

# 鶏卵の起泡性からみたスポンジケーキの膨化と食味特性

時 藤 亜 衣      三 成 由 美      吉 岡 慶 子

## Expansion of the Sponge Cakes and their Sensory Properties Focused on the Egg Forming

Ai Tokifuji   Yoshimi Minari   Keiko Yoshioka  
(2013年11月27日受理)

### 緒 言

鶏卵卵白はその主成分であるアルブミンの界面活性により容易に泡沫状態を生成し、その性質が古くから洋菓子類の調製に利用されてきた<sup>1)</sup>。特にスポンジケーキの形成は卵白の攪拌によって形成された泡の薄い膜に抱き込まれた空気の熱膨張と、生地に含まれる水分の蒸気圧の増大によって卵白泡が形成される。膨化した卵白泡は熱で凝固した卵白泡と小麦粉のグルテンおよび糊化したでんぷんに支えられていると報告されている<sup>2)</sup>。また良質なスポンジケーキとは、気孔の連続体で形成された均一なスポンジ組織で、その口触りはふんわりとして軟らかいことが特徴である<sup>3)</sup>。一方、鶏卵中にある特定の栄養価を強化した卵や鶏卵以外の走鳥類の卵<sup>4-6)</sup>などの特殊卵が近年市場に流通している。特に、産卵鶏飼料中に海藻や無機ヨードを添加して鶏卵中のヨード含有量を強化したヨード強化鶏卵は広く流通している。その栄養的有効性については、血中コレステロール改善作用、抑炎症作用、抑アレルギー作用等が報告されている<sup>7)</sup>。しかし、ヨード強化鶏卵の調理特性について報告された論文はほとんどみられない。

本研究ではヨード強化鶏卵と普通卵（白色レグホーン鶏卵）の2種類の鶏卵を用い、その調理特性について鶏卵の起泡性の観点からスポンジケーキを調製した。スポンジケーキは共立て法および別立て法で調製し、スポンジの膨化の程度、テクスチャー測定、気孔構造の観察および官能評価を行い、食味特性に及ぼす影響について調理科学的に検討した。

### 実験方法

#### 1. 鶏卵の理化学的特性

使用した鶏卵は、A：ヨード強化鶏卵、B：白色レグホーン鶏卵であり、同一の養鶏場で飼育され、産卵後2、3日経過した鶏卵を使用した。これらの鶏卵の理化学的特性として、鮮度鑑別法に用いられている卵黄係数および濃厚卵白率（%）を次式より算出した。

$$\begin{aligned}\text{卵黄係数} &= (\text{鶏卵の高さ: } h) / (\text{卵黄の直径: } k) \\ \text{濃厚卵白率}(\%) &= (\text{濃厚卵白重量}) / (\text{穴杓子(穴の数: } 4\text{mm } \phi \times 25\text{個)}) \text{を通過した卵白重量} + \text{濃厚卵白重量}) \times 100\end{aligned}$$

#### 2. 生地調製法

スポンジケーキの調製法をFig.1にフローチャートで示した。小麦粉は市販の日清製粉製の薄力小麦粉（バイオレット）、砂糖は大日本明治製糖製の上白糖を使用した。ケーキの材料配合は薄力粉：砂糖：卵を100：100：100の同割合とし、さらに精製水30ccを加えた。1の共立て法（A1、B1）では、全卵に砂糖を加え、ハンドミキサー（ナショナル製 MK-H3）の高速レンジで7分間泡立て、薄力粉を加え混ぜて生地を調製した。2の別立て法（A2、B2）では、卵白と砂糖を4分間泡立て、別に、卵黄に砂糖を混ぜ合わせ、薄力粉を加え混ぜて生地を調製した。卵泡比重および生地比重はバター調製時に次式より算出した。

卵泡（または生地）比重 = 卵泡（または生地）の重量 / シャーレを充たす水の重量

焙成条件はオーブンレンジ（ナショナル製 NE-JW1）で170℃、27分間で行った。

## 1. Foaming of whole egg

## 2. Foaming yolk and white of egg

## separated method

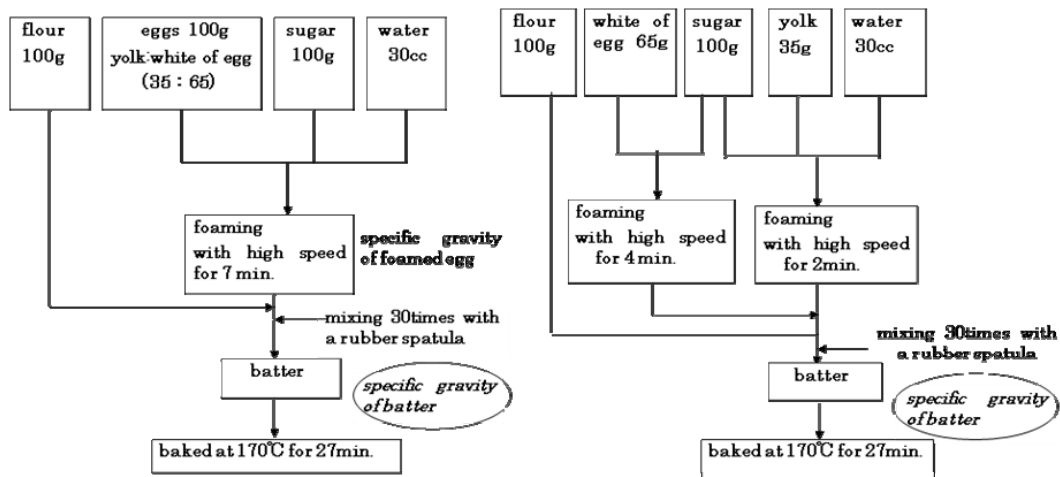


Fig.1 Preparation of sponge cakes

## 3. スポンジケーキの膨化率

各スポンジケーキの膨化の程度は、菜種法で体積 (mℓ) を計測し、生地重量 (g) で除して膨化率を算出した。

## 4. スポンジケーキの表皮および内相の測色

シフォンケーキ A, B の内相の測色は、30mm φ のセルに詰め、測色色差計 (日本電色工業; ZE2000) で L\*, a\*, b\* 値を計測し、色差 (ΔE\*) を次式により算出した。

$$\text{色差} (\Delta E^*) = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

## 5. スポンジケーキの気孔構造の観察

スポンジケーキの気孔構造の観察は、焼き上がりのケーキを薄切して、試料台に載着し、金蒸着した。走査型電子顕微鏡 (日立製 S-3000N) で加速電圧 10.0kV, 30倍および 150倍で観察した。

## 6. スポンジケーキのテクスチャー測定

焼成後のスポンジケーキを一晩常温で保存し、試料測定に供した。テクスチャー値の測定は、試料片を 30mm × 30mm × 15mm に成形し、クリープメーター (RE2-33005S, 山電製) を使用して 10mm φ 円板状プランジャーおよび V 字型プランジャーを用い、ロードセル 20N, 測定スピード 1mm/s, 測定歪率 80% で測定した。自動解析装置ソフトウェア (テクスチャー解析 Windows TAS-3305 (w)) に

より、かたさを算出した。

## 7. スポンジケーキの官能評価

スポンジケーキの官能評価は、外観、風味・味、口ざわり、きめ、硬さ、弾力、口溶けのよさおよび総合評価の項目について、食物栄養系の学生 14 名で、5 段階評点尺度法を用いた。

## 8. 統計解析

鶏卵の鮮度鑑別の測定値については Student's t 検定を行った。ケーキの膨化率 (%), 物性測定, 官能評価は一元配置分析後, Tukey または Games-Howell の多重比較検定を行った。また, 官能評価項目間の相関関係は Spearman の相関係数を用いて調べた。統計解析はいずれも Statistical Package for Social Science (SPSS) 19.0J (SPSS Inc. Chicago, USA) を使用し, 統計学的有意水準は  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$  とした。

## 結 果

## 1. 鶏卵の理化学的特性

鶏卵 A, B の理化学的特性を Table.1 に示した。卵黄係数は A : 0.49, B : 0.50、濃厚卵白率は A : 74.16%, B : 62.71% で A が有意に高値を示した。卵白の pH は A : 8.8, B : 8.9, 卵黄の pH は A, B ともに 5.9 であった。

Table.1 Properties of eggs

	A	B
yolk index	0.49±0.01 <sup>n.s</sup>	0.50±0.03
thick albumin rate(%)	74.16±1.05 <sup>**</sup>	62.71±2.09
pH		
white of egg	8.8±0.13 <sup>n.s</sup>	8.9±0.06
egg yolk	5.9±0.18 <sup>n.s</sup>	5.9±0.40

A: Iodine-enriched egg, B: White leghorn egg

\*\*: significantly different at  $p<0.01$ ,  $n=6$ 

## 2. スポンジケーキの生地比重と膨化率

スポンジケーキの卵泡比重、生地比重および膨化率を Table.2 に示した。卵泡比重は鶏卵の違いで比較すると、A 1、A 2 よりも B 1、B 2 の方が低値を示した。また、同じ鶏卵を調製方法の違いで比較すると、A 1 よりも A 2 が、B 1 よりも B 2 が低値を示した。一方、生地比重では A 1、A 2 よりも B 1、B 2 の方が高値を示し、A 1 よりも A 2 が、B 1 よりも B 2 高値を示した。菜種法によるケーキの比容積による膨化の程度を見ると、共立て法の A 1 が最も良く膨化しており、次いで B 1、B 2、次いで A 2 の順であった。

## 3. スポンジケーキの表皮および内相の測色

スポンジケーキの表皮、内相の色相を Table.3

Table.2 Specific gravity of egg foam, Specific gravity of batter and expanded ratio of sponge cakes

		Specific gravity of egg foam (%)	Specific gravity of batter (%)	Expanded ratio (%)
Foaming of whole egg	A1	0.332±0.025	0.391±0.012	325±10
	B1	0.275±0.016	0.411±0.008	310±14
Foaming yolk and white of egg separately	A2	0.308±0.007	0.475±0.009	300±40
	B2	0.263±0.013	0.482±0.008	311±11

A: Iodine-enriched egg, B: White leghorn egg

1: Sponge cakes prepared by foaming of whole egg.

2: Sponge cakes prepared by foaming of yolk and white of egg separated method.

\*: significantly different at  $p<0.05$ ,\*\*: significantly different at  $p<0.01$ ,  $n=6$ 

に示した。共立て法の表皮の色は赤味がかった茶褐色で、A 1、B 1 の色差は 2.43 と感知せられるほどであった。別立て法の A 2、B 2 では、色差が 3.98 と目立つほどで、A 2 の方が若干黄色味がかった茶褐色であった。内相では、共立て法、別立て法ともに A 1、A 2 がやや黄色が強く、目立つ程の色差を示していた。

Table.3 Colors of surface and inside of the sponge cakes

Colors of the surfaces of cakes in the different method of foaming and the two brand eggs

	L*	a*	b*	ΔE*
A1	45.54 ± 0.33	16.02 ± 0.42	21.93 ± 0.56	2.43
B1	46.45 ± 0.74	13.98 ± 0.72	20.98 ± 0.16	

	L*	a*	b*	ΔE*
A2	51.49 ± 0.89	12.29 ± 0.65	25.52 ± 0.32	3.98
B2	52.85 ± 1.29	13.15 ± 0.32	21.88 ± 0.99	

Colors of the inside of cakes in the different method of foaming and the two brand eggs

	L*	a*	b*	ΔE*
A1	76.03 ± 0.84	-2.26 ± 0.07	27.11 ± 1.11	3.61
B1	72.63 ± 1.01	-1.85 ± 0.06	25.97 ± 1.33	

	L*	a*	b*	ΔE*
A2	72.22 ± 1.01	-1.32 ± 0.06	25.58 ± 1.33	3.47
B2	75.04 ± 0.59	-1.64 ± 0.10	23.58 ± 0.65	

A: Iodine-enriched egg, B: White leghorn egg

1: Sponge cakes prepared by foaming of whole egg.

2: Sponge cakes prepared by foaming of yolk and white of egg separated method.

(n=6)

#### 4. スポンジケーキの気孔構造の観察

共立て法によるスポンジケーキのSEM像(×30)をFig.2に示した。A 1では、球状の気孔が連続し、気泡が合一して破泡せずに膨張したスポンジ状構造が観察された。B 1では、気泡が合一した後とみられる小孔が大きくなっていた。B 1よりA 1の方が均一で、気孔壁にも小孔が認められた。一方、B 1では部分的に気孔の合一や亀裂がみられた。さらに、高倍率(×150)で観察すると、A 1では連続した気孔がみられ、気孔壁には小孔が認められたのに対し、B 1では部分的に気孔の合一や亀裂が認められた。

別立て法によるスポンジケーキのSEM像(×30)をFig.3に示した。別立て法では、全体的に気孔が小球化し、一部には気孔層の崩壊もみられた。さらに高倍率(×150)では、A 2は気孔壁の一部に亀裂が見られるが、B 2では気孔壁の随所に断裂が認められた。

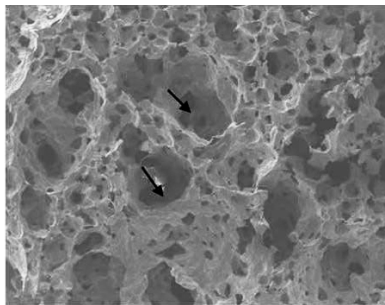
#### 5. スポンジケーキのテクスチャー測定

スポンジケーキのテクスチャー試験による測定結果をFig.4に示した。貫入による硬さは、共立て法のA 1が最も低く、次いでB 1であり、別立て法ではA 2に比べB 2が高値を示した。せん断による硬さでは、共立て法ではA 1が、別立て法ではA 2が若干高値を示した。

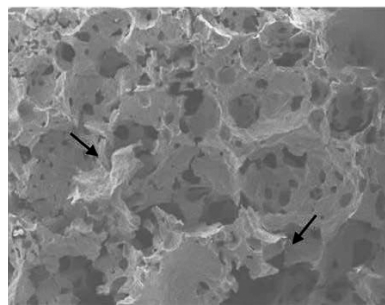
#### 6. スポンジケーキの官能評価

スポンジケーキの官能評価の結果をFig.5およびTable.4に示した。共立て法でヨード強化鶏卵使用のA 1が表皮の焼色、内相の色、風味・味、口ざわり・きめ、口溶けの良さで最も高い評価を得た。総合評価ではA 1、A 2、B 1、B 2の順に良いと評価された。同じ鶏卵を使用した場合、共立て法の方が評価値が高い傾向がみられた。総合評価と最も高い相関関係を示したのは口溶けの良さ( $r=0.759$ )であり、次いで風味・味の項目( $r=0.739$ )であった。

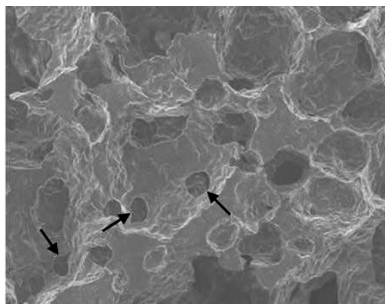
A 1 (×30)



B 1 (×30)



A 1 (×150)



B 1 (×150)

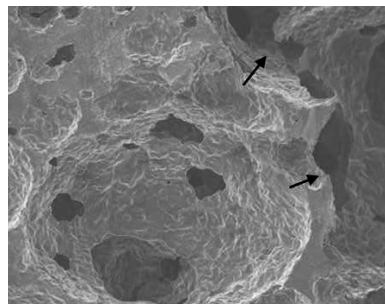


Fig.2 Scanning electron micrographs of the porous structure of sponge cakes prepared by foaming of whole egg.

A: Iodine-enriched egg, B: White leghorn egg

1: Sponge cakes prepared by foaming of whole egg.

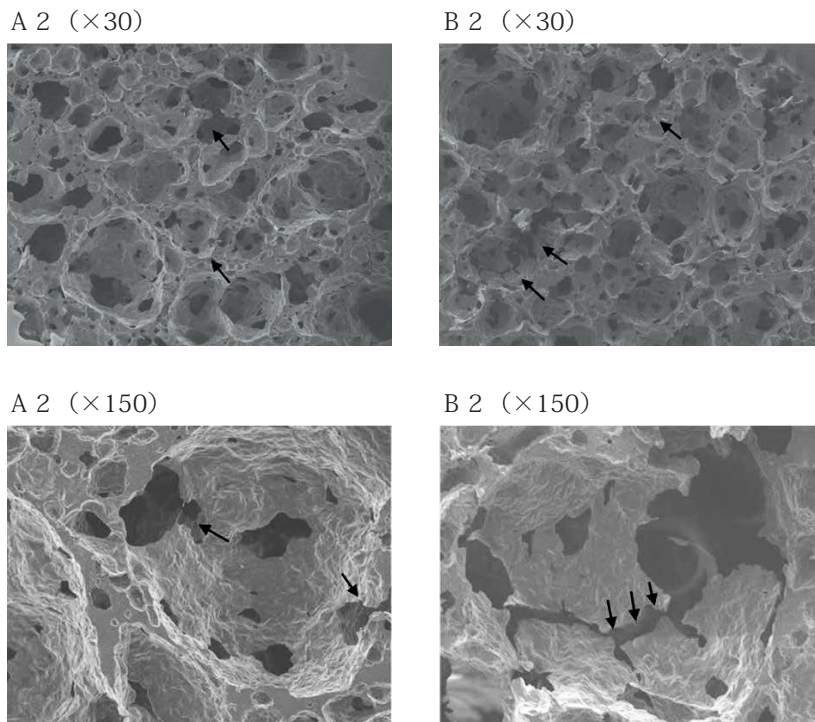


Fig.3 Scanning electron micrographs of the porous structure of sponge cakes prepared by foaming of yolk and white of egg separated method.

A: Iodine-enriched egg, B: White leghorn egg

2: Sponge cakes prepared by foaming of yolk and white of egg separated method.

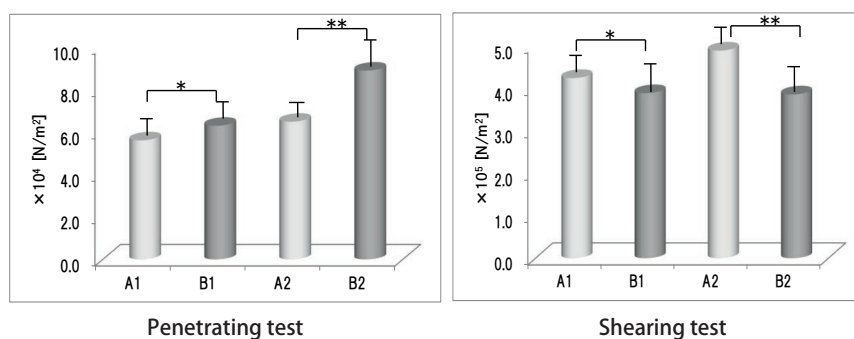


Fig.4 Textural properties of sponge cakes

A: Iodine-enriched egg, B: White leghorn egg

1: Sponge cakes prepared by foaming of whole egg.

2: Sponge cakes prepared by foaming of yolk and white of egg separated method.

Measuring condition : penetrating test plunger 10mm  $\phi$  ; shearing test plunger V shaped; deformation rate 80%; test speed 1.0mm/sec.

Values are mean  $\pm$  SD. Error bars represent standard deviations (n=6), \*: significantly different at  $p < 0.05$ , \*\*: significantly different at  $p < 0.01$ .



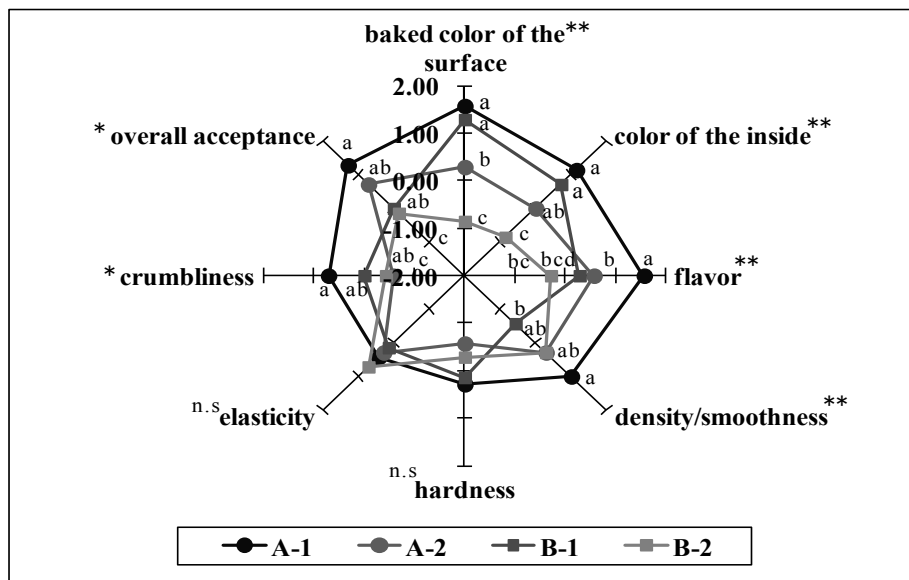


Fig.5 The Sensory evaluation test of sponge cakes

A: Iodine-enriched egg, B: White leghorn egg

1: Sponge cakes prepared by foaming of whole egg.

2: Sponge cakes prepared by foaming of yolk and white of egg separated method.

Sensory evaluation tests were examined by 14 testers with a five-grade scale in sponge cakes with two eggs by the different foaming method.

Values not sharing a common superscript letter (a, b, c, d) are significantly different ( $p < 0.05$ ) as assessed by Games-Howell' s multiple range test.

\*: significantly different at  $p < 0.05$ , \*\*: significantly different at  $p < 0.01$ .

Table4. Correlation was determined by Spearman's correlation coefficients of the Sensory evaluation test

	baked color of the surface	color of the inside	flavor	density/ smoothness	softness	elasticity	crumbliness	overall acceptance
baked color of the surface		0.737**	0.437**	0.079	0.257	0.091	0.229	0.272*
color of the inside	0.737**		0.566**	0.237	0.413**	0.173	0.385**	0.415**
flavor	0.437**	0.566**		0.600**	0.407**	0.329*	0.511**	0.739**
density/ smoothness	0.079*	0.237	0.600**		0.612**	0.456**	0.426**	0.630**
softness	0.257	0.413**	0.407**	0.612		0.460**	0.725**	0.488**
elasticity	0.091	0.173	0.329*	0.456**	0.460**		0.539**	0.539**
crumbliness	0.229	0.385**	0.511**	0.426**	0.725**	0.539**		0.759**
Overall acceptance	0.272*	0.419**	0.739**	0.630**	0.488**	0.539**	0.759**	

\*: significantly different at  $p < 0.05$ , \*\*: significantly different at  $p < 0.01$ ,  $n = 6$ .

## 考 察

鶏卵の理化学的特性について、卵黄係数や pH ではヨード強化鶏卵と白色レグホーン鶏卵間に有意差がみられなかったが、濃厚卵白率ではヨード強化鶏卵の方が高かった。このことはヨード強化鶏卵のほうが鮮度を保持していたと考えられるのか、または飼料の違いによって卵白の成分に変化が生じただけととらえるのかは不明である。濃厚卵白にはオボムチン量が多く、濃厚卵白のゲル状部分にはリゾチーム量が多い<sup>8)</sup>ことから、これらの成分が卵白の粘度を高めていると推察された。

スポンジケーキの卵泡比重、生地比重および膨化率について、卵泡比重では白色レグホーン鶏卵の方がヨード強化鶏卵よりも低く、気泡力が高いことが考えられた。また、スポンジケーキの調製方法の違いでは別立て法の方が共立て法よりも泡立ちが良いとされた。一方、生地比重においてはヨード強化鶏卵の方が白色レグホーン鶏卵よりも低かった。また、調製方法の比較では共立て法の方が別立て法よりも生地比重が低かった。これらの結果から、鶏卵の比較ではヨード強化鶏卵が、調製方法の比較では共立て法の方が木杓子による混合操作に対する卵白泡沫の安定性が高いことが示唆された。膨化率については、共立て法ではヨード強化鶏卵の生地比重が反映された結果であった。共立て法のケーキの膨化力は、卵白泡沫の膨化によってのみ得られるものではない。特に、卵白タンパク質の一つであるコンアルブミンは、卵黄に含まれる鉄などの金属イオンと金属複合体を形成すると分子構造が密になり、熱安定が高くなることが知られ<sup>9)</sup>、スポンジケーキの膨化に関与していると思われた。

スポンジケーキの表皮および内相の色相はヨード強化鶏卵の卵黄の色素が影響したものと考えられた。卵黄の色素は大部分がカロチノイドで、その90%はルテインやツエアキサントフェンなどのキサントフィル類である<sup>10)</sup>。カロチノイドは鶏の体内では合成されないことから、ヨード強化鶏卵の飼料に含まれるトウモロコシや海藻粉に由来するものと考えられた。

スポンジケーキの気孔構造について、球形の気孔構造の要因は、ケーキバッターが加熱時に気泡が合一、破泡することなく膨張することで、気密性を得ることとされている<sup>11)</sup>。それには気泡と気泡膜をおおう小麦粉デンプン粒の相互的な役割<sup>12)</sup>や糊化特性<sup>13)</sup>、熱伝導率、蒸気投入などの焙焼条件<sup>14,15)</sup>および糖や油脂の添加<sup>16)</sup>の影響が考えられるが、本実験では鶏卵の種類のみを比較した。そのため、

ヨード強化鶏卵が連続した球形の気孔構造の形成に寄与していたといえる。その理由としては、ヨード強化鶏卵の方が卵白液の粘度を高めるオボムチンが多いと推測され、泡沫膜の剛性を強めて泡沫を安定させていたためと考えられる。

スポンジケーキのテクスチャー測定によるかたさは、共立て法のヨード強化鶏卵のスポンジケーキが最も低く、ふんわりとした軟らかい性状であった。別立て法では白色レグホーン使用のスポンジケーキのかたさが高値を示したことは、気孔がやや不均一で、一部に合一して硬化し崩壊が見られることによると考えられた。また、せん断によるかたさでは、別立て法の白色レグホーン使用のスポンジケーキが最も低値を示したのは、気孔壁の断裂により気孔形成の崩壊によるもろさが表れたためと示唆された。スポンジケーキの官能評価は共立て法のA1が各項目で良好な食味評価を得ることができ、ケーキの膨化度、気孔構造の所見および物性値を反映するものであった。また、スポンジケーキの総合的おいしさには「口溶けの良さ」が最も影響を与え、ケーキバッター調製時の鶏卵卵白の起泡力および安定性が深く関与し、使用する鶏卵の種類や調製方法の選択が重要であることが明らかとなった。

## 要 約

本研究ではヨード強化鶏卵と普通卵（白色レグホーン鶏卵）の2種類の鶏卵を用い、スポンジケーキを共立て法および別立て法で調製し、スポンジの膨化の程度、テクスチャー測定、気孔構造の観察および官能評価を行い、食味特性に及ぼす影響について検討した。

スポンジケーキの卵泡比重、生地比重および膨化率から、ヨード強化鶏卵使用のスポンジケーキの方が卵白泡沫安定性が高く、最もよく膨化していた。

気孔構造観察から、共立て法のヨード強化鶏卵使用のスポンジケーキでは連続した球形の気孔構造が観察され、剛性の強い泡沫膜の形成によるものと考えられた。また、そのテクスチャー特性はふんわりとした軟らかい性状であった。さらに官能評価においても共立て法のヨード強化鶏卵使用のスポンジケーキが各項目で良好な食味評価を得ることができ、ケーキの膨化度、気孔構造の所見および物性値を反映するものであった。

## Abstract

Sponge cakes were prepared by the methods of the whole egg foaming and the separated forming of yolk and white, using two kinds of eggs, the iodine-enriched eggs and the white leghorn eggs. The expanded ratios of these cakes and their textures were measured, the porous structure was observed under a scanning electron microscopy and their sensory evaluation was done, and the cooking qualities of these cakes were investigated.

From the results of the specific gravity of whole egg foaming, the specific gravity of batter and the expanded ratios, the cake using the iodine-enriched eggs by the method of foaming of whole eggs was the most stable in foaming and the expanded ratio was the highest. In SEM observation of porous structure continuous spherical pores were shown in the cake using iodine-enriched eggs by the method of the whole egg foaming, which is considered due to the formation of elastic forming membrane. The feature in the textural properties was soft.

Furthermore in the sensory evaluation the cake using iodine-enriched eggs by the method of whole egg foaming gained high scores in each items, which reflects good qualities altogether with the results of the expansion of cake, the porous structure and softness in the textural properties.

## 文 献

- 1) 藤岡利子, 松本幸雄. 1994. 鶏卵白泡沫の安定性に対するレオロジー的評価の試み. 調理科学 27 (1): 7-13
- 2) 越智知子. スポンジケーキ. 1989. 調理科学 22 (4): 40-45
- 3) 藤井淑子. 2001. 「食品・調理・加工の組織学」. 田村咲江監修. 東京. 学窓社: 33-42
- 4) 伊藤敬恵, 山の中なつみ, 小川宣子. 2008. 異なる鶏種の鶏が産卵した卵の卵黄中のホスファチジルコリン含量の比較. 岐阜女子大学紀要 37: 15-18
- 5) 峰木真知子, 生方恵梨子. 2008. ダチョウの卵で調製したスポンジケーキの特性—白色レグホーン種鶏卵製品との比較—. 東京医療保健大学大学紀要 1: 1-9
- 6) 小出あつみ, 山内知子. 2009. エミュー卵の調理特性. 名古屋女子大学紀要 55: 19-30
- 7) 土橋英理, 大山紀彦, 夏堀雅宏, 世良耕一郎, 畠山智 他 6 名. 2005. PIXE 分析による採卵鶏の卵・臓器および飼料中ヨード濃度測定の基礎的検討. NMCC 共同利用研究成果報文集13: 234-256
- 8) 佐藤泰, 早川茂. 1977. 鶏卵濃厚卵白の構造に関する一考察. 農化51(1): 47-51
- 9) 新井映子, 伊藤清枝. 1991. 卵黄泡沫の膨化がスポンジケーキの品質に及ぼす影響. 日本家政学会誌 42 (2): 161~169
- 10) Romanoff, A. L and Romanoff, A. J. 1963. The Avian Egg. John Wiley & Sons: 346
- 11) 楠瀬千春. 2004. スポンジケーキ・パンの気孔構造の形成へ及ぼす気泡と澱粉粒の相互作用. 日本調理科学会誌 37 (2): 13-20
- 12) Toshiko Fuji, Sumiko Nagai, Chiharu Kusunose and Hiroshi Matsumoto. 1995. The role of starch granules on the formation of gas cell in sponge cake. The Japan Society of Cookery Science 28 (4): 237-246
- 13) 武田紀久子. 1992. 小麦粉成分および特性がスポンジケーキの膨化に及ぼす影響 (第4報) 粉のエージングによる影響. 日本家政学会誌 43 (8) 765-771
- 14) 渡辺豊子, 大喜多祥子, 福本タミ子, 山田光江. 1997. スポンジケーキ・パウンドケーキの焼成過程における生地温度履歴と製品への影響 (第4報) 同一生地比重のスポンジ・バタースポンジ・パウンドの場合. 日本調理科学会誌 30 (4): 308-314
- 15) Kyoko Ohishi, Shoko Shibukawa. 2010. Investigation of the use of superheated steam with a household oven during the baking of sponge cake. The Japan Society of Cookery Science 43 (5): 286-293
- 16) 川染節江, 山野善正. 1991. バタースポンジケーキのテクスチャーに及ぼす砂糖含量の影響. 日本家政学会誌 42 (1) 53-60