

프락토 올리고당과 프락토 올리고당을 함유한 스푼지 케일이 흰쥐의 혈청지질과 장기능 및 단쇄지방산 생성에 미치는 효과

이선영[§] · 조정화 · 이경애*

충남대학교 식품영양학과, 순천향대학교 응용과학부 식품영양전공*

Effects of Fructooligosaccharide and Fructooligosaccharide Containing Sponge Cake on Blood Lipids, Intestinal Function and Short Chain Fatty Acid Production in Rats

Ly, Sun Yung[§] · Cho, Jung Hwa · Lee, Kyong Ae*

Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Major of Food Science and Nutrition, *Division of Applied Science, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to elucidate effects of fructooligosaccharide on gastrointestinal tract and blood lipids of rats when this was supplied as purchased condition or oligosaccharide containing sponge cake. Male Sprague-Dawley rats were assigned to one of 3 treatments : 1) control diet 2) 7.5% fructooligosaccharide containing diet (FOS diet) 3) lyophilized sponge cake powder containing diet (FOS-C diet). The sponge cake was made with fructooligosaccharide which replaced 40% of its sucrose, and the final concentration of fructooligosaccharide in FOS-C diet was 7.5%. Cecal and fecal water contents, amount of cecal content, and cecal wall weight were higher from fructooligosaccharide consumption, whereas total gut transit time was longer in rats consuming fructooligosaccharide compared with those fed control diet. Cecal and fecal pH were lower in FOS and FOS-C groups than in control group. Total cecal SCFA pools were higher from ingesting fructooligosaccharide containing diets compared with control diet. Serum triglyceride levels were lower in rats fed FOS and FOS-C diet than those fed control diet, while serum cholesterol levels were unaffected by treatment. Therefore the effects of fructooligosaccharide in sponge cake on serum lipids and gastrointestinal tract were similar to those of intact fructooligosaccharide. Also, adding 7.5% of FOS accompanied diarrhea symptom which suggests some precaution are needed when using FOS. (Korean J Nutrition 36(4) : 344~351, 2003)

KEY WORDS : fructooligosaccharide, serum lipids, gut transit time, short chain fatty acid.

서 론

우리 사회는 사회·경제면에서 급속한 발전과 함께 생활 영역은 물론 식생활면에서 커다란 변화를 가져왔으며 이에 따른 질병의 유병율과 사망 원인의 변화도 주목되고 있다. 최근 들어 식물성 식품의 섭취는 점차 감소되고 있는 반면, 동물성 식품의 섭취는 현저히 증가되고 있으며, 동시에 순환기계 질환을 비롯한 만성퇴행성 질환의 발병율과 그로 인한 사망률이 증가 추세에 있어서 이를 질병을 예방하기 위한 영양 관리의 중요성이 강조되고 있다.^{1~3)} 대부분의 만성퇴행성 질환의 예방과 치료 방법은 여러 가지로 강구되

어 왔으나 부작용이 적고 가시적인 효과를 기대할 수 있는 수단 중 하나로 기능성 식품의 이용을 들 수 있다. 이 중 최근 들어 동서양을 막론하고 연구의 중심이 되어있는 소재 중 하나가 천연 식이섬유와 올리고당이다. 올리고당은 대부분 장에서 비피더스균을 선택적으로 증식시켜 많은 prebiotics 효능을 나타내므로 이들의 작용기전이나 영양소와의 상호작용, 면역활성, 항암효과 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^{4~6)}

본 연구실의 전보^{7,8)}에서는 올리고당의 이용 확대를 위하여 스푼지 케일 설탕함유량의 40%를 이소말토 올리고당과 프락토 올리고당으로 대체하여 제조한 케일의 물리적, 관능적 특성을 검토하였다. 또한 이를 올리고당이 스푼지 케일을 굽는 과정에서 가열과 다른 물질과의 상호작용에 의한 물리적, 화학적 변화로 인해 영양생리적 활성을 유지할 수 있는지를 알아보기 위하여 흰쥐를 대상으로 검토한 바 있

접수일 : 2003년 1월 22일

채택일 : 2003년 5월 13일

*To whom correspondence should be addressed.

다. 이 연구에서 동결건조한 스폰지 케이크 분말을 30% 함유한 실험 사료를 제조하여 흰쥐에게 섭취시켰을 때 (식이 내 올리고당 함량은 최종적으로 4.43%였음) 올리고당의 바람직한 영양 생리적 효과가 잔존함을 보고한 바 있다.

따라서 다음 단계로 본 연구에서는 기능성 올리고당 중에서 내열성이 약한 것으로 알려져 있는 프락토 올리고당을 분말 자체로 식이에 혼합한 것과 프락토 올리고당 함유 스폰지 케이크의 건조분말 형태로 식이에 혼합한 것 간에 생리적인 효과가 다르게 나타나는지를 알아보기 위하여 흰쥐를 대상으로 실험을 실시하였다. 선연구에서 식이내 프락토 올리고당의 함량을 4.43%로 하였을 때 맹장 내용물이나 변의 수분함량과 pH 등에 유의적인 영향을 주었으나 혈청 중성 지방농도에 유의적인 영향을 주지 못하였으며 설사 등의 부작용도 일으키지 않았으므로 본 연구에서는 프락토 올리고당의 섭취량을 높여보자 하여 식이의 7.5%까지 증량시켜 섭취하게 하였다. 두 가지 형태의 프락토 올리고당의 효과는 변 배설량, 변내 수분함량 및 pH, 식이의 장통과시간 (transit time) 등과 난소화성 올리고당의 특성으로 맹장 조직량의 변화와 맹장 내용물의 함량 및 pH, 맹장 내용물의 3가지 단쇄지방인 acetic acid, propionic acid, butyric acid의 함량, 또한 혈청 중성지방과 총 콜레스테롤 농도를 측정하여 비교분석하였다.

연구방법

1. 실험동물사육

실험은 2회에 걸쳐 진행되었으며 1차 실험에서는 프락토 올리고당 섭취가 변 배설량, 변내 수분함량 및 pH, 식이의 장통과시간 (transit time) 등과 맹장 조직량의 변화와 맹장 내용물의 함량 및 pH 등에 미치는 영향을 측정하였으며 2차 실험에서는 혈청지질농도와 맹장 내용물의 짧은 사슬 지방산 함량을 측정하였다. 1차 실험에서는 생후 7주령된 흰쥐 (Sprague-Dawley) 수컷 24마리를 대한실험동물센터에서 구입하여 1주간 기본식이로 적응시킨 후 체중이 215.5 ± 2.11 g이 되었을 때 분배하여 8마리씩 3군으로 나누어 실험식이로 3주간 사육하였다. 전 사육기간 동안 조제한 실험식이는 매일 25 g씩 일정하게 물은 제한 없이 자유 공급하였다. 체중은 일주일에 한 번 일정한 시간에 측정하였고, 식이 섭취량은 매일 기록하였다. 2차 실험에서는 8주령된 흰쥐 (Sprague-Dawley) 수컷 20마리를 1주간 기본식이로 적응시킨 후 체중이 247.9 ± 1.50 g이 되었을 때 1차 실험과 같이 3군으로 나누어 실험식이로 2주간 사육하였다.

2. 실험식이

실험식이는 AIN-93M식이¹⁾를 기본으로 하여 정상식이 (대조군 식이), 7.5% 프락토 올리고당 혼합식이(FOS군 식이) 프락토 올리고당이 함유된 스폰지 케이크의 건조분말을 혼합한 식이 (FOS-C군 식이)를 제조하였다. FOS-C 군의 식이내 프락토 올리고당의 최종 함량은 7.5%가 되도록 계산하여 식이를 제조하였다 (Table 1). 실험에 사용한 프락토 올리고당 스폰지 케이크의 제조는 전보²⁾에 기술한 바와 같다. 프락토 올리고당은 (주) 삼양 제넥스에서 구입한 순도 95%의 분말을 사용하였다. 본 연구에 사용한 프락토 올리고당 스폰지 케이크의 일반성분 분석결과는 Table 2에 제시하였다.

3. 장 통과시간 (Transit time)의 측정

실험 시작 2주째에 실험동물을 12시간 절식시킨 후, 각 군의 식이 2 g에 10% brilliant blue 염료용액을 1 ml 첨

Table 1. Composition of experimental diets (%)

Ingredients	Groups ¹⁾		
	C	FOS	FOS - C
Corn starch	52.07	49.27	30.1
Sucrose	20	20	3.4
Casein	14	14	9.75
Soybean oil	4	4	0.53
Fructooligosaccharide	0	7.5	0
Fructooligosaccharide-sponge cake powder	0	0	51
Cellulose	5	0.3	0.3
Mineral mix ²⁾	3.5	3.5	3.5
Vitamin mix ³⁾	1	1	1
L-cystine	0.18	0.18	0.18
Choline bitartrate	0.25	0.25	0.25
Tert-butylhydroquinone	0.0008	0.0008	0.0008

1) The experimental diet groups are as follows:

C: control group

FOS: fructooligosaccharide fed group

FOS-C: fructooligosaccharide sponge cakes fed group; Final contents of starch, sucrose, protein and fat were respectively 55.97, 19.75, 13.92, and 3.92%

2) Mineral mixture: AIN-93 mineral mixture

3) Vitamin mixture: AIN-93 vitamin mixture

Table 2. Proximate composition in fructooligosaccharide-sponge cake¹⁾ (%)

Components	Content (%)
Reducing sugar	22.3
Starch	35.3
Crude protein	5.70
Crude fat	4.63
Moisture	30.4
Crude ash	0.53

1) 40% sucrose of sponge cake was replaced with fructooligosaccharide

가하여 1시간 동안 모두 섭취시키고, 2시간 후 정상식이를 공급하였다.^{10,11)} 그 후 푸른색 변이 나오는 처음 시간 (T-first)과 마지막 시간을 일정시간 단위로 기록하고 푸른색 변이 나오는데 걸린 총 시간을 식이의 총 장통과시간 (total transit time)으로 하였다.

4. 변의 수분함량 및 pH 측정

변의 수분함량은 실험식이를 먹인지 3주째에 측정하였다. 변 수분함량은 오전 10시와 밤 10시 2회에 걸쳐 항문을 자극하여 직장 내 보유된 fresh한 변을 얻어 청량하고 -70°C에서 24시간 냉동 시켰다가 감압 냉동건조기에서 항량에 이를 때까지 건조시킨 후, fresh한 변과 건조된 변의 중량 차이로부터 산출하였다. 변의 pH는 직장내 보유된 변을 취하여 종류수에 침지시킨 후 균질화하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 얻은 상층액에서 pH meter (model 8521, Hanna, USA)를 사용하여 측정하였다.

5. 회생 및 맹장 내용물 분석

채혈은 회생 당일 실시하였으며, 12시간 이상 단식상태를 유지시켜 에테르로 가볍게 마취시킨 후 심장에서 혈액을 취하였다.

맹장은 내용물이 보존된 상태로 적출하여 외부의 지방을 제거하고, 전체 무게를 기록하였다. 내용물을 뺀 맹장조직은 생리식염수에 깨끗이 씻어 여과자에서 수분을 제거한 뒤 무게를 기록하고 총 맹장무게에서 맹장 조직의 무게를 빼서 맹장내용물의 무게로 하였다. 맹장 내용물의 1/4을 취해 즉시 변에서 측정한 것과 동일한 방법으로 맹장 내용물의 pH를 측정하였다. 나머지 맹장 내용물의 무게를 측정하고 감압 냉동 건조기에서 항량에 이를 때까지 건조시킨 후 두 값의 차이를 맹장 내용물의 수분 함량으로 하였다. 2차 실험에서 얻어진 맹장 내용물은 내용물 안에 함유된 화발성 성분인 단쇄 지방산 분석에 사용하였다.

6. 혈청 분석

혈청 중 중성지질농도 (triglyceride)는 중성지질측정용 kit시약 (아산제약, 한국)을 사용하여, 혈청 중의 콜레스테롤 농도는 효소법을 이용한 총 콜레스테롤 측정용 kit시약

(영동제약, 한국)을 사용하여 분석하였다.

7. 맹장 내용물의 지방산 측정

흰쥐로부터 얻은 맹장 내용물 내 짧은 시슬 지방산 (acetic acid, propionic acid, butyric acid)의 함량을 알아보기 위하여 회생 즉시 teflon-lined cap tube에 맹장 내용물 전체를 취한 후 에탄올 3 ml, 2 ml로 2회 추출하여 지방산 분획을 취하였다. 이 분획을 Na₂SO₄ (sodium sulfate, anhydrous)로 탈수하여 최종적인 시료로 하여 보관하였다가 일부를 GC에 주입하여 분석하였다. 내부표준물질 (Internal standard)로는 isobutyric acid (Aldrich Chem. Co., USA)를 사용하였다. Gas chromatography의 분석 조건은 Table 3과 같다.

8. 결과 처리

본 연구에서의 실험 결과는 평균과 표준 오차로 표시하였으며 각 실험군의 평균값간에 차이가 있는지는 one-way ANOVA를 이용하여 $\alpha = 0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였고, 유의성이 있는 항목에 대해서는 각 군간의 차이를 SNK (Student-Newman-Keul's) multiple range test로 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 체중 증가, 식이 섭취량 및 식이 효율

각 실험군의 식이 섭취량은 올리고당 섭취군인 FOS군과 FOS-C군에서 낮게 나타났다. 체중 증가량은 프락토 올리고당을 먹은 군에서 다소 낮은 경향을 보여주었으나, 통계적인 유의성은 없었다. 식이 효율 역시 각 군간에 유의적인 차이는 없었으나, 평균값이 FOS군에서 가장 낮았고 FOS-C군, 대조군 순으로 나타났다 (Table 4). Fiordaliso 등¹²⁾은 10% 프락토 올리고당을 섭취한 쥐들이 설탕을 섭취한 쥐들에 비해 더 많이 먹는 경향을 나타냈다고 보고하여 본 연구의 결과와는 상반되는 보고를 하였다. 또한 Fiordaliso 등¹²⁾의 연구에서는 식이의 10%를 프락토 올리고당으로 섭취하게 하였음에도 불구하고 부작용에 대해 언급된 내용이 없었다. 그러나 본 연구에서 프락토 올리고당을 섭취한 두

Table 3. Operating conditions of GC

Instrument	Gas chromatography (Younglin Instrument Co. Ltd. Model 600 D, Korea)
Column	DB-1 (J & W) Fused capillary column, 30 m length × 0.25 i.d
Detector	FID (Flame Ionization Detector)
Carrier gas	N ₂ (1.0 ml/min)
Column temperature	40°C → 6°C/min → 100°C
Injector temperature	200°C
Detector temperature	250°C

군에서 모두 식이 효율이 저하되는 경향을 보인 이유는 무엇보다 프락토 올리고당의 섭취비율이 높아 (7.5%), 이 식이를 섭취한 쥐가 실험기간 초기 10여일 간 매우 둑은 변을 배설 하였으며 이때 영양소의 흡수가 억제되었기 때문으로 볼 수 있다. 이러한 증세는 실험 10여일 후부터 점차 호전되어 실험 종료시인 21일째에는 정상적인 변의 형태로 회복 되었으나, 체중의 회복이 완전히 일어나기 전에 충분한 기간은 아니었던 것으로 사료된다. 또한 전보⁸⁾에서 프락토 올리고당을 함유한 스폰지 케익을 식이에 첨가하여 프락토 올리고당의 식이내 최종 함유율이 4.43%였던 식이를 흰쥐에게 섭취시킨 결과 대조군보다 체중 증가량이 더 낮은 경향을 나타내어 본 연구의 결과와 일치하였으나 두 경우 모두 유의적으로 체중이 감소하지는 않았다. 본 연구에서 나타난 프락토 올리고당의 부작용은 타 연구에서도 보고된 바 있는데 Clausen 등¹³⁾은 프락토 올리고당이 섭취량에 비례하여 설사증세 등의 부작용을 보였다고 보고하여 소화기관이 약한 개체에서는 소량의 프락토 올리고당의 섭취도 장에서 부작용을 보일 수 있으므로 노약자나 영양소 결핍증이 우려되는 개체에게는 사용상 주의가 요구된다고 할 수 있다. 또한 장내에서 부작용을 일으키지 않는 범위내에서 프락토 올리고당을 섭취하였을 때는 2~3주의 기간에서 유의적인 체중감량 효과를 얻기는 어려운 것으로 사료된다.

2. 변의 수분함량 및 pH

실험 시작 후 3주째에 받은 변의 수분함량은 대조군에 비해 FOS군이나 FOS-C군에서 각각 53%와 67%로 높

게 나타났으며 FOS-C군은 FOS군에 비해서도 다소 높은 수치를 보여주었다 (Table 5). 프락토 올리고당은 수용성 올리고당으로서 체내에서도 수분 보유력이 우수한 것으로 보고되고 있는데,⁷⁾ 본 연구 결과에서는 스폰지 케익의 형태로 프락토 올리고당을 섭취하였을 경우에도 같은 결과를 나타내어 효과가 잔존함을 알 수 있었다.

변의 pH는 대조군에 비해 실험군인 FOS군과 FOS-C군이 낮은 것으로 나타났으며 두 실험군간에 유의적인 차이는 없었다. FOS군과 FOS-C군에서 변의 pH가 대조군에 비해 산성으로 나타난 것은 bifidobacteria나 lactobacillus 군과 같이 유기산을 생성하는 균의 중식을 유도하는 올리고당의 특성 때문으로^{14,15)} 볼 수 있으며 프락토 올리고당을 첨가하여 구운 스폰지 케익의 건조분말을 섭취시킨 쥐에서도 같은 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3. 맹장중량과 맹장내용물량, 수분함량 및 pH

체중 100 g당 맹장 조직의 중량은 대조군에 비해 FOS 군에서 60%, FOS-C군에서 31% 증가하였다 (Table 6) 맹장 내용물의 중량 역시 대조군의 0.32 g에 비해 실험군인 FOS군과 FOS-C군에서 각각 1.17 g과 1.61 g으로 대조군보다 3배 이상 증가하였다. 그러나 맹장 내용물의 수분 함량은 대조군에 비해 FOS군과 FOS-C군에서 각각 6%와 13.5% 정도 증가하여 대조군과 프락토 올리고당 섭취군들과의 차이는 크지 않았다. 위의 두 결과로부터 프락토 올리고당을 섭취하였을 때 맹장내용물이 증가되는 것은 올리고당의 수분 보유력에 의해서라기 보다는 고형성분의 증

Table 4. Body weight gain, food intake and food efficiency ratio (FER) after ingestion of fructooligosaccharide or fructooligosaccharide containing sponge cake for 3 weeks

Group	Body weight gain (g/day)	Food intake (g/day)	FER ¹⁾
C	5.71 ± 0.46 ²⁾	21.2 ± 0.39 ³⁾	0.29 ± 0.02
FOS	4.96 ± 0.31	19.1 ± 0.42 ^b	0.25 ± 0.02
FOS-C	5.21 ± 0.22	19.6 ± 0.33 ^b	0.26 ± 0.02

1) FER=body weight gain (g/day)/food intake (g/day)

2) Values represent the mean of data from 8 rats ± SEM

3) Values with different superscripts within the same column are significantly different at p < 0.05 by Student-Newman-Keul's multiple range test

Table 5. Water contents and pH of feces after ingestion of fructooligosaccharide or fructooligosaccharide containing sponge cake for 3 weeks

Group	Water contents ¹⁾ (%)	pH of feces
C	40.94 ± 0.46 ^{2),3)}	7.77 ± 0.07 ^a
FOS	62.65 ± 2.03 ^b	6.84 ± 0.10 ^b
FOS-C	68.47 ± 0.93 ^c	6.71 ± 0.07 ^b

1) Fecal water contents (%) = (wet wt. - dry wt.) ÷ wet wt. × 100

2) Values represent the mean of data from 8 rats ± SEM

3) Values with different superscripts within the same column are significantly different at p < 0.05 by Student-Newman-Keul's multiple range test

Table 6. Changes in cecal wall and contents weights in rats fed experimental diets for 3 weeks

Group	Cecal wall wt. (g/100 g B.W.)	Cecal contents wt. (g/100 g B.W.)	Water contents (%)	pH of cecal contents
C	0.55 ± 0.06 ^{1),2)}	0.32 ± 0.04 ^a	71.69 ± 1.72 ^a	7.07 ± 0.13 ^a
FOS	0.88 ± 0.07 ^b	1.17 ± 0.15 ^b	76.24 ± 0.85 ^b	6.46 ± 0.20 ^b
FOS-C	0.72 ± 0.05 ^{ab}	1.61 ± 0.26 ^b	81.36 ± 0.61 ^c	6.01 ± 0.08 ^c

1) Values represent the mean of data from 8 rats ± SEM

2) Values with different superscripts within the same column are significantly different at p < 0.05 by Student-Newman-Keul's multiple range test

량에 의한 효과가 더 크며 이러한 사실은 맹장내에서 미생물의 증식을 유도하는 올리고당의 효과로 볼 수 있다. 이와 같이 올리고당의 발효가 활발히 일어나면 유기산의 생성이 많아지게 되므로 장내 산도는 감소하게 된다. 본 연구에서 측정한 맹장 내용물의 pH는 대조군 (7.07)에 비해 FOS군과 FOS-C군에서 각각 6.46과 6.01로 유의적으로 낮아져 맹장에서의 모든 결과는 일관성있게 나타났다. 위의 결과들로부터 프락토 올리고당을 스폰지 케일의 형태로 섭취시킨 경우도 프락토 올리고당을 그대로 섭취시킨 경우나 동일하게 장에서 효과가 나타남을 알 수 있었다. 난소화성 올리고당 섭취로 인한 대장 미생물의 증식은 장운동에 유익한 영향을 줄 뿐 아니라 혈액에서의 질소산물의 제거 효과도 기대할 수 있으므로¹⁶⁾ 인체에 다양한 이점을 나타내게된다. 본 연구에서는 식이 중량의 7.5%에서 맹장미생물의 증식 효과를 확인할 수 있었으나 흰쥐에 프락토 올리고당을 섭취하게 하여 맹장조직의 증식 효과를 본 몇몇 연구들에서 프락토 올리고당을 식이의 4~5% 이상의 수준으로 첨가하였을 때 이러한 효과가 나타나는 것으로 보고하고 있으므로 본 연구에서 사용한 량보다 다소 적은 량으로도 같은 유용한 효과를 볼 수 있으리라고 사료된다.¹⁷⁻¹⁹⁾ 스폰지 케이크는 지방을 쓰지 않고 달걀과 설탕, 밀가루만을 사용하여 만드는 케이크로 설탕량의 일정부분을 난소화성 올리고당으로 대치할 경우 prebiotics를 보다 쉽게 섭취할 수 있는 방법이 될 수 있을 것으로 사료되었다. 또한 이 경우 스폰지 케이크의 식품학적 품질에도 좋은 결과를 나타내었으며⁷⁾ 스폰지 케이크의 제조과정 중에 열처리 등으로 가공되었음에도 불구하고 생체내에서 그 효과가 유지됨이 증명되었으나⁸⁾ 본보에서 나타난 것과 같이 다소 많은 양을 섭취할 경우 장내 부작용의 가능성이 제시되었으므로 그 섭취량에 주의가 요구된다고 할 수 있다.

4. 장통과시간

Brilliant blue가 처음 보이기 시작한 T-first와 총 장통과시간 (total transit time)을 살펴보았을 때, T-first는 FOS군과 FOS-C군 모두 대조군에 비해 긴 경향을 나타냈으며 FOS군과 FOS-C군간의 차이는 보이지 않았다. 또한 총 장통과시간은 프락토올리고당을 섭취한 흰쥐들에서 유의적으로 긴 것으로 나타났다 (Table 7). Spiller 등²⁰⁾은 사람에게 cellulose와 pectin을 섭취시켰을 때 cellulose는 유의적으로 장통과시간을 감소시켰으나 pectin은 대조군에 비해 오히려 다소 증가하는 경향을 보여주었다고 보고하였다. 즉, 불용성 식이섬유는 총장통과시간을 유의적으로 감소시키나 수용성 식이섬유는 그러한 효과가 적은 것으로

보고된 것으로 이러한 사실은 다른 연구결과들^{6,21,22)}과 일치한다. Spiller 등²⁰⁾은 사용한 pectin 제제가 가지고 있을 수 있는 항설사 (antidiarrheal) 작용에 기인하는 것 같다고 하였으나 본 연구에서 맹장내용물이 뚜렷이 증가하는 것으로 보아 설치류의 경우 올리고당이 맹장에서 박테리아에 의해 분해 받기 위해 머무는 시간이 길어지기 때문으로 볼 수 있다. Campbell 등²³⁾은 흰쥐에 프락토 올리고당을 급여하였을 때 맹장의 조직과 맹장내용물은 크게 증가하였으나 결장에는 유의적인 영향이 없었으므로 흰쥐의 주발효 장소는 맹장이며 이러한 결과는 주발효 장소가 결장인 사람의 경우 다르게 나타날 것이라고 추측하였다. 그러한 추측은 매우 가능성있는 추측으로서 Meier 등²⁴⁾의 연구에서 입증된 것으로 볼 수 있다. Meier 등은 건강한 남자 12명에게 수용성과 불용성 식이섬유를 함유한 액상식이를 먹였을 때 수용성 식이섬유가 총 장통과 시간에는 영향을 주지 못하였으나 결장통과시간은 유의적으로 늦추었음을 보고한 바 있다. 이와 같이 수용성 식이섬유의 결장 통과 시간이 늦어지는 것은 결장을 통과하면서 미생물에 의해 분해받기 때문이며 공복시의 cholecystokinine의 농도가 낮은 것과도 관련이 있다고 하였다. 그러므로 대부분 식이섬유는 수분 보유력이 증가함에 따라 장 내용물의 부피와 점성을 증가

Table 7. Fecal transit time of rats fed experimental diet for 2 weeks

Group	Transit time (hr)	
	T-first ¹⁾	T.T.T ²⁾
C	14.85 ± 0.99 ³⁾	100.9 ± 7.3 ⁰⁴⁾
FOS	17.41 ± 1.49	188.3 ± 14.5 ^b
FOS-C	17.60 ± 1.14	187.5 ± 15.4 ^b

1) First time when the dyed feces appeared

2) The time required for evacuation of total dyed feces

3) Values represent the mean of data from 8 rats ± SEM

4) Values with different superscripts within the same column are significantly different at $p < 0.05$ by Student-Newman-Keul's multiple range test

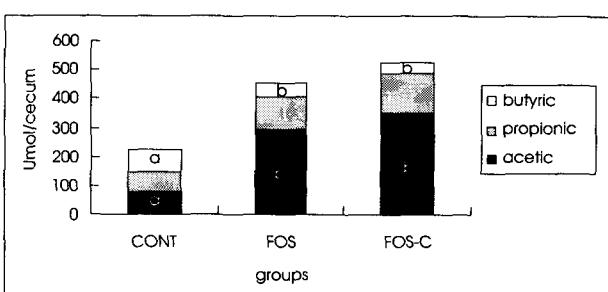


Fig. 1. Effect of fructooligosaccharide on cecal short chain fatty acids (SCFA) pools in rats fed experimental diets for 2 weeks. Cecal SCFA pool = SCFA ($\mu\text{mol}/\text{mL}$) \times cecal content (mL). Bars with different letters are significantly different at $p < 0.05$ by Student-Newman-Keul's multiple range test.

Table 8. Effect of fructooligosaccharide on molar ratio of cecal short chain fatty acids (SCFA) in rats fed experimental diet for 2 weeks

Group	Short chain fatty acids		
	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid
C (n ¹ =7)	35.36 ± 3.28 ^{2,3)}	29.34 ± 2.78	35.31 ± 3.42 ^a
FOS (n=7)	61.81 ± 7.66 ^b	23.46 ± 3.63	14.77 ± 6.08 ^b
FOS-C (n=6)	61.47 ± 3.48 ^b	28.07 ± 3.30	10.47 ± 3.63 ^b

1) Sample size

2) Values represent the mean ± SEM

3) Values with different superscripts within the same column are significantly different at p < 0.05 by Student-Newman-Keul's multiple range test

시켜 대장의 운동을 자극하므로 장통과 시간이 빨라진다고 보고되어 있기는 하나 수용성 식이섬유의 경우는 섭취량과 개체의 장내 환경에 따라 결과가 다르게 나타날 수 있는 것으로 보인다.

5. 맹장내용물의 단쇄지방산 함량

올리고당의 미생물 발효에 의해 생성되는 맹장내용물의 단쇄지방산의 조성을 알아보기 위하여 acetic acid, propionic acid, butyric acid의 함량을 측정한 결과 총 단쇄지방산 pool은 대조군 < FOS군 < FOS-C군의 순으로 증가하였으며 (Fig. 1) 프락토 올리고당을 섭취한 군들에서는 acetic acid의 함량비가 유의적으로 증가한 반면, propionate의 함량비에는 차이가 없었고 butyrate의 함량비는 오히려 감소하는 것으로 나타났다 (Table 8). Younes 등¹⁶⁾은 자일로 올리고당이나 프락토 올리고당을 섭취시킨 쥐의 맹장에서 단쇄지방산 함량을 측정한 결과 올리고당을 섭취하지 않은 군에 비해 2~2.6배 높게 나타나 본 연구의 결과와 일치하였으나 좀 더 자세한 분석을 시도하였던 Campbell 등²³⁾의 연구 결과와는 완전히 일치하지는 않았다. 즉, 6%의 프락토 올리고당을 흰쥐에 섭취시켰을 때 맹장내 acetate는 2.5배, butyrate는 유의적으로 3배 정도 증가하였고 propionate의 함량에는 유의적인 차이가 없었던 것으로 보고하여 acetate 경우는 본 연구와 일치하였으나 butyrate에 대한 결과는 일치하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 실험동물의 주령이나 섭취한 식이의 조성이 달랐던 점 외에도 본 연구에서 12시간의 단식 후에 맹장의 내용물을 취하여 단쇄지방산을 측정한 때문으로도 볼 수 있다. 맹장내의 단쇄지방산 pool의 변화는 식이의 조성은 물론 유입된 prebiotics의 종류와 중합도, 장내 미생물 환경 외에 섭식상태, 대장벽과 점막의 상태에 따른 단쇄지방산의 흡수력 등 많은 인자들에 의해 변화되는 것으로 보고되어 있다.^{25,26)}

6. 혈청지질 농도

혈청의 중성지방 농도는 FOS군이 대조군에 비하여 감소하는 경향을 보여주었으며 FOS-C군은 유의적으로 낮게

Table 9. Changes in serum triglyceride and total cholesterol levels of rats fed experimental diets for 2 weeks

Group	Triglyceride (mg/dl)	Total cholesterol (mg/dl)
C (n ¹ =7)	126.5 ± 12.39 ^{2,3)}	53.98 ± 3.46
FOS (n=7)	98.41 ± 13.62 ^{ab}	50.16 ± 4.82
FOS-C (n=6)	62.83 ± 7.74 ^b	50.87 ± 2.60

1) Sample size

2) Values represent the mean ± SEM

3) Values with different superscripts within the same column are significantly different at p < 0.05 by Student-Newman-Keul's multiple range test

나타났다 (Table 9). FOS-C군의 혈청 중성지방 농도는 FOS군에 비해 낮은 경향을 나타내었으나 통계적으로 유의적인 차이는 아니었다. 혈청 콜레스테롤의 농도는 세 군간에 유의적인 차이를 보이지는 않았으나 프락토 올리고당을 섭취한 두 군들이 다소 낮은 경향을 보여주었으며 두 군간의 차이는 볼 수 없었다.

Delzenne 등²⁷⁾은 흰쥐에게 한달 동안 식이의 20%를 프락토 올리고당으로 섭취시킨 결과 혈청 콜레스테롤치에는 변화가 없었으나 혈청 중성지방이 크게 감소하는 결과를 초래하였고, 식이내 10% 수준으로 프락토 올리고당을 16주간 섭취하게 하였을 때는 혈청 중성지방, 인지질 및 콜레스테롤에 유의적인 감소효과를 보였으며, 중성지방 감소효과는 1주째부터 관찰되어 16주까지 지속되었다고 보고하였다. 올리고당의 투여로 중성지방이 크게 감소되는 이유는 아직 정확히 알려진 바가 없지만, Fiordaliso1 등¹²⁾은 올리고당이 가용성 식이섬유질과 유사하게 간의 지질대사에 영향을 주어, 간에서 중성지방 합성이 감소되고, 혈청의 VLDL (very low density lipoprotein) 감소가 나타났다고 보고하였다. 또한 올리고당의 투여는 간의 지방산 합성 효소 활성의 감소로 지방산 합성이 감소되고,²⁸⁾ acylglycerol 합성도 감소됨으로서 혈청의 중성지방 감소에 기여하였을 것이라고 하였다.²⁹⁾ 한편 Thomas³⁰⁾ 등은 임상실험에서 직장에 각각 acetate (180 mmol), propionate (180 mmol), acetate (180 mmol) + propionate (60 mmol) 수용액을 주입한 결과 propionate는 대장에서 흡수되어 혈중 콜레스테

률의 저하 효과를 보여 주었으며, acetate를 propionate와 혼합 주입했을 경우는 propionate의 효과가 상쇄되는 것으로 나타났다. 즉 acetate가 주입되었을 경우 혈중 콜레스테롤을 높이는 효과가 유의적으로 나타나지는 않았으나 propionate의 콜레스테롤 저하 효과를 상쇄시키는 것으로 보아 acetate가 콜레스테롤의 전구체로 이용될 가능성을 배제할 수 없었다고 보고하였다. 7.5%의 프락토 올리고당을 먹인 본 실험에서 혈청의 중성지방 농도는 올리고당 섭취군들이 대조군에 비해 유의적으로 낮게 나타났으나, 혈청 총콜레스테롤 농도는 유의적인 차이를 보이지 않았는데 이는 섭취기간이 혈청 콜레스테롤의 감소를 가져올만큼 충분하지 않았거나 올리고당 섭취군에서 아세트산이 프로페온산에 비해 많이 생성되었기 때문으로 볼 수 있었다. 그러나 두 단쇄지방산의 혈청 콜레스테롤치에 대한 기여도를 정량화 하기에는 아직 충분한 자료가 축적되어있지 못하다. 또한 프락토 올리고당을 그대로 먹이거나 스폰지 케이크의 형태로 섭취시켰을 때 7.5%의 수준에서 설사 등 소화기관에 부작용을 일으켜 더 많은 양의 섭취는 현실성이 없는 것으로 볼 때 콜레스테롤의 저하 효과는 단기간의 프락토 올리고당 섭취에서는 기대하기 어려운 것으로 보였다.

요약 및 결론

프락토 올리고당 (FOS)이나 프락토 올리고당을 함유한 스폰지 케이크 분말 (FOS-C)을 혼합하여 최종 프락토 올리고당의 함유율이 7.5%가 되게 한 식이를 흰쥐에게 각각 3주간 혹은 2주간 섭취하게 하였을 때 혈청지질과 소화관의 기능 및 단쇄지방산 생성량에 대한 영향은 다음과 같이 나타났다.

프락토 올리고당 섭취군들은 식이 섭취량이 낮았으며, 체중 증가량과 함께 식이 효율은 프락토 올리고당을 먹은 쥐들에서 낮은 경향을 보여주었다. 변 중 수분함량은 대조군에서 가장 낮았고 FOS군보다 FOS-C군이 유의적으로 높게 나타났으며 변의 pH는 대조군에 비해 프락토 올리고당을 섭취한 군들이 유의적으로 낮게 나타났다. 맹장 조직의 중량, 맹장 내용물의 중량은 프락토 올리고당을 먹은 두 군이 대조군에 비하여 많았으며 두 군간의 차이는 없었다. 맹장 내용물의 수분함량은 대조군에서 가장 낮고 FOS군, FOS-C군의 순으로 증가하였다. 맹장 내용물의 pH는 대조군에 비해 FOS군이, 또한 FOS군에 비해 FOS-C군이 유의적으로 낮아져 산도가 높은 것으로 나타났다. 총 장통과시간은 프락토 올리고당을 섭취한 두 군들에서 유의적으로 느린 것을 볼 수 있었으나 두 군간의 차이는 보이지 않았다. 프

락토 올리고당을 섭취한 쥐들의 맹장 내용물에서는 acetic acid, propionic acid, butyric acid 등의 짧은사슬 지방산의 총 생성량이 많아지는 경향을 보여주었다. 대조군에 비하여 프락토 올리고당을 섭취한 군들의 맹장에서 acetic acid의 함량비가 유의적으로 높아진 반면 butyric acid의 함량비는 낮아졌다. 혈청의 중성지방 농도는 FOS군이 대조군에 비해 낮은 경향을 보여주었고 대조군에 비해 FOS-C군이 유의적으로 낮게 나타났으나 혈청 총콜레스테롤 농도는 차이가 없었다.

이상의 결과로부터 스폰지 케이크에 첨가하여 섭취하게 한 프락토 올리고당도 프락토 올리고당을 그대로 섭취하게 한 경우와 동일한 생리적 효과를 보여주었으므로 스폰지 케이크 제조 정도의 가열처리는 프락토 올리고당의 생리적 활성에 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다. 그러나 프락토 올리고당의 섭취량이 전체 식이의 7.5% 정도가 되었을 때는 소화기관의 적응이 단기간에 일어나지 않으므로 생체에 유익한 효과를 기대하여 프락토 올리고당을 섭취할 때 개체의 소화관 상태에 따라 많은 주의가 요망된다.

Literature cited

- National nutrition survey report, Ministry of Health and Welfare, 1994
- Annual report on the cause of death, The economic planning board, 1996
- Etherton K, Krummel D, Dreon G, Mackey S, Peter D, Wood D Sc. The effect of diet on plasma lipids, lipoproteins, and coronary heart disease. *J Am Diet Assoc* 88: 1373-1400, 1988
- Yazawa K, Imai K, Tamura Z. Oligosaccharides and polysaccharides specially utilizable by Bifidobacteria. *Chem Pharm Bull* 26: 3306-3311, 1978
- Kim MH, Kim HY, Kim WK, Kim JY, Kim SH. Soyoligosaccharides on blood glucose and lipid metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutrition* 34: 3-13, 2001
- Kim JY, Kim WK, Kim HY, Kim MH, Kim SH. Effects of soyoligosaccharides and varing dietary fats on intestinal microflora, lipid profiles and immune responses in rats. *Korean J Nutrition* 33: 597-612, 2000
- Lee KA, Lee YJ, Ly SY. Effects of oligosaccharides on physical, sensory and textural characteristics of sponge cake. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 547-553, 1999
- Ly SY, Lee MR, Lee KA. Effects of oligosaccharides containing sponge cakes on blood lipids and intestinal physiology in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 619-624, 1999
- Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: Final report of the american institute of nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr* 123: 1939-1951, 1993
- Heanton JM, Lennard-Jones JE, Young AC. A new method for

- studying gut transit using radiopaque markers. *Gut* 10: 842-847, 1969
- 11) Kim YH, Lee SS. The effect of diet containing different fiber source on the serum lipid level and bowel function in rats. *Korean J Nutrition* 28: 825-833, 1995
 - 12) Fiordaliso M, Kok N, Desager KP, Goethals F, Deboyser D, Roberfroid M, Delzenne N. Dietary oligofructose lowers triglycerides, phospholipids and cholesterol in serum and very low density lipoproteins of rats. *Lipids* 30: 163-167, 1995
 - 13) Clausen MR, Jorgensen J, Mortensen PB. Comparison of diarrhea induced by ingestion of fructooligosaccharide idolax and disaccharide lactulose. *Dig Dis Sci* 43: 2696-2707, 1998
 - 14) Harward MD, Kerley MS, Gordeon DT, Pace LW, Garleb KA. Effect of dietary addition of fructooligosaccharide on colonic microflora populations and epithelial cell proliferation in neonatal pigs. *J Anim Sci* 71 (Suppl 1): 177 (abs), 1993
 - 15) Hidaka H, Eida T, Takizawa T, Tokunaga T, Tashiro Y. Effects of fructooligosaccharides on intestinal flora and human health. *Bifidobacteria Microflora* 5: 37, 1986
 - 16) Younes H, Garleb K, Behr S, Remesy C, Demigne C. Fermentable fibers or oligosaccharides reduce urinary nitrogen excretion by increasing urea disposal in the rat cecum. *J Nutr* 125: 1010-1016, 1995
 - 17) Djouzi Z, Andrieux C. Compared effects of three oligosaccharides on metabolism of intestinal microflora in rats inoculated with a human faecal flora. *Brit J Nutr* 78: 313-324, 1997
 - 18) Lee JS, Yeom TR, Shin HK. Effects of jerusalem artichoke and chicory on lipid metabolism in rats. *Korean J Nutrition* 31: 13-20, 1998
 - 19) Tokunaga T, Oku T, Hosoya N. Influence of chronic intake of new sweetener fructooligosaccharide (neosugar) on growth and gastrointestinal function of the rat. *J Nutr Sci Vitaminol* 32: 111-121, 1986
 - 20) Spiller GA, Chernoff MC, Hill RA, Gates JE, Nassar JI, Shipley EA. Effect of purified cellulose, pectin, and a low residue diet on fecal volatile fatty acids, transit time and fecal weight in humans. *Am J Clin Nutr* 33: 754-759, 1980
 - 21) Cherbut C, Aube AC, Mekki N, Dubois C, Lairon D, Barry JL. Digestive and metabolic effects of potato and maize fibres in human subjects. *Br J Nutr* 77: 33-46, 1997
 - 22) Tashiro Y, Satchithanadam S, Calvert RJ. Gastrointestinal effects of fructooligosaccharides. *Adv Exp Med Biol* 427: 221-34, 1997
 - 23) Campbell JM, Fahey GC Jr, Wolf BW. Selected indigestible oligosaccharides affect large bowel mass, cecal and fecal short-chain fatty acids, pH and microflora in rats. *J Nutr* 127: 130-136, 1997
 - 24) Meier R, Beglinger C, Schneider H, Rowedder A, Gyr K. Effect of a liquid diet with and without soluble fiber supplementation on intestinal transit and cholecystokinin release in volunteers. *J Parenter Enteral Nutr* 17: 231-235, 1993
 - 25) Bouhnik Y, Flourié B, D'Agay-Abensour L, Pochart P, Gramet G, Durand M, Rambaud JC. Administration of transgalacto-oligosaccharides increases fecal bifidobacteria and modifies colonic fermentation metabolism in healthy humans. *J Nutr* 127: 444-448, 1997
 - 26) Florent C, Flourié B, Leblond A, Rautureau M, Bernier JJ, Rambaud JC. Influence of chronic lactulose ingestion on the colonic metabolism of lactulose in man (an in vivo study) *J Clin Invest* 75: 608-613, 1985
 - 27) Delzenne N, Kok N, Fiordaliso M, Deboyser DM, Goethals FM, Roberfroid MB. Dietary fructooligosaccharides modify lipid metabolism in rats. *Am J Clin Nutr* 57 (Suppl): 820s, 1993
 - 28) Agheli N, Kabir M, Bermi-Canani S, Petitjean E, Boussairi A, Luo J, Bornet F, Slama G, Rizkalla SW. Plasma lipids and fatty acid synthase activity are regulated by short-chain fructo-oligosaccharides in sucrose-fed insulin-resistant rats. *J Nutr* 128: 1283-1288, 1998
 - 29) Kok N, Roberfroid M, Delzenne N. Involvement of lipogenesis in the lower VLDL secretion induced by oligofructose in rats. *Br J Nutr* 76: 881-890, 1996
 - 30) Thomas MS, Wolever, Peter S, Harriet E. Interaction between colonic acetate and propionate in humans. *Am J Clin Nutr* 53: 681-687, 1991