

# コンピューター・オンライン粘度計 による大豆たん白質-脂質-水分散系 の流動挙動の解析

MEASUREMENT OF FLOW PROPERTIES OF SOYBEAN  
PROTEIN-LIPID-WATER SUSPENSION SYSTEMS WITH A  
COMPUTER-ONLINE VISCOMETER

山内文男・三浦 靖 (東北大学農学部)

Fumio YAMAUCHI and Makoto MIURA

Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai 980

## ABSTRACT

The flow properties of soybean protein-lipid-water suspension systems and coagulated gels were related to a protein-lipid interaction. For powdered soybean lecithin-added soybean protein suspension systems and their heat-induced gels, the yield stress ( $\sigma_y$ ) and the consistency index (K) increased with increasing amounts of added lipid, but the flow behavior index (n) and the thixotropy index (TI) decreased. On the other hand, there were only small changes in the magnitudes of the thixotropic parameters and the viscometric parameters ( $\sigma_y$ , K and n) after adding soybean oil at various concentrations to soybean protein dispersions. These facts suggested that the formation of a protein-phospholipid complex increased the effective particle size, and that the intermolecular entanglements and linkages among the protein molecules or among the protein-phospholipid complexes were weakened by the addition of polar lipids. The thixotropy index defined in this study is available for characterizing the stress decay, that occurs within soybean protein dispersions and heat-induced gels as they are sheared.

食品は通常多成分の不均一混合系であるが、特にたん白質含量の高い食品において、たん白質は油脂、炭水化物やその他の成分と相互作用しつつ食品の物理化学的特性に影響を及ぼしている。このたん白質の機能特性を研究するためには、その物理化学的性質や機能特性発現に関与する物質との相互作用を検討する必要がある。

大豆たん白質の加熱ゲル化に及ぼす脂質の影響は多くの研究者によってなされてきた<sup>1-3)</sup>。しかし、ゲル構造やそのレオロジー特性に関する報告は数少ないのが現状である。ところで、粘度はたん白質の機能特性や物理化学的性質に関する情報を得るための実測可能な特性値である。まだゲル化はたん白質の変性過程を物理的に表すものであり、それはたん白質自身の性質や

量、調製条件、pH、イオンの環境、添加物の有無などに大きく依存している。そこで著者らはたん白質-脂質相互作用に注目し、大豆たん白質-脂質-水分散系のビスコメトリー<sup>4-5)</sup>および大豆たん白質-脂質-水系ゲルのレオメトリー<sup>6)</sup>を行ってきた。今回は分散系およびその加熱ゲルのビスコメトリーの結果について報告する。

## 実験方法

試料たん白質として市販の粒状分離大豆たん白質(ニューフジプロR)、添加脂質として市販の大豆油、大豆レシチン(半井化学)および高純度粉末レシチン(SLP-ホワイト)を用いた。たん白質は減圧下で標準緩衝液(イオン強度 $\mu=0.1$ , 2.6mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 32.5

mM  $K_2HPO_4$ , 4mM  $NaN_3$ , pH7.8) に懸濁して気泡の混入を防いだ。ついで大豆油、大豆レシチンあるいは粉末レシチンを種々の濃度で添加した。たん白質濃度は12% (wt/vol), 添加脂質の濃度は 0, 0.5, 1, 2, 4, 6 % (wt/vol) であった。

測定には岩本製作所(株)製 Autoviscometer L 型を用い、パーソナルコンピュータにより温度、せん断速度を制御するとともに測定データの演算処理、記録を行った (Fig.1)<sup>7)</sup>。

加熱・冷却処理前の分散系の流動特性は cyclic shearing test で測定した。すなわち400rpm, 30分間の激しい攪拌により系内の構造を完全に破壊した後, 30分間の静置時間においてエージング (aging) を行った。その後20°Cにおいてせん断速度を30から150rpmに10分間で上昇させ再び下降させた。また, 生成した加熱ゲルについても同様の試験を行った。

加熱・冷却中 (20 → 90 → 20°C,  $\pm 70^\circ\text{C}/1\text{hr}$ ) の構造形成は定常せん断変形下 (50rpm) における粘度変化としてとらえる cyclic temperature test を行った。

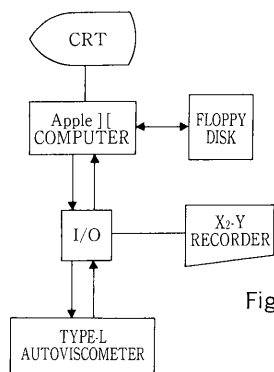


Fig. 1 Block diagram of the autoviscometer-interface-computer system.

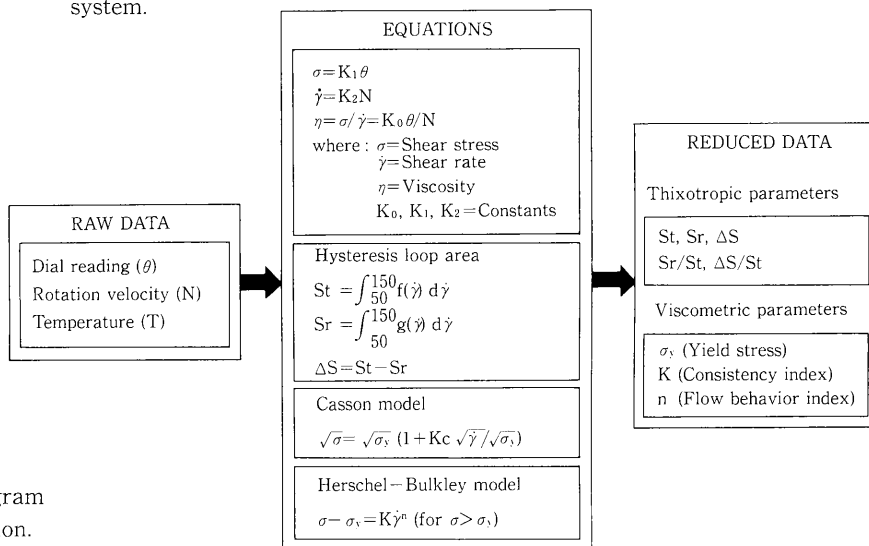


Fig. 2 Schematic diagram of data reduction.

流動挙動を評価するパラメーターとして Fig. 2 に示したように Casson 流動モデルから準構造の形成度合いを表す降伏応力 ( $\sigma_y$ ) を, Herschel-Bulkley 流動モデルから流体の粘度を示す粘稠性定数 (K), 流体の凝集構造の強弱を示す流動性指数 (n) を算出した。また, 分散系のチキソトロピー性を評価するためにチキソトロピー特性値 (TI, Fig. 2 の  $\Delta S/St$  のこと) を新しく定義した<sup>8)</sup>。

## 結果および考察

加熱・冷却処理前の分散系はいずれもせん断速度の上昇にともない見かけの粘度が低下し, 再びせん断速度が下降すると粘度が上昇するというチキソトロピックな流動挙動を示した。大豆油添加系においてはチキソトロピー特性値 (TI), 粘稠性定数 (K), 流動性指数 (n), 降伏応力 ( $\sigma_y$ ) とほぼ一定の値を示したのに対し, 粉末レシチン添加系では TI と n が減少し,  $\sigma_y$  と K が増加して系が粘稠になるとともに凝集構造が弱体化することを示した (Table 1)。大豆レシチン添加系における各パラメーターの変化は粉末レシチン添加系と同様の傾向を示したが変化量は小さかった。

20°C から 70°C 付近までの加熱過程では粘度がゆるやかに減少し, 温度流動化 (temperature-thinning) とともにたん白質マトリックス構造にブレイクダウン (breakdown) が起きたことを示唆した (Fig. 3)。70°C から 80°C 付近までは粘度が増加し, たん白質分子が加熱変性によりアンホールド (unfold) し, 凝集体形成が起きたことが考えられた。加熱過程終期では粘度が低下し, 構造のブレイクダウンが構造体形成よりも優勢になったことを示唆していた。しかもこの粘度低下は

Table 1. Thixotropy indices and viscometric parameters of protein–lipid–water suspending systems

| Level of lipid addition (%) | TI    | $\sigma_y$ (Pa) | K (Pa·s <sup>n</sup> ) | n    |
|-----------------------------|-------|-----------------|------------------------|------|
| Without                     | 0.087 | 8.93            | 3.48                   | 0.59 |
| Soybean oil                 |       |                 |                        |      |
| 0.5                         | 0.081 | 6.26            | 2.36                   | 0.63 |
| 1.0                         | 0.093 | 8.30            | 3.23                   | 0.58 |
| 2.0                         | 0.077 | 7.36            | 2.71                   | 0.60 |
| 4.0                         | 0.079 | 6.97            | 2.59                   | 0.63 |
| 6.0                         | 0.067 | 8.26            | 3.01                   | 0.59 |
| Powdered lecithin           | 1     |                 |                        |      |
| 0.5                         | 0.111 | 10.68           | 3.76                   | 0.57 |
| 1.0                         | 0.087 | 18.04           | 6.88                   | 0.52 |
| 2.0                         | 0.091 | 30.30           | 12.43                  | 0.42 |
| 4.0                         | 0.043 | 69.70           | 32.71                  | 0.33 |
| 6.0                         | 0.058 | 96.49           | 46.24                  | 0.32 |
| Commercial lecithin         |       |                 |                        |      |
| 0.5                         | 0.083 | 13.14           | 4.91                   | 0.54 |
| 1.0                         | 0.063 | 16.58           | 6.37                   | 0.48 |
| 2.0                         | 0.059 | 30.85           | 12.86                  | 0.41 |
| 4.0                         | 0.051 | 56.58           | 25.52                  | 0.35 |
| 6.0                         | 0.049 | 78.93           | 37.55                  | 0.32 |

For the thixotropy index and the viscometric parameters, see Fig. 2.

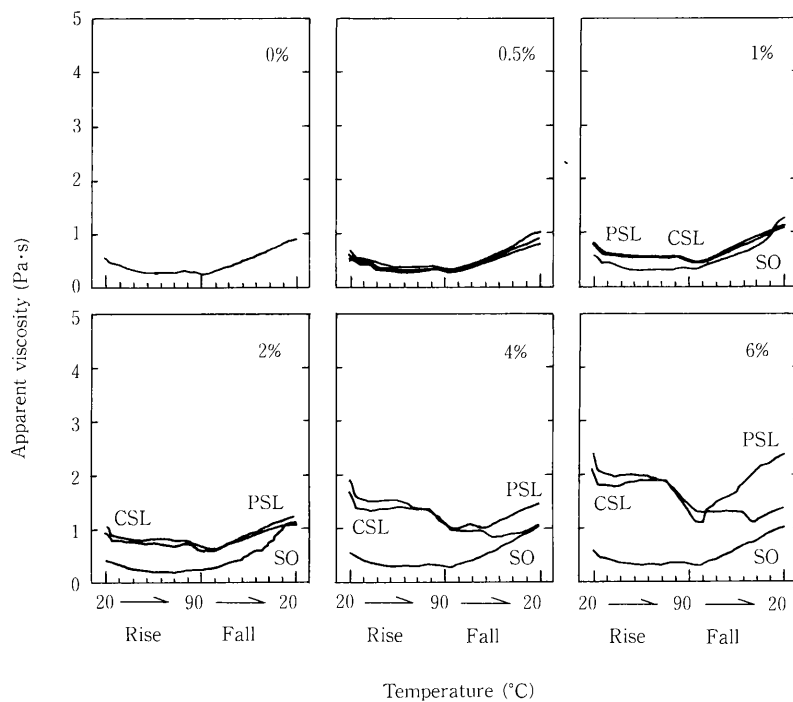


Fig. 3 Apparent viscosity of protein-lipid-water suspending systems. SO, soybean oil ; PSL, powdered soybean lecithin ; CSL, commercial soybean lecithin.

Table 2. Thixotropy indices and viscometric parameters of lipid-added gels

| Level of lipid addition (%) | TI    | $\sigma_y$ (Pa) | K (Pa·s <sup>n</sup> ) | n    |
|-----------------------------|-------|-----------------|------------------------|------|
| Without Soybean oil         | 0.108 | 29.27           | 12.43                  | 0.40 |
| 0.5                         | 0.081 | 29.70           | 12.87                  | 0.39 |
| 1.0                         | 0.072 | 28.05           | 11.62                  | 0.37 |
| 2.0                         | 0.068 | 29.68           | 12.46                  | 0.41 |
| 4.0                         | 0.081 | 29.64           | 12.67                  | 0.39 |
| 6.0                         | 0.090 | 31.53           | 13.85                  | 0.37 |
| Powdered lecithin           |       |                 |                        |      |
| 0.5                         | 0.101 | 29.58           | 12.78                  | 0.39 |
| 1.0                         | 0.091 | 37.11           | 15.74                  | 0.40 |
| 2.0                         | 0.090 | 43.47           | 19.66                  | 0.35 |
| 4.0                         | 0.062 | 73.44           | 33.59                  | 0.34 |
| 6.0                         | 0.052 | 119.47          | 55.49                  | 0.33 |
| Commercial lecithin         |       |                 |                        |      |
| 0.5                         | 0.091 | 34.49           | 14.27                  | 0.39 |
| 1.0                         | 0.074 | 36.83           | 16.83                  | 0.35 |
| 2.0                         | 0.074 | 40.50           | 18.41                  | 0.35 |
| 4.0                         | 0.042 | 51.97           | 23.87                  | 0.34 |
| 6.0                         | 0.027 | 81.60           | 38.84                  | 0.32 |

リン脂質添加によって顕著になったことからリン脂質の界面活性作用によってマトリックス構造のブレークダウンが促進されることが考えられた。冷却過程では粘度が上昇し、系内に準構造が形成され、加熱ゲル化が起きたことを示した。一方、大豆油添加は粘度曲線の形状には影響を及ぼさなかった。

加熱・冷却処理により生成したゲルは分散系と同様にチキソトロピーを示した。大豆油添加系では各パラメーターとも目立った変化がなく流動特性が影響されないことを示したのに対し、粉末レシチン添加系ではTIが著しく減少し、 $\sigma_y$ とKが増大し、nがわずかに減少して系が流動しにくくなるが凝集構造が弱体化することが考えられた(Table 2)。大豆レシチン添加系も粉末レシチン添加系と同様の变化を示したが、その変化の度合いは小さかった。

以上の結果から、大豆たん白質-リン脂質複合体の形成が分散質の有効体積を増大させるとともに、リン脂質添加によってたん白質分子間あるいはたん白質-リン脂質複合体間の分子間からみ合いと架橋が弱体化されることが考えられた。

## 文 献

- 1) Catsimpoolas, N. and Meyer, E.W. (1971): Gelation phenomena of soybean globulins. III. Protein-lipid interactions. *Cereal Chem.*, **48**, 159-167.
- 2) 山野善正, 三木英三, 福井義明(1981): 大豆タンパク質-油-水系ゲルのテクスチャーとゲル形成. 日本食品工業学会誌, **28**, 131-135.
- 3) Shimada, K. and Matsushita, S. (1981): Effects of oil on thermal gelation of soybean protein. *Agric. Biol. Chem.*, **45**, 2877-2881.
- 4) 三浦靖, 山内文男(1983): 大豆タンパク質分散系の流動特性に及ぼす脂質添加の影響. 日本農芸化学会昭和58年度大会講演要旨集, p. 567.
- 5) 三浦靖, 山内文男(1983): 大豆タンパク質-脂質加熱ゲルのレオロジー特性. 日本食品工業学会第30回大会講演集, p. 45.
- 6) 三浦靖, 山内文男(1983): 大豆タンパク質加熱ゲルのテクスチャーに及ぼす脂質添加の影響. 日本家政学会東北・北海道支部第28回総会研究発表要旨集, p. 1.
- 7) 梅屋潤一郎, 山内文男, 柴崎一雄(1979): 大豆蛋白質-水懸濁系硬軟化特性測定法. 日本食品工業学会誌, **27**, 459-463.
- 8) Miura, M. and Yamauchi, F. (1983): Effects of lipids on the rheological properties of aqueous soybean protein dispersions. *Agric. Biol. Chem.*, **47**, in press.