

高齢者対応のカルシウム補給低塩パンの 調製および給食施設への導入

山田 密穂 (YAMADA Mitsuho)^{*1,2}, 小泉 昌子 (KOIZUMI Akiko)², 峯木 眞知子 (MINEKI Machiko)²

Key Words: 卵殻粉, トレハロース, パン, カルシウム摂取量, テクスチャー特性, 官能評価, 走査型電子顕微鏡

Study on the preparation of a calcium-supplemented low-salt bread for the elderly and its introduction to facilities

Authors: Mitsuho Yamada^{*1,2}, Akiko Koizumi², Machiko Mineki²

***Corresponding author:** Mitsuho Yamada^{1,2}

Affiliated institutions:

¹ Natural Bread School Brezel [1-3-25 Minamiurawa, Minami-ku, Saitama, 336-0017, Japan]

² Tokyo Kasei University and Institute of Food Science of Egg [1-18-1 Kaga, Itabashi-ku, Tokyo, 173-8602, Japan]

Key Words: Eggshell powder, Trehalose, Bread, Calcium intake, Texture properties, Sensory evaluation, Scanning electron microscopic

Abstract

In today's hyper-aged society, it is important to prevent the onset of osteoporosis, and an increase in calcium (Ca) intake is believed to contribute to prevention efforts. Eggshell powder contains about 40% Ca. In this study, we added eggshell powder to increase the amount of Ca in low-salt bread. As a preliminary study, we conducted a questionnaire survey of dietitians and registered dietitians working at elderly care facilities and hospitals (29 facilities) in order to understand the current situation and their desires for calcium-enriched bread for hospital meals. Many of the respondents wanted to provide nutrient-enriched bread as part of hospital meals, specifically white bread or rolls enriched with 200 mg of Ca. Accordingly, eggshell powder was added to bread at 0%, 1%, and 2% of the flour content, and the quality of the bread was examined. Bread containing 2% eggshell powder provided 339 mg of Ca in 80 g of bread. There were no significant differences in the volume, weight, specific volume, and moisture content of the samples after 1 day of storage. Texture measurements showed that for any amount of eggshell powder added, the cohesion value after 3 days of storage was significantly lower than the value after 1 day of storage ($p < 0.05$), but there was no significant difference in hardness and adhesiveness. In the sensory evaluation of salty taste and overall evaluation, all samples with eggshell powder added received a score of 4 or higher. Furthermore, we added 5% trehalose, which has a strong anti-aging effect, to the bread and examined its effect over a 3-day period. In the trehalose-added sample that was added with 2% eggshell powder and stored for 3 days, the decrease in water content was slightly suppressed. In histological observation of the bubble surface of the crumb, in the sample with 2% eggshell powder added, the gluten strands were cut unevenly instead of sharply, and on the cell walls, there was little damage to the gluten membrane and exposure of starch granules was suppressed. It was inferred that the hydrating power of trehalose created extensible gluten strands. Therefore, we believe that low-sodium bread made with eggshell powder can be expected to increase Ca intake without significantly changing quality compared with bread made without eggshell powder, thereby contributing to increased Ca intake in facilities and hospitals for the elderly.

* 責任著者: 山田 密穂^{1,2}

¹ 自然派パン工房おれっちえる (埼玉県さいたま市南区南浦和 1-3-25)

² 東京家政大学タマゴのおいしさ研究所 (東京都板橋区加賀 1-18-1)

要約

超高齢化が進む現代社会において、骨粗鬆症の発症予防は重要であり、カルシウム（以下、Ca）摂取量の増加は有効であるとされる。未利用資源である卵殻を粉状にした卵殻粉は約40%のCaを含み、多孔質のために消化吸収もよい。そこで、卵殻粉を添加してCaを強化し、かつ低塩したパンの調製を試みた。また、予備調査として高齢者施設・病院（29施設）の栄養士・管理栄養士に対して、栄養強化パンの希望と現状についてのアンケート調査を行い、給食に求められるCa入りパンの条件を把握した。その結果、給食施設に栄養強化パンの提供を希望する栄養士が多く、希望するCa添加量は200mgで、パンの形態は食パンあるいはロールパンが多かった。パンに卵殻粉を小麦粉の0%、1%、2%添加し、品質を検討した。卵殻粉2%添加パンでは、喫食量80gでCa量339mgを摂取することができ、Ca摂取を補う主食として十分な製品であると考えられた。保存1日後の各試料の体積、重量、比容積において有意差はなかった。テクスチャー測定では、凝集性においていずれの卵殻粉添加量においても、保存3日後の凝集性の値は、保存1日後の値より有意に低かった（ $p < 0.05$ ）が、かたさ、付着性において有意差はなかった。嗜好型官能評価の塩味の好ましさ、総合評価において、いずれの卵殻粉添加試料も4点以上であった。高齢者施設・病院においては、焼成後1日～3日間保存したパンが喫食される可能性が高いため、老化抑制作用が高いトレハロースを5%パンに添加し、3日間にわたりその影響を検討した。卵殻粉2%添加し3日間保存したトレハロース添加試料は水分含有率の低下がやや抑えられていた。卵殻粉2%・トレハロース添加試料の組織観察では、グルテンストランドがシャープではなく凹凸に切れ、気泡壁面では、グルテン膜の破損が少なくでんぷん粒の露出が抑えられていた。トレハロースの水和力により、伸展性のあるグルテンストランドが作成されたと推察された。

以上から、卵殻粉添加パンは、低塩し、卵殻粉を2%まで添加しても、無添加パンと品質を大きく変えることなくCa摂取量を増やす効果が期待でき、高齢者施設・病院におけるCa摂取量向上に寄与できると考える。

1. 緒言

超高齢化が進む現代社会において、健康寿命を延ばし、QOLを向上させるために骨折や腰痛の原因となる骨粗鬆症の発症予防は重要である¹⁾。骨粗鬆症の発症予防のために有効であるとされるカルシウムの摂取について、国民健康・栄養調査結果（令和元年）²⁾によると、ほとんどの年齢層において日本人の食事摂取基準の推奨量³⁾を満たしていない²⁾。そこで、カルシウムの摂取量を増加させる方法として、主食であるパンに、カルシウム補給剤として卵殻粉を添加することを考えた。総務省統計局家計調査では2014年以降、2人以上世帯における1世帯当たりの品目別支出金額でパンの購入金額が米のそれを上回っている⁴⁾。このことから、パンに機能性を持たせることは有効であると推察される。

卵殻粉は、一般に廃棄される鶏卵の卵殻を粉状に加工し、再利用している^{5,6)}。卵殻粉の主成分は炭酸カルシウムであり、カルシウム含有量が約40%と天然のカルシウム源の中では非常に高い^{7,8)}。その構造が多孔質のため、体内への消化吸収がよく、良好なカルシウム供給源として食品に広く利用されている^{7,8)}。卵殻粉はカルシウムの強化に有効であるほか、油脂の劣化抑制効果、レトルト商品の変色防止、スポンジ系ケーキの窯伸び向上、麺類の腰痛

強効果なども報告されている^{9,10)}。また、パウンドケーキ¹¹⁾や米粉バターケーキ¹²⁾でもおいしく良好な製品ができることが報告されている。パンに卵殻粉を添加した場合には、カルシウム量が強化されるだけでなく、低塩できることも明らかにされている¹³⁾。しかし、加工食品に卵殻粉を添加した研究は多くはない¹⁴⁾。

本研究では、予備調査として、高齢者施設・病院（29施設）の栄養士・管理栄養士に対して、栄養強化パンの希望と現状についてのアンケート調査を行った。その結果、給食施設に栄養強化パンの提供を希望する栄養士が多く、希望するカルシウムの添加量は200mgで、パンの形態は食パンあるいはロールパンが多かった。栄養改善を目的に卵殻粉を添加してカルシウムを強化した低塩パンを調製し、体積、重量、比容積、水分含有率、テクスチャーを測定し、組織観察、官能評価を行った。

大ら¹²⁾は卵殻粉の添加した米粉バターケーキにおいて、1%程度の卵殻粉添加は保存による影響が少ないが、それ以上の添加製品では無添加製品より有意にかたさや凝集性が低下したという問題点を提示している。しかし、島村ら¹¹⁾は、卵殻粉1%以下の添加によるパウンドケーキでは、7日保存試料においても無添加試料よりやわらかく、保

存の影響が少ないことを報告している。卵殻粉添加におけるグルテンへの影響や保存による老化に与える影響はまだ明らかではない。

今回提供を考えている給食施設において、パンはリベイクせずにそのまま提供される。しかも、給食施設では前日あるいは前々日に購入して提供するので、パンがやわらかく、食べやすく、おいしいことは高齢者や患者にとって重要になる。そこで、パンに、でんぷんの老化抑制作用があり、水合力が強いとされる¹⁵⁻¹⁹⁾トレハロースを添加し、その影響についても検討した。

本研究により、主食へ卵殻粉を添加した製品の開発および提供は、高齢者の栄養改善に結びつき、カルシウムサプリメントやカルシウム剤を摂取している人への負担軽減になることを期待している。

2. 方法

(1) 製パン試験

1) 材料

パンの材料は、強力粉（カメリヤ、(株)日清製粉ウエルナ、東京）、薄力粉（バイオレット、(株)日清製粉ウエルナ、東京）、卵殻粉 No.11（カルホープ、キューピー（株）、東京）、インスタントドライイースト（日清スーパーカメリヤドライイースト、(株)日清製粉ウエルナ、東京）、上白糖（スプーン印、三井製糖（株）、東京）、塩（食塩、(公財)塩事業センター、東京）、トレハロース（トレハ、(株)林原、岡山）、鶏卵（市販新鮮卵）、スキムミルク（北海道スキムミルク、雪印メグミルク（株）、東京）、バター（北海道よつ葉バター食塩不使用、よつ葉乳業（株）、北海道）、マーガリン（ジュニアプロセス食塩無添加、リボン食品（株）、大阪）、蒸留水を用いた。

卵殻粉は、平均粒径約 4 μm で微粉化された製品²⁰⁾を用いた。その栄養成分は、100 g 当たり水分 0.5 %、たんぱく質 2.1 %、灰分 96.9 % で、ミネラル分は 100 g 中でカルシウム 38 g、カリウム 41.6 mg、ナトリウム 87 mg、リン 99.3 mg、鉄 0.5 mg、マグネシウム 375 mg が含まれている^{6,9)}。

2) 試料配合

高齢者施設・病院（29 施設）の栄養士・管理栄養士を対象に、栄養強化パンに対する希望について予備調査を行った。その調査から、高齢者施設において給食として供されるパンとして、食パンあるいはロールパンの形態が多いことがわかった。いずれのパンにも適性がある配合として、バターロール配合とした。製パンテキスト^{21,22)}の配合を参考にし、予備実験の結果から、できあがり、風味から判断し、配合割合（表 1）を決定した。塩の重量は、標準的なバターロールの配合では、小麦粉の重量の 2% だが、島村らの報告¹³⁾と、予備実験の結果が良好であったことから、低塩化も考え、通常の半分量の 1% とした。卵殻粉は、使用した小麦粉に対して、無添加、1%、2% を添加した。卵殻粉を添加した試料では、その分の小麦粉を減じた。試料名は、卵殻粉無添加試料を A 試料、卵殻粉 1% 添加試料を B 試料、卵殻粉 2% 添加試料を C 試料と表記した。

今回提供を考えている給食施設において、パンをやわらかく、食べやすくすることが重要であるため、でんぷんの老化抑制作用があり、水合力が強いとさ

表 1 パンの配合 (g)

材 料	試 料		
	A (AT ^{#3})	B (BT ^{#3})	C (CT ^{#3})
小麦粉 ^{#1}	250.0	247.5	245.0
卵殻粉	0.0	2.5	5.0
ドライイースト	5.0	5.0	5.0
上白糖 ^{#2}	25.0 (20.34)	25.0 (20.34)	25.0 (20.34)
トレハロース ^{#3}	0.0 (12.5)	0.0 (12.5)	0.0 (12.5)
塩	2.5	2.5	2.5
卵	25.0	25.0	25.0
スキムミルク	7.5	7.5	7.5
バター	12.5	12.5	12.5
マーガリン	12.5	12.5	12.5
水	130.0	130.0	130.0

A：卵殻粉無添加試料 AT：卵殻粉無添加、トレハロース添加試料
B：卵殻粉 1% 添加試料 BT：卵殻粉 1% 添加、トレハロース添加試料
C：卵殻粉 2% 添加試料 CT：卵殻粉 2% 添加、トレハロース添加試料

^{#1} 小麦粉は強力粉 90%、薄力粉 10% を用いた。

^{#2} トレハロースの甘味度はショ糖の 38% であり¹⁵⁾、上白糖の甘味度はショ糖の 102% である²⁵⁾。トレハロース添加試料の甘味度が A 試料と同じになるように換算して用い、() 内に表示した。

^{#3} トレハロース添加試料は AT、BT、CT 試料とし、添加量は、いずれも 12.5 g で () 内に表示した。また、捏ね上がりの生地がトレハロース無添加試料と同重量になるよう、混捏後、7.84 g の生地を取り除いた。

れる¹⁵⁻¹⁹⁾トレハロースを用いた。

トレハロース添加試料は、小麦粉に対して5%^{23,24)}を添加した。トレハロースの甘味度はショ糖の38%であるため¹⁵⁾、甘味度がA試料と同じになるように換算し²⁵⁾、砂糖の一部と置換した。試料名は、A試料のトレハロース添加試料をAT試料、B試料のトレハロース添加試料をBT試料、C試料のトレハロース添加試料をCT試料と表記した(表1)。また、捏ね上がりの生地がトレハロース無添加試料と同重量になるよう、混捏後、AT、BT、CT試料から7.84gの生地を取り除いた。

3) 調製方法

パンの調製は、ホームベーカリー(SD-BH1001, パナソニック(株), 東京)を用いた。設定コースは、食パンコース(全工程4時間)とした。各操作の時間は、記載がないことにより、実際にホームベーカリーが動いている時間を測定した。その結果、1回目のねり20分、ねかし36分、2回目のねり13分、発酵133分、焼成38分という設定であった²⁶⁾。

(2) 測定方法

1) パンの栄養量

パンの栄養量は、パン80gを1回の喫食量として、日本食品栄養成分2020年版(八訂)をデータソースとした食品成分データベース²⁷⁾、各製品パッケージを用いて算出した。

2) 体積、重量、比容積、水分含有率

パンは焼成後、室温(25℃)にて1時間放冷し、室温になった状態を確認後、食品用ラップフィルムに包んだ後、ジッパーつきポリエチレン袋に入れた状態で保存した。室温(25℃)で1日、2日、3日間保存し、試料とした。試料の体積、重量は、レーザー体積計(Selnac-Win VM2100, (株)アステックス, 大阪)により測定した。比容積は、パンの体積を重量で除して求めた²⁸⁾。

水分含有率は、赤外線水分計(FD-600, (株)ケット科学研究所, 東京)により測定した。試料の内相部5gを用い、110℃、80分に設定し、恒量に達したのを確認後、水分含有率とした。試料は各3個調製し、平均と標準偏差を求めた。

3) テクスチャー試験

テクスチャーは、レオメーター(RE2-33005C, (株)山電, 東京)を用いて測定した。測定用試料は、2)

と同様に保存した試料の内相中央部より2×2×2.5(縦×横×高さ)cmの大きさに切り出したものとした。3回焼成した各試料から3個を切り出し、計9個を測定して、平均と標準偏差を求めた。測定条件は、ロードセル20N、円柱プランジャー直径8mm、測定歪率90%、測定速度10mm/secとした^{13,29)}。

4) 組織観察

2)と同様に保存した試料の内相中央部を単回使用マイクロトーム用刃(ライカマイクロトーム替刃818, ライカマイクロシステムズ(株), 東京)を用いて、1×1×0.2(縦×横×高さ)cmの大きさに切り出した。試料の方向性を確認後、そのままの状態を試料台に取り付け、卓上走査型電子顕微鏡(Miniscope TM3030Plus, (株)日立ハイテク, 東京)により、加速電圧10kV、40倍で、気泡の大きさと小孔^{30,31)}を観察した。また、気泡の長径と長短軸比を画像解析・計測ソフトウェア(WinLOOF2015, 三谷商事(株), 東京)で計測した。長短軸比は、縦の長さ/横の長さで求めた。

同様の試料を2.5%グルタルアルデヒド(TAAB社製, 日新EM(株), 東京)・0.1Mリン酸緩衝液(pH7.4, 武藤化学(株), 東京)に浸漬して5℃、2時間の前固定を行った。洗浄後、1%オスミウム酸溶液(TAAB社製, 日新EM(株), 東京)による5℃、2時間の後固定を行い、エタノール系列にて脱水した^{29,32)}。試料を乾燥し、Au-Pdコーティング(MSP-1Sマグネトロンスパッタ装置, (株)真空デバイス, 茨城)を施した。前述の卓上走査型電子顕微鏡により、加速電圧10kV、40倍、1000倍で、主にグルテンストランド^{11,32)}の状態と気泡壁面^{30,31)}を観察した。

5) 官能評価

パンの官能評価には、保存1日後のA、B、C試料の外皮を除いた4.5×3.5×1.5(縦×横×高さ)cmの試料を用いた。分析型官能評価は、きめ、内相の色、香り、かたさ、塩味、甘味、苦味の7項目とした。7段階評点法により行い、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点として評価させた。嗜好型官能評価は、塩味の好ましさ、総合評価について行い、7段階評点法により行い、評点は、非常に好ましくないを1点、どちらでもないを4点、非常に好ましいを7点とした。パ

表2 卵殻粉添加パンの栄養成分 (パン 80 g あたり)

試料名	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)
A	0	218	6.2	4.7	15
B	1	216	6.2	4.7	177
C	2	215	6.1	4.6	339

ネルは、本学学生および教職員 22 名とした。パネリストの構成は、年齢 20～60 歳代の男女 (内訳: 20 歳代女性 16 名, 30 歳代女性 1 名, 40 歳代男性 1 名, 50 歳代男性 1 名, 50 歳代女性 2 名, 60 歳代女性 1 名) であった。なお、官能評価については、研究の趣旨を説明し、同意を得た方にのみ行い、卵、小麦粉、乳製品にアレルギーのある方には、参加をさせなかった。また、実施には東京家政大学大学院倫理委員会の承認を得た (R4-22)。

6) トレハロース添加の影響

トレハロース添加試料を調製し、上記の 2), 3), 4) の測定を行った。

(3) 統計処理

各測定データの集計には、統計処理ソフト IBM SPSS Statistics Ver.24 を用いた。有意差検定には、試料を要因とした一元配置分散分析を行った。有意差があった場合には、Tukey の多重比較を行った。有意水準は 5% ($p < 0.05$) とした。

3. 実験結果

(1) 試料の栄養量

日本食品栄養成分 2020 年版 (八訂) をデータソースとした食品成分データベース²⁷⁾、各製品パッケージを用いて算出した栄養量を表 2 に示した。卵殻粉無添加試料は喫食量 80 g でエネルギー 218 kcal、カルシウム量 15 mg であるが、卵殻粉 1% 添加試料はカルシウム量 177 mg、2% 添加試料は 339 mg を摂取することができる。たんぱく質および脂質量にはほとんど違いはなかった。

日本人が一日に摂取すべきカルシウムの推奨量³⁾は、65～74 歳の男性で 750 mg、75 歳以上の男性で 700 mg、65～74 歳の女性で 650 mg、75 歳以上の女性で 600 mg である (日本人の食事摂取基準 (2020 年版))。65 歳以上の女性であれば、卵殻粉 1% を添加したパンを 80 g 喫食することにより 1 日あたりの推奨量の 1/4 以上、卵殻粉 2% 添加パン 80 g の喫食により 1 日あたりの推奨量の 1/2 以上を摂取することが可能になる。

(2) 製パン試験

1) 外観・断面の観察, 体積, 重量, 比容積, 水分含有率

パンの断面像を図 1-1 に示した。保存 1 日後のパンでは、外観において卵殻粉添加量の異なる 3 試料間で顕著な違いはなかった。断面においては、A、B 試料で大小の気泡が不均一に分散しており、C 試

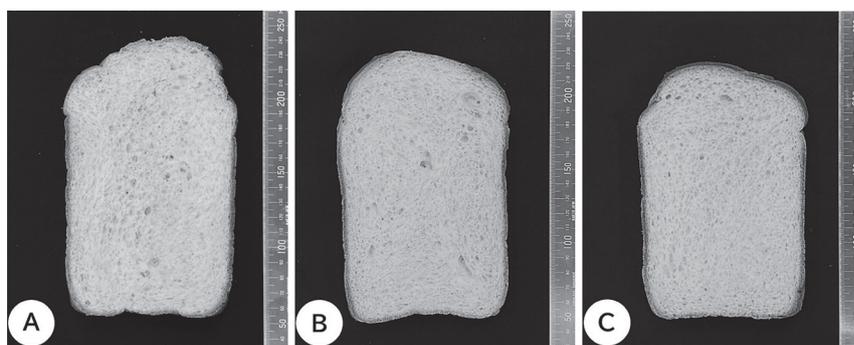


図 1-1 A,B,C 試料の断面

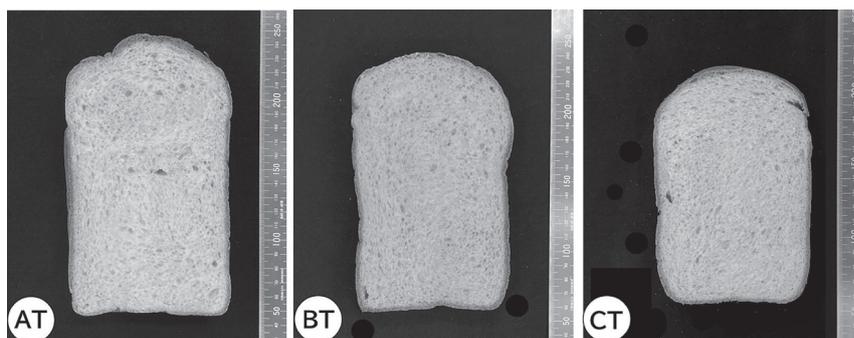


図 1-2 AT, BT, CT 試料の断面

図 1 保存 1 日後のパンの断面

表3 パンの体積, 重量, 比容積, 水分含有率

試料	保存日数 (日)	A	B	C
体積 (cm ³)	1	3670.5 ± 333.5	3545.8 ± 219.7	3474.7 ± 288.0
	2	3552.7 ± 328.2	3441.5 ± 195.0	3390.6 ± 281.1
	3	3510.8 ± 317.3	3397.3 ± 175.5	3335.3 ± 293.8
重量 (g)	1	400.6 ± 1.5	401.8 ± 0.9	402.8 ± 2.1
	2	399.7 ± 1.6	401.1 ± 0.9	402.1 ± 2.0
	3	398.7 ± 1.7	400.1 ± 0.8	401.1 ± 2.0
比容積	1	9.17 ± 0.87	8.83 ± 0.56	8.62 ± 0.68
	2	8.89 ± 0.86	8.58 ± 0.50	8.43 ± 0.66
	3	8.81 ± 0.83	8.49 ± 0.45	8.31 ± 0.70
水分含有率 (%)	1	40.61 ± 0.03	40.45 ± 0.07	40.33 ± 0.26
	2	40.47 ± 0.17	40.14 ± 0.38	39.87 ± 0.46
	3	40.02 ± 0.76	39.77 ± 0.25	39.16 ± 0.42

A: 卵殻粉無添加試料, B: 卵殻粉 1% 添加試料, C: 卵殻粉 2% 添加試料

1) n=3, 2) 値は平均値 ± 標準偏差, 3) 各測定項目間において各試料間に有意差なし

料では気泡の大きさのばらつきが少なく, きめがやや細かく見えた。

体積, 重量, 比容積および水分含有率を表3に示した。保存1日後試料において, 体積, 重量, 比容積, 水分含有率において有意差はなかった。卵殻粉の添加量が増えるにつれ体積が少しずつ減少しているため, それに伴いC試料の断面の気泡がやや小さく見えたが, いずれの試料も標準的な山形食パンの基準: 比容積4~4.53³³⁾以上に膨化していた。

パンを保存した場合では, 2日後, 3日後試料の体積, 重量, 比容積において, いずれの値もやや減少していたが, 卵殻粉の添加量の違いによる有意差はなく, 変化の度合いにも顕著な違いはなかった(表3)。

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ことが報告されている^{7,9)}。また, 米粉バターケーキにおいても, 粉の2%添加以上で比体積が増加したとしている¹²⁾。パンにおいては, 島村らが2%~4%添加で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¹³⁾。したがって, 本研究による1%~2%の卵殻粉添加では, 無添加製品と外観の変わらない製品が得られると考える。

水分含有率では, 2日後, 3日後試料において, 保存日数の経過とともにいずれの値もやや減少していたが, 卵殻粉無添加試料(A), 卵殻粉1%添加試料(B)では保存日数の違いによる有意差はみら

れなかった。卵殻粉2%を添加したC試料では, 保存2日後までは水分含有率の差異はなかったが, 保存3日後の値は保存1日目の値に比べ, 低い傾向にあった($p < 0.1$)。また, C試料の保存3日後の水分含有率の値はA試料の1日後の値よりも低い傾向がみられた($p < 0.1$)。このことから, 卵殻粉を1%添加しても, 保存3日後まではパンの体積, 重量, 比容積, 水分含有率に影響はないが, 卵殻粉2%添加では, 3日間保存した際にパンの水分含有率がやや低くなる可能性が考えられた。

2) テクスチャー

パンのかたさを図2-1に示した。保存1日後では, 各試料間で有意差はなかった。保存した試料の場合では, 卵殻粉を添加したB試料およびC試料の保存1日後から3日後の変化の割合が, A試料の変化の割合に比べて小さかった。島村らも同様の報告¹¹⁾をしており, 卵殻粉を添加した試料のほうが保存の影響を受けにくいと推察される。3日後の3試料のかたさの値は, ほぼ同値であった。

パンの凝集性を図3-1に示した。いずれの卵殻粉添加量においても, 保存3日後の凝集性の値は, 保存1日後のそれより有意に低い値を示した($p < 0.05$)。大羽らは, 大豆素材添加食パンにおいて, 凝集性が低くなるとクラムを噛み切る力が小さくてよくなることを報告している³⁴⁾。このことから, 卵殻粉添加パンは, パンの提供が調製後3日後になっても高齢者施設での提供に適していると考えられる。

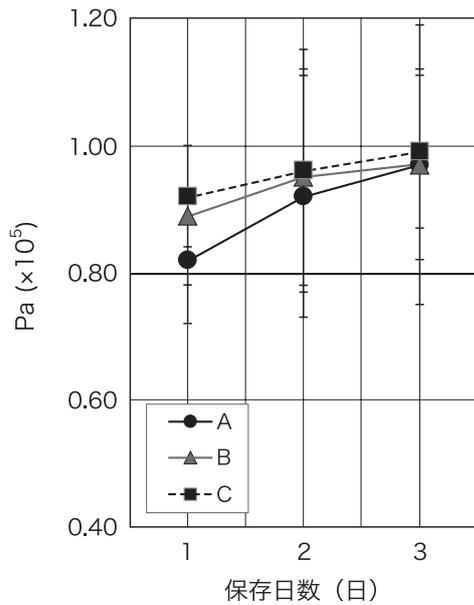


図 2-1 A,B,C 試料のかたさ
 A：卵殻粉無添加試料
 B：卵殻粉 1%添加試料
 C：卵殻粉 2%添加試料
 1) $n=9$, 2) 値は平均 ± 標準偏差
 3) 各測定項目間において各試料間に有意差なし

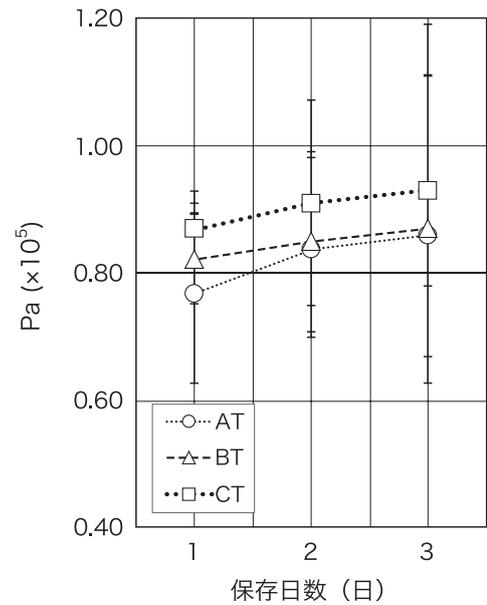


図 2-2 AT,BT,CT 試料のかたさ
 AT：卵殻粉無添加，トレハロース添加試料
 BT：卵殻粉 1%添加，トレハロース添加試料
 CT：卵殻粉 2%添加，トレハロース添加試料
 1) $n=9$, 2) 値は平均 ± 標準偏差
 3) 各測定項目間において各試料間に有意差なし

図 2 保存 1 日，2 日，3 日後のパンのかたさ

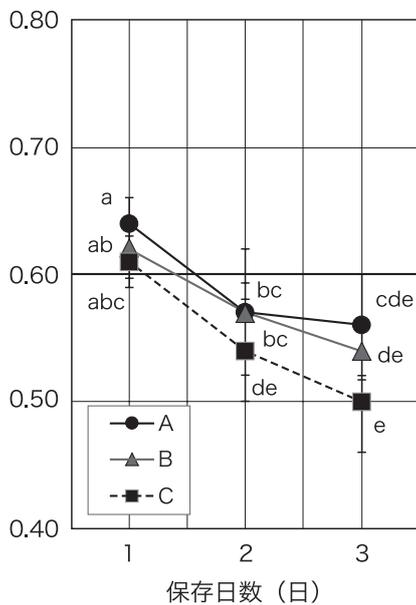


図 3-1 A, B, C 試料の凝集性
 A：卵殻粉無添加試料
 B：卵殻粉 1%添加試料
 C：卵殻粉 2%添加試料
 1) $n=9$, 2) 値は平均 ± 標準偏差
 3) a-e：異符号間に有意差あり ($p < 0.05$)

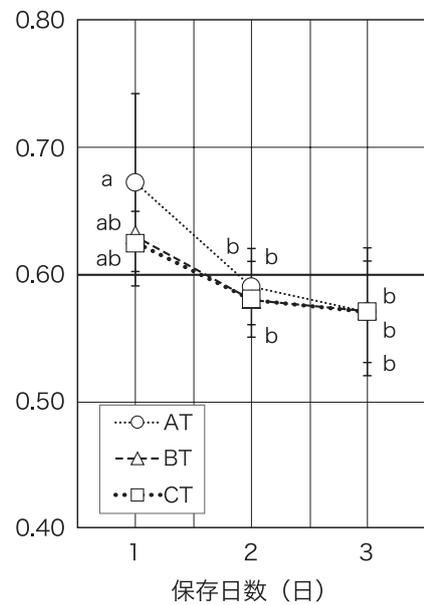


図 3-2 AT, BT, CT 試料の凝集性
 AT：卵殻粉無添加，トレハロース添加試料
 BT：卵殻粉 1%添加，トレハロース添加試料
 CT：卵殻粉 2%添加，トレハロース添加試料
 1) $n=9$, 2) 値は平均 ± 標準偏差
 3) a,b：異符号間に有意差あり ($p < 0.05$)

図 3 保存 1 日，2 日，3 日後のパンの凝集性

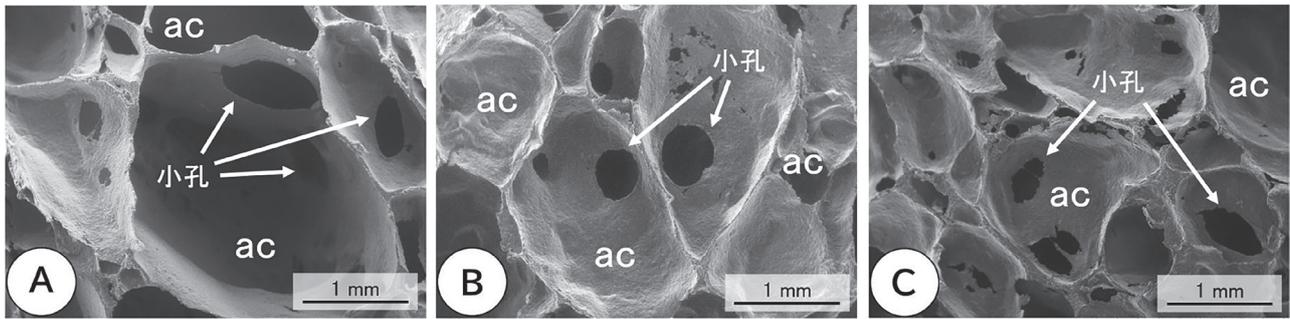


図 4-1 A, B, C 試料の SEM 像

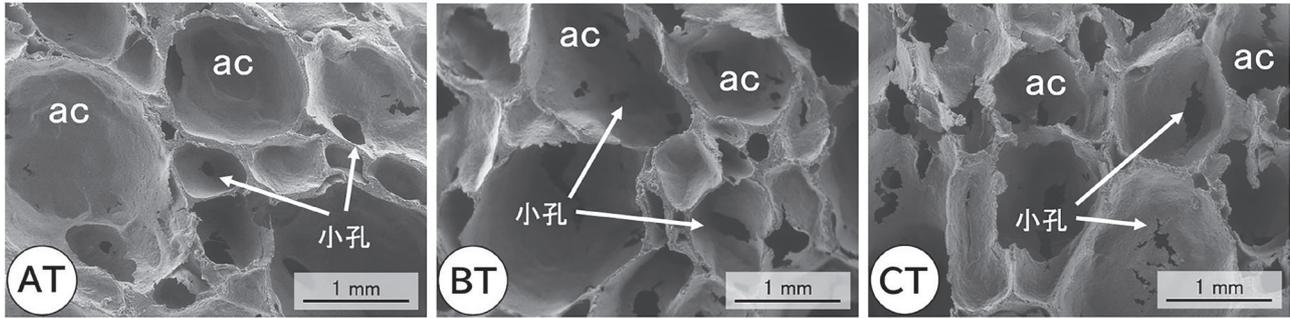


図 4-2 AT, BT, CT 試料の SEM 像

図 4 パン内相の SEM 像

A: 卵殻粉無添加試料 AT: 卵殻粉無添加, トレハロース添加試料 ac: 気泡
 B: 卵殻粉 1% 添加試料 BT: 卵殻粉 1% 添加, トレハロース添加試料
 C: 卵殻粉 2% 添加試料 CT: 卵殻粉 2% 添加, トレハロース添加試料

1) 試料の内相中央部を $1 \times 1 \times 0.2$ (縦 \times 横 \times 高さ) cm の大きさに切り出し, そのままの状態, 卓上走査型電子顕微鏡 (Miniscope TM3030Plus) により観察

付着性では, 保存 1 日後の A 試料 96.11 ± 46.49 J/m^3 , B 試料 119.64 ± 40.05 J/m^3 , C 試料 125.78 ± 32.21 J/m^3 で, 各試料間で有意差はなかった。保存 2 日後では, A 試料 69.67 ± 25.12 J/m^3 , B 試料 101.70 ± 44.39 J/m^3 , C 試料 121.77 ± 43.29 J/m^3 であった。保存 3 日後では, A 試料 131.85 ± 19.06 J/m^3 , B 試料 95.52 ± 52.71 J/m^3 , C 試料 136.49 ± 35.47 J/m^3 で, 卵殻粉の添加量の違いによる差異はみられず, 変化の度合いにはばらつきがあった。

3) 組織観察

パンの組織構造 (40 倍) を図 4-1 に示した。いずれの試料も, 焼成により引き伸ばされた気泡 (ac) が大きく形成され, 気泡を囲むグルテンストランドが細長く連続して発達していた。特に A 試料は縦長に大きく伸びた気泡が散在し, 気泡壁面にやや大きい小孔が観察された。有意差はなかったが, A 試料の体積が最も大きかったため, 気泡壁面間を接合するグルテンストランドが薄くなり, 小孔を生じたものと推察される。各試料の気泡の長径を測定した結

果, A 試料が 1.36 ± 0.77 mm, B 試料が 1.26 ± 0.52 mm, C 試料が 1.20 ± 0.52 mm であった。3 試料間で有意差はなかったが, A 試料は長径が長いものが多くみえた。気泡の長短軸比では, A 試料が 1.67 ± 0.56 , B 試料は 1.56 ± 0.50 , C 試料は 1.51 ± 0.50 で, 有意差はなかった。いずれの試料も気泡の長短軸比は 1.0 以上で, 気泡は縦に伸びており, 山型タイプの食パンの内相の気泡として良好であるといえる³⁵⁾。

A, C 試料のグルテンストランドと気泡壁面の組織構造 (40 倍, 1000 倍) を図 5-A1, A2, C1, C2 に示した。A 試料 (A1) では, 気泡壁の切断面がシャープであることから, グルテンストランドが強くしっかりと形成されていることが推察できた。C 試料 (C1) では, グルテンストランドが細く連続していた。図 4-1 の観察結果と照らし合わせると, 卵殻粉の添加により気泡のサイズが小さいものが見えた。

A 試料の気泡壁面 (A2) では, 全体的にグルテン膜が滑らかに伸展し, 連続したでんぷん粒 (s)

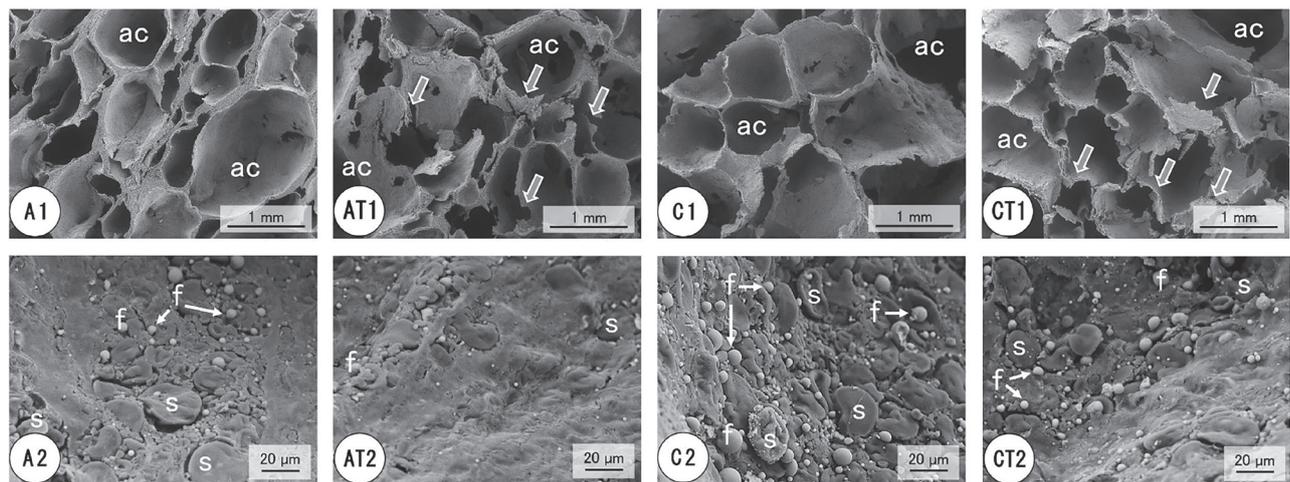


図5 グルテンストランドと気泡壁面のSEM像

A1, A2: 卵殻粉無添加試料 AT1, AT2: 卵殻粉無添加, トレハロース添加試料 1: グルテンストランド
 C1, C2: 卵殻粉 2% 添加試料 CT1, CT2: 卵殻粉 2% 添加, トレハロース添加試料 2: 気泡壁面
 ac: 気泡 f: 脂肪と思われる球体 s: 気泡壁面に見られる露出した小麦でんぷん (大)
 ⇨: AT1, CT1 試料のグルテンストランドの切断面に見られるぎざぎざ部分

1) 試料の内相中央部を 1 × 1 × 0.2 (縦×横×高さ) cm の大きさに切り出し, 二重固定を行い, Au-Pd コーティングを施して, 卓上走査型電子顕微鏡 (Miniscope TM3030Plus) により観察

がそのグルテン膜に覆われていた。C 試料(C2)では、でんぷん粒を覆っているグルテン膜が破け、でんぷん粒が多く露出していた。卵殻粉を添加した試料のほうがでんぷん粒の露出が多かったため、卵殻粉がグルテンの網状構造³²⁾に組み込まれる際に、でんぷんに密着し¹¹⁾、でんぷん粒を露出させていると推察された。島村らは、卵殻粉を添加したパウンドケーキの組織構造観察において、ヘマトキシリン染色により、卵殻粉がでんぷんに密着して角張った形状で見られ、でんぷんに入り込んでグルテンストランドを作成していたことを報告している¹¹⁾。本研究の組織観察では卵殻粉は確認できなかったが、島村らの報告¹¹⁾と同様に卵殻粉がグルテンストランド内に散在していることにより、卵殻粉添加試料のグルテンストランドが薄く、気泡壁面のでんぷん粒の露出が多くなったことに関与していると考えられた。

気泡壁面の観察では、脂肪と思われる球体 (f) も確認できた。それらは、A 試料 (A2) においてよりも C 試料 (C2) で数が多かった。卵殻粉がグルテンの網状構造に組み込まれる際に、でんぷん粒と同様に、脂肪と思われる球体を網状構造から排除する働きがある可能性が示唆された。卵殻粉添加量の違いによるこのような差異は、物理的測定結果の

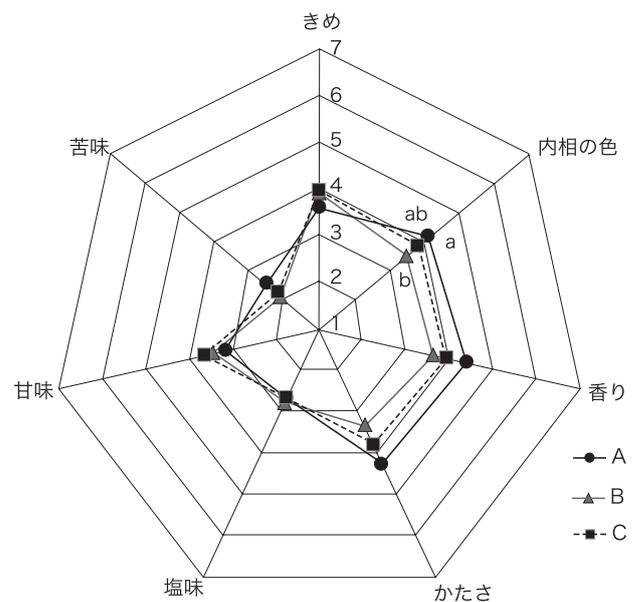


図6 パンの7段階評点法による分析型官能評価

A: 卵殻粉無添加試料, B: 卵殻粉 1% 添加試料, C: 卵殻粉 2% 添加試料
 1) $n = 22$
 2) 評点: 1: 非常に弱い (粗い, 薄い) ~ 7: 非常に強い (細かい, 濃い)
 3) 符号なし: 各項測定目間において各試料間に有意差なし
 4) a, b: 異符号間に有意差あり ($p < 0.05$)
 5) 試料はパンの内相部より 4.5 × 3.5 × 1.5 (縦×横×高さ) cm に切り出したものを使用した

値に有意差がないことから、わずかであると考える。

4) 官能評価

7段階評点法による分析型官能評価を図6に示した。内相の色においてはB試料が最も薄く、A試料が濃いと識別された ($p < 0.05$)。きめ、香り、かたさ、塩味、甘味、苦味の項目において3試料間で有意な差は識別されなかった。

7段階評点法による嗜好型官能評価では、総合評価のほか、通常のパンよりも塩の配合量を1/2にしていることから、塩味の好ましきについての評価も行った(図7)。いずれの評価項目においても各試料間で有意差はなかった。パンの調製に用いた塩の分量は、標準的なバターロール配合の1/2であったにもかかわらず、塩味の好ましきにおいて、「どちらでもない」の4点以上の評価を得た。卵殻粉を添加することで、卵殻粉に含まれるカルシウムやマグネシウムといったミネラルが味の評価に参与する可能性があること³⁶⁾が示唆された。総合評価においても「どちらでもない」の4点以上の評価であった。

5) トレハロース添加によるパンへの影響

①外観・断面の観察, 体積, 重量, 比容積

トレハロース添加試料の断面像を図1-2に示した。保存1日後のトレハロース添加試料では、外観において3試料間で顕著な違いはなく、各トレハロース無添加試料の外観とも大差はなかった。試料の断面においては、トレハロース添加試料はトレハロース無添加試料に比べ大きな気泡が少なく、気泡が全体的に均質に分散し、内相のきめが細かくそろっているように見えた。

トレハロース添加試料の体積では、AT試料 $3577.4 \pm 395.4 \text{ cm}^3$, BT試料 $3488.9 \pm 225.0 \text{ cm}^3$, CT試料 $3404.3 \pm 268.4 \text{ cm}^3$ で、トレハロース無添加試料と同様に、卵殻粉の添加量が増えるにつれ体積がやや減少していたが、試料間に有意差はなかった。保存2日後では、AT試料 $3449.7 \pm 431.0 \text{ cm}^3$, BT試料 $3416.5 \pm 221.4 \text{ cm}^3$, CT試料 $3319.4 \pm 259.3 \text{ cm}^3$ であった。保存3日後では、AT試料 $3405.2 \pm 420.5 \text{ cm}^3$, BT試料 $3368.7 \pm 224.5 \text{ cm}^3$, CT試料 $3290.0 \pm 257.8 \text{ cm}^3$ で、時間の経過とともに徐々に減っていたが、卵殻粉添加量、保存日数で有意差はみられず、体積の変化の度合いにも違いはなかった。

トレハロース添加試料の重量, 比容積において、

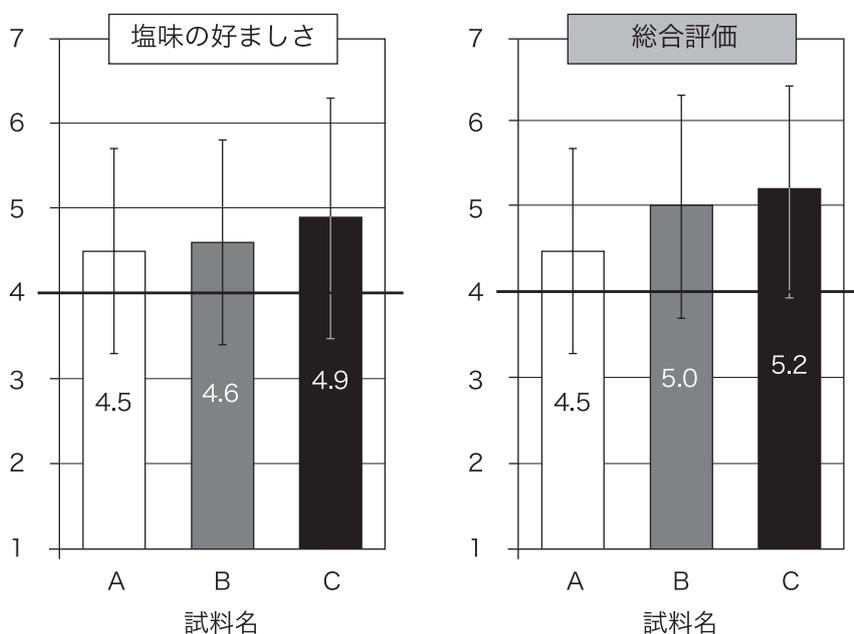


図7 パンの7段階評点法による嗜好型官能評価

A: 卵殻粉無添加試料, B: 卵殻粉1%添加試料, C: 卵殻粉2%添加試料

1) $n = 22$

2) 値は平均 ± 標準偏差

3) 評点: 1: 非常に好ましくない~7: 非常に好ましい

4) 各測定項目間において各試料間に有意差なし

5) 試料はパンの内相部より $4.5 \times 3.5 \times 1.5$ (縦×横×高さ) cm に切り出したものを使用した

各卵殻粉添加量，各保存日数で，トレハロース無添加試料の各値との差異はなかった。いずれのトレハロース添加試料も標準的な山形食パンの基準：比容積 $4 \sim 4.5$ ³³⁾ 以上に膨化していた。このことから，トレハロースの添加は，いずれの卵殻粉添加試料においても外観，体積，重量，比容積にほとんど影響しないと考えられる。

②水分含有率

保存1日後のトレハロース添加試料の水分含有率は，AT試料 $40.70 \pm 0.08\%$ ，BT試料 $40.48 \pm 0.05\%$ ，CT試料 $40.42 \pm 0.06\%$ で，トレハロース無添加試料に比べ各卵殻粉添加量でやや高い値であったが，有意差はなかった。保存2日後では，AT試料 $40.50 \pm 0.42\%$ ，BT試料 $40.36 \pm 0.62\%$ ，CT試料 $40.30 \pm 0.81\%$ ，保存3日後では，AT試料 $40.38 \pm 0.50\%$ ，BT試料 $40.30 \pm 0.22\%$ ，CT試料 $40.19 \pm 0.60\%$ であった。トレハロース無添加で，卵殻粉2%を添加したC試料の保存3日後の水分含有率の値は，1日後の値よりも低い傾向であった ($p < 0.1$) が，トレハロースを添加したCT試料の3日後と1日後の値に差異はなかった。また，C試料の保存3日後の水分含有率の値は，卵殻粉無添加のA試料に比べ低い傾向にあった ($p < 0.1$) が，トレハロースを添加したAT試料1日後の値とCT試料3日後の値に違いはなかった。このことから，卵殻粉2%添加パンを3日間保存する場合は，トレハロースを5%添加することによって水分含有率低下がやや抑えられ，給食施設でのパンの品質保持に効果が期待できると考えられた。

③テクスチャー

保存1日，2日，3日後のトレハロース添加試料のかたさを図2-2に示した。各卵殻粉添加量，各保存日数で違いはなく，トレハロース無添加試料の値とも違いはなかった。

保存1日，2日，3日後のトレハロース添加試料の凝集性を図3-2に示した。保存2日，3日後の卵殻粉無添加試料(AT)の凝集性の値は，保存1日後のそれより有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。卵殻粉添加試料(BT，CT)においては，各卵殻粉添加量で各保存日数の値に違いがなかった。このことから，凝集性においては，トレハロースを添加した卵殻粉1%，2%パンは，保存による影響が小さかったと推察された。

トレハロース添加試料の付着性では，保存1日後のAT試料 $87.68 \pm 48.40 \text{ J/m}^3$ ，BT試料 $99.13 \pm 47.40 \text{ J/m}^3$ ，CT試料 $123.54 \pm 44.92 \text{ J/m}^3$ で，トレハロース無添加試料と同様に卵殻粉の添加量が増えるにつれやや高い値を示したが，有意差はなかった。保存2日後では，AT試料 $110.73 \pm 53.51 \text{ J/m}^3$ ，BT試料 $103.79 \pm 51.67 \text{ J/m}^3$ ，CT試料 $111.89 \pm 44.72 \text{ J/m}^3$ で，保存3日後では，AT試料 $124.56 \pm 32.43 \text{ J/m}^3$ ，BT試料 $115.18 \pm 36.20 \text{ J/m}^3$ ，CT試料 $123.42 \pm 44.89 \text{ J/m}^3$ であった。いずれの試料においても，卵殻粉添加量，保存日数で値の有意差はなく，トレハロース添加の有無による顕著な違いはみられなかった。

④組織観察

パンの組織構造(40倍)を図4-2に示した。トレハロース添加試料の組織構造は，トレハロース無添加試料に比べ，気泡(ac)がやや小さく，円形に近い形状で，グルテンストランドがやや厚く見えた。各試料の気泡の長径を測定した結果，AT試料が $1.25 \pm 0.62 \text{ mm}$ ，BT試料が $1.21 \pm 0.50 \text{ mm}$ ，CT試料が $1.15 \pm 0.33 \text{ mm}$ であった。いずれのトレハロース添加試料の長径の値は，トレハロース無添加試料のそれと違いはなかった。気泡の長短軸比では，AT試料が 1.44 ± 0.45 で最も大きく，BT試料は 1.40 ± 0.44 ，C試料は 1.39 ± 0.41 で，トレハロース無添加試料に比べばらつきがやや小さかったが，有意差はなかった。いずれのトレハロース添加試料も気泡の長短軸比は1.0以上で，山型タイプの食パンの内相の気泡として良好であり³⁵⁾，また，均一な内相の気泡分散は高齢者施設・病院で希望が多かったロールパンにも適性があると推察された。

AT，CT試料のグルテンストランドと気泡壁面の組織構造(40倍，1000倍)を図5-AT1，AT2，CT1，CT2に示した。前述のA試料の切断面(A1)はシャープであったが，AT試料(AT1)では，切断面がシャープでなく，凹凸が部分的に見られた。CT試料(CT1)においても同様の構造が見られた。このことから，物理的測定結果に差異は認められなかったが，トレハロースの添加によりグルテンストランドが無添加よりしなやかでやわらかいことが推察された。AT試料の気泡壁面(AT2)においては，A試料(A2)よりグルテン膜が均一で滑らかに伸展し，シート状に伸びたグルテン膜がでんぷん粒を包みこんで，でんぷん粒の露出が少なかった。同様に，C試料の

気泡壁面 (C2) は、でんぷん粒を覆っているグルテン膜が破け、でんぷん粒が多く露出していたが、CT 試料 (CT2) では、部分的に伸展したグルテン膜がでんぷん粒を覆っている様子が観察でき、でんぷん粒の露出が抑えられていた。

トレハロースは水和性に優れ、強い水構造形成能によって高い細胞保護機構を有し、生体膜の安定化に寄与する²⁴⁾とされる。また、樋口らは米粉食パンにおいて、トレハロースは水和力が大きく粘度が大きくなるので、でんぷんの分子間に存在し可塑性を示すような働きをする³⁷⁾ことを報告している。このことから、CT 試料は C 試料に比べグルテン膜の破損が少なく、でんぷん粒の露出が抑えられたことにより、保存による凝集性の低下が小さくなった可能性が考えられる。

また、気泡壁面において、トレハロース無添加試料と同様に脂肪と思われる球体 (f) が確認できた。トレハロース無添加試料 (A2, C2) とトレハロース添加試料 (AT2, CT2) を比較すると、トレハロース添加試料のほうが脂肪と思われる球体の露出が少なかった。このことから、トレハロースの添加は伸展性のあるグルテンストランドの作成に効果的であると考えられた。

4. 考察

高齢者施設・病院 (29 施設) の栄養士・管理栄養士に対して、栄養強化パンの希望と現状についてのアンケート調査を行い、給食に求められるカルシウム入りパンの条件を把握した。その結果、給食施設に栄養強化パンの提供を希望する栄養士が多く、そのカルシウム添加を希望する量は 200 mg で、パンの形態は食パンあるいはロールパンが多かった。その後、パンに卵殻粉を小麦粉の 0%, 1%, 2% 添加して調製した製品の品質を検討した。喫食量 80 g で、卵殻粉 1% 添加パンはカルシウム量 177 mg, 2% 添加パンは 339 mg を摂取することができる。この摂取量は、卵殻粉 1% 添加パンでは、65 歳以上女性の推奨量の 1/4 以上、卵殻粉 2% 添加パンでは推奨量の 1/2 以上にあたる。卵殻粉添加パンはカルシウム摂取を補う主食として十分な製品であると考えられる。

保存 1 日後試料 0%, 1%, 2% 添加パンの外観において、顕著な違いはなく、いずれの試料も標準的な山形食パンの基準：比容積 4 ~ 4.5³³⁾ 以上に膨化

していた。体積、重量、比容積において違いはみられなかった。水分含有率では、卵殻粉 2% 添加試料で保存 3 日後の値が保存 1 日目の値に比べて低い傾向にあった ($p < 0.1$)。テクスチャー測定では、かたさ、付着性において有意差はなかった。凝集性においては、いずれの卵殻粉添加量においても、保存 3 日後の凝集性の値は、保存 1 日後のそれより有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。大羽らは、大豆素材添加食パンにおいて、凝集性が低くなるとクラムを噛み切る力が小さくてよくなることを報告している³⁴⁾ことから、卵殻粉添加パンはパンの提供が調製後 3 日後になっても高齢者施設での提供に適していると考えられる。内相の組織観察では、いずれの試料も焼成により引き伸ばされた気泡が大きく形成され、グルテンネットワークが細長く連続して発達していた。製パン試験において卵殻粉添加パンは無添加パンに劣らない品質であることが示唆された。

嗜好型官能評価では、塩味の好ましさにおいて、いずれの卵殻粉添加試料も「どちらでもない」の 4 点以上の評価であった。パンの調製に用いた塩の分量は、標準的なバターロール配合の 1/2 であったが、卵殻粉を添加することで、卵殻粉に含まれるカルシウムやマグネシウムといったミネラルが味の評価に関与する可能性があること³⁶⁾が推察された。総合評価においても 4 点以上の評価を得、製品として好まれる可能性がある。今後、高齢者を対象とした嗜好型官能評価を施行する予定である。

高齢者施設・病院においては、焼成後 1 ~ 3 日間保存したパンが喫食される可能性が高いため、パンがやわらかく食べやすいことが望まれる。そこで、老化抑制作用が高い¹⁵⁻¹⁹⁾トレハロースを 5% パンに添加し、その影響を検討した。保存 1 日, 2 日, 3 日後試料の体積、重量、比容積を測定したところ、卵殻粉添加量、トレハロース添加の有無において各測定試料間に有意差はなかった。水分含有率では、トレハロース無添加で、卵殻粉 2% 添加試料の保存 3 日後の値が、1 日後の値よりも低い傾向であった ($p < 0.1$) が、トレハロースを添加した同試料の 3 日後と 1 日後の値に差異はなかった。そのため、卵殻粉 2% 添加パンを 3 日間保存する場合は、トレハロースを 5% 添加することによって水分含有率低下がやや抑えられ、給食施設でのパンの品質保持に効果が期待できると考えられた。テクス

チャーにおいては、かたさ、付着性で卵殻粉添加量、トレハロース添加の有無において各測定試料間に有意差はなかった。凝集性では、卵殻粉1%、2%添加試料において各保存日数で凝集性の値に違いがなかったため、保存による影響は小さかったと推察された。内相の気泡壁面の組織を観察したところ、卵殻粉2%添加試料において、トレハロースを添加すると無添加試料に比べグルテン膜の破損が少なくでんぷん粒の露出が抑えられ、脂肪と思われる球体の気泡壁表面への分布が少なかった。トレハロースの水和力^{38,39)}により、伸展性のあるグルテンストランドが作成されたと考えられた。

以上から、卵殻粉添加パンは、低塩し、卵殻粉を2%まで添加しても、無添加パンと品質を大きく変えることなくカルシウム摂取量を増やす効果が期待できると考えられた。本研究では、製パン時の条件を一定にするためホームベーカリーを用いて調製した。そのため、パンの形状が山形食パンとなっていた。一般的に山形食パンは、クラムの気泡が粗く、

内相膜は厚めで、わずかにドライな食感を有し、クラストは厚くなる^{28,33,35)}。いっぽう、実際の製造の現場では、パンの形状は角食パンになることが予想される。角食パンはパン型に蓋をして焼き上げるので、山形食パンよりもクラストは薄くやわらかく、内相の気泡膜は薄く、しっとりソフトな食感となる^{40,41)}。このことから、高齢者施設・病院においても、より喫食しやすく、カルシウム摂取量の向上に寄与できる製品が提供できると考える。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、卵殻粉をご提供くださいましたキューピー株式会社研究開発本部上席研究員設楽弘之様、トレハロースをご提供くださいました株式会社林原糖質事業本部吉田生明様に深く御礼申し上げます。また、体積計を快く使用させていただいた東京家政大学家政学部栄養学科土屋京子教授に深く感謝をいたします。

参考文献

1. 相良多喜子, 由田克士, 西条旨子, 森河裕子, 田畑正司, *et al.*: 高齢者のカルシウム摂取状況. 北陸公衆衛生学会誌, **23**(2): 80-83, 1997.
2. 厚生労働省: 令和元年「国民健康・栄養調査」結果の概要 <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000687163.pdf> 閲覧日 2023/4/23
3. 厚生労働省: 「日本人の食事摂取基準(2020年版)」策定検討会報告書, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08517.html 閲覧日 2023/4/18
4. 総務省統計局: e-Stat 統計で見る日本, 統計表<品目分類>1世帯当たり年間の品目別支出金額, 購入数量及び平均価格, 世帯数分布~食料「穀物」 <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000032220968&fileKind=4> 閲覧日 2023/4/20
5. 峯木眞知子: 鶏卵およびその加工品における調理特性および嗜好性の解析. 日本家政学会誌, **72**(6): 323-332, 2021.
6. 青山忍: 卵殻カルシウムの食品への利用. 食卵の科学と機能 復刻版. 渡邊乾二編著. 東京, アイ・ケイコーポレーション, 172-175, 2016.
7. 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1編 製品の特長と栄養・医学的機能. 月刊フードケミカル, **15**(7): 67-71, 1999.
8. 笹川伸之: カルホープの加工食品への応用. 月刊フードケミカル, **32**(1): 57-59, 2016.
9. 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, **20**(4): 40-43, 2004.
10. 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2編 食品への利用法. 月刊フードケミカル, **15**(8): 101-105, 1999.
11. 島村綾, 峯木眞知子: 卵殻粉を添加したパウンドケーキの調製. 東京家政大学研究紀要, **57**(2): 49-54, 2017.
12. 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, **68**(1): 13-21, 2017.
13. 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, 88, 2016.
14. 森木洋一: 栄養素カルシウムの現状とパンへの添加について. 製パン技術資料, **753**: 1-20, 2011.
15. 福田恵温: トレハロースの開発とその応用. 吉備国際大学研究紀要, **29**: 41-49, 2019.
16. 片桐直彦: 製菓分野におけるトレハロースの利用技術と開発. ジャパンフードサイエンス, **37**(11): 28-25, 1998.
17. 井上好文: 製パンにおけるトレハロースの活用. フードケミカル, **15**(10): 38-42, 1999.

18. Kim, Y.J., Lee, J.H., Chung, K.C., Lee, S.K. : Effects of Trehalose on Quality Characteristics of White Pan Bread, *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, **43**(5): 712-719, 2014.
19. Bae, D.S., Lee, J.S.: A study on the Quality Characteristics of Rice Bread Containing Trehalose, *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, **35**(2): 568-577, 2018.
20. キューピータマゴ (株) : キューピータマゴ総合カタログ. 東京, キューピータマゴ (株), 18, 2022.
21. 吉野精一 : 基礎からわかる製パン技術. 東京, 柴田書店, 108-111, 2011.
22. 竹谷光司 : プロの理論がよくわかる一からのパン作り. 東京, 旭屋出版, 14-23, 2018.
23. (株) 林原 : TREHA BOOK ベーカリー編 トレハでつくる新しいパン. 東京, (株) 林原, 7-9, 2019.
24. 安藤隆弘, 安藤正康, 藤田康弘, 井上好文 : トレハロースの製パンへの有効利用について. 製パン技術資料, **481**: 3, 1999.
25. 早川幸男 : 第4章 糖類. 製パン材料の科学. 田中康夫・松本博編. 東京, 光琳, 130-133, 1992.
26. 山田密穂, 小泉昌子, 赤石記子, 峯木真知子 : 酵母の違いがパンの品質に与える影響. 日本家政学会誌, **72**(12): 796-807, 2021.
27. 文部科学省 : 食品成分データベース, <https://fooddb.mext.go.jp/index.pl> 閲覧日 2023/4/5
28. 竹谷光司 : 新しい製パン基礎知識 再改訂版. 東京, パンニュース社, 142-143, 2009.
29. 峯木真知子, 田中隆介, 田中友香里, 西念幸江, 五百藏良, *et al.*: 泡あり・泡なし清酒酵母の違いが食パンの構造およびおいしさに与える影響. 日本官能評価学会誌, **15** (2) : 98-106, 2011.
30. 高橋真美, 森高初恵 : 紅麴色素がパンの組織と色調に及ぼす影響. 日本食品科学工学会誌, **54**(2): 67-74, 2007.
31. 高橋真美, 森高初恵 : パンの組織と色調に及ぼす紅麴の影響. 日本調理科学会誌, **42**(4): 225-237, 2009.
32. 庄司善哉, 峯木真知子 : 油脂の性状の違いによるパンの組織構造. 秋田大学教育文化学部研究紀要自然科学, **58**: 1-8, 2003.
33. 内田迪夫 : 第1章 パンの種類と製法. 製パンプロセスの科学. 田中康夫, 松本博. 東京, 光琳, 4-5, 1991.
34. 大羽和子, 中野淳子 : 大豆素材添加食パンの製パン性, 物性および食味特性. 日本家政学会誌, **47**(1): 21-27, 1996.
35. 山本剛史 : 製パンの基本的確認と試作実験 PART2 より特徴のある製品作りを目指す18 ハードトースト(1). 製菓製パン. 2014.11, 231-238, 2014.
36. 伴みずほ, 山科舞子, 嶋崎美香, 松山由佳, 宮本有香, *et al.*: ミネラル含有量が異なる塩の官能評価. 京都短期大学紀要, **34**(1): 21-28, 2006.
37. 樋口才二, 小山清人 : グァーガムとトレハロースを含む米粉食パンの製造方法とテクスチャー. 日本食生活学会誌, **21**(4): 298-306, 2011.
38. 櫻井実, 井上義夫 : 糖の水和とトレハロースの生理機能. 生物物理, **37**(1): 326-330, 1997.
39. 中江利昭 : パン化学ノート 改訂版. 東京, パンニュース社, 174-188, 2004.
40. 吉野精一 : パン「こつ」の科学. 東京, 柴田書店, 198-201, 1993.
41. たまご社 : パンの事典. 東京, 旭屋出版, 159-161, 2007.