スポンジケーキの品質におよぼすタンパク質の影響

渡辺 雄二*・富田 勉**・青木 宏*

Effect of Proteins on Quality of Sponge Cakes

Yuji WATANABE*, Tsutomu TOMITA**, Hiroshi AOKI*

* Dept. of Food Science and Nutrition, Otsuma Women's Univ.,
12 Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102** Soken-sha Corp., 724 Katakura-machi, Kanagawa-ku,
Yokohama-shi, Kanagawa, 221

Effect of the addition of egg white (EW), egg albumin (EA) and soy protein isolate (SPI) on quality of sponge cakes was studied in relation to their concentration. With the increase of protein concentration, air content of batter decreased and viscosity increased in all cases. This tendency was more remarkable in SPI than in EW or EA. Specific volume of the SPI-cakes decreased progressively with increasing protein concentration, while that of EW-or EA-cakes had the maximum value at 7.5% of protein concentration. Through factor analysis, it was suggested that the correlation between attribute in sensory and instrumental evaluation of the EW-cakes was one-dimensional and texture of the cakes was perceived as a relatively simple system. On the contrary, that of the EA-and SPI-cakes was two-dimensional and texture of the cakes was perceived as a complex system.

(Received Mar. 22, 1986)

スポンジケーキの原料中に含まれるタンパク質の起泡性と熱凝固性は、ケーキの体積を大きく左右する。^{1,2)} すなわち、ケーキの膨化作用には、卵白が抱き込んだ空気熱膨張が関与し、タンパク質の起泡性が低いと、バター中の空気含量が少なくケーキの膨化作用は抑えられる。また、膨化作用が行われても、熱凝固による骨格形成が不完全な場合には、いわゆる“かまおち”の現象によって、ケーキの体積は著しく低下する。

スポンジケーキの品質に関する研究は多く、たとえばケーキの品質におよぼす原料とその配合比の影響、^{3,4)} 製造方法の影響、^{5,6)} またバターおよびケーキの性状変化とそれら相互の関係⁷⁻⁹⁾ 等、多数の研究がなされている。しかし、ケーキの品質と原料に含まれるタンパク質の機能特性との関係を論じた研究は、数少ない。その中で、JOHNSON らは卵白に含まれるタンパク質を6画分に分離し、それらの画分の機能特性とケーキの性状との関係

を明らかにしている。²⁾ しかし、卵白以外の食品に由来するタンパク質の機能特性との比較は、行われていない。また、スポンジケーキ製造の原料として卵白が最適であることは、経験的によく知られているが、この事実を裏付ける基礎的な資料は意外に少ない。

そこで、本研究では卵白、卵アルブミンおよび大豆分離タンパク質を用いて、バターおよびケーキを調製し、それらのタンパク質濃度を変化させた場合のバターの性状とケーキの性状との関係を比較検討した。なお、ケーキの感覚評価と機器測定値との関係も併せて検討した。

実験方法

1. 試料

鶏卵は、実験日2日前に産卵したものを東京鶏卵株式会社から購入し、冷蔵庫内(約4℃)で24時間保蔵したものを実験に供した。

* 大妻女子大学家政学部食物学科(〒102 東京都千代田区三番町12)

** 株式会社創健社(〒221 神奈川県横浜市神奈川区片倉町724)

砂糖は、大日本製糖株式会社製、ばら印グラニュー糖を、小麦粉は、日本製粉株式会社製、ハート印薄力小麦粉を使用した。

卵アルブミン (EA) は、和光純薬工業株式会社製、化学用アルブミン (卵製) を使用した。なお、タンパク質含量 ($N \times 6.25$) は、87.5% であった。

大豆分離タンパク質 (SPI) は、未変性脱脂大豆から常法¹⁰⁾により酸沈殿タンパク質を調製し、これを凍結乾燥したものを実験に供した。乾燥タンパク質のタンパク質含量 ($N \times 6.25$) は、85~88% であった。

2. タンパク質溶液の調製法

EA と SPI のタンパク質溶液は、2.5%、5.0%、7.5%、10.0%、12.5%、15.0% の各濃度に調製した。溶液の最終重量が 150 g になるように、各濃度に対する所定量の EA および SPI の粉末を溶解させた。なお、SPI の溶液については、その pH を 7.0 に 0.2 N の水酸化ナトリウム溶液で調整した。

卵白 (EW) の場合は、蒸留水を用いて希釈し、2.5%、5.0%、7.5%、10.0% の各濃度に調製した。なお、希釈した液の pH は、 8.11 ± 0.20 であった。

3. ケーキの調製法

原料の配合は、卵 150 g (卵白 100 g, 卵黄 50 g)、砂糖 150 g、小麦粉 150 g とし、Fig. 1 に示した方法でケーキを調製した。攪拌機は、万能調理ミキサー (愛工舎製作所 (株) 製 A-907 D 型、埼玉) を用いた。調製したバッテリー 30 g をステンレス製の円形カップケーキ用の型 (底面積 22.8 cm^2 , 上面積 42.9 cm^2 , 高さ 3.2 cm) に入れ、電子式オーブン (松下電器産業 (株) 製 NB-6603, 大阪) を用いて $160 \pm 2^\circ\text{C}$ で焼成した。焼成後、速やかに型抜きをして、室温で 1 時間放冷させたのち、乾燥させないように包装して、24 時間室温で放置した。なお、各試験区 1 回につき 9 個のケーキを調製し、同一試験区につき 6 回繰返した。従って計 54 個のケーキを調製し、機器測定と感覚評価にそれぞれ 27 個ずつ供した。

4. バッターの性状測定

空気含量：ステンレス製容器 (底面積 15.2 cm^2 , 高さ 3.3 cm, 容量 78.0 ml) でバッテリーおよび水の重量を測定し、見掛けの比重を求め、1 から見掛けの比重を差し引いたものをバッテリーの空気含量とした。

粘度：直径 5.5 cm, 高さ 10.5 cm のガラス製容器に、バッテリーを高さ 8 cm まで入れ、ELD 型粘度計 (東京計器株式会社製、東京) でバッテリーの粘度を測定した。

Fig. 1 Flowchart showing preparation of sponge cakes

EW: Egg white, EA: Egg albumin, SPI: Soy protein isolate

5. ケーキの性状測定

気孔率：体積を菜種法で測定し、バッテリーの重量に対する百分率で表わした。

機器測定：ケーキの中心部から試料を $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$ の大きさに切断して、レオナー RE-3305 (山電 (株) 製、

東京)で測定した。硬さ、凝集性、ガム性の測定条件は、下記のとおりである。

プランジャーの材質：アクリル製
 プランジャーの形：直径 40 mm の円板状
 応 力：2 kg
 加重回数：2 回
 クリアランス：6 mm
 試料台速度：5 mm/s
 チャートスピード：240 mm/min

得られたテクスチャー曲線から、各パラメーターの値を常法¹¹⁾により求めた。

破断強度の測定条件は、次のとおりである。

プランジャーの形：直径 5 mm の円筒形
 加重回数：1 回
 クリアランス：1 mm
 試料台速度：1 mm/s

なお、プランジャーの材質、応力、チャートスピードについては、硬さ、凝集性、ガム性の場合と同様である。得られた破断曲線から、破断をしたときの加重量 (F) を読み取り、下記の式より破断強度を求めた。

$$\text{破断強度 (dyne/cm}^2\text{)} = F \times 980 / S$$

但し、 S は、プランジャーの断面積 (cm^2)、980 は、重力加速度 (cm/s^2) である。

感覚評価：パネルは、本学教職員および食物学科学学生の中から 7 名を選んで構成した。評価項目は、硬さ、付着性、くずれやすさ、ざらつき、水気の 5 項目を選定した。パネルは、予備実験と討論を繰り返し、Table 1 に示したように、それぞれの項目の意味付けを行った。評価は、1 試料ずつ比対照採点法で行い、10% の EW で

調製したケーキを標準試料とした。各項目とも肯定側を 5 点、否定側を 1 点とし、標準試料のものを 3 点としたときの相対的評価を求めた。なお、試料の大きさは機器測定の場合と同様、 $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$ であった。

6. データの処理法

機器測定および感覚評価から得られたデータは、因子分析法¹²⁾を用いて統計的に処理した。

結果および考察

1. タンパク質濃度の変化によるバターおよびケーキの性状変化

Fig. 2 は、バターの空気含量におよぼすタンパク質濃度の影響を示したものである。タンパク質濃度が高くなるにつれて、EW, EA, SPI の空気含量は減少する傾向が観察され、各濃度において、EW, EA, よりも SPI の方が低い値を示した。この現象は、5% 以上の濃度で顕著に現われ、特に、12.5% 以上の濃度では、SPI の空気含量が急激に低下する傾向が観察された。

バターの粘度におよぼすタンパク質濃度の影響を示したのが Fig. 3 である。タンパク質濃度が高まるにつれて、EW, EA, SPI の粘度は、増加する傾向が観察され、その傾向は EW, EA に比べて SPI の方が顕著であった。5% 以上の濃度において、SPI は高い値を示し、その増加割合は、12.5% 以上で特に著しかった。Fig. 2 とともに、12.5% 以上における SPI の著しい変化は、高濃度の SPI におけるゲル化傾向が影響しているものと思われる。すなわち、EW, EA に比べて SPI は濃度の増大に伴うゲル化傾向が明らかに高く、これは SPI の分子量が EW, EA のそれらに比べて大きいことに起因していると考えられる。

Fig. 4 には、ケーキの気孔率におよぼすタンパク質濃度の影響を示した。図からわかるように、SPI のケーキ気孔率は、タンパク質濃度によって EW, EA の場合と異なる傾向を示した。すなわち、SPI ではタンパク質濃度の増加につれて、気孔率が一方的に減少するのに対し、EW と EA では 7.5% をピークにして増加から減少に転ずる挙動が観察され、その挙動は EW よりも EA の方が顕著であった。

EW と EA のケーキ気孔率が、7.5% で最大値を示す挙動について明確に説明する資料はまだ充分ではないが、いずれにせよ、攪拌によるバター中の気泡の状態およびそれを焼成した場合のバター中の高分子成分によって形成される骨格の強度および形成状態等が、本実験の条件下においては、7.5% の場合が最も良いバラン

Table 1 Sensory texture attributes of sponge cakes defined by texture profile panel

Hardness	: Force required to compress a sample between teeth.
Adhesiveness	: The perceived degree of adhering to teeth during chewing.
Crumbliness	: Amount of deformation before rupture, compressing between teeth.
Mealiness	: Amount of hard/dry particles left in mouth during mastication.
Moisture	: Overall impression of moisture content of a sample.

Fig. 2 Effect of protein concentration on air content of batter

□ : Egg white, ○ : Egg albumin,
● : Soy protein isolate

Fig. 3 Effect of protein concentration on viscosity of batter

□ : Egg white, ○ : Egg albumin,
● : Soy protein isolate

Fig. 4 Effect of protein concentration on specific volume of cakes

□ : Egg white, ○ : Egg albumin,
● : Soy protein isolate

スを有していたためではないかと推定される。山上らは、気泡が加熱によって膨張する力と気泡壁の強度との適度な組合わせが、良質のケーキを調製するための必要条件であり、またその強度は気泡壁を形成する成分によって大きな影響を受けることを指摘している。¹³⁾¹⁴⁾ 本実験の

結果で EW と EA のタンパク質濃度 2.5% と 5% のケーキ気孔率が、7.5% のそれに比べて低いのは、EW と EA のタンパク質濃度が低いためにケーキの骨格形成が弱くなり、これが気孔率の低下をもたらしているものと推察される。実際に焼成後の“かまおち”の現象が観察された。一方、7.5% 以上のタンパク質濃度では、かまおちの現象が起こらない程度の気泡壁の強度を有するが、タンパク質濃度の増加によってバター中の空気含量が減少するために、それに伴ってケーキの気孔率も減少することが推察された。実際のケーキ製造の現場においても、各原料を混合した後の EW の実質的タンパク質濃度は、約 7.5% 付近にあるものと推定され、この点でケーキの気孔率が最大になるという今回の実験結果は、経験的に割り出した条件の妥当性を裏付けるものとして興味深い。しかし、SPI の場合、EW および EA の場合と同じ傾向を示さないのは、バターの空気含量がタンパク質濃度の増加とともに顕著に減少するためと思われる。特に、7.5% 以上の濃度では気孔率が急激に減少する傾向が観察された。これは、既に指摘した通り、タンパク質溶液のゲル化傾向によって、ケーキの膨化が著しく抑えられることに起因していると考えられる。

2. ケーキの感覚評価と機器測定値との関係

機器測定値間、感覚評価間、および感覚評価と機器測定値間の相関係数を Table 2 に示した。この表から、次のことが観察された。すなわち、“凝集性” (No. 2) とそれ以外の測定項目との間の相関係数および“付着性” (No. 6) とそれ以外の測定項目との間の相関係数が、EW, EA および SPI の三者の間で異なる傾向を示すことである。EW の場合、全ての相関係数は正負の 0.9 以上の値を示したが、SPI の場合は“付着性” (No. 6) との間の相関係数が、-0.3 と著しく低い値を示した点を除いては EW と同様な傾向であった。それに対して、EA の場合は全ての感覚評価項目において、正負の 0.9 以上の値を示したものはなかった。また、“付着性” (No. 6) と全ての機器測定項目との相関係数では、EW の場合いずれも負の 0.9 以上の値を示した。EA の場合も EW と同様な傾向が認められたが、機器測定項目の“凝集性” (No. 2) との相関係数だけは、+0.5 と低い値を示した。それに対して、SPI の場合、全ての機器測定項目において、正負の 0.9 以上の値を示したものはなかった。

次に、Table 2 に示した相関行列を基にして因子分析を行なった結果、EW, EA, SPI とともに第 I 因子と第 II 因子で累積寄与率が 98% 以上を示すことが認められたので、これら 2 つの因子の寄与率および因子負荷量に

Table 2 Correlation matrix of instrumental and sensory attributes

EW ¹⁾									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 ²⁾	1.000								
2	0.959	1.000							
3	0.988	0.990	1.000						
4	0.943	0.992	0.981	1.000					
5	0.986	0.985	0.997	0.984	1.000				
6	-0.956	-0.990	-0.986	-0.999	-0.991	1.000			
7	-0.934	-0.983	-0.973	-0.999	-0.980	0.998	1.000		
8	0.957	0.997	0.989	0.998	0.989	-0.998	-0.994	1.000	
9	-0.949	-0.989	-0.983	-0.999	-0.988	1.000	0.999	-0.998	1.000

EA ¹⁾									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.000								
2	-0.681	1.000							
3	0.986	-0.556	1.000						
4	0.999	-0.693	0.979	1.000					
5	0.990	-0.570	0.997	0.987	1.000				
6	-0.974	0.555	-0.974	-0.978	-0.989	1.000			
7	-0.981	0.690	-0.952	-0.989	-0.971	0.984	1.000		
8	0.966	-0.502	0.978	0.968	0.989	-0.998	-0.969	1.000	
9	-0.997	0.637	-0.988	-0.997	-0.996	0.989	0.988	-0.984	1.000

SPI ¹⁾									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.000								
1	-0.985	1.000							
3	0.993	-0.990	1.000						
4	0.980	-0.990	0.997	1.000					
5	0.958	-0.970	0.986	0.995	1.000				
6	0.173	-0.314	0.176	0.207	0.160	1.000			
7	-0.973	0.985	-0.993	-0.999	-0.997	-0.202	1.000		
8	0.905	-0.958	0.944	0.967	0.971	0.365	-0.972	1.000	
9	-0.988	0.986	-0.999	-0.998	-0.991	-0.159	0.996	-0.949	1.000

¹⁾ EW: Egg white, EA: Egg albumin, SPI: Soy protein isolate

²⁾ 1: Instrumental "Hardness"
 2: Instrumental "Cohesiveness"
 3: Instrumental "Gumminess"
 4: Instrumental "Breaking strength"
 5: Sensory "Hardness"
 6: Sensory "Adhesiveness"
 7: Sensory "Crumbliness"
 8: Sensory "Mealiness"
 9: Sensory "Moisture"

Table 3 Results of factor analysis for instrumental and sensory attributes

	(EW) ¹⁾		(EA)		(SPI)	
	I ²⁾	II	I	II	I	II
1 ³⁾	-0.970 ⁴⁾	0.240	0.898	-0.434	0.980	-0.081
2	-0.994	-0.017	-0.296	0.955	-0.995	-0.063
3	-0.995	0.100	0.948	-0.289	0.995	-0.078
4	-0.995	-0.094	0.893	-0.449	0.999	-0.045
5	-0.996	0.078	0.952	-0.301	0.990	-0.089
6	0.998	0.056	-0.954	0.285	0.251	0.967
7	0.992	0.122	-0.855	0.449	-0.998	0.049
8	-0.998	-0.047	0.972	-0.224	0.971	0.131
9	0.997	0.077	-0.925	0.380	-0.995	0.095
	98.6% ⁵⁾	1.2%	92.1%	7.2%	87.8%	11.0%

1) EW: Egg white, EA: Egg albumin, SPI: Soy protein isolate

2) Number of Factors

3) Instrumental and Sensory attributes (1: Instrumental "Hardness"; 2: Instrumental "Cohesiveness"; 3: Instrumental "Gumminess"; 4: Instrumental "Breaking strength"; 5: Sensory "Hardness"; 6: Sensory "Adhesiveness"; 7: Sensory "Crumbliness"; 8: Sensory "Mealiness"; 9: Sensory "Moisture".

4) Factor loadings

5) Variance explained

について検討した (Table 3)。EW では、全ての測定項目が第 I 因子に高い因子負荷量を示したのに対して、EA と SPI では第 II 因子に 0.9 以上の因子負荷量を示す測定項目が観察された。すなわち、EA では機器測定項目の「凝集性」が、SPI では感覚評価項目の「付着性」が、それぞれ第 II 因子に大きく寄与していた。これらの結果は、EW、EA および SPI で調製されるケーキのテクスチャーの差異とよく一致することが見出されて興味深い。

テクスチャー・プロファイルによると、EA のケーキは EW のそれに比べて噛み切りやすく、また、くずれにくいスポンジ状を呈し、特にタンパク質濃度の増加によって、この傾向は顕著に観察された。また、SPI のケーキはスポンジ状というよりは粒子の集合体としての性格が強く、従って EW のケーキに比べて弾力性に乏しく、くずれやすい傾向を示し、歯につきやすくなる特徴を有するものであった。そして、その特徴はタンパク質濃度の増加につれて、明らかに現われた。

以上のことから、EW で調製したケーキのテクスチャーは、項目間の関係が一次的であることから、比較的単純な系として感覚されるのに対し、EA の場合は機器測定項目の「凝集性」が、SPI の場合、感覚評価項目の「付着性」が、それぞれ他の項目と独立に変動するこ

とから、項目間の関係が二次元的で複合的な系として感覚される。同時に、これら独立して変動する項目が、それぞれのケーキの感覚的特徴と特に強く関連していることが注目された。いずれにせよ、EW、EA および SPI のタンパク質を用いた場合には、出来上がるスポンジケーキの性状が、それぞれ基本的に異なることは事実である。このテクスチャーの本質的な差異が、さらに広範囲な条件を与えることによって、どのように変化するかについて実験を継続中である。

要 約

卵白 (EW)、卵アルブミン (EA) および大豆分離タンパク質 (SPI) の各タンパク質濃度を变化させることによって、バターの空気含量、粘度およびスポンジケーキの気孔率におよぼす影響を調べた。また、ケーキの感覚評価と機器測定値との関係についても検討した。その結果の概要は次のとおりである。

(1) EW、EA および SPI とともに、それらのタンパク質濃度の増加に伴い、バターの空気含量は減少する傾向を、粘度は増加する傾向をそれぞれ示した。これらの傾向が EW、EA よりも SPI の方で顕著に観察されたのは、タンパク質濃度が 5% 以上であった。

(2) ケーキの気孔率では、EW、EA と SPI で異なる

傾向を示した。すなわち、タンパク質の濃度が増加するにつれて、SPI の気孔率は一方的に減少するのに対して、EW および EA の場合は濃度 7.5% をピークにして増加から減少に転ずる傾向が観察された。

(3) ケーキの感覚評価と機器測定値との関係を因子分析の結果から考察すると、EW で調製したケーキのテクスチャーは、感覚評価項目と機器測定項目の属性間の関係が一次的で、比較的単純な系として感覚されるのに対して、EA と SPI の場合は、属性間の関係が二次元的で複合的な系として感覚されることが推察された。

文 献

- 1) JOHNSON, T.M. and ZABIK, M.E.: *J. Food Sci.*, **46**, 1226 (1981).
- 2) JOHNSON, T.M. and ZABIK, M.E.: *J. Food Sci.*, **46**, 1231 (1981).
- 3) 越智知子・吉川誠次: 家政誌, **20**, 151 (1969).
- 4) KISSELL, L.T. and YAMAZAKI, W.T.: *Cereal Chem.*, **56**, 324 (1979).
- 5) 渡辺長男・鈴木繁男・岩尾裕之・小原哲二郎編: 製菓事典, (朝倉書店, 東京) p. 335 (1981).
- 6) 藤井淑子・島田淳子: 家政誌, **34**, 616 (1983).
- 7) MIZUKOSHI, M., MAEDA, H. and AMANO, H.: *Cereal Chem.*, **57**, 352 (1980).
- 8) PATON, D., LARCQUE, G.H. and HOLME, J.: *Cereal Chem.*, **58**, 527 (1981).
- 9) GAINES, C.S. and DONELSON, J.R.: *Cereal Chem.*, **59**, 237 (1982).
- 10) 青木 宏・白瀬好子・加藤潤子・渡辺雄二: 日食工誌, **33**, 171 (1986).
- 11) SZCZESNIAK, A.S., BRANDT, M.A. and FRIEDMAN, H.H.: *J. Food Sci.*, **28**, 397 (1963).
- 12) 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・古沢 正: 多変量解析法, (日科技連, 東京) p. 323 (1979).
- 13) 山上ユリ子・阿部和代子: 松山東雲短大紀要, **5**, 137 (1973).
- 14) 山上ユリ子・阿部和代子: 松山東雲短大紀要, **6**, 63 (1974).

(昭和 61 年 8 月 11 日受理)

新 刊 紹 介

Quality Control in the Food Industry, Volume 2 Second Edition

HERSCHDOERFER, S. M. 編

本書は多種多様な食品の品質に関して述べた全 4 巻のうちの第 2 巻であり、本巻では水の問題とともに、以下の 4 種の食品群に分けて、記されている。

1. Water and Wastewater
2. Dairy Products
3. Meat and Meat Products
4. Fish and Fish Products
5. Edible Oils and Fats

本書は品質に関連する様々な因子、それらの測定方法、および、それらの制御方法について幅広く述べたものであり、食品工業にたずさわる人々にとって好著である。

16×23.5 cm, 522 ページ, 60 ドル, 1986 年

Academic Press Inc.

Harcourt Brace Jovanovich, Publishers