

저지방 또는 고지방 섭취 시 대두올리고당의 섭취가 흰쥐의 지방대사에 미치는 영향*

방명희** · 김우경*** · 김주현 · 이정숙 · 이다희 · 김숙희

단국대학교 자연과학부 식품영양학전공,** 한국식품영양재단

Effects of Soyoligosaccharide on Lipid Metabolism in Rats Fed the High Fat or Low Fat Diet*

Bang, Myung-Hee ** · Kim, Woo-Kyoung *** · Kim, Ju-Hyeon
Lee, Jung-Sug · Lee, Da-Hee · Kim, Sook-Hee

Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul 140-714, Korea
Korea Food and Nutrition Foundation, ** Seoul 121-020, Korea

ABSTRACT

This study investigated the effects of soyoligosaccharide consumption on lipid profile of plasma, liver and feces and immune responses in Sprague-Dawley male rats. Sixty male Sprague-Dawley rats 4-wk-old were provided the soyoligosaccharide containing diets for 4 weeks (0, 100 g/kg diet); each of these diets was supplemented with either 70 or 200 g fat/kg diet, giving a total of 4 experimental groups. The effect of weight reduction was most significantly observed in the group fed low fat and soyoligosaccharide diet. The plasma total lipid and cholesterol contents were not changed by either fat proportion or soyoligosaccharide supplementation in the diets. Also the plasma triglyceride lowering effect by soyoligosaccharide was not observed in rats fed either low fat or high fat diet. However, the significant decrease in TG contents was found with rats fed high fat diets compared to the control/no soyoligosaccharide diet. Elevation of plasma LDL-cholesterol and reduction of HDL-cholesterol by feeding high fat diet was not altered by supplementing soyoligosaccharide. This was also applied to the liver lipid profiles. The significant increases in liver total lipid, triglycerides and cholesterol by high fat diet was not abolished by feeding soyoligosaccharide. However, the desirable effects of feeding soyoligosaccharide were found with total lipid and cholesterol excretion through feces in rats fed high fat diets. Immune organ weights and spleen cell proliferations did not affected by experimental diets. These results demonstrated that soyoligosaccharide intakes increased the lipid output via feces, especially in rats fed the high fat diet, but more researches are needed on immune responses. (*Korean J Nutrition* 37(4) : 266~272, 2004)

KEY WORDS : soyoligosaccharide, lipid metabolism, immune response.

서 론

고지혈증은 혈액내 콜레스테롤이나 중성지방과 같은 지방성분이 증가한 상태로, 순환기계 질환의 위험인자로 알려져 있어 혈액내 지방성분을 낮추는 것이 순환기계질환을 예방하고 치료하는데 중요하다는 것이 강조되고 있다.¹⁾ 고지혈증은 과잉의 지방섭취와 관련이 있어 섭취하는 지방의

양과 종류를 조절함으로써 고지혈증을 예방하고 치료하고자 하는 노력들을 많이 하고 있다. 또한 최근 들어 소장에서 소화되지 않고 대장으로 넘어가 발효를 촉진하는 식이 성분 (prebiotics)들이 혈액내 지방성분을 감소시키는 효과가 있다는 연구들이 활발히 진행되고 있다.^{2,3)} 설탕 대신 올리고당을 함유하고 있는 스폰지 케익을 섭취시켰을 때 실험동물의 혈액내 총콜레스테롤과 중성지방량이 유의적으로 감소하였으며,⁴⁾ 실험동물에게 이눌린 형태의 올리고당을 섭취시켰을 때 간과 혈액내 중성지방량이 함께 감소하였다고 보고하고 있다.⁵⁾ 사람을 대상으로 한 실험에서는 하루에 9 g의 프락토올리고당을 4주간 섭취하였을 때 혈액내 총 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤과 중성지방이 감소하였다고 보고

접수일 : 2004년 1월 19일

채택일 : 2004년 4월 14일

*This study was supported by Hyundai Pharm. IND. CO., LTD.

§To whom correspondence should be addressed.

된 바 있다.⁶⁾

한편, 식이섬유의 보충은 대장암의 발생을 감소시키며, 그 원인이 장 점막에서의 병원균에 대한 방어기능 때문이라고 논의되고 있는데,⁷⁾ prebiotics는 장내의 미생물의 종류와 대사특징을 변화시킴으로서 장내의 면역능력을 변화시키고 결과적으로 신체 전체의 면역능력을 변화시킬 수 있다고 보고되었다.⁸⁾ B₆C₃F₁종의 쥐에게 6주간 식이무게의 10%로 셀룰로오스, 프락토올리고당, 이눌린을 섭취시켰을 때, 장으로의 *C. albicans* 감염으로 인한 질병 발생은 셀룰로오스 섭취군에 비해 프락토올리고당이나 이눌린을 섭취한 군에서 50% 낮아 유의적인 차이가 있었으며, 혈관을 통한 *S. typhimurium*의 감염 시에는 셀룰로오스 섭취군의 사망률은 80%, 이눌린섭취군 60%, 프락토올리고당은 중간으로 올리고당의 섭취로 인한 장내 미생물의 변화가 면역능력을 변화시킨다고 보고되었다.⁹⁾

본 연구에서는 식이지방의 섭취수준을 달리하면서 올리고당을 섭취할 때 혈액, 간과 변의 지방성분을 측정하여 지방대사의 변화를 관찰하고, 면역능력을 측정하여 고지방섭취시 올리고당의 섭취가 지방대사와 면역능력에 영향을 미치는지를 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물 및 식이

이유를 끝낸 생후 4주된 Sprague-Dawley종 흰쥐 수컷 60마리를 일반 식이로 1주일간 적응시킨 후 체중에 따라 난괴법으로 군당 15마리씩 나누어 실험식으로 4주간 사육하였다. 실험식은 AIN-93G diet¹⁰⁾를 기본으로 하였으며, 식이지방을 식이 무게의 7%와 20%의 두 수준으로 하여 각기 식이무게의 10%의 대두올리고당을 첨가하거나 첨가하지 않은 4가지 식이를 제조하여 사용하였다. 실험식이 조제에 사용된 올리고당은 대두올리고당 (일본, 칼피스 주식회사제조, 현대약품제공)이었으며, 자세한 실험식이 조성은 Table 1과 같다. 실험 기간 동안 물과 식이는 제한 없이 공급하였다. 식이 섭취량은 매주 2회, 체중은 일주일에 1회씩 측정하였고 체중 증가와 식이 섭취량으로 식이 효율을 계산하였다.

2. 시료채취 및 실험방법

1) 시료 채취

실험동물을 희생하기 전 12시간 동안 절식시킨 후에 ethyl ether로 마취시켜 심장에서 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 sodium citrate가 들어 있는 용기에 담아 30분간 방

Table 1. Composition of experimental diets (unit: g/kg)

Ingredients	LFS	LFO	HFS	HFO
Corn starch	579.486	479.486	439.486	339.486
Casein	200.0	200.0	200.0	200.0
Sucrose	50.0	50.0	50.0	50.0
Oligo	0.0	100.0	0.0	100.0
Soybean oil	70.0	70.0	200.0	200.0
Cholesterol	0.0	0.0	10.0	10.0
Fiber (cellulose)	50.0	50.0	50.0	50.0
Mineral mixture ¹⁾	35.0	35.0	35.0	35.0
Vitamin mixture ²⁾	10.0	10.0	10.0	10.0
L-Cystine	3.0	3.0	3.0	3.0
Choline	2.5	2.5	2.5	2.5
Tert-butylhydroquinone	0.014	0.014	0.014	0.014

1) Mineral mixture: Calcium carbonate, anhydrous, 357 g; potassium phosphate, monobasic, 196 g; potassium citrate, tri-potassium, monohydrate, 70.78 g; Sodium chloride, 74.00 g; potassium sulfate, 46.60 g; Magnesium oxide, 24.00 g; Ferric citrate, 6.06 g; Zinc carbonate, 1.65 g; Mangarous carbonate 0.63 g; Cupric carbonate 0.30 g; Potassium iodate, 0.01 g; Sodium selenate, anhydrous 0.01025 g; Ammonium paramolydate, hydrate, 0.00795 g; Sodium meta-silicate, hydrate, 1.45 g; Chromium potassium sulfate, 0.275 g; Lithium chloride 0.0174 g; Boric acid, 0.0815; Sodium fluoride 0.0635 g; Nickel carbonate, 0.0318; Ammonium vanadate, 0.0066; Powdered sucrose, 221.026 g

2) Vitamin mixture: Nicotinic acid, 3.000 g; Ca-pantothenate, 1.600 g; pyridoxine-Hcl, 0.700 g; thiamin-HCl, 0.600 g; riboflavin, 0.600 g; folic acid, 0.200 g; D-biotin, 0.020 g; vitamin B-12 (cyanocobalamin) (0.1% in mannitol), 2.500 g; vitamin E (all-rac- α -tocopheryl acetate) (500 IU/g), 15.000 g; vitamin A (all-trans-retinyl palmitate) (500 IU/g), 0.800 g; vitamin (cholecalciferol) (400 IU/g), 0.250 g; vitamin K (phyloquinone), 0.075 g; powdered sucrose, 974.655 g

치한 후 3,000 rpm에서 30분간 원심분리하여 혈장을 분리하였다. 분리한 혈장은 생화학적 실험을 할 때까지 -20℃에 보관하였다. 간, 흉선, 비장, 신장과 부고환지방을 채취하여 무게를 측정 후 간은 -70℃에 보관하였고, 비장은 즉시 면역세포중식실험에 사용하였다. 변은 실험동물을 희생하기 전 24시간 동안 채취하였다.

2) 지방대사

(1) 혈액내 지방성분

혈장 내 총 지방, 중성지방, 총 콜레스테롤과 HDL-콜레스테롤은 아산제약의 효소법에 의한 kit를 사용하여 측정하였다.

(2) 간과 변내 지방성분

간과 변내 지방은 Folch법¹¹⁾을 변형하여 chloroform : methanol solution (2 : 1, v/v)으로 추출한 후 지방성분 측정에 사용하였다. 총 지방과 중성지방은 아산제약의 효소법에 의한 kit를 사용하여 측정하였고, 콜레스테롤은 Zak법¹²⁾에 의해 측정하였다.

3) 면역실험

비장은 무균적으로 분리하여 RPMI 1640 (Gibco, Grand Island N.Y.: 200 mM glutamin, 25 mM Hepes, 1.4 μ l/ml gentamycin) 용액에 넣고, scalpel을 이용하여 single cell suspension을 만들었다. Spleen single cell suspension을 10% fetal calf serum을 함유한 RPMI 1640 배양액 내의 세포농도가 5.0×10^6 /ml이 되게 하여 96 well plate에 각 well당 100 μ l씩 분주하였다. 각 well에 mitogen으로 Con A (concanavalin A, Sigma)를 0.75 μ g/10 μ l, 0.10 μ g/10 μ l를 10 μ l씩 첨가하였다. PHA는 10 μ g/10 μ l, 15 μ g/10 μ l씩 첨가하였다. Control well에는 mitogen을 첨가하지 않았고, 모든 실험은 3회 반복하여 실시하였다. 분주된 plate를 37°C, CO₂ incubator에서 68시간 배양한 후 각 well에 MTT (3-(4, 5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromid, Sigma: 5 mg/ml PBS)를 20 μ l씩 첨가하여 다시 4시간 배양하였다. 배양 후 DMSO (dimethylsulfoxide, Sigma)를 각 well에 150 μ l씩 첨가하여 세포를 용해한 후 ELISA reader로 490 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Table 2. Initial weight, final weight and Food intakes for 4 weeks

Group	Initial weight (g)	Final weight (g)	Food intakes (g/day)
LFS	105.0 \pm 1.3 ^{1)NS2)}	321.7 \pm 8.0 ^{ab3)}	749.7 \pm 21.3 ^a
LFO	105.0 \pm 1.3	308.0 \pm 7.3 ^b	715.6 \pm 23.9 ^{ab}
HFS	105.3 \pm 1.3	333.9 \pm 7.6 ^a	657.8 \pm 20.8 ^b
HFO	105.5 \pm 1.3	340.9 \pm 9.1 ^a	657.5 \pm 23.2 ^b

1) Mean \pm SD, 2) NS: Not Significant

3) Values with different alphabet within a row are significantly different at $\alpha = 0.05$ by Duncan's multiple range test

Table 3. Organ weights

Group	Kidney		Liver		Epididymal fat pad	
	Absolute (g)	Relative (g/100 g wt)	Absolute (g)	Relative (g/100 g wt)	Absolute (g)	Relative (g/100 g wt)
LFS	2.4 \pm 0.1 ^{1)NS2)}	0.73 \pm 0.01 ^{ab}	9.9 \pm 0.3 ^b	3.3 \pm 0.08 ^b	4.1 \pm 0.2 ^a	1.3 \pm 0.05 ^a
LFO	2.3 \pm 0.1 ^b	0.76 \pm 0.02 ^{ab}	9.9 \pm 0.7 ^b	3.3 \pm 0.15 ^{ab}	3.6 \pm 0.2 ^{ab}	1.2 \pm 0.06 ^{ab}
HFS	2.4 \pm 0.1 ^{ab}	0.72 \pm 0.01 ^b	16.2 \pm 0.7 ^a	4.9 \pm 0.16 ^a	3.6 \pm 0.2 ^{ab}	1.1 \pm 0.05 ^{bc}
HFO	2.7 \pm 0.1 ^a	0.78 \pm 0.01 ^a	16.7 \pm 0.6 ^a	5.0 \pm 0.09 ^a	3.2 \pm 0.2 ^b	0.9 \pm 0.04 ^c

1) Mean \pm SD

2) Values with different alphabet within a row are significantly different at $\alpha = 0.05$ by Duncan's multiple range test

Table 4. Concentration of plasma lipids

Group	(mg/100 ml plasma)				
	Total lipid	Triglycerides	Total cholesterol	LDL-cholesterol	HDL-cholesterol
LFS	259.8 \pm 15.4 ^{1)NS2)}	54.7 \pm 7.7 ^{a3)}	83.7 \pm 4.5 ^{NS}	41.3 \pm 4.0 ^b	31.4 \pm 1.5 ^a
LFO	240.1 \pm 25.3	44.9 \pm 7.0 ^{ab}	84.8 \pm 8.9	44.0 \pm 8.3 ^b	31.9 \pm 2.6 ^a
HFS	240.5 \pm 14.1	27.8 \pm 3.3 ^b	82.6 \pm 6.4	61.8 \pm 9.4 ^{ab}	15.4 \pm 1.7 ^b
HFO	268.9 \pm 27.2	26.9 \pm 4.2 ^b	92.9 \pm 10.1	69.3 \pm 12.2 ^a	18.3 \pm 1.6 ^b

1) Mean \pm SD, 2) NS: Not Significant

3) Values with different alphabet within a row are significantly different at $\alpha = 0.05$ by Duncan's multiple range test

3. 통계 처리

SAS program을 이용하여 각 군의 평균과 표준 편차를 구하고, ANOVA분석을 한 후 그룹간의 평균차이 비교는 Duncan's multiple range test를 이용하여 $\alpha = 0.05$ 수준에서 검증하였다.

연구결과 및 고찰

1. 체중과 장기무게 변화

실험동물의 체중은 실험을 시작할 때 실험군간에 차이가 없었고 식이섭취량은 올리고당의 섭취와 관계없이 고지방을 섭취한 실험군에서 유의적으로 낮았으나 최종무게는 올리고당을 섭취한 저지방군에서 유의적으로 낮았다 (Table 2).

장기의 무게는 Table 3에 수록하였다. 신장 무게를 체중으로 나눈 값은 올리고당을 섭취하였을 때 증가하는 경향을 보이고 있다. 간의 무게는 올리고당의 섭취보다는 지방섭취에 영향을 받아 고지방섭취군이 저지방섭취군에 비해 간의 무게가 유의적으로 무거웠다. 체내 저장지방의 지표로 사용되는 부고환지방조직 (epididymal fat pad)의 무게는 올리고당의 섭취에 영향을 받아 올리고당을 섭취한 군이 낮은 경향을 보였다.

실험동물의 체중과 장기무게로 보았을 때 고지방식의 섭취는 식이섭취량은 낮지만 저지방섭취군에 비해 많은 체중증가를 보이고 있다. 식이지방은 간무게에 영향을 주며, 올리고당의 섭취는 신장과 epididymal fat pad 무게에 영향을 주어 신장의 무게는 높았으며, 체지방 축적은 적은 경향을 보였다.

2. 지방 대사

지방대사를 알아보기 위해 혈액, 간과 변내의 지방성분을 분석하였다. 혈액내 지방성분은 Table 4와 같다. 총지방량은 식이지방이나 올리고당의 영향을 받지 않았으나 중성지방량은 저지방섭취시 고지방식이에 비해 유의적으로 높았으며, 올리고당의 섭취는 유의적이지는 않으나 저지방을 섭취할 때 중성지방량을 낮추는 경향을 보였다. 혈액내 콜레스테롤량은 실험식이에 따른 차이는 나타나지 않았다. LDL-콜레스테롤은 고지방식이 섭취시 저지방 섭취에 비해 유의적으로 증가하였으며, 올리고당의 섭취는 영향을 주지 않았다. HDL-콜레스테롤은 LDL-콜레스테롤과는 반대로 고지방식이 섭취시 저지방식이 섭취시보다 유의적으로 낮았으며, 올리고당의 효과는 나타나지 않았다. 간내 지방성분은 Table 5에 제시하였다. 총 지방량, 콜레스테롤과 중성지방 모두 고지방식이 섭취시 유의적으로 증가하였으며, 올리고당은 영향을 주지 않았다. 변으로 배설되는 지방량도 총 지방, 중성지방, 콜레스테롤 모두 고지방식이를 섭취할 때 유의적으로 높았다 (Table 6). 올리고당의 섭취는 저지방 섭취시에는 영향을 주지 않았으나 고지방을 섭취하였을 때 변으로 하루에 배설되는 총 지방량과 총 콜레스테롤량을 유의적으로 증가시키는 것으로 나타났다.

많은 연구에서 올리고당이 체내 지방대사와 관련하여 순환기계 질환을 예방할 수 있다고 보고하고 있다. 동물 실험에서 설탕, 프락토올리고당, 대두올리고당과 분지올리고당을 식이무게의 5% 수준으로 섭취시켰을 때 혈액내 콜레스테롤량이 설탕을 섭취한 대조군에 비해 올리고당을 섭취한 군들에서 유의적이지는 않으나 감소하는 경향을 보였으며,

중성지방의 경우는 대조군에 비해 모두 유의적으로 감소하였다고 보고되었다.¹³⁾ 본 연구에서도 혈액내 콜레스테롤에는 올리고당의 섭취가 영향을 주지 않았으며 특히 저지방을 섭취할 때 혈액내 중성지방을 낮추는 경향을 보였다. Delzenne와 Kok⁵⁾는 실험동물에게 이눌린 형태의 올리고당을 섭취시켰을 때 나타난 간과 혈액내 중성지방량의 감소는 간에서의 지방 생합성의 감소 때문이라고 보고하였다. 그러나 Daubioul 등¹⁴⁾은 흰쥐를 이용한 동물실험에서 고지방식이에 10% fructan을 섭취시켰을 때 간내 지방 함량과는 관계없이 혈액내 중성지방이 감소된다고 보고하였다. 인체를 대상으로 한 실험에서 우리 나라 건강한 젊은 여성을 대상으로 대조군은 하루에 설탕을 10 g, 실험군은 대두올리고당을 10 g 씩 30일간 섭취시켰을 때 올리고당의 섭취는 설탕 섭취에 비해 혈액내 총지방량을 감소시키는 경향을 보였으나 유의적이지는 않았다.¹⁵⁾ 그러나 고지혈증 환자가 하루에 20 g의 이눌린을 섭취하였을 때 40 mg/100 ml의 중성지방이 감소되었고 혈액내 콜레스테롤량이 250 mg/100 ml 이상 일 때는 유의적으로 콜레스테롤이 감소되었다고 보고하였다.¹⁶⁾ 그러므로 정상인보다 혈액내 지방 성분이 높을 때 올리고당이 혈액내 지방성분을 낮추는 효과가 확실한 것을 알 수 있다.

올리고당이 혈액내 지방 성분을 감소시키는 기전으로는 올리고당의 섭취에 의한 장내 미생물 증식이 영향을 주는 것으로 보고되었다. 올리고당은 소장에서 가수분해효소에 의해 분해되지 않고 대장으로 넘어가 대장에서 *Lactobacillus* 나 *Bifidobacterium*과 같은 미생물을 선택적으로 증식시킬 수 있으며 이러한 미생물로부터 단쇄 지방산들의 생산이 장에서 증가하게 된다.¹⁷⁾ 미생물에 의해 생산된 프로피온산은 간에서의 콜레스테롤과 중성지방의 합성을 감소시키는 작용을 한다고 보고된 바 있다.²⁵⁾ 그리고 동물실험에서 *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium bifidum*과 같은 미생물들이 직접 혈액내 지방 성분을 저하시키는 작용을 한다고 보고되고 있다.¹⁸⁾ 이들 미생물들은 bile acid의 deconjugation을 촉진하여, 결과적으로 bile acid의 배설을 증가시켜 혈액내 콜레스테롤량을 감소시킨다. 고지

Table 5. Concentration of liver lipids (mg/g wet liver)

Group	Total lipid	Triglycerides	Total cholesterol
LFS	24.1 ± 1.9 ^{1) b2)}	14.2 ± 1.2 ^b	5.1 ± 0.1 ^c
LFO	25.1 ± 1.0 ^b	12.1 ± 0.6 ^b	4.7 ± 0.2 ^c
HFS	171.5 ± 12.4 ^a	51.6 ± 5.7 ^a	48.9 ± 3.8 ^b
HFO	194.7 ± 11.2 ^a	49.5 ± 4.4 ^a	60.5 ± 3.8 ^a

1) Mean ± SD

2) Values with different alphabet within a row are significantly different at α = 0.05 by Duncan's multiple range test

Table 6. Concentration of feces lipids

Group	Total lipid		Triglycerides		Total cholesterol	
	(mg/g feces)	(mg/day)	(mg/g feces)	(mg/day)	(mg/g feces)	(mg/day)
LFS	20.3 ± 5.5 ^{1) b2)}	36.6 ± 10.8 ^c	3.1 ± 0.5 ^b	5.3 ± 0.8 ^{ab}	4.4 ± 0.1 ^b	7.9 ± 0.5 ^c
LFO	18.6 ± 5.1 ^b	37.5 ± 9.6 ^c	2.0 ± 0.3 ^b	4.2 ± 0.8 ^b	5.8 ± 1.5 ^b	11.8 ± 2.3 ^c
HFS	66.8 ± 9.3 ^a	100.8 ± 13.9 ^a	4.9 ± 0.9 ^a	7.4 ± 1.4 ^a	34.4 ± 2.5 ^a	52.9 ± 4.4 ^a
HFO	61.4 ± 4.7 ^a	142.9 ± 19.0 ^a	3.5 ± 0.4 ^{ab}	7.6 ± 0.6 ^a	34.4 ± 2.4 ^a	81.1 ± 11.1 ^a

1) Mean ± SD

2) Values with different alphabet within a row are significantly different at α = 0.05 by Duncan's multiple range test

Table 7. Immune organ weights

Group	Thymus		Spleen	
	Absolute (g)	Relative (g/100 g wt)	Absolute (g)	Relative (g/100 g wt)
LFS	0.68 ± 0.02 ^{1)NS2)}	0.21 ± 0.01 ^{NS}	0.74 ± 0.02 ^{abc3)}	0.23 ± 0.01 ^{NS}
LFO	0.64 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.73 ± 0.04 ^b	0.23 ± 0.01
HFS	0.64 ± 0.05	0.19 ± 0.01	0.84 ± 0.04 ^{ab}	0.25 ± 0.01
HFO	0.61 ± 0.04	0.18 ± 0.01	0.86 ± 0.04 ^a	0.25 ± 0.01

1) Mean ± SD,

2) NS: Not Significant

3) Values with different alphabet within a row are significantly different at $\alpha = 0.05$ by Duncan's multiple range test

Table 8. Mitogenesis

(stimulation index)

Group	Con A (0.1 μ g/10 μ l)	Con A (0.75 μ g/10 μ l)	PHA (10 μ g/10 μ l)	PHA (15 μ g/15 μ l)
LFS	1.85 ± 0.1 ^{1)NS2)}	2.16 ± 0.2 ^{NS}	1.9 ± 0.1 ^{NS}	2.1 ± 0.3 ^{NS}
LFO	1.75 ± 0.1	2.14 ± 0.2	1.89 ± 0.2	1.96 ± 0.2
HFS	1.70 ± 0.1	2.30 ± 0.2	1.74 ± 0.0	1.93 ± 0.1
HFO	1.8 ± 0.2	2.00 ± 0.1	1.97 ± 0.3	2.00 ± 0.2

1) Mean ± SD,

2) NS: Not Significant

혈중 실험모델에서도 올리고당의 섭취는 변으로의 콜레스테롤 배설을 유의적으로 증가시켰다.¹⁹⁾ 본 연구에서 나타난 올리고당의 섭취로 인한 변으로의 지방성분의 배설증가도 이와 관련이 있는 것으로 사료된다.

그러므로 본 연구의 결과는 올리고당의 섭취는 혈액과 간내 지방성분에는 유의적인 영향을 주지 않았으나 변을 통한 총지방과 콜레스테롤의 배설을 증가시켰으며, 이러한 영향은 고지방식을 할 때 유의적으로 나타났다. 본 연구에서 혈액과 간의 지방성분이 올리고당 섭취에 의해 유의적으로 감소하지 않은 이유는 섭취하는 기간이 짧았기 때문이라고 사료된다. 그러나 같은 조건에서 고지방식이 올리고당의 섭취가 지방의 흡수를 방해하여 많은 양을 배설시킨다는 점은, 장기적으로 섭취하였을 때는 혈액과 간내 지방 함량에도 영향을 미칠 것으로 사료된다.

3. 면역실험

체내 대표적인 면역기관인 흉선과 비장의 무게는 Table 7에 제시되어 있는데 장기의 절대 무게나 체중당 무게는 식이지방과 올리고당의 섭취에 따른 영향을 받지 않았다. 비장 세포를 mitogen으로 자극하여 비장 세포의 증식정도로 면역능력을 측정하는 실험에서 mitogen으로 ConA와 PHA를 사용하였을 때 식이지방과 올리고당은 면역세포증식에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다 (Table 8).

식이섭유나 올리고당 등을 섭취하면 장에서 미생물들의 증식을 촉진시키고 특히, *Bifidobacterium*과 *Lactobacillus*는 숙주의 면역 능력을 촉진하여 암이나 감염, 알러지 등을 예방하는 기능을 부여한다고 보고되었다.²¹⁾²²⁾ 장내 미생물 중에서도 lactic acid를 만드는 미생물들이 병원균과 작용하여 면역 능력을 자극한다고 알려졌다.²³⁾ Hosono 등²³⁾은 BALB/c

mice에게 0~7.5% 프락토올리고당을 6주간 섭취시키고, 장점막에서의 면역 능력을 측정하였는데, 2.5% 프락토올리고당을 섭취하였을 때 변에서의 IgA의 분비가 증가하였고, Peyer's patch 세포에서의 IgA의 분비와 CD4 T 세포의 수, interferon- γ , interleukin 10 분비량은 올리고당의 섭취가 증가할수록 증가하였다고 보고하였다. 또한 프락토올리고당의 섭취는 혈액내 IgG1의 양은 감소시켰고 이는 식품 알러지를 예방하는데 도움을 줄 수 있을 것이라고 하였다. 즉, 프락토올리고당의 섭취는 장내 미생물을 변화시키므로 장에서의 면역능력을 변화시키고 결국에는 신체의 전체적인 면역능력에 영향을 줄 수 있다고 하였다. Nagura 등²⁴⁾도 BALB/c mice에게 하루에 50 g raffinose/kg을 섭취시켰을 때 Peyer's patch 세포에서의 interleukin (IL)12의 분비가 유의적으로 증가하였고, 항원에 대한 Th2-type immune response를 감소시킴으로서 혈청내 IgE 반응을 감소시킨다고 하였다. 본 연구에서는 대두올리고당의 섭취에 의해 면역기관의 무게나 비장세포의 증식 등 면역능력에 영향을 주지 않는 것으로 나타났는데 올리고당의 섭취량이 낮았던 이유도 있을 것이며, 본 연구에서 사용한 실험방법은 신체의 전체적인 면역능력을 측정하는 것으로 올리고당이 직접 작용하는 장내에서의 면역능력을 측정해 보면 다른 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 앞으로 올리고당과 면역능력과의 관계에 대해서는 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구는 식이 지방 수준을 달리하였을 때 올리고당의

섭취가 체내 지방대사와 면역 능력에 영향을 주는지를 알아보기 위해 실시되었다. 이유가 끝난 Sprague-Dawley 수컷 쥐에게 식이무게의 10%로 대두올리고당을 섭취시켰고, 식이지방은 식이무게의 7%와 20%를 섭취시켰다. 실험 시작시의 체중은 실험군간에 차이가 없었으나 최종무게는 올리고당을 섭취한 저지방군에서 유의적으로 낮았다. 혈액내 총 지방량은 식이지방이나 올리고당의 영향을 받지 않았으나 중성지방량은 저지방 섭취시 고지방식이에 비해 유의적으로 높았으며, 혈액내 콜레스테롤량과 LDL-콜레스테롤은 고지방식이 섭취시 저지방섭취에 비해 유의적으로 증가하였으며 올리고당의 섭취에 의해서는 영향을 받지 않았다. HDL-콜레스테롤은 LDL-콜레스테롤과는 반대로 고지방식이 섭취시 저지방식이 섭취시보다 유의적으로 낮았으며, 올리고당의 효과는 나타나지 않았다. 간내 총 지방량, 콜레스테롤과 중성지방 모두 고지방식이 섭취시 유의적으로 증가하였으며, 올리고당은 영향을 주지 않았다. 변으로 배설되는 지방량은 총지방, 중성지방, 콜레스테롤 모두 고지방식을 섭취할 때 유의적으로 높았고, 올리고당의 섭취는 고지방을 섭취할 때 총지방량과 콜레스테롤의 배설을 유의적으로 증가시켰다. 면역 기관인 흉선과 비장의 무게와 비장 세포의 증식은 식이지방과 올리고당의 섭취에 따른 영향을 받지 않았다. 결과적으로 올리고당의 섭취는 혈액과 간내 지방성분, 면역능력에 영향을 주지 않았으나 변을 통한 총 지방량과 콜레스테롤의 배설을 증가시켰으며, 이러한 경향은 고지방식을 섭취하였을 때 유의적으로 나타났다. 이는 고지방식이시 올리고당의 섭취가 지방의 흡수를 방해하여 많은 양을 배설시켜 장기적으로 섭취하였을 때는 혈액과 간내 지방함량에도 영향을 미칠 것으로 사료된다.

Literature cited

- 1) Association for guideline for therapy of hyperlipidemia. Guidelines for therapy of hyperlipidemia, 1996
- 2) Delzenne NM, Williams CM. Prebiotics and lipid metabolism. *Curr Opin Lipid* 13: 61-67, 2002
- 3) Andersson H, Asp NG, Bruce A. Health effects of prebiotics and probiotics. A literature review on human studies. *Scan J Nutr* 45: 48-75, 2001
- 4) Ly SY, Lee MR, Lee KA. Effects on cakes containing sponge oligosaccharides on blood lipids and intestinal physiology in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28(3) : 619-624, 1999
- 5) Delzenne NM, Kok N. Effects of fructan-type prebiotics on lipid metabolism. *Am J Clin Nutr* 73: 456S-458S, 2001
- 6) Canzi E, Brighenti F, Casiraghi MC, Del Puppo E, Ferrari A. Prolonged consumption of inulin in ready to eat breakfast cereals:

effects on intestine ecosystem, bowel habits and lipid metabolism. Cost 92. Workshop on dietary fiber and fermentation in the colon. Helsinki, Finland, 1995

- 7) Frankel W, Zhang W, Singh A, Bain A, Satchithanandam S, Klurfeld D, Rombeau J. Fiber: effect on bacterial translocation and intestinal mucin content. *World J Surg* 19(1) : 144-148, 1995
- 8) Salminen S, Bouley C, Boutron-Ruault MC, Cummings JH, Frank A, Gibson GR, Isolauri E, Moreau MC, Roberfroid M, Rowland I. Functional food science and gastrointestinal physiology and function. *Br J Nutr* 80(Suppl 1) : S147-S171, 1998
- 9) Buddington KK, Donahoo JB, Buddington RK. Dietary oligofructose and inulin protect mice from enteric and systemic pathogens and tumor inducers. *J Nutr* 132(3) : 472-477, 2002
- 10) Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC. AIN-93 Purified Diets for Laboratory Rodents: Final Report of the American Institute of the Nutrition Ad Hoc Writing Committee on the Reformulation of AIN-76A Rodent Diet. *J Nutr* 123: 1939-1951, 1993
- 11) Folch JM, Lees G, Stanley HS. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Bio Chem* 223: 497-509, 1957
- 12) Zak B. Total and free cholesterol. In: Standard method chemistry, pp.79-89, Acad Press, NY, 1968
- 13) Chio EH, Kim HYP, Kim YH, Kim WK, Oh SJ, Kim SH. Effects of selected oligosaccharides on fecal microflora and lipid constitution in rats. *Kor J Nutr* 32: 221-229, 1999
- 14) Daubioul CA, Taper HS, De Wisoelaere L, Delzenne NM. Dietary oligofructose lessens hepatic steatosis, but dose not prevent hypertriglyceridemia in obese Zucker rats. *J Nutr* 130: 1314-1319, 2000
- 15) Ku EJ. Effects of soyoligosaccharides intake on intestinal microbes and blood composition in health young female. Ewha womans university dissertation, 2000
- 16) Causey JL, Feirtag JM, Gallaher DD. Effects of dietary inulin on serum lipids, blood glucose and the gastrointestinal environment in hypercholesterolemic man. *Nutr Res* 20: 191-201, 2000
- 17) Djoizi Z, Andrieux C. Compared effects of three oligosaccharides on metabolism of intestinal microflora in rats inoculated with a human faecal flora. *Br J Nutr* 78(2) : 313-324, 1997
- 18) Andersson H, Asp NG, Bruce A. Health effects of prebiotics and probiotics. A literature review on human studies. *Scan J Nutr* 45: 48-75, 2001
- 19) Oh SJ, Kim WK, Kim YH, Kim HY, Chio EH, Kim SH. Effect of fructooligosaccharide on lipid metabolism in hypercholesterolemic rats. *Kor J Nutr* 32: 129-136, 1999
- 20) Sekine K, Ohta J, Onishi M, Tatsuki T, Shimokawa Y, Toida T, Kawashima T, Hashimoto Y. Analysis of antitumor properties of effector cells stimulated with a cell wall preparation (WPG) of *Bifidobacterium infantis*. *Biol Pharm Bull* 18(1) : 148-153, 1995
- 21) Shida K, Takahashi R, Iwadate E, Takamizawa K, Yasui H, Sato T, Habu S, Hachimura S, Kaminogawa S. Lactobacillus casei strain Shirota suppresses serum immunoglobulin E and immunoglobulin G1 responses and systemic anaphylaxis in a food allergy model. *Clin Exp Allergy* 32(4) : 563-570, 2002
- 22) Gibson GR, Roberfroid MB. Dietary modulation of the human

- colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J Nutr* 125 (6) : 1401-1412, 1995
- 23) Hosono A, Ozawa A, Kato R, Ohnishi Y, Nakanishi Y, Kimura T, Nakamura R. Dietary fructooligosaccharides induce immunoregulation of intestinal IgA secretion by murine Peyer's patch cells. *Biosci Biotechnol Biochem* 67 (4) : 758-764, 2003
- 24) Nagura T, Hachimura S, Hashiguchi M, Ueda Y, Kanno T, Kikuchi H, Sayama K, Kaminogawa S. Suppressive effect of dietary raffinose on T-helper 2 cell-mediated immunity. *Br J Nutr* 88 (4) : 421-426, 2002