

分離大豆たん白質を用いた「とうふよう」の製造に関する研究—大豆たん白ゲル調製条件の検討

STUDIES ON PRODUCTION OF TOFUYO USING SOY PROTEIN ISOLATE: PREPARATION OF SOY PROTEIN GEL

安田正昭・長松九一郎（琉球大学農学部）

Masaaki YASUDA and Kyuichiro NAGAMATSU

College of Agriculture, University of the Ryukyus, Okinawa 903-01

ABSTRACT

Tofuyo is a unique fermented soybean food in Okinawa prefecture, Japan, and is made from tofu (soybean curd) with koji, salt, and awa-mori (distilled liquor). It was learned that the texture of tofu affects the quality of tofuyo. As preparation of tofu is complicated and it is difficult to make uniform quality of tofuyo, it is needed to establish a simple, new method in this food processing. We took notice of soy protein isolate (SPI) having gel-forming ability in order to cover the weakness in this processing. We first examined conditions in preparing soy protein gel (SP-Gel) and then, tried to use the gel instead of tofu itself for the tofuyo production. Optimum conditions for the quality of the SP-Gel were affected by chemical properties and quantities of coagulant, amount of moisture, and heating temperature and duration when the SP-Gel was prepared by deflating the mixture of the SPI, soybean oil, water and coagulant and by heating in the casing. Found were 68 to 70% of moisture, 1.38 g of calcium sulfate for 100 g of SPI, and 60 minutes heating at 80°C as best condition for the SP-Gel preparation. The SP-Gel was characterized as follows; hardness: 20.3×10^4 dyne/cm², jelly strength: 17.5×10^5 dyne/cm², and texture: suitable elasticity and fine texture. However, the tofuyo prepared from the best gel above mentioned did not have smooth texture and was not good for taste. Therefore, it was found that good gel in physical properties was not necessarily suited for the tofuyo production of the best quality. The best quality of tofuyo was obtained with the SP-Gel which was prepared by increasing calcium sulfate up to 3.68 g for 100 g of SPI (hardness: 26.0×10^4 dyne/cm², jelly strength: 12.9×10^5 dyne/cm²). *Nutr. Sci. Soy Protein, Jpn.* 8, 12-16, 1987.

とうふようは木綿豆腐を乾燥したのち、麴と蒸留酒“泡盛”を含む諸味に漬け込んで熟成させたチーズ様風味を有する、沖縄のユニークな大豆発酵食品である。製品の品質は、諸味に用いる麴の特性や原料豆腐（乾燥豆腐を含む）の調製法によって影響される。

著者ら¹⁻³⁾は、これまでに紅麴色素並びにプロテアーゼ活性の高い紅麴の製麴法を確立し、同麴で調製した製品は色調及び香味が良好であることを明らかにした。しかしながら、その製造で、原料豆腐の調製法が煩雑

でしかも均質な製品が得られ難いことから新しい製造技術の確立が必要とされている。そこで、著者らはこの欠点をカバーするために分離大豆たん白質（SPI）のもつゲル形成能に注目した。本研究においては、SPIを用いたとうふようの製造条件について、特にその基本となる大豆たん白ゲルの調製法について検討したので報告する。

実験方法

大豆たん白ゲルの調製

第四訂「日本食品成分表」によれば、木綿豆腐の主要な化学組成は水分 86.8%, たん白質 6.8%, 脂質 5.0% である。この化学組成を参考にして, SPI(ニューフジプロ SE) と食用油脂(サラダオイル)の配合割合を一定にして以下の方法で大豆たん白ゲルを調製した。SPI 54.3g, 食用油脂 37.2g, 蒸留水 208.5g またはそれらのものに凝固剤を加えたものをスピードカッター(松下電気機製, National, MK-K 3 型)を用いて 3 分間混練後脱気した。これらの混練物をチューブ(クレハフィルム, A08 型, 巾 4 cm)にケーシングしたのち, 80℃ で 60 min 加熱した。得られたゲルは流水冷却し, さらに 4℃ で 12 hr 放置した。

大豆たん白ゲルの硬さ及びゼリー強度の測定

冷蔵処理(4℃, 12 hr)をしたたん白ゲルは室温で 60 min コンディショニングを行なったのち, 直径 2.5 cm, 高さ 3 cm の円筒形に切断し, 飯尾⁴⁾の方法でネオカードメーター(飯尾電気機製, M-302 型)を用いてそのゲルの硬さ及びゼリーの強度をそれぞれ測定した。

とうふようの調製

とうふようの調製は既報²⁾に準じて行い, 豆腐の代わりに大豆たん白ゲルを使用した。

製品の官能検査

とうふようの官能検査は既報²⁾に準じて製品の物性と総合的な味について行った。

結果と考察

1. 大豆たん白ゲル調製条件の検討

とうふよう製造に用いるたん白ゲルは適当な物性を有することが重要である。そこで, ゲルの硬さとゼリー強度(破断力)を指標としてその調製法を検討した。

(1)大豆たん白ゲルの物性におよぼすゲル中水分含量の影響

たん白ゲル中の水分含量はゲルの物性と極めて密接な関係を有している。そこで, とうふよう製造に適したたん白ゲルを知るために, 種々の水分含量(65~75%)を有するゲルを調製し, その物性を調べた (Fig. 1)。

一般に水分含量が低いほど得られたゲルの硬さ及びゼリー強度は高い値を示す傾向が見られた。即ち, 水分含量が 75% の時のゲルの硬さは 3.5×10^4 dyne/cm², ゼリー強度は 2.6×10^5 dyne/cm², 70% のゲルの硬さは 14.5×10^4 dyne/cm², ゼリー強度は 16.4×10^5

dyne/cm², 65% のカードの硬さは 17.9×10^4 dyne/cm², ゼリー強度は 20.8×10^5 dyne/cm² であった。水分含量が 65% 以下のゲルでは SPI 量に対して油脂含量が相対的に高くなり, たん白質と油脂とが遊離し, 良好な物性が得られなかった。水分含量が 68~70% の範囲内で良好な物性を示した。その中でも, 硬さ及びゼリー強度のバランスがとれ, しかも作業がし易いという点を考慮にいれ, 水分含量を 69.5% に選定した(ゲルの硬さ: 15.8×10^4 dyne/cm², ゼリー強度: 17.3×10^5 dyne/cm²)。このように凝固剤を加えなくてもたん白ゲルは調製され得るが, それ以上の物性値を得るためには凝固剤を添加する必要がある。

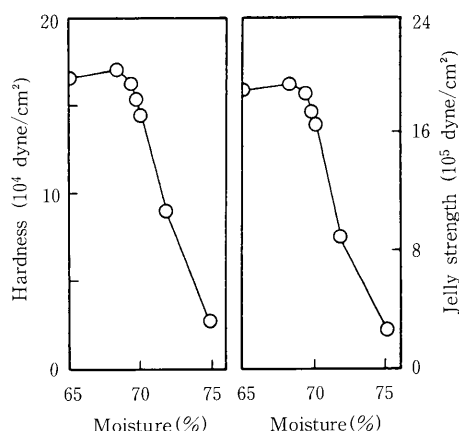


Fig. 1. Effect of moisture on hardness and jelly strength of soy protein gel.

(2)大豆たん白ゲルの物性におよぼす凝固剤の種類と添加量の影響

適当な物性を有するたん白ゲルを得るために, 種々の凝固剤を用いてたん白ゲルを調製し, その硬さとゼリー強度を調べた (Fig. 2)。各種凝固剤の添加量は SPI 100g に対する g 数で表示した。CaSO₄・2H₂O によるたん白ゲルの硬さはそれぞれの添加量に従って増大したが, 2.76g を越えるとはほぼ一定の値を示した。それに対してグルコノ-δ-ラクトン(GDL), CaCl₂・2H₂O, ニガリ, MgCl₂・6H₂O によるたん白ゲルの硬さは CaCl₂・2H₂O で 1.84g, GDL, ニガリ及び MgCl₂・6H₂O では 2.76g 以上の添加で急激に低下した。20~22×10⁴ dyne/cm² の硬さを有するたん白ゲルは GDL で 1.29g, CaSO₄・2H₂O で 1.38g, CaCl₂・2H₂O で 1.47g, ニガリで 1.29g, MgCl₂・6H₂O で 1.66g を添加し

た時に得られた。たん白ゲルのゼリー強度は、いずれの凝固剤においてもその添加量に依存して低下する傾向が見られた。即ち、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.92g, GDL 2.76g, ニガリ 0.92g, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1.84g を越えるといずれも急激なゼリー強度の低下が見られた。しかしながら、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 添加区では1.84g 以上でゲルのゼリー強度は低下するものの顕著な低下は見られず、しかも安定な値を示した。

各種のたん白ゲルの硬さ、ゼリー強度の安定性、及び両者のバランス並びにゲル調製上の取り扱い易さを考慮に入れ、凝固剤として $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を選択した。そこで、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の種々の添加量でゲルを調製したところ、1.38g の時に良好な物性のゲル（硬さ： 20.3×10^4 dyne/cm²、ゼリー強度： $17.5 \sim 10$ dyne/cm²）が得られた。従って以下の実験では凝固剤として $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を1.38g 用いることにした。

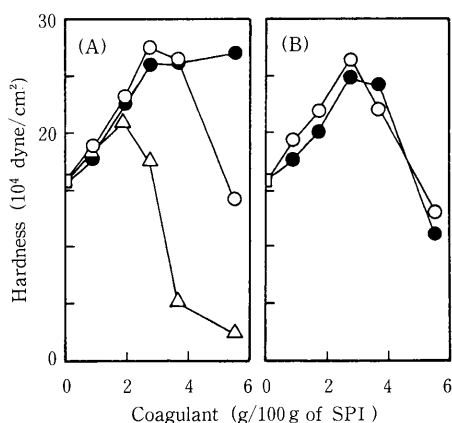


Fig. 2. Effect of varieties and quantities of coagulant on hardness of soy protein gel.

(A); ○ : Glucono- δ -lactone, ● : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
△ : $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
(B); ○ : Brine, ● : $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

(3)大豆たん白ゲルの物性におよぼす加熱温度の影響

適当な物性を有するたん白ゲルを得るための加熱温度の影響を調べ、その結果を Fig. 3 に示した。一般に加熱ゲルを形成させる場合に、ゲルの触感⁵⁾は70～90℃の間で著しい変化を示し、この間に急速なゲル形成の起こることが知られている⁵⁾。本実験においても同様のことが示された。供試ゲルの硬さは加熱温度の上昇に依存して増大し、80℃で最も高い値 (20.7×10^4 dyne/cm²) を示した。また、ゼリー強度も同様に加熱温度の上昇に伴い増大したが、80～90℃で最も高い値

(17.0×10^5 dyne/cm²) を示した。硬さとゼリー強度とのバランスを考慮に入れ、加熱温度は80℃が適当であった。

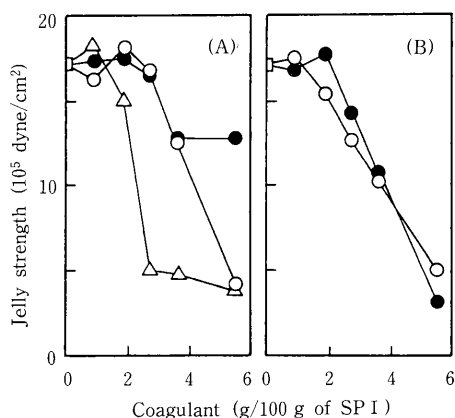


Fig. 3. Effect of varieties and quantities of coagulant on jelly strength of soy protein gel.

(A); ○ : Glucono- δ -lactone, ● : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
△ : $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
(B); ○ : Brine, ● : $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

(4)たん白ゲルの物性に及ぼす加熱時間の影響

適当な物性を有するたん白ゲルを得るための加熱時間の影響を調べ、その結果を Fig. 4 に示した。たん白ゲルの硬さは80℃で30～45 min 加熱することにより最大の値 (20.7×10^4 dyne/cm²) を示し、その後75 min まで一定の値を示した。たん白ゲルのゼリー強度は加熱60～90 min で一定の値 (17.8×10^5 dyne/cm²) を示した。従って、ゲルの加熱時間は実用的には、80℃、60 min でよいと判断された。

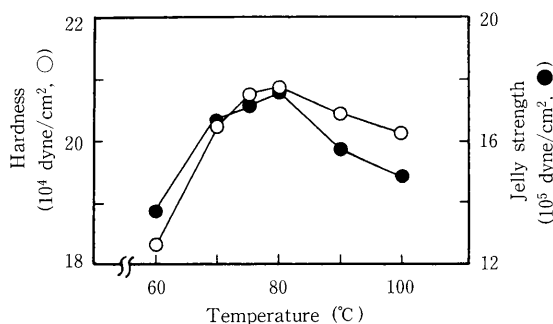


Fig. 4. Effect of heating temperature on hardness and jelly strength of soy protein gel.

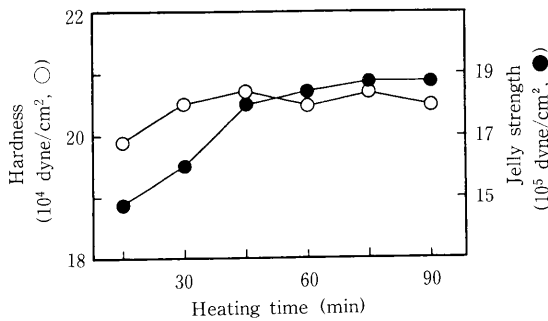


Fig. 5. Effect of heating time on hardness and jelly strength of soy protein gel.

2. 大豆たん白ゲルを用いたとうふようの製造試験

(1) とうふようの品質に及ぼす凝固剤の種類の影響

とうふよう製造に用いる原料豆腐の硬さは $20 \sim 30 \times 10^4$ dyne/cm 2 の範囲内でよいとされている²⁾。そこで、各種の凝固剤を用いて硬さが同程度 ($20 \sim 21 \times 10^4$ dyne/cm 2) のたん白ゲルを調製し、それを用いてとうふようの製造試験を行い、製品の物性を比較した (Table 1)。CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O による製品の硬さは 10.4×10^4 dyne/cm 2 で他の凝固剤によるそれは 9×10^4 dyne/cm 2 前後の値を示した。これらの製品の硬さはいずれももとのゲルの硬さに比べると1/2以下に減少した。また、GDL 及び CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O による製品のゼリー強度はそれぞれ 6.4×10^5 dyne/cm 2 及び 5.9×10^5 dyne/cm 2 で他の凝固剤による製品のそれに比べて高い値を示した。

Table 1. Effect of varieties of coagulant on hardness and jelly strength of tofuyo

Coagulants	Hardness (10^4 dyne/cm 2)		Jelly strength (10^5 dyne/cm 2)	
	SP-Gel*	Tofuyo	SP-Gel*	Tofuyo
CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O	20.3	10.4	18.5	5.9
CaCl $_2 \cdot 2$ H $_2$ O	21.0	9.4	17.5	5.4
MgCl $_2 \cdot 6$ H $_2$ O	20.5	8.5	16.5	4.6
GDL**	20.4	9.6	16.4	6.4
Brine	20.4	9.2	18.3	4.4

*SP-Gel: Soy protein gel

**GDL: Glucono- δ -lactone

各種製品の官能検査を行った結果、味の点ではとうふようにやや近いものが得られたものの、いずれの製品にも表面に亀裂が生じ、組織は荒く、なめらかさがなく、舌ざわりも良好ではなかった。これらの製品の

中では、CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O やニガリによるものは他の製品に比べて比較的良好な舌ざわりを有していた。

従って、良好な物性を有するたん白ゲルが良好な品質を得るとうふようの製造原料として必ずしも適切であるとは限らないことがわかった。そこで、良好な品質のとうふよう製造に適したたん白ゲルの調製条件をさらに詳しく検討する必要がある。

(2) とうふようの品質におよぼす硫酸カルシウムの影響

1 (2) と 2 (1) の結果から CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O を凝固剤として選択し、各種の添加量でたん白ゲルを調製し、それを用いてとうふようの製造試験を行った。製品の物性を比較した結果を Table 2 に示した。CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O の添加量を $0 \sim 1.84$ g まで用いたゲルによる製品の硬さは、もとのゲルのそれとは無関係にほぼ一定の値 ($10 \sim 11 \times 10^4$ dyne/cm 2) を示した。CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O を 2.76 g 以上使用した区における製品の硬さは 9.0×10^4 dyne/cm 2 以下の値を示した。CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O の添加量が増大するに従って製品の硬さと原料に用いたゲルの硬さとの比がより減少する傾向がみられた。官能検査の結果はいずれもとうふようにやや近い味を有することを示した。物性面でみると CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O の添加量が少ないゲルで調製した製品 ($0 \sim 1.84$ g) は表面に亀裂が生じ、組織が荒く、舌ざわりも良好ではなかった。しかし、その添加量が増大するにつれて製品の組織になめらかさが生じた。特に CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O を 3.68 g 添加した製品においては、表面に亀裂がほとんど生じず、組織がなめらかで且つ味も良好であった。

Table 2. Effect of quantities of calcium sulfate on hardness and jelly strength of tofuyo

CaSO $_4 \cdot 2$ H $_2$ O (g/100 g SPI*)	Hardness (10^4 dyne/cm 2)		Jelly strength (10^5 dyne/cm 2)	
	SP-Gel**	Tofuyo	SP-Gel**	Tofuyo
0	15.8	10.5	17.5	5.4
0.47	16.5	11.6	17.5	5.2
0.92	17.8	10.8	17.7	5.5
1.38	20.3	10.4	17.5	5.9
1.84	23.0	9.9	16.5	5.6
2.76	26.0	8.9	14.1	5.7
3.68	26.0	8.4	12.9	4.0

*SPI: Soy protein isolate

**SP-Gel: Soy protein gel

このことから、とうふようらしいなめらかな物性を有する製品の製造条件として、たん白ゲルに適当量の

Ca²⁺ の存在が必要であることが判明した。このたん白ゲル中の Ca の存在形態及びその意義は不明瞭であるが、恐らくたん白質分子間に Ca 橋が生成されたものと思われる。このゲルは熟成過程で麴に由来する諸味のプロテアーゼ作用を受けるが、その間に Ca²⁺ がなんらかの良好な影響を与え、製品のなめらかな物性形成に寄与したものと考えられる。とうふようの熟成における Ca²⁺ の役割については今後の検討課題である。

今後、SPI を用いたとうふようの熟成機構及びその食品化学的特性を明らかにし、さらに従来法によるとうふようのそれとの比較検討を行いたい。

文 献

1) 安田正昭, 上地玄作, 宮里興信(1983): 豆腐よう

製造に用いる紅麴の製造, 日本食品工業学会誌, **30**, 63-67.

2) 安田正昭, 外間郁男(1984): 豆腐よう製造に用いる原料豆腐の製造, 日本食品工業学会誌, **31**, 19-23.

3) 安田正昭(1985): 豆腐よう—豆腐のチーズ様醗酵食品, 化学と生物, **23**, 629-631.

4) 飯尾尚子(1969): 調理科学研究計器について(I)—カードメーターによる測定記録曲線の解析—, 調理科学, **2**, 54-60.

5) 山内文男(1981): 大豆たん白質の加熱による変化, *New Food Industry*, **23** (4), 27-42.