

成人における分離大豆たん白質の栄養価とメチオニン添加効果

NUTRITIVE VALUE OF SOY PROTEIN ISOLATE AND EFFECT OF METHIONINE SUPPLEMENTATION IN HUMAN ADULTS

岸 恭一・前川みどり・山本 茂・志塚ふじ子（徳島大学医学部）
井上五郎（兵庫医科大学）

Kyoichi KISHI¹, Midori MAEGAWA¹, Shigeru YAMAMOTO¹, Fujiko SHIZUKA¹ and Goro INOUE²

¹Department of Nutrition, School of Medicine, The University of Tokushima, Tokushima 770

²Department of Physiology, Hyogo College of Medicine, Nishinomiya 663

ABSTRACT

The present study is a continuation of previous report (*Nutr. Sci. Soy Protein, Jpn.* **5**, 88-93, 1984) which showed no effect of methionine supplementation to soy protein isolate (SPI) in healthy adult men. In the first experiment, five young men received a SPI diet at N intake of 75 mg N/kg/day with or without 1.0% L-methionine supplementation for 10 days. In the second and similar experiment, five young women received 1% methionine supplemented and unsupplemented SPI diets (90 mg N/kg/day). No differences in N balance, digestibility or biological value were observed between supplemented and unsupplemented SPI diets in experiments 1 and 2. In the third experiment, five young men received either SPI diet or mixed protein diet of soy and egg (ratio of 7/3 by N) at N intake of 90 mg N/kg/day for 10 days each. There was no significant difference between two diet groups for N balance. From regression analysis of N balance to N intake, the slopes were 0.637 and 0.506 and the intakes to maintain N equilibrium were 93.4 and 104.5 mg N/kg/day in men for unsupplemented and methionine enriched SPI, respectively. From these and previous studies it is clear that methionine supplementation to well-processed SPI is unnecessary for adult human subjects in short-term N balance studies. *Nutr. Sci. Soy Protein, Jpn.* **6**, 88-95, 1985.

大豆たん白質は、他の豆類と同様、リジンを豊富に含むが、含硫アミノ酸量が少なく、メチオニンを添加することによりラットの成長は著しく改善される¹⁾。ヒトにおいても、大豆たん白質を乳児の代用ミルクに用いる場合、一般にメチオニンの補足が行われる^{2,3)}。成人については、分離大豆たん白質の栄養価が牛肉たん白質より明らかに劣っているという報告⁴⁾と、卵たん白質には少し劣るが牛乳や牛肉たん白質とはほぼ等

しいという報告⁵⁾とが見られる。

そこで我々は昨年度、成人男子に分離大豆たん白質（以下 SPI）を唯一のたん白質源とする食事を与え、これに L-メチオニンを SPI（N×6.25）に対し 1.0 あるいは 1.5% 添加したが、窒素出納に全く改善効果がみられなかった⁶⁾。昨年度は 60 及び 90 mg N/kg/日の 2 つの摂取窒素レベルで調べたので、今回はさらにその結果を確かめるため 75 mg N/kg/日のレベルを追

Table 1. Experimental groups and characteristics of adult subjects fed soy protein isolate diet

Experiment	No. of subj.	Intake N (mg N/kg/day)	Met suppl. (%)	Energy intake (kcal/kg/day)	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	BMR ¹ (kcal/kg)
1	5	75	1.0	46±4	22±3	173±5	67±6	24±2
2	5	90	1.0	43±2	22±2	156±3	51±7	25±3
3	5	90	egg ²	47±1	21±1	172±6	59±8	26±2

¹ Basal metabolic rate.² Mixed protein of SPI and egg (7 : 3).

加した。また成人女子についても、90 mg N/kg/日の SPI 摂取レベルでメチオニンを1%添加する実験を行った。さらに、補足した結晶メチオニンの消化管内挙動が SPI の消化吸収と異なるためにメチオニン補足効果が現われない可能性が考えられたので、結晶メチ

オニンの添加の代りに、SPI に卵たん白質を組み合わせた混合たん白質の栄養価についても調べた。

本報告では、昨年度の結果をも含めて成績を整理し、成人における SPI の栄養価について考察する。

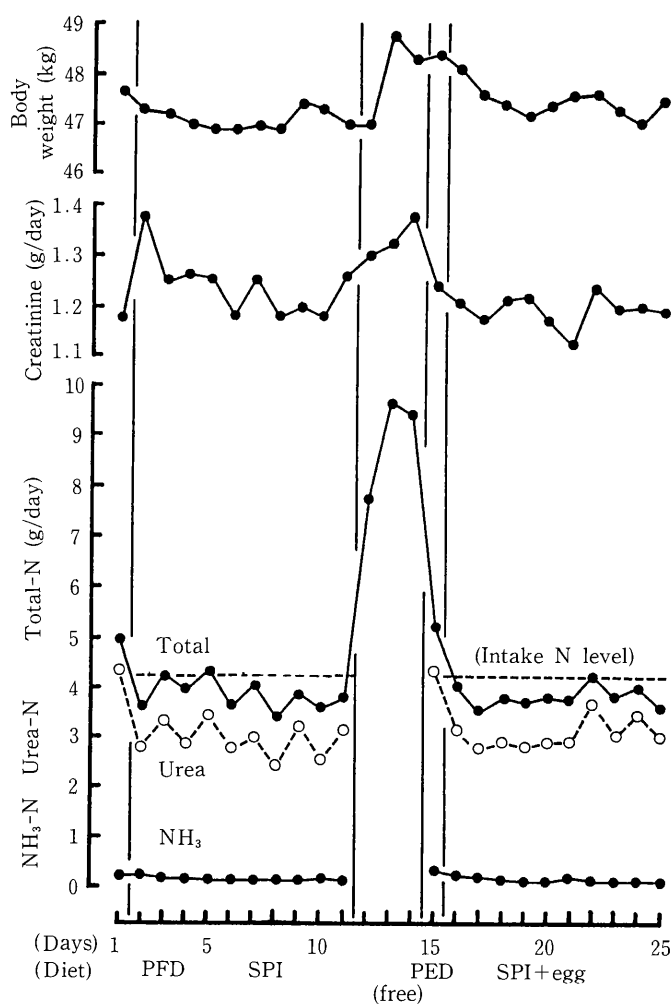


Fig. 1. One example of daily changes in body weight and urinary nitrogen excretions in young men fed a soy protein diet and a mixed soy-egg protein diet.

実験方法

健康な男子大学生 10 名及び女子大学生 5 名を被験者とし、次の 3 種類の実験を行った (Table 1)。実験 1 は前報⁹⁾の追加実験で、男子 5 名について SPI の摂取レベルを 75 mg N/kg/日に変えたものである。実験 2 は 5 名の女子におけるメチオニン添加実験である。実験 3 では、結晶メチオニンの代りに卵たん白質を SPI に混合した食事を男子 5 名に摂取させた。

実験期間は前報⁹⁾と同様であり、Fig. 1 に示した実験結果の 1 例のように、1 日の無たん白質食 (PFD) の後、SPI を唯一のたん白質源とする低たん白質食を 10 日間与えた。3 日間の自由食期をはさんで、1 回目と同じたん白質レベルの食事をそれぞれ 1 日と 10 日間摂取させた。摂取窒素レベルは、実験 1 では 75 mg N/kg/日、実験 2 及び 3 では 90 mg N/kg/日である。2 回目の低たん白質食期に、実験 1 及び 2 では L-メチオニンを SPI (N×6.25) に対し 1.0% 添加し、実験 3 では SPI・卵混合たん白質を与えた。この時、SPI と卵たん白質食の混合割合 (N として) は 7:3 とし、混合たん白質中の総含硫アミノ酸量が SPI にメチオニンを 1% 添加した時と同じになるようにした。SPI は、馬鈴薯澱粉、大豆油等を加えてカマボコの形とし、メチオニンは粉飴と共に水に溶かして投与した。卵は卵焼きにして食べさせた。摂取エネルギー量は男子約 45 kcal/kg/日、女子約 43 kcal/kg/日の維持量とした。エ

ネルギー源にはコーンスターチ、砂糖、コーン油、ショートニングを用い、脂質のエネルギー比は 25% とした。

実験期間中、尿と糞は毎日採集し、排泄窒素量を測定した。両実験期末 4 日間の窒素排泄量の平均値を用いて窒素出納を算出し、メチオニン添加効果を調べた。また、実験開始時と終了時に、身体計測、基礎代謝の測定及び血中窒素成分、脂質成分について分析した。

実験結果

実験 1

75 mg N/kg/日の摂取窒素レベルにおける成人男子の窒素出納はすべて負となったが、-4 から -31 mg N/kg/日の幅があり、5 例の平均値は -18.3 ± 11.6 mg N/kg/日であった (Table 2)。メチオニンを 1% 添加すると、2 例において窒素出納がわずかに改善されたが、他の 3 例は負の程度が増した。平均すると -20.3 ± 5.1 mg N/kg/日となり、メチオニン非添加時との間に差は見られなかった。

実験 2

成人女子に SPI を 90 mg N/kg/日摂取させた時の尿中窒素排泄量は 5 例平均 106 ± 9 mg N/kg/日であり (Table 3)、これは前回行った男子の尿中窒素排泄量の 70 ± 8 mg N/kg/日と比べて有意に大きかった。女子で月経周期によると考えられる尿中窒素排泄量の明らかな差は見られず、男女のこの差の原因は不明で

Table 2. Nitrogen balance in young men fed soy protein isolate diet (75 mg N/kg/day) supplemented with or without 1% L-methionine

Subject	Intake N	Urinary N	Fecal N	N balance
(mg N/kg/day)				
<u>Soy protein isolate</u>				
A	76.0	78.5	12.7	-15.2
B	75.2	73.1	14.0	-11.9
C	75.4	91.7	13.3	-29.6
D	74.8	66.6	12.1	- 3.9
E	77.7	92.4	16.0	-30.7
Mean	75.8	80.5	13.6	-18.3
SD	1.1	11.4	1.5	11.6
<u>SPI+Met</u>				
A	76.2	81.1	12.1	-17.0
B	74.9	80.6	12.9	-18.6
C	76.4	90.9	10.7	-25.2
D	74.9	77.0	12.5	-14.6
E	78.5	88.8	15.7	-26.0
Mean	76.2	83.8	12.8	-20.3
SD	1.5	5.8	1.8	5.1

Table 3. Nitrogen balance in young women fed soy protein isolate diet (90 mg/N/kg/day) supplemented with or without 1% L-methionine

Subject	Intake N	Urinary N	Fecal N	N balance
(mg N/kg/day)				
<u>Soy protein isolate</u>				
F	91.8	112.4	16.0	-36.6
G	91.8	110.7	15.9	-34.8
H	91.3	101.9	18.0	-28.6
I	91.3	91.5	15.9	-16.1
J	93.4	113.1	16.8	-36.5
Mean	91.9	105.7	16.5	-30.5
SD	0.9	9.0	0.9	8.7
<u>SPI+Met</u>				
F	92.9	99.7	16.6	-23.4
G	92.7	115.9	16.7	-39.9
H	92.1	117.8	17.2	-42.9
I	91.2	96.1	15.3	-20.2
J	94.4	102.7	19.4	-27.7
Mean	92.5	106.4	17.0	-30.8
SD	1.3	9.8	1.5	10.1

ある。メチオニン非添加 SPI 摂取時の窒素出納は-30.5±8.7 mg N/kg/日であり、これに1% メチオニンを添加しても-30.8±10.1 mg N/kg/日と全く差がなかった。

実験 3

SPI に結晶メチオニンの代りに卵たん白質を加えて

含硫アミノ酸量を増したが、男子5例平均の窒素出納値は-10.6±9.8 mg N/kg/日であり、SPI 単独の場合の-6.3±10.3 mg N/kg/日と比べ、有意ではないがやや低値を示した (Table 4)。このように卵たん白質の補足によっても窒素出納値から見た SPI の栄養価は改善されず、従って前報及び実験 1, 2 で結晶メチオニ

Table 4. Supplementation of soy protein isolate with egg protein (7:3) in young adult men

Subject	Intake N	Urinary N	Fecal N	N balance
(mg N/kg/day)				
<u>Soy protein isolate</u>				
K	89.2	71.2	14.8	+ 3.2
L	89.9	77.2	13.1	- 0.4
M	88.8	76.2	13.7	- 1.1
N	89.3	87.7	12.7	-11.1
O	92.1	95.8	18.3	-22.0
Mean	89.9	81.6	14.5	- 6.3
SD	1.3	9.9	2.3	10.3
<u>SPI+Met</u>				
K	90.0	91.4	13.2	-14.6
L	88.9	82.3	14.6	- 8.0
M	88.5	71.5	15.6	+ 1.4
N	89.1	83.6	12.5	- 7.0
O	92.9	105.6	12.1	-24.8
Mean	89.9	86.9	13.6	-10.6
SD	1.8	12.6	1.5	9.8

Table 5. Digestibility and biological value of soy protein isolate supplemented with or without methionine in young adult men

Intake N (mg N/kg/day)	Met suppl. (%)		Digestibility		Biological value			
			SPI	SPI+Met	SPI		SPI+Met	
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
60	1.0	(5) ¹	98±5 ²	(5) 99±1	(5) 48±10	(5) 43±9	(5) 37±15	(5) 34±7
75	1.0	(5)	99±2	(5) 99±2	(5) 37±15	(5) 34±7	(5) 34±7	(5) 34±7
	1.0			(3) 97±3		(3) 57±9		(3) 57±9
90	1.5	(11)	98±2	(3) 96±2	(11) 52±11	(3) 45±12	(3) 45±12	(3) 45±12
	egg			(5) 99±2		(5) 40±12		(5) 40±12

¹ Numbers in parentheses indicate number of subjects.

² Mean±SD.

ン添加効果が見られなかったのは、アミノ酸の形で添加したためであるとは考えられない。

SPI の消化吸収率は男子 21 例平均 98% と良好であり、メチオニン添加により変化しなかった (Table 5)。

メチオニンあるいはシスチンのいずれについても、低たん白質食期開始前の対照期に比べて SPI 期で必ずしも低いとは言えず、また SPI にメチオニンを添加しても血漿メチオニンに一定の効果は示されなかった。

Table 6. Effect of 1% L-methionine supplementation to soy protein isolate on plasma free methionine and cystine in young adult men

Intake N (mg N/kg/day)	Methionine					Cystine		
	Control		SPI	SPI+Met		Control	SPI	SPI+Met
					(μmoles/l)			
60	(8) ¹	39±13 ²	(4) 25±2	(4) 37±6	(8) 69±17	(4) 68±7	(4) 93±19	(4) 93±19
75	(10)	36±17	(5) 51±19	(5) 34±6	(10) 69±11	(5) 92±24	(5) 81±8	(5) 81±8
90	(8)	39±15	(4) 31±7	(4) 35±11	(8) 80±24	(4) 65±14	(4) 78±15	(4) 78±15

¹ Numbers in parentheses indicate number of subjects.

² Mean±SD.

生物価に摂取 SPI レベルによる一定の傾向は認められず、37～52 であった。SPI にメチオニンを添加しても 34～57 と明らかな改善は見られなかった。

空腹時血漿含硫アミノ酸濃度を Table 6 に示した。

また、主な血漿中窒素成分及び脂質成分にもメチオニン添加の明らかな影響は見られなかった (Table 7)。

成人男子についての前報と今回の窒素出納の結果を合せて、Fig. 2 に示した。摂取窒素量(X: mg N/kg/

Table 7. Blood analyses in human adults fed soy protein isolate diet supplemented with or without methionine

	Experiment 1 (male, 75 mg N/kg/day)		Experiment 2 (female, 90 mg N/kg/day)		Experiment 3 (male, 90 mg N/kg/day)	
	SPI	SPI+Met	SPI	SPI+Met	SPI	SPI+Met
Hematocrit	46	47	37	37	45	45
Hemoglobin (g/100 ml)	16.2	16.2	12.9	12.5	14.8	15.7
Total protein (g/100 ml)	6.1	6.2	6.3	6.2	6.7	6.8
Albumin (g/100 ml)	3.9	4.0	4.1	4.2	4.4	4.4
Prealbumin (mg/100 ml)	30	29	25	25	30	30
Urea + NH ₃ -N (mg/100 ml)	4.6	3.0	1.3	5.2	2.6	3.3
Total lipid (mg/100 ml)	398	485	373	365	406	427
Triglyceride (mg/100 ml)	62	85	63	64	79	102
Total cholesterol (mg/100 ml)	144	165	127	134	168	135
HDL-cholesterol (mg/100 ml)	53	54	47	45	45	48
GOT (Karmen units)	18	19	10	10	14	15
GPT (Karmen units)	18	14	1	1	11	13

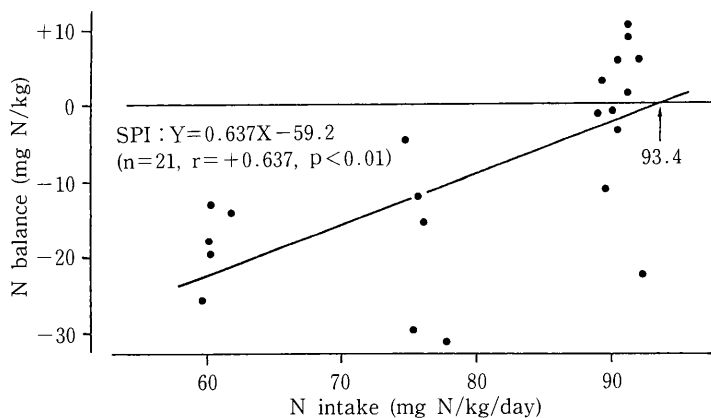


Fig. 2. Nitrogen balance in relation to nitrogen intake in young men fed unsupplemented soy protein isolate diet.

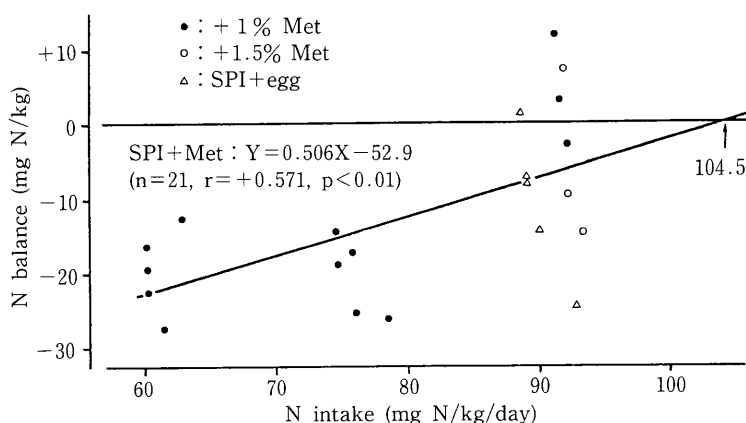


Fig. 3. Nitrogen balance in relation to nitrogen intake in young men fed methionine enriched soy protein isolate diet.

日)と窒素出納値(Y : mg N/kg/日)の間に有意の相関関係があり、 $Y=0.637X-59.2$ ($n=21$, $r=+0.637$, $p<0.01$)の回帰式が導かれた。同様に、SPIにメチオニンを1.0%あるいは1.5%添加およびたん白質を補足した場合には、 $Y=0.506X-52.9$ ($n=21$, $r=+0.571$, $p<0.01$)の回帰式が成立した。両式の間に有意の差はなかったが、直線の傾きはSPIの方がメチオニン添加SPIよりも大であった。また、これらの回帰直線式より求めた窒素平衡維持量はSPIで93.4 mg N/kg/日、メチオニン添加SPIで104.5 mg N/kg/日となり、SPI単独の方が小さかった。

考 察

前回⁸⁾と今回の実験において、成人男子についてSPI摂取レベルを60、75および90 mg N/kg/日の3

段階に変えて、1%メチオニン添加を行ったが、いずれのレベルにおいてもメチオニン添加による明らかな窒素出納の改善が見られなかった。Kies and Fox⁷⁾は、4 g N/日の大豆たん白質摂取時には1% DL-メチオニン(大豆たん白質製品乾物重量に対し)の添加は窒素出納の改善をもたらしたが、摂取量を8 g N/日に増すと効果が見られないと報告している。Youngら⁸⁾も、82および128 mg N/kg/日のSPI摂取において1.1% L-メチオニンの添加を行ったが、128 mg N/kg/日のSPI摂取では窒素出納に全く影響がなく、82 mg N/kg/日においてもわずかに改善されたに過ぎない。我々の結果では、60および75 mg N/kg/日という低いSPI摂取レベルでもメチオニン添加効果が全く見られていない。また、摂取窒素と窒素出納との間に成立する回帰直線式の傾きおよび窒素平衡維持量から見ても、

メチオニン添加による SPI の質の改善は見られない。前報⁶⁾のように、メチオニン添加量を 1.5% に増し、魚肉や牛肉などの含硫アミノ酸量とほぼ等しくしても効果がなく、メチオニン添加量が不足していたとは考えられない。実際 Young ら⁸⁾は 82 mg N/kg/日の SPI 摂取でメチオニン添加を 1.6% に増すと窒素出納が逆に悪化することを観察している。Kies and Fox⁷⁾の成績との不一致は、彼らを用いた SPI の含硫アミノ酸量が約 124 mg /gN と、我々の用いた SPI (Fujipro R) の約 160 mg/gN と比べて明らかに低いことによると思われる。

SPI に結晶メチオニンを添加した場合、添加メチオニンが SPI と同時に吸収されないために効果がでない可能性も考えられたが、SPI に卵たん白質を加えて含硫アミノ酸量を高めてもやはり窒素出納は改善されなかった。

血漿遊離メチオニン濃度から見ても、今回使用した SPI の含硫アミノ酸は不足していないと言える。今回求めた SPI の窒素平衡維持量は 93.4 mg N/日であり、これは井上⁹⁾が報告している卵たん白質の 90 mg N/kg/日に非常に近い。また、Scrimshaw らの MIT グループ¹⁰⁻¹²⁾も、SPI の栄養価は牛肉やミルクなどの動物性たん白質に匹敵すると結論している。ヒトの含硫アミノ酸必要量はラットとは異なっており¹³⁾、さらに成人の必要量は幼児よりも少なく¹⁴⁾、今回我々が用いたような良質の SPI 製品は成人の含硫アミノ酸必要量を十分に満たしていると考えられる。

今回の実験は非常に短期間であり、例数も少ないので絶対的な結論を出すことは難しいが、Istfan ら¹⁵⁾や Young ら¹⁶⁾の長期間の SPI 摂取実験においても、SPI の栄養価は牛肉たん白質と差がないと報告されており、SPI 単独で成人のたん白質栄養を維持できるものと思われる。

文 献

- 1) 井上五郎, 岸 恭一, 八木郁子(1980): 分離大豆たん白質へのメチオニン補足量に関する研究, 大豆たん白質栄養研究会誌 **1**, 6-9.
- 2) Graham, G. G. Placko, R. P., Morales, E., Acevedo, G. and Cordano, A. (1970): Dietary protein quality in infants and children. VI. Isolated soy protein milk. *Am. J. Dis. Child.*, **120**, 419-423.
- 3) Fomon, S. J. and Ziegler, E. E. (1979): Soy protein isolates 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.
- 4) Vemury, M. K. D., Kies, C. and Fox, H. M. (1976): Comparative protein value of several vegetable protein products fed at equal nitrogen levels to human adults. *J. Food. Sci.*, **41**, 1086-1091.
- 5) Scrimshaw, N. S. and Young, V. R. (1979): Soy protein in adult human nutrition: A review and new data, in "Soy Protein and Human Nutrition", ed. by Wilcke, H. L., Hopkins, D. T. and Waggle, D. H., Academic Press, New York, pp. 121-148.
- 6) 岸 恭一, 前川みどり, 山本 茂, 志塚ふじ子, 井上五郎(1984): 成人男子における分離大豆たん白質へのメチオニン補足効果, 大豆たん白質栄養研究会誌 **5**, 88-93.
- 7) Kies, C. and Fox, H. M. (1971): Comparison of the protein nutritional value of TVP, methionine enriched TVP and beef at two levels of intake for human adults. *J. Food. Sci.*, **36**, 841-845.
- 8) Young, V. R., Puig, M., Queiroz, E., Scrimshaw, N. S. and Rand, W. M. (1984): Evaluation of the protein quality of an isolated soy protein in young men: relative nitrogen requirements and effect of methionine supplementation. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**, 16-24.
- 9) Inoue, G., Fujita, Y. and Niiyama, Y. (1973): Studies on protein requirements of young men fed egg protein and rice protein with excess and maintenance energy intakes. *J. Nutr.*, **103**, 1673-1687.
- 10) Wayler, A., Queiroz, E., Scrimshaw, N. S., Steinke, F. H., Rand, W. M. and Young, V. R. (1983): Nitrogen balance studies in young men to assess the protein quality of an isolated soy protein in relation to meat proteins. *J. Nutr.*, **113**, 2485-2491.
- 11) Scrimshaw, N. S., Wayler, A. H., Murray, E., Steinke, F. H., Rand, W. M. and Young, V. R. (1983): Nitrogen balance response in young men given one of two isolated soy proteins or milk proteins. *J. Nutr.*, **113**, 2492-2497.
- 12) Istfan, N., Murray, E., Janghorbani, M. and Young, V. R. (1983): An evaluation of the

- nutritional value of a soy protein concentrate in young adult men using the short-term N-balance method. *J. Nutr.*, **113**, 2516-2523.
- 13) Hegsted, D. M. (1964): Proteins, in "Nutrition, A Comprehensive Treatise", ed. by Beaton, G. H. and McHenry, E. W., Academic Press, New York, Vol. 1, pp. 115-179.
 - 14) Harper, A. E. (1979): Human requirements for lysine and sulfur-containing amino acids, in "Soy Protein and Human Nutrition", ed. by Wilcke, H. L., Hopkins, D. T. and Waggle, D. H., Academic Press, New York, pp. 171-186.
 - 15) Istfan, N., Murray, E., Janghorbani, M., Evans, W. J. and Young, V. R. (1983): The nutritional value of a soy protein concentrate (STAPRO-3200) for long-term protein nutritional maintenance in young men. *J. Nutr.*, **113**, 2524-2534.
 - 16) Young, V. R., Wayler, A., Garza, C., Steinke, F. H., Murray, E., Rand, W. M. and Scrimshaw, N. S. (1984): A long-term metabolic balance study in young men to assess the nutritional quality of an isolated soy protein and beef proteins. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**, 8-15.