



기능성 향상 치즈 개발 연구

안성일 · 최경훈 · 곽해수*

세종대학교 식품공학과

Development of Functionality in Cheese

Sung-Il Ahn, Kyung-Hoon Choi and Hae-Soo Kwak*

Dept. of Food Science and Technology, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

ABSTRACT

Cheese is a nutritious food with various balanced nutrients, such as proteins, peptides, amino acids, fats, fatty acids, vitamins and minerals. Domestic cheese varieties and quality need to be improved to prevent imported cheese. To develop those cheeses, search for previous works and research for new products are needed. In cheese ripening of hard cheese, such as Cheddar or Parmesan cheese, is ripened for 2 to 24 months at 2 to 16°C to develop desired cheese flavor and body characteristics. Long time with low temperature to ripen the cheese requires high expenses. So accelerated cheese ripening is a good potential for saving in industry. Methods for acceleration of cheese ripening are temperature control, addition of bacteria or enzymes. To develop the functionality of cheese, addition of microencapsulated various probiotics and nutrients, such as iron, removal of cholesterol by crosslinked β -cyclodextrin, lowering blood cholesterol and serum glucose by nanopowdered functional materials et al. are necessary. Therefore, this review focused on the functionality of cheese, such as the acceleration of cheese ripening, microencapsulated probiotics and iron, and cholesterol removal.

Keywords : cheese, functionality, accelerated ripening, probiotics, cholesterol removal

서 론

치즈의 제조는 오랜 시간을 거치면서 그 종류가 무려 2,000여 종에 달하고 있지만, 국제낙농연맹(IDF)에 의하면 510여 종이, 미국에서는 300여 종이, 그리고 프랑스에서는 400여 종의 치즈가 상업적으로 소비되고 있다. 치즈의 형태는 여러 요인에 의하여 결정되는데, 예를 들면, 다양한 종류의 가속으로부터 착유된 우유, 스타터 미생물, 치즈의 응고제, 커드의 온도, 치즈 크기, 압착, 숙성 등에 따라 구분되며, 우리나라에서는 수분과 지방 함량에 따라서 경성, 반경성, 연성 및 생치즈로 분류된다.

치즈의 생산비를 경감하기 위하여 주로 경성이나 반경성

치즈의 숙성 기간을 단축시키려는 연구가 오래 전부터 수행되었다. 이를 위한 방법으로는 다양한 효소를 첨가하여 카제인의 분해를 가속화시킬 수 있으며(Babel와 Hammer, 1945), 숙성 온도를 조절하는 방법(Freeman, 1959), 그리고 미생물을 첨가함으로써(Kim 등, 2008) 미생물이 가지고 있는 효소를 간접적으로 이용하는 방법 등을 들 수 있다. 최근에는 사용하는 효소를 미세캡슐화(Kailasapathy과 Lam, 2005)하여 숙성을 촉진시키면서 치즈의 품질을 유지하는 기술이 발전되었다. 위에서 제시한 여러 요인들을 복합적으로 사용함으로써 치즈의 숙성 촉진의 효과를 극대화할 수 있다.

또한 기능성 치즈를 개발하기 위하여 프로바이오틱스(probiotics)를 첨가하는데, 이때도 미세캡슐화한 프로바이오틱스를 다양하게 적용하여 치즈의 기능을 향상시킬 수 있으며(Özer et al., 2008; Zomorodi et al., 2011), 치즈에 미량 함유된 철분을 강화하기 위하여 미세캡슐기술(Kwak 등, 2003)을

* Corresponding author: Hae-Soo Kwak, Dept. of Food Science and Technology, Sejong University, Seoul 143-747, Korea. Tel: +82-2-3408-3226, Fax: +82-2-3408-4319, E-mail: kwakhs@sejong.ac.kr

적용함으로써 치즈의 품질을 유지하면서 철분의 생체 이용률을 향상시킬 수 있다. 그리고 기능성 치즈를 개발하기 위한 기술로써 콜레스테롤을 제거하고(Bae 등, 2009; Kim 등, 2008), 더 나아가 혈중 콜레스테롤(Kim 등, 2006; Kwak 등, 2005)과 혈당을 저하시키며, 체중 조절 등도 가능한 치즈를 개발하여 국내 치즈 산업의 발전과 국외 치즈 수입의 억제에 기여할 수 있을 것이다.

우리나라 우유 생산량이 2002년을 정점으로 2,536,648톤에서 매년 감소하여 2009년에는 2,109,732톤에 이르렀다. 또한 시유와 요구르트의 소비는 증가를 멈추고 있는 현실인데(한국유가공협회 통계자료, 2011), 다행인 것은 치즈의 소비가 매년 증가하여 유가공 산업의 미래가 보인다. 2009년도 치즈의 소비는 64,526톤으로 대폭 증가하였다. 그런데 국내 치즈의 생산은 오히려 감소 추세이며, 수입 치즈가 크게 증가되는 경향을 보이고 있다(한국유가공협회 통계자료, 2011). 이와 같은 현상은 우리나라의 유가공 산업 발전에 영향을 주지 못하고 있는 안타까운 현실인데, 더구나 최근에 우리나라와 유럽의 FTA가 발효되어 치즈 수입은 가속화 될 조짐을 보이고 있다. 이에 대비하는 방법은 국가적, 정부적, 사회적, 기술적, 소비 성향적으로 다양하겠지만, 유가공분야에서는 과학과 기술의 중요성에 대하여 더 관심을 가져야 할 것이다. 그래서 지금까지 국내외에서 치즈의 발전을 위하여 연구 개발된 결과들을 비록 부분적이지만, 정리하여 알아보는 것이 가치가 있다고 사료되어, 본 논문에서는 치즈의 숙성 촉진, 프로바이오틱스의 치즈에 적용, 영양분의 강화, 그리고 콜레스테롤의 제거 등에 관하여 다루어 보고자 한다.

치즈의 숙성 촉진

치즈의 숙성은 경질치즈의 경우에는 6개월에서 2년 정도의 기간을 요하는데, 이는 각 치즈의 독특한 향미와 조직감을 향상시키는데 매우 중요하다(Kailasapathy와 Lam, 2005). 그러나 오랜 기간 동안의 치즈 숙성은 상당한 비용과 인력을 소모한다(Gripont *et al.*, 1991; Fox, 1993; Law, 1987). 따라서, 주로 다양한 효소를 첨가하고 또 숙성 온도를 조절하여 숙성 기간을 단축시키기 위한 연구가 오랫동안 시도되어 왔다.

1. 효소

치즈 숙성 촉진은 일찍이 1940년대 초반에 보고되었는데, Babel과 Hammer(1945)는 소량의 rennet paste를 살균한 우유에 첨가하는 것은 지방산화도와 숙성된 Cheddar 치즈의 우수한 향미를 생성한다고 보고하였다. Scott(1986)는 치즈 제조 시 우유, 응유효소, 스타터 미생물이 효소의 작용에 의하여 치즈가 숙성된다고 하였다(Fig. 1). 치즈의 숙성을 촉진

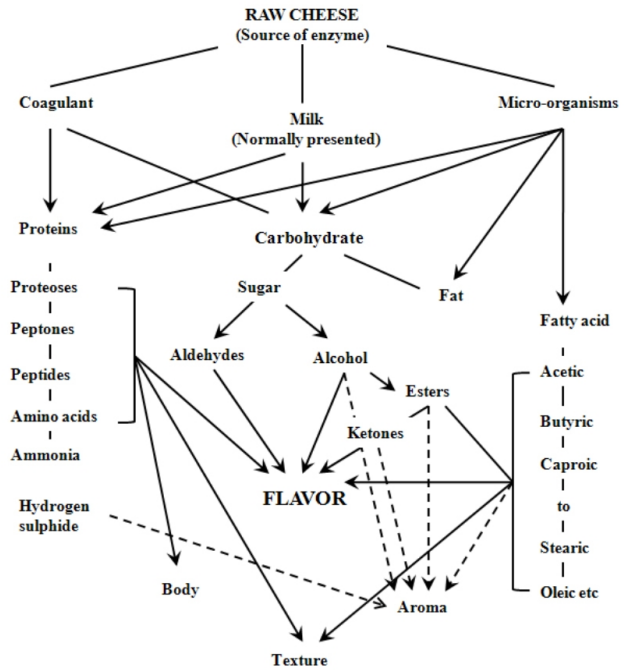


Fig. 1. Diagram showing the ripening of cheese through enzymatic activity (Scott *et al.*, 1986).

시키기 위하여 효소를 치즈우유에 직접 첨가하는 방법은 유청으로 효소가 소실되고, 효소의 분포도가 낮고, 치즈의 수율과 품질이 저하되는 결점이 있는데, 효소를 미세캡슐화하면 이러한 문제점을 해결할 수 있다. Magee와 Olson(1981a; 1981b), Magee 등(1981)은 유지방을 코팅물질로 사용하여 수용성 단백질 및 glucose 기질을 미세캡슐화 하였는데, 수율은 80~90%를 나타내었다. 제조된 미세캡슐은 유지방이 3~4%일 때, 그리고 유화제로 사용된 span60과 glycomul TS의 비율이 1:1~1:3일 때 최고의 안정성을 나타내었다. 또한 미세캡슐의 안정성 감소는 유화제 농도의 상호작용에 의해 영향을 받는다고 보고하였다. 최근에는 Kailasapathy와 Lam(2005)이 gellan, κ -carrageenan 그리고 유지방으로 Cheddar 치즈의 숙성을 촉진시키기 위하여 flavourzyme이라는 효소를 미세캡슐화 하였는데, 수율은 55.6%로 비교적 낮으나, 효소를 미세캡슐화하여 첨가한 치즈는 활력을 유지하여 단백질분해가 증가되었으며, 관능적, 물성학적 특성에서 대조군과 비교하여 유의적 차이가 없었다($p < 0.05$)고 보고하였다.

2. 온도

치즈 제조업자들은 치즈의 제조와 숙성 기간에 온도를 조절하는데, 온도는 미생물의 세대시간(generation time)에 영향을 미친다. 예를 들어, *Escherichia coli*의 경우 세대시간을 25°C에서 75분, 이것을 37°C에서 20분으로 단축시킬 수

있다. *L. herveticus*는 40°C에서 75분, *S. thermophilus*는 40°C에서 57분 가량 걸린다. 치즈 제조업자들은 치즈 저장시 높은 온도(18°C)는 숙성 과정을 촉진시키지만, 치즈를 5°C에 저장하지 않으면 품질이 저하된다는 것을 잘 알고 있다. Freeman(1959)은 Cheddar 치즈를 15°C에서 4~6주간 숙성하고, 그 후에는 5°C로 떨어뜨려야 한다고 했다. Aston 등(1985)은 32주간 품질의 저하가 없이 치즈를 숙성할 수 있는 온도는 15°C임을 관찰하였다. 그러나, 보다 높은 온도에서의 치즈 숙성은 clostridia와 같은 독성물질을 생성하는 미생물이 생장할 우려가 있다.

3. 박테리아

Cheddar 치즈의 주요한 박테리아는 streptococci, enterococci, lactobacilli, micrococci, 그리고 coliform 박테리아 등이다. *S. lactis*, *S. cremoris*를 포함하는 유산균 starter들은 Cheddar 치즈의 제조에 예외 없이 사용되며, 특정 조건하에서는 enterococci, *S. durans* 또는 *S. faecalis* 등도 사용된다. Starter로써 치즈우유에 1% 수준으로 사용될 때, streptococci는 10°C에서 2~3일 동안 young cheese에서 5×10^9 cfu/g의 최고치를 이룬다. 그리고, 4주 동안에 대략 2×10^8 cfu/g로 감소한다. 마찬가지로 enterococci가 1% 수준으로 사용될 때, 24시간 동안 1×10^{10} cfu/g으로 최고치에 이른다. 이 수치는 10°C에서 6개월 동안 일정하게 유지되며 12개월에 Cheddar 치즈 1 g에서 5×10^8 cfu/g로 점차 감소한다. *S. lactis*와 *S. cremoris*는 *S. durans*와 *S. faecalis*보다 카제인의 단백분해작용이 더 효과적이다. 그러나, 위의 네 종류의 균주는 모두 치즈 숙성과 향미 생성에 긍정적으로 작용한다.

보다 좋은 치즈 숙성 촉진을 위해서, DNA 재조합 기술을 포함한 유전공학기술의 적용, 치즈 숙성에 사용되는 미생물은 숙성 효율, 향미, 조직, 영양가 또는 최종 제품의 외관을 향상시킬 수 있다. 유단백질 분해는 치즈 숙성에 관여하고, 몇몇 효소는 plasmid DNA와 연관되어 있으므로, 여러 다른 효소들을 위한 유전자는 균주 간에 변환될 수 있으며, 그들의 활성도 유전공학기술을 이용하여 조절할 수 있다.

4. 가교화 β -cyclodextrin에 의한 숙성 촉진

본 연구실에서는 경질치즈인 Cheddar 치즈의 콜레스테롤을 제거하기 위하여 가교화 β -cyclodextrin (β -CD)을 이용하여 91~92%의 콜레스테롤을 제거하였다(Seon 등, 2009). 이 치즈를 5°C에서 9주 동안 숙성시키면서 숙성 촉진 상태를 관찰하였는데, 놀랍게도 이 치즈의 숙성도는 치즈의 조직과 관능적 품질을 유지하면서 매우 높았다. β -CD로 처리하여 9주 동안 숙성시킨 Cheddar 치즈와 8개월간 숙성시킨 일반 Cheddar 치즈의 저급지방산이 각각 108.9, 98.6 ppm, 유리아

미노산의 함량이 각각 105.6, 101.7 μ mol/g으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다($p < 0.05$). 그래서 실험군과 대조군 치즈의 숙성 정도가 동일하여 콜레스테롤을 제거한 치즈의 숙성이 3.6배 촉진된 것으로 관찰되었다. 그러나, 이와 같은 숙성 촉진이 어떻게 진행되었는지에 관한 사항은 규명이 필요하다. 그런데, 숙성 촉진은 사용한 β -CD가 함유한 효소에 의한 것인지, 또는 β -CD 자체에 의한 것인지는 현재 미지의 사항이다. 본 연구실에서는 또한 반경질치즈인 Gouda 치즈의 콜레스테롤 제거에 관한 연구에서는 Cheddar 치즈에서 발생한 숙성 촉진이 관찰되지 않았으며, 반경질치즈인 Gouda 치즈(Jung 등, 2011), 연질치즈인 크림치즈(Han 등, 2008), Feta 치즈(Bae 등, 2009), Mozzarella 치즈(Kwak 등, 2001) 등에서도 숙성 중 촉진 현상은 나타나지 않았다. 치즈의 숙성 촉진에 관한 연구는 계속되고 있지만 일반 숙성한 치즈에서와 동일한 맛, 향미, 조직 등을 유지하는 결과는 아직 제한적이다.

프로바이오틱스의 미세캡슐화

프로바이오틱스(probiotics)는 충분한 양을 섭취하였을 때 건강에 도움이 되는 살아있는 균을 말하며, 프로바이오틱스의 건강상 이점은 유당불내증 개선, 선천성 면역 강화, 결장암 예방, 콜레스테롤 및 혈압 강하 등 다양하다. 그럼에도 불구하고 프로바이오틱스가 체내에서 효과를 나타내기 위해서는 섭취 시 프로바이오틱스가 식품 내 10^7 cfu/g 이상을 함유하고 있어야 하기 때문에(Playne *et al.*, 2003; Phillips *et al.*, 2006) 섭취 시 주의가 필요하다. 프로바이오틱스로 가장 널리 쓰여지는 미생물로는 비피더스균과 락토바실러스균이 있으며, 비피더스균은 혐기성 그람양성균으로 pH 4.5~8.5에서 성장이 양호한 특성이 있다. 락토바실러스균 역시 혐기성 그람양성균이지만, 비피더스균에 비해 보다 넓은 범위의 조건에서도 잘 자란다. 위와 같이 프로바이오틱스는 생육 조건이 까다롭기 때문에 식품에 적용, 운반, 저장, 섭취하는 동안에 손실이 생기기 쉽다. 그러므로 프로바이오틱스의 손실 없이 식품을 섭취하고 사람의 장내로 도달하게 하기 위하여 산도, 산소 함량, 젖산과 아세트산의 농도 등의 프로바이오틱스의 생육조건을 알맞게 유지해야 한다.

프로바이오틱스를 섭취하기 좋은 식품으로 발효유, 치즈 등의 유제품이 알려져 있으며, 그 중에 치즈는 발효유와 비교하여 높은 pH, 지방 함량, 영양소 이용률을 갖고, 낮은 산소 함량과 치밀한 구조를 갖기 때문에 프로바이오틱스를 적용하기에 좋은 조건을 갖춘 식품이다. 게다가 치즈는 그 종류가 다양하고, 장기간 저장이 가능할 뿐더러, 영양적 가치가 우수하기 때문에, 최근에 높아지는 프로바이오틱스의 관심과 더불어 프로바이오틱 치즈의 판매가 날로 증가하고 있

다. 그러나 치즈 제조 시에 소금을 첨가하는 과정에서 미생물의 감소가 발생하며(Yilmaztekin *et al.*, 2004), 특히 치즈 내 소금 농도가 4% 이상이 되면 생균수가 급격히 떨어지게 되는 문제점이 있다(Gobbetti *et al.*, 1998). 치즈 내에 생균수가 10^7 cfu/g 이하로 떨어지면 인체 내에서 효과가 미비하므로 프로바이오틱스를 섭취 시까지 생균수를 유지시키는 노력이 필요하다. 또 치즈는 숙성 기간 동안에 미생물이 대사 산물을 만들어내고, 이로 인한 생화학적인 변화는 치즈 내부의 pH, 수분활성도를 감소시켜 프로바이오틱스의 발육을 저해하게 된다. 섭취 시에도 프로바이오틱스의 감소가 일어나는데, 사람의 위장 내(공복시) pH는 1~2 정도로 강산이며, *Bifidobacterium* spp.는 특이적으로 사람의 위장 내에서 급격히 감소하게 된다(Lankaputhra *et al.*, 1995; Özer *et al.*, 2009). 위에서 언급한 모든 문제점을 효과적으로 해결하기 위한 대안으로 미세캡슐화가 대두되고 있다.

프로바이오틱스의 미세캡슐에 이용되는 피복물질로는 카파-카라기난, 알긴산, 셀룰로스 유도체, 아라비아검, 젤란검 등 다당류가 주를 이루며, 그 중 알긴산은 값이 싸며 다루기 용이할 뿐만 아니라 생체 적합성이 우수하고, 특히 알긴산을 이용한 미세캡슐(Fig. 2)은 프로바이오틱스를 높은 수준으로 유지한다고 알려졌다(Krasaekoopt *et al.*, 2003). 숙성 기간이 비교적 짧은 연질치즈는 대부분 조직이 단단하지 못하여 외부환경에 민감하게 반응하고, 또 일부 연질치즈는 고

농도의 소금물에 저장되기 때문에 이에 따른 프로바이오틱스의 감소가 생긴다. 반면에 장기간 저장 가능한 치즈는 조직이 견고하여 산소가 비교적 잘 차단되어 혐기적 미생물인 프로바이오틱스에 알맞은 환경이지만 장기간 숙성되면서 발생하는 생화학적 변화로 인해 프로바이오틱스의 손실이 생긴다.

Özer 등(2008)은 alginate를 피복물질로 *B. bifidum* BB-12와 *L. acidophilus* LA-5를 미세캡슐화하고 연질치즈(white-brined 치즈)에 적용하였는데, 프로바이오틱스들이 90일 후에도 10^7 cfu/g 이상 유지되어 미세캡슐화를 통하여 프로바이오틱스가 보호되는 것을 관찰하였다. 또한 이 치즈는 고농도의 소금물(12%)에서 90일간 저장하였음에도 불구하고 높은 생균률을 보여 염에 약하다고 알려진 프로바이오틱스를 보호하는데 미세캡슐화 기술은 효과적인 것으로 사료된다. 비교적 숙성 기간이 짧은 연질 치즈인 Iranian white 치즈에서도 미세캡슐화를 통하여 프로바이오틱스(*L. casei* ATCC 39392, *L. plantarum* ATCC 8014, *B. bifidum* ATCC 29521)의 생균률을 10^7 cfu/g 이상으로 유지되었고(Zomorodi *et al.*, 2011), 치즈의 화학조성도 바뀌지 않아 프로바이오틱스의 미세캡슐화는 프로바이오틱스를 첨가한 기능성 치즈의 개발에 기여할 것으로 보인다. 반면에 Kailasapathy 등(2005)은 Ca-induced alginate-starch로 *L. acidophilus* DD 910과 *B. lactis* DD 920를 미세캡슐화하여 Feta 치즈에 적용하여 50일 후에 미생물수의 변화를 관찰하였는데, Özer 등(2008)과 Zomorodi 등(2011)의 결과와는 대조적이었다. 이 치즈에 첨가된 프로바이오틱스의 생균률이 10^3 cfu/g 만큼 감소하였으며, 또한 미세캡슐화 하지 않은 것보다 많은 감소가 나타났다. 그렇지만 프로바이오틱스가 생산하는 exopolysaccharide라는 대사물질은 보수력을 증가시켜 조직을 연하게 해주고, 특히 프로바이오틱스를 일부 보호하는 효과가 관찰되었다(Kailasapathy *et al.*, 2005). Feta 치즈가 연질치즈로 조직이 단단하지 않기 때문에 치즈 제조와 저장 과정 중에 프로바이오틱스의 손실이 많고, 산소 등의 외부 영향이 크며, 저장 소금물의 농도가 7.3~8.4%로 매우 높아서 캡슐이 파괴된 것으로 관찰되었다. 그러나 Feta 치즈가 이와 유사한 white-brined 치즈에서와 상반되는 성향이 나타난 것은 프로바이오틱스 균 종 선택에 의한 것으로 소금물에 저장하는 치즈, 염도가 높은 치즈에 미세캡슐이 적용될 때 균 종 선택이 무엇보다 중요한 것으로 사료된다.

Phillips 등(2006)은 Cheddar 치즈에 프로바이오틱스(*L. acidophilus*, *Bifidobacterium* spp., *L. casei*, *L. paracasei*, *L. rhamnosus*)를 첨가하였는데, 32주간 저장하는 동안 *L. acidophilus*를 제외한 나머지 프로바이오틱스는 10^7 cfu/g 수준 이상으로 유지된 반면, *L. acidophilus*는 특이적으로 큰 폭 감소가 관찰되었다. Godward 등(2003)의 연구에서는 Cheddar 치즈에 미

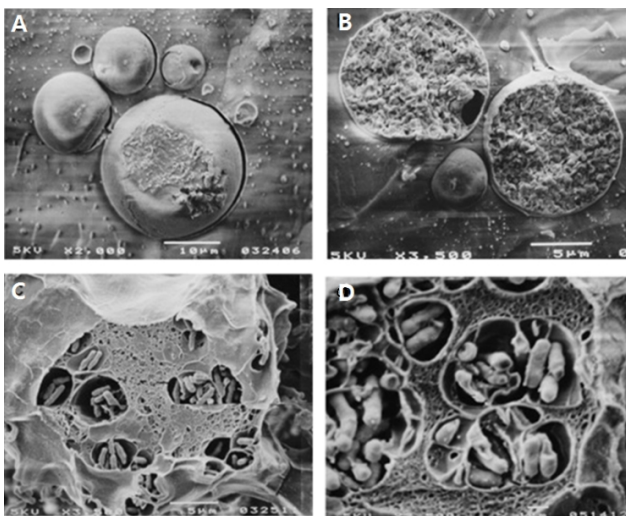


Fig. 2. Cold-stage scanning electron microscopy (cryo-SEM) of calcium alginate microcapsules. (A) Microcapsules without bacteria. (B) Fractured microcapsules without bacteria. An air pocket (dark area) is visible. (C) Fractured microcapsule loaded with bacteria. (D) Higher magnification view of microencapsulated bacteria. Magnification is indicated individually on data bar at the bottom of micrograph (Wojtas *et al.*, 2008).

세캡슐 프로바이오틱스를 첨가하여 위와 유사한 조건에서 생균수의 변화를 살펴보았는데, *L. acidophilus*는 생균수의 감소가 나타나지 않았으나, *Bifidobacterium* spp.은 모두 감소하였다. 그래서, 미세캡슐화를 통하여 Cheddar 치즈에서 *L. acidophilus*가 보호되어 진 것으로 관찰되었고, *Bifidobacterium* spp.의 감소는 프로바이오틱스가 생산하는 대사물질로 인한 것으로 Cheddar 치즈는 숙성 기간이 비교적 길어 숙성이 진행되는 동안 캡슐 내부가 프로바이오틱스가 생산한 생육 저해 대사산물이 증가되면서 생균수를 저하시킨 것으로 관찰되었다. 반경질 치즈인 Kasar 치즈에서 역시 alginate 미세캡슐이 프로바이오틱스를 효과적으로 보호하였는데, *L. acidophilus* LA-5와 *B. bifidum* BB-12를 알긴산나트륨 수용액에 2가 양이온인 염화칼슘을 첨가하여 미세캡슐화한 후 이 치즈에 첨가하여 90일 동안 생균률이 높은 수준 유지되었다(Ozer *et al.*, 2008). Kasar 치즈의 경우 scalding이라는 열처리(50~52°C)를 1~2분 동안 실시하는데, 이 과정에서 가열로 인한 프로바이오틱스의 손실도 미세캡슐화하여 줄일 수 있다. 위의 연구들에서 프로바이오틱스의 미세캡슐화를 다양한 치즈에 적용하여 저장기간에 생균률을 유지할 수 있으므로, 프로바이오틱스를 미세캡슐화하여 기능성 치즈의 개발이 가능할 것으로 사료된다.

철분의 미세캡슐

철분은 생체 내에서 이루어지는 거의 모든 대사에 필수적인 성분으로, 호흡계 내에서 산소와 탄산가스 운반, 효소의 성분, 면역, 감염 및 인지능력의 관계 등 매우 중요한 역할을 한다(Dallan, 1987; Pollitt *et al.*, 1986). 우유는 거의 모든 영양소를 골고루 함유하고 있지만, 다른 영양소에 비하여 철분함량이 평균 0.53 mg/kg으로 매우 부족하다. 또한 이러한 우유를 원료로 하여 만드는 치즈는 칼슘과 단백질의 훌륭한 공급원임에도 불구하고, 철분 함량은 Cheddar 치즈의 경우 8 mg/kg으로 매우 낮다(Blanc, 1981; Flynn, 1992). 치즈는 전세계적으로 가장 널리 소비되고 있고, 소비자의 요구가 날로 증가하는 유제품이므로, 치즈의 철분 강화는 부족한 철분을 보충하는데 효과적이라고 할 수 있다.

그러나 철분 강화에 대한 연구에서 가장 크게 대두된 문제점은 철분의 화학적 특성으로 인한 제품의 품질 저하이다. 철분을 직접 식품에 첨가하면 철분의 화학적 특성, 즉 철분은 transition metal로서 ferrous와 ferric 상태로 전환되면서, 산화 환원반응에서 촉매 역할을 할 수 있고, 식품에 첨가할 경우 지방산화를 촉진하여 색의 변화와 이취를 유발할 수 있으며, 지방산화 결과 제품의 품질을 저하시키고, 인체에 해로운 성분 등이 생성될 수도 있다(Kim, 1999). 특히 우유

및 유제품에 철분을 강화할 경우, 식이철분량을 증가시킬 수 있지만, 철분이 유지방을 산화시켜 이취, 이미 및 색 변화를 야기할 수 있고, 다른 영양소의 손실을 초래하여 품질과 기호성에 영향을 미칠 수 있다(Kim 등, 1999). 우유 및 유제품의 철분 강화에 대한 연구는 치즈의 철분 강화, 요구르트의 철분 강화, 우유의 철분 강화 등이 보고되었으나, 대부분 물리화학적 변화, 이미 이취의 발생 등이 문제가 되었다. 특히 Mozzarella 치즈에 캡슐화하지 않은 철분을 25~50 mg 첨가하였을 때, metallic flavor, oxidized flavor를 유발하였다고(Wendy, 1988) 보고된 바 있으며, Salder 등(1973)도 Cottage 치즈에 ferric ammonium citrate를 첨가하여 두 달간 저장하였을 때, off-flavor를 유발하였다고 보고하였다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하고 안전하게 철분을 강화하기 위해서는 미세캡슐 기술을 이용하여 철분을 강화하는 것이 바람직하다.

일반적으로 식품에 철분을 강화할 때는 비헴철을 사용하는데, 이 철분의 생체이용률의 범위는 5~10%에 불과하다. 그런데, 미세캡슐화 기술을 이용하면 생체이용률이 30%로 증가하며, 특히 ascorbic acid와 함께 미세캡슐화 할 경우 생체이용률이 40%로 증가되어 헴철의 생체이용률과 동일한 수준으로 향상시킬 수 있다. 본 실험실에서 철분 강화를 위해서 철분(ferric ammonium citrate)과 ascorbic acid의 미세캡슐에서 철분 생체이용률을 측정한 결과, 39%로 나타났다(Lee, 2003). Ascorbic acid가 철분의 생체이용률을 증가시키는 이유는, 산화형인 ferric iron(Fe^{3+})을 환원형인 ferrous iron(Fe^{2+})으로 환원시키는 역할을 하기 때문이다. 우유에 철분을 강화하기 위하여, 본 연구실에서는 polyglycerol monostearate (PGMS)를 피복물질로, 철분(ferric ammonium sulfate)을 core 물질(Fig. 3)로 사용하여 철분미세캡슐을 제조하고, 우유에

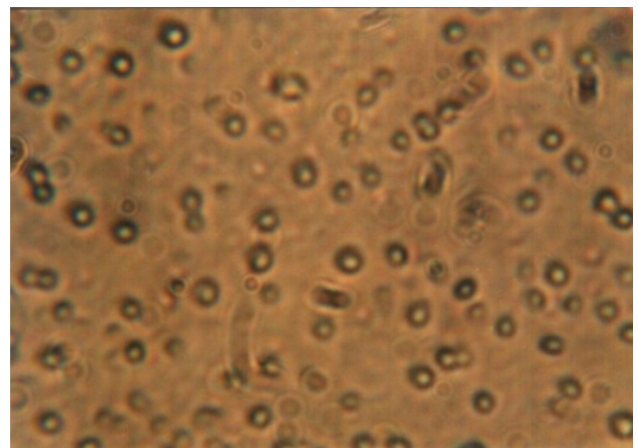


Fig. 3. Iron microencapsulated with ferric ammonium citrate as a core material and polyglycerol monostearate as a coating material (5~10 μ m in diameter) (Kwak *et al.*, 2003).

첨가하여 15일간의 저장기간 중에 철분미세캡슐을 첨가한 군이 지방산화도를 나타내는 TBA가는 대조군에 비해 현저히 낮았으며, pH 변화는 차이가 없었고 관능적인 면에서도 대조군에 비해 우수하였다(Kwak 등, 2003). 그리고, Cheddar 치즈에 철분을 강화하기 위하여, PGMS를 피복물질로 하여 철분(ferric ammonium sulfate)과 ascorbic acid를 각각 미세캡슐화하여 체다 치즈에 첨가하는 연구를 수행하였다(Kwak 등, 2003). 7개월간의 숙성 기간 중에, 지방산화도를 나타내는 TBA가는 미세캡슐을 첨가한 군이 대조군보다 더 낮았고 지방산화가 더 느리게 진행되었으며, 숙성 7개월부터 관능적인 특성에서 금속취(metallic off-flavor)가 유의적으로 높게 관찰되었다($p < 0.05$).

위의 연구결과에서와 같이 단일코팅(water in oil, W/O) 미세캡슐에서는 숙성이 진행되면서 코팅이 일부 깨지는 현상이 있어 금속취를 발생하는 단점이 있다. 또한 단일코팅은 분말화가 용이하지 않아 저장성이 약하다. 이를 보완하는 방법으로 이중코팅(water in oil in water, W/O/W) 기술을 적용하면, 코팅이 더 안정하게 되어 금속취의 발생을 방지할 수 있으며, 저장성도 향상되는 장점이 있다(Adachi *et al.*, 2004). 본 실험실에서 우선 이를 우유에 적용한 실험의 결과, 16일의 저장기간 동안에 TBA가, pH 변화, 전체적인 기호도에서 유의적 차이가 나타나지 않았으며(Lee 등, 2011), 다양한 종류의 치즈에도 적용 가능할 것으로 예상된다. 위와 같은 연구결과들을 비추어 볼 때, 철분이나 다른 기능성 물질을 치즈에 강화 또는 첨가 시 미세캡슐화 기술을 적용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

콜레스테롤 제거와 혈중 콜레스테롤 저하 치즈 개발

최근에 β -cyclodextrin(β -CD)을 이용하여 우유와 유제품에서 90% 이상의 콜레스테롤을 선택적으로 제거하면서 맛, 조직, 영양분 등에서 변화가 없다는 연구가 이루어졌다(Lee 등, 1999; Ahn 등, 1999). 그러나 β -CD는 오직 1회 사용이 가능하므로 소비량이 많아서 산업적으로 이용하기에는 어려운 실정이다. 이와 같은 결점을 보완하기 위하여 개발된 연구 결과가 crosslinked β -CD(X- β CD)이다. 아디핀산(adipic acid)를 가교제로 하여 개발된 X- β CD(Fig. 4)에서도 콜레스테롤 제거가 90% 이상이었으며, 특히 8회 정도의 재활용이 가능하여 산업화에 적용가능성이 높아졌다(Han 등, 2005). 또한 X- β CD를 우유에 적용 시 잔류량은 1.22~3.00 ppm이고, 크림에 적용시는 1.86~6.11 ppm으로 극미량 잔류하므로 안전성에 문제가 없는 것으로 판단되었다(Ha 등, 2010). 그리고 X- β CD를 우유와 유제품에 적용 시 포획되는 영양분의 함

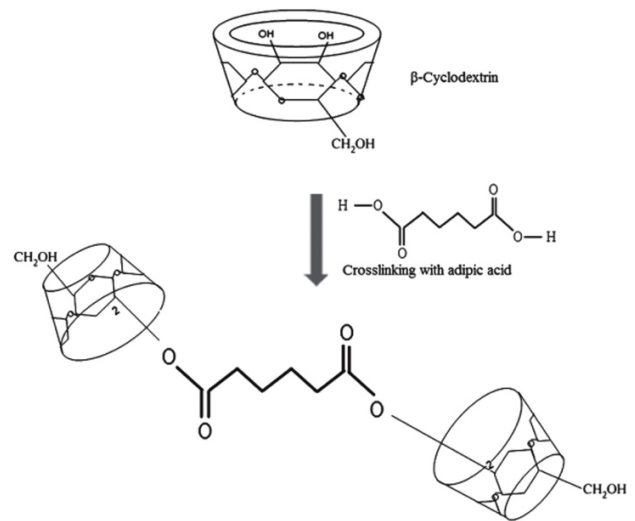


Fig. 4. Structure of crosslinked β -cyclodextrin (Kwak *et al.*, 2010).

량을 측정된 결과, 유당은 우유에서 0.03%, 크림에서 2.74% 소실되었으며, 아미노산은 우유에서 0.39~0.48 $\mu\text{mol/mL}$, 크림에서 0.28~0.391 $\mu\text{mol/mL}$ 그리고 비타민들은 극미량 소실되는 것으로 볼 때, X- β CD로 콜레스테롤 제거시 우유의 영양분 손실은 거의 없다고 사료된다(Ha 등, 2009; Ha 등, 2010).

이와 같이 콜레스테롤을 선택적으로 제거하는 방법을 응용하여 콜레스테롤 제거 치즈를 개발하는 연구를 시도하였는데, 우선 우유에서 분리된 크림(36% 유지방)에 10%의 X- β CD를 첨가하여 콜레스테롤을 90% 이상 제거하고 탈지유에 혼합하여 낮은 압력으로 균질하여 치즈 제조를 위한 원료 우유를 준비하였다. 그리고 다양한 콜레스테롤 제거 치즈, 즉 Blue 치즈(Kim 등, 2008), Camembert 치즈(Bae 등, 2008), Mozzarella 치즈(Kwak 등, 2001), Cheddar 치즈(Kwak 등, 2002), Feta 치즈(Bae 등, 2009)를 제조하였는데, 크림치즈 제조에는 우유에 유지방이 11% 되도록 첨가하여 균질 후에 X- β CD를 첨가하여 콜레스테롤을 제거하는 방법으로 가능하였다(Han 등, 2008). 이렇게 제조된 모든 치즈들의 숙성, 조직, 관능적 특성 등에서 기존 치즈들과 동일한 품질을 유지하는 것으로 나타났다. 또한 Cheddar 치즈 제조에서는 콜레스테롤 제거시 숙성이 촉진되는 현상도 동시에 발견되어 5주간 숙성한 실험 치즈와 4개월 숙성한 일반 Cheddar 치즈가 거의 동일하게 숙성된 치즈가 되는 결과가 나타났다(Seon 등, 2009). 그래서 이렇게 숙성이 촉진된 콜레스테롤 제거 Cheddar 치즈(50% 3주, 2% 6주, 30% 9주 숙성)를 콜레스테롤이 제거된 버터를 10% 이용하여 콜레스테롤이 90% 이상 제거된 가공치즈를 제조하였다(Kim 등, 2008).

이와 같이 콜레스테롤을 제거한 다양한 치즈의 개발이

가능하였으며, 이 치즈를 이용하여 혈중 콜레스테롤을 저하하는 기능성 치즈의 개발도 시도하였다. 혈중 콜레스테롤 저하 기능성물질인 달맞이꽃 종자유를 Cheddar 치즈에 첨가하여 동물 실험한 결과, 대조군 치즈는 총 혈중 콜레스테롤이 153.4에서 165.8 mg/dL로 증가하는 반면, 실험군 치즈에서는 184.0에서 137.1 mg/dL로 대폭 감소하는 결과가 관찰되었다(Kim 등, 2006). 그리고 phytosterol ester를 첨가한 실험에서도 유사한 결과가 나왔다(Kwak 등, 2005).

위에서와 같이 콜레스테롤을 제거하고 혈중 콜레스테롤까지 감소시킬 수 있는 기능성 치즈를 산업적으로 생산 가능하도록 개발되어서, 국내 치즈 산업이 FTA 협상 때문에 위협한 것을 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 발전 방향

우리나라의 미래 유가공 산업발전의 중요한 분야는 치즈산업으로 기대된다. 그래서 낙농 선진국의 치즈 품질과 차별화 하는 기술은 우선, 우리나라 고유의 치즈를 개발하고, 더 나아가 기능성을 부여한 치즈로 발전시키는 것이다. 기능성 물질을 치즈에 첨가 시 나노입자화 하여 기능성의 생체 이용률을 극대화하는 연구의 결과, 상업적으로 이용되는 탄산칼슘이나 이온칼슘보다 나노칼슘(굴껍질)이 동물 실험에서 폐경기 여성의 골다공증 치유가 거의 가능한 결과를 얻었다(Park 등, 2007). 또한 나노키토산(500~600nm)의 동물실험에서는 총 혈중 콜레스테롤이 46.6%나 저하되어 일반분말 키토산에서 18.6% 저하에서 보다 2.5배 차이를 보였다(Park 등, 2010).

이와 같이 다양한 기능성물질을 나노입자화하여 치즈에 첨가하면 기능이 대폭 증가되는 기능성 치즈가 개발될 수 있다. 그리고 수용성인 기능성물질의 경우에는 미세캡슐 기술을 적용 가능한데, 기존에 사용되던 W/O보다 W/O/W 캡슐 방법을 사용하면 치즈에 적용이 효과적일 것으로 기대된다. W/O/W로 캡슐화한 것을 분말화하면 안정성이 향상되어 저장기간을 연장할 수 있고, 치즈에 첨가하여 숙성 기간에 치즈 숙성에 효과가 있을 수 있으며, 이 치즈를 섭취하여 기능성의 생체 이용률을 증대시킬 수 있을 것이다. 이외에도 다양한 기술을 적용시켜 치즈의 발전이 지속적으로 이루어져 낙농산업 발전에 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 Brain Korea 21사업의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Adachi, S., Imaoka, H., Ashida, H., Maeda, H. and Matsuno, R. 2004. Preparation of microencapsules of W/O/W emulsions containing a polysaccharide in the outer aqueous phase by spray-drying. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 106:225-231.
2. Ahn, J. and Kwak, H. S. 1999. Optimizing cholesterol removal in cream using β -cyclodextrin and response surface methodology. *J. Food Sci.* 64:629-632.
3. Allan-Wojtas, P., Truelstrup Hansen, L., Paulsonrram, A. T., Mortazavi, S. A., Habibi Najafi, M. B. and Shahidi, F. 2008. Microstructural studies of probiotic bacteria-loaded alginate microcapsules using standard electron microscopy techniques and anhydrous fixation. *LWT - Food Sci. and Technol.* 41: 101-108.
4. Aston, J. W., Giles, J. E., Duward, I. G. and Dullely, J. R. 1985. Effect of elevated ripening temperatures on proteolysis and flavor development in Cheddar cheese. *J. Dairy Res.* 52: 565.
5. Babel, F. J. and Hammer, B. W. 1945. Fat degradation in Cheddar cheese made from pasteurized milk, without and with added lipase. *J. Dairy Sci.* 280:201.
6. Bae, H. Y., Kim, S. Y., Ahn, J. and Kwak, H. S. 2009. Properties of cholesterol-reduced Feta cheese made by crosslinked β -cyclodextrin. *Milchwissenschaft.* 64:165-168.
7. Bae, H. Y., Kim, S. Y., Kim, H. Y. and Kwak, H. S. 2008. Properties of cholesterol reduced Camembert cheese made by crosslinked β -cyclodextrin. *Int. J. Dairy. Technol.* 61: 364-371.
8. Blanc, B. 1981. Biochemical aspects of human milk comparison with bovine milk. *World Rev. Nutr. Diet.* 36:1-89.
9. Dallman, P. R. 1987. Iron deficiency and the immune response. *Am. J. Clin. Nutr.* 46:329-334.
10. Flynn, A. 1992. Minerals and trace elements in milk. *Adv. Food Nutr. Res.* 36:209-252.
11. Fox, P. F., Law, J., McSweeney, P. L. H. and Wallace, J. 1993. Biochemistry of cheese ripening. In P. F. Fox (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology* (pp. 389-438). London: Chapman & Hall.
12. Freeman, T. R. 1959. *Bull. Kentucky Agric. Exp. Sta.*, No. 667.
13. Gobetti, M., Corsetti, A., Smacchi, E., Zocchetti, A. and Angelis, D. A. 1998. Production of Crescenza cheese by incorporation of bifidobacteria. *J. Dairy Sci.* 81:37-47.

14. Godward, G. and Kailasapathy, K. 2003. Viability and survival of free and encapsulated probiotic bacteria in Cheddar cheese. *Milchwissenschaft*. 58:624-627.
15. Gripon, J. C., Monnet, V., Lambert, G. and Desmazeaud, M. J. 1991. Microbial enzymes in cheese ripening. In P. F. Fox (Ed.), *Food Enzymology*, Vol. 1 (pp. 131-168). London: Elsevier Applied Science.
16. Ha, H. J., Jeon, S. S., Chang, Y. H. and Kwak, H. S. 2009. Entrapment of milk nutrients during cholesterol removal from milk by crosslinked β -cyclodextrin. *Kor. J. Food Sci. Anim. Resour.* 29:566-572.
17. Ha, H. J., Lee, J. E., Chang, Y. H. and Kwak, H. S. 2010. Entrapment of nutrients during cholesterol removal from cream by crosslinked β -cyclodextrin. *Int. J. Dairy Technol.* 63:119-126.
18. Han, E. M., Kim, S. H., Ahn, J. and Kwak, H. S. 2005. Cholesterol removal from homogenized milk with crosslinked β -cyclodextrin by adipic acid. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 18:1794-1799.
19. Han, E. M., Kim, S. H., Ahn, J. and Kwak, H. S. 2008. Comparison of cholesterol-reduced cream cheese manufactured using crosslinked β -cyclodextrin to regular cream cheese. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21:131-137.
20. Jung, H., Ko, E. J. and Kwak, H. S. 2011. Comparison of texture and sensory attribute between Gouda cheese and cholesterol-removed Gouda cheese during ripening. *J. Dairy Sci.* 89: Suppl. 1. Abs# W71.
21. Kailasapathy, K. and Lam, S. H. 2005. Application of encapsulated enzymes to accelerate cheese ripening. *Int. Dairy J.* 15:929-939.
22. Kailasapathy, K. and Masondole, L. 2005. Survival of free and microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* and their effect on texture of Feta cheese. *Aust. J. Dairy Technol.* 60:252-258.
23. Kim, H. Y., Bae, H. Y. and Kwak, H. S. 2008. Development of cholesterol-reduced Blue cheese made by crosslinked β -cyclodextrin. *Milchwissenschaft*. 63:53-56.
24. Kim, J. J., Yu, S. H., Jeon, W. M. and Kwak, H. S. 2006. The effect of evening primrose oil on chemical and blood cholesterol lowering properties of Cheddar cheese. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19:450-458.
25. Kim, S. Y., Park, S. Y., Ahn, J. and Kwak, H. S. 2008. Properties of cholesterol-reduced block-type process cheese made by crosslinked β -cyclodextrin. *Kor. J. Food Sci. Anim. Resour.* 28:463-469.
26. Kim, Y. J. 1999. Quality changes of yoghurt added with micro-encapsulated iron during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28:542-546.
27. Kim, Y. J. and Kim, K. S. 1999. Effect of sterilizing method on the quality change of iron fortified market milk during storage. *J. Korea Soc. Food Sci. Nutr.* 28:755-759.
28. Krasaekoopt, W., Bhandari, B. and Deeth, H. 2003. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *Int. Dairy J.* 13:3-13.
29. Kwak, H. S., Yang, K. M. and Ahn, J. 2003. Microencapsulated iron for milk fortification. *J. Agric. Food Chem.* 51:7770-7774.
30. Kwak, H. S., Ahn, H. J. and Ahn, J. 2005. Development of phytosterol ester-added Cheddar cheese for lowering blood cholesterol. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 18:267-276.
31. Kwak, H. S., Chung, C. S., Shim, S. Y. and Ahn, J. 2002. Removal of cholesterol from Cheddar cheese by β -cyclodextrin. *J. Agric. and Food Chem.* 50:7293-7298.
32. Kwak, H. S., Lee, J. E. and Chang, Y. H. 2011. Structural characterisation of β -cyclodextrin crosslinked by adipic acid. *Int. J. Food Sci. Technol.* doi:10.1111/j.1365-2621.2011.02594.x.
33. Kwak, H. S., Nam, C. G. and Ahn, J. 2001. Low cholesterol Mozzarella cheese obtained from homogenized and β -cyclodextrin-treated milk. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 14: 268-275.
34. Kwak, H. S., Ju, Y. S., Ahn, H. J., Ahn, J. and Lee, S. 2003. Microencapsulated iron fortification and flavor development in Cheddar cheese. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16:1205-1211.
35. Lankaputhra, W. E. V. and Shah, N. P. 1995. Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. in the presence of acid and bile salts. *Cult. Dairy Products J.* 30: 2-7.
36. Law, B. A. 1987. Proteolysis in relation to normal and accelerated cheese ripening. In P. F. Fox (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. 1 (pp. 365-392). London: Elsevier Applied Science.
37. Lee, D. K., Ahn, J. and Kwak, H. S. 1999. Cholesterol removal from homogenized milk with β -cyclodextrin. *J. Dairy Sci.* 82: 2327-2330.
38. Lee, J. B. 2003. Microencapsulation of vitamin C and its effect on iron bioavailability in iron fortified milk. Sejong University, MS thesis. pp.51-57.

39. Lee, S. Y., Ahn, S. I. and Kwak, H. S. 2011. Water in oil in water (W/O/W)- microencapsulation iron for milk fortification (II). J. Dairy Sci. 89: Suppl. 1. Abs#W80.
40. Magee, E. H. Jr. and Olson, N. F. 1981b. Microencapsulation of cheese ripening systems: stability of microcapsules. J. Dairy Sci. 64:611-615.
41. Magee, E. H. Jr. and Olson, N. F. 1981a. Microencapsulation of cheese ripening system: Formation of microencapsulation. J. Dairy Sci. 64:600-610.
42. Magee, E. H. Jr., Olson, N. F. and Linsay, R. C. 1981. Microencapsulation of cheese ripening system; Production of diacetyl and acetoin in cheese by encapsulated bacterial cell free extract. J. Dairy Sci. 64:616-621.
43. Park, H. S., Jeon, B. J., Ahn, J. and Kwak, H. S. 2007. Effects of nanocalcium supplemented milk on bone calcium metabolism in ovariectomized rats. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 20:1266-1271.
44. Park, J. H., Seo, M. H., Ahn, J. and Kwak, H. S. 2010. Properties of nanopowdered chitosan and its cholesterol lowering effect in rats. Food Sci. Biotechnol. 19:1457-1462.
45. Phillips, M., Kasipathy, K. and Tran, L. 2006. Viability of commercial probiotic cultures (*L. acidophilus*, *Bifidobacterium* sp., *L. casei*, *L. paracasei* and *L. rhamnosus*) in Cheddar cheese. Int. J. Food Microbiol. 108:276-280.
46. Playne, M. J., Bennet, L. E. and Smithers, G. W. 2003. Functional dairy foods and ingredients. Aust. J. Dairy Technol. 58: 242-264.
47. Pollitt, E., Politt, C. and Leibel, R. L. 1986. Iron deficiency and behavioral development in infants and preschool children. Am. J. Clin. Nutr. 43:555-565.
48. Sadler, A. M., Lacroix, D. E. and Alford, J. A. 1973. Iron content of baker's and Cottage cheese made from fortified skim milks. J. Dairy Sci. 56: 1267-1270.
49. Scott, R. 1986. Cheesemaking Practice, Page 38. 2nd ed. Elsevier Applied Science Publisher LTD, London and NY.
50. Seon, K. H., Ahn, J. and Kwak, H. S. 2009. The accelerated ripening of cholesterol-reduced Cheddar cheese by crosslinked β -cyclodextrin. J. Dairy Sci. 92:49-57.
51. Wendy, H. R. and McMahon, D. J. 1988. Chemical, physical and sensory characteristics of Mozzarella cheese fortified using protein-chelated iron or ferric chloride. J. Dairy Sci. 81:318-326.
52. Yilmaztekin, M., Özer, B. and Atasoy, F. 2004. Survival of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium bifidum* BB-02 in white-brined cheese. Int. J. Food Sci. and Nutr. 55:53-60.
53. Zomorodi, S., Asl, AK., Rohani, SMR and Miragahaei, S. 2011. Survival of *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium bifidum* in free and microencapsulated forms on Iranian white cheese produced by ultrafiltration. Int. J. Dairy Technol. 64: doi: 10.1111/j.1471-0307.2010.00638.x.
54. 한국유가공협회 통계자료. 2011.
55. Özer, B., Kirmaci, H. A., Shenel, E., Atamer, M. and Hayaloglu, A. 2009. Improving the viability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in white-brined cheese by microencapsulation. Int. Dairy J. 19:22-29.
56. Özer, B., Uzun, Y. S. and Kirmaci, H. A. 2008. Effect of Microencapsulation on viability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium bifidum* BB-12 during Kasar cheese ripening. Int. J. Dairy Technol. 61:237-244.

(Received 2011.6.17/Revised 2011.6.27/Accepted 2011.6.28)