小麦デンプンで調製したスポンジケーキの特性について

藤井 淑子*・団野 源一**

Properties of Sponge Cakes Made with Wheat Starch

Toshiko FUJII* and Gen-ichi DANNO**

* Kobe Women's University, 2-1, Suma Aoyama, Suma-ku, Kobe 654

** Department of Agricultural Chemistry, Kobe University, Nada-ku, Kobe 657

Sponge cakes were prepared with equal part of flour or wheat starch, sugar and whole eggs, and compared. Cakes baked from wheat starch had much larger volume and better cake grain than those baked from wheat flour. When wheat flour was folded into the foam whipped with sugar and whole eggs, the foam volume in the cake batter decreased to 52% of the initial volume. Use of wheat starch only decreased it to 78% of the initial volume. Cake batter of wheat flour had 20% less volume and high viscosity than that of wheat starch. The reduced levels of flour or starch markedly improved the cake volume, and slightly affected the grain of cakes. The correlation was observed between the batter volume and the maximum volume of the cakes in the oven. Cakes baked from the reduced levels of flour tend to collapse during baking and cooling.

(Received Feb. 3, 1988)

スポンジケーキは鶏卵と砂糖からなるフォームに小麦粉を混ぜて焼き上げたもので、その品質はケーキの外観・形状とスポンジ状の内相の状態によって評価されている。ケーキ材料の配合比率やそれらの性質が、ケーキの体積や内相の状態とテクスチャーに影響を与えることが知られている。例えば、小麦粉を塩素化するとケーキ体積が改善されること¹⁾²⁾。鶏卵に対する砂糖の比率が低下するとフォームの安定性が悪くなり、ケーキ体積が減少すること³⁾、またケーキバッターに消泡剤であるシリコンオイルを添加すると十分なケーキの体積が得られないことが報告されている⁴⁾。材料である小麦粉、鶏卵、砂糖の何れもケーキ体積や品質の良否に影響するが、特に、小麦粉はケーキの構成成分として、ケーキの品質に与える影響が大きいものと考えられてきた。本報告では、小麦粉を小麦デンプンで置き換えたケーキの体積や品質が小麦粉のそれらに劣らないことを示し、スポンジケーキに及ぼすデンプンの役割について検討した。

実験方法

1. 材料

小麦粉は日清製粉(株)の薄力粉(銘柄バイオレット、水分 14.4%, タンパク質 7.9%), 砂糖は市販上白糖(水分 0.80%), 鶏卵は新鮮な市販品(卵黄係数 0.43~0.45)を用いた。小麦デンプン(水分 12.5%, 粗タンパク質 0.2%)はグリコ栄養食品(株)から入手した。

2. スポンジケーキの調製

スポンジケーキの基本配合は、小麦粉 100 部、鶏卵 100 部、砂糖 100 部とした。なお、鶏卵は卵黄と卵白の比率を一定にするため、卵黄と卵白を分けて取り出し、各々を軽く攪拌したのち、35:65 の比率で再混合したものをを用いた。

フォームは共立て法によって調製した。すなわち、鶏卵 300 g, 砂糖 300 g を 40°C に加温した後、ホイッパー用攪拌翼をセットした万能調理ミキサー(ケンミックス, A-901 型)を用いて攪拌し、フォームの密度が

* 神戸女子大学家政学部 (〒 654 神戸市須磨区須磨青山 2-1)

** 神戸大学農学部 (〒 657 神戸市灘区六甲台町 1-1)

0.30±0.005 となるように泡立てた。攪拌時間は 350 rpm (目盛 4) で 13~15 分を要した。攪拌後、フォームを 260 g ずつ 2 個のボウルに取り分け、2 回篩通しをした小麦粉 130 g を加え、ゴムべらを用いて手で 10 回攪拌混合した後ミキサーを用いて 160 rpm (目盛 1) で 20 秒間軽く攪拌してケーキバッターを調製した。このケーキバッター 300 g を内側に敷紙を敷いた直径 18 cm の円形ケーキ型に流し込み、熱風循環型オーブン (ヤマト, DK-63) で 40 分間 185±2℃ で焼き上げた。通常、オーブンには同時に 2 個のケーキ型を入れ、小麦粉と小麦デンプンの比較を行った。同一種類のケーキは少なくとも 3 回調製し、その再現性を確認した。

基本配合の小麦粉 100 g (33.3%) を 80 (28.7%), 60 (23.1%), 40 (16.7%), 20 g (9.1%) に置き換えたものについてもケーキを調製したが、このとき、ケーキ型に流し込むケーキバッター量は 280 g, 260 g... とし、ケーキ型当たりのフォーム量が一定となる様に考慮した。小麦粉を小麦デンプンに置き換えて同様に小麦デンプンケーキを調製した。なお特に断わらない限り、小麦粉または小麦デンプンの量はケーキバッター全体に対する重量パーセントを表示した (Table 1)。

3. ケーキバッターの密度、粘度測定

ケーキバッターまたはフォームの密度は内容量 50 ml の金属容器を用いた秤量法によって求めた。

ケーキバッターの粘度は、B 型回転粘度計 (東京計器, BH 型, ローター: No. 5) を用い、20℃, 10 rpm で測定した。

ケーキバッター中の気泡の分散状態は光学顕微鏡を用いて観察した。

4. ケーキの品質評価

焼き上げたケーキはケーキ型から取り出し、室内に 1.5 時間放冷した後、ケーキの諸性質を測定した。ケーキ体積は菜種法によって測定した。なお、ケーキの体積は表皮とスポンジ部分が密着している状態で測定した。即ち、両者の間に空隙を有するときは空隙の体積分を補正した。スポンジのテクスチャーはレオメーター (不動工業 NRM

2002 J) を用いて測定した。

ケーキの評価は、AACC の採点法に従って⁵⁾、ケーキの外観 (30 点満点) と内相 (70 点満点) の総合点で行った。

実験結果及び考察

1. 小麦粉ケーキと小麦デンプンケーキ

小麦粉を小麦デンプンで置き換えたスポンジケーキの写真を Fig. 1 に示す。小麦デンプンのケーキの方が、大きさも外観の形状も小麦粉のそれに勝る結果となった。

小麦粉のスポンジケーキと小麦粉を同重量の小麦デンプンで置き換えたケーキの体積を Fig. 2 に示す。デンプンケーキは 9.1~33.3% の全てにおいて同比率の小麦粉ケーキよりも大きく膨化して、その体積は小麦粉のその約 1.2 倍となった。これらのケーキのうちで最大の体積を示したのは共に 23.1% の小麦粉、小麦デンプンを配合したケーキであった。

これらのケーキの内相のスポンジ状態は、Fig. 3 に

Fig. 1 Cross section of sponge cakes made from wheat flour and wheat starch

A : wheat flour 33.3%

B : wheat starch 33.3%

C : wheat flour 23.1%

D : wheat starch 23.1%

Table 1 Formulation of cake batter

Ingredients	weight(g)	percentage
Wheat flour or Wheat starch	100	33.3
Sugar	100	33.3
Whole-eggs { yolks whites	35 65	33.3

Fig. 2 Effect of wheat flour and wheat starch on the sponge cake volume

○ : wheat flour cake, ● : wheat starch cake
Sponge cake made from 100, 80, 60, 40, 20 g of wheat flour or wheat starch per 200 g of foam.

Fig. 3 Grain of sponge cake baked from wheat flour and wheat starch

A : wheat flour 33.3%
B : wheat starch 33.3%
C : wheat flour 23.1%
D : wheat starch 23.1%

示すように、よく膨化している小麦デンプンのケーキの方が小麦粉のケーキよりもきめが細かく均一であった。小麦粉 33.3% のケーキでは気孔の密な部分と荒い部分が不均一に混じり合っているが、小麦粉を 23.1% にするとより均一な状態になった。

2. ケーキの官能評価

小麦粉を小麦デンプンで置き換えたスポンジケーキの品質を AACC 法に従った官能検査によって評価した。総合得点で見ると、Table 2 に示すように、小麦デンプンのケーキの品質は小麦粉のケーキのそれよりも高い評価が得られた。その内容を見ると、小麦デンプンのケーキは小麦粉に比べ、ケーキの内相のきめの均一性と細かさ及びスポンジの柔らかさの点で勝り、表面の色調とフレーバーの点で劣る結果を示している。

次に、スポンジケーキの中央部を縦に切断し、厚さ 20 mm のケーキ片を取り出し、その中央部分を径 10 mm のプランジャーでクリアランス 2 mm に圧縮し、テクスチャーを測定した。33.3% の小麦デンプンからなるケーキの硬さ (hardness) は 1.58 kg/cm^2 で、33.3% の小麦粉からなるケーキの 2.20 kg/cm^2 に比べて小さく、この値は 23.1% の小麦粉を含むケーキよりも小さい結果となった (Table 3)。小麦デンプンケーキのスポンジはかなり軟らかいことを示している。

33.3% の小麦デンプンからなるケーキの弾性 (springness) は 48% と小麦粉のケーキの 77% に比べ著しく小さく、小麦デンプンケーキは弾性に乏しく、脆い性質を有することが示された (Table 3)。しかし、23.1% の小麦デンプンのケーキでは 61% となり、その弾性は改善され、同濃度の小麦粉ケーキの値との間に大きな差は認められなかった。

小麦デンプンはよりきめの細かいよく膨れたケーキが得られるが、ケーキの質は弾性に乏しく小麦粉との間に差が認められた。

3. ケーキバターの気泡の安定性に及ぼす小麦粉の影響

鶏卵と砂糖を泡立てたフォームに小麦粉を添加し、混合するとフォームの体積の減少が認められる。これは小麦粉を混和するときフォームの気泡の一部が壊れたことによって生じたものと思われる。

泡立てたフォームに小麦粉または小麦デンプンを混和したときのケーキバターの密度測定からフォームの気泡の安定性を検討した。Fig. 4 に示すように、ケーキバターの密度は小麦粉または小麦デンプンの添加によって増加することが認められた。その密度の増加は小麦

Table 2 Evaluation for quality of flour and wheat starch cakes^{a)}

		Wheat Flour				Wheat starch			
		16.7	23.1	28.6	33.3	16.7	23.1	28.6	33.3 ^{b)}
[External factors]									
Expansion	(10, 8, 4)	5.4	6.2	7.2	7.9	7.2	9.0	9.6	10.0 ^{c)}
Shape	(10, 8, 6, 2)	3.6	4.8	8.2	10.0	5.4	9.4	8.8	8.4
Surface Color	(10, 5)	8.2	9.2	8.2	8.4	9.2	8.6	8.8	6.8
[Internal factors]									
Cells unifomity	(10, 6,2)	2.0	6.6	6.6	7.6	4.8	9.8	9.8	9.6
Grain	(16,10,8)	8.0	10.8	10.6	10.0	10.4	16.0	15.2	11.6
Crumb color	(10, 8,6)	7.2	8.2	8.0	7.6	8.8	8.6	8.4	8.4
Texture									
Moistness	(10, 8, 6,4)	4.8	9.6	8.8	7.2	9.2	10.0	9.2	8.0
Tenderness	(14,12,10,4)	10.0	12.8	11.6	9.2	13.6	14.0	13.4	12.2
Flavor	(10,7)	8.8	9.4	8.8	9.6	8.0	7.6	7.8	8.6
Total	(100)	58.0	77.6	78.0	77.5	76.6	93.0	91.0	83.6

^{a)} This evaluation is based on AACC method.

All questions and answers were given in Japanese.

^{b)} Percentage of wheat flour or wheat starch in batter was on weight basis.

^{c)} Each point was indicated as an average of seven panelists.

Table 3 Texture of cake composed of wheat flour or wheat starch

Flour	(%)	Hardness (kg/cm ²)	Springness (%)
Wheat flour	33.3	2.20	77
Wheat flour	23.1	1.77	66
Wheat starch	33.3	1.58	48
Wheat starch	23.1	1.29	61

Texture was measured using a NRM-2002 J rheometer (Fudou Kogyo Co.)

Conditions: Sample thickness, 20 mm: clearance, 2.0 mm: diameter of plunger, 10 mm

デンプンよりも小麦粉を添加したときの方が著しい結果となった。33.3%の小麦デンプンを含むケーキバターの密度は0.53, 33.3%の小麦粉を含むケーキバターの密度は0.64となった。

各ケーキバターの重量と体積から小麦粉または小麦デンプンのそれら(密度1.1として)を差し引いてケーキバター中のフォームの密度を計算したところ, 33.3%の小麦デンプンを含むケーキバターのフォームの密度は0.41, 33.3%の小麦粉を含むケーキバターのフォームのそれは0.52の値が得られた。フォーム体積は小麦デンプン添加により約78%に, 小麦粉添加によ

り約52%に減少したことになる。ケーキバターの気泡の分散状態を光学顕微鏡で観察したが, 小麦粉と小麦デンプンのバターの間に顕著な差は認められなかった(Fig. 5)。

4. ケーキバターの粘度

泡立てたフォーム(密度 0.30 ± 0.005)に小麦粉または小麦デンプンを重量で9.1から33.3%となるように混和してケーキバターを作り, それらの粘度をB型粘度計を用いて測定した(Fig. 6)。小麦デンプンを混和したときのケーキバターの粘度上昇は小さく, 33.3%の小麦デンプンを含むケーキバターの粘度はフォームのその約2倍となるに過ぎないが, 小麦粉では添加量が増すに連れて粘度も上昇した。特に, 33.3%の小麦粉を含むケーキバターの粘度上昇は著しかった。小麦粉では混和時にグルテンが形成され, その結果ケーキバターの粘度が上昇したものと考えられる。小麦粉を混和したときにフォームの気泡の破壊が起こることは先に述べたが(Fig. 4), このグルテンによるケーキバターの高い粘度が, 混和を困難にし, 混和の際の機械的な力によって気泡が破壊されたものと推論できる。それに対して, 小麦デンプンは粘度の上昇が少なく, フォームにおけるデンプンの分散性が良好なため, 混和時にかかる機械的な力も少なく, 従って, 気泡の破壊も少な

Fig. 4 Effect of wheat flour and wheat starch on densities of the batter and the foam contained in the batter

- : batter prepared with wheat flour
 ●: batter prepared with wheat starch
 —, density of batter (g/ml)
 $\text{=weight of batter (g)/volume of batter (ml)}$
 ----, density of foam (g/ml)
 $\text{=[weight of batter (g) - weight of flour or starch (g)]/[volume of batter (ml) - volume of flour or starch (ml)]}^*$

*volume of flour or starch = flour or starch (g)/1.1 (g/ml)

Fig. 5 Photomicrographs of foam in cake batter from wheat flour (A) and wheat starch (B) (33.3% on weight basis)

いものと考えられる。

5. ベーキング中のケーキ体積の変化

ベーキング中のスポンジケーキの体積変化をケーキの高さを経時的に測定することによって求めた。300 g のケーキバッターを径 18 cm のケーキ型に入れてベーキングした時のケーキの高さの経時変化を Fig. 7 に示す。

Fig. 6 Effect of the concentration of wheat flour and wheat starch on the viscosity of the batter

- : wheat flour batter, ●: wheat starch batter

Measurements by B-type viscometer (Tokyo Keiki Co.) attached No. 5 rotor, at 10 rpm, at 20°C

33.3% の小麦粉を含むケーキの高さのオープンの中での最大値は 4.4 cm で、小麦デンプンを含むケーキの値 (6.3~7.6 cm) に比べ著しく小さいことが認められた。また、加熱前のケーキバッターの高さは小麦粉や小麦デンプンの含有量によって 1.9 cm から 3.1 cm と著しい差が認められた。これは、Fig. 4 で示したように、小麦粉や小麦デンプンを混和することによってフォームの一部が崩壊し、重量当たりのケーキバッターの体積が減少したことによる。加熱前のケーキバッターの高さ (0 分) を基準とした各ケーキの高さの最大値の比率は、何れのケーキにおいても約 2.5 となり、その差は認められなかった。スポンジケーキのオープン中での最大体積はそのケーキバッターの体積、すなわち、ケーキバッターに含まれるフォームの体積によって決まることを示している。

一方ケーキバッターの粘度がケーキ体積に関係すると報告されている⁶⁾⁷⁾。コーンスターチを添加したケーキでは、バッターに水を追加して水分含量を増加させるとケーキの体積が増加することが報告されている。そこでは、水分含量の増加によるバッターの粘度の低下が、ベーキング中のバッターの膨張に対する抵抗を減らすこと

Fig. 7 Response of maximum height for the batter of wheat flour or wheat starch

- : wheat flour 33.3% batter
 ● : wheat starch 33.3% batter
 △ : wheat flour 23.1% batter
 ▲ : wheat starch 23.1% batter

The height of cakes made from wheat flour and wheat starch was monitored in the baking process.

Batter (300 g) in 18 cm round cake pan was baked at 180°C.

によってケーキの体積を増加させるものと考察している⁶⁾。

また、KISSELL と YAMAZAKI は¹⁾、塩素処理した小麦粉がケーキバターの膨化率に影響を与えることを報告している。彼らは、塩素処理した小麦粉が加熱膨張時の気泡内のガスの散逸を防ぐことによってバターの膨化率に影響を与えたものと考察している。

しかし、Fig. 7 の結果から、小麦粉と小麦デンプンの混和によるケーキバターの組成やその粘度等は、バターの膨化率を左右する大きな要因ではないことを示唆している。バターの粘度はフォームの安定性に関係し、高い粘度が小麦粉を混和するときにはフォームの破壊を引き起こし、このフォーム体積の減少が焼き上げたスポンジケーキの体積に影響を与えると考察できる。

小麦粉と小麦デンプンの水分はそれぞれ 14.4% と 12.5% であるので、33.3% のレベルで見ると、小麦デンプンのバター (300 g) は小麦粉のそれより 1.9 g 水分が少ないことになる。しかし、小麦粉からなるバターの方が粘度が著しく高いので (Fig. 6)、この水分の差はバターの粘度に影響しているとは考えられない。

小麦粉のデンプン含量は約 72% であるので、33.3%

の小麦粉バターに含まれるデンプン量は小麦デンプン 28.7% のバターに相当する。小麦粉バターの高い粘度は、小麦粉のタンパク質、ペントザン等によるものと考えられる。小麦粉のグリアジンとグルテニンは水和して粘弾性を持つグルテンを形成する。また、ペントザンの水和により生じた粘質物⁸⁾もまたバターの粘度上昇の要因の一部になっていると思われる。

グルテンタンパク質は 1.1 倍の水を、ペントザンは 6 ～ 9 倍量の水を吸収するので、小麦粉中のこれら物質が、フォームを脱水し、これがフォーム自体の粘度上昇に寄与していることも無視することはできない。これら種々の要因によるケーキバターの高い粘度がバターの攪拌に対する安定性を悪くすると考察した。白木らは⁹⁾、小麦粉を添加したバターは過度のミキシングによってケーキの品質が低下するが、コーンスターチではその影響が少ないことを報告している。

そのほか、バターの安定性、フォームの破壊は機械的な力のほか小麦粉に含まれる水溶性タンパク質、脂質等の界面作用によって影響を受けることも無視できないと思われる。

33.3% の小麦粉または小麦デンプンを含むケーキは最大に膨張した状態で焼き上がり、オープンから出して冷却した際にもその体積の減少は認められなかった。しかし、23.1% の小麦粉を含むケーキでは、その高さが最大に達してから、オープン内で減少した。焼き上げたケーキをオープンから出し、1.5 時間室温で冷却するとケーキの高さはさらに減少した。同様な結果は 23.1% の小麦デンプンを含むケーキでも認められたが、その減少の程度は小麦粉のそれに比べて大きくはなかった。

スポンジケーキの焼き上がる過程を (1) ケーキバターの膨張と (2) ケーキ組織の固定化の 2 段階に分けて考えることができる。ケーキバターの膨張の程度は、主として、フォームの体積、すなわち、バターに含まれている気泡の量によって決まる。一方、加熱により、デンプン粒はフォームから水を吸収し、糊化する。この糊化デンプンの層がケーキの組織を固定化する。焼き上げたケーキのスポンジ状組織を維持するためには十分量のデンプンがフォームの気泡の周りに分散していることが必要となる。小麦粉のタンパク質はケーキ体積やきめの状態に直接的な関係はないものと推察できる。

よく膨れた良質のケーキを得るためには、フォームを破壊することなしに必要な量のデンプンをフォームに分散させることが条件となる。小麦粉タンパク質が水を吸収し、グルテンを形成するので、小麦粉のフォームへの分

散は悪く、又、粘度も高くなるので、フォームの破壊が促進され、ケーキバターの体積が減少し、その結果ケーキ体積も制限される。さらに、小麦粉の分散が悪く、そのデンプン粒に局在があるため、スポンジのきめも荒くなるものと推察した。これに対して、小麦デンプンは比較的容易にフォームに分散するので、ケーキバターの体積の減少も大きくない。従って、小麦粉のケーキに比べてデンプンのケーキは体積とスポンジのきめが改善されたものと結論づけた。しかし、デンプンのケーキは弾性に乏しく、小麦粉のケーキと質は同一でないで、小麦粉のタンパク質のケーキの弾性やテクスチャーへの寄与も考えられる。

要 約

鶏卵（全卵）と砂糖の等量を泡立てたフォームに種々の量の小麦粉または小麦デンプンを混和して、ケーキバターをつくり、スポンジケーキの体積とその品質評価から、ケーキにおける小麦粉の役割を検討した。

(1) 小麦粉を小麦デンプンに置き換えたケーキは、小麦粉のケーキに比べ、体積も大きく、内相のスポンジのきめも均一で細くなり、より高い品質評価が得られた。

(2) フォームに小麦粉を重量比で 1/2 量 (33.3%) 混和すると、フォームの体積は 52% に減少し、ケーキバターの粘度は約 5 倍に増加した。しかし、同量の小麦デンプンでは、フォーム体積が 78% に減少したに過ぎず、また、ケーキバターの粘度の上昇も僅かであった。

(3) オープンの中でのケーキの高さと経時変化を測定した結果、最大の高さは小麦粉と小麦デンプンで著しく

異なるが、ケーキバターの高さに対する比は約 2.5 となり、その差は認められず、ケーキの体積は主として、ケーキバターの体積で決まる結果となった。一方、焼き上げたケーキの体積を保つためには相当量のデンプンを必要とする。

(4) 小麦デンプンは水を添加しても凝集性がないため、小麦粉に比べてケーキバターへの分散性が良く、フォームの破壊も少ないため、よりきめの細かいよく膨れたケーキが得られた。

なお本研究の一部は食品科学振興財団学術研究助成金を得て行ったものであり、謝意を表します。

文 献

- 1) KISSELL, L.T. and YAMAZAKI, W.T.: *Cereal Chem.*, **56**, 324 (1979).
- 2) JOHNSON, A.C. and HOSNEY, R.C.: *Cereal Chem.*, **56**, 336 (1979).
- 3) MIZUKOSHI, M.: *Cereal Chem.*, **62**, 242 (1985).
- 4) MIZUKOSHI, M.: *Cereal Chem.*, **60**, 386 (1983).
- 5) AACC Method 10-90. Eighth Edition, March 1983.
- 6) 藤井淑子・島田淳子: 家政誌, **34**, 616 (1983).
- 7) GAINS, C.S. and DONELSON, J.R.: *Cereal Chem.*, **59**, 237 (1982).
- 8) JELACA, S.L. and HLYNKA, I.: *Cereal Chem.*, **49**, 489 (1972).
- 9) 白木まさ子・貝沼やす子: 家政誌, **32**, 192 (1981).

(昭和 63 年 2 月 3 日受理)