

## 各種ミルク成分が卵加熱ゲルの物性に及ぼす影響

Effects of milk ingredient on the physical properties of heat-induced gels of egg

阿相 優香

Yuka Aso

大妻女子大学大学院 人間文化研究科 人間生活科学専攻 修士課程

キーワード：植物性ミルク，卵ゲル，物性

Key words : Plant-based milks, Heat-induced egg gels, Physical properties

### 1. 研究目的

牛乳は動物性ミルクの代表であり，皮膜形成やゲル形成など牛乳の調理・加工性に関する研究は多く報告されている<sup>1)</sup>。一方，豆乳をはじめとする植物性ミルクは牛乳などの動物性ミルクとは異なり，ラクトースやカゼインを含まない為，乳糖不耐症の人や牛乳アレルギーの人でも飲用することができる。中でも，大豆を原料とする豆乳には，コレステロール低下作用や血圧抑制作用など，疾病に有効な機能性を有する大豆ペプチド，生理作用が注目のイソフラボンなどが含まれる。近年では，豆乳は従来の豆腐製造時の副産物としてではなく，牛乳の代替品として飲料及びシチューやミルクゼリーなどの材料として汎用されている。しかし，牛乳の代替品として利用されている植物性ミルクに関しては，豆乳の調製条件に関する研究，大豆タンパクの凝固性に関する研究は報告されている<sup>2)</sup>が，豆乳をはじめとする植物性ミルクの調理性に関する研究は殆ど報告されていない。昨年は，近年注目されている植物性ミルクの調理特性に着目し，牛乳，豆乳及びアーモンドミルクが卵のゲル物性に及ぼす影響について研究した。その結果，豆乳添加ゲルは牛乳添加ゲルに次いでかたく崩れにくい，アーモンドミルク添加ゲルは最もやわらかいゲルとなり，ミルク成分の違いによりゲル物性が大きく異なることが示唆された。そこで，各種ミルクの成分に着目し，卵の熱凝固性に及ぼす食品成分の作用を詳細に検討することを目的とした。卵のゲル形成に及ぼす牛乳や豆乳の影響を明らかにし，ゲル形成に効果のある食品成分を解明することにより，調理科学および食品加工学に資する卵たんぱく質のゲル物性制御に関する新たな知見が期待される。

### 2. 研究実施内容

＜実験① 牛乳あるいは豆乳が卵白および卵黄加熱ゲル物性に及ぼす影響＞

全卵と希釈液の配合割合は，1:1 ~ 3とした。その配合割合での，卵と希釈液の総量による卵たんぱく質濃度を Table.1 に示した。卵白および卵黄の試料は，全卵のたんぱく質濃度と同程度になるように，脱イオン水で濃度の調整を行った。なお，卵たんぱく質濃度は，日本食品標準成分表 2015 年版（訂）に掲載されている。全卵，卵白，卵黄のたんぱく質量 12.3g，10.5 g，16.5 g/100 g および卵白と卵黄の重量割合 69.4%，30.6%を基に算出した。食塩濃度は，卵と希釈液の総量に対して 0.8%とした。鶏卵は割卵後，全卵はそのまま，卵白と卵黄は分けて溶きほぐし，全卵と卵黄は 2 回，卵白は 3 回裏ごし（20 メッシュ）に通した。食塩添加試料に関しては，希釈液と食塩を鍋に入れ，40°C に温めて食塩を溶かした。鶏卵と希釈液を混合して卵液を調製し，50 g ずつステンレス，テフロン加工のプリン型（上面直径 56mm，底面直径 40 mm，高さ 50 mm）に分注し，ラップフィルムで上部を覆い輪ゴムでとめた。加熱方法は卵液が入ったプリン型を 85°C±1°C のスチームコンベクションオーブン（小型卓上スチームコンベクションオーブン TSCO-2ED/22EDD）で 20 分加熱した。加熱後，流水中で 30 分間冷却して試料温度を 20°C とし測定に供した。レオメーターによる破断試験を行った。

Table 1 配合割合でのたんぱく質濃度

	卵：希釈液		
	1：1	1：2	1：3
卵たんぱく質濃度(%)	6.2	4.1	3.1
希釈液濃度(%)	50	67	75

<実験②牛乳あるいは豆乳のたんぱく質が全卵加熱ゲル物性に及ぼす影響>

牛乳のたんぱく質として、乳たんぱく質濃縮物 (MPC, SureProtein™ Milk Protein Concentrate 4861), 酸カゼイン, レンネットカゼイン, カゼイン Na (ナトロース, 富士フィルム和光純薬株式会社, 化学用), ホエイプロテインコンセントレート (WPC80, TATUA, 以下 WPC と表記する), 乳たんぱく加水分解物 (HWP305, TATUA, 以下 HWP と表記する) を, 豆乳のたんぱく質として, 分離大豆たんぱく質 (フジプロ F, 不二製油株式会社, 以下 SPI と表記する),  $\beta$ -コングリシニン (リポフー700, 不二製油株式会社) を用いた。鶏卵は割卵後攪拌し, 2回裏ごしに通した。たんぱく質溶液は牛乳あるいは豆乳に含まれるたんぱく質濃度に調整し, 脱イオン水と各たんぱく質をビーカーに入れ, スターラーで30分以上泡が立たないように攪拌した。鶏卵とたんぱく質溶液を混合して卵液を調製し, ラップフィルムで底面を覆い輪ゴムでとめた円筒ガラスセル (直径 30mm, 高さ 30 mm) に 16 g ずつ分注し, ラップフィルムで上部を覆い輪ゴムでとめた。加熱方法は卵液が入ったガラスセルを 85°C±1°C のスチームコンベクションオーブン (小型卓上スチームコンベクションオーブン TSCO-2ED/22EDD) で 15 分加熱した。加熱後, 流水中で 30 分間冷却して試料温度を 20°C とし加熱ゲルの破断試験を行った。鶏卵と希釈液の配合割合は 1:1.3 とし, 対照として, 全卵を水, 牛乳あるいは豆乳で希釈した試料も調製した。各たんぱく質溶液は牛乳あるいは豆乳に含まれるたんぱく質量 (3.2/100g, 4.5/100g) 相当になるように脱イオン水で調製を行った。カゼインおよび乳清溶液は, 牛乳に含まれるたんぱく質を 8:2 になるようにそれぞれ調製を行った。

<実験③カルシウムが全卵加熱ゲル物性に及ぼす影響>

塩化カルシウム, 乳酸カルシウム, 炭酸カルシウム, リン酸水素カルシウム, 酸化カルシウムな

どのイオン化カルシウムや, 乳由来のカルシウム (ラクトバル), ミセル性リン酸カルシウム複合体 (CaP-PPP 複合体) を用い, ゲルを調製し破断試験を行った。希釈液であるカルシウム塩溶液, ラクトバル, CaP-PPP 複合体溶液は牛乳に含まれるカルシウム濃度 (0.144%) となるように, 各カルシウム試薬量を調整し添加した。「ラクトバル (Lactoval)」は, 沈殿法にて調整するミルクカルシウムとは異なり, 膜処理によりたんぱく質と乳糖を分離して調整しているため, 乳本来の形態であるミセル性リン酸カルシウム構造と類似しているとされている (59)。ラクトバルは, カルシウムをはじめとするミネラル成分を乳本来の組成比で含有し, カルシウム含量は 16% である (3)。

### 3. 結果及び考察

<実験①>卵白と卵黄の加熱ゲル物性に牛乳や豆乳, 食塩の添加によりどのように影響するのかを全卵液を対照として検討した。無添加試料の破断応力は, 水及び牛乳希釈では卵白と卵黄の値に有意差がみられなかったが, たんぱく質を含む豆乳希釈では卵黄が卵白より高値であり, 卵黄加熱ゲルの破断応力に卵黄と豆乳のたんぱく質の相互作用が関与することが示唆された。破断歪率は, 希釈液の種類や食塩の有無にかかわらず, 1 倍希釈の卵黄試料は卵白試料より顕著に高い値を示し, 卵加熱ゲルの変形のしやすさには卵黄の貢献が大きいことが示唆された。なお, 卵黄試料の歪率は, たんぱく質濃度の低下に伴い速やかに減少するという特徴も示した。全卵, 卵白, 卵黄の物性を検討した結果, 全卵加熱ゲル物性は, 卵黄と卵白の相互作用により構築されていることが示唆された。1 倍希釈牛乳試料を除いた全ての卵白試料において食塩添加により破断応力が増大し, 食塩が卵黄よりも卵白のゲル強度に及ぼす影響が大きいことが示された。また, 水および豆乳試料は食塩添加により, 牛乳試料と比べて卵白試料が有意に高値を示し, ゲルを強固にさせた。

<実験③>卵加熱ゲル物性に及ぼす各ミルクたんぱく質の影響を検討した。まず, 牛乳たんぱく質に関しては, MPC 試料は, 水希釈試料に比べて有意に高い破断応力を示したが, 牛乳希釈試料よりも有意に低く, たんぱく質だけでは牛乳希釈試料と同等の値にまで復元しなかった。なお, MPC 試料の破断応力は, MPC 濃度に依存して増加した。

次に牛乳たんぱく質の成分の影響を検討した。牛乳に含まれる濃度での添加実験の結果、カゼイン Na 試料の破断応力は、MPC 試料と有意差はなかった。一方、WPC 試料やHWP 試料は、MPC 試料より有意に低値であり、WPC 試料は水希釈試料と有意差は認められなかった。しかし、牛乳に含まれるカゼインと乳清たんぱく質の割合は8:2と、乳清たんぱく質の濃度が低い。そこで、WPC をカゼインと同濃度に調製したところ、試料の破断応力はカゼイン Na 試料と有意差がなく、WPC にもカゼイン Na と同様の効果があることが確認された。また、カゼイン Na と WPC を組合わせたゲルの破断応力は、MPC 試料と有意差は認められなかった。次に、豆乳たんぱく質に関しては、SPI 試料は、豆乳希釈試料より破断応力が有意に低値であったが、水希釈試料より破断応力が有意に高かった。β-コングリシニン試料は SPI 試料より破断応力が有意に低値であったが、水希釈試料よりも高値であった。これらのことから、牛乳および大豆のたんぱく質は水試料よりもかたくなり、卵の加熱ゲル強度を増強する効果があることが確認された。さらに、卵加熱ゲルは牛乳、豆乳のどちらのたんぱく質でもミルクたんぱく質濃度に依存してゲルが強くなることが確認された。しかし、牛乳あるいは豆乳の形態に近いたんぱく質である MPC や SPI を添加するだけでは、牛乳試料や豆乳試料と同程度のかたさにまで復元できなかった。

<実験④>卵の加熱ゲル強度増強効果が確認されたカゼインは、リン酸カルシウムとミセルを形成して牛乳に分散している。そこで、カルシウムが卵の加熱ゲル物性に及ぼす影響を検討した。その結果、塩化カルシウムなどのイオン化カルシウム試料および牛乳中のミネラル成分を乳本来の組成比で含有するラクトバル試料の破断応力は、水希釈試料との間に有意差は認められなかった。一方、ミセル性リン酸カルシウムの構造をしている CaP-CPP 複合体試料について破断応力を検討した

結果、CaP-CPP 複合体試料は、MPC 試料と同等の値を示した。これらのことから、卵の加熱ゲル強度の増強には、イオン化カルシウムよりも、ミセル性リン酸カルシウムの関与が大きいことが示唆された。

#### 4. まとめと今後の課題

これらの研究により、ミルクたんぱく質は卵加熱ゲルをかたくし、ミルクたんぱく質濃度に依存してゲルが強くなることが認められた。また、ミルクたんぱく質に加えて、ミセル性リン酸カルシウムも卵加熱ゲルの物性を改変できる可能性を示した。しかし、本実験は破断試験による物性値の比較であるため、実際にミルクたんぱく質やミセル性リン酸カルシウムが卵たんぱく質のネットワーク構造にどのように作用を起しているのかまでは、解明することができなかったため、今後検討する必要がある。

#### 主要参考文献

- [1] 村田 安代, 斉田 由美子, 松元 文子, 卵液の熱凝固について (第2報), 家政学雑誌, 27 巻 6 号 p.412-417 (1976)
- [2] 森友彦: 大豆タンパク質のゲル化と物性発現の分子構造要因—第二世代の研究—, 調理科学会誌, 38 巻 3 号, 221-225(2005)
- [3] カルシウムの摂取量および形態の違いが KK マウスの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響, 山中, 2011 年 64 巻 6 号 p.385-391