

大豆たん白質にグルテンと鶏卵たん白質を組み合わせたときの栄養価

THE NUTRITIONAL EVALUATION OF SOY PROTEIN ISOLATE,
WHEAT GLUTEN, PURE EGG PROTEIN AND MIXTURE
OF THESE THREE MATERIALS

小石秀夫¹・奥田豊子¹・服部佳子¹・馬瀬佳子¹・梶原苗美² 河井徳子²・志岐勝美²
(1 大阪市立大学生活科学部 2 神戸女子大学家政学部)

Hideo KOISHI¹, Toyoko OKUDA¹, Yoshiko HATTORI¹, Yoshiko MASE¹,
Naemi KAJIWARA², Noriko KAWAI² and Katumi SHIKI²

1. Faculty of the Science of Living, Osaka City University

2. Department of Home Economics, Kobe Women's College

ABSTRACT

The nutritional values of soy protein isolate (SPI) were compared with those of gluten, pure egg protein and their mixture on the growing rats. The male Sprague-Dawley rats were fed ad libitum diets containing wheat gluten (A), pure egg protein (B), SPI (C), a mixture of gluten and SPI (D), a mixture of pure egg protein and SPI (E) or a mixture of gluten, pure egg protein and SPI (F) as protein source for 38 days. The level of protein in the diet was 6% (0.99gN/100g diet) and all these mixtures (D), (E) and (F) contained same amount of nitrogen from each nitrogen source.

Body weight gain, nitrogen efficiency, nitrogen balance and concentration of plasma albumin showed a similar order as follows, B>E>F>C=D>A. Concentration of total cholesterol in plasma showed as follows, B>C=D=E=F>A. The levels of triglyceride and phospholipid in plasma showed also close to the same order.

From above results, the authors concluded that the SPI has lower nutritional value for young rats than pure egg protein but when the half of the protein in pure egg protein diet were substituted with SPI, the nutritional value of this diet is about the same the pure egg protein diet and also cholesterol concentration in plasma of rats fed this diet was maintained at a low level.

たん白質の摂取量が不十分でありながら、大豆特有の豆臭のため、栄養価の高い大豆製品を用いていなかった地域の人達にとって、豆臭をほとんど感じさせない分離大豆たん白質は、安価で有効なたん白質源として利用することができる。

わが国においても、動物性食品の摂取が増大するに伴い、動脈硬化の促進因子として重要な脂質代謝異常が注目されているが、ヒト¹⁾や実験動物²⁾を用いて大豆たん白質と血中コレステロールとの関係が報告されている。

そこで幼若ラットを用い、大豆たん白質と他の食品たん白質を組み合わせたときの栄養価と、血漿および血球中の脂質パターンについて昨年³⁾にひき続き検討した。植物性たん白質としてグルテン、動物性たん白質として、先にカゼインを用いて検討したが、今回は鶏卵たん白質を用い、これらを大豆たん白質と組み合わせたとき、あるいは三種のたん白質を組み合わせたときの効果をしらべた。

実 験 方 法

Table 1. Composition of experimental diets^{1,2}

	Wheat gluten ³	Pure egg protein ⁴	SPI ⁵
(A)	8.6		
(B)		7.4	
(C)			8.0
(D)	4.3		4.0
(E)		3.7	4.0
(F)	2.9	2.5	2.7

- Expressed as g/100g of diet.
- The composition of nutrients other than protein (g/100g): Mineral mixture 5, vitamin mixture 1, cellulose powder 4, corn oil 5 and corn starch. Each diet contains 0.99gN/100g diet.
- Oriental Yeast Co, Ltd.
- Taiyo Foods Co, Ltd.
- Soy protein isolate, Fujipro R.

3週齢の Sprague-Dawley 系雄ラット (初体重 60～70 g) 34 匹を用いた。飼料は (Table 1), グルテン (A), 鶏卵たん白質 (太陽化学) (B), 大豆たん白質 (SPI, フジプロ R) (C), グルテン+SPI (D), 鶏卵たん白質+SPI (E), グルテン+鶏卵たん白質+SPI (F) をたん白質源とした。たん白レベルは 6 % とし (0.99 gN/100 g 飼料) 組み合わせた群では N 量で等量となるように混合した。その他塩混合 5 %, ビタミン混合 1 %, セルロース 4 %, コーンオイル 5 % とし, コーンスターチで 100 % とした。水および飼料は自由に摂取させて 38 日間飼育し, 毎日早朝に体重と飼料摂取量を測定した。

実験食投与開始 22～29 日後に代謝ケージに移し, 2 日間の尿と糞を採取し窒素量を測定し, 窒素出納を算出した。屠殺 3 時間前に飼料を除いた。エーテル麻酔

下で腹部大動脈より採血した。

ヘマトクリット値は高速遠心法, ヘモグロビン濃度はシアンメトヘモグロビン法, 血漿尿素濃度はインドフェノール法, 血漿たん白質濃度はビューレット法, 血漿アルブミン濃度は BCG 法, 血漿総コレステロール濃度は酵素法, HDL-コレステロールはデキストラン硫酸マグネシウムで分画し酵素法により測定した。

血漿および血球中の脂質パターンは Folch 液で抽出した脂質に, 内部標準としてコレステロールアセテートを加え, ヤトロン社製, イアトロスキャン TH-10 TLC analyser で分析した。

実験結果および考察

38 日間における平均体重増加量, 窒素効率 (Table 2) と, 2 日間の窒素出納 (Table 3) はほぼよく似た傾向を示した。SPI (C) 群はグルテン (A) 群より有意に高く, 鶏卵たん白質 (B) 群より有意に低くなった。従来報告^{3,4)} されてきたように, SPI にグルテンを組み合わせると (D) 群, グルテンの栄養価を著明に高め, SPI 単独 (C) 群と差を認めなかった。

SPI に鶏卵たん白質を組み合わせた (E) 群では, SPI (C) 群より体重増加量, 窒素効率, 窒素出納とも有意に増加し, 鶏卵たん白質 (B) 群と有意な差を認めなかった。前報では鶏卵たん白質の代わりにカゼインを用いて同様な実験を行い⁴⁾, SPI とカゼインを 1:1 の割合で組み合わせたとき SPI の栄養価を高めることができたが, カゼインと比較すると有意に劣っていた。これは鶏卵たん白質とカゼイン中の含硫アミノ酸含量の違いがひとつの要因となっているかもしれない。

SPI にグルテンと鶏卵たん白質を組み合わせた (F) 群では, SPI (C) 群より体重増加, 窒素効率, 窒素出納は有意に高くなったが, (E) 群よりは体重増加, 窒素効率は有意に低かった。飼料中の含硫アミノ酸含量は (E) 群と (F) 群とで差がないが (Table 4), リ

Table 2. Body weight gain, food intake and nitrogen efficiency

	No. of rats	Body weight gain (g/day)	Food intake (g/day)	Nitrogen efficiency (gain/intake N) (g/g N)
(A) Gluten	5	0.1±0.0** ¹	9.2±0.5**	1.3±0.5**
(B) Pure egg protein	5	3.8±0.3	19.9±1.2	19.3±1.2
(C) SPI	6	1.5±0.1**	14.5±0.8**	10.4±1.0**
(D) A+C	6	1.6±0.2**	14.7±1.3*	10.4±0.5**
(E) B+C	6	3.3±0.2	16.9±0.7*	19.4±0.4
(F) A+B+C	6	2.8±0.2**	16.5±0.8*	16.7±0.5*

1: Mean±SEM. Compared with (B), **: p<0.01, *: p<0.05.

Table 3. Nitrogen balance

	No. of rats	Body weight (g)	Intake N (mg N/2 days)	Urinary N (mg N/2 days)	Fecal N (mg N/2 days)	N balance (mg N/2 days)
(A) Gluten	5	66±2 ¹	119±8	63.1±5.7	19.3±2.9	37±8 ^{**2}
(B) Pure egg protein	4	160±9	366±48	56.4±3.8	66.0±6.7	243±41
(C) SPI	5	108±4	267±33	94.8±5.0	38.3±4.5	134±26*
(D) A+C	5	108±4	275±26	91.3±9.5	41.8±4.8	142±13*
(E) B+C	6	158±2	345±28	62.0±6.9	62.3±6.0	221±30
(F) A+B+C	5	141±3	342±23	89.8±9.5	53.1±3.7	199±12

1 : Mean±SEM. 2 : Compared with (B), **: p<0.01, *p<0.05.

Table 4. Amino acid contents of experimental diet¹

	Met+Cys	Thr	Lys	Trp	Arg
(A) Gluten	0.22	0.15	0.08	0.06	0.18
(B) Pure egg protein	0.35	0.30	0.44	0.09	0.40
(C) SPI	0.12	0.17	0.36	0.09	0.40
(D) A+C	0.17	0.16	0.22	0.07	0.28
(E) B+C	0.23	0.23	0.40	0.09	0.40
(F) A+B+C	0.23	0.20	0.30	0.08	0.33

1 : These values are expressed as g/100g of diet and calculated from literatures.

ジン含量は (E) 群の方がより高いことも原因の 1 つと思われる。しかし、前報⁴⁾で SPI にグルテンとカゼインを組み合わせた群は SPI とカゼインを組み合わせた群よりリジン含量は低い有意に高い体重増加、窒素出納を示した。含硫アミノ酸、リジン含量だけではこれらの事実を説明することがむづかしい。アミノ酸全体のバランスも考慮すべきであろう。

尿中の窒素組成を Table 5 に示した。クレアチニン窒素排泄量はグルテン (A) 群を除くと、ほぼ体重に比例していた。グルテン (A) 群では、体重あたりで比較しても低い値となった。尿素窒素の総窒素に占め

る割合は、摂取たん白質の栄養価の判定の指標となるが、窒素出納に差を認めなかった (B), (E), (F) 群の間で、(B) < (E) < (F) の順となった。

血液性状を Table 6 に示した。ヘマトクリット値、ヘモグロビン濃度は、グルテン (A) 群が他の群より有意に低く、他の群の間には有意な差を認めなかった。血漿尿素濃度は、尿中尿素窒素の総窒素に占める割合と同様な傾向を示し、鶏卵たん白質 (B) 群は、SPI と鶏卵たん白質を組み合わせた (E) 群、SPI にグルテンと鶏卵たん白質を組み合わせた (F) 群より有意に低かった。血漿たん白、アルブミン濃度は、体重増加、

Table 5. Nitrogen composition in urine

	Total N	Urea N	Ammonia N	Creatinine N	Urea N / Total N (%)
(A) Gluten	63.1±5.7 ¹	50.9±5.6	4.2±0.5	0.9±0.1	80.3±2.6 ^{**2}
(B) Pure egg protein	56.4±3.8	12.3±1.3	14.0±1.6	2.7±0.3	22.1±3.3
(C) SPI	94.8±5.0	67.0±4.3	7.6±0.8	2.0±0.2	70.7±2.9 ^{**}
(D) A+C	91.3±9.5	62.7±6.1	10.5±1.5	1.6±0.3	68.9±1.8 ^{**}
(E) B+C	62.0±6.9	27.0±6.0	9.2±0.6	2.8±0.3	41.9±3.9 ^{**}
(F) A+B+C	89.8±9.5	49.8±8.2	13.2±3.1	2.3±0.1	54.1±4.2 ^{**}

1 : Mean±SEM, 2 : Compared with (B), **: p<0.01.

Table 6. Blood status

	No. of rats	Ht	Hb	Plasma urea	Plasma protein	Plasma albumin
		(%)	(g/100m l)	(mM)	(g/100m l)	(g/100m l)
(A) Gluten	5	32.9±1.1** ¹	12.1±0.3*	6.17±0.89**	4.28±0.11**	2.15±0.07**
(B) Pure egg protein	5	41.6±1.3	14.5±0.5	0.73±0.11	5.70±0.20	3.15±0.06
(C) SPI	6	42.3±1.1	14.9±0.4	3.73±0.53**	5.21±0.16	2.68±0.04**
(D) A+C	6	38.9±1.8	13.8±0.6	3.55±0.95**	5.10±0.21*	2.57±0.09**
(E) B+C	6	41.2±0.8	14.8±0.4	2.16±0.47*	5.71±0.11	3.03±0.05
(F) A+B+C	6	40.5±1.5	14.6±0.4	3.25±0.47**	5.32±0.16	2.73±0.08**

1 : Mean±SEM, Compared with (B), **: p<0.01, *p<0.05.

Table 7. Cholesterol concentration in plasma

	Total cholesterol	HDL-cholesterol	HDL/total
	(mg/100m l)	(mg/100m l)	(%)
(A) Gluten	62.7±5.8** ¹	15.9±1.4**	26.3±3.8
(B) Pure egg protein	105.7±6.7	28.1±1.7	27.1±2.8
(C) SPI	82.9±7.3*	26.8±2.4	33.4±3.9
(D) A+C	77.8±5.1**	25.7±1.5	33.7±3.9
(E) B+C	85.0±4.8*	29.5±1.6	35.1±2.6
(F) A+B+C	86.4±5.5*	27.7±1.3	32.3±1.5

1 : Mean±SEM, Compared with (B), **: p<0.01, * : p<0.05.

窒素出納とよく似た傾向を示した。

以上のことから、SPI はグルテンと 1 : 1 の割合で組み合わせることにより、グルテンの栄養価を高める。さらに鶏卵たん白質の半分の SPI に置換しても、尿中排泄尿素量と、血漿尿素濃度を除くと、鶏卵たん白質と差のない栄養価を示す。グルテン、鶏卵たん白質、SPI を等量に組み合わせた場合は、鶏卵たん白質と SPI を組み合わせた場合よりは悪くなるが、SPI 単独よりは、体重増加、窒素出納、尿素窒素排泄割合を改善させる。

O'Connor ら³⁾ は、小麦粉と大豆粉をたん白質レベルでほぼ等量に混合したとき、大豆粉の 1/2 を乾燥全卵に置き代えたときの protein efficiency ratio は両者に差がないと報告しているが、これは全たん白質に占める全卵の割合が本実験より低いためであろう。

血漿中コレステロール濃度は酵素法 (Table 7) イアトロスキャンによる分析 (Table 8) ともよく一致した傾向を示し、グルテン (A) 群が他の群より有意に低く、鶏卵たん白質 (B) 群が他の群より有意に高い値を示した。SPI に鶏卵たん白質を組み合わせた (E) 群、(F) 群とも、SPI (C) 群と差がなく (B) 群より有意に低い値となった。この血漿コレステロールの違いはおもにコレステロールエステルによる。遊離コ

レステロールも、その占める割合は小さいが同様な動きを示した。

HDL-コレステロールは、グルテン (A) 群で他の群より有意に低くなったが、鶏卵たん白質 (B) 群と他の群の間には差がなかった。ヒトで動物性たん白質を大豆たん白質に代えたとき、血清中コレステロールの低下はおもに LDL-と VLDL-コレステロールの減少によると報告¹⁾ されているが、ラットによる本実験でも同様なことが推測された。HDL-コレステロールと総コレステロールの比率は (A)、(B) 群で低い傾向を示したが有意ではなかった。

大豆たん白質が、動物性たん白質に比較し、血清コレステロール低下作用を示すとき、血清中トリグリセリド⁵⁾、血清中リン脂質⁶⁾ とも低下するという報告と、影響を受けないとする報告^{1,2)} とがある。本実験では血漿中トリグリセリド、リン脂質ともコレステロールの変動とよく似た傾向を示した。

これらの血漿中脂質成分の動きは、体重増加や窒素出納と平行しており、その意味についてはさらに検討すべきであろう。

大豆たん白質が血清中コレステロール低下作用を示すのは、大豆たん白質のアミノ酸組成によるとする報

Table 8. Lipid pattern of rat plasma (Mean±SEM, ISU)¹

Group	Diet	No.	E-Cho	TG	FFA	F-Cho	PL	T-Cho
(A)	Gluten	3	0.21 ±0.07	0.03 ±0.01	0.03 ±0.01	0.07 ±0.03	0.65 ±0.16	0.27 ±0.09
(B)	Pure egg protein	5	0.59 ^{a)***} ±0.05	0.19 ^{a)*} ±0.05	0.02 ±0.01	0.17 ^{a)**} ±0.02	1.23 ^{a)**} ±0.01	0.76 ^{a)**} ±0.07
(C)	SPI	6	0.36 ^{b)**} ±0.06	0.05 ^{b)*} ±0.01	0.02 ±0.00	0.11 ^{b)*} ±0.02	0.84 ^{b)*} ±0.11	0.47 ^{b)*} ±0.08
(D)	A+C	5	0.38 ^{b)**} ±0.05	0.06 ^{b)*} ±0.01	0.02 ±0.01	0.12 ^{b)**} ±0.01	0.83 ^{b)**} ±0.03	0.50 ^{b)**} ±0.06
(E)	B+C	6	0.38 ^{b)**} ±0.02	0.14 ^{d)**} ±0.03	0.02 ±0.00	0.12 ^{b)**} ±0.01	0.89 ^{b)**} ±0.04	0.50 ^{b)**} ±0.03
(F)	A+B+C	5	0.43 ^{a)*} ±0.05	0.16 ±0.06	0.02 ±0.00	0.14 ±0.02	1.05 ±0.01	0.57 ^{a)*} ±0.08

1 : ISU : Internal standard unit

SPI : Soybean protein isolate

E-Cho : Cholesterol ester

TG : Triglyceride

FFA : Free fatty acid

F-Cho : Free cholesterol

PL : Phospholipid

T-Cho : E-Cho+F-Cho

a), b), c), d) : Significantly different from group (A), (B), (C) or (D) respectively

*, **, *** : p<0.05, p<0.01, p<0.001.

告がある^{2,6)}。Kritchevsky ら⁶⁾は大豆たん白質のアルギニン含量が高いこと、Arg / Lys 比が高いことに注目している。グルテン (A) の飼料中の Arg / Lys 比は他の群より高く (Table 4), 血漿中コレステロールは低いレベルを示したが、鶏卵たん白質 (B) 群と SPI (C) 群とのアルギニン含量には差はなく、Arg / Lys 比も (A) 群を除くとほとんど違いがない。

大豆たん白質の第一制限アミノ酸である含硫アミノ酸についても、グルテン (A) 群の飼料中の含硫アミノ酸含量は SPI (C) 群、(D) 群より高いが、血漿中コレステロールは有意に低かった。個々のアミノ酸含

量の違いだけでは、血漿中コレステロールの変動を説明することはできない。

赤血球膜の 95 % は脂質であり、赤血球膜の機能を表す指標として、臨床的に赤血球中の脂質パターンの分析が行われているが、大豆たん白質との関連で検討した報告はみられない。20 % カゼイン食で飼育したラットの赤血球中コレステロールは 1.12±0.11 ISU、リン脂質は 1.77±0.10 ISU であり、6 % と低たん白質レベルでもほとんど差をみとめない (Table 9)。血漿中コレステロールは SPI (C) 群で鶏卵たん白質 (B) 群より有意に低かったが、赤血球中ではむしろ逆にわずか

Table 9. Lipid pattern of rat erythrocyte (Mean±SEM, ISU)¹

Group	Diet	No.	F-Cho	PL
(A)	Gluten	5	1.01±0.04	1.73±0.05
(B)	Pure egg protein	4	1.17±0.09	2.07±0.09 ^{a)**}
(C)	SPI	6	1.35±0.02 ^{a)***}	2.11±0.08 ^{a)**}
(D)	A+C	6	1.22±0.08	2.12±0.18
(E)	B+C	6	1.28±0.10 ^{a)*}	2.11±0.11 ^{a)**}
(F)	A+B+C	5	1.07±0.10 ^{c)*}	1.83±0.10 ^{c)*}

1 : ISU : Internal standard unit

SPI : Soybean protein isolate

F-Cho : Free cholesterol

PL : Phospholipid

a), b), c) : Significantly different from group (A), (B) or (C)

*, **, *** : p<0.05, p<0.01, p<0.001.

ではあるが有意に高くなった。

運動性貧血発現の際、赤血球中のコレステロール濃度が減少し血球の脆弱性が増大する⁸⁾。また臨床例では血球膜コレステロール濃度が高くなった場合には、赤血球膜の浸透圧抵抗性が増大し固くなると報告⁸⁾されている。SPI(C)群の赤血球コレステロール濃度が高くなったことと、膜の機能との関連についてさらに検討したい。

以上のことから、幼若ラットにとってSPIは鶏卵たん白質に比較し栄養価は低いが、鶏卵たん白質を組み合わせ、半分をSPIに置き代えてもその栄養価は鶏卵たん白質に近い値を示し、血漿中コレステロール濃度も低値に維持すると考えられる。

文 献

- 1) SIRTORI, C.R., GATTI, E., MANTERO, O., CONTI, F., AGRADI, E., TREMOLI, E., SIRTORI, M., FRATERRIGO, L. TAVAZZI, L., and KRITCHEVSKY, D. (1979): Clinical experience with the soybean protein diet in the treatment of hypercholesterolemia. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 1645-1658.
- 2) OKITA, T., and SUGANO, M.:(1981): Effects of dietary soybean globulins on plasma and liver lipids and on fecal excretion of neutral sterols in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **27**, 379-388.
- 3) O'CONNOR, M.P., ERDMAN, J.W., and NELSON, A.I. (1979): Baking characteristics and protein quality of soy-whole egg, soy-egg yolk and soy-egg white supplemented breads. *J. Food Sci.*, **44**, 839-842
- 4) 小石秀夫, 奥田豊子, 田村玲子, 服部佳子, 梶原苗美, 宮田邦子 (1981): 大豆たん白質に対するグルテンとカゼインの補足効果. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **2**, 72-76.
- 5) 芦田 淳 (1981): 分離大豆たん白質と脂質代謝. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **2**, 27-30.
- 6) HEVIA, P., CLARY, R-A, and VISEK, W.J. (1979): Serum and liver lipids in rats fed casein or soybean protein with sucrose or dextrin or sucrose and cholesterol. *Nutr. Rep. Int.*, **20**, 539-548.
- 7) YOSHIMURA, H., INOUE, T., YAMADA, T., and SHIRAKI, K. (1980): Anemia during hard physical training (sport anemia) and its causal mechanism with special reference to protein nutrition. *World Rev. Nutr. Dietetics*, **35**, 1-86.
- 8) 安藤 喬, 吉田 洋, 寺倉俊勝, 深沢俊男, 高橋善弥太 (1977): 肝, 胆道疾患における赤血球浸透圧抵抗. 日本消化器病学会誌, **74**, 329-339.