

# 셀룰로오스 및 펙틴이 식후 혈당과 혈장 지질 농도에 미치는 영향

이선우\* · 노희경\*\* · 최인선\* · 오승호\*§

전남대학교 생활과학대학 식품영양학과, \* 동신대학교 식품과학과\*\*

## Effects of Cellulose and Pectin on Postprandial Blood Glucose and Plasma Lipid Concentration

Lee, Sun-Woo\* · Ro, Hee-Kyong\*\* · Choi, In-Seon\* · Oh, Seung-Ho\*§

Department of Food and Nutrition,\* College of Human Ecology, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea  
Department of Food Science,\*\* Dongshin University, Naju 520-714, Korea

### ABSTRACT

The purpose of this study was to observe the effects of cellulose and pectin on glucose and plasma lipid concentrations in healthy women. Eight female collage students were participated voluntarily. All subjects received a fiber-free control diet (CD), cellulose diet (CED), pectin diet (PTD) with each diet for a period of three days with a 4 day interval. The food intake of subjects were monitored every day and plasma level of glucose, triglyceride, total cholesterol were determined at last day. Blood glucose, plasma triglyceride, total cholesterol were measured at fasting state and 30, 60, 90, 120, and 180 minute after consuming each diet. Plasma glucose concentrations (AUC: Area Under the Curve) of pectin diet was  $122.7 \pm 4.0$  mg/dl and that of cellulose diet was  $147.6 \pm 8.4$  mg/d, but they were significantly lower than in comparison with those of control diet ( $197.1 \pm 11.6$  mg/dl) ( $p < 0.05$ ). Plasma triglyceride concentrations of the CED ( $-83.9 \pm 22.2$  mg/dl) PTD ( $-9.7 \pm 26.1$  mg/dl) showed gradual decrease after each test diet feeding but not significantly different in each dietary fiber added diet ( $p < 0.05$ ). Plasma cholesterol concentrations of the CD was not significantly different in PTD, but PTD was significantly lower than the CED until 3 hours after consuming each test meal ( $p < 0.05$ ). In conclusion, in spite of total cholesterol was reduced only by pectin, glucose and triglyceride were lower than control diet in dietary fiber intake. But there were no significant differences each dietary fiber. (*Korean J Nutrition* 39(3) : 244~251, 2006)

**KEY WORDS** : cellulose, pectin, glucose, triglyceride, cholesterol.

## 서 론

근래 경제 발전과 더불어 식생활 형태가 서구화 되어가는 변화를 보임에 따라 심장질환, 동맥경화증, 비만, 당뇨병, 대장암 등의 질환이 증가되고 있다. 일반적으로 식이섬유의 섭취 증가가 내당능과 혈청지질 수준을 개선함으로써 당뇨병 치료에 유익하다는 증거 등<sup>1)</sup>이 밝혀짐에 따라 이들 질환의 증가와 관련하여 식이섬유 섭취에 대한 관심이 높아질 뿐만 아니라 질병 예방과 치료를 위한 기능성 식품으로 이용이 증대되고 있다.

최근에는 Vuksan 등<sup>2)</sup>은 식이섬유의 섭취 증가가 당뇨병 환자의 인슐린 요구량을 감소시켜 혈당 조절을 개선한다고 하였고,<sup>3)</sup> 근래 Jue 등<sup>4)</sup>도 식이섬유가 혈당농도를 유의적으로 개선시켰으며, 콜레스테롤 농도를 감소시킨다고 하였다. 이러한 식이섬유는 콜레스테롤과 담즙산의 흡수를 감소시켜 대사에 영향을 미치며, 장에서의 지단백 분비와 간에서 지단백 생성을 변화시키고 조성을 다르게 하여, 혈청 콜레스테롤 농도에 영향을 미친다고 알려져 있다.<sup>5)</sup>

식이섬유는 인체의 소화효소에 의해 가수분해 되지 않는 식물의 세포벽 및 세포에 함유된 성분으로 정의되며 물에 대한 용해도에 따라 수용성 식이섬유와 불용성 식이섬유로 구분된다. 이러한 식이섬유들은 단일물질이 아니고 식물의 조직구조에 자연적으로 존재하는 많은 성분들의 혼합물이므로 식품 급원에 따라 서로 다른 물리 화학적 성질을 나타내고, 그 성분의 종류에 따라 소화관 내에서 일어나는 생리효

접수일 : 2006년 1월 4일

채택일 : 2006년 4월 4일

§To whom correspondence should be addressed.

E-mail : ohsh@chonnam.ac.kr

과와 그 대사적 결과도 다르게 나타난다.<sup>6-8)</sup> 수용성 식이섬유는 불용성 식이섬유에 비해 보수력이 커서 겔 형성으로 점도를 높이고, 그로 인해 음식물이 위에 머무르는 시간이 길어져 포만감을 주며, 영양소의 소화 및 흡수를 지연시켜 당뇨병 환자에게 당내성을 증진시킨다고 한다.<sup>9)</sup> 반면 불용성 식이섬유는 배설물의 보수성을 향상시켜 변의 용적 및 무게를 증가시키고 배변량 및 그 횟수를 증가시킴으로써 정장 작용을 돕는다.<sup>10)</sup> 또한 스테롤 대사 작용을 촉진시키고 장의 박테리아 (bacterodes, bifidobacterium, eubacterium) 세포증식과 발효 효과 및 대변량을 증가시켜 장의 통과시간을 단축시키는 생리적 기능을 한다.<sup>11)</sup> 수용성 식이섬유가 혈당과 지질 대사에 영향을 미친다는 보고가 있는데, Lee 등<sup>12)</sup>의 연구에서는 인슐린 비의존성 당뇨병 환자에게 수용성과 불용성 고식이섬유를 섭취시켰을 경우 2주 후 수용성 고식이섬유를 섭취한 군의 중성지방, 총 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤 농도가 유의적으로 낮아졌으며, HDL-콜레스테롤 농도는 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. 또한 불용성 식이섬유를 식이 중에 5% 첨가시 혈중 콜레스테롤에 어떠한 영향을 미치는지 알아본 실험에서는 영향을 미치지 않았거나, 오히려 콜레스테롤 농도가 높아졌다는 보고<sup>13,14)</sup>가 있는 반면 펙틴,<sup>15)</sup> 구아검 등<sup>16)</sup>의 수용성 식이섬유를 5%와 7% 첨가시 콜레스테롤 농도를 낮추었다고 보고되었다.

한편 불용성 식이섬유도 혈당에 영향을 미친다고 알려져 있는데 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스의 주성분인 uronic acid가 혈당지수와 유의적인 역상관계가 있으므로 혈당 저하 효과에 주된 작용을 한다고 제안되었다.<sup>17)</sup> 근래 Oh 등<sup>18)</sup>은 한국 성인 여성을 대상으로 셀룰로오스 및 저항전분 3과 4가 혈당과 지질대사에 미치는 영향을 관찰한 연구에서 식이섬유 첨가식이 혈당을 유의적으로 낮추었으나, 중성지방과 유리지방산은 유의적인 변화가 없었다고 보고한바 있다.

이상에서와 같이 실험에 사용된 식이섬유의 종류와 대상에 따라 서로 다른 생리효과를 나타낼 뿐만 아니라, 구성하는 식품의 조성에 따라 일부 상반된 영양효과들이 보고되고 있으므로, 식이섬유를 엄격히 제한한 식이섬유 제한식과 첨가적인 불용성 및 수용성 식이섬유식 간의 영양효과를 동시에 비교 관찰한 연구 결과는 식이섬유의 체내 영양효과에 대하여 명확한 근거를 제시할 수 있다고 본다.

이에 본 연구에서는 동일한 성인 여성을 대상으로 식이섬유 제한식을 대조군으로 하여 불용성 식이섬유인 셀룰로오스와 수용성 식이섬유인 펙틴을 첨가하였을 때 식이섬유 간에 인체 혈당 조절기능과 혈장 지질 농도에 미치는 영향에 대해 비교 관찰 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험대상자와 실험 식사

#### 1) 실험대상자

실험대상자는 20~23세의 여대생으로 본 연구의 취지와 내용을 충분히 이해하고 협조할 수 있는 8명을 선정하였다. 각각의 대상자들은 신장, 체중 및 신체질량지수 (BMI) 등 신체 계측치를 통하여 실험 대상자의 선정여부를 결정하였으며, 대상자에게 단계별 실험 첫날과 마지막 날의 신체상황을 측정하였다.

#### 2) 실험식사

실험에 사용한 식이섬유는 총 2가지로 셀룰로오스는 (주) 화경물산에서, 펙틴은 (주)삼익유가공의 것을 사용하였다. 본 실험에 사용한 식사는 식이섬유 제한식 (Control Diet: CD)을 대조군으로 하여 셀룰로오스를 함유하는 셀룰로오스식 (Cellulose Diet: CED), 펙틴을 함유하는 펙틴식 (Pectin Diet: PTD) 3가지를 사용하였다. Table 1은 실험 3일째 대상자들에게 제공된 실험식사의 열량과 성분의 함량을 나타낸 표인데 급여량에서 잔량을 감하여 구하였고 섭취한 식이의 에너지, 단백질, 지질 등의 함량은 식품 성분표에 의하여 계산하였으며, 한끼 조성은 Table 2에 나타내었다. 각 실험식사는 성인 여성 1일 1인당 열량 권장량 37 kcal/kg 및 단백질 권장량 1.0 g/kg을 공급할 수 있는 식단을 작성하였다. 셀룰로오스와 펙틴은 1일 1인당 27 g과 일반 식품을 통한 식이섬유 함량이 3 g을 섭취하도록 하였다.

#### 3) 실험기간

실험기간은 Fig. 1과 같이 식이섬유 제한식, 셀룰로오스

**Table 1.** Test diets of energy, protein, fat, carbohydrate, dietary fiber by the subjects

	Energy (kcal)	Protein (g)	Fat (g)	Carbohydrate (g)	Cellulose or pectin (g)
CD <sup>1)</sup>	425.4	14.9	12.2	67.4	0
CED	427.9	14.9	12.4	66.9	10 (cellulose)
PTD	426.7	14.9	12.4	66.8	10 (pectin)

1) CD: control diet, CED: cellulose diet, PTD: pectin diet

**Table 2.** Composition of the test diets

	Carbohydrate (%)	Protein (%)	Fat (%)
CD <sup>1)</sup>	63.3	25.8	13.9
CED	63.0	27.2	13.9
PTD	62.6	26.1	14.0

1) CD: control diet, CED: cellulose diet, PTD: pectin diet

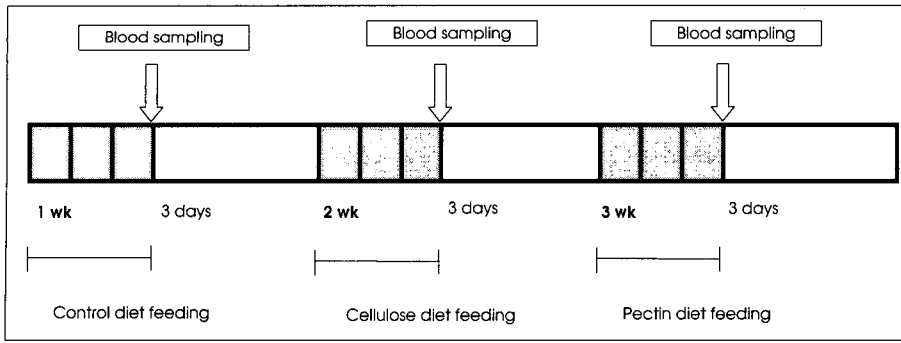


Fig. 1. Experimental scheme of the study.

식 및 펙틴식을 주별로 나누어 처음 1주간은 CD, 2주째는 CED, 3주째는 PTD를 급식시켰다. 각 실험식은 총 3일씩 섭취시켰고, 섭취 기간의 마지막 날에 혈액을 채취하였다. 다음 실험식 급식은 4일 이후에 새로 시작하였다.

2. 시료 수집

1) 혈액 채취

혈액 채취는 각 실험식 섭취한 마지막 날에 실시하였다. 대조식과 실험식을 급식시키기 직전 14시간 공복상태 및 급식 후 30, 60, 90, 120 및 180분에 각각 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액 일부는 EDTA로 항 응고 처리된 시험관에 담고, 일부는 즉시 3,000 rpm에서 20분간 원심 분리하여 얻은 혈장을 분석시까지 -70°C 냉동고에 보관하였다.

3. 혈액의 과 성분 함량 측정

채혈하여 얻은 혈장을 이용하여 혈당, 중성지방, 총콜레스테롤을 측정하였다. 혈장 포도당은 glucose oxidase 법<sup>19)</sup>에 의해 glucose kit (아산제약)를 이용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 혈중 중성지방은 Bucolo와 David의 방법<sup>20)</sup>에 준한 효소법에 의해 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 콜레스테롤은 효소법<sup>21)</sup>에 의한 Kit (아산제약)를 사용하여 측정하였다.

4. 통계처리

본 연구의 실험 결과는 SPSS (Statistical Package for the Social Science) 12.0 프로그램을 이용하여 평균과 표준오차 (mean ± SE)를 구하였고, 실험군간의 비교는 one-way ANOVA로 분석한 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의수준 α = 0.05에서 사후 검정을 시행하였다. 식후 시간별 각각의 실험 성적은 공복시의 것을 감한 중감량이며 실험식사 급식 후 각 시간별 실험 성적의 막대그림 면적과 공복시 성적의 막대그림 면적의 차이를 모두 합한 값 (Integrated Area Under the Curves: ∫-AUC)으로 식후 120분까지 측정하여 각 실험식사에 대한 성적을 비교검토 하였다.

Table 3. Physical characteristics in each subject

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI <sup>1)</sup> (kg/m <sup>2</sup> )
1	22	158.5	53.5	21.3
2	20	155.2	54.2	22.5
3	20	159.7	41.7	16.3
4	21	162.5	52.5	19.9
5	21	164.6	63.1	23.3
6	20	170.4	54.9	18.9
7	21	159.2	49.4	19.5
8	23	161.1	46.2	17.8

Mean ± SE<sup>2)</sup> 21.0 ± 0.3 161.4 ± 1.6 51.9 ± 2.3 19.9 ± 0.8

1) Body Mass Index = Weight (kg) / (Height (m))<sup>2</sup>

2) Values are mean ± standard error

결과 및 고찰

1. 대상자들의 일반사항

모든 실험 대상자들은 전 실험기간 동안 실험환경 및 주어진 식단에 잘 적응하였으며, 실험 기간동안 대상자들의 신체 상황은 Table 3과 같았다.

대상자들의 신장은 평균 161.4 ± 1.6 cm이었고, 체중은 평균 51.9 ± 2.3 kg이었으며, BMI는 19.9 ± 0.8 kg/m<sup>2</sup>로 정상 범위 (Recommended Dietary Allowances for Koreans, 7th revision, 2000)에 속하였다.<sup>22)</sup>

2. 혈당

본 실험에서 실험식을 급식시키기 직전 공복시 혈당 농도는 76.7 ± 2.6 mg/dl이었다.

각 식사별 시간에 따른 혈당 농도의 결과는 다음과 같았다. CD는 식후 30분에서 최고치를 나타내었다가 60분에 감소하였으며, 90분에 약간 증가를 보이다가 다시 감소하였다. CED는 식후 30분에 최고치를 보이다가 서서히 감소하였고, PTD는 90분까지 꾸준한 증가를 보이다가 그 뒤 감소하였다.식이섬유 제한식과 첨가식 간에 혈당 농도는 식후 30분에 PTD가 CD보다 유의적으로 낮았으며 90분까지는

차이를 보이지 않다가 120분부터 첨가식이 제한식에 비해 유의적으로 낮아졌다. 이는 공복시를 기준으로 혈당 증가량을 나타낸 Fig. 2에서 CED와 PTD가 CD에 비하여 유의적으로 혈당 농도가 낮았고 PTD는 CED와 유의적인 차이가 나타나지는 않았지만 더 낮은 혈당 농도를 보여주었다.

공복시 혈당에 비하여 증가된 AUC (Area under the curve)는 (Fig. 3) CD, CED 및 PTD가 각각  $197.1 \pm 11.6$  mg/dl · 120 min,  $147.5 \pm 8.4$  mg/dl · 120 min 및  $122.7 \pm 4.2$  mg/dl · 120min였으며, CED와 PTD가 CD에 비해 현저하게 낮은 혈당 농도를 보였으나, 셀룰로오스와 펙틴 간에는 차이를 나타내지 못했다.

본 연구에서 식이섬유 첨가식이 제한식에 비해 유의적인 혈당 감소를 보였다. 식이섬유가 혈당치를 낮추는 기전으로 전분 소화율의 저하, 소화된 음식물의 십이지장으로의 이동 속도 감소, 소장으로 확산되는 당류의 속도 감소 등이 있다.<sup>23)</sup> 또한 혈당 대사의 식후 조절에 관련되는 장 호르몬의

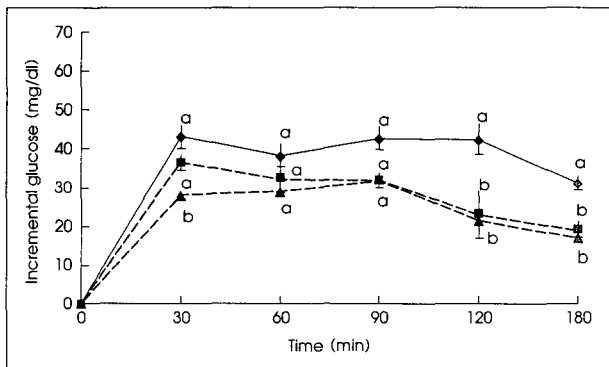


Fig. 2. Mean ( $\pm$  SE) incremental plasma glucose concentrations after consumption of the control diet (◆), cellulose diet (■) or pectin diet (▲).

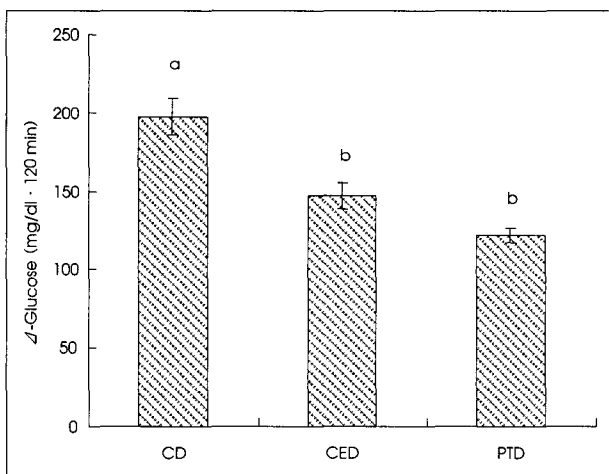


Fig. 3. Total incremental  $\Delta$ -AUC (change in area under the curve) plasma glucose concentrations after consuming different test meals over 120 min. CD: control diet, CED: cellulose diet, PTD: pectin diet.

분비조절, 말초조직의 인슐린 수용체의 증가, 인슐린 민감성의 증가, 위 배출 시간의 지연 등이 제시되었다.<sup>24,25)</sup>

이러한 식이섬유는 당뇨병자 뿐 아니라 정상인의 식후 혈당조절에도 유용한 것으로 알려져 있다. Qureshi 등<sup>26)</sup>은 쌀겨 식이섬유를 공급하여 당뇨병자의 혈당이 강하되었다고 하였고, Lee 등<sup>27)</sup>은 고식이섬유쌀을 굵여시켜 당뇨쥐의 혈당저하를 보고하는 등 당뇨병인과 쥐에 있어 식이섬유의 섭취가 혈당을 낮추었다는 보고가 많다. 또한 정상인을 대상으로 하여 식후 혈당을 평가한 연구에서, Williams 등<sup>28)</sup>은 콩을 포함한 식이섬유가 표준식, 밀식보다 식후 30, 60분에서 혈당 농도가 유의적으로 낮아져 개선 효과를 보였다고 하였고, 식이섬유 함량이 높은 쌀을 정상인에게 섭취시킬 경우 식이섬유 함량이 낮은 일반 쌀에 비하여 식후 혈당 농도가 유의적으로 낮아졌다<sup>29)</sup>고 하여 식이섬유가 정상인의 혈당조절에도 유용함을 보여주었는데, 이는 펙틴과 셀룰로오스를 첨가한 실험식에서 식이섬유 무첨가식보다 식후 혈당증가량이 유의적으로 감소한 본 연구결과와 유사하였다.

한편 건강한 대상자에게 곡류 섭취 후 혈당농도를 연구한 Katri 등<sup>30)</sup>은  $\beta$ -glucan 호밀과 낱알 호밀을 섭취한 실험군이 흰빵을 섭취한 대조군보다 120분 이후 혈당이 유의적으로 높아졌다고 하여 본 연구와 다소 상반되는 결과도 있다.

본 연구에서는 수용성 식이섬유인 펙틴식과 불용성 식이섬유인 셀룰로오스식간의 식후 혈당 증가량에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 수용성 식이섬유의 혈당강하효과는 잘 알려져 있어, Park 등<sup>31)</sup>이 수용성 식이섬유인 펙틴과 구아검을 당뇨쥐에게 투여하였을 때 뚜렷한 내당능의 개선 효과를 보고하였고, Torsdottir 등<sup>9)</sup>은 수용성 식이섬유가 불용성에 비해 보수력이 커 젤을 형성하고 점도를 높이며, 그로 인해 음식물이 위에 머무르는 시간이 길어져 포만감을 주고, 영양소의 소화, 흡수를 지연시켜 당뇨병 환자에게 당내성을 개선시킨다고 설명하였다.

또한 불용성 식이섬유가 혈당 조절을 개선시킨다는 연구도 있는데 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스의 주성분인 uronic acid가 혈당지수와 유의적인 역상관계가 있으므로 혈당저하 효과에 불용성 식이섬유가 주된 작용을 한다는 것<sup>31)</sup>과, 44개 식품들의 총 식이섬유 함량과 혈당 지수간의 회귀곡선으로부터 산출한 혈당지수 중 비지의 혈당지수가 6으로 가장 낮았다는 보고<sup>32)</sup> 등 불용성 식이섬유의 식후혈당개선에 관한 보고가 있다.

본 연구에서는 각 식이섬유 첨가식 간의 식이섬유 함량을 동일하게 조절하였고, 동일한 실험대상자를 대상으로 실험한 연구이므로 각 실험군간의 혈당 반응결과로 보아 불용성 식

이섬유인 셀룰로오스와 수용성 식이섬유인 펙틴 모두 유사한 식후 혈당조절 효과를 갖는 것으로 생각된다.

### 3. 중성지방

공복시 혈장 내 중성지방 함량은  $119.9 \pm 6.1$  mg/dl이었다. 식후 30분 CD는 공복시보다 높았으며, CED와 PTD는 공복시에 비하여 낮은 농도를 나타내었다. 또한 30분 이외에 식후 3시간 동안 지속적으로 CE가 CED와 PTD에 비해 유의적으로 높은 결과를 보여주었다. 또한 CED와 PTD 간에는 유의적인 차이가 나타나지는 않았지만 CED가 PTD에 비하여 낮은 혈중 중성지방 농도를 보여주었다.

Fig. 4은 시간에 따른 중성지방 농도의 증가량을 나타낸 것으로, CD에 비해 CED, PTD가 모든 시간대에서 유의적으로 낮았으며, 식이섬유 첨가식 간에는 CED가 PTD에 비해 낮았다. 공복시 중성지질 농도에 비하여 증가된 AUC는 Fig. 5와 같았다.

식이섬유와 혈중 지질농도의 상관성을 밝힌 대부분의 연구는 장기간의 연구로, Lee 등<sup>39</sup>의 연구에 의하면 고식이섬

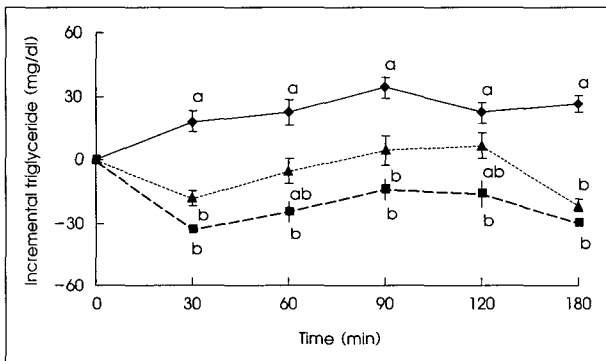


Fig. 4. Mean ( $\pm$  SE) incremental plasma triglyceride concentrations after consumption of the control diet (◆), cellulose diet (■), or pectin diet (▲).

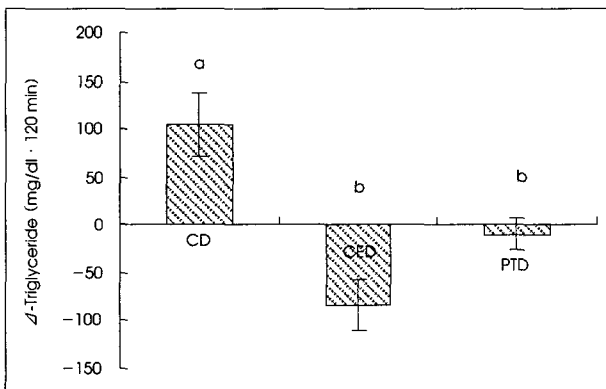


Fig. 5. Total incremental  $\Delta$ -AUC (change in area under the curve) plasma triglyceride concentrations after consuming different test meals over 120 min. CD: control diet, CED: cellulose diet, PTD: pectin diet.

유쌀을 KK 마우스에게 8주간 급여하였을 때 식이섬유를 섭취한 군이 대조군에 비하여 혈중 지질농도의 유의적 감소를 보고하였고, 식이섬유 제한식에 비해 sodium alginate를 공급하였을 때 고콜레스테롤 쥐의 혈장 중성지방 농도가 유의적으로 감소하였는데,<sup>34)</sup> Vigne 등<sup>35)</sup>은 식이섬유가 모세혈관벽의 지단백 분해효소 (lipoprotein lipase)를 활성화하여 중성지방의 주요 운반체인 키로미크론과 VLDL의 분해를 촉진하기 때문이라고 설명하였다. 본 연구에서는 정상인을 대상으로 식이섬유를 섭취시키고 관찰한 식후 중성지방의 증감량이 식이섬유 제한식인 대조군에 비하여 식후 30분 이후 지속적으로 유의적인 감소를 보여, 식이섬유의 단기적 섭취의 유용성을 보인 것으로 의미있는 결과라 할 수 있을 것이다.

하지만 본 연구에서는 셀룰로오스식과 펙틴식간에 식후 중성지방의 증감량에 있어 유의적인 차이가 없었다. 식이섬유가 중성지방에 미치는 영향에 관한 선행연구는 대부분 장기간 식이섬유를 섭취케 한 후 관찰한 공복시 혈중 농도로써, Kim 등<sup>36)</sup>이 고콜레스테롤혈증이 있는 쥐에게 이러한 두 가지 식이를 급식시켰을 경우 무첨가식에 비해 유의적인 차이가 없다는 연구와 난소화성 텍스트린과 펙틴이 정상 백서의 공복시 지질대사에 미치는 영향을 연구한 Yoon 등<sup>37)</sup>의 결과와 같이 수용성과 불용성 섬유소간의 혈중 중성지방에 미치는 영향이 다르지 않다는 보고가 있다. 또한 수용성 식이섬유와 불용성 식이섬유가 중성지방의 농도에 다르게 영향을 미친다는 보고도 있다. Mueller 등<sup>38)</sup>이 식이섬유의 4가지 주요성분, 즉 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴과 리그닌이 지질대사에 미치는 효과를 알아보기 위해 흰쥐에게 21일간 각 식이섬유 첨가식을 급여한 실험에서 혈청 내 중성지방 수준이 셀룰로오스를 급여한 쥐들에게서 유의적으로 높게 나타나 펙틴에 비해 셀룰로오스가 낮은 수준을 보였다고 하였다. 위의 선행연구들과 달리 식후 혈장 중성지방 농도의 증감량에 있어 셀룰로오스식과 펙틴식간에 유의적인 차이를 보이지 않은 결과는 식이섬유의 종류 및 급여 기간뿐 아니라 실험대상자 등을 달리하는 보다 광범위한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 4. 총 콜레스테롤

본 연구에서 식이섬유 첨가식을 급식하기 전 콜레스테롤 함량은  $160.7 \pm 17.6$  mg/dl이었다. 공복시에 비해 식후 30분 콜레스테롤 농도는 CD에서는 낮았으나, CED와 PED는 공복시에 비해 높은 농도를 나타내었다. CD는 90분까지 꾸준히 상승하다가 그 뒤 감소하여 거의 공복시 농도로 되었고, CED는 모든 시간대에서 공복시에 비해 높은 콜레스테롤 농

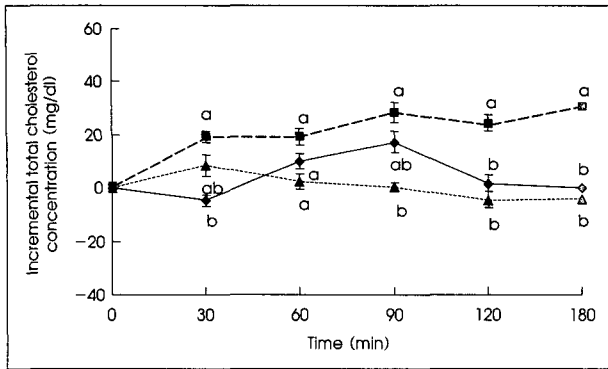


Fig. 6. Mean ( $\pm$  SE) incremental total cholesterol concentrations after consumption of the control diet (◆), cellulose diet (■) or pectin diet (▲).

도를 보여주었으며, PTD는 점점 감소하여 공복시에 비해 낮게 나타났다.식이섬유 제한식과 첨가식에서 CED는 CD에 비해 높았고, PTD는 낮았으며, 식이섬유 첨가식 간에는 PTD가 CED에 비해 유의적으로 낮은 농도를 보여주었다. 이러한 결과는 시간에 따른 혈당 증가량을 나타낸 Fig. 6와 같았다.

식이섬유 섭취시 콜레스테롤 농도를 개선시킨다는 보고가 많다. Jue 등<sup>41)</sup>의 연구에서는 표준식으로 100% rice를 주고 실험식으로 보리식 (70% rice, 30% barley)을 급식하였을 때, 4주 째 콜레스테롤 농도가 식이섬유를 제공한 실험식에서 유의적으로 낮아졌으며, 식이조절과 식이섬유를 병행하여 사용할 경우 혈중 콜레스테롤을 감소시키는데 보다 효과가 있는 것으로 보고되었다.<sup>39)</sup> Shinnick 등<sup>40)</sup>은 1% 콜레스테롤과 0.2% cholic acid로 흰쥐에서 지방간을 유도한 후 0~10%의 고식이섬유인 귀리를 투여하였을 때 투여량에 의존적으로 혈청과 간의 콜레스테롤 농도를 저하시켰다고 보고하였다. 또한 남성에게 8주간 식이섬유가 많은 호밀빵과 적은 밀빵을 섭취시켜 총 콜레스테롤의 변화를 살펴본 결과 호밀빵이 밀빵보다 실험 마지막 기간에 유의적으로 낮아졌다.<sup>41)</sup> 이러한 식이섬유에 의한 콜레스테롤 농도 저하 효과는 소장 배상세포에서 분비되는 점액성 물질이 잘 혼합되지 않는 물층을 형성하여 지질의 흡수를 방해하기 때문으로 알려져 있다.<sup>42)</sup>

수용성 식이섬유가 불용성 식이섬유에 비해 혈중 콜레스테롤의 농도를 낮춘다는 보고가 많다. 흰쥐에게 펙틴과 셀룰로오스를 급여시켰을 경우 셀룰로오스에 비해 펙틴이 콜레스테롤 농도를 유의적으로 감소시켰고,<sup>36)</sup> 당뇨쥐에게 셀룰로오스와 펙틴을 첨가시켰을 때 펙틴식을 급여할 경우 콜레스테롤 농도가 저하되었으며,<sup>43)</sup> Anderson 등<sup>44)</sup>도 콜레스테롤 투여시 셀룰로오스에 비해 펙틴이 콜레스테롤 농도를 유의적으로 감소시켰다고 보고하였다. 또한 흰쥐에게 식이 중에 첨

가된 식이섬유의 종류와 수준을 달리 하였을 때 체내 지질 함량에 관해 실험한 Jang 등<sup>45)</sup>의 연구에서도 펙틴 첨가가 셀룰로오스 첨가에 비하여 낮은 지질 수준을 나타내었으며 특히 간의 총 콜레스테롤 함량은 펙틴이 셀룰로오스를 첨가한 경우보다 유의적으로 낮다고 보고하였는데 이는 수용성 식이섬유가 불용성 식이섬유에 비해 혈중 총 콜레스테롤 농도가 유의적으로 낮게 나타난 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

수용성 식이섬유가 콜레스테롤의 농도를 낮추는 기작으로는 식이섬유가 장 내용물의 점성을 증가시킴으로 지질흡수를 저해하여 혈장과 간의 콜레스테롤 농도를 낮춘다는 것과,<sup>46,47)</sup> 소장에서의 담즙산의 재흡수를 방해하여 변으로의 스테롤 배설 증가에 따른 체내 콜레스테롤 pool 크기 감소에 따른 것이라는 것,<sup>48,49)</sup> 대장에서의 식이섬유 발효 부산물인 단쇄지방산이 콜레스테롤 합성능을 감소시키는 것으로 알려져 있다.<sup>50)</sup> 또한 식이섬유 섭취 시 담즙산과 식이섬유가 결합함으로써 담즙산의 배설량을 증가시키고, 식이섬유의 겔 형성으로 인해 담즙산을 격리시켜 장내로의 흡수를 감소시키기 때문이라고 설명 할 수 있다.<sup>51)</sup>

본 연구에서 식이섬유 제한식과 비교하여 펙틴식은 차이가 나타나지 않았지만 셀룰로오스 식의 경우 대조군에 비해 다소 높은 콜레스테롤 농도를 보였다. 또한 펙틴이 셀룰로오스에 비하여 유의적으로 낮은 콜레스테롤 농도를 보여주었다.

이제까지 많은 연구에서 식이섬유가 총 콜레스테롤을 낮춘다고 하였는데 이러한 연구의 대상자는 제 2형 당뇨병자,<sup>12)</sup> 고콜레스테롤혈증,<sup>51)</sup> 지방간을 유도한 쥐<sup>40)</sup>가 대부분이었다. 하지만 본 연구에서는 당뇨력이 없고 혈중 지질 상황이 정상인 성인 여성을 대상으로 하였기 때문에 콜레스테롤을 조절하는 기전이 달라 이러한 결과가 나온 것으로 생각되며 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 요약 및 결론

본 연구는 셀룰로오스와 펙틴이 식후 혈당과 혈장 지질 농도에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 건강한 여자 대학생을 대상으로 식이섬유 제한식 (control diet; CD)을 대조식으로 하여 셀룰로오스식 (cellulose diet; CED), 펙틴식 (pectin diet; PTD)을 급식시키기 직전 및 급식 후 30, 60, 90, 120 및 180분에 각각 혈액을 채취하여 혈당, 중성지방, 총 콜레스테롤을 측정하였다.

공복시 혈당은  $76.7 \pm 2.6$  mg/dl이었는데 CED와 PTD는 모두 CD에 비해 유의적으로 혈당 농도를 낮추었으며 CED

와 PTD는 식후 30분에 유의적인 차이를 보였고 그 후에는 차이를 나타내지 않았다. 공복시에 비하여 증가된 AUC (Area under the curve)는 CD, CED 및 PTD에서 각각  $197.1 \pm 11.6 \text{ mg/dl} \cdot 120 \text{ min}$ ,  $147.5 \pm 8.4 \text{ mg/dl} \cdot 120 \text{ min}$  및  $122.7 \pm 4.2 \text{ mg/dl} \cdot 120 \text{ min}$ 였으며, CED와 PTD가 CD에 비하여 낮은 혈당 농도를 보였으나, 셀룰로오스와 펙틴 간에는 차이를 나타내지 못했다. 공복시 중성지질의 농도는  $119.9 \pm 6.1 \text{ mg/dl}$ 이었고, 식후 3시간 동안 비슷한 양상을 보여주었다. CED와 PTD는 유의적인 차이가 나타나지는 않았지만 PTD에 비해 CED를 급식시킬 경우 낮은 혈중 중성지방 수준을 보여주었다. 또한 공복시 중성 지질 농도에 비하여 증가된 AUC는 CD, PTD 및 CED가 각각  $104.7 \pm 49.9 \text{ mg/dl} \cdot 120 \text{ min}$ ,  $-9.7 \pm 26.1 \text{ mg/dl} \cdot 120 \text{ min}$  및  $-83.9 \pm 22.2 \text{ mg/dl} \cdot 120 \text{ min}$ 를 나타내 셀룰로오스와 펙틴이 대조군에 비하여 유의적으로 낮았다. 혈중 콜레스테롤의 공복시 농도는  $160.8 \pm 17.6 \text{ mg/dl}$ 이었다. 식이섬유 제한식과 첨가식을 비교해보면 CD와 PTD는 유의적인 차이가 나지 않았지만 CED는 CD에 비해 유의적으로 높은 콜레스테롤 농도를 보여주었다. 식이섬유간에는 수용성 식이가 불용성에 비해 유의적으로 낮았다.

본 연구의 각 성분 함량 측정에서 공복시 농도는 각 식이마다 따로 측정하지 않고 한번만 측정하여 사용하였다. 이러한 경우 다음 식이에 대해 충분한 wash-out기간을 두고 다음 식이를 제공해야 하는데 본 실험에서는 4일이라는 짧은 기간의 wash-out을 둔 것이 제한적이다.

이상에서와 같이 비록 총 콜레스테롤의 감소가 펙틴에서만 있었지만 식이섬유 섭취시 제한식에 비하여 혈당과 중성지질을 감소시켰다. 그러나 식이섬유간에는 유의적인 차이가 나지 않았다. 셀룰로오스와 펙틴이 식후 혈당과 혈장 지질 농도에 미치는 영향은 두 식이섬유 모두 소화흡수율을 지연시켜 빠른 혈당 상승을 조절하는 것으로 사료되며, 이와 같이 식이섬유가 인체의 체내에서 생리적인 효과를 나타낼 수 있고 그 효과는 섬유질의 종류에 따라 다소 다르게 나타낼 수 있음을 알 수 있으므로 식이섬유의 종류나 기간을 달리하여 추후 더 연구되어야 할 것이다.

#### Literature cited

- 1) Salmeron J, Manson JE, Stampfer MJ, Colditz G, Wing AL, Willett WC. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA* 277(6): 472-476, 1997
- 2) Vuksan V, Korsic M, Posavi AA. Metabolic diseases and the high-fiber diet. *Lijec Vjesn* 119: 125-127, 1997
- 3) Rocio A, Daniel ADL, Olatz I, Ternando LC, Lourdes DO, Luis F, Terna A, Gonzalez H. Effects of soluble fiber intake in lipid and glucose levels in healthy subjects: a randomized clinical trial. *Diabetes Res Clin Prac* 65(1): 7-11, 2004
- 4) Jue Li, Takashi K, Li-Qiang Q, Jing W, Yuan W. Effects of barley intake on glucose tolerance, lipid metabolism, and bowel function in women. *J Nutr* 19(11-12): 926-929, 2003
- 5) Park SH, Lee YK, Lee HS. The effects of dietary fiber feeding on gastrointestinal functions and lipid and glucose metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 27(4): 311-322, 1994
- 6) Trowell HC. Definitions of fiber, *Lancet* 1: 503, 1974
- 7) Marlett JA. Dietary fiber, definition and determination, Center for Academic Publication, Japan, pp.4-14, 1990
- 8) Helena GML, Anna KEF, Inger MEB. Effects of the glycemic index and content of indigestible carbohydrate of cereal-based breakfast meals on glucose tolerance at lunch in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 69(4): 647-655, 1999
- 9) Torsdottir J, Alpsten M, Holm G, Sandberg AS, Tolli J. A small dose of soluble alginate fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J Nutr* 121(6): 795-799, 1991
- 10) Oku T. New viewpoint on physiological property of dietary fiber and the status of the dietary fiber intakes in Japan. *Kor J Nutr* 25(2): 77-90, 1992
- 11) Gray DS. The clinical uses of dietary fiber. *Am Fam Physician* 51(2): 419-426, 1995
- 12) Lee YK, Lee HS, Kim BY. Effect of short-term feeding of dietary fiber supplements on lipid metabolism in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Korean J Nutr* 19(1): 80-91, 1995
- 13) Park SH, Lee YK, Lee HS. The effects of dietary fiber feeding on gastrointestinal functions and lipid and glucose metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 27(4): 311-322, 1994
- 14) Nishina PM, Schneeman BO, Freedland RA. Effects of dietary fiber on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J Nutr* 121(4): 431-437, 1991
- 15) Garcia-Diez F, Garcia-Mediavilla V, Bayon JE, Gonzalez-Gallego J. Pectin feeding influences fecal bile acids excretion, hepatic bile acid and cholesterol synthesis and serum cholesterol in rats. *J Nutr* 126(7): 1766-1771, 1996
- 16) Ahn HS, Kwon JR, Lee SS. Effect of dietary lipids and guar gum on lipid metabolism in ovariectomized rats. *Korean J Nutr* 30(10): 1123-1131, 1997
- 17) Pastors JG, Blaiselell PW, Balm TK, Asplin CM, Pohl SL. Psyllium fiber reduce rise in postprandial glucose and insulin concentrations in patients with non-insulin-dependent diabetes. *Am J Clin Nutr* 53(6): 1431-1435, 1991
- 18) Lee HS, Choi MS, Lee YK, Park SH, Kim YK. Effects of seaweed supplementation on the lipid and glucose metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 29(3): 296-306, 1996
- 19) Rabbo E, Terkidren TC. On the enzymatic determination of blood glucose. *Scandinav J Lab Invest* 12: 402-407, 1960
- 20) Bucolo G, David H. Quantitative determination of serum triglycerides by use of enzymes. *Clin Chem* 19: 476-482, 1973

- 21) Allain CC, Poon LS, Chen CS, Richmond W. Enzymatic determination of total serum cholesterol. *Clin Chem* 20: 470-475, 1974
- 22) Recommended Dietary Allowances for Koreans. 7th revision, The Korean Nutrition Society, Seoul, 2000
- 23) Rosado JL, Diaz M. Physicochemical properties related to gastrointestinal function of 6 sources of dietary fiber. *Rev Invest Clin* 47 (4) : 283-289, 1995
- 24) Spiller RC. Pharmacology of dietary fiber. *Pharmacol Ther* 62: 407-427, 1994
- 25) Braaten JT, Scott FW, Wood PJ, Riedel KD, Wolynetz MS, Brule D, Collins MW. High beta-glucan oat bran and oat gum reduce postprandial blood glucose and insulin in subjects with and without type 2 diabetes. *Diabet Med* 11 (3) : 312-318, 1994
- 26) Qureshi AA, Sami SA, Khan FA. Effects of stabilized rice bran, its soluble and fiber fractions on blood glucose levels and serum lipid parameters in human with diabetes mellitus types I and II. *J Nutr Biochem* 13 (3) : 175-187, 2002
- 27) Lee SH, Park HJ, Cho SY, Jung IK, Cho YS, Kim TY, Hwang HG, Lee TS. Supplementary effect of the high dietary fiber rice on blood glucose in diabetic KK mice. *Kor J Nutr* 37(2) : 75-80, 2004
- 28) Williams JA, Lai CS, Corwin H, Ma Y, Maki KC, Garleb KA, Wolf BW. Inclusion of guar gum and alginate into a crispy bar improves postprandial glycemia in humans. *J Nutr* 134(4) : 886-889, 2004
- 29) Lee C, Shin JS. Effects of different fiber content of rice on blood glucose and triglyceride levels in normal subject. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31 (6) : 1048-1051, 2002
- 30) Katri SJ, Leo KN, Kirsi HL, Kaisa SP, Jens JH, Hannu MM. Postprandial glucose, insulin, and incretin responses to grain products in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 75 (2) : 254-262, 2002
- 31) Wolever TMS. Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. *Am J Clin Nutr* 51 (1) : 72-75, 1990
- 32) Nishimune T, Yakushiji T, Sumimoto T, Taguchi S, Konishi Y, Nakahara S, Ichikawa T, Kunita N. Glycemic response and fiber content of some foods. *Am J Clin Nutr* 54 (2) : 414-419, 1991
- 33) Lee SH, Park HJ, Cho SY, Han KJ, Jeon HK, Hwang HG, Choe HC. Supplementary effect of the high dietary fiber rice on lipid metabolism in diabetic KK mice. *Korean J Nutr* 37 (2) : 81-87, 2004
- 34) Song YS, Yang JL, Suh MJ. Effects of dietary fibers on cholesterol metabolism in cholesterol-fed rats. *J Korean Soc Food Nutr* 25 (3) : 392-398, 1996
- 35) Vigne JL, Lairon D, Borel P, Portugal D, Pauli A, Hauton J, Lafont H. Effects of pectin, wheat bran and cellulose on serum lipid and lipoproteins. *Br J Nutr* 58 (3) : 405-410, 1987
- 36) Kim MJ, Jang JY, Lee MK, Park JY, Park EM. Effects of fiber lipid concentration in hypercholesterolemic rats. *J Korean Soc Food Nutr* 12 (1) : 20-25, 1999
- 37) Yun EY, Wang SG. Effects of indigestible dextrin and pectin on lipid metabolism. *Kor J Nutr* 6 (2) : 147-154, 1996
- 38) Mueller MA, Cleary MP, Kritchevsky D. Influence of dietary fiber on lipid metabolism in meal-fed rats. *J Nutr* 113 (11) : 2229-2238, 1983
- 39) Greenwald P, Clifford C. Fiber and cancer: prevention research. In: Dietary fiber in health & disease. Kritchevsky, D, Bonfield, C. eds, Egans, pp.159-173, 1995
- 40) Shinnick FL, Ink SL, Marlett JA. Dose response to a dietary oat bran fraction in cholesterol-fed rats. *J Nutr* 120 (6) : 561-568, 1990
- 41) Katri SL, Kaisa SP, Hannu MM. Rye bread decreases serum and LDL-cholesterol on men with moderately elevated serum cholesterol. *J Nutr* 130 (2) : 164-170, 2000
- 42) Ikegami S, Tsuchihashi F, Harada H, Tsuchihashi N, Nishide E, Innami S. Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic - biliary secretion and digestive organs in rats. *J Nutr* 120 (4) : 353-360, 1990
- 43) Park SH, Lee HS. Effects of legume supplementation on the glucose and lipid metabolism and lipid peroxidation in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 36 (5) : 425-436, 2003
- 44) Anderson JW, Jones AE, Riddell-Mason S. Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *J Nutr* 124 (1) : 78-83, 1994
- 45) Jang UK, Yun HJ. Influence of Fat levels and type of dietary fiber on lipid metabolism in rats. *Kor J Nutr* 17 (4) : 253-261, 1984
- 46) Ehihara K, Schneeman BO. Interaction of bile acids, phospholipid, cholesterol and triglyceride with dietary fiber in small intestine of rats. *J Nutr* 119 (8) : 1100-1106, 1989
- 47) Vahouny GV, Roy T, Gallo LL, Story JA, Kritchevsky D, Cassidy MM. Dietary fiber III. Effects of chronic intake on cholesterol absorption and metabolism in the rats. *Am J Clin Nutr* 33 (10) : 2182-2191, 1980
- 48) Ide T, Horii M, Yamamoto T, Kawashima K. Contrasting effects of water-soluble and water insoluble dietary fiber on bile acid conjugation and taurine metabolism in the rats. *Lipids* 25 (6) : 335-340, 1990
- 49) Nishina PM, Freedland RA. Effects of propionate on lipid biosynthesis in isolated rat hepatocytes. *J Nutr* 120 (7) : 668-673, 1990
- 50) Venter CS, Vorster HH, Van Der Nest DG. Comparison between physiological effects of Konjac-glucomannan and propionate in baboons fed "western" diets. *J Nutr* 120 (9) : 1046-1053, 1990
- 51) Anderson JW, Deakins DA, Floore TL, Smith BM, Whitis SE. Dietary fiber and coronary heart disease. *Crit Rev Food Sci Nutr* 29 (2) : 95-147, 1990