

シフォンケーキの調理工程における卵黄の機能の解明 - 卵黄の高度利用を目指して -

東京家政大学短期大学部栄養科・特任講師 小泉 昌子

■ 緒 言

ケーキは、パウンドケーキ、スポンジケーキ、シフォンケーキ、ロールケーキ、カステラ等の様々な種類があり、世界中で食べられている。その一方で、製造工程と成分が複雑で、品質を制御することが難しい焼き菓子的一种である。そのため現在、ケーキを産業規模で製造する際には、品質の維持・向上のために乳化剤等を添加することが多い。しかし、クリーンラベル化を推進する現代では、そのような食品添加物を入れないことが望まれる。そこで本研究では、ケーキの製造工程を変化させることにより、ケーキの品質を制御することに着目した。

ケーキの種類は、材料や調製工程の違いにより分類される。主要な材料は、鶏卵、薄力粉、砂糖であり、種類によっては油脂が加えられる。種類は、膨らみが小さく油脂含量が多いパウンドケーキに代表されるバタータイプ、膨らみが大きく油脂含量の少ないスポンジケーキに代表されるフォームタイプ、これらの中間的な材料および製法で作られるシフォンケーキに代表されるシフォンタイプに分けられる¹⁾。バタータイプは4種類の材料を同量混合し、固形油脂が使われる。フォームタイプは、卵白と砂糖を泡立ててメレンゲを作り、卵黄・薄力粉を添加するため、油脂を含まないことが多い。シフォンタイプは、メレンゲに卵黄と液体油の乳化物を混合し、最後に薄力粉を加えて、焼成する。そのためフォームタイプおよびシフォンタイプは共に、卵白の起泡性を利用したケーキである。フォームタイプとシフォンタイプの違いは、油脂添加の有無および卵黄と液体油の乳化の有無である。シフォンタイプは他のケーキに比べて、調製工程に乳化が含まれること、液体油を用いることが特徴である。そのためシフォンケーキの品質には、卵黄乳化物とメレンゲを攪拌や焼成することにより起こる調理科学的・コロイド化学的な現象が大きく関与すると考えられる。

そこで本研究では、シフォンケーキの調製において乳化時の均質化の強さを変えて、油滴径を変化させた場合のケーキの諸性質への影響を、調理科学的・コロイド化学的アプローチにより評価した。さらに、ケーキの焼成前後の現象について詳しく調べることにより、ケーキ焼成のメカニズムも解析した。

■ 方 法

評価は、卵黄乳化液、メレンゲ混合液、バター液、ケーキの4工程について、実施した。

(1) サンプルの調製

サンプルの調製方法は、Figure 1 に示した通りである。

卵黄乳化液は、卵黄 48 g、サラダ油 32 g、砂糖水 56 g(グラニュー糖：イオン交換水：24 g：32 g)を混合し、ホモジナイザー(三井電機製)の回転数を、2,500-10,000 rpm にそれぞれ設定し、1分間均質化した。

メレンゲの調製には、卓上ミキサー(キプロスター製)のホイッパーを用いた。卵白 100 g を泡立てた後、グラニュー糖 32 g を加えて、さらに泡立てた。これに調製した卵黄乳化液を加えて卓上ミキサーのホイッパーで混合し、メレンゲ混合液をとした。

バター液は、メレンゲ混合液に薄力粉を加え、卓上ミキサーのビーターで、混合した。

ケーキは、バター液を直径 15 cm のシフォン型に 280 g 流し入れ、ガスオーブン 180°C で 25 分間焼成した。焼成後、逆さに固定して 1 時間空冷して、ケーキ試料とした。

(2) 測定方法

① 卵黄乳化液のコロイド特性の解析

卵黄乳化液は、油滴径をレーザー回折式粒度分布測定装置(SALD-3100：島津製作所製)により測定した。卵黄乳化液は、イオン交換水で希釈した。

② メレンゲ混合液およびバター液特性の解析

メレンゲ混合液およびバター液は、泡比重を下記の式より求め、時間経過に伴う排液量より安定性を評価した。観察は、光学顕微鏡により気液界面の状態を確認した。

$$\text{比重}[\text{kg}/\text{m}^3] = \text{各液の重量}[\text{kg}] / \text{水の容量}[\text{m}^3]$$

③シフォンケーキ特性の解析

ケーキは、レーザー体積計(winVM2000；アステックス製)により体積および重量を計測し、レオナー(RE2-33005C, 山電製)により中心部2.5 cm角に切り出したケーキのテクスチャーを測定した。微細構造は、卓上走査型電子顕微鏡(TM3030Plus；日立ハイテク製)により観察した。

■ 結果

(1)卵黄乳化液のコロイド特性の解析

一般的にエマルションは、分散している油滴粒子径が小さいほど安定性が高い。ホモジナイザーの回転数の違いによる卵黄乳化液の油滴径は22.1 μ m-2.8 μ mの範囲であり、回転数が高くなるにつれて段階的に小さくなることが確認できた。この結果よりケーキの調製には、均質化の弱い2,500 rpm(22.1 μ m)、標準的な5,000 rpm(6.5 μ m)、強く均質化された10,000 rpm(2.8 μ m)の3種類の卵黄乳化液を用いることにした。

(2)メレンゲ混合液およびバター液特性の解析

メレンゲ混合液の調製直後の泡比重は、3試料について0.24-0.25 kg/m³の範囲であり。バター液では0.37 kg/m³であった。メレンゲ混合液およびバター液ともに、油滴径の違いによる差はなかった。時間経過に伴う各液からの排液量が少なく、安定性が高かった順番に、10,000rpm>5,000 rpm>2,500 rpm 試料であった(Figure 2)。微細な油滴で調製した卵黄乳化液の方が、メレンゲ混合液からの排液量が少なく、泡の安定性が高いことが確認できた。なお、薄力粉を加えたバター液では、いずれの試料からも排液は生じなかった。

そこで、気泡サイズおよび気液界面を観察した(Figure 3)。気泡のサイズは、メレンゲ混合液およびバター液で3試料間に違いはなかった。メレンゲ混合液では、油滴径の大きい2,500 rpm 試料において、気泡間に油滴が挟まる様子が観察された。一方10,000 rpm 試料では、気泡間を油滴が流動し、液が濁ったように観察された。

(3)シフォンケーキ特性の解析

ケーキの重量は、2,500 rpm 試料が231.31 \pm 1.60 g、5,000 rpm 試料が230.30 \pm 0.77 g、10,000 rpm 試料が229.25 \pm 0.49 gで、3試料間に違いはなかった。体積は大きい順番に、10,000 rpm>5,000 rpm>2,500 rpm 試料であり、2,500 rpm 試料が他2試料に比較して有意に小さかった。ケーキの断面は、微細な油滴を含む10,000 rpm 試料で最も気孔のサイズが小さく、均一であった(Figure 4)。

ケーキのテクスチャー特性は、2,500 rpm>5,000 rpm>10,000 rpm 試料の順でかたく、油滴径が小さいほどやわらかかった。凝集性は、油滴径の違いによる差はなかった。

ケーキの微細構造観察は、Figure 5に示した。3試料ともに気孔および気孔壁が観察され、気孔の中にも小孔が存在した。さらに10,000 rpm 試料では、気孔壁中にも小孔が存在し、連続性の良いネットワークを示した。

■ 考察

本研究で用いた微細な油滴を含む卵黄乳化液で調製したシフォンケーキは、体積が大きく、やわらかく、断面にはきめ細かい気孔が観察され、微細構造では気孔内および気孔壁内にも小孔が存在することが確認できた。微細な油滴を含むケーキがやわらかかったことは、気孔や気孔壁中にも小孔が存在することが寄与したためであると考えられた。

ケーキの断面で観察された気孔は、バター液で観察された気泡に由来すると考えられるが、メレンゲ混合液やバター液中の気泡のサイズは、3試料間で違いがなかった。そのため、焼成後ケーキの気孔のサイズに違いがあったことは、焼成中に受けた影響であると考えられる。ケーキは焼成中の温度上昇に伴い、気泡の熱膨張が起り、続いて小麦粉に含まれる澱粉の糊化、鶏卵に含まれるタンパク質の変性を経て、多孔質構造が出来上がる²⁾。気泡が熱膨張する際には、小さい気泡が大きい気泡に合一される現象が起きるため²⁾、本研究では微細な油滴が、焼成中の気泡の合一を阻害した可能性が示唆された。その理由として、メレンゲ混合液やバター液で観察された、気泡間に存在した油滴が流動していたことが挙げられる。一般的に泡に油が混ざると泡は壊れるが、油が安定な状態、すなわちエマルションになっていると、泡の安定性を向上させるという報告がある³⁾。このことから、油滴が微細であったことが、焼成中の気泡の合一を阻害して、その結果、焼成後ケーキの微細構造に小さく均一な小孔が存在したと考えられた。

■ 要 約

シフォンケーキを調製する上での特徴は、卵黄と液体油の乳化工程を含むことである。そこで本研究では、ケーキの調製における乳化時の均質化の強さを変えて、油滴径を変化させた場合の影響を、調理科学的・コロイド化学的アプローチにより、調製工程に分けて評価した。

1. 卵黄乳化液は、卵黄・液体油・砂糖・水を均質化した液である。強く均質化することにより、油滴径が微細になることが確認できた。
2. メレンゲ混合液は、卵黄乳化液に泡立てたメレンゲを混ぜた液である。油滴径が微細であるほど、時間経過に伴う排液量が少なく、安定性が高いことが示されたが、泡比重に違いはなかった。
3. バッター液は、メレンゲ混合液に薄力粉を混ぜた液である。油滴径の違いによる安定性や気泡のサイズに差はなかったが、油滴径が微細であるほど、気泡間を流れる様子が観察された。
4. シフォンケーキは、油滴径が微細であるほど、体積が大きく膨らみ、やわらかく、断面に存在する気孔が細かく均一に存在した。
5. 微細な油滴は、バター液中で均一に分散しやすく、焼成中に気泡が熱膨張する際に、気泡の合一を阻害して、焼成後のケーキの気孔を小さく均一に保つ役割があることが示唆された。

■ 文 献

- 1) T. Godefroidt, N.Ooms, B.Pareyt, K. Brijs and J. A. Delcour.(2019)Ingredient functionality during foam-type cake making : A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 1550-1562
- 2) 水越正彦.(1993)ケーキと泡. 油化学, 42(10), 90-96
- 3) K. Koczó, L. A. Lobo and D. T. Wasan.(1992)Effect of oil on foam stability : Aqueous foams stabilized by emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.150, No.2, 492-506

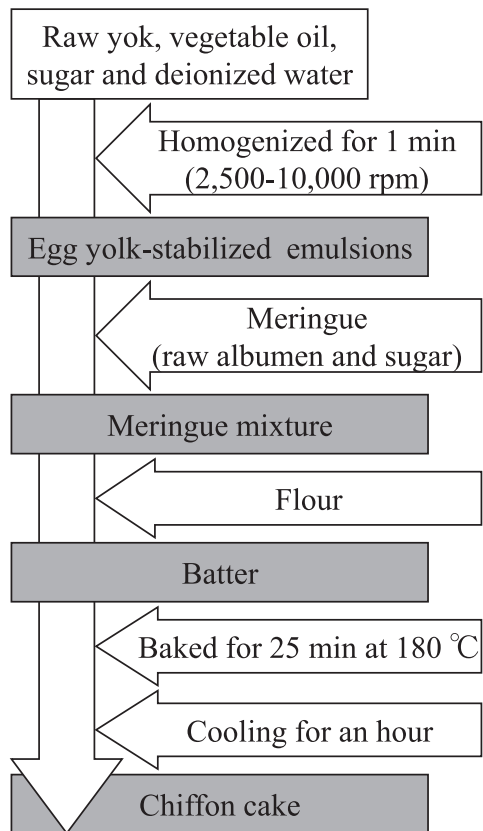


Figure 1 Preparation method

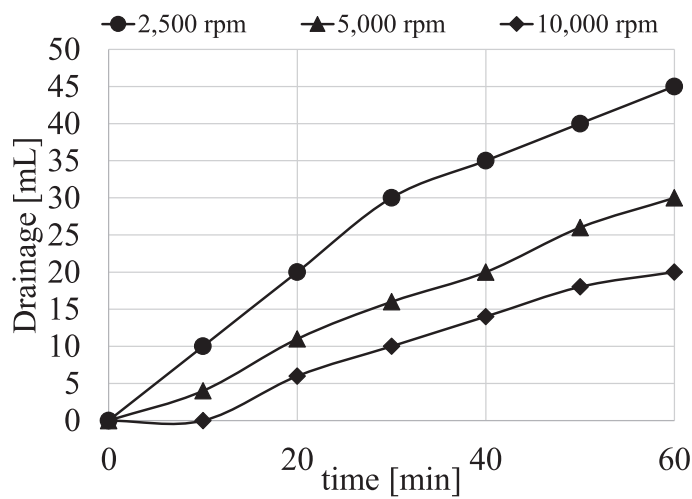


Figure 2 Foam stability of meringue mixture against drainage
1)n=3

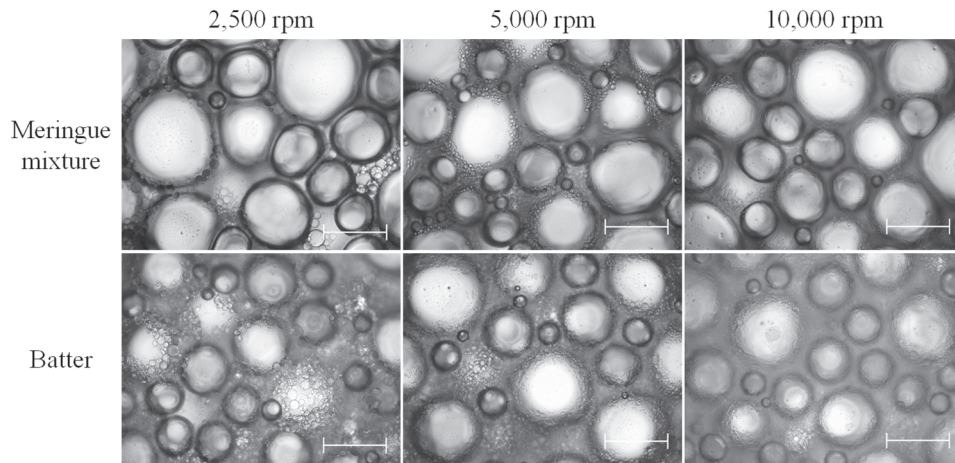


Figure 3 Optical microscopic observation of meringue mixture and batter

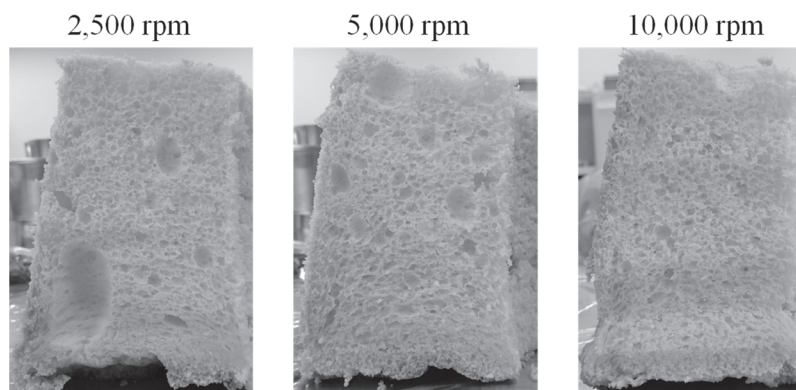


Figure 4 Cross section of cakes

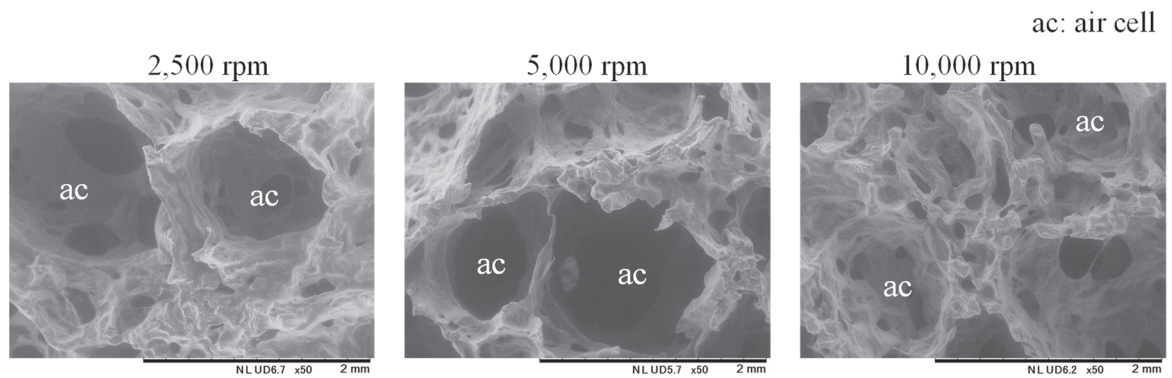


Figure 5 Microstructure of cakes observed by SEM