

Slope ratio assay法による 分離大豆たん白質の栄養効率

NUTRITIVE VALUE OF SOY PROTEIN ISOLATE
DETERMINED BY SLOPE RATIO ASSAY
IN GROWING RATS

井上五郎・岸 恭一・八木郁子（徳島大学 医学部）

Goro INOUE, Kyoichi KISHI and Ikuko YAGI

Department of Nutrition, School of Medicine
The University of Tokushima

ABSTRACT

Soybean protein is deficient in sulfur-containing amino acids but its quality is superior to that of cereal grain protein. Although raw soybean contains toxic factors which lower its nutritive value, heat treatment and isolation of the protein largely eliminate or diminish natural toxicants. In this study the utilization of soy protein isolate (SPI) was evaluated at graded levels of intake and relative nutritive value of SPI to lactalbumin and casein was determined.

Male rats of the Wistar strain were fed 0, 3, 7, 10, 15, 20 or 30% SPI diet *ad libitum* for three weeks. Nitrogen balance was observed during the last three days of the experiment. Body weight gain and carcass N were measured. The utilization of SPI was evaluated from body weight gain, N balance and carcass N in relation to SPI N intake.

PER and NPR of SPI were 2.42 and 3.43, respectively at 10% protein level. NPU estimated by N balance method agreed well with carcass N method and was 52-54. The similar value was obtained by the slope of the regression equation relating N balance or carcass N to N intake. The relative nutritive values of SPI to lactalbumin and casein were 63-72% and 75-78%, respectively. The quality of SPI supplemented with 3% L-methionine was comparable to casein, and that of whey protein of soybean was similar to lactalbumin.

大豆たん白質は含硫アミノ酸が不足している点を除けば、そのアミノ酸組成は動物性たん白質に類似しており、植物性たん白質の中では高い栄養価をもつ。しかし生大豆中にはトリプシン・インヒビター、ヘマグルチニン、サポニンなどの生理活性物質が含まれており、消化吸収率を低下させ、たん白質の利用を阻害している。大豆からたん白質を分離すると、たん白質含量が高まるのみならず、その処理過程で不溶性の難消化性物質が取り除かれ毒性物質が不活性化されるため、消化吸収率はよくなりたん白質利用効率は改善される。

たん白質栄養価の判定法にはいくつかあるが、たん白質そのものの性質以外に動物の種類、年齢、性、食事組成、食前歴などの要因によって影響をうける。たん白質の質はそのアミノ酸組成によって決まることから、質の判定に化学的方法（化学価）も用いられるが、たん白質の利用効率は質のみならず、消化吸収率や個々のアミノ酸の利用率などによって異なるため、生物学的な方法が必要となる。それには体重法、窒素出納法、体成分法などがあり、これらは通常9～10%の単一たん白質レベルについて測定される。しかし単一レベルでは値が不確か

であり、また食たん白質レベルによる利用効率の差も明らかではない。そこで本研究では成長期ラットを用い、食たん白質レベルを数レベルに変化させ、各レベルにおける利用効率並びに Hegsted ら¹⁾の提唱するスロープ法により、他のたん白質に対する分離大豆たん白質の相対的栄養価を求めんとした。

実験方法

体重約80gのWistar系雄ラットを購入し、12%ラクトアルブミン食の調整食を与えて、体重が100gになるまで飼育したものを実験に供した。実験食として分離大豆たん白質(SPI)をN×6.25として0, 3, 7, 10, 15, 20および30%の割合を含む7種類の飼料を用いた。飼料組成は、コーン油5%, 塩混合5%, ビタミン混合1%, セルロース粉末2%であり、たん白質レベルに応じて糖質(α -コーンスターチおよびショ糖2:1混合)の量を変動させ、全量を100とした。各レベル6~7匹のラットを用い、水および飼料を自由に摂取させて3週間飼育した。実験期末の3日間ラットを代謝ケージに移し、窒素

出納を観察した。毎日水および飼料を新しくし、体重および摂取量を測定した。実験期終了後ラットを屠殺し、体水分量、体窒素量および体脂肪量を分析した。水分は熱風乾燥により恒量とし、窒素はKjeldahl法により、また脂肪は熱エチルエーテルで抽出し重量法によりそれぞれ定量した。

結果

1. 体重法

各たん白質レベルにおける摂食量と体重増加量を、Table 1に示した。摂食量は無たん白質食から15%レベルまでたん白質レベルを上げるとともに増加したが、それ以上たん白質レベルを上げても摂食量は変化しなかった。体重は無たん白質食群および3%群のみで低下がみられた。その他の群ではたん白質摂取量の増加と共に体重増加は大となり、30%群で最大となった。たん白効率(PER)は10%群で2.42となり、15%群で最高値2.64を示した。15%より低あるいは高のいずれのたん白質レベルでもPERは低下した。これに対し正味たん白効率

Table 1. Effect on PER and NPR of the intake level of soy protein isolate in growing rats.

Protein level ¹	No. rats	Food intake	Weight gain	Protein intake	Food efficiency	PER ²	NPR ³
%		g/day	g/day	g/day	%		
0	7	5.8±0.8	-1.44±0.18	0	—	—	—
3	6	7.5±1.1	-0.47±0.20	0.23±0.03	—	—	4.10±1.68
7	6	11.4±1.3	1.85±0.57	0.80±0.09	16±3	2.27±0.46	4.10±0.32
10	13	14.5±1.9	3.54±0.83	1.45±0.19	24±3	2.42±0.32	3.43±0.26
15	6	18.7±1.1	7.41±0.32	2.81±0.17	40±2	2.64±0.11	3.16±0.13
20	6	18.9±0.9	8.25±0.58	3.77±0.19	44±2	2.19±0.08	2.57±0.08
30	6	17.8±1.2	9.01±0.69	5.33±0.36	51±1	1.69±0.04	1.96±0.05

1: N × 6.25.

2: Protein efficiency ratio.

3: Net protein ratio.

Table 2. Nitrogen balance in growing rats fed graded levels of soy protein isolate

Protein level*	No. rats	Intake N	Fecal N	Urinary N	N balance
%		mg/day	mg/day	mg/day	mg/day
0	7	0	5±1	19±12	-24±11
3	6	33±3	10±2	26±5	-3±7
7	6	167±17	23±3	77±12	67±11
10	13	318±53	32±6	138±28	148±36
15	6	540±27	51±7	258±11	231±25
20	6	641±74	66±8	312±89	263±78
30	6	991±91	78±14	500±175	413±108

*: N × 6.25

(NPR) は3%および7%群で4.10と最も高く、10%群で3.43となり、たん白質摂取量の増加と共に NPR は低下した (Table 1)。

2. 窒素出納法

無たん白質食群の窒素出納値は-24mg/日であり、3%群ではわずかに負となったが、その他のたん白質レベルではすべて正の出納を示した (Table 2)。

SPI の真の消化吸収率は平均90%であった (Table 3)。生物価 (BV) および正味たん白質利用効率 (NPU) は3%群でそれぞれ72および62と高く、たん白質摂取量の増加と共に低下する傾向がみられた。10%レベルにおける BV および NPU はそれぞれ59および54であった。

摂取N量に対する窒素出納値の変化を Fig. 1 に示した。摂取N量が0から350mg/日 (10%たん白質レベル) 付近までは、窒素出納値は摂取N量の増加にほぼ比例して改善されたが、それ以上の摂取Nレベルにおいては改善率はやや低下する傾向にあった。摂取N量が0から約350mg/日の範囲において、摂取N量 (x :mg/日) と窒素出納値 (y :mg/日) の間には次のような回帰直線式がえられた。

$$y = 0.54x - 22.4, n = 32, r = +0.98$$

この式よりスロープ法で求めた NPU は54となる。

3. 体窒素法

各たん白質レベル群の体組成を Table 4 に示した。体重はたん白質レベルが高いほど大であったが、体脂肪%は低たん白質群 (0%, 3%) および30%群で低値であった。体水分%は体脂肪%の低い群で高値を示したが、体たん白質%には食たん白質レベルによる一定の影響は

Table 3. Biological value (BV) and net protein utilization (NPU) of soy protein isolate at graded levels of intake.

Protein level*	No. rats	Digestibility	BV	NPU
%		%		
3	6	87±5	72±21	62±18
7	6	89±1	61±6	55±7
10	13	92±1	59±7	54±6
15	6	92±1	51±3	47±3
20	6	90±2	50±12	45±10
30	6	93±1	48±15	45±14

*: N×6.25

みられなかった。

体窒素量より算定した NPU は、窒素出納法より求めた NPU と異なり、10%レベルで51.6と最も高値を示し、たん白質レベルがそれ以下あるいは以上のいずれの場合も低下した (Table 5)。

摂取N量と体窒素量との関係を Fig. 2 に示した。窒素出納におけると同様、10%たん白質レベルまでは摂取N量の増加と共に体窒素量はほぼ直線的に増加したが、それ以上のN摂取においては体窒素の増加率は低く、曲線的な増加となった。10%レベル以下の範囲で、無たん白質食群の成績をも含めて摂取N量 (x :g/20日) と体窒素量 (y :g/rat) との間に成立する回帰直線方式を求めると、

$$y = 0.54x + 2.27, n = 32, r = +0.98$$

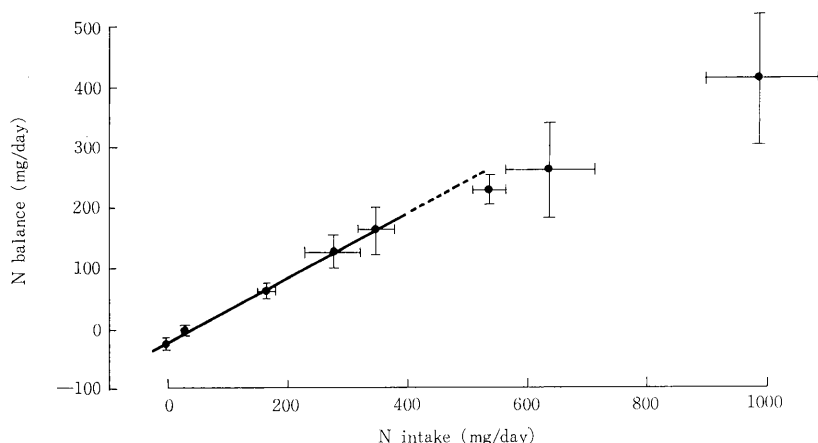


Fig. 1. Nitrogen balance in relation to N intake in growing rats fed soy protein isolate.

Linear regression equation relating N balance (y : mg/day) to N intake (x : mg/day) was obtained below 350 mg/day of SPI N intake as follows; $y = 0.54x - 22.4, n = 32, r = +0.98$.

Table 4. Body composition of growing rats given soy protein isolate.

Protein level*	No. rats	Final BW	Water	Protein*	Fat
%		g	%	%	%
0	7	73±3	66.6±1.3	20.6±0.6	7.3±1.5
3	6	93±5	63.9±1.4	17.8±0.6	13.1±1.9
7	6	138±11	60.8±1.9	15.8±1.1	18.2±2.7
10	13	170±18	61.3±2.6	17.8±0.7	16.5±2.2
15	6	249±10	59.6±1.8	16.6±0.9	19.9±2.3
20	6	266±12	60.5±2.0	17.2±0.4	18.8±2.4
30	6	282±14	63.8±0.6	18.2±0.3	14.6±0.7

*: N×6.25

Table 5. Net protein utilization (NPU) of soy protein isolate estimated from carcass N analysis of growing rats.

Protein level*	No. rats	Intake N	Carcass N	NPU
%		g/20 days	g	—
0	7	0	2.39±0.10	—
3	6	0.72±0.10	2.63±0.13	36.3±10.0
7	6	2.56±0.29	3.49±0.37	42.4±10.4
10	13	4.70±0.66	4.83±0.55	51.6±6.9
15	6	9.00±0.54	6.59±0.43	46.8±5.9
20	6	12.07±0.59	7.31±0.44	40.7±2.2
30	6	17.18±1.16	8.17±0.41	33.7±1.6

*: N×6.25

が得られた。すなわち体窒素量よりスローブ法で求めた SPI の利用効率 (NPU) は54となる。

考 察

今回得られた SPI の利用効率を、これまでに我々が求めた他のたん白質の値と対比させて、Table 6 にまとめた。10%レベルの PER および NPR はそれぞれ2.42 および3.43であり、Yanez and McLaughlan²⁾の値2.23 および3.60と非常によく一致している。Bressani ら³⁾の加熱 SPI の PER 2.44 とよく合っている。しかし、Hegsted and Chang⁴⁾ は 1.52 と低い値を得ている。Bressani らは、熱を加えていないアルカリ抽出 SPI の PER は 0.33 あるいは体重が減少したと報告していることから、SPI の製造過程の差が利用率に大きく影響していることが考えられる。Bressani らは加熱による消化吸収率の変化については述べていないが、摂食量は2倍になったという。ちなみに、今回の SPI の消化吸収率は90%であった。

窒素出納法より求めた SPI の NPU は54であり、体窒素より算定した52と差はなかった。またスローブ法で求めた利用率とも一致した。Hegsted and Worcester¹⁾

も50～53と近似した値を報告しており、Bressani らの未加熱 SPI の NPU 39 よりも高い。

スローブ法によりラクトアルブミンに対する SPI の相対値を算定すると63～72%となった。Hegsted らは34%⁴⁾、51%⁵⁾あるいは57%¹⁾と報告しており、我々の値はこれらよりも高い。また、10%レベルにおけるラクトアルブミンの NPU と比べると SPI のそれは68～75%であった。

SPI の利用効率をカゼインのそれと比較すると75～78%に相当する。また小麦グルテンに比べて明らかに利用率は高い。SPI に L-メチオニンを3%添加するとカゼインとはほぼ等しい利用率を示す。SPI に対して大豆乳漿たん白質ははるかに良質であり、ラクトアルブミンに優るとも劣らない利用率を示す。

文 献

- 1) Hegsted, D.M. and Worcester, J. (1966): Assessment of protein quality with young rats. Proc. 7th Int. Congr. Nutr. vol. 4, 1-8.
- 2) Yanez, E. and McLaughlan, J.M. (1970):

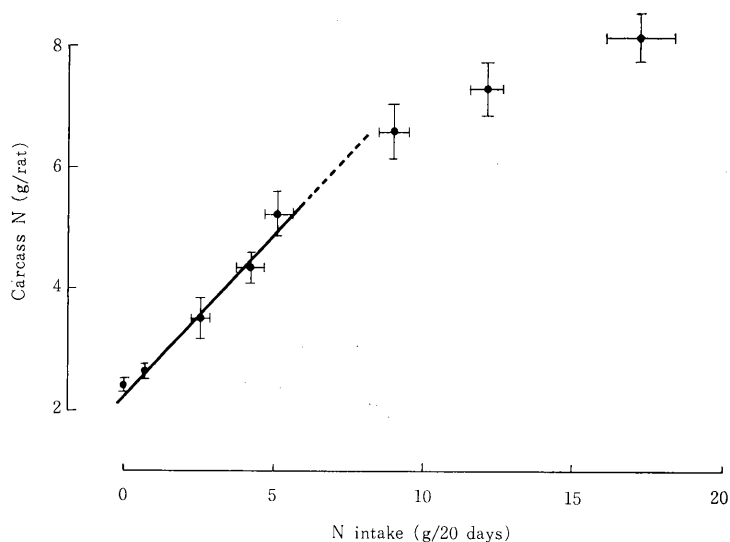


Fig. 2. Carcass N in relation to N intake in growing rats given soy protein isolate.

Significant correlation between carcass N (y : g/rat) and N intake (x : g/20 days) was found below 5 g/day of SPI N intake as follows;

$$y = 0.54x + 2.27, n = 32, r = + 0.98.$$

Table 6. Summary for the data of protein utilization¹

Protein source	from body weight		from nitrogen balance			from carcass N	
	PER	NPR	BV	NPU	slope ²	NPU	slope ²
SPI	2.42	3.43	59	54	0.54	52	0.54
(human)	—	—	(39)	(39)	(0.30)	—	—
SPI+3% Met	3.74	4.52	79	72	—	69	—
Soy, whey protein	3.81	4.69	90	77	0.77	82	0.80
Lactalbumin	3.94	4.80	80	72	0.75	76	0.86
Casein	3.33	4.27	76	71	—	69	—
Wheat gluten	0.31	1.62	45	44	0.32	24	0.18

1: PER, NPR, BV and NPU were determined at 10% protein level in growing rats.

2: The slope was obtained from the regression equation relating N balance or carcass N to N intake below 10% protein level including protein free diet group.

- The effect of level of protein on protein quality of lysine-deficient foods. *Canad. J. Physiol. Pharmacol.* 48, 188-192.
- 3) Bressani, R., Viteri, F., Elias, L.G., Zaghi, S., Alvarado, J. and Odell, A.D. (1967): Protein quality of a soybean protein textured food in experimental animals and children. *J. Nutr.* 93, 349-360.
 - 4) Hegsted, D.M. and Chang, Y.-O. (1965): Protein utilization in growing rats. I. Relative growth index as a bioassay procedure. *J. Nutr.* 85, 159-168.
 - 5) Hegsted, D.M. and Neff, R. (1970): Efficiency of protein utilization in young rats at various levels of intake. *J. Nutr.* 100, 1173-1180.