

分離大豆たん白質を用いた米・大豆混合たん白質の成人女子における利用効率

UTILIZATION OF SPI AND RICE MIXED PROTEIN IN WOMEN

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, Sakado 350-02

ABSTRACT

Fifteen female students aged 18 to 22 were fed a protein-free diet for one day and in the following ten days the diets containing SPI and polished rice, 0.3 g protein/kg, 0.45 g/kg and 0.6 g/kg for each five subjects. Ratio of SPI and rice protein in the test diets was 6 : 4, and the amino acid score of the mixed protein was calculated as 91 by using the reference amino acid pattern proposed by FAO/WHO (1973). Mean energy intake was 36.0 ± 3.3 kcal/kg/day which corresponds to about 1.7 times as their basal metabolism and was considered as the maintenance level. Twenty-four hour urine was collected completely during the experimental period and urinary creatinine and nitrogen contents were measured. Subjects were given three grams of carbon powder as a fecal marker before and after the experimental period. Feces from marker to marker were collected, dried and their nitrogen content was determined. Nitrogen balance was calculated from the intake N, fecal N excretion and the mean urinary N excretion of the last four experimental days when urinary N excretion reached a constant level. Linear regression equation between N balance (Y) and N intake (X) was calculated as $Y = 0.401 X - 33.3$ ($n=15$, $r=0.738$), and mean maintenance requirement of SPI and rice mixed protein was 83 mg/kg/day. Digestibility and net protein utilization (NPU) of SPI and rice mixed protein were calculated from these N balance data with the figures of 32.3 mg/kg and 10.1 mg/kg for obligatory urinary and fecal N losses respectively, which were previously determined in seven subjects. Digestibility was $93.1 \pm 6.1\%$ ($n=15$) and NPUs were 67 ± 13 at protein intake of 0.3 g/kg ($n=5$), 51 ± 7 at 0.45 g/kg ($n=5$) and 54 ± 12 at 0.6 g/kg ($n=5$). The results were compared with the data of SPI or egg protein obtained from other Japanese subjects.

われわれは成人女子を被検者として分離大豆たん白質 (SPI) の利用効率と必要量を測定し、昨年の本研究会で報告した¹⁾。SPI の利用効率はN平衡維持量, NPU の数値から卵たん白質を100とした場合、およそ90であると推定された。

大豆たん白質の栄養価をその構成アミノ酸から算定

すると、暫定的アミノ酸パターン (FAO/WHO, 1973)²⁾ を基準とした場合のアミノ酸価は69であり、含硫アミノ酸のみが制限アミノ酸となっている。そのため大豆たん白質にメチオニンを添加する研究が行われ、効果のみられたことが報告されている³⁻⁶⁾。また高橋ら⁷⁾ は日本人成人男子を被検者として、大豆たん白質

Table 1. Characteristics of subject (SPI and rice protein)

Protein intake	Subj. code	Age	Height	Weight ¹	BM ²	Fat ³	LBM ⁴
g/kg		yr	cm	kg	kcal/kgBW	%	kg
0.3	01	19	169	57.9	19.3	22.2	43.5
	02	19	160	56.8	21.6	26.7	40.6
	03	20	156	47.2	19.3	22.7	35.8
	04	22	165	55.0	23.5	22.5	44.0
	05	21	160	58.0	17.5	32.7	39.4
0.45	06	19	154	48.7	21.6	24.2	36.1
	07	19	160	52.9	20.2	23.9	39.7
	08	19	163	51.7	22.4	25.5	37.7
	09	19	169	57.2	19.6	22.2	43.5
	10	18	157	51.7	22.9	28.9	36.0
0.6	11	20	149	59.7	18.4	19.6	46.8
	12	20	157	56.4	24.1	25.1	40.5
	13	21	160	50.2	24.8	17.8	40.1
	14	18	160	60.6	22.9	26.9	42.9
	15	21	160	58.0	17.5	32.7	39.4
Mean		19.7	159.9	54.8	21.0	24.9	40.4
SD		1.2	5.3	4.1	2.4	4.2	3.3

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).
4. $LBM = \text{Body weight} \times \{ (100 - \text{Fat}) / 100 \}$

の米たん白質への補足効果を検討し、若干の補足効果が認められたことを報告している。日本人の食生活において米と大豆はその構成上重要な位置をしめる食品であり、両者のたん白質を混合した場合、アミノ酸価は95(米たん白質：大豆たん白質を1：1とした場合)という高い数値になる。そこでSPIを用いて大豆・米混合たん白質の利用効率を成人女子を被検者として生物学的に測定し、アミノ酸価の妥当性を検討することをこころみた。

実験方法

15名の健康な女子学生を被検者とした。被検者の年齢、体格はTable 1に示した。被検者は実験開始第1日目に無たん白食を摂取し、その後分離大豆たん白質(フジプロR)と精白米を加えた食事を10日間摂取した。実験食の組成をTable 2に示した。たん白質の投与レベルは0.3g/kg(5名)、0.45g/kg(5名)、0.6g/kg(5名)の3段階とし、SPIと米たん白質の比率は6：4とした。この比率は混合たん白質のアミノ酸価、現在の日本人の食事における米と大豆および大豆製品のバランス等を考慮したものであり、この混合割合によるアミノ酸価は91となる。エネルギー摂取量は各被検者について体重維持レベルとした。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一日に摂取する食品量によって算出し、めやすとした。15名の平均エネルギー摂取量は 36.0 ± 3.3 kcal/kg/日であった。

実験期間中被検者は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。実験期間中は毎日早朝の一定時刻を区切って1日尿を採集して、クレアチニン⁸⁾および窒素⁹⁾排泄量を測定した。SPI+米たん白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3g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

Table 2. Composition of experimental diet¹

Ingredient	Intake(g/day)	
	Protein free diet	SPI and Rice diet
SPI(Fujipro R)	—	19
Rice, polished	—	176
Corn starch	207	80
Sugar	123	57
Shortening	48	46
Agar	5	5
Sodium chloride	3	3
Vitamin mixture ²	2 tablets	2 tablets
Mineral mixture ³	4	4

1. Intake is given for a subject receiving 1600 kcal of energy and 0.6 g/kg of SPI and rice protein.
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, 10 mg; riboflavin, 4 mg; pyridoxine hydrochloride, 6 mg; nicotinamide, 50 mg; cyanocobalamine, 10 μ g; ascorbic acid, 150 mg; α -tocopherol acetate, 10 mg; and Ca pantothenate, 30 mg.
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).

した。糞は熱風乾燥した後、粉碎して窒素量を測定した。体重は毎朝排尿したのち、食事前に測定し、基礎代謝量は実験期間中のおよそ中日の早朝に測定した。また同様に水中体重を測定して Brezék の式¹⁰⁾に従って体脂肪量を求め、lean body mass (LBM) を算出した。

なお分離大豆たん白質および米のたん白質 N 換算係数はそれぞれ5.71, 5.95を用いた。

結 果

被検者15名の平均身長は160±5.3cm, 体重54.8±4.1kg, 体脂肪24.9±4.2%, LBM40.4±3.3kgであり、現在の若い日本人女性の平均的な数値とほぼ同じであった^{11,12)}。体重1kg当りの基礎代謝量は21.0±2.4kcal/kgであり、現在エネルギー所要量算定に用いられている基礎代謝基準値¹³⁾よりやや低い値であった。一日のエネルギー摂取量の平均値は36.0±3.3kcal/kg/日であり、実測した基礎代謝量のおよそ1.7倍であったこ

と、実験期間中の体重の変動が多少の増減はあったものの、おおそ一定であったことから、体重維持の摂取エネルギーレベルであったと考えられる。

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。一日尿中のクレアチニン排泄量はど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終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、回帰直線の方程式は $Y = 0.401X - 33.3$ ($n = 15, r = 0.738$) であった。この回帰式より SPI+米たん白質の窒素平衡維持量を求めると83mg N/kg/日となった。また、別に成人女子7名について測定した不可避窒素損失量の数値(尿32.3mg N/kg, 糞10.1mg/kg, 図中×印で表し

Table 3. Nitrogen balance, body weight and urinary creatinine excretion of individual subject given SPI and rice diet with graded levels of protein intake.

Protein intake	Subj. code	Energy intake	Nitrogen intake	Change in BW	Urinary creatinine ¹	Urinary N ²	Fecal N	N balance
g/kg		kcal/kg	mg/kg	kg/11days	mg/day	mg/kg	mg/kg	mg/kg
0.3	01	34.5	46.0	-0.52	1009 ± 64	46.0	12.5	-11.4
	02	35.5	45.5	-1.42	954 ± 32	41.3	22.5	-15.6
	03	42.4	47.1	+0.12	921 ± 30	42.0	15.1	- 6.8
	04	36.4	45.9	+2.73	1034 ± 66	56.9	11.8	-21.9
	05	30.2	43.5	+0.41	879 ± 40	43.8	10.7	-10.1
	Mean	35.8	45.6	+0.26		46.0	14.5	-13.2
	SD	4.4	1.3	1.55		6.4	4.7	5.8
0.45	06	39.1	69.8	-0.22	861 ± 20	63.3	15.1	- 7.5
	07	36.0	64.3	-0.73	892 ± 34	66.2	13.7	-14.6
	08	36.8	65.8	-0.07	969 ± 26	62.9	14.4	-10.5
	09	35.7	70.1	-0.56	960 ± 89	57.9	12.8	+ 0.3
	10	38.7	65.7	-0.24	817 ± 132	65.1	12.9	-11.3
	Mean	37.3	67.1	-0.36		63.1	13.8	- 8.7
	SD	1.6	2.6	0.27		3.2	1.0	5.6
0.6	11	34.3	89.1	-0.91	959 ± 31	75.5	15.4	- 1.0
	12	35.4	81.1	-2.93	1078 ± 53	65.6	17.1	+ 0.6
	13	39.8	91.1	-0.18	1021 ± 23	64.7	15.1	+12.3
	14	34.7	87.9	-2.35	1105 ± 69	85.8	13.4	-10.4
	15	30.1	91.8	+1.09	871 ± 33	67.8	13.7	+12.2
	Mean	34.9	88.2	-1.06		71.9	14.9	+ 2.7
	SD	3.5	4.3	1.63		8.9	1.5	9.6
Overall	Mean	36.0		-0.39				
	SD	3.3		1.33				

1. Mean ± SD of 11 days.

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

た)¹⁴⁾を用いて SPI+米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 $93.1 \pm 6.1\%$ ($n = 15$), NPUはたん白質0.3g/kg摂取群 67 ± 13 ($n = 5$), 0.45g/kg群 51 ± 7 ($n = 5$), 0.6g/kg群 54 ± 12 ($n = 5$)であった (Table 4)。

考 察

卵たん白質¹⁵⁾, SPI¹⁾, SPI+米たん白質の摂取N量とN出納値との関係を Fig. 2 にまとめて示した。それぞれの回帰直線式は 卵: $Y = 0.325X - 29.7$ ($n = 18$), SPI: $Y = 0.411X - 40.8$ ($n = 10$), SPI+米: $Y = 0.401X - 33.3$ ($n = 15$) であり, N出納を平衡に維持するに必要なNの最小必要量はそれぞれ91mg, 99

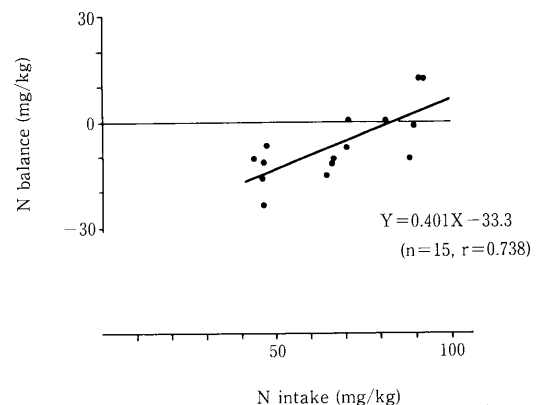


Fig. 1 Correlation between N balance and N intake

Table 4. Digestibility and NPU of SPI and rice mixed protein

No of subj.	Protein intake	NPU ¹	Digestibility ²
	g/kg		%
5	0.3	67.2 ± 13.1	90.4 ± 10.4
5	0.45	51.3 ± 6.7	94.5 ± 1.4
5	0.6	54.3 ± 12.4	94.4 ± 1.9

1. Calculated using 32.3 mgN/kg and 10.1 mgN/kg for obligatory urinary and fecal N loss, respectively.

2. Calculated using 10.1 mgN/kg for obligatory fecal N loss determined on other subjects.

Table 5. NPU of SPI, SPI and rice mixed protein and egg protein studied in Japanese women

Protein source	Protein intake	No. of subj.	NPU
	g/kg		
Whole egg	0.2	3	65
	0.3	8	68
	0.45	4	46
	0.6	3	50
SPI (Fujipro R)	0.3	4	42
	0.45	2	46
	0.6	4	42
SPI and rice	0.3	5	67
	0.45	5	51
	0.6	5	54

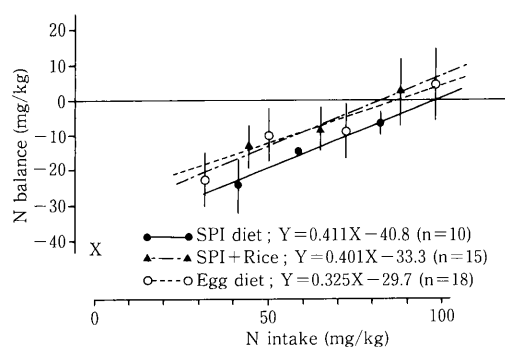


Fig. 2 Correlation between N balance and N intake in female subjects fed SPI, SPI + rice and egg diets

mg, 83mgであった。Fig. 2の卵たん白質の回帰直線とSPI+米のそれとの間には差がないと思われるが、回帰式の傾斜からたん白質の利用効率を判定する方法に

よれば、SPIとSPI+米がほぼ同値でこれにくらべると卵たん白質は低値となった。また最小必要量の数値から判定するとSPI+米>卵>SPIとなり、これらのたん白質利用効率判定方法の結果は必ずしも一致しなかった。今後、数値の有意差の有無を検討するとともに、利用効率判定方法による差異をどう考えるか検討が必要であると思われる。

卵、SPI、SPI+米のNPUの数値を摂取たん白質レベルごとに算出してTable 5にまとめて示した。これによって明らかのように、SPI+米たん白質のNPUはSPIのNPUと比較して、どの摂取レベルにおいても高い数値であり、卵たん白質のNPUとほぼ同じであった。このようにNPUおよびFig. 2にまとめた結果から、SPI+米たん白質の栄養効率はSPIのそれにくらべて改善され、大豆たん白質の米たん白質に対する補足効果が認められたと考えられる。

SPI+米たん白質の消化吸収率は15例の平均値とし

て93%の値が得られた。同様の方法で日本人成人女子を被検者としてSPI, 精白米たん白質の消化吸収率を測定した結果はそれぞれ98%¹⁾, 91%¹⁶⁾であり, SPI+米の値はこれらの間であった。SPIと米たん白質の比が6:4でSPIの方が多い条件における比較であるが, その結果混合たん白質の消化吸収率は米たん白質のそれに近かった。このことからSPIのような分離たん白質の消化吸収率は同時に摂取する食物の影響を受けるのかもしれないということが予想される。今後, この点についての検討も必要ではないかと思われる。

文 献

- 1) 金子佳代子, 小池五郎(1982): 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. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **3**, 60-64.
- 2) Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee (1973): Energy and protein requirements, Wld. Hlth. Org. Techn. Rep. Ser. No. 522.
- 3) 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.
- 4) Zezulka, 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.
- 5) 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," ed. by Wilcke, H. L. Hopkins, D. T. and Waggle, D. H., Academic Press, Inc., New York, pp. 121-148.
- 6) Young, V. R. and Scrimshaw, N. S. (1978): "Protein Resources and Technology: Status and Research Needs", ed. by Milner, M., Scrimshaw, N. S. and Wang, D. I. C. AVI, Westport, Conn., pp 136-173.
- 7) 高橋徹三(1979): 大豆タンパク質の米タンパク質への補足効果. 必須アミノ酸研究, **No. 84**, 1-5.
- 8) 小石秀夫(1956): 尿 creatinine に関する研究. 生化学, **28**, 477-486.
- 9) 農林水産技術会事務局(1974): 食品分析研究会報告書. p.1
- 10) Brožek, 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.
- 11) 金子佳代子, 天谷節子, 小池五郎(1981): 若い成人女子の基礎代謝量と体組織について. 第35回日本栄養・食糧学会総会.
- 12) 厚生省公衆衛生局栄養課編(1983): 国民栄養の現状, 第2部 身体状況調査の成績.
- 13) 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II章 エネルギー所要量.
- 14) Kaneko, K. and Koike, G. (1983): Obligatory N loss and utilization of rice and egg mixed protein in Japanese young women. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **29**, 455-466.
- 15) 金子佳代子, 稲山貴代, 小池五郎(1983): 成人女子における分離大豆たんぱく質の利用効率. 第37回日本栄養・食糧学会総会.
- 16) 小池五郎, 金子佳代子, 小石秀夫, 奥田豊子(1982): 胚芽精米の消化吸収率と利用エネルギー. 栄養と食糧, **35**, 409-415.