

타가토스의 첨가가 요구르트의 품질 및 관능 특성에 미치는 영향

성동은 · 임승용^{1*}

동양미래대학교 식품공학과, ¹국립군산대학교 식품생명공학과

Effects of Quality and Sensory Characteristics of Yogurt Added with Tagatose

Dong-Eun Sung and Seung-Yong Lim^{1*}

Department of Food Science and Engineering, Dongyang Mirae University

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kunsan National University

Abstract

To investigate the effects of tagatose added to yogurt fermented with *Streptococcus thermophilus* (ST) or *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* (LB), pH, titratable acidity (TA), sugar content, color value, viable cell number, and sensory evaluation were determined on yogurts added with 7% sucrose, tagatose, or a mixture of sucrose and tagatose in triplicate. After 24 h, pH and sugar content of sucrose-added yogurt reached nearly 4.5 and 4.2 respectively, and were lower than those of yogurt with tagatose (above 5.6 and 8.6, respectively). Also, TA of sucrose-added yogurt (1.51%) was much higher than that of yogurt with tagatose (0.59%). There were no significant differences in color value and viable cell count after 24 h. However, the addition of tagatose seems to slow the growth rate of LB more than that of ST. Sensory preference revealed that mixture-added yogurts scored significantly higher in taste (5.90), texture (5.86), and overall acceptability (6.16) than yogurts with tagatose (5.20, 5.02, and 5.36, respectively), but there was no significant difference from the sucrose-added yogurts. In conclusion, tagatose inhibited the fermentation rate, but the mixture of tagatose and sucrose could be used for yogurts with lower calories and glucose index (GI) without a sensory difference from sucrose-added yogurt.

Key words: tagatose, sucrose, yogurt, sensory preference, lactic acid bacteria

서 론

최근 생활수준의 향상에 따른 식생활 패턴의 서구화로 인해 심혈관계 질환과 호르몬 관련 질환이 증가하고 있어 웰빙(wellbeing) 식생활에 대한 관심이 증가되고 있다(Kim, 1989). 미국 Health 잡지가 2006년 조사한 세계적인 건강 식품 5가지 중 3가지가 장류, 김치, 요구르트(yogurt)로 선정되어 국제적으로 발효식품이 건강식품으로 인식되고 있다(Park, 2012). 요구르트는 우유를 *Lactobacillus bulgaricus* (*L. bulgaricus*), *Streptococcus thermophilus* (*S. thermophilus*), *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*)와 같은 유산균의 발효에 의해 lactate, peptone, peptide 등의 미량활성물질의 생성과 유산균의 장내 증식을 통한 정장 작용, 장내

유해 세균의 생육 억제, 설사와 변비의 개선, 유당 불내증 개선, 혈중 콜레스테롤 저하, 면역 증진 및 항암작용 등과 같은 다양한 건강기능성을 가지고 있는 식품으로 보고된 바 있다(Kim & Ko, 1990; Hood & Zoitola, 2006; Ko et al., 2008; Kim et al., 2009; Hwang et al., 2013; Sung & Choi, 2014). 하지만 한국소비자원에서 2015년에 국내에서 판매되고 있는 요구르트의 당류 함량을 조사한 결과 1회 제공량(150 mL)당 5.79-21.95 g 수준으로 평균 14.52 g 정도가 함유되어 있어 평균 당류 함량이 WHO (World Health Organization)의 1일 섭취 권고량(50 g)에 29.0%나 차지하고 있으며, 특히 당이 높은 상위 4개 제품의 평균 당류 함량은 무려 40.2%를 차지하고 있는 것으로 보고하였다(Kim, 2015). 우유를 가공하여 만든 요구르트의 특성상 천연당인 유당이 함유되어 있는 것은 당연하나 대부분의 조사 대상 제품에서는 제조 시 백설탕, 액상과당 등 정제당을 첨가하여 당 함량이 현저히 높아진 것으로 알려져 있다. 최근 비만, 당뇨병, 고혈압, 고지혈증 등 대사증후군 환자수가 급격히 증가하고 있으며 그 원인으로 운동부족과 식이에 있어서 지방 및 당의 과다 섭취를 들 수 있는데

*Corresponding author: Seung-Yong Lim, Department of Food Science and Biotechnology, Kunsan National University, Gunsan, 54150, Republic of Korea
Tel: +82-63-469-1825, Fax: +82-63-469-7448
E-mail: syonglim@kunsan.ac.kr
Received November 29, 2018; revised January 22, 2019; accepted January 28, 2019

소비자들이 건강을 위해 유산균을 섭취하고자 선택하고 있는 농후발효유가 오히려 당류 섭취를 늘리고 있는 결과를 초래하고 있다(Zhang et al., 2016). 이에 대한 대책의 하나로 당류 저감화 정책이 펼쳐지고 있으며, 2014년 WHO는 설탕 섭취량을 하루에 5% 미만으로 조절할 것을 권고하였다. 요구르트의 제조 시 단맛을 내기 위해 설탕을 주로 사용하고 있으나, 다양한 생활습관병의 원인으로 설탕이 지목되면서 이를 대체할 수 있는 대체감미료에 대한 요구가 증가하고 있다(Kim & Lee, 2016). 설탕은 체내 흡수가 빨라 당뇨병의 원인 물질로 알려져 있고(Lee & Woo, 2001), 과다 섭취 시 비만이 유도될 수 있으며(Ludwig et al., 2001), 정상 아동에 비하여 설탕의 섭취량이 유의적으로 높은 아동이 주의력 결핍 과잉 행동 증후군(Attention Deficit Hyperactivity Disorder, ADHD)을 보인다는 연구 결과도 있다(Chung & Park, 1995).

설탕 대체 감미료는 칼로리가 낮고, 소량으로도 설탕의 단맛을 대신할 수 있다는 장점이 있으나, 적용하는 식품에 따라서는 설탕에 비해 기호성이 떨어질 수 있어 다양한 식품에 활용하기 위해서는 많은 연구가 필요하다(Kim & Lee, 2012). 천연 당류 중 하나인 타가토스(tagatose)는 과일, 우유, 치즈 등에 미량 존재하며 C-4 위치에서 과당의 epimer인 단당류로 백색, 무취의 비 흡습성 결정체로 설탕 대비 92%의 감미도를 가지며, 설탕보다 부드럽고 깔끔한 맛을 가지고 있으면서 칼로리가 설탕이 4 kcal/g에 비해 1.5 kcal/g으로 설탕의 1/3이며, 혈당지수(Glucose Index, GI) 값은 3으로 68인 설탕이나 24인 과당에 비해 매우 낮아 건강에 도움을 주는 유익한 물질로 알려져 있다(Livesey & Brown, 1996; Kang et al., 2013). 또한 타가토스는 체내에서 거의 대사되지 않고, 과량을 섭취해도 설사를 유발하지 않으며(Roh et al., 1999), 장에서 탄수화물이 포도당으로 분해되는 것을 감소시켜 탄수화물의 흡수를 억제할 뿐만 아니라, 간에서 포도당이 글리코겐으로 전환되는 것을 도와서 혈당이 상승하는 것을 억제하는 효과가 있는 것으로 알려져 있으며(Donner et al., 1996; Kang & Lee, 2016), 타가토스를 섭취한 당뇨병 환자의 혈당이 낮아졌다는 보고도 있다(Chiu et al., 2011). 안전성에 있어서도 이미 미국 FDA에서 GRAS (Generally Recognized As Safe) 원료로 식품에 사용 가능하게 되었고, 2004년에는 WHO의 JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), 2006년부터는 유럽식품안전국(EFSA)에서 식품에 사용이 허가되었으며 국내에서도 2011년도에 한국식품의약품안전처(KFDA)로부터 기능성과 안전성을 인정받았다. 다양한 건강 기능성을 가지고 있는 타가토스는 설탕과 매우 유사한 단맛을 가지고 있기 때문에 여러 제품 적용 시 건강과 맛을 동시에 만족시킬 수 있으며 비만과 당뇨병과 같은 현대사회의 질병환자에게 설탕을 대체할 수 있는 저칼로리 대체 감미료로서 활용 가치가 높다(Livesey &

Brown, 1996; Buemann et al., 1999; Ryu et al., 2003). 또한 타가토스는 열과 pH에 대한 안정성이 우수하며 설탕과 같은 볼륨감, 조직감, 맛 등을 부여할 뿐만 아니라 prebiotics와 probiotics의 조합인 synbiotics의 특징을 나타내어 장내 유용 균총의 성장 촉진에 상승효과를 나타내고, 이들의 probiotic 작용을 증진시키는 특징을 가지고 있어 설탕 대신 제과, 제빵, 아이스크림, 요구르트 및 유제품 등에 사용될 수 있다(Ryu et al., 2003; Koh & Seung, 2013). 현재까지 타가토스에 관련된 대부분의 연구는 타가토스의 생산을 위하여 생물학적 제조법에 관해 많은 관심이 집중되어 있었으며(Cheetham & Wootton, 1993; Rhimi et al., 2011; Men et al., 2014). 나아가서 일부 연구 그룹으로부터 타가토스의 기능성에 대한 연구가 제한적으로 이루어지고 있었다(Jørgensen et al., 2004). 하지만 타가토스의 식품 첨가에 대한 연구는 음료수에 관한 것이 주를 이루고 있으며(Bell, 2015), 타가토스를 이용한 제품 제조에 있어서 타가토스가 미치는 영향에 대한 검토는 거의 이루어져 있지 않고 있는 실정이다. 향후 타가토스가 저칼로리 감미료로서 다양한 식품에 설탕을 대체하여 적용될 수 있다는 점을 고려한다면 타가토스를 식품에 적용하기 위한 연구는 매우 필요할 것으로 예상할 수 있다(Swanson et al., 1992; Storlien et al., 1993; Martinez et al., 1994).

따라서 본 연구에서는 설탕을 천연감미료로 대체하여 설탕 대체제의 이용을 검토하기 위한 방안 및 당에 대한 부담감을 줄여 대사성 증후군이나 당뇨병을 가진 환자들이 섭취할 수 있는 요구르트를 개발하고자 하는 일련의 연구로서 설탕과 유사한 단맛을 가지며, 저칼로리, 저혈당지수, 다양한 기능성과 synbiotics 효과도 가지고 있는 타가토스의 첨가가 *S. thermophilus*와 *L. bulgaricus*를 이용한 요구르트의 발효 과정 및 제품의 품질 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

재료 및 사용균주

요구르트의 제조에 사용된 주재료인 우유(Seoul milk Co., Seoul, Korea), 타가토스(tagatose, CJ Cheiljedang, Incheon, Korea), 백설탕(sucrose, CJ Cheiljedang, Incheon, Korea)은 시판품을 구입하여 사용하였다. 요구르트 제조에 사용된 균주는 *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (이하 *L. bulgaricus*)와 *Streptococcus thermophilus* (이하 *S. thermophilus*) 2종의 균주를 중앙대학교(Ansung, Korea)에서 분양 받아 사용하였으며, 보존용 배지로는 Lactobacilli MRS broth 배지(Difco Laboratories, Becton, Dickinson and Company, Sparks, MD, USA)를 사용하여 37±1°C, 24 시간 동안 2회 계대 배양하여 종균으로 사용하였다. 1차 균주 배양은 5.2% MRS 배지에 0.2% 접종하여 37°C에서

24시간 배양하였으며, 같은 조건에서 2차 계대 배양한 균주를 요구르트 제조의 스타터로 사용하였다.

요구르트 (yogurt)의 제조

우유 60 mL에 7%의 타가토스(tagatose), 설탕(sucrose), 또는 타가토스와 설탕의 혼합물(1:1)을 첨가하여 마그네틱 교반기(Hot Plate & Magnetic Stirrer, Misung Scientific Co., Yangju, Korea)를 사용하여 교반 후 90°C에서 30분간 살균한다. 살균된 믹스가 40-45°C 정도로 냉각되었을 때 유산균(*S. thermophilus* or *L. bulgaricus*)을 접종한 뒤 37°C incubator에서 24시간 발효한 후 starter culture로 사용하였다. 요구르트 제조를 위하여 우유 500 mL에 7%의 타가토스(tagatose), 설탕(sucrose), 또는 타가토스와 설탕의 혼합물(1:1)을 첨가한 후 마그네틱 교반기에서 교반 후 살균하였다(90°C, 30 min). 살균이 끝나면 40-45°C 사이로 냉각시킨 샘플에 앞서 제조한 starter culture 50 mL를 혼합하였다. 같은 방법으로 타가토스 첨가 유무와 접종 균주에 따라 6가지 샘플(SST: sucrose with *S. thermophilus*, SLB: sucrose with *L. bulgaricus*, TST: tagatose with *S. thermophilus*, TLB: tagatose with *L. bulgaricus*, STST: sucrose + tagatose with *S. thermophilus*, STLB: sucrose + tagatose with *L. bulgaricus*)을 37°C incubator에서 24시간 동안 발효시키면서 6시간마다 샘플을 채취하여 pH, 적정산도, 당도, 생균수를 측정하였고, 색의 변화를 알아보기 위하여 발효 전과 후에 색도를 측정하였으며 발효가 끝난 후에는 4±2°C 냉장고에서 48시간 동안 보관 후 관능검사를 실시하여 비교하였다.

pH 및 적정산도 측정

요구르트의 pH는 pH meter (Orion 3 star, Thermo Scientific Inc., Beverly, MA, USA)로 24시간 발효시키는 동안 6시간 간격으로 측정하였으며, 적정산도는 Jeon et al. (2005)의 방법에 따라 요구르트 10 mL를 100 mL 메스플라스크에 정용한 후 그 중 20 mL를 취하여 페놀프탈레인 지시약 2-3방울을 넣고 0.1 N NaOH로 적정하여 측정하였으며 적정에 사용된 0.1 N NaOH의 소비 mL수를 다음의 계산식을 이용하여 젯산으로 환산하였다.

Titrateable acidity (%)

$$= \frac{\text{mL of 0.1 N NaOH} \times \text{Factor} \times \text{Dilution rate} \times 0.009}{\text{Weight of sample (mL)}} \times 100$$

당도 및 색도 측정

당도는 굴절당도계(Master-M Series, ATAGO Co. Ltd., Tokyo, Japan)의 프리즘에 샘플 2-3 방울을 떨어뜨려 프리즘 덮개를 닫은 후 점안렌즈를 통해 눈금을 읽어 측정하였으며 유산균 접종 후 6시간 간격으로 24시간 동안 측정하

였다. 색도는 유산균 접종 직후와 24시간 동안 발효 후 각각의 시료를 색차계(CM-5, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 사용하여 L값(lightness), a값(+red/-green), b값(+yellow/-blue)으로 나타내었다. 모든 실험은 3회 반복 측정하여 평균값과 표준편차로 나타내었다.

유산균수의 측정

배양 중 유산균수의 변화에 대한 측정을 위하여 24시간 동안 배양하면서 각 6시간마다 채취한 시료를 멸균 생리식염수에 넣고 균질화 한 후 십진 희석법으로 희석하여 희석 배수 별로 petri dish에 분주하고, MRS agar 배지를 이용하여 37±1°C에서 48±1시간동안 배양 후 균수를 계측하여 30-300 colony가 나타나는 평판을 선택하여 산출하였다.

관능평가

관능평가는 50명의 일반 패널을 대상으로 본 실험의 목적과 평가 방법 및 측정 항목에 대해 충분히 설명한 후 실시하였다. 냉장 온도(4±2°C)에서 2일간 보관한 요구르트를 50명의 패널들에게 강도 및 기호도에 대해 평가하였다. 강도에 대한 평가항목으로는 색(color), 풍미(flavor), 신맛(sourness), 단맛(sweetness), 후미(aftertaste), 걸쭉한 정도(thickness)에 대하여 1점으로 갈수록 약하게 표현하고 9점으로 갈수록 강하게 느끼는 것으로 표시하도록 하는 9점 척도법으로 평가하도록 하였다. 또한 기호도에 대한 평가항목으로 외관(apparence), 풍미(flavor) 맛(taste), 조직감(texture) 및 전반적인 기호도(overall acceptability)에 대해 좋아하는 정도를 9점 척도를 이용하여 평가하였다.

통계 처리

실험 결과는 통계분석 SAS Ver. 9.2 프로그램(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 사용하여 분산분석을 수행하였고 평균±표준편차로 나타내었다. 각 시료 분석 결과에 대한 비교를 위하여 Duncan의 다중검정법(Duncan's multiple range test)을 실시하여 시료 간의 유의적인 차이를 검증하였으며, 통계적 유의수준은 one-way ANOVA를 이용하여 5% ($p < 0.05$)로 설정하였다.

결과 및 고찰

요구르트의 발효 중 pH, 적정산도 및 당도의 변화

요구르트의 발효 중 pH는 발효 진행 상황, 성분 변화 및 산미 정도를 알 수 있는 중요한 품질 지표로서 활용되고 있다(Yang et al., 2010). 우유에 타가토스 또는 설탕을 첨가한 시료에 *S. thermophilus*나 *L. bulgaricus*를 접종한 후 24시간 동안 발효시키면서 6시간 간격으로 pH의 변화에 대하여 측정한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 모든 요구르트는 배양시간이 증가함에 따라 pH가 감소하는 경향을

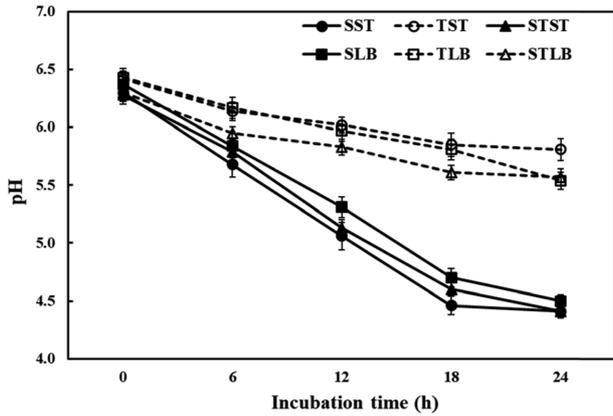


Fig. 1. The change of pH on yogurt incorporating tagatose during fermentation period by *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* at 37±1°C for 24 h. SST (●): sucrose with *S. thermophilus*, TST (○): tagatose with *S. thermophilus*, STST (▲): sucrose + tagatose (1:1) with *S. thermophilus*, SLB (■): sucrose with *L. bulgaricus*, TLB (□): tagatose with *L. bulgaricus*, STLB (△): sucrose + tagatose (1:1) with *L. bulgaricus*.

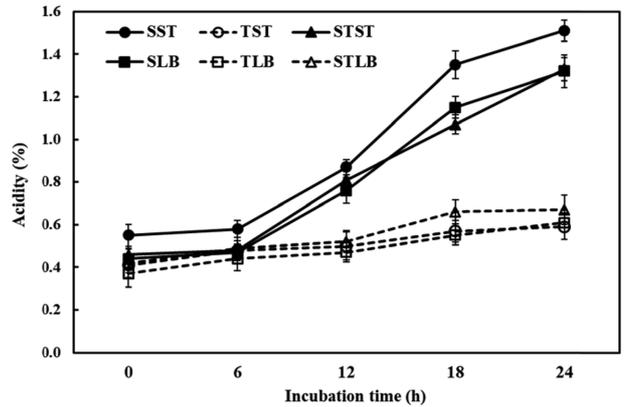


Fig. 2. The change of titratable acidity on yogurt incorporating tagatose during fermentation period by *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* at 37±1°C for 24 h. SST (●): sucrose with *S. thermophilus*, TST (○): tagatose with *S. thermophilus*, STST (▲): sucrose + tagatose (1:1) with *S. thermophilus*, SLB (■): sucrose with *L. bulgaricus*, TLB (□): tagatose with *L. bulgaricus*, STLB (△): sucrose + tagatose (1:1) with *L. bulgaricus*.

보였지만 타가토스 첨가량 및 균주에 따라 그 감소 정도에 차이가 있었다. Chamber (1979)는 양질의 요구르트를 생산하기 위한 적정 pH가 3.27-4.53이라고 하였는데, 설탕을 첨가하여 발효시킨 경우 모두 발효 24시간 후에는 pH 4.5 근처에 도달하였지만, 타가토스만을 첨가하여 발효시킨 경우 균주에 상관없이 모두 배양 24시간 후 pH가 5.6 이상에 머무르는 결과가 나타났다. 설탕과 타가토스를 혼합 첨가하여 발효시킨 경우 *S. thermophilus*는 설탕 첨가(대조구)와 유사하게 배양 18시간 이후부터 적정 pH에 근접할 수 있었지만 *L. bulgaricus*를 접종한 요구르트는 타가토스 첨가구와 마찬가지로 24시간 내에 적정 pH에 도달하지 못하였다.

적정산도로 나타내어지는 젖산 생성량의 변화 역시 pH 변화와 유사한 경향을 보였는데(Fig. 2), 일반적으로 발효유의 산도가 1.0-1.1%일 때 가장 좋은 품질을 나타내며, 한국인의 기호에 맞는 발효유의 적정산도는 0.85-1.20%라는 보고된 바 있다(Shin et al., 1993; Lee et al., 2006). 설탕만을 이용하여 발효시킨 요구르트는 *S. thermophilus*와 *L. bulgaricus* 접종 직후 0.44%였던 산도가 배양 6시간 후부터 급격히 증가하여 발효 12-18시간 사이에 한국인의 기호에 부합하는 0.85% 이상을 나타내었으며, 24시간 후에 1.51%의 산도를 나타낸 것과 달리, 타가토스만을 첨가하여 발효를 진행한 요구르트는 산도가 증가하지 않았으며 (0.59%), 양질의 요구르트를 생산할 수 있는 산도에 도달하지 못하였다. *L. bulgaricus*로 발효시킨 타가토스와 설탕 혼합 첨가구는 24시간 내에 적절한 산도에 도달하지 못하였으며, *S. thermophilus*로 발효시킨 경우 대조구와 유사하게 적절한 산도에 도달할 수 있었다.

굴절당도계를 이용하여 측정된 요구르트의 발효 중 당도

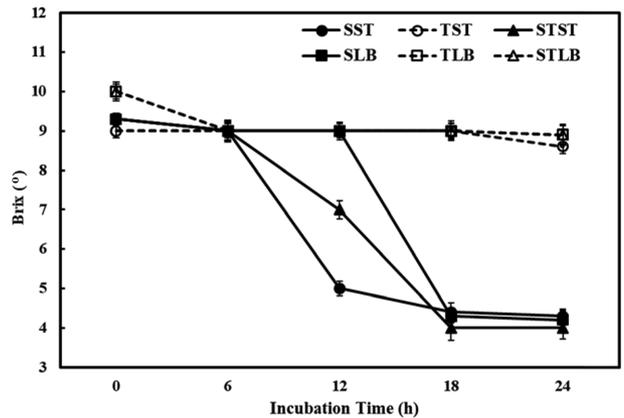


Fig. 3. The change of sugar content on yogurt incorporating tagatose during fermentation period by *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* at 37±1°C for 24 h. SST (●): sucrose with *S. thermophilus*, TST (○): tagatose with *S. thermophilus*, STST (▲): sucrose + tagatose (1:1) with *S. thermophilus*, SLB (■): sucrose with *L. bulgaricus*, TLB (□): tagatose with *L. bulgaricus*, STLB (△): sucrose + tagatose (1:1) with *L. bulgaricus*.

변화의 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 양질의 요구르트를 생산하기에 적절한 pH 및 산도에 24시간 내에 도달하지 못하였던 타가토스 첨가구(TST, TLB) 및 *L. bulgaricus*로 발효시킨 설탕과 타가토스 혼합 첨가구(STLB)는 당도의 감소 정도 역시 미미하였다(8.6°Brix) 반면에, *S. thermophilus*로 발효시킨 대조구(SST)의 당도는 6-12시간 사이에 급격하게 감소하였으며, 설탕과 타가토스 혼합 첨가구(STST)의 경우 6시간 이후부터 감소가 이루어지기 시작하여 18시간까지 지속적인 감소가 나타났다. *L. bulgaricus*로 발효시킨 설탕 첨가 요구르트(SLB)의 경우에 12시간까지는 변화가 거의 없다가 12-18시간 사이에 급격히 감소하였으

며, 접종 전 9.5 °Brix 이었던 당도가 배양 18시간에는 4.2 °Brix로 감소하였다. 요구르트의 발효 중 pH, 적정산도, 당도 변화에 대한 결과를 종합해 보았을 때, 유산균의 경우 *S. thermophilus*가 *L. bulgaricus*보다 발효속도가 빨랐으며, 두 유산균 모두 타가토스만을 이용해서는 정상적인 젖산 발효가 일어나지 않은 것으로 보인다. 전체 유산균 중 약 5-10% 정도만이 타가토스를 이용할 수 있으며, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus paracase*는 타가토스를 이용할 수 있는 주요 유산균주로, *Bifidobacterium* 속은 타가토스를 이용할 수 없는 유산균주로 보고되었다(Bertelsen et al., 2001; Kim, 2012b). 하지만 Bertelsen et al. (2001)은 *S. thermophilus*와 *L. bulgaricus*의 경우에는 같은 균주라도 유래된 곳에 따라 타가토스를 이용할 수 없는 균주도 존재한다고 보고하였다.

요구르트 발효 전후의 색도 변화

타가토스 또는 설탕을 첨가한 요구르트의 색 차이를 알아보기 위하여 명도(L*: lightness), 적색도(a*: redness), 황색도(b*: yellowness)를 색차계를 이용하여 3회 반복 측정하여 평균값과 표준편차를 Table 1에 나타내었다. 색도는

요구르트의 선택과 품질에 큰 영향을 미치는 것으로 중요한 특성 중에 하나인데(Han, 2005) 타가토스 또는 설탕을 첨가한 요구르트의 발효 전후의 색도 측정 결과를 비교해 봤을 때 명도(L*값)와 적색도(a*값)에서는 거의 차이를 보이지 않았으나 황색도(b*값)의 경우 발효 후 모든 시료에서 증가하는 것으로 나타났다. 또한 요구르트의 발효 전후에 타가토스 첨가구와 대조구 사이에는 L*값, a*값, b*값 모두 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Lee et al.(2017)의 연구에 따르면, 다쿠아즈 제조 시 설탕을 대체한 타가토스 첨가량이 증가할수록 적색도는 증가하였으며, 메일라드 반응에 의한 갈변이 그 원인이었는데, 본 연구에서 사용한 요구르트는 상대적으로 수분함량이 높고 메일라드 반응의 영향을 적게 받는 낮은 온도에서 발효가 진행되었기에 타가토스 유무에 따른 요구르트의 색상 변화가 없는 것으로 생각된다. 따라서 타가토스의 첨가로 인한 색의 변화가 없어 요구르트 품질의 결정과 소비자들의 선택에 있어 색의 영향은 없을 것으로 판단된다.

요구르트의 발효 중 배양시간별 유산균수의 변화

요구르트의 발효 과정 중 유산균수는 0, 6, 12, 18, 24시

Table 1. The change of color value in yogurt including tagatose before and after fermentation by *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*

Time	Value	SST ¹⁾	TST ¹⁾	STST ¹⁾	SLB ¹⁾	TLB ¹⁾	STLB ¹⁾	F-value
Before fermentation	L ^{*2)}	89.71±1.99 ³⁾	90.54± 0.50	90.41±1.35	90.27±2.26	90.27±0.46	90.76±1.48	0.16
	a ^{*2)}	-1.30±0.30	-0.06±3.08	-0.81±1.52	-1.07±0.39	-0.11±2.94	-0.77±1.67	0.19
	b ^{*2)}	8.83±1.20	9.86±4.89	9.18±2.87	9.31±0.89	9.81±4.85	9.12±3.04	0.04
After fermentation	L [*]	88.88±1.27	88.70±2.64	88.86±0.81	88.91±0.89	89.19±2.08	89.27±0.74	0.06
	a [*]	-0.72±0.75	-0.13±2.48	-0.47±1.52	-0.92±0.57	0.26±2.51	-0.29±1.76	0.17
	b [*]	11.42±1.37	10.67±6.14	10.58±2.10	10.25±1.39	11.41±4.24	10.95±3.91	0.05

¹⁾SST: sucrose with *S. thermophilus*, TST: tagatose with *S. thermophilus*, STST: sucrose + tagatose (1:1) with *S. thermophilus*, SLB: sucrose with *L. bulgaricus*, TLB: tagatose with *L. bulgaricus*, STLB: sucrose + tagatose (1:1) with *L. bulgaricus*

²⁾L*: lightness (100=White, 0=Black), a*: redness (+a*=Red, -a*=Green), b*: yellowness (+b*=Yellow, -b*=Blue)

³⁾Data values indicate the mean±SD of triplicate and the row values are not significantly different each other at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 2. The change of viable cell counts on yogurt incorporating tagatose during fermentation period by *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* at 37±1°C for 24 h

Time (h)	SST ¹⁾	TST ¹⁾	STST ¹⁾	SLB ¹⁾	TLB ¹⁾	STLB ¹⁾
0	1.49(±0.36 ^a) ²⁾ × 10 ⁴	1.57(±0.51 ^a) × 10 ⁴	1.51(±0.42 ^a) × 10 ⁴	1.66(±0.30 ^a) × 10 ⁴	5.90(±3.55 ^b) × 10 ³	8.93(±1.10 ^{ab}) × 10 ³
6	3.73(±0.87 ^{ab}) × 10 ⁵	1.60(±0.56 ^{ab}) × 10 ⁵	9.30(±6.69 ^a) × 10 ⁵	6.13(±3.36 ^a) × 10 ⁵	1.03(±0.15 ^b) × 10 ⁵	5.67(±3.79 ^a) × 10 ⁵
12	9.40(±1.22 ^{ab}) × 10 ⁸	4.63(±4.65 ^b) × 10 ⁸	2.57(±2.11 ^a) × 10 ⁹	9.93(±0.12 ^{ab}) × 10 ⁸	4.90(±4.43 ^b) × 10 ⁸	3.97(±1.70 ^b) × 10 ⁸
18	2.63(±1.76 ^a) × 10 ¹⁰	6.00(±3.61 ^{ab}) × 10 ⁹	2.33(±1.53 ^a) × 10 ¹⁰	1.87(±1.03 ^a) × 10 ¹⁰	5.33(±4.51 ^b) × 10 ⁹	7.00(±3.00 ^{ab}) × 10 ⁹
24	4.33(±4.93 ^a) × 10 ¹¹	2.33(±2.31 ^a) × 10 ¹¹	4.00(±5.20 ^a) × 10 ¹¹	5.00(±4.58 ^a) × 10 ¹¹	1.33(±0.58 ^a) × 10 ¹¹	4.00(±5.20 ^a) × 10 ¹¹

¹⁾SST: sucrose with *S. thermophilus*, TST: tagatose with *S. thermophilus*, STST: sucrose + tagatose (1:1) with *S. thermophilus*, SLB: sucrose with *L. bulgaricus*, TLB: tagatose with *L. bulgaricus*, STLB: sucrose + tagatose (1:1) with *L. bulgaricus*

²⁾Data values indicate the mean±SD of triplicate and the same superscripts in a row are not significantly different each other at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

간 배양할 때의 유산균수를 측정하여 Table 2에 나타내었다. 배양 6시간에는 *S. thermophilus*를 접종한 경우에는 유의적 차이가 나타나지 않았지만 *L. bulgaricus*의 경우에는 타가토스 첨가구가 1.03×10^5 CFU/mL로 6.13×10^5 CFU/mL인 대조구의 경우보다 생균수가 유의적으로 적게 나타났다. 배양 12시간에서는 타가토스 첨가구가 대조구인 설탕 첨가구와는 유의적인 차이가 없었지만 *S. thermophilus*를 접종한 경우에는 4.63×10^8 CFU/mL로 2.57×10^9 CFU/mL인 타가토스와 설탕을 혼합하여 첨가한 요구르트에 비해 생균수가 유의적으로 적게 나타났다. 배양 18시간에는 6시간에서와 같이 *L. bulgaricus*를 접종한 경우에만 타가토스 첨가구가 5.33×10^9 CFU/mL로 1.87×10^{10} CFU/mL인 대조구의 경우보다 생균수가 유의적으로 적게 나타났으나 24시간에 도달하였을 때는 모든 요구르트 샘플에서 유의적 차이가 나타나지 않았다. 타가토스 첨가구의 경우 발효 24시간 후에 pH, 적정산도 및 당도의 결과가 유산균수와 유사한 경향을 보이지 않았는데 이는 Bae et al. (2004)이 보고한 바에 따르면 유산균의 종류별 성장 양상이 다르기 때문에 유산균 수나 산도, pH의 경향이 다르게 나타난다고 하였다. 또한 Bae et al. (2004)와 Lee et al. (2013)의 연구 결과에서도 대조군의 경우에 발효 후 pH 및 적정산도는 요구르트 생산 기준에는 미흡하였지만 유산균 수는 정상적인 발효가 진행된 요구르트와 큰 차이가 나타나지 않아 본 연구에서 tagatose를 첨가한 요구르트의 결과와 유사하였다.

이상의 결과에서 나타났듯이 타가토스의 첨가가 *S.*

*thermophilus*의 성장 속도에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났지만 *L. bulgaricus*의 경우에는 성장 속도를 저해시키는 결과가 초래되었는데 이는 요구르트의 발효 속도를 저해시키는 결과로 나타났다. 요구르트의 발효 과정 중 생균수는 모든 처리구에서 24시간 동안 지속적으로 증가함을 볼 수 있으며, 처음 접종 후 6시간까지는 미미하게 증가함을 보였으나 6-12시간 사이에는 급속히 성장하였다가 그 이후에는 완만하게 증가하여 24시간 후에는 모든 요구르트가 $1.33(\pm 0.58) \times 10^{11}$ 이상의 생균수를 나타내었다. Kim et al. (2015)의 연구에 의하면 시중에서 판매되고 있는 요구르트 제품의 유산균수를 측정하였을 때 평균값으로 $6.3(\pm 0.4) \times 10^6$ 에서 $8.3(\pm 1.4) \times 10^9$ CFU/mL까지의 값을 나타내었고, 요구르트 1병을 기준으로 하였을 때는 $8.1(\pm 0.4) \times 10^8$ 에서 $1.4(\pm 0.9) \times 10^{11}$ CFU/mL까지의 값을 나타내었다고 보고하여 본 연구에서 제조된 타가토스 첨가 요구르트의 유산균의 양이 시판되는 요구르트와 유사한 범위를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 현행 우리나라 식품 공전 상 축산물 가공기준 및 성분 규격(MFDS, 2013)에 정해진 농후 발효유의 총 유산균수는 1×10^8 CFU/mL 이상으로 본 실험의 결과 제조된 요구르트의 유산균수는 모두 적정치 범위 이상인 것으로 확인되었다. 유산균 접종 후 12시간 이후에 생균수가 완만하게 증가하는 이유는 산의 생성으로 인한 pH 저하 등의 원인으로 인하여 균의 생육이 어느 정도 억제되는 시기에 도달하는 것으로 판단된다(Kim, 2012a). Kang et al. (2013)의 연구에 의하면

Table 3. Sensory intensities of yogurt including tagatose fermented with *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*

	SST ¹⁾	TST ¹⁾	STST ¹⁾	SLB ¹⁾	TLB ¹⁾	STLB ¹⁾	F-value
Color	4.76±1.42 ^{cd}	5.78±1.15 ^a	5.06±1.06 ^{bc}	4.88±1.12 ^c	5.12±1.27 ^{bc}	5.36±0.88 ^a	6.39 ^{***}
Flavor	5.08±1.51 ^a	4.90±1.40 ^{ab}	4.76±1.41 ^b	4.66±1.35 ^b	5.18±1.26 ^a	5.00±1.46 ^a	2.01 [*]
Sourness	4.14±1.80 ^a	3.30±1.71 ^{bc}	3.18±1.53 ^{bc}	2.90±1.49 ^c	2.68±1.49 ^c	3.62±1.60 ^{ab}	5.96 ^{***}
Sweetness	5.00±1.34 ^{abc}	4.94±1.71 ^{bc}	5.36±1.45 ^{ab}	5.58±1.72 ^a	4.64±1.40 ^c	5.48±1.36 ^{cd}	3.14 ^{**}
Aftertaste	5.22±1.09 ^a	4.54±1.55 ^{bc}	5.06±1.08 ^{ab}	4.98±1.38 ^{ab}	4.24±1.45 ^c	5.34±1.36 ^a	5.60 ^{***}
Thickness	6.04±1.29 ^a	4.18±1.44 ^c	4.52±1.34 ^c	5.16±1.38 ^b	1.94±1.22 ^d	5.52±1.22 ^b	67.08 ^{***}

¹⁾SST: sucrose with *S. thermophilus*, TST: tagatose with *S. thermophilus*, STST: sucrose + tagatose (1:1) with *S. thermophilus*, SLB: sucrose with *L. bulgaricus*, TLB: tagatose with *L. bulgaricus*, STLB: sucrose + tagatose (1:1) with *L. bulgaricus*

²⁾Sensory intensity scores indicate the mean±SD (n = 50) and the same superscripts in a row are not significantly different each other at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 4. Sensory preference of yogurt including tagatose fermented with *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*

	SST ¹⁾	TST ¹⁾	STST ¹⁾	SLB ¹⁾	TLB ¹⁾	STLB ¹⁾	F-value
Appearance	6.90±1.07 ^{a2)}	5.54±1.39 ^c	6.16±1.15 ^b	6.46±1.16 ^{ab}	6.18±1.34 ^b	6.10±1.28 ^b	6.66 ^{***}
Flavor	4.92±1.64 ^c	5.64±1.16 ^b	5.92±1.14 ^b	5.80±1.26 ^b	6.66±1.35 ^a	5.52±1.34 ^b	9.41 ^{***}
Taste	5.80±1.54 ^{ab}	5.00±1.43 ^c	5.88±1.64 ^a	5.48±1.96 ^{abc}	5.20±1.81 ^{bc}	5.90±1.37 ^a	2.91 [*]
Texture	5.86±1.75 ^a	5.26±1.51 ^{ab}	5.76±1.32 ^a	5.86±1.40 ^a	5.02±1.87 ^b	5.86±1.23 ^a	3.03 [*]
Overall acceptability	5.86±1.75 ^{ab}	5.34±1.26 ^b	5.98±1.42 ^{ab}	5.84±1.72 ^{ab}	5.36±1.75 ^b	6.16±1.42 ^a	2.40 [*]

¹⁾SST: sucrose with *S. thermophilus*, TST: tagatose with *S. thermophilus*, STST: sucrose + tagatose (1:1) with *S. thermophilus*, SLB: sucrose with *L. bulgaricus*, TLB: tagatose with *L. bulgaricus*, STLB: sucrose + tagatose (1:1) with *L. bulgaricus*

²⁾Sensory preference scores indicate the mean±SD (n = 50) and the same superscripts in a row are not significantly different each other at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

*L. casei*의 경우 타가토스를 탄소원으로 이용하여 유산균의 생육이 촉진되고 요구르트 제조 시 타가토스의 첨가가 *L. casei*를 선택적으로 증식시켜 유산균의 생육 및 산 생성을 촉진시키는 것으로 보고되고 있으나 본 연구에서 사용된 균주인 *S. thermophilus*와 *L. bulgaricus*의 경우에는 pH 및 적정산도의 결과를 종합해 볼 때 타가토스의 첨가가 오히려 유산균의 성장 속도를 저해하여 요구르트 제조 시 발효 속도를 늦추는 것으로 사료된다. 하지만 설탕과 타가토스를 혼합 첨가하였을 경우에는 대조구와 유의적인 차이가 나타나지 않아 유용한 생리 효과를 가진 타가토스를 단독 사용하는 것보다는 요구르트 제조 시 설탕과 혼합 첨가하게 된다면 좋은 천연 소재로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 이를 위해서는 설탕을 대체하여 단독으로 사용하였을 경우에도 요구르트의 발효 속도를 향상시킬 수 있는 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

타가토스 또는 설탕을 첨가한 요구르트의 관능 평가

발효가 완료된 요구르트를 4°C에서 48시간동안 냉장 보관한 후 관능적 강도 평가와 기호도 평가를 50명의 패널을 대상으로 실시하였다. 관능적 특성의 강도를 알아보기 위하여 색(color), 향(flavor), 신맛(sourness), 단맛(sweetness), 후미(aftertaste), 점도(thickness)에 대한 평가를 9점 척도법으로 실시하여 강도가 클수록 높은 점수를 주도록 관능평가를 실시한 결과는 Table 3과 같다. 요구르트의 관능적 강도 평가 결과 색상(color)에 있어서는 설탕만 첨가한 대조구에 비해 타가토스가 첨가된 요구르트에서 약간 진한색이 나타나는 것으로 평가되었고, *S. thermophilus*로 발효시킨 대조구가 가장 강한 신맛(sourness)을 나타냈으며 그에 비해 타가토스 첨가구는 신맛의 강도가 유의적으로 약한 것으로 평가되었다. 향(flavor)과 단맛(sweetness)의 경우에는 설탕과 타가토스의 첨가에 따른 유의적인 차이가 거의 나타나지 않았으며 후미(aftertaste)는 설탕 첨가구가 타가토스 첨가구에 비해 높게 평가되었다. *S. thermophilus*로 발효시킨 대조구의 점도(thickness)가 가장 높게 평가되었고 타가토스 첨가구에 비해서도 유의적으로 높게 평가되었다. 또한 외관(appearance), 향(flavor), 맛(taste), 조직감(texture), 종합적인 기호도(overall acceptability)에 대하여 9점 척도법으로 기호도 평가를 실시한 결과는 Table 4에 나타내었다. 외관(appearance)의 경우 대조구의 선호도가 타가토스 첨가구에 비해 약간 좋게 평가되었으나 향(flavor)의 경우 *L. bulgaricus*로 발효시킨 타가토스 첨가 요구르트의 선호도가 유의적으로 가장 높게 평가되었고 *S. thermophilus*로 발효시킨 대조구가 가장 낮은 선호도를 보였다. 맛(taste)과 조직감(texture)에서는 대조구가 타가토스 첨가구에 비해 약간 높은 선호도를 나타내었으나 설탕과 타가토스를 혼합하여 첨가한 요구르트와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다 ($p < 0.05$). 종합적인 기호도(overall acceptability)에 대해서는

설탕과 타가토스 혼합 첨가구가 타가토스 첨가구에 비해 유의적으로 높은 점수를 받았고 대조구와는 유의적인 차이가 나타나진 않았지만 평균값에서 더 높은 점수를 얻었다. 요구르트의 품질을 결정하는 중요한 관능적 요소로는 일반적으로 외관(색상), 향미, 맛, 조직감을 들 수 있는데(Cho et al., 2008) 본 연구에서의 관능 평가 결과를 종합해 볼 때 외관(appearance)의 경우 설탕 첨가구의 선호도가 향(flavor)의 경우 타가토스 첨가구의 선호도가 높은 평가를 받았으나 맛(taste), 조직감(texture), 종합적인 기호도(overall acceptability)에 대한 선호도에서는 전반적으로 설탕과 타가토스 혼합 첨가구가 타가토스 첨가구에 비해 높은 점수를 받았으며 대조구와는 유의적인 차이가 나타나지 않아 타가토스를 설탕과 혼합하여 사용한다면 설탕을 첨가한 요구르트와는 관능적인 차이를 나타내지는 않으면서 칼로리와 혈당지수(GI) 값을 낮춘 요구르트 제조에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

타가토스의 첨가에 따른 요구르트의 발효 중 품질특성을 확인하기 위하여 2종류의 유산균주(*L. bulgaricus*, *S. thermophilus*)를 접종한 타가토스 또는 설탕(7%, w/v) 첨가 요구르트의 품질 특성을 평가하기 위하여 24시간 동안 배양하는 동안 pH, 적정 산도, 유산균수의 변화를 6시간 간격으로 측정하였고 발효 전후의 색의 변화를 알아보기 위하여 색도를 측정하였으며 배양이 끝난 후에는 48시간 동안 냉장(4±2°C) 보관한 후 관능평가(강도 및 기호도)를 실시하였다. 배양시간이 경과함에 따라 모든 시료의 pH는 낮아지고 적정 산도는 높아졌는데 설탕을 첨가하였을 경우에는 배양 6시간 이후 pH가 가파르게 하강하여 24시간 후에는 4.5 근처에 도달하였으나 타가토스 첨가구의 경우에는 완만하게 하강하여 배양 24시간에도 5.6 근처에 머무르는 결과가 나타났다. 설탕과 타가토스를 혼합 첨가한 요구르트에서는 균주에 따라 다른 결과를 보였는데 *S. thermophilus*를 접종한 경우에는 설탕 첨가구와 *L. bulgaricus*가 접종된 경우에는 타가토스 첨가구와 비슷한 경향이 나타났다. 적정산도는 pH의 결과에 부합하여 타가토스 첨가구가 설탕 첨가구보다 그리고 *L. bulgaricus*가 *S. thermophilus*를 접종하였을 때보다 낮은 값을 나타내었다. 또한 발효시간이 증가함에 따라 당도는 감소하는 경향을 보였는데, 이는 발효되는 동안 유산균에 의해 요구르트 내의 당이 분해되어 감소되고 대신 유산 및 초산 등이 생성되는 젖산발효에 의한 것으로 여겨진다. 당도 또한 pH와 산도의 결과와 유사한 경향을 나타내었는데 타가토스를 첨가하거나 *L. bulgaricus*를 접종하였을 경우에는 24시간 동안 당도가 거의 감소하지 않는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 타가토스와 *L. bulgaricus*는 요구르트의 발효 속도를 저하시

키는 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다. 색도는 발효가 진행되면 밝기(L*), 적색도(a*)에서는 거의 차이가 나타나지 않았지만 황색도(b*)가 약간 증가하는 것을 알 수 있었으며 타가토스 첨가구와 대조구와의 유의적인 차이는 나타나지 않아 타가토스의 첨가가 요구르트의 색 변화에는 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 요구르트의 발효 과정 중 생균수는 모든 처리구에서 24시간 동안 지속적으로 증가하였으며, 타가토스의 첨가가 *S. thermophilus*의 성장 속도에는 거의 영향을 미치지 않았지만 *L. bulgaricus*의 성장 속도를 저해시켜 요구르트의 발효 속도를 저해시키는 결과로 나타났다. 하지만 본 연구에서 제조된 요구르트의 유산균수는 축산물의 가공기준 및 성분규격의 10^8 CFU/mL 이상으로 나타나 호상 요구르트의 유산균수에 모두 부합하였다. 관능적 특성에 대한 선호도 평가 결과 맛(taste), 조직감(texture), 종합적인 기호도(overall acceptability)에 대해서는 전반적으로 설탕과 타가토스를 혼합 첨가한 요구르트가 타가토스 첨가구에 비해 유의적으로 높은 점수를 받았으나 설탕 첨가 요구르트와는 유의적인 차이가 나타나지는 않았다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 요구르트 제조를 위하여 설탕 대체 당으로 타가토스만 첨가하였을 경우에는 발효 속도를 저해시키는 특성이 나타났으며 관능 평가에서도 설탕만을 첨가한 대조구에 비해 선호도가 떨어지는 측면이 있었지만 타가토스를 설탕과 혼합하여 사용한다면 설탕을 첨가한 요구르트와는 관능적인 차이는 나타나지 않으면서 칼로리와 혈당지수(GI) 값을 낮춘 요구르트 제조에 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 타가토스는 설탕에 비해 혈당 증가가 낮고, synbiotic 효과가 있어 설탕을 첨가하지 않는 것이 건강측면에서 더 효과적이나 본 연구의 결과에 따르면 타가토스만을 첨가하였을 경우에는 요구르트의 발효 속도를 감소시키는 것으로 나타나 향후 타가토스만을 첨가하였을 때에도 발효 속도를 향상시킬 수 있는 방법에 대하여 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

- Bae HC, Paik SH, Nam MS. 2004. Fermentation properties of rice added yogurt made with various lactic acid bacteria. *J. Anim. Sci. & Technol.* 46: 677-686.
- Bell LN. 2015. Processing and Impact on Active Components in Food: Tagatose stability in beverages as impacted by composition and thermal processing. Academic Press, London, UK, pp. 613-618.
- Bertelsen H, Andersen H, Tvede M. 2001. Fermentation of D-Tagatose by Human Intestinal Bacteria and Dairy Lactic Acid Bacteria. *Microb. Ecol. Health Dis.* 13: 87-95.
- Buemann B, Toubro S, Astrup A. 1999. Human gastrointestinal tolerance to D-tagatose. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 29: 71-77.
- Chamber JV. 1979. Culture and processing techniques important to the manufacture of good quality yogurt. *J. Cult. Dairy Prod.* 14: 28-34.
- Cheetham PSJ, Wootton AN. 1993. Bioconversion of D-galactose into D-tagatose. *Enz. Microbial. Technol.* 15: 105-108.
- Chiu CJ, Liu S, Willett WC, Wolever TM, Brand-Miller JC, Barclay AW, Taylor A. 2011. Informing food choices and health outcomes by use of the dietary glycemic index. *Nutr. Rev.* 69: 231-242.
- Cho YS, Kim SI, Han YS. 2008. Effect of slander glasswort extract yogurt on quality during storage. *Korean Soc. Food Cookery Sci.* 24: 212-221.
- Chung HK, Park SS. 1995. The effect of sugar intake on attention deficit hyperactivity Disorder of school children. *Korean J. Nutr.* 28: 644-652.
- Donner T, Wilber J, Ostrewski D. 1996. D-tagatose: a novel therapeutic adjunct for insulin-dependent diabetes. *Diabetes.* 45: 125A.
- Han SH. 2005. Ice cream. Yuhan Publishing, Co., Seoul, Korea. pp. 201, 383-384.
- Hood SK, Zoitola EA. 2006. Effect of low pH on the ability of *Lactobacillus acidophilus* to survive and adhere to human intestinal cells. *J. Food Sci.* 53:1514-1516.
- Hwang SJ, Jung EK, Joo NM. 2013. Processing optimization and quality characteristics of low-fat yogurt prepared with roselle. *Korean J. Food Culture* 28: 392-400.
- Jeon BJ, Seok JS, Kwak HS. 2005. Physico-chemical properties of *Lactobacillus casei* 00692 during fermenting for liquid-type yogurt. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 25: 226-231.
- Jørgensen F, Hansen OC, Stougaard P. 2004. Enzymatic conversion of D-galactose to D-tagatose: heterologous expression and characterisation of a thermostable L-arabinose isomerase from *Thermoanaerobacter mathraii*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 64: 816-822.
- Kang KM, Park CS, Lee SH. 2013. Effects of D-tagatose on the growth of intestinal microflora and the fermentation of yogurt. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 348-354.
- Kang YS, Lee WY. 2016. Mass distribution of sugar made from GM microorganisms. Korea Food & Drug Administration, Cheongju.
- Kim DW, Yang DH, Kim SY, Kim KS, Chung MG, Kang SM. 2009. Hypocholesterolemic effect of lyophilized, heat-killed *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus plantarum*. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 37: 69-74.
- Kim DW, Yang TY, Lim JW, Lee KH, Cho SJ, Lee GH. 2015. Study of lactic acid bacteria in yogurt on the market. *J. Sci. Edu. Gilfted.* 7: 17-22.
- Kim HA, Lee KH. 2012. Quality characteristics of Yanggeng made with various sweeteners. *J. East. Asian Soc. Diet Life* 22: 818-825.
- Kim HJ, Ko YT. 1990. Study on preparation of yogurt from milk and soy protein. *Korean J. Food Sci. Technol.* 22: 700-706.
- Kim HK, Lee GH. 2016. Characteristics of sponge cake prepared with yacon concentrates as sugar substitute. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 45: 1453-1459.
- Kim JS. 1989. Perspective and transition of death causes among Korean. *Korean J. Epidemiol.* 11:155-174.
- Kim KC. 2012a. Production of functional soybean yogurt using β -glucosidase producing strains isolated from kimchi. MS Thesis, Catholic Univ. Daegu, Korea. pp. 23-24.
- Kim SH. 2012b. Synbiotic function of Tagatose. In: [Special Feature - Tagatose] 21st Century 'Next Generation Sweetener'. The

- Food & Beverage News. Available from: <http://www.thinkfood.co.kr/news/articleView.html?idxno=47798>. Accessed Nov. 03, 2018.
- Kim SJ. 2015. Enrichment of fermented milk and sugar products 3.8 times. Korea Consumer Agency. Available from: www.kca.go.kr. Accessed Jun. 01, 2018.
- Ko SH, Kim SI, Han YS. 2008. The quality characteristics of yogurt add supplemented with low grade dried-persimmon extracts. Korean J. Food Cook. Sci. 24: 735-741.
- Koh JH, Seung A. 2013. Synbiotic impact of tagatose on viability of *Lactobacillus rhamnosus* strain GG mediated by the phosphotransferase system (PTS). Food Microbiol. 36: 7-13.
- Lee EA, Woo KJ. 2001. Quality characteristics of Jeung-Pyun (Korean rice cake) according to the type and amount of the oligosaccharide added. Kor. J. Soc. Food Cookery Sci. 17: 431-440.
- Lee HJ, Pak HO, Lee JM. 2006. Fermentation properties of yogurt added with rice bran. Korean J. Food Cookery Sci. 22: 488-494.
- Lee MJ, Kim KS, Kim HS. 2013. Quality characteristics of whole barely flour added yogurt made with various lactic acid bacteria. Food Eng. Prog. 17: 311-318.
- Lee NR, Kang S, Kim JH, Kim HH, Lee JA, Park S. 2017. Physicochemical properties of dacquoise made with sugar or sugar replacements, tagatose, and erythritol. J. Appl. Biol. Chem. 60: 87-93.
- Livesey G, Brown JC. 1996. D-tagatose is a bulk sweetener with zero energy determined in rats. J. Nutr. 126: 1601-1609.
- Ludwig DS, Peterson KE, Gortmaker SL. 2001. Relation between consumption of sugar-sweetened drinks and childhood obesity: a prospective, observational analysis. Lancet 357: 505-508.
- Martinez FJ, Rizza RA, Romero JC. 1994. High-fructose feeding elicits insulin resistance, hyperinsulinism, and hypertension in normal mongrel dogs. Hypertension. 23: 456-463.
- Men Y, Zhu Y, Zhang L, Kang Z, Izumori K, Sun Y, Ma Y. 2014. Enzymatic conversion of D-galactose to D-tagatose: Cloning, overexpression and characterization of l-arabinose isomerase from *Pediococcus pentosaceus* PC-5. Microbiol. Res. 169: 171-178.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2013. Enforcement Decree of the Livestock Product Processing Control Act. pp. 33-35.
- Park KY. 2012. Increased health functionality of fermented foods. Food Ind. Nutri. 17: 1-8.
- Rhimi M, Chouayekh H, Gouillouard I, Maguin E, Bejar S. 2011. Production of D-tagatose, a low caloric sweetener during milk fermentation using l-arabinose isomerase. Bioresource Technol. 102: 3309-3315.
- Roh HJ, Kim SY, Kim SS, Oh DK, Han KY, Noh BS. 1999. Physicochemical properties of a low calorie sweetener, tagatose. Korean J. Food Sci. Technol. 31: 24-29.
- Ryu SY, Roh HJ, Noh BS, Kim SY, Oh DK, Lee WJ, Yoon JR, Kim SS. 2003. Effects of various sugars including tagatose and their molar concentration on the Maillard browning reaction. Korean J. Food Sci. Technol. 35: 898-904.
- Shin YS, Lee KS, Kim DH. 1993. Studies on the preparation of yogurt from milk and sweet potato or pumpkin. Korean J. Food Sci. Technol. 25: 666-671.
- Storlien LH, Oakes ND, Pan DA, Kusunoki M, Jenkins AB. 1993. Syndromes of insulin resistance in the rat. Inducement by diet and amelioration with benfluorex. Diabetes 42: 457-462.
- Sung JM, Choi HY. 2014. Effect of mulberry powder on antioxidant activities and quality characteristics of yogurt. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 43: 690-697.
- Swanson JE, Laine DC, Thomas W, Bantle JP. 1992. Metabolic effects of dietary fructose in healthy subjects. Am. J. Clin. Nutr. 55: 851-856.
- Yang L, You LX, Ma JX. 2010. Changes of the number of viable bacteria and pH value during the storage period of set-style yoghurt. Chinese Jilin Agric. 249: 38.
- Zhang W, Yu S, Zhang T, Jiang B, Mu W. 2016. Recent advances in D-allulose : Physiological functionalities, applications, and biological production. Trends Food Sci. & Technol. 54: 127-137.