 중에 생체활성과 치즈의 화학적 안정성을 유지하고 치즈 수율을 향상시킬 수 있다[18].

2. 코팅에 의한 저장 기간 연장

코팅에 의한 저장 기간 연장에는 2가지 방법이 널리 이용되고 있다. 첫째는 식용코팅이며 둘째는 활성코팅에 의한 저장기간 연장이다.

1) 식용코팅에 의한 저장 기간 연장

식용필름과 식용코팅은 식용 바이오폴리머와 식품 등급 첨가제로 생산된다[1,2]. 필름을 형성하는 생체고분자는 단백질, 다당류(탄수화물 및 검류), 지질 또는 이들의 혼합물일 수 있다[2,9]. 가소제 및 기타 첨가제를 필름 형성 바이오폴리머와 결합하여 식용필름의 물리적 특성 또는 기타 기능을 변경할 수 있다[1,2]. 식용필름 및 식용코팅은 물리적, 화학적 및 생물학적 열화로부터 보호할 수 있다[1,2]. 식용필름과 식용코팅의 적용은 식품의 물리적 강도를 쉽게 향상시키고 입자 뭉침현상 (clustering)을 줄이며 제품 표면의 시각적 및 촉각적 특성을 개선할 수 있다[1,2]. 또한 수분 이동, 표면의 미생물 성장, 빛에 의한 화학 변화 및 영양소 산화로부터 식품을 보호할 수 있다[1,2]. 식용코팅은 수년 동안 치즈의 저장 기간 연장을 위해 사용되고 있으며, 관련 연구도 지속적으로 진행되고 있다. 필름 형성 재료에는 단백질(카제인, 유청단백, 밀글루텐), 다당류(전분, 변성전분, 변성셀룰로오스, 알지네이트, 카라기난, 키토산, 젤란검, 키토올리고당), 지질(해바라기유, 트윈20, 왁스(밀랍)) 등이 있다[1-3]. 가소제로 이용되는 글리세린, 프로필렌 글리콜, 소르비톨, 자당, 폴리에틸렌 글리콜, 옥수수 시럽, 물 그리고 기능성 첨가제로 이용되는 항산화제, 항균제, 영양소, 기능 식품, 의약품, 향료, 색소 등이 치즈의 유통 기한 연장을 위해서 사용되었다[1-3]. 더 나아가서 침지, 적하, 발포 및 유동층 코팅을 포함한 여러 코팅 적용 방법이 연구되었다[3].

2) 활성코팅에 의한 저장 기간 연장

활성코팅은 시장에 도입된 혁신적인 식품 포장 시스템 중 하나이다[19,20]. 주요 활성코팅 기술에는 수분, 산소, 이산화탄소, 에틸렌, 향미 및 냄새를 흡수하거나 이산화탄소, 항균제, 항산화제, 향미료를 방출하는 물질이 포함된다[19,20]. 산소 제거, 이산화탄소 흡수, 습기 제거(건조) 및 항균 시스템을 포함하여 상용화된 활성코팅 시스템이 다양한 분야로 응용되고 있다[19,20]. 특히 산소 제거 시스템은 산소를 제거하는 향 주머니 형태로 상용화되었다. 왜냐하면 산소가 없는 환경은 식품의 산화와 산패, 호기성 박테리아 및 곰팡이의 번식을 방지할 수 있기 때문이다. 요약하면, 활성코팅 기술 개발의 주요 목적은 특별하게 통제된 방식으로 방출되는 화학적 또는 물리적 활성 물질을 포함하는 기능성 포장 재료를 설계하는 것이다[20].

가장 중요한 활성코팅 시스템에는 항균 물질이 포함되어야 한다[19,20]. 이 활성코팅 기술이 다른 것과 통합하여 사용되는 기술과는 별도로, 항균 포장 시스템은 두 가지 주요 범주로 나눌 수 있다. 첫째는 항균제가 포장에서 식품으로 이동하는 것이고, 둘째는 항균제가 포장에 고정된 채로 남아 있는 것이다.

현재 식품 산업에서 사용되는 다양한 통합 메커니즘은 다음과 같다.

(1) 향주머니 첨가

이 기술은 에센셜 오일의 휘발성 화합물에 적용된다. 직접적인 표면 접촉은 발생하지 않으며 휘발성 항균제가 포장의 헤드스페이스로 방출되어 병원성 박테리아의 생장을 지연시킨다[20].

(2) 포장용 폴리머 내 항균제의 분산

항균제는 압출, 열 프레스 또는 주조에 의해 통합될 수 있다. 압출의 주요 단점은 항균 활성을 감소시킬 수 있는 고온 및 전단력을 사용한다는 것이다. 니신 및 이마잘릴과 같은 내열성 항균제가 이러한 패키지에 적합하다[21].

(3) 코팅 또는 침지 - 코팅 및 침지는 항균 화합물의 운반체 역할을 하며 식품 표면과 직접 접촉함

이 방법의 장점은 화합물이 과도한 열에 노출되지 않고, 식품 공급망의 모든 단계에 적용될 수 있다는 것이다.

(4) 필름형성 특성을 갖는 항균성 거대분자

이것은 고분자 키토산의 경우에 해당된다[22,23]. 항균포장을 설계하려면 올바른 포장과 식품에 적합한 항균제를 선택하고 항균 방출과 미생물 성장 사이의 균형을 맞추는 것이 매우 중요하다[23]. 항균 포장, 포장된 식품의 상호 작용 및 환경 조건 등은 시스템의 효율성을 보장하는 데 중요하다[23]. 기계적, 물리적, 화학적 및 미생물학적 메커니즘은 특정 식품에 대한 특정 항균 패키지의 효능을 결정한다[22,23]. 따라서 다양한 학문적인 연구와 조사 등이 먼저 진행되어야만, 이러한 포장 시스템의 활용 가능성을 확인할 수 있으며 또한 상업화 가능성 여부도 알 수 있을 것이다.

포장 재료는 전분, 셀룰로오스, 단백질, 히드록실 부티레이트 및 히드록실 발레레이트와 같은 생분해성 재료, 그리고 폴리에틸렌 및 폴리스티렌과 같은 석유 중합체에서 파생된 기타 합성 재료로 형성될 수 있다. 예를 들어, 천연 바이오폴리머는 기존의 공정 라인에서 쉽게 사용할 수 있다.

3. 고압처리공정에 의한 저장 기간 연장

200-700 MPa 범위의 고압처리공정은 여러 식품의 저장 기간을 연장할 수 있는 비열처리 기술이다. 지난 20년 동안 다양한 식품 매트릭스에서 미생물 오염을 줄이기 위한 고압처리공정 기술의 적용에 대한 다양한 분야에서 연구가 진행되었다[24].

고압처리공정은 Han & Floros로부터 시작되어 미국, 스페인을 포함하여 많은 나라들이 고압처리공정 기술을 도입하여 이미 상업적으로 널리 활용되고 있는 기술이 되었다[25]. 고압처리공정 제품의 대규모 생산을 위한 장비는 오늘날 상업적으로 이용 가능하며 지난 10년 동안 설치된 장치의 수가 빠르게 증가하고 있다[24].

고압처리공정의 적용은 기생충, 식물 세포, 영양 미생물, 일부 곰팡이 포자, 많은 식품 매개 바이러스 및 효소의 비활성화를 유발할 수 있고, 또한 거대 분자는 구조를 변경할 수도 있다. 하지만 작은 분자(예: 풍미)는 일반적으로 영향을 받지 않는다.

스타터가 없는(starter-free) 신선한 치즈 저장 기간 연장을 위한 고압처리공정으로 처리하여 상업적 활용가능성에 대한 평가가 진행되었는데, 이 연구에서는 유통 기한을 늘리기 위해 스타터가 없는 신선한 치즈에 고압처리공정의 적용이 산업적 규모에서도 가능함을 최초로 증명하였다[25]. 고압처리공정의 조건으로는 16°C에서 5분간 500 MPa로 스타터가 없는 신선한 치즈를 처리한 후 21일 동안 냉장 보관하면서 스타터가 없는 신선한 치즈의 이화학적, 미생물, 색상, 미세구조, 조직 및 관능적 특성에 미치는 영향을 연구하였다[26]. 결과적으로 고압처리공정을 적용한 치즈는 4°C에서 보관할 때 약 19-21일의 저장 기간을 나타내는 반면 고압처리공정을 처리하지 않은 대조구 치즈는 7-8일에도 소비하기에 부적합하였다[26]. 또한 500 MPa에서 처리된 치즈는 처리되지 않은 것보다 더 단단하고 더 농도가 높은 황색을 띠었다[26]. 그러나 다양한 분석 기기 및 관능 분석을 하였지만 이러한 변화들은 고압처리공정으로 처리된 치즈에 대한 선호도에 영향을 미치지 않았다[26]. 이러한 결과는 식품 산업에서 고압처리공정을 실제로 적용하여 유통 기한이 연장되고 관능적 품질이 우수한 미생물학적으로 안전한 치즈를 생산할 수 있을 것으로 평가되고 있다.

부패 효모 및 곰팡이의 증식을 제어하여 신선한 치즈의 냉장 보관 기간을 연장하기 위해서 상업적으로 제조된 신선한 유산 응유 치즈(pH 4.3-4.4) 및 발효유(pH 4.3-6.5)에 각각 고압처리공정의 적용 가능성뿐만 아니라, 300 MPa 및 600 MPa의 다양한 조건에서 고압처리공정을 적용하였을 때 유산균의 해당효소 비활성화에 미치는 영향도 함께 평가되었다[27]. 저온 살균된 우유에 상업용 *Lactococcus* 스타터를 사용하여 제조된 신선한 유산 커드 치즈를 진공 포장하고, 22°C에서 5분 동안 200-600 MPa 범위의 고압처리공정으로 처리한 후 4°C에서 8주 동안 보관하면서 관찰하였다. 300 MPa의 고압처리공정을 한 샘플에서 효모 및 곰팡이의 성장은 6-8주 동안 효과적으로 제어되었다. 또한 300-600 MPa 범위 내에서 고압처리공정이 처리된 치즈는 비록 *Lactococcus*의 생균수는 5-7 로그 감소되었지만, 저장 첫 3주 이내에 적정 산도의 변화에 큰 영향을 미치지 않았다[27].

4. 가스치환포장으로 저장 기간 연장

보관 중 치즈 품질을 유지하려면 탈수로부터 보호하고 바람직하지 않은 미생물, 특히 병원균을 줄여야 한다. 탈수 방지는 수증기 투과율이 낮은 포장 필름을 사용하여 달성할 수 있다. 여기에는 이용되는 필름의 종류에는 2가지 있는데 첫 째는 반차단성 필름(폴리프로필렌, 저밀도 폴리에틸렌)이며 두 번째는 차단성 필름(알루미늄, 폴리염화비닐리덴, 폴리염화비닐, 배향 폴리프로필렌, 고밀도 폴리에틸렌)이다[28]. 가스치환포장의 사용으로 오염 수준을 감소시킬 수 있을지라도, 저장 시간 동안에 제품의 관능적인 성질과 그 변화에 대해서도 중요하게 고려되어야만 한다[28,29]. 왜냐하면 소수의 연구자들은 CO₂의 영향으로 제품의 관능적인 특성에 역효과를 나타낼 수도 있다고 하였기 때문이다[28,29].

치즈의 상업적 기간을 연장하기 위한 가스치환포장의 잠재력은 분명히 입증되었지만 치즈 포장은 매우 중요한 매개변수 중에서 제조 및 저장 조건 중 사용되는 스타틴 치즈의 유형에 따라 달라질 수 있다[30]. 여러 유형의 치즈에 적용된 가스치환포장은 다양한 결론을 나타내었다.

100% 질소(N₂) 또는 100% 이산화탄소(CO₂)로 구성된 가스치환포장의 사용은 체다 치즈, Parmigiano Reggiano 치즈 및 Samsø 치즈에서 최적의 보존을 보장하지 않았으며, 제품의 관능 특성에 부정적인 영향을 미치므로 두 가스의 다른 혼합물을 사용하는 것이 바람직하지 않다는 결론을 내렸다[31-33]. 반대로 10%-50% 범위의 이산화탄소 농도를 Cottage 치즈(50% CO₂), Parmigiano Reggiano 치즈(30 % CO₂), Samsø 치즈(20% CO₂), Taleggio 치즈(10% CO₂)에 적용하였을 때 제품의 관능적인 특성과 보존능력이 향상되는 것이 관찰되었다[32-35]. 일반적으로 신선한 치즈를 포장할 때 CO₂ 농도를 높은 75%로 하면 CO₂가 미생물 성장을 억제하기 때문에 최상의 보존을 보장할 수 있었으며, 또한 제품에 부정적인 영향을 미치지 않았다.

5. 다양하게 결합된 방법에 의한 저장 기간 연장

위에서 설명한 몇 가지 방법들을 결합하면 치즈의 저장 기간에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 피오르디라테 치즈의 유통 기한을 연장하기 위해서 키토산, 코팅 및 가스치환포장의 방법들을 결합하여 4°C에서 보관하면서 평가하였다[36]. 8일 동안 미생물, pH, 가스 조성 및 감각 변화를 조사하고 관찰하였다. 결과적으로 키토산, 활성코팅 및 가스치환포장의 조합이 전통적인 포장과 비교하여 피오르디라테 치즈 보존성을 향상시키는 것으로 나타났다[36]. 더 자세한 결과를 살펴보면, 전통적인 포장에서는 1일 내외로 제한된 매우 짧은 저장 기간을 나타냈지만, 반면에 이 연구에서 개발된 다양하게 결합된 방법으로 포장한 경우에는 유효 기간을 5일까지 연장할 수 있었다[36]. 이것은 활성 화합물과 포장 헤드스페이스의 대기 조건 사이의 시너지 효과 때문으로 사료된다.

또한 피오르디라테 치즈의 유통 기한을 연장하기 위해서 활성코팅 및 가스치환포장의 결합하여 효과를 평가하였는데, 이때 활성코팅은 리소자임(0.25 mg/mL) 및 EDTA이 나트륨염(Na₂-EDTA, 50 mM)을 함유하는 알긴산나트륨(8% w/v)을 기반으로 하였다[37]. 가스치환포장은 30% CO₂, 5% O₂ 및 65% N₂로 구성되었다. 10°C에서 보관된 피오르디라테 치즈의 품질 손실 속도는 pH와 무게감소, 미생물 및 관능평가 변화 등을 조사하여 평가되었다. 결과적으로 활성코팅과 가스치환포장의 결합이 피오르디라테 치즈 보존을 개선하여 저장 기간을 3일 이상으로 연장하는 것으로 나타났다[37]. 또한 염수(brine)를 코팅으로 대체하면 두 가지 이점을 얻을 수 있는데 첫째는 포장의 무게가 더 가벼워 제품 품질을 유지하고 둘째는 유통 비용을 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

그리고 가스치환포장(30% CO₂, 5% O₂ 및 65% N₂)과 결합된 은(Silver)-몬모릴로나이트 나노입자(0.25, 0.50 및 1.00 mg/mL)를 포함하는 바이오 기반 코팅을 결합하여 피오르디라테 치즈에 적용하여 미생물 및 관능평가 등이 조사되었다[38]. 은(silver) 기반 나노복합체 코팅과 가스치환포장의 결합은 피오르디라테 치즈 저장 기간을 향상시켰다[38]. 특히, 기존의 포장에 보관된 제품은 약 3일 정도의 유통기한을 보인 반면, 가스치환포장 방식으로 보관한 코팅 치즈는 은나노 입자의 농도와 상

관없이 5일 이상의 유통기한을 보였다. 이것은 항균성 나노입자와 초기 헤드스페이스 조건 사이에서의 시너지 효과로 인한 것으로 사료된다. 따라서 치즈와 같은 낙농제품이 이러한 조건에서 포장되면 더 넓은 지역으로 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

부라타 치즈의 저장 기간을 연장하기 위해 리소자임/EDTA이나트륨염 및 가스치환포장을 결합하여 평가하였다[37]. 이 연구에서는 3가지 농도의 효소를 공기 및 가스치환포장(95% CO₂, 5% N₂)에서 포장과 결합하였다. 8°C에서 보관된 부라타 치즈의 pH 및 헤드스페이스 구성 외에도 미생물 및 관능평가 등을 모니터링하여 평가하였다. 결과적으로 리소자임/EDTA 이나트륨염과 가스치환포장의 결합하였을 때, 리소자임 농도가 가장 높았을 때 치즈 저장 기간을 가장 많이 연장하였다[37].

알긴산 나트륨(2%, wt/vol) 및 소르빈산 칼륨(1%, w/v)으로 구성된 활성코팅이 공기 및 가스치환포장(첫 번째 조건은 75% CO₂ 및 25% N₂, 두 번째 조건은 25% CO₂ 및 75% N₂, 세 번째 조건은 50% CO₂ 및 50% N₂)에 포장된 저수분 모짜렐라 치즈의 유통 기한에 미치는 영향을 조사하였다[39]. 결과적으로 활성코팅과 가스치환포장의 결합이 저수분 모짜렐라 치즈의 보존성을 향상시킬 수 있음을 보여주었다[39]. 특히, 저장 기간은 4°C에서 보관된 샘플의 경우 최대 160일, 8°C 및 14°C에서 보관된 샘플의 경우 각각 40일 및 11일까지 증가하였다[39]. 반면, 공기 중에 포장된 미처리 샘플의 경우 더 빠른 품질 저하가 관찰되었다.

6. 치즈의 후가공 기술

취급, 절단 및 포장 단계에서 발생할 수 있는 미생물 오염 정도는 최종 식품의 품질에 큰 영향을 미칠 수 있다[1,40]. 또한 치즈의 후가공 교차 오염은 안전 위험과 부패로 인한 심각한 화학물 손실을 모두 유발할 수 있으므로 포장 단계 후 치즈 표면의 미생물 성장을 비활성화하기 위한 추가 제어 방법이 필요하다[40,41]. 최근 LED(light emitting diode) 기술은 박테리아의 불활성화를 위한 새로운 보존 기술로 주목받고 있다. 내인성 포르피린과 같은 빛 감작제에 노출되면 박테리아 세포가 흥분하여 활성 산소 종의 방출을 일으켜 세포막, 효소, 단백질 또는 디옥시리보핵산(DNA)을 손상시켜 세포 사멸을 초래할 수 있다. 최근에 460-470 nm LED 조명이 특히 냉장 온도와 결합될 때 포장 슬라이스 치즈 표면의 *L. monocytogenes* 및 *Pseudomonas fluorescens* 성장을 비활성화할 수 있는 것으로 나타났다[42]. 펄스형 자외선(UV) 광은 미생물 불활성화 효율 측면에서 연속형 자외선보다 유리하며, 펄스형 자외선은 치즈 표면의 미생물 성장을 현저히 감소시킬 수 있다. 또한 다른 보존 처리(냉장, 가스치환포장, 항균 물질)와 함께 UV 광선을 적용하면 치즈의 안전성과 저장 수명에 상당한 이점이 있다고 보고하였다[43]. 따라서 이러한 새로운 기술은 치즈 저장 중 변질 현상을 최소화하는 좋은 옵션이 될 수 있다.

치즈 표면에 항균 물질(2.5% nisin 및 50 mg/L natamycin 용액)을 추가하면 광 처리 후 항균 물질을 추가할 때 펄스 UV 광(9.22 J/cm²)의 항균 효과를 상승적으로 증가시킬 수 있다[40]. 유사하게, 펄스 UV 광선(1.2-6 KJ/m²)과 항균성(0.001% 안식향산나트륨/30% 구연산) 전분 필름의 조합은 체다 치즈 표면의 *Listeria innocua* 성장을 줄이는 데 효과적이었다[44]. 그러나 냉장 보관 7일 후에 처리된 치즈의 물리화학적 특성에 상당한 변화가 관찰되었다[44]. 이러한 결과는 투명한 재료로 미리 포장된 치즈의 최종 방부제 처리로 펄스형 UV 광을 사용할 수 있는 기회를 강조하며 제조, 유통 및 소매 환경에서 표면 치즈 오염을 완화하는 매우 매력적인 솔루션이 될 수 있다. 펄스 UV 광선(44 J/cm²)은 반경질 치즈 표면의 사후 처리 오염 제거 가능성이 있음이 입증되었다[45]. 현재 추세는 낮은 강도로 적용되는 처리를 결합하여 치즈 품질 매개변수에 대한 영향을 최소화하는 것을 기반으로 하지만, 보존 처리의 결합이 항상 시너지 효과를 낳는 것은 아니며 상업적 수준에서 적용하기 전에 처리 간의 상호 작용에 대한 연구가 필요하다[40].

식품 조사는 미생물 DNA를 파괴하는 능력이 있어 적절한 용량으로 적용했을 때 식품 감각 및 영양 품질에 해로운 영향을 미치지 않으면서 유통 기한을 연장하고 식품 안전성을 향상시킬 수 있다.

3 kGy 미만의 이온화 조사는 치즈에서 *L. monocytogenes* 성장을 제어하는 효과적인 기술임이 입증되었다[46]. 그러나 치즈에 있어서 이취의 발생과 치즈의 관능 저하에 대한 더 많은 연구가 필요하다. 일반적으로 낮은 방사선량은 다양한 치즈 유형의 구성에 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다. Cheddar 치즈의 경우 E-beam 처리 직후 이취가 검출되었지만 방사선량이 2 kGy 미만인 경우 보관 중에 이취가 점차 사라졌다[47]. 0.8 kGy의 높은 선량에서 X선 방사선은 제품 품질에 영향을 미치지 않으면서 포장된 슬라이스 체다 치즈의 미생물 오염을 줄이는 데 적합하였다[41]. 따라서 X선 방사선은 치즈 보존을 위한 새로운 후처리 항균 기술로 적용될 수 있다. 감마선 조사(5-15 kGy)로 처리된 라스 치즈는 조사되지 않은 치즈 샘플과 비교하여 6개월 보관 후 치즈 화학 성분의 해로운 변화 없이 생물학적 아민의 더 높은 분해를 보여주었다. 조사 처리 결과, 관능적 속성에 대한 소비자의 수용성과 함께 적절한 치즈 적합성 및 건전도가 나타났다.

요약하면, 치즈 방사선 조사는 특정 치즈의 경우 보존 및 저장 수명 연장에 잠재적으로 적용될 수 있는 안전한 것으로 밝혀졌다. 그래서 이러한 보존 기술들을 낙농산업(또는 식품산업)에 적극적으로 적용하려는 노력이 진행되었지만, 현실적인 다양한 문제들 때문에 쉽지 않은 것은 사실이다. 따라서 이러한 상황을 해결하기 위해서는 낙농산업(또는 식품산업) 수준에서 효과적으로 적용하여 성공적인 결과를 도출할 수 있도록 더 많은 연구가 절실히 필요하다.

7. 다양한 과일 및 야채 제품 첨가에 의한 치즈 저장 기간 연장

다양한 과일 및 야채 제품이 첨가된 치즈를 제조할 때 영양가, 안전성(미생물학 및 독성) 및 관능적 특성을 고려해야 한다는 점에 유의하는 것이 중요하다[4,48-56]. 당근 페이스트, 브로콜리, 포도 추출물, 포도 찌꺼기, 참깨, 시금치 가루 및 토마토 추출물의 효과가 치즈 샘플의 다양한 특성에 대해 연구가 되었다[48-56]. 따라서 다양한 과일과 채소를 사용했을 때 치즈의 영양가, 이화학적 특성, 관능적 측면 및 미생물적 특성에 미치는 영향에 대한 관심이 증가하고 있다[48-56].

시금치는 미네랄(Fe, Mg, Mn, Zn), 비타민(A, B1, B2, B6, C, E, K), 단백질, 섬유질, 항산화제의 좋은 공급원이기 때문에 영양학적 및 생물학적 가치가 높은 유제품 제조에 사용되고 있다. 브로콜리 분말이 풍부한 치즈(동결 건조)의 이화학적 및 관능적 특성, 항산화 능력, 폴리페놀 및 색소를 연구한 결과 최대 20% 브로콜리 분말을 함유한 결합 치즈 분말이 적합한 제품임을 관찰하였다. 또한 브로콜리 분말 농도를 증가시키면 브로콜리 치즈의 항산화능, 폴리페놀 및 카로티노이드가 증가하였다. 초여과된 연질 치즈의 품질에 대한 시금치 나노 분말(0.5%-2%) 첨가 효과를 연구하였는데, 잔류물과 함께 시금치 분말 농도를 증가시키면 샘플의 섬유질 함량, 미네랄 함량, 총 페놀 함량 및 항산화 활성이 향상됨을 입증하였다[48]. 당근은 귀중한 미량 영양소 공급원이므로 유제품에 사용하여 비타민 A와 미네랄 함량을 높일 수 있다. 당근 페이스트(10%-50%)가 Rasgulla(달콤한 시럽 같은 치즈 볼)의 품질에 미치는 영향을 평가하였는데, 최대 30% 농도의 당근 페이스트를 사용하면 Rasgulla의 품질이 향상되고 치즈 샘플의 산화 및 색상 안정성이 증가한다고 보고하였다[49]. 다양한 농도(5%-15%)의 당근 페이스트로 만든 유사 가공 스프레드 치즈의 품질 특성을 조사하였는데, 당근 페이스트의 첨가는 항산화 활성을 개선하고 영양 성분, 비타민 A, 카로티노이드 및 페놀 화합물을 증가시켰다[50].

리코펜은 토마토 제품에서 자연적으로 발생하는 카로티노이드이며 유제품 성분을 개선하는 데 사용할 수 있는 대체 생리 활성 화합물이다. 7°C에서 60일 동안 보관하는 동안 토마토 추출물(0.5%-2%)을 함유한 분말 마이크로캡슐이 풍부한 Queso Blanco 치즈의 물리화학적 특성, 미생물 및 감각 매개변수를 연구하였다[51]. 이 연구의 결과는 토마토 추출물을 함유한 분말 마이크로캡슐이 케소 블랑코 치즈 생산에 성공적으로 사용될 수 있음을 보여주며 이러한 보충제는 낙농 산업과 소비자의 건강에 도움이 될 것으로 사료된다. 또한, 케소 블랑코 치즈의 조직 특성은 분말 마이크로캡슐로 강화한 후 개선되었다.

4°C에서 30일 동안 보관하는 Minas형 신선한 치즈의 *L. monocytogenes*에 대한 분홍색의 후추 나무 열매에서 추출한 에센셜 오일의 항균 활성을 조사하였는데, 완전히 숙성되고 성숙한 것에서 추출한 에센셜 오일이 그렇지 않는 것에 비하여 *L. monocytogenes*에 대해 더 효율적이고 박테리아 성장이 30일 동안 1.3 Log CFU/g 감소하였다고 보고하였다[52]. 또한 이러한 결과들은 에센셜 오일이 식품의 보존제로 사용될 가능성이 있음을 보여주는 것이다. 일반적으로 에센셜 오일은 식물의 꽃, 잎, 씨앗, 껍질, 과일 및 나무에서 추출할 수 있는 천연 방향족 화합물 및 휘발성 액체이다. 일부 식물 추출물과 에센셜 오일은 치즈와 같은 복잡한 식품 매트릭스에서도 병원균 및 부패 박테리아에 대한 억제 활성을 입증하였다. 콜호 치즈 제조 시 생물 보존제로서 시계꽃열매(*Passiflora cincinnata*)의 잠재적 활용이 연구되었는데, 시계꽃열매가 치즈에 존재하는 미생물을 제어하는 사용될 수 있는 가능성을 보였다[53].

더 나아가서, 다양한 과일과 채소 부산물이 카로티노이드, 섬유질, 폴리페놀, 토코페롤, 비타민 및 생리활성 화합물의 풍부한 공급원이 될 수 있다고 강조되고 있다. 일반적으로 유제품에 이러한 부산물을 사용하면 품질 및 영양 특성을 개선하고 콜레스테롤 흡수를 감소시키며 고혈압, 위장 장애, 관상동맥 심장병 및 당뇨병을 감소시킬 수 있으며 수확량과 같은 일부 산업적 측면을 향상시킬 수 있다. 더욱이, 유제품에 식물성 항산화제를 첨가하면 이들 제품의 산화 지연에 대한 요구를 충족시킬 수 있을 것이다.

상업적인 포도 추출물(전체 포도, 포도씨 및 포도 껍질에서 추출)이 우유의 치즈 제조 특성에 미치는 영향을 조사하였는데, 전체 포도 또는 포도씨 추출물을 0.1%로 우유에 첨가했을 때 폴리페놀의 회수 계수는 약 0.63이었고 우유의 추출물 수준이 증가함에 따라 감소하였다[54]. 또한 우유에 포도 추출물을 첨가하면 치즈의 단백질 회수율이 약간 향상되었다[54]. 5%와 10%의 두 가지 농도에서 다양한 부산물(적포도주 포도 찌꺼기, 토마토 껍질, 브로콜리, 아티초크 부산물)을 Primosale 치즈에 첨가하여 관능적 특성 및 이화학적 특성을 조사하였는데, Primosale 치즈에 이러한 부산물을 추가하면 영양적 특성과 일부 관능적 특성(마무리성 및 접착성)이 향상되었다고 보고하였다[55]. 또한 두 농도(5% 및 10%)에서 이러한 분말을 추가하면 항산화 활성과 총 페놀 함량이 크게 증가하였다[55]. 식물성 단백질(호박씨 단백질과 쌀 단백질)이 풍부한 두 종류의 에멀전을 사용하여 저지방 체다 치즈를 생산할 가능성을 조사하였는데, 결과적으로 두 종류의 에멀전이 첨가된 치즈는 원래의 저지방 체다 치즈에 비해 경도와 유분 손실이 낮음을 보였다[56].

요약하면, 다양한 과일과 채소로 유제품을 농축하는 것은 영양학적 측면을 개선하고 최종 제품의 물성학적 성질과 이화학적 특성에 영향을 주어 기능을 증진하는 효과적인 방법으로 인식되고 있다. 따라서 향후 천연물질을 사용하여 제품의 기능적 향상뿐만 아니라 저장 기간을 연장하는 데 추가적인 연구가 집중적으로 진행되어야 할 것이다.

결론

일반적으로 유제품 중에서 치즈는 영양이 매우 풍부하여, 외부의 다양한 요인에 의해서 물리적, 화학적 및 생화학적 변화가 쉽게 발생할 수 있다. 치즈의 안정성에 영향을 미치는 주요 요인들에는 중온성 및 저온성 미생물의 성장, 수분감소에 의한 무게 감소, 지질 산화 및 효소 분해 등이 있다. 이러한 다양한 요인을 제어할 수 있는 방법으로 치즈의 유통기한을 연장할 수 있을 것이다. 가스치환 포장 방법은 치즈의 저장 기간을 연장할 수 있지만 이 경우 온도 조절과 적절한 포장재 선택이 중요하다. 보존제를 첨가하면 치즈의 유통기한을 연장할 수 있지만 적절한 첨가물을 선택할 때는 특수 치즈의 관능적 특성과 첨가물의 사용량을 고려해야만 한다. 고압처리공정 방법은 기생충, 식물 세포, 영양 미생물, 일부 곰팡이 포자, 많은 식품 매개 바이러스 및 효소를 비활성화할 수 있지만 특수 장비를 사용하면 비용이 많이 소요된다. 반면에 소규모 공장에 고압처리공정을 적용하는 것은 불가능하다.

최근에 들어와서 치즈 유통 기한을 연장하기 위해 활성코팅 및 식용코팅에 대한 연구가 급격하게 증가하고 있는 실정이다. 또한 치즈의 다양성과 그에 따른 특성의 차이로 인해 각 치즈에 대한 포장 시스템 설계도 전문화 및 차별화되어야 할 것이다. 더 나아가서 최대의 상호 시너지 효과를 얻기 위해서 다양한 방법의 결합을 개발하여 더욱더 효과적으로 치즈의 저장 기간을 연장할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

Acknowledgements

This work was supported by the Konkuk University Researcher Fund, 2021.

References

1. Nájera AI, Nieto S, Barron LJR, Albisu M. A review of the preservation of hard and semi-hard cheeses: quality and safety. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:9789.
2. Costa MJ, Maciel LC, Teixeira JA, Vicente AA, Cerqueira MA. Use of edible films and coatings in cheese preservation: opportunities and challenges. *Food Res Int*. 2018; 107:84-92.
3. Jalilzadeh A, Tuncturk Y, Hesari J. Extension shelf life of cheese: a review. *Int J Dairy Sci*. 2015;10:44-60.
4. Salehi F. Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: a review. *Food Sci Nutr*. 2021;9:4666-4686.
5. Nicoli MC. Shelf life assessment of food. Boca Raton, FL: CRC Press; 2012. p. 75-126.
6. Kilcast D, Subramaniam P. Food and beverage stability and shelf life. Cambridge, UK: Woodhead; 2011. p. 755-778.
7. Deegan LH, Cotter PD, Hill C, Ross P. Bacteriocins: biological tools for bio-preservation and shelf-life extension. *Int Dairy J*. 2006;16:1058-1071.
8. Shin JM, Gwak JW, Kamarajan P, Fenno JC, Rickard AH, Kapila YL. Biomedical applications of nisin. *J Appl Microbiol*. 2016;120:1449-1465.
9. Torrijos R, Nazareth TM, Calpe J, Quiles JM, Mañes J, Meca G. Antifungal activity of natamycin and development of an edible film based on hydroxyethylcellulose to avoid *Penicillium* spp. growth on low-moisture mozzarella cheese. *LWT-Food Sci Technol*. 2022;154:112795.
10. Kallinteri LD, Kostoula OK, Savvaidis IN. Efficacy of nisin and/or natamycin to improve the shelf-life of Galotyri cheese. *Food Microbiol*. 2013;36:176-181.
11. Ismail AA, El-Hifnawi M, Sirry I. Effect of some preservatives on pickled soft cheese. *J Dairy Sci*. 1972;55:1220-1223.
12. Cabo ML, Pastoriza L, Bernárdez M, Herrera JJR. Effectiveness of CO₂ and nisaplin

- on increasing shelf-life of fresh pizza. *Food Microbiol.* 2001;18:489-498.
13. Benech RO, Kheadr EE, Laridi R, Lacroix C, Fliss I. Inhibition of *Listeria innocua* in cheddar cheese by addition of nisin Z in liposomes or by in situ production in mixed culture. *Appl Environ Microbiol.* 2002;68:3683-3690.
 14. Aly S, Floury J, Piot M, Lortal S, Jeanson S. The efficacy of nisin can drastically vary when produced in situ in model cheeses. *Food Microbiol.* 2012;32:185-190.
 15. Sinigaglia M, Bevilacqua A, Corbo MR, Pati S, Del Nobile MA. Use of active compounds for prolonging the shelf life of Mozzarella cheese. *Int Dairy J.* 2008;18:624-630.
 16. Zhang L, Zhang Z, Chen Y, Ma X, Xia M. Chitosan and procyanidin composite films with high antioxidant activity and pH responsivity for cheese packaging. *Food Chem.* 2021;338:128013.
 17. Banville C, Vuillemard JC, Lacroix C. Comparison of different methods for fortifying Cheddar cheese with vitamin D. *Int Dairy J.* 2000;10:375-382.
 18. Stratulat I, Britten M, Salmieri S, Fustier P, St-Gelais D, Champagne CP, et al. Enrichment of cheese with bioactive lipophilic compounds. *J Funct Foods.* 2014;6:48-59.
 19. Alessandro Del Nobile M, Gammariello D, Di Giulio S, Conte A. Active coating to prolong the shelf life of Fior di latte cheese. *J Dairy Res.* 2010;77:50-55.
 20. Bastarrachea LJ, Wong DE, Roman MJ, Lin Z, Goddard JM. Active packaging coatings. *Coatings.* 2015;5:771-791.
 21. Palou L, Valencia-Chamorro SA, Pérez-Gago MB. Antifungal edible coatings for fresh citrus fruit: a review. *Coatings.* 2015;5:962-986.
 22. Srinivasa PC, Tharanathan RN. Chitin/chitosan—safe, ecofriendly packaging materials with multiple potential uses. *Food Rev Int.* 2007;23:53-72.
 23. Moreira MR, Pereda M, Marcovich NE, Roura SI. Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrot, cheese, and salami. *J Food Sci.* 2011;76:M54-M63.
 24. Serna-Hernandez SO, Escobedo-Avellaneda Z, García-García R, Rostro-Alanis MJ, Welti-Chanes J. High hydrostatic pressure induced changes in the physicochemical and functional properties of milk and dairy products: a review. *Foods.* 2021;10:1867.
 25. Han JH, Floros JD. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *J Plast Film Sheeting.* 1997;13:287-298.
 26. Evert-Arriagada K, Hernández-Herrero MM, Guamis B, Trujillo AJ. Commercial application of high-pressure processing for increasing starter-free fresh cheese shelf-life. *LWT-Food Sci Technol.* 2014;55:498-505.
 27. Daryaei H, Coventry J, Versteeg C, Sherkat F. Effects of high pressure treatment on glycolytic enzymes of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus acidophilus*. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2010;11:245-249.
 28. Day B. Novel MAP: a brand new approach. *Food Manuf.* 1998;73:22-24.
 29. Qu P, Zhang M, Fan K, Guo Z. Microporous modified atmosphere packaging to

- extend shelf life of fresh foods: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2022;62:51-65.
30. Gammariello D, Conte A, Di Giulio S, Attanasio M, Del Nobile MA. Shelf life of Stracciatella cheese under modified-atmosphere packaging. *J Dairy Sci.* 2009;92:483-490.
 31. Colchin LM, Owens SL, Lyubachevskaya G, Boyle-Roden E, Russek-Cohen E, Rankin SA. Modified atmosphere packaged cheddar cheese shreds: influence of fluorescent light exposure and gas type on color and production of volatile compounds. *J Agric Food Chem.* 2001;49:2277-2282.
 32. Romani S, Sacchetti G, Pittia P, Pinnavaia GG, Rosa M. Physical, chemical, textural and sensorial changes of portioned Parmigiano Reggiano cheese packed under different conditions. *Food Sci Technol Int.* 2002;8:203-211.
 33. Juric M, Bertelsen G, Mortensen G, Petersen MA. Light-induced colour and aroma changes in sliced, modified atmosphere packaged semi-hard cheeses. *Int Dairy J.* 2003;13:239-249.
 34. Fedio WM, Macleod A, Ozimek L. The effect of modified atmosphere packaging on the growth of microorganisms in cottage cheese. *Milchwissenschaft.* 1994;11:622-629.
 35. Piergiovanni L, Fava P, Moro M. Shelf-life extension of Taleggio cheese by modified atmosphere packaging. *Ital J Food Sci.* 1993;5:115-127.
 36. Del Nobile MA, Gammariello D, Conte A, Attanasio M. A combination of chitosan, coating and modified atmosphere packaging for prolonging Fior di latte cheese shelf life. *Carbohydr Polym.* 2009;78:151-156.
 37. Conte A, Brescia I, Del Nobile MA. Lysozyme/EDTA disodium salt and modified-atmosphere packaging to prolong the shelf life of burrata cheese. *J Dairy Sci.* 2011;94:5289-5297.
 38. Gammariello D, Conte A, Buonocore GG, Del Nobile MA. Bio-based nanocomposite coating to preserve quality of Fior di latte cheese. *J Dairy Sci.* 2011;94:5298-5304.
 39. Lucera A, Costa C, Padalino L, Conte A, Lacivita V, Saccotelli MA, et al. Combination of process technology and packaging conditions to improve the shelf life of fresh pasta. *J Food Process Technol.* 2014;5:403.
 40. Proulx J, Sullivan G, Marostegan LF, VanWees S, Hsu LC, Moraru CI. Pulsed light and antimicrobial combination treatments for surface decontamination of cheese: favorable and antagonistic effects. *J Dairy Sci.* 2017;100:1664-1673.
 41. Park JS, Ha JW. X-ray irradiation inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on sliced cheese and its bactericidal mechanisms. *Int J Food Microbiol.* 2019;289:127-133.
 42. Hyun JE, Lee SY. Antibacterial effect and mechanisms of action of 460-470 nm light-emitting diode against *Listeria monocytogenes* and *Pseudomonas fluorescens* on the surface of packaged sliced cheese. *Food Microbiol.* 2020;86:103314.
 43. Ricciardi EF, Pedros-Garrido S, Papoutsis K, Lyng JG, Conte A, Del Nobile MA. Novel technologies for preserving ricotta cheese: effects of ultraviolet and near-ultraviolet-visible light. *Foods.* 2020;9:580.
 44. de Moraes JO, Hilton ST, Moraru CI. The effect of pulsed light and starch films with

- antimicrobials on *Listeria innocua* and the quality of sliced Cheddar cheese during refrigerated storage. *Food Control*. 2020;112:107134.
45. Keklik NM, Elik A, Salgin U, Demirci A, Koçer G. Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* O157:H7 on fresh kashar cheese with pulsed ultraviolet light. *Food Sci Technol Int*. 2019;25:680-691.
 46. Kim HJ, Song BS, Kim JH, Choi JI, Lee JW, Byun MW, et al. Application of gamma irradiation for the microbiological safety of sliced Cheddar cheese. *J Radiat Ind*. 2007;1:15-19.
 47. Velasco R, Cambero MI, Ordóñez JA, Cabeza MC. The impact of E-beam treatment on the microbial population and sensory quality of hard Annatto-coloured cheese. *LWT-Food Sci Technol*. 2019;101:315-322.
 48. El-Sayed SM. Use of spinach powder as functional ingredient in the manufacture of UF-Soft cheese. *Heliyon*. 2020;6:E03278.
 49. Bandyopadhyay M, Chakraborty R, Raychaudhuri U. Effect of carrot on quality improvement of sweet syrupy cheese ball (rasgulla). *Int J Dairy Technol*. 2008;61:290-299.
 50. Mohamed AG, Shalaby SM, Gafour WA. Quality characteristics and acceptability of an analogue processed spreadable cheese made with carrot paste (*Daucus carota* L.). *Int J Dairy Sci*. 2016;11:91-99.
 51. Jeong HJ, Lee YK, Ganesan P, Kwak HS, Chang YH. Physicochemical, microbial, and sensory properties of Queso Blanco cheese supplemented with powdered microcapsules of tomato extracts. *Food Sci Anim Resour*. 2017;37:342-350.
 52. da Silva Dannenberg G, Funck GD, Mattei FJ, da Silva WP, Fiorentini ÂM. Antimicrobial and antioxidant activity of essential oil from pink pepper tree (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in vitro and in cheese experimentally contaminated with *Listeria monocytogenes*. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2016;36:120-127.
 53. Costa CF, Fusioger A, Andretta M, Camargo AC, Carvalho AF, Menezes DR, et al. Potential use of passion fruit (*Passiflora cincinnata*) as a biopreservative in the production of coalho cheese, a traditional Brazilian cheese. *J Dairy Sci*. 2020;103:3082-3087.
 54. Felix da Silva D, Matumoto-Pintro PT, Bazinet L, Couillard C, Britten M. Effect of commercial grape extracts on the cheese-making properties of milk. *J Dairy Sci*. 2015;98:1552-1562.
 55. Costa C, Lucera A, Marinelli V, Del Nobile MA, Conte A. Influence of different by-products addition on sensory and physicochemical aspects of Primosale cheese. *J Food Sci Technol*. 2018;55:4174-4183.
 56. Paximada P, Howarth M, Dubey BN. Double emulsions fortified with plant and milk proteins as fat replacers in cheese. *J Food Eng*. 2021;288:110229.