冷凍保存したグルテン添加米粉パンの自然解凍時の性状

佐藤真実*, 谷 洋子

仁愛大学人間生活学部健康栄養学科

Properties of Frozen and Thawed Rice Bread Made Using Wheat Gluten and Rice Flour

Mami Sato* and Hiroko Tani

Jin-ai University, 3-1-1 Otemachi, Echizen, Fukui 915-8586

We made rice bread using a mixture of wheat gluten and rice flour from koshihikari made in Fukui Prefecture, and compared the bread-making quality of samples prepared using two different mills, a jet mill and a stamp mill. We clarified the effect of freezing and thawing conditions on several characteristics of rice bread in order to improve the quality of retrogradation. The results are as follows. Frozen-thawed rice bread exhibited a large change in color value. Frozen-thawed rice bread also exhibited higher bread hardness and lower bread cohesiveness than bread just after baking. The degree of gelatinization was the highest for frozen-thawed rice bread with a water content of 90% and prepared using the stamp mill. Water content and water activity did not change much just after baking and during freezing. Rice bread prepared using the jet mill exhibited higher specific loaf volume and bread hardness than that prepared using the stamp mill. The frozen-thawed rice bread prepared using the jet mill was favorably evaluated in comparison to rice bread just after baking. Bread prepared using the stamp mill was favorably evaluated because it maintained rice cake-like characteristics during freezing. Freezing and thawing freshly prepared rice bread is one method for improving the quality of retrogradation.

(Received Oct. 13, 2010 ; Accepted Apr. 6, 2011)

Keywords : frozen, thawed, rice bread, retrogradation

キーワード : 冷凍保存, 自然解凍, 米粉パン, 老化

粒食としての米の消費量には限界があり, 国では「米粒を米粉としてパン, 麺類等に活用する取り組みを本格化する」と公表している¹⁾. 地元で生産した産物を地元で消費する「地産地消」の動きは各地で定着し, 学校給食に米粉を活用する取り組みも報告されている. これらの米粉の利用は, 米の利用拡大が期待でき, 地産地消さらには自給率の向上にも寄与できると考えられる. 福井県はコシヒカリの発祥の地であり, 農作物全体の販売額に占める割合として約70%をコシヒカリが占める²⁾. 一方で学校給食における導入頻度として米飯は週3.7回³⁾と全国的にも高いが, 米粉パンは月1回程度⁴⁾とあまり高くない現状である.

これら米粉パンの利用拡大に向けての問題点としては, 米粉の価格が高いこと⁵⁾, 米粉生産・流通システムが整備されていないこと, 米粉パン製造後の老化(硬化)の進行が早いことなどが挙げられている⁶⁾. 米粉の価格については, 多収品種⁷⁾を使うことや低コスト多収栽培技術の開発が急がれており⁶⁾, 生産・流通システムの整備としては米粉微粉碎技術の開発⁸⁾などがすすめられている.

老化防止法については, パン品質改良剤の添加などが試みられているが報告はまだ少ない. 米粉製造には様々な製粉方法(ロール製粉, 胴つき製粉, 気流製粉, 衝撃製粉, せん断製粉など)が導入され, 製粉方法の違いによって米粉の粒度や澱粉損傷度などは異なり, 米粉の性状とそれらに起因する吸水性が加工性に影響することが知られている^{9)~12)}. 製粉技術は澱粉の糊化や老化に影響を与えると推測される. すでに米飯は-10~-20℃の冷凍保存をすることで炊飯直後の水分含量や糊化の状態をかなり維持できることが報告されている¹³⁾¹⁴⁾. 米粉パンを焼成後冷凍保存し, 食べる直前の時間に合わせて自然解凍させることが可能であれば, 便利であり, 学校給食や家庭における普及についても利点があると考えられる.

本研究では, 米粉パンの利用拡大に向けた製造後の老化防止法である冷凍保存の有効性について検討することを目的とし, 福井県産コシヒカリの米粉を用いてグルテン添加米粉パンを調製し, 焼成直後と焼成直後に冷凍保存, 自然解凍した場合のパンの品質や食味の変化について明らかにした. さらに製粉方法の異なる米粉の吸水性を考慮し, 可変させた加水率が米粉パンの糊化・老化へ与える影響につ

〒915-8586 福井県越前市大手町3-1-1

* 連絡先 (Corresponding author), satomami@jindai.ac.jp

いて明らかにした。

実 験 方 法

1. 試 料

米は平成 21 年に収穫された福井県産コシヒカリの市販精白米を用いた。製粉は、製粉業者に委託製造した。気流製粉の米粉は湿式気流製粉により調製した（(株)新潟製粉）。胴つき製粉の米粉はスタンプミルを使った方法で調製した（(株)高橋製粉所）。

2. パンの調製および配合割合

米粉パンの配合割合は表 1 の通りとした。今回の条件において 90% より加水率を増やすことは操作上困難であったため、水道水（20℃）は米粉とグルテンを合わせた粉重量あたりの配合比 70%，80%，90% を加えた。ホームベーカリー（サンヨー SPM-KP1）の米粉・パン生地コースで混捏後、生地を取り出した。捏ね上げ温度はいずれの加水率においても $27.8 \pm 2.8^\circ\text{C}$ であり、捏ね上げ重量は加水率 70% が $503.4 \pm 2.2\text{ g}$ 、加水率 80% が $535.7 \pm 2.3\text{ g}$ 、加水率 90% が $554.4 \pm 2.3\text{ g}$ であった。1 個 50 g の丸型に成型し、天板に 9 個を並べ、温度 35°C 、相対湿度 85% で 35 分間発酵させた。その後、オープン（リンナイ RBR-S14C）で 200°C 、11 分間焼成を行った。

3. 保存方法

焼成したパンは室温で 1 時間放冷し、測定に使用した（0 日：焼成直後）。保存方法と期間は、一般家庭で実施しやすい方法と期間を事前調査し決定した。すなわち米粉パンはラップに包んでからポリエチレン製バッグに入れて密封し、 -20°C の冷凍庫（福島工業 HCFC-22）で 28 日間保存した。測定当日に冷凍庫から出し、内部が $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に回復するまで室温で 4 時間程度自然解凍し、測定に使用した（28 日：冷凍保存）。

4. 測定項目

(1) 米粉特性

米粉特性は、以下の 5 項目の測定により評価した。色相は、色差計（日本電色工業 NR-3000）により L^* 値（明度）、 a^* 値（ a^* は赤方向、 $-a^*$ は緑方向）、 b^* 値（ b^* は黄方向、 $-b^*$ は青方向）を測定した。米粉の損傷澱粉含有率は、酸溶解法¹⁵⁾によって測定した。平均粒径は、レーザー回折式粒度分布測定装置（島津製作所 SALD-2100）を使用し湿式法により測定した。吸水率は、貝沼らの方法¹⁶⁾に従った。すなわち、粉に対する加水率が 120% になるように加水した米粉をそれぞれ均一になるまで攪拌し、30 分間放置後、3500 rpm で 30 分間遠心分離した。分離した水の重量を測定し、次の式により吸水率を求めた。

$$\text{吸水率}(\%) = \{(\text{加えた水の量}(\text{g}) - \text{遠心分離した水の量}(\text{g})) / \text{粉の重量}(\text{g})\} \times 100.$$

水分含量は、米粉 5 g を水分計（ザルトリウス M30）に

表 1 米粉パンの配合割合

原料	配合比 (パーセント%)
米粉*	80.0
グルテン（グリコ社製 A-グル）	20.0
砂糖（三井製糖社製白砂糖）	6.9
脱脂粉乳（森永乳業社製スキムミルク）	3.7
塩（財団法人塩事業センター製精製塩）	1.6
油脂（森永乳業社製無塩バター）	6.9
ドライイースト（日清フーズ社製スーパーカメリア）	2.6
水**	70, 80, 90

* 米粉は気流製粉（(株)新潟製粉）、胴つき製粉（(株)高橋製粉所）の 2 種類を使用した。

** 水は水道水を使用し、粉重量あたりの 70～90% で調製を行った。

よって測定した。

(2) 製パン特性

焼成後の製パン特性は、以下の 8 項目の測定により評価した。比容積は、パンの重量を測定するとともに、菜種法で体積を測定し、体積を重量で除して算出した。膨らみ比率は、パンの高さを幅で除して算出した。色相はパンクラム部分中央の表面色を色差計によって測定した。パン硬さと凝集性は、レオナー（レオテック社 NRM-2002J）でしゃく試験を行い測定した。すなわちパンクラム部分中央に直径 15 mm の円盤型プランジャーを置き、60 mm/min の圧縮速度でパンの厚さに対して 30% 圧縮を実施した。その応力をパン表面上部の硬さとし、2 回の 30% 圧縮仕事量の変化を凝集性とした。水分含量は、パン中心付近を縦方向に 5 g 前後となるように薄く切り、水分計によって測定した。水分活性は、パン中心付近を縦方向に 5 g 前後となるように薄く切り、水分活性測定器（NOVASINA 社 Labswift-aw）により測定した。すなわち試料を恒温密封容器に入れ、湿度を湿度センサーでモニタし、水分活性値を測定した。測定値の調整は硝酸マグネシウムと塩化バリウムの飽和溶液の相対湿度 52.9% と 90.1% を用いた。糊化度は、貝沼らの β アミラーゼ-ブルラナーゼ法（BAP 法）¹⁷⁾により測定した。米粉パン 10 g を 3 倍量の無水エタノールで 2 回、アセトンで 1 回脱水後、温度 $22.0 \pm 4.8^\circ\text{C}$ のデシケータ内で 3 日間乾燥し、脱水粉末試料とした。酵素は、 β アミラーゼ（長瀬産業製、粗酵素 5 IU/mg）およびブルラナーゼ（林原生物化学研究所製、粗酵素 2 IU/mg）を使用した。

冷凍保存後の製パン特性は、前述の 8 項目の測定と色差を追加し 9 項目で評価した。色差は、 L^* 値、 a^* 値、 b^* 値より ΔE^* 値を求め、NBS 単位で 0.5～1.5 を「わずかに感じられる」、1.5～3.0 を「かなり感じられる」、3.0～6.0 を「目立って感じられる」、6.0～12 「大きい」と評価した¹⁸⁾。

(3) 分析型官能評価と嗜好型官能評価

官能評価は、学生および教員 20 名をパネラーとし、気流製粉を使用した加水率 80%（以下、気流（80%）と略す）、保存日数 0 日の焼成直後パンを基本とした。各項目について 7 段階尺度とし、製粉方法の差については二元配置分散分析より有意差検定を行った。焼成直後と冷凍保存の変化については t 検定を行った。

分析型官能評価は、肌の滑らかさ、皮のパリパリ感、パンのふんわり感、パンのしっとり感、パンのきめの細かさ、パンのもち感の 6 項目について、嗜好型官能評価は、皮の色、皮の硬さ、パンの食感、パンの味、総合評価の 5 項目について実施した。

実験結果および考察

1. 米粉特性

製粉方法が異なるコシヒカリの米粉特性を表 2 に示す。L* 値、a* 値は有意差がみとめられなかったが、b* 値は気流製粉が 4.7 と危険率 1% で有意に高い値を示し、気流製粉の米粉はやや黄味度が高かった。損傷澱粉含有率は、気流製粉が 16.9% と危険率 1% で有意に高い値を示した。平均粒径は、気流製粉が 44.0 μm、胴つき製粉が 185.9 μm であった。損傷澱粉含有率、平均粒径の範囲について、気流製粉は 1.0~13.4%、33.0~57.1 μm¹⁹⁾、6.3~13.6%、59.0~80.8 μm²⁰⁾ の範囲であり、胴つき製粉は 7.4%、106.6 μm であると報告されている²¹⁾。これらと比較すると今回使用した粉は損傷澱粉含有率が高く、とくに胴つき製粉は平均粒径が高い米粉だった。

吸水率は、胴つき製粉が 100.1% と危険率 1% で有意に

高かった。水分含量は気流製粉が 13.7% と危険率 1% で有意に高かった。水分含量の範囲は、気流製粉が 9.0~12.3%¹⁹⁾、7.7~14.5%²⁰⁾ の範囲であり、胴つき製粉が 9.7%²¹⁾ であると報告されている。これらと比較すると今回使用した米粉は水分含量がやや高かった。

2. 製パン特性

各米粉の加水率を可変させたパンの内相を図 1 に示す。加水率が増えると全体的に大きくなるが横に平べったくなるのが観察された。また加水率が増えると気泡が大きくなる傾向がみられた。とくに胴つき製粉のパンは、底部のみ気泡が潰れているのも観察された。これは胴つき製粉の吸水性が高いことが一因と考えられた。

各米粉の加水率を可変させた製パン特性を表 3 に示す。いずれの製粉のパンも加水率が高くなると比容積、水分含量が高くなり、膨らみ比率、L* 値、パン硬さは低くなった。とくに胴つき製粉のパンは加水率が高くなると a* 値、凝集性が高くなった。與座らの報告では、加水率 80% のワンローフ型で焼いたパンの場合、比容積の平均値は 2.84 mL/g、硬さの範囲は気流製粉が 1.6~5.3 kPa であった²⁰⁾。高橋らの報告では、気流製粉の硬さの範囲が 6.5~37.5 gf/cm² であった²²⁾。本研究の製パン条件と異なるが、今回使用した気流（80%）は比容積が 2.89 mL/g、硬さが 367.4 g（2.0 kPa、20.4 gf/cm²）とほぼ同じ値の範囲であった。與座らは比容積が損傷澱粉含有率、硬さと負の相関があることを明らかにしている²⁰⁾。今回使用した気流製粉は損傷澱粉含有率がやや高いが、比容積、硬さの結果がほぼ一致した。気流製粉と比較して胴つき製粉は、L* 値、水分含量、糊化度

表 2 米粉特性

製粉方法	色相			損傷澱粉含有率 (%)	平均粒径 (μm)	吸水率 ¹⁾ (%)	水分含量 (%)
	L* 値	a* 値	b* 値				
気流	113.3±0.3	-0.4±0.0	4.7±0.2	16.9±0.5	44.0	74.6±1.4	13.7±0.3
胴つき	111.9±1.0	-0.3±0.0	3.5±0.5	12.6±0.3	185.9	100.1±0.2	13.3±0.2

平均±標準偏差 (n=5)

**p<0.01

¹⁾ 吸水率 = {(加えた水の量 (g) - 遠心分離した水の量 (g) / 無水物米粉の重量 (g)) × 100

表 3 加水率を可変

製粉方法	加水率 (%)	比容積 (mL/g)	膨らみ比率	色相		
				L*	a*	b*
気流	70	2.33±0.23	0.85±0.08	64.8±7.5	15.9±2.7	29.7±2.8
	80	2.89±0.31	0.68±0.10	54.8±9.0	17.8±3.1	31.2±3.9
	90	2.94±0.13	0.53±0.05	51.8±6.6	18.4±4.0	29.8±2.3
胴つき	70	1.61±0.27	0.77±0.04	66.4±9.7	13.4±4.0	29.6±2.2
	80	2.37±0.27	0.74±0.04	59.1±8.9	16.4±4.0	31.5±3.0
	90	2.72±0.30	0.67±0.04	54.6±9.8	15.8±4.2	30.2±4.3

平均±標準偏差 (比容積・膨らみ比率・色相 : n=27, 硬さ・凝集性 : n=18, 水分・水分活性 : n=9, 糊化度 : n=10)

が高い傾向であった。

本試験では調製時の加水率を 90% まで増加すると、加水率の増加とともにパンの気泡が大きくなり、比容積が向上した。水は小麦粉たんぱく質の吸水に用いられてグルテン形成を促し、それが加熱時の起泡を支え、その成長を促す役割を果たす²³⁾。十分な加水率は、生地内に適度な進展性をもつグルテン膜と澱粉膜の形成を促進するため水蒸気を逃がさず、比容積を向上させる。また、気体が熱で膨張する際には、熱の伝導をよくし、沸点の到達が早くなる²⁴⁾。比容積の向上や L* 値 (明度) の低下は加水率の増加が影響したと推察する。

江川は吸水性が高いとパンのクラム部分が団子状となって潰れた状態となるため、微細で吸水性の低い米粉がパンに適すると報告している²⁵⁾。今回使用した胴つき製粉は吸水性が高かったが、パン全体が団子状に潰れず、底部のみ気泡が潰れているのが観察された。胴つき製粉の平均粒径は 185.9 μm と高かったが、粒度分布は広いという報告²⁶⁾もあり、粒度分布の状態がパンの出来上がりに影響した可

能性がある。

3. 冷凍保存後自然解凍した米粉パンの品質の変化

冷凍保存後自然解凍した米粉パンの品質変化を表 4 に示す。なお、比容積、膨らみ比率、水分含量、水分活性は、冷凍保存による変化に有意差がみとめられないため結果を省略した。

色相の変化について、冷凍保存による影響としては、気流 (70%) が a* 値について 5% 危険率で有意に減少したのみで、その他では有意な変化がみとめられなかった。しかし色差は、いずれの製粉方法においても「大きい」となった。加水率の影響としては、いずれの製粉方法のパンも冷凍保存によって L* 値, a* 値が 70% と 80%, 90% 間に危険率 1% で有意差が認められた。加水率が増えるほど解凍時のパン皮膚の赤褐色が強くなった。

冷凍米飯粒では、解凍中、粒中に存在するグルコースやフルクトースなどの単糖と遊離アミノ酸とのアミノカルボニル反応による黄変がみとめられる²⁷⁾。解凍中は、水分含量の多いものほど組織の損傷を受けやすく、空気による酸

図 1 加水率を可変させたパンの形状
K：気流製粉 D：胴つき製粉 70～90：加水率 (%)

させた製パン特性

パン硬さ (g)	凝集性	水分含量 (%)	水分活性	糊化度 (%)
547.0 $\pm$ 148.9	1.37 $\pm$ 0.14	36.8 $\pm$ 0.8	0.87 $\pm$ 0.03	70.3 $\pm$ 4.8
367.4 $\pm$ 29.1	1.36 $\pm$ 0.11	37.7 $\pm$ 1.2	0.90 $\pm$ 0.02	70.8 $\pm$ 3.1
328.9 $\pm$ 40.7	1.37 $\pm$ 0.16	38.9 $\pm$ 1.0	0.92 $\pm$ 0.11	70.9 $\pm$ 4.7
797.2 $\pm$ 128.8	1.00 $\pm$ 0.19	37.4 $\pm$ 0.3	0.89 $\pm$ 0.01	77.9 $\pm$ 7.9
319.6 $\pm$ 43.2	1.51 $\pm$ 0.23	40.7 $\pm$ 0.7	0.90 $\pm$ 0.02	83.4 $\pm$ 4.6
208.4 $\pm$ 35.9	1.60 $\pm$ 0.11	41.3 $\pm$ 1.4	0.91 $\pm$ 0.03	84.9 $\pm$ 4.1

** $p < 0.01$

表 4 冷凍保存後自然解凍した

製粉方法	加水率 (%)	色相		
		L*	a*	b*
気流	70	62.5±6.1 (96.5)	13.3±0.8 (83.6)*	29.2±1.1 (98.3)
	80	53.3±3.5 (97.3)	20.0±1.3 (112.4)	31.6±3.4 (99.7)
	90	51.7±5.3 (99.8)	18.8±3.7 (102.2)	31.6±1.9 (106.0)
胴つき	70	65.2±7.9 (98.1)	11.1±2.5 (82.8)	29.6±1.2 (100.0)
	80	56.3±3.6 (95.2)	16.0±3.2 (97.6)	33.2±1.6 (105.4)
	90	50.8±2.4 (93.1)	20.1±2.1 (127.2)	31.4±1.0 (104.0)

平均±標準偏差 (色相: $n=27$, 硬さ・凝集性: $n=18$, 糊化度: $n=10$)

() 内の数字は, 焼成直後の値を 100% にした場合の変化割合.

() に付いている *や ** は, 焼成直後と自然解凍後の間の比較についてである.

化も起こりやすい²⁸⁾. 米粉パンの調製時の加水率とパンの水分含量は正の相関を示し, 加水率を増やした冷凍パンは, 解凍時に老化の進行や酸化分解が早く, 冷凍保存, 自然解凍時に糖やアミノ化合物などの分解が進行し, アミノカルボニル反応の影響を強く受けると推察するが, 今後の検討課題である.

パン硬さは, 気流 (70%), 胴つき (80%) が 5% の危険率, 気流 (80%), 胴つき (90%) が 1% の危険率で焼成直後より有意に硬くなった. 凝集性は, 焼成直後よりやや低値を示し, とくに気流 (70%), 気流 (80%), 胴つき (80%) は 5% の危険率で, 胴つき (90%) は 1% の危険率で有意に低値を示した. 糊化度は, 気流 (70%) が 1% の危険率で有意に低値を示し, 胴つき (90%) が 5% の危険率で有意に高値を示した.

冷凍保存した米粉パンでは, 水分含量, 水分活性の変化は少なかった. 水分含量が多いパンは水分活性が高いという報告²⁹⁾もあるが, 本試料では水分含量に関わらず水分活性は一定であった.

4. 官能検査

焼成直後と冷凍保存した米粉パンの食味の変化を明らかにするため分析型官能検査を行った. 結果を図 2 に示す.

製粉法による特徴としては, 皮膚の滑らかさ, パンのきめの細かさに 5% の危険率, パンのしっとり感, パンのもち感に 1% の危険率で有意差がみとめられた. すなわち, 気流製粉は皮膚が滑らかで, 胴つき製粉は, きめが細かく, しっとり感, もちもち感の強いパンであった. 冷凍保存の影響としては, 気流 (90%) は皮膚の滑らかさ, パリパリ感, ふんわり感, きめの細かさが 1% の危険率で, 気流 (80%) はきめの細かさが 5% の危険率で有意に向上した. また胴つき (90%) は皮膚の滑らかさ, 胴つき (80%) は皮のパリパリ感が 5% の危険率で有意に低下した.

米粉パンの嗜好型官能検査結果を図 3 に示す. 製粉法の違いによる有意差はみとめられなかった. 冷凍保存の影響としては, 気流 (90%) は皮の色, 気流 (80%) は皮の硬さが 1% の危険率で, さらに気流 (80%) はパンの食感, パンの味, 総合評価が 5% の危険率で有意に向上した. また, 胴つき (70%), 胴つき (80%), 胴つき (90%) はパンの食感, パンの味が 1% の危険率で, 胴つき (70%) は総合評価が 5% の危険率で有意に低下した.

米粉パンの製パン特性値と官能検査項目間との相関を表 5 に示す. 総合評価は, パンの味 ($r=0.95$), ふんわり感 ($r=0.87$), 皮の硬さ ($r=0.85$), 水分含量 ($r=0.85$) の間で高い相関であった. パンの味は, 皮の硬さ ($r=0.85$), ふんわり感 ($r=0.83$), 水分含量 ($r=0.76$), a^* 値 ($r=0.63$) の間で高い相関であった. 総合評価と老化の指標である糊化度との相関はやや低く 0.60 であった. 糊化度は, パンのしっとり感 ($r=0.69$), もち感 ($r=0.67$), 水分含量 ($r=0.66$) との相関が高かった.

本研究では, 総合評価が高いパンは, パンの味がよく, 皮が硬く, ふんわりして, 水分含量が高いことを明らかにした. 水分含量は加水率と正の相関を示し, さらに焼成時の水分含量が高い米粉パンは, 冷凍保存による糊化度の低下が抑制された. 糊化度はパンのしっとり感, もち感との相関が高く, これらの食感は好まれる傾向が強かった. また, 味の評価が高いパンは, 皮膚の赤系色が強く, 皮が硬いが, 内部はやわらかく, ふんわりしていることを明らかにした. イーストによって資化されなかった残存マルトースは, パンに適度なまろやかな甘味, 焼き色を与える³⁰⁾. 米の遊離糖組成は様々であるが, 主要糖にマルトースが含まれる³¹⁾. 蒸らし後の米飯に β アミラーゼの活性化現象がみとめられており³²⁾, 焼成パンの保存中に残存マルトース量 (還元糖) が増え, 食味の向上や糊化度の低下抑制に影響

米粉パンの品質変化

色差 (ΔE)	パン硬さ (g)	凝集性	糊化度 (%)
6.83 $\pm$ 1.80	771.7 $\pm$ 71.0 (141.1)*	1.11 $\pm$ 0.05 (81.0)*	57.4 $\pm$ 4.3 (81.6)**
6.33 $\pm$ 0.67	562.6 $\pm$ 73.0 (153.1)**	1.11 $\pm$ 0.11 (81.6)*	77.0 $\pm$ 0.1 (108.8)
7.24 $\pm$ 0.57	344.9 $\pm$ 76.8 (104.9)	1.13 $\pm$ 0.04 (82.5)	79.4 $\pm$ 4.7 (111.9)
7.98 $\pm$ 1.92	821.5 $\pm$ 182.6 (103.0)	0.96 $\pm$ 0.04 (93.2)	76.6 $\pm$ 4.7 (98.3)
7.34 $\pm$ 3.72	510.4 $\pm$ 154.3 (159.7)*	1.11 $\pm$ 0.12 (73.5)*	83.3 $\pm$ 4.8 (99.9)
8.85 $\pm$ 2.54	353.1 $\pm$ 149.2 (169.4)**	1.02 $\pm$ 0.09 (63.8)**	92.9 $\pm$ 3.2 (109.3)*

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

図 2 米粉パンの分析型官能評価結果

気流：気流式製粉，胸つき：胸つき式製粉

○, △, □, 焼成直後試料；●, ▲, ■, 28日間冷凍保存後自然解凍試料. ○, ●, 70%加水率；
△, ▲, 80%加水率；□, ■, 90%加水率. *5%危険率で有意差あり，**1%危険率で有意差あり.
項目についている*や**は，製粉間の比較についてである.

表 5 米粉パンの各特性値と

	比容積 (mL/g)	膨らみ 比率	L* 値	a* 値	b* 値	パン硬さ (g)	凝集性	水分含量 (%)	水分活性	糊化度 (%)
比容積 (mL/g)	1.00									
膨らみ比率	-0.63	1.00								
L* 値	-0.93	0.74	1.00							
a* 値	0.83	-0.51	-0.87	1.00						
b* 値	0.46	-0.22	-0.57	0.55	1.00					
パン硬さ (g)	-0.76	0.61	0.78	-0.70	-0.43	1.00				
凝集性	0.27	-0.19	-0.21	0.19	-0.03	-0.71	1.00			
水分含量 (%)	0.48	-0.31	-0.64	0.50	0.61	-0.69	0.23	1.00		
水分活性	0.33	-0.68	-0.45	-0.01	0.22	-0.29	-0.01	0.40	1.00	
糊化度 (%)	0.20	-0.23	-0.41	0.33	0.52	-0.51	0.09	0.85	0.23	1.00
皮膚の滑らかさ	0.81	-0.51	-0.70	0.67	0.24	-0.78	0.63	0.28	0.13	-0.04
皮のパリパリ感	-0.13	0.52	0.24	0.00	-0.17	0.19	-0.03	-0.14	-0.55	-0.35
パンのふんわり感	0.76	-0.25	-0.73	0.67	0.37	-0.76	0.50	0.69	0.12	0.37
パンのしっとり感	0.01	-0.19	-0.24	0.04	0.40	-0.40	0.14	0.78	0.41	0.91
パンのきめの細かさ	-0.60	0.00	0.38	-0.47	-0.05	0.40	-0.46	-0.07	0.17	0.32
パンのもち感	0.01	-0.17	-0.20	-0.02	0.31	-0.39	0.13	0.76	0.39	0.90
皮の色	0.32	0.29	-0.19	0.27	0.22	-0.30	0.39	0.24	-0.27	-0.05
皮の硬さ	0.72	-0.21	-0.71	0.73	0.43	-0.61	0.30	0.57	0.01	0.30
パンの食感	0.41	-0.32	-0.49	0.58	0.21	-0.66	0.63	0.37	-0.10	0.25
パンの味	0.46	-0.06	-0.54	0.63	0.49	-0.58	0.25	0.76	-0.08	0.55
総合評価	0.57	-0.20	-0.68	0.64	0.65	-0.66	0.27	0.85	0.16	0.60

図 3 米粉パンの嗜好型官能評価結果

気流：気流式製粉，舌つき：舌つき式製粉

○，△，□，焼成直後試料；●，▲，■，28 日間冷凍保存後自然解凍試料。

○，●，70% 加水率；△，▲，80% 加水率；□，■，90% 加水率。

*5% 危険率で有意差あり，**1% 危険率で有意差あり。

官能評価間の相関係数

皮膚の 滑らかさ	皮の パリパリ 感	パンの ふんわり 感	パンの しっとり 感	パンの きめの 細かさ	パンの もち感	皮の色	皮の 硬さ	パンの 食感	パンの 味	総合評価
1.00										
0.16	1.00									
0.77	0.24	1.00								
-0.18	-0.45	0.21	1.00							
-0.79	-0.41	-0.68	0.44	1.00						
-0.18	-0.42	0.22	0.98	0.43	1.00					
0.56	0.67	0.72	-0.20	-0.70	-0.17	1.00				
0.72	0.31	0.92	0.03	-0.66	0.02	0.77	1.00			
0.66	0.25	0.66	0.06	-0.39	0.02	0.57	0.72	1.00		
0.48	0.45	0.83	0.33	-0.39	0.31	0.69	0.85	0.69	1.00	
0.54	0.25	0.87	0.44	-0.39	0.40	0.64	0.85	0.64	0.95	1.00

$p < 0.05$
 $p < 0.01$

響した可能性がある。

冷凍保存をする場合、加水率を上限で調整することは、水分含量、糊化度を高値に維持し、老化を防止するためにも重要である。さらに、気流製粉のパンは、冷凍保存することで皮が硬く、内部がふんわりし、味の評価と総合評価が向上した。このことは、製粉方法によっては、焼成直後パンを冷凍保存する方法が食味の向上に有効である可能性を示唆している。

冷凍保存によって味の評価が向上する点については、製粉時の米粉澱粉の状態と保存後の糖組成、還元糖量の変化について今後詳細な検討が必要と考えられる。

要 約

本研究では福井県産コシヒカリの米粉を用いてグルテン添加米粉パンを調製し、焼成直後と焼成直後に冷凍保存、自然解凍した場合のパンの品質や食味の変化について明らかにした。さらに製粉方法の異なる米粉の吸水性を考慮し、可変させた加水率が糊化・老化へ与える影響について明らかにした。

焼成パンを冷凍保存、自然解凍しても水分含量、水分活性は変化が小さかったが、色差はいずれの製粉方法においても「大きい」となった。気流（70％）は、 a^* 値、糊化度が有意に低値を示した。また、凝集性は、気流（70％）、気流（80％）が有意に低値を示した。気流（90％）は、皮膚

の滑らかさ、パリパリ感、ふんわり感、きめの細かさ、皮の色が、気流（80％）は、きめの細かさ、皮の硬さ、パンの食感、パンの味、総合評価が有意に向上した。一方、胴つき（80％）、胴つき（90％）は、冷凍保存によって硬さ、凝集性、パンの食感と味が有意に低値を示したが、もち感、しっとり感が高く、総合評価が高かった。総合評価は、パンの味（ $r=0.95$ ）、ふんわり感（ $r=0.87$ ）、皮の硬さ（ $r=0.85$ ）、水分含量（ $r=0.85$ ）の間で高い相関であった。

調製時の加水率を90％まで増加すると、パンの比容積、水分含量は高くなり、 L^* 値、硬さは低下した。とくに胴つき製粉は L^* 値、水分含量、糊化度が高かった。冷凍保存によって、糊化度は、気流（70％）が1％の危険率で有意に低値を示し、胴つき（90％）が5％の危険率で有意に高値を示した。

文 献

- 1) 農林水産省、米粉利用の推進について、1-24（2010）。
- 2) 北陸農政局、平成18～19年福井農林水産統計年報、福井農政事務所統計部統計企画課（2006）。
- 3) 福井県農林水産部販売開拓課、ふくいの食育・地産地消推進計画、5（2009）。
- 4) 農林水産省総合食料局食糧部、平成20年度学校給食への米粉パン等の利用状況調査一覧表（2009）。
- 5) 青木法明、梅本貴之、鈴木保宏、グルテン添加米粉パンにおける多収性稲品種の製パン特性、日本食品科学工学会誌、57、107-113（2010）。

- 6) 與座宏一, 岡部繭子, 島 純, 米粉利用の現状と課題 米粉パンについて, 日本食品科学工学会誌, **55**, 444-454 (2008).
- 7) 松倉 潮, 米粉利用食品, 食品工業, **52**, 26-28 (2009).
- 8) 岡留博司, 米粉の微粉碎化技術の開発, 食品工業, **52**, 47-53 (2009).
- 9) 岡留美穂, 林 好子, 中川和秀, 大野信子, 米粉調製法が生地の発酵と製パンに及ぼす影響, 和洋女子大紀要, **48**, 45-54 (2008).
- 10) 吉井洋一, 本間紀之, 赤石隆一郎, 中村幸一, 微細米粉の製造技術と利用技術, 日本作物学会紀事, **77**, 223-224 (2008).
- 11) 長沼誠子, 畑江敬子, 島田淳子, 米粉生地の物理的・化学的特性に及ぼす放置処理の影響, 家政誌, **45**, 783-789 (1994).
- 12) 長沼誠子, 米粉の理化学的性質および調理特性に及ぼす微粉化の影響, 秋田大学紀要, **58**, 29-35 (2003).
- 13) 檜作進, 炊飯と澱粉の老化, 日調科誌, **3**, 225-229 (1970).
- 14) 貝沼やすこ, 米の種類・炊飯条件が異なる冷凍保存米飯の解凍時の性状 (第 2 報), 家政誌, **47**, 1099-1107 (1996).
- 15) 有坂将美, 吉井洋一, 酸溶解法による米粉の澱粉損傷度の測定, 新潟食品研究所研究報告 **26** 号, 11-12 (1991).
- 16) 貝沼やす子, 田中祐季, 米添加パンの調製にペースト状の米を利用する効果, 日本食品科学工学会誌, **56**, 620-627 (2009).
- 17) 中村道徳, 貝沼圭二, 澱粉の糊および溶液, 「澱粉・関連糖質実験法」, 第 3 版 (学会出版センター, 東京), pp. 191 (1998).
- 18) 島田淳子, 下村道子, おいしさの評価, 「調理とおいしさの科学」, 初版 (朝倉書店, 東京), p. 171 (1993).
- 19) Araki, E., Ikeda, M.T., Ashida, K., Takata, K., Yanaka, M. and Iida, S., Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with Wheat vital gluten. *Food Sci. Technol. Res.*, **15**, 439-448 (2009).
- 20) 與座宏一, 松木順子, 岡留博司, 岡部繭子, 鈴木啓太郎, 奥西智哉, 北村義明, 堀金 彰, 山田純代, 松倉 潮, 製粉方法の異なる米粉の特性と製パン性の関係, 食品総合研究所研究報告, **74**, 37-44 (2010).
- 21) 山木一史, 清水英樹, 岩下敦子, 太田智樹, 中野淳博, 佐藤理奈, 田中常雄, 道産米を用いた微細米粉の製造と加工利用, 北海道立食品加工研究センター報告, **7**, 17-20 (2007).
- 22) 高橋 誠, 本間紀之, 諸橋敬子, 中村幸一, 鈴木保宏, 米の品種特性が米粉パン品質に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, **56**, 394-402 (2009).
- 23) 和田淑子, 倉賀野妙子, 低水分小麦生地の膨化と食感形成における砂糖の役割, 日調科誌, **34**, 366-372 (2001).
- 24) 大喜多祥子, シュー生地, 日調科誌, **30**, 392-397 (1997).
- 25) 江川和徳, イネ利用への新たな道を拓く 米粉パンの開発, 農林水産技術研究ジャーナル, **26**, 11-16 (2003).
- 26) 小河拓也, 永井耕介, 製粉方法が米粉の品質に及ぼす影響, 日本調理科学会平成 22 年度大会研究発表要旨, **24**, 福岡 (2010).
- 27) 矢内和博, 三浦 靖, 中村良司, 西ノ宮武, 原田 努, 小林昭一, 冷凍米飯の品質に及ぼす凍結, 貯蔵および解凍条件の影響, 日本食品科学工学会誌, **48**, 777-786 (2001).
- 28) 久保田昌治, 石谷孝佑, 佐野 洋, 食品中の水の働き, 「食品と水」, 初版 (光琳, 東京), p. 223 (2008).
- 29) 長谷川孝子, 沼沢忠裕, 松谷みゆき, パンの弾性率と水分活性の経日変化, 名古屋文理短大紀要, **13**, 17-24 (1988).
- 30) 清水秀典, 原田昌博, 甲斐達男, パンの製造方法, 特開平 8-294353 (1996.11.12).
- 31) 田島 眞, 堀野俊郎, 前田万里, 孫 鐘録, 米粒外層から抽出されるオリゴ糖類, 日食工誌, **39**, 857-861 (1992).
- 32) 丸山悦子, 西千代子, 宮田康子, 梶田武俊, 炊飯に関する研究 (第 4 報) 炊飯中におけるアミラーゼ活性の挙動, 家政誌, **32**, 253-258 (1981).

(平成 22 年 10 月 13 日受付, 平成 23 年 4 月 6 日受理)