

우유와 유제품의 살균기술

Pasteurization of dairy products

최효수¹ · 오남수^{1*}

Hyosu Choi¹ and Namsu Oh^{1*}

¹고려대학교 식품생명공학과

¹Department of Food and Biotechnology, Korea University

Abstract

Milk pasteurization is used to destroy harmful bacteria present in the raw milk for improvement of the keeping quality of dairy products. It is generally carried out in dairy industries as the heating process of raw milk in properly designed and operated equipment to a specific temperature for a specified a specified period. However, thermal processing may cause quality changes in milk as well as significant nutritional losses. Hence, many researchers have started work to design alternative strategies to produce safer foods with minimal thermal treatments for pasteurization. Therefore, the present paper shows the current status of commercial pasteurization system of dairy products

in korean industry and the research efforts carried out by researchers on novel milk pasteurization system that could be an alternative to traditional thermal processes for maintaining the freshness of dairy products.

key words : pasteurization, dairy products, traditional thermal processes, novel milk pasteurization

1. 서론

현재 국내 유제품 시장의 규모는 2015년도 1조 968억원 수준 대비 2018년도 2조 124억원으로 꾸준한 성장추세에 있다(그림 1). 이러한 유제품의 시장 규모는 최근 프로바이오틱스 및 고령 친화 식품 시장의 확대와 맞물려 국내뿐만 아니라 전 세계적

* Corresponding author: Namsu Oh
Department of Food and Biotechnology, Korea University, Sejong, 30019, Korea
Tel: +82-44-860-1434
Fax: +82-44-860-1586
E-mail : klanvin@korea.ac.kr
Received August 12, 2020; revised August 28, 2020; accepted August 28, 2020

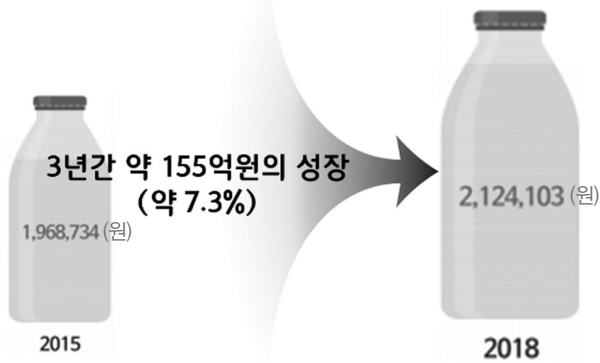


그림 1. 유제품 시장 규모 현황 (aTFIS 식품산업통계정보, 2020)

으로 지속적인 증가와 다양한 유형의 제품 출시에 따른 상업적 살균기술의 개발에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있다.

우유는 완벽한 영양을 공급하는 것뿐만 아니라 사람에게도 마찬가지로 영양을 공급하는 중요한 기능과 다양한 생리학적 기능을 수행하는 것으로 알려져 있다. 이러한 우유는 가용성 콜로이드 또는 유화된 상태로 수분 87-88%, 유당 4-5%, 단백질 3%, 지방 3-4%, 미네랄 0.8%, 비타민 0.1% 및 효소 등을 포함하는 매우 복잡한 생물학적 액체이고, 동일 조건의 열처리에 대한 변화는 다른 식품에 비해 안정적인 것으로 알려져 있다(Pereira, 2014).

현대 축산식품기술에서 우유와 이를 사용한 유가공품에 대한 열처리의 목적은 생산되는 제품의 유형과 목적에 따라 다양하며, 일반적인 가온 처리는 저온성 세균과 같은 열에 민감한 미생물을 사멸하기 위해 사용된다. 살균의 주목적은 병원성 미생물을 사멸시키는 것이지만 부패를 일으키는 비병원성 미생물과 우유 내 효소도 불활성화 시키며, 유제품의 안정성을 증가시키지만, 멸균처리 또는 초고온살균 처리는 유통과 저장 시 젤화나 풍미에 변화를 일으키기도 한다(Fox와 MacSweeney, 1998).

비살균 유제품 또는 정상적이지 않은 살균공정으로 인한 유제품은 식중독 등의 식품 매개 질병을 유

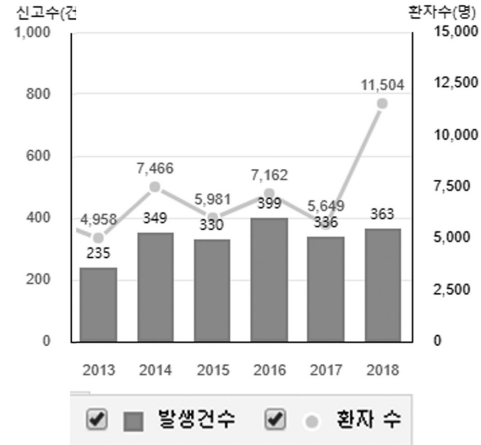


그림 2. 5년간 국내 식중독 발생 현황 (식품의약품안전처, 2019)

발하며, 식품의약품안전처 통계 자료에 따르면 국내의 경우 2013(4,958명)년부터 2018(11,504명)년 5년 동안 식중독 환자 수가 6,546명이 증가하는 등 최근 전 세계적으로 유제품을 포함한 식품 매개 병원균 관련 식중독 사고는 꾸준히 발생하는 추세이다(식품의약품안전처, 2019) (그림 2). 따라서 식중독과 같은 식품 매개 질병에 대해 보호해주며, 우유를 안전하게 섭취하기 위해선 우유를 살균처리 하여 안전성과 저장성을 높여 소비자들을 보호하는 것이 유제품 살균기술에 있어 최우선으로 고려되어야 할 것이다.

세균사멸 이외에 우유의 가열처리에 대한 주요한 영향 부분은 화학적, 물리학적 변화로 인한 영양학적, 조직학적 변화로 나타내게 되며, 일반적으로 가열처리에 의한 우유의 주요 구성 성분들에 대한 상호작용에 기인한다. 우유 내 주요성분 중 단백질시스템은 정상적인 상태에서는 영양학적, 생리학적 기능을 수행하지만, 이들 단백질은 모두 비교적 열에 민감한 편이며, 적은 열처리에도 쉽게 불활성화 될 수 있다. 특히 유청단백질의 변성은 렌넷응고나 열 안정성 등 유단백질시스템의 기능적인 면과 유제품의 품질특성에 주요한 영향을 미치는 요인으로 알려져 있다. 지질의 경우 가열처리에 의해 저온글로불린의 비가역적 변성에 의한 크림층(cream

plug)의 형성과 70°C 이상의 장시간 가열은 유지방 구막(milk fat globular membrane, MFGM)의 변성과 분해로 인한 이상풍미(off-flavour)의 원인이 되기도 하며, 유청단백질과 S-S 결합을 일으켜 지방 구막 단백질에 대한 변성 유청단백질층을 형성하기도 한다. 심한 가열처리로 인한 락톤(lactone)의 생성과 지방산의 방출 및 내부의 에스테르(ester)결합 등의 변화는 정상적인 유가공 시 일어나는 바람직하지 못한 화학적 변화로 알려져 있다(Fox와 MacSweeney, 1998).

마찬가지로 병장멸균과 같은 지나친 가열처리는 마이알반응(maillard reaction)을 일으키며, 특히 고온 및 고습에 저장된 분유의 경우 위 반응으로 인하여 용해도가 현저히 저하되고 전통적인 우유의 풍미와 색에 부정적인 영향을 줄 뿐만 아니라, 단백질의 소화율을 감소시키는 원인이 되기도 한다.

유제품의 살균기술은 역사적으로 전통적인 우유의 살균방법에 기초하여 개별 우유가공 현장에 적합한 조건들이 적용되고 있으며, 국가별 우유 가공품의 기준규격의 차이에 따라 약간의 차이를 보이고 있다. 또한 가열처리에 국한되었던 기존의 살균 방식에서 현재 다양한 비열처리 신규 살균기술을 개발하고 접목하기 위한 학계와 산업계의 연구와 개발의 노력 또한 진행되고 있다. 따라서 본문에서는 유제품 상업적 살균기술의 역사와 국내 현황에 대해서 다루고, 영양학적, 생리학적으로 핵심적인 가치를 보존하기 위한 차세대 살균기술 개발현황에 대하여 고찰하고자 한다.

II. 본론

1. 유제품 상업적 살균기술의 역사

식품살균의 전통적인 방법은 초기의 통조림이나 병장식품을 열처리하는 것에서부터 시작되었다. 따라서 우유 또한 특정 식품을 고온의 열처리를 하는 방법이 대부분이었고, In-bottle sterilization (병

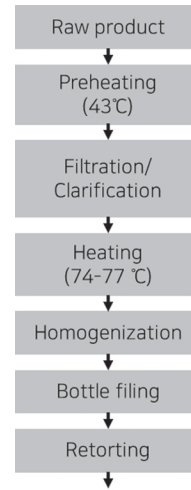


그림 3. 병내살균

내살균)으로 살균보다는 멸균에 가까운 온도로 살균하였다(그림 3). 따라서 전통적인 식품살균기술은 살균보다는 멸균에 유사하며, 이후 상대적으로 낮은 가열온도를 사용하는 살균기술들과 고온에서 빠르게 살균할 수 있는 기술들로 발전되었다. 우유를 가열하거나 끓이는 공정은 1800년대 초부터 시작되었으며, 20세기 초 유제품의 산업적 양산화가 진행되면서 우유를 저온 살균함으로써 유통과 저장에 있어 부패를 예방하고 보존성을 증가시킬 수 있게 되었다. 저온살균은 우유 고유의 색, 풍미 및 영양학적 구성성분의 손상에 의한 품질의 저하를 고려하여, 1864년 루이스 파스퇴르는 낮은 온도에서 우유를 가열처리하는 저온장시간살균법(Low Temperature Long Time, LTLT)을 확립하였다. 이후, 살균과 관련한 기술의 개발은, 1927년에 고온살균법인 고온단시간살균(High Temperature Short Time, HTST) 살균, 초고온순간살균법(Ultra High Heat, UHT)이 개발되면서 산업적으로 적용되기 시작하였다(Park 등, 2015).

2. 유제품의 상업적 살균기술

유제품의 대표적 상업적 살균기술의 종류와 특징



표 1. 살균기술 종류 및 특징

	LTLT	HTST	UHT
온도	63~65℃	72~75℃	130℃ 이상
시간	30분	15초	2초
단백질 변성	거의 없다.	일부 변성	대부분 변성이 일어난다.
포자 살균	X	X	O
영양세포 살균	O	O	O
저장기간 연장	X	O	O
효소 불활성화	O	O	O

은 표 1에 나타내었다. LTLT는 냉장원유를 밀폐용기에서 63~65℃로 가열한 후 그 온도에서 30분 동안 유지한 뒤에 서서히 냉각하는 과정을 거친다. 이 살균법은 병원성 미생물은 사멸시키고 영양분 파괴를 최소화하고 우유의 풍미와 색, 영양에 영향을 주지 않는다는 장점이 있지만, 미생물의 잔존으로 보관이 어려우며 처리시간도 길고 생산비용이 많이 든다는 단점이 있다. HTST는 저온 장시간 살균법의 결점을 보완하기 위해 개발되었으며, 신선함과 영양소의 보존이 우선시되는 식품의 살균을 목적으로 한다. 72~75℃에서 12~15초간 살균하는 방식으로, 판형열교환기(plate heat exchanger, PHE)를 많이 사용하며, 살균 후에는 감압탈취장치에 의해 휘발성 물질을 제거할 수 있다. 높은 온도에서 짧은 시간 동안 우유를 노출시켜 편리하고, 열 변성을 줄일 수 있으며 다량의 우유를 연속적으로 처리할 수 있다. 또한, 산업 설비의 유지 보수비용을 절감하는데 좋다는 장점이 있다. 하지만 단점으로는 살균처

리 과정 전반에 걸쳐서 아주 정밀하고 엄격한 관리가 있다. UHT 살균법은 원유의 품질이 좋지 않거나 냉장고 보급이 어려운 시절에 보존식품 및 조리용, 가공용을 제조할 때 사용된 기술로, 열교환기 기술이 좋아짐에 따라 20세기 후반부터 이 방법이 사용되었다. 처리과정은 HTST와 비슷하며 열판이나 파이프에 원유를 연속 통과시켜 고압 증기 열을 밖에서 가함으로써 순간적으로 멸균하는 것이다. HTST 살균보다 높은 온도인 135~150℃에서 2초 이상 동안 멸균한다. HTST가 균의 감소를 목적으로 했다면, UHT는 멸균법에 가까우며, 세균을 완벽하게 사멸시켜 보존성을 극대화하는데 목적을 둔다. 하지만 영양소를 파괴하며 높은 열처리로 인해 가열취가 나며, 우유의 휘발성분이 날아가 우유 풍미가 적어진다는 단점이 있다(Fox와 MacSweeney, 1998).

3. 유제품의 살균 설비

회분식(batch type) 살균 설비는 sterilization에서 사용되는 장비를 레토르트(retort)라고 하며, bath sterilization은 수평형(horizontal)과 수직형(vertical) 두 가지로 나눌 수 있다. 살균기로 이동된 우유용에 필요한 압력으로 증기를 공급하고, 제어장치에 의해 처리시간과 압력이 적절히 유지된다. 원하는 살균 시간이 되면 증기가 대기 중으로 방출된다. 이후, 우유가 더 이상 열에 영향을 받지 않도록 포장용기(병 또는 캔)를 공기(팬)에 의해 즉시 냉각한다. 회분식 살균장치는 간단한 조작으로도 운용할

표 2. 유제품의 상업적 살균설비

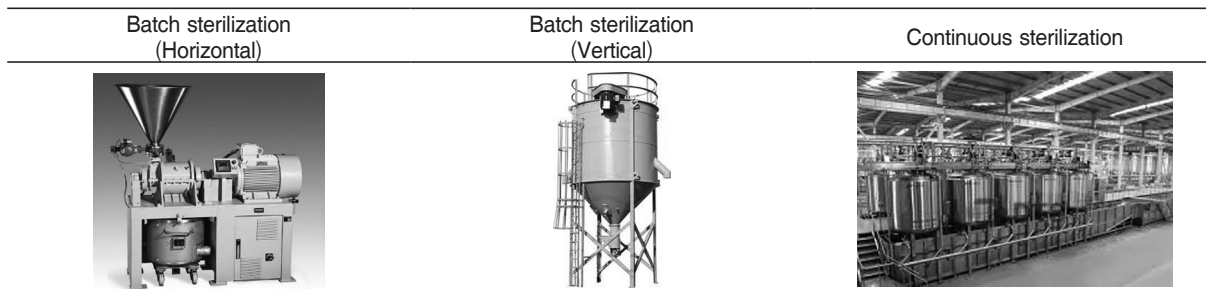


표 3. UHT 살균과정 적용 시판 유제품

기업	제품
서울우유	 서울우유 목장이 살아있는 우유
매일유업	 매일우유 새벽목장 ESL(Extended Shelf Life) 공법
남양유업	 맛있는우유 GT 아침목장우유 GT(good taste) 공법
동원데어리	 소와나무 고칼슘우유 HD(Hi Deaeration System)공법 HD(Hi Deaeration System)공법
한국야구리트	 내추럴플랜 클래식 ROU(educing Oxygen by Ultra sonic) 공법

수 있고 생산비용에 대한 장점을 가지고 있지만 반대로 대량생산에 있어 연속식 살균보다 열 요구량이 높은 단점을 가지고 있어, 최근에는 일부 소규모 생산을 위한 농가형 우유 및 발효유제품의 생산에

표 4. HTST 살균기술 적용 국내 시판 유제품

기업	제품살균방식
동원 데어리	 대니쉬The건강한 우유 덴마크 내추럴밀크
롯데 파스퇴르	 파스퇴르 후레쉬 우유 바른목장 우유
제주우유	 제주의마음 제주의 아침

만 제한적으로 사용된다.

현재 유가공 공장에서 일반적으로 사용되고 있는 연속식(continuous type) 살균 설비는 열교환기, holding coil 및 냉각기를 통한 과정을 거치는데, 연속적으로 살균기를 드나드는 방식(regenerative system)으로 살균이 이뤄진다. 이송 밸브로 연결된 별도의 shell에서 가공되고 냉각되며, 살균되는 우유의 온도는 열교환기에서 원하는 수준으로 상승되고, 우유는 holding coil로 전달되어 특정 살균 온도에서 정해진 시간 동안 유지된 다음 냉각기에서 저장 온도로 신속하게 냉각된다(한국과학기술정보연구원, 2005).

4. 국내 유제품의 상업적 살균기술 현황

현재 국내 유제품의 생산과 판매에 관여하는 기업은 증가추세에 있고, 대표적인 유제품 생산업체의 살균기술 현황은 표 3-5에 나타내었다. 상기 언급한 내용과 같이 대부분의 국내 유제품 생산에 관여되는 살균기술은 UHT, HTST 및 LTLT 등의 가열



표 5. LTLT 살균기술 적용 국내 시판 유제품

기업	제품
일동후디스	 <p>후디스 청정 목장 우유 DT(Double deodorization Technology) 공법</p>
	 <p>후디스 자연습 우유 DT(Double deodorization Technology) 공법</p>

표 6. 국내 유업체 특허 공법

기업	특허 공법	특징
남양유업	GT (good taste) 공법	백색시유 특유의 비린내와 잡맛, 잡취를 유발하는 것으로 밝혀진 원유 속의 산소를 완전히 제거하는 것으로 불활성가스인 질소를 충전하여 원유의 용존산소를 치환
매일유업	ESL (Extended Shelf Life) 시스템	원유의 병원성 미생물 사멸과 유해효소를 불활성화시키는 살균 과정으로 우유 제조과정의 완벽한 위생설비를 이룬 무균화 과정
동원데이리	HD (Hi Deaeration System)공법	원유의 이취를 한번 더 제거하여 고품질의 맛있는 우유를 만드는 공정 시스템 3단계
일동후디스	DT(Double deodorization Technology)공법	원유내의 용존산소와 이취를 제거하고 산화 등의 변패를 막기위 하여 산소를 질소로 치환하는 double deoderization technology 공법 (특허 제10-1196458호)
한국야쿠르트 내츄럴플랜 우유	ROU(Reducing Oxygen by Ultra sonic) 시스템	초음파 및 진공공법을 이용, 원유 속 산소를 최대한 제거하여 우유 본연의 맛을 살려주는 첨단시스템 (방법특허 1009407780000) by Ultra sonic) 시스템

방식의 살균공정이 대부분이다. 이에 더하여 우유 내 특유의 맛과 향을 유지하고 좋지 않은 이취를 제거하기 위한 특정 기업별 특허 공정들을 개발하여 가열처리 살균방법에 적용하여 사용하고자 하는 노력을 기울이고 있다. 우유속의 용존산소(dissolved oxygen, DO)는 유제품 상품화를 위한 필수공정인 살균과정에서 베타락토그로블린(β -lactoglobulin), 황화메틸(dimethyl sulfide), 2-황화메틸(dimethyl disulfide) 등 황화합물(sulfide)을 생성하며 이러한 황화합물에 의해 우유의 맛과 향이 손상되기 때문에 원유속의 산소를 제거하고 불활성가스인 질소를 충전하는 공정을 개발하여 사용 중에 있으며, 초음파 및 진공공법 등을 적용하여 살균공정에 적용하

는 시스템들이 일반적으로 알려져 있다(표 6).

5. 신규 살균기술 연구 동향

현재까지 상업적 시판 유제품은 우유 유래 병원균 및 저온성 세균을 제거하기 위한 목적으로 가열처리 기술이 대부분 적용되고 있는 것을 확인하였으며, 이러한 열처리를 이용한 살균기술들은 우유의 colloid상 내 casein-calcium-phosphate phase 상을 불안정화 시키고, 열에 민감한 유청단백질의 변성에 의한 가열취의 발생과 갈변화 반응이 나타나게 되면서 우유의 품질에 영향을 주게 된다. 또한 열안정성이 높은 우유의 대표적 단백질인 casein

표 7. PEF와 HPP 살균기술 요약

	PEF	HPP
가격	PEF < HPP	
생산방법	ESL (Extended Shelf Life) 시스템	Batch type
생산 가능한 제품	Batch type 또는 constitution type	Batch type
공정온도	45~50℃	5~20℃
상용화	PEF < HPP	

도 UHT 살균법에 의해 비단백질질소(nonprotein nitrogen, NPN)에 의한 부정적인 화학적 변화를 일으키는 것으로 보고되었다(Jung 등, 2017). 최근 이러한 가열처리에 의한 우유의 화학적, 물리학적 변화로 인한 영양학적, 조직학적 변화로 인한 품질에 미치는 영향의 최소화를 위한 신규 비가열 살균기술의 연구 및 식품 본래의 신선한 품질을 그대로 유지하면서 식중독 및 부패 미생물을 최소화시켜 저장기간을 연장시키는 최소 처리 가공 기술(minimal processing technology)의 연구들이 활발히 이루어지고 있다(Park 2010). 현재까지 이러한 가열처리를 대체할 신규 비열처리 살균 기술의 연구는 고전압 펄스 전기장 기술(pulsed electric field, PEF)과 초고압살균(High Pressure Processing, HPP)기술이 대표적이다(표 7).

PEF는 고전압을 시료에 가하여 세포막을 선택적으로 붕괴시키는 비 가열 처리 기술로서, 주로 액상 식품인 주스, 우유 및 발효유 등의 비 가열살균을 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. PEF는 생물학적 세포의 투과성을 이용한 식품산업에 사용되며 비가열 살균기술로서 HTST보다 현저히 낮은 온도에서 살균이 진행되기 때문에 영양성분의 변화를 최소화할 수 있는 살균공정으로 알려져 있으며, HTST 또는 LTLT와 PEF 살균을 병행할 경우, UHT 살균 공정과 유사한 효과와 함께 영양성분의 변성이나 품질변화를 최소화하여 살균처리를 할 수 있음이 보고되었다(Alirezalu 등, 2019). 이러한 고전압 펄스 전기장 장치 설비의 경우 전기발생 장치 이외에 특별히 별도의 설비를 필요치 않아 간단

하게 현장 적용이 가능하며, 기기장치의 도입 비용도 저렴하고 처리비용도 저렴하여 열에너지에 대한 절약 효과가 뛰어나며, 연속적 공정으로 사용이 가능하여 향후 차세대 유제품 가공 기술로서 다양한 적용을 시도할 수 있을 것으로 사료된다(Kang 과 Shin, 2014).

HPP 살균기술은 비가열 식품 처리 공정 중 하나로 식품 중의 세균 증식을 억제하는 방법으로 근래 들어 산업적으로 주목받고 있다(Lee 등, 2014). 식품의 영양 성분, 맛과 향을 유지하면서 열처리, 방부제 처리 없이 유통기한을 연장하는 획기적인 기술로서 영양소 파괴 없이 식품의 품질을 유지시키는 기술로 사용되고 있는 친환경 식품 살균 공정이다. 병원성 미생물과 유제품 내 효소를 불활성화 하여 완제품 상태로 살균 처리하여 2차 오염을 방지하고 친환경 공정으로 화합물이나 추가부산물 발생하지 않는 장점이 있으며, 압력 변화에 따라 선택적인 미생물의 제어가 가능하고 공정 시간이 짧고 간단하여 대량 처리가 가능한 장점을 가지고 있다(Goyal 등, 2019).

III. 결론

국내 유제품에 대한 살균기술은 열처리에 의한 전통적인 방식 또는 이와 함께 추가적인 용존산소 제거를 위한 다양한 공법들을 혼용하여 주로 사용되어지고 있는 것을 살펴보았다. 최근 소비자들은 안전한 식품, 건강한 식품에 관심이 있으며 가능한 천연 그대로를 유지한 제품에 대한 요구가 커지고



있으며, 이를 위한 식품의 최소가공공정에 대한 많은 연구와 개발 또한 활발하게 이루어지고 있다. 따라서 다양한 방식의 저온 또는 비열처리 살균기술의 개발과 산업적 적용은 미래의 국내 축산 농가 및 유가공산업계의 성장에 있어 매우 중요한 핵심기술로 인지되어야 한다. 현재 학계 및 산업계에서 이러한 전통적 열처리 살균기술의 한계를 극복하고자 하는 많은 연구와 개발의 노력들이 이루어지고 있으며, 이에 따라 살균의 주목적인 부패를 일으키는 (비)병원성 미생물의 사멸과 효소의 불활성화와 함께 초고온살균 처리에 따른 유제품 고유의 풍미변화를 최소화 시킬 수 있는 차세대 상업적 살균기술과 유제품가공공정의 개발이 반드시 필요할 것으로 사료된다.

IV. 참고문헌

- Alirezalu K, Munekata PES, Parniakov O, Barba FJ, Witt J, Toepfl S, Wiktor A, Lorenzob JM. Pulsed electric field and mild heating for milk processing: a review on recent advances. *J. Sci.* 100: 16-24 (2019)
- Fox PF, MacSweeney PLH. *Dairy chemistry and biotechnology*. Blackie Academic Professional. London (1998)
- Goyal A, Sharma V, Upadhyay N, Sihag M, Kaushik R. High pressure processing and its impact on milk proteins: A Review. 2: 2319-3409 (2019)
- Jung J-W, Jung J, Mim TS, and Oh S. Effects of heat treatment on the nutritional quality of milk IV - effects of heat treatment on the physical and nutritional properties of milk protein. *J. Milk Sci. Biotechnol.* 35(4): 270-285 (2017)
- Kang S-H, Shin YK. Recent research on and development of thermal and pulsed electric field systems for pasteurization of milk and milk Products. *Korean J. Dairy Sci. Technol.* 32: 31-36 (2014)
- Lee J, Choi E-J, Choi SY, Jeon GY, Jang J-Y, Oh YJ, Lim SK, Kim T-W, Lee J-H, Park H W, Kim HJ, Jeon JT, Choi H-J. Effects of high pressure treatment on the microbiological and chemical properties of milk. *Korean J. Microbiol Biotechnol.* 42: 267-274 (2014)
- Oran L. Dairy Knowledge Portal. sterilization. : <https://www.dairyknowledge.in/article/sterilization>, Accessed Aug 7, 2020.
- Park JG, Lee YJ, Yoon JY, Om AS. Impact of thermal and nonthermal technologies in milk processing. *J. Milk Sci. Biotechnol.* 40: 223-229 (2015)
- Pereira PC. Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition.* 30: 619-627 (2014)
- Silvestre D, Miranda M, Muriach M, Almansa I, Jareno E, Romero F.J. Antioxidant capacity of human milk: effect of thermal conditions for the pasteurization. *Acta Paediatr.* 97: 1070-1074 (2008)
- aTFIS 식품산업통계정보. 식품시장 뉴스레터-우유 (2020)
- e-나라지표. 식품의약품안전처. 식중독 신고 건수 및 환자수 (2019) 문백년. The food&beverage news. 식품의 가열살균과 비가열살균-c.s칼럼(311) (2020). <https://www.thinkfood.co.kr/news/articleView.html?idxno=87529>, Accessed Aug 3, 2020.
- 박지용. 21세기 식품가공 신기술의 현황과 전망 (2010)
- 식품의약품안전처, 5년간 국내 식중독 발생현황 (2019)
- 한국과학기술정보연구원. 식품의 살균 기술 최근 동향 (2005)