粉末パーム油添加大豆蛋白質ゲルのテクスチャー への油脂融点の影響

山野善正*・田村成正*・三木英三*

Effect of Melting Point of Palm Oil on the Texture of Soybean Protein Gel

Yoshimasa YAMANO*, Shigemasa TAMURA* and Eizo MIKI*

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

The effects of melting point of palm oil on the gel formation from the soybean protein and on the texture of the gel were investigated. Hardness of the gels containing high melting point palm oils (33° and 40°C) increased with an increase of the oil content, but that of the gel containing low melting point oil (21°C) decreased with the oil content. Water holding capacity of all gels increased linearly proportional to oil content and the larger increasing ratio was observed for the gels containing higher melting point oil. Gelling rates of all gels decreased with an increase of the oil content, but the difference in the rate was not clear among the gels. Larger the oil content, the increasing rate of viscosity of each soy milk during heating at 50°C was lower, but its maximum viscosity value was larger. There was no difference among the maximum viscosity values of the soy milks concerning melting point of oils. Almost all oils were incorporated into gels up to the content of 15%. The electron microscopic observation revealed that oil seems to bind with protein weakly or to float in the network of protein as oil droplets of 7 to 10 μm in diameter, and that the oil droplets of the samples containing higher melting point oils appear to be smaller than those of the samples containing lower melting point oils.

(Received June. 9, 1986)

大豆蛋白質-油-水系ゲルのテクスチャーとゲル形成については、すでに報告しており¹⁾、その研究に用いた粉末パーム油を添加することにより、ゲルの硬さは、油脂添加量に対し、ほぼ直線的に増大することを示した。用いた油脂の融点は、約33°Cであり、油脂添加によるゲルの硬さの増大は、油脂の粉末化による良好な乳化に基づくことが考えられたが、油脂の重要な物性である融点が大きく変わると、ゲルのテクスチャーも変化することが予想される。そこで、本研究では、油脂の重要な物性である融点、この複雑な系においてどのような効果を及ぼすか、特にテクスチャーの面からそれを検討し、更に油脂融点の相違によるゲルのテクスチャーの自由な調整の可能性をみるために融点の異なる3種類のパーム油

を粉末化したものを添加したゲルを調製して、そのテクスチャーとゲルの形成について検討したので、その結果を報告する。

実験方法

1. 試料

大豆は、前報¹⁾と同じく米国オハイオ産のものを用いた。粉末油脂は、前報¹⁾と同じく70%のパーム油を含んでいるが、21°, 33°, 40°C（融点の測定は、DSC法による）の融点をもつものを使用した。

2. ゲルの調製と硬さ、保水力の測定

ゲルの調製は、前報¹⁾の通り、絹ごし豆腐の製造法に準じ、凝固剤としてグルコノデルタラクトン（藤沢薬品

* 香川大学農学部生物資源科学科（〒761-07 香川県木田郡三木町池戸2393）

工業(株))を0.5%添加し、加熱温度及び時間は85℃、40分とした。

硬さも前報¹⁾と同じく、富士理科工業製レオメーター(R-UDA)により25℃に保った試料を厚さ10mmに切った試料につき直ちに測定した。保水力は、前報と同じくSAIOら³⁾の方法に準じ、遠心分離(日立18PR, 3000rpm, 20分)による分離水量の測定によった。本来、試料の複雑な構成からくる測定誤差を補償するために、各実験は数回繰り返し平均値をとった。

3. 凝固率と粘度変化の測定

凝固速度を比較するために、豆乳を85℃で加熱凝固させながら、上述の方法(レオメーター法)により硬さの変化を測定し、最終の硬さに対する比を求め、凝固率とした¹⁾。

既報¹⁾でも示したように、ゲル形成に関与するタンパク質のネットワーク形成による粘度変化をみるために、加熱によりすぐゲルを形成する温度(85℃)ではなく、徐々にタンパク質の構造変化を起すと考えられる50℃における豆乳の粘度変化を経時的にBH型粘度計(東京計器(株))を用いて測定した。

4. 油脂取り込み量の測定

ゲルを乾燥させ、粉砕後、石油エーテルによるソックスレー抽出法により油脂量を測定し、添加油脂量に対する割合を求め、ゲル中への油脂の取り込み率とした²⁾。

5. ゲルの微細構造の観察

GILLらの臨界点乾燥法^{4)~6)}に準じた。すなわち、約2mm²角の大きさに細断したゲルをグルタルアルデヒド固定液に浸して2時間前固定し、次に、リン酸緩衝液(pH7.2)中で洗浄した。この試料を1%オスミウム酸固定液により後固定し、50, 70, 90, 95, 100%のアセトンにより脱水を行ない、臨界点乾燥した。この乾燥試料を割断し金蒸着して、切断面及び割断面を明石製作所製の走査型電子顕微鏡MSM-4Sにより加速電圧10kVで観察した。

結果及び考察

1. テクスチャーの変化

粉末油脂添加量に対する硬さの変化(油脂無添加試料の硬さを1とする)への油脂融点の影響をFig. 1に示した。これによると、どの試料も油脂添加量に対してほぼ直線的に変化し、融点40℃及び33℃の試料では硬さは、油脂添加量とともに増大、また21℃の試料では低下した。融点が21℃と33℃の間に、この硬さの増大と低下の傾向の境界が存在するものと推定される。また、

この21℃の試料の結果は、常温で液体の油脂の添加はゲルの硬さを低下させるという植物油脂での結果⁷⁾と同じである。ゲル中では、油脂は一種の乳化状態にあると考えられるが、油脂の融点の高い試料では、高融点の原因となる脂肪酸の不飽和部分の少ない(脂肪酸部分の疎水性が高い)ことが、エマルションとしての油滴中での

Fig. 1 Effect of melting point of palm oil on the hardness of soybean protein gel
(○: 21°, ●: 33°, △: 40°C)

Fig. 2 Effect of melting point of palm oil on the water holding capacity of soybean protein gel

The symbols are the same as in Fig. 1.

油分子の配列の上で、その構造を硬くしているか、あるいは、油の粒子の、全体として単に固体的か液体的かという物理的な硬さが、全体としての硬さに直接影響していると推察される。

同じく、保水力の変化を Fig. 2 に示した。保水力は、油脂量とともに、ほぼ直線的に増大するが融点の高いも

のほど、その増大率は高い。この結果、油脂は保水力を増大させるという以前に得られた結果²⁾と同じで、やはり添加量の増加によって硬さを増大させる、あるいは、低下させるという油脂の種類にかかわらず、油脂の添加は、ゲルの保水力を増大させるということがわかる。

Fig. 3 Coagulating rate of soy milk with the palm oil of melting point of 21°C

Amount of powdered palm oil added are 0 (○), 4 (●), 8 (△), and 12% (▲).

Fig. 4 Coagulating rate of soy milk with the palm oil of melting point of 33°C

The symbols are the same as in Fig. 3.

Fig. 5 Coagulating rate of soy milk with the palm oil of melting point of 40°C

The symbols are the same as in Fig. 3.

Fig. 6 Viscosity changes of soy milks containing powdered palm oils of melting point of 21°C during heating at 25°C

Contents of palm oils; ○: 0, ●: 4, △: 8, ▲: 12%

2. 凝固速度と粘度変化

3種類の油脂試料についての凝固率の変化を融点の低い方から Fig. 3, 4 及び 5 にそれぞれ示した。いずれの融点の試料においても、油脂添加量が増加すると凝固速度が遅くなり、これは以前に得られた結果¹⁾と同じ傾向である。融点による凝固速度の違いは、明確には認めがたい。油脂粒子の物理的な硬さそのものが、ゲルの硬さに影響しているとすれば、この実験の場合、全ての測定は、85℃においてであり、油脂は全て液体状態であ

るので物理的な硬さとしては差が表われないと言うことが、この結果を導いたと考えられる。

3種の異なる融点の油脂を添加した豆乳の粘度変化を Fig. 6, 7 及び 8 に示した。どの豆乳においても粉末油脂添加量の増加とともに最高粘度の値が上昇し、また、最高粘度に達する時間が遅くなることが認められ、この結果は、以前に得られた結果¹⁾⁸⁾と同様である。すなわち、油脂の添加により、蛋白質の網状構造の形成は遅れる、あるいは、蛋白質による網状構造が形成しにくくな

Fig. 7 Viscosity changes of soy milks with the oil of melting point of 33°C

The symbols are the same as in Fig. 6.

Fig. 8 Viscosity changes of soy milks with the oil of melting point of 40°C

The symbols are the same as in Fig. 6.

Table 1 Incorporation of palm oil into soybean protein gel

Added palm oil powder		Incorporation(%)
Melting point (%)	Content (%)	
21	10	101.5
	15	101.8
	20	97.6
33	10	99.6
	15	101.6
	20	100.6
40	10	99.0
	15	98.3
	20	98.6

Fig. 9 Electron microscopic photograph of the surface of oil added soybean protein gel.

20% of powdered palm oil of melting point of 33°C was added. Multiplication is 2000. A shows the hole of an oil droplet formed by solvent processing.

Fig. 10 Electron microscopic photograph of the inner part of the gel shown in Fig. 9.

Multiplication is 5 000. Weak bridges are observed between the oil droplet and protein network (→).

るため粘度の上昇が遅れるが、油脂の量が多いと乳化した油滴の量が増えるため摩擦抵抗が大きくなり、結果として高い粘度を示すものと考えられる。

融点の差により粘度の高さには、ほとんど変化がみられず、これは、凝固率の結果と対応している。

3. 油脂の取り込み

Table 1 に各試料における油脂の取り込み率を示した。実験誤差と考えられる理由で 100% を超える値も見られるが、どの油脂を加えたゲルにおいても粉末油脂添加量 15% まで、ほぼ完全に油脂が取り込まれるとみなせる。この結果も以前に得られた結果¹⁾²⁾と同じである。

4. ゲルの電子顕微鏡観察

融点 33°C の油脂を 20% 加えたゲルの表面及び内部の電子顕微鏡写真を Fig. 9 及び 10 に示した。油粒子の大きさは以前に報告したように²⁾、光学顕微鏡でみたところ本来、大豆中に含まれているもので、直径が 2~5 μm、あとで添加したもので 25~30 μm であり、また後に示すように電子顕微鏡でみても両方の油を併せて考えてもその平均的な直径は 10 μm 程度とみられるが、この Fig. 9, 10 では、粒子の状態をわかりやすく示すために、やや大き目のものを示した。Fig. 9 によると前処理により油の粒子がぬけた跡 (A) がみられ、その大きさは、ほぼ 7~10 μm と考えられる。このような空隙は、油脂無添加ゲルにおいては観察されていない。内部 (Fig. 10) には、繊維状の蛋白質と油粒子がその

Fig. 11 Oil droplets in the protein gel structure with the oil of melting point of 21°C

Fig. 12 Oil droplets in the protein gel structure with the oil of melting point of 33°C

表面の所々でからんでいる状態 (Fig. 10 では、矢印で示したように右の方に 2 本程、粒子から腕が出ているように見える) が観察され、蛋白質-油の間には、極性油脂が関与した比較的弱い結合が存在し、全体としてみると、蛋白質の網状構造中に油滴が入り込み、水の中に浮いているような状態にあると考えられる。

次に、3 種類の油脂 20% 添加試料によるゲルの内部構造の電子顕微鏡写真を Fig. 11, 12 及び 13 に示した。油脂の融点により蛋白質の結合状態及び油脂の取り込まれ方にほとんど相違はみられないが、油脂の融点の高い試料ほど粒子がやや小さくなる傾向がみられる。この結果、油脂の融点が高い程ゲルは硬くなるという現象と、

Fig. 13 Oil droplets in the protein gel structure with the oil of melting point of 40°C

油脂が増えることにより蛋白質による網状構造が形成しにくくなるかも知れないが、油脂の粒子が小さく、全体として緻密なゲルを形成することには、相関関係があることが推察される。また、既報の結果と本報告の結果から、油脂の融点と添加量を変えることにより、ゲルのテクスチャーを自由に調整することができることが明らかになった。

要 約

融点の異なる 3 種類のパーム油粉末を加えて大豆蛋白質ゲルを調製し、ゲル形成とテクスチャーを調べたところ、次の結果が得られた。

(1) 融点の高い油 (33°C 及び 40°C) を加えたゲルの硬さは、添加油脂量とともに増大するが、融点の低い油 (21°C) を加えた試料では油脂量とともに硬さは低下した。保水力は、どの油脂のゲルでも油脂量とともにほぼ直線的に増大し、融点の高いもの程、増大率が大きかった。

(2) いずれの試料でも、油脂量とともに凝固速度が遅

くなったが、油脂種類間の相違は明確には認められない。50°C で加熱した豆乳の粘度上昇は油脂量が多いほど、遅いが、最高粘度の値は多い油脂量の場合の方がむしろ高かった。粘度の高さは、凝固速度と同じく、油脂間に差は認められなかった。

(3) いずれの油脂でも油脂添加量 15% までは、ほぼ完全にゲル中に油脂が取り込まれた。

(4) 油脂添加ゲルの電子顕微鏡観察により、ゲル中で、油滴は蛋白質と弱い結合をしていると推定されるが、どちらかといえば、多量の水を含んだ蛋白質の網状構造の中に 7~10 μm 程度の大きさの油滴として浮いていると考えられる。融点による油滴の状態に余り差はみられないが、融点の高い試料ほどやや油滴が小さくなる傾向がみられた。

この研究に要した費用の一部は、昭和 58 年度文部省特定研究経費により支出された。また、3 種類の粉末油脂を提供していただいた、日本油脂 (株) に感謝致します。

文 献

- 1) 山野善三・三木英三・福井義明：日食工誌，28，131 (1981)。
- 2) 山野善三・三木英三・福井義明：日食工誌，28，136 (1981)。
- 3) SAIO, K. and WATANABE, T.: *Agric. Biol. Chem.*, 33, 301 (1969)。
- 4) GILL, T.A. and TUNG, M.A.: *J. Food Sci.*, 43, 1481 (1978)。
- 5) 藤野吉世・塚田扶美子・益本美千代・長谷川喜代三：農化，55, 333 (1981)。
- 6) 赤羽ひろ・小林三智子・中浜信子：家政誌，32，426 (1981)。
- 7) 中山幸子・山野善正：日食工誌，30，658 (1983)。
- 8) 山野善正・森忠義彦・三木英三：日食工誌，30，552 (1983)。

(昭和 61 年 6 月 9 日受理)