

ダイズ繊維たんぱく質の消化性改善とテクスチャー変化について*

高 木 茂 明

(生物化学研究室)

Received July 1, 1975

Studies on the Relation between the Digestibility of Soyabean Fibre Protein and Its Texture at the Pretreatment Improving the Digestibility

Shigeaki TAKAGI

(Laboratory of Biological Chemistry)

With the intention of both improving the digestibility of soyabean fibre protein which possesses lower digestibility than general animal food proteins and maintaining these fibre protein textures like meat, some pretreatment, that is, heating, autoclaving and partial hydrolysis with proteases, were carried out respectively, and then the variations of the properties of these pretreated proteins were investigated.

As the results, the digestibility of protein was lower under heating and autoclaving than that of control, while in the pretreatment with 0.05 or 0.075 percent papain, one of the subjected proteases, for 1 to 3 days at 4°C, the digestibility was improved over 20 to 30 percent. At these last pretreatments, it was demonstrated for the texture (particularly cohesiveness) of soybean fibre protein to be lowered only about 10 percent from the control protein, and it would be considered that these pretreatments might be a desirable method which improved the digestibility of soybean fibre protein without much lowering of the textures as meat-like food. Thus, it is assumed that the results of these investigations suggest some of the methods improving the digestibility of the future concentrated protein foods of plant sources.

結 言

摂取たんぱく質が消化管内で消化酵素の作用を受けてアミノ酸にまでなった後、小腸壁から吸収されるという点に関しては起源を異にする食品たんぱく質に共通している。しかしその消化性にはかなりの相違が見られることは良く知られている。このたんぱく質の消化性とその栄養価との関係について考える場合 (1) 消化率と栄養価との関係, (2) 消化速度とそれとの関係の2つが問題となる。たんぱく質の栄養はアミノ酸のレベルで考えればよいから構成アミノ酸の種類と組成すなわちアミノ酸のバランスを知ればその栄養価を求めることが出来るはずであるが、必ずしもそのようなにならない場合がある。それはまず消化率に関する問題である。構成アミノ酸残基が消化酵素によってすべて遊離されれば消化率100%であるが、牛肉、カゼイン、ツェインなどの食品たんぱく質の場合55%以上という結果が得られており¹⁾動物性食品、豆類、野菜類、海藻類の順に消化率は低下する。このうち豆類は良質のたんぱく質を含み、そのアミノ酸組成は動物性食品のそれに匹敵するにもかかわらず消化率が低いために実際の栄養価

*) 植物性濃縮たんぱく食品の消化性と栄養価に関する研究 (I) とする。

は低く見積られている。このためダイズたんぱく質の消化率を向上させ、その有効利用を図る目的で豆腐、味噌、納豆などの各種ダイズ加工食品が古くから考えられ実用化されていることは衆知の事である。大豆そのままを用いた研究では、加熱処理は栄養価を向上させ^{5,11,12,14}、またシスチン、メチオニンの含硫アミノ酸添加も生大豆の栄養価を向上させる^{8,9}。いっぽう、インゲンマメ、エンドウ、ラッカセイのパンクレアチンによる消化度について調べると乾性加熱によって消化度の向上が見られ、また含硫アミノ酸の遊離率も向上するのでこの点からも栄養価の向上が認められる¹⁰。坂本ら¹⁶はダイズ繊維たんぱく質を使って含硫アミノ酸の添加効果を同様に調べ、白ネズミの成長及び血漿アミノ酸パターン測定試験の結果では有効であることを認めており、アミノ酸の添加量いかんではカゼインに匹敵する栄養価を持たせることも可能と考えられる。

第2に消化速度の問題がある。体内たんぱく質の合成に使われるアミノ酸の種類と量は体内たんぱく質のアミノ酸パターンによって決定される。その場合供給されるアミノ酸混合物の組成が要求パターンと異なっておれば当然利用されなかったアミノ酸は残ることになり供給アミノ酸組成と要求パターンの相違が大きければ大きいほど無駄になるアミノ酸量が多くなる。この点までは消化率の場合と共通の事柄であるが、アミノ酸供給に時間的ずれが起る場合にそれが栄養価とどのような関係にあるかを明らかにするためには消化速度の検討も必要である。DENTON ら²は *in vitro* でペプシンに引き続いて膵臓粉末と十二指腸粉末を各種のたんぱく質に作用させ遊離するアミノ酸量を測定してたんぱく質全含有アミノ酸に対する比率を求め、容易に遊離するアミノ酸とそうでないアミノ酸のあることを明らかにしている。すなわちペプシンを 3 hr、膵、腸粉末を 1 hr 作用させた時イソロイシンとメチオニンは動物性、植物性たんぱく質いずれの場合も遊離率が低くリジン、バリン、フェニルアラニンおよびスレオニンがこれに続いて低い。しかし必須アミノ酸に関しては牛肉の場合に遊離率が 40～80% と比較的バラツキの小さいのに対し、カゼイン、ツェインでは 15～85% とアミノ酸の種類によって遊離の程度が大きく異なる。さらに *in vivo* の実験としてたんぱく質を摂取させた後の門脈血中の各アミノ酸含量についても同様の傾向が認められている^{2,3}。

したがって食品たんぱく質の栄養価値を決定する場合に消化率と消化速度の両者が常に考慮されねばならない。

近年脱脂ダイズの利用及び動物性脂肪の摂取量を減少させるという意図から開発されたダイズたんぱく質製品は新しいたんぱく源として現在実用化段階に入り、肉類の増量剂的役割から更に一歩進んでダイズたんぱく質だけで同様の風味、そしゃく感を持った食品（人造肉とも呼ばれる）が製造販売され始めている。しかしこれを食べた人の多くが腹部膨満感を覚え、なかなかその感覚が去らないということから、先の坂本らが行ったアミノ酸添加により栄養価を高めるという観点からではなく、人工的に消化速度及び消化率の改善を図りたんぱく構成アミノ酸が可及的均等にかつ速やかに遊離してくるようになればこの問題は解決されると考えられる。しかしながら現在のダイズ繊維たんぱく質の特徴はそしゃく感（テクスチャー）が肉類のそれに類似していることであり、したがって本報告ではテクスチャーを大きく損なわずに消化性の改善を図ることを目的として幾つかの前処理をダイズたんぱく質に対して行い、消化性とテクスチャーに及ぼすこれら前処理の影響を調べた。

材 料 と 方 法

1. 供試たんぱく質

供試ダイズたんぱく質には形態の異なる某社製品3種 (A: 素材の繊維たんぱく質一水分72%—, B: Aの他に増量剤50%を含む固形, C: 脱脂ダイズたんぱく粉末でたんぱく含量50%) を用い, 対照植物たんぱく質として活性グルテンを供試した。

比較対照の動物性たんぱく質には市販の牛肉, 豚肉, 羊肉, 鶏肉, 鯨肉, 豚肝臓, ベーコン, ハム, ソーセージを加工調理などの処理をせずに基質として供試した。

2. 消化酵素

市販豚ペプシン (1: 10,000; 半井化学薬品製) 及びZ-パンク* (日本臓器製) を使用した。

3. 基質前処理酵素

中性プロテアーゼ (*Asp. oryzae* type II, Sigma 製) 及び Papain (1,200 E/g, Merck 製) の2種を使用。

4. 基質調製法

4-1. 未処理たんぱく質

たんぱく質として2gになるように試料たんぱく質を秤取した (食品の全窒素を定量しN-係数として6.25を乗じてあらかじめたんぱく質含量を求めておく), これを乳鉢中で磨砕しながら徐々に0.06N HCl溶液を加えて100mlにメスアップする。動物性食品の場合は遊離アミノ酸およびペプチドの除去を行うためこの基質懸濁液を0.06N HClに対して1夜透析した。もしpHが2.0以上の場合は0.3N HClにて調節した。

4-2. 加圧・加熱処理たんぱく質

前処理は素材のダイズ繊維たんぱく質 (繊維たんぱく質と略) についてのみ行った。5.35gの繊維たんぱく質を100mlのビーカーに秤取し, 蒸留水をたんぱく質が覆はれる程度に加えてビーカーの口をアルミホイルで封じ, オートクレーブにて所定条件下で加圧, 加熱を行った。

処理後たんぱく質を引き上げて軽く絞り, 濾紙にはさんでできるだけ水分を除く。乳鉢に移し0.2N KCl-HCl緩衝液 (pH 1.8) を少量加え磨砕する。充分磨砕後同じ緩衝液でメスシリンダーに洗い込み75mlにメスアップして基質溶液とする。

4-3. 中性プロテアーゼ処理食品たんぱく質

0.001M 磷酸緩衝液 pH 6.8に溶かした *Asp. oryzae* Protease (AOP) 溶液各0.05, 0.1, 0.5%に繊維たんぱく質5.35gを浸漬し/min後に引き上げサランラップに移して重量を測定する (約8g)。サランラップの口を輪ゴムで閉じ4°C (冷蔵庫) または35°C (恒温水槽) に所定間放置して前処理を行う。所定時間後 (35°Cでは3および6hrs; 4°Cでは24, 48, 72hrs) サランラップに包んだままで沸騰水中に浸して5min加熱して酵素を失活させ0.2M KCl-HCl緩衝液少量で乳鉢に洗い込み磨砕する。磨砕物をメスシリンダーに入れて同緩衝液により75mlにメスアップする。

4-4. Papain 処理食品たんぱく質

Papain 100mgを0.05M クエン酸緩衝液 (pH 5.5) に溶かし, 0.4M L-Cysteine 20mlを加えて全容を100mlとし, 40°Cの恒温槽中に2.5hrs incubateして活性化した。これを適

* 豚膵臓粉末製剤。

当に希釈して4-3と同様の前処理を行った。

5. 人工消化試験

基質にまずペプシンを作用させ、続いてZ-パンクを作用させた。概要はつぎのようである。300 ml の三角フラスコに75 ml の基質溶液を入れ35°C の振盪式恒温水槽中に15 min 浸しておく。これにあらかじめ同温度にしておいた0.1% ペプシン溶液に15 ml を加えて振り混ぜ反応開始する。所定時間ごとに反応混合物3 ml を取り出し5 ml の5%トリクロル酢酸に注加して反応を止める。100～140 min (加水分解反応が平衡に達する状態でこの反応時間を変更したが動物性の場合100 min, 植物性の場合140 min を基準としている) 反応させた後、1 N NaOH によってpH を7.6 に調節する。これに35°C の0.1 M 燐酸緩衝液 (pH 7.6) 25 ml を加えて振り混ぜた後0.1% Z-パンク溶液2.5 ml をさらに加えて第2段階の消化反応を開始させる。所定時間ごとに反応混合物3 ml を取り出して反応を止める。

反応混合物中のトリクロル酢酸可溶物の量を消化性の尺度とするので、その濾液0.5 ml をとってFolin 法¹⁾ 又はニンヒドリン法²²⁾ の常法に準じて比色定量を行い、消化速度を下式によって求めた。

$$\text{消化速度} = \frac{E}{S \times C} \times 100$$

C : 反応混合物中のペプシン濃度 (mg/90 ml)

S : 反応混合物中の基質たんぱく質濃度 (N-mg/90 ml)

E : 反応開始40 min 後の OD₅₇₀ 又は OD₇₅₀

この消化速度は胃におけるペプシンの消化初速度のパラメーターとして考えており、単位酵素量及び単位基質量当りの単位時間における遊離アミノ酸又はペプチド量を表わしている。

また消化率はつぎのようにして測定した。トリクロル酢酸濾液及び沈澱の全窒素量を常法により測定する。消化時間はペプシン消化の場合100 min (動物性たんぱく質) または140 min (植物性たんぱく質)、Z-パンク消化の場合200 min (動物性たんぱく質) 又は440 min (植物性たんぱく質) として、その各時点で取り出した3 ml の反応混合物について上記全窒素定量を行い下式によって消化率を算出した。

$$\text{消化率} (\%) = \frac{(\text{濾液の全窒素量})}{(\text{沈澱の全窒素量}) + (\text{濾液の全窒素量})} \times 100$$

6. テクスチャー測定法

Texturometer^{6,17)} を用いたたんぱく質のそしゃく性のパラメーターとして凝集性を測定した。装置は全研製 GTX-2 を用い、5 cm の長さで切った繊維たんぱく質を容器型プラットホーム (58C-1) に軽く充填して測定に供した。測定条件はつぎの通りである。

Voltage; 0.25～1 V

Clearance; 2 mm

Chart Speed; 1,500 mm/min

Bite Speed; 12 B-/min

Plunger; Lucite φ 18 mm

Platform; 58 C-1

Sample weight; 67 g

Sample Height in Platform; 17～19 mm

Experiment; Three times in each
Temperature; Room temperature

凝集性の計算は次式を用いて行った⁶⁾。

$$\text{凝集性} = \frac{A_2}{A_1}$$

A₁: 第1ピーク下の面積 (cm²)

A₂: 第2ピーク下の面積 (cm²)

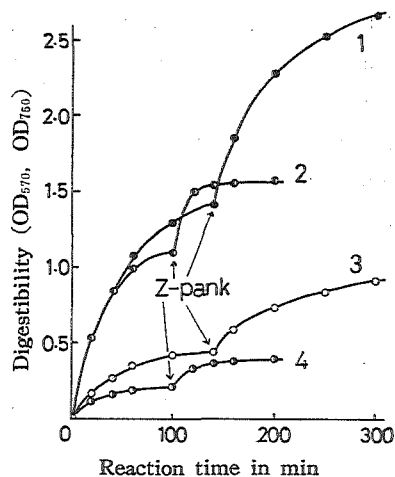
面積測定は半値幅法によって行った。

結果と考察

1. 人工消化試験条件の検討

たんぱく質の人工消化試験の方法については脱脂たんぱく試料を基質としてパンクレアチンを用いさせ、ホルモール滴定により遊離アミノ基を定量する方法¹²⁾、ペプシンを作用させトリクロル酢酸濾液と沈澱の全窒素量から消化率を算出する方法¹³⁾、同じくペプシンを作用させ10%トリクロル酢酸濾液中の可溶性アミノ酸及びペプチドをFolin呈色法によって比色定量する方法^{14,21)}、その他の方法^{15,18)}がこれまでに報告されている。本報告ではFolin呈色法、ニンヒドリン呈色法²²⁾の両方法によって生成アミノ酸、ペプチドを定量したが、両方法による結果に稍相違が認められる。すなわちペプシンを作用させた場合にFolin法を用いると反応開始後60~80 minでほぼ平衡状態に達するが、ニンヒドリン法では100 minを越えてもなお平衡に達しない (Fig. 1)。この相違は動物、植物性いずれの食品たんぱく質の場合にも見られ、原理的にも生成アミノ基を定量するニンヒドリン法は消化試験に適當であると考えられる。動物性たんぱく質の場合主としてFolin法で、また植物性たんぱく質はニンヒドリン法で測定しているため (植物性たんぱく質を用いると呈色度は非常に小さい)、消化率を判定する時点が不揃いであるが、前者の場合にペプシン消化を100 min、後者の場合に140 minとし、その時点でペプシンによる消化率を算出することとした。

続いてZ-パンクを作用させたときも同様にFolin法による場合が平衡に早く到達しており (Fig. 1)、このことはトリクロル酢酸可溶の芳香族アミノ酸残基量に比例するFolin呈色度は可溶性ペプチドがアミノ酸にまで加水分解されても同様であるのに対し、ニンヒドリン法は遊離アミノ基の数が増加すれば呈色度の増大することを示しているものである。したがって消化率測定はFolin法の場合Z-パンク添加後100 min (ペプシン作用開始から200 min)、またニンヒドリン法の場合Z-パンク添加後160 min (ペプシン作用開始から300 min)の時点で行うことにした。



1. Chicken; Ninhydrin method
2. Chicken; Folin method
3. Soya fibre protein (A); Ninhydrin method
4. Soya fibre protein (A); Folin method

Fig. 1. Digestion of chicken and soya bean fibre protein with pepsin and Z-pank using the different estimation method.

2. ダイズ繊維たんぱく質と他の食品たんぱく質との消化性の比較

ダイズ繊維たんぱく質といくつかの食品たんぱく質に対してペプシンとZ-パンクを作用させたときの消化率、消化速度をまとめて Table-1 に示す。動物性食品の場合生肉の消化率及び消化速度が平均して高く、良い消化性を示すが、肉加工品であるソーセージ、ベーコン、ハムは消化性が劣っており、この原因として加工処理時における加熱及び各種添加物の影響などが考えられるが明らかでない。

ダイズ繊維たんぱく質の消化率は動物性のそれとくらべてやや劣っているが、その消化速度は著しく低く、動物性たんぱく質の半分以下である。この原因としてダイズたんぱく質の繊維状分子が、配向集合しているためにたんぱく質の疎水性側鎖が露出して水の内部浸透を阻止し酵素が基質に接触しにくい状態になっていること、さらに基質たんぱく質の構造そのものが変化して酵素作用を受けにくくなったことなどが挙げられる。このことは天然の繊維状たんぱく質の不消化性に共通するものと思われる。繊維たんぱく質加工品の摂取時に起る腹部膨満感 は多分このような消化速度の低さにも由来するものであろう。活性グルテンの消化速度が小さいのは反応初期の水への親和性が小さく、沈澱しやすいために不均一な酵素反応になったためであろうと思われる。またZ-パンク消化終了時における繊維たんぱく質 (A) のニンヒドリン呈色

Table 1. Digestibility of food proteins by pepsin and Z-pank

Foods	Digestibility (%)		Digestion velocity	
	Pepsin	Z-pank	Folin method	Ninhydrin method
Beef	66.6	82.8	5.27	—
Mutton	50.0	62.5	5.46	—
Chicken	45.5	71.6	4.74	5.40
Liver	71.1	76.5	6.00	—
Bacon	39.5	58.1	4.30	—
Ham	35.4	44.9	3.21	—
Sausage	—	—	4.37	—
Whale meat	—	—	5.05	—
Pork	—	—	6.61	—
Soya protein (A)	57.2	72.1	—	2.09
Soya protein (B)	62.2	69.6	—	2.09
Soya protein (C)	58.8	69.2	—	1.61
Gluten	57.7	63.6	—	0.25

度が鶏肉のそれと比べてかなり小さいにもかかわらず消化率に大差がない点に関して、ダイズたんぱく質 (A) から生じたトリクロル酢酸可溶成分としてペプチドが多く存在するため、このような結果が得られたものと考えることが出来る。

上記結果は各食品又は食品材料に手を加えずそのまま基質に用いたときの消化性を表わしたものであるが、Melnick ら¹²⁾の方法のように脱脂処理を行うとか、あるいは加熱などの加工調理処理によってその挙動は変化することもあると思われる。しかしいずれにせよ植物たんぱく質として供試したダイズたんぱく質が消化速度において動物たんぱく質に著しく劣っていることは明らかである。

3. ダイズ繊維たんぱく質の前処理による消化性改善とテクスチャー変動との関係

2において述べたように供試ダイズたんぱく質は消化速度が小さく、またアミノ酸の生成速度も比較的小さい（Z-バンク消化終了時のニンヒドリン呈色度が低い）のが膨満感を与える原因の1つではないかと考えられるので、ダイズたんぱく質に適当な前処理を施すことによって消化速度および消化率の改善が出来るかどうかを検討した。

さらに観点を变えて、ダイズ繊維たんぱく質はとうふ、みそ、ゆばなどと異なり獣肉に類似したテクスチャーを持たせていることが一つの特徴となっているので、このテクスチャーを消化性改善処理によって変化させないためにはどうしたら良いかも合わせて検討した。

3-1. 加圧と加熱処理による消化性への影響

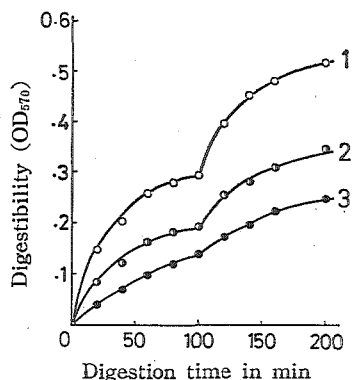
100°C, 5 min 加熱処理したダイズ繊維たんぱく質 (A) および水蒸気圧 0.4, 0.7 および 1 Kg/cm² で 5 min 加熱処理したその人工消化曲線を Fig. 2 に示す。対照には未処理繊維たんぱく質を用いて比較した。なお、以下の実験ではペプシン消化を 100 min に短縮しているが、これは繊維たんぱく質の場合 140 min の値とほとんど差のないことを確かめており、さらに消化性を対照との比較相対値で表示するため問題はない。加熱区と加圧・加熱区とはいずれも未処理区より消化性が劣っていることがわかる。消化速度については、加熱区は 40%、加圧・加熱区は 60% 低下している。また相対消化性（未処理の消化性—200 min 消化時の OD₅₇₀—を 100% とした場合の他の区その値）もそれぞれ 30 及び 50% の低下となっている。したがってダイズ繊維たんぱく質の加熱処理が消化性に悪影響を及ぼすことは明らかであるが、この結論は HAYWARD⁸⁾ および林⁹⁾ のダイズ栄養価に関する結果と反するものである。しかしいっぽう、たんぱく質の過熱は構造変化を惹き起すことによって消化性を低下させるという報告^{23,24)} もあるのでこの繊維たんぱく質は上記程度の加熱によって消化を受け難い構造に変化したものと考えることが出来る。

3-2. プロテアーゼによる前処理の消化性に及ぼす影響

獣肉類の熟成と同様に繊維たんぱく質を適当なプロテアーゼによって前処理すると、その消化性が改善されるかどうかを検討した。

3-2-1. A. O. P. による前処理

処理条件を Table-2 に示す。また処理たんぱく質の人工消化試験の結果を Fig. 3 に例示する。



1. No treatment
2. Heating (5 min at 100°C)
3. Autoclaving (30 min under 1.0 atm)
Fig. 2. Effects of heating and autoclaving on digestion of soyabean fibre protein (A).

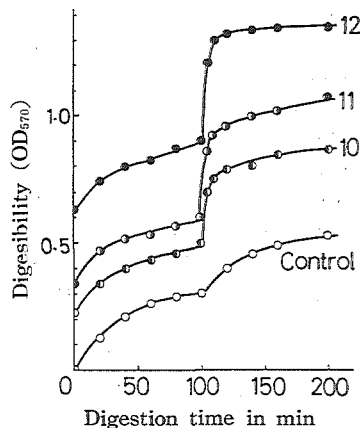


Fig. 3. Effects on digestion of soyabean fibre proteins by treatment with A. O. P.
Protein heated at 100°C for 5 min was used as control, because other subjected proteins were heated after pretreatment in the same condition in order to inactivate the protease. Figure of each curve indicates number in Table 2.

Table 2. Pretreatment conditions of soyabean fibre protein (A) with A. O. P.

Temperature (°C)	35		4		
Treatment time (hr)	3	6	24	48	72
Enzyme concentration (%)					
0.05	1	4	7	10	13
0.10	2	5	8	11	14
0.50	3	6	9	12	15

この例示結果からわかるように消化試験0時間における吸光度は A. O. P. 濃度が高いほど大きくなっており、ペプシン及びZ-パンクによる消化の程度を未処理たんぱく質のそれと比較するにはこの前処理の際に生じたトリクロル酢酸可溶物を差引く必要がある。したがって Fig. 3 に示すような測定したままの OD₅₇₀ を「実測消化度」、前処理によって生成した可溶成分を差引いた OD₅₇₀ を「みかけの消化度」として区別することにする。

Fig. 4 に前処理による消化速度の変動を示す。ここに示した数値はペプシンの消化開始後 20 min の「みかけの消化度」を未処理のそれを 1.0 として表わしている。この結果 A. O. P. による前処理は消化速度の改善にはほとんど寄与していないことがわかる。

つぎにダイズたんぱく質の基質にペプシンに続く

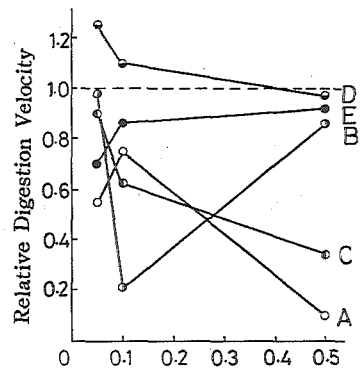


Fig. 4. Effects of A. O. P. pretreatments on the digestion velocity of soyabean fibre protein. A; No. 1, 2, 3. B; No. 4, 5, 6. C; No. 7, 8, 9. D; No. 10, 11, 12. E; No. 13, 14, 15. Dotted line indicates the digestion velocity of control.

Table 3. Substantial and apparent digestibilities of soyabean fibre protein (A) pretreated in various conditions by A. O. P.*

Experimental No.	Substantial digestibility	Apparent digestibility
1	1.38	0.91
2	1.23	0.66
3	1.94	0.94
4	1.92	1.21
5	2.33	0.63
6	2.94	0.86
7	1.35	1.14
8	1.81	1.14
9	1.40	0.69
10	1.62	1.06
11	2.08	1.03
12	2.52	1.18
13	2.06	1.08
14	2.13	0.84
15	5.77	0.85
control	1.00	1.00

* Indicated as the relative values at 200 min digestion in which that of control was 1.00.

て Z-パンクを作用させた時の前処理諸条件と実測消化度およびみかけ消化度との関係を Table-3 に示す。実測消化度はいずれも未処理 (Control) のそれよりも大きくなっており, A. O. P. による前処理においてかなりの加水分解の行われたことがわかる。いっぽうペプシンおよび Z-パンクによる消化の尺度となる「みかけ消化度」では Control より大きい消化度を示しているのは 4°C 処理区 (No. 7 以下) に多いことが示されている。しかし数値的には Control のそれより 3~15% 高いに過ぎず, 繊維たんぱく質の消化性改善に役立っていないと言える。なお後述のように A. O. P. 処理たんぱく質のテクスチャーは一部を除いて著しく低下し, 外観は流動状態に変っているためこの点からも所期の目的に合致しないと思われる。

3-2-2. パパインによる前処理

パパイン前処理は 4°C の温度条件下でのみ行なった (Table-4)。酵素濃度も 0.5% を除き 0.075% を採用している。

Table 4. Pretreatment conditions of soyabean fibre protein (A) with papain

Temperature °C	4°C		
Papain concentration (%) \ Treatment time (hr)	24	48	72
0.050	7'	10'	13'
0.075	8'	11'	14'
0.100	9'	12'	15'

人工消化試験の結果, 消化初速度は No. 8' と 11' が Control に比較してやや大きくなっている程度であり, パパインによっても消化速度の改善には大きな効果がないと思われる (Fig. 5)。

つぎにパパイン前処理の実測消化度およびみかけ消化度との関係を Table-5 に示す。

実測消化度は A. O. P. の場合のそれと比較してやや小さくなっている。いっぽうみかけの消化度すなわち消化酵素のみによる繊維たんぱく質の加水分解度を A. O. P. の場合と比較するとパパイン処理区は A. O. P. 処理区に優っており, このことは前処理における加水分解の程度の低い場合に消化酵素の作用する余地を残していることを示すと思われる。したがって処理ダイズたんぱく質を食品材料として供するという観点からはパパイン処理が A. O. P. 処理より優れていると言える。また処理たんぱく質の外観も未処理のもの比べて余り変化したように見えないのもこの前処理の利点である。

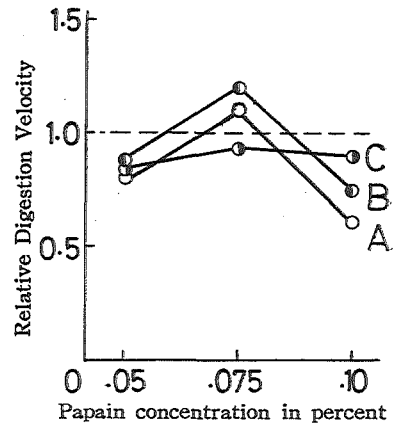


Fig. 5. Effects of papain pretreatment on the digestion velocity of soyabean fibre protein.

A; No. 7', 8', 9'.
B; No. 10', 11', 12'.
C; No. 13', 14', 15'.

Dotted line indicates the digestion velocity of control.

Table 5. Substantial and apparent digestibilities of soyabean fibre protein (A) pretreated by papain*

Experimental No.	Substantial digestibility	Apparent digestibility
7'	1.32	1.48
8'	1.31	1.37
9'	1.23	1.11
10'	1.10	1.25
11'	1.40	1.28
12'	1.29	0.86
13'	1.00	1.14
14'	1.37	1.20
15'	1.56	0.90
Control	1.00	1.00

* Indicated as the relative values at 200 min digestion in which that of control was 1.00.

3-4. プロテアーゼ処理条件によるダイズ繊維たんぱく質のテクスチャーへの影響

食品の味覚の重要な要素の一つであるテクスチャーの測定はテクスチュロメーターその他の物理的測定機器を用いて多くの食品について行われている^{7,20)}。ここでは前記の処理がダイズ繊維たんぱく質の肉様感触をどのように変えるかについて知見を得るために処理条件とたんぱく質凝固性との関係を調べた。

前処理は3-2, 3-3で述べたと同様の条件下で行い、同一試料について消化度とテクスチュロメーターによるテクスチャー測定を行った。テクスチャーのパラメーターとして凝集性を用いた。処理条件と凝集性との関係を図示すると Fig. 6 のようである。

凝集性は硬さ、弾力性を包含したパラメーターであるが、これを見るとパパイン処理繊維たんぱく質は未処理(相対凝集性 1.0)に比較的近い値を持っていることがわかる。また A. O. P. 処理時間が凝集性に大きく影響しているのくらべパパイン処理の場合には余り影響のないのも両酵素の相違点である。すなわちパパイン処理によって凝集性低下は小さく、これは処理条件にあまり影響されない。このように2種のプロテアーゼを用いた実験において、ダイズたんぱく質の凝集性に対する影響がプロテアーゼの種類によって大きく異なっていることが明らかになったが、このことはプロテアーゼの適当な選択によってテクスチャー(凝集性)を大きく変化させずに消化性の改善を行うことが可能であることを示唆するものである。

3-5. プロテアーゼ処理繊維たんぱく質の消化性とテクスチャーとの関係

これまでの結果をまとめて前処理条件と消化性及びテクスチャーとの関係を Table-6 に掲げた。また Fig. 7 に消化性と凝集性との関係を示す。

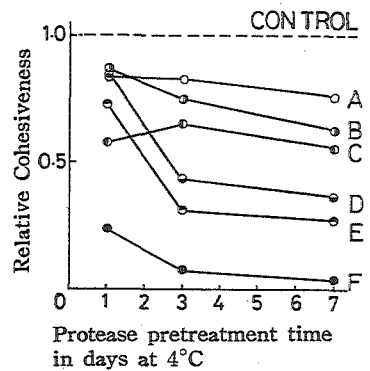


Fig. 6. Effects of protease treatment on cohesiveness of soyabean fibre protein

A : Papain 0.05% ; B : Papain 0.075%
 C : Papain 0.10% ; D : A. O. P. 0.05%
 E : A. O. P. 0.1% ; F : A. O. P. 0.50%

Table 6. Effects on digestibility, cohesiveness and hardness of soyabean fibre protein(A) pretreated by various conditions

Enzyme concentration %	Pretreatment time at 4°C (day)	Hardness*	Cohesiveness*	Digestibility*	
				Digestion velocity	Apparent digestibility
A. O. P.					
0.05	1	0.99	0.88	0.91	1.14
"	3	0.33	0.45	1.26	1.06
"	7	0.27	0.36	0.70	1.03
0.10	1	0.75	0.71	0.60	1.14
"	3	0.28	0.30	1.10	1.03
"	7	0.22	0.26	0.85	0.84
0.50	1	0.18	0.23	0.33	0.69
"	3	0.09	0.08	0.97	1.18
"	7	0.07	0.04	0.93	0.85
Papain					
0.05	1	0.59	0.83	0.83	1.48
"	3	0.76	0.83	0.83	1.25
"	7	0.59	0.76	0.86	1.14
0.075	1	0.64	0.86	1.11	1.37
"	3	0.56	0.74	1.16	1.28
"	7	0.53	0.62	0.93	1.20
0.10	1	0.58	0.58	0.64	1.11
"	3	0.63	0.65	0.75	0.86
"	7	0.48	0.56	0.91	0.97
Control (none)	—	1.00	1.00	1.00	1.00

* Shown as relative values of which control was 1.00.

Table-6 においては数値の大きいものほど性質として優れていることを表わしているが、パパイン処理が総合的に見て良い結果を生じている。Fig. 7 においてはこの関係が一層明らかである。すなわち図の右上に位置するものほど消化性が改善され、またテクスチャーが未処理のものと変わらないものであることを示しており、この内とくにパパイン 0.05% 濃度による 4°C-1日及び 3日処理区、同じく 0.075% 濃度、4°C-1日及び 3日区は消化性を改善されていると共にテクスチャーの低下が小さく、これまでの結果からはかなり有効な前処理とも考えられる。

要 約

ダイズ繊維たんぱく質は動物性たんぱく質に比較して消化率、消化速度は共に低い。ダイズ繊維たんぱく質の消化性改善を行うと同時にそのテクスチャーを維持させることを目的として加熱処理および 2 種のプロテアーゼ (A. O. P. 及びパパイン) による個別処理を行い、これら前処理が消化性およびテクスチャーにおよぼす影響を調べた。その結果、加熱は消化性を悪化させる。また酵素としてパパイン 0.05% あるいは

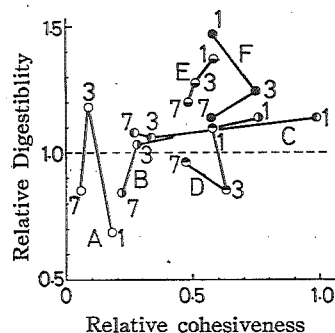


Fig. 7 Relation between cohesiveness and digestibility of soyabean fibre protein pretreated by proteases

A : 0.50% A. O. P ; B : 0.10% A. O. P
C : 0.05% A. O. P ; D : 0.10% Papain
E : 0.075% Papain ; F : 0.05% Papain

Figures indicate the pretreatment hours at 4°C respectively.

0.075%水溶液を用い4℃にて1~3日前処理を行うことによって消化性が20~30%向上し、いっぽうテクスチャーは約10%程度の低下を示した。この酵素処理はダイズ繊維たんぱく質の消化性を改善すると同時にテクスチャーを変化させないという点で比較的望ましい前処理条件と思われる。

本研究の結果はこれからの植物性濃縮たんぱく質の利用に際して消化性改善を計る1つの方向を示唆するものと考えられる。

おわりに本研究に協力された河口恵子, 荒川裕之両君に感謝すると同時に, テクスチュロメーターの使用に際し御教示を頂いた香川大学農学部助教授山野善正氏, 同三木英三氏に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 赤堀四郎編：酵素研究法 1, 165 朝倉書店, 東京 (1961)
- 2) DENTON A. E. et al. : J. Nutrition 49, 221 (1953)
- 3) DENTON A. E., S. N. GERSHOFF and C. A. ELVEHJEM : J. Biol. Chem. 204 731 (1953)
- 4) 榎本則行：佐賀大学農学彙報 29, 9 (1970)
- 5) EVANS R. J. : Arch. Biochem. 11, 15 (1946)
- 6) FRIEDMAN H. H., J. E. WHITNEY and A. S. SZCZESNIAK : J. Food Science 28, 390 (1963)
- 7) 橋田 度：食品工業 5, 28 (1971)
- 8) HAYWARD J. W. : J. Nutrition 16, 219 (1936)
- 9) 林 寛, 有山 恒：栄養と食糧 10, 134 (1953)
- 10) 速水 決：栄養学雑誌 15, 157 (1957)
- 11) JONES D. B. : Federation Proc. 3, 116 (1944)
- 12) MELNICK D. : Science 103, 326 (1946)
- 13) 満田久輝, 村上和雄, 高木宗司：栄養と食糧 23, 80 (1970)
- 14) RIESEN W. H. : J. Biol. Chem. 167, 143 (1947)
- 15) 佐々木林治郎, 大高文男：栄養と食糧 12, 244 (1959)
- 16) 坂本 清, 福沢初代：栄養と食糧 26, 177 (1973)
- 17) SZCZESNIAK, A. S., M. A. BRANDT and H. H. FRIEDMAN : J. Food Science 28, 397 (1963)
- 18) 高橋己幸：栄養と食糧 12, 198 (1959)
- 19) 東北大学農学部食糧化学科編：食品栄養実験書, 170 光生館, 東京 (1967)
- 20) 山野善正, 江本三男, 吉岡正久, 福井義明：日本食品工業学会誌 20, 358 (1973)
- 21) 吉田 勉：栄養と食糧 26, 487 (1973)
- 22) 日本化学会編：実験化学講座 23, 126, 丸善, 東京 (1963)
- 23) 大高文男：栄養と食糧 12, 251 (1959)
- 24) DAVIS R. M. : J. Nutrition 37, 115 (1949)

正 誤 表

頁	行	誤	正
52	上から5行	Textur <u>c</u>	Texture <u>_</u>
"	上から13行	werecarried	were carried
"	" 13行	respe ctively	respectively
76	" 9行	<u>o</u> lternatuo	<u>a</u> lternatuo
"	" 9行	Shirak <u>o</u> shizo	Shirah <u>o</u> shizo
"	" 10行	Pissod <u>i</u> s	Pissod <u>e</u> s
77	" 5行	alternatuo <u>_</u>	alternatus <u>_</u>
"	" 8行	Pissod <u>i</u> s	Pissod <u>e</u> s