



ARTICLE

우유무기질을 첨가하여 제조한 칼슘 강화 요구르트의 품질 특성

박동준¹ · 오세종² · 임지영^{3*}

¹한국식품연구원 가공공정연구단, ²전남대학교 동물자원학부, ³국민대학교 식품영양학과

Quality Characteristics of Calcium Fortified Yogurt Prepared with Milk Mineral

Dong June Park¹, Sejong Oh², and Jee-Young Imm^{3*}

¹Department of Food Processing Technology, Korea Food Research Institute, Wanju, Korea

²Devision of Animal Science, Chonnam National University, Gwangju, Korea

³Department of Foods and Nutrition, Kookmin University, Seoul, Korea



Received: April 19, 2022

Revised: June 13, 2022

Accepted: June 14, 2022

*Corresponding author :

Jee-Young Imm

Department of Foods and Nutrition,

Kookmin University, Seoul, Korea

Tel : +82-2-910-4772

Fax : +82-2-910-5249

E-mail : jyimm@kookmin.ac.kr

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

Dong June Park

<https://orcid.org/0000-0001-9452-9391>

Sejong Oh

<https://orcid.org/0000-0002-5870-3038>

Jee-Young Imm

<https://orcid.org/0000-0003-3152-7051>

Abstract

This study was conducted to evaluate the potential use of milk mineral (MM) as the calcium source for the production of calcium-fortified yogurt. MM was composed of 83% minerals, 7.5% lactose, 3.3% protein, and < 1% fat. Calcium (Ca) content in MM was about 46%; calcium: phosphorous ratio was 1.28:1. The aqueous solubility of Ca increased with the decrease in pH; the solubility at pH 4 and 5 was 98% and 53%, respectively. Ca-fortified yogurt with up to 200 mg Ca/100 mL did not show significant differences in acid production and number of viable cells; however, the viscosity increased significantly ($p < 0.05$) with the increase in Ca levels. Microstructure analysis of Ca-fortified yogurt using confocal scanning laser microscopy indicated that the protein network became denser with increasing fortification with MM. There was no significant difference in the sensory quality between the control and Ca-fortified yogurts. Therefore, MM could be used for the production of Ca-fortified yoghurt without compromising the quality characteristics of yogurt.

Keywords

milk mineral, composition, solubility, yogurt, quality characteristics

서론

칼슘은 가장 부족하기 쉬운 영양소 중의 하나로 우리나라 국민은 칼슘의 권장소비량인 800 mg/day보다 부족한 평균 400-500 mg/day 정도를 섭취하고 있으며 노년기로 갈수록 칼슘의 섭취 수준은 더욱 더 감소하는 것으로 조사되었다[1]. 국민건강영양조사(2013- 017년) 결과를 분석한 연구에 따르면 적절한 칼슘과 vitamin C를 함유한 건강한 식단은 우리나라 남성과 여성 모두에서 대사 증후군의 위험성을 유의적으로 감소시키는 것으로 나타났다[2]. 칼슘의 섭취가 대사증후군을 감소시키는 기전은 정확히 밝혀지지 않았으나 칼슘의 부족 시 복부 비만을 심화시키고, 인슐린저항성을 증가시키는 반면 혈 중 부갑상선호르몬 수준을 상승시킴으로써 칼슘의 부족이 대사증후군과 관련될 수 있다고 보고된 바 있다[3].

요구르트는 칼슘과 단백질 등의 영양소를 풍부하게 함유하고 있으며, 상대적으로 유당 함량이 낮아 소비자들에게 선호되고 있는 유제품이다. 2007-2009년에 수행된 국민건강영양조사(n=7,173) 결과 칼슘이 풍부한 유제품을 하루 2회 이상 섭취 한 그룹은 1회 미만의 섭취 그룹과 비교하여 비만의 위험성을 유의적으로 감소시켰다[4]. 이와 같은 결과와 유사하게 평균칼슘섭취량보다 칼슘을 300 mg 이상 섭취하면 비만 성인의 경우는 2.5-3.5 kg 체중을 감소시키는 효과가 나타났다[5]. 또한,

요구르트에 비타민 D₃(400 IU/day)와 칼슘(calcium citrate, 520 mg/day)을 강화하여 6개월 동안 60세 이상의 여성에게 섭취 시킨 경우 골 흡수 바이오마커를 감소시키고 혈중 부갑상선 호르몬을 억제하여 골질의 위험성을 감소시켰다고 보고되었다[6]. 따라서 요구르트는 칼슘의 강화에 적합한 식품군 중의 하나로 간주할 수 있다.

건강한 성인에서 칼슘의 체내흡수율은 21%-45% 정도이며, 실제 흡수되는 칼슘의 양은 체내 요구량, vitamin D, 연령 및 호르몬 수준 등 다양한 생리적 상태에 따라 변화한다. 더불어, 유제품에 강화되는 칼슘의 종류에 따른 생체이용성은 차이를 나타내며, 우유와 요구르트, 치즈 같은 dairy matrix에 의하여서도 변화를 나타낼 수 있다[7].

MM(milk mineral) 또는 milk calcium으로 불리는 우유 유래 무기질은 주로 농축유청단백질 생산에서 얻어지는 부산물이다. MM은 유청의 한외여과 투과물로부터 분리되며, 평균 입자 크기는 7 μ M 이하로 칼슘과 인을 주성분으로 하고 있으며, 유당, 단백질과 매우 소량의 지방을 포함한다[8]. MM은 영양학적으로 바람직한 칼슘과 인의 비율을 가지고 있으며, 우유에 존재하는 고유한 성분이라는 장점을 가지고 있으나 용해성이 낮아 음료에 사용되기 어려운 단점과 생체이용성이 유기태의 칼슘과 비교하여 상대적으로 낮다고 알려져 있다[9]. 본 연구에서는 MM을 요구르트 제조에 적용 시 나타나는 품질 특성의 변화를 분석하여 칼슘 강화 소재로서 MM의 적용가능성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료 및 시약

본 실험에서 사용한 MM은 Arla Food Ingredients(Central Denmark Region, Denmark)의 제품을 사용하였으며, HCl은 Merck(Darmstadt, Germany)사의 제품을 사용하였다. 그 밖의 시약은 Sigma사의 분석용 등급 이상의 제품을 사용하였다.

2. MM(milk mineral)의 일반성분 및 무기질 조성 분석

MM의 일반 성분과 무기질 조성은 다음과 같은 방법으로 측정하였다. 수분 함량은 상압가열건조법을 이용하여 105°C에서 12시간 건조한 후 측정하였으며, 회분 함량은 550°C의 회화로에서 6시간 회화한 후 측정하였다. 단백질 함량은 micro Kjeldahl법을 이용하여 automatic Kjeldahl system (Buichi, Switzerland)으로 분석하였으며 총질소량에 질소계수 6.38을 곱하여 조단백질의 양을 산출하였다. 지방은 Soxhlet 장치(IKA, Königswinter, Germany)를 이용한 에테르 추출법으로 정량하였다. 시료의 유당함량은 100-(수분+회분+단백질+지방)으로 계산하였다. 무기질 조성은 유도결합 플라즈마방출분광기(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer[ICP-OES], Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하였다. 시료는 분석 전 질산 용액(2%, v/v)에 용해하여 50 mL 정용플라스크로 정용하고 여과지(Whatman, No. 5)로 여과하여 무기질 분석에 사용하였다. 무기질 분석 시 사용한 파장은 칼슘 317.933 nm, 인 177.499 nm, 마그네슘 280.271 nm, 철 238.204 nm, 아연 202.548 nm이었다.

3. MM(milk mineral)의 칼슘 용해도 분석

MM을 이용하여 칼슘의 농도가 1.5%(w/v)가 되도록 증류수에 환원시킨 후 pH를 4-7로 조정하였다. 시료를 1,000 rpm으로 30분간 상온에서 교반하고 5,500×g에서 10분간 원심분리 하여 상정액을 회수하였다. 원심분리 전후의 칼슘 함량을 ICP-OES로 측정하였으며 용해도(%)는 [상정액의 칼슘 양(mg)/원심분리 전 칼슘의 양(mg)]×100으로 계산하였다.

4. 칼슘 강화 요구르트 제조

우유에 탈지 분유를 첨가하여 고형분 함량이 11%가 되도록 조정된 후 MM을 첨가하여 요구르트 내 칼슘 함량이 각각 150, 175, 200 mg/100 mL 수준이 되도록 요구르트 premix를 제조하였다. 요구르트 premix를 100℃에서 20분간 증탕하여 살균한 후 38℃로 냉각하고 상업용스타터(YC-380, Chr. Hansen, Hørsholm, Denmark) 1%를 접종하고 6시간 동안 발효하여 요구르트를 제조하였다. 발효 종료 후 요구르트를 4℃ 냉장온도에서 24시간 동안 방치한 후 요구르트의 품질 특성 및 관능적 특성을 평가하였다.

5. 칼슘 강화 요구르트의 pH 및 적정산도

칼슘의 강화가 젖산균의 산 생성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 발효 종료 후 요구르트의 pH와 적정산도를 측정하였다. pH는 측정은 pH-meter(Model Orion 420, Thermo Scientific)를 사용하였으며 적정산도는 시료 10 g을 동량의 증류수로 희석하고 지시약(0.1% phenolphthalein)을 2-3방울을 가한 후 분홍색이 소실되지 않고 10초간 유지될 때까지 중화 적정하여 소비된 0.1 N NaOH의 부피를 젖산(% w/w)으로 환산하여 표시하였다.

6. 칼슘 강화 요구르트의 생균수

시료를 각각 1 g씩 무균적으로 취하여 멸균 peptone 수에 의한 10배 희석법으로 희석하고 MRS (Difco, Detroit, MI, USA) 배지에 plating한 후 37℃ incubator(Vision Scientific, Daejeon, Korea)에서 48시간 동안 배양하여 colony 수가 30-300개가 나타나는 평판을 선택하여 산출하였다.

7. 칼슘 강화 요구르트의 점도

요구르트의 점도는 Brookfield viscometer(Model LVF, Brookfield Engineering, Middleboro, MA, USA)를 사용하여 측정하였다[10]. 점도의 측정은 4℃에서 spindle No.6를 사용하여 10 rpm에서 spindle이 돌기 시작한 후 1분이 되는 순간의 점도를 cp (centipose) 단위로 기록하였다.

8. 칼슘 강화 요구르트의 미세구조

칼슘 강화 요구르트의 미세 구조는 공초점 레이저현미경(confocal scanning laser microscopy, CSLM)으로 관찰하였다[11]. 단백질 형광염색제로 acridine orange(0.2%, w/w) 300 μ L를 요구르트 culture 50 mL에 첨가하여 잘 혼합한 후 혼합물 소량을 slide에 옮기고 Ar/Kr laser를 이용하여 confocal scanning laser microscopy로 이미지를 관찰하였다. 이미지 관찰은 Plan-APOCHROMAT 100 \times oil DIC objective lens (aperture=1.30)를 사용하였으며 488 nm의 excitation wavelength에서 대표적 이미지를 선택하였다.

9. 칼슘 강화 요구르트의 관능평가

칼슘 강화 요구르트의 관능 평가는 국민대학교 재학생(20-30세, 남 15명, 여 35명)을 대상으로 실시하였다. 각 시료는 3단위 임의의 숫자를 부여하여 표시하였으며 투명한 컵에 약 50 g씩 담아 동시에 제공하였다. 검사항목은 외관 기호도, 맛 기호도, 전반적 기호도 항목으로 척도의 양끝을 매우 싫다(1)에서 매우 좋다(9)로 표시하였다.

10. 통계분석

모든 분석 실험은 2회 이상 반복 측정하였으며, 결과의 통계 분석은 SPSS 14.0K for Windows

(SPSS, Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 처리구간의 유의적 차이($p < 0.05$)는 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)과 Tukey의 다중비교검정법을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 우유무기질(MM)의 화학적 구성성분

MM의 화학적 성분을 분석한 결과 MM은 대부분 무기질로 구성되어 있으며(>80%) 유당은 두 번째로 많은 구성 성분으로 전체 중량의 7.5%로 나타났다. 단백질의 함량은 3% 정도였으며, 지방은 1% 미만으로 함유되어 있었다(Table 1). 무기질을 구성하는 주 성분인 칼슘과 인은 약 46% 및 36%로 1.28:1의 비율로 존재하였으며 소량의 마그네슘, 철, 아연을 함유하는 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 존재하는 인산칼슘의 형태를 정확히 예측하기는 어려우나 우유의 열처리 과정에서 대부분의 인산칼슘은 주로 불용성의 hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$)나 hydrogen phosphate(CaHPO_4)의 형태로 전환되므로[12], 이 두가지 종류의 인산칼슘이 혼합물로 존재할 것으로 판단된다. 이와 같은 가설과 유사하게 de Zawadzki and Skibsted[13]는 X-ray diffraction pattern을 분석하여 hydroxyapatite와 hydrogen phosphate가 MM 제품에 존재하는 주요 인산칼슘의 형태임을 보고하였다.

인은 체내 칼슘의 흡수에 유의적인 영향을 미치며 칼슘:인의 비율이 1 이상인 경우가 생체이용성이 높다고 보고되었다[14]. 사람의 골격을 구성하는 뼈의 칼슘과 인의 구성 비율이 2:1 정도이며 대부분의 가공식품에서 인산이 첨가됨을 고려할 때 칼슘 소재에서 인의 비율이 지나치게 높은 점은 바람직하지 않은 것으로 판단된다. 20세 이상의 우리나라 성인을 대상으로 한 연구결과에서도 칼슘의 섭취량을 늘리고 칼슘:인의 섭취 비율을 높이는 것이 골밀도에 긍정적인 결과를 나타냈다[15]. 유당은 mannitol과 같은 비소화성 당류 또는 옥수수 전분과 같은 고분자 탄수화물과 비교하여 유의적으로 소장에서 칼슘의 흡수를 촉진하는 것으로 알려져 있으며[16]. 지방의 존재, 특히 포화지방산이 높은 경우에는 칼슘의 체내흡수를 저해할 수 있다고 보고된 바 있다[17]. MM의 화학적 성분 조성을 기준으로 할 때 무기질 외 다른 성분들은 칼슘의 체내 흡수에 부정적 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 요구르트 내 MM의 첨가는 요구르트의 다양한 품질 특성 변화에 영향을 미칠 수 있으므로 MM을 이용한 칼슘의 강화가 요구르트 품질 특성에 미치는 효과를 측정하였다.

2. 우유무기질(MM)의 용해도

수용액 환경에서 pH 변화(pH 4-7)에 따른 MM의 용해도를 측정하였다. MM의 용해도는 Fig.

Table 1. Compositional analysis of milk mineral

Components	Concentration (%)
Total mineral	83.09
Calcium	45.61
Phosphorus	35.74
Magnesium	1.66
Iron	0.02
Zinc	0.06
Lactose	7.50
Protein	3.33
Fat	0.98
Moisture	5.10

Mean values of the constituents are expressed and the variation of each components was less than 5%.

1에 나타난 바와 같이 pH가 감소함에 따라 증가하였으며, pH 5에서는 50% 이상, pH 4에서는 95% 이상이 용해상태로 존재하였다. pH가 감소함에 따라 칼슘의 용해도가 증가하는 이유는 낮은 pH에서 불용성으로 존재하던 인산칼슘의 이온화가 일어나기 때문인 것으로 생각할 수 있다. Hydroxyapatite 침전의 자유에너지 변화를 측정한 결과 $pH \geq 5.4$ 에서는 자유에너지가 음수로 변하여 침전이 빠르게 일어난다고 보고된 바 있으며[18], Goss et al.[19]의 연구에서도 산성조건에서 칼슘의 용해도는 증가하는 것으로 나타나 본 연구 결과와 일치된 경향을 나타냈다.

칼슘을 음료 등의 식품에 강화하고자 할 때 고려되어야 할 사항은 칼슘의 용해도, 제품 환경에서의 안정성, 관능적 특성 등을 들 수 있다. MM의 pH에 따른 용해도 변화 결과를 근거로 할 때 음료의 적용을 위해서는 구연산 등의 유기산을 첨가하여 신맛을 부여하는 산성형 음료나 요구르트와 같은 발효유제품 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 칼슘은 유제품을 비롯하여, 두유나 오렌지 주스와 같은 음료 및 다양한 영양제에 강화되고 있으나 적합한 형태는 제품의 특성에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 용해성이 높은 염화칼슘 등을 사용하는 경우 이온화된 칼슘으로 인한 단백질 간의 상호작용이 증가하여 열안정성이 기타 가공적성에 바람직하지 않은 변화를 초래할 수 있다[20]. 제한적인 칼슘 용해성을 가진 구연산염이나 탄산염 제품의 경우 액상제품에서 용해성이 감소하여 저장기간 중 침전물이 형성될 수 있다[21]. 인산칼슘이나 탄산칼슘과 같은 불용성의 칼슘은 용해도는 낮으나 칼슘의 함량이 높은 특징(17%-40%)을 가지고 있으며, 유청단백질 매트릭스의 음료용액에서 높은 분산안정성을 나타냈다[22].

3. 칼슘 강화 요구르트의 품질 특성

요구르트 premix 내 칼슘의 강화는 측정된 농도수준(150, 175, 200 mg/mL)에서 pH나 적정산도로 확인할 수 있는 산 생성 속도에 영향을 미치지 않았으며, 생균수의 측정 결과에서도 유의적 차이를 나타내지 않았다(Table 2). 칼슘 강화 요구르트의 점도는 칼슘의 강화수준이 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 것으로 나타났으며 이 결과는 칼슘의 첨가에 의하여 casein micelle간의 colloidal calcium phosphate 결합이 강화되기 때문으로 생각된다. 앞서 언급한 바와 같이 우유 무기질의 첨가는 요구르트 제조 시 충분한 산도 저하가 일어나기 전 용해도 감소에 의한 칼슘의 불균일한 분포 가능성을 배제할 수 없으나 최종적으로 pH가 감소하며 우유 무기질의 재용해가 일어나는 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 요구르트의 점도 변화가 첨가된 칼슘의 농도에 의존적으로 증가하는 결과로 일부 확인이 되었으며, 요구르트의 제조 후에는 결정의 석출과 같은 침전물의 형성은 관찰되지 않았다.

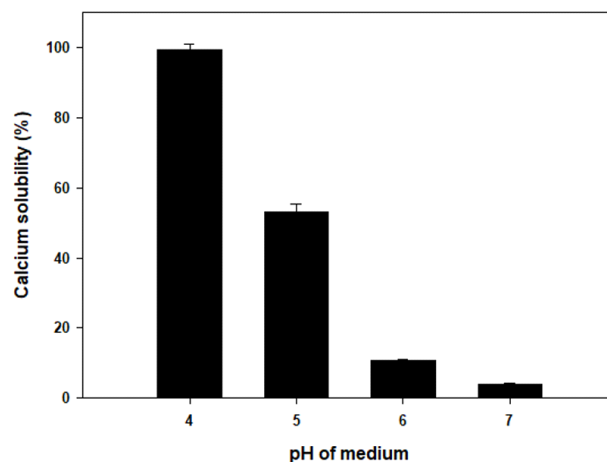


Fig. 1. Solubility of Ca at different pH conditions.

Table 2. pH, titratable acidity, viscosity, and viable cell count of Ca-fortified yogurt

Ca fortification (Ca mg/100 mL)	pH	Titratable acidity (%)	Viable cell count (CFU/mL)	Viscosity (Cp)
0	4.44±0.01	0.93±0.05	2.60×10 ⁹	7,367±208 ^c
150	4.47±0.01	0.96±0.03	2.50×10 ⁹	8,067±252 ^c
175	4.47±0.02	0.93±0.02	2.53×10 ⁹	9,400±265 ^b
200	4.46±0.02	0.93±0.02	2.47×10 ⁹	13,133±862 ^a

^{a-c} Values with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

Singh and Muthukumarappan[23]은 젖산칼슘을 이용하여 25-100 mg/100 mL 수준으로 요구르트 premix에 첨가하고 품질 특성의 변화를 측정된 결과 발효 종료 시점에서는 본 연구와 동일하게 적정산도에서는 차이를 나타내지 않았으나, 7일이나 14일간의 냉장저장 후에는 적정산도가 유의적으로 감소함을 보고하였다. 더불어, 칼슘의 강화는 점도를 유의적으로 증가시켰으며 이와 같은 변화는 7, 14일의 저장기간 중 보수력의 증가를 나타냈다. 본 연구에서는 저장기간 중 보수력의 변화를 측정하지 않았으나 전반적인 변화 경향을 고려할 때 젖산칼슘의 첨가에서 나타나는 변화와 유사한 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

요구르트 조직감에 대한 예측과 그 변화에 대한 설명은 요구르트의 미세구조 관찰을 통하여 가능하다. 요구르트의 조직감은 다양한 요인에 의하여 변화될 수 있으나 가장 중요한 기본적인 구조적 단위는 입자상의 케이신이 산에 의하여 형성하는 3차원적인 엉킴구조이다. 요구르트 겔이 구성하는 3차원적 구조의 크기, 모양 그리고 공극 등은 전자현미경으로 관찰할 수 있는데 일반적인 전자현미경 관찰을 위하여서는 상당량의 수분의 건조가 불가피하며 이때 생기는 겔 구조의 변화는 실제 존재하는 구조를 왜곡시키는 반면 CSLM은 수분 건조와 같은 전처리 과정이 불필요하므로 보다 자연적 상태의 미세구조 관찰이 가능하다[24]. 다양한 농도의 칼슘을 강화한 요구르트의 미세구조를 CSLM으로 관찰한 결과 작은 입자형의 단백질들이 응집되어 network을 형성하고 있었으며 상대적으로 밝은 색을 띠는 구상의 casein은 첨가된 칼슘의 농도가 증가함에 따라 보다 치밀하게 밀집하여 존재한 반면 검은색으로 보이는 공극의 크기는 현저하게 줄어드는 경향을 나타냈다(Fig. 2). 이 결과는 칼슘의 첨가에 의하여 요구르트 겔의 구조적 단위가 강화될 수 있다는 가설을 뒷받침할 수 있다.

칼슘강화 요구르트의 기호도 특성을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 칼슘강화 요구르트의 관능적 특성은 외관에서 나타나는 일부 차이를 제외하고는 모든 특성에서 유의적 차이를 나타내지 않았다. 요구르트 커드의 강도(firmness)는 칼슘의 첨가 농도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나 기호도 특성에서는 유의적 변화로 확인되지 않았다. 이 결과는 젖산칼슘으로 제조한 칼슘강화 요구르트의 관능평가 결과가 동일한 양상이었다[23]. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 MM은 요구르트는 품질 특성의 변화 없이 칼슘강화 기능성 유제품을 제조하는 데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 MM의 화학적 조성 및 용해도 특성을 분석하고 칼슘강화 요구르트의 제조의 적용가능성을 분석하고자 실시되었다. MM의 화학적 성분을 분석한 결과 MM은 83% 무기질로 구성되어 있으며, 유당이 7.5%, 단백질은 3.3% 정도였으며, 지방은 1% 미만으로 존재하였다. 무기질을 구성하는 주 성분인 칼슘과 인은 약 46% 및 36%로 1.28:1의 비율로 존재하였다. MM은 pH가 감소할수록 용해도가 증가하였으며, pH 4와 5에서의 용해도는 각각 98%, 53%로 나타났다. MM을 첨가하여 제조한 칼슘 강화 요구르트는 200 mg/100 mL 수준까지 산생성속도, 생균수에서 유의적 차이를 나타내지는 않았지만 점도는 칼슘의 첨가수준이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다. 칼슘강화 요구르트의 미세구조 관찰 결과 겔의 공극이 감소하고 단백질 네트워크가 치밀해지는 변화가 확인되었

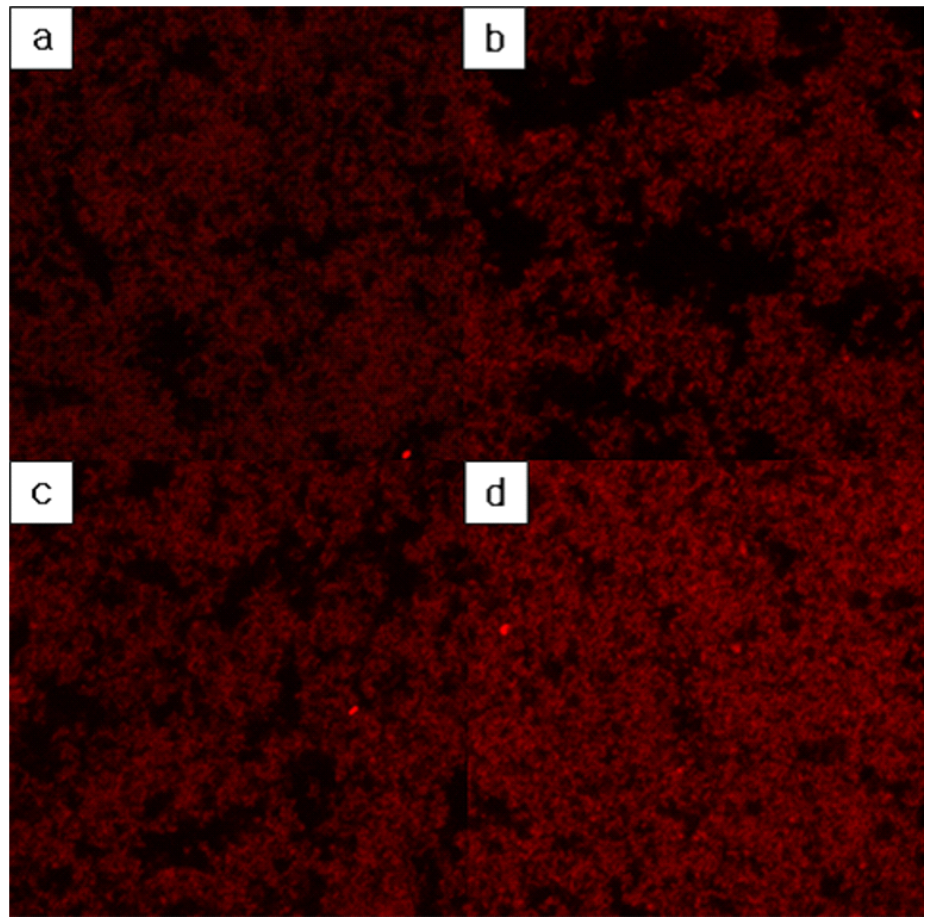


Fig. 2. Microstructure of Ca-fortified yogurt observed by confocal scanning laser microscopy. (a) Control, (b) Ca-fortified (150 mg/100 mL), (c) Ca-fortified (175 mg/100 mL), (d) Ca-fortified (200 mg/100 mL).

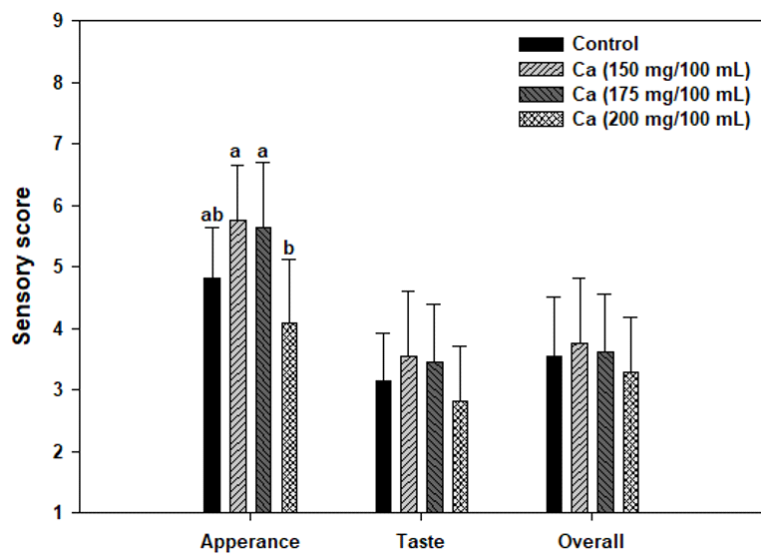


Fig. 3. Sensory evaluation of Ca-fortified yogurt. ^{a,b} Bars with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

으나 기호도 특성을 분석한 관능검사 결과에서는 칼슘무첨가 대조구와 비교하여 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러므로, MM은 요구르트는 품질 특성의 변화 없이 칼슘강화 기능성 유제품을 제조하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

References

1. Lee YK, Chang JS, Min YK, Byun DW, Park Y, Ha YC. Low calcium and vitamin D intake in Korean women over 50 years of age. *J Bone Miner Metab.* 2017;35:522-528.
2. Park S, Kim K, Lee BK, Ahn J. A healthy diet rich in calcium and vitamin C is inversely associated with metabolic syndrome risk in Korean adults from the KNHANES 2013–2017. *Nutrients.* 2021;13:1312.
3. Park S, Kang S, Kim DS. Severe calcium deficiency increased visceral fat accumulation, down-regulating genes associated with fat oxidation, and increased insulin resistance while elevating serum parathyroid hormone in estrogen-deficient rats. *Nutr Res.* 2020;73:48-57.
4. Lee HJ, Cho J, Lee HSH, Kim C, Cho E. Intakes of dairy products and calcium and obesity in Korean adults: Korean National Health and Nutrition Examination Surveys (KNHANES) 2007–2009. *PLOS ONE.* 2014;9:e99085.
5. Rosenblum JL, Castro VM, Moore CE, Kaplan LM. Calcium and vitamin D supplementation is associated with decreased abdominal visceral adipose tissue in overweight and obese adults. *Am J Clin Nutr.* 2012;95:101-108.
6. Bonjour JP, Benoit V, Atkin S, Walrand S. Fortification of yoghurts with vitamin D and calcium enhances the inhibition of serum parathyroid hormone and bone resorption markers: a double blind randomized controlled trial in women over 60 living in a community dwelling home. *J Nutr Health Aging.* 2015;19:563-569.
7. Straub DA. Calcium supplementation in clinical practice: a review of forms, doses, and indications. *Nutr Clin Pract.* 2007;22:286-296.
8. Allen K, Cornforth D. Antioxidant mechanism of milk mineral: high-affinity iron binding. *J Food Sci.* 2007;72:C078-C083.
9. Lorieau L, Le Roux L, Gaucheron F, Ligneul A, Hazart E, Dupont D, et al. Bioaccessibility of four calcium sources in different whey-based dairy matrices assessed by in vitro digestion. *Food Chem.* 2018;245:454-462.
10. Martinou-Voulasiki IS, Zerfiridis GK. Effect of some stabilizers on textural and sensory characteristics of yoghurt ice cream from sheep's milk. *J Food Sci.* 1990; 55:703-707.
11. Lee WJ, Lucey JA. Rheological properties, whey separation, and microstructure in set-style yoghurt: effects of heating temperature and incubation temperature. *J*

- Texture Stud. 2003;34:515-536.
12. Nelson LS Jr, Holt C, Hukins DWL. The EXAFS spectra of poorly crystalline calcium phosphate preparations from heated milk. *Physica B Condens Matter*. 1989;158:103-104.
 13. de Zawadzki A, Skibsted LH. Increasing calcium solubility from whey mineral residues by combining gluconate and δ -gluconolactone. *Int Dairy J*. 2019;99:104538.
 14. Kansal VK. Health benefit claims of dairy calcium. *Indian J Dairy Sci*. 2002;55:127-132.
 15. Lee KJ, Kim KS, Kim HN, Seo JA, Song SW. Association between dietary calcium and phosphorus intakes, dietary calcium/phosphorus ratio and bone mass in the Korean population. *Nutr J*. 2014;13:114.
 16. Kwak HS, Lee WJ, Lee MR. Revisiting lactose as an enhancer of calcium absorption. *Int Dairy J*. 2012;22:147-151.
 17. Koo WWK, Hockman EM, Dow M. Palm olein in the fat blend of infant formulas: effect on the intestinal absorption of calcium and fat, and bone mineralization. *J Am Coll Nutr*. 2006;25:117-122.
 18. Lu X, Leng Y. Theoretical analysis of calcium phosphate precipitation in simulated body fluid. *Biomaterials*. 2005;26:1097-1108.
 19. Goss S, Rafferty P, Prushko J, Gorman E, Taub M, Bogner R. Exploration of intestinal calcium precipitation as a barrier to absorption at high calcium doses. *Pharm Res*. 2008;25:2760-2768.
 20. On-Nom N, Grandison AS, Lewis MJ. Heat stability of milk supplemented with calcium chloride. *J Dairy Sci*. 2012;95:1623-1631.
 21. Crowley SV, Kelly AL, O'Mahony JA. Fortification of reconstituted skim milk powder with different calcium salts: impact of physicochemical changes on stability to processing. *Int J Dairy Technol*. 2014;67:474-482.
 22. Barone G, O'Regan J, Kelly AL, O'Mahony JA. Physicochemical and bulk handling properties of micronised calcium salts and their application in calcium fortification of whey protein-based solutions. *J Food Eng*. 2021;292:110213.
 23. Singh G, Muthukumarappan K. Influence of calcium fortification on sensory, physical and rheological characteristics of fruit yoghurt. *LWT-Food Sci Technol*. 2008;41:1145-1152.
 24. Hassan AN, Frank JF, Farmer MA, Schmidt KA, Shalabi SI. Formation of yoghurt microstructure and three-dimensional visualization as determined by confocal scanning laser microscopy. *J Dairy Sci*. 1995;78:2629-2636.