

卵殻粉を添加したパウンドケーキの調製

島村 綾・峯木 眞知子
(平成28年12月8日査読受理日)

Preparation of a Pound Cake with the Addition of Powdered Eggshell

SHIMAMURA, Aya MINEKI, Machiko
(Accepted for publication 8 December 2016)

キーワード：卵殻粉，パウンドケーキ，力学特性，官能評価

Key words：eggshell, pound cake, mechanical property, sensory evaluation

緒言

卵殻粉は、鶏卵の卵殻を粉状に加工した製品で、一般に廃棄される卵殻を再利用している。その主成分は炭酸カルシウム¹⁾で、きわめて細かい粒子に加工され、体内への吸収効率も高く、カルシウム剤として有効である²⁾。また、卵殻粉は、食品企業において食感改良の目的で、鶏卵の起泡の安定性をよくする³⁾、クッキーやフライの揚げ衣が軽く出来上がる⁴⁾、かまぼこなどの水産練り製品の弾力増強効果⁵⁾や、畜産加工品などに利用されている。伊佐⁶⁾は、卵殻粉の添加は、油脂の使用量が多い調理品に向いていると報告している。しかし、卵殻粉を添加した加工製品の研究は少ない^{4, 5)}。

そこで、本研究では、油脂を多く使用するパウンドケーキに卵殻粉を添加することを考えた。卵殻粉に多く含まれるカルシウムは、幼児・学童および思春期の成長期に必要な量が増加する栄養素であり、それだけでなく、閉経以後の女性では、“骨粗鬆症”予防の観点から、カルシウムの積極的な摂取が望まれている。しかし、国民健康栄養調査結果(平成24年度)⁷⁾では、思春期以降のカルシウム摂取量は低下する傾向にあり、多くの年代で推奨量を下回っている。そこで、カルシウム摂取につながると考え、卵殻粉を添加したパウンドケーキを調製し、そのできあがり重量および体積、試料内部の色度、物性測定、組織観察、官能評価試験から、その製品の品質および保存による影響を検討した。

1. 実験方法

(1) 材料

ケーキの材料は、薄力粉(スーパーバイオレット：日清製粉(株))、卵殻粉(カルホープ：キューピー(株)、平均粒径10 μ m)、ベーキングパウダー(共立食品(株)、以下B.P.)、鶏卵(産卵3日以内のもの：アイ・ティー・エスファーム(株)関東事業所、千葉県旭市)、グラニュー糖(スプーン印、三井製糖(株))、バター(無塩バター：よつ葉乳業(株))を用いた。

実験で用いた卵殻粉の成分は、水分0.5%、たんぱく質2.1%、灰分96.9%で、100g中のミネラル分は、カルシウムが38gで約40%を占め、その他にカリウム41.6mg、ナトリウム87mg、リン99.3mg、鉄0.5mg、マグネシウム375mgが含まれている¹⁾。

(2) ケーキの調製

ケーキの配合は、土屋ら⁸⁾に準じ、薄力粉、鶏卵、グラニュー糖、バターを各100gとB.P.は2.8gを用いた。卵殻粉は、薄力粉に対し、無添加、0.5%、1.0%を添加した。卵殻粉添加試料では、卵殻粉添加分の薄力粉を減量した。試料名、配合および分量を表1に示した。

ケーキの調製は鶏卵を割卵後、ストレーナー(15メッシュ)で2度濾した。その卵液にグラニュー糖を加えて泡立て器で30回混ぜ、ハンドミキサー(貝印(株)、PL0201)を速度No.1(約600rpm、以降も同速度にて使用)で30秒攪拌した。薄力粉、B.P.および卵殻粉をふるったものをさらに加えて、ゴムベラで30回、ハンドミキサーで30秒攪拌した。これに湯煎でとかし、40℃にしたバターを加えて混合、ハンドミキサーで45秒攪拌し、ゴムベラで10回、さらにハンドミキサーで攪拌しバターとした。その後、型紙を敷いた2個の半パウンド型に調製したバターを各

表1 ケーキの材料および配合(g)

材 料	試料			商品名 (製造会社)
	無添加	0.5%	1.0%	
小麦粉 (薄力粉)	100	99.5	99	スーパーバイオレット (日清製粉(株))
卵殻粉	0	0.5	1	カルホープ (キュービー(株))
グラニュー糖		100		スプーン印グラニュー糖 (三井製糖(株))
バター		100		よつ葉無塩バター (よつ葉乳業(株))
鶏 卵		100		千葉県産 鶏卵 (アイ・ティー・エスファーム(株))
B. P.		2.8		ベーキングパウダー (共立食品(株))

170g 入れて、180℃に予熱したガスオーブン（東京ガス(株)、SN-860LA-S）で28分間焼成した。焼成後、約1時間放冷し、ラップフィルム（(株)クレハ）で包装し、密閉ポリ袋（旭化成ホームプロダクツ(株)）に入れ、室温（20～25℃）で1日、4日、7日保存して試料とした。

2. 測定項目

(1) ケーキの栄養量

ケーキの栄養量は、ケーキ50 gを1回分の喫食量として、日本食品標準成分表2015年版(七訂)⁹⁾を用いて算出した。

(2) バッター重量および比重

バター重量はガラスシャーレ（径7cm、容量49mL）にバターを入れ、へらですりきった後の重量をはかり、ガラスシャーレの重量を引いてその差を求めた（バター重量）。同様に水の重量を求めた（水重量）。バターの比重は以下の式で求めた。

$$\text{バター比重} = \text{バター重量} / \text{水重量}$$

(3) ケーキ焼成後断面の外観・重量・体積および比体積

ケーキ焼成後の外観は、1日保存試料の断面を写真で撮影した。また、ケーキの焼成後重量および体積の測定を行った。体積は菜種法で測定し、ケーキの比体積は以下の式にて求めた。

$$\text{比体積}(\text{cm}^3/\text{g}) = \text{体積}(\text{cm}^3) / \text{重量}(\text{g})$$

(4) ケーキのテクスチャー特性

ケーキのテクスチャーは、試料中央部より15×15×15 mmに切り出したものを用い、レオナー（山電(株)、RE2-3305B-1）により、かたさ、凝集性を測定した。測定条件はロードセル20 N、プランジャー8mm円形、測定歪率80%、速度1mm/sとした。

(5) ケーキの内相部の色度

色度試料は、ケーキ中央部より15mm厚に切り分けた内相部で、測色色差計（日本電色工業(株)、COLORCHECKER NR-11）を用い、明度（L*値）、色度（a*値・b*値）を測定した。

色差（ ΔE^* 値）は、測定値の平均値より以下の式にて算出し、その値をもとにNBS単位（米国標準局）¹⁰⁾により感覚的な色の差を評価した。

$$\Delta E^* \text{ 値} = (\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2})^{1/2}$$

(6) 官能評価試験

1日保存の無添加および1.0%試料を用い、保存の影響をみるために、4日保存の無添加および1.0%試料を用いて官能評価を行った。パネルは本学学生15～26名とした。

分析型官能評価では、内相の色、バターの香り、粉っぽさ、かたさ、弾力、口どけの6項目を用い、評点は非常に弱い（または粗い、薄い）を1点、どちらでもないを4点、非常に強い（または細かい、濃い）を7点とした。

別に用意した試料を提示して、おいしさ（総合評価）を評価させた。評点は、非常に好ましくないを1点、どちらでもない4点、非常に好ましいを7点として評価させた。

また、官能評価の実施には本学倫理委員会の承認を得た（承認番号 H27-26）。

(7) ケーキの組織構造

ケーキの中央部より、10×10×3mmに切り出した試料を10%ホルマリン液で固定を行い、常法に従い¹¹⁾、パラフィン包埋を行い、10 μ mの切片とした。デンプンの検出にはヨード染色、卵殻粉の検出にはヘマトキシリン染色を行い、光学顕微鏡像により観察した。

卵殻粉は、導電性テープ状に卵殻粉をふりかけ、卓上SEM（(株)日立ハイテクノロジーズ、T-3000）を用い、加速電圧15kVで観察した。

(8) 統計処理

各測定データは平均値±標準偏差として求め、群間の有意差検定をStudentのt検定ならびにWelchのt検定を用い、有意水準5%で行った。

結果および考察

(1) 栄養量

日本食品標準成分表2015年版(七訂)⁹⁾を用いて算出した栄養量を表2に示した。無添加試料は喫食量50gでエネルギー235kcal、カルシウム量22mgであるが、1.0%添加試料はカルシウム量75mgで、18～29歳女子の1日あたり推奨量(650mg)の1/10以上を摂取することができる。たんぱく質および脂質量には違いはなかった。

(2) バッター重量および比重

バター重量と比重を表3に示した。バター重量は無添加試料で49.9±0.5g、0.5%添加試料50.2±0.8g、1.0%添加試料49.9±0.8gで、いずれも有意差はなかった。卵殻粉を添加したバター比重は、いずれの試料も1.03±0.0で、卵殻粉添加の有無による有意差はなかった。

(3) ケーキ焼成後の外観、重量・体積および比容積

ケーキ断面の写真を図1に示した。卵殻粉添加試料で、

表2 卵殻粉添加ケーキの栄養成分 (ケーキ 50g あたり)

卵殻粉添加率 (%)	エネルギー (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	カルシウム (mg)
無添加	235	3.0	13.4	22
0.5	235	3.0	13.4	49
1.0	235	3.0	13.4	75

表3 バターの重量および比重

卵殻粉添加率 (%)	バター重量 (g)	比重
無添加	49.9 ± 0.5	1.03 ± 0.0
0.5	50.2 ± 0.8	1.03 ± 0.0
1.0	49.9 ± 0.8	1.03 ± 0.0

(バター重量はシャーレ重量を引いた値を示す)

n=3 n.s.

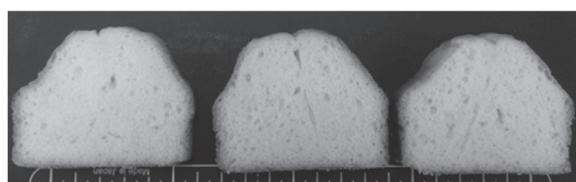


図1 卵殻粉添加ケーキの断面

縦長の気泡が多く観察されたが、断面の状態に大差はなかった。

ケーキの焼き上がり後重量 (n = 4 ~ 8) は、無添加試料 $151.0 \pm 0.7\text{g}$, 0.5%添加試料 $151.1 \pm 1.0\text{g}$, 1.0%添加試料 $151.2 \pm 0.5\text{g}$ で有意差はなかった。

ケーキの体積は、無添加試料で $379.4 \pm 39.2\text{cm}^3$, 0.5%添加試料 $391.3 \pm 46.1\text{cm}^3$, 1.0%添加試料 $366.3 \pm 37.4\text{cm}^3$ で、有意差はなかった。

ケーキの比体積 (cm^3/g) は、無添加試料 2.5 ± 0.2 , 0.5%添加試料 2.6 ± 0.3 , 1.0%添加試料 2.4 ± 0.2 で、いずれの試料間に有意差はなかった。卵殻粉の添加は、スポンジケーキやシューパフの体積を大きくするとの報告がある^{3, 12)}が、本研究では卵殻粉添加の体積への影響はみられなかった。大ら¹³⁾は、米粉ケーキにおいて、粉の2.0%添加率以上で比体積が増加したとしており、著者¹⁴⁾はパンに卵殻粉を添加した場合、2.0 ~ 4.0%の添加率では比体積は変わらないかあるいは低下することを報告している。したがって、本研究の1.0%の卵殻粉添加率は食品企業で用いられる一般的な割合であるが、無添加製品とは外観の変わらない製品が得られると考える。

(4) ケーキのテクスチャー測定

1) ケーキのかたさ

1日, 4日, 7日保存ケーキのかたさを図2に示した。ケーキのかたさは1日保存では無添加試料 $9.4 \times 10^4\text{Pa}$, 0.5%添加試料 $7.9 \times 10^4\text{Pa}$, 1.0%添加試料 $7.8 \times 10^4\text{Pa}$ で、卵殻粉添加試料でかたさが有意に低くなった。

保存の影響をみると、1日保存試料と7日保存試料間では7日保存試料で、無添加試料 $13.1 \times 10^4\text{Pa}$, 0.5%試料

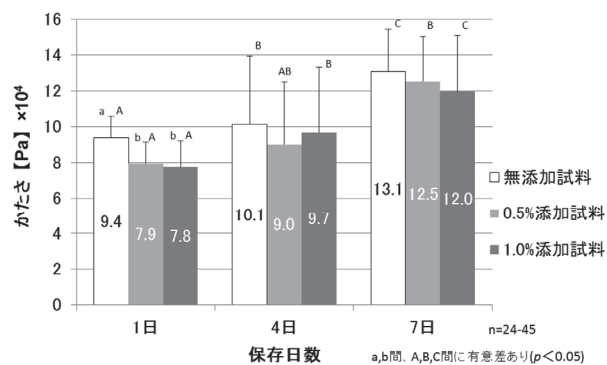
山電レオナー (RE2-3305B-1) ロードセル20N, $\phi 8\text{mm}$ プランジャー, 垂率80%, 速度1mm/sにて測定

図2 保存したケーキのかたさ

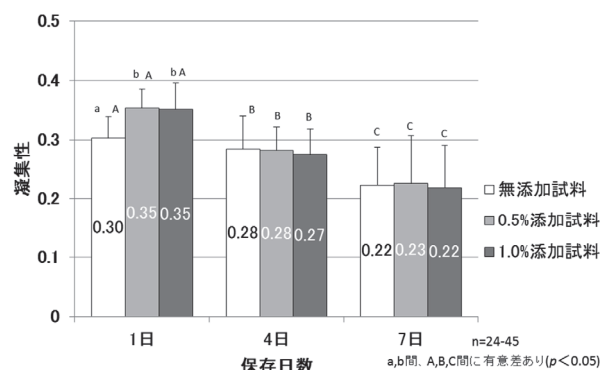
山電レオナー (RE2-3305B-1) ロードセル20N, $\phi 8\text{mm}$ プランジャー, 垂率80%, 速度1mm/sにて測定

図3 保存したケーキの凝集性

$12.5 \times 10^4\text{Pa}$, 1.0%添加試料 $12.0 \times 10^4\text{Pa}$ で全ての試料でかたさの値が有意に上昇した。これは、保存によりケーキ内部に含まれている水分が減少したことによると推察される。

卵殻粉添加試料では、保存1日試料のかたさが低いため、7日保存試料においても無添加試料よりやわらかく、保存の影響を受けにくいことから、無添加試料より保存に向いた製品であると推察される。

2) ケーキの凝集性

1日, 4日, 7日保存のケーキの凝集性を図3に示した。ケーキの凝集性は1日保存試料では無添加試料 0.30 ± 0.04 , 0.5%添加試料 0.35 ± 0.03 , 1.0%添加試料 0.35 ± 0.04 で、卵殻粉添加試料より有意に凝集性が高かった。

4日保存試料と7日保存試料を比較すると、7日保存試料で凝集性が有意に低下したが、長期保存により卵殻粉添加による影響は見られなくなった。これは、保存によりケーキ内部に含まれている水分が減少したことで、バサつきが増し、崩れやすい性状となったと推察される。

(5) ケーキの内相部の色度

ケーキの内相部の色度を表4に示した。1日保存試料では、無添加試料で L^* 値 77.02, a^* 値 3.34, b^* 値 35.24 に比べて、1.0%添加試料で L^* 値 76.31, a^* 値 2.86, b^* 値 33.87 と低値を示し、内相部の色調に有意差がみられた。保存試料では1.0%卵殻粉添加試料で、 L^* 値, a^* 値, b^* 値

表4 ケーキ内相部の色度と色差

保存日数	卵殻粉 添加率 (%)	明 度		色 度		色 差	
		L *	a *	b *	ΔE^* (無添加と比較)	ΔE^* (1日と比較)	
1 日	無添加	77.02 \pm 2.00	3.34 ^a \pm 0.51	35.24 \pm 2.04	—	—	
	0.5	76.87 \pm 1.62	3.36 ^a \pm 0.48	34.99 \pm 1.93	0.29	—	
	1.0	76.31 ^A \pm 1.93	2.86 ^{bA} \pm 0.40	33.87 ^A \pm 1.23	1.62	—	
4 日	無添加	77.68 \pm 1.73	3.55 \pm 0.61	35.27 \pm 2.90	—	0.69	
	0.5	77.86 \pm 1.33	3.62 \pm 0.58	35.27 \pm 2.03	0.19	1.06	
	1.0	78.48 ^B \pm 1.43	3.66 ^B \pm 0.84	35.84 \pm 3.38	0.99	3.04	
7 日	無添加	77.53 \pm 1.10	3.68 \pm 0.38	36.27 \pm 2.08	—	1.19	
	0.5	76.56 \pm 1.64	3.60 \pm 0.41	35.34 \pm 0.99	1.35	1.30	
	1.0	77.45 \pm 0.86	3.96 ^C \pm 0.56	36.64 ^B \pm 2.18	0.47	3.04	

n=5~8

a,b 間, 測定値別の A,B,C 間に有意差有 ($p < 0.05$)

ケーキ中央部より 15mm 厚に切り分けた試料を 日本電色工業 COLORCHECKER NR-11 で測定

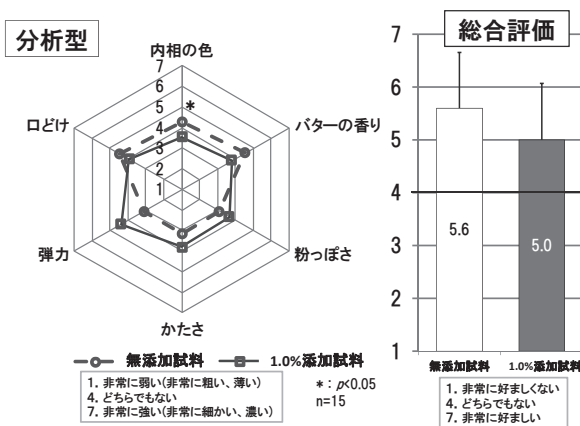


図4 1日保存ケーキの官能評価

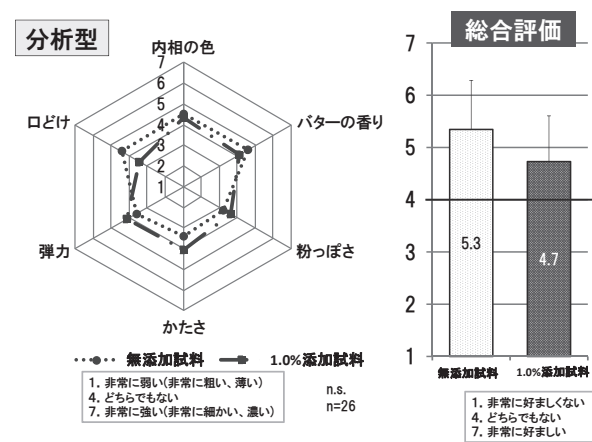


図5 4日保存ケーキの官能評価

が上昇し、赤味および黄色味が強くなった。

無添加試料を対照として各保存日数間で卵殻粉添加試料との差異を算出した ΔE^* 値は、0.19 ~ 1.62 の範囲で色差は少なかった。また、保存日数別に算出した ΔE^* 値では、無添加試料および 0.5% 添加試料の色差は 0.69 ~ 1.30 と少なかったが、1.0% 添加試料は、保存 4 日で 3.04 と「目立つほど」の差があった。しかし、7 日保存の色差も 3.04 で 4 日保存と変わらなかった。このことより、卵殻粉添加試料は保存すると、色調が早めに変化することがわかった。

(6) ケーキの官能評価

1 日保存試料の無添加試料および 1.0% 添加試料を用いた分析型官能評価結果を図 5 に示した。

共に 4 日保存試料の無添加試料および 1.0% 試料を用いて行った結果を図 6 に示した。

1 日保存試料の内相の色では 1.0% 添加試料で有意に色が薄いと識別された。色度測定で卵殻粉添加ケーキの色が薄く、低値を示した結果と同様の結果が得られた。粉っぽさ、かたさ、弾力の項目は無添加試料と比較し、1.0% 添加試料でやや高い値であったが、いずれの項目も有意差は見られなかった。総合評価では無添加試料、1.0% 添加試料ともに「どちらでもない」の 4 点以上の評価を得ており、

共に好まれる製品であった。

4 日保存試料では、粉っぽさ、かたさ、弾力の項目は無添加試料と比較し、1.0% 添加試料でやや高く評価されたが、いずれの項目も有意差は見られなかった。総合評価では、いずれの試料においても「どちらでもない」の 4 点以上の評価で好まれた。

このことから、卵殻粉の添加は、カルシウムの摂取もできるだけでなく、嗜好的に好まれ、保存によるテクスチャーの変化が少ない製品であることがわかった。

(7) ケーキの組織構造

卵殻粉無添加試料および卵殻粉 1.0% 添加試料の組織構造では、ヨード染色によりでんぷんが黒く染色され、グルテンが薄く黄色に染色されている (図 4 A, C)。卵殻粉を添加したケーキでは、気泡 (ac) がやや小さく、グルテンストランドがやや細く見えるが大差はなかった (図 4 C, D)。卵殻粉はヘマトキシリン染色により、染め出され、でんぷんに密着して角張った形状でみられる (図 4 D, E)。そこで、卵殻粉を観察したところ、卵殻粉は、平均粒径の 7 ~ 10 μm のものが多くみられ、その表面には多孔質である穴が多数観察された (図 4 F)。

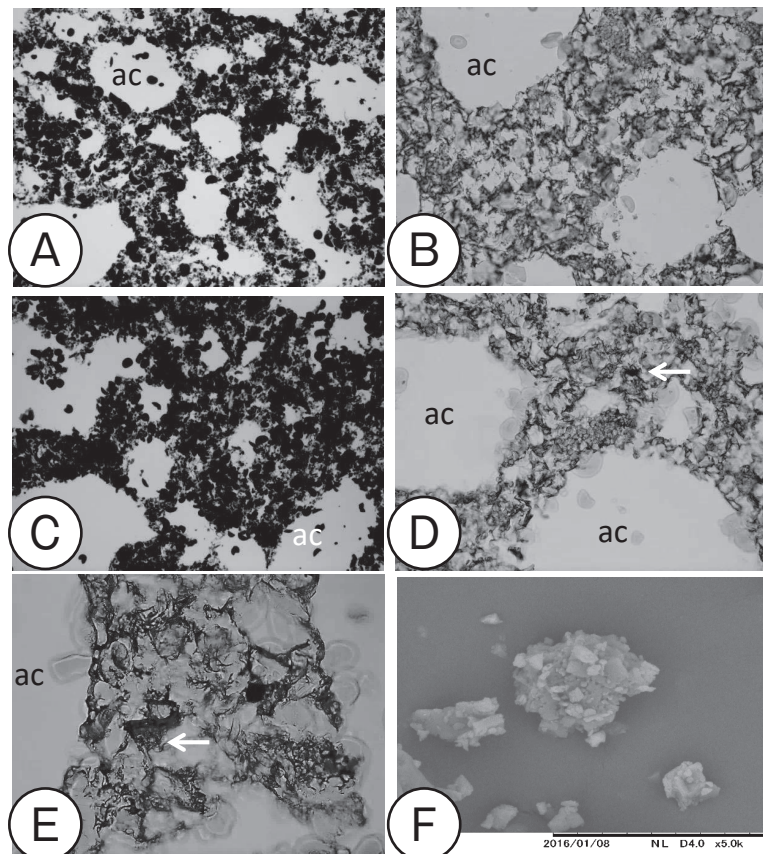


図6 ケーキの光学顕微鏡像および卵殻粉 SEM 像

A：無添加試料、ヨード染色、40 倍
C：卵殻粉 1.0% 添加試料、ヨード染色、40 倍
E：卵殻粉 1.0% 添加試料、ヘマトキシリン染色、200 倍
F：卵殻粉 走査型電子顕微鏡にて観察

B：無添加試料、ヘマトキシリン染色、100 倍
D：卵殻粉 1.0% 添加試料、ヘマトキシリン染色、100 倍
ac：気泡、↑：卵殻粉

要 約

ケーキに卵殻粉を小麦粉の 0.5 ～ 1.0% 添加して調製した製品について検討したところ、以下のような結果が得られた。

- (1) 卵殻粉添加ケーキ 50g を喫食すると、0.5% 添加試料で 49mg、1.0% 添加試料で 75mg のカルシウムが摂取できる。これは 18 ～ 29 歳女子の 1 日あたり推奨量の 1/10 以上に相当する。
- (2) バッター重量および比重では、卵殻粉添加の影響はみられなかった。
- (3) ケーキの焼き上がり後重量、体積、比体積では無添加試料と同等の製品の調製が可能であった。
- (4) 卵殻粉 1.0% 添加試料のかたさは、無添加試料と比較して有意にやわらかかった。また、保存による影響が少ないことより、無添加試料より保存に向いた製品であると推察された。凝集性は卵殻粉添加試料で有意に高く、保存により無添加試料と同程度まで低下した。卵殻粉添加による影響は見られなかった。
- (5) ケーキの色度は、保存 1 日目試料の無添加試料と比較して、卵殻粉 1.0% 添加試料で L* 値、a* 値、b* 値が低値を示した。

(6) 卵殻粉 1.0% 添加試料では無添加試料との組織構造に大差はみられなかった。卵殻粉はデンプンに入り込んでグルテンストランドを作成しており、細かく多孔質な構造は、比体積には影響しないと考えた。卵殻粉が多い場合には、気泡の大きさに影響することが推察される。

(7) ケーキの官能評価では、卵殻粉添加試料は、いずれの項目も有意差は見られなかった。総合評価では無添加試料と同程度の評価を得ており、嗜好的に好まれる製品であることが分かった。

以上、卵殻粉の添加は小麦粉の 1.0% 程度では、製品の性状に与える影響は少ないことがわかった。今後は、更に卵殻粉の量を増やして、ケーキにおける卵殻粉の機能性を検討することを課題とする。

謝辞

卵殻粉を提供いただき、使用にあたってご助言いただいたキューピー(株)研究開発本部技術研究所の設楽弘之氏に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 黒田南海雄, 久能昌朗, 食用卵殻粉・カルホープの食

- 品への利用について－第一編 製品の特徴と栄養・医学的機能－. 月刊フードケミカル. 1999, 15. No.7. 67
- 2) 山形徳光. “カルシウム補給食品への卵の利用.” 食卵の科学と機能～発展的利用とその課題～. 渡邊乾二, (東京), 株式会社アイ・ケイ コーポレーション, 2008, p.120
 - 3) 黒田南海雄, 久野昌朗. 食用卵殻粉・カルホープの食品への利用について 第2編 食品への利用法. 月刊フードケミカル. 1999, 15. No.8. 102
 - 4) 土屋京子, 島村綾, 成田亮子, 加藤和子, 峯木眞知子, 長尾慶子. 揚げ衣の食感に影響を及ぼす添加材料及び揚げ油の検討. 日本調理科学誌. 2013, 46. 275
 - 5) Makoto Ishioroshi; Kunihiro Samejima. Reduction of Sodium Salt in Sausages by Divalent Metal Salts and Egg Shell Powder. Nihon chikusan Gakkaishi (Anim. Sci. Technol. Jpn) 65. 716
 - 6) 伊佐隆. 卵殻粉砕物添加食品の官能試験結果. 活水論文集. 生活学科編 1999, 42. 33
 - 7) 平成 24 年国民健康・栄養調査報告 <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyou/h24-houkoku.html>
 - 8) 土屋京子, 早川佳奈子, 成田亮子, 峯木眞知子, もち米粉添加が米粉ケーキの品質に及ぼす影響. 官能評価学会誌. 2013, 17. 29
 - 9) 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂). 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会 報告
 - 10) 日本フードスペシャリスト協会編. 食品の官能評価・鑑別演習. 建帛社. 1999, p. 92
 - 11) 鈴木惇. “食品組織の観察法.” 食品・調理・加工の組織学. 学窓社. 1999, p. 199
 - 12) 設楽弘之, 東山貴子. 「カルホープ」の洋菓子に対する物性改良効果. 月刊フードケミカル. 2004, 20. No.4.40
 - 13) 大雅世, 島村綾, 峯木眞知子. 卵殻粉添加が米粉バターケーキの品質に与える影響. 日本家政学会誌. 2017, 68.13
 - 14) 島村綾, 岡本美冬, 峯木眞知子. 卵殻粉添加による食パンのカルシウム強化および低塩の効果. 日本家政学会第 68 回大会要旨集. p.88

Abstract

Eggshell powder is a processed products in a powder form made from the eggshell of a hen egg. The powder contains mainly calcium carbonate which is easily absorbed into the human body. In the food business, eggshell powder is used for texture improvement after mixing with various foods. Since Japanese people have less intake of calcium, we made the pound cake that is feeding the calcium through the addition of eggshell powder. Findings suggest that:

- 1) The quality of cakes with 1.0% eggshell powder show no difference to those without eggshell powder.
- 2) The color of cakes with eggshell powder lighter than the cakes without eggshell powder and became darker during storage.
- 3) The cake with 1.0% eggshell powder is refund in sensory evaluation tests. Also, we could examine the effect of eggshell powder on the texture of cake through increasing the amount of egg shell powder.