

치즈 숙성 촉진 및 풍미 증진을 위한 최신 기술

Modern Technologies for the Ripening Acceleration and Flavor Improvement of Cheese

하호경 (Ho-Kyung Ha)

순천대학교 동물자원학과

Department of Animal Science and Technology, Suncheon National University

I. 서론

치즈는 원유의 종류 및 성분 조성, 제조 공정, 생산 지역 등 다양한 요인에 따라 그 맛, 풍미, 형태가 다르며, 전 세계적으로 약 1,000종 이상이 생산되고 있다. 치즈는 원유, 스타터 컬처(starter culture) 및 보조 컬처(adjunct culture)로부터 유래된 다양한 미생물이 균집화된 바이오 복합 생태계로 간주된다(Khattab 등, 2019). 이러한 치즈 내 미생물 균집은 숙성 과정 동안 유단백질, 탄수화물, 지방과의 복잡한 상호작용을 통해 서로 다른 치즈의 맛과 풍미에 영향을 미치는 중요한 요인으로 작용한다(Forde와 Fitzgerald, 2000).

치즈 풍미는 향(aroma), 맛(taste), 조직감(texture)을 포함하는 복합적인 감각으로 체다(Cheddar), 가우다(Gouda), 에담(Edam), 에멘탈(Emmental), 파마산(Parmesan) 등과 같이 숙성된 치즈의 풍미와 조직감은 숙성 과정 중 복잡한 생화학적 반응을 통해 큰 변화를 거치게 된다(Forde와 Fitzgerald, 2000). 숙성 과정 중에는 주요한 반응인 해당과정(glycolysis), 단백질분해(proteolysis) 및 지방분해(lipolysis)와 다양한 2차 변화가 일어나는데, 이는 치즈 내의 (1) 잔류 렌넷, (2) 스타터균 및 이들의 생성하는 효소, (3) 이차 컬처(secondary culture)와 이들이 생성하는 효소, (4) 비스타터 미생물군과 이들의 생성하는 효소, (5) 원유 내에 존재하는 효소 등에 의해 일어난다(Fox 등, 1996).

치즈 숙성은 최저 비용을 사용하되, 품질을 유지하여 소비자를 최대한 만족시켜야 한다. 치즈의 관능적 특성은 숙성 과정 중의 복잡한 변화에 의해 영향을 받기 때문에, 치즈 품질은 숙성도(degree of ripening) 및 이와 관련된 치즈 풍미 성분으로 평가될 수 있다(Forde와 Fitzgerald, 2000). 따라서, 본 원고에서는 치즈 생산 비용을 절감하면서 고품질의 치즈를 생산하기 위해 치즈 숙성 속도 및 풍미 증진을 증진할 수 있는 기술을 중점적으로 알아보려고 한다.

*Corresponding author: Ho-Kyung Ha
Department of Animal Science and Technology, Suncheon National University,
Suncheon 57922, Korea
Tel: +82-61-750-3233
Fax: +82-61-750-3230
Email: hkha@scnu.ac.kr

II. 본론

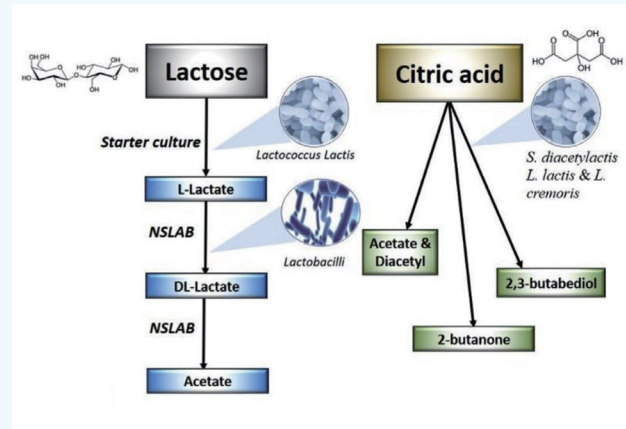
1. 치즈 숙성 과정 중의 변화

치즈 숙성 과정 중에는 제조된 치즈의 물리화학적 특성을 변화시킬 수 있는 몇몇 생화학적인 변화가 일어난다. 이러한 변화에 관여하는 효소는 다양한 곳에서 유래되는데, 대표적인 예로 원유의 살균 후에도 활성을 지니는 내열성 지단백질 지방분해효소(lipoprotein lipase)는 지방분해에 관여하고, 잔류 렌넷 내의 키모신(chymosin)은 단백질분해에 관여한다. 또한, 발효를 위해 첨가되는 스타터균도 단백질분해효소와 에스테르가수분해효소(esterase)를 제공한다. 비스타터 유산균(non-starter lactic acid bacteria, NSLAB)과 이차 켄쳐 또는 보조 켄쳐(adjunct culture)들 중에도 강력한 대사 활성을 지닌 균들이 숙성 과정 중 매우 중요하게 작용한다(Clark 등, 2009). 본 챕터에서는 숙성 과정 중의 주요 세 가지 반응인 유당(lactose), 유산염(lactate) 및 구연산염(citrate)의 대사, 단백질분해, 지방분해(McSweeney, 2011)에 대해 알아보려고 한다.

(1) 잔류 유당, 유산염 및 구연산염의 대사

치즈 제조에 사용되는 우유는 대부분 살균(pasteurization)을 통해 유해균을 제거한 후 스타터균을 첨가하여 발효된다(Fox 등, 2015). 우유 내 유당은 유산균의 해당과정(glycolysis)을 통한 발효를 통해 주로 유산(L-lactic acid)로 전환되어 치즈의 pH를 5.0 부근으로 낮추게 된다(Fox 등, 1996). 우유 내 대부분(~98%)의 유당은 유청(whey)으로 제거되고, 치즈 커드 내에는 약 0.7%~1.5%의 유당이 존재하며, 이들은 숙성과정 동안 변화를 거치게 된다(Fox 등, 1996). 생성된 유산은 비스타터 유산균 등에 의해 추가적인 대사과정을 거쳐 프로피온산(propionic acid), 아세트산(acetic acid), 물, 이산화탄소, D-유산염, 아세트산염(acetate) 등으로 전환된다(그림 1). 유산은 비스타터 유산균에 의해

그림 1. 해당과정에 의한 치즈 풍미 생성 기작 (Khattab 등, 2019)



DL-유산염으로 전환되거나 *Clostridium* sp.에 의해 낙산염(butyrate)과 수소(H₂)로 대사되어 균열(crack)과 이취(off-flavor)를 형성한다. 유당 대사의 중간 산물인 피루브산염(Pyruvate)은 아세트산염(acetate), acetoin, diacetyl, 에탄올, acetaldehyde와 같은 단쇄 풍미 성분(short-chain flavor compound) 형성의 전구체로 활용된다(Melchiorssen 등, 2002).

또한, 유산염은 비스타터 유산균에 의해 포르산염(formate), 아세트산염, 이산화탄소로 대사되는데, 이들은 *Propionibacterium* sp.에 의해 프로피온산염, 아세트산염, 물, 이산화탄소로 전환(예, 스위스 치즈)되거나 *Penicillium* sp.에 의해 이산화탄소와 물로 전환된다(Hassan 등, 2013). 이러한 반응은 치즈 산성화의 주요 원인으로, 추후 유산염이 몇몇 치즈의 독특한 산취(acid flavor)와 신맛(sourness)에 기여한다. 일반적으로 사용되는 스타터 균으로는 산을 생성하여 대부분의 치즈 제조에 사용되는 *Lactobacillus* spp.와 페타(Feta), 더치(Dutch), 블루(Blue) 치즈에 사용되는 *Lactococcus lactis* 및 *L. cremoris*, 스위스, 모짜렐라(Mozzarella), 체다 및 에멘탈 치즈에 사용되는 *Streptococcus thermophiles*, 크림(Cream), 브리(Brie), 까망베르(Camembert), 림버거(Limburger), 블루 및 체다 치즈에 사용되는 *S. cremoris* 등(Clark 등, 2009)이 있다(Table 1).

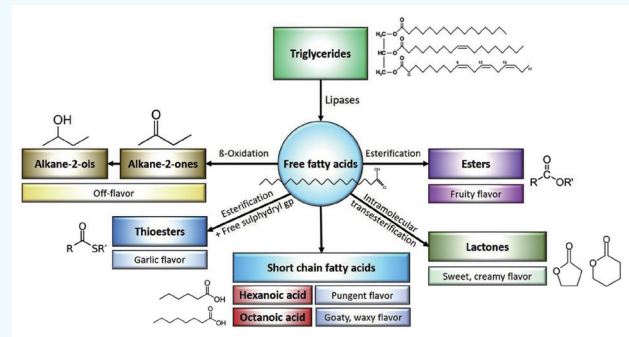
표 1. 주요 치즈 종류 및 이와 관련된 미생물군 (Khattab 등, 2019)

	일차 스타터균	보조 스타터균	관능 특성
곰팡이 숙성(Mold ripened)			
Brie	<i>Lactobacillus</i> spp.	<i>Penicillium</i>	Mushroomy, soft
Camembert	<i>Streptococcus cremoris</i>	<i>Camemberti</i> <i>Geotrichum candidum</i>	
Roqueforti	<i>Streptococcus cremoris</i>	<i>Penicillium roqueforti</i>	Peppery
표면 숙성(Surface ripened)			
Limburger	<i>Streptococcus cremoris</i>		Strong odor
Tilsit	<i>Arthrobacter</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Brevibacterium linens</i>		
내부 숙성(Internally ripened)			
Pasta filata			
Mozzarella	<i>Streptococcus cremoris</i>		Delicate
Provolone	<i>Streptococcus thermophilus</i>		Smoky
High salt			
Feta	<i>Lactococcus lactis</i>	<i>Enterococcus faecium</i>	Light color
Cheese with eyes			
Dutch (Gouda, Edam)	<i>Lactococcus lactis</i> <i>Lactococcus cremoris</i>	<i>Clostridium tyrobutyricum</i>	
Swiss (Emmental, Gruyere)	<i>Streptococcus thermophilus</i>	<i>Propionibacterium freudenreichii</i>	Nutty
Semi-hard			
Monterey Jack			
Hard			
Cheddar	<i>Streptococcus cremoris</i> <i>Streptococcus thermophilus</i>	<i>Clostridium tyrobutyricum</i>	Sharp
Extra hard			
Asiago	<i>Streptococcus thermophilus</i>		Fruity (melon)

(2) 지방분해 및 지방산의 대사

우유 내 중성지방(triglyceride)은 박테리아 및 내인

그림 2. 지방분해 인한 치즈의 풍미 및 이취 변화 (Khattab 등, 2019)



성(endogenous) 우유 효소에 의해 가수분해되어 유리 지방산(free fatty acid)으로 가수분해된다(그림 2) (Collins 등, 2003). 단쇄지방산은 치즈 풍미 형성에 중요한 역할을 수행하지만, 강한 지방분해는 몇몇 치즈에서 단점을 유발한다. 예를 들어, 체다, 가우다 및 스위스 치즈에서의 강한 지방분해는 산패(rancidity)가 발생하기 때문에(Forde와 Fitzgerald, 2000), 블루 치즈와 몇몇 이탈리아 치즈를 제외한 대부분의 치즈는 제한적인 지방분해가 바람직하다. 블루 치즈의 경우, *P. roqueforti*에서 생성되는 지방분해효소(lipase)가 β -oxidation을 통해 유리지방산으로부터 methyl ketone을 형성하여 고유의 peppery 풍미 형성에 기여한다(Fox 등, 1996). 이탈리아 치즈에서도 강한 지방분해가 발생하는데, 이때 외인성(Exogenous) 지방분해효소인 pregastric esterase가 주요하게 작용한다(Fox 등, 1996). 또한, 강한 지방분해가 바람직한 곰팡이 숙성 치즈에서 가장 널리 사용되는 *Propionibacterium freudenreichii*, *Geotrichum candidum* 및 *Penicillium* spp.도 지방분해효소를 생성한다(Table 1) (McSweeney, 2011).

(3) 단백질분해와 아미노산 및 황 화합물의 대사

단백질분해는 우유 내인성 단백질분해효소 및 유산균(스타터 컬처)이 생성하는 단백질분해효소에 의해 α_{s1} -, α_{s2} -, β -, κ -케이스인(casein)이 작은 펩타이드와 유리

아미노산(free amino acid)으로 분해되는 공정을 말하며, 치즈의 조직감뿐만 아니라, 풍미에 기여한다(그림 3) (Fox 등, 1996; Gan 등, 2016). 커드 내 잔류 키모신은 케이션을 단쇄 소수성 펩타이드로 분해하는데, 이들은 치즈의 쓴맛(bitterness)에 기여한다. 또한, 케이션의 분해는 치즈를 고무 같은(rubbery) 조직감에서 크림 같이 부드러운 표면(creamy smooth surface)으로 변화시킨다(Clark 등, 2009). 단백질분해는 모든 치즈에서 발생하는데, 각 치즈 별 분해 정도가 다르다. 예를 들어, 모짜렐라와 같이 매우 제한적으로 일어나는 치즈부터 블루, 파마산 및 장기 숙성 체다 치즈와 같이 매

그림 3. 단백질분해로 인한 치즈 풍미 생성 기작 (Khattab 등, 2019)

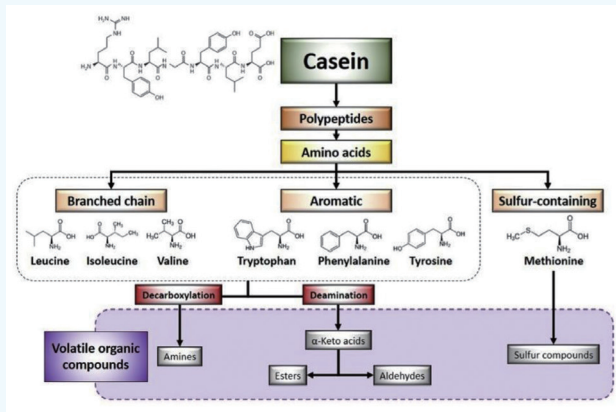
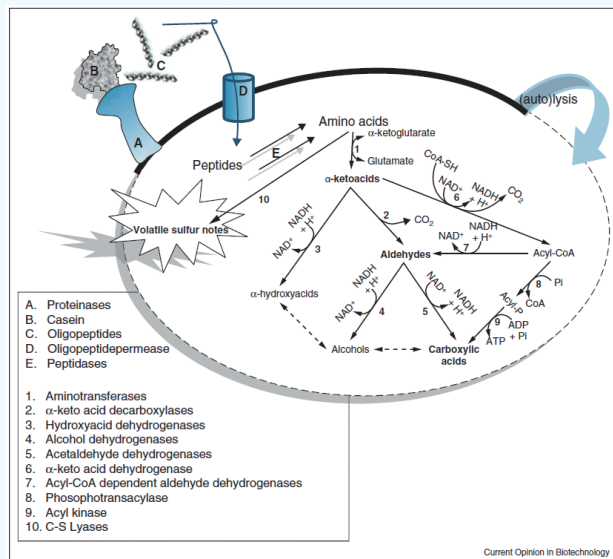


그림 4. 일반적인 치즈 풍미 형성 기작 (Steele 등, 2013)



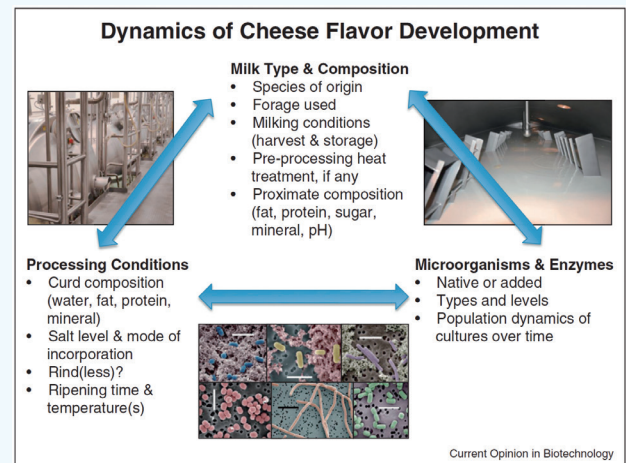
우 광범위한 분해가 일어나는 치즈까지 다양하다. 단백질분해효소에 의해 생성된 아미노산은 생화학적 반응을 통해 풍미 성분들을 형성한다(McSweeney 등, 2004). 광범위한 지방분해 및 지방산의 산화가 일어나는 블루 및 이탈리아 치즈에서도 단백질분해는 매우 중요하다 (Fox 등, 1996).

아미노기 전이효소(aminotransferases)는 유리아미노산을 α -케토산(keto acid)으로 전환시키고, 이들은 다시 서로 다른 경로를 통한 분해과정을 거치게 되어 최종적으로 휘발성 유기 성분(volatile organic compound)들이 생성된다(그림 3과 4) (McSweeney 등, 2004; Steele 등, 2013).

2. 치즈 숙성 촉진과 풍미 증진을 위한 새로운 생명공학 기술

치즈 숙성은 2년 이상까지도 계속되는 길고 복잡한 공정이며, 숙성 기간과 조건은 치즈 풍미의 생성과 향상에 매우 중요한 영향을 미친다(그림 5) (Steele 등, 2013). 다양한 치즈 고유의 풍미는 숙성 과정 중 아미노산 및 지방산 분해로 생성되는 다양한 휘발성 성분들과 단백질과 지질 대사를 통해 생성된 몇 가지 성분들의 균형 잡힌 복합물에 의해 결정된다(Khattab 등,

그림 5. 치즈 풍미 형성에 영향을 미치는 요인 (Steele 등, 2013)



2019). 현재까지 치즈 숙성 촉진 및 풍미를 변화시키기 위해 다양한 생명공학 기술들에 관한 연구가 진행되어 왔으며, 본 고찰에서는 최근 연구되고 있는 1) 보조 컬처 사용법, 2) 외인성 효소(exogenous enzyme) 사용법, 3) 치즈 숙성 온도 상승 및 고압 처리법에 대해 소개하고자 한다(그림 6).

(1) 보조 컬처 접종법

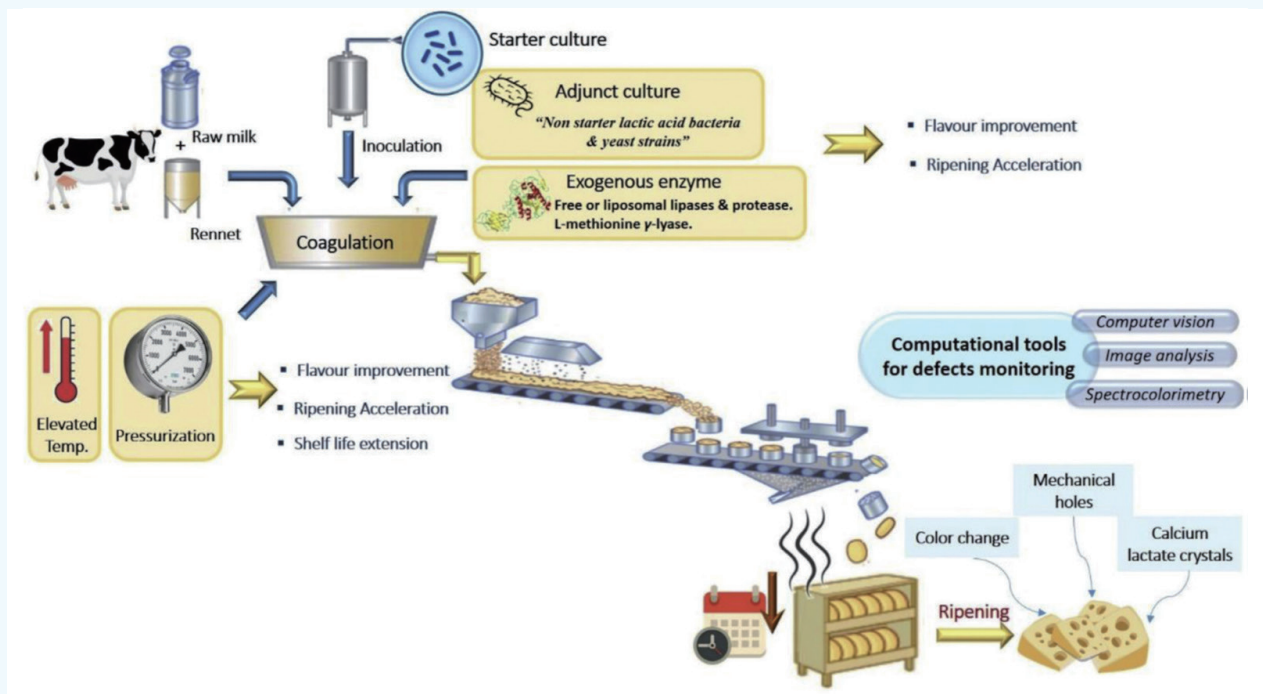
가. *Lactococci* 및 *Lactobacilli* 균주

고전적인 치즈 풍미 증진 방법은 고품질의 숙성 치즈에서 발견되는 박테리아를 일차 스타터 컬처(primary starter culture)와 함께 접종하는 방법이다(Forde와 Fitzgerald, 2000). 체다 치즈 제조 시 일차 스타터 컬처와 함께 보조 컬처로 *Lactobacilli*를 접종한 결과, 단백질 분해가 증가되어 유리 아미노산 함량이 증가하고, 치즈의 풍미 강도가 향상되었다(Lynch 등, 1997). Lee 등(1990)의 연구에서는 *Lactococci*와 *Lactobacilli* 균주

사용 시 체다 치즈의 숙성을 촉진하고, 관능적 특성을 향상시킨다고 보고되었다.

원유와 발효유, non-dairy origin의 wild *Lactococci* 균주를 치즈에 적용한 결과, 산업적으로 사용되고 있는 균주와 달리 독특한 풍미를 형성하였으며, 아미노산 분해에 의해 생성되는 primary alcohol과 branched aldehyde 양이 증가하였다(Ayad 등, 1999). 또한, wild *Lactococci* 균주들은 성장에 필요한 아미노산이 산업적인 균주(9-10종의 아미노산이 필요)보다 적은 1-4개로 보고되었다. *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactobacillus casei* subsp. *casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *dextranicum* 및 *Leuconostoc paramesenteroides*를 포함한 보조 컬처들의 사용은 반경질(semi-hard) 산양유 치즈의 향과 풍미를 향상시킬 수 있었다(Rodríguez 등, 1996). 결과적으로 이와 같은 균주들을 보조 컬처로 사용할 경우 새로운 치즈 개발 및 풍미 부여에 활용될 수 있다.

그림 6. 치즈 숙성 촉진과 풍미 향상을 위한 생명공학 기술 (Khattab 등, 2019)



보조 컬처의 사용은 저지방 치즈의 풍미와 조직감을 향상시키는 데 유용하게 활용될 수 있다. Katsiari 등(2002)의 연구에서는 상업적인 보조 컬처인 LBC 80 (*Lactobacillus casei* subsp. *rahamnosus*)와 CR-213(*Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*) 및 *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*를 저지방 Kefalograviera-타입 치즈에 적용 후 관능평가를 실시한 결과, 전지(full-fat) 치즈와 유사한 관능 품질까지 향상되었다. 그러나 저지방 치즈는 바디(body)와 조직감(texture) 점수가 전지 치즈에 비해 낮은 단점을 지녔다(Katsiari 등, 2002).

Lactobacillus reuteri 및 *Lactobacillus helveticus*를 지방감량(reduced fat, 33% 감소) 에담 치즈에 보조 컬처로 사용한 결과, 조직감 관련 품질 향상이 보고되었고, *L. helveticus*과 *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*는 단백질분해가 증가되어 3-6개월간의 숙성기간 동안 치즈의 풍미가 향상되었으며, *L. helveticus*이 첨가된 지방감량 치즈는 가장 높은 유리 지방산 함량을 나타내었다(Tungjaroenchai 등, 2001). 또한, *L. reuteri* 및 *L. helveticus*를 함께 첨가한 지방감량 치즈는 전지 치즈보다 향상된 조직감을 보였다. 다양한 보조 컬처를 혼합하여 사용할 경우에는 시너지 효과를 보이지는 않았는데, 단일 보조 컬처 사용에 비해 단백질분해 활성은 증가되지 않았고, 오히려 조직감이 낮아졌다고 보고되었다(Tungjaroenchai 등, 2001). 또한, 초기에는 전지유에 비해 스타터균 수가 많았으나, 치즈 숙성과정 중 스타터균의 자가분해(autolysis)가 증가되어 균수가 전지유보다 감소하였다. 스타터균의 자가분해는 세포 내 펩타이드분해효소의 release를 유도하게 되는데, 이는 치즈 숙성 과정 중 풍미 향상에 핵심적으로 작용한다(Tungjaroenchai 등, 2001).

한편, 열처리, 동결-해동, 동결, 분무건조, lysozyme 또는 용매처리 등과 같은 방법을 통한 보조 컬처의 약화(attenuation)는 특히 저지방 치즈의 풍미 향상뿐만 아니라, 풍미 형성을 촉진할 수 있다. 보조 컬처의 약화는 자가분해를 유도하고, 세포 내 효소들을 치즈

matrix 내로 release하여 풍미 형성에 기여한다. 약화된 *Lactococcus*와 *Lactobacillus* 속(genus)을 일차 스타터 컬처와 함께 첨가하여 치즈를 제조할 경우, 단백질분해 및 지방분해가 향상되고 숙성이 촉진되며, 풍미를 효과적으로 향상시킬 수 있었다(Klein과 Lortal, 1999).

또, 다른 연구에서는 체다 치즈 제조 시 동결 쇼크(freeze shocking), 열 쇼크(heat shocking), 분무 건조를 통해 약화된 *Lactobacillus helveticus* 및 *Lactobacillus casei*를 보조 컬처로 첨가하였는데, 이중 동결쇼크를 받은 *L. helveticus*는 세포 자가분해율이 가장 높았고 이로 인해 높은 단백질분해 활성을 보였다(Madkor 등, 2000).

나. *Brevibacterium* 균주

또, 다른 균주인 *Brevibacterium linens* BL2는 cystathionine 효소보다 효과적인 methionine- γ -lyase 활성을 지니고 있어 메티오닌(methionine)의 탈아미노화(deamination) 및 탈탄산화(decaboxylation)를 통해 고품질 체다 치즈만의 독특한 풍미 성분인 휘발성 황 화합물인 methanethiol을 생성할 수 있다. Weimer 등(1997)의 연구에서는 *B. linens* BL2를 60% 지방 저감 체다 치즈에 보조 컬처로 사용 시 치즈 풍미가 향상되었고, Dias와 Weimer(1999)의 연구에서 또한 *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* S2가 스타터 컬처로 사용된 무균 체다 치즈 슬러리에 *B. linens* BL2를 첨가 시 methaethiol의 생성이 증가되었다.

다. 효모(Yeast)

체다 치즈와 같은 경질 치즈는 적절한 풍미와 조직감을 갖추기까지 오랜 숙성기간이 필요하여 제조 비용이 많이 든다. 숙성 중 단백질분해 속도 및 정도는 치즈 풍미 형성에 중요한 영향을 미치므로, 숙성 기간을 단축하여 제조 비용을 절감하기 위해 많은 노력이 진행되어 왔다(Raksakulthai 등, 2002). 보조 컬처로 지방분해 및 단백질분해 활성을 지닌 특정 효모를 함께 첨가 시 몇몇 치즈의 풍미 및 조직감을 향상시킬 수 있어 치즈 숙성

기간을 단축하고 제조 비용을 절감할 수 있다(Roostita와 Fleet, 1996).

단백질분해 및 지방분해 활성을 지니고 있는 *Debaryomyces hansenii*와 *Yarrowia lipolytica*는 널리 알려져 있는 효모로 스타터 유산균과 친화성(biocompatibility)을 지닌다(Fleet와 Mian, 1987; Roostita와 Fleet, 1996; Laubsher와 Viljoen, 1999). 체다 치즈 제조 시 이 두 가지 효모를 보조 컬처로 사용한 결과, 숙성 속도가 향상되고 풍미가 증진되었다(Ferreira와 Viljoen, 2003; De Wit 등, 2005).

곰팡이균인 *Penicillium roqueforti*는 블루 치즈의 향미 생성과 숙성 속도를 향상시킬 수 있다(Table 1). 블루 치즈인 Stilton 치즈의 다양한 미생물군 중에는 *Yarrowia lipolytica*와 *Kluyveromyces lactis* 두 효모가 존재한다. 이들은 치즈 제조 시 자발적이고 규제받지 않아 다양한 농도로 존재하는데, *K. lactis*는 주로 푸른 정맥(Blue vein) 부분을 우점하는 반면, *Y. lipolytica*는 외부 껍질(outer crust)과 흰색 중심부(white core)에 존재한다(Viljoen 등, 2003; Price 등, 2014). Price 등(2014)의 연구에서는 *P. roqueforti*를 첨가한 Stilton 치즈 제조 시 *Y. lipolytica*와 *K. lactis*의 접종 농도를 달리한 결과, 치즈 풍미 형성에 큰 영향을 미쳤다. 특히, 높은 *Y. lipolytica* 접종 농도에서 Stilton 치즈 고유의 풍미에 관여하는 중요 물질인 케톤(ketone) 형성이 증가되었고, 높은 *K. lactis* 접종 농도에서는 Stilton 치즈 풍미의 변화가 감소되었다. 따라서, 이 두 효모의 접종 농도 조절을 통해 일정한 품질의 Stilton 치즈를 제조할 수 있어 비용을 절감시킬 수 있을 것으로 기대된다. 특히, *Y. lipolytica*는 자연적으로 존재하는 다른 효모들과의 생존 경쟁에서 우점할 수 있을 뿐만 아니라, 유산균과 친화성을 지니고 있어 보조 컬처로 유용하게 활용될 수 있다. *Y. lipolytica* 첨가 시 치즈 내 유리 지방산 생성과 지방분해를 증가시킬 수 있다(Price 등, 2014; Khattab 등, 2019).

이와 같은 효모는 높은 염 농도와 낮은 온도에 대한 내성이 뛰어나지만 아니라, 잔류 유산염 및 구연산염의

동화작용(assimilation)을 통해 바람직하지 못한 미생물의 성장을 억제하고, 세포 외부로 단백질분해효소와 지방분해효소를 생성하는 장점을 지닌다.

(2) 외인성 효소 사용법

몇몇 스타터균은 숙성된 치즈에서 적절한 풍미와 맛을 생성할 수 없으므로 외인성 효소 첨가는 치즈 숙성 속도 향상과 더불어 적절한 풍미 형성에 활용될 수 있는 것으로 보여진다(Khattab 등, 2019). 본 챕터에서는 치즈 제조 시 사용되는 외인성 효소들에 대해 알아보하고자 한다.

가. 지방분해효소

다양한 외인성 효소들 중 가장 널리 연구된 것은 지방분해효소로, 치즈의 풍미를 향상시킬 수 있다. 지방분해효소는 식물, 동물, 미생물 등 다양한 곳에서 얻을 수 있으나, 현재까지 상업적인 판매는 쉽게 생산할 수 있는 미생물 유래(효모, *Micrococci* 및 *Lactobacilli*) 원료뿐이다(Sharma 등, 2001). Tulum 치즈 제조 시 상업적인 미생물 유래 지방분해효소인 Piccantase A 농도를 증가시킨 결과, 휘발성 지방산 생성량이 증가되었고, 결과적으로 풍미 손실 없이 숙성 기간을 줄일 수 있었다(Yilmaz 등, 2005). 또한, 스위스 치즈 제조 시 미생물 유래 지방분해효소를 200U의 농도로 첨가할 경우 품질 변화 없이 숙성 기간을 1개월 감소시킬 수 있었다(Rani와 Jagtap, 2018).

리포솜(liposome)에 캡슐화된 단백질분해효소 및 지방분해효소도 치즈 제조에 활용될 수 있다. 캡슐화를 통해 효소와 기질의 반응을 조절할 수 있어 캡슐화되지 않은 효소의 단점(예, 과도한 단백질 및 지방분해로 인한 조직감과 풍미 결점)을 개선할 수 있다(Khattab 등, 2019). 캡슐화된 효소는 커드에서 기질과 물리적으로 분리되어 있다가 숙성 과정 중에 캡슐이 분해되면서 기질과 반응하게 된다. 따라서 케이신과 유지방의 균형잡힌 분해가 일어나, 쓴맛이나 산패취 발생, 조직감 소실

등과 같은 결점이 생기는 것을 피할 수 있다(El Soda, 1993). Kheadr 등(2002)의 연구에서는 리포좀에 캡슐화된 지방분해효소(Palataase M과 Lipase 50)를 적절한 농도(0.5 unit/g milk fat)로 체다 치즈 제조에 사용한 결과, 조직감이나 풍미 관련 결점 발생 없이 지방분해가 촉진되었다. 또한, 다양한 단백질 및 지방분해효소들을 리포좀에 캡슐화한 후 체다 치즈에 적용한 결과, 캡슐화된 지방분해효소(Palataase M)와 미생물 유래 단백질분해효소를 함께 처리 시 짧은 시간에 풍미 강도가 증가하여 치즈 숙성을 촉진할 수 있었다(Kheadr 등, 2003).

효소를 활용한 치즈 풍미 증진의 또 다른 방법 중 하나는 효소-모방 치즈(enzyme-modified cheese, EMC)가 있다. EMC는 단백질 및 지방분해효소를 치즈 에멀전에 첨가하여 치즈 관련 풍미를 형성시킨 것으로 치즈 뿐만 아니라, 다양한 식품에 적용될 수 있다(Dirinck와 DE Winne, 1999; Wilkinson 등, 2011).

나. L-Methionine γ -Lyase

L-Methionine γ -lyase는 메티오닌으로부터 체다 치즈의 주요 풍미 성분인 methanethiol을 생성하는 효소이다. Dias와 Weimer(1999)의 연구에서는 *L. lactis* ssp. *cremoris* S2와 메티오닌을 첨가하여 제조된 체다 치즈 슬러리에 정제된 *B. linens* BL2 유래 L-methionine γ -lyase(MGL)을 첨가한 결과, methanethiol 생성을 증가시켜 체다 치즈 풍미를 향상시킬 수 있음을 보고하였다.

(3) 치즈 숙성 온도 상승 및 고압 처리법

숙성 온도 상승은 의심할 여지 없이 치즈 숙성을 촉진할 수 있는 가장 효과적이고 단순하며 경제적인 방법이다. 그러나 숙성 온도 상승은 숙성 과정 중에 일어나는 다양하고 복합적인 생화학적 변화를 가속화하여 풍미의 불균형이나 이취가 생성될 수 있으며, 유해한 미생물이 증식할 수 때문에 숙성 기간 단축뿐만 아니라, 치즈 숙성 과정 중 발생하는 다양한 변화들에 대한 평가도 함께

진행되어야 한다(Fox 등, 1996; Sihufe, 2010a).

Sihufe 등(2010b)의 연구에 따르면 Reggianito Argentino 치즈를 18°C에서 2개월 숙성한 결과, 12°C에서 6개월 숙성한 치즈와 유사한 수준으로 제조할 수 있어 숙성 기간을 단축할 수 있다고 보고하였다. 그러나 높은 숙성온도에서는 유산균 및 비스타터 유산균뿐만 아니라, 유해 미생물의 성장 또한 촉진되기 때문에 엄격한 위생조건을 갖추어야 한다(Sihufe 등, 2010a). 또한, 숙성 온도의 증가는 유산균의 decarboxylase의 활성을 증가시켜 건강에 부정적인 영향을 줄 수 있는 tyramine, putrescine 및 cadaverine과 같은 biogenic amine의 생성을 증가시킬 수 있으므로 주의해야 한다(Stratton 등, 1991).

열처리는 전통적으로 유해한 미생물을 비활성화하여 사용되어 왔으나, 영양성분과 풍미가 손실될 수 있다. 이를 개선하기 위해 영양성분과 관능적 품질 변화 없이 유통기한을 연장시킬 수 있는 고압(high pressure) 처리에 대한 연구가 진행되었는데, 고압 처리는 유해 미생물의 파괴뿐만 아니라, 효소 활성 조절을 통해 치즈 숙성을 촉진하고, 우유의 렌넷 또는 산 응고를 향상시키며, 치즈 수율을 증가시킬 수 있다(Trujillo 등, 2000).

고압 처리는 치즈 제조에 이용되는 우유 내 토착 미생물군에 변화를 일으키게 되고, 이로 인해 치즈 matrix와 수율, 관능적 특성에 영향을 미친다(Drake 등, 1997). 실온에서 우유의 고압처리는 유청단백질의 변성(denaturation) 및 케이신의 분열(fragmentation)과 같이 단백질에 변화를 일으키게 되는데, 이러한 변화는 다른 공정 요인(예, 온도, pH, 공정 시간, 저장 조건 등)에도 영향을 받는다(Huppertz 등, 2004). 단백질의 변화는 렌넷 응고시간과 치즈 수율에 영향을 미치는데, 특히 치즈 내 프로바이오틱균의 성장과 생존이 향상되는 300–800 MPa 압력 구간에서 크게 영향을 미친다(Huppertz 등, 2004). 보다 낮은 압력(100 MPa)에서 우유의 고압 처리는 상업적인 프로바이오틱 *Lactobacilli*(*Lactobacillus paracasei* A13과 *L. acidophilus* H5)으로 제조한 부드러운 이탈리아 치즈

인 Crescenza 치즈의 수율을 1% 증가시키고, 프로바이오틱균의 성장을 촉진하였다(Burns 등, 2008). 또한, 치즈 내 유리 지방산의 release와 단백질분해가 촉진되었으나, 치즈의 관능적인 특성과 종합 기호도(overall acceptance) 변화는 보이지 않았다(Burns 등, 2008).

체다 치즈는 등급에 따라 4-12개월 또는 그 이상의 숙성 기간이 필요하기 때문에 숙성에 많은 비용이 든다(Fox 등, 1996). 이를 개선하기 위해 O'Reilly 등(2000)은 체다 치즈 제조에 활용된 우유를 25°C에서 3일간 50 MPa의 고압 처리한 결과, 스타터 쉐어의 단백질분해가 증가(intracellular peptidase의 활성 증가)되어 숙성이 촉진되었다. 고압 처리는 치즈 종류별로 서로 다른 영향을 줄 수 있다. 예를 들어, 50 MPa에서 고압 처리한 우유를 사용하여 까망베르 치즈를 제조하였을 시 단백질분해가 향상된 반면, 가우다 치즈에서는 큰 변화가 나타나지 않았다(Kolakowski 등, 1998).

고압 처리는 치즈 유통기한 향상에도 활용될 수 있다. 고압 처리(400-500 MPa에서 5-15분)는 *Escherichia coli*와 같은 병원성 미생물을 불활성화하여 신선 산양 치즈인 *Mató* 치즈의 유통기한을 향상시킬 수 있었다(Capellas 등, 1999). *Mató* 특히 고압 처리는 관능적 및 물리적 변화나 소비자 선호도 변화는 나타나지 않았다(Capellas 등, 2001). 또 다른 연구에서 고압 처리(300-600 MPa에서 5분)는 신선 유산 커드 치즈(fresh lactic curd cheese)의 품질 변화 없이 유통기한을 8주까지 연장시킬 수 있었다(Daryaei 등, 2006). 또한, 염소유에 400 MPa에서 5분간의 고압 처리 후

Garrotxa-type 경질 치즈를 제조한 결과, 단백질분해가 향상되어 치즈 숙성도의 지표로 활용되는 유리 아미노산 생성이 증가하였다(Saldo 등, 2002).

III. 결론

치즈 숙성은 해당과정, 단백질분해 및 지방분해와 다양한 2차 변화를 통해 각 치즈 고유의 특성을 형성하는 매우 복잡하고 중요한 공정이다. 특히 숙성도와 풍미는 치즈의 품질을 결정하는 중요 요인으로, 치즈가 숙성 기간 중 잘 보관될 경우 바람직한 풍미 형성으로 고품질의 치즈가 제조되는 반면, 그렇지 못할 경우 이취가 발생하는 저품질의 치즈가 된다. 따라서 장기간의 숙성 기간이 필요한 치즈의 경우, 적절한 환경 보관 및 관리에 많은 비용이 든다. 본 원고에서는 치즈 숙성 과정 중의 주요 생화학적 반응과 치즈 품질은 유지하면서 숙성 기간을 단축시킬 수 있는 치즈 숙성 촉진 및 풍미 향상 기술들에 대해 소개하였다. 현재까지 외인성 효소첨가법, 숙성 온도 상승 및 고압 처리법 등 치즈 숙성 기간을 단축하고 풍미를 향상시킬 수 있는 다양한 기술들이 보고되고 있으며, 이를 활용하여 보다 짧은 기간 내에 고품질의 치즈를 생산할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 이러한 기술들을 산업적으로 적용할 시, 단순히 치즈 품질과 관련된 몇 가지 지표들에 대한 평가만 수행하는 것이 아닌 치즈의 특성을 나타내는 지표들의 화학적 정량 분석, 관능평가 및 안전성을 함께 고려해야 한다.

참고문헌

1. Ayad EHE, Verheul A, De Jong C, Wouters JTM, Smit G. 1999. Flavour forming abilities and amino acid requirements of *Lactococcus lactis* strains isolated from artisanal and non-dairy origin. *Int Dairy J* 9:725-735.
2. Burns P, Patrignani F, Serrazanetti D, Vinderola GC, Reinheimer JA, Lanciotti R, Guerzoni ME. 2008. Probiotic Crescenza cheese containing *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus acidophilus* manufactured with high-pressure

- homogenized milk. *J Dairy Sci* 91:500-512.
3. Capellas M, Mor-Mur M, Sendra E, Guamis B. 2001. Effect of high-pressure processing on physico-chemical characteristics of fresh goats' milk cheese (Mató). *Int Dairy J* 11:165-173.
 4. Capellas M, Mor-Mur M, Sendra E, Pla R, Guamis B. 1996. Populations of aerobic mesophils and inoculated *E. coli* during storage of fresh goat's milk cheese treated with high pressure. *J Food Prot* 59:582-587.
 5. Clark S, Costello M, Drake MA, Bodyfelt F. 2009. The sensory evaluation of dairy products. In *The sensory evaluation of dairy products*. New York, NY, Springer Science & Business Media.
 6. Collins YF, McSweeney PLH, Wilkinson MG. 2003. Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: A review of current knowledge. *Int Dairy J* 13:841-866.
 7. Daryaei H, Coventry MJ, Versteeg C, Sherkat F. 2006. Effects of high-pressure treatment on shelf life and quality of fresh lactic curd cheese. *Aust J Dairy Technol* 61:186-188.
 8. De Wit M, Osthoff G, Viljoen BC, Hugo A. 2005. A comparative study of lipolysis and proteolysis in Cheddar cheese and yeast-inoculated Cheddar cheeses during ripening. *Enzyme Microb Technol* 37:606-616.
 9. Dias B, Weimer B. 1999. Production of volatile sulfur compounds in Cheddar cheese slurries. *Int Dairy J* 9:605-611.
 10. Dirinck P, De Winne A. 1999. Flavour characterisation and classification of cheeses by gas chromatographic-mass spectrometric profiling. *J Chromatogr A* 847:203-208.
 11. El Soda MA. 1993. The role of lactic acid bacteria in accelerated cheese ripening. *FEMS Microbiol Rev* 12:239-251.
 12. Ferreira AD, Viljoen BC. 2003. Yeasts as adjunct starters in matured Cheddar cheese. *Int J Food Microbiol* 86:131-140.
 13. Fleet GH, Mian MA. 1987. The occurrence and growth of yeasts in dairy products. *Int J Food Microbiol* 4:145-155.
 14. Forde A, Fitzgerald GF. 2000. Biotechnological approaches to the understanding and improvement of mature cheese flavour. *Curr Opin Biotechnol* 11:484-489.
 15. Fox PF, Uniacke-Lowe T, McSweeney PLH, O'Mahony JA. 2015. Dairy chemistry and biochemistry. In *Dairy chemistry and biochemistry*. 2nd ed. Cham Springer International Publishing.
 16. Fox PF, Wallace JM, Morgan S, Lynch CM, Niland EJ, Tobin J. 1996. Acceleration of cheese ripening. *Antonie Van Leeuwenhoek* 70:271-297.
 17. Gan HH, Yan B, Linforth RST, Fisk ID. 2016. Development and validation of an APCI-MS/GC-MS approach for the classification and prediction of Cheddar cheese maturity. *Food Chem* 190:442-447.
 18. Hassan FAM, El-Gawad MA, Enab A. 2013. Flavour compounds in cheese. *J Acad Res Part A* 4:169-181.
 19. Huppertz T, Fox PF, Kelly AL. 2004. High pressure-induced denaturation of α -lactalbumin and β -lactoglobulin in bovine milk and whey: A possible mechanism. *J Dairy Res* 71:489-495.
 20. Katsiari MC, Voutsinas LP, Kondyli E. 2002. Improvement of sensory quality of low-fat Kefalograviera-type cheese with commercial adjunct cultures. *Int Dairy J* 12:757-764.
 21. Khattab AR, Guirguis HA, Tawfik SM, Farag MA. 2019. Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. *Trend Food Sci Technol*

- 88:343-360.
22. Kheadr EE, Vuillemand JC, El-Deeb SA. 2002. Acceleration of Cheddar cheese lipolysis by using liposome-entrapped lipases. *J Food Sci* 67:485-492.
 23. Klein, N, Lortal, S. 1999. Attenuated starters: An efficient means to influence cheese ripening - A review. *Int Dairy J* 9:751-762.
 24. Kolakowski P, Reys ABA. 1998. Characteristics of pressurized ripened cheeses. *Pol J Food Nutr Sci* 7:473-483.
 25. Laubsher PJ, Viljoen BC. 1999. The resistance of dairy yeasts against commercially available cleaning compounds and sanitizers. *Food Technol Biotechnol* 37:281-286.
 26. Lee BH, Laleye LC, Simard RE, Holley RA, Emmons DB, Giroux RN. 1990. Influence of homofermentative lactobacilli on physicochemical and sensory properties of Cheddar cheese. *J Food Sci* 55:386-390.
 27. Lynch CM, McSweeney PLH, Fox PF, Cogan TM, Drinan FD. 1997. Contribution of starter lactococci and non-starter lactobacilli to proteolysis in Cheddar cheese with a controlled microflora. *Le Lait* 77:441-459.
 28. Madkor SA, Tong PS, El Soda M. 2000. Ripening of Cheddar cheese with added attenuated adjunct cultures of lactobacilli. *J Dairy Sci* 83:1684-1691.
 29. McSweeney PLH. 2011. Cheese: Biochemistry of cheese ripening. *Encyclopedia of dairy sciences*. 2nd ed. pp 667-674.
 30. McSweeney PLH, Ottogalli G, Fox PF. 2004. Diversity of cheese varieties: An overview. In *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, pp 1-23.
 31. Melchiorson RC, Jokumsen VK, Villadsen J, Israelsen H, Arnau J. 2002. The level of pyruvate-formate lyase controls the shift from homolactic to mixed-acid product formation in *Lactococcus lactis*. *Appl Microbiol Biotechnol* 58:338-344.
 32. O'Reilly CE, Kelly AL, Murphy PM, Beresford TP. 2001. High pressure treatment: Applications in cheese manufacture and ripening. *Trend Food Sci Technol* 12:51-59.
 33. Price EJ, Linforth RST, Dodd CER, Phillips CA, Hewson L, Hort J, Gkatzionis K. 2014. Study of the influence of yeast inoculum concentration (*Yarrowia lipolytica* and *Kluyveromyces lactis*) on blue cheese aroma development using microbiological models. *Food Chem* 145:464-472.
 34. Raksakulthai R, Rosenberg M, Haard NF. 2002. Accelerated cheddar cheese ripening with an aminopeptidase fraction from squid hepatopancreas. *J Food Sci* 67:923-928.
 35. Rani S, Jagtap S. 2018. Acceleration of Swiss cheese ripening by microbial lipase without affecting its quality characteristics. *J Food Sci Technol* 56:1-10.
 36. Rodríguez J, Requena T, Goudéranche H, Maubois JL, Juárez M. 1996. Accelerated ripening of reduced fat semi-hard cheese from a mixture of cow's, goat's and ewe's ultrafiltrated milk by using a Lac- Prt- strain of lactococci. *Le Lait* 76:513-522.
 37. Roostita R, Fleet GH. 1996. The occurrence and growth of yeasts in Camembert and Blue-veined cheeses. *Int J Food Microbiol* 28:393-404.
 38. Saldo J, McSweeney PLH, Sendra E, Kelly AL, Guamis B. 2002. Proteolysis in caprine milk cheese treated by

- high pressure to accelerate cheese ripening. *Int Dairy J* 12:35-44.
39. Sharma R, Chisti Y, Banerjee UC. 2001. Production, purification, characterization, and applications of lipases. *Biotechnol Advan* 19:627-662.
 40. Sihufe GA, Zorrilla SE, Perotti MC, Wolf IV, Zalazar CA, Sabbag NG, Costa SC, Rubiolo AC. 2010a. Acceleration of cheese ripening at elevated temperature. An estimation of the optimal ripening time of a traditional Argentinean hard cheese. *Food Chem* 119:101-107.
 41. Sihufe GA, Zorrilla SE, Sabbag NG, Costa SC, Rubiolo AC. 2010b. The influence of ripening temperature on the sensory characteristics of reggianito Argentino cheese. *J Sensory Stud* 25:94-107.
 42. Steele J, Broadbent J, Kok J. 2013. Perspectives on the contribution of lactic acid bacteria to cheese flavor development. *Curr Opin Biotechnol* 24:135-141.
 43. Stratton JE, Hutkins RW, Taylor SL. 1991. Biogenic amines in cheese and other fermented foods: A review. *J Food Prot* 54:460-470.
 44. Tungjaroenchai W, Drake MA, White CH. 2001. Influence of adjunct cultures on ripening of reduced fat Edam cheeses. *J Dairy Sci* 84:2117-2124.
 45. Viljoen BC, Knox AM, De Jager PH, Lourens-Hattingh A. 2003. Development of yeast populations during processing and ripening of blue veined cheese. *Food Technol Biotechnol* 41:291-297.
 46. Wilkinson MG, Doolan IA, Kilcawley KN. 2011. Cheese: Enzyme-modified cheese. In *Encyclopedia of dairy sciences*. 2nd ed. pp 799-804.