

成人女子における分離大豆たん白質の 栄養効率と必要量について

UTILIZATION AND REQUIREMENT OF SOY PROTEIN ISOLATE IN ADULT FEMALE

金子佳代子・小池五郎（女子栄養大学栄養学部）

Kayoko KANEKO and Goro KOIKE

Kagawa Nutrition College

ABSTRACT

Ten female students aged 19 to 20 were fed protein-free diet for one day and in the following ten days they were given the diets with SPI, 0.3g protein/kg for four subjects, 0.45g/kg for two and 0.6g/kg for four, respectively. Mean energy intake was 36.4 ± 2.7 kcal/kg/day which corresponds to about 1.7 times as much as their basal metabolism and was considered as the maintenance level. Twenty-four hour urine was collected completely during experimental period and urinary creatinine and nitrogen contents were measured. Subjects were given three grams of carbon powder as a fecal marker with the breakfast at the beginning of SPI diet and the next morning after experimental period. Feces from marker to marker were collected, dried and their nitrogen contents were determined. Nitrogen balance was calculated from the intake, fecal N excretion and the mean of urinary N excretion of the last four experimental days when urinary N excretion achieved a constant level. Linear regression line of N balance (y) with N intake (x) was calculated as $y = 0.411x - 40.8$ ($n=10$, $r=0.812$), and mean N equilibrium value of SPI was 99 mg/kg/day. Digestibility and net protein utilization (NPU) of SPI were calculated from these N balance responses with the figures of urinary and fecal obligatory N losses determined in other fourteen subjects previously, 34.5mg/kg for urinary loss and 10.0mg/kg for fecal loss. Digestibility was $98.2 \pm 5.0\%$ ($n=10$) and NPU were 47 ± 24 at protein intake of 0.3g/kg ($n=4$), 49 at 0.45g/kg ($n=2$) and 44 ± 3 at 0.6g/kg ($n=4$). The results were compared with the data in male subjects reported by other investigators.

食品素材としての大豆たん白質の開発が進み、今日アメリカおよびわが国においてはその製品は大規模に生産され、種々の食品の製造に使用されている。わが国ではこれら大豆たん白質の需要は年間約2万トンに達しているといわれ¹⁾、大豆および大豆製品に由来する摂取たん白質と比較して、無視できない数量になっている。しかも、動物性食品の摂取と成人病との関連から植物性食品が見直されていること、たん白質資源の

有効利用という観点から脱脂大豆の利用が重要視されていることなどから、今後さらに分離大豆たん白質の需要は拡大するものと考えられる。

それにとまって、私たちの食生活に重要な構成素材となるであろうこれら大豆たん白製品の栄養的評価を確実にすることが必要である。これまで分離大豆たん白質についてたん白質栄養の面から評価した研究には、ラットを対象としたもの²⁻⁴⁾、ヒトを被検者とした

もの⁵⁻⁸⁾がある。Young と Scrimshaw⁹⁾ は、たん白質の栄養価についてラットを対象とした実験成績と、ヒトを被検者とした成績とで異なることを指摘しており、分離大豆たん白質の栄養効率を判定するにあたって、ヒトを対象とした実験成績がさらに蓄積、検討されることが望ましい。ヒトを対象としてこれまでに報告された研究では、窒素出納にもとづいて分離大豆たん白質の栄養価を判定したものが多いが、その利用効率あるいは最小必要量（窒素平衡維持量）まで測定したものは Scrimshaw と Young⁷⁾ によるアメリカ人成人男子の成績、高橋ら⁸⁾ による日本人成人男子の成績があるだけである。

本研究は、従来ほとんど研究されていなかった成人女子を被検者として、分離大豆たん白質の利用効率を slope ratio 法によって測定することを目的として行い、さらに最小必要量を求めて、成人男子のそれと比較検討した。

実 験 方 法

10 名の健康な女子学生を被検者とした。被検者の年齢、体格、基礎代謝量を Table 1 に示した。被検者ははじめの 1 日無たん白質食を摂取し、その後無たん白質食に分離大豆たん白質（フジプロ R）を加えた食事を 10 日間摂取した。分離大豆たん白質の投与レベルは 0.3 g/kg（4 名）、0.45 g/kg（2 名）、0.6 g/kg

（4 名）の 3 段階とした。エネルギー摂取量は、各被検者について体重維持レベルの摂取量とした。そのために、あらかじめ各被検者が日常の食事で摂取しているエネルギー量を調査し、めやすとした。10 名の平均エネルギー摂取量は 36.4 ± 2.7 kcal/kg/日であった。実験食の組成は Table 2 に示すとおりである。

実験期間中、被検者は女子栄養大学内のメタボリックユニットに宿泊し、十分な医学的健康管理のもとで日常生活活動を行った。実験期間中は毎日尿を採集してクレアチニン¹⁰⁾および窒素¹¹⁾排泄量を測定した。SPI 食開始日の朝食および終了翌日の朝食時にマーカーとして炭末 3 g を服用させ、マーカーからマーカーまでの糞をすべて採集した。糞は熱風乾燥した後、粉碎して窒素量を測定した。基礎代謝量の測定は実験期間中の早朝に行った。また水中体重を測定して Brožek の式¹²⁾に従って体脂肪量を求めて lean body mass を算出した。なお分離大豆たん白質のたん白質-N 換算係数は 5.71 を用いた。

結 果

Table 3 に、体重の変化、尿クレアチニン排泄量、尿および糞中窒素排泄量、窒素出納値をまとめて示した。たん白質摂取レベル 0.6 g/kg 群では体重の増減はほとんどなく、0.45 g/kg 群および 0.3 g/kg 群ではやや減少傾向であった。クレアチニン排泄量はど

Table 1. Characteristics of subjects

Protein intake	Subj. code	Age	Height	Weight ¹	BM ²	Fat ³	LBM
g/kg		yr	cm	kg	kcal/kg	%	kg
	01	19	164	52.2	25.7	21.5	40.6
	02	20	147	51.7	23.2	28.2	38.4
	03	19	155	50.8	20.8	29.0	36.2
0.3	04	20	160	55.3	24.9	30.3	40.4
	05	20	154	59.4			
0.45	06	19	152	55.7	20.6		
	07	20	152	48.4	24.4	29.0	35.0
0.6	08	20	157	49.6	21.5	24.9	37.4
	09	19	155	60.2	22.0	32.6	40.8
	10	19	157	58.5	16.6	34.5	38.6
Mean		19.5	155.5	54.2	22.2	28.8	38.4
SD		±0.5	±4.5	±4.2	±2.8	±4.1	±2.1

1. The weight of the first day of experimental period.
2. Measured during experimental period.
3. Calculated from the body density using the equation suggested by Brožek *et al.* (1963).

考 察

の被検者においても、実験期間中だいたい一定であった。尿中総窒素排泄量は、実験食開始後1～2日間急激に減少し、その後徐々に一定レベルに安定した。尿中窒素排泄量が安定したと思われる最後4日間（8～11日目）の平均値を各被検者ごとに求め、それと糞窒素排泄量および窒素摂取量から窒素出納を算出した。

窒素摂取量（ x ）と窒素出納（ y ）との間の関係は Fig. 1 のようになり、回帰直線式は $y=0.411x-40.8$ （ $n=10$, $r=+0.812$ ）であった。この回帰直線式より分離大豆たん白質の窒素平衡維持量を求めると $99 \text{ mgN} / \text{kg} / \text{日}$ となった。また別に成人女子 14 名について測定した不可避窒素損失量の数値（尿 $34.5 \text{ mgN} / \text{kg}$, 糞 $10.0 \text{ mgN} / \text{kg}$, 図中 X 印で印した¹³⁾）を用いて分離大豆たん白質の消化吸収率、利用効率（NPU）を算出すると消化吸収率 $98.2 \pm 5.0 \%$ （ $n=10$ ）、NPU はたん白質 $0.3 \text{ g} / \text{kg}$ 摂取群 47 ± 24 （ $n=4$ ）、 $0.45 \text{ g} / \text{kg}$ 群 49 （ $n=2$ ）、 $0.6 \text{ g} / \text{kg}$ 群 44 ± 3 （ $n=4$ ）であった。

分離大豆たん白質の消化吸収率、利用効率、最小必要量（窒素平衡維持量）について、ヒトを被検者として測定したものとしては、Scrimshaw と Young⁷⁾、また高橋ら⁸⁾ の日本人成人男子を被検者とした成績がある。高橋らは男子大学生 5 名を被検者として分離大豆たん白質（Supro 620）の投与レベルを 4 段階（0.35, 0.45, 0.55, 0.65 g/kg）にかえて窒素出納を調べ、消化吸収率 $98.5 \pm 1.6 \%$ 、最小必要量（窒素平衡維持量） $109.8 \text{ mgN} / \text{kg} / \text{日}$ であったと報告している。また Scrimshaw と Young の成績では Supro 620 の消化吸収率 97%、窒素平衡維持量は約 $110 \text{ mgN} / \text{kg} / \text{日}$ であった。

本研究の成人女子における実験成績をこれら男子の成績と比較すると、消化吸収率に関してはよく一致しており、分離大豆たん白質の消化吸収率は男女とも 97～98% と非常に高いことがわかった。大豆および大豆製品のたん白質の消化吸収率については、最近、日本

Table 2. Composition of experimental diet¹

Ingredient	Intake(g/day)	
	Protein free diet	SPI diet
SPI(Fujipro R)	—	30
Corn starch	207	187
Sugar	123	112
Shortening	48	48
Agar	5	5
Sodium chloride	3	3
Vitamin mixture ²	2 tablets	2 tablets
Mineral mixture ³	4	4

1. This is an example of diet for a subject receiving 1,600 kcal of energy and 0.6g/kg of soy protein isolate. Except the ingredients in this table, subjects consumed an available amount of tea, green tea and lemon juice.
2. Two tablets of vitamin mixture contained: Retinyl palmitate, 2,000 IU; vitamin D₂, 200 IU; vitamin B₁ hydrochloride, 10mg; riboflavin, 4mg; pyridoxine hydrochloride, 6mg; nicotinamide, 50mg; cyanocobalamine, 10μg; ascorbic acid, 150 mg; α-tocopherol acetate, 10mg; and Ca pantothenate, 30mg.
3. One hundred grams of mineral mixture contained: (g) CaCO₃, 25.12; KHCO₃, 39.25; MgSO₄·7H₂O, 10.78; FeC₆H₅O₇·6H₂O, 2.91; KH₂PO₄, 21.74; MnSO₄·4H₂O, 0.0369; CuSO₄·5H₂O, 0.1306; KI, 0.0073; and ZnCl₂, 0.0316. This mixture was mainly based upon that of Rose *et al.* (*J. Biol. Chem.*, 1950, 182: 541).

人男女を被検者として測定された科学技術庁資源調査会の調査報告¹⁴⁾がある。それによれば、大豆(煮)92.0±3.9% (n=7), 豆腐96.9±5.7% (n=10), 油揚げ90.7±5.5% (n=6), 生揚げ96.6±6.7% (n=11), 凍り豆腐92.9±9.5% (n=10), 湯葉103.2±8.1

% (n=4), 納豆90.1±5.9% (n=4), きな粉78.1±8.2% (n=7), 総平均92.2±6.6%であったという。分離大豆たん白質の消化吸収率は、これら大豆および大豆製品のたん白質の吸収率を上まわるものであり、卵たん白質の吸収率98%^{15,16)}と同じ程度に高いも

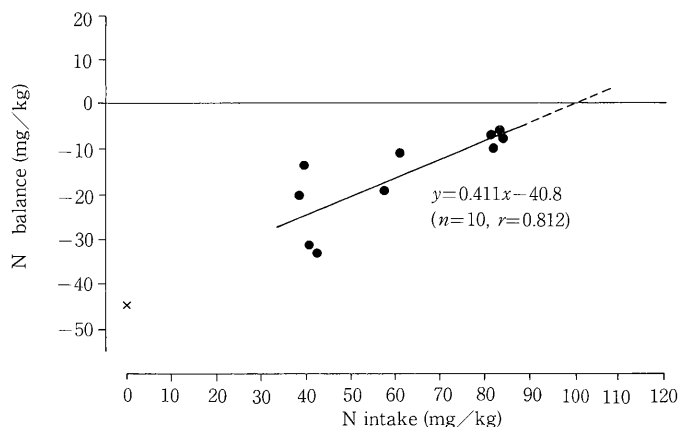


Fig.1 Correlation between N balance and N intake in subjects fed SPI diet.
Cross symbol (×) indicates the obligatory urinary and fecal N losses studied with other subjects.

Table 3. Nitrogen balance, body weight and urinary creatinine excretion of individual subjects given diets with graded levels of SPI

Protein intake	Subj. code	Energy intake	Nitrogen intake	Change in BW	Urinary ¹ creatinine	Urinary ² N	Fecal N	N balance
g/kg		kcal/kg	mg/kg	kg/11days	mg/day	mg/kg	mg/kg	mg/kg
0.3	01	38.3	41.5	-1.40	1,006±83	60.3	13.4	-31.3
	02	38.7	41.9	-2.03	935±71	63.8	12.1	-33.1
	03	39.6	40.0	-1.20	831±77	44.5	10.4	-14.0
	04	32.8	39.2	+0.05	879±65	52.7	7.5	-20.1
	Mean	37.4	40.7	-1.15		55.3	10.9	-24.6
	SD	±3.1	±1.3	±0.87		±8.6	±2.5	±9.1
0.45	05	33.7	57.0	-1.10	943±18	67.2	9.1	-18.6
	06	35.9	60.7	-2.00	1,010±32	59.6	13.3	-11.3
	Mean	34.8	58.9	-1.60		63.4	11.2	-15.0
0.6	07	36.7	84.0	+0.65	908±40	83.8	7.5	-6.4
	08	40.2	81.9	-0.15	925±52	78.0	14.9	-10.1
	09	33.5	80.9	-0.50	970±35	80.2	7.9	-6.4
	10	34.5	83.4	-0.45	981±43	73.7	15.6	-5.3
	Mean	36.2	82.6	-0.11		78.9	11.5	-7.1
	SD	±3.0	±1.4	±0.53		±4.2	±4.4	±2.1
Overall	Mean	36.4		-0.81				
	SD	±2.7		±0.88				

1. Mean±SD of 11 days.

2. Average of the last 4 days of the experimental period.

のであった。

分離大豆たん白質の最小必要量（窒素平衡維持量）は、本研究の成績では $99 \text{ mgN} / \text{kg}$ であり、高橋ら、Scrimshaw と Young の成績に比べて若干小さい数値が得られた。男女の成績に差があるのかどうか詳しく検討することは、実験例数も少ないので難しいが、両者の実験条件について二、三検討してみると、まず実験に供した分離大豆たん白質の違いにより差が出たということが考えられる。しかし Scrimshaw と Young⁷⁾ は 2 種の分離大豆たん白質 Supro 620 と Supro 710 とを試験した結果、窒素平衡維持量に差がみられなかったことを報告している。また窒素平衡維持量を変動させる因子としてエネルギー摂取量の影響が大きいと指摘されている¹⁵⁾ が、この点については、高橋らの実験では $45.4 \pm 1.1 \text{ kcal} / \text{kg} / \text{日}$ 、Scrimshaw と Young の実験では $38.4 \sim 55.1 \text{ kcal} / \text{kg} / \text{日}$ であり、どちらも体重維持エネルギーレベルの摂取量であった。成人女子を被検者とした本研究では、 $36.4 \pm 2.7 \text{ kcal} / \text{kg} / \text{日}$ のエネルギー摂取量であったが、これは基礎代謝量の約 1.7 倍の摂取量であること、また実験期間中、体重の変化が少なかったことなどから考えて、エネルギー摂取量は男子と同様に維持レベルであったと考えられる。

分離大豆たん白質の窒素平衡維持量は、男女に若干の差があるとしても、およそ $100 \sim 110 \text{ mgN} / \text{kg} / \text{日}$ であるとこれまでの実験成績から考えることができる。この数値は卵たん白質の窒素平衡維持量 $80 \sim 90 \text{ mgN} / \text{kg}$ ¹⁷⁾ にくらべてやや多い程度である。また NPU を比較してみても、エネルギー維持レベルにおける卵たん白質の NPU 55 にくらべて分離大豆たん白質の方が若干低い程度であり、卵たん白質を 100 とした場合の相対的な栄養価はおおよそ 80 という高い値となった。

文 献

- 1) 橋場俊郎 (1981): 日本における大豆たん白食品の現状と課題. 食品開発, **16**, 29-35.
- 2) CASTRO, C.E., YANG, S.P., and HARDEN, M. L. (1976): Supplemental value of liquid cyclone processed cottonseed flour on the proteins of soybean products and cereals. *Cereal Chem.*, **53**, 291-298.
- 3) 吉田勉, 枝川純子 (1978): ちっ素および無機質の出納に及ぼすカゼインと分離大豆たん白質の影響. 栄養学雑誌, **36**, 245-252.
- 4) 山口迪夫, 岩谷昌子, 宮崎基嘉 (1981): 成長期ラットにおける分離大豆たん白質と原料脱脂大豆の

栄養効率の比較. 栄養学雑誌, **39**, 275-284.

- 5) 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.
- 6) ZEULKA, A.Y., and CALLOWAY, D.H. (1976): Nitrogen retention in men fed varying levels of amino acids from soy protein with or without added L-methionine. *J. Nutr.*, **106**, 212-221.
- 7) SCRIMSHAW, N.S., and YOUNG, V.R. (1979): Soy protein in adult human nutrition, a review with new data., in "Soy Protein and Human Nutrition," Wilcke, H.L. *et al.* ed. pp. 121-148.
- 8) 高橋徹三, 鈴木正敏, 村松成司 (1979): 成人男子における大豆タンパク質の最小必要量および内因性窒素排泄量. 第33回日本栄養・食糧学会総会.
- 9) YOUNG, V.R., and SCRIMSHAW, N.S. (1978): "Protein Resources and Technology: Status and Research Needs", Milner, M., Scrimshaw, N.S., and Wang, D.I.C. ed., pp.136-173, AVI, Westport. Conn.
- 10) 小石秀夫 (1956): 尿 creatinine に関する研究. 生化学, **28**, 477-486.
- 11) 農林水産技術会事務局 (1974): 食品分析研究会報告書, p.1.
- 12) BROZEK, J., GRANDE, F., ANDERSON, J.T., and KEYS, A. (1963): Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140.
- 13) 金子佳代子, 小池五郎: 投稿中
- 14) 科学技術庁資源調査会編 (1979): 日本食品成分表の改訂に関する調査資料—日本人の大豆及び大豆製品における利用エネルギー測定調査結果. 科学技術庁資源調査所資料第70号.
- 15) KISHI, K., MIYATANI, S., and INOUE, G. (1978): Requirement and utilization of egg protein by Japanese young men with marginal intakes of energy. *J. Nutr.*, **108**, 658-669.
- 16) 金子佳代子, 森本良子, 青木清子, 有賀英子, 小池五郎 (1982): 成人女子における卵たん白質の利用効率. 第36回日本栄養・食糧学会総会.
- 17) 厚生省公衆衛生局栄養課編 (1979): 昭和54年改定. 日本人の栄養所要量 第三章たん白質所要量.