



발효유제품의 유단백질 기능성 연구 동향

이 원 재

경상대학교 농생명학부 낙농학전공

Functional Properties of Milk Protein in Fermented Milk Products

Won-Jae Lee

Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University

ABSTRACT

An understanding functional properties and molecular interactions of milk proteins was critical to improve qualities of fermented dairy products including yogurts and cheeses. Extensive rearrangements of casein particles were important factors to enhance whey separation in yogurt gel network. The use of high hydrostatic pressure treated whey protein as an ingredient of low fat processed cheese food resulted in the production of low fat processed cheese food with acceptable firmness and enhanced meltabilities. Milk protein-based nano particles produced by self-association of proteins could be better nutrient delivery vehicle than micro particle since particle size reduction in nano particles could lead to increased residence time and surface area available in GI tract.

(Key words : milk protein, functional properties, processed cheese, yogurt gel)

서 론

요구르트와 치즈를 포함한 발효유제품 제조의 중요 과정은 유산균에 의한 acidification 과정과 rennet에 의한 proteolysis 과정을 포함한 유단백질 응고(coagulation) 과정이다. Dynamic network 로서 요구르트와 치즈의 물리적 특성(예를 들면, 유청 분리(whey separation), meltability 등)은 이러한 network 내에서 구조적 building block 역할을 하는 유단백질의 물리 화학적 기능성(예를 들면, gelation, emulsifying property 등)에 영향을 받는다. 따라서 casein와 유청단백질(whey protein)을 포함한 유단백질의 network 내 구조적 화학적 interaction 이해는 발효유제품의 물리적 특성 향상에 반드시 필요한 요인이다.

유단백질은 GRAS(Generally Recognized As Safe) 물질로서, 특히 globular protein인 유청 단백질은 물리 화학적 기능성(예를 들면, gel이나 emulsion 형성)을 지니고 있어 기능성 유제품 개발에 있어서 많은 잠재성을 띠고 있다. 본 논문에서는 유제품 물리적 특성에 영향을 주는 유단백질 기능성

연구 동향과 더불어 최근 기능성 식품 시장의 성장과 더불어 유용성분 전달 체계로 많은 잠재성을 가진 유단백질 나노 입자 관련 연구 동향에 대해 논의해 보고자 한다.

본 론

1. 요구르트 젤의 물리적 구조적 특성 관련 유단백질 기능성

요구르트 젤은 유산균을 이용한 우유 발효 과정 결과 형성되는 것으로, 요구르트의 물리적 특성(예를 들면, 유청 분리(whey separation), 점성(viscosity) 등)은 요구르트 가공 공정, 특히 우유 열처리 온도, 배양온도, 유산균 접종 농도에 영향을 받는다(Lee와 Lucey, 2004a; Lee와 Lucey, 2004b). 특히, 요구르트 물리적 특성 중 하나인 요구르트 표면에서의 유청 분리(whey separation)는 소비자 기호도에 부정적 영향을 미친다. 따라서 유업체에서는 안정제(stabilizer)를 사용하거나 고형분 함량을 높여 이 문제를 해결하려 하였다. 그러나 점차 증가하는 웰빙 천연 유제품에 대한 소비자 요구도를 만족시키고 비용을 줄이기 위해 안정제(stabilizer)를 사용하지 않고 적은 양의 고형분을 사용하여 유청 분리 문제를 해결할 필요가 생겼다(Lucey, 2004). 이러한 문제를 해결하기 위해서는 먼저 왜 유청 분리가 일어나는지에 관한 연구

*Corresponding author : Won-Jae Lee, Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, 900 Gazwa-Dong, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea. Tel : +82-55-751-5412, Fax : +82-55-751-5410, E-mail : wjleewisc@gnu.ac.kr

가 필요하였다.

Lee와 Lucey(2004a)은 유단백질 재배열(rearrangement)이 요구르트 유청 분리와 밀접한 관계가 있음을 보고하였는데, 특히 저온 열처리 공정 조건(<~75°C)와 고온 배양 온도 조건(>~42°C)에서 활발한 유단백질 재배열이 일어났고, 결과적으로 보다 많은 유청 분리가 일어났음을 보고하였다. 우유 열처리 공정시 70°C 이상 온도에서 우유를 가열할 때 유청 단백질, 특히 β -lactoglobulin의 변성이 일어나며 발효 과정 중 유청 단백질 pH가 등전위점(isoelectric point)에 근접함에 따라 집합체(aggregation) 형성이 용이해진다(Lucey 등, 1997a). 따라서 ~83°C 이상 고온으로 열처리 시 보다 많은 변성이 일어나고(Lucey 등, 1997a), casein micelle 표면에 위치하는 κ -casein과 보다 많은 상호 결합의 결과, 저온 열처리 조건과 비교하여 보다 단백질 상호 결합이 강하고 안정된 branched gel network가 형성되었다(Lee와 Lucey, 2004a). 또한, 저온 열처리(<~75°C)된 요구르트와 비교해서, 유단백질 재배열을 나타내는 물성학적 지표인 loss tangent와 permeability는 ~83°C 이상 고온 열처리된 요구르트에서 감소되었다(Table 1). 따라서 고온 열처리된 요구르트에서는 상대적으로 적은 유단백질 재배열이 일어났고, 결과적으로 적은 양의 유청 분리가 일어났음을 알 수 있었다.

요구르트 젤(yogurt gel) 형성은 소수성 상호작용(hydrophobic interaction)과 정전기적 반발작용(electrostatic repulsion)에 영향을 받는다(Horne, 1998). 요구르트가 높은 온도(>~42°C)에서 발효될 때는 소수성 상호작용이 증가하게 되고, 요구르트 젤 network 내의 casein 입자는 결과적으로 좀더 compact conformation되어 voluminosity가 감소된다(van Vliet 등, 1989; Roefs와 van Vliet, 1990; Lucey 등, 1997b). 따라서 casein 입자간의 상호 작용 감소는 cluster 형태의 weak gel network 형성을 촉진하게 되었다(Lee와 Lucey, 2004). 또한, 저온 배양온도(<~41°C)에서 발효된 요구르트와 비교해서, 유단백질 재배열을 나타내는 물성학적 지표인 loss tangent와 permeability는 ~45°C 이상 고온에서 발효된 요구르트에서 증가되었다(Table 1). 결론적으로 고온에서 발효된 요구르트에서는 상당한 유단백질 재배열이 일어났고, 많은 양의 유청 분리가 일어났음을 알 수 있었다(Lee와 Lucey, 2004b).

이상과 같이 유단백질 molecular interaction에 관한 이해는 요구르트 젤의 주요 물리적 특성인 유청 분리 문제를 해소하는데 필요한 요인임을 알 수 있었다.

2. 치즈 물성 관련 유단백질 기능성

가공 치즈(processed cheese) 제조 시에는 유청 단백질(whey protein)이 ingredient로 이용된다. 그러나 과다의 유청 단백질 이용은 grainy and sandy 질감을 가진 가공 치즈를 생산하게 된다(Lindsay와 Maurer-Rothmann, 1993). 초고압 가공 기술(high hydrostatic pressure processing)은 대표적인 비가열(non-thermal) 식품 공정으로 초고압 처리 시 유청 단백질(whey protein) folding 현상이 일어나고, 결과적으로 유청 단백질 기능성(예를 들면, 단백질 유화(emulsification), 단백질 용해성(solubility), 단백질 젤(gel)) 등이 변화하게 된다(Cheftel, 1995; van Camp 등, 1996; van Camp 등, 1997). Lee와 Swanson(2006b)은 유청 단백질을 초고압 처리(690 MPa, 5분)한 결과, 유청 단백질 emulsifying activity와 emulsion stability의 향상을 보고하였는데, 향상된 유화 특성을 가진 유청 단백질은 가공치즈 용해 과정(melting process) 동안 저지방 가공 치즈를 안정시켜 치즈 품질 향상에 기여할 수 있다고 판단되어 치즈 물리 화학적 기능성 연구가 수행되었다(Lee와 Swanson, 2006a). Native 유청 단백질 함유 가공 치즈와 비교해서, 초고압 처리(690 MPa, 5분)한 유청 단백질을 가공 치즈에 첨가할 경우 치즈 meltability 향상이 보고되었다(Lee와 Swanson, 2006a). 결과적으로 초고압 처리된 유청 단백질은 치즈 meltability를 증가시킬 수 있는 beneficial ingredient로 이용될 수 있음이 보고되었다(Lee와 Swanson, 2006a).

3. 기능성 물질 전달 시스템으로서 유단백질 나노 입자

최근 기능성 전달 물질로 각광 받고 있는 유단백질 나노 입자(nano particle)는 기존 기능성 유제품 생산에 이용되어 왔던 미세 캡슐의 입자 크기(>~10 μ m)보다 훨씬 작은 나노미터 급(<1000 nm) 입자 크기로 인해 유제품 내 ingredient로 이용 시 식품 sensory quality에 영향을 주지 않을 뿐만 아니라(Augustin, 2003), 훨씬 작아진 입자 크기로 인한 표면적(surface area) 증가로 장내 상피 세포와의 상호 작용을 증가

Table 1. Effect of pre-heating temperature and incubation temperature on maximum in loss tangent, permeability, and whey separation of yogurt gels (adapted from Lee and Lucey, 2004 a and b)

	Incubation temperature		Pre-heating temperature	
	40°C	46°C	72°C	83°C
Maximum in loss tangent	0.549	0.592	0.635	0.521
Permeability (10^{-13} m ²)	1.04	1.68	2.13	1.52
% Whey	1.24	2.34	1.18	1.07

시킬 수 있다. 또한, intestinal clearance mechanism의 영향을 감소시켜 GI tract 내 체류 시간을 증가시키며, 미세 capillary를 통해 체내 흡수가 용이해진다(Chen 등, 2006; Desai 등, 1996; Kawashim, 2001). 최근 유단백질을 포함한 food-grade biopolymer를 이용한 나노 입자 연구가 활발히 진행되어 오는데, 이들 입자들은 biopolymer systems에서 self-association이나 phase separation을 증진시키는 방법으로 형성되었다(Gupta와 Gupta, 2005; Ritzoulis 등, 2005; Weiss 등, 2006). 기능성 유제품 생산 시 Protein-based 나노 입자들은 유용 물질(예를 들면, functional nutrient)을 primary amino group이나 sulfhydryl group을 통해 delivery system으로 사용될 수 있으며, 또한 제조가 용이하고 입자 size distribution을 제어 가능하기 때문에 기능성 유제품 생산에 이용이 가능하다(Chen 등, 2006; MacAdam 등, 1997; Weyermann 등, 2005).

결론

발효유제품 품질과 소비자 기호도에 큰 영향을 미치는 발효 유제품의 물리적 특성을 향상시키기 위해서는 유단백질의 물리 화학적 기능성과 network 내에서의 molecular interaction 이해가 필수적이다. 또한, self-association 기법으로 제조된 유단백질 나노 입자는 기능성 유제품 제조에 이용 가능한 유용 성분 전달 시스템으로서 많은 잠재성을 가지고 있다.

참고문헌

1. Augustin, M. A. 2003. The role of microencapsulation in the development of functional dairy foods. *Aust. J. Dairy. Tech.* 58(2):156-160.
2. Cheftel, J. C. 1995. High-pressure, microbial inactivation and food preservation. *Food Sci. Technol. Int.* 1:75-90.
3. Chen, L., Remondetto, G. E. and Subirade, M. 2006. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trend. Food Scie. Tech.* 17:272-283.
4. Desai, M. P., Labhassetwar, V., Amidon, G. L. and Levy, R. J. 1996. Gastrointestinal uptake of biodegradable micro-particles: Effect of particle size. *Pharmaceutical Res.* 13: 1838-1845.
5. Gupta, A. K. and Gupta, M. 2005. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. *Biomaterials.* 26(18):3995-4021.
6. Horne, D. S. 1998. Casein interactions: Casting light on the black boxes, the structure in dairy products. *Int. Dairy J.* 8:171-177.
7. Kawashim, Y. 2001. Nanoparticulate systems for improved drug delivery. *Adv. Drug. Delivery Rev.* 47:1-2.
8. Lee, W. J., Clark, S. and Swanson, B. G. 2006a. Low fat processed cheese food containing ultra high pressure-treated whey protein. *J. Food Process. Preserv.* 30:164-179.
9. Lee, W. J., Clark, S. and Swanson, B. G. 2006b. Functional properties of high hydrostatic pressure-treated whey protein. *J. Food Process. Preserv.* 30:488-501.
10. Lee, W. J. and Lucey, J. A. 2004a. Rheological properties, whey separation, and microstructure in set-style yogurt: Effects of heating temperature and incubation temperature. *J. Texture Stud.* 34:515-536.
11. Lee, W. J. and Lucey, J. A. 2004b. Structure and physical properties of yogurt gels: Effect of inoculation rate and incubation temperature. *J. Dairy Sci.* 87:3153-3164.
12. Lindsay, R. C. and Maurer-Rothmann, A. 1993. Low fat processed cheese products and ingredients technology seminar, May 11, Madison, WI.
13. Lucey, J. A. 2004. Formation, structural properties and rheology of acid-coagulated milk gels. pages 105-122 in *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Vol 1. General Aspects.* P. F. Fox, P. L. H. McSweeney, T. M. Cogan, and T. P. Guinee, eds. 3rd ed. Elsevier Academic Press, London.
14. Lucey, J. A., Teo, C. T., Munro, P. A. and Sin, H. 1997a. Rheological properties at small (dynamic) and large (yield) deformations of acid gels made from heated milk. *J. Dairy Res.* 64:591-600.
15. Lucey, J. A., van Vliet, T., Grolle, K., Geurts, T. and Walstra, P. 1997b. Properties of acid casein gels made by acidification with glucono-lactone. 1. Rheological properties. *Int. Dairy J.* 7:381-388.
16. MacAdam, A. B., Shafi, Z. B., James, S. L., Marriott, C. and Martin, G. P. 1997. Preparation of hydrophobic and hydrophilic albumin microspheres and determination of surface carboxylic acid and amino residues. *Int. J. Pharmaceutics.* 151:47-55.
17. Ritzoulis, C., Scoutaris, N., Papademetriou, K., Stavroulias, S. and Panayioutou, C. 2005. Milk protein-based emulsion gels for bone tissue engineering. *Food Hydrocoll.*
18. Roefs, S. P. F. M. and van Vliet, T. 1990. Structure of acid casein gels. 2. Dynamic measurements and type of interaction forces. *Colloids Surfaces.* 50:161-175.
19. van Camp, J., Feys, G. and Huyghebaert, A. 1996. High pressure-induced gel formation of haemoglobin and whey

- proteins at elevated temperatures. *Lebensm.-Wiss.-Technol.* 29:49-57.
20. van Camp, J., Messens, W., Clement, J. and Huyghebaert, A. 1997. Influence of pH and calcium chloride on the high pressure induced aggregation of a whey protein concentrate. *J. Agric. Food Chem.* 45:1600-1607.
21. van Vliet, T., Roefs, S. P. F. M., Zoon, P. and Walstra, P. 1989. Rheological properties of casein gels. *J. Dairy Res.* 56:529-534.
22. Weiss, J., Takhistov, P. and McClements, J. 2006. Functional materials in food nanotechnology. *J. Food. Sci.* 71(9): R107-116.
23. Weyermann, J., Lochmann, D., Georgensa, C. and Zimmer, A. 2005. Albumin-protamine-oligonucleotide-nanoparticles as a new anti-sense delivery systems Part 2: Cellular uptake and effect. *European J. Pharmaceutics and Biopharmaceutics.* 59:431-438.