

大豆たん白質に対するグルテンと カゼインの補足効果

THE EFFECT OF SUPPLEMENTING SOY PROTEIN ISOLATE WITH GLUTEN AND CASEIN ON NUTRITIONAL VALUES IN GROWING RAT

小石秀夫¹・奥田豊子¹・田村玲子¹ 服部佳子¹・梶原苗美²・宮田邦子²
(1 大阪市立大学生活科学部食物学科 2 神戸女子大学家政学部食物学科)

Hideo KOISHI¹, Toyoko OKUDA¹, Reiko TAMURA¹,
Yoshiko HATTORI¹, Naemi KAJIWARA², and Kuniko MIYATA²

1. Department of Food and Nutrition, Faculty of the Science
of Living, Osaka City University.

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

ABSTRACT

The effect of supplementing soy protein isolate (SPI), "Fujipro R", with gluten and casein was investigated by feeding rats.

Male rats of the Sprague-Dawley strain, weighing about 80, were fed *ad libitum* on wheat gluten (A), casein (B), SPI (C), gluten plus SPI (D), casein plus SPI (E), and gluten plus casein plus SPI (F) as protein sources for 5 or 8 weeks. The level of protein was 6% (0.96 gN/100g diet), and diets (D), (E) and (F) were mixed, so that the amount of nitrogen for each source was equal.

Mean weight gain in the group of male rats fed on SPI (C) was significantly higher than that of the group of rats fed on wheat gluten (A), and significantly lower than that of the group of rats fed on casein (B). Gluten plus SPI (D) did not affect food intake and nitrogen balance, but contributed to weight gain of rats and improved nitrogen efficiency significantly more than SPI (C) alone.

In the group of rats fed on casein plus SPI (E), no such effect could be observed, but the combination of SPI with gluten and casein simultaneously, improved weight gain, food intake and nitrogen balance in rats more than (C), (D), and (E), and achieved better results than casein (B).

It was presumed that, although nutritional values of SPI were lower than those of casein, the former's nutritional values can be improved by supplementing the SPI with gluten or gluten plus casein.

However, in blood status, lipid pattern of erythrocyte and plasma amino acid concentration, there was no significant difference between (B)-(F), and in the groups of rats fed on (D) and (F), significantly higher weight gain than in those fed on (C) was observed. The reason for the above phenomena could not be explained from these results.

世界的なたん白不足に対処するため、大豆製品の工業化が進められており、新しいたん白素材として分離大豆たん白質が、種々の食品加工の分野で広く用いられている。

大豆たん白質の栄養価については、ヒトや実験動物で種々検討され、制限アミノ酸である含硫アミノ酸の補足効果や、米や肉への補足効果が報告されている¹⁻³⁾。しかし大豆たん白質単独の栄養価についての報告に比べ、

他の食品たん白質と組み合わせた時の栄養価についての報告は少ない。そこで植物性たん白質としてグルテン、動物性たん白質としてカゼインに大豆たん白質を加えた時、あるいはこれら三種のたん白質を混合した時の栄養価を、シロネズミを用いて比較検討した。さらに大豆たん白質の血中コレステロール低下作用^{4,5)}について報告されているので、赤血球の脂質パターンについても検討した。

実験方法

3週齢の Sprague-Dawley 系雄ラット63匹を用い、グルテン(A)、カゼイン(B)、大豆たん白質(粉末状分離大豆たん白、フジプロ R:SPI(C))、グルテン+SPI(D)、カゼイン+SPI(E)、グルテン+カゼイン+SPI(F)をたん白源とし、5週間あるいは8週間飼育した。世界的には依然として低たん白栄養の地域が存在することを考慮して、たん白レベルは6% (0.96gN/100g diet) と低いレベルとし、組み合わせた群では Table 1 に示すようにN量で等量となるよう混合した。

体重と飼料摂取量は毎日早朝に測定した。実験開始28～37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

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

	Wheat gluten ³	Casein ⁴	SPI ⁵
(A)	8.10		
(B)		7.20	
(C)			7.50
(D)	4.05		3.75
(E)		3.60	3.75
(F)	2.70	2.40	2.50

- 1: Expressed as g/100g of diet.
- 2: The compositions of other nutrients were (g/100g): Mineral mixture 5, vitamin mixture 1, cellulose powder 4, corn oil 5 and corn starch to 100g. Each diet contains 0.96 gN/100g diet.
- 3: Wako Pure Chemical Ind. LTD.
- 4: Tanabe Amino Acid Research Foundation.
- 5: Soy protein isolate, Fujipro R

料を取り出し、エーテル麻醉下で腹部大動脈より採血し、一般の臨床検査法⁶⁾に準じて血液成分を分析した。血漿アミノ酸濃度は、日本電子(株) JLC-6AH 型アミノ酸自動分析計を用いて定量した。

赤血球中の脂質パターンは、ヤトロン社製、イアトロスキャン TH-10 TLC analyser で分析した。これは井上⁷⁾の方法に準じ、Floch 液(クロロホルム:メタ

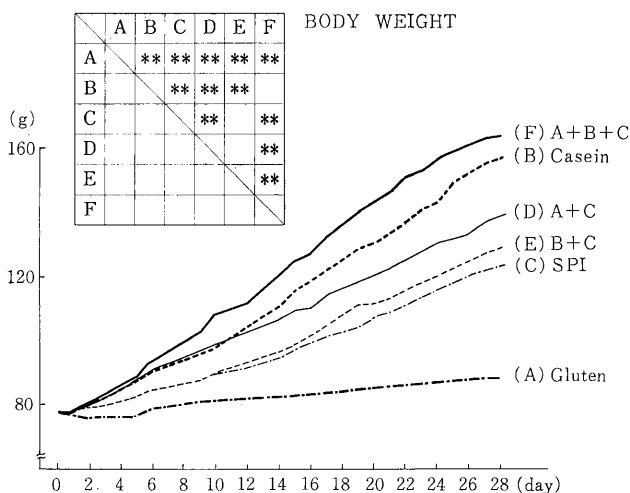


Fig. 1 Growth curve of rats.

Table 2. Body weight gain, food intake and body weight gain per nitrogen intake¹

	No. of rats	Body weight gain	Food intake	B.W. gain per N intake
		(g/day)	(g/day)	(g/gN)
(A) Gluten	10	0.4±0.0 ²	11.6±0.4	3.6±0.3
(B) Casein	8	2.9±0.1	15.6±0.8	19.3±0.6
(C) SPI	10	1.6±0.1	13.8±0.8	12.4±0.3
(D) (A)+(C)	10	2.2±0.1	15.4±0.5	14.7±0.5
(E) (B)+(C)	11	1.9±0.2	13.5±0.6	14.1±0.7
(F) (A)+(B)+(C)	10	3.2±0.2	18.6±0.5	18.1±1.0

1: Rats were fed for 28 days. 2. Mean ± SEM.

Table 3. Amino acid content of experimental diet¹

	Met+Cys	Thr	Lys	Trp
(A) Gluten	0.22	0.15	0.02	0.06
(B) Casein	0.19	0.29	0.50	0.10
(C) SPI	0.13	0.17	0.35	0.10
(D) (A)+(C)	0.17	0.16	0.22	0.08
(E) (B)+(C)	0.16	0.23	0.43	0.10
(F) (A)+(B)+(C)	0.18	0.20	0.31	0.08

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

ノール=2:1)で抽出した脂質を、薄層クロマトグラフィーで分画し、これを水素炎イオン化検出装置により検出する。内部標準として加えたコレステロールアセテートのピーク面積を1とし、これを各脂質成分のピーク面積値との相対比 (internal standard unit) で各脂質分画をパターン化して表わした。

実験結果および考察

5週群と8週群を合わせて4週間における体重増加量と飼料摂取量を比較した (Fig. 1, Table 2)。Table 3はグルテン、カゼイン、SPI中の制限アミノ酸である含硫アミノ酸、スレオニン、リジン、トリプトファンの各アミノ酸含量を文献値より^{8,9)}算出した。

SPI (C)群の体重増加量は、カゼイン (B)群の56%と有意に少なかったが、グルテン (A)群よりは有意に高かった。SPIにグルテンを補足した (D)群では (A)群より、さらに、SPI単独の (C)群より有意に高い体重増加を示し、SPIに

対するグルテンの著しい補足効果を認めた。これはグルテン中に極端に少ないリジンが SPI 中に比較的大量に含まれており、一方 SPI の第一制限アミノ酸である含硫アミノ酸は、グルテン中に比較的大量に含まれていることによると推測される。しかしながら、グルテンに SPI を補足した (D)群と、SPI (C)群との含硫アミノ酸含量の差は0.04%にすぎず、他の必須アミノ酸含量はほとんど (C)群の方が高いが、体重増加量は (D)群の方が有意に高くなった。

SPIにカゼインを補足した (E)群の体重増加量は、カゼイン (B)群より有意に低い値を示し SPI (C)群とも差がなかった。SPIにカゼインを補足することにより、飼料中の含硫アミノ酸、リジン、スレオニン含量は、SPI (C)単独より多くなり、これらのアミノ酸パターンが改善されているにもかかわらず体重増加をもたらさなかった。

一方 SPI にグルテンとカゼインを組み合わせた (F)群では、(C)(D)(E)群より有意に高い体重増加を示し、さらにカゼイン (B)群より高い傾向を示した。4種のアミノ酸とも (B)飼料中の含量が (F)飼料より高いが、飼料摂取量は (F)群の方が (B)群より有意に高くなっており、これが体重増加の高い傾向をもたらしたと推測される。グルテン (A)群を除いて、含硫アミノ酸摂取量と体重増加量とは高い相関を示した ($r=0.90$)。

Cichon らは種々の大豆製品を牛肉に置き換えた時の栄養価をラットを用いて検討している³⁾。Sirloin 70%と結合組織30%を含む牛肉の20%を SPI に置き換えた時の protein efficiency ratio (PER) と net protein utilization (NPU) は牛肉と差がないが、40%を SPI に

Table 4. Nitrogen balance (mgN/2 days)¹

	No. of rats	Intake N	Urinary N	Fecal N	N balance
(A) Gluten	3	142±14 ²	122±30	24±3	-4±19
(B) Casein	3	344±16	130±11	55±3	159±3
(C) SPI	4	267±16	141±12	46±4	80±11
(D) (A)+(C)	4	233±30	144±17	46±3	94±22
(E) (B)+(C)	4	259±39	108±21	43±6	109±15
(F) (A)+(B)+(C)	5	350±20	138±12	57±3	163±12

1: N balance was estimated on 28-37 day feeding the diet. 2: Mean ± SEM.

Table 5. Blood status¹

	No. of rats	Ht %	Hb g/100ml	Red blood cell (10 ⁴ /mm ³)	Plasma urea (mM)	Plasma protein (g/100ml)
(A) Gluten	4	34.0±1.2 ²	11.1±0.3	649±49	5.55±1.02	3.99±0.14
(B) Casein	5	42.9±1.7	14.1±0.3	745±55	2.70±0.67	5.31±0.43
(C) SPI	5	41.9±1.1	13.9±0.4	721±70	3.60±0.31	4.71±0.11
(D) (A)+(C)	5	42.1±0.8	13.8±0.4	735±102	3.22±0.37	4.66±0.11
(E) (B)+(C)	5	40.3±1.0	13.8±0.3	666±72	2.55±0.30	4.45±0.11
(F) (A)+(B)+(C)	5	43.7±1.0	14.3±0.3	745±63	2.81±0.37	4.99±0.06

1: Rats were fed for five weeks. 2: Mean ± SEM

Table 6. Lipid pattern of rat erythrocyte (ISU-Unit)¹

Group	Diet	N	F-Cho	PL	F-Cho+PC+SM	PE+PS
(A)	Gluten	3	0.96 ±0.42 ²	2.32 ±0.54	2.22 ±0.82	0.41 ±0.34
(B)	Casein	3	1.70 ±0.32	3.86 ±0.59	3.72 ±0.67	0.22 ±0.06
(C)	SPI	5	1.53 ±0.33	3.87 ±0.61	3.35 ±0.64	0.26 ±0.10
(D)	(A)+(C)	3	2.13 ±0.48	4.83 ±1.49	4.61 ±1.15	0.27 ±0.11
(E)	(B)+(C)	5	1.30 ±0.19	4.29 ±0.19	3.38 ±0.89	0.24 ±0.08
(F)	(A)+(B)+(C)	6	1.94 ±0.22	4.43 ±0.53	4.36 ±0.52	0.81 ±0.34

1. ISU: Internal standard unit
 SPI: Soybean protein isolate
 F-Cho: Free-cholesterol
 PL: Phospholipid
 Rats were fed eight weeks.

SM: Sphingomyelin
 PC: Phosphatidyl choline
 PE: Phosphatidyl ethanol amin
 PS: Phosphatidyl serine
 2. Mean ± SEM

置き換えた時は、PER, NPU とともに減少し SPI と差がないことを報告し、これを含硫アミノ酸含量の違いで説明している。しかし我々の成績は含硫アミノ酸含量の相違だけではすべてを説明できない。

窒素効率も SPI にグルテンを補足した(D)群は SPI 単独の(C)群より有意に高くなり、三種のたん白質を混合した(F)群では、カゼイン(B)群と差のない値となった。

窒素出納 (Table 4), 血液性状 (Table 5) は、5 週群、8 週群ともにほぼ同様の傾向を示したので 5 週飼育群について示した。見掛けの消化吸収率は、83~84% で 6 群間に差はなかった。(D)群と(E)群、SPI にグルテンを加えた場合、カゼインを加えた場合も窒素出納は、SPI (C)群と有意な差を認めず、グルテンに対する SPI の補足効果は認められるものの、SPI の窒素出納を高めることはできなかった。(F)群では(B)群と差のない窒素出納を示し、(C)(D)(E)群より有意に高くなり、SPI にグルテンとカゼインを同時に組み合わせることにより、著しい補足効果を認めた。

ヘマトクリット値、ヘモグロビン濃度、赤血球数、血漿たん白濃度は、グルテン(A)群で他の群より有意に低くなり、顕著な貧血および低たん白血症を示した。SPI (C)群はカゼイン(B)群と有意な差を認めず、SPI にグルテンを補足した(D)群では(A)群より有意に高くなり、他の群と差のない値を示し、グルテンに対する SPI の補足効果を認めた。しかし(B)群から(F)群の間には顕著な差を認めず、SPI に対する他のたん白源を組み合わせた時の影響は認めなかった。

血漿尿素濃度は摂取たん白レベルにほぼ比例し、摂取レベルが等しい時は、体内でのたん白質の利用率が低い時高いレベルを示すが、摂取量の低かったグルテン(A)群で、他の群の 2 倍近い値を示し、SPI を補足した(D)群で

は(A)群より有意に減少し、他の群と差のない濃度を示した。

血球膜の基本構造は脂質二重層であり、膜構成主要成分の脂質と血球膜の機能とは密接な関係にある。そこで血球の機能を現わす指標として赤血球や血漿中の脂質組成を検討する試みがなされており、高齢貧血、運動性貧血や脂質代謝異常患者等では、脂質構成パターンの乱れが報告されている^{7,10)}。

グルテン(A)群における赤血球中の遊離コレステロール、リン脂質量は他の群より低い傾向を示し (Table 6), これは血球の脆弱性が亢進している低たん白食ラットの運動性貧血発現時¹¹⁾とよく似た傾向である。SPI にグルテンを補足した(D)群、SPI にグルテンとカゼインを組み合わせた(F)群では(A)群より上昇し、カゼイン(B)群と差のない遊離コレステロール、リン脂質量を示した。グルテン(A)群における貧血の発現が血球脂質の減少と何らかの関連があるのではないかと推測される。さらに血球膜の外層および内層の脂質をそれぞれ F-Cho+PC+SM および PE+PS で示した。これらについてもさらに例数を重ねて検討したい。

血漿中の脂質パターンについては 6 群間に顕著な差がなく、SPI による血中コレステロール低下作用もこの条件下では認めなかった。

血漿中必須アミノ酸濃度をアミノ酸摂取量と共に Fig. 2 に示した。飼料中の必須アミノ酸含量が少なく、また摂取量も少なかったグルテン(A)群では、他の群よりほとんどの必須アミノ酸濃度は有意に減少していた。飼料中の含量の高いカゼイン(B)群と、飼料中の含量は(B)(D)(E)群より低いけれど、摂取量が多く摂取アミノ酸量が高くなった(F)群の血漿中アミノ酸濃度は、他の群より高い傾向を示した。午前 6 時に飼料を取り 3~4 時間後に採血し

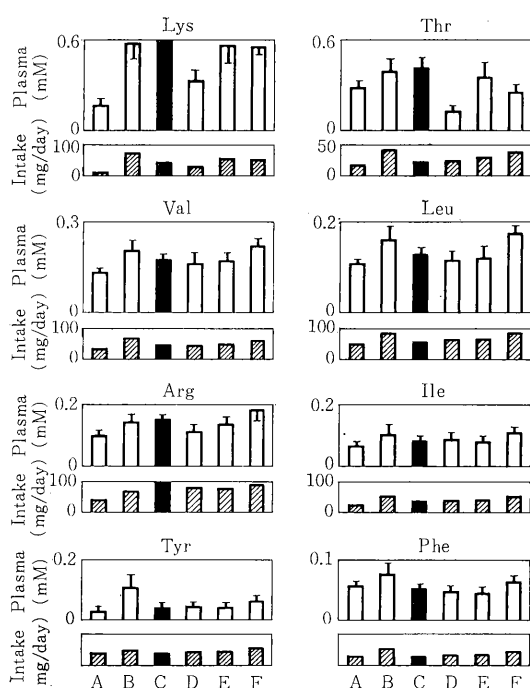


Fig. 2 Free amino acid concentrations in plasma of rats fed experimental diets for 5 weeks. (A: gluten, B: casein C: SPI, D: A+C, E: B+C, F: A+B+C)

ており、これは消化吸収中と推定されるが、この時点における血漿中必須アミノ酸濃度は、特に分岐鎖アミノ酸、チロシンやフェニールアラニンで摂取アミノ酸量をよく反映していると推測される。しかし SPI(C)の制限アミノ酸であるスレオニンとリジンについては(C)群とカゼイン(B)群と有意な差を認めなかった。含硫アミノ酸については今後検討したい。

SPIにグルテンを補足した(D)群では、体重増加はSPI(C)群より有意に高くなっていたが、血漿中リジン、スレオニン含量は(C)群より有意に低く、他の必須アミノ酸も(C)群と差を認めなかった。スレオニンについてはグルテン(A)群より有意に低くなった。この点についてはその生理的意義についてさらに検討したい。SPIにカゼインを補足した(E)群は、SPI(C)群と差がなく、SPIにグルテンとカゼインを組み合わせた(F)群の血漿中アミノ酸濃度は(B)群とよく似た傾向を示した。

以上を要約すると、体重増加量、窒素出納は、SPI(C)群ではカゼイン(B)群より劣っていたが血液性状には差を認めなかった。SPIにグルテンを補足した(D)群は、グルテン(A)群、SPI(C)群より有意に高い体重増加を示し、さらにSPIにグルテンとカゼインを組み合わせた(F)群の体重増加は、(B)群より高い傾向を示した。これらは含硫

アミノ酸含量の増加に一部起因すると推定されるが、それだけでは説明できないところもある。さらに窒素出納や血液性状からもその理由は説明できなかった。

文 献

- 1) Young, V.R. and Scrimshaw, N.S. (1979): Soybean protein in human nutrition: an overview. *J. Am. Oil Chemist's Soc.* **56**, 110-120.
- 2) Fomon, S.J. and Ziegler, E.E. (1979): Soy protein isolate in infant feeding. In "Soy Protein and Human Nutrition" ed. by Wilcke, H.L., Hopkins, D.T. and Waggle, D.H., Academic Press, New York, pp. 79-99.
- 3) Cichon, R., Elkowicz, K., Kozłowska, H., Rutkowski, A. and Sauer, W.C. (1980): Nutritional evaluation of meat-soya bean protein product blends. *J. Sci. Food Agric.*, **31**, 677-684.
- 4) Huff, M.W. and Carroll, K.K. (1980): Effects of dietary protein on turnover, oxidation and absorption of cholesterol, and on steroid excretion in rabbits. *J. Lipid Research*, **21**, 546-558.
- 5) Nagata, Y., Tanaka, K. and Sugano, M. (1981): Further studies on the hypocholesterolemic effect of soya-bean protein in rats. *Br. J. Nutr.*, **45**, 233-241.
- 6) 金井泉 (1966): 臨床検査法提要, 第24版, 金原出版.
- 7) 井上太郎, 佐藤郁雄, 我妻堯, 田部井徹 (1980): 妊産婦の血清中脂質濃度に関する研究, 医学のあゆみ, **112**, 49-56.
- 8) Amino-acid content of food and biological data on proteins, FAO Nutr. Studies, No. 24, Rome, 1970.
- 9) 山口迪夫, 岩谷昌子, 宮崎基嘉 (1980): 分離大豆たん白質の制限アミノ酸とその補足効果, 大豆たん白質栄養研究会会誌, **1**, 10-15.
- 10) 植田寛, 只野寿太郎 (1979): 薄層自動検出装置"イアトロスキャン"の臨床応用の一例, 高齢貧血患者における血球脂質と赤血球脆弱性について, けんさ, **9**, 27-35.
- 11) 梶原苗美 (未発表)