

## ミネラル強化飼料を給与した鶏の産んだ卵の品質および調理特性

小泉 昌子<sup>†1</sup>, 峯木 眞知子<sup>†1</sup>

(令和2年12月9日査読受理日)

### Quality and cooking characteristics of eggs laid by hen on high-mineral diets

Koizumi, Akiko<sup>†1</sup> Mineki, Machiko<sup>†1</sup>

(Accepted for publication 10th December, 2020)

#### 要約

鶏卵の品質や調理特性は、その鶏に給与する飼料、鶏種、週齢、取り巻く環境などの要因に影響される。そこで本研究では、鶏の飼料にミネラル（鉄・マグネシウム・亜鉛）を強化し、その鶏が産卵する卵の調理特性を検討した。試料は、標準飼料またはミネラル強化飼料を給与した、同週齢の白色レグホーン種ジュリアが産卵した卵とした。その結果、加熱卵の破断特性で、ミネラル強化飼料を給与した鶏の卵でかたい卵白が得られた。起泡性では、ミネラル強化飼料を給与した鶏の卵で安定性が高く、きめの細かい卵白泡が得られた。両卵で調製したスポンジケーキでは、その品質に違いがなかった。

以上より、ミネラル強化飼料を給与した鶏の産んだ卵は、熱凝固性や起泡性に秀でているため、これらを利用した調理品に適していることが明らかとなった。

#### Abstract

The quality and cooking characteristics of eggs are affected by factors such as the hen's diet supplementation, strain, age, and environment. This study aimed to investigate the effects of a high-mineral diet, including iron, magnesium, and zinc, for hen on the quality and cooking characteristics of the eggs. The eggs used in this study were laid by hens that were supplied with a standard diet (S group) or high-mineral diet (M group). The boiled egg of the M group had higher fracture properties than S group. Regarding foaming properties, M group had higher stability and smaller foams than those by the S group. However, when eggs from both the groups were used to make sponge cakes, no significant difference was seen in the volume and texture. In summary, these results suggested that the eggs laid by hens on a high-mineral diet had better heat coagulation and foaming properties than those by hens on a standard diet.

キーワード：鶏卵, 飼料, 調理特性, 物理的特性, 官能評価

Key words: Hen egg, supplement, cooking properties, physical properties, sensory evaluation,

## 1. 緒言

現在鶏卵は、日本人1人当たりでは年間に約330個が消費されており、食生活に欠かせない食材である<sup>1)</sup>。これは鶏卵が、優良な栄養食品であるだけでなく、年間を通して価格が安定し、安価であることにも由来している。

鶏卵の品質や調理特性は、その鶏に給与する飼料<sup>2)</sup>、鶏種<sup>3)</sup>、週齢<sup>4-7)</sup>、取り巻く環境<sup>8)</sup>などの要因に影響される。近年これらの要因は、卵のパッケージに表示され、消費者が鶏卵を購入する際の判断材料になりつつある。

鶏卵の品質の指標は、卵殻厚、卵白の鮮度を示すハウ・ユニットや卵黄色である。鶏に給与する飼料とその鶏が産卵する卵の品質に関する研究は、カルシウムの添加による卵殻質の改善効果<sup>9)</sup>や、プロバイオティクス添加で鶏の腸

内環境を改善することによる鶏卵への効果<sup>10)</sup>、マリーゴールド添加による卵黄の色への効果<sup>11)</sup>等が報告されている。鶏に給与する飼料とその鶏が産卵する卵の調理特性に関する研究では、鉱物性混合飼料（ミネラル）の強化による厚焼き卵やゆで卵の物理的特性<sup>12)</sup>、飼料の穀物にとうもろこしの代替として米を用いた場合の半熟卵やカスタードプディングの官能評価<sup>13)</sup>等が報告されている。著者は珊瑚末やイソマルトオリゴ糖添加の飼料を給与した鶏の産んだ卵について、加熱卵、スポンジケーキやカスタードプディングを調製した結果、添加飼料によりおいの低減や食味向上の効果があることを報告した<sup>14)15)</sup>。鶏の飼料の違いによる鶏卵の調理特性については、熱凝固性以外の起泡性や希釈性に関する報告は少ない。起泡性とは卵白や卵黄が空気を抱き込むことにより泡立つことを指し、希釈性は水を分散

<sup>†1</sup> 東京家政大学

媒、卵白や卵黄を分散質として卵液コロイド溶液を調製できることを指す<sup>16)</sup>。鶏卵は上記のような調理特性があることから、生卵の状態よりも調理して食べる機会が多い。そのため様々な調理特性について、モデル実験や実際の調理品として試験することが望ましい。また、日本では流通する鶏卵のうち、白色レグホーン種鶏の産んだ白玉卵70%で、残りの30%がボリスブラウンやソニアが産卵する褐色卵である<sup>17)</sup>。

鶏の飼料にミネラルとして、鉄<sup>18)</sup>、マグネシウム<sup>19)</sup>、亜鉛<sup>20)</sup>を強化した研究は、養鶏分野では報告されている。これらのミネラル成分は、鶏の生育に必要であることから、強化飼料を与えた場合の飼料摂取状況や血液中の各ミネラル濃度、排泄量、産卵率、卵の品質などが報告されている。しかし、これらのミネラルを飼料へ強化したことによる鶏卵への栄養強化や、調理特性・食味特性に関する報告はない。近年、ヨードや脂溶性ビタミン、葉酸を始めとした栄養成分を鶏の飼料へ強化すると、これらの成分が卵黄へ移行することが報告され<sup>2)</sup>、栄養強化卵として市場に流通している。このことから、上記3種のミネラルについても、飼料に強化することにより卵へ移行し、その卵が栄養強化卵として利用できる可能性がある。

そこで本研究では、流通量の多い白色レグホーン種鶏を用い、給与する飼料にミネラルである鉄、マグネシウム、亜鉛を強化し、その鶏が産卵した卵について、品質および調理特性を明らかにした。これにより、ミネラル強化卵がどのような卵の調理品に適しているかを報告し、鶏卵の効果的な利用法を提案する。

## 2. 方法

### 2.1 試料

#### 2.1.1 鶏卵

実験に供した試料は、異なる飼料を給与した白色レグホーン種ジュリアの産卵した卵2種類である。鶏に給与した飼料は、Table1の通りである。

ミネラル強化飼料は、標準飼料に対して、酸化マグネシウム・ペプチド鉄・ペプチド亜鉛製剤を0.2%添加したことにより、鉄が約36%増加、マグネシウムが約22%増加、亜鉛が約5%増加した飼料とした。なお、標準飼料を給与した鶏の産んだ卵をS試料、ミネラル強化飼料を給与した鶏の産んだ卵をM試料とした。これらを産卵した鶏の週齢は、同養鶏場の37、39、41週齢の同週齢で実験を行い、官能評価では同養鶏場の53週齢の鶏が産んだ卵を用いた。いずれの鶏卵も、市販されている重量の範囲であった。

試料は、産卵直後を採卵および洗卵し、クール便で大学へ運送後、冷蔵庫で保管した。試料の調製および測定は、貯蔵による品質変化を防止するため、到着後5日以内にすべてを行った。

Table 1 給与した飼料の成分

項目	標準飼料	ミネラル強化飼料
水分 [%]		11.6
粗たんぱく質 [%]		18.1
粗脂肪 [%]		7.1
粗繊維 [%]		2.6
粗灰分 [%]		12.6
可溶無窒素物 [%]		48.0
ナトリウム [%]		0.204
カルシウム [%]		4.19
リン [%]		0.508
鉄 [mg/kg]	96	131
マグネシウム [mg/kg]	1980	2420
亜鉛 [mg/kg]	52.3	54.9

#### 2.1.2 卵白泡

起泡性は、卵白泡の安定性および起泡力を測定した<sup>21)</sup>。卵黄と分離した卵白3個を混合して使用し、ハンドミキサー (DL-0201: 貝印 (株)) によりレベル1 (600 rpm) で30秒、レベル5 (1100 rpm) で1分の合計1分30秒間で固く泡立てた。

#### 2.1.3 加熱卵

熱凝固性を利用する加熱卵を調製した。加熱卵の調製は、直径21 cm 鍋に水3000 mLを入れて加熱し、沸騰を確認後、同程度重量の卵6個 (S試料: 61.53±0.43 g, M試料: 60.98±0.56 g) をストレーナに入れ、15分間加熱した<sup>22)</sup>。その後25分間流水で冷やし、加熱卵試料とした。

#### 2.1.4 スポンジケーキ

起泡性を利用するスポンジケーキを調製した。ケーキの材料および配合は、全卵液200 g (卵黄割合30%) に対して、砂糖 (白砂糖: 日新製糖株式会社) 120 g と薄力粉 (日清フーズ株式会社) 120 g を用い、共立て法で調製した<sup>23)</sup>。全卵液をハンドミキサーのレベル1 (600 rpm) で1分間攪拌した後、砂糖を加えてレベル5 (1100 rpm) で5分間攪拌し、小麦粉を加え、ゴムベラで50回攪拌した。パウンド型 (長さ17 cm, 幅8 cm, 高さ6 cm) にバターを140 g 流し入れ、ガスオーブン (東京ガス株式会社, ビルトインレンジビルトインコンベネーター: SN-860LA-S) で160°C 30分間の焼成を行った。加熱後、1時間放冷し、食品用ラップフィルム (サララップ®: 旭化成ホームプロダクツ株式会社) をかけ、ファスナー付きプラスチックバッグ (ジップロック®: 旭化成ホームプロダクツ株式会社) に入れ、25°C で保存した。

### 2.1.5 カスタードブディング

希釈性を利用するカスタードブディングを調製した。全卵液 300 g (卵白 210 g, 卵黄 90 g) に対して, 3 倍量 (900 g) の牛乳 (明治おいしい牛乳: 株式会社 明治), 全体重量の 15% (180 g) の砂糖 (白砂糖: 日新製糖株式会社) を用いて調製した<sup>24)</sup>。全卵液は 2 回, 砂糖は 1 回ストレーナ (16 メッシュ) により裏ごしし, 牛乳はウォーターバスで 50°C に温めて混合した。パイレックスのブディングカップ (底面 φ 4.5 cm, 上面 φ 6.5 cm, 深さ 4.5 cm) に 60g ずつ分注し, 鉄板に 10 カップ並べ, スチームコンベクションオーブン (MIC-5TB3: ホシザキ株式会社) のスチームモードで 90°C 10 分間加熱した。加熱後, 30 分間放冷し, 食品用ラップフィルム (サララップ®: 旭化成ホームプロダクツ株式会社) をかけ 5°C で保存した。

## 2.2 測定方法

### 2.2.1 一般成分

鶏卵の成分分析は, 昭和産業株式会社に依頼した。卵白および卵黄の一般成分の測定には, 各試料について鶏 10 羽が産んだ卵を各 1 個, 合計 10 個採取し, 混合したものを用いた。測定方法は, 水分が減圧加熱乾燥法, たんぱく質が燃焼法, 脂質が酸分解法, 灰分が直接灰化法, 炭水化物が「100- (水分+たんぱく質+脂質+灰分)」の計算, ナトリウムが原子吸光高度法, 鉄・マグネシウム・亜鉛が ICP 発光分析法であった。

### 2.2.2 卵質と pH

鶏卵の品質は, 産卵直後について, 全卵重量, 卵殻強度, ハウ・ユニット, 卵黄色について, 卵質測定装置 (DET6000: 株式会社ナベル) により測定した。なお卵黄色の測定は, 卵質測定装置の全農たまご YCC モードを使用した。ハウ・ユニットは卵白の鮮度が高いほど数値が高く, 卵黄色は卵黄の色を 1~15 で評価する指標である。卵白および卵黄の pH は, 鶏卵が大学に到着した当日にデジタル pH メータ (B-712: HORIBA Scientific) で測定した。

### 2.2.3 卵白泡の安定性および起泡力

卵白泡の安定性<sup>25)</sup>は, 2.1.2 で調製した卵白泡を 30g ガラス製ロート (φ7.5 cm) に量り取り, 室温 (25°C) 放置における液戻りした量 (離水量) を測定した。測定記録時間は, 放置 3~60 分とした。泡の安定性[%]は, 下記の計算式より求めた。

$$\text{泡の安定性} = \{ (\text{卵白重量} - \text{液戻りした液重量}) \div \text{卵白重量} \} \times 100$$

卵白泡の起泡力は, 卵白泡の密度が低い場合に高いと判断できる。このことから, 密度を起泡力として測定した。調製した卵白泡をガラスシャーレ (φ30 mm) に入れて重量を測定し, 下記の計算式により密度を求めた。

$$\text{密度}[\text{kg}/\text{m}^3] = \text{卵白泡重量}[\text{kg}] / \text{シャーレの容積}[\text{m}^3]$$

### 2.2.4 加熱卵の破断特性

加熱卵の破断特性は, 予備実験の結果より, 加熱卵を食べる時の一噛み目を想定して, 設定した。加熱卵の卵白の物理的特性は, 卵の鋭端部を高さ 2 cm にマイクロトーム刃で切断し, 切断面を下にして試料台に置いて, 最も高い部分をレオナー (RE2-3305B-1: 株式会社山電) により破断強度測定 (ロードセル 20 N, 円柱状プランジャー φ3 mm, 測定歪率 50%, 測定速度 1 mm/s) を行った。

加熱卵の卵黄は, 卵白を取り除き, 丸のままの状態です。山電レオナーにより破断強度測定 (ロードセル 20 N, くさび型プランジャー, 測定歪率 50%, 測定速度 1 mm/s) を行った。卵黄はステンレスシャーレ (φ40 mm) に入れ測定することにより, 安定させた。

### 2.2.5 スポンジケーキのバター比重, 体積およびテクスチャー特性

バター比重は, 2.1.4 で調製したスポンジケーキ焼成前のバターを用いて, 測定した。比重の測定は, ガラスシャーレ (φ30 mm) にバターを入れて重量を測定し, 下記の計算式により比重を求めた。

$$\text{バター比重}[\text{kg}/\text{m}^3] = \text{バター重量}[\text{kg}] / \text{シャーレの容積}[\text{m}^3]$$

焼成後 25°C で 24 時間保管した試料の体積は, 高速レーザー体積計 (AR-01: 株式会社ケイ・アクシス) の 2CCD 精度測定により, 測定した。体積測定後, スポンジケーキの中央部から 2 個, 長さ 2 cm × 幅 2 cm × 高さ 2 cm にマイクロトーム刃で切り出し, レオナー (RE2-3305B-1: 株式会社山電) により, テクスチャー測定 (ロードセル 20 N, 円柱状プランジャー φ11 mm, 測定歪率 80%, 測定速度 1 mm/s) を行った。

### 2.2.6 カスタードブディングのテクスチャー特性

5°C で 24 時間保管した試料のテクスチャーは, レオナー (RE2-3305B-1: 株式会社山電) により測定した。測定条件は, ロードセル 20 N, 円形プランジャー φ16 mm, 測定歪率 50%, 測定速度 1 mm/s とした。

### 2.2.7 加熱卵, スポンジケーキおよびカスタードブディングの嗜好型官能評価

調製した加熱卵の卵白・卵黄, スポンジケーキおよびカスタードブディングについて, 7 段階評点法による嗜好型官能評価を実施した。パネルは, 本学女子大学生 16 名で, 研究の趣旨を説明し, 同意書に署名いただいた。なお官能評価は, 本学大学院倫理委員会の承認 (H30-17) を得た。

各試料の保存条件は 25°C とし, 提示試料は, 加熱卵が鶏卵を縦にスライサーで切った 1/2 個分, スポンジケーキが長さ 7 cm × 幅 2 cm × 高さ 5 cm, カスタードブディングは

30 gとした。方法は、S 試料を基準 (0) として M 試料を評価し、用語は、-3 : 大変好きでない、-2 : 好きでない、-1 : やや好きでない、0 : どちらでもない、1 : やや好き、2 : 好き、3 : 大変好きとした。評価項目は、加熱卵において、におい、かたさ、味、色の好み、総合評価で、スポンジケーキにおいて、色、卵のにおい、かたさ、弾力、しっとり感、甘みの好み、総合評価、カスタードブディングにおいて、香り、かたさ、なめらかさ、味、色の好み、総合評価とした。

### 2.3 統計解析

測定データは IBM SPSS Statistics Version 24.0 を用いて、Tukey の多重比較で検定した。有意水準は 5%とした。

官能評価データは、総合評価に影響した要因について、ステップワイズ法による重回帰分析を行った。従属変数は総合評価、独立変数は嗜好型官能評価の項目とした。

## 3. 結果および考察

### 3.1 生卵の品質

#### 3.1.1 一般成分

卵白および卵黄の 100 g 当たりの一般成分を、Table 2 に示す。卵白では、M 試料が S 試料に比較して、たんぱく質が 0.7 g、ナトリウムが 7 mg、マグネシウムが 0.3 mg 高く、水分が 0.4 g、炭水化物が 0.3 g 低かった。

卵黄 100 g 当たりでは、M 試料が S 試料に比較して、水分が 1.0 g、炭水化物が 0.5 g、ナトリウムが 2.3 mg、マグネシウムが 0.6 mg 高く、たんぱく質が 0.1 g、脂質が 1.3 g、鉄が 0.54 mg、亜鉛が 0.14 mg 低かった。

Table 2 卵白・卵黄の 100g 当たり一般成分とミネラル量

項目 (単位)	部位 試料	卵白		卵黄	
		S	M	S	M
水分 (g)		88.2	87.8	48.6	49.6
たんぱく質 (g)		10.2	10.9	16.9	16.8
脂質 (g)		-	-	31.7	30.4
灰分 (g)		0.7	0.7	1.8	1.7
炭水化物 (g)		0.9	0.6	1.0	1.5
ナトリウム (mg)		177	184	52.7	55
鉄 (mg)		-	-	5.62	5.08
マグネシウム (mg)		10.8	11.1	12.2	12.8
亜鉛 (mg)		-	-	4.03	3.89

本研究では、ミネラルとして鉄、マグネシウム、亜鉛を強化している。その影響として、卵白および卵黄ではマグ

ネシウムが高く (卵白 2.7 %増、卵黄 4.7 %増)、卵黄では鉄 (10.6% 減) および亜鉛 (3.6% 減) が低かった。ミネラル強化飼料への鉄、マグネシウム、亜鉛の添加量に対して、この鶏卵での変化量は少ないと判断できる。このことから、飼料に強化したミネラル成分は、卵白や卵黄中の成分として反映されないことが明らかとなった。さらに飼料に強化した成分は逆に卵白・卵黄への移行量が低下する可能性も示唆された。古くから卵殻質の改善に取り組む際には、カルシウムやマグネシウムを始めとしたミネラル成分を飼料へ強化する手法が報告されている<sup>26)27)</sup>。特にマグネシウムは、0.23 %以上の飼料への添加により、卵殻のマグネシウム濃度を増加させる作用があることが報告されている<sup>28)</sup>。このことから、本研究で飼料へ強化したミネラル類のうち特にマグネシウムは、卵殻へ移行したことにより、卵白・卵黄中への移行率が低かったと推察された。なお、卵白の鉄および亜鉛は、日本食品標準成分表によると 0 mg/100 g および Tr/100 g である<sup>29)</sup>。そのため、本研究では検出限界値未満であったと考えられた。以上のことから、鶏の飼料に鉄、マグネシウム、亜鉛を強化した場合、その鶏が産んだ卵は、栄養強化卵としての栄養的な効果が期待できないと判断される。

#### 3.1.2 卵質と pH

卵質の結果を、Table 3 に示す。S 試料および M 試料間には、全卵重量、卵殻強度、ハウ・ユニット、卵黄色に有意な差はなかった。

pH は、卵白が S 試料で 8.85±0.40、M 試料で 8.80±0.46、卵黄が S 試料で 6.10±0.12、M 試料で 6.20±0.23 であった。卵白および卵黄ともに、2 試料間の有意差はなかった。

Table 3 各試料の卵質

試料	全卵重量 [g]	卵殻強度 [kgf]	ハウ・ ユニット	卵黄色
S	60.01±3.65	3.74±0.57	95.14±4.10	12.08±0.44
M	58.62±2.96	3.51±0.50	97.31±3.80	12.08±0.43

1) n=10 2) n.s.

#### 3.1.3 部位別重量割合

各試料の部位別重量割合の結果を、Figure 1 に示す。M 試料は S 試料に比較して、卵殻および卵白重量割合が有意に低かった。

白色レグホーン種鶏にマグネシウム過剰飼料 (Mg 0.36~1.2 %) を給与した場合、マグネシウム 0.15 %飼料に比較して、卵殻重量割合が低下することが報告されている<sup>30)</sup>。本研究のミネラル強化飼料において、マグネシウム添加量は 0.242 %であり、この報告ほど過剰添加ではなかったが、同様に卵殻重量割合が低下した。飼料へマグネシウムを過

剩に添加することは、鶏の副甲状腺ホルモン活性を低下させ、その結果、血中カルシウム濃度も低下させる。産卵鶏の血中カルシウムは、そのほとんどが卵殻形成に利用される。M 試料では、産卵した鶏にミネラル強化飼料を給与したことにより、血中カルシウム濃度が低かったため、卵殻重量割合が低下したと推察された。また、飼料へのマグネシウム過剰添加による影響は、その鶏の糞尿の水分含量を増加させることにもある<sup>31)</sup>。卵白はその 90 %が水分であることから、M 試料の卵白重量割合が低かったことも、飼料へのマグネシウム添加が影響したと考えられる。

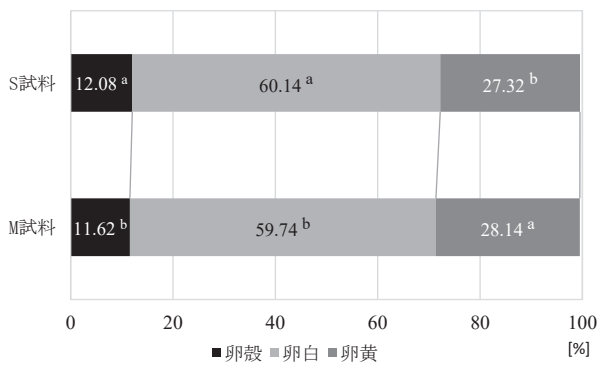


Figure 1 試料の部位別重量割合[%]  
1) n=20 2) a,b : 項目別異符号間に傾向あり (p<0.1)

### 3.2 鶏卵の調理特性

#### 3.2.1 卵白泡の安定性および密度

卵白泡の離水量の結果を、Figure 2 に示す。卵白泡の離水量は、M 試料が S 試料に比較して、すべての測定時間において、少ない傾向であった (p<0.1)。特に測定時間 15 分以降では、M 試料が S 試料に比較して有意に少なく、卵白泡の安定性が高かった (p<0.05)。

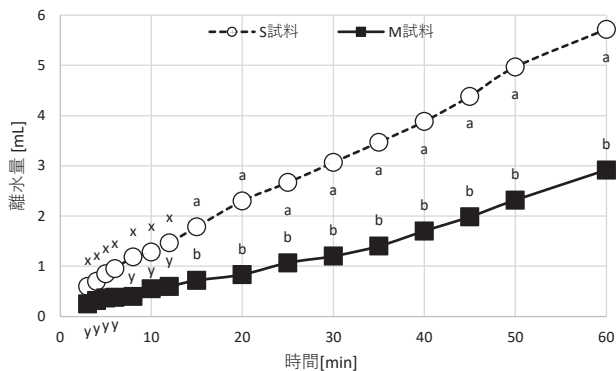


Figure 2 時間経過による卵白泡の離水量[mL]  
1) n=6 2) a,b : 異符号間に有意差あり (p<0.05)  
3) x,y : 異符号間に傾向あり (p<0.1)

卵白泡の起泡力は、密度により測定した。卵白泡の密度は、S 試料が 0.15±0.02、M 試料が 0.20±0.02 であった。M 試料は S 試料に比較して、密度が有意に大きかった。

このことから、M 試料の卵白泡は S 試料に比較して、離水が少なく安定しており、密度が大きいことから、2 試料で泡立て時間が同じ場合、同じ体積の泡が出来上がるまでに M 試料で時間がかかる。そのため M 試料では、泡立ちにくいがきめの細かい泡であることがわかる。卵白の起泡力や安定性は、卵白に含まれる水分量が低く、たんぱく質量が高く、濃厚卵白量を示すハウ・ユニットの値が高い場合に良いとされ、pH にも影響される<sup>32)</sup>。本研究では、一般成分は有意差検定ができなかったが、M 試料が S 試料に比較して、卵白の水分量が低く、たんぱく質量が高かった。ハウ・ユニット値では有意差はなかったが、M 試料が若干高い値を示し、pH には差がなかった。このことから、M 試料は水分量、たんぱく質量、ハウ・ユニット値が複合的に影響したことにより、離水の少なく、きめ細かい卵白泡が得られたと考えられる。

以上のことより M 試料は、生の卵白泡を利用した調理に適していると考えられた。

#### 3.2.2 加熱卵の破断特性

加熱卵の破断特性 (破断荷重、破断歪率、破断エネルギー) の結果を、Table 4 に示す。卵白において、M 試料は S 試料に比較して、破断荷重、破断歪率、破断エネルギーで、有意に高かった。卵白の構成成分であるオボアルブミンは、無機塩の存在により加熱変性において、蛋白質の凝集が促進されることが報告されている<sup>33)</sup>。M 試料では一般成分において、ナトリウムやマグネシウムの含有量が僅かに高かったことがこの報告と一致していた。さらに、有意差はないがハウ・ユニット値が多少高かったことも、複合的に影響したと考える。加熱卵の卵黄では、2 試料間で破断特性に違いはなかった。

Table 4 加熱卵の破断特性

部位	試料	破断荷重 [N]	破断歪率 [%]×10	破断エネルギー [J/m <sup>3</sup> ]×10 <sup>2</sup>
卵白	S	0.69±0.08 <sup>b</sup>	2.47±0.27 <sup>b</sup>	127.98±23.93 <sup>b</sup>
	M	1.08±0.06 <sup>a</sup>	3.60±0.22 <sup>a</sup>	284.43±29.07 <sup>a</sup>
卵黄	S	2.90±0.88	2.95±0.80	6.42±3.20
	M	3.03±0.09	3.09±0.54	6.68±1.51

1) n=20 2) a,b : 測定項目間の異符号間に有意差あり (p<0.05)

#### 3.2.3 スポンジケーキのバター比重、体積およびテクスチャー

両卵で調製したスポンジケーキのバター密度 [×10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>] は、S 試料 0.36±0.09、M 試料 0.36±0.01 で有意差はなかった。

スポンジケーキの体積 [cm<sup>3</sup>] では、S 試料が 539.85±8.95、

M 試料が  $538.43 \pm 25.41$  であった。M 試料は S 試料に比較して、標準偏差の大きい結果であった。2 試料間の差はなかった。

スポンジケーキのテクスチャーの結果を、Table 5 に示す。スポンジケーキのテクスチャーは、S 試料および M 試料で、有意差はなかった。

Table 5 スポンジケーキのテクスチャー

試料	テクスチャー	
	かたさ [ $\times 10^4 \text{Pa}$ ]	凝集性
S	$4.43 \pm 0.66$	$0.62 \pm 0.14$
M	$4.44 \pm 0.96$	$0.63 \pm 0.04$

1)  $n=8$  2) n.s.

スポンジケーキの膨化作用には、卵白が抱き込んだ空気の熱膨張と生地のもつ水分の蒸気圧の増大とが寄与する<sup>34)</sup>。本研究では、卵白泡の安定性がスポンジケーキ焼成前のバターを調製する際の泡の潰れにくさを指し、卵白の

起泡力が、卵白が抱き込んだ空気の量を指すと考える。M 試料のバターについては、卵白泡の安定性が高くバター調製では泡が潰れにくい、泡のきめが細かいことから、ひとつの泡が抱き込む空気は少ないと考えられる。このことから、卵白泡の安定性や起泡力では 2 試料間に差があったが、スポンジケーキのバター比重、体積およびテクスチャーでは差がなかった。

3.2.4 カスタードプディングのテクスチャー

カスタードプディングのテクスチャーの結果を、Table 6 に示す。2 試料間のかたさ、凝集性、付着性に、有意差はなかった。

Table 6 カスタードプディングのテクスチャー

試料	かたさ応力 [ $\text{Pa}$ ] $\times 10^3$	凝集性	付着性 [ $\text{J/m}^3$ ] $\times 10^2$
S	$2.25 \pm 0.65$	$0.52 \pm 0.04$	$1.07 \pm 0.38$
M	$2.09 \pm 0.47$	$0.53 \pm 0.03$	$1.22 \pm 0.31$

1)  $n=14$  2) n.s.

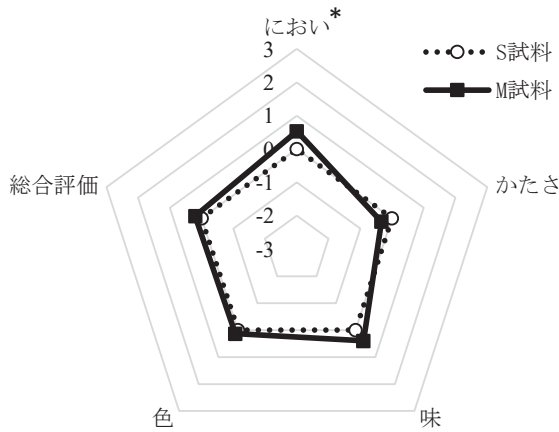


Figure 3-1 加熱卵卵白の嗜好型官能評価

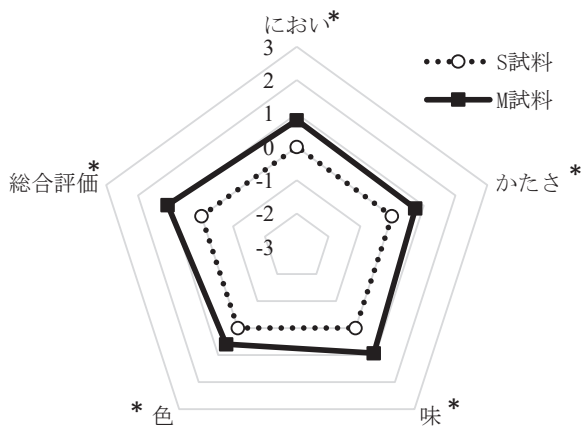


Figure 3-2 加熱卵卵黄の嗜好型官能評価

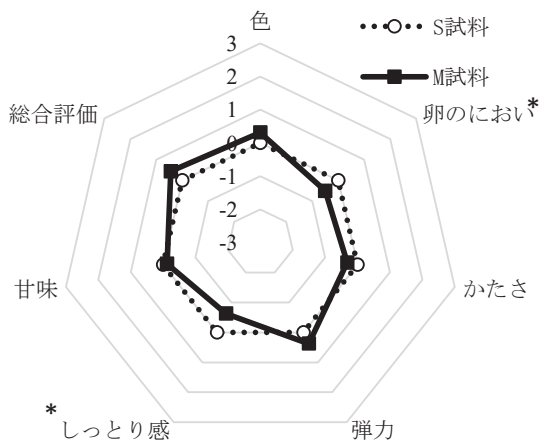


Figure 3-3 スポンジケーキの嗜好型官能評価

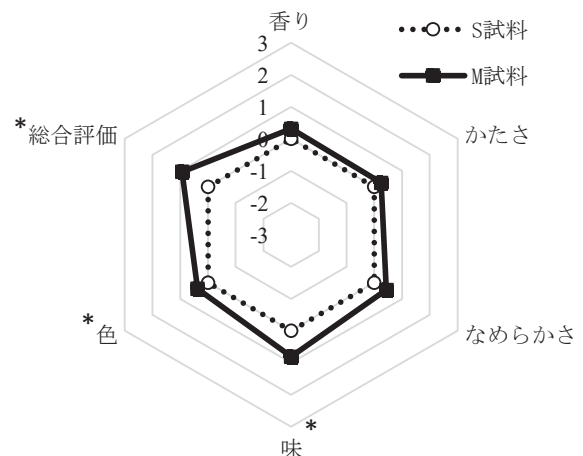


Figure 3-4 カスタードプディングの嗜好型官能評価

Figure 3 各試料の嗜好型官能評価

1)  $n=16$  2) \* : S 試料および M 試料において有意差あり ( $n < 0.05$ )

カスタードプディングのテクスチャーで2試料間に差がなかった理由として、希釈していることおよび全卵を用いていることが考えられる。熱凝固性を直接的に検討した加熱卵の破断特性では、2試料間において卵白では差があったが、卵黄では差がなかった。カスタードプディングでは、牛乳で希釈したことにより鶏卵の加熱特性が直接的に関与しにくいことや、加熱卵で差のなかった卵黄の影響があったと考えられる。

### 3.2.5 加熱卵， スポンジケーキおよびカスタードプディングの嗜好型官能評価

嗜好型官能評価の結果を， Figure3 に示す。

加熱卵はにおいの好み、卵白および卵黄ともに、M試料がS試料に比較して、有意に好まれた。卵黄では、すべての評価項目でM試料がS試料に比較して、有意に好まれた。

スポンジケーキでは、卵のにおいおよびしっとり感において、M試料がS試料より有意に好まれなかった。

カスタードプディングでは、味、色、総合評価において、M試料がS試料に比較して、有意に好まれた。

### 3.2.6 重回帰分析による総合評価に影響した要因の重み

ステップワイズ法による重回帰分析の結果、加熱卵の卵白は味の好み、卵黄では色の好み、卵黄の色が最も総合評価に影響することがわかった（調整済み  $R^2=0.381, 0.363$ ）。回帰係数  $\beta$  は、卵白の味の好み、卵黄の色、卵黄の色が  $0.652, 0.639$ 、定数は、卵白の味の好み、卵黄の色、卵黄の色が  $-0.105, 0.792$  となり、1%水準で統計的に有意であった。このことから、加熱卵の卵黄の総合評価において、M試料がS試料に比較して好まれた要因は、卵黄の色が好まれたためだと考えられた。生卵黄の色である卵黄色では、2試料間に差がなかったことから、加熱により色味が変化したと考えられた。

スポンジケーキについてステップワイズ法による重回帰分析を行ったところ、すべての嗜好型官能評価の項目が除去され、解析できなかった。そこで強制投入法により解析したところ、分散分析において有意ではなく、当てはまりの悪い結果であった。また回帰係数  $\beta$  についても、その有意確率はすべての嗜好型官能評価項目で有意でなかった。このことからスポンジケーキの総合評価には、何かひとつの要因が大きく影響したのではなく、様々な要因が複合的に影響したと考えられた。

カスタードプディングのステップワイズ法による重回帰分析の結果は、なめらかさの好み、卵黄の色が最も総合評価に影響することがわかった（調整済み  $R^2=0.310$ ）。回帰係数  $\beta$  は、 $0.597$ 、定数が  $0.764$  となり、5%水準で統計的に有意であった。このことから、カスタードプディングの総合評価において、M試料がS試料に比較して好まれた要因は、なめら

かさが好まれたためだと考えられた。また参考のためにカスタードプディングについてS試料を基準(0)とした分析型官能評価を行ったところ、なめらかさの項目でM試料  $0.63 \pm 1.41$  で高かった ( $p<0.05$ )。カスタードプディングのテクスチャー特性では2試料間に差がなかったが、官能評価では差があった理由として、かたさと付着性が考えられる。カスタードプディングは、やわらかく付着性が高いほど口の中で崩れやすく広がりやすいため、なめらかに感じると考えられる。かたさおよび付着性は、2試料間に有意な差はなかったが、M試料が若干やわらかく付着性が高い値であった。このことから、機器測定では差がなかったが、人間の舌ではなめらかさの差を感じられた可能性が考えられた。以上のことから、M試料のカスタードプディングは、なめらかさが強いと推察された。

以上のことから、標準飼料を給与した鶏が産んだ卵とミネラル強化飼料を給与した鶏の産んだ卵では、卵白の起泡性や熱凝固性に差があることが明らかとなった。熱凝固性は、加熱卵の卵白の物理的特性に影響があり、M試料の方がかたさや破断歪率が高いことがわかった。一方起泡性では、調理特性としては差があったが、調理品であるスポンジケーキを調製した場合には、卵の違いはなかった。熱凝固性を利用した加熱卵および希釈性を利用したカスタードプディングの官能評価で、ミネラル強化卵試料は、総合評価で好まれた。このことから、ミネラル強化飼料を給与した鶏の産んだ卵は、卵の熱凝固性や希釈性を利用した加熱卵やカスタードプディング、また、卵白泡をそのまま利用するメレンゲ等の調理品に適する可能性が考えられた。

## 謝辞

本研究の遂行に当たり、鶏卵をご提供くださいました、昭和産業株式会社の浜本慎平様、また、実験にご協力いただきました、本学卒業生の小野桃夏様、北田みのり様、妻島瑠璃様に、深く御礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 鶏鳴新聞社. “主要国の1人当たり鶏卵消費量(個)”. 鶏鳴新聞, 2016. <http://keimei.ne.jp/wp/wp-content/uploads/2018/10/IEC%E5%90%84%E5%9B%BD%E9%B6%8F%E5%8D%B5%E6%B6%88%E8%B2%BB%E9%87%8F.pdf>. (入手日: 2019.11.23) .
- 2) 小川宣子, 峯木真知子. 異なる飼料を給与した鶏が産卵した卵の調理特性. 日本調理科学会誌, 32, 317-322, 1999.
- 3) D. U. AHN, “Effects of dietary  $\alpha$ -linolenic acid and strain of hen on the fatty acid composition, storage stability, and flavor characteristics of chicken eggs,” *Journal of Poultry Science*, 74, 1540-1547, 1995.
- 4) F. G. Silversides, T. A. Scott. “Effect of storage layer age on quality of eggs from two lines of hens”. *Poultry Science*, 80, 1240-1245, 2001.
- 5) 小泉昌子, 島村綾, 峯木真知子. 鶏の週齢の違いが卵の調理特性に与える影響. 日本調理科学会平成 29 年度大会研究発表要旨, 2017.
- 6) 小泉昌子, 重村泰毅, 峯木真知子. 鶏の週齢の違いが卵の調

- 理特性に与える影響-白色レグホーン種鶏-. 一般社団法人日本家政学会 70 回大会研究発表要旨集, 2018.
- 7) 小泉昌子, 峯木眞知子. 鶏の週齢の違いが卵の調理特性に与える影響-ポリスブラウン鶏-. 日本調理科学会平成 30 年度大会研究発表要旨集, 2018.
- 8) E. M. Funk, G. Froning, R. Grotts, J. Forward, O. Cotterill. "Seasonal Variation in Egg Quality". Research Bulletin 659, University of Missouri, Columbia, Missouri, 1958, pp.1-24.
- 9) R. Mever, R. C. Baker and M. L. Scott. Effects of hen egg shell and other calcium sources upon egg shell strength and ultrastructure. *Journal of Poultry Science*, 52, 949-955, 1973.
- 10) A. H. Mahdavi, H. R. Rahmani and J. Pourreza. Effect of probiotic supplements on egg quality and laying hen's performance. *International Journal of Poultry Science*, 4(7), 488-492, 2005.
- 11) Kanda Lokaewmanee, Koh-en Yamauchi, Tsutomu Komori and Keiko Saito. Enhancement of yolk color in raw and boiled egg yolk with lutein from marigold flower meal and marigold flower extract. *Journal of Poultry Science*, 48(1), 25-32, 2011.
- 12) 小川宣子, 峯木眞知子, 山中なつみ. 異なる飼料を給与した鶏が産卵した卵の調理特性 (第 2 報). 日本調理科学会誌, 33(2), 185-191, 2000.
- 13) Keisuke Sasaki, Genya Watanabe, Michiyo Motoyama, Takumi Natira, Hiromi Kawai, Tetsuya Kobayashi, Shinobu Fujimura, Namika Kobayashi, Fuyuko Honda, Koichi Matsushita and Ikuyo Nakajima. Descriptive sensory traits of cooked eggs laid from hens fed rice grain. *The Journal of Poultry Science*, 56, 231-235, 2019.
- 14) 小泉昌子, 島村綾, 重村泰毅, 峯木眞知子. 珊瑚末添加飼料を給与した鶏が産んだ卵の調理特性. 日本家政学会誌, 69(8), 620-626, 2018.
- 15) 小泉昌子, 峯木眞知子. イソマルトオリゴ糖添加飼料を給与した鶏が産んだ卵の調理特性, 日本家政学会誌, 71(8), 523-531, 2020.
- 16) 田名部尚子. 卵の食品機能特性と調理利用学について. 調理科学学会誌, 23(3), 228-233, 1990.
- 17) 坂井田節. "II 編 鶏卵の構造とその成分および品質". 食卵の科学とその機能 -発展的利用とその課題-. 渡邊乾二. 東京. アイ・ケイ コーポレーション, 2016, p.58.
- 18) InKee Paik, HanKyu Lee and SeWon Park. Effects of organic iron supplementation on the performance and iron content in the egg yolk of laying hens. *Journal of Japan Poultry Science*, 46, 198-202, 2009.
- 19) 青柳陽介, 大西崇, 伊東忍, 中谷哲郎. 暑熱ストレスおよび L-アスコルビン酸-2-リン酸マグネシウムがニワトリヒナの血漿と肝臓のチオバルビツール酸反応物および肝臓のタンパク質カルボニル濃度に及ぼす影響. 日本家禽学会誌, 34(1), 63-66, 1997.
- 20) 大口秀司, 美濃口直和, 山本るみ子, 花木義秀. 産卵鶏における亜鉛・銅排泄量の低減化. 愛知県農業総合試験場研究報告, 35, 173-178, 2003.
- 21) 浅野悠輔, 八田一. "第 3 章 卵の機能特性". 卵-その化学と加工技術-. 浅野悠輔, 石原良三. 東京. 光琳, 1999, pp.120-121.
- 22) 田名部尚子. "2 節 加熱ゲル化による調理". 卵の料理と健康の科学. 田名部尚子. 東京. 弘学出版株式会社, 1989, p.110.
- 23) 峯木眞知子, 生方恵梨子. "白色レグホーン種鶏卵製品との比較—ダチョウの卵で調製したスポンジケーキの特性". 東京医療保健大学紀要, 4(1), 1-9, 2008.
- 24) 峯木眞知子. "III 編 鶏卵の食品機能". 食卵の科学と機能-発展的利用とその課題-. 渡邊乾二. 東京. アイ・ケイ コーポレーション, 2016, pp.89-91.
- 25) 児玉ひろみ. "調理による理化学的变化に視点をあてた実験". 調理科学実験. 今井悦子, 柳沢幸江. 東京. アイ・ケイ コーポレーション, 2016, pp.114-115.
- 26) 三徳四十四, 目加田博行, 奥村純市, 横田浩臣. 産卵鶏の夏期の卵殻質におよぼす各種カルシウム源の影響. 日本家禽学会, 10, 6, 232-237, 1973.
- 27) Hiroshi Itoh, Tadashi Hatano. Variation of magnesium and phosphorus deposition rates during egg shell formation. *Journal of Poultry Science*, 43(1), 77-80, 1964.
- 28) Chan Ho Kim, In Kee Paik, Dong Yong Kil. "Effects of increasing supplementation of magnesium in diets on productive performance and eggshell quality of aged laying hens". *Journal of Biological Trace Element Research*, 151, 38-42, 2013.
- 29) 文部科学省. "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, 2015.
- 30) J. B. Hess, W. M. Britton. Effects of dietary magnesium excess in White Leghorn hens. *Journal of Poultry Science*, 76, 703-710, 1997.
- 31) S. J. Stillmak, M. L. Sunde. "The use of high magnesium limestone in the diet of the laying hen 1. Egg production". *Journal of Poultry Science*, 50, 553-563, 1971.
- 32) 中村良. "6.卵の調理". シリーズ《食品の科学》卵の科学. 中村良. 東京. 朝倉書店, 1998, pp.86-87.
- 33) R. Nakamura, H. Sugihara and Y. Sato. "Factors contributing to the heat-induced aggregation of ovalbumin". *Journal of Agricultural and Biological Chemistry*, 43,325-330, 1979.
- 34) 越智知子. "スポンジケーキの物性". 日本調理科学会誌, 22, 84-93, 1989.