脂肪酸塩添加米グロブリンの加熱誘導ゲル特性と ゲル化に寄与する分子間力

太 田 尚 子[§]

日本大学短期大学部食物栄養学科

Characteristics and Intermolecular Forces in Gelation of Rice Globulin with Fatty Acid Salts

Naoko Yuno-Ohta[§]

Department of Food and Nutrition, Junior College at Mishima, Nihon University,
2-31-145 Bunkyo Cho, Mishima City, Shizuoka, 411-8555

The physicochemical properties of rice globulin gel containing fatty acid salts were investigated. The addition of sodium caprylate or sodium laurate increased softness, water-holding ability and transparency of the gel. Sodium caprylate also increased water-holding ability of the gel. Effects of various reagents on solubilization of protein from heat-induced gel containing sodium caprylate suggested non-covalent bonds among the protein molecules mainly contributed to the stability of rice globulin gel containing fatty acid salts. *N*-ethylmaleimide did not inhibit gel formation, indicating that the disulfide bonds were not very important to form the gel with fatty acid salts in contrary with the gel without them. Scanning electron microscopy showed that the transparent gel had a very fine and homogeneous network structure in the gel able to keep the high water-holding ability of the rice globulin gel with fatty acid salts.

(Received Sep. 29, 2003 ; Accepted Mar. 11, 2004)

著者らは先に米グロブリンの食品学的機能特性を明らかにする事を目的として、米胚芽中に含まれるグロブリンのゲル化特性を、大豆 11S グロブリンや、ゴマ 13S グロブリンと比較しつつ明らかにしてきた¹⁾。それによると米グロブリンの 95℃ 30 分加熱、のち 30 分氷冷条件下での最適ゲル化条件はタンパク質濃度 10%, イオン強度約 0.6, pH 6.6 であり、形成したゲルは、大豆 11S グロブリンゲルとゴマ 13S グロブリンゲルの中間的な硬さと保水性を有している事、また、ゴマ 13S グロブリンに比べて、加熱誘導ゲル形成時におけるジスルフィド結合の寄与が大きい事が明らかになっている。一方、我々は既に、ゴマ 13S グロブリンの加熱誘導ゲル形成時における脂肪酸塩の添加が、ゲルの保水性や透明度を向上させるのに有効である事を報告した²⁾。

そこで本研究では、米グロブリンタンパク質の脂肪酸塩非存在下でのゲル化特性に関するこれまでの知見を踏まえ、これを様々な用途に対応したテクスチャーの発現できる新規なゲル状素材に発展させる事を目的として、米グロブリンのゲル形成性に対する脂肪酸塩の添加効果について

明らかにするとともに、そのゲル化の際に関わる主要な分子間力を物理化学的方法を用いて調べた。即ち、米グロブリンに鎖長の異なる脂肪酸ナトリウムを添加し、その添加量に伴うゲルの硬さ、離水率および外観の変化を調べた。次に、形成した脂肪酸塩添加の加熱誘導ゲルの分子間力に影響を及ぼすと考えられる各種試薬を用いて、主要な分子間力を無添加ゲルの場合と比較しつつ調べた。更に、脂肪酸塩添加の透明ゲルの物性と微細構造との関係についても検討した。

実 験 方 法

1. 米グロブリンの調製

米胚芽はグロブリンタンパク質を豊富に含む。そこで米グロブリンの調製は、(株)月桂冠(京都)より提供された米胚芽を出発材料として森田らの米 γ -グロブリンの調製法に準じて調製した³⁾。即ち、米胚芽 100 g をコーヒーマルで磨砕した後、500 ml の *n*-ヘキサンを加えて 1 時間攪拌することにより脱脂し、その後ヘキサンを吸引濾過して除去した。この脱脂の工程を 5 回繰り返した。得られた脱脂パウダー約 70 g に 33 mM リン酸二ナトリウム緩衝液 (pH 7.0) を 400 ml を加えて 5℃ で 120 min 間タンパク質を抽

〒411-8555 静岡県三島市文教町 2-31-145

[§] 連絡先 (corresponding author), naokohta@bitcat.net

出した。得られた抽出液に 30% 硫酸アンモニウム水溶液を加えた後、遠心分離 (20 000×g) により沈殿物を除いた。ここで得られた上澄に飽和硫酸を添加しタンパク質を塩析させ、再び遠心分離し (14 000×g) 沈殿物を回収し、1M NaCl (300 ml) に溶解し、僅かに残存する塩不溶性物質を 3 500×g の遠心分離により除去した。その後、上澄を水透析し粗グロブリン画分を沈殿させ、これを 16 000×g で遠心分離によって集め、0.025% アジ化ナトリウム水溶液に分散させ、使用時まで 4℃ で保存した。使用の際には水透析によりアジ化ナトリウムを除いた後、緩衝液に溶解させタンパク質濃度を決定後使用した。尚、米グロブリンの回収率は、米胚芽の新鮮重量の約 2% であった。

2. 脂肪酸塩添加加熱誘導ゲルの調製

60 mM 四ホウ酸ナトリウム緩衝液 (pH 7.4, $I=0.23$) を用いて溶解した 10% 米グロブリンに、各種脂肪酸塩 (カプリル酸ナトリウム、カプリン酸ナトリウム、ラウリン酸ナトリウム、それぞれ約 20% 水溶液の貯蔵液) をそれぞれ必要量添加してタンパク質、脂肪酸塩混合物を調製した。それを、底を塩化ビニリデンフィルムでシールしたガラス管 (長さ 80 mm×内径 5 mm) に 100 μ l 注入し、上端をアルミフイルドでカバーし、95℃ 湯浴中で 30 min 間加熱処理した。その後、ガラス管ごと 30 min 間水冷した。その後、室温 (約 25℃) に 30 min 間放置して常温に戻し、各種実験に供した。ゲル形成時におけるジスルフィド結合の寄与の程度を調べるための *N*-エチルマレイミド (NEM) 添加ゲルの調製には、2% エタノールに溶解した NEM を加熱に先立って混合物中に添加した。また、エタノールのゲル形成性に及ぼす効果を配慮し、対照にも同量のエタノール (0.4% 相当) を添加した。ゲルの硬さは未処理のものの硬さを 100 とした時の百分率であらわした。

3. ゲルの硬さ

ゲルの硬さは既報²⁾に従い、不動工業 (株) NRM-2010 J-CW を用いて短軸圧縮法により測定した。即ち、前述 2 に記載のガラス管を用いて調製したゲルを直径約 3 mm のガラス棒を用いて静かに取り出し、押し出した面を垂直にして試料台にセットし、直径 1.5 cm の円筒型プランジャーを用いて、クリアランス 0.5 mm, テストスピード 5 cm/min, 室温にて咀嚼試験モードにて測定した。得られた結果は Friedman らの方法⁴⁾に従って解析し硬さを求めた。

4. ゲルの離水率

ゲルの離水率は既報¹⁾²⁾に準じ、ゲルの保水性の尺度として求めた。即ち、形成したゲルを 200×g, 20℃, 3 min 間の遠心分離に供し、ゲルから分離してきた水の重量を測定した。ゲルの離水率はゲル 1 g 当たりの水の重量として表した。

5. 各種試薬によるゲルの処理

ゲル安定性に寄与する主要な分子間力を比較検討するた

めに、森らの方法⁵⁾に従って、ゲルを各種分子間力に影響を及ぼす種々の化学試薬を含む緩衝液を用いてインキュベーションし、経時的にゲルから溶出してくるタンパク質量を測定すると同時に、ゲルの硬さの変化を調べた。即ち、前述したゲル調製用ガラス管に試料を 150 μ l 注入し、前述と同様の方法で加熱誘導ゲルを形成させた。その後形成したゲルをガラス管から取り出し、試薬による処理後ゲルを取り出しやすいように、底部をカット後パラフィルムでシールした 1.5 ml 容エッペンドルフチューブ (以下ゲルホルダーと称す) にゲルを入れ、ゲルホルダーごと各種化学試薬を含む以下の緩衝液 (溶液 a~c) 2 ml 中で、ゲルを 50℃ の湯浴にてインキュベーションした。溶液 a は 60 mM 四ホウ酸ナトリウム緩衝液 (pH 7.4)+0.2M 2-メルカプトエタノール、溶液 b は 60 mM 四ホウ酸ナトリウム緩衝液 (pH 7.4)+8M 尿素、溶液 c は 60 mM 四ホウ酸ナトリウム緩衝液 (pH 7.4)+0.2M 2-メルカプトエタノール+8M 尿素である。インキュベーション処理後、パストールピペットを用いて残存したゲルと溶出液を分離し、ゲルは硬さの測定を行い、同時に溶出液はタンパク質量を行った。

6. タンパク質の定量

米胚芽から調製した米グロブリン画分は、使用の都度 Lowry 法⁶⁾によりタンパク質濃度の決定を行った。また、ゲルのタンパク質溶出を行った溶出液のタンパク質量は溶液 b の還元剤非存在下の場合には、通常の Lowry 法⁶⁾で、又、溶液 a と c の還元剤存在下の場合には、Ross and Schatz の改良法⁷⁾を用いて定量した。また、溶出率の表示は、60 mM 四ホウ酸ナトリウム緩衝液 (pH 7.4)+0.2M 2-メルカプトエタノール+8M 尿素を用いてゲルを完全に溶解したときの溶出タンパク質量を 100% としたときの相対値で表した。

7. 走査型電子顕微鏡観察

無添加加熱誘導米グロブリンゲル (白濁ゲル) 及び 2% カプリン酸ナトリウム添加ゲル (透明ゲル) の表面の微細構造を走査型電子顕微鏡またはフィールドエミッション走査電子顕微鏡 (日本電子社製 (東京) JSM-T330 あるいは JSM-6300F) を用いて比較観察した。電子顕微鏡観察に先立ってゲルの化学固定を行った。即ち、1% パラホルムアルデヒド-1.3% グルタルアルデヒド-0.1M リン酸二ナトリウム緩衝液 (pH 7.3) を用いて、室温にて 2 時間前固定を行った⁸⁾。次いで、2% タンニン酸-0.1M リン酸二ナトリウム緩衝液 (pH 6.2) を用いて 4.5 時間導電染色⁹⁾を行った。その後、0.1M リン酸二ナトリウム緩衝液 (pH 7.3) を用いて十分にゲルを洗浄し、1% オスミウム酸-0.1M リン酸二ナトリウム緩衝液を用いた後固定 (4℃, 一晚) を行った。後固定終了後、常法に従ってエタノール脱水、酢酸イソアミル置換、臨界点乾燥 (臨界点乾燥装置 JCPD-5 日本電子社製)、蒸着 (イオンスパッタリング装置 JFC-1100 日本電

子/日本電子技術サービス株式会社)した。

実験結果及び考察

1. 米グロブリンの加熱誘導ゲル化特性に及ぼす脂肪酸塩添加の影響

著者らは既に、無添加米グロブリンのゲル化特性を解明するために、その最適ゲル化条件の検討、並びに大豆 11S グロブリンゲルやゴマ 13S グロブリンゲルとの比較を行ってきた¹⁾。その結果、グロブリンの種類の違いにより最適ゲル化条件(イオン強度や pH)は異なるが、各々の最適ゲル化条件で形成したゲルの硬さや保水性を指標にして比較すると、米グロブリンゲルは、硬くて保水性の低いゴマグロブリンゲルと、柔らかくて保水性の高い大豆グロブリンゲルの中間的な性質をもつ事を報告した。

そこで本報では、先に報告しているゴマ 13S グロブリンに対する脂肪酸塩添加効果²⁾、即ち凝集性の強いゲルに対する柔らかさ、保水性、更には透明度の付与効果が、米グロブリンについても認められるか否かを検討するために、鎖長の異なる脂肪酸塩を種々の濃度で添加して調製した加熱誘導ゲルの、硬さ並びにゲルの離水率を調べた (Fig. 1)。まず、既に明らかになっているゴマ 13S グロブリンの脂肪酸塩添加による透明ゲル形成の条件が、総イオン強度 0.3 以下である事²⁾を踏まえて、米グロブリンを予め 60 mM 四ホウ酸ナトリウム緩衝液 (pH 7.4, $I=0.23$) に溶解した。これに炭素鎖長 8 の飽和脂肪酸塩であるカプリル酸ナトリウムを添加した時、無添加に比べゲルの硬さが増加し、逆にゲルの離水率は無添加に比べて顕著に低下した。一方、炭素鎖長 10 または 12 の飽和脂肪酸塩であるカプリン酸ナトリウムあるいはラウリン酸ナトリウムを添加した場合には、低濃度の脂肪酸塩添加 (カプリン酸ナトリウムの場合には 1.5% 以下、ラウリン酸ナトリウムの場合には 0.5% 以下) でゲルの硬さは無添加より硬くなり、各々それ以上の添加量 (カプリン酸ナトリウムの場合には 2% 以

上、ラウリン酸ナトリウムの場合には 1% 以上) で著しい硬さの減少が認められた。また、ゲルの離水率は 1.0% 以上の添加ではカプリン酸ナトリウム添加あるいはラウリン酸ナトリウム添加共に、ゲルの遠心による離水は全く観察されなくなった。ここで観察されたカプリル酸ナトリウム添加の米グロブリンゲルの離水率低下作用は、既に報告したゴマグロブリンゲルに対するそれとは異なっていた。即ち、カプリル酸ナトリウムはゴマグロブリンゲルの離水率に影響は与えなかった²⁾。この両グロブリンゲルへの効果の違いは、これまでのタンパク質と脂肪酸塩の相互作用に関するメカニズム²⁾¹⁰⁾を考え併せると、個々のタンパク質の分子の表面疎水性の違いがその一因と示唆される。更に、カプリン酸ナトリウム 1% 以上、ラウリン酸ナトリウム 0.5% 以上の添加でゲルは非常に透明度の高い外観を示すようになった (図示せず)。Fig. 2 には脂肪酸塩添加による典型的なゲルの外観を示す。いずれも 2% 添加の場合であるが、カプリル酸ナトリウムでは無添加 (図示せず) 同様の白濁ゲル、カプリン酸ナトリウムでは透明ゲルが形成されている事が確認できる。

Fig. 1 及び 2 の結果から、米グロブリンに対する脂肪酸塩の添加は炭素鎖長 10 以上でゲルの硬さを低下させ、その効果は鎖長の長さが長い方が大きい、またゲルの透明度を増加させる効果があり、ゲルの保水性に関しては炭素鎖長 8 でもその向上効果がある事が判った。

カプリル酸ナトリウムの場合や、カプリン酸ナトリウム及びラウリン酸ナトリウムの低濃度添加の場合に、ゲルの硬さが増加した理由については不明であるが、特にカプリン酸ナトリウム及びラウリン酸ナトリウムが、高濃度でゲルの硬さを顕著に低下させたことは、ゲルに柔らかさ、保水性更には透明度を向上させるのには、添加する脂肪酸塩がタンパク質分子間の強い凝集を適度に抑制する為に適度な長さのアルキル鎖を有している必要があるのではないかと考えている。

Fig. 1 Effects of fatty acid salts on gel hardness and syneresis of rice globulin
a, sodium caprylate ; b, sodium caprate ; c, sodium laurate.

Fig. 2 Effects of fatty acid salts on transparency of rice globulin gels

A, Gel in the presence of 2% sodium caprylate ; B, Gel in the presence of 2% sodium caprate.

2. ゲルの硬さ並びにゲルからのタンパク質溶出に及ぼす種々の試薬の影響

Fig. 3, Fig. 4 はそれぞれ、2% カプリン酸ナトリウム添加および無添加米グロブリンゲルの硬さ (Fig. 3) 並びにゲルからのタンパク質溶出 (Fig. 4) に及ぼす種々の試薬の影響を示したものである。ゲルの硬さは、試薬の添加を施す前のそれぞれのゲルの硬さを 100 としたときの相対値で表した。その結果、ジスルフィド結合を切断する 0.2M 2-メルカプトエタノールの添加で無添加ゲルの硬さは経時的に低下したのに対して、カプリン酸ナトリウム添加ゲルでは一端ゲルの硬さは低下するものの 3 時間以上でゲルの硬さは増加し、10 時間後では元のゲルの硬さよりも増加したが、ゲルからのタンパク質溶出の程度は脂肪酸塩添加ゲルの方が、僅かに高いもののいずれのゲルも、全タンパク質

Fig. 3 Effects of various reagents on the hardness of rice globulin gels with or without sodium caprate

A, rice globulin gel with sodium caprate ; B, rice globulin gel without sodium caprate. The hardness of the gels was expressed as the percentage of hardness retained compared to the gel without treatment. Treatments of the gel ; a, 60 mM $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ containing 0.2M 2-mercaptoethanol (pH 7.4) ; b, 60 mM $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ containing 8M urea (pH 7.4) ; c, 60 mM $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ containing 8M urea and 0.2M 2-mercaptoethanol (pH 7.4).

Fig. 4 Effects of various reagents on solubilization of rice globulin gels with or without sodium caprate

Symbols are the same as those in Fig. 3.

中に占める割合は低い事が判った。

次に、疎水性相互作用並びに水素結合の低下作用をもつ尿素処理の影響をみると、無添加及び脂肪酸塩添加ゲル共に速やかにゲルの硬さが減少したが、タンパク質溶出の程度の違いを比較すると、脂肪酸塩添加ゲルの方がおよそ2倍の溶出量を示しており、脂肪酸塩添加ゲル安定性に寄与する疎水性相互作用並びに水素結合の寄与の割合が無添加ゲルのそれに比べて顕著に大きい事が判った。更に、溶液c、即ち2-メルカプトエタノール及び尿素の共存する系では、いずれのゲルもインキュベーション30分でゲルは完全に溶解した。このことから、程度の差はあるもののいずれのゲルにおいても分子内部に埋もれたジスルフィド結合の存在が示唆された。

Fig. 5 Effects of *N*-ethylmaleimide on hardness of rice globulin gels with or without sodium caprate
a, with sodium caprate ; b, without sodium caprate.

Fig. 3 および Fig. 4 の結果から、脂肪酸塩添加ゲルの方が無添加ゲルに比べて、疎水性相互作用や水素結合などの非共有結合がゲル安定性に及ぼす寄与が大きい事が示唆された。

3. ゲルの形成に及ぼす *N*-エチルマレイミド (NEM) の影響

ゲル形成に先立ち、遊離の SH 基を遮蔽する試薬 *N*-エチルマレイミド (以下、NEM) を種々の濃度で添加し、ゲル形成に与える影響を検討した (Fig. 5)。その結果、脂肪酸塩添加ゲルの場合には、NEM の添加量を 30 mM まで増加させても形成したゲルの硬さは変化しない事が明らかになった。一方、無添加ゲル形成に与える NEM の影響は大きく、10 mM 添加においてもゲルの硬さを減少させた。著者らは既に、無添加米グロブリンゲルとゴマグロブリンゲルで比較を行い¹⁾、米グロブリンのゲル形成に及ぼすジスルフィド結合の寄与は、ゴマグロブリンの場合より大きい事を明らかにしている。以上の事から、元来、米グロブリンゲルの形成にはジスルフィド結合は重要であるが、脂肪酸塩添加ゲルの形成にあたっては形成時に関わる主要な分子間力が相対的に変化し、ゲル形成時におけるジスルフィド結合の寄与が低下する事が示唆された。

また、上述の Fig. 3 で、脂肪酸塩添加ゲルの場合にのみ、形成したゲルを 2-メルカプトエタノールで長時間インキュベーションする事によりゲルの硬さが増加したが、これは脂肪酸塩添加ゲルでは、ゲル形成時における SS 結合の寄与が少ないため、2-メルカプトエタノール添加により、SS 結合でアグリゲーションを起こした余分な分子が取り除かれ、より精密なネットワークが構築されたことによると思われるが、この点については更に検討が必要であ

Fig. 6 Scanning electron micrographs of rice globulin gel with or without sodium caprate
A, with sodium caprate ; B, without sodium caprate. accelerate voltage is 10 kV.

る。

4. ゲルの微細構造

構築されているゲルのネットワークに関するより詳細な知見を得るために、無添加ゲル（白濁ゲル）と 2% カプリン酸ナトリウム添加ゲル（透明ゲル）について表面の微細構造を比較検討した。

Fig. 6 にカプリン酸ナトリウム存在下および非存在下米グロブリンゲルの微細構造を示す。その結果、脂肪酸塩添加の透明ゲルは、およそ 9~10 nm の極細い繊維状構造を骨格とした非常にきめの細かい編み目構造からできているのが観察された (Fig. 6a)。一方、無添加の白濁ゲルでは、透明ゲルのおよそ 40~100 倍の太さをもつ約 0.35~0.9 μm の直径の巨大な塊状凝集体が不規則に集合した粗い三次元構造が観察された (Fig. 6b)。このことから、脂肪酸塩添加ゲルのもつ高い保水性は (Fig. 1) は、脂肪酸塩添加透明ゲルの非常に微細で均質なネットワーク構造に基づく、水の包含に因ることが示唆された。ここで観察された、米グロブリンゲルの構造を、既に報告しているゴマグロブリンの場合と比較すると、無添加ゴマグロブリンゲルの塊状凝集体の平均直径は 1.5 μm ~2.0 μm であったことに比べ¹⁾²⁾、米グロブリンでは 1/2~1/5、また、脂肪酸塩添加米グロブリンゲルの場合、ゴマの脂肪酸塩添加の透明ゲル 30 nm のおよそ 1/3 のより細い繊維状構造を基本骨格にしている事が判った²⁾。この両グロブリンゲルのネットワークの違い即ち、無添加米グロブリンゲルと無添加ゴマグロブリンゲルのネットワークの比較、更には脂肪酸塩添加米グロブリンゲルと脂肪酸塩添加ゴマグロブリンゲルのネットワークの比較において、共に米グロブリンの方が微細なネットワークから形成されていたことは、米グロブリンゲルの保水性がゴマグロブリンゲルのそれに比べて高かった既報における知見¹⁾とよく一致していると思われる。また、ゲルの微細構造を構築する太さの違いは、ゲル形成時のタンパク質分子間相互作用の大きさの違いにも関係している事が示唆される。

保水性が高いゲルの主要な分子間力が非共有結合（疎水性相互作用や水素結合）であったことから、ゲルの物性と微細構造の相関性について、現在のところ次のように考えている。即ち、脂肪酸塩添加米グロブリンゲル形成時におけるジスルフィド結合の寄与は小さく、更に形成したゲルの安定性に寄与する分子間力は非共有結合が主要なものである事が示唆された (Fig. 4)。これらのことから、脂肪酸塩は疎水性相互作用を介してタンパク質分子と相互作用し、更にタンパク質分子間の非共有結合を介してネットワークが形成されていると考えられる。即ち、脂肪酸塩添加ゲルでは主として脂肪酸塩のアルキル鎖領域がタンパク質分子の疎水性領域と疎水性相互作用をおこして、同時にカルボキシル基由来のマイナスイオンによる適度な反発の為、タンパク質分子間の凝集による巨大な塊状凝集体の形成が抑

制され、均質な微細構造が構築される。その結果、介在する水がネットワークの内部にまで充分侵入でき、侵入した水は微細なネットワークにより安定に維持された結果、ゲルの保水性が向上したのではないかと考えている。また、著者らは最近 β -ラクトグロブリンの脂肪酸塩誘導ゲルや脂肪酸塩添加の加熱誘導ゲル形成の際のタンパク質二次構造変化をフーリエ変換赤外分光分析により調べ、それらのゲル形成時に主に水素結合からなる分子間 β -シートの割合が顕著に増加することを認めている¹¹⁾。 β -ラクトグロブリンの場合に観察されたこの現象を米グロブリンについてそのまま適応できるか更なる研究が必要であるが、上述のような脂肪酸塩由来のチャージの増加により保水性の高いゲルが形成できる過程で水素結合の寄与が大きいことが強く示唆される。

要 約

カプリン酸ナトリウムまたはラウリン酸ナトリウムの添加は米グロブリンゲルの柔らかさ、保水性および透明度を増加させた。カプリル酸ナトリウムも、ゲルの保水性を増加させた。カプリン酸ナトリウムを含む加熱誘導ゲルからのタンパク質の溶出に及ぼす種々の試薬の影響は、脂肪酸塩添加米グロブリンゲルの安定性にタンパク質分子間の非共有結合が主として寄与している事を示唆した。実際、脂肪酸塩無添加のゲルとは対照的に、脂肪酸塩添加ゲルでは *N*-エチルマレイミドはゲル形成を阻害せず、この事は脂肪酸塩添加ゲルの形成に対してはジスルフィド結合は重要でないことを示した。走査型電子顕微鏡観察は、脂肪酸塩添加の透明ゲルが高い保水性を保持する事が可能な非常に微細で均質なネットワークを持っている事を示した。

本研究の遂行にあたり、脂肪酸塩添加加熱誘導透明ゲルの微細構造観察を行っていただきました JEOL 日本電子 (株) に対し感謝の意を表します。また、本研究は社団法人飯島記念食品科学振興財団による学術研究助成金の補助により行われたものです。

文 献

- 1) Yuno-Ohta, N., Maeda, H., Okada, M. and Ohta, H., Heat-induced gels of rice globulin: Comparison of gel properties with soybean and sesame globulins. *J. Food Sci.*, **59**, 366-370 (1994).
- 2) Yuno-Ohta, N., Maeda, H., Okada, M. and Hasegawa, K., Formation of transparent gels of sesame 13S globulin: Effects of fatty acid salts. *J. Food Sci.*, **57**, 86-90 (1992).
- 3) Morita, Y. and Yoshida, C., Studies on globulin of rice embryo. *Agric. Biol. Chem.*, **32**, 664 (1968).
- 4) Friedman, H.H., Whitney, J.E. and Szczesniak, A.S., The texturometer-A new instrument for objective texture measurement. *J. Food Sci.*, **28**, 390 (1963).
- 5) Mori, T., Nakamura, T. and Utsumi, S., Behavior of intermolecular bond formation in the late stage of heat-

- induced gelation of glycinin. *J. Agric. Food Chem.*, **34**, 33 (1986).
- 6) Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J., Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265 (1951).
- 7) Ross, E. and Schatz, G., Assay of protein in the presence of high concentrations of sulfhydryl compounds. *Anal. Biochem.*, **54**, 304 (1973).
- 8) Karnovsky, M.J., A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. *J. Cell Biol.*, **27**, 137A (1965).
- 9) Kalina, M. and Pease, D.C., The preservation of ultrastructure in saturated phosphatidyl cholines by tannic acid in model systems and type II pneumocytes. *J. Cell Biol.*, **74**, 726 (1977).
- 10) Yuno-Ohta, N., Toryu, H., Higasa, T., Maeda, H., Okada, M. and Ohta, H., Gelation properties of ovalbumin as affected by fatty acid salts. *J. Food Sci.*, **61**, 906-910, 920 (1996).
- 11) Yuno-Ohta, N., Murata, K., Miyahara, M. and Ohta H., Rheological properties of sodium caprate-induced β -lactoglobulin gel and changes in secondary structure during gelation. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, in press.
- (平成 15 年 9 月 29 日受付, 平成 16 年 3 月 11 日受理)
-