

Xylooligo당이 고지방식이 흰쥐 부고환 지방조직의 Lipoprotein Lipase 활성과 혈중 지질조성에 미치는 영향

손효현 · 박모라* · 이순재[§]

대구가톨릭대학교 식품영양학과, 상주대학교 식품영양학과*

Effects of Dietary Xylooligosaccharides on Lipoprotein Lipase Activity in Epididymal Adipose Tissue and Lipid Composition in Serum of Rats Fed High Fat Diets

Son, Hyo-Hyun · Park, Mo-Ra* · Rhee, Soon-Jae[§]

Department of Food Science and Nutrition, Catholic University of Daegu, Kyungbuk 712-702, Korea

Department of Food Science and Nutrition,* Sangju National University, Kyungbuk 742-711, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to examine the effects of dietary xylooligosaccharides on lipoprotein lipase (LPL) activity in epididymal adipose tissue and lipid composition in serum of rats fed normal or high fat diet. Male Sprague-Dawley male rats weighing 100 ± 10 g were randomly divided into four groups, two normal diets and two high fat diets containing 1% cholesterol and 10% lard. Two normal diets were classified into a basal diet (normal group) and that with 10% xylooligosaccharide diet (NX group). The high fat diet groups were classified into a HF group without xylooligosaccharides diet and HFX group supplemented with 10% xylooligosaccharide diet. Experimental diets were fed *ad libitum* to the rats for 4 weeks and then they were sacrificed. Body weight, epididymal weight and abdominal weight in HF group were heavier than the those of normal group, but HFX group was significantly reduced compared to HF group. Relative body weight to epididymal weight and relative body weight to abdominal weight in HF group were increased to 50%, 51%, respectively, compared to normal group, but HFX group was reduced 22%, 16%, respectively, compared to HF group. The levels of serum triglyceride, total cholesterol, LDL-cholesterol and atherogenic index in HFX groups were significantly lower than those of HF group, whereas HDL-cholesterol levels were significant increased. Triglyceride contents of epididymal adipose tissue in HF group was increased to 39%, compared to normal group, but HFX group was reduced to 15.8%, compared to HF group. Cholesterol contents of epididymal adipose tissue in HF group was increased 121%, compared to normal group, but HFX group was reduced to 26%, compared to HF group. The activity of LPL in epididymal adipose tissue was increased to 259% in HF group, compared to normal group and HFX group was reduced to 66%, compared to HF group. These result of this study suggested that improved lipid metabolism observed in rats fed xylooligosaccharides may be caused by an alteration of LPL activity in epididymal adipose tissue and lipid composition in serum. (*Korean J Nutrition* 35(10) : 1023~1030, 2002)

KEY WORDS: xylooligosaccharide, high fat and high cholesterol diet, lipoprotein lipase, epididymal adipose tissue.

서론

최근 비만환자나 고혈압, 뇌혈관질환, 동맥경화증 등의 심혈관계 환자가 급증하면서^{1,2)} 섬유소나 올리고당과 같은 포만감을 주면서 에너지가 적게 발생하는 저칼로리 식품이나 고지혈증을 예방할수 있는 기능성 식품에 많은 관심을

갖게 되었다.^{3,4)} 이러한 배경하에 최근 천연 식이섬유소와 물리적, 생리적 성질이 유사한 올리고당이 개발되어 그 기능이 새롭게 평가되어지고 있다.³⁾ 기능성 올리고당은 대사 에너지의 효율이 낮고, 소장내에서 소화되지 않으며 단당류로도 분해되지 않아 췌장 insulin 분비에 영향을 주지 않으며, 충치발생을 억제하고, 장내에 생리적으로 번식하는 bifidus균에 대한 선택적 증식 활동을 가지는 기능을 가지고 있어 장내 신선도를 높여 병원균의 발육, 증식을 막는데 효과적이다.^{5,6)} 또한 올리고당은 변으로의 콜레스테롤 배설량을 증가시켜 혈청이나 간조직중에서의 콜레스테롤 축적을

접수일: 2002년 10월 9일

채택일: 2002년 11월 26일

[§]To whom correspondence should be addressed.

감소시킨다고 알려지고 있다.^{7,8)}

비소화성 다당류인 oligo당은 2~10개의 단당이 글리코사이드 결합으로 탈수 축합된 것으로 감미를 가진 수용성의 결정성 물질이다.⁹⁾ 현재 생산되고 있는 올리고당으로는 galactooligo당, fructooligo당, isomaltoligo당, maltoligo당 및 soyoligo당 등이 있으며 그 생리적 기능에 대한 연구도 다각적으로 행해지고 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 그 중에서도 xylooligo당은 자연계에 널리 존재하는 xylan의 효소가수분해시 생성되는 xylose의 oligomer로서 수용성 헤미셀룰로스 분류되며 다른 올리고당보다 장내 환경을 개선하는 효과가 높다고 한다.^{13,14)}

한편 lipoprotein lipase (LPL)은 지방세포에서 합성되어 분비되고 모세혈관의 내피세포로 수송되어진다. 또한 혈액내 순환하고 있는 chylomicron 및 VLDL (very low-density lipoprotein)을 가수분해하여, IDL (intermediate density lipoprotein), monoglyceride 혹은 free fatty acid (FFA)을 생성한다. 그 결과 FFA는 지방조직으로 흡수되어 지방 합성을 위해 사용되거나, 심장이나 근육 등으로 흡수되어 에너지원으로 이용되어지므로 지방조직의 경우 LPL이 지방조직에서의 지방축적의 중요지표로 알려졌다. Cruz와 Williamson¹⁵⁾은 흰쥐 지방조직내로의 LPL 활성화와 중성지방의 지방조직내로의 유입은 서로 상관관계가 매우 높음을 시사하면서 LPL이 지방조직내 지방축적을 조절하는 인자라고 했다. 이와 같이 흰쥐의 부고환 지방조직을 이용한 지방합성과 관련된 연구에서^{16,17)} 부고환 지방조직의 LPL 활성화와 혈중 중성지방 함량과 관련이 높은 것으로 알려져 있으나 올리고당을 대상으로 한 연구는 드물며 특히 xylooligo당을 이용한 LPL과 관련된 구체적인 연구는 거의 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 고지방식이 흰쥐에서 식이 xylooligo당의 혈액 및 지방조직의 지질개선 효과를 규명하고자 부고환 지방조직의 LPL활성변화와 지방조직 및 혈중 지질조성 변화를 관찰하였다.

재료 및 방법

1. Xylooligo당의 제조

원료인 신갈나무 (*Quercus mongolica*)에서 xylan 100 g을 500 mM sodium phosphate buffer (pH 6.0) 1 l에 현탁한 후 미리 준비한 *Streptomyces thermocyanoviolaceus* M049가 생산하는 xylanase를 염석 및 투석한 효소액을 최종농도 10 unit/ml 되게 첨가한 후 60°C shaking water bath에서 100 strokes/min의 속도로 진탕하면서 12시

간 반응하였다. 반응종료 후 60°C에서 가열하면서 회전진공농축기 (evaporator)로 최대한 농축하고 그 농축액을 60°C에서 열풍 건조하여 80 g 정도의 (80% 수율) 조제한 xylooligo당을 본 실험에 사용하였다.

2. 실험동물 사육 및 식이

실험동물은 체중 100 g 내외의 Sprague-Dawley종 수컷을 대전화학연구소에서 구입하여 실험에 이용하였다. 환경에 적응시키기 위해 일반 배합사료 (삼양사 Co.)로 일주일 예비사육후 난괴법 (randomized complete block design)에 의해 Table 1과 같이 정상식이를 한 정상군과 실험군으로 나누고 실험군은 다시 정상식이에 10% xylooligo당을 보충시킨 군 (NX group)과 1% cholesterol에 10% lard를 함유한 고지방식이군 (HF group), HF군에 10% xylooligo당을 보충시킨 식이군 (HFX group)으로 각 10마리씩 4군으로 나누어 4주간 사육하였다. 실험식이의 조성은 Table 2와 같다. 실험기간중 식이는 4°C에서 보관하였고 매일 일정 시간에 공급하여 자유로이 섭취케 했다. 이때 사육실의 온도는 22 ± 1°C였고, 습도는 50 ± 10%이었다.

3. 시료채취

사육기간 완료 전날 밤 실험동물을 12시간 절식시킨 후 실험 동물을 가벼운 ether 마취 하에서 22 gauge의 주사기

Table 1. Composition experimental diet

Ingredients	Diet groups			
	Normal	NX	HF	HFX
Casein	18	18	18	18
Salt mixture ¹⁾	4	4	4	4
Vitamin mixture ²⁾	1	1	1	1
Cellulose	5	5	5	5
Corn oil	5	5	5	5
Sucrose	5	5	5	5
Starch	62	52	50.75	40.75
Sodium cholate	-	-	0.25	0.25
Cholesterol	-	-	1	1
Lard	-	-	10	10
Xylooligosaccharide ³⁾	-	10	-	10
Total (%)	100	100	100	100

1) AIN-76 likness (g/kg mixture): CaCO₃, 30.0 g; CaHPO₄, 7.5 g; K₂HPO₄, 32.2 g; NaCl, 16.7 g; MgSO₄ · 7H₂O, 10.2 g; ferric citrate, 2.75 g; MnSO₄, 0.51 g; KI, 70 mg; CuCl₂ · 5H₂O, 35 mg; ZnCl₂, 25 mg; CoCl₂ · 5H₂O, 5 mg; (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O, 5 mg

2) AIN-76 likness (mg/kg mixture): contained thiamin · HCl, 0.2 g; riboflavin, 0.2 g; pyridoxin, 0.2 g; nicotinic acid, 0.9 g; d-calcium pantothenate, 0.6 g; folic acid, 0.1 g; biotin, 10 mg; menadione, 0.45 g; retinylacetate, 20,000 IU; cholecalciferol, 10,000 IU; dl- α -Tocopheryl acetate, 0.4 g; choline, 15 g; Inositol, 1 g; vitamin C, 0.34 g; p-aminobenzoic acid

3) Manufactured xylooligosaccharide from *Quercus mongolica*

Table 2. Effects of dietary xylooligosaccharide on body weight, epididymal and abdominal weight, epididymal and abdominal index in rats

	Body weight (g)	Epididymal weight (g)	Epididymal index (g/100 g b.w)	Abdominal weight (g)	Abdominal index (g/100 g b.w)
N	282.0 ± 16.6 ^b	0.31 ± 0.04 ^c	0.12 ± 0.01 ^c	2.70 ± 0.30 ^c	0.95 ± 0.05 ^c
NX	268.3 ± 10.4 ^b	0.30 ± 0.05 ^c	0.11 ± 0.01 ^c	1.87 ± 0.21 ^d	0.70 ± 0.01 ^d
HF	337.0 ± 17.2 ^a	0.61 ± 0.05 ^a	0.18 ± 0.01 ^a	4.82 ± 0.60 ^a	1.43 ± 0.20 ^a
HFX	290.3 ± 16.8 ^b	0.40 ± 0.02 ^b	0.14 ± 0.01 ^b	3.48 ± 0.30 ^b	1.20 ± 0.11 ^b

All values are mean ± SE (n = 10)

Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Tukey's test.

로 복부 대동맥으로부터 혈액을 채혈하였다. 실온에서 30분간 방치한 후 1500 × g에서 각각 15분간 원심 분리하여 혈청을 얻었다. 부고환 및 복부 지방조직등을 적출하여 생리 식염수로 헹군 후 가야제로 수분을 제거하고 무게를 측정 한 후 액체 질소로 급속동결시켜 -80℃에 보관하였다.

4. 혈청의 중성지방, 총콜레스테롤, HDL-콜레스테롤, LDL-콜레스테롤의 함량 측정 및 동맥경화지수 (atherogenic index, A.I.)

혈청 중의 중성지방 측정은 표준 효소비색법에 의한 kit (Asan Co. Korea)을 사용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하여 혈청 중성지방 농도를 계산하였다.

혈청내 총콜레스테롤 측정은 표준 효소비색법에 의한 kit (Asan Co. Korea)을 사용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하여 혈청 콜레스테롤 농도를 계산하였다. HDL-콜레스테롤 측정을 위하여 2% dextran sulfate와 1 M MgCl₂ 침전액 (1 : 1)을 가하여 그 상층액을 시료로 표준효소법에 의한 kit (Asan Co. Korea)을 사용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였다. LDL-콜레스테롤은 Friedewald식¹⁹⁾에 따라 다음과 같이 계산하였다. {Total cholesterol-(HDL cholesterol + Triglyceride/5)}, atherogenic index는 {(Total cholesterol-HDL cholesterol)/HDL-cholesterol} 식¹⁹⁾으로 산출하였다.

5. 부고환 지방조직의 중성지방 및 콜레스테롤 함량 측정

부고환지방의 지질은 Folch 등²⁰⁾의 방법에 의해 추출하여 중성지방과 콜레스테롤 함량을 혈청에서와 같은 방법으로 분석하였다. 부고환지방 지질의 정량에서는 Sale 등²¹⁾의 수정된 방법으로 중성지방과 콜레스테롤 측정용 효소시액에 유화제로서 0.5% triton X-100과 3 mM sodium cholate를 혼합하여 발색시 일어나는 탁도 (turbidity)를 제거하여 500 nm와 550 nm에서 각각 흡광도를 측정하였다.

6. 부고환지방의 Lipoprotein lipase (LPL)활성 측정

LPL 활성측정을 위해 우선 말초조직 중 LPL활성이 비교적 높은 것으로 알려진 부고환 지방을 detergent solu-

tion(2 mg/ml sodium deoxycholate, 0.08 mg/ml Nonidet P₄₀, 0.05 mg/ml heparin, 10 mg/ml BSA-0.25 M sucrose in Tris buffer) 10 volume으로 homogenization 시켰다.²²⁾ 부고환 지방 homogenate한 것을 12,000 × g, 4℃에서 15분간 원심분리하여 생긴 infranatant는 LPL 활성 측정을 위한 효소원으로 사용하였다. LPL활성은 Parkin 등²³⁾에 의해 수정된 Riley & Robinson 법²⁴⁾에 의해 측정되었다. 효소활성을 위한 기질은 triolein (600 mg)에 lecithin (in chloroform) 36 mg과 glycerol 10 ml을 가하여 homogenizer 분산시켜 제조하였다. 제조된 기질과 apolipoprotein C-II 기질을 위한 horse serum을 preincubation한 후 20% albumin solution (pH 8.1)과 0.7 M Tris-HCl buffer (pH 8.1), 증류수를 섞어 assay mixture를 만들었다. 효소반응은 assay mixture 1 ml과 효소원 0.4 ml를 섞어 37℃에서 1시간동안 incubation시켜 수행하였고 이때 생성된 free fatty acids양을 ACS-ACOD법을 이용한 효소시약 kit (영연 화학, 일본)으로 측정하였다. LPL활성 단위는 g tissue당 1시간 동안 방출된 μ mole free fatty acids로 표시하였다.

7. 통계처리

모든 실험결과에 대한 통계처리는 분산분석을 수행하였으며 분산분석결과 유의성이 발견된 경우 군간의 유의도는 Tukey's HSD test에 의해 분석하였다. 각 지표간의 상관관계는 SAS program을 이용하여 correlation coefficient를 구하여 분석하였다.

결 과

1. 지방 조직무게

실험동물의 체중, 부고환 및 복부 지방 조직의 무게와 이들 지방조직 무게를 체중 100 g당 무게로 나타낸 결과는 Table 2와 같다. 체중, 부고환 지방 및 복부지방 무게는 고지방식이군인 HF는 정상군에 비해 증가되었으나 xylooligo당을 첨가한 HFX군은 HF군에 비해 현저하게 감소되었다.

Table 3. Effects of dietary xylooligosaccharide on levels of serum triglyceride and cholesterol in rats

Groups	TG	Total-C	HDL-C	LDL-C	HDL-C/ total C	AI
	(mg/dl)					
Normal	73.02 ± 8.21 ^c	96.01 ± 6.93 ^c	50.12 ± 3.90 ^a	31.29 ± 1.82 ^c	0.52 ± 0.01 ^a	0.92 ± 0.03 ^c
NX	70.12 ± 9.51 ^c	93.22 ± 5.71 ^c	49.88 ± 3.25 ^a	29.32 ± 2.01 ^c	0.54 ± 0.02 ^a	0.87 ± 0.04 ^c
HF	121.71 ± 7.94 ^a	168.40 ± 11.99 ^a	23.12 ± 4.00 ^b	120.9 ± 9.16 ^a	0.14 ± 0.04 ^c	6.28 ± 0.12 ^a
HFX	90.62 ± 4.45 ^b	128.72 ± 5.03 ^b	28.15 ± 2.95 ^b	82.45 ± 4.54 ^b	0.22 ± 0.03 ^b	3.57 ± 0.09 ^b

All values are mean ± SE (n = 10)

Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Tukey's test.

단위체중당 부고환 지방 및 단위체중당 복부지방무게는 고지방군인 HF군에서 각각 50%, 51%씩 증가되었으며 고지방식이에 xylooligo당을 첨가한 HFX군은 HF군에 비해 각각 22%, 16% 씩 감소되었다.

2. 혈청의 중성지방, 총콜레스테롤, HDL-콜레스테롤, LDL-콜레스테롤의 함량 및 동맥경화지수 (atherogenic index)

혈청중의 중성지방, 총콜레스테롤, HDL-콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤의 함량은 Table 3과 같다. 혈청 중성지방의 함량은 정상군에 비해 고지방식이군인 HF군과 HFX군에서 유의적으로 증가되었으나 고지방식이에 xylooligo당을 첨가한 HFX군은 비공급군인 HF 군에 비해 26% 감소되었다 (p < 0.05). 혈청 총콜레스테롤 함량은 정상군에 비해 NX군은 유의적인 차이가 없었고, 고지방식이 HF군은 정상군에 비해 75% 증가되었으나 xylooligo당을 공급한 HFX군은 HF에 비해 24% 감소되었다 (p < 0.05). HDL 콜레스테롤은 정상군에 비해 고지방식이를 공급한 군에서 현저하게 낮았으나 xylooligo 당을 공급한 군에서는 약간 증가하였다. LDL 콜레스테롤 함량은 HF군이 정상군에 비해 약 4배 정도 증가된 수준이었으며, HFX군은 HF군에 비해 43% 감소되었다. 혈중 총 콜레스테롤중의 HDL-콜레스테롤이 차지하는 비율 (HDL-C/ Total -C)을 조사해 본 결과 정상군에 비해 HF군은 45% 감소되었으며, HFX군은 HF군에 비해 57% 유의적으로 증가되었다. 동맥경화의 발생지표인 동맥경화지수 (atherogenic index)는 정상군인 0.92인데 비하여 HF군이 6.28로서 약 6배까지 증가되었으나 HFX군은 3.57로 HF군에 비해 43% 저하되었다.

3. 부고환 지방의 중성지방 및 콜레스테롤 함량

부고환 지방중의 중성지방 및 콜레스테롤 함량 측정 결과는 Table 4와 같다. 중성지방의 함량은 고지방식이 HF군은 정상군에 비해 39% 증가되었으나 xylooligo 당을 공급한 군인 NX군은 정상군 수준이었으며 HFX군은 HF군에 비해 15.8% 감소되었다. 콜레스테롤 함량은 고지방식이 HF군은 정상군에 비해 121% 증가되었으나 xylooligo 당

Table 4. Effects of dietary xylooligosaccharide on triglyceride, cholesterol of epididymal adipose tissue in rats

Group	Triglyceride	Cholesterol
N	28.52 ± 2.11 ^c	0.33 ± 0.01 ^c
NX	26.68 ± 2.44 ^c	0.30 ± 0.03 ^c
HF	39.67 ± 2.76 ^a	0.73 ± 0.03 ^a
HFX	33.39 ± 1.12 ^b	0.54 ± 0.02 ^b

All values are mean ± SE (n = 10)

Values within a column with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Tukey's test

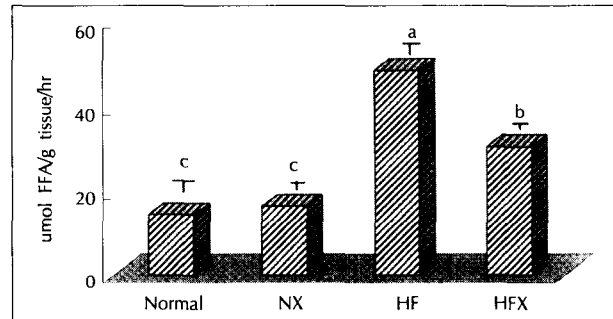


Fig. 1. Effects of dietary xylooligosaccharides on lipoprotein lipase (LPL) activities of epididymal adipose tissue in rats. All values are mean ± SE (n=10). Bars with different letters are significantly different at p < 0.05 by Tukeys test.

을 첨가한 HFX군은 HF군에 비해 26% 감소되었다.

4. 부고환 지방조직의 Lipoprotein lipase 활성

부고환 지방의 lipoprotein lipase (LPL) 활성측정 결과는 Fig. 1과 같다. 정상군에 비해 xylooligo당만을 첨가한 NX군은 유의적인 차이가 없었으며 HF군은 259% 증가되었다. 고지방식이군에 xylooligo당을 공급한 HFX군은 HF군에 비해 66% 감소하였다.

5. 주요 Parameter들 간의 상관관계

본 실험의 주요 parameter들간의 상호 관련성을 Fig. 2에 나타내었다. 부고환 지방조직의 LPL과 혈청 중성지방 (r = 0.4588, p < 0.05) 및 부고환 지방조직 중성지방 (r = 0.3109, p < 0.05)과는 정의 상관관계를 나타내었다.

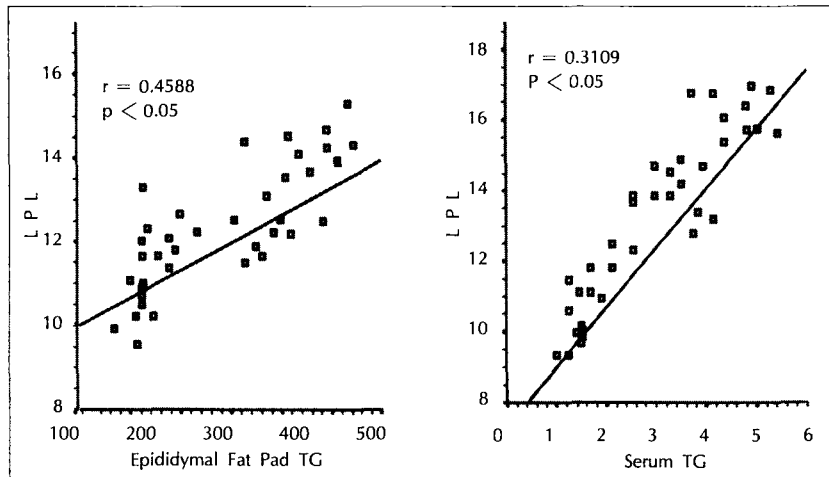


Fig. 2. Correlations between lipoprotein lipase (LPL) of epididymal adipose tissue and serum triglyceride and epididymal adipose tissue in rats.

고찰

본 연구는 식이 xylooligo당의 지질 대사 개선 기능을 관찰하기 위해 고지방식이 흰쥐 부고환 지방 조직에서 lipoprotein lipase 활성과 혈청 및 부고환지방 조직의 지질조성을 관찰하였다. 실험동물의 체중, 부고환지방 및 복부지방 무게는 고지방식이군인 HF군은 정상군에 비해 증가되었으나 xylooligo당을 첨가한 HFX군은 HF군에 비해 현저하게 감소되었다. 단위체중당 부고환 지방 및 단위체중당 복부지방무게는 고지방군인 HF군에서 각각 50%, 51% 씩 증가되었으며 고지방식이에 xylooligo당을 첨가한 HFX군은 HF군에 비해 각각 22%, 16%씩 감소되었다. 이러한 결과는 Deshaives²⁵⁾의 연구에서 식이 섬유소가 조직의 에너지 축적을 감소시키며 LPL 활성의 변화로 혈중에서 순환되는 중성지방으로부터 유리되는 FFA의 감소로 epididymal fat을 비롯한 지방조직의 성장률이 둔화되었다는 결과와 같이 xylooligo 당도 식이 섬유소와 유사한 기능을 가지는 것으로 볼 수 있다.

혈청 지질조성 관찰에서 중성지방 함량은 정상군에 비해 고지방 식이를 공급한 군에서 현저하게 높았으며 고지방식이에 10% xylooligo당을 공급한 군은 고지방식이군에 비해 26% 감소되었다. 혈청 콜레스테롤 함량은 중성지방과 마찬가지로 정상군에 비해 고지방식이군은 75% 증가되었으며 고지방식이에 10% xylooligo당을 첨가한 HFX군에서 유의적 ($p < 0.05$)으로 감소되었다. 또 동맥벽에 침착되므로 동맥경화를 유도하는 물질인 LDL 콜레스테롤 함량은 고지방식이 공급군 (HF군)에서 높았으며, 고지방식이에 xylooligo당이 첨가된 HFX군은 고지방식이군에 비해 43% 감소되었다. 반면 말초조직의 콜레스테롤을 청소하는 항동

맥경화의 지표인^{26,29)} HDL-콜레스테롤 함량은 정상군에 비해 고지방식이에 현저하게 낮았으나 xylooligo당을 첨가한 공급군에서는 약간 증가하였다. 동맥경화의 발생지표인 동맥경화지수 (atherogenic index)는 정상군이 0.92인데 비해 HF군이 6.28로서 약 6배까지 증가되었으나 HFX군은 3.57로 HF군에 비해 43% 저하되었다. 이와 같은 결과는 일반적으로 포화지방산이 많이 함유된 동물성 지방의 섭취로 혈중 콜레스테롤 농도가 증가되는 연구 결과²⁹⁾이며 xylooligo당을 첨가시키므로 감소된 것은 Kim 등³⁰⁾의 보고에서 고콜레스테롤 식이 흰쥐에서 xylooligo당이 혈중 콜레스테롤이나 중성지방 수준을 저하시켜 체내 지질대사를 개선시킨 식이 섬유소와 같은 기능으로 볼 수 있다. 또한 Kim 등³¹⁾ 이 inulooligo당이 다량 함유된 치커리 추출물을 사료에 1%와 5% 씩을 첨가하여 4주간 사육시킨 실험에서 혈청의 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤은 감소되고 HDL-콜레스테롤 함량은 증가되었다고 보고한 결과와 유사하였다. 또 Yang 등³²⁾은 식이섬유소에 적용된 흰쥐에 고지방식을 공급한 결과 혈청 중성지방, 혈청 콜레스테롤 함량이 무섬유식이군보다 cellulose 공급군에서 유의적으로 감소하였다고 보고하였다. 이와같이 xylooligo당의 보충 식이는 식이섬유소와 고지방 식이를 급여한 흰쥐의 혈장 중성지방과 총콜레스테롤 농도 및 LDL-콜레스테롤의 농도 감소를 유도하고 반면 혈장 HDL-C /Total-C 농도 수준을 높여주는 항고지혈증 효과가 있었다.

고지방식으로 콜레스테롤의 섭취량이 많아지면 LDL이 혈관내에서 순환되는 시간이 길어지므로 혈관 내피세포에서 화학적 산화를 받을 기회가 많아지게 된다. 이때 산화된 LDL은 죽상동맥경화증의 초기병변인 fatty streak을 일으켜 혈관 내피세포를 손상시키고 혈소판을 응집하게 된다. 그러므로 혈중 LDL의 농도나 LDL의 산화는 죽상동맥경

화 유발의 주요 지표가 된다. 본 실험에서 고지방식인 HF군의 동맥경화지수 (atherogenic index A.I.)는 정상군 식이에 비해 약 6.8배 증가되었으며 xylooligo당을 공급함으로써 동맥경화지수는 고지방식에 비해 약 50% 수준으로 크게 감소되므로 xylooligo당의 보충급여는 고지혈증 및 동맥경화에 대한 예방효과의 가능성이 보였다.

그러므로 xylooligo 당은 혈중 중성지방 함량과 간의 VLDL 합성 분비와 LDL 수용체의 합성을 조절하여 혈중과 조직중의 고지혈증을 개선시킬 수 있을 것이라 본다.

부고환 지방조직의 중성지방과 콜레스테롤 함량은 xylooligo당의 공급으로 현저히 감소되었으며 혈중 중성지방 및 콜레스테롤 농도와는 정의 상관관계를 나타내었다.

이러한 결과는 xylooligo 당의 공급으로 인한 LPL활성의 저하로 지방조직으로 유입되는 FFA의 양이 감소되었기 때문으로 사료되며 Deshaives등²⁹⁾의 연구에서도 LPL활성과 혈중 중성지방 및 콜레스테롤 농도와는 정의 상관관계를 나타내었다.

한편 LPL은 중성지방이 풍부한 lipoprotein을 monoacylglycerol과 유리지방산으로 가수분해하는 주된 효소로 지방세포에서 합성되고 분비되어 모세혈관의 내피세포로 수송되어 중성지방을 가수분해한다. LPL활성은 식이 섭취 후 증가하여, 지방의 대사에 관여하며 과잉의 에너지를 지방세포에 중성지방의 형태로 저장하게 된다.¹⁶⁾ 또 LPL은 혈액내에서 순환되고 있는 lipoprotein내에 함유된 중성지방을 분해시키며, LDL-콜레스테롤과 HDL-콜레스테롤의 구성성분인 apoC-II에 의해 활성화되어 chylomicron-중성지방과 VLDL-중성지방의 조직내로 이동을 촉진시키므로 체내 지방 축적 정도를 나타내는 지표로 이용된다.³³⁾

본 연구에서 부고환 지방조직에서의 LPL활성은 정상군에 비해 고지방식이 군인 HF 군에서 118% 증가되었으며 고지방식에 10% xylooligo당을 첨가한 HFX군에서는 HF식이군에 비해 감소되었다. 이러한 결과는 Shimomura 등³⁴⁾이 우지와 safflower oil을 흰쥐에게 급여하였을 때 지방조직내 LPL활성도가 포화도가 높은 우지에서 현저히 증가되었다는 결과나 Paik과 Yearick³⁵⁾의 연구에서는 식이내 지방수준을 총에너지의 15%와 30% 각각 투여했을 때 고지방식이군에서 지방조직내 LPL활성이 유의적으로 높았다는 결과와 유사하였다. 본 연구에서도 혈청 및 부고환 지방조직의 중성지방 함량과 LPL 활성과의 상관관계는 정의 상관관계를 나타내므로 xylooligo당의 공급으로 부고환 지방에서의 LPL 활성과 혈액 및 부고환 지방 조직의 중성지방 함량이 감소되므로서 LPL이 지방조직내 지방 축적을 조절하는 인자로 작용하는 것을 볼 수 있었다. 또한 xy-

looligo 당은 혈중 중성지방과 콜레스테롤 수준을 개선하고 LPL 활성을 저해하는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 중성지방의 대사는 여러 가지 영양생리적 조건에 의해 달라질 수 있으며 xylooligo 당의 급여는 고지방 식이로 증가된 LPL활성 감소와 혈청 및 VLDL의 중성지방 함량을 감소시켰다.

이상을 종합해보면 xylooligo당의 공급은 혈청 및 부고환 조직의 지질조성을 개선시키고 부고환 지방조직의 LPL 활성을 조절시켜 고지방식으로 인한 비만, 고지혈증, 고콜레스테롤혈증 등의 지질대사 개선에 이용가능성이 기대된다.

요약 및 결론

본 연구는 xylooligo당이 고지방식을 급여한 흰쥐에서 부고환 지방조직의 LPL 활성과 혈청 및 부고환 지방조직의 지질조성에 미치는 영향을 관찰하고자 실시하였다. 실험 동물은 100 ± 10 g의 Sprague-Dawley종 흰쥐를 이용하여 정상 식이군과 정상군 식이에 10% xylooligo당을 첨가한 NX군 그리고 1% 콜레스테롤과 10% 라드를 함유한 고지방식이군인 HF군 및 고지방식이군에 10% xylooligo당을 첨가한 HFX군으로 나누어 4주간 자유섭식시킨후 지질대사를 관찰하였다.

1) 체중, 부고환지방 및 복부지방 무게는 고지방식이군인 HF는 정상군에 비해 증가 되었으나 xylooligo당을 첨가한 HFX군은 HF군에 비해 현저하게 감소되었다. 단 위체중당 부고환 지방 및 단위체중당 복부지방무게는 고지방군인 HF군에서 각각 50%, 51%씩 증가되었으며 고지방식에 xylooligo당을 첨가한 HFX군은 HF 군에 비해 각각 22%, 16% 씩 감소되었다.

2) 혈청 중성지방의 농도는 정상군에 비해 HF군에서 유의적으로 증가되었으나 HFX군은 HF 군에 비해 26% 감소되었다. 혈청 총콜레스테롤 농도는 정상군에 비해 HF군은 정상군에 비해 75% 증가되었으나 HFX군은 HF군에 비해 24% 감소 되었다. HDL 콜레스테롤은 정상군에 비해 고지방 식이를 공급한 군에서 현저히 낮았으나 xylooligo당을 공급한 군에서는 약간 증가하였다. LDL 콜레스테롤 함량은 HF군이 정상군에 비해 약 4배 정도 증가된 수준이었으며, HFX군은 HF군에 비해 43% 감소되었다. 혈중 총콜레스테롤중의 HDL-콜레스테롤이 차지하는 비율 (HDL-C/Total -C)은 정상군에 비해 HF군은 45% 감소되었으며, HFX 군은 HF군에 비해 57% 유의적으로 증가되었다. 동맥경화지수 (atherogenic index)는 정상군이 0.92인데 비해 HF군이 6.28로서 약 6배까지 증가되었으나 HFX군

은 3.57로 HF군에 비해 43% 저하되었다.

3) 부고환 지방조직의 중성지방의 함량은 고지방식이 HF군은 정상군에 비해 39% 증가되었으나 HFX군은 HF군에 비해 15.8% 감소되었다. 콜레스테롤 함량은 고 지방식이 HF군은 정상군에 비해 121% 증가되었으나 xylooligo 당을 첨가한 HFX군은 HF군에 비해 26% 감소되었다.

4) 부고환 지방조직의 LPL 활성은 정상군에 비해 고지방식이군인 HF군은 259% 증가되었으며 고지방식이군에 xylooligo당을 공급한 HFX군은 HF군에 비해 66% 감소하였다.

결론적으로 신갈나무로부터 얻어진 xylooligo당은 혈청에서 총콜레스테롤, 중성지방 및 동맥경화지수를 감소시키고 LPL 활성 감소를 유도하여 고지방식으로 인한 고지혈증을 억제시키는 효과가 규명되었다.

Literature cited

- 1) Moon SJ. Nutritional problems of Koeran. *Korean J Nutr* 29(4): 371-380, 1996
- 2) Lee HK. Korean disease pattern and nutrition. *Korean J Nutr* 29(4): 381-383, 1996
- 3) Oku T. Special physiological functions of newly developed mono and oligosaccharides. In "Functional Foods" Goldberg, I. (ed.), Chapman & Hall, New York And Landon p.202, 1994
- 4) Van Itallie TB. Dietary fiber and obesity. *AM J Clin Nutr* 31: S43-S51, 1978
- 5) Tokunaga T, Oku T, Hosoya N. Influence of chronic intake of new sweenener furctooligosaccharides (Neosugar) on growth and gastrointestinal function of the rat. *J Nutr Sci Vitaminol* 32: 111-121, 1986
- 6) Tsunehiro J, Matsukubo T, Shiota M, Takaesu Y. Effects of a hydrogenated isomaltooligosaccharide mixture on glucan synrthesis and on caries development inrats. *Biosci Biotechnol Biochem* 61(12): 2015-2018, 1997
- 7) Lee JS, Yeum TR, Shin HK. Effects of jerusalem artichoke and chicory on lipid metabolism in rats. *Koean J Nutr* 31(1): 13-20, 1998
- 8) Oh SJ, Kim WK, Kim YH, Kim HY, Choi EH and Kim SH. Effects of fructooligosaccharide on lipid metabolism in hypercholesterol rat. *Korean J Nutr* 32(2): 129-136, 1999
- 9) Kim SO, Rhee SJ, Rhee IK, Joo GJ, Ha HP. Effects of dietary xylooligosaccharide on lipid levels of serum in rats fed high cholesterol diet. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 27: 945-951, 1998
- 10) Yazawa K, Imai K, Tamura Z. Oligosaccharides and polysaccharides specially utilizabile by Bifidobacteria. *Chemical and Pharmacentical Bulletin(Tokyo)* 26: 3306, 1978
- 11) Hidaka H, Eida, H, Takizawa T. Effect of fructooligosaccharides on intestinal flora and human health. *Bifidobacteria Microflora* 5: 37, 1984
- 12) Wada K, Watabe J, Mizutani J, Suzuki H, Yamaguchi C. Effects of soybeen oligosaccharodes intake on fecal microflora wnzyme activity, ammonia and frequency of evacuation in elderly persons. *Bifidus* 4: 135-140, 1991

- 13) Howard MD, Gordon DT, Garleb KA, Kerley MS. Dietary fructooligosaccharide, Xylooligosaccharide and epithelial cell prdiferation in mice and rats. *J Nutr* 125: 2604-2609, 1995
- 14) Oku T. Oligosaccharides with benefical health effect. Japaneseer spective. *Nutrition Review* 54: S59-S66, 1996
- 15) Cruz ML, Williamson DH. Refeeding meal-fed rats increase lipoprotein lipase activity and deposition of dietary (¹⁴C)lipid in white adipose tissue and decrease oxidation to ¹⁴CO₂. *Biochem J* 285: 773-778, 1992
- 16) Lee JJ, Chung CS, Kim JG and Choi BD. Effects of fasting-refeeding on rat adipose tissue lipoprotein lipase activity and lipogenesis: Influence of food restriction during refeeding. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 29(3): 471-478, 2000
- 17) Mela DJ, Cohen RS, Kris-Etherton PM. Lipoprotein metabolism in a rat model of diet-induced adiposity. *J Nutr* 117(10): 1655-1662, 1987
- 18) Friedwald WT, Levy RI, Fedreicson DS. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without was of the preparative ultracentrifuge. *Clin Chem* 18: 499-506, 1972
- 19) Fiordaliso M, Kok N, Desager KP, Goethals F, Deboyser D. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma. *Am J Clin Nutr* 30: 170, 1977
- 20) Folch JM, Lees M, Stanley, GSH. A simple method for the isolation and prrification of total lipids from animal tissue. *J Biol Chem* 226: 497-509, 1957
- 21) Sale FD, Marchesini S, Fishman PH, Berra B. A sensitive enzymatic assay for determination of cholesterol in lipid extracts. Academic Press Inc pp.347-350, 1984
- 22) Inverius PH, Ostlund-Lindgviet. Preparation characterization an mesurement of lipoprotein lipase. In methods in enzymology 129: 691-704, Lowenstein Academic Press Inc. New York, 1986
- 23) Parkin SM, Walker A, Ashby P, Robinson DS. Effects of glucose and insulin on the activation of lipoprotein lipase and on protein synthesis in rat adipose tissue. *Biochem J* 188: 193-199, 1980
- 24) Riley SE, Robinson DS. Studies on the assay of clearing factor lipase. *Biochem Biophy Acta* 369: 371-387, 1974
- 25) Deshaies Y, Begin F, Savoie L and Vachon C. Attenuation of meal-induced increase inplasma lipids and adipose tissue lipoprotein lipase by guar gum in rats. *J Nutr* 120: 64-70, 1990
- 26) Nishina PM and Freedland RA. Effects of propionate on lipid biosynthesis in isolated rat hepatocytes. *J Nutr* 120: 668-673, 1990
- 27) Chen WJ and Anderson JW. Effects of guar gum and wheat bran on lipid metabolism in rats. *J Nutr* 109: 1028-1034, 1979
- 28) Schrijver R, Fremaut D, and Verheyen A. Cholestrol lowering effects and utilization of protein, lipid, fiber and energy in rats fed unprocessed and baked eat bran. *J Nutr* 122: 1318-1324, 1992
- 29) Rim JCK, Kang SA. Effect of high fat and high carbohydrate diet on serum leptin and lipid concentration in rats. *Korean J Nutr* 34(2): 123-131, 2001
- 30) Kim SO, Rhee SJ, Rhee IK, Joo GJ and Ha HP. Effects of dietary xylooligosaccharide on lipid level of serun in rats fed high cholesterol diet. *J Kor Soc Food Sci Nutr*. 27(5): 945-951, 1998
- 31) Kim MH and Shin HK. The water -soluble extract of chicory influences serum and liver lipid concentratio, cecal short-chain fatty acid concentrations and fecal lipid excretion in rats. *J Nutr* 128: 1731-1736, 1998
- 32) Yang JL, Suh MJ, Song YS. Postprandial plasma lipid levels and ditestive enzyme activities after high fat meal in rats a-

1030 / Xylooligo당이 부고환 지방 조직의 Lipoprotein Lipase 활성에 미치는 영향

- daaped to dietary fiber. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 26(1): 116-122, 1997
- 33) Braun JEA and Severson. Regulation of the synthesis, processing and translocation of lipoprotein lipase. *Biochem J* 15: 287-337-347, 1992
- 34) Shimomura Y, Tamura T, Suzuki M. Less body fat accumulation in rats fed a safflower oil diet than in rats fed a beef tallow diet. *J Nutr* 120(11): 1291-1296, 1990
- 35) Paik HS, Yearick ES. The influence of dietary fat and meal frequency on lipoprotein lipase and hormone-sensitive lipase in rat adipose tissue. *J Nutr* 108(11): 1798-1805, 1978