大豆タンパク質-油-水系のゲル形成に対する 塩化ナトリウムの影響

山野善正*・森忠義彦*・三木英三*

Effect of Sodium Chloride on Gel Formation of Soybean Protein Containing Palm Oil

Yoshimasa YAMANO*, Yoshihiko MORITADA* and Eizo MIKI*

* Department of Food Science, Kagawa University, Ikenobe, Miki-cho, Kagawa, 761-07

Effect of sodium chloride (NaCl) on the gel formation of soybean protein to which powdered palm oil was added has been investigated. Hardness of the gels decreased remarkably with the increase of NaCl content, but palm oil powder depressed the decrease. Larger the oil content, higher water holding capacity (WHC) was, but the change in WHC of the gels containing various amounts of NaCl was different depending on the oil content. The viscosity of each soybean milk was increased by heating at 50°C and after a period reached to a maximum and then decreased, although the maximum viscosity and the time reached to the maximum was different depending on NaCl and oil contents. For the milk to which relatively small amount of oil (5%) was added, the time to reach the maximum viscosity was shortest in the sample containing 0.25% NaCl. The experiment on nitrogen solubility index for the protein of soybean milk without addition of the palm oil revealed that the protein solubility was markedly influenced by NaCl content and heating period.

(Received Jan. 28, 1983)

一般に、高分子電解質の水溶液に低分子電解質を加えると、電気化学的な作用により粘性が変化するのは周知の事実であり、これは高次構造の変化の結果であるといえる。両性電解質である大豆タンパク質の水溶液に電解質を添加すると粘性が変化し、ゲルを形成する際にもゲル構造の形成に影響を与えると考えられる。分離大豆グロブリンの水への溶解性に対する若干の電解質の影響についての実験¹⁾はあるが、豆乳の物性及び大豆タンパク質のゲル形成に対する電解質の影響についての報告はみられない。粉末パーム油を添加した大豆タンパク質ゲルのテクスチャー及びその形成^{2)~4)}や、その ESR による微細構造の検討結果⁵⁾についてはすでに報告したが、油脂を添加した場合のゲル形成に及ぼす電解質の影響は興味ある問題であり、本報では塩化ナトリウムを添加した場合のゲル形成についての実験結果を報告する。

実験方法

1. 試料

大豆は、米国オハイオ産のもので、その組成は前報²⁾のものと同一である。添加油脂も前報²⁾と同じパーム油を70%含む粉末油脂で、凝固剤はグルコノデルタラクトン(GDL)、消泡剤はシリコン油を使用した。塩化ナトリウム(以下、NaCl)は半井化学薬品(株)製特級試薬を用いた。

脱脂大豆は、丸大豆を粉碎機により30メッシュ以下に粉碎し、*n*-ヘキサンで常温で反復抽出し、減圧乾燥して調製した。この試料の組成は、水分(常圧乾燥法)10.7%、粗タンパク質(ケルダール法)44.9%、粗脂肪(ソックスレー法)0.6%であった。

2. 豆乳及びゲルの調製

油脂添加豆乳及びゲルは前報²⁾の方法によった。すな

* 香川大学農学部食品学科(〒761-07 香川県木田郡三木町池戸)

わち、水浸漬大豆に元の大豆重量に対して6倍になるように加水し、家庭用ミキサーで磨砕後、消泡剤を加え、95°Cに加熱後ナイロン布で搾取して豆乳を得た。これを適量ずつビーカーに分注し、粉末油脂及びNaClを加えマグネチックスターラーでよく攪拌溶解した。脱脂大豆の場合は、タンパク質含量(5.9%)が丸大豆の場合と同じになるように加水量を調整した。粘度測定には、これらの豆乳を供試し、ゲル調製の場合は、この豆乳にGDL 0.5%を加え85°Cで40分間加熱後、生成したゲルを流水中にさらした。

3. 硬さと保水力の測定

ゲルの硬さは、厚さ10 mmの試料についてレオメーター(富士理化製)により、直径8 mmのアルミ合金製円板プランジャーを用い、突き刺し速度10 mm/min、チャートスピード6 cm/min、感度500 mVの条件で測定し、結果を対照試料を1とした場合の比として示した。

保水力は、前報³⁾と同様、ゲルをプロペラ攪拌機で軽くつぶした後、約50 g精秤し、遠沈管に入れ遠心分離(日立18 PR, 3000 rpm, 20分)し分離水量を測定した。一方、ゲル中の水分量を電気乾燥器により測定し、0%粉末油脂添加ゲルの水分量を対照として保水力(%)を計算した。

4. 粘度の測定

加熱によるゲル形成のモデル実験として前報²⁾と同様、50°Cでの加熱中の粘度変化を測定した。すなわち、豆乳200 mlを300 mlビーカーに取り、BH型粘度計(東京計器製)を用いて、ローターNo.2, 20 rpmの条件で経時的に測定した。

5. NSI (Nitrogen solubility index)^{6)~8)}

大豆タンパク質の溶解性の相違を見る一つの指標として、NSIを以下のようにして測定した。豆乳50 mlを50°Cで10分間加熱した後、GDL 0.5%を添加し、攪拌機で攪拌しながらさらに30秒間50°Cで加熱を続けた。加熱後、水50 mlと加熱中に蒸発した水分量に相当する水を加え5分間攪拌した。続いて、この液を遠沈管に移し遠心分離(2°C, 6000 rpm, 20分間)をした後、上澄液をデカントして濾過、濾液を5倍希釈しケルダール分析に供した。一方、豆乳も同様に10倍希釈後ケルダール分析を行ない、豆乳中の窒素を定量した。NSIはこのようにして求めた、豆乳の窒素に対するサンプルの窒素量の割合に100を乗じて%で表した。

結果及び考察

1. ゲルの硬さに及ぼすNaClの影響

粉末油脂0, 5, 10%添加丸大豆ゲルに対して、NaClを0.5, 1.0, 1.5%加えた試料の硬さの変化を、NaCl無添加の試料の硬さに対する比で表わしたのがFig. 1である。ゲルの硬さは、NaClの添加量とともに大きく低下している。NaClがタンパク質分子と静電的に作用してタンパク質分子の立体構造を変化させ、タンパク質間の結合を弱め、巨視的な硬さを低下させたと考えられる。また、油脂の添加量が多いほど硬さの低下の程度が小さいが、これはすでに報告した油脂そのものがゲルを硬くするという結果²⁾、または、油脂がNaClのタンパク質分子への作用を抑制するという効果によるものと考えられる。

添加油脂5%の場合の脱脂大豆ゲルへのNaClの効果を図2に示した。NaClの効果は、脱脂大豆ゲルでも丸大豆ゲルの場合(Fig. 1)と同じであることがわかる。

Fig. 1 Effect of sodium chloride on hardness of whole soybean protein gels containing 0 (○), 5 (◐) and 10 (●) % powdered palm oil

Fig. 2 Effect of sodium chloride on hardness of whole (○) and defatted (●) soy protein gels containing 5% palm oil powder

Fig. 3 Effect of sodium chloride on water holding capacity of whole soybean protein gels containing 0 (○), 5 (◐) and 10 (●) % palm oil powder

2. ゲルの保水力に及ぼす NaCl の影響

1と同じ油脂と NaCl の添加量での丸大豆ゲルの保水力の変化は、Fig. 3 のとおりである。油脂量が低い (0 及び 5%) と、NaCl が 0.3% 付近に極小値を示した後、NaCl 添加量の増大とともに再び保水力は増大する。油脂が 10% になると極小値をほとんど示さない。これだけの結果では充分な考察はできないが、NaCl のある添加量のところにゲルの物性の変曲点が存在することが推定される。

3. 加熱中の豆乳の粘度に及ぼす NaCl の影響

NaCl を 0, 0.5, 1.0% 添加した丸大豆及び脱脂大豆豆乳の 50°C における加熱中の粘度の経時変化を、油脂無添加と油脂 10% 添加の場合について Fig. 4 及び Fig. 5 にそれぞれ示した。総じて、丸大豆豆乳の粘度が脱脂大豆豆乳の粘度より大きい。Fig. 4 によると、油脂無添加の豆乳では丸大豆及び脱脂大豆のどちらの場合も最高粘度は NaCl 添加量が増加すると減少するが、NaCl 0.5% の試料が最も早く最高粘度に達した。この点を詳しく調べるために、NaCl 添加量 0, 0.1, 0.2, 0.25, 0.3, 0.5% 添加丸大豆豆乳に、油脂無添加 (Fig. 6) 及び油脂 10% 添加 (Fig. 7) した場合の粘度変化をみた。また、NaCl 添加量と最高粘度に達する時間との関係を Fig. 8 に示した。これらの結果によると、最高粘度は油脂の添加、無添加にかかわらず NaCl 添加量とともに減少したが、油脂無添加では NaCl 添加量 0.1~0.25% の試料が、また、油脂 10% 添加では NaCl 0.25% の試料が最も早く最高粘度に達した。

これらの結果から、油脂の添加、無添加にかかわらず、NaCl がタンパク分子の変性に与える影響に量的関係が存在することが推定されるが、油脂無添加豆乳において NaCl 添加量が 0.25% のときの最高粘度を示した

Fig. 4 Viscosity changes of whole (○, ◐, ●) and defatted (△, ◐, ▲) soybean milk containing sodium chloride (○, △: 0, ◐, ▲: 0.5, ●, ▲: 1.0%) during heating at 50°C

Viscosity was measured with Brookfield viscometer (BH type, Tokyo Keiki Co., Ltd, Tokyo)

Fig. 5 Viscosity changes of whole (○, ◐, ●) and defatted (△, ◐, ▲) soybean milk containing sodium chloride (○, △: 0, ◐, ▲: 0.5, ●, ▲: 1.0%) during heating with palm oil powder (10%)

Fig. 6 Viscosity changes of whole soybean milk containing sodium chloride (—: 0, -○-: 0.1, -○-: 0.2, -○-: 0.25, —●-: 0.3, ---: 0.5%) during heating

Fig. 7 Viscosity changes of whole soybean milk containing sodium chloride (0-0.5%) and palm oil powder (10%) during heating

The symbols are the same in Fig. 6.

時間である8分, 及び, 試料の粘度が低下した時間20分について, タンパク質の変性度の一つの指標である⁶⁾ NSI と NaCl 濃度との関係を Fig. 9 に示した。加熱時間20分では, NSI は NaCl 添加量による影響をほとんど受けていないが, 加熱時間8分では NaCl 添加量によって大きく変化し, NaCl 0.2~0.25%付近で最小値を示

Fig. 8 Relationship between heating time which soybean milk containing palm oil (○: 0, ●: 10%) reached maximum viscosity and sodium chloride content

Fig. 9 Relationship between nitrogen solubility index (NSI) of whole soybean milk and sodium chloride content for two heating periods (○: 8, ●: 20 minutes)

した。この結果から, 大豆タンパク質分子の加熱による構造変化の速さが NaCl 添加量によって異なり, 構造変化を最も速く進める NaCl 添加量が存在することがわかる。加熱時間20分では NaCl 添加の影響を受けていないことから, 豆腐のように高温で長時間 (たとえば 85°C : 40分) 加熱して調製するゲルの場合のタンパク質の変性の速度には, NaCl 添加量は影響を及ぼさないとみなせる。

保水力、硬さ及び粘度の測定結果を考え合わせると、NaClは油脂の有無にかかわらずゲル形成過程に微妙な影響を与えるが、総じて、油脂の添加はNaClのタンパク質分子間の結合生成抑制の効果を抑え、結果としてより緻密なゲルを形成すると結論される。

要 約

粉末パーム油を添加した大豆タンパク質のゲル形成に対する塩化ナトリウム (NaCl) の影響をみたところ、次の結果を得た。

(1) ゲルの硬さはNaCl添加量の増大とともに大きく低下した。その低下の程度は油脂の添加量が多いほど小さかった。

(2) ゲルの保水力は、油脂量が少ない場合NaCl添加量の増大とともに最初減少し、0.3%付近に極小値を示した後再び増大するが、油脂量が10%の場合にはこの極小値を示さない。

(3) 豆乳を50°Cで加熱した場合の粘度は経時的にはじめ増大し、後低下する。最高粘度はNaCl添加量とともに減少したが、NaCl 0.25%の試料が最も速く最高粘度に達した。豆乳の粘度変化とゲルの保水力の変化から、ゲルの物性の変化に及ぼす影響に対しNaClとタンパク質の間に等量関係の存在が推定された。また、加熱

時間8分では、NSIはNaCl添加量によって大きく変化する、0.2%付近で最小値を示した。より長時間の加熱(20分)の場合、NSIの値はNaCl添加の影響を受けなかった。

以上の結果から、NaClは大豆タンパク質の変性に大きく影響を与え、ゲルのテクスチャーを変化させるが、添加した油脂がこの変化を抑制する作用をもつことが推定される。

文 献

- 1) MEGEN, W. H. van: *J. Agric. Food Chem.*, **22**, 126 (1974).
- 2) 山野善正・三木英三・福井義明: 日食工誌, **28**, 131 (1981).
- 3) 山野善正・三木英三・福井義明: 日食工誌, **28**, 136 (1981).
- 4) 山野善正・坂本幸二・園部順子・三木英三: 日食工誌, **28**, 650 (1981).
- 5) 山野善正・坂本幸二・向井和男: 日食工誌, **30**, 48 (1983).
- 6) 渡辺篤二・海老沢英雄・太田輝夫: 大豆食品 (光琳書院, 東京) p. 21 (1971).
- 7) AOCS. Official Method, Ac-4-41 (1965).
- 8) 林 淳三・菅原龍幸編: 食品鑑別・検査法ハンドブック (建帛社・東京) p. 90 (1979).

(昭和58年1月28日受理)