

# Galactooligosaccharides를 함유하는 탈지유 최적생산 및 *Lactobacillus rhamnosus* 4B15 와의 신바이오틱 발효유 적용가능성

Enhanced Production of Galactooligosaccharides Enriched Skim Milk and Applied to Potentially Synbiotic Fermented Milk with *Lactobacillus rhamnosus* 4B15

오남수<sup>1</sup>, 오상남<sup>2</sup>, 김영훈<sup>3,\*</sup> (Nam Su Oh<sup>1</sup>, Sangnam Oh<sup>2</sup>, Younghoon Kim<sup>3,\*</sup>)

<sup>1</sup>고려대학교 식품생명공학과, <sup>2</sup>전주대학교 바이오기능성식품학과, <sup>3</sup>서울대학교 식품동물생명공학부

<sup>1</sup>Department of Food and Biotechnology, Korea University

<sup>2</sup>Department of Functional Food and Biotechnology, Jeonju University

<sup>3</sup>Department of Agricultural Biotechnology, Research Institute of Agriculture and Life Science, Seoul National University

## I. 서론

프리바이오틱스 (prebiotics)는 “숙주의 건강에 유익한 장내미생물 균총의 특징적인 변화를 유발할 수 있는 장내미생물에 의해 선택적으로 이용될수 있는 성분”으로 정의된다 (Gibson and Roberfroid, 1995). 지난 몇 년 동안 프리바이오틱스에 대한 관심이 높아지고 있으며, 유익한 프리바이오틱스는 대장에 상재하고 있는 장내 유익한 미생물을 표적으로 하여 장기능을 향상할 수 있다. 이중 올리고당 (Oligosaccharide)은 glycoside 결합에 의해 연결된 3-10 개의 당으로 구성된 대표적인 프리바이오틱스로서 유익한 식이보조제로 인식되어 장내미생물 균총을 조절하는 데 중요한 역할을 할 수 있다 (Fuller and Gibson, 1998). 잠재적 올리고당 프리바이오틱스는 중합도 및 화학적 특성에 따라 isomalto-oligosaccharides, manno-oligosaccharides, pectic-oligosaccharides, xylo-oligosaccharides, fructo-oligosaccharides (FOS), 그리고 galacto-oligosaccharides (GOS) 등으로 분류될 수 있다 (Macfarlane et al., 2008; Macfarlane et al., 2006).

이중 GOS는 모유의 다양한 구조의 공모와 구조적으로 유사하기 때문에 특히 인체영양학 분야에 적용이 가능한 것으로 보고되고 있다 (Intanon et al., 2014). 모유에 존재하는 GOS는 신생아, 모유 수유 영아의 소화기관 (Gastro-Intestinal tract; GI tract)에 존재하는 미생물 균총 구축에 중요한 역할을 한다 (Gopal et al., 2001). GOS는 일

\*Corresponding author: Younghoon Kim

Department of Agricultural Biotechnology, Research Institute of Agriculture and Life Science,

Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Tel: +82-2-880-4808

Fax: +82-2-873-2271

Email: ykeys2584@snu.ac.kr

반적으로 효모, 진균 또는 세균에 의해 생성되는  $\beta$ -galactosidases에 의해 유당부터 합성되며, 다양한 glycoside 결합을 포함하는 복잡한 구조를 갖는다 (Gobinath and Prapulla, 2014). 이들은 *Bifidobacterium* 및 *Lactobacillus*와 같은 건강을 증진시킬 수 있는 프로바이오틱스 미생물의 성장을 지원함으로써 프리바이오틱스로서 기능을 할 수 있다 (Andersen et al., 2011; Davis et al., 2011; Garrido et al., 2013). 또한, GOS는 위산에 저항성이 있으며, 상부 소화기관에서 가수분해효소에 분해되지 않는다. 많은 선행연구 결과에서 다양한 *Bifidobacterium* 및 *Lactobacillus* 균주가 GOS를 이용할 수 있는 것으로 보고되었다 (Gopal et al., 2001; Yanahira et al., 1995). 프리바이오틱스로서 GOS의 사용에 대한 관심에도 불구하고, 발효과정 동안 프로바이오틱스에 의한 이들의 작용 메커니즘은 잘 이해되지 않으며, GOS와 프로바이오틱스 유용미생물 간의 신바이오틱스 상호 작용으로 나타날 수 있는 다양한 기능성 인자에 대한 연구는 아직 충분히 연구되지 않았다. 또한, 프리바이오틱스 식품소재로서 우유 유래 GOS의 가능성에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은  $\beta$ -galactosidase에 의해 유당의 가수분해동안 생성되는 GOS 고함유 탈지유 (GOS-enriched skim milk; GSM) 제조의 최적화 및 생성되는 GOS의 프리바이오틱스 활성을 검토하는데 있다. 또한 *Lactobacillus* 균주와의 신바이오틱스 활성을 통해 고기능성의 fermented GSM (FGSM) 개발하고자 하였다.

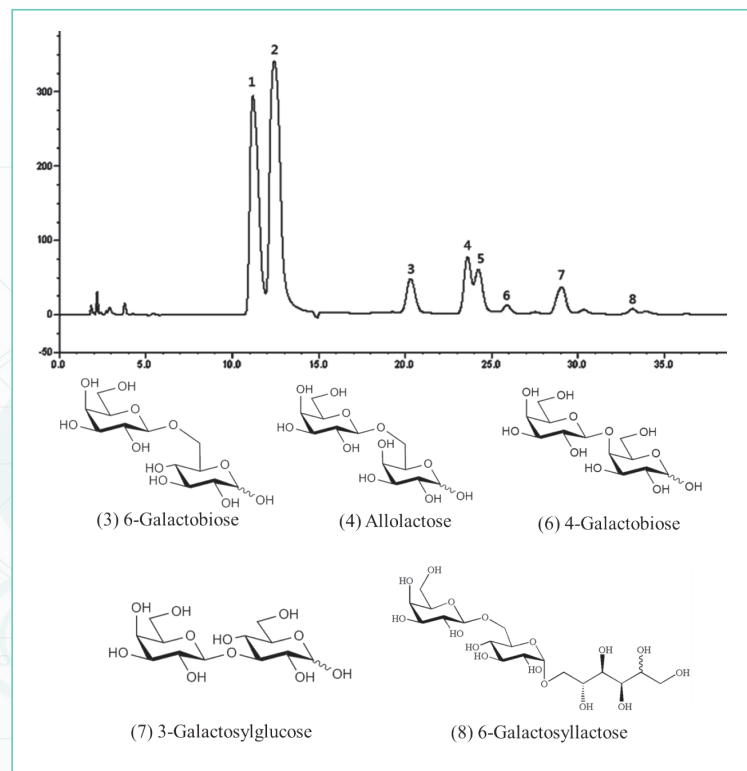
## II. 결과 및 고찰

### GSM의 효소 합성

본 연구에서는 효소 합성 최적화기술을 통해 최적의 GOS 생산 조건 특히 반응 시간이 GOS 생산에 미치는 영향을 결정하기 위해 효소처리농도는 0.1%(w/w)와 반응 온도는 37°C로 고정하여 실험을 수행하였다.

그림 1은 최대 GOS 농도에 도달할 때 얻은 HPAEC-PAD 탄수화물 프로필을 나타내고 있다. 8개 products의 존재가 확인되었으며, 피크 1, 2, 5는 각각 galactose, glucose, 그리고 lactose로 확인되었다. 또한, chromatogram에서 6-galactobiose (peak 3,  $\beta$ -D-Gal-(1 $\rightarrow$ 6)-D-Gal), allolactose (peak 4,  $\beta$ -D-Gal-(1 $\rightarrow$ 6)-D-Glc), 6-galactosyllactose (peak 7, D-Galp-(1 $\rightarrow$ 6)-D-Lac) 등 transgalactosylation 과정을 통해 3개의 GOS가 확인되었다. 또한, 4-galactobiose (peak 6,  $\beta$ -D-Gal-(1 $\rightarrow$ 4)-D-Gal)와 3-galactosylglucose (peak 8, 3-galactosylglucose)

그림 1. HPAEC-PAD carbohydrate profile obtained from lactose hydrolysis. The identified compounds are indicated: (1) galactose, (2) glucose, (3) 6-galactobiose, (4) allolactose, (5) lactose, (6) 4-galactobiose, (7) 6-galactosyllactose, and (8) 3-galactosylglucose.



(peak 8,  $\beta$ -D-Gal-(1 $\rightarrow$ 3)-D-Glc) 도 확인되었다. 따라서 촉매 변환된 transgalactosylation 반응이  $\beta$ 1 $\rightarrow$ 3,  $\beta$ 1 $\rightarrow$ 4,  $\beta$ 1 $\rightarrow$ 6과 같은 다양한 linkages를 가진 GOS로 전환되는 것으로 판단되었다. 생산된 GOS는 주로  $\beta$ 1 $\rightarrow$ 6개의 linkages를 가지고 있는 것으로 관찰되었다.

그림 2와 표 1은 반응시간 동안의 유당 및 GOS의 함량을 관찰한 것으로써 유당의 경우 5시간 배양하는 동안  $4.35 \pm 0.02$ 에서  $0.00$  g/100 g으로 빠르게 감소하였다. 배양 후 1시간이내에 유당의 양은 98.16% 감소했으며, GOS 수율은 최대수준 (16.32%)으로 도달하였다. 이때 GOS 함량은  $0.71 \pm 0.01$  g/100 g으로 전체 탄수화물 함량의 14.67%를 차지하였다. GSM의 GOS는 주로 6-galactosyllactose ( $0.23 \pm 0.004$  g/100 g)로 구성되었고, 그 다음 6-galactobiose ( $0.18 \pm 0.001$  g/100 g)와 allolactose( $0.17 \pm 0.003$  g/100 g) 순으로 나타났다. 배양시간, 경제적 효율성, GOS 함량, 유당함량 등 최적공정조건을 고려하였을 때 skim milk를 1시간 동안 0.1%(w/w) 효소로 처리하여 GSM을 생산하는 것이 최적조건인 것으로 판단되었다.

### Bifidobacterium 균주 배양에 따른 GSM에서 GOS 함량

그림 2. Enzymatic synthesis of GSM. Values are expressed as the mean  $\pm$  standard deviation (n=3). The results are presented as the mean  $\pm$  SD (n = 3). Different letters indicate statistically significant differences among the different groups (p<0.05).

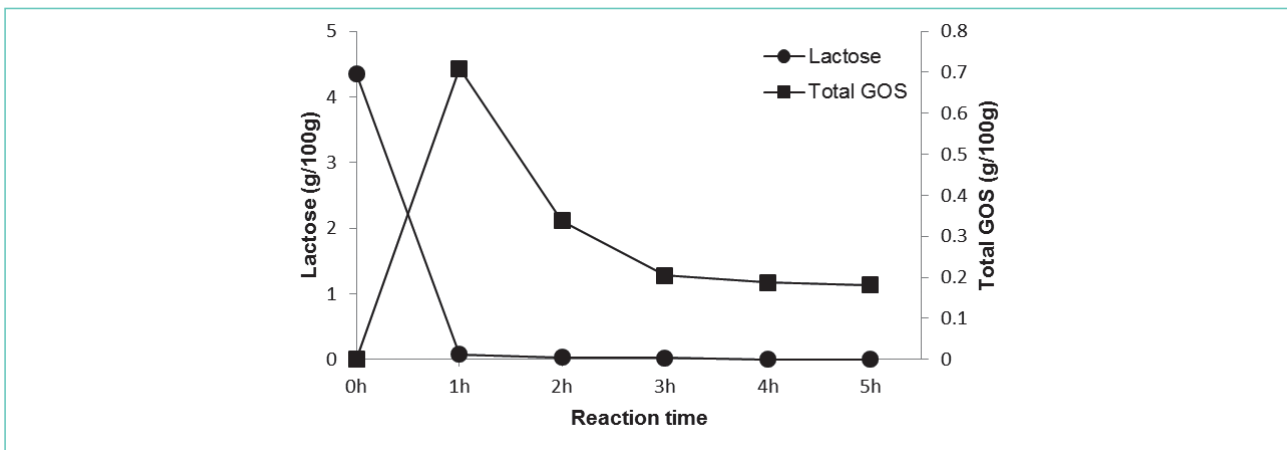


표 1. Carbohydrate profiles of GOS-enriched skim milk (GSM)

<sup>1</sup> Carbohydrate (g/100g)	Reaction time					
	0 h	1 h	2h	3h	4h	5h
Galactose	N.D.	1.86 $\pm$ 0.034 <sup>c</sup>	1.96 $\pm$ 0.021 <sup>a</sup>	1.94 $\pm$ 0.065 <sup>ab</sup>	1.96 $\pm$ 0.008 <sup>a</sup>	1.89 $\pm$ 0.028 <sup>bc</sup>
Glucose	N.D.	2.19 $\pm$ 0.042 <sup>a</sup>	2.19 $\pm$ 0.026 <sup>a</sup>	2.18 $\pm$ 0.063 <sup>ab</sup>	2.17 $\pm$ 0.009 <sup>ab</sup>	2.12 $\pm$ 0.020 <sup>b</sup>
Lactose	4.35 $\pm$ 0.016 <sup>a</sup>	0.08 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup>	0.03 $\pm$ 0.0002 <sup>c</sup>	0.03 $\pm$ 0.0003 <sup>c</sup>	N.D.	N.D.
6-Galactobiose	N.D.	0.18 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>	0.08 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup>	0.04 $\pm$ 0.0003 <sup>c</sup>	0.03 $\pm$ 0.001 <sup>d</sup>	0.03 $\pm$ 0.001 <sup>d</sup>
Allolactose	N.D.	0.17 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	0.06 $\pm$ 0.0004 <sup>b</sup>	0.04 $\pm$ 0.001 <sup>d</sup>	0.04 $\pm$ 0.004 <sup>c</sup>	0.05 $\pm$ 0.002 <sup>c</sup>
4-Galactobiose	N.D.	0.08 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>	0.05 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup>	0.04 $\pm$ 0.001 <sup>c</sup>	0.04 $\pm$ 0.001 <sup>d</sup>	0.04 $\pm$ 0.0005 <sup>e</sup>
6-Galactosyllactose	N.D.	0.23 $\pm$ 0.004 <sup>a</sup>	0.11 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup>	0.05 $\pm$ 0.002 <sup>c</sup>	0.04 $\pm$ 0.0004 <sup>d</sup>	0.03 $\pm$ 0.001 <sup>d</sup>
3-Galactosylglucose	N.D.	0.04 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>	0.03 $\pm$ 0.0002 <sup>b</sup>	0.03 $\pm$ 0.0003 <sup>c</sup>	0.03 $\pm$ 0.001 <sup>d</sup>	0.03 $\pm$ 0.0004 <sup>d</sup>
Sub-total (GOS)	N.D.	0.71 $\pm$ 0.010 <sup>a</sup>	0.34 $\pm$ 0.000 <sup>b</sup>	0.20 $\pm$ 0.002 <sup>c</sup>	0.19 $\pm$ 0.006 <sup>d</sup>	0.18 $\pm$ 0.004 <sup>d</sup>
Total carbohydrates	4.35 $\pm$ 0.016 <sup>c</sup>	4.84 $\pm$ 0.086 <sup>a</sup>	4.52 $\pm$ 0.047 <sup>b</sup>	4.35 $\pm$ 0.125 <sup>c</sup>	4.32 $\pm$ 0.023 <sup>c</sup>	4.20 $\pm$ 0.049 <sup>d</sup>

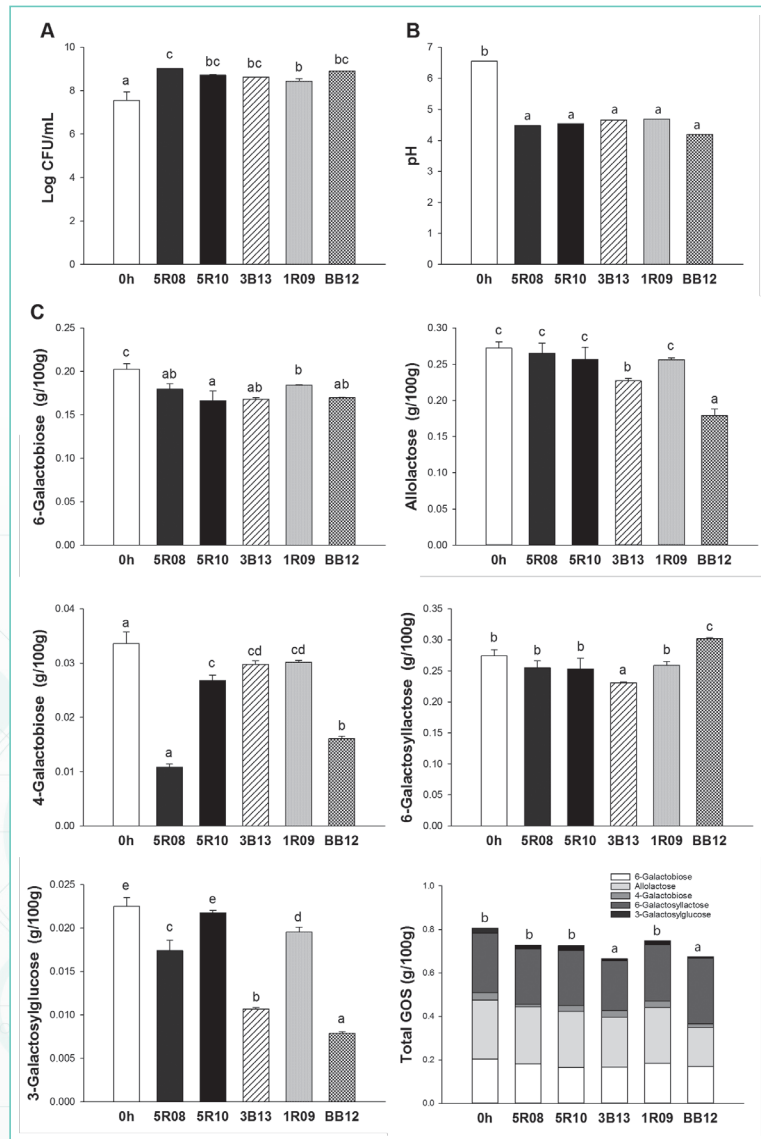
The results are indicated as the mean  $\pm$  SD (n = 3). Different letters represent significant differences among each groups, statistically (p<0.05).

<sup>1</sup>Carbohydrate: GOS = galacto-oligosaccharides

최근 연구결과에 따르면 *Bifidobacterium* spp.가 많은 수의 탄수화물을 대사할 수 있는 것으로 보고되고 있으며 (O'Connell Motherway et al., 2013), *Bifidobacterium* spp.에 의해 새롭게 파생되는 50종 이상의 탄수화물도 함께 보고되고 있다 (Van Broek et al., 2008). GOS를 대사하기 위해 세균은 central metabolic pathways에서 특정 glycosyl hydrolases를 매개로 대사할 수 있다 (Garrido et al., 2013). *In vitro* 실험결과, *Bifidobacterium*을 포함한 다양한 장내미생물이 GOS를 이용할 수 있는 것으로 관찰되었으며, GOS의 대사를 통해 fecal *Bifidobacterium* 수치가 특이적으로 증가하는 것이 보고되기도 하였다 (Alander et al., 2001).

본 연구에서는 선발된 5종의 *Bifidobacterium* 균주를 사용하여 24시간 배양 후 GSM에서의 GOS 함량은 그림 3에 표시하였으며, 6-galactobiose, allolactose, 4-galactobiose, 6-galactosyllactose, 그리고 3-galactosylglucose가 주로 관찰되었다. 24시간 후 균주 5R08, 5R10, 3B13, 1R09, BB12에 의해 배양된 GSM의 6-galactobiose의 함량은 각각  $0.18 \pm 0.01$ ,  $0.17 \pm 0.01$ ,  $0.18 \pm 0.00$ ,  $0.17 \pm 0.00$  g/100 g 수준이었다. 6-Galactobiose의 함량은 GSM 초기 농도에 비해 17.92% (5R10)나 감소해 *Bifidobacterium* 균주가 6-galactobiose를 이용했음을 알 수 있었다. GSM에서 5R08, 5R10, 1R09로 배양된 allolactose의 양은 GSM의 초기 수준에 비해 크게 감소하지 않았으나, 3B13과 BB12와 함께 배양된 GSM에서 각각 16.64와 34.17% 감소하였다. 특히 발효과정 후 GSM에서 4-galactobiose 수준은 감소하였는데, 특히 5R08의 경우 초기 GSM 수준 대비 67.77% 수준으로 감소하였다. 24시간 후 GSM의 6-galactosyllactose 수준은 GSM의 초기 수준과 유사했으며, 3B13과 BB12의 경우를 제외하고는 큰 차이가 없었다. 특히, BB12와 함께 배양된 GSM의 6-galactosyllactose 함량은 GSM의 초기 6-galactosyllactose 함량에 비해 증가하였다. 또한 24시간 후에 균주 5R08, 5R10, 3B13, 1R09, BB12의 3-galactosylglucose 함량은 22.67, 3.38, 52.65, 13.23, 그리고 64.95 %였다. BB12 균주가 가장 활발하게 3-galactosylglucose를 이용할 수 있는 것

그림 3. (A) Viable cell counts, (B) pH, and (C) individual GOS contents in GSM fermented with *Bifidobacterium* strains. The results are presented as the mean  $\pm$  SD (n = 3). Different letters indicate statistically significant differences among the different groups (p < 0.05).



으로 관찰되었다. 결과적으로, GSM의 총 GOS 함량은 선발된 5종의 *Bifidobacterium* 균주의 발효과정 중에서 모두에서 감소하는 것으로 나타났다. 특히 3B13과 BB12 균주는 배양 중에 가장 많은 GOS를 이용하는 것으로 관찰되었다. 이번 연구 결과를 통해 GOS가 프로바이오틱스에 의해 활용될 수 있음을 확인하고, GOS의 프리바이오틱스로써의 가능성을 관찰하였다.

### FGSM에서 프로바이오틱스 생균수 측정

GSM의 발효특성을 측정하기 위해 잠재적인 프로바이오틱스 균주인 *Lactobacillus rhamnosus* 4B15에 의한 발효과정 중 생균수와 pH 변화를 측정하였다. 대조구로 사용된 GOS가 없는 SM 발효배양물 (FSM)의 생균수는 발효 24시간 후  $8.24 \pm 0.02$  log CFU/mL로 측정되었다. FSM의 pH는 발효종료시점에서 약간 줄어드는 것을 확인하였다. 하지만 GOS가 포함된 FGSM의 경우 생균수가  $9.11 \pm 0.01$  log CFU/mL로써 FSM보다 높은 생균수를 관찰하였으며 pH 또한 발효 종료 시점에서 3.85로 감소하는 것을 확인하였다(표 2).

### FGSM의 탄수화물 함량 분석

24시간 동안 4B15로 발효된 GSM의 탄수화물 함량은 표 3에 요약하였다. 표 3A에서 확인할수 있듯이 발효 24시

표 2. Viability of probiotic bacteria in fermented GOS-enriched skim milk (FGSM)

	<sup>1</sup> SM		<sup>2</sup> GSM	
	0 h	24 h	0 h	24 h
Fermentation time				
Viable cell counts (log CFU/mL)				
<sup>3</sup> 4B15	$7.52 \pm 0.08^a$	$8.24 \pm 0.02^b$	$7.60 \pm 0.03^a$	$9.11 \pm 0.01^c$
pH				
<sup>3</sup> 4B15	6.61	5.82	6.57	3.85

The results are indicated as the mean  $\pm$  SD (n = 3). Different letters represent significant differences among each groups, statistically ( $p < 0.05$ ).

<sup>1</sup>SM = skim milk; <sup>2</sup>GSM = galacto-oligosaccharides enriched skim milk; <sup>3</sup>4B15 = *Lactobacillus rhamnosus* 4B15.

표 3. Analysis of carbohydrate contents in fermented GOS-enriched skim milk (FGSM)

Carbohydrate (g/100g)	Reaction time	
	0 h	24 h
(A)		
Galactose	$2.08 \pm 0.04^d$	$1.84 \pm 0.01^c$
Glucose	$2.36 \pm 0.02^e$	$1.15 \pm 0.00^b$
Lactose	$0.13 \pm 0.01^a$	$0.11 \pm 0.01^a$
(B)		
6-Galactobiose	$0.22 \pm 0.00^d$	$0.20 \pm 0.00^c$
Allolactose	$0.24 \pm 0.01^e$	$0.22 \pm 0.00^d$
4-Galactobiose	$0.09 \pm 0.00^b$	$0.08 \pm 0.00^b$
6-Galactosyllactose	$0.28 \pm 0.00^a$	$0.26 \pm 0.00^f$
3-Galactosylglucose	$0.05 \pm 0.00^a$	$0.05 \pm 0.00^a$
Total carbohydrates	$0.61 \pm 0.01$	$0.55 \pm 0.01$

The results are indicated as the mean  $\pm$  SD (n = 3). Different letters represent significant differences among each groups, statistically ( $p < 0.05$ ).

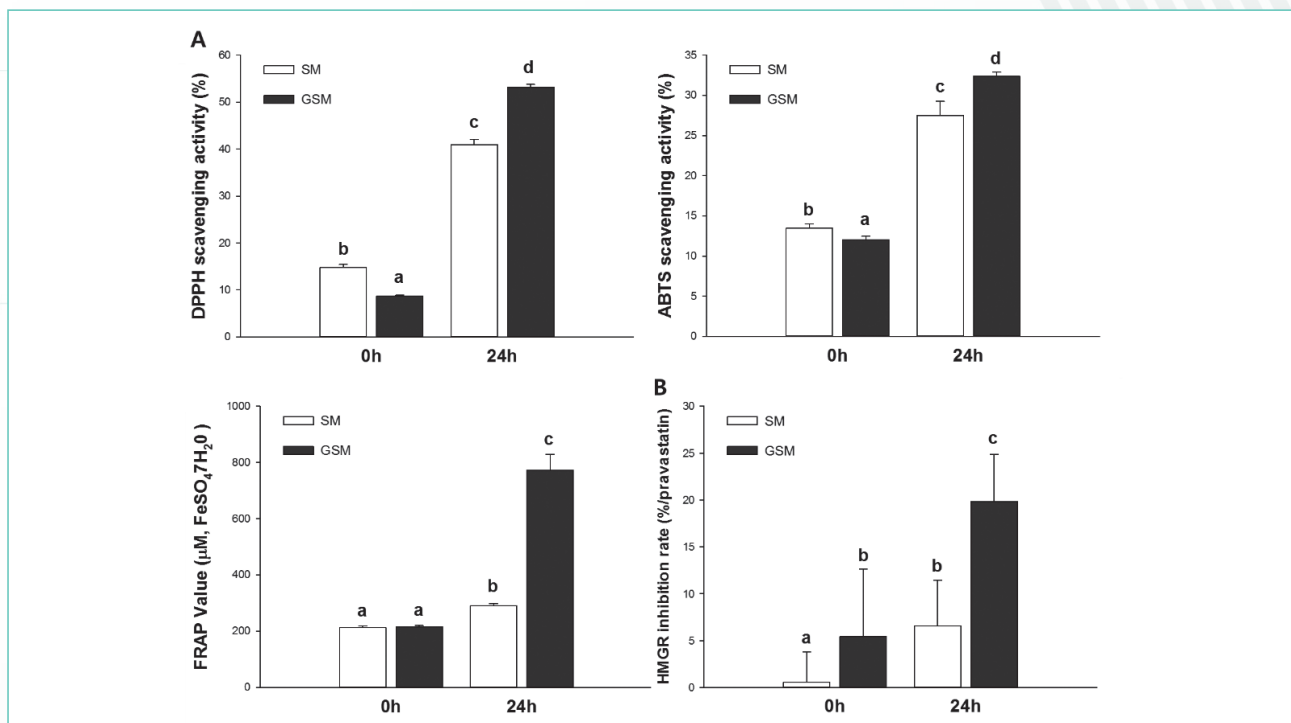


간 후 galactose와 glucose 함량은 각각 비발효 GSM의 초기 수준에 비해 12%와 52% 감소하였다. 4B15는 발효 과정에서 glucose를 가장 많이 사용하였다. 반면, lactic acid 함량은 초기 농도와 크게 변화하지 않았다. 4B15를 사용하여 24시간 동안 발효하는 동안 FGSM의 GOS 함량은 표 3B와 같다. 4B15를 이용하여 발효하였을 때 0시간과 24시간 FGSM의 6-galactobiose 함량은 각각  $0.22 \pm 0.00$ 과  $0.20 \pm 0.00$  g/100 g으로 발효 중 6-galactobiose가 9.09% 감소하였다. FGSM에 존재하는 allolactose 중  $0.24 \pm 0.01$  g/100 g이 사용되었으며, 발효 24시간 후 대사되는 비율은 8.33%에 불과하였다. 4-Galactobiose와 3-galactosylglucose는 발효 24시간 후에도 농도에 큰 변화가 없었다. 6-Galactosyllactose 함량은 미발효 GSM에 비해 7.14% 감소하였고, FGSM의 총 GOS 함량을 고려하였을 때 발효 과정 중에서 9.83%만 이용된 것을 관찰한바 대부분의 GOS가 FGSM에 잔류하는 것을 확인했다. 종합적으로 판단하였을 때 발효종료시점에서도 대부분의 GOS는 대사되지 않고 잔류하는 것을 확인하였고, 이는 발효유 제조시 발효공정 이후에 프로바이오틱스와 GOS가 모두 존재하여 생체 기능성을 나타낼 수 있을 것으로 판단되었다.

### FGSM의 항산화 활성 및 HMGR 억제능

본 연구에서는 GOS의 기능성 중 항산화 활성 증진효과를 DPPH, ABTS, FRAP을 이용하여 평가하였다. SM, GSM, FSM 및 FGSM의 DPPH 라디칼 소거능은 그림 4A에 명시하였다. FGSM이 가장 높은 라디칼 소거능(53.17%)이 관찰되었고, FSM (41.00%), SM (14.78%), GSM (8.69%) 순으로 활성이 관찰되었다. 항산화 작용의 또 다른 메커니즘을 평가하기 위해 ABTS 라디칼 소거능을 평가했을 때도 FGSM은 매우 우수한 라디칼 소거능(32.36%)이 관찰되었고, FSM(27.49%), SM(13.46%), GSM(12.03%) 순서로 활성이 관찰되었다 (그림 4B). 발효

그림 4. (A) Antioxidant capacities and (B) HMGR inhibition activity of FGSM. The results are presented as the mean  $\pm$  SD (n = 3). Different letters indicate statistically significant differences among the different groups ( $p < 0.05$ ).



24시간 후 SM과 GSM의 ABTS 라디칼 소거능은 초기 상태에 비해 각각 104%, 169% 증가하였다. FRAP 결과 또한 ABTS와 DPPH 실험결과와 유사한 형태의 라디칼 소거능이 관찰되었다 (그림 4C).

FGSM은 HMGR 억제능 실험결과 (그림 4D) GSM, GSM, GSM, FSM과 비교하였을 때 FGSM에서 3.59배 높은 저해능이 관찰되었다. 3-Hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase는 간대사에서 HMG-CoA를 콜레스테롤로 전환시키는 mevalonate pathway의 핵심 인자로 알려져 있다. 특히 GSM의 HMGR 억제율은 SM보다 10배 높은 것으로 관찰되었는데, 이는 GOS가 HMGR 억제능에 작용한다는 것으로 예측되었다. 또한, FSM과 FGSM은 SM과 GSM의 초기 비율에 비해 HMGR 억제능을 증가시켰으며(각각 6.59%, 19.83%), FGSM의 경우 가장 높은 HMGR 억제능(0시간 GSM보다 3.65배 향상)이 관찰되었다.

### FGSM 관찰되는 특징적인 펩타이드 프로파일링

FGSM의 특징적인 펩타이드 분석은 700–3,500 Da의 m/z 범위에서 MALDI-TOF/MS/MS를 이용하여 실시되었다. FGSM의 펩타이드 프로파일링을 위한 표 4와 같이, 39개의 펩타이드 조각이 FGSM에서 확인되었다. 대부분의 펩타이드는 b-casein을 포함하여  $\alpha_{s1}$ -casein,  $\alpha_{s2}$ -casein,  $\kappa$ -casein에서 기인하는 것으로 예측되었다.  $\beta$ -Casein에서 파생된 총 31개의 펩타이드가 확인되었으며, FGSM에서는 C-terminal  $\beta$ -casein fragment(f199–209, f197–209, f195–209, f194–209, f193–209)가 확인되었다. 또한  $\beta$ -casein 유래 펩타이드 f112–119, f173–182, f176–187, f78–93, f104–119, 그리고 f101–119는 FGSM에서만 확인되었다.  $\alpha_{s1}$ -casein에서는 5개의 펩타이드가 관찰되었다. N-terminal  $\alpha_{s1}$ -casein fragment (f1–8, f1–9, f1–17)과 함께 새롭게 동정된 펩타이드 fragment (f179–192)도 확인되었다.  $\alpha_{s2}$ -casein의 경우 1개의 펩타이드 fragment (f101–114)만 확인되었다. 또한  $\kappa$ -casein 유래에서는 2개의 펩타이드가 관찰되었는데, 이중 하나인  $\kappa$ -casein 펩타이드 f54–60은 FGSM에서만 발견되었다.

표 4. Peptide profiling of fermented GOS-enriched skim milk (FGSM)

m/z	Position	Sequence	Previous study
$\alpha_{s1}$ -Casein			
1012	1 – 8	RPKHPIKH	Pisanu et al. (2015)
1140	1 – 9	RPKHPIKHQ	Albenzio et al. (2017)
1219	25 – 35	VAPFPEVFGKE	Padghan et al. (2017)
1505	179 – 192	FSDIPNIGSENSE	
1991	1 – 17	RPKHPIKHQGLPQEVLN	Wu et al. (2013)
$\alpha_{s2}$ -Casein			
1650	101 – 114	QGPVLPNPWDQVKR	Pisanu et al. (2015)
$\beta$ -Casein			
826	199 – 206	GPVVRGPPF	Zhao et al. (2016)
976	112 – 119	PKYPVEPF	
1001	60 – 68	YFPFGPIPN	Bottari et al. (2017)
1057	85 – 93	PPFLQPEVM	Oh et al. (2017)
1100	59 – 68	VYFPFGPIPN	Eisele et al. (2013)
1126	173 – 182	VPQKAVPYPQ	
1151	145 – 154	HQPHQPLPPT	Fialho et al. (2018)
1151	199 – 209	GPVVRGPPPIV	Rodríguez-Figueroa et al. (2012)
1157	132 – 141	NLHLPLPLLQ	Sommella et al. (2016)
1265	198 – 209	LGPVRGPPPIV	Ha et al. (2015)
1282	144 – 154	MHQPHQPLPPT	Chenoll et al. (2016)
1351	109 – 119	MPFPKYPVEPF	Padghan et al. (2017)
1364	197 – 209	VLGPVRGPPPIV	Ha et al. (2015)
1382	145 – 156	HQPHQPLPPTVM	Haq et al. (2015)
1393	194 – 206	QEPVLGPVRGPPF	Villegas et al. (2014)
1414	176 – 187	KAVPYPQRDMPI	
1431	132 – 143	NLHLPLPLLQSW	Padghan et al. (2017)
1452	81 – 93	PVVVPPFLQPEVM	Xue et al. (2018)
1469	143 – 154	WMHQPHQPLPPT	Oh et al. (2016)
1481	108 – 119	EMFPFKYPVEPF	Thomas et al. (2016)
1513	144 – 156	MHQPHQPLPPTVM	Cossais et al. (2017)
1556	193 – 206	YQEPVLGPVRGPPF	Ha et al. (2015)
1718	194 – 209	QEPVLGPVRGPPPIV	Ha et al. (2015)
1782	78 – 93	TQTPVVVPPFLQPEVM	
1851	145 – 160	HQPHQPLPPTVMFPPQ	Tellez et al. (2010)
1874	105 – 119	KHKEMPPFKYPVEPF	Kalyankar et al. (2013)
1881	193 – 209	YQEPVLGPVRGPPPIV	Eisele et al. (2013)
1971	104 – 119	PKHKEMPPFKYPVEPF	
1982	144 – 160	MHQPHQPLPPTVMFPPQ	Tapal et al. (2016)
2042	103 – 119	APKHKEMPPFKYPVEPF	Mansor et al. (2013)
2244	101 – 119	AMAPKHKEMPPFKYPVEPF	
$\kappa$ -Casein			
1329	75 – 85	ARHPHPLSFM	Qian et al. (2011)
1458	54 – 65	QFLPYPYAKPA	

본 내용은 (사)한국축산식품학회 산업지 “축산식품과학과 산업” 편집위원회의 선정으로 (사)한국축산식품학회 학술지 Food Science of Animal Resources (2019, 39(5):725~741; <https://doi.org/10.5851/kosta.2019.e55>)에 게재된 결과의 국문 요약문으로 저자의 자기표절이 아님을 알리며 자세한 내용은 원문을 참조하길 바랍니다.