

体脂肪蓄積に及ぼす 分離大豆たん白質の効果

EFFECT OF SOY PROTEIN ON CARCASS FAT CONTENT IN GROWING RATS

井上五郎・岸恭一・王銘富・渡辺弘子（徳島大学医学部）
Goro INOUE, Kyoichi KISHI, Meifu WANG and Hiroko WATANABE
Department of Nutrition, School of Medicine,
The University of Tokushima

ABSTRACT

Two experiments were conducted to study the effect of soy protein on carcass fat content and plasma and liver lipids of rats given high fat diet. In experiment 1, male Wistar rats weighing 55g were fed 10% protein • 20% lard diet for 16-17 weeks using soy protein isolate (SPI), SPI + 0.3% Met + 0.2% Thr (SMT), lactalbumin (LA) and fish meal (FM) as protein sources. Carcass fat content was similar in all groups being about 26%. The concentration of plasma total lipid was greater in SMT diet than in other protein diets. Triglyceride, free fatty acid and HDL-cholesterol in plasma of SPI diet were not different from those of LA diet and FM diet. Plasma total cholesterol was slightly greater in SMT diet than other diets. In experiment 2, male Wistar rats weighing 40g were fed 20% protein • 20% corn oil or butter diet for 5 weeks using SPI, wheat gluten (WG), egg white (EW) and casein (CS) as protein sources. Body weight gain was comparable in all groups except WG diet being lower. No significant difference in carcass fat content was observed between vegetable protein and animal protein and between corn oil and butter. We found no hypocholesterolemic effect of SPI or WG compared with EW or CS. Total lipid and total cholesterol of the liver in SPI diet were comparable with CS diet. It was concluded that soy protein had no effect in lowering carcass fat content on the present experimental conditions.

大豆たん白質などの植物性たん白質は、カゼインのような動物性たん白質に比べ、血漿コレステロール値を低下させることが知られている^{1,3)}。はじめウサギを用いて研究されていたが、程度の差はあれ、他の動物においても同様の効果が報告されている。Sirtori ら⁴⁾は、高脂血症の患者で、動物性たん白質の代わりに大豆たん白質を投与することにより、血漿コレステロールの低下を見ている。

これらの研究は、主に血漿脂質、特に血漿コレステロールに着目しており、体脂肪蓄積に対する食たん白

質の効果は調べられていない。Donald ら⁵⁾は、5%あるいは25%ラクトアルブミン食を与えた成熟ラットの体脂肪量を測定し、fat-free body mass は等しいが、体脂肪の割合は25%群で有意に高いことを明らかにした。Yeh and Leveille⁶⁾はニワトリで、また Herzberg and Rogerson⁷⁾はラットで、それぞれ肝臓における脂肪合成は食たん白質レベルにより変化することを示した。このように、脂質代謝に食たん白質が何らかの効果をもっていることは間違いないが、体脂肪蓄積に対するたん白質の質の影響については明らかではない。

カゼインに比し、大豆たん白質にはアルギニンが多く含まれており、これがグルカゴンやその他のホルモン分泌を促し、そして脂質代謝を変化させることが考えられる³⁾。そこでわれわれは、離乳直後のラットを大豆たん白質で飼育し、体脂肪蓄積に対する効果を動物性たん白質のそれと比較した。摂取エネルギーが増加し、肥満をおこしやすい高脂肪食条件で飼育した⁶⁾。実験1では脂質源として飽和脂肪酸の多い豚脂を用い、実験2ではコーンオイルまたはバターを投与して、体組成、血漿脂質および肝脂質に対する食たん白質の影響について調べた。

実験方法

【実験1】

初体重約55gのWistar系雄ラットを1群10～11匹として用い、たん白質源の異なる4種類の食餌を与えて16～17週間飼育した。たん白質源として、分離大豆たん白質（フジプロR、以下SPI群）およびSPIにL-メチオニンとL-スレオニンをそれぞれ0.3%および0.2%の割合に添加したもの（SMT群）を用い、対照の動物性たん白質源としてラクトアルブミンと魚粉の2種を用いた。たん白質レベルは、すべてN×6.25で計算して10%とした。脂質には豚脂を用い、20%のレベル（脂質エネルギーとして約40%）で与えた。その他の食餌成分は、塩混合5%、ビタミン混合1%、セルロース2%であり、コーンスターチとショ糖の2:1混合物で100%に合わせた。

摂食量と体重は毎日測定した。飼育期間終了後12時間絶食させて、ネンブタール麻酔下で採血し、肝臓を摘出した。血漿および肝臓の脂質、体脂肪、体窒素および体水分を以下の方法で分析した。総脂質はsulfo-phospho-vanillin法⁹⁾、総コレステロールはo-phthal-

aldehyde法¹⁰⁾、HDL-コレステロール、中性脂肪および遊離脂肪酸は酵素法による和光純薬(株)のキットを用いた。体水分は熱風乾燥法、体窒素はKjeldahl法、また体脂肪はゴールドフィッシュ装置を用い、熱エチルエーテル4時間抽出法によった。

【実験2】

初体重約40gのWistar系雄ラットを1群5～6匹として、以下に述べる8種類の食餌を与えて5週間飼育した。たん白質源として、植物性たん白質2種（SPI、小麦グルテン）と動物性たん白質2種（カゼインと卵白）を用いた。脂質源としてコーンオイルあるいはバターを用い、それぞれ4種類のたん白質と組み合わせた。脂肪レベルは実験1と同様20%とし（脂肪エネルギー比約40%）、その他の食餌組成は実験1と同じである。実験1と同じ項目について測定した。

結果と考察

【実験1】

たん白質源の異なる4種類の実験食を16～17週間投与した時の1日平均の摂食量と体重増加量をTable 1に示した。SPI群は、ラクトアルブミン群および魚粉群に比べ、摂食量、体重増加量ともに有意な低値を示したが、メチオニンおよびスレオニンを補足することにより（SMT群）同一レベルに達した。

各群の体組成をTable 2に示す。体たん白質は各群とも約19%で全く差がみられなかった。体重増加の劣っていたSPI群は、他群に比し体水分が高く、体脂肪は低い傾向にあったが、有意の差ではなかった。今回の実験条件下では、高脂肪食で飼育した際のラットの体脂肪蓄積に対して、大豆たん白質はラクトアルブミンや魚粉などの動物性たん白質と比べて特別の効果をもたらさなかった。

Table 1. Food intake and change in body weight of weanling rats given soy protein isolate, lactalbumin or fish meal diet for 16～17 weeks¹

Protein source in diet ²	No. of rats	Food intake	Body weight gain
		g/day	g/day
Soy protein isolate	11	13.4±1.1*	2.6±0.3*
+0.3%Met, 0.2% Thr	10	16.8±1.2	4.2±0.4
Lactalbumin	11	16.0±1.2	3.9±0.4
Fish meal	10	17.0±1.3	4.0±0.4

1. Means±SD

2. 10% net protein content (N×6.25).

*. Significantly different from other groups (p<0.01).

Table 2. Body composition of rats given soy protein isolate-, lactalbumin- or fish meal-diet for 16~17 weeks¹

Protein source in diet	No. of rats	Water	Protein ²	Fat
		%	%	%
Soy protein isolate	11	52.4±4.3	18.6±1.7	24.1±3.5
+0.3%Met, 0.2%Thr	10	48.5±3.1	19.6±1.2	26.5±3.0
Lactalbumin	11	48.1±3.7	19.1±1.4	26.9±3.6
Fish meal	10	48.3±4.7	18.8±1.5	27.2±4.4

1. Means±SD. 2. N×6.25.

Table 3. Effect of dietary protein on plasma lipids in rats fed high fat diet for 16~17 weeks¹

Protein source in diet	No. of rats	Total lipid	Tri-glyceride	Free fatty acid	Total cholesterol	HDL-cholesterol
		mg/100ml	mg/100ml	mEq/l	mg/10ml	mg/100ml
Soy protein isolate	11	257±22 ^a	57±14 ^a	0.55±0.11	130±19 ^a	50±8
+0.3% Met, 0.2% Thr	10	304±57 ^b	93±28 ^b	0.51±0.14	126±29 ^{a,c}	50±10
Lactalbumin	11	240±43 ^a	67±30 ^{a,b}	0.57±0.18	102±17 ^b	42±6
Fish meal	10	260±44 ^a	78±29 ^{a,b}	0.64±0.14	108±12 ^{b,c}	46±7

1. Means±SD

a~c. Values in the same column not sharing a common superscript letter differ at p<0.05 according to Student's test.

血漿脂質濃度についてみると、総脂質および中性脂肪は SMT 群より高値を示したが、SPI 群では動物性たん白質群と差はなかった (Table 3)。総コレステロールは、従来の報告とは逆に、わずかではあるが SPI 群、SMT 群でラクトアルブミン群および魚粉群よりも高値であった。この理由は不明である。Neves ら¹¹⁾ も、大豆たん白質を含む種々の植物性たん白質と動物性たん白質をラットに与え、血漿コレステロール、HDL-コレステロールおよび中性脂肪に一定の影響が見られなかったと報告している。大豆たん白質の血漿コレステロ

ール低下作用は食たん白質レベルが高いと強く¹²⁾、血漿コレステロール正常者では効果は少ない¹³⁾といわれ、本実験のように比較的低位たん白質食 (10%) で飼育され、また血漿コレステロール値も高くないラットでは、大豆たん白質の効果がはっきり出ないのかもしれない。HDL-コレステロールおよび遊離脂肪酸については、各群間に差はみられなかった。

肝重量は、体重と同様、SPI 群で他群より有意に低値であった。しかし、湿重量当たりの総脂質含量および総コレステロール含量には、大豆たん白質群と動物性

Table 4. Effect of dietary protein on liver lipids in rats fed high fat diet for 16~17 weeks¹

Protein source in diet	No. of rats	Liver weight	Total lipid	Total cholesterol
		g/rat	mg/g ²	mg/g ²
Soy protein isolate	11	10.6±1.8*	57.3±23.4	11.7±4.0
+0.3% Met, 0.2% Thr	10	14.5±1.3	49.5±12.9	11.3±2.6
Lactalbumin	11	14.1±1.8	45.9±20.3	9.8±0.9
Fish meal	10	15.2±2.1	46.2±16.5	11.9±5.5

1. Means±SD. 2. Fresh weight

* Significantly different from other groups (p<0.01).

Table 5. Food intake and change in body weight of weanling rats given high fat diet for 5 weeks¹

Protein and fat sources in diet ²	No. of rats	Food intake	Body weight gain	PER ³
		g/day	g/day	
SPI ⁴ , corn oil	6	12.8±0.6	5.9±0.3	2.33±0.06 ^a
butter	6	15.0±0.5 [☆]	6.8±0.2 [☆]	2.31±0.02
Gluten ⁵ , corn oil	6	6.6±0.4 [*]	1.4±0.1 [*]	1.13±0.08 ^b
butter	5	7.8±0.6 [☆]	1.9±0.1 [☆]	1.28±0.07 [☆]
Egg ⁶ , corn oil	5	12.1±0.4	6.4±0.3	2.70±0.11 ^c
butter	5	13.4±1.2	6.6±0.6	2.49±0.14 [☆]
Casein, corn oil	5	14.3±1.0	7.6±0.5	2.72±0.02 ^c
butter	5	14.8±0.8	7.5±0.6	2.57±0.11 [☆]

1. Means±SD.

2. 10% crude protein (N×6.25) and 20% fat.

3. Protein efficiency ratio.

4. Soy protein isolate (Fujipro R).

5. Wheat gluten.

6. Egg white.

☆ Significantly different from the respective corn oil group at p<0.01 in each protein group.

* Significantly different from other protein groups at p<0.01.

a~c. Values in each column not sharing a common superscript letter are significantly different among protein sources (p<0.05~0.01).

たん白質群との間には差はみられなかった。13種類の植物性あるいは動物性たん白質を用いた Eklund and Sjöblom¹⁴⁾の研究でも、ラット肝総脂質量に植物性たん白質に特有の効果はみられなかったと結論している。

【実験2】

摂食量および体重増加量は、グルテン群が他のたん白質群よりも低値を示した (Table 5)。脂質源の差についてみると、SPI 群およびグルテン群において、コー

Table 6. Effect of dietary protein and fat on body composition of rats¹

Protein and fat sources in diet	No. of rats	Water	Protein ²	Fat
		%	%	%
SPI, corn oil	6	61.5±1.4	18.2±0.5	16.7±1.8
butter	6	59.9±1.6	18.7±0.8	18.7±2.0
Gluten, corn oil	6	64.4±2.0	17.0±0.9	14.4±1.2
butter	5	63.2±1.3	16.5±0.3	15.7±1.6
Egg, corn oil	5	63.4±1.8	18.3±0.9	14.3±2.6
butter	5	62.6±1.7	17.9±0.9	15.2±2.4
Casein, corn oil	5	60.5±2.0	17.8±1.3	17.4±2.6
butter	5	59.7±3.6	17.7±1.0	18.5±4.6

1. See footnotes 1, 2, 4, 5, and 6 of Table 5.

2. N×6.25.

Table 7. Effect of dietary protein and fat on plasma lipids of rats¹

Protein and fat sources in diet	No. of rats	Total lipid mg/100ml	Tri-glyceride mg/100ml	Free fatty acid mEq/l	Total cholesterol mg/100ml	HDL-cholesterol mg/100ml
SPI, corn oil	6	276±13	88±20	0.90±0.12	101±9	38±8*
butter	6	256±44	69±18	0.72±0.15	107±12	38±4*
Gluten, corn oil	6	308±54	33±5*	0.39±0.13	146±16*	65±5
butter	5	280±17	38±8*	0.53±0.13	146±8*	59±4
Egg, corn oil	5	277±10	60±11	0.73±0.27	111±18	60±14
butter	5	272±28	51±9	0.72±0.18	103±7	51±9
Casein, corn oil	5	278±42	57±16	0.67±0.11	116±14	53±6
butter	5	305±36	70±27	0.69±0.10	147±18*	63±9

1. See footnotes 1, 2, 4, 5, and 6 of Table 5.

*. Significantly different from other groups ($p<0.05\sim0.01$).

ンオイル群よりもバター群の方が摂食量、体重増加とも大であったが、卵白群およびカゼイン群では差がなかった。

グルテン群のたん白効率(PER)は最も低く、SPI群がこれに次ぎ、最も利用効率の高かった卵白群とカゼイン群の間には差がなかった。PERに対する脂質源の差についてみると、SPI群では差はなく、グルテン群ではバター投与の方が高値となり、卵白群とカゼイン群では逆にコーンオイル投与で高値を示した。このように動物性脂肪と植物性脂肪の間には、PERに対して一定の傾向は認められなかった。

各群の体成分分析の結果を Table 6 に示した。体脂肪、体たん白質、体水分のいずれにおいても、食餌中

のたん白質および脂肪の種類による影響はなかった。成長の劣っていたグルテン群は、他のたん白質群に比し、体脂肪含量が低く、体水分含量が高い傾向にあったが有意の差ではなかった。食たん白質を 20% に上げて、実験 1 と同様、植物性たん白質と動物性たん白質との間に体脂肪含量に差は認められず、また植物性脂肪と動物性脂肪との間にも差はなかった。

血漿総脂質および各脂質分画にも、植物性たん白質と動物性たん白質の間に一定の差は観察されなかった (Table 7)。グルテン群では、中性脂肪および遊離脂肪酸は他群よりも低く、総コレステロールは高い傾向にあった。SPI 群の HDL-コレステロールは他群よりも低かった。血漿脂質に対してコーンオイルとバター

Table 8. Effect of dietary protein and fat on liver lipids of rats¹

Protein and fat sources in diet	No. of rats	Liver weight g/rat	Total lipid mg/g ²	Total cholesterol mg/g ²
SPI, corn oil	6	8.3±0.5	50.1±4.4	10.8±1.3
butter	6	10.0±0.9	45.5±7.6	9.0±0.9
Gluten, corn oil	6	3.2±0.3*	29.2±4.0*	8.7±0.6*
butter	5	3.7±0.3	35.6±14.0	8.0±1.0
Egg, corn oil	5	9.9±1.2	39.4±7.5	10.2±0.8
butter	5	9.9±0.8	33.3±5.9	8.1±0.4
Casein, corn oil	5	12.0±1.2	57.2±3.7	11.7±1.2
butter	5	11.7±1.4	54.5±10.1	10.3±1.4

1. See footnotes 1, 2, 4, 5, and 6 of Table 5.

2. Fresh weight.

*. Significantly different from other protein groups given corn oil ($p<0.01$).

の間に一定の差は認められなかった。

肝脂質に対しても、グルテン群が他群より低値を示した以外、たん白質源および脂質源の動物性あるいは植物性による差はみられなかった (Table 8)。

要 約

体脂肪蓄積に対する大豆たん白質の影響を、種々の動物性たん白質のそれと比較した。離乳直後のラットを10%たん白質・20%豚脂食で16週間飼育した場合(実験1)、20%たん白質・20%コーンオイルまたはバター食で5週間飼育した場合(実験2)のいずれの場合にも、体脂肪蓄積に対して大豆たん白質は、動物性たん白質に比較して、特別の効果を示さなかった。血漿脂質および肝脂質に対しても同様であった。

文 献

- 1) KRITCHEVSKY, D. (1979): Vegetable protein and atherosclerosis. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **56**, 135-140.
- 2) CARROLL, K.K., HUFF, M.W., and ROBERTS, D.C.K. (1979): Vegetable protein and lipid metabolism, in "Soy Protein and Human Nutrition", ed. by Wilcke, H.L., Hopkins, D.T., and Waggle, D.H., Academic Press, New York, pp. 261-280.
- 3) 菅野道廣 (1982): 食品たん白質と血液コレステロール. 化学と生物, **20**, 155-163.
- 4) SIRTORI, R.C., AGRADI, E., CONTI, F., MANTERO, O., and GATTI, E. (1977): Soybean-protein diet in the treatment of Type-II hyperlipoproteinemia. *Lancet*, **i**, 275-277.
- 5) DONALD, P., PITT, G.C., and POHL, S.L. (1981): Body weight and composition in laboratory rats. Effects of diets with high or low protein concentrations. *Science*, **211**, 185-186.
- 6) YEH, Y.-Y., and LEVEILLE, G.A. (1969): Effects of dietary protein on hepatic lipogenesis in the growing chick. *J. Nutr.*, **98**, 356-366.
- 7) HERZBERG, G.R., and ROGERSON, M. (1981): The role of dietary protein in hepatic lipogenesis in the young rat. *Br. J. Nutr.*, **45**, 529-538.
- 8) SCLAFANI, A. (1980): Dietary obesity, in "Obesity", ed. by Stunkard, A.J., W.B. Saunders Company, Philadelphia, pp. 166-181.
- 9) FRINGS, C., and DUNN, R.T. (1970): A colorimetric method for determination of total serum lipids based on the sulfo-phospho-vanillin reaction. *Am. J. Clin. Path.*, **53**, 89-91.
- 10) ZLATKIS, A., and ZAK, B. (1969): Study of a new cholesterol reagent. *Anal. Biochem.*, **29**, 143-148.
- 11) NEVES, L.B., CLIFFORD, C.K., KOHLER, G. O., FREMERY, D.D., KNUCKLES, B.E., CHEOWTIRAKUL, C., MILLER, M.W., WEIR, W. C., and CLIFFORD, A.J. (1980): Effects of dietary proteins from a variety of sources on plasma lipids and lipoproteins of rats. *J. Nutr.*, **110**, 732-742.
- 12) TERPSTRA, A.H.W., van TINTELEN, G., and WEST, C.E. (1982): The hypocholesterolemic effect of dietary soy protein in rats. *J. Nutr.*, **112**, 810-817.
- 13) CARROLL, K.K., GIOVANNETTI, P.M., HUFF, M.W., MOASE, O., ROBERTS, D.C.K., and WOLFE, B.M. (1978): Hypocholesterolemic effect of substituting soybean protein for animal protein in the diet of healthy young women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, 1312-1321.
- 14) EKLUND, A., and SJÖBLOM, L. (1980): Effects of the source of dietary protein on serum lower density lipoprotein (VLDL + LDL) and tocopherol levels in female rats. *J. Nutr.*, **110**, 2321-2335.