

Casein과 대두단백의 혼합비율 및 Pectin 첨가 수준이 흰쥐의 체내 지방대사에 미치는 영향

이 일 하 · 김 미 경

중앙대학교 가정교육학과

Effects of Soyprotein and Casein Mixtures Combined with Various Levels of Pectin on Lipid Metabolism in Rats

Lilha Lee, Mi Gyeong Kim

Department of Home Economics Education Chung-Ang University

= ABSTRACT =

This experiment was designed to investigate the effects of the mixing ratio of soyprotein and casein, and the level of pectin combined with the mixture on lipid metabolism in rats.

Forty-eight male weanling rats of Wistar strain weighing $58.8 \pm 1.9g$ were divided into six groups by completely randomized block design and fed 10% protein diet for four weeks. Two types of protein mixtures (casein to soyprotein mixing ratio of 1 : 3 and 2 : 1) combined with 0.5%, 3%, and 5% of pectin were employed for experimental diets.

The results obtained in the study are summarized as follows ;

1) Feed efficiency ratio and protein efficiency ratio were not significantly different among six groups for the whole experimental period, but those for high casein-low pectin group were significantly higher than the ones for high soy-high pectin group at 4th week of the experimental period.

2) Gross fecal dried weight and fecal lipid excretion were higher in high pectin groups of both protein combinations. Therefore, the apparent fat digestibility and absorption appeared to be significantly low in high pectin groups.

3) Pectin was effective in lowering serum lipid and cholesterol levels in high casein groups, but no effect of pectin was noted in high soyprotein groups.

4) Lipid and cholesterol contents of the liver were higher in high soy-low pectin group than the others. And no marked differences in lipid and cholesterol contents in the kidney and carcass were observed.

서 론

혈중의 콜레스테롤, 지방질 함량은 동맥경화성 심장 및 순환기계 질환(atherosclerotic cardiovascular disease)과 상관관계가 있는 것으로 알려져 있고¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ 식이중의 지방 함량이나 지방의 불포화도, 콜레스테롤 함량, 그리고 식이 섬유질과 설탕 섭취량등이 혈중의 지방질, 콜레스테롤 농도를 변화시킨다는 사실이 많은 연구 보고들에 의해 알려졌다⁵⁾⁶⁾. 그런데 최근에는 hypercholesterolemia와 동맥경화증(atherosclerosis)에 대한 식이 단백질의 효과가 많은 관심의 대상이 되고 있으며 식이 성분들 간의 상호작용 역시 많은 영향을 미친다는 사실을 인식하게 되었다⁶⁾⁷⁾.

· 식이 단백질중 동물성 단백질의 식이내 함량과 cardiovascular disease로 인한 사망률 사이에 높은 상관관계가 있음이 보고되었고⁶⁾ hypercholesterolemia 환자에게서⁷⁾⁸⁾, 그리고 쥐(rats)⁹⁾¹⁰⁾, 닭¹¹⁾, 토끼(rabbits)¹²⁾ 등 여러 동물을 대상으로 실시한 실험으로부터 casein 등 동물성 단백질에 비해 대두단백질등 식물성 단백질이 hypocholesterolemic effect를 지녔음이 보고되었다. 그리고 식물성 단백질과 동물성 단백질의 효과가 서로 다른 것은 단백질의 조성 아미노산의 비율, 특히 arginine/lysine의 비율 때문인 것으로 보고되기도 하였다⁹⁾¹⁰⁾¹²⁾.

이외에도 식이 섬유질이 지방 대사에 관여하여 체내의 지방질과 콜레스테롤 함량을 변화시킨다고 알려져 있고 그중에서도 채소류, 과일류, 감귤류등의 껍질에 많이 함유되어 있는 pectin이 혈중의 지질과 콜레스테롤 농도를 저하시키고 콜레스테롤의 대사 산물인 담즙산(bile acid), 중성 sterols 등의 배설량을 증가시키는 효과가 가장 크다는 사실이 사람과 동물을 대상으로 한 연구보고에서 많이 나오고 있다¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾.

이처럼 식물성 단백질과 pectin 이 hypocholesterolemic, hypocholesterolemic effect를 가지고 있다는 사실에 근거하여 전체 단백질 섭취량 중 약 1/3 ~ 1/4을 동물성 단백질로부터 섭취하므로써 단백질 섭취에 있어서 질적인 문제를 안고 있고, 과채류를 많이 섭취하므로써 pectin 섭취량이 다소 높은 우리나라사람들의 식이¹⁹⁾가 과연 체내 지방대사에 어떠한 영향을 미치는가 하는 것을 동물성 단백질 섭취량이 전체 단백질 섭취량의 2/3정도를 차지하고 채소류의 섭취가 적어 pectin 섭취량이 낮은 서구인들의 식이 양상이 미치는 효과와 비교해 보고 아울러 식물성 단백질 섭취가 많으면서 pectin 섭취가 적을때, 또는 동물성 단백질 섭취가 많으면서 pectin 섭취도 많을 때 체내 지방 대사에 어떠한 영향을 미치는 가를 알아보기 위해 본 연구를 실시하였다.

실 험 재 료

1) 실험 동물의 사육

실험 동물은 젖豚 흰 쥐로 평균 체중이 58.8±1.9 g인 Wistar종 수컷 48마리를 대상으로 하였으며 환경에 적응시키기 위하여 4일간 20% casein 표준식이로 사육 후 체중에 따라 난괴법(Completely randomized block design)에 의해 8마리씩 6개 군으로 나누어 4주간 사육한 후 희생시켰다.

실험군은 단백질 급원인 casein과 soyprotein isolate을 1:3으로 혼합한 것과 2:1로 혼합한 것으로 대분되며 이에 각각 pectin을 0.5%, 3%, 5%수준으로 두어 모두 6개 군으로 분류하였다. 실험군의 분류와 내용은 (표 1)에 제시되어 있다.

실험 동물은 cage 당 1마리씩 분리하여 사육하였으며 물과 사료는 제한없이 먹도록 하였다.

Table 1. Classification of experimental groups.

Experimental groups	No. of animals	protein ratio	pectin level
High soy - Low pectin (HS - LP)	8	casein 1 : soy protein isolate 3	0.5 %
High soy - Medium pectin (HS - MP)	8	casein 1 : soy protein isolate 3	3 %
High soy - High pectin (HS - HP)	8	casein 1 : soy protein isolate 3	5 %
High casein - Low pectin (HC - LP)	8	casein 2 : soy protein isolate 1	0.5 %
High casein - Medium pectin (HC - MP)	8	casein 2 : soy protein isolate 1	3 %
High casein - High pectin (HC - HP)	8	casein 2 : soy protein isolate 1	5 %

2) 실험 동물의 식이

(1) 식이의 준비

탄수화물 급원은 시판되고 있는 옥수수 전분 (장미표)으로, 지방의 급원은 옥수수 기름 (두산표)으로, 단백질 급원은 Casein(Junsei chemical Co.)과 Soy-protein isolate (supro. 620, Ralston Purina Company)으로 하였으며 섬유질 (fiber)원으로는 Pectin (남영상사주식회사)을 사용하였다.

(2) 식이의 배합

모든 실험 식이의 단백질 수준은 식이 총량당 10%로, 지방은 4%로, 탄수화물은 pectin까지 포함하여 81.6%로 고정시켰다 (표 2). Pectin의 수준은 0.5%, 3%, 5%로 책정하였는데 저 pectin 군으로서의 0.5%는 섬유질을 적게 섭취하는 서구식 식사에서 섬유질 섭취를 모두 pectin으로 한다고 가정하고 설정한 것이며 3%는 우리나라 국민 전체가 식품을 통해서 섭취하는 섬유질 양을 근거로 설정한 것이며 고 pectin 군으로서의 5%는 과채류를 특히 많이 먹는 사람들이 섭취하는 양으로 보고 설정한 것이다.

그외에 vitamin 류, salt mixture는 모든 식이가 동일하게 하였다. 이들의 조성을 보면 다음과 같다.

① Salt mixture의 조성 (g/kg): calcium carbonate 300; dipotassium phosphate 322.5; magnesium sulfate·7 H₂O 102; monocalcium phosphate·2H₂O 75.0; sodium chloride 167.5; ferric citrate·6H₂O 27.5; potassium iodide 0.8; zinc chloride 0.25; copper sulfate·5H₂O 0.3; manganous sulfate·H₂O 5.0;

② Vitamin A.D mixture의 조성 (mg/cc corn oil)

: vitamin A 0.1 (850 I.U.); vitamin D. 0.01(85 I.U.)

③ Fat soluble vitamin mixture의 조성 : Corn oil 200cc에 α-tocopherol acetate (vit. E) 5g과 menadione (vit. k) 200mg을 녹임.

④ Water soluble vitamin mixture (mg/kg diet) choline chloride 2000; thiamin hydrochloride 10; riboflavin 20; nicotinic acid 120; pyridoxine 10; calcium pantothenate 100; biotin 0.05; folic acid 4; inositol 500; para-amino benzoic acid 100.

⑤ Vitamin B₁₂ solution : vitamin B₁₂ 5mg을 증류수 500cc에 녹인것.

실험 방법

실험기간동안 매일 식이 섭취량을 측정하였고 매주 1회 체중을 측정하였으며 식이 효율(Feed Efficiency Ratio : F.E.R.)과 단백질 효율(Protein Efficiency Ratio : P.E.R.)을 계산하였다.

$$\text{식이효율 (F.E.R.)} = \frac{\text{일주일간 체중 증가량(g)}}{\text{일주일간 식이 섭취량(g)}}$$

$$\text{단백질 효율(P.E.R.)} = \frac{\text{일주일간 체중 증가량(g)}}{\text{일주일간 단백질 섭취량(g)}}$$

실험 종료 마지막 주에 3일간 변을 채취하여 건조시킨 후 무게를 재어 분말로 만들어서 Saxon법²⁰⁾에 의해 변 내의 지방을 정량하였으며 정량한 지방을 가지고 Zak법²¹⁾에 의해서 변 내의 콜레스테롤 함량을 비색 정량하였다. 그리고 변내의 지방량을 근거로 지방의 소화흡수율을 계산하였다.

Table 2. Composition of diet

		(g / kg diet)					
Experimental groups		Nutrients	protein	fat	carbohydrate	pectin	calorie *
			HS	-	LP	100	40
HS	-	MP	100	40	786	30	3.904
HS	-	HP	100	40	766	50	3.824
HC	-	LP	100	40	811	5	4.004
HC	-	MP	100	40	786	30	3.904
HC	-	HP	100	40	766	50	3.824

* calculated value (Kcal / g)

Table 3. Feed efficiency ratio and protein efficiency ratio

Experimental groups	F. E. R.					P. E. R.					Mean
	1st week	2nd week	3rd week	4th week	Mean	1st week	2nd week	3rd week	4th week	Mean	
HS - L P	0.168 ± 0.036*	0.226 ± 0.022*	0.199 ± 0.023*	0.193 ± 0.010 ^{ab} **	0.199 ± 0.011*	1.676 ± 0.360*	2.236 ± 0.218*	1.980 ± 0.227*	1.918 ± 0.100 ^{ab} **	1.954 ± 0.127*	
HS - MP	0.128 ± 0.020	0.151 ± 0.014	0.228 ± 0.025	0.183 ± 0.024 ^{ab}	0.171 ± 0.011	1.265 ± 0.199	1.519 ± 0.139	2.269 ± 0.245	1.829 ± 0.239 ^{ab}	1.702 ± 0.102	
HS - HP	0.138 ± 0.033	0.174 ± 0.029	0.225 ± 0.011	0.171 ± 0.010 ^b	0.180 ± 0.011	1.368 ± 0.329	1.745 ± 0.298	2.261 ± 0.102	1.694 ± 0.106 ^b	1.769 ± 0.095	
HC - L P	0.192 ± 0.042	0.211 ± 0.036	0.219 ± 0.030	0.245 ± 0.029 ^a	0.219 ± 0.021	1.926 ± 0.416	2.108 ± 0.358	2.185 ± 0.307	2.451 ± 0.282 ^a	2.169 ± 0.212	
HC - MP	0.204 ± 0.022	0.203 ± 0.031	0.245 ± 0.009	0.195 ± 0.021 ^{ab}	0.214 ± 0.011	2.031 ± 0.223	2.024 ± 0.304	2.445 ± 0.088	1.963 ± 0.216 ^{ab}	2.115 ± 0.117	
HC - HP	0.160 ± 0.037	0.184 ± 0.036	0.204 ± 0.045	0.206 ± 0.017 ^{ab}	0.194 ± 0.021	1.624 ± 0.364	1.828 ± 0.357	2.048 ± 0.454	2.054 ± 0.172 ^{ab}	1.889 ± 0.219	

* Mean ± S.E

** Significantly different (P < 0.05) between different superscripts within the same column.

$$\text{지방 소화흡수율 (Apparent fat digestibility)} = \frac{\text{지방섭취량} - \text{지방배설량}}{\text{지방 섭취량}} \times 100$$

4 주간의 실험 기간이 끝난 후 혈액과 간, 콩팥, 정소상체의 지방조직(epididymal fat pad : E.F.P.), 뒷다리 근육중 gastrocnemius (좌, 우)를 채취하였으며 혈액은 2000 r.p.m.에서 30분간 원심분리시켜 혈청을 얻어 Zak법에 의해서 혈청내의 총콜레스테롤량을 Fring법²²⁾에 의해서 혈청내의 지방질량을 비색정량하였다. 채취한 조직들 중 간, 콩팥은 건조시킨 후 분말로 만들어 변과 마찬가지로 Saxon법과 Zak법을 이용하여 지방과 콜레스테롤 함량을 측정하였다. 간, 콩팥, 정소상체 지방조직, 뒷다리 근육을 제외한 나머지 사체는 Mickelson & Anderson법²³⁾에 의해 흡으로 만든 후 Bligh & Dyer법²⁴⁾으로 지방질 함량을, Zak법에 의해 사체 총콜레스테롤 함량을 측정하였다.

실험 결과는 P=0.05수준에서 Duncan's multiple range test²⁵⁾에 의해 각 실험군 평균치 간의 유의성을 검정하였다.

실험 결과 및 고찰

1) 식이 효율 및 단백질 효율
 전 실험기간동안의 평균 식이 효율과 단백질 효율은 실험군들 간에 유의적인 차이가 없었으나 실험 4주째에 고casein-저pectin군이 고soy-고pectin 군보다 유의적으로 높게 나타났다(P < 0.05) (표 3).

식이 효율과 단백질 효율에 대한 여러 연구보고들에 의하면 pectin은 식이 섭취량 및 체중 증가량을 저하시킨 뿐만 아니라 식이 효율과 단백질 효율, 그리고 단백질 소화율등도 저하시키는 효과를 지닌 것으로 나타났다¹⁴⁾²⁷⁾ 이것은 본 연구에서 4주째의 결과와 일치하는 것 같다. 또 bagasse나 cellulose³⁰⁾, 밀짚³¹⁾ 등을 식이에 첨가했을 때 식이 효율은 첨가량이 증가함에 따라 감소되었다는 보고도 있는 반면 밀기울을 1% 첨가했을 때 성장이 촉진되고 식이 효율도 증가되었다는 보고³¹⁾가 있다. 따라서 섬유질의 종류에 따라 식이 효율 및 단백질 효율에 미치는 영향이 조금씩 다른 것을 알 수 있으며 pectin은 식이 효율과 단백질 효율을 저하시키는 효과를 지닌 것으로 보여진다.

2) 건조 변무게 및 지방 소화흡수율
 3일동안 수거한 변의 건조 시 무게는 pectin에 의한 영향을 받아 고casein-고pectin군이 고casein-

- Casein 과 대두단백의 혼합비율 및 Pectin 첨가 수준이 흰쥐의 체내 지방대사에 미치는 영향 -

저 pectin 군, 고 soy-저 pectin 군 보다 유의하게 높았으며 고 soy-고 pectin 군이 고 casein-저 pectin 군보다 유의하게 높았다 ($P < 0.05$) (표 4).

3 일간의 지방 섭취량은 모든 실험군들이 비슷했으나 지방 배설량에 있어서는 건조 변무게와 비슷한 경향을 보여 고 casein-고 pectin 군이 고 casein-저 pectin 군, 고 soy-저 pectin 군보다 유의하게 높았고 고 soy-고 pectin 군이 고 casein-저 pectin 군보다 유의하게 높아 ($P < 0.05$) 고 casein 군이 pectin의 영향을 더 많이 받은 것으로 나타났다. 따라서 지방 섭취량은 비슷한데 반해 지방 배설량이 가장 높은 군, 즉 고 casein - 고 pectin 군이 고 casein-저 pectin 군, 고 soy-저 pectin 군보다 지방 소화흡수율이 유의하게 낮았고 고 soy-고 pectin 군이 고 casein-저 pectin 군보다 유의하게 낮았다 ($P < 0.05$).

식이 섬유질이 변 배설량과 변의 부피, 지방 배설량을 증가시키고 지방 소화흡수율을 저하시킨다는 보고가 많이 있으며^{13) 16) 30) 32) 33)} 그 정도는 섬유질의 종류에 따라 조금씩 차이가 있다고 한다. 일반적으로 cellulose 와 hemicellulose 를 주로 함유하고 있는 밀섬유 (wheat fiber) 는 결장 (colon) 의 기능에 영향을 미침으로써 장 내용물의 장 통과 시간을 감소시키고 변 무게를 증가시키며 배변 횟수를 증가시키는 것으로 알려졌다. 과일이나 채소 중에 많이 함유되어 있는 pectin 은 변으로 배설되는 지방, 담즙산의 양을 증가시킨다고 한다.^{16) 34)} Cummings 등³⁵⁾ 의 보고에 의하면 5 명의 건강한 남학생들에게 6 주 동안 하루에 36g 씩의 pectin 을 첨가한 식사를 제공했을 때 배변 횟수와 장 통과 시간에는 변화가 없었으나 변 무게 (수분 함유상태) 는 33% 가 증가되었고 건조시 무게는 28% 가 증가되

었으며 변 중의 수분 비율은 변화가 없었다. 그리고 변을 통한 지방산의 배설량은 80% 가 증가되었고 질 소량은 47% 가 증가되었으며 지방 소화흡수율, 열량 흡수율, 단백질 소화율 등이 감소하였다. 이외에도 하루에 12g³⁶⁾ 혹은 15g³⁶⁾ 씩의 pectin 을 식이에 첨가해 줌으로써 변무게가 증가되었음이 보고되었고 Nyman & Nils-Georg Asp³⁷⁾ 는 밀기울, guar gum, methoxylated pectin 을 각각 식이에 첨가하여 쥐에게 먹였을 때 모든 섬유질이 변의 무게를 유의하게 증가시켰음을 보고하였다.

이처럼 섬유질이 변의 부피나 배설량에 영향을 미치는 것을 알 수 있으나 어떠한 기전에 의한 것인지는 명백하게 밝혀지지 않고 있는데 대체로 변 중의 성분, 즉 수분이나 고형물질의 증가와 관계 있는 것으로 받아들여지고 있다. 일반적으로 섬유소는 수분보유력이 있기 때문에 변의 부피를 증가시킨다고 알려져 있으며 변 중의 수분함량은 변 중의 총 섬유소 함량이나 pentose 함량과 높은 상관관계가 있다는 보고³⁶⁾ 가 있다. 또 섬유소에 의해 양이 증가되는 변 중의 고형 물질로는 이용될 수 없는 어떠한 특수한 당이나 이용될 수 있는 영양소들, 즉 단백질, 지방, 무기질 등이 있으며 장 내의 박테리아의 잔해등을 들 수 있다³³⁾. 이외에도 섬유질은 장 내에서 미생물의 작용을 받아 휘발성 지방산 (VFA) 을 형성하는데 이 VFA 는 변의 부피를 결정하는 주요 인자가 되며 또 배변 효과를 지니고 있다고 하였다³²⁾. Lignin 과 cellulose 는 이러한 미생물 작용을 가장 적게 받아 수분과 결합된 섬유질의 상당량이 distal colon 으로 갈 수 있기 때문에 변 중의 섬유질 함량이 많아져 변 무게가 증가하는 것이라 보았으며 pectin 과 guar gum 은 미생물의 작용을 가장 많이 받

Table 4. Fecal dry weight and apparent fat digestibility

Experimental groups	fecal dry weight (g/3 days)	fat intake (g/3 days)	fecal lipids excretion (g/3 days)	apparent fat digestibility (%)
HS - LP	1.48 ± 0.11* bc**	1.50 ± 0.07*	262.6 ± 30.79* bc**	82.5 ± 1.78* ab**
HS - MP	1.47 ± 0.07 bc	1.41 ± 0.50	265.1 ± 13.39 bc	80.1 ± 2.29 abc
HS - HP	1.82 ± 0.10 ab	1.54 ± 0.09	346.5 ± 40.25 ab	76.3 ± 3.94 bc
HC - LP	1.43 ± 0.16 c	1.57 ± 0.18	189.4 ± 19.67 c	87.5 ± 1.33 a
HC - MP	1.76 ± 0.11 abc	1.53 ± 0.14	290.8 ± 19.15 abc	80.1 ± 1.86 abc
HC - HP	1.92 ± 0.07 a	1.50 ± 0.14	404.7 ± 64.35 a	71.1 ± 4.97 c

* Mean ± S.E

** Significantly different ($P < 0.05$) between different superscripts within the same column.

아 쉽게 발효되므로 VFA 생성량이 많아지고 대신 변으로 배설되는 섬유질 양이 적어 변 무게의 증가가 더 적은 것이라 하였다. 따라서 cellulose를 섭취했을 때 변무게가 증가된 것은 변 중의 cellulose 함량과 수분량, 단백질등의 함량이 증가되었기때문인 것으로 보고 있으며 guar gum 이나 pectin을 섭취했을 때 이들은 장내에서 거의 완전히 발효되었기 때문에 변으로 배설된 섬유질 양이 소량이었음에도 건조 변무게가 증가되었던 것은 변 내의 단백질과 지방, 담즙산등의 양이 증가되었기때문이라고 하였다³²⁾.

본 실험 결과도 이상의 보고들과 일치한다고 볼 수 있는데 pectin 첨가량이 증가함에 따라 건조 변무게가 증가한 것은 지방 배설량이 증가된 것과 부합되며 그에 따라 지방 소화흡수율이 저하된 것은 당연한 결과인 것 같다.

3) 혈청중 지방질, 총콜레스테롤 함량 및 변 중의 콜레스테롤 함량

혈청의 지방질, 콜레스테롤 함량은 고 soyprotein 군에서는 차이가 없게 나타났으나 고 casein 군에서는 pectin 수준에 의한 영향을 받아 고 pectin 군이 다른 군들에 비해 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$) (표 5).

섬유질이 혈청 콜레스테롤 함량을 저하시키는 효과가 있다는 사실은 사람과 동물을 대상으로 한 연구 보고들로부터 지지되고 있으며^{14) 15) 16) 17) 18) 28)} 특히 pectin 과 guar gum이 가장 효과가 큰 것으로 보고되었다^{14) 15) 16) 18) 28)}. 이에 반해 섬유질이 혈청 지방질 함량에 미치는 영향에 대해서는 많은 논란이 있다^{14) 34) 38) 39)}.

채식가들이나 후진국 국민들의 혈중 지방질 함량이 대조군에 비해 낮은 것으로 보고되었으며³⁸⁾ 채소 섬유질이 hypolipidemic effect를 지녔다고 발표되었다^{38) 40)}.

또 pectin, guar gum 과 같은 점액성의 섬유질이 사람과 동물의 혈중 지방질, 콜레스테롤 함량을 저하시킨다고 하는데^{14) 17) 40)} 그 예로써 식이에 pectin을 4.8% 수준으로 첨가하여 쥐에게 먹었을 때 혈청 지방질 함량에는 변화가 없었으나 콜레스테롤 함량은 유의하게 저하되었으며 9.6% 수준에서는 모두 유의하게 저하되었다¹⁴⁾. 또 guar gum 과 pectin을 하루에 36g 씩 섭취한 사람들의 혈청 콜레스테롤 농도는 유의하게 저하되었으나 wheat fiber를 동량 섭취한 사람들의 혈청 콜레스테롤 농도는 약간 상승되었다⁴⁰⁾.

Durrington 등³⁶⁾, Kay & Truswell¹⁶⁾의 보고에 의하면 pectin의 콜레스테롤치 감소효과는 pectin 중의 methoxyl 기의 함량에 의해 영향을 받으며 pectin의 점성과 pectin이 첨가될 때의 형태도 매우 크게 영향을 미친다고 한다. 즉, methoxyl 기 함량이 많을수록 높은 효과를 나타내며 capsules 형태나 과자에 첨가된 상태로 섭취하는 것보다는 jelly 형태로 섭취하는 것이 더욱 효과적이라 한다. 그러나 이와는 달리 식이 섬유질의 hypolipidemic effect를 얻지 못한 연구들도 있는데^{28) 34) 39)} 대체로 pectin 과 guar gum, 채소, 과일 등이 hypocholesterolemic effect를 가지고 있는 것으로 보이며 식이 섬유질의 종류와 식이중의 함량, 같이 존재하는 다른 식이 성분들에 의해 그 효과가 조금씩 다르게 나타나는 것 같다. 본 연구에서 고 soyprotein 군에서 pectin에 의한 영향이 나타나지 않았던 원인은 다른 식이 성분들과의 상호작용 때문이 아닌가 생각되며 특히 단백질과의 상호작용이 있었던 것이 아닌가 추측된다. 사실, 콜레스테롤 대사(콜레스테롤 회전율과 분해과정)에 식이 단백질이 영향을 미치는데 그중 식물성 단백질은 hypocholesterolemic effect를 나타내며 그것은 식물성 단백질의 arginine/lysine 비율이 동

Table 5. Serum lipids and cholesterol level, and fecal cholesterol content

Experimental groups	serum		fecal cholesterol	
	total lipids (mg/100 mg)	total cholesterol (mg/100 mg)	mg/g dried feces	mg/total dried feces/3 days
HS - LP	250.6 ± 13.07* abc**	146.4 ± 5.19* ab**	15.37 ± 0.13* a**	22.69 ± 1.62* ab**
HS - MP	229.7 ± 14.54 abc	132.1 ± 3.64 b	13.87 ± 0.53 b	20.44 ± 1.23 bc
HS - HP	217.9 ± 8.84 abc	141.4 ± 4.30 ab	14.77 ± 0.46 ab	26.76 ± 1.18 a
HC - LP	256.2 ± 12.75 a	158.3 ± 7.88 a	11.69 ± 0.26 c	16.52 ± 1.73 c
HC - MP	254.3 ± 12.51 ab	153.5 ± 5.15 a	12.44 ± 0.22 c	21.85 ± 1.28 b
HC - HP	209.6 ± 7.46 c	131.9 ± 5.66 b	11.93 ± 0.31 c	22.77 ± 0.53 ab

* Mean ± S.E

** Significantly different ($P < 0.05$) between different superscripts within the same column.

- Casein 과 대두단백의 혼합비율 및 Pectin 첨가 수준이 흰쥐의 체내 지방대사에 미치는 영향 -

Table 6-1. Lipids and cholesterol contents in organs and tissues

Experimental groups	Liver			Kidney			Carcass		
	lipids mg/g dried weight	mg/total weight	cholesterol mg/g dried weight	lipids mg/g dried weight	mg/total weight	cholesterol mg/g dried weight	lipids (g)	cholesterol (mg)	
HS - LP	338.8 ± 11.07 ^{a,b,c}	446.8 ± 32.55 ^{a,b,c}	22.22 ± 1.93 ^{a,b,c}	195.7 ± 10.25 [*]	45.41 ± 1.09 [*]	13.56 ± 0.42 [*]	14.27 ± 1.63 [*]	519.6 ± 34.9 [*]	
HS - MP	250.3 ± 13.27 ^{b,c}	316.9 ± 32.24 ^b	16.96 ± 1.68 ^b	192.6 ± 10.65	41.49 ± 2.64	13.82 ± 0.31	8.80 ± 0.80	465.6 ± 32.0	
HS - HP	249.8 ± 10.92 ^{b,c}	312.6 ± 42.92 ^b	17.21 ± 0.63 ^b	188.0 ± 11.50	44.09 ± 1.39	13.66 ± 0.18	12.28 ± 1.68	512.8 ± 24.4	
HC - LP	252.2 ± 6.09 ^{b,c}	344.4 ± 28.34 ^b	15.32 ± 0.79 ^b	203.0 ± 5.00	47.89 ± 0.39	13.91 ± 0.77	14.77 ± 2.29	548.0 ± 38.8	
HC - MP	258.0 ± 17.02 ^b	319.9 ± 34.55 ^b	15.92 ± 0.54 ^b	202.7 ± 9.75	45.23 ± 1.29	14.33 ± 0.57	13.65 ± 1.79	541.2 ± 45.8	
HC - HP	211.6 ± 10.45 ^c	269.4 ± 16.09 ^b	15.85 ± 1.36 ^b	189.7 ± 2.25	43.26 ± 0.16	14.30 ± 1.16	10.54 ± 1.39	489.7 ± 37.3	

* Mean ± S.E

** Significantly different (P < 0.05) between different superscripts within the same column.

물성 단백질의 비율보다 높기때문이라는 보고들⁶⁾¹²⁾⁴¹⁾⁴²⁾이 있다. 즉 casein을 먹었을 때 대두단백질을 먹었을 때보다 콜레스테롤의 산화율이 1/2정도 더 낮았고 혈중 콜레스테롤의 회전율을 낮추는 것으로 나타났으며 콜레스테롤이 담즙산으로 전환되는 속도 감소되었다고 하였다⁶⁾¹²⁾. 따라서 casein이 hypercholesterolemia를 유발시킨 것이 부분적으로는 casein이 담즙산 생성율과 혈중 콜레스테롤의 회전율을 저하시켰기 때문일지도 모른다고 볼 수 있으며 이것은 대두단백질을 먹인 토끼⁴¹⁾와 쥐들⁴²⁾이 casein을 먹인 경우보다 변으로 더 많은 neutral sterols와 acidic sterols를 배설했다는 보고들과도 부합된다고 볼 수 있다. 본 연구에서 변 1g 당 콜레스테롤 함량이 고soyprotein군에서 고casein군들보다 유의하게 더 높게 나타난 것은 이러한 보고들과 어느 정도 일치되나 혈청 콜레스테롤 함량에서는 고casein군과 고soyprotein군 사이에 큰 차이가 없게 나타나 해석하기가 곤란하지만 pectin과의 상호작용에 의한 것이 아닌가 생각된다. pectin이 hypocholesterolemic effect를 나타내는 기전에 대해서는 아직 잘 알려져 있지 않으나 주로 변을 통한 담즙산 배설량의 증가와 관련된 것으로 보고 있는데 본 연구에서도 pectin첨가 수준이 증가함에 따라 혈청 콜레스테롤 함량이 저하되었고 3일간 변으로 배설된 총콜레스테롤 양이 증가되어 이상의 보고들과 일치됨을 보여주었다.

4) 간, 신장, 사체중의 지방질 함량 및 총콜레스테롤 함량

간의 건조시 무게 1g 당 지방질 함량과 콜레스테롤 함량을 보면 두 가지 모두 고soy-저pectin군에서 유의하게 가장 높았고(P < 0.05) 고casein-고pectin군의 지방질 함량이 가장 낮았으며 나머지 군들 사이에는 유의한 차이가 없었다. 그리고 간 전체에 들어 있는 지방질 및 콜레스테롤 함량도 이와 유사한 경향을 보여 고soy-저pectin군에서 유의하게 가장 높았으며 나머지 그룹들 사이에는 차이가 없었다(표 6-1).

간 무게에 있어서는 실험군들간에 유의적인 차이가 없었는데 반하여(표 6-2), 지방함량에 차이가 있는 것으로 보아 지방이외의 다른 성분들도 pectin에 의한 영향을 받지 않았나 생각된다. 그러나 신장, 사체중의 지방질 및 총 콜레스테롤 함량에는 실험군들 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았으며 신장의 무게 또한 실험군들 간에 유의적인 차이가 없었다. 따라서 신장이나 사체중의 지방질, 콜레스테롤은 간의 경우와는 달리 pectin에 의한 영향을 크게 받지 않은 것으로 보

Table 6-2. Fresh weight of organs and tissues

			(g)			
Experimental groups			Liver	Kidney	Epididymal fat pad	Gastrocnemius
HS	-	LP	4.465 ± 0.282 *	0.953 ± 0.035 *	0.928 ± 0.105 *	0.216 ± 0.014 *
HS	-	MP	4.184 ± 0.271	0.908 ± 0.038	0.694 ± 0.075	0.185 ± 0.024
HS	-	HP	4.193 ± 0.230	0.968 ± 0.026	0.857 ± 0.074	0.151 ± 0.022
HC	-	LP	4.485 ± 0.320	0.954 ± 0.051	0.969 ± 0.112	0.212 ± 0.027
HC	-	MP	4.437 ± 0.318	0.915 ± 0.051	0.876 ± 0.105	0.194 ± 0.024
HC	-	HP	4.135 ± 0.138	0.916 ± 0.033	0.766 ± 0.100	0.174 ± 0.013

* Mean ± S.E

이다.

식이 섬유질이 신체 장기관, 사체 중의 지방질 및 콜레스테롤 함량에 미치는 영향에 대해 발표된 내용들을 보면 식이 섬유질의 종류와 그와 함께 첨가되는 다른 식이 성분들에 의해 효과가 크게 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 그 예로써 9.6% pectin 첨가 식이를 먹은 쥐들의 간, 고환 중의 지방질 함량은 pectin 무첨가 식이를 먹은 쥐들에 비해 유의하게 낮았고 특히 간의 지방질 함량을 낮추는 데 pectin 효과가 가장 크게 나타났고 이외의 조직들, 즉 심장, 신장, 골격근의 지방함량에는 유의적인 영향이 없었으며 체내 지방량은 대조군에 비해 28.8% 감소되었다고 한다¹⁴⁾. 또 cholesterol 1%와 pectin N.F. (citrus) 5%를 함께 첨가한 식이를 쥐에게 먹인 경우¹⁵⁾, 혹은 cholesterol을 먹인 쥐에게 2.5%, 5%의 apple pectin을 첨가하여 먹인 경우¹⁵⁾ 모두 간의 지방질 함량이 저하되었으며 본 연구에서도 간과 신장의 지방질 함량은 이상의 보고들과 거의 비슷한 결과를 보여주었으나 정소상체 지방과 사체 지방질 함량에서는 본 연구 결과와 Rotenberg¹⁴⁾ 등의 보고에 일치되지 않았다. 이것은 pectin 첨가 수준이 본 연구에서 더 낮았기 때문(5%)이 아닌가 추측된다.

간의 콜레스테롤 함량 역시 pectin을 4.8%, 9.6%로 첨가했을 때 모두 pectin 무첨가군에 비해 유의하게 저하되었으며 신장, 심장의 콜레스테롤 함량은 pectin 9.6% 첨가시에도 영향을 받지 않았음이 보고되었다¹⁵⁾. 다른 실험²⁸⁾에서는 pectin의 경우에만 간의 콜레스테롤 함량이 유의하게 감소되었고 carrageenan과 cellulose는 영향을 미치지 않았으며 agar는 오히려 2배 정도 증가시키는 결과를 나타냈다. 그런데 이 보고에서

pectin 5% 첨가시에는 간의 콜레스테롤 함량에 유의적인 영향을 미치지 않았으나 7% 첨가시에 유의하게 영향을 미쳤으며 Leveille & Sauberlich²⁹⁾는 pectin 5% 첨가시에도 간의 콜레스테롤 함량이 유의하게 저하되었다고 하였다. 본 연구에서는 고soyprotein군에서 pectin 3%, 5% 첨가시 0.5% 첨가했을 때에 비해 간의 콜레스테롤 함량이 유의하게 저하되었고 고casein군에서는 pectin 수준에 의한 영향이 없었던 것으로 보아 단백질과 pectin 사이에 어떠한 상호작용이 있었던 것이 아닌가 생각된다. 또 pectin 5% 첨가시 체내 콜레스테롤 함량에 유의적인 변화가 없었다는 결과²⁸⁾는 본 연구 결과와도 일치하는 것으로 보이며 pectin은 그 첨가수준 및 함께 첨가되는 다른 식이 성분들에 의해서, 그리고 체내 장기관의 부위에 따라 그 효과가 다르게 나타나기는 하나 guar gum과 함께 장기관, 사체중의 지방질, 콜레스테롤 함량을 저하시키는 효과를 지니고 있는 것 같으며 밀기울이나 cellulose보다 더 많은 효과를 나타내는 것 같다.

이와같이 지방 소화흡수율, 지방 및 콜레스테롤 배설량, 혈청과 간의 지방질, 콜레스테롤 함량은 pectin에 의해 영향을 받는다고 볼 수 있으며 pectin의 효과는 식이중의 단백질 질에 따라 조금씩 다르게 나타나는 것 같다. 즉 지방 소화흡수율, 지방 및 콜레스테롤 배설량과 혈청 중의 지방질, 콜레스테롤 함량에 대한 pectin 효과는 고casein군에서 더 크게 나타났으며 간의 지방질, 콜레스테롤 함량에 대한 pectin의 효과는 고soy protein군에서 더 크게 나타났다.

결 론

본 연구는 동물성 단백질과 식물성 단백질의 혼합비

율이 다르고 pectin 첨가 수준이 다를 때 흰 쥐의 체내 지방 대사에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아보기 위해 식이의 단백질 수준을 식이중량의 10%로 하고 동물성 단백질 (casein) 과 식물성 단백질 (soyprotein isolate) 의 혼합 비율을 2:1 과 1:3 으로 하였으며 각각에 pectin 을 0.5%, 3%, 5%의 수준으로 첨가하여 모두 6 군으로 나누어 실험을 실시한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 식이효율과 단백질 효율에 있어서 실험 전체 기간을 통해서는 그룹간에 차이가 없었으나 실험 4주째에 고 casein - 저 pectin 군이 고 soy - 고 pectin 군보다 유의하게 높았다.

2) 건조 변무게와 지방 배설량은 pectin 을 많이 첨가한 군들이 유의하게 높았으며 특히 고 casein 군이 더 많은 영향을 받았다.

지방 소화흡수율은 지방섭취량이 각 군 모두 비슷한데 반해 지방 배설량이 고 pectin 군들에서 높았으므로 고 pectin 군들이 유의하게 낮았다.

3) 혈청의 지방질 및 총콜레스테롤 함량은 고 soy protein 군들 사이에는 차이가 없게 나타났으나 고 casein 군에서는 고 pectin 군이 저 pectin 군, 중 pectin 군들에 비해 유의하게 낮았다.

4) 간의 지방질, 콜레스테롤 함량은 고 soy - 저 pectin 군이 다른 모든 군들에 비해 유의하게 높았고 신장, 사체 중의 지방질과 콜레스테롤 함량은 실험군들간에 차이가 없었다.

REFERENCES

- 1) Havel, R.J., : *High-density lipoproteins, cholesterol transport and coronary heart disease*", *Circulation*, 60 ; 1-3, 1979.
- 2) Burke, M.D. : *Cholesterol, triglyceride, and lipoprotein studies : Strategies for clinical use*", *Postgrad. Med.*, 67 ; 263-273, 1980.
- 3) Miller, N.E. : *Plasma lipoproteins, lipid transport, and atherosclerosis : Recent development*", *J. Clin. Pathol.*, 32 : 639-650, 1979.
- 4) Miller, G.J., N.E. Miller, *Plasma High-density lipoprotein concentration and development of ischemic heart disease*", *Lancet*, 4 : 16-19, 1975.
- 5) Kritchevsky, D. : *"Diet and Atherosclerosis"*. *Am. J. Pathol.*, 84 : 615-632, 1976.
- 6) Carroll, K.K. : *"Dietary protein in relation to plasma cholesterol levels and atherosclerosis"*, *Nutr. Rev.*, 36 : 1-5, 1978.
- 7) Sirtori, C.R., E. Agradi, F. Conti, O. Mantero, E. Gatti ; *"Soybean protein diet in the treatment of Type II hyperlipoproteinemia"*, *Lancet*, 5 : 275-277, 1977.
- 8) Sirtori, C.R., E. Gatti, O. Mantero, F. Conti, M.A. Tavazzi, D. Kritchevsky ; *"Clinical experience with the soy protein diet in the treatment of hypercholesterolemia"*, *Am. J. Clin. Nutr.* 32 : 1645-1658, 1979.
- 9) Park, Myung-sook C., G.U. Liepa ; *"Effects of dietary protein and amino acids on the metabolism of cholesterol-carrying lipoproteins in rats"*, *J. Nutr.*, 112 ; 1892-1898, 1982.
- 10) Eklund, A., L. Sjöblom ; *"Effects of the source of dietary protein on serum lower density lipoproteins (VLDL+LDL) and tocopherol levels in female rats"*, *J. Nutr.*, 110 ; 2301-2335, 1980.
- 11) Hevia, P., W.J. Visek ; *"Dietary protein and plasma cholesterol in chickens"*, *J. Nutr.*, 109 ; 32-38, 1979.
- 12) Huff, M.W., K.K. Carroll, *"Effects of dietary proteins and amino acid mixtures on plasma cholesterol levels in rabbits"*, *J. Nutr.* 110 ; 1676-1685, 1980.
- 13) Kelsay, J.L., K.M. Behall, E.S. Prather ; *"Effect of fiber from fruit and vegetables on metabolic responses of human subjects : 1. Bowel-transit time, number of defecations, fecal weight, urinary excretions of energy and nitrogen and apparent digestibility of energy, nitrogen, and fat"*, *Am. J. Clin. Nutr.*, 31 : 1149-1153, 1978.
- 14) Rotenberg, S., P.E. Jakobsen ; *"The effect of dietary pectin on lipid composition of blood, skeletal muscle and internal organs of rats"* *J. Nutr.*, 108 ; 1384-1392, 1978.
- 15) Arthur, F.W., B.H. Ershoff ; *"Beneficial effects of pectin in prevention of hypercholesterolemia"*

- and increase in liver cholesterol in cholesterol fed rats," *J. Nutr.*, 74 ; 87- 92, 1961.
- 16) Kay, R.M., A.S. Truswell; "Effect of citrus pectin on blood lipid and fecal steroid excretion in man", *Am. J. Clin. Nutr.*, 30 ; 171- 175, 1977.
- 17) Vahouny, G.V.; "Dietary fiber, lipid metabolism, and atherosclerosis", *Fed. Proc.*, 41 ; 2801- 2806, 1982.
- 18) Truswell, A.S.; "Food fiber and blood lipids : in food and fiber", *Nutr. Rev.*, 35 : 51- 54, 1976.
- 19) 「국민 영양 조사 보고서」 보건 사회부, 1979.
- 20) Saxon : "Micro-analysis in medical chemistry", 3rd Ed. 181, 1956.
- 21) Seligson, B.: "Standard method of clinical chemistry", New York, Academic Press, 1968.
- 22) Frings, C.S., R. T. Dunn, "A colorimetric method for determination of total serum lipids based on the sulfo-phosphovanillin reaction", *Am. J. Clin. Path.*, 53 ; 89-91, 1970.
- 23) Paik, H.S., E.S. Yearick, "The influence of dietary fat and meal frequency on lipoprotein lipase and hormone-sensitive lipase in rat adipose tissue," *J. Nutr.*, 108 ; 1798 - 1805, 1970.
- 24) Bligh, E.G., W. J. Dyer, "A rapid method of total lipid extraction and purification", *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37 ; 911-917, 1959.
- 25) Montgomery, D.C.: "Design and analysis of experiments", John Wiley & Sons, 1976.
- 26) Viola, S.Z.G., S. Mokady, "Effect of pectin and algin upon protein utilization, digestibility of nutrient and energy in young rats", *Nutr. Rep. Int.*, 1; 367-375, 1970.
- 27) Hove, E.L., S. King, "Effects of pectin and cellulose on growth, feed efficiency, and protein utilization, and their contribution to energy requirement and caecal VFA in rats", *J. Nutr.*, 109 ; 1274-1278, 1979.
- 28) Tsai, A.C., J. Elias ; J.J. Kelley , Ray-Shiang C. Lin , J.R.K. Robson; "Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rats", *J. Nutr.*, 101 ; 1069-1074, 1971.
- 29) Leveille, G.A., H.E. Sauberlich; "Mechanism of the cholesterol-depressing effect of pectin in the cholesterol-fed rat", *J. Nutr.*, 88 ; 209-214, 1966.
- 30) Morgan, B., M. Heald, S. Atkin, J. Green, "Dietary fiber and sterol metabolism in the rat", *Br. J. Nutr.*, 32 ; 447-455, 1974.
- 31) Hedge, S.N., B.A. Rolls, A. Turvey, M. E. Coates, "The effects on chicks of dietary fiber from different sources : A growth factor in wheat bran", *Br. J. Nutr.*, 40 ; 63-69, 1978.
- 32) Cummings, J.H., M. J. Hill, D. J. A. Jenkins, J. R. Person, H.S. Wiggins; "Changes in fecal composition and colonic function due to cereal fiber", *Am. J. Clin. Nutr.*, 29 ; 1468-1473, 1976.
- 33) Celia, J.P., D.A.T. Southgate; "The effects of a supplement of dietary fiber on fecal excretion by human subjects", *Br. J. Nutr.*, 41 ; 495- 503, 1979.
- 34) Kelsay, J.L.: "A review of research on effects of fiber intake on man", *Am. J. Clin. Nutr.*, 31 ; 142-159, 1978.
- 35) Cummings, J.H., D.A.T. Southgate, W. J. Branch, H.S. Wiggins, H. Houston, D.A.T. Jenkins, T. Jivraj, M.J. Hill, "The digestion of pectin in the human gut and its effect on calcium absorption and large bowel function", *Br. J. Nutr.*, 41 ; 477- 485, 1979.
- 36) Durrington, P.N., A.P. Manning, C.H. Belton, M. Hartog; "Effect of pectin on serum lipids and lipoproteins, whole-gut transit time and stool weight", *Lancet*, 2 ; 394, 1976.
- 37) Nyman, M., N. Asp, "Fermentation of dietary fiber components in the rat intestinal tract", *Br. J. Nutr.*, 47 ; 357- 366, 1982.
- 38) Sacks, F.M., W.P. Castelli, A. Donner, E. H. Kass, "Plasma lipids and lipoproteins in vegetarians and controls," *New Engl. J. Med.*, 292 ; 1148, 1975.
- 39) Linchen, W.J. : J. W. Anderson, "Effect of guar gum and wheat bran on lipid metabolism of rats", *J. Nutr.*, 109 ; 1028-1034, 1979.
- 40) Jenkins, D.J.A., A.R. Leeds, C. Newton, J.H. Cumming; "Effect of pectin, guar gum, and

- wheat fiber on serum-cholesterol*”, *Lancet*, 1116 - 1117, 1975.
- 41) Fumagalli, R., R. Paoletti, A. N. Howard; “Hypocholesterolemic effect of soya”, *Life Science*, 22 ; 947-952, 1978.
- 42) Nagata, Y., K. Imazumi ; M. Sugano; “Effects of soya-bean protein and casein on serum cholesterol levels in rats,” *Br. J. Nutr.*, 44 ; 113, - 118, 1980.