

分離大豆たん白質と豆腐の 栄養価の比較

COMPARISON OF NUTRITIVE VALUES BETWEEN SOY PROTEIN ISOLATE AND TOFU

高橋徹三・村松成司・村松百合子（筑波大学体育科学系）

Tetsuzo TAKAHASHI, Shigeji MURAMATSU and Yuriko MURAMATSU
Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba,
Ibaraki 305

ABSTRACT

Nutritive value of soy protein isolate (Fujipro R) was compared with that of Tofu by the nitrogen balance method using four healthy university students as the subjects. The mean apparent digestibility of soy protein isolate and Tofu was respectively 83.3% and 82.3%, and the mean true digestibility was respectively 95.9% and 95.7% on the assumption that metabolic fecal N loss was 10.2 mg/kg/day. The minimal daily nitrogen requirement to maintain a zero nitrogen balance estimated by the pooled data was 99.4 mg/kg in soy protein isolate and 99.8 mg/kg in Tofu. It was concluded that there was no difference between soy protein isolate and Tofu in both digestibility and nutritive value of protein.

大豆は栄養価の高いたん白質を含む優秀な食品であり、わが国では古くからみそ、しょうゆ、豆腐など伝統的な食品の原料として用いられてきたが、最近では食品加工技術の進歩により広く多くの加工食品に重要なたん白源として用いられている。

種々の大豆製品の間には、その製造過程におけるアミノ酸組成の変化などにより、そのたん白質の栄養価に相違のあることが考えられる。さらに、分離大豆たん白質（soy protein isolate、以下 SPI と略す）、カゼイン、大豆を比較し、カゼインを100とした場合、PER は分離大豆たん白質80、大豆粉70、全脂大豆たん白質粉58であり、NPR は分離大豆たん白質84、大豆粉76、全脂大豆たん白粉65であり、分離大豆たん白質と大豆粉の間の PER、NPR の違いは主として消化吸収率の違いによるという結果をえり、人体実験による比較では分離大豆たん白質と全脂大豆たん白粉の間に栄養価に大差がないという結論をえたり。上の実験に用いた全脂大豆たん白粉（ハイプロトン）は凝固剤により容易に豆腐をつくることのできるものであるが、これを

そのまま用いたことには問題があると考え、今回は豆腐と分離大豆たん白質の栄養価をヒトを用い窒素出納法により比較した。

実験方法

健康な男子大学生4名を被験者とした（Table 1）。たん白源として SPI を用いた場合と豆腐を用いた場合とについて、それぞれNの摂取レベルを体重1 kg 当たり85mgと70mgの2段階とした。従って合計4つの実験期となる。1実験期は9日間で、最初1日無たん

Table 1. Characteristics of subjects

	Age (years)	Body height (cm)	Body weight (kg)
A	22	174.8	71.5
B	30	174.5	80.5
C	24	175.0	69.0
D	23	172.0	74.0

Table 2. Daily nitrogen intake

(mg/kg/day)

Period	Food	85 mg			
		A	B	C	D
SPI	SPI	84.91	85.12	85.07	85.14
	Others	3.68	3.58	3.71	3.70
	Total	88.59	88.70	88.78	88.84
Tofu	Tofu + soy sauce	88.50	91.44	84.23	86.91
	(Soy sauce)	(1.86)	(1.65)	(1.93)	(1.80)
	Others	3.44	3.33	3.42	3.42
	Total	91.94	94.77	87.65	90.32
Period	Food	70 mg			
		A	B	C	D
SPI	SPI	69.93	69.88	69.55	69.97
	Others	3.71	3.59	3.71	3.70
	Total	73.64	73.47	73.36	73.68
Tofu	Tofu + soy sauce	62.91	62.65	62.65	62.55
	(Soy sauce)	(1.86)	(1.65)	(1.93)	(1.80)
	Others	3.83	3.69	3.88	3.80
	Total	66.74	66.34	66.54	66.35

白食を与えた後、実験食とほぼ同じレベルのたん白質を含む一般食を2日間与え、続く6日間実験食を与えた。この実験を、間に休み（自由食）の期間をおいて繰り返した。実験期間中は特別な運動を避け軽い労作の日常生活をさせた。なお、本実験は白米へのSPIの補足効果に関する実験に連動して行ったもので、Table 1に示した体重は最初に行った白米期の初期体重である。本実験で体重当たりの数値を求めるにはすべてこの体重を用いた。

SPIの摂取にはフジプロR20、でんぶん5、ショ糖1.5、食塩3、水85の配合で、ケーシングにつめて加熱した製品を用い、豆腐は無菌包装をした製品*1で同一ロットのものを使用した。豆腐は包装からとり出し、流水中に1時間おいた後、1時間水を切り、摂取させた。摂取時に1日当たり9 mlのしょう油を用いた。エネルギー摂取量の調節にはコーンスターチ、ショ糖、マーガリンを用い、1日体重1 kg当たりエネルギー摂取

量は約44kcalとした。味に変化をつけ食欲を出させるため1日当たり約15gのうめぼしと約20gのしば漬を摂取させた。以上の食品中の窒素量は実測した。このほかに調理のために1日当たり3 gのカルボキシメチルセルロース、10gのベーキングパウダー*2を用いた。また、食事とは別に1日1錠のビタミン剤*3と3 gの無機質混合物**を与えた。

各実験期のはじめ無たん白食1日につづく2日間の一般食に用いた食品は、白米、ソーダクラッカー、牛乳、即席めん、もやし、じゃがいも、にんじん、たまねぎ、わかめ、乾燥粉末みそ、小麦粉、コーンスターチ、ショ糖、マーガリンであった。

窒素の摂取量をTable 2に示した。SPIの実験では窒素の摂取量は計画どおりであったが、豆腐の実験ではしょう油の窒素も含めた1日体重1 kg当たりの窒素の摂取量は85mg期で84.2~91.4mgとなり、70mg期では約63mgとなってしまった。たん白源であるSPI、しよ

* 1 森永乳業株式会社製

* 2 KHCO_3 2.5g, クエン酸 1.6g, コーンスターチ 5.9g

* 3 新ミネビタール（三共株式会社）

* 4 CaCO_3 1.1g, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.9g, MgO 0.6g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 60mg, $\text{K}_2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ 15mg, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 8mg, ZnCl_2 8mg, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 7 mg, $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ 1 mg, KI 0.2mg, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.2mg, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.2mg, Na_2SeO_3 0.008mg

Table 3. Changes in body weight

(kg)

Period	Day	85 mg				70 mg			
		A	B	C	D	A	B	C	D
SPI	1	71.5	81.0	69.0	72.5	72.5	81.0	69.0	75.0
	2	71.5	81.5	68.8	72.5	73.0	81.0	69.3	75.0
	3	71.6	81.0	69.5	73.0	72.5	81.5	69.0	75.5
	4	71.0	80.5	69.0	73.0	72.5	81.0	69.0	75.0
	5	71.0	80.5	68.8	73.5	72.7	81.5	68.5	75.0
	6	71.0	81.0	69.0	73.0	72.5	81.0	69.0	74.5
	7	71.5	81.0	68.5	73.0	72.0	81.0	69.0	74.5
	8	71.5	81.0	68.8	71.5	72.5	80.5	69.0	74.5
	9	71.5	81.5	68.8	72.0	72.5	81.5	69.0	75.0
Tofu	1	72.0	81.5	69.5	75.5	70.5	80.5	68.0	74.0
	2	72.0	81.5	70.0	75.5	71.5	81.0	68.0	73.5
	3	72.5	81.5	69.5	74.0	71.0	81.0	69.0	73.0
	4	72.5	81.5	70.0	74.0	71.0	81.0	68.0	72.5
	5	72.8	80.5	69.5	74.0	70.5	80.5	69.0	72.0
	6	72.5	80.5	69.5	73.5	71.0	81.0	69.0	72.5
	7	72.5	80.5	69.5	73.5	71.0	80.5	68.0	72.0
	8	72.0	81.0	69.5	74.0	71.0	81.0	68.0	73.0
	9	72.0	81.0	69.0	74.0	71.0	81.0	68.0	73.0

Table 4. Urinary excretion of nitrogen and creatinine

(g/day) *

Day	SPI		Tofu	
	85 mg	70 mg	85 mg	70 mg
(Nitrogen)				
2	4.714	4.460	6.638	7.128
3	4.901	4.499	6.397	6.028
4	5.371	4.731	4.921	5.859
5	6.050	3.769	5.502	5.579
6	6.223	3.900	6.107	5.093
7	5.309	4.791	5.324	4.649
8	5.458	4.692	5.646	4.873
9	5.482	4.567	6.082	4.719
(Creatinine)				
2	1.71	1.67	1.81	1.87
3	1.71	1.73	1.83	1.76
4	1.75	1.75	1.85	1.76
5	1.81	1.75	1.68	1.72
6	1.80	1.65	1.82	1.67
7	1.84	1.79	1.80	1.69
8	1.78	1.81	1.72	1.71
9	1.71	1.72	1.72	1.68

* Mean for four subjects.

Table 5. Fecal N and digestibility

Period	Sub.		NI	FN	AD	TD #
			(mg/kg/day)		(%)	(%)
SPI	85 mg	A	88.59	17.90	79.79	91.31
		B	88.70	12.21	86.23	97.73
		C	88.78	17.61	80.16	91.65
		D	88.84	9.84	88.92	100.41
	70 mg	A	73.64	14.92	79.74	93.59
		B	73.47	11.66	84.13	98.01
		C	73.26	12.74	82.61	96.53
		D	73.68	11.51	84.38	98.22
	Mean				83.25	95.93
	±SD				3.32	3.35
Tofu	85 mg	A	91.94	16.08	82.51	93.60
		B	94.77	14.22	85.00	95.76
		C	87.65	14.03	83.99	95.63
		D	90.32	13.76	84.77	96.06
	70 mg	A	66.74	13.71	79.46	94.74
		B	66.34	10.70	83.87	99.25
		C	66.54	12.06	81.88	97.20
		D	66.35	14.87	77.59	92.96
	Mean				82.32	95.65
	±SD				2.58	1.99

NI ; Nitrogen intake, FN ; Fecal nitrogen, AD ; Apparent digestibility, TD ; True digestibility, #; On the assumption that metabolic fecal N loss was 10.20 mg/kg/day.

う油、豆腐以外の無たん白食、すなわちコーンスターチ、マーガリン、うめぼし、しば漬けに由来する窒素量は1日体重1 kg 当たりでは3.3~3.9mgであり、全体の窒素摂取量の3.5~5.8%にすぎなかった。

実験期間を通じ毎日朝食前に体重を測定し、24時間尿を採取し、尿中窒素およびクレアチニン排泄量を測定した。各期の6日目から3日間の糞を用いて1日当たりの平均糞中窒素排泄量を求めた。経皮窒素損失量は85mg, 70mgの2つの窒素レベルについて2日間 Calloway らの方法²⁾に準じて測定した。爪、毛髪については測定しなかった。窒素の測定には Kjeldahl 法、クレアチニンの測定には Jaffé の反応による方法を用いた。

結果および考察

体重の変動を Table 3 に示した。各実験期の初体重の変化、実験期内の体重の変動は被験者 D では多少みられたが、他の被験者では少なかった。

無たん白食日を除き、尿中窒素およびクレアチニンの排泄量の経日変化を平均値で Table 4 に示した。この結果から、窒素排泄量の各実験期の代表値として実験食の後半の3日間、すなわち7~9日目の平均値をとることにした。クレアチニンについては日による多少の変動はあったが、変動に一定の傾向は認められなかった。

糞中窒素排泄量および消化吸収率を Table 5 に示した。みかけの消化吸収率の平均値は SPI が $83.3 \pm 3.32\%$ 、豆腐が $82.3 \pm 2.58\%$ で、内因性の糞中窒素排泄量を 10.2mg/kg/day ³⁾ と仮定した真の消化吸収率の平均値は、SPI が $95.9 \pm 3.35\%$ 、豆腐が $95.7 \pm 1.99\%$ で、SPI と豆腐の間に消化吸収率の差は認められなかった。SPI の消化吸収率は既報のみかけの消化吸収率 $81.3 \pm 2.2\%$ ¹⁾、真の消化吸収率 $95.4 \pm 5.0\%$ ⁴⁾ とほぼ一致し、真の消化吸収率 $98.5 \pm 1.6\%$ ³⁾ よりわずかに低かった。

窒素出納の結果を Table 6, 7 に示した。窒素摂取

Table 6. N - balance

(mg/kg/day)

(Tofu) Sub.	Period	N intake		Urinary N	Fecal N	Dermal N	N- balance
		SPI	Total				
A	85	84.91	88.59	63.80	17.90	3.69	+3.20
	70	69.93	73.64	60.11	14.92	4.13	-5.52
B	85	85.12	88.70	80.87	12.21	2.82	-7.20
	70	69.88	73.47	63.11	11.66	2.26	-3.56
C	85	85.07	88.78	72.11	17.61	3.07	-4.01
	70	69.55	73.26	66.58	12.74	3.39	-9.45
D	85	85.14	88.84	75.91	9.84	7.07	-3.98
	70	69.97	73.68	64.34	11.51	4.11	-6.28

Table 7. N - balance

(mg/kg/day)

(Tofu) Sub.	Period	N intake		Urinary N	Fecal N	Dermal N	N- balance
		Tofu	Total				
A	85	88.50	91.94	80.73	16.08	3.69	- 8.56
	70	62.91	66.74	51.29	13.71	4.13	- 2.39
B	85	91.44	94.77	75.72	14.22	2.82	+ 2.01
	70	62.65	66.34	68.56	10.70	2.26	-15.18
C	85	84.23	87.65	69.84	14.03	3.07	+ 0.71
	70	62.65	66.54	57.95	12.06	3.39	- 6.86
D	85	86.91	90.32	81.75	13.76	7.07	-12.26
	70	62.55	66.35	78.41	14.87	4.11	-31.04

Tofu : Tofu+Soy sauce

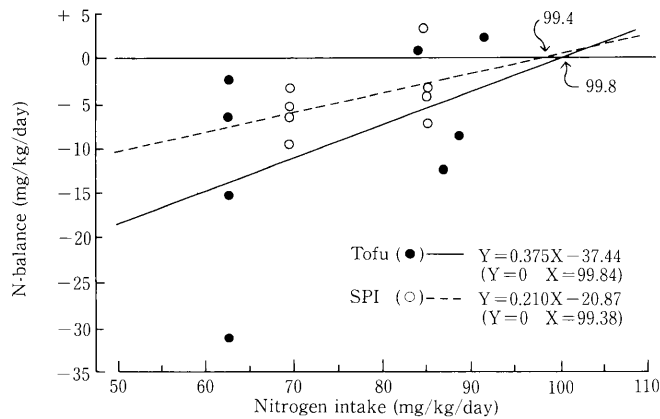


Fig. 1 Correlation between N intake and N-balance in human subjects receiving SPI or Tofu.

レベル85mgと70mgのときの2点を結んで窒素出納0の線との交点から、零出納維持に必要な最小窒素摂取量(mg/kg/日)を各被験者について求めてみると、SPIでは被験者A,C,D,それぞれ79.4, 96.4, 111.1で、豆腐では被験者B,C,Dそれぞれ88.1, 82.2, 102.8であった。SPIで被験者B,豆腐で被験者Aは窒素摂取レベルの低い方が窒素出納がよい結果となっており、個人の最小必要量を求めることができなかった。そこで全例の結果から最小二乗法により回帰直線を求め、栄養価を比較してみた。Fig. 1に示したように、勾配は豆腐の方がやや急であるが、零出納維持に必要な最小窒素摂取量(mg/kg/日)は豆腐では99.8, SPIでは99.4と差がなかった。以上の被験者個別の結果と全例についての結果を総合すると、SPIと豆腐とではたん白質の栄養価にほとんど差はないと考えられる。

結 論

男子大学生4名を用い、窒素出納法により、分離大

豆たん白質と豆腐とを比較したところ、たん白質の消化吸収率、栄養価ともに両者の間に差は認められなかった。

文 献

- 1) 高橋徹三, 村松成司, 柴原百合子(1981): 大豆たん白質と分離大豆たん白質の栄養価の比較. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **2**, 52-57.
- 2) Calloway, D.H., Odell, A.C.F. and Margen, S. (1971): Sweat and miscellaneous nitrogen losses in human balance studies. *J.Nutr.*, **101**, 775-786.
- 3) 高橋徹三(1978): 成人男子における大豆たん白質の最小必要量および内因性窒素排泄量. 必須アミノ酸研究, **No. 8**, 3-7.
- 4) 高橋徹三(1980): 大豆たん白質の米への補足効果. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **1**, 16-17.