

ヒトにおける分離大豆たん白質の 栄養価

THE NUTRITIONAL EVALUATION OF SOY PROTEIN ISOLATE IN ADULT MALES

小石秀夫・奥田豊子・梶原苗美*

(大阪市立大学生活科学部 *神戸女子大学家政学部)

Hideo KOISHI, Toyoko OKUDA and Naemi KAJIWARA*

Faculty of the Science of Living, Osaka City University, Osaka 558

*Department of Home Economics, Kobe Women's College, Kobe 654

ABSTRACT

Present studies were carried out to compare the nutritional value of soy protein isolate (SPI) with that of protein of rice or skim milk in 8 healthy male students. Energy intake was about 45 kcal/kg/day which maintained the body weight of the subjects. The experimental diets contained 0.8 g/kg/day of protein and one third of protein in all experimental diets was composed of dry egg yolk protein. In diet A, the remaining protein was composed of rice protein, in diet B a half of rice protein was substituted for skim milk and for SPI in diet C. The three fourth of rice protein was substituted for SPI in diet D. In exp. 1, four men were fed diets A, B, C and D for 6 days respectively. In exp. 2, four men were fed diet A for 1 week and fed diet C for 3 weeks. No difference was found in absorption and availability of energy for the last three experimental days between SPI and rice or skim milk. Nitrogen balance and nitrogen absorption of SPI were superior than rice but the same with skim milk. There were no differences between experimental diets in hematocrit value, the concentration of hemoglobin and total protein and albumin in plasma. In this experiment, SPI showed no hypocholesterolemic effect, although the intake of cholesterol was about 640 mg/day which was mainly derived from egg yolk. However, we found that the assortment of SPI with rice and egg yolk was evaluated equal the nutritional value of protein to skim milk in this condition.

分離大豆たん白質 (SPI) は新しいたん白源としてすでに多くの食品に添加され、食膳に供されている。しかしこれのヒトに対する栄養価は必ずしも明らかとはなっていない。また、このたん白質が血液中のコレストロール濃度を低下させるといわれ、最近注目されている。そこで著者らはヒトを対象として SPI の栄養価をコメあるいはスキムミルクと比較し、さらに卵黄由来のコレストロール摂取に対する SPI の影響について検討した。

実 験 方 法

〔実験 1〕

健康な成年男子学生 4 名 (20~23歳) を被検者とし、摂取エネルギーは体重を維持できる量 (約45kcal/kg) とした。摂取たん白質は0.8g/kg とし、いずれの実験食も、たん白質の1/3量は乾燥卵黄粉 (キューピータマゴ, スウェーデン製) とした (Table 1, Fig. 1)。実験食 A は残りのたん白質のすべてをコメに依存し、実験食 B はコメのたん白質の1/2をスキムミルク、実験食 C は SPI に置きかえた。実験食 D ではコメのたん白質

Table 1. Composition of diets (Exp.1)¹

	(g)			
Foods	Diet A	Diet B	Diet C	Diet D
Rice	551	276	276	138
Egg yolk	51.8	51.8	51.8	51.8
Skim milk	0	51.3	0	0
SPI	0	0	22.6	33.9
Butter	19.1	23.0	23.5	25.6
Corn oil	5.0	5.0	5.0	5.0
Sugar	18	96	85	85
Corn starch	40	170	212	335
Umeboshi	5	5	5	5
Agar	5	5	5	5
Vitamin mix ² (tab.)	3	3	3	3
Mineral mix ³	6.0	6.0	6.0	6.0
NaCl	2	2	2	2
Sum				
Energy ⁴ (kcal)	2703	2703	2703	2703
Cholesterol (mg)	638	647	652	674
Protein (g)	48.2	48.3	48.4	49.9

1: Values are expressed as 60 kg body weight.

2: One hundred grams of mineral mixture contained 39.25 g KHCO₃, 25.11 g CaCO₃, 21.74 g KH₂PO₄, 10.78 g MgSO₄·7H₂O, 2.91 g FeC₆H₅O₇·6H₂O, 0.1314 g CuSO₄·5H₂O, 0.0366 g MnSO₄·4H₂O, 0.0316 g ZnCl₂ and 0.0067 g KI.

3: A tablet of vitamin (Takeda Chemical Industries, Ltd) contained 1000 IU retinol palmitate, 100 IU ergocalciferol, 5 mg fursulthiamine, 2 mg riboflavin, 3 mg pyridoxine hydrochloride, 25 mg niacinamide, 5 µg cyanocobalamine, 75 mg ascorbic acid, 5 mg tocopherol acetate, 15 mg calcium pantothenate, 46.8 mg precipitated calcium carbonate and 34 mg dibasic calcium phosphate.

4: Values are calculated from Japanese standard table.

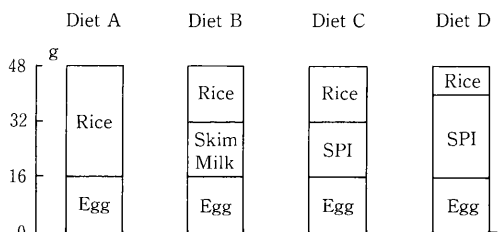


Fig. 1 Protein source of experimental diets.
Values are expressed as 60 kg body weight.

の%をSPIに置きかえた。コレステロールの摂取量はおもに卵黄に由来するが、640~670mg/日となった。

各々の食期は6日間とし、その間に体重の変動がないようにエネルギー源の量を加減した。エネルギー源にはバター、コーンスターチ、ショ糖を用いた。その他ビタミン、ミネラルを十分量与えた。また調味のため食塩2g、梅肉5gを与えた。

〔実験2〕

SPIを3週間投与したときの影響について検討した。実験1とは異なる成人男子学生4名(18~22歳)を被検者とし、摂取たん白質量およびエネルギーは実験1と同じとした。実験食はTable2のごとく実験1の実験食AとCとほぼ同じくし、それぞれ実験食A'、C'とした。実験食A'の食期は1週間とし、引続き実験食C'を3週間投与した。実験食3'については成績を1週間

ごとに分けて検討した。

実験 1. 実験 2 とともに各食期の後半 3 日間のエネルギー利用率、窒素出納および最終日の血液性状より SPI の栄養価を検討した。たん白源として用いた食品の窒素量はセミマイクロケルダール法を用いて測定した。すべての食品の物理的燃焼値をボンブカロリーメーター（島津 CA-3 型）で測定した。

毎日 24 時間尿を集め、全量の $\frac{1}{10}$ をエバポレーターで濃縮後、真空凍結乾燥し、ボンブカロリーメーターにより 1 日尿中排泄エネルギー量を求めた。セミマイクロ

ケルダール法により尿総窒素量を、Folin 変法によりクレアチニン量を定量した。さらにウレアーゼ-インドフェノール法により尿素量を測定した。糞はカルミンをマーカーとし、実験 1 では 3 日分ずつ、実験 2 では 1 週間を前 4 日と後 3 日に分けすべて採集した。採取後約 70°C で通風乾燥し、ミキサーで砕粉後よく攪拌しその 1 部を試料とし窒素とエネルギー量を測定した。

血液は実験期の最終日に、実験食 C' のときは各週の終りの日の早朝に肘静脈より採血し、直ちにシアンメトヘモグロビン法でヘモグロビン濃度を、毛細管による高速遠心法でヘマトクリット値を測定後血漿を分離

Table 2. Composition of diets (Exp. 2)¹ (g)

Foods	Diet A'	Diet C'
Rice	524	262
Egg yolk	49.8	49.8
SPI	0	19.6
Butter	23.6	27.7
Corn oil	5.0	5.0
Sugar	30	30
Corn starch	50	112
Kona-ame	0	105.0
Umeboshi	5.0	5.0
Agar	5.0	5.0
Vitamin mix (tab.)	6	6
Mineral mix	6.0	6.0
NaCl	2	2
Sum		
Energy ² (kcal)	2700	2700
Cholesterol (mg)	640	640
Protein (g)	48.0	48.0

1: Values are expressed as 60 kg body weight.

2: Values are calculated from Japanese standard table.

Table 3. Energy availability

	Exp. 1				Exp. 2	
	Diet A	Diet B	Diet C	Diet D	Diet A'	Diet C' (3w)
Energy intake ¹ (kcal)	2886±160 ²	2853±90	2874±180	2899±182	3048±233	3029±232
Feces energy (kcal)	121±25	112±33	123±18	122±26	151±8	122±14 ³
Urine energy (kcal)	66±8	57±6	54±3	59±1	55±13	55±7
Rate of absorption (%)	95.9±0.8	96.1±1.2	95.7±0.9	95.8±0.9	95.0±0.6	96.0±0.4
Availability (%)	93.6±1.0	94.1±1.4	93.7±1.1	93.7±1.1	93.2±0.3	94.2±0.4

1: By bomb calorimeter. 2: Mean ± SD. 3: Significantly different from Diet A' (p<5%).

し、ビューレット法で血漿たん白濃度を、BCG 法で血漿アルブミン濃度を定量した。HDL-コレステロールはヘパリン、マンガンで分画し、 β -リポ蛋白質はヘパリン、塩化カルシウムで沈殿させ、総コレステロールといずれも酵素法で測定した。

なお得られた成績はF検定により差の有意性を検討した。

結果および考察

ボンパカロリーメーターで実測した摂取エネルギーは Table 3 の通り実験 1 では2,850~2,900kcal/日、

実験 2 では3,030~3,050kcal/日であったが、糞中のエネルギーを差し引いて求めたエネルギー吸収率は95.0~96.1%,さらに尿中に失われたエネルギーを差し引いて求めたエネルギー利用率は93.2~94.2%で、SPI (実験食 C と D) はコメ (実験食 A) やスキムミルク (実験食 B) を摂取した場合と差を認めなかった。

窒素摂取量は実験 1 で7.61~7.83g/日ではほぼ一定であったが、糞中窒素量は1.12~1.54g/日となり実験食 A でやや大きい傾向を示した (Table 4)。しかし推計学的に食質の間に有意な差を認めなかった。吸収窒素量は6.08~6.71g/日、みかけの吸収率は79.8~85.7

Table 4. Nitrogen balance (Exp. 1)

	Diet A	Diet B	Diet C	Diet D
Body weight (kg)	59.1 $\pm$ 2.9 ¹	59.7 $\pm$ 2.7	59.8 $\pm$ 3.1	60.0 $\pm$ 3.1
N intake (g)	7.62 $\pm$ 0.37	7.61 $\pm$ 0.38	7.68 $\pm$ 0.38	7.83 $\pm$ 0.33
Feces N (g)	1.54 $\pm$ 0.56	1.30 $\pm$ 0.47	1.32 $\pm$ 0.32	1.12 $\pm$ 0.27
Absorbed N (g)	6.08 $\pm$ 0.47	6.31 $\pm$ 0.58	6.36 $\pm$ 0.42	6.71 $\pm$ 0.38
Rate of absorption (%)	79.8	82.9	83.4	85.7
Urinary N				
Total N (g)	7.31 $\pm$ 0.76	5.71 $\pm$ 0.60 ²	5.52 $\pm$ 0.80 ²	6.01 $\pm$ 0.82 ²
Urea N (g)	5.81 $\pm$ 0.73	4.57 $\pm$ 0.58	4.62 $\pm$ 1.04	5.01 $\pm$ 0.96
Urea N/total N (%)	79.3 $\pm$ 3.0	79.9 $\pm$ 2.5	82.7 $\pm$ 6.6	81.3 $\pm$ 7.4
Creatinine N (mg)	536 $\pm$ 20	527 $\pm$ 15	519 $\pm$ 7	513 $\pm$ 15
Nitrogen balance (g)	-1.23 $\pm$ 1.00	+0.60 $\pm$ 0.64 ²	+0.84 $\pm$ 0.47 ²	+0.70 $\pm$ 0.55 ²

1: Mean $\pm$ SD. 2: Significantly different from Diet A (p<5%)

Table 5. Nitrogen balance (Exp. 2)

	Diet A'	Diet C'		
	1w	1w	2w	3w
Body weight (kg)	63.1 $\pm$ 5.0 ¹	63.0 $\pm$ 5.6	62.6 $\pm$ 5.2	62.4 $\pm$ 5.5
N intake (g)	8.20 $\pm$ 0.63	8.20 $\pm$ 0.63	8.20 $\pm$ 0.63	8.20 $\pm$ 0.63
Feces N (g)	1.78 $\pm$ 0.12	1.48 $\pm$ 0.31	1.49 $\pm$ 0.22	1.47 $\pm$ 0.26
Absorbed N (g)	6.43 $\pm$ 0.62	6.72 $\pm$ 0.43	6.71 $\pm$ 0.46	6.73 $\pm$ 0.41
Rate of absorption (%)	78.4	82.0	81.8	82.1
Urinary N				
Total N (g)	7.05 $\pm$ 1.41	6.35 $\pm$ 0.48	6.91 $\pm$ 0.96	6.63 $\pm$ 0.41
Urea N (g)	5.29 $\pm$ 0.93	4.88 $\pm$ 0.67	5.30 $\pm$ 1.07	5.07 $\pm$ 0.53
Urea N/total N (%)	73.7 $\pm$ 4.0	76.4 $\pm$ 5.1	76.0 $\pm$ 5.7	76.2 $\pm$ 5.6
Creatinine N (mg)	630 $\pm$ 71	621 $\pm$ 75	613 $\pm$ 63	592 $\pm$ 54
Nitrogen balance (g)	-0.63 $\pm$ 0.97	+0.35 $\pm$ 0.25	-0.22 $\pm$ 0.96	+0.05 $\pm$ 0.38

1: Mean $\pm$ SD.

%で実験食CとDのSPIがやや優れている傾向を示した。

尿中排泄窒素量は実験食Aでは7.31g/日であったのにくらべ、実験食B～Dでは5.52～6.01g/日と、いずれも有意に低い値となった。その結果窒素出納値もコメの実験食Aにくらべ、実験食B～Dでは有意に高くなったが、スキムミルク(実験食B)とSPI(実験食CとD)の間には差を認めなかった。尿素窒素の総窒素に対する割合は摂取窒素が等しい場合、摂取たん白の栄養価と反比例するといわれているが79.3～82.7%で、いずれの実験食にも有意な差を認めなかった。

以上は6日間の成績であるが、これをさらにたしかめるために、実験2では実験食Cとほぼ同じ食事を3週間投与した。結果はTable 5に示した。みかけの窒素吸収率は実験食A'の78.4%に比べ、C'では1週、2週および3週それぞれ82.0、81.8、82.1%とやや高い

傾向を示し、実験食Cの場合とよく似ていた。その他尿総窒素量や尿素窒素排泄量も実験食Cとよく似た傾向を示し、6日間の実験も3週間の実験もほぼ同じ成績であった。

SPIはこの実験条件ではスキムミルクに匹敵するたん白栄養価をもつといえるが、この実験では乾燥卵黄粉をたん白質にして約16g同時に摂取しているので、SPIに不足している含硫アミノ酸が卵黄粉より十分に補足されたため、SPIがスキムミルクと差のない成績を示したのかもしれない。SPIのアミノ酸価(1973年WHO)は59であるのに対し、実験食AおよびA'は86(第一制限アミノ酸はリジン)、実験食Bは100、実験食CおよびC'は96(含硫アミノ酸)、実験食Dは85(含硫アミノ酸)であった。

血液性状のうち、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値、血漿総たん白、アルブミン濃度は実験1、2と

Table 6. Blood status (Exp. 1)

	Diet A	Diet B	Diet C	Diet D
Hemoglobin (g/100 ml)	15.3±1.1 ¹	14.7±0.9	14.6±0.7	14.6±0.7
Hematocrit (%)	46.4±3.2	44.8±2.2	45.1±3.1	44.6±2.6
Total protein (g/100 ml)	7.66±0.20	7.30±0.25	7.72±0.18	7.68±0.14
Albumin (g/100 ml)	4.68±0.23	4.42±0.17	4.61±0.14	4.63±0.20
Cholesterol (mg/100 ml)				
HDL	44.9±8.0	49.1±8.0	41.7±7.0	45.7±7.1
β-Lipoprotein	396±98	398±118	385±82	410±78
Total	180±33	179±41	177±26	183±27
Intake (mg/day)	638	647	652	674

1: Mean ± SD.

Table 7. Blood status (Exp.2)

	Diet A'	Diet C'		
	1w	1w	2w	3w
Hemoglobin (g/100 ml)	16.2±0.3 ¹	15.8±0.4	15.6±0.8	16.2±0.5
Hematocrit (%)	45.9±1.2	45.6±2.2	45.6±2.4	46.9±1.7
Total protein (g/100 ml)	6.54±0.31	6.44±0.16	6.63±0.28	6.67±0.29
Albumin (g/100 ml)	4.31±0.04	4.40±0.15	4.34±0.17	4.47±0.21
Cholesterol (mg/100 ml)				
HDL	37.9±10.6	41.6±14.2	39.9±12.6	44.5±14.6
β-Lipoprotein	314±113	366±127	383±132	369±109
Total	202±62	209±57	227±53	237±57
Intake (mg/day)	640	640	640	640

1: Mean ± SD.

もすべての食期に差はなく正常値であった (Table 6, 7)。食事中的コレステロール含量を増加させるため乾燥卵黄粉を投与したので約640mg/日の摂取量となった。血漿総コレステロール濃度は実験1では実験食Aで180mg/100mlであったが、スキムミルク、あるいはSPIを与えても推計学的に有意な差を認めなかった。HDL-コレステロールも41.7~49.1mg/100mlで有意な差はなく、 β -リポ蛋白も385~410mg/100mlで差を認めなかった。実験2ではA'で血漿総コレステロールは202mg/100mlであったが、SPIを投与しても日を経るほどむしろやや高くなる傾向を示し、3週間では237mg/100mlとなった。ただし推計学的には有意な差を認めなかった。HDL-コレステロールも37.9mg/100mlから44.5mg/100mlへ、 β -リポ蛋白濃度も314mg/100mlから369mg/100mlへとやや高くなる傾向があった。

要 約

健康な男子学生8名を被検者とし、SPIの栄養価をコメ、スキムミルクと比較した。摂取エネルギーは体重を維持できる量 (約45kcal/kg) とした。摂取たん白

質は0.8g/kgとし、いずれの実験食にもたん白質の $\frac{1}{2}$ 量は卵黄粉とした。実験食Aでは残りのたん白質のすべてをコメに依存し、実験食Bではコメのたん白質の $\frac{1}{2}$ をスキムミルク、実験食CはSPIに置きかえた。実験食Dではコメのたん白質の $\frac{3}{4}$ をSPIに置きかえた。実験1では各食期を6日間とし、実験2では実験食Aを1週間、実験食Cを3週間投与した。

SPI (実験食CとD) のエネルギーの吸収率と利用率はコメ (実験食A)、スキムミルク (実験食B) と差を認めなかった。SPIの窒素の吸収率はコメより高い傾向を示し、窒素出納値はコメより有意に高くなり、スキムミルクと差を認めなかった。

血液性状ではヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値、血漿総たん白とアルブミン濃度に食質による差を認めなかった。おもに卵黄粉に由来するコレステロールの摂取量は約640mg/日であったが、SPI摂取による血漿中コレステロール濃度の低下作用を認めなかった。

以上のことから、SPIはコメと卵黄と組み合わせて食べるとき、スキムミルクと差のない栄養価を示すといえる。