

## 各種ミルクが卵加熱ゲルの物性に及ぼす影響

Effect of various milks on the physical properties of heat-induced egg gels

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 milk, Heat-induced egg gel, Physical property

## 1. 研究目的

カスタードプディングや茶碗蒸しなどの卵加熱ゲルは、ソフトな食感で、老若男女が食べやすい、ユニバーサル食品の一種である。卵の加熱ゲル化は、食塩や牛乳添加により促進され、砂糖添加により抑制されることが報告されている<sup>[1-2]</sup>が、植物性ミルクである豆乳やアーモンドミルクの影響に関しては殆ど研究されていない<sup>[3]</sup>。そこで、本研究では、卵の加熱ゲルの物性に及ぼす各種植物性ミルクの影響を検討することを目的とした。

## 2. 方法

## 2.1. 材料

鶏卵は市販新鮮卵(株式会社アキタ，厳格仕様幸せのテーブル四つ葉のクローバー，卵黄係数 0.42～0.47，pH7.5～7.8)を用いた。卵の希釈液としては、脱イオン水，牛乳(雪印メグミルク，無脂乳固形分 8.3%以上，乳脂肪分 3.5%以上，原材料名:生乳 100%)，豆乳(キッコーマン，おいしい無調整豆乳，大豆固形分 8%以上，原材料名:大豆(カナダ又はアメリカ)(遺伝子組換えでない))，およびアーモンドミルク(ポッカサッポロ フード&ビバレッジ，アーモンド・ブリーズ 砂糖不使用，原材料:アーモンドペースト，デキストリン，食塩，リン酸 Ca，クエン酸 K，乳化剤，安定剤(ジェラン)，ビタミン E，セルロース)を用いた。表 1 に各種ミルクの食品成分および pH を示した。希釈液には，上白糖(株式会社パールエース，原料糖)あるいは食塩(和光純薬株式会社，試料特級塩化ナトリウム)を添加した。

表 1. 各種ミルクの食品成分(100mL)と pH

食品名		牛乳	豆乳	アーモンドミルク
エネルギー	kcal	67	58	15
たんぱく質	(g)	3.3	4.6	0.6
脂質		3.8	3.7	1.1
糖質		4.8	1.6	0.8
食物繊維		0	0.2	0.3
ナトリウム	(mg)	43	0	79
カリウム		138	213	59
カルシウム		114	17	75
リン		90	49	41
マグネシウム		5	28	6
pH		6.76	6.74	6.89

## 2.2. 配合割合

調理書<sup>[4-6]</sup>から材料の配合割合を検討した結果，鶏卵 100g に対し，希釈液 50g，100g，200g，300g，および 400g とした。また，砂糖は卵と希釈液を合わせた卵液重量の 17%，食塩は卵液重量の 0.8% とした。

## 2.3 試料の調製方法

割卵後攪拌し裏ごし(16mesh)をした鶏卵と，希釈液を混合後，再度裏ごしを行った。卵と希釈液を合わせた卵液 60g を金属製プリン型(底面直径 4cm，高さ 5cm)に入れてラップフィルムで上部を覆い輪ゴムでとめた。これを 85±1℃の恒温水槽(BUCHI，ロータリーエバポレーター R-300)で 20

分間加熱し、流水中で冷却し、色や破断試験測定用の試料とした。砂糖あるいは食塩添加の際は、希釈液に砂糖あるいは食塩を加え40℃まで加温し溶解後、鶏卵と混合し再度裏ごしを行い、無添加試料と同様に調製した。なお、砂糖添加アーモンドミルク希釈液試料のみ加熱時間を延長し、40分加熱とした。

#### 2.4 測定項目

(1) 凝固温度測定：各卵液30gを試験管(長さ165mm, 内径16.5mm)に入れ、1℃間隔で温度を68~75℃に調整した恒温水槽中で60分間加熱し、卵液の凝固を確認した。(2) 色の測定：測色色差計(日本電色)を用いて、L\*値、a\*値、b\*値を測定した。(3) 破断試験：レオメーター(山電)を用いて破断歪率、破断応力などを測定した。測定条件は、プランジャー直径30mm樹脂製円柱型、測定荷重2kgf、測定速度1mm/sec、測定歪率80.0%とした。

### 3. 結果および考察

#### (1) 凝固温度

希釈割合や希釈液の違い、砂糖や食塩の添加の有無が卵の凝固温度に及ぼす影響を検討した。その結果、いずれの希釈液でも希釈割合が高く卵濃度が低くなるに伴い凝固温度は上昇した。無添加試料では、豆乳およびアーモンドミルク0.5倍希釈試料の凝固温度はそれぞれ68℃、69℃であったが、4倍希釈試料の凝固温度は74℃、75℃といずれも6℃上昇した。一方、牛乳0.5倍希釈試料の凝固温度は69℃であったが、4倍希釈試料では72℃であり、他の希釈液より凝固温度が低く、卵の希釈割合が高くなると牛乳試料では加熱凝固が促進されることが示唆された。また、砂糖添加により、いずれの希釈割合および希釈液においても無添加より凝固温度が上昇した<sup>1)</sup>。一方、食塩添加の場合は、牛乳希釈試料の凝固温度は無添加試料より上昇したが、豆乳及びアーモンドミルク希釈試料では凝固温度が低下し、食塩添加によるゲル化が促進されることが示唆された。

(2) 卵加熱ゲルの物性に及ぼす各種ミルクの影響(無添加試料の場合)

いずれの希釈液においても希釈割合が高くなるにつれて、ゲルは脆弱になった。試料の保形性が保たれる希釈割合は、水希釈試料は1倍希釈、アーモンドミルク希釈試料は3倍希釈、牛乳および豆乳希釈試料は4倍希釈までであった。希釈割合

が0.5倍、1倍の場合、豆乳希釈試料は他の希釈試料よりかたいゲルとなり、2倍以上の希釈になると豆乳および牛乳希釈試料はアーモンドミルク希釈試料よりかたいゲルであった。

(3) 食塩添加卵加熱ゲルの物性に及ぼす各種ミルクの影響

卵加熱ゲルには茶碗蒸しやオムレツなど、塩を加える料理がある。0.8%のNaClを加えた卵ゲルの破断応力値を測定した。水希釈試料は3倍希釈、その他の希釈液は4倍希釈まで試料の測定が可能となった。1倍以上の希釈では、豆乳希釈試料の破断応力が他の試料より有意に高値であったが、3倍以上の希釈では、豆乳希釈試料の破断応力が最も高く、次いで牛乳およびアーモンドミルク希釈試料で、最も低かったのは水希釈試料であった。水、豆乳、アーモンドミルク希釈試料は、食塩添加により無添加試料より破断応力が増加した。特に2倍以上の希釈の豆乳希釈試料において食塩添加による破断応力の増加が顕著であった。これに対して、牛乳希釈試料はいずれの希釈割合でも無添加試料より破断応力が低値となり、食塩による凝固促進が認められず、市川らの報告<sup>2)</sup>と同様の結果であった。

(4) 砂糖添加卵加熱ゲルの物性に及ぼす各種ミルクの影響

卵加熱ゲルの調理であるカスタードプディングを想定して17%の上白糖を加えたゲルの破断応力値を測定した。砂糖添加試料はいずれの希釈液でも無添加試料に比べてやわらかく、砂糖添加は卵のゲル形成を抑制することが確認でき、これまでの報告<sup>1)</sup>と一致した。水希釈試料は2倍希釈、アーモンドミルク希釈試料は3倍希釈でゲルの保形性が弱く、測定不可能であった。また、希釈割合に関わらず、牛乳および豆乳希釈試料は、アーモンドミルク希釈試料よりかたいゲルであった。

卵加熱ゲルの物性に及ぼす各種ミルクの影響を検討した結果、3倍以下希釈の食塩添加牛乳希釈試料を除いて、無添加、食塩添加、砂糖添加いずれも牛乳および豆乳希釈試料は、アーモンドミルクおよび水希釈試料より破断応力が高くかたいゲルを形成することが分かった。牛乳添加により卵加熱ゲル強度が促進される要因としては、牛乳に含まれるCaイオンが卵たんぱく質表面のマイナスの電荷を打ち消す働きにより、熱変性により表面に露出した卵たんぱく質の疎水性領域の連結による卵たんぱく質の凝集とそれに伴う網目構造の

形成を促進し、ゲル化しやすくなると報告されている<sup>12)</sup>。しかし、本実験において、Ca 含量が少ない豆乳希釈試料のゲル強度が、Ca 含量が多い牛乳希釈試料と同程度のゲル強度であることを明らかにした。ゲル強度が高い牛乳および豆乳希釈試料は、いずれもたんぱく質含量が高いという食品成分の特徴が指摘できる。これらのことから、卵加熱ゲル物性の増強因子として、豆乳および牛乳に含まれるたんぱく質の可能性が考えられる。また、食塩添加牛乳希釈試料は他の試料と異なり、無添加試料よりやわらかいゲルとなった。また、牛乳希釈試料のみ食塩を添加することで無添加試料より凝固温度が上昇した。これらのことから、卵加熱のゲル化におよぼす食塩の作用に牛乳成分が影響することが示唆された。

#### 4. 今後の課題

これまでの研究により、卵加熱ゲル物性の増強因子として、豆乳および牛乳に含まれるたんぱく質の可能性が示唆された。そこで、卵の加熱ゲル物性に及ぼす希釈液に含まれるたんぱく質の影響を検討することとした。たんぱく質としては、大豆分離たんぱく質 (SPI)、SPI 酵素分解物、グリシニン、コングリシン、乳清分離たんぱく質 (WPI)、乳清たんぱく質濃縮物 (WPC)、WPC 加水分解物、レンネットカゼイン、酸カゼイン、カゼインホスホペプチドを用いて、全卵、卵白および卵黄、オボアルブミンで調製した加熱ゲルの物性に及ぼす各種たんぱく質の影響を検討することで、卵加熱ゲルの物性増強因子の解明を行う。

卵の加熱ゲル形成に及ぼす豆乳や牛乳の影響を明確にし、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。

#### 5. この助成による発表論文等

##### ②学会発表

[1] 阿相優香, 植物性ミルクがカスタードプディングの物性に及ぼす影響, 日本調理科学 2019/08/27, 中村学園大学 (福岡県・福岡市)

##### 引用文献

- [1] 齊田 由美子, 村田 安代, 松元 文子, 卵液の熱凝固について (第1報), 家政誌, 27 卷 6 号 p.403-411 (1976)
- [2] 市川 朝子, 下村 道子, 卵豆腐・茶碗蒸しのおいしさとその科学, 日本海水学会誌, 61 卷 4 号 p. 210-216 (2007)
- [3] 阿相優香, 植物性ミルクがカスタードプディングの物性に及ぼす影響, 日本調理科学会, (2019)
- [4] 飯田深雪, 今田美奈子, 小川入重子, 熊崎賢三, 斎藤禎, 島静代, 末弘百合子, 筒井載子, 森重伸二郎, 森山サチ子, お菓子・飲み物, 講談社, 東京, 46, (1979)
- [5] 下村道子, 中里トシ子, 市川朝子, 上部光子, 下坂智恵, 高橋ユリア, 西洋料理全書, 建吊社, 東京, 138, (1996)
- [6] 森山サチ子, 洋菓子, 日本放送出版協会, 東京, 109, (1989)
- [7] 齊田 由美子, 村田 安代, 松元 文子, 卵液の熱凝固について (第2報), 家政誌, 27 卷 6 号 p.412-417 (1976)