

## 두류의 첨가가 당뇨병 쥐의 내당능과 지질대사 및 지질과산화에 미치는 영향

박 수 현<sup>§</sup> · 이 혜 성

경북대학교 식품영양학과

### Effects of Legume Supplementation on the Glucose and Lipid Metabolism and Lipid Peroxidation in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats

Park, Soo-Hyun<sup>§</sup> · Lee, Hye-Sung

Department of Food Science & Nutrition, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

#### ABSTRACT

The present study was conducted to evaluate the usefulness of common Korean legumes as a high-fiber supplement in therapeutic diets for diabetic patients. Streptozotocin-induced diabetic rats were used as animal models and four kinds of legumes, black soybean (BS), yellow soybean (YS), green pea (GP) and soybean curd residue (SCR) were tested as high-fiber supplements. Seven groups of normal and streptozotocin-induced diabetic rats were fed isocaloric experimental diets containing 8% dietary fiber from one of four legumes or purified cellulose and pectin for 6 weeks. The effects of the legumes on the glucose and lipid metabolism of diabetic rats was examined and compared with the effects of cellulose and pectin. The legume supplementation did not show any beneficial effect on glucose tolerance, however, it exhibited a plasma cholesterol-lowering effect in diabetic rats. The cholesterol-lowering action was especially strong in BS and the degree of the effect was comparable to that of pectin. The levels of total lipids, cholesterol, and triglyceride in the hepatic tissues of rats fed legume diets were similar to those of the pectin group. All legume supplements induced an increase in fecal steroid excretion. The fecal cholesterol contents were significantly high following the supplementations of YS and SCR ( $p < 0.05$ ). The excretion of fecal bile acids in the BS and YS groups was significantly higher than it was in the pectin group ( $p < 0.05$ ). Concentration of lipid peroxidation products in the blood and urine of diabetic animals was lower in the legume groups than in the cellulose group. The levels of hepatic lipid peroxidation products were significantly lower in the BS and YS groups than in the pectin group ( $p < 0.05$ ). From the results of this study, the plasma cholesterol-lowering effect of BS is possibly due to the significant ( $p < 0.05$ ) increase in fecal steroid excretion, which suggests that BS could be beneficial in improving abnormal lipid metabolism in diabetic rats. (*Korean J Nutrition* 36(5): 425~436, 2003)

**KEY WORDS** : legumes, diabetic rats, blood glucose, lipid metabolism, lipid peroxidation.

#### 서 론

식이섬유가 당뇨병 환자의 혈당반응, 인슐린 요구량과 감소성, 혈중지질과 지단백 농도에 미치는 영향 등에 대해서 많은 연구들이 행하여져 왔다. 그 결과 일반적으로 식이섬유의 섭취증가가 내당능과 혈청지질의 수준을 개선함으로써 당뇨병의 치료에 유익하다는 증거들이 제시되었다.<sup>1)</sup> 식이섬유가 당뇨병의 당질 및 지질 대사개선에 미치는 효과

를 평가하기 위해서는 식이섬유가 풍부한 식사 (high fiber diet)나 식이섬유 보충물 (fiber supplement)의 형태로 주로 연구되었다. Vuksan 등<sup>2)</sup>은 고섬유식사가 당뇨병 환자의 인슐린 요구량을 감소시키며 혈당조절을 개선한다고 보고하였으며 Krashenitsa 등<sup>3)</sup>은 인슐린 비의존형 당뇨병 (NIDDM) 환자들에서 1일 55 g의 고섬유식을 투여하여 당뇨병 상태의 조절이 현저히 개선됨을 보고하였다. 비만 당뇨병 환자들에게서 고섬유식은 높은 포만감으로 인해 체중 감소를 촉진하며 특별한 당뇨병 치료약물을 사용하지 않고도 적절히 혈당을 조절해 주는 잇점이 있으며 혈중 중성지방 및 콜레스테롤 수준을 낮추는 것으로도 보고되었다.<sup>4)</sup>

Jenkins 등<sup>5)</sup>은 탄수화물의 급원에 따라 식후 혈당과 인

접수일 : 2003년 3월 26일

채택일 : 2003년 4월 24일

<sup>§</sup>To whom correspondence should be addressed.

술린반응이 다르다는 사실을 밝혀 혈당지수 (glycemic index)라는 개념을 소개하였다. Jenkins 등<sup>6)</sup>은 채소류의 평균 혈당지수가  $70 \pm 5\%$ , 과일류는  $50 \pm 5\%$ 인 반면 두류의 혈당지수는  $31 \pm 3\%$ 로서 가장 낮은 혈당지수를 나타내므로 당뇨병 환자의 식사에 첨가할 때 인슐린 요구량의 증가없이 당질대사에 유익한 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. Indar-Brown 등<sup>7)</sup>은 NIDDM 환자 또는 내당능 장애 환자의 식사계획시 탄수화물 공급원으로써 혈당지수가 낮은 두류를 선택하는 것이 유용하다고 하였다. 일반적으로 점성을 나타내는 guar, pectin, psyllium, glucomannan 등의 수용성 정제섬유들이 cellulose, wheat bran 등의 불용성섬유에 비해 평균 혈당과 혈중 지질수준을 저하시키고 인슐린이나 경구 혈당강하제의 요구를 감소시키는 것으로 나타났다. 이외에도 건조 두류와 같은 고섬유식품들이 혈청 총 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤 수준을 낮추고 변 중지질의 배설을 증가시킨다는 사실이 보고되었다.<sup>8-10)</sup> 식이섬유가 당질대사에 미치는 기전으로는 gastric emptying의 지연, 소화흡수 속도의 변화, 혈당대사의 식후 조절에 관련된 장 호르몬의 분비조정, 말초조직의 인슐린 수용체 증가나 인슐린 민감성의 증가 등이 제시되어 있으며<sup>11,12)</sup> 지질대사 개선작용의 기전으로서 제안된 가설은 변 중 스테롤 물질의 배설증가,<sup>9)</sup> 결장에서 섬유발효에 의한 단쇄지방산 중 특히 propionate의 생성과 이에 의한 간조직 중

콜레스테롤 합성저해,<sup>13)</sup> 식후 혈당과 인슐린 수준의 감소에 따른 간조직 콜레스테롤 합성의 저하<sup>14)</sup> 등이 있으나 섬유급원에 따른 작용기전은 앞으로 규명되어야 할 과제로 남아 있다.

지금까지 내당능의 개선이나 혈중 지질 특히 콜레스테롤의 저하 효과를 가진 것으로 보고된 식이섬유들의 공통점은 점성이 있는 수용성 섬유 (viscose soluble fiber)들이라는 점이다. 콩류에는 galactomannan 형태의 수용성 섬유가 풍부한 것으로 알려져 있으며 더욱이 콩류의 galactomannan은 다른 곡물에 존재하는 섬유들보다 점성이 높은 것으로 밝혀져 있으며<sup>15)</sup> 또한 콩류는 단백질과 지질의 함량이 높아 영양과 맛이 우수한 장점도 있다. 본 연구에서는 한국인이 상용하는 두류 중 식이섬유의 함량이 높은 대두, 검정콩, 완두콩과 두류가공 부산물인 비지를 시료로 선택하여 당뇨동물에서 식이섬유의 주요 급원으로 투여할 때 내당능, 지질대사 및 지질과산화에 미치는 영향을 관찰하고 생리적 효능의 일부 기전을 조사하였다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험동물 및 식이

본 연구에서는 전보<sup>16)</sup>에서 설명된 것과 동일한 실험동물과 실험식을 사용하였으며 실험식이의 구성은 Table 1과

Table 1. Composition of experimental diets

Ingredients	Control diet			Experimental diets		
	Cellulose	Pectin	BS	YS	GP	SCR
			g/100g	diet		
Total Carbohydrate	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00
Cornstarch	44.00	44.00	41.12	36.09	31.17	43.95
Sucrose	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
From fiber source	0.00	0.00	2.88	7.91	12.83	0.05
Total Protein	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Casein	20.00	20.00	10.20	4.09	14.23	18.02
From fiber source	0.00	0.00	9.80	15.91	5.77	1.98
Total Fat	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Soybean oil	8.00	8.00	2.59	0.00	4.20	6.85
From fiber source	0.00	0.00	5.41	8.00	3.80	1.15
AIN 76 vitamin Mix <sup>1)</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
AIN 76 mineral Mix <sup>2)</sup>	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
DL-methionine	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Dietary fiber	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

Abbreviations BS: black soybean, YS: yellow soybean, GP: green peas, SCR: soybean curd residue

1) AIN-76 vitamin mix (g/kg mix) : thiamin · HCl 0.6, riboflavin 0.6, pyridoxine · HCl 0.7, nicotinic acid 3, D-calcium pantothenate 1.6, folic acid 0.2, cyanocobalamin 0.001, retinyl palmitate 0.8 (500,000 IU/g), DL- $\alpha$ -tocopheryl acetate 20 (250 IU/g), cholecalciferol 0.0025, menaquinone 0.005, sucrose to make 1 kg

2) AIN-76 mineral mix (g/kg mix) : calcium phosphate dibasic 500, sodium chloride 74, potassium citrate monohydrate 220, potassium sulfate 52, magnesium oxide 24, manganous carbohydrate 3.5, ferric citrate 6, zinc carbonate 1.6, cupric carbonate 0.3, potassium iodate 0.01, sodium selenite 0.01, chromium potassium sulfate 0.55, sucrose to make 1 kg

같다. 즉 streptozotocin에 의해 중등도 당뇨상태가 유발된 흰쥐를 실험동물로 하여식이섬유의 급원으로서 두류의 종류를 달리하고 에너지 밀도가 동일한 실험식을 6주간 투여하였다. 대조군으로는 셀룰로오스군과 펙틴군을 사용하였으며, 실험군의 분류는 1) 정상 셀룰로오스군 (N-C), 2) 당뇨병 셀룰로오스군 (D-C), 3) 당뇨병 펙틴군 (D-P), 4) 당뇨병 검정콩군 (D-BS), 5) 당뇨병 대두군 (D-YS), 6) 당뇨병 완두콩군 (D-GP), 7) 당뇨병 비지군 (D-SCR)으로 하였다. 펙틴은 감귤류의 과일로부터 정제 추출한 성분을 사용하였으며 모든 두류는 열처리 한 후 분말화하여 식이에 첨가하였다.

**2. 실험방법**

**1) 경구 당부하 검사 (Oral glucose tolerance test, OGTT)**

실험식 급여 6주째 12시간 절식시킨 후 꼬리 정맥에서 채혈하여 공복시 혈당 수준을 측정후 50% glucose용액 (0.1 g glucose/100 g BW)을 intubation tube를 사용하여 경구 투여하고 30, 60, 120, 180분에 꼬리 정맥으로부터 채혈하여 혈당농도를 혈당계 (Accutrend GC, Boehringer Mannheim, Germany)로 측정하였다.

**2) 혈장 지질 농도의 측정**

혈중 중성지방은 Bucolo방법<sup>17)</sup>에 준한 효소법 kit (아산제약)를 사용하여 550 nm에서 그 흡광도를 측정하였으며 혈청 총콜레스테롤은 효소법<sup>18)</sup>에 의한 kit (아산제약)를 사용하여 측정하였다. HDL-콜레스테롤은 효소법<sup>19)</sup>에 의한 kit (아산제약)를 사용하여 혈청내 HDL-콜레스테롤을 제외한 콜레스테롤을 침전시켜 제거한 후 상층액을 검체로 하여 cholesterol oxidase 방법으로 cholesterol을 측정하였다. 동맥경화지수 (Atherogenic index, AI)는 효소법에 의해 측정된 총콜레스테롤과 HDL-콜레스테롤로부터 다음식에 의해 산출하였다. Atherogenic index = (total cholesterol-HDL-cholesterol)/HDL-cholesterol

**3) 간조직 중 지질 농도의 측정**

간조직 중 총지질의 추출은 Folchs방법<sup>20)</sup>에 의하여었다. 간조직 4 g을 취하여 20배 부피의 chloroform : methanol (2 : 1, v/v) 용매를 넣어 homogenizer (Kinematica AG, Switzerland)로 마쇄한 후 분액깔대기로 분리시킨 지질분획을 nitrogen gas하에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량하여 간조직 중 총지질량을 측정하였다. 중성지방의 정량은 Sidney 등의 방법<sup>21)</sup>에 의해 425 nm에서 그 흡광도를 측정하였으며 콜레스테롤의 정량은 Sale 등의 효소법<sup>22)</sup>으로 kit (아산제약)를 사용하여 측정하였다. 간조직 중 인지

질은 Takayama 등의 효소법<sup>23)</sup>으로 710 nm에서 그 흡광도를 측정하여 정량하였다.

**4) 분변 중성스테로이드 및 담즙산 배설량 측정**

중성스테로이드 정량은 Grundy 등의 방법<sup>24)</sup>에 의하여 추출한 후 Haug 등의 방법<sup>25)</sup>을 사용하여 gas chromatograph (GC)로 분석하였다. 변 중 담즙산 정량은 Grundy 등의 방법<sup>24)</sup>으로 담즙산을 추출한 후 Macdonald 등의 방법<sup>26)</sup>에 따라 효소법으로 측정하였다.

**5) 혈장과 뇨 중 지질과산화물의 측정**

혈장과 뇨 중 TBA-reactive substances (TBARS) 측정은 Tarladgis방법<sup>27)</sup>에 의하여었다. Tetramethoxypropane (TMP)을 가수분해하여 조제한 malondialdehyde (MDA) 표준용액은 혈장과 동일한 조건에서 반응시켜 TBA-MDA chromopore의 표준곡선을 얻고 이 곡선으로부터 TBA 반응물질의 양을 MDA equivalent로 산출하였다. 뇨 중 creatinine은 Jaffe 반응법에 준한 kit (아산제약)를 사용하여 측정하였다.

**6) 조직의 지질과산화물의 측정**

간과 신장조직 중 TBA-reactive substances (TBARS) 측정은 Uchiyama와 Mihara의 방법<sup>28)</sup>에 의하여었다. 535와 520 nm에서 흡광도를 측정하여 그 흡광도의 차이로부터 TBARS의 양을 조직 wet weight g당 함량으로 계산하였다.

**3. 자료의 통계처리**

당뇨병 쥐의 당질과 지질대사에 미치는 식이섬유 급원에 따른 영향의 차이는 SPSS 통계 package를 이용하여 평균치와 표준오차를 구하고, 실험군간의 차이의 유의성은 one-way ANOVA와 Duncan's multiple comparison test<sup>29)</sup>에 의해 p < 0.05 수준에서 검증하였다.

**결 과**

**1. 두류 첨가식이 당뇨병 쥐의 내당능에 미치는 영향**

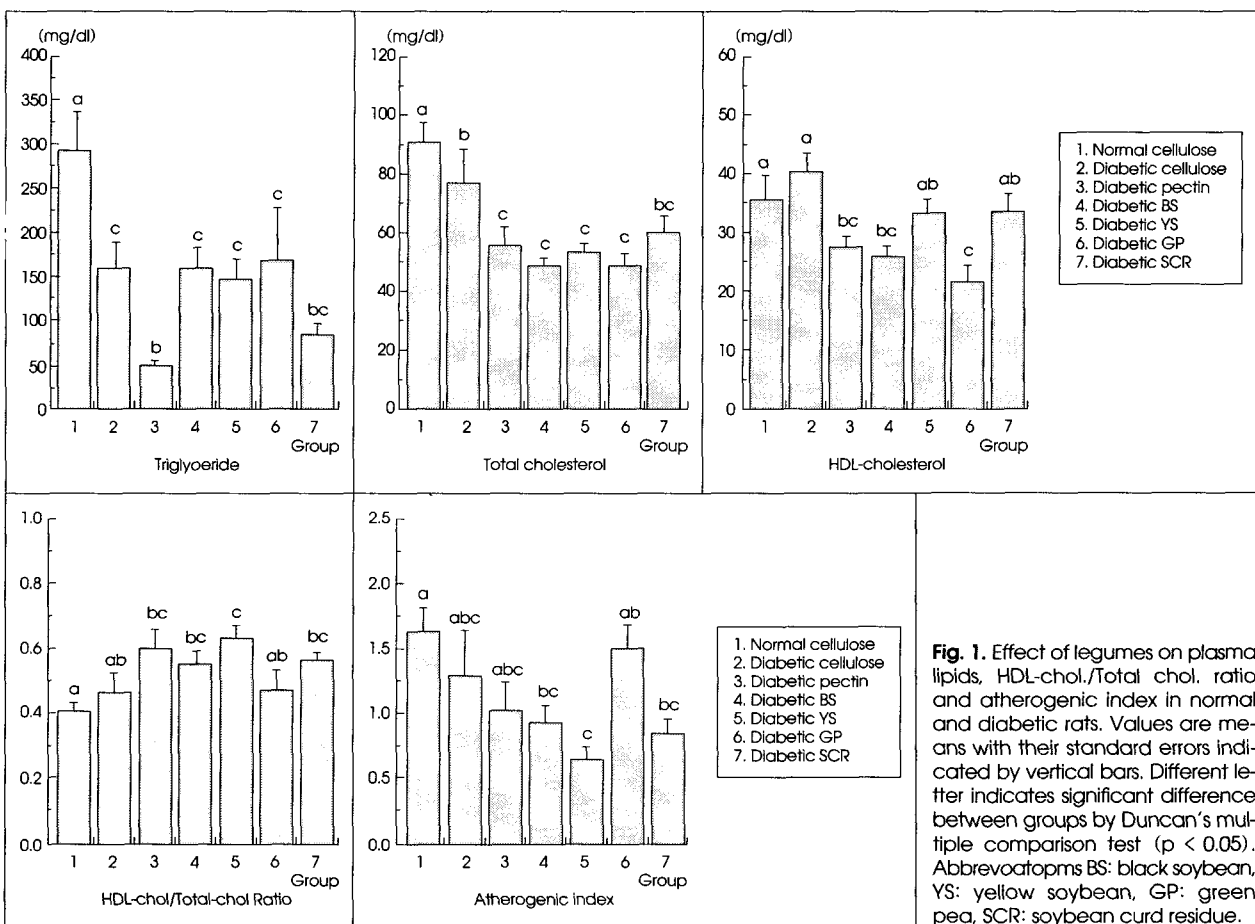
두류의 급여가 당뇨쥐의 내당능에 미치는 영향을 실험식 투여 6주째에 경구 당부하검사에 의해 관찰한 결과는 Table 2와 같다. 공복시 혈당 수준은 정상 대조군과 당뇨 펙틴군이 각각 108 mg/dl, 136 mg/dl로 다른 당뇨군들에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였으며 당뇨군에서는 대조군인 셀룰로오스군과 두류 첨가군들 사이에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 포도당 부하 후 30분에는 모든 당뇨군들이 정상군에 비해 유의적으로 높은 혈당 수준을 보였으며 당

**Table 2.** Oral glucose tolerance test in normal and diabetic rats

Groups	Fasting (mg/dl)	30 min. (mg/dl)	60 min. (mg/dl)	120 min. (mg/dl)	180 min. (mg/dl)
Normal cellulose	108.67 ± 5.70 <sup>aA</sup>	156.11 ± 5.27 <sup>bB</sup>	139.00 ± 5.76 <sup>bB</sup>	110.78 ± 11.01 <sup>aA</sup>	111.89 ± 3.18 <sup>aA</sup>
Diabetic cellulose	217.75 ± 65.74 <sup>bA</sup>	341.50 ± 48.98 <sup>cdB</sup>	339.75 ± 58.13 <sup>cdB</sup>	261.50 ± 27.45 <sup>bda</sup>	262.50 ± 79.34 <sup>bA</sup>
Diabetic pectin	136.67 ± 13.16 <sup>aA</sup>	316.42 ± 26.37 <sup>bd</sup>	340.33 ± 16.29 <sup>bb</sup>	301.50 ± 24.17 <sup>deb</sup>	296.92 ± 23.55 <sup>bb</sup>
Diabetic BS	234.92 ± 31.25 <sup>bA</sup>	414.00 ± 29.27 <sup>cdB</sup>	418.92 ± 14.20 <sup>cdB</sup>	405.58 ± 18.71 <sup>cb</sup>	368.83 ± 13.26 <sup>bcB</sup>
Diabetic YS	226.65 ± 30.13 <sup>bA</sup>	417.27 ± 33.98 <sup>cdB</sup>	406.18 ± 26.92 <sup>bcB</sup>	369.09 ± 33.25 <sup>ceb</sup>	351.55 ± 35.88 <sup>bcB</sup>
Diabetic GP	259.56 ± 31.55 <sup>bA</sup>	470.11 ± 34.25 <sup>cb</sup>	453.78 ± 30.96 <sup>cb</sup>	408.11 ± 15.77 <sup>cb</sup>	407.89 ± 20.38 <sup>cb</sup>
Diabetic SCR	227.67 ± 29.19 <sup>bA</sup>	394.58 ± 29.84 <sup>bdB</sup>	394.83 ± 30.55 <sup>bcB</sup>	355.58 ± 29.60 <sup>ceb</sup>	383.17 ± 33.74 <sup>cb</sup>

\*Mean ± S.E.

Different small superscripts in the same column indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) between groups by Duncan's multiple comparison test. Different capital superscripts in the same row indicate difference ( $p < 0.05$ ) between groups by Duncan's multiple comparison test. Abbreviations BS: black soybean, YS: yellow soybean, GP: green peas, SCR: soybean curd residue



**Fig. 1.** Effect of legumes on plasma lipids, HDL-cholesterol/Total cholesterol ratio and atherogenic index in normal and diabetic rats. Values are means with their standard errors indicated by vertical bars. Different letter indicates significant difference between groups by Duncan's multiple comparison test ( $p < 0.05$ ). Abbreviations BS: black soybean, YS: yellow soybean, GP: green pea, SCR: soybean curd residue.

노균에서는 완두군 (470 mg/dl)이 다른 당뇨군에 비해 높은 혈당 수준을 보였고 60분에서도 여전히 정상군에 비해 당뇨군들의 혈당치가 높았으며 완두군이 가장 높은 혈당 수준을 유지하고 있었다. 120분에서는 모든 군의 혈당 수준이 감소되기 시작하였고 군간의 비교는 60분의 경우와 유사하였다. 포도당 부하 후 180분에는 모든 당뇨군들이 정상군에 비해 유의적으로 높은 수준이었으며 당뇨군들에서는 대조군인 셀룰로오스군과 펙틴군에 비해 비지군과 완두

군이 유의적으로 높은 혈당치를 보였다.

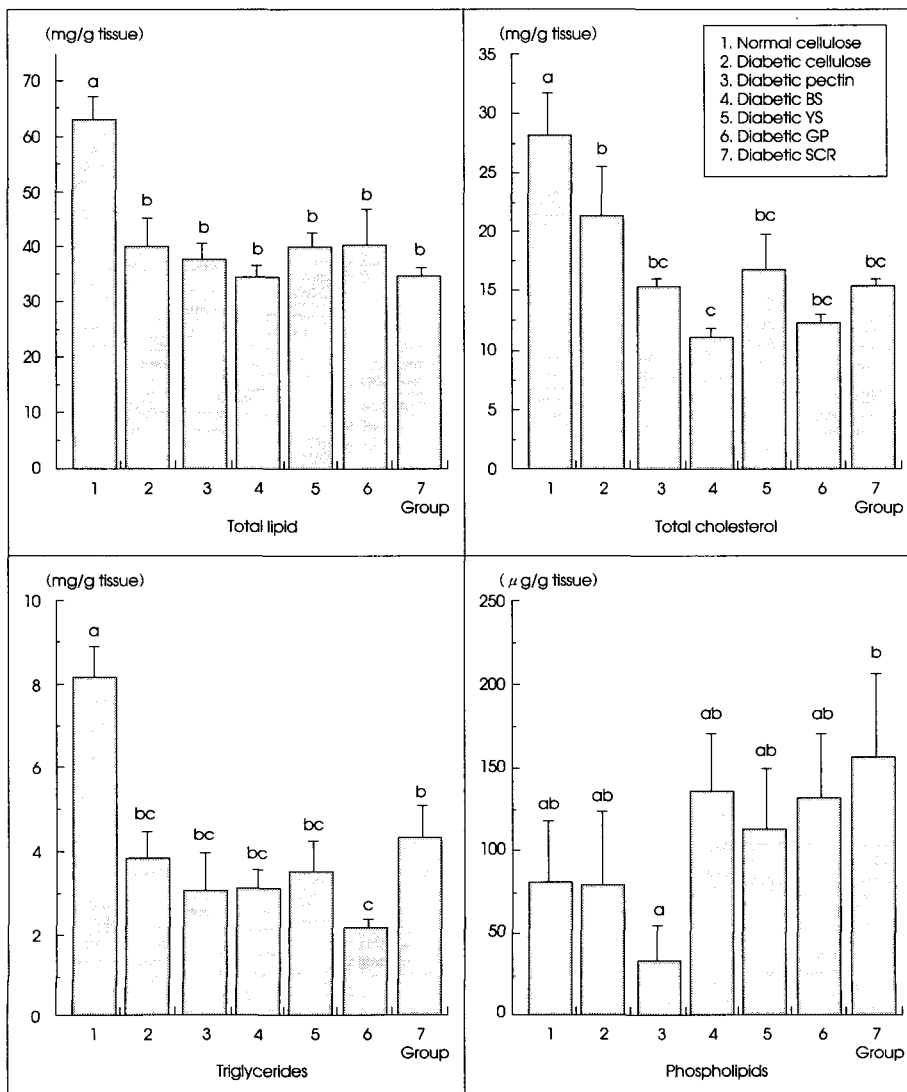
각 군에 있어서 시간별 혈당수준의 변화를 보면 정상 셀룰로오스군은 포도당 투여 후 30분에서 혈당치가 가장 높게 증가하였다가 120분에서 유의적인 감소를 보여 공복시 수준으로 되돌아 왔으며 당뇨 셀룰로오스군은 30분에 혈당치가 가장 높았고 시간이 지남에 따라 유의적인 차이 없이 서서히 감소하여 180분에는 공복시 혈당 수준 보다 높았으나 모든 당뇨군중 가장 낮은 혈당곡선을 나타내었다.

당뇨 검정콩군은 30분에 유의적인 증가를 보이다가 60분과 120분에 조금 더 증가하였고 180분에는 유의적인 차이 없이 감소하였다. 당뇨 대두군과 완두군은 포도당 투여 후 30분에 혈당치가 가장 높았으며 시간이 지남에 따라 유의적인 차이 없이 서서히 감소하였다. 비지군은 30분에 유의적인 증가를 보였으며 60분에 혈당 수준이 가장 높았고 120분에는 조금 감소하였다가 180분에는 오히려 약간 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다. 팥군은 60분에 가장 높은 혈당치를 보였으며 120분과 180분에 유의적인 차이가 감소하였으며 모든 두류급여 당뇨군들에 비해 비교적 양호한 혈당곡선을 보였다.

**2. 두류 첨가식이 당뇨병 쥐의 지질대사에 미치는 영향**

혈장지질, 혈장 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤농도, HDL-콜레스테롤/총콜레스테롤 및 동맥경화지수 (AI)는 Fig. 1과 같다. 혈장 중성지방의 농도는 모든 당뇨

동물에서 정상 동물에 비해 유의적으로 낮은 수준을 보였다. 당뇨 동물에서는 비지군(84.8 mg/dl), 팥군 (50.1 mg/dl)이 완두군 (168.4 mg/dl), 셀룰로오스군 (159.4 mg/dl), 검정콩군 (158.5 mg/dl), 대두군 (146.1 mg/dl)에 비해 낮은 수준을 나타냈으며 팥군은 다른 군들에 비해 유의적으로 낮은 농도를 보였다. 혈장 콜레스테롤의 농도도 모든 당뇨 동물군들이 정상 동물에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였고 당뇨동물에서는 셀룰로오스군 (76.8 mg/dl)에 비해 검정콩군 (48.6 mg/dl), 대두군 (53.2 mg/dl), 완두군 (48.9 mg/dl), 팥군 (55.9 mg/dl)에서 유의하게 낮아 혈장 콜레스테롤의 저하효과를 나타냈다. 혈장 HDL-콜레스테롤의 농도는 정상 셀룰로오스군 (35.7 mg/dl)과 당뇨 셀룰로오스군 (40.2 mg/dl)에 비해 검정콩 투여군, 완두 투여군, 팥 투여군에서 각각 26.1 mg/dl, 21.8 mg/dl, 27.4 mg/dl로 유의하게 낮은 수준을 보였으며 대두군 (33.4



**Fig. 2.** Effect of legumes on hepatic lipids in normal and diabetic rats. Values are means with their standard errors indicated by vertical bars. Different letter indicates significant difference between groups by Duncan's multiple comparison test ( $p < 0.05$ ). Abbreviations BS: black soybean, YS: yellow soybean, GP: green pea, SCR: soybean curd residue.

mg/dl)과 비지군 (33.6 mg/dl)은 완두군 (21.8 mg/dl)에 비해 유의적으로 높은 수준을 보였다. 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤의 비율은 정상 셀룰로오스군 (0.40)이 당뇨 셀룰로오스군 (0.46)에 비해 낮은 경향이며 당뇨군에서는 모든 두류군들에서 높은 경향을 나타내었다. 두류군들 중 대두군 (0.63)이 가장 높은 수준을 나타내었으며 대조군인 셀룰로오스군에 비해 유의적으로 높은 비율을 나타내었다. 동맥경화의 발병 지표인 동맥경화지수는 정상 셀룰로오스군 (1.63)과 당뇨 셀룰로오스군 (1.29)간에 뚜렷한 차이가 없었으며 당뇨군중 검정콩군, 비지군, 대두군의 동맥경화지수는 각각 0.93, 0.84, 0.65로서 셀룰로오스군에 비해 유의적으로 저하된 수준이었다. 이처럼 두류첨가군의 동맥경화지수는 펙틴군 (1.02)의 경우와 유의적 차이가 없는 수준의 감소경향을 나타내었다.

간조직 지질 간조직의 총지질, 총콜레스테롤, 중성지방, 인지질의 함량은 Fig. 2와 같다. 총지질의 양은 정상군이 모든 당뇨군에 비해 유의적인 수준으로 높았으며 당뇨군에서는 군간의 유의적인 차이가 없었다. 총콜레스테롤의 수준에서도 정상군이 당뇨군에 비해 유의적으로 높은 수준이었으며 당뇨군에서는 검정콩군 (11.2 mg/g tissue)만이 셀룰로오스군 (21.3 mg/g tissue)에 비해 유의적으로 낮은 수준을 나타내었다. 간조직 중 중성지방의 수준은 정상군이 당뇨군에 비해 유의적인 수준으로 높았으며 당뇨군에서는 셀룰로오스군과의 유의적인 차이는 나타나지 않았으며 비지군 (4.4 mg/g tissue)이 완두군 (2.2 mg/g tissue)에 비해 유의적으로 높은 수준이었다. 인지질의 수준은 두류 첨가군들에서 모두 높은 수준이었으며 특히 비지군이 펙틴군

에 비해 유의적으로 높은 수준이었다. 당뇨 펙틴군은 모든 군 중에서 가장 낮은 인지질 수준을 나타내었으며 대조군인 셀룰로오스와의 유의적인 차이는 없었다.

변 중 스테롤과 담즙산 분변 중 중성 스테롤 및 담즙산의 배설량은 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 변 중 콜레스테롤의 배설량은 펙틴군 (1074.3  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ )이 가장 높은 배설량을 나타내었다. 두류군 중에서는 대두군 (581.9  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ )과 비지군 (583.5  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ )이 높은 수준이었으나 유의적이지 않았으며 검정콩군 (329.8  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ )과 완두군 (309.5  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ )은 정상 대조군과 비슷한 수준의 변 중 콜레스테롤 배설량을 나타내었다. 또한 변 중 coprostanol의 배설량은 정상 셀룰로오스군 (146.3  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ )과 당뇨 셀룰로오스군 (155.6  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ )에서 낮은 수준을 보였으며 당뇨군에서는 두류첨가군들과 펙틴첨가군이 셀룰로오스군에 비해 2~4배 이상의 배설증가를 보였다. 그 중 당뇨 검정콩군 (660.7  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ ), 비지군 (755.4  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ ), 펙틴군 (633.7  $\mu\text{g}/100\text{ gBW/d}$ )은 셀룰로오스군에 비해 유의적으로 높은 coprostanol의 배설량을 보였다. 변 중 담즙산의 배설량은 정상군 (4.3 mg/100 gBW/d) 및 당뇨 셀룰로오스군 (7.6 mg/100 gBW/d)에 비해 당뇨 검정콩군 (18.7 mg/100 gBW/d)에서 유의적으로 가장 높았으며 대두군 (14.7 mg/100 gBW/d)도 정상군에 비해 유의적으로 높은 수준이었으며 비지군 (8.6 mg/100 gBW/d), 완두군 (9.9 mg/100 gBW/d), 펙틴군 (3.6 mg/100 gBW/d)은 대조군과 유의적인 차이가 없었다.

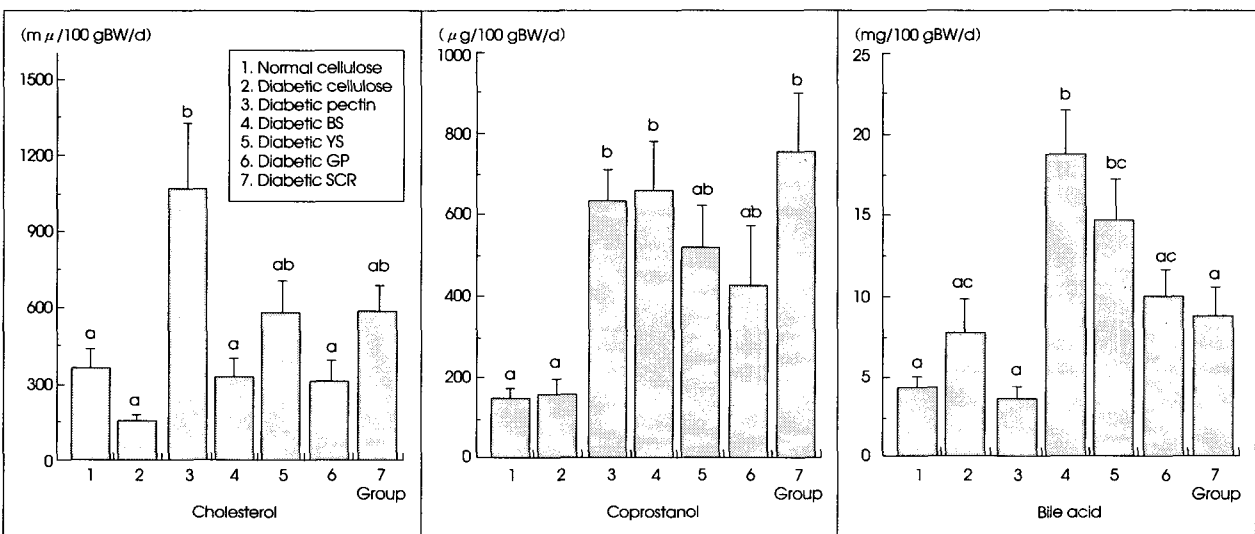


Fig. 3. Effect of legumes on excretion of fecal steroids in normal and diabetic rats. Values are means with their standard errors indicated by vertical bars. Different letter indicates significant difference between groups by Duncan's multiple comparison test ( $p < 0.05$ ). Abbreviations BS: black soybean, YS: yellow soybean, GP: green pea, SCR: soybean curd residue.

**3. 두류 첨가식이 당뇨병 쥐의 지질과산화에 미치는 영향**

혈장과 뇨 중 지질과산화물 두류 투여 6주 후 실험쥐의 혈장과 뇨 중의 지질과산화물 함량은 Table 3과 같다. 혈장 중의 지질과산화물 수준은 당뇨 검정콩군과 당뇨 완두군에서 유의적으로 낮은 수준의 지질과산화 값을 보였으며 정상군과 나머지 당뇨군들은 다소 높은 값을 나타내었으나 유의적인 차이는 없었다. 뇨 중 체중 100 g당 TBARS 배설량은 모든 당뇨군에서 정상 동물에 비해 10배~20배의 높은 수준을 나타내었으며 creatinine 배설량 당 TBARS 수준은 당뇨 셀룰로오스군에서 유의적으로 높았다.

조직 중 지질과산화물 조직 중의 지질과산화물 함량은

**Table 3.** Levels of TBA-reactive substances in plasma and urine of normal and diabetic rats

Groups	Plasma (nmole/ml)	Urine	
		(nmole/100 gBW/d)	(nmole/mmol creatinine)
Normal cellulose	3.99 ± 0.46 <sup>a</sup>	25.51 ± 0.35 <sup>a</sup>	3.34 ± 0.43 <sup>a</sup>
Diabetic cellulose	4.43 ± 0.36 <sup>a</sup>	457.37 ± 120.53 <sup>bc</sup>	8.59 ± 2.87 <sup>b</sup>
Diabetic pectin	3.12 ± 0.21 <sup>a</sup>	235.90 ± 30.33 <sup>c</sup>	3.54 ± 0.40 <sup>a</sup>
Diabetic BS	2.59 ± 0.26 <sup>bc</sup>	392.58 ± 65.39 <sup>bc</sup>	4.33 ± 0.56 <sup>a</sup>
Diabetic YS	3.74 ± 0.55 <sup>bc</sup>	500.52 ± 85.18 <sup>c</sup>	3.87 ± 0.70 <sup>a</sup>
Diabetic GP	2.16 ± 0.27 <sup>b</sup>	426.90 ± 53.80 <sup>b</sup>	3.52 ± 0.68 <sup>a</sup>
Diabetic SCR	3.18 ± 0.67 <sup>ab</sup>	336.13 ± 33.36 <sup>bc</sup>	4.31 ± 0.46 <sup>a</sup>

\*Mean ± S.E.

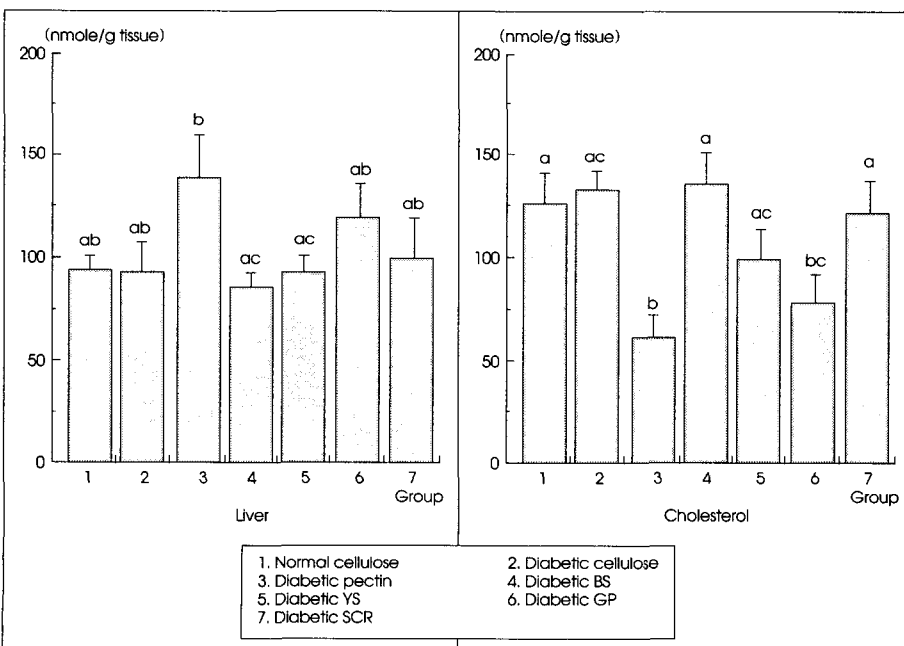
Different superscripts in the same column indicate significant difference (p < 0.05) between groups by Duncan's multiple comparison test. Abbreviations BS: black soybean, YS: yellow soybean, GP: green peas, SCR: soybean curd residue

Fig. 4와 같다. 간조직 중의 지질과산화물수준은 정상군과 당뇨군간에는 뚜렷한 유의적 차이가 나타나지 않았으나 당뇨군에서 펙틴군 (138.5 nmole/g tissue)에 비해 검정콩군(85.9 nmole/g tissue)과 대두군 (93.0 nmole/g tissue)이 유의적으로 낮은 수준의 지질과산화물을 함유하였다. 신장조직 중의 TBARS 수준도 정상군과 당뇨군간의 뚜렷한 차이가 나타나지 않은 반면 당뇨군에서 셀룰로오스군 (132.7 nmole/g tissue)에 비해 완두군 (78.1 nmole/g tissue)과 펙틴군 (60.9 nmole/g tissue)에서 유의적으로 낮은 수준의 지질과산화물 값을 나타내었다.

**고 찰**

**1. 두류 첨가식이 당뇨병 쥐의 내당능에 미치는 영향**

당뇨병에서 식후 혈당의 급격한 상승에 의한 고혈당증 발생은 인슐린의 분비와 작용, 위장관 호르몬의 작용과 장내 당흡수 등의 여러 요인들이 복합적으로 작용하는 복잡한 과정이며 당뇨병의 조절과 만성합병증의 방지를 위해 식후 고혈당증의 엄격한 조절이 강조되고 있다. 식이섬유의 혈당 반응에 대한 소화관에서의 작용기전은 위배출시간의 지연, 장 통과시간의 지연, 공장과 회장의 상피세포의 미세유모를 통과하는 단당류의 흡수 속도의 지연 등이 관련되는 것으로 보고되었다.<sup>30)</sup> Torsdottir 등<sup>31)</sup>은 해조류의 일종인 algae로부터 추출한 alginate fiber가 점성의 젤을 형성하여 위 배출시간을 지연시킴으로써 혈당을 개선시킴을 증명하였다. 한편 Blackburn 등<sup>32)</sup>은 위 배출시간과는 무관



**Fig. 4.** TBA-reactive substances status in liver & kidney tissues of normal and diabetic rats. Values are means with their standard errors indicated by vertical bars. Different letter indicates significant difference between groups by Duncan's multiple comparison test (p < 0.05). Abbreviations BS: black soybean, YS: yellow soybean, GP: green pea, SCR: soybean curd residue.

하게 guar gum과 포도당용액을 함께 공장에 주입하여 장 내용물의 점성을 증가시켜 포도당의 장 흡수속도를 지연시킴으로써 혈당개선에 효과적임을 입증하였다. 점성의 gum은 장 통과시간을 지연시킴으로써 혈당상승을 감소시킨다고 알려져 있으며 몇몇 연구자들<sup>11,33)</sup>은 oat gum과 펙틴 등의 수용성 식이섬유가 소장의 unstirred water layer의 두께를 증가시킴으로써 포도당의 장 흡수를 지연시키며 그 효과는 점성에 비례한다고 보고하였다. 불용성 식이섬유인 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스의 주성분인 uronic acid가 혈당지수와 유의한 역상관계가 있으므로 혈당 저하효과에 불용성 식이섬유가 주된 작용을 한다는 사실이 제안되었다.<sup>34)</sup> 비지는 총식이섬유 함량이 65%에 달하는 고식이섬유 물질이며 그 중 대부분의 섬유소가 불용성섬유라는 보고<sup>35)</sup>와 44개 식품들의 총 식이섬유 함량과 혈당 지수간의 회귀곡선으로부터 산출한 혈당지수 중 비지의 혈당지수가 6으로 가장 낮았다는 보고<sup>33)</sup>들이 이를 뒷받침한다. 비지의 주재료인 콩에는 상당량의 lectin, saponin, phytate, tannin 등의 antinutrient가 포함됨으로써 혈당지수를 낮추어 당뇨병 환자의 식사에 첨가할 때 인슐린 요구량의 증가없이 당질대사에 유의한 영향을 미치며<sup>36)</sup> 콩의 셀룰로오스와 uronic acid 함량은 곡류보다 더 높으며 다른 식품보다 더 낮은 혈당반응을 나타낸다고 보고된 바 있다.<sup>37)</sup> 본 연구에서 경구 당부하 검사에 의한 당뇨쥐의 혈당변화를 살펴보면 공복시에는 두류 첨가군의 혈당수준이 당뇨 셀룰로오스군의 혈당치와 유의적 차이가 없었는데 반해 당부하 후 180분까지는 모든 두류 첨가군이 셀룰로오스와 펙틴 첨가군에 비해 높게 나타남을 관찰할 수 있었다. 그러나 두류 중 대두, 완두, 검정콩군은 당부하 후 30분과 60분에 증가된 혈당치를 당부하 후 180분에 각각 15.8%, 13.4%, 11.1% 낮춤으로써 펙틴군의 6.3%에 비해 더 큰 혈당강하 효과를 나타내었다. 두류의 혈당강하 효과는 전보에서 관찰된 장통과시간과도 연관이 있을 것으로 추정된다. 즉 두류의 첨가가 장통과시간을 단축시킴으로써 당뇨쥐의 소화와 흡수효율을 감소시켜식 후 혈당조절에 영향 미칠 가능성이 있다고 본다. 그러므로 두류의 보충양을 증대하고 투여기간을 연장할 경우 당뇨 동물에서의 내당능 개선 효과는 보다 뚜렷하게 나타날 수도 있을 것이다.

## 2. 두류 첨가식이 당뇨병 쥐의 지질대사에 미치는 영향

당뇨상태에서 발생하는 고지혈증과 혈중 HDL-콜레스테롤 농도의 감소로 인해 당뇨병 환자에 있어 미세혈관 질환의 발병률은 정상인에 비해 2~4배 이상 높으며 이들 질환은 당뇨로 인한 사망의 75~80%를 차지한다고 보고되고

있다.<sup>38)</sup> 식이섬유가 혈중 지질농도 특히 콜레스테롤 농도에 미치는 효과에 대해서는 많은 보고<sup>39-41)</sup>가 있으며 그 효과는 섬유소의 종류에 따라 차이가 있는 것으로 알려졌다. Ebihara 등<sup>42)</sup>은 guar gum을 섭취시킨 쥐의 소장으로부터 콜레스테롤과 중성지방의 흡수가 변화됨을 관찰하고 수용성 섬유가 콜레스테롤의 흡수에 중요한 역할을 함으로써 혈장 콜레스테롤 농도, 간콜레스테롤과 담즙산 합성, 변 중 콜레스테롤의 배설 등에 영향을 준다고 밝혔다. 귀리겨 (oat bran)<sup>43)</sup>와 콩 (bean)<sup>8)</sup>에 존재하는 수용성 섬유들의 혈중 콜레스테롤 저하 효과도 보고되었다. 이와 같은 결과들로부터 식이섬유 중 gel을 형성하는 guar gum, pectin, oat bran 등 점성이 높은 수용성 식이섬유들이 혈중 지질의 개선에 효과적임을 알 수 있으며 따라서 당뇨병 환자의 지질대사 개선에 수용성 섬유의 다량 섭취가 유익할 것으로 추정된다. 본 연구에서 두류를 포함한 실험식을 당뇨쥐에 6주간 투여한 결과 혈중 중성지질의 수준은 펙틴군이 유의적으로 가장 낮은 값을 보였으며 비지 투여군은 펙틴군과 유사한 수준의 값을 나타내었다. 혈중 콜레스테롤에 있어서도 모든 두류군들이 불용성 식이섬유인 셀룰로오스에 비해 전반적으로 낮은 경향을 보였으며, 또한 펙틴군과 같은 수준의 유의한 혈중 콜레스테롤 저하효과를 나타내어 주목할 만하다. 이 중 검정콩, 완두, 대두군은 펙틴군보다 더 낮은 수준의 혈중 콜레스테롤 농도를 나타내었으며 HDL-콜레스테롤 농도에 미치는 이들 두류의 영향도 총콜레스테롤에 대한 것과 유사한 경향을 나타내었다. 사람과는 달리 흰쥐에서는 HDL이 혈중 콜레스테롤의 중요한 운반체인 동시에 간으로의 콜레스테롤 역수송을 거의 전담하고 있으므로 혈장 총콜레스테롤 농도가 감소함에 따라 HDL-콜레스테롤도 또한 감소하게 된다. 본 실험에서 HDL-콜레스테롤과 총콜레스테롤에 대한 비율은 두류첨가군들이 펙틴군과 유사한 수준의 값을 나타내었다. 동맥경화지수는 그 수치가 높을수록 관상동맥질환과 당뇨병의 발병위험이 높아지며, 두류첨가군들 중 검정콩, 대두, 비지군은 셀룰로오스 또는 펙틴군보다도 더 낮은 수치를 나타내었다. 이처럼 당뇨 상태에서 동맥경화지수가 오히려 감소된 것은 두류의 첨가로 인해 당뇨쥐의 HDL-콜레스테롤이 증가되고, 또한 혈장 LDL-콜레스테롤의 조직으로의 이용이 촉진된 결과 총콜레스테롤이 감소된 것으로 사료되어진다. Goswamy 등<sup>44)</sup>의 실험에서 당뇨쥐의 간조직은 정상쥐의 간조직보다 총지질은 감소하고 인지질과 중성지방은 증가한다고 보고한 바 있으며, Hundemer 등<sup>45)</sup>은 콜레스테롤 식이에 soybean fiber, rice bran을 7%씩 첨가한 결과, 간과 혈장의 총 콜레스테롤은 감소했으나 HDL-콜레스테롤 농도에는 변화가



없었음을 보고하였다. 본 실험에서는 당뇨쥐들에서 간 조직 중 총지질량이 정상쥐에 비해 유의적으로 감소한 것은 당뇨 동물에서 체중감소와 함께 조직 중 지방의 소모가 많이 일어났기 때문이라 사료된다. 중성지방은 Goswamy 등<sup>44)</sup>이 당뇨쥐에 있어서 중성지방 수준은 정상쥐의 수준보다 높다고 보고한 결과와는 달리 모든 당뇨군에서 정상군에 비해 전반적으로 저하되었는데 이는 조직 중 총지질의 저하에 따른 현상으로 보인다. 당뇨군에서 완두군의 경우 중성지방 수준에서 유의적인 저하를 보인 것은 혈당 농도 증가와도 관련이 있을 것이다. 즉 두류첨가군들 중에서 완두군은 공복시 혈당치가 가장 높았으며 내당능 검사시에도 혈당치의 증가가 뚜렷하였다. 이것은 혈중의 글루코오스가 세포내로 효과적으로 유입되지 못한 결과로 생각되며 그로 인하여 조직중의 중성지방이 에너지원으로써 보다 많이 이용되어 소모된 결과로 해석된다. 당뇨쥐의 간조직 중 총 콜레스테롤 수준은 모든 두류군들에서 펙틴과 비슷한 수준의 낮은 농도를 보였으며 이것은 검정콩군의 분변 담즙산의 높은 배설과도 연관이 있는 결과로 해석된다. 그리고 두류 중 비지의 간조직 중 인지질의 수준이 높은 것은 비지군에서 총지질과 중성지방의 수준이 높았던 것과 같은 경향을 나타내었다. 식이섬유는 대장에서 생리적인 chromatography column으로 작용하여 젤과와 이온교환력으로 담즙산의 재흡수를 감소시킴으로써 혈청 지질을 낮춘다고 보고된 바 있다.<sup>46)</sup> 대부분의 연구 결과에서, 정제된 식이섬유소의 섭취 증가는 변 중 중성 스테로이드의 배설 증가에 별로 영향을 미치지 않으며 그 대신 변 중 담즙산의 배설량을 증가시켜 혈 중 콜레스테롤의 농도를 저하시킨다는 것이 일반적인 견해이다. 젤을 형성하는 점성있는 수용성 식이섬유의 혈중 지질의 저하효과는 변 중 스테로이드 배설의 증가, 결장 박테리아에 의한 발효산물인 propionate의 생성, 식후 혈당 및 인슐린 농도의 저하와 지질 흡수 속도 및 장소의 변화로 인한 지단백의 분비 형태와 이화 작용의 변화 등과 관련되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 두류의 투여가 당뇨동물의 지질대사에 미치는 기전의 일부를 알아보고자 중성스테로이드와 담즙산의 대변 중 배설량을 측정된 결과 두류 첨가군들 중에서 대두와 비지군이 펙틴과 유사한 수준의 변 중 콜레스테롤 배설 증가를 보였다. 또 다른 중성 스테로이드인 coprostanol 배설량은 모든 두류군에서 펙틴과 같은 수준의 높은 배설량을 보였다. Costa 등<sup>46)</sup>은 baked-bean 식이를 급여한 군에서 변 중 coprostanol 배설량이 높았다고 보고하였고 Dabai 등<sup>8)</sup>도 5가지 종류의 두류를 실험동물에 투여하여 두류의 첨가로 인한 coprostanol의 배설 증가를 보고하였다. 두류의 첨가가 변중 담

즙산 배설에 미치는 영향은 특히 검정콩과 대두의 담즙산 배설 효과가 펙틴의 경우보다 훨씬 뛰어남이 관찰되었다. 이러한 결과는 guar gum과 펙틴의 섭취 시 혈 중 콜레스테롤의 감소와 더불어 담즙산 배설 증가를 보고한 Takehisa 등<sup>47)</sup>의 보고와도 같은 경향을 보였다. 따라서 두류 섬유들은 전반적으로 장내에서 생리적인 흡착물질로 작용하여 콜레스테롤과 담즙산의 흡수를 억제함으로써 콜레스테롤의 장간순환을 방해할 수 있는 것으로 보인다. 특히 본 연구에서 정제 수용성 식이섬유인 펙틴보다 우수한 콜레스테롤 저하효과를 나타낸 검정콩은 가장 많은 양의 스테로이드 물질을 변중으로 배설함으로써 혈장과 간조직 중의 콜레스테롤 저하작용에 기여한 것으로 추정된다.

### 3. 두류 첨가식이 당뇨병 쥐의 지질과산화에 미치는 영향

Sato 등<sup>48)</sup>이 당뇨병 환자의 혈장에서 지질과산화물이 증가되어 있음을 발견한 이래 당뇨병에서 지질과산화가 증가된다는 것이 여러 연구들에서 밝혀지게 되었다. Morel 등<sup>49)</sup>에 의하면 streptozotocin 유발 당뇨쥐에서 지질과산화물이 증가되고 혈장 지단백 중 VLDL과 LDL의 산화가 촉진된 결과 유리기 반응에 의한 세포 독성이 나타났다고 하였다. 당뇨병에서의 이러한 지질과산화의 증가 정도는 당화혈색소 및 혈당의 조절 정도, 유병기간, 연령, 혈관 합병증의 유무 등과 상관관계가 있으며 이러한 지질과산화의 증가는 생체막의 구조 및 기능의 변화 등을 통하여 당뇨병의 합병증 발생과 연관되어 있음을 보고되었다.<sup>50)</sup> 본 실험에서는 지질과산화 정도의 지표로 thiobarbituric acid 반응물질(TBARS)을 MDA 당량으로 측정하였다. 당뇨 셀룰로오스군의 혈중 지질과산화물의 농도가 정상 셀룰로오스군에 비해 높은 수준이었는데 이것은 당뇨상태에서 혈중 지질과산화물의 농도가 유의적으로 증가한다는 결과를 보인 다른 연구들<sup>50,51)</sup>과 유사하다. 당뇨 유발쥐의 3일, 1, 2, 4, 6주일째 혈장, 뇨 및 조직의 지질과산화물 농도를 측정할 실험에서 당뇨 초기에는 신장 사구체의 여과율의 증가로 인해 지질과산화물의 배설이 증가하였으나 점차 신장의 기능저하가 일어나면서 혈중에 지질과산화물의 축적이 일어난다고 보고하였다.<sup>52)</sup> 그러나 당뇨군에서 두류의 경우 검정콩군과 완두군이 셀룰로오스군에 비해 지질과산화물의 농도가 낮았는데 이것은 두류의 높은 항산화효과 때문이라 사료되며 그 근거로는 배은아 등<sup>53)</sup>이 노란콩, 밤콩, 검정콩, 소립검정콩 등 4종의 국산콩을 시료로 하여 isoflavone 함량과 항산화효과를 비교했을때 검정콩의 항산화효과가 가장 높았다고 보고한 결과를 들 수 있다. 반면에 뇨 중의 지질과산화물의 농도는 정상군에 비해 당뇨군에서 유의적으로 높게

나타났다. 당뇨 유발쥐의 이러한 뇨 중 지질과산화물의 증가는 HPLC법을 이용한 Gallaher 등<sup>54)</sup>의 결과와 일치한다. 본 실험에서 관찰된 뇨 중 지질과산화물의 증가는 체내에서 비정상적으로 증가된 지질과산화물을 제거시키려는 보상기전으로서 신장의 기능항진에서 기인한 것으로 보이며 결국 뇨 중의 지질과산화물이 증가되었다는 것은 당뇨병 상태에서 체내의 지질과산화물이 증가되었음을 제시한다고 볼 수 있다. 그러나 당뇨군에서 두류와 펙틴을 첨가한 군의 뇨에서는 셀룰로오스군에 비해 유의적으로 낮은 지질과산화물의 농도를 나타내었는데 이는 두류와 펙틴의 첨가로 당뇨증세가 어느 정도 완화됨에 따라 혈장의 과산화물 농도가 낮아진 것이라 사료된다. 조직 중 지질과산화의 증가 정도는 조직에 따라 다소 차이가 났다. 당뇨유발 후 6주째 희생한 당뇨쥐에서 지질과산화물 항산화 방어능력을 증가함으로써 간조직 중에 축적되는 지질과산화물의 수준이 높아진다고 보고<sup>49)</sup>하였는데, 본 실험에서는 간 조직 중의 지질과산화물 함량이 정상군과 당뇨군 간에 유의적 차이가 나타나지 않았다. 이것은 두류와 정제섬유소의 첨가로 당뇨증세가 호전되어 간조직에서 지질과산화 방어기전이 작용함으로써 조직내 과산화물들이 효과적으로 제거된 것으로 보인다. 신장조직의 지질과산화물의 수준은 펙틴군에서 유의적으로 낮은 수준을 나타내었는데 이것은 수용성 식이섬유인 펙틴군의 당뇨증세 호전도에 의한 결과인 것으로 추측된다. 신장조직 중의 지질과산화는 다른 조직에 비해 비교적 일찍부터 시작되는 것으로 보이며, 지질과산화의 빠른 진행으로 인해 신장에 병태적 질환을 심화시키는 것으로 사료된다. 또한 당뇨쥐의 신장에서는 당뇨병 발병 초기에 사구체 여과율이 증가되며 유병기간이 길어지면서 결국에는 신부전 (kidney failure)을 일으키게 되는데 이것의 일차적인 원인으로서는 사구체 기저막의 비후와 혈관간세포 (mesangial cell)의 여과 잔여물 처리 기능의 감소를 들 수 있다.

## 결 론

한국인이 상용하는 두류 3종 (대두, 검정콩, 완두)과 비지에 대해 당뇨병 환자의 치료식을 위한 고식이섬유 보충물로서의 가능성을 실험 조사하였다. 실험동물은 streptozotocin에 의해 당뇨상태가 유발된 흰쥐를 사용하였으며 실험식은 각 두류로부터 8% 수준의 식이섬유가 공급되도록 하고 에너지 밀도가 동일하도록 열량영양소 급원을 조정하였다. 대조군은 정상군 셀룰로오스, 당뇨군 셀룰로오스, 당뇨군 펙틴 투여군으로 하였다. 실험식을 6주간 투여한 후 두류가 당뇨쥐의 당질과 지질대사에 미치는 영향을 조사하

여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 검정콩, 대두, 비지군은 경구당부하 검사에서 공복시 혈당수준이 펙틴군에 비해서는 높지만 대조군인 셀룰로오스군과 유사한 수준이었으며 두류급여로 인한 내당능 개선 효과는 관찰되지 않았다.

2) 두류의 첨가는 당뇨쥐의 혈중 콜레스테롤을 현저하게 낮추었으며 그 저하효과의 정도는 펙틴과 유사하였으며 간조직 중 지질총량과 콜레스테롤 및 중성지질에 미치는 영향도 펙틴과 유사한 효과를 나타내었다.

3) 두류의 급여는 변 중 콜레스테롤, coprostanol, 담즙산의 배설을 전반적으로 높이는 효과를 보였다. 변 중 콜레스테롤의 배설량은 대두와 비지군에서 높았으나 펙틴군에 비해서는 낮았다. 변중 coprostanol 배설은 모두 두류군에서 펙틴군 만큼 높았고 담즙산의 배설은 검정콩과 대두급여군에서 펙틴군보다 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ).

4) 당뇨쥐의 혈장과 뇨 중 지질과산화물의 수준은 두류 첨가군에서 셀룰로오스군보다는 낮고 펙틴군과는 유의적 차이 없이 유사한 수준이었으며 검정콩과 대두 첨가군에서는 간조직 중의 지질과산화물 수준이 펙틴군보다 유의적으로 낮은 수준이었다 ( $p < 0.05$ ).

이상의 결과로부터 당뇨쥐에 있어 두류의 첨가로 인한 내당능 개선 효과는 나타나지 않았으나 두류 중 검정콩은 당뇨쥐에서 혈중 콜레스테롤 저하효과와 변 중 담즙산의 높은 배설을 나타내었다. 또한 두류의 첨가는 혈장과 뇨 중의 지질과산화물 저하효과를 나타내었으며 특히 검정콩과 대두는 간조직 중의 지질과산화물 수준을 낮추는데 효과적이었다. 따라서 검정콩과 대두는 당뇨쥐의 지질대사의 개선을 위해서 정제섬유 셀룰로오스와 펙틴에 비해 맛에 대한 호응도가 높고 또 값싼 식이섬유 보충물의 소재로서의 효용 가치가 있을 수 있다고 판단된다.

## 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: 472-477, 1997
- 2) Vuksan V, Korsic M, Posavi AA. Metabolic diseases and the high-fiber diet. *Lijec Vjesn* 119: 125-127, 1997
- 3) Krashenitsa GM, Botvineva LA, Mogila AV. Effectiveness of increased contents of dietary fiber in early stages of non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Vopr Pitan* 4: 35-37, 1994
- 4) O'Dea K, Traianedes K, Ireland P, Niall M, Sadler J, Hopper J, De Luise M. The effects of diet differing in fat, carbohydrate, and fiber on carbohydrate and lipid metabolism in type II diabetes. *J Am Diet Assoc* 89: 1076-1086, 1989

- 5) Jenkins DJA, Ghafari H, Wolever TMS, Taylor RH, Barker HM, Fielden H, Jenkins AL, Bowling AC. Relationship between the rate of digestion of foods and postprandial glycaemia. *Diabetologia* 22: 450-455, 1982
- 6) Jenkins DJA, Wolever TMS, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL, Goff DV. Glycemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* 34: 362-366, 1981
- 7) Indar BK, Noreberg C, Madar Z. Glycemic and insulinemic responses after ingestion of ethnic foods by NIDDM and health subjects. *Am J Clin Nutr* 55: 89-95, 1992
- 8) Dabai FD, Walker AF, Sambrook IE, Welch VA, Owen RW. Comparative effects on blood lipids and faecal steroids of five legume species incorporated into a semi-purified hypercholesterolaemic rat diet. *Brit J Nutr* 75: 557-571, 1996
- 9) Xu H, Tan SM, Li SQ. Effects of soybean fibers on blood sugar, lipid levels and hepatic-nephritic histomorphology in mice with diabetes mellitus. *Biomed Environ Sci* 14(3) : 256-261, 2001
- 10) Anderson JW, Smith BM, Washnock CS. Cardiovascular and renal benefits of dry bean and soybean intake. *Am J Clin Nutr*, pp.464S-474S, 1999
- 11) Spiller RC. Pharmacology of dietary fiber. *Pharmacol Ther* 62: 407-427, 1994
- 12) 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: 312-318, 1994
- 13) 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: 414-419, 1991
- 14) Arjmandi BH, Craig J, Nathani S, Reeves RD. Soluble dietary fiber and cholesterol influence in vivo hepatic and intestinal cholesterol biosynthesis in rats. *J Nutr* 122: 1559-1565, 1992
- 15) Ali L, Azad-Khan AK, Hassan Z, Mosihuzzaman M, Nahar N, Nasreen T, Nur-e-Alam M, Rokeya B. Characterization of the hypoglycemic effects of *Trignella foenum graecum* seed [letter]. *Planta Med* 61: 358-360, 1995
- 16) Park SH, Lee HS. Effects of legume supplementation on the gastrointestinal function and diabetic symptoms in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutrition* 32(6) : 617-627, 1999
- 17) Bucolo G, David H. Quantitative determination of serum triglycerides by use of enzymes. *Clin Chem* 19: 476-482, 1973
- 18) Allain CC, Poon LS, Chen CS, Richmond W. Enzymatic determination of total serum cholesterol. *Clin Chem* 20: 470-475, 1974
- 19) Finley PR, Schiffman RB, Williams RJ, Luchti DA. Cholesterol in high-density lipoprotein: Use of mg<sup>2+</sup>/dextran sulfate in its measurement. *Clin Chem* 24: 931-933, 1978
- 20) Folch JM, Lees M, Stanley GHS. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J Bio Chem* 226: 497-509, 1957
- 21) Sidney PG, Bernard R. Improved manual spectrometric procedure for determination of serum triglyceride. *Clin Chem* 19: 1077-1078, 1973
- 22) 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
- 23) Takayama M, Itoh S, Nagasaki T. A new enzymatic method for determination of serum choline-containing phospholipids. *Clin Chem Acta* 79: 93-98, 1977
- 24) Grundy SC, Ahrens EH, Miettinen TA. Qualitative isolation and gas-liquid chromatographic analysis of total fecal bile acids. *J Lipid Research* 6: 397-410, 1965
- 25) Haug A, Hostmark AT, Spydevold O. Plasma lipoprotein distribution fecal cholesterol excretion and activities of lipoprotein lipase, hepatic lipase and lecithin cholesterol acyltransferase in rats fed diets rich in sucrose of sunflower oil. *Acta Physiol Scand* 125: 609-617, 1985
- 26) Macdonald IA, Crowell MJ. Enzymic determination of 3 $\alpha$ -, 7 $\alpha$ -, and 12 $\alpha$ -hydroxyl groups of fecal bile salts. *Clin Chem* 26: 1298-1300, 1980
- 27) Tarladgis BG, Pearson AM, Duan LR. Chemistry of the 2-thio-barbituric acid test for determination of oxidation of oxidative rancidity in foods. *J Sci Food Agri* 15: 602-607, 1964
- 28) Uchiyama M, Mihara M. Determination of malondialdehyde precursor in tissues by TBA test. *Anal Biochem* 86: 271-278, 1978
- 29) Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Black WC. Multivariate data analysis with readings. 4th ed Prentice-Hall International Editions USA, 1995
- 30) Rosado JL, Diaz M. Physico-chemical properties related to gastrointestinal function of 6 sources of dietary fiber. *Rev invest Clin* 47: 283-289, 1995
- 31) Torsdottir I, Alpsten M, Goran H, Sandberg AS, Tolli J. A small dose of soluble Alginate-fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J Nutr* 121: 795-799, 1991
- 32) Blackburn NA, Redfern JS, Jarjis H, Holgate AM, Hanning I, Scarpello JHB, Johnson IT, Read NW. The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. *Clin Sci* 66: 329-336, 1984
- 33) Flourie B, Vidon N, Florent CH, Bernier JJ. Effect of pectin on jejunal glucose absorption and unstirred layer thickness in normal man. *Gut* 25: 936-941, 1984
- 34) Wolever TMS. Relationship between dietary fiber content and composition in foods and glycemic index. *Am J Clin Nutr* 51: 72-75, 1990
- 35) 이연경, 이해성, 김보완. 단기간의 식이섬유 첨가물 섭취가 인슐린 비의존성 당뇨병 환자의 지질대사에 미치는 영향. *당뇨병* 19: 80-91, 1995
- 36) Panlasigui LN, Panlilio LM, Madrid JC. Glycaemic response in normal subjects to five different legumes commonly used in the Philippines. *Int J Food Sci Nutr* 46: 155-160, 1995
- 37) Jenkins DJA, Wolever TMS, Buckley G, Lam KY, Giudici S, kalmusky J, Jenkins AL, Patten RL, Birs J, Wong GS, Josse RG. Low glycemic index starchy foods in the diabetic diet. *Am J Clin Nutr* 48: 248-254, 1988
- 38) Choi YK, Lee TH. Diabetes and hyperlipidemia. Medicine Publication, Seoul, pp.111-134, 1995
- 39) Mekki N, Dubois C, Charbonnier M, Cara L, Senft M, Pauli AM Portugal H, Gassin AL, Lafont H, Lairon D. Effects of lowering

- fat and increasing dietary fiber on fasting and postprandial plasma lipids in hypercholesterolemic subjects consuming a mixed Mediterranean-Western diet. *Am J Clin Nutr* 66: 1443-1454, 1997
- 40) Truswell AS. Dietary fiber and blood lipids. *Curr-Opin Lipidol* 6: 14-19, 1995
- 41) Glore SR, Van TD, Knehans AW, Guild M. Soluble fiber and serum lipids: a literature review. *J Am Diet Assoc* 94: 425-436, 1994
- 42) Ebihara K, Schneeman BO. Interaction of bile acids, phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats. *J Nutr* 119: 1100-1106, 1989
- 43) Zhang JX, Lundin E, Renterving CD, Hallmans G, Stenling R. Effects of rye bran, oat bran and soya-bean fibre on bile composition, gallstone formation, gall-bladder morphology and serum cholesterol in Syrian golden hamsters. *Brit J Nutr* 71: 861-870, 1994
- 44) Goswamy S, Many L, Many UV. Effects of wheat bran on tissue lipids in diabetic rats. *Indian J Biochem Biophys* 22: 240-243, 1985
- 45) Hundemer JK, Nabar SP, Shiver BJ, Forman LP. Dietary fiber sources lower blood cholesterol in C57BL/6 mice. *J Nutr* 121: 1360-1365, 1991
- 46) Costa NMB, Low AG, Walker AF, Owen RW, Englyst HN. Effect of baked beans (*Phaseolus vulgaris*) on steroid metabolism and non-starch polysaccharide output of hypercholesterolaemic pigs with or without an ileo-rectal anastomosis. *Brit J Nutr* 71: 871-886, 1994
- 47) Takehisa F. Correlation between plasma cholesterol and fecal steroid or cecal short-chain fatty acid in rat ingested dietary fiber. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 45: 325-331, 1992
- 48) Sato Y, Yong NL. Cholesterol metabolism in diabetes mellitus. *Diabetes* 30(supple 2): 76-81, 1981
- 49) Morel DW, Chisolm GM. Antioxidative treatment of diabetic rats inhibits lipoprotein oxidation and cytotoxicity. *J Lipid Res* 30: 1827-1834, 1989
- 50) Nourooz ZJ, Rahimi A, Tajaddini SJ, Tritschler H, Rosen P, Halliwell B, Betteridge DJ. Relationships between plasma measures of oxidative stress and metabolic control in NIDDM. *Diabetologia* 40: 647-653, 1997
- 51) Freitas JP, Filipe PM, Rodrigo FG. Lipid peroxidation in type 2 normolipidemic diabetic patients. *Diabetes Res Clin Pract* 36: 71-75, 1997
- 52) Lee SZ, Park SH, Lee HS. Changes in in vivo lipid peroxidation and antioxidant defense system in streptozotocin-induced diabetic rats: a time course study. *Korean J Nutrition* 34 (3): 253-264, 2001
- 53) Bae EA, Kwun TW, Moon KS. Isoflavone contents and antioxidative effects of soybean, soybean curd and their by-products. *J Korean Society of Food Science and nutrition* 26 (3): 371-375, 1997
- 54) Gallaher DD, Csallany AS, Shoemam DW, Olson JM. Diabetes increase excretion of urinary malondialdehyde conjugates in rats *Lipids* 28: 663-666, 1993