

大豆乳清たん白質の加熱条件と消化率

EFFECT OF VARIOUS HEAT TREATMENTS ON THE DIGESTIBILITY OF SOY WHEY PROTEIN

木戸康博・多田文子・寺井幸子・志塚ふじ子・井上五郎・岸 恭一
(徳島大学医学部)

Yasuhiro KIDO, Fumiko TADA, Sachiko TERAJ, Fujiko SHIZUKA, Goro INOUE and Kyoichi KISHI

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

ABSTRACT

We previously reported that although trypsin inhibitor and hemagglutinin were inactivated by heating powdered soy whey protein (SWP), heating caused the browning of SWP and decreased the digestibility of protein¹⁾. In this study we first observed the effect of untreated SWP and browned SWP on the digestibility of casein consumed together with the ratio of one to two. Untreated or browned SWP did not influence the digestibility of casein. Next we tried but failed to improve the digestibility of SWP by heating SWP in ethanol solution, in solution with pH 5.0-8.5 or using salted-out and dialyzed SWP. In other experiment *in vitro* digestibility, the extent of browning and available lysine of various heated SWP were investigated. Untreated SWP and heat-treated SWP in 10% aqueous solution were fully digested by pepsin and pancreatin but the *in vitro* digestibility of dry-heated and browned SWP was poor because of low lysine availability. There was a good inverse correlation between the extent of browning and the content of available lysine. It was concluded that simple heating in water was good enough as for digestibility, protein utilization and lysine availability of SWP. *Nutr. Sci. Soy Protein, Jpn.* 9, 49-53, 1988.

前報¹⁾において我々は、大豆乳清たん白質(SWP)の加熱処理条件とトリプシン・インヒビター(TI)活性、褐変反応、マウスにおける消化吸收率、成長等について調べた。その結果、SWPを粉末のまま120℃、30分間蒸気加熱すると、TIやヘマグルチニンはほぼ完全に失活したが、非常に強い褐変反応を起こした。そのため、消化吸收率は未処理のSWPよりも逆に低下し、死亡することはなかったが、マウスの体重は減少した。これに対し、10%水溶液として加熱すると、95℃、1分でTIは市販の分離大豆たん白質(SPI, Fujipro R)と同程度にまで失活し、マウスの成長はSPIやカゼイン投与群よりも優れていた。

今回は、SWPとカゼイン混合たん白質の栄養価、加熱時の溶液のpHの影響、エタノール溶液による加熱、塩析の効果等について調べた。さらに、種々の温度条件で加熱処理したSWPのTI活性、褐変度と*in vitro*の消化率及び有効性リジン量の関係についても検討した。

実験方法

用いたSWPは、大豆ミールのpH 4.5上清を中和後、分画分子量40,000のフィルターにより限外濾過し、スプレー・ドライヤーで乾燥したものである。

実験1

SWP・カゼイン混合たん白質の栄養価

粉末状態の SWP を加熱すると強い褐変を起し、消化吸収率はかえって未処理の SWP よりも低くなる。たん白質が褐変すると、アミノ酸の有効性が低下し、消化性が低下する以外に、同時に毒性物質が生成する可能性が考えられる²⁾。そこでこれを確かめるために、カゼインと褐変させた SWP を N として 2:1 に混合したものをたん白質源としてマウスに与え、成長及び消化吸収率について調べた。用いた褐変 SWP は、粉末 SWP をオートクレープで 120℃、10 分加熱したものである。カゼイン・褐変 SWP 混合たん白質を用いて 10% (N×6.25) たん白質食を作成し、3 週齢の ddy 系雄マウスに自由に与えて 2 週間飼育した。褐変 SWP の代わりに未処理 SWP をカゼインに混合した群を別に設けた。

実験 2

TI 活性に及ぼす加熱時の pH とエタノールの効果並びに塩析の影響

SWP には炭水化物が乾物当り約 40% 含まれているため、加熱により褐変する。この褐変反応は pH や温度の影響を受け、酸性で遅いことが知られている³⁾。また、Grant ら⁴⁾は、70% エタノールを用いて 60℃ で抽出した大豆たん白質サンプルは、水抽出サンプルよりも消化吸収率や生物価が高かったと報告している。そこで、SWP を pH 5.0~8.5 の水溶液中で 120℃、10 分加熱したサンプル及び 70% エタノール中で 105℃ あるいは 120℃ で 10 分間加熱したサンプルについて TI 及び褐変度を調べた。また、SWP を高濃度に抽出するため、種々の濃度 (22.5 から 37.5% まで 2.5% づつ変化) の硫酸アンモニウムで塩析し、沈澱部分を 14,000 の透析膜を用いて 3 日間透析して Na₂SO₄ を除いた後、120℃、10 分加熱したものについても同様に調べた。こ

のサンプルのたん白質含量は 75%、灰分は 19% であった。

以上のサンプルをたん白質源として用い、実験 1 と同様の動物試験により、*in vivo* の消化吸収率及びたん白質利用率を求めた。

実験 3

加熱処理条件と *in vitro* の消化率並びに有効性リジン量

加熱によりたん白質が褐変すると消化吸収率が低下するが¹⁾、この時アミノ酸の有効性も低下する³⁾。そこで、褐変度、有効性リジン量と *in vitro* の消化率の関係について調べた。

SWP を粉末状態のまま 105℃、10 分 (以下 105/10 のように略記)、105/20、110/10、120/10、120/30 加熱、あるいは 10% 水溶液として 80/30、95/30、105/10、105/20、110/1、110/10、120/1、120/10 加熱した各サンプルについて、色度、*in vitro* の消化率及び有効性リジン量を測定した。

色差計 (日本電色工業) を用いて色度を測定した。*in vitro* の消化試験はペプシンとパンクレアチン (和光純薬) を用いて行った。パンクレアチンによる消化は稲川らの方法⁵⁾に従い、pH 7.5、37℃ で 60 分間行い、トリニトロベンゼンスルホン酸を用いてアミノ酸を比色定量した。また別に加熱 SWP サンプルを、0.1 N HCl 中でペプシンにより 37℃、3 時間消化した後、パンクレアチンを用いて pH 8.0、37℃ で 24 時間処理した⁶⁾。ペプシン・パンクレアチン消化サンプルを 20,000×g、5 分間遠心し、その上清と沈澱の窒素を Kjeldahl 法により分析して消化率を計算した。有効性リジン量の測定は AOAC 法⁷⁾によった。即ち、ジニトロフルオロベンゼンで処理し、6 N HCl 中で 110℃、24 時間加水分解し、アミノ酸自動分析計でリジン量を測定した。

Table 1. Digestibility and utilization of mixed protein of casein and soy whey in mice

	No.	TI*	Digestibility	Food intake	Body weight gain	PER	NPU
		(%)	(%)	(g/day)	(g/day)		
Whey protein							
unheated	4	(100)	47±13	1.1±0.2	-0.77±0.08	—	—
heated	6	2	68±4	4.9±0.5	0.37±0.05	0.75±0.13	23±2
(dry, 120/10)							
Casein	6	—	93±2	5.1±0.3	0.87±0.12	1.72±0.19	44±12
+unheated SWP	5	(33)	80±6	2.9±0.2	0.01±0.02	0.03±0.06	29±10
+heated	6	(1)	84±1	5.9±0.7	0.93±0.09	1.53±0.26	37±5
(dry, 120/10)							

*Trypsin inhibitor

結果と考察

実験1

カゼインに未加熱 SWP を半分量加えると、マウスの摂食量は 2.9 g/日となり、未処理 SWP のみの時の 1.1 g/日とカゼインのみの時の 5.1 g/日の中間の値を示した (Table 1)。体重変化についても同様の結果であった。カゼイン・未処理 SWP 混合たん白質の消化吸収率は80%であった。この値は、カゼイン及び未処理 SWP それぞれの消化吸収率から計算される値にはほぼ等しく、未処理 SWP はカゼインの消化吸収率に明かな影響を及ぼしていなかった。カゼインに褐変 SWP を混合した場合、摂食量並びに体重増加量はカゼイン単独と差はなかったが、消化吸収率、たん白質効率 (PER) 及び正味たん白質利用効率 (NPU) は、カゼイン単独の場合よりも低値を示した。カゼイン・

Table 2. Trypsin inhibitor (TI) and color density (CD) of heated soy whey protein

	TI	CD
Unheated pH, 120/10	(100)	(1.0)
5.0	8	1.8
5.5	10	—
6.0	5	1.4
6.5	2	—
7.0	4	1.1
8.5	3	2.0
Na ₂ SO ₄ 120/10		
25.0%	4	0.4
27.5%	2	0.4
30.0%	3	0.3
Ethanol, 70%		
unheated	72	1.1
105/ 0	41	0.8
105/ 5	34	0.9
105/10	33	1.5
120/10	10	1.1

褐変 SWP 混合たん白質の消化吸収率は、それぞれの消化吸収率から計算される値とかわらず、褐変 SWP の消化吸収率が低いだけで、カゼインのそれにまで影響を及ぼすことはなかった。このように、カゼインの半分量であれば、SWP 中の栄養阻害因子は同時に摂取したたん白質の利用に明かな影響を及ぼさないと考えられる。また、褐変反応において著しい毒性物質の生成は起こっていないと思われる。

実験2

各種処理 SWP の TI 及び色度を Table 2 に示す。ここでは未処理 SWP の TI 及び色度をそれぞれ100 及び1.0として表した。pH 5.0~8.5の範囲においては、TI 及び色度と pH の間には明かな関係は見られず、酸性側で褐変が少ないということではなかった。単なる水溶液の場合と比較し、70%エタノール溶液として加熱しても、TI の失活や褐変の程度は大きく変わらなかった。硫酸で塩析後透析し、糖質を少なくしたサンプルでは、TI はほぼ完全に失活し、また褐変は見られなかった。pH 6.2溶液として、あるいは30% Na₂SO₄で塩析した後10%水溶液として、120℃、10分間加熱したサンプルを用いて、10%たん白質食を作製し、離乳後のマウスにそれぞれ2週間与えた時の結果を Table 3 に示す。いずれの処理によっても、体重増加、消化吸収率及びたん白質利用率は、単なる水溶液加熱の場合よりも改善されることはなかった。即ち、種々の処理を加えてもそれに見合う効果は得られなかった。

実験3

パンクレアチンのみによる60分の消化では、TI が残存している加熱 SWP の消化率は、未加熱 SWP と同様低かった。しかし、ペプシンとパンクレアチンによる十分な消化では、褐変の著明な粉末120/30及び120/10サンプルの消化率が80~90%と低値であった以外は、未加熱 SWP をも含めほぼ100%消化された (Fig. 1)。このことから、SWP の消化性が低いのは、SWP そのものが消化され難いのではなく、TI その他による消化障害であって、本実験のように過剰の消化酵素を加え

Table 3. Digestibility and utilization of heated soy whey protein in mice

	No.	Food intake	BW gain	Digestibility	PER	NPU
		(g/day)	(g/day)	(%)		
SWP, unheated	4	1.1±0.2	-0.77±0.08	47±13	—	—
SPI	6	5.4±0.5	0.72±0.10	90±1	1.3±0.1	32±4
SWP, heated (120/10)						
in water	6	5.5±0.2	0.93±0.19	80±2	1.9±0.2	32±12
pH 6.0	6	5.6±0.7	0.82±0.20	83±1	1.4±0.2	39±8
30% Na ₂ SO ₄	6	5.9±0.8	0.94±0.30	81±2	1.6±0.4	37±4

れば、十分に消化できるものであった。しかし、褐変によりアミノ酸の有効性が低下した SWP では、消化酵素の作用を受け難くなっていた。従って、褐変を起こし難い条件で SWP 中の栄養阻害物質を失活させる必要がある。

粉末加熱サンプルは、ペプシン・パンクレアチンによる十分な処理によっても消化は劣っていたが、有効性リジン量も他のサンプルと比べ低値であった (Fig. 2)。有効性リジン量と消化酵素過剰条件における消化試験結果との間には明かな相関関係は見られなかったが、褐変度と有効性リジン量の間には有意の逆相関が観察された (Fig. 3)。このことは、褐変の程度から有効性アミノ酸量を推定できることを意味している。

ま と め

カゼインに、その1/2量の未加熱 SWP あるいは褐変 SWP を加えても、同時に摂取したカゼインの消化吸収率に影響しなかった。また、pH 5.0~8.5の範囲では加熱時の SWP 溶液の pH を変化させても、またエタノール溶液として加熱しても、褐変度や消化率に明かな差はなかった。さらに、塩析と透析を組み合わせても、水溶液加熱サンプル以上に消化率の改善効果はなかった。人工消化試験において、褐変度の強いサンプルの有効性リジン量は低下しており、消化が劣っていた。

粉末 SWP の加熱は TI を失活させるものの褐変を起こしやすいので、消化の面では不適当であり、また、種々の操作を加えてもそれに見合う栄養効果の改善は見られず、結局、単に水溶液として120℃、1分程度加熱するのが、TI の失活、有効性リジン量、消化率等いずれから見ても良いと考えられる。

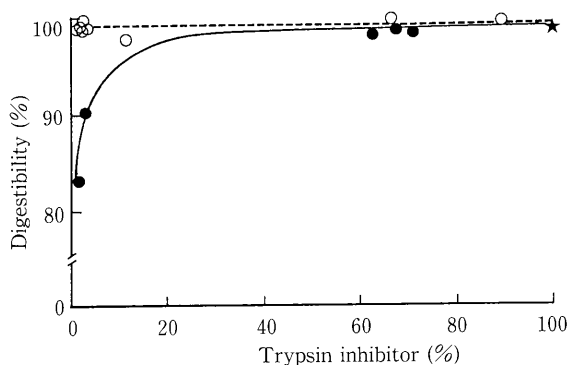


Fig. 1. Effect of trypsin inhibitor on the digestibility of heated or unheated soy whey protein with pepsin and pancreatin. Unheated soy whey protein (★), heated soy whey protein as dry form (●) and in aqueous solution (○) at various temperatures.

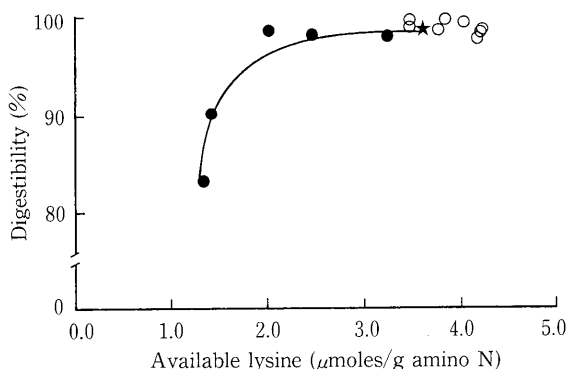


Fig. 2. Effect of available lysine on the digestibility of heated soy whey protein with pepsin and pancreatin. See footnote in Fig. 1.

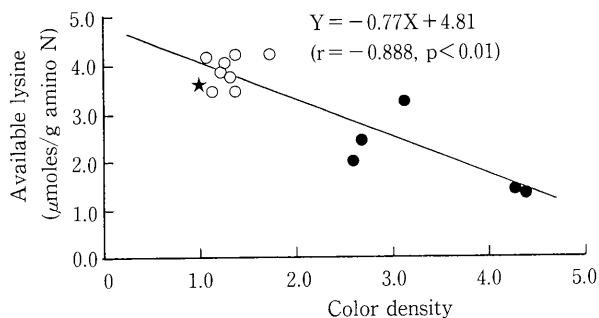


Fig. 3. Relationship of available lysine to color density. See footnote in Fig. 1.

文 献

- 1) 岸 恭一, 寺井幸子, 志塚ふじ子, 木戸康博, 井上五郎 (1987): 大豆乳清たん白質の栄養価の改善. 大豆たん白質栄養研究会会誌, **8**, 70-75.
- 2) 並木満夫 (1986): アミノカルボニル反応の栄養生理学的影響. 日本農芸化学会編, 「食品の加工と栄養科学」, 4-24, 朝倉書店, 東京.
- 3) Adrian, J. (1974): Nutritional and physiological consequences of the Maillard reaction. *World Rev. Nutr. Diet.*, **19**, 71-122.
- 4) Grant, G., Mckenzie, N. H., Watt, W. B., Stewart, J. C., Dorward, P. M. and Pusztai, A. (1986): Nutritional evaluation of soya beans (*Glycine max*): Nitrogen balance and fractionation studies. *J. Sci. Food Agric.*, **37**, 1001-1010.
- 5) 稲川淳一, 清澤 功, 長澤太郎 (1987): トリプシン, パンクレアチンおよびペプシンによるカゼインおよび大豆タンパク質の消化性に及ぼすフィチン酸の影響. 日本栄養・食糧学会誌, **40**, 367-373.
- 6) Saunders, R. M., Conner, M. A., Booth, A. N., Bickoff, E. M., and Kohler, G. O. (1973): Measurement of digestibility of alfalfa protein concentrates by in vivo methods. *J. Nutr.*, **103**, 530-535.
- 7) Williams, S. ed. (1984): Official Methods of Analysis. 14th ed., 882-883.