

## 콩 단백질 성분 및 연령이 암컷 흰쥐의 혈장 지질 농도와 인지질 지방산 패턴에 미치는 영향

정은정 · 김수연\* · 김지영\* · 안지영\* · 박정화\* · 차명화\*\* · 이양자\*†

강남대학교 교양학부  
\*연세대학교 식품영양학과  
\*\*경동정보대학 식품조리과

## Effects of Soy Protein Concentrate and Age on Plasma Lipids and Phospholipid Fatty Acid Patterns in Female Rats

Eun-Jung Chung, Soo-Yeon Kim\*, Ji-Young Kim\*, Ji-Young Ahn\*,  
Jung-Wha Park\*, Myung-Hwa Cha\*\* and Yang-Cha Lee Kim\*†

General Education, Kangnam University, Kyunggi 449-702, Korea

\*Dept. of Food and Nutrition, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

\*\*Dept. of Food & Cooking, Kyungdong College of Techno-Information, Gyungbuk 712-904, Korea

### Abstract

Effects of soy protein concentrate (SPC) containing isoflavone and casein diets on plasma phospholipid (PLs)-fatty acid patterns were investigated in 7- & 40- wk old female rats. Diets containing 16% SPC (soy/young: SY, soy/old: SO) and casein (casein/young: CY, casein/ old: CO) supplemented with 0.5% cholesterol were fed for 4 wks. Fatty acid compositions of plasma PLs were determined by TLC and GLC. Compared to the dietary protein effects, age effects on serum lipids were more profound. The levels of total cholesterol (Chol.), triglyceride, HDL-Chol., (LDL+VLDL)-Chol. and atherogenic index (AI) were higher in older groups (OC & OS) than younger groups (YC & YS). Soy groups had higher HDL-Chol. level and lower (LDL+VLDL)-Chol. and AI, compared with casein groups. The compositions of C22:0, C18:1 $\omega$ 9 and sum of MUFA in plasma PLs were significantly higher in casein group (CY & CO) than soy group (SY & SO), but those of sum of SFA were higher in soy group. The compositions of C22:0, C18:1 $\omega$ 9, C22:1, C18:3 $\omega$ 3 and C22:4 $\omega$ 6 were higher and those of C22:6 $\omega$ 3, sum of  $\omega$ 3, C18:2 $\omega$ 6 C20:4 $\omega$ 6, sum of  $\omega$ 6 and sum of PUFA were lower in plasma PLs of younger rats. The average P/S and  $\omega$ 3/ $\omega$ 6 ratio in older group was higher. The  $\Delta$ -7 desaturation index (16:0 $\rightarrow$ 16:1 $\omega$ 7) and  $\Delta$ -9 desaturation index (18:0 $\rightarrow$ 18:1 $\omega$ 9) were lower in soy group than casein group, while  $\Delta$ -6 and  $\Delta$ -5 desaturation index were not affected by dietary protein. The  $\Delta$ -4 desaturation index (22:4 $\omega$ 6 $\rightarrow$ 22:5 $\omega$ 6) were higher and, elongation index (20:4 $\omega$ 6 $\rightarrow$ 22:4 $\omega$ 6) were lower in older group. The ratio of the products of  $\omega$ 3 fatty acid series/precursor of  $\omega$ 3 fatty acid series (C18:3) was significantly higher in older group, which indicated that age affected the plasma PUFA metabolism. On the other hand, older rats had higher serum cholesterol level compared with younger rats. Taken together, these changes in fatty acid composition might cause minimal changes in the membrane fluidity induced by the increase serum cholesterol level.

**Key words:** soy protein concentrate, age, plasma lipids, fatty acid composition, rat

### 서론

2000년도 우리 나라 통계청 보고에 의하면, 50대 이후의 사망원인 중 뇌혈관 질환이 차지하는 비율은 제 1위인 악성 신생물과 근소한 차이를 보이고 있으며, 여성의 경우 고혈압성 질환과 뇌혈관질환 면에서 남성보다 더 높음이 지적되었다(1). 평균 수명이 연장되고 고령화 속도가 가속화됨에 따라 갱년기의 호르몬 변화로 인한 고지혈증 악화와 심혈관계

질환에 대한 위험도 증가는 동맥경화증과 같은 심혈관계 질환이 더 이상 남성의 질환이 아님을 입증해 준다.

콩식품의 섭취량이 많은 아시아인의 경우 서양보다 관상 동맥성 심장질환과 같은 호르몬 의존성 질병의 발병률이 낮다는 역학적인 조사 결과(2,3)에 따라 콩제품에 많은 관심을 기울여 왔으며 이에 따라 서양에서도 콩식품의 섭취를 권장하기 이르렀다. 특히 최근에는 대두 콩에 다량 함유된 이소플라보노이드 성분이 폐경기 이후 여성의 건강에 미치는 역

†Corresponding author. E-mail: ycleekim@yonsei.ac.kr  
Phone: 82-2-2123-3118, Fax: 82-2-2123-3118

할에 대해 관심이 집중되어 있다. 이 이소플라본은 에스트로젠과 경쟁적으로 에스트로젠 수용체와 결합하며(4), 관상동맥질환, 골다공증, 특정 암 및 폐경기 증세의 위험을 낮출 수 있다는 연구결과들이 보고되었다(5,6).

대두에 함유된 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시켜주는 효과를 나타내는 물질로는 섬유소, 이소플라본, phytosterols, 사포닌, 레시틴 등이 알려졌다(7). 또한 대두단백질에 풍부한 arginine과 글리신은 혈청 인슐린 수준을 낮추어 주고 이로 인해 간에서의 콜레스테롤 합성이 감소할 수 있음이 지적되었다(8).

지난 30여 년간 콩 단백질이 콜레스테롤을 낮추는 기전에 대해 많은 연구가 이루어져 왔는데, 동물실험 결과 콩 단백질은 콜레스테롤과 담즙산의 흡수를 감소시킴으로써 혈중 콜레스테롤 수준을 낮춘다고 주로 보고되었다(7,9,10). 이외에도 갑상선 호르몬 수준과 인슐린/글루카곤 비율의 변화 및 에스트로젠 효과로 요약되는 주요 효과와 항산화적 특성, 동맥벽에서의 유익한 효과, 그리고 콜레스테롤 및 포화지방산의 낮은 함량에 의한 간접적인 콜레스테롤 저하 효과 등으로 요약될 수 있다(9). 최근 토끼를 대상으로 한 실험결과, 콩 단백질이 간의 콜레스테롤과 지단백질 대사에 영향을 주는 기전은 순환하는 LDL의 제거를 증가시켜 주기 때문이라고 하며(11), 다른 동물실험에서는 apoprotein B, E 수용체의 활성을 증가시켰다고 보고되었다(12). 사람을 대상으로 한 연구에 의하면, 콩의 섭취로 고콜레스테롤혈증 환자에서 단핵세포의 LDL 수용체의 활성이 증가되었다 한다(13).

한편 polyunsaturated fatty acid(PUFA:P) 섭취량의 증가는 혈중 P/S(saturated fatty acids: SFA) 비율을 증가시킴으로써 혈중 콜레스테롤 수준을 낮추어주므로 고지혈증 환자에게 오래 전부터 권장되어 온 식사지침이다. 그리고 콩 섭취로 인한 콜레스테롤 저하작용은 콩 속의  $\omega$ 3계 지방산을 포함한 PUFA의 섭취 증가로 인한 효과일 수 있다. 따라서 이소플라본을 포함한 대두 단백질만의 혈중 지질저하 기전을 정확히 알아보기 위해서는 식이 지방산 조성의 차이가 최대 배제된 상태에서 이소플라본을 함유한 콩단백질이 혈중 지방산 조성의 변화에 미치는 효과를 연구함이 필요하다고 생각된다. 더욱이, 식이 단백질은 필수지방산의 대사과정에 영향을 미치며(14), 흰쥐 실험결과, 콩 단백질 섭취군의 경우 카제인 섭취군보다 간조직 microsome의  $\Delta$ 6( $\omega$ 6) desaturase 활성(15)이나 그 대사지표(16)가 감소됨이 보고된 바 있다. 또한 여성의 혈청지질 수준은 폐경 이후 에스트로겐 분비 감소로 인해 크게 증가하므로, 콩 단백질의 혈중 지질저하 효과는 연령에 따라 변화할 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 콩 단백질(soy concentrate)식이와 서로 다른 연령의 흰쥐를 대상으로 혈장의 지질수준과 인지질 지방산패턴의 변화를 관찰하였다. 즉 생후 10개월된 암컷 쥐(old rat)와 생후 7주된 암컷 쥐(young rat)를 대상으로 이소플라본을 함유한 콩 단백질의 섭취가 혈중 지질수준과 지방

산 조성에 어떤 영향을 미치는지를 비교·검토하였다.

## 재료 및 방법

### 실험동물의 사육 및 실험식이

생후 7주된 체중 110~130 g인 Sprague-Dawley 계통의 암컷 흰쥐(young rat)와 생후 10개월 된 체중 350~400 g의 암컷 흰쥐(old rat)를 3일간 고형사료로 환경에 적응시킨 후, 난괴법에 의해 각각 두 군으로 분류하여, 카제인 식이(casein diet)와 콩단백질 식이(soy concentrate diet)를 공급하여 총 네 군의 실험군(CY, CO, SY, SO)으로 구성하여 4주간 사육하였다. 카제인과 콩단백질의 methionine 함량의 차이를 최소화하기 위해 식이조성시 콩단백질군에는 카제인보다 DL-methionine을 0.2% 더 첨가하였다(17). 고콜레스테롤혈증을 유발하기 위해 지방으로부터 얻는 에너지 비율을 30%로, 그리고 0.5%(wt/wt)의 콜레스테롤을 식이에 첨가하였다(18). 지방 급원으로 콩기름(해포 식용유)과 쇠기름을 이용하여 P/S 비율이 약 1이 되도록 조정하였다. 실험식이의 조성은 Table 1에 제시하였다.

실험기간 동안 사육실의 온도는 22~22°C로 유지하였고

**Table 1. Composition of experimental diets** (wt %)

Ingredients	Experimental group <sup>1)</sup>			
	SY	CY	SO	CO
Carbohydrates (55En%)	58	58	58	58
starch	38.02	46.4	38.02	46.4
sucrose	11.6	11.6	11.6	11.6
(soy bean)	(8.38)	-	(8.38)	-
Protein (15En%)	16	16	16	16
soy	16	-	16	-
casein	-	16	-	16
DL-met.	0.5	0.3	0.5	0.3
Fat (30En%)	14	14	14	14
soy oil	0.18	7	0.18	7
tallow	7	7	7	7
(soy bean)	(6.82)	-	(6.82)	-
Cholesterol	0.5	0.5	0.5	0.5
Mineral mixture <sup>2)</sup>	4	4	4	4
Vitamin mixture <sup>3)</sup>	1	1	1	1
CMC <sup>4)</sup>	2	2	2	2

<sup>1)</sup>SY: soy bean-young, CY: casein-young, SO: soy bean-old, CO: casein-old.

<sup>2)</sup>Mineral mixture (g per 100 g salt mixture): CaCO<sub>3</sub> 29.29; CaHPO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O 0.43; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 34.31; NaCl 25.06; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 9.98; Fe (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) · 6H<sub>2</sub>O 0.623; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 0.156; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 0.121; ZnCl<sub>2</sub> 0.02; KI 0.0005; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O 0.0015; (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>21</sub> · 4H<sub>2</sub>O 0.0025.

<sup>3)</sup>Vitamin mixture (mg per kg diet): thiamin HCl 5; riboflavin 5; nicotinamide 25; Ca-pantothenate 20; pyridoxine HCl 5; folic acid 0.5; biotin 0.2; vitamin B<sub>12</sub> 0.03; DL- $\alpha$ -tocopherol acetate 100; retinyl palmitate 2.196; cholecalciferol 10 ( $\mu$ g); choline chloride 2000; ascorbic acid 50; menadione 0.5; inositol 100.

<sup>4)</sup>CMC: carboxymethyl cellulose sodium salt.

광주기와 암주기를 12시간으로 조절하였으며, 물과 식이는 자유로이 섭취시켰다.

**혈액의 채취 및 준비**

4주간의 사육이 끝난 후 공복상태의 흰쥐를 ethyl ether 마취 하에 개복하고, 복부대동맥에서 혈액을 채취하였다. 2000 × g에서 10분간 원심분리하여 혈청을 얻은 후 혈중 지질농도와 지방산조성을 분석할 때까지 -70°C에 보관하였다.

**혈청 지질 수준의 측정**

혈청 총 콜레스테롤과 중성지방은 자동분석기를 이용하여 효소법으로 분석하였고 HDL-콜레스테롤은 침전제를 이용하여 chylomicron, low density lipoprotein(LDL), very low density lipoprotein(VLDL)을 침전시킨 후 상층액에 있는 high density lipoprotein(HDL) 콜레스테롤을 다시 효소법(Hitachi 7150, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)으로 측정하였다. LDL-콜레스테롤은 총 콜레스테롤 - (HDL-콜레스테롤 + 중성지방/5)의 공식을 이용하여 계산하였다.

**혈장 인지질의 지방산 조성 분석**

Folch 등(19)의 방법에 준하여 5 mL의 혈장을 chloroform-methanol 용액(2 : 1, v/v)에서 균질화하고, 총지질을 추출한 후, 인지질 성분을 분리하기 위하여 thin layer chromatography를 이용하였다. 일정량의 지질 추출액을 110°C에서 활성화시킨 silica gel plate (20×20 cm)에 점적시키고, 전개용매로는 petroleum ether-diethyl ether-acetic acid 용액(80 : 20 : 2, v/v/v)을 사용하였다. 용매를 전개판의 위 끝에서 1 cm 아래까지 전개시킨 후 N<sub>2</sub> gas로 말리고, 분리된 각 지질의 분획을 iodine vapor로 발색시켜 동정한 후 인지질 분획을 끊어내어 지질을 추출하였다.

인지질에 포함된 지방산조성을 분석하기 위해 Lepage와 Roy의 방법(20)을 이용하여 지방산을 methylation시킨 후 일정량을 gas-liquid chromatography(GLC, Hewlett-Packard 5890A, USA)에 주입시켰으며, internal standard로는 heptadecanoic acid(HA, 17 : 0, Nu-Check-prep., Inc., USA)를 사용하였다. 분리된 벤젠층의 일정량을 취하여 fused-silica bonded capillary column(Omega wax 320, Supelco, USA;

30×0.32 mm)과 flame ionization detector가 부착된 GLC에 주입시켜 각 지방산 성분을 분석하였다. GLC의 분석조건으로 oven 온도는 200°C로, injection port 및 detection port의 온도는 260°C로 각각 조정하였으며, carrier gas로 사용된 헬륨의 유속은 1 mL/min로, 그리고 split ratio는 10 : 1로 조절하였다. 동일한 조건하에서 분석된 표준지방산 용액(#GLC 87A, Nu Check Prep. Inc., USA)의 retention time을 이용하여 각 지방산 peak를 확인하였고, 각 지방산의 조성은 internal standard로 사용된 HA를 이용하여 총 지방산량을 계산한 뒤 백분율로 표시하였다.

**통계처리**

모든 분석수치는 mean ± SEM으로 표시하였다. 실험식이(단백질 종류)와 연령 요인이 혈중 지질농도와 지방산조성에 미치는 효과는 two-way ANOVA(analysis of variance) test에 의해 유의성 여부를 검증하였으며, F값이 유의한 경우 각 실험군 간의 평균값의 차이는 Duncan's multiple range test에 의해 유의수준 α < 0.05 수준에서 검증하였다. 모든 수치의 통계분석은 SAS(Statistical Analysis System/STAT Version 6, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA)를 이용하여 실시하였다.

**결과 및 고찰**

**체중 증가 및 간조직의 무게**

식이 단백질과 연령이 각기 다른 흰쥐의 체중증가와 간조직 무게는 Table 2에 제시된 바와 같다. 실험 4주간의 실험동물의 체중 증가량은 성장속도가 빠른 나이 어린 쥐(CY와 SY)에서 성인 쥐(CO와 SO)보다 많았다(p < 0.05). 한편 콩단백질군(SY와 SO)의 체중 증가량은 카제인군(CY와 CO)보다 유의하게 높았으나(p < 0.05), 간조직의 무게는 오히려 카제인군에서 더 높았다(p < 0.01).

**혈청 지질 농도**

총 콜레스테롤, 중성지방(TG), HDL-콜레스테롤, (LDL + VLDL)-콜레스테롤 및 atherogenic index(AI) 모두 연령의 영향을 받았으며, 이중 HDL-콜레스테롤, (LDL + VLDL)-

**Table 2. Body weight and liver weight of female rats fed the experimental diets for 4 weeks<sup>1)</sup>**

	SY	CY	SO	CO <sup>2)</sup>	Age	Prot.	Age × Prot.
Body wt (g)	220 ± 2.01 <sup>b3)</sup>	220 ± 2.70 <sup>b</sup>	360 ± 3.05 <sup>a</sup>	340 ± 2.92 <sup>a</sup>	*** <sup>1)</sup>	- <sup>3)</sup>	-
Liver wt (g)	7.0 ± 0.15 <sup>c</sup>	7.6 ± 0.20 <sup>c</sup>	10.0 ± 0.29 <sup>b</sup>	12.8 ± 0.32 <sup>a</sup>	**	**	-
Liver wt (g) / Body wt (g) × 100	31.6 ± 0.93 <sup>bc</sup>	34.5 ± 0.97 <sup>ab</sup>	27.8 ± 0.78 <sup>c</sup>	37.6 ± 0.92 <sup>a</sup>	-	*	-
Body wt gain (g/4 wks)	90.2 ± 2.78 <sup>a</sup>	82.3 ± 2.42 <sup>a</sup>	29.1 ± 1.90 <sup>b</sup>	16.4 ± 1.16 <sup>c</sup>	***	*	-

<sup>1)</sup>Values are mean ± SEM of 8 rats.

<sup>2)</sup>SY: soy bean-young, CY: casein-young, SO: soy bean-old, CO: casein-old.

<sup>3)</sup>Means in the same row with different superscripts are significantly different at p < 0.05.

<sup>4)</sup>Significantly different by 2X2 factorial ANOVA test at \*p < 0.05, \*\*p < 0.01 and \*\*\*p < 0.001.

<sup>5)</sup>-: Not significant.

콜레스테롤 농도 및 AI는 식이 단백질 종류에 의해서도 유의한 영향을 받았다. 따라서 혈중 지질 농도는 식이 단백질 종류보다는 연령의 영향을 많이 받은 것으로 나타났다(Table 3).

**식이단백질효과** : 카제인군과 콩 단백질군의 총 콜레스테롤과 TG 수준은 유의한 차이를 보이지 않았으나, 콩 단백질군에서 HDL-콜레스테롤 수준이 유의하게 증가하고( $p < 0.001$ ), (LDL+VLDL)-콜레스테롤은 유의하게 감소하여( $p < 0.05$ ), 동맥경화 발생지표인 AI 역시 콩 단백질 군에서 유의하게 감소하여( $p < 0.01$ )(Fig. 1), 심혈관질환에 대한 콩 단백질의 유익한 효과를 확인할 수 있었다(Table 3).

Park 등(21)에 의하면 어린(immature) 쥐와 성인 쥐 모두, 카제인을 섭취한 군보다는 콩을 포함한 식물성 단백질을 섭취한 군에서, 혈중 콜레스테롤 수준이 낮음을 보여주었다. 이와 같이 대부분의 연구(21-24)에서 콩 단백질 섭취군의 혈중 콜레스테롤 수준은 카제인 섭취군보다 낮은 것으로 보고되고 있으나 본 연구결과에서는 혈중 총 콜레스테롤과 TG 농도는 식이단백질의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

콩 단백질을 섭취하여도 혈중 지질농도가 개선되지 않았다는 결과도 몇몇 보고되었다(10,25). 또한 콩 단백질에 의해 사람의 혈중 HDL-콜레스테롤 수준이 증가하는 것은 일관된 결과를 보여주지 않는다(26). 그러나 폐경 후 여성에게서는 혈중 HDL-콜레스테롤 수준의 증가가 좀 더 뚜렷하고 일률적인 결과가 보고되고 있으며(26), 동물실험에서는 자궁을 절제한 Cynomolgus Monkey에게 콩 단백질을 섭취시킨 결

과, 다른 어떤 지질수준보다 LDL-콜레스테롤 수준이 가장 크게 그리고 가장 일률적으로 감소하였다(27). 이상의 결과들을 종합하여 볼 때, 콩 단백질이 혈중 지질농도에 미치는 효과는 콩 단백질 섭취 전의 혈중 콜레스테롤 수준(24), 성별 및 생리적인 상태 또는 동물실험의 경우 콜레스테롤 첨가 등을 포함한 식이 조성에 따라 그 결과는 다양하게 나타날 수 있다(9). 뿐만 아니라 콩 단백질이 혈중 지질농도에 미치는 효과는 연구에 사용된 콩 단백질에 포함되어 있는 이소플라본 같은 생물학적 성분의 함량 차이에 의해서도 다르게 나타날 수 있다(9,28).

**Age 효과** : 혈중 지질농도는 모두 연령의 영향을 받아, young군(CY와 SY)과 비교해볼 때 old군(CO와 SO)의 총 콜레스테롤( $p < 0.001$ ), TG( $p < 0.05$ ), HDL-콜레스테롤( $p < 0.001$ ), (LDL+VLDL)-콜레스테롤( $p < 0.05$ ) 및 AI( $p < 0.05$ ) 모두 높았다(Table 3).

혈중 콜레스테롤 수준은 실험동물의 연령에 따라 다르게 나타난다고 보고되었다. Park 등(21)에 의하면 성인 쥐보다는 어린 쥐에서 대변으로 많은 양의 중성스테롤이 배설되므로, 어린 쥐의 혈중 콜레스테롤 수준이 성인 쥐보다 낮다고 보고되어 본 연구결과를 뒷받침해주고 있다.

한편, TG를 제외한 모든 혈중 지질 수준은 연령과 식이 단백질의 상호작용이 있는 것으로 나타났다. 혈중 총 콜레스테롤의 경우, young군에서는 콩 단백질군(SY)이 카제인군(CY)보다 약 26%의 낮은 농도를 나타낸 반면, old군에서는 콩 단백질군(SO)과 카제인군(CO)이 유의한 차이를 보이지 않아, 콩단백질에 의한 혈중 콜레스테롤 수준의 변화는 young군에서 뚜렷하게 나타났다. Choi 등의 연구(16)에 의하면 나이 어린 쥐에서는 식이 중의 콜레스테롤 함량과는 무관하게 콩 단백질에 의해 혈중 콜레스테롤 수준이 저하되는 반면에, 성인 쥐에서는 고콜레스테롤 식이로 사육한 경우에만 그 효과가 나타났다. 이와 유사하게, 사람을 대상으로 한 연구에서, 나이 든 사람보다는 젊은 사람에게서 콩 단백질에 의한 혈중 콜레스테롤 수준이 더 크게 감소하였다(23). 또한 고콜레스테롤혈증이 잘 유발되는 토끼를 모델로 한 실험(22)에서는 카제인 식이에 의해 혈중 콜레스테롤 수준이 증가되는 현상이 성인토끼에 비해 나이 어린 토끼에서 쉽게 관찰되었다.

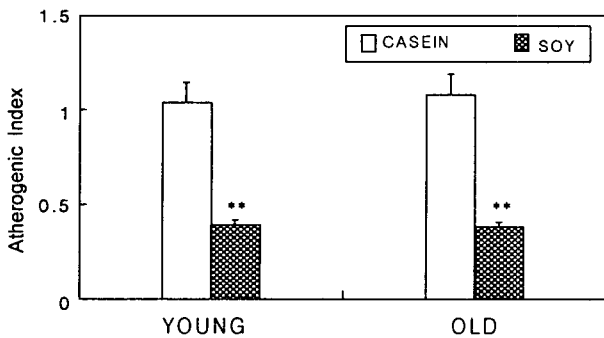


Fig. 1. Atherogenic index of rats fed casein and soy-concentrate diets. \*\* $p < 0.01$ .

Table 3. Effects of dietary protein and age on serum lipid levels<sup>1)</sup>

	SY <sup>2)</sup>	CY	SO	CO	Age	Prot.	Age × Prot.
Cholesterol (mmol/L)	1.45 ± 0.13 <sup>b3)</sup>	1.96 ± 0.12 <sup>b</sup>	2.3 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.16 ± 0.1 <sup>ab</sup>	*** <sup>4)</sup>	- <sup>5)</sup>	**
TG (mmol/L)	0.24 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.32 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.4 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.04 <sup>a</sup>	***	-	-
HDL (mmol/L)	1.04 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.96 ± 0.05 <sup>bc</sup>	1.66 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.04 ± 0.14 <sup>b</sup>	***	***	**
LDL+VLDL (mmol/L)	0.36 ± 0.06 <sup>c</sup>	1.04 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.16 ± 0.08 <sup>a</sup>	*	*	*
Atherogenic index	0.39 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.04 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.3 ± 0.06 <sup>bc</sup>	1.08 ± 0.15 <sup>a</sup>	*	**	*

<sup>1)</sup> Values are mean ± SEM of 8 rats.

<sup>2)</sup> SY: soy bean-young, SO: soy bean-old, CO: casein-old.

<sup>3)</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

<sup>4)</sup> Significantly different by 2X2 factorial ANOVA test at \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$  and \*\*\* $p < 0.001$ .

<sup>5)</sup> -: Not significant.

이상에서와 같이 낮은 연령군에서 식이 단백질에 의한 혈중 콜레스테롤 수준이 더 민감하게 반응함을 알 수 있다. 본 연구 결과 역시 혈중 콜레스테롤 농도는 연령과 단백질 종류의 상호작용에 의해 조절됨을 제시하여 주고 있다.

#### 혈장 인지질 지방산 조성

혈장 인지질의 지방산 조성에 있어서 연령과 식이 단백질의 상호보완 효과는 22:1과 22:5 $\omega$ 6을 제외한 다른 지방산에서는 나타나지 않았다(Table 4).

**식이 단백질 효과:** Table 4에 나타난 바와 같이 16:0( $p < 0.05$ ), 22:0( $p < 0.01$ ), 18:1 $\omega$ 9( $p < 0.01$ ),  $\Sigma$ MUFA( $p < 0.05$ ) 및  $\Sigma$ SFA( $p < 0.01$ ) 조성은 식이 단백질에 의해 유의한 영향을 받았다. 이중 22:0( $p < 0.01$ ), 18:1 $\omega$ 9( $p < 0.01$ ),  $\Sigma$ MUFA( $p < 0.05$ ) 조성은 카제인군보다 콩 단백질군에서 낮았으며, 반대로  $\Sigma$ SFA 조성은 콩 단백질군에서 높았다. 이와 같은 지방산 조성의 변화로 인하여 M/S 비율은 카제인군에서 유의하게 높았다( $p < 0.01$ ).

Sugiyama 등(29)은 혈중 콜레스테롤 저하효과가 있는 것으로 알려진 표고버섯내의 eritadenine이란 물질이 혈장 phos-

phatidyl choline(PC)의 지방산조성에 미치는 영향을 연구함으로써 eritadenine의 콜레스테롤 저하 기전을 설명하고자 하였다. 흰쥐를 대상으로 한 그들의 연구에 의하면, eritadenine이 함유된 식이를 2주간 섭취시킨 결과 지방급원의 종류에 상관없이 혈장 PC의 16:0, 18:1 및 18:2 $\omega$ 6의 조성이 증가하였고 18:0과 20:4 $\omega$ 6, 20:5 $\omega$ 3, 22:5 $\omega$ 6, 22:5 $\omega$ 3 및 22:6 $\omega$ 3의 PUFA 조성과  $\omega$ 6계 지방산의 desaturation index(20:4 $\omega$ 6+22:5 $\omega$ 6/18:2 $\omega$ 6)가 유의적으로 감소하였음이 보고되었다. 이와 같은 혈장 PC의 지방산 조성의 변화로 말미암아, 간조직으로의 콜레스테롤 uptake가 촉진되어 혈중 콜레스테롤 수준이 저하될 수 있음을 제안하였다. 이와 유사하게 혈중 지질강화 성분중의 하나인 타우린을 복용시킨 결과, 흰쥐의 간조직(30)과 사람의 혈장(31) 인지질의 지방산 조성 중, SFA 조성은 증가하고, MUFA와 PUFA의 조성은 감소함이 보고되었다. 즉 타우린은 지방산의 desaturation과 elongation의 효소활성을 방해함으로써 이와 같은 지방산조성의 변화에 간접적으로 영향을 주었다고 설명하였다. 본 연구에서도 콩 단백질군의 경우 혈중 콜레스테롤 수준이 감소되지는 않았으나 콜레스테롤 대사의 총체적인 지표인 AI가 감소하였

Table 4. Effects of dietary protein and age on plasma phospholipid fatty acid composition<sup>1)</sup>

	SY <sup>2)</sup>	CY	SO	CO	Age	Prot.	Age X Prot.
12:0	0.38±0.20	0.18±0.05	0.50±0.38	0.46±0.14	-	-	-
14:0	0.48±0.13	0.37±0.10	0.24±0.04	0.37±0.11	-	-	-
16:0	21.23±1.00 <sup>ab3)</sup>	18.05±1.02 <sup>b</sup>	18.76±0.86 <sup>ab</sup>	18.13±0.59 <sup>b</sup>	-	* <sup>4)</sup>	- <sup>5)</sup>
18:0	19.27±1.19	17.25±0.69	20.27±2.03	17.46±1.16	-	-	-
22:0	0.20±0.14 <sup>b</sup>	1.64±0.22 <sup>a</sup>	0.09±0.07 <sup>b</sup>	0.42±0.36 <sup>b</sup>	**	**	-
24:0	0.05±0.02	0.12±0.05	0.11±0.01	0.06±0.01	-	-	-
$\Sigma$ SFA	41.21±8.73 <sup>a</sup>	36.97±0.86 <sup>b</sup>	39.72±2.84 <sup>a</sup>	36.61±0.62 <sup>b</sup>	-	*	-
16:1 $\omega$ 7	2.00±0.17	2.69±0.30	1.85±0.20	2.21±0.22	-	-	-
18:1 $\omega$ 9	12.93±0.63 <sup>b</sup>	18.08±0.97 <sup>a</sup>	12.26±0.43 <sup>b</sup>	14.22±1.06 <sup>b</sup>	*	**	-
20:1	0.21±0.02	0.20±0.10	0.07±0.06	0.11±0.03	-	-	-
22:1	2.08±0.30 <sup>a</sup>	1.46±0.40 <sup>a</sup>	0.48±0.10 <sup>b</sup>	1.42±0.18 <sup>a</sup>	*	-	*
24:1	0.41±0.13	0.70±0.18	0.32±0.03	0.76±0.21	-	-	-
$\Sigma$ MUFA	17.57±0.62 <sup>bc</sup>	23.0±1.26 <sup>a</sup>	14.94±3.18 <sup>c</sup>	18.70±1.39 <sup>ab</sup>	-	**	-
18:3 $\omega$ 3	0.44±0.07 <sup>a</sup>	0.39±0.05 <sup>a</sup>	0.30±0.04 <sup>b</sup>	0.29±0.02 <sup>b</sup>	*	-	-
20:5 $\omega$ 3	0.42±0.11	0.16±0.05	0.29±0.07	0.28±0.07	-	-	-
22:5 $\omega$ 3	0.08±0.01	0.30±0.01	0.05±0.00	0.28±0.17	-	-	-
22:6 $\omega$ 3	0.82±0.10 <sup>bc</sup>	0.68±0.17 <sup>c</sup>	1.65±0.26 <sup>a</sup>	1.32±0.17 <sup>ab</sup>	**	-	-
$\Sigma\omega$ 3	1.20±0.30 <sup>b</sup>	1.28±0.26 <sup>ab</sup>	2.15±0.24 <sup>a</sup>	1.97±0.15 <sup>a</sup>	**	-	-
18:2 $\omega$ 6	10.95±0.47 <sup>b</sup>	12.15±0.16 <sup>ab</sup>	12.53±0.63 <sup>b</sup>	12.71±0.45 <sup>a</sup>	*	-	-
18:3 $\omega$ 6	0.30±0.02	0.43±0.05	0.36±0.03	0.34±0.05	-	-	-
20:3 $\omega$ 6	0.26±0.10	0.14±0.05	0.16±0.02	0.39±0.21	-	-	-
20:4 $\omega$ 6	16.17±1.12 <sup>b</sup>	15.53±1.15 <sup>b</sup>	20.15±1.71 <sup>a</sup>	18.72±1.11 <sup>ab</sup>	*	-	-
22:4 $\omega$ 6	0.55±0.14 <sup>a</sup>	0.40±0.22 <sup>a</sup>	0.17±0.08 <sup>b</sup>	0.14±0.05 <sup>b</sup>	**	-	-
22:5 $\omega$ 6	1.01±0.12 <sup>a</sup>	0.66±0.13 <sup>b</sup>	0.63±0.08 <sup>b</sup>	0.88±0.21 <sup>ab</sup>	-	-	**
$\Sigma\omega$ 6	29.25±6.18 <sup>b</sup>	29.07±1.30 <sup>b</sup>	33.87±7.28 <sup>a</sup>	33.03±1.18 <sup>ab</sup>	*	-	-
$\Sigma$ PUFA	30.45±0.94 <sup>b</sup>	30.35±1.25 <sup>b</sup>	36.02±2.42 <sup>a</sup>	35.00±1.29 <sup>a</sup>	**	-	-
P/S	0.74±0.04 <sup>c</sup>	0.82±0.04 <sup>bc</sup>	0.91±0.03 <sup>ab</sup>	0.96±0.03 <sup>a</sup>	*	-	-
M/S	0.43±0.02 <sup>b</sup>	0.62±0.04 <sup>a</sup>	0.39±0.04 <sup>b</sup>	0.51±0.05 <sup>ab</sup>	-	**	-
$\omega$ 6/ $\omega$ 3	26.01±2.26 <sup>a</sup>	28.96±7.76 <sup>a</sup>	16.25±1.10 <sup>b</sup>	17.14±1.05 <sup>b</sup>	**	-	-

<sup>1)</sup> Values are mean±SEM of 8 rats.

<sup>2)</sup> SY: soy bean-young, CY: casein-young, SO: soy bean-old, CO: casein-old.

<sup>3)</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

<sup>4)</sup> Significantly different by 2X2 factorial ANOVA test at \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$  and \*\*\* $p < 0.001$ .

<sup>5)</sup> -: Not significant.

으며, 카제인군보다 SFA 조성은 높고, MUFA 조성은 낮아, 타우린(30,31)이나 eritadenine(29) 섭취와 유사한 결과를 얻었다.

한편, 고지혈증 환자의 혈중 지방산조성을 보고한 대부분의 연구(32-34)에 의하면, 정상군에 비해 혈중 SFA 조성은 높고 상대적으로 PUFA 조성은 낮다. 따라서 본 연구팀은 콩 단백질이 혈액 및 조직의 콜레스테롤이나 TG 수준을 저하시키는 효과는 이들 조직의 SFA 조성의 감소와 MUFA나 PUFA 조성의 증가와 같은 지방산 조성의 변화와 관련이 있을 것이라고 예상하였으나, 본 연구결과 이와는 반대로 지질저하 작용이 있는 콩 단백질군에서 18:1 $\omega$ 9를 비롯한  $\Sigma$ MUFA 조성은 감소하고  $\Sigma$ SFA 조성은 증가하였다.

이러한 본 연구결과를 뒷받침해주는 연구결과로, 일차성 고지혈증 환자의 혈장 인지질 지방산 조성 중 정상인에 비해  $\Sigma$ SFA는 유의하게 감소하고,  $\Sigma$ MUFA와  $\Sigma$ PUFA 조성은 유의하게 증가함이 보고된 바 있다(35). Michalak 등(36)도 동맥경화증환자 적혈구의 인지질 지방산 조성 중 16:0과 18:0 같은 SFA 조성은 감소하고, LA $\omega$ 6와 20:3 $\omega$ 6같은 PUFA의 조성은 증가함을 관찰하였다. 이와 같은 결과는 체내 콜레스테롤 증가로 인해 cholesterol/phospholipid(PL)과 sphingomyelin/PC 비율이 증가하면 막조직의 유동성이 감소하게 되는데, 이러한 변화를 최소로 하기 위해 유동성을 가진 PUFA 조성비율이 증가하는 “보상적 기전”이 체내에 존재하기 때문이라고 설명되었다.

**Age 효과** : 연령에 의해 혈장 인지질 지방산 조성비율에 있어 유의한 차이를 보인 지방산의 종류 중, 22:0, 18:1 $\omega$ 9, 22:1, 18:3 $\omega$ 3 및 22:4 $\omega$ 6는 young군에서 높은 조성 비율로 나타났으며, 22:6 $\omega$ 3,  $\Sigma\omega$ 3, 18:2 $\omega$ 6, 20:4 $\omega$ 6,  $\Sigma\omega$ 6 및  $\Sigma$ PUFA의 조성은 old군에서 높게 나타났다. Old군에서는 PUFA 조성이 높아서, P/S 비율 역시 old군에서 유의하게 높았으며(p<0.01), 또한  $\omega$ 3계 지방산 조성이 old군에서 높게 나타나  $\omega$ 6/ $\omega$ 3 비율은 young군에서 유의하게 높게 나타났다(p<0.05). 이와 같이 지방산 조성의 변화에 있어 식이 단백질의 종류보다 연령의 영향력이 더 많이 나타난 것은

혈중 콜레스테롤 수준이 콩 단백질보다는 연령의 영향을 더 많이 받았기 때문으로(Table 3 참조), 앞서 설명한 바와 같이 Michalak 등(36)이 제안한 “보상적 기전” 현상이라 생각된다.

일반적으로 연령이 증가함에 따라  $\Delta$ -6 desaturase 활성이 감소됨으로써 PUFA의 조성이 감소하며,  $\alpha$ -LNA(18:3 $\omega$ 3)보다는 LA(18:2 $\omega$ 6)의 desaturation 반응의 활성이 더 먼저 감소한다고 알려져 있다(37). 본 연구에서는 연령이 증가함에 따라  $\Delta$ -6 desaturaton index는 유의한 영향을 받지 않았으며,  $\Delta$ -5 desaturation index는 감소하는 경향을 보였다. 그러나  $\Delta$ -4 desaturation index는 연령에 의해 유의하게 증가하여(Table 5 참조),  $\Sigma$ PUFA 조성이 old군에서 유의하게 높았다. 특히 precursor-products 비율은  $\omega$ 6계 지방산의 경우 두 연령군 사이에 유의한 차이를 보이지 않았으나,  $\omega$ 3계 지방산의 경우 young군에 비해 old군에서  $\alpha$ -LNA(18:3 $\omega$ 3)로부터 product PUFA의 합성이 유의하게 증가하여(p<0.01)(Fig. 2),  $\Sigma\omega$ 3계 지방산 조성이 유의하게 높았다.

**혈장 인지질 지방산의 대사지표**

**식이 단백질 효과** : Table 5에 나타난 바와 같이 혈장 인지질 지방산의 대사지표 중  $\Delta$ -7 desaturation index인 16:1 $\omega$ 7/16:0과  $\Delta$ -9 desaturation index인 18:1 $\omega$ 9/18:0의 비율만이 식이 단백질의 종류에 의해 영향을 받아, 카제인군에 비해 콩 단백질군에서 그 비율이 유의하게 낮았다(p<0.01).

간조직의 microsome에 존재하는 desaturase 활성은 식이내 콜레스테롤 함량, 식이지방의 포화정도, 단백질의 종류, 당질 섭취량 등과 같은 여러 가지 식사요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(38,39). 동물실험결과에 의하면 콩 단백질을 포함한 식물성단백질 섭취시 카제인 섭취군에 비해 혈장과 간조직의  $\Delta$ -6 desaturation 비율(18:2 $\omega$ 6 $\Rightarrow$ 20:4 $\omega$ 6)이 감소됨이 보고되었다(40,41). Sugano 등(40)은 콩단백질군에서  $\gamma$ -linoleic acid(18:3 $\omega$ 6)의 수준이 감소하였는데 이는  $\Delta$ -6 desaturation의 감소를 의미하는 것이며, 이로 인해 동맥조직에서 PGE<sub>2</sub>의 생산이 증진됨을 보고하였다. 이 PGE<sub>2</sub>는 혈소판에서의 thromboxane 합성을 감소시키므로 결국 체내에 항혈전 조건을 유지시켜 주게 되는 것이다. 따라서

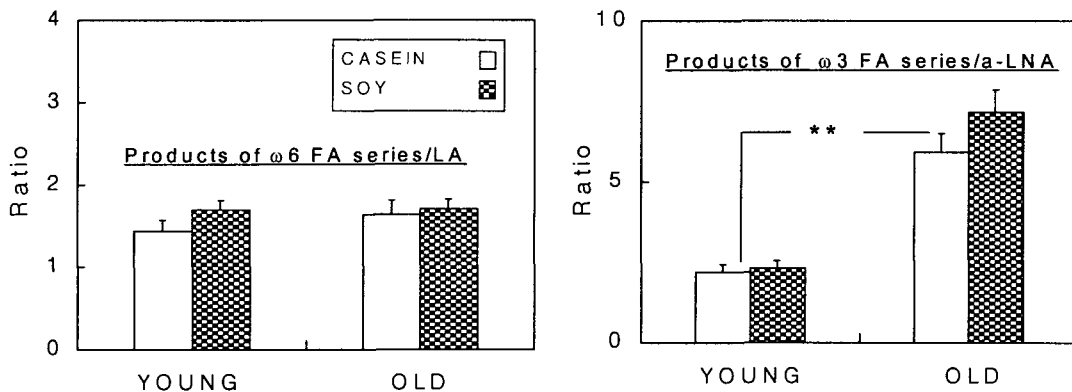


Fig. 2. The ratio of products of fatty acid/precursor fatty acid in plasma of rat. \*\*p<0.01. LA, C18:2 $\omega$ 6;  $\alpha$ -LNA, C18:3 $\omega$ 3.

Table 5. Various ratios of plasma phospholipids fatty acid composition<sup>1)</sup>

	SY <sup>2)</sup>	CY	SO	CO	Age	Prot	Age×Prot.
Desaturation index							
16:1 ω 7/16:0	0.100±0.01 <sup>b3)</sup>	0.148±0.01 <sup>a</sup>	0.100±0.01 <sup>b</sup>	0.121±0.01 <sup>ab</sup>	-	** <sup>4)</sup>	- <sup>5)</sup>
18:1 ω 9/18:0	0.679±0.05 <sup>b</sup>	1.07±0.09 <sup>a</sup>	0.630±0.09 <sup>b</sup>	0.853±0.12 <sup>ab</sup>	-	**	-
18:3 ω 6/18:2 ω 6	0.03±0.00	0.04±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	-	-	-
20:4 ω 6/20:3 ω 6	419.1±364.2	322.5±142.4	133.9±25.0	91.8±34.12	-	-	-
22:5 ω 6/22:4 ω 6	2.31±1.57 <sup>c</sup>	2.01±0.66 <sup>c</sup>	4.60±0.00 <sup>b</sup>	10.55±2.93 <sup>a</sup>	**	-	-
22:6 ω 3/22:5 ω 3	11.24±1.67	3.80±0.05	33.29±5.35	16.88±9.29	-	-	-
Elongation index							
20:3 ω 6/18:3 ω 6	0.87±0.37	0.37±0.16	0.45±0.05	1.42±0.87	-	-	-
22:4 ω 6/20:4 ω 6	0.03±0.01 <sup>a</sup>	0.02±0.02 <sup>ab</sup>	0.01±0.01 <sup>ab</sup>	0.008±0.00 <sup>b</sup>	**	-	-
22:5 ω 3/20:5 ω 3	0.56±0.35	0.77±0.27	0.69±0.39	1.45±0.81	-	-	-
Derivatives/Precursor ratio							
PFA3 <sup>6)</sup> /PFA6 <sup>7)</sup>	0.04±0.01 <sup>a</sup>	0.03±0.00 <sup>ab</sup>	0.02±0.00 <sup>b</sup>	0.02±0.00 <sup>b</sup>	*	-	-
DFA6 <sup>8)</sup> /PFA6	1.69±0.16	1.43±0.08	1.70±0.07	1.64±0.11	-	-	-
DFA3 <sup>8)</sup> /PFA3	2.29±1.11 <sup>b</sup>	2.19±0.36 <sup>b</sup>	7.13±2.18 <sup>a</sup>	5.90±1.10 <sup>ab</sup>	**	-	-
DFA3 <sup>8)</sup> /DFA6 <sup>8)</sup>	0.05±0.00 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>	0.08±0.01 <sup>a</sup>	0.08±0.01 <sup>a</sup>	*	-	-

<sup>1)</sup>Values are mean±SEM of 8 rats.

<sup>2)</sup>SY: soy bean-young, CY: casein-young, SO: soy bean-old, CO: casein-old.

<sup>3)</sup>Means in the same row with different superscripts are significantly different at p<0.05.

<sup>4)</sup>Significantly different by 2X2 factorial ANOVA test at \*p<0.05, \*\*p<0.01 and \*\*\*p<0.001.

<sup>5)</sup>-: Not significant.

<sup>6)</sup>PFA3: precursor of ω3 series fatty acid. <sup>7)</sup>PFA6: precursor of ω6 series fatty acid.

<sup>8)</sup>DFA3: derivatives of ω3 series fatty acid. <sup>9)</sup>DFA6: derivatives of ω6 series fatty acid.

Sugano 등(40)은 콩 단백질 섭취로 인한 혈중 지질저하 기전 중의 하나로서 지방산 조성의 변화를 통한 eicosanoid 대사의 변화를 제시한 바 있다. 또한 Koba 등(15)에 의하면, 식이 단백질은 막조직의 유동성에 영향을 줌으로써 desaturase 활성을 변화시킨다고 설명하였다. 즉 카제인에 비해 콩 단백질은 간조직 microsomes의 콜레스테롤 수준과 cholesterol/PL 비율을 낮춤으로써 막조직의 유동성을 증가시켜 결국 Δ-6 desaturase 활성을 감소시키게 된다고 설명하였다. 따라서 콩 단백질은 타우린이나 eritadenine과 같은 다른 지질 강하성분과 유사하게 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시킴으로써 간접적으로 간조직의 desaturase 활성을 저하시키는데 관여하였을 가능성을 생각해 볼 수 있겠다. 그러나 본 연구에서는 콩 단백질의 섭취로 혈장 콜레스테롤 수준이 유의하게 감소하지 않았으므로 이와 같은 설명이 정확히 이루어질 수 없다는 제약점이 있다.

그러나 최근 Madani 등(10)은 고순도의 콩 단백질을 흰쥐에게 2달간 섭취시킨 결과, 혈중 콜레스테롤 수준은 저하되지 않았으나, 18:1 ω 9/18:0의 비율인 Δ9-desaturation index는 감소하고, 간조직 microsomes의 ω6계 및 ω3계의 Δ6와 Δ5-desaturase 활성은 영향을 받지 않았다고 보고하였는데, 이는 본 연구결과와 매우 유사한 결과이다. 또한 Madani 등(10)은 식이에 콜레스테롤을 보충(0.1 wt%)한 결과, 식이 단백질의 종류와는 무관하게 desaturase 활성이 감소함을 보고하였다. 이러한 결과들을 종합하여, 그는 Leikin 등(39)이 이미 보고한 바와 같이, Δ6 desaturation과 Δ5 desaturation 반응을 통한 LA ω6와 α-LnA ω3의 대사조절에 있어, 단백

질의 종류보다는 콜레스테롤이 더 중요한 요인임을 지적하였다. 그러므로 본 연구에서 식이 단백질의 종류에 의해서는 Δ9 desaturation index 이외에는 그 변화가 관찰되지 않은 것은 고콜레스테롤혈증을 유발하기 위해 식이에 콜레스테롤(0.5 wt%)을 첨가하였기 때문으로 설명될 수 있겠다. 따라서 혈장 인지질의 지방산 조성 및 대사에 미치는 콩 단백질의 순수 효과를 알아보기 위해서는 콜레스테롤이 보충되지 않은 상태에서 콩 단백질의 효과를 알아보는 후속연구가 필요하다고 생각된다.

한편, 본 연구결과에 대한 또 다른 보충 설명으로, Leikin 등(39)은 콜레스테롤 보충에 의한 Δ9-, Δ6- 및 Δ5-desaturase 활성 변화는 서로 다른 양상을 보인다고 보고하였다. 즉 간 microsome 막조직내에 콜레스테롤 함량이 증가하면 막조직이 질서 정연해지면서 막조직에 존재하는 효소 Δ-9 desaturase 활성을 증가시킬 뿐 아니라 막조직의 유동성을 유지시키기 위해 불포화지방산의 합성을 촉진하게 된다고 하였다. 반면, Δ-5와 Δ-6 desaturase 활성은 Δ-9 desaturase보다는 좀 더 세심한 micro-environment에 의해 영향을 받는다고 하였다. 뿐만 아니라 기능적인 측면에서도 Δ-5와 Δ-6 desaturase는 eicosanoid 합성과 막조직의 구조를 유지하는데 필요한 AA(20:4 ω 6)를 합성·공급하는데 중요한 효소인 반면에, Δ-9 desaturase는 주로 막조직의 적절한 물리·화학적 성질을 유지하는데 관여하는 효소(42)이므로, 본 연구결과와 같이 두 효소군의 활성은 서로 다르게 조절될 수 있음을 시사해 주고 있다.

**Age 효과:** Δ9-, Δ6- 및 Δ5-desaturation index는 연령

에 의한 영향을 받지 않았으며,  $\Delta$ -4 desaturation index (22:4 $\omega$ 6 $\Rightarrow$ 22:5 $\omega$ 6)인 22:5 $\omega$ 6/22:4 $\omega$ 6 비율은 young군에 비해 old군에서 높았다( $p < 0.01$ ). Elongation index(20:4 $\omega$ 6 $\Rightarrow$ 22:4 $\omega$ 6)인 22:4 $\omega$ 6/20:4 $\omega$ 6 비율은 young군에 비해 old군에서 낮았다( $p < 0.01$ )(Table 5).

연령이 증가함에 따라 간조직의  $\Delta$ 6-desaturase 활성은 감소하는데(36,37,42). 특히 Dinh 등(43)은 흰쥐 간조직의  $\Delta$ 6 desaturase 활성이 생후 2~6개월까지는 높게 유지하다가 6~12개월 사이에 30% 정도 감소하여 이 수준이 24개월까지 계속 유지됨을 관찰하였다. 이를 근거로, 흰쥐의 PUFA 대사를 생후 2~6개월은 "young" 단계, 6~12개월은 "과도기(transition)" 단계 그리고 12개월 이후는 "old" 단계의 3단계로 나누었다. 본 연구에서 사용된 실험동물의 연령은 각각 생후 7주와 생후 10개월된 쥐로 Dinh 등(43)의 분류에 의하면, old군의  $\Delta$ 6-desaturation index가 더 낮아야 하나 두 연령군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 대부분의 elongation과 desaturation 단계에서는 연령에 의해 유의한 차이를 보이지 못하였으나,  $\omega$ 3계 지방산의 전체적인 elongation-desaturation 단계를 나타내주는,  $\Sigma$ products-fatty acid/ $\alpha$ -LNA( $\omega$ 3)비율이 old군에서 young군보다 유의하게 높아( $p < 0.01$ )(Fig. 2), 연령에 의해 PUFA 대사가 변화됨을 관찰할 수 있었다.

한편 대부분의 연구와는 다르게 old군에서 필수지방산의 elongation-desaturation이 증가되어 PUFA 조성 비율이 높은 것은, 연령이 증가함에 따라 혈중 콜레스테롤과 중성지방의 수준이 유의하게 증가(Table 2)함으로 인해, 간 microsome 막조직의 유동성이 감소하게 되므로, 이러한 변화를 최소화하기 위해 유동성이 큰 PUFA의 합성이 증진되었다고 설명할 수 있겠다. 이 때  $\omega$ 6계 지방산보다는  $\omega$ 3계의 지방산의 elongation-desaturation이 증가한 것은 desaturation은  $\omega$ 3  $>$   $\omega$ 6  $>$   $\omega$ 9의 순서로 우선적으로 일어나기 때문(44)으로 사료된다.

## 요 약

혈중 지질농도는 식이단백질 종류보다는 연령의 영향을 많이 받아, young군보다 old군의 총 콜레스테롤, TG, HDL-콜레스테롤, LDL+VLDL-콜레스테롤 및 AI 모두 높았다. 한편 콩 단백질군에서 HDL-콜레스테롤 수준이 증가하고, LDL+VLDL-콜레스테롤과 AI는 감소하여, 심혈관질환에 대한 콩 단백질의 유익한 효과를 확인할 수 있었다. 식이단백질에 의해 유의한 영향을 받은 혈장 인지질의 지방산 조성 중 22:0, 18:1 $\omega$ 9,  $\Sigma$ MUFA 조성은 카제인군에서 콩 단백질군보다 높았으며, 반대로  $\Sigma$ SFA 조성은 카제인군에서 낮았다. 연령에 의해 혈장 인지질 지방산 조성에 있어 유의한 차이를 보인 지방산 중 22:0, 18:1 $\omega$ 9, 22:1, 18:3 $\omega$ 3 및 22:4 $\omega$ 6는 young군에서 높은 반면에, 22:6 $\omega$ 3,  $\Sigma$  $\omega$ 3, 18:2 $\omega$ 6, 20:4 $\omega$ 6,  $\Sigma$  $\omega$ 6 및  $\Sigma$ PUFA의 조성비율은 old군에서 높게 나타났다. 이와 같이 식이 단백질의 종류보다 연령의 영향력이 더 많이

나타난 것은 혈중 콜레스테롤 수준이 식이 단백질보다는 연령의 영향을 더 크게 받았기 때문으로 생각된다. 혈장 인지질 지방산의 대사지표 중  $\Delta$ 7-desaturation index(16:0 $\Rightarrow$ 16:1 $\omega$ 7)와  $\Delta$ 9-desaturation index(18:0 $\Rightarrow$ 18:1 $\omega$ 9)가 식이 단백질의 영향을 받아 카제인군에 비해 콩 단백질군에서 유의하게 낮았다.  $\Delta$ 7- 및  $\Delta$ 9-desaturation index만이 식이 단백질의 영향을 받은 것은 식이 단백질보다 desaturase 활성에 더 큰 영향력을 미치는 콜레스테롤이 식이에 첨가되었기 때문이라 생각된다.  $\Delta$ -4 desaturation index (22:4 $\omega$ 6 $\Rightarrow$ 22:5 $\omega$ 6)는 young군에 비해 old군에서 높았으며, elongation index(20:4 $\omega$ 6 $\Rightarrow$ 22:4 $\omega$ 6)는 old군에서 낮았다. 대부분의 elongation과 desaturation 단계는 연령에 따라 유의한 차이를 보이지 못하였으나,  $\omega$ 3계 지방산의 전체적인 elongation-desaturation 단계를 나타내는  $\Sigma$ products-fatty acid( $\omega$ 3)/ $\alpha$ -LNA( $\omega$ 3) 비율이 old군에서 young군보다 유의하게 높아, 연령에 따른 PUFA 대사의 변화가 관찰되었다. 이상에서와 같이, 콩 단백질의 섭취로 흰쥐 혈장 인지질의  $\Sigma$ MUFA 조성은 낮고  $\Sigma$ SFA 조성은 높아 다른 지질 강화성분의 섭취와 유사한 결과를 나타내었다. 혈중 콜레스테롤 수준이 높은 old군에서 체내 막조직의 유동성을 유지하기 위해 PUFA의 합성 특히  $\omega$ 3계 지방산의 elongation-desaturation이 증가하여 총 PUFA 조성이 young군보다 높았다. 연구결과로 이소플라본을 포함한 콩 단백질의 혈중 지질저하 기전에 대해 체계적인 설명은 할 수 없지만, 콩 단백질이 혈장 지방산의 조성을 변화시킴으로써 간접적으로 심혈관계 질환에 대해 유익한 효과를 미침을 알 수 있었다. 한편, 이러한 혈관의 건강과 관련된 콩의 유익한 효과는 이소플라본과 같은 콩의 특정 성분의 단독효과라기보다는 콩 단백질과의 복합효과에 의한 것이라는 주장은 매우 설득력 있다고 생각된다.

## 문 헌

1. Korea National Statistical Office. 2000. The cause of death statistics.
2. Knight DC, Eden JA. 1996. A review of the clinical effects of phytoestrogens. *Obstetrics & Gyn* 87(5 Pt 2): 897-904.
3. Aderson JW, Johnstone BM, Cook-Newell ME. 1995. Meta-analysis of the effects of soy protein intake on serum lipids. *New Eng J Med* 333: 276-282.
4. Shutt DA, Cox RI. 1972. Steroid and phytoestrogen binding to sheep uterin receptors in vivo. *J Endocrinol* 52: 299-310.
5. Dwyer JD, Goldin B, Kang BS, Augustin MS. 2000. Importance of soy in the prevention of chronic disease in women. *Proceedings of the 2nd Asian Congress of Dietetics*. Aug 9-12, Seoul, Korea. p 282-289.
6. Setchell KDR. 1998. Phytoestrogens: the biochemistry, physiology, and implications for human health of soy isoflavones. *Am J Clin Nutr* 68 (suppl): 1333S-13346S.
7. Potter SM. 1995. Overview of proposed mechanism for the hypocholesterolemic effect of soy. *J Nutr* 125: 606S-611S.
8. Sanchez A, Hubbard RW. 1991. Plasma amino acids and the insulin/glucagon ration as an explanation for the dietary protein modulation of atherosclerosis. *Med Hypotheses* 35: 324-329.



9. Lichtenstein AH. 1998. Soy protein, isoflavone and cardiovascular disease risk. *J Nutr* 128: 1589-1592.
10. Madani S, Lopez S, Blond JP, Prost J, Belleville J. 1998. Highly purified soybean protein is not hypocholesterolemic in rats but stimulates cholesterol synthesis and excretion and reduces polyunsaturated fatty acid biosynthesis. *J Nutr* 128: 1084-1091.
11. Carroll KK, Kurowska EM. 1995. Soy consumption and cholesterol reduction: review of animal and human studies. *J Nutr* 125: 594S-597S.
12. Gaddi A, Ciarrocchi A, Matteucci A, Rimondi S, Ravaglia G, Descovich GC, Sirtori CR. 1991. Dietary treatment for familial hypercholesterolemia: differential effects of dietary soy protein according to the apolipoprotein E phenotypes. *Am J Clin Nutr* 53: 1191-1196.
13. Baum JA, Teng H, Erdman JW, Weigel RM, Klein BP, Persky VW, Freels S, Surya P, Bakhit RM, Ramos E, Shay NF, Potter SM. 1998. Long-term intake of soy protein improves blood lipid profiles and increases mononuclear cell LDL receptor mRNA in hypercholesterolemic postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 68: 545-551.
14. Huang YS, Koba K, Horrobin DF, Sugano M. 1993. Interrelationship between dietary protein, cholesterol and n-6 polyunsaturated fatty acid metabolism. *Prog Lipid Res* 32: 123-137.
15. Koba K, Wakamatsu K, Obata K, Sugano M. 1993. Effects of dietary proteins on linoleic acid desaturation and membrane fluidity in rat liver microsomes. *Lipids* 28: 457-464.
16. Choi YS, Goto S, Ikeda I, Sugano M. 1989. Interaction of dietary protein, cholesterol and age on lipid metabolism of the rat. *Br J Nutr* 61: 531-543.
17. Eklund A, Sjoblom L. 1980. Effect of the source dietary protein on serum lower density lipoprotein (VLDL+LDL) and tocopherol levels in female rat. *J Nutr* 110: 2321-2335.
18. Lu SC, Lin MH, Huang PC. 1996. A high cholesterol, (n-3) polyunsaturated fatty acid diet induces hypercholesterolemia more than a high cholesterol (n-6) polyunsaturated fatty acid diet in hamsters. *J Nutr* 126: 1759-65.
19. Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 2: 497-509.
20. Lepage G, Roy GC. 1986. Direct trans-esterification of all classes of lipids in a one step reaction. *J Lipid Res* 27: 114-129.
21. Park MS, Kudchodkar BJ, Liepa GU. 1987. Effects of dietary animal and plant proteins on the cholesterol metabolism in immature and mature rats. *J Nutr* 117: 30-35.
22. West CE, Deuring K, Schutte JB, Terpstra AH. 1982. The effect of age on the development of hypercholesterolemia in rabbits fed semipurified diets containing casein. *J Nutr* 112: 1287-1295.
23. Carroll KK. 1991. Review of clinical studies on cholesterol-lowering response to soy protein. *J Am Diet Assoc* 91: 820-827.
24. Anderson JW, Johnstone BM, Cook-Newell ME. 1995. Meta-analysis of the effects of soy protein intake on serum lipids. *N Engl J Med* 333: 276-282.
25. Eklund A, Sjoblom L. 1986. Effect of dietary protein on hepatic and plasma lipids, and some properties of major plasma lipoprotein fractions during dietary-induced hypercholesterolemia in male rats. *Biochim Biophys Acta* 877: 127-134.
26. Baum JA, Teng H, Erdman JW, Weigel RM, Klein BP, Persky VW, Freels S, Surya P, Bakhit RM, Ramos E, Shay NF, Potter SM. 1998. Long-term intake of soy protein improves blood lipid profiles and increases mononuclear cell LDL receptor mRNA in hypercholesterolemic postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 68: 545-551.
27. Kathryn AG, Parks JS, Williams JK, Wagner JD. 1999. Intact dietary soy protein, but not adding an isoflavone-rich soy extract to casein, improves plasma lipids in ovariectomized *Cynomolgus* Monkeys. *J Nutr* 129: 1585-1592.
28. Anthony MS, Clarkson TB, Bullock BC, Wagner JD. 1997. Soy protein versus soy phytoestrogens in prevention of diet-induced coronary artery atherosclerosis of male *cynomolgus* monkeys. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 17: 2524-2531.
29. Sugiyama K, Yamakawa A, Kawagishi H, Saeki S. 1997. Dietary eritadenine modifies plasma phosphatidylcholine molecular species profile in rats fed different types of fat. *J Nutr* 127: 593-599.
30. Park T, Lee KS, Oh JY, Kim IS, Um YS. 1998. Changes of fatty acid compositions in hepatic total lipids and phospholipids of rats supplemented with cholesterol and taurine. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 27: 1253-1261.
31. Park T, Chung EJ, Um YS, Oh JY, Lee-Kim YC. 1998. Effects of oral taurine supplementation on plasma total and phospholipid fatty acid patterns in healthy female adults. *Kor J Nutr* 31: 1315-1323.
32. Jensen Clark RM, Gerrior SA, Fey MB, Gotto AM Jr. 1979. Cholesterol ester and triacylglycerol fatty acids in type V hyperlipidemia. *Lipids* 14: 691-694.
33. Bohov P, Balaz V, Sebokova E, Klimes I. 1997. The effect of the hyperlipidemia on serum fatty acid compositions in type 2 diabetics. *Ann N Y Acad Sci* 20: 561-567.
34. Prisco D, Paniccia R, Coppo M, Vanni D, Rogasi PG, Tramontana M, Abbate R, Gensini GF. 1989. Red blood cell lipid alterations in type II diabetes mellitus. *Thromb Res* 54: 751-758.
35. Park T, Chung EJ, Um YS, Song YD. 1999. Serum phospholipid-fatty acid pattern in primary hyperlipidemia patients. Presented at the Ann. Meeting of Korean Nutrition Society.
36. Michalak J, Kadziolka A, Pruszkowska R, Ledwozyw A, Madejczyk A. 1988. Compensatory mechanisms in erythrocyte lipids in patients with atherosclerosis. *Lipids* 23: 476-480.
37. Hrelia S, Bordoni A, Celadon M, Turchetto E, Biagi PL, Rossi CA. 1989. Age-related changes in linoleate and alpha-linolenate desaturation by rat liver microsomes. *Biochem Biophys Res Commun* 163: 348-355.
38. Garg ML, Wierzbiki AA, Thomson ABR, Cladinin MT. 1988. Dietary cholesterol and/ or n-3 fatty acid modulate  $\Delta 9$ -desaturase activity in rat liver microsomes. *Biochim Biophys Acta* 962: 330-336.
39. Leikin AI, Brenner RR. 1987. Cholesterol-induced microsomal changes modulate desaturase activities. *Biochim Biophys Acta* 922: 294-303.
40. Sugano M, Ishida T, Koba K. 1988. Protein-fat interaction on serum cholesterol level, fatty acid desaturation and eicosanoid production in rat. *J Nutr* 118: 548-554.
41. Huang YS, Cunnane SC, Horrobin DF. 1986. Effect of different dietary proteins on plasma and liver fatty acid compositions in growing rats. *Proc Soc Exp Biol Med* 181: 399-403.
42. Brenner RR. 1990. Role of cholesterol in the microsomal membrane. *Lipids* 25: 581-585.
43. Dinh TK, Bourre JM, Durand G. 1993. Effect of age and alpha-linolenic acid deficiency on delta 6 desaturase activity and liver lipids in rats. *Lipids* 28: 517-523.
44. Brenner RR. 1984. Effect of unsaturated fatty acids on membrane structure and enzyme kinetics. *Prog Lipid Res* 23: 69-96.