

## 製パン用原料素材としての米粉の開発利用

### The Development and Utilization of Rice Flour in Breadmaking

食物学科

Dept. of Food and Nutrition

藤井 恵子

Keiko Fujii

斉藤 忍

Shinobu Saito

**抄 録** わが国の米の消費量は年々減少しており、米の新しい利用の形が模索されている。農林水産省でも、米の米粉としての利用拡大を支援しており、近年では米粉パンの開発も盛んになってきている。本研究では、小麦粉を一切使用せず、さらにグルテン無添加の米粉パンを作り、その特性を明らかにすることで米粉の主食としての用途拡大を目的とした。パンの材料として、米粉、バター、砂糖、塩、ドライイーストを用いて生地を調製し、200℃のオーブンで40分間焼成した。米粉パンの特性として、比容積、水分含量、破断応力、初期弾性率、色度、X線回折測定を行い、市販の食パンと比較した。その結果、小麦粉のパンに比べ、米粉パンの内相は、水分含量が1.2～1.3倍と多く、比容積は著しく小さくなった。物性は抵抗応力が大きく、弾性率の値は小さくなった。色度は、明度が低くなった。以上の結果より、小麦粉及びグルテンを用いずに、米粉でパンを調製することができた。小麦粉パンと比較し、米粉パンはしっとり、もっちりしており、食べごたえのあるパンであることが示された。

**キーワード**：米粉、パン、物性、製パン性、官能評価

**Abstract** Rice is one of the most important crops in Japan. The utilization of rice flour has been investigated to increase the national consumption of rice. Recently, the movement to use rice flour in the food industry is being supported by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, with foods made from rice flour, such as bread, becoming more also popular. The major object of this study is the development of gluten-free rice flour bread and the analysis of its characteristics. The dough for the bread was prepared with rice flour, butter, sugar, salt, and dry yeast, and baked at 200℃ for 40 minutes. Specific volume, water content, rupture stress, initial elastic modulus, chromaticity, and x-ray diffraction measurement were selected as the characteristics of the rice flour bread, and compared with commercial wheat breads. The water content of a crumb of the rice flour bread was 1.2~1.3 times as much as that of the wheat flour bread, and the specific volume of the rice flour bread was noticeably smaller. The physical properties were also different. The elastic modulus of the rice flour bread was smaller, and the rupture stress larger compared with the wheat flour bread. The results showed that it was possible to prepare the rice flour bread without using wheat flour and gluten. The rice flour bread was moist, glutinous, and filling, based on a sensory evaluation.

**Keywords** : rice flour, bread, physical properties, breadmaking, sensory evaluation

### 1. 緒言

わが国の重要な農産物である米をめぐる状況は厳しさを増し、米の一人当たりの年間消費量は昭和37年の118 kgから平成19年には61 kgとほぼ半減している。食生活の欧風化も進行し、食料自給率も

主要先進国中最低水準となっている。とりわけ日本の穀物自給率は28%という低さである。その中で米は94%と高い自給率を維持しており、米の消費拡大は食料自給率の向上をも意味する。今後、米の消費を拡大するためには、消費者の簡便化志向に応えた省時間、省労力商品の開発が重要になっている。

これらの背景から、米を粉として利用する事ができるという点で、米粉パンが注目されている。当初は単に米粉を添加したにすぎないものや、米粉に活性グルテンをブレンドしたものが主流であったが、現在では、小麦粉やグルテンを一切使用せずに製造されている米粉パンもある。パンについての研究は多くなされている<sup>1-5)</sup>が、そのほとんどが小麦粉パンについてであり、米粉パンについての基礎的な研究例は多くはない<sup>6-16)</sup>。

本研究では、従来小麦粉を用いて作るものとされている含泡食品を、小麦粉を用いないばかりか、グルテンをも用いることなく米粉から作る技術を開発することを目的とし、製パン用原料素材としての米粉の開発利用を提案するために米粉パンの製パン特性に関して実験的に検討した。

## 2. 実験材料および方法

### 2.1 試料の調製

米粉パン（基準）は上新粉〔(株)波里〕200 g、バター〔(株)雪印乳業〕15 g、グラニュー糖〔(株)新三井製糖 スプーン印〕4 g、食塩〔(財)塩事業センター〕2.5 g、ドライイースト〔S. I. Lesaffre 社（フランス）〕2.5 g、蒸留水190gをボウルに入れ、室温（25℃）でミキサー（ケンミックス・シェフ ミキサー KM-230, AIKOH）で30分間攪拌した。生地をパウンド型（7×16×6 cm）に300 g流し込み、約38℃で60分間一次発酵させた。一次発酵後、ガス抜きを行い、さらに同様に20分間二次発酵させた。その後、200℃のオーブン〔コンビネーションレンジ DR504E, (株)ハーマン〕で40分間焼成した。併せてバターを添加しない米粉パンも調製した。また市販の食パン3種と比較した。

### 2.2 生地の粘度

攪拌直後の米粉パン生地を試料とし、E型回転粘度計〔TVE-20形粘度計 コーンプレートタイプ, (株)東機産業〕を用いて、25℃で粘度を測定した。

### 2.3 製品の色度

パンの外相および内相について、色彩色差計〔ND-1001DP, (株)日本電色工業〕を用いて、 $L^*a^*b^*$ 表色系の、 $L^*$ （明度）、 $a^*$ （赤度）、 $b^*$ （黄度）を測定し、それぞれの色相、彩度を算出した。

### 2.4 比容積

米粉パンは、焼成後型から取り出し、室温（25℃）にて1時間放冷後、クラムから2.5 cm角の立方体を切り出した。小麦粉パンは、4枚切りのパンからクラストを除去し、2.5 cm角の立方体を切り出した。菜種法により、パンの見かけの体積を測定し、比容積を算出した。

### 2.5 水分含量

米粉パン、小麦粉パンともに相対湿度65%のデシケーターに入れ、25℃で保存し、1日後、3日後、5日後、7日後のパンの水分含量を求めた。水分含量は105℃の乾燥器で恒量値を得、計算により求めた。

### 2.6 破断特性

各種パンについて、0, 1, 3, 5, 7日間保存した試料のクラムから2 cm角の立方体を切り出し、クリープメーター〔RE-3305S, (株)山電〕を用いて破断特性を測定した。測定は25℃で円盤状ブランジャー（φ4 cm, ポリアセタール樹脂製）を用いて、圧縮速度を6 cm/min, 変形量を試料の高さの70%とした。得られた応力-ひずみ曲線より、破断応力、初期弾性率を算出した。

### 2.7 X線回折

X線回折は、X線回折装置〔RINT-1500, 理学電機(株)〕を使用した。所定時間保存したそれぞれのパンに、約3倍量の無水エタノールを加え、乳鉢で磨砕しながら脱水し、濾過した。この操作を3回繰り返し、アセトンで洗浄後、風乾し、脱水粉末試料を一定量充填し、測定を行い、結晶性を調べた。測定条件は、走査範囲 $2\theta = 4 \sim 40^\circ$ , 走査速度 $2^\circ/\text{min}$ , 管電圧35 kV, 管電流150 mAとした。

### 2.8 官能評価

米粉パンの嗜好性を調べるために、官能評価を行った。パネルは日本女子大学家政学部食物学科の学生27名で、7点評点法により評価した。質問項目は内部のきめ、弾力性、硬さ、しっとり感、もっちり感、食べごたえ、嗜好性の7項目について、市販の小麦粉食パンを基準として、米粉パン（基準）、米粉パン（バターなし）の2種のパンを評価した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 生地粘度

予備実験として生地粘度を測定したところ、米粉パン（基準）、米粉パン（バターなし）ともに測定時間の経過に伴って粘度が低下した。これは、ずり変形を受けるうちに粘度値が次第に低くなるシキソトロピー流体の特徴である。さらに、米粉パン（基準）、米粉パン（バターなし）ともに、回転速度

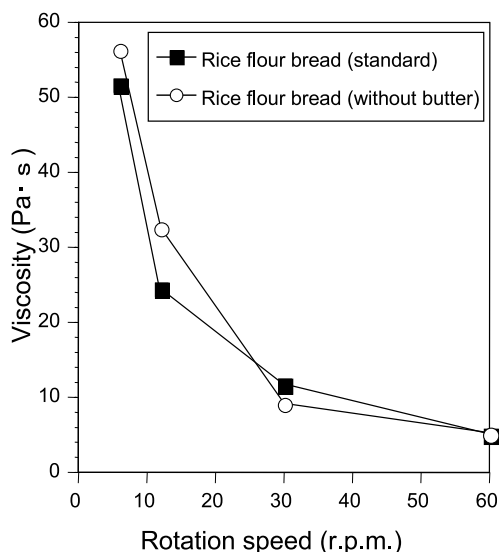


Fig. 1 Effects of rotation speed on viscosity of batter for rice flour breads.

を高くするにつれて粘度が低下した (Fig. 1)。これは、擬塑性流体の特徴である。擬塑性流体はニュートン流体に比べて内部構造が弱く、ずり速度が大きくなるにつれて構造破壊が進行することを示している<sup>17)</sup>。これらの結果から、米粉パンの生地状態を粘度から判断する場合には、攪拌初期を避けた方がよいと考えられた。

#### 3.2 パンの外観

調製した米粉パンの写真を Fig. 2 に示した。また各種パンの色度を Table 1 に示した。明るさを示す L\* 値は、クラムでは小麦粉パンが高く、米粉パンが低くなった。米粉パン（バターなし）は色味が薄く、さらに暗い色であり、小麦粉パンでは、鮮やかかつ明るい色の内相であることがわかった。

クラストについては、米粉パン（基準）、米粉パン（バターなし）では、暗くないが色味が薄く、彩度が小麦粉パンに比べ低くなった。パンの褐変はアミノカルボニル反応によるところが大きく、カラメル化反応もその一因となっている<sup>18)</sup>。米粉よりも小麦粉の方がタンパク質含量が多いことから、小麦粉パンにおいてアミノカルボニル反応が進行し、着色したためにクラム、クラストともに鮮やかな色となったと考えられ、米粉パンでは、バターを添加することで鮮やかさが小麦粉パンに近くなることが示された。

#### 3.3 比容積

各種パンの比容積の結果を Table 2 に示した。一

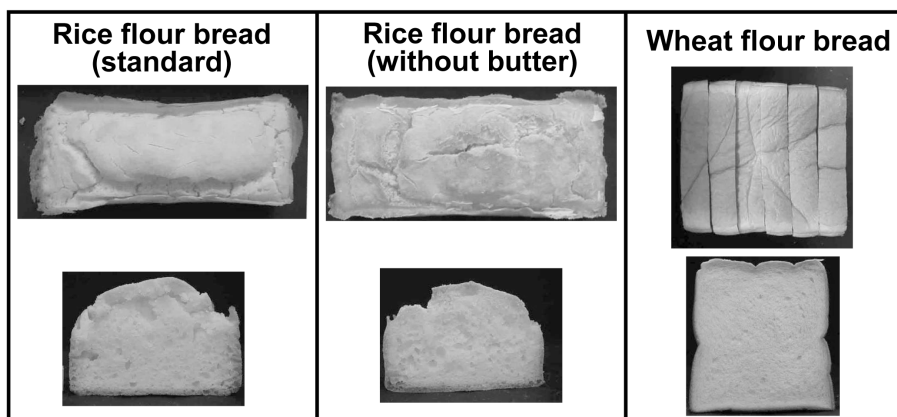


Fig. 2 Cross-section images of the rice and wheat flour breads.

Table 1 The chromaticity of the rice flour breads

	Crumb			Crust		
	Lightness	Hue	Chromaticness	Lightness	Hue	Chromaticness
Rice flour bread (standard)	71.3	− 3.59	9.9	66.6	− 15.1	31.0
Rice flour bread (without butter)	66.2	1.32	6.7	62.3	5.6	26.7
Commercial bread A	72.4	− 3.37	10.5	53.7	1.3	44.3
Commercial bread B	74.4	− 4.37	11.4	48.2	1.0	45.8
Commercial bread C	93.1	2.44	5.8	74.9	1.2	55.7

Lightness:  $L^*$ , Hue:  $b^*/a^*$ , Chromaticness:  $\sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$ .

Table 2 The specific volume of the rice flour breads

	Specific volume ( $\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ )
Rice flour bread (standard)	$1.73 \pm 0.14$
Rice flour bread (without butter)	$1.61 \pm 0.26$
Commercial bread A	$4.59 \pm 0.36$
Commercial bread B	$4.52 \pm 0.61$
Commercial bread C	$3.98 \pm 0.29$

mean  $\pm$  S.D.

一般的に、好ましいとされているパンの比容積は4.0前後であり<sup>5)</sup>、米粉パンの比容積はその半分以下となった。通常のパン生地では、小麦粉由来のグルテンによって形成されたセル組織によってCO<sub>2</sub>が気泡として保持される。米粉にはグルテンがほとんど含まれないために気泡を保持することができず、米粉パンの比容積が小さくなったと考えられた。米粉パン2種で比較すると、やや米粉パン（基準）の比容積が大きくなった。油脂の添加は、小麦粉パンのボリュームを出す効果があることが知られている。また、微細粉末米粉とバイタルグルテンをブレンドした、製パン用米粉ミックスでも油脂による同様なボリューム増効果があると報告されている<sup>7)</sup>。これらのことから、米粉100%の米粉パンにおいても、バター添加により比容積が増大したと考えられる。

### 3.4 水分含量

各種パンの保存中における水分含量の変化の結果をFig. 3に示した。米粉パンは、いずれの保存日数においても小麦粉パンに比べ水分含量が多かった ( $p < 0.01$ )。米粉パンは小麦粉パンに比較して保存できる期間が短い、米粉パンの水分含量の多さが保存性の低下に関係していると考えられる。すべて

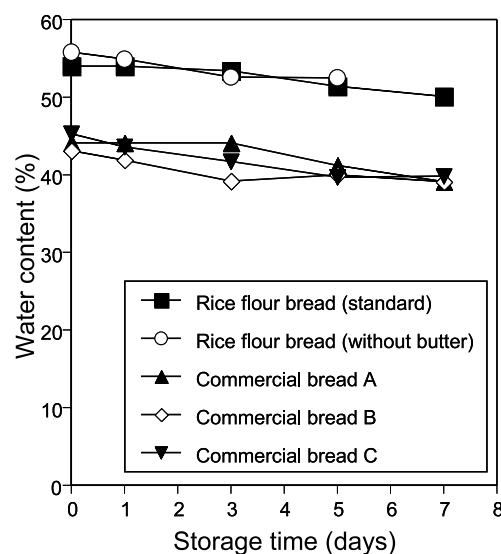


Fig. 3 Effects of storage time on water content of breads.

のパンにおいて、保存日数が経過するにつれて水分含量が低下する傾向が見られた。このことから、25℃相対湿度65%の条件において、米粉パン、小麦粉パンともに乾燥が進行していたことがわかった。

### 3.5 破断特性

パンの圧縮の様子と代表的な応力-ひずみ曲線をFig. 4に示した。試料の高さの70%まで圧縮した場合、小麦粉パンは圧縮後もとの高さまで回復するのに対し、米粉パンは圧縮により変形し、圧縮後回復しなかった。このことから米粉パンは、小麦粉パンに比べ弾性がないことが明らかになった。代表的な応力-ひずみ曲線も、これらの特徴が反映され、

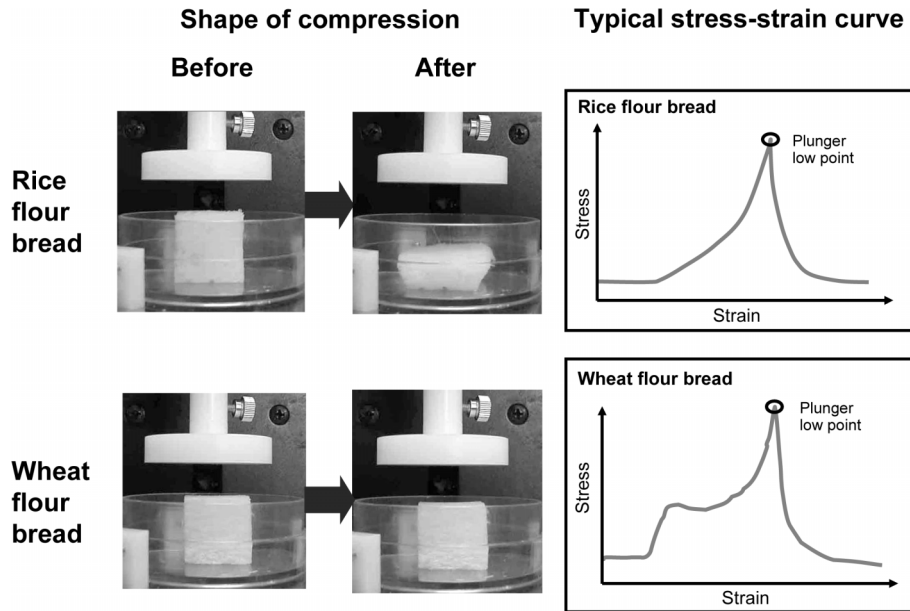


Fig. 4 Shape of sample after compression and typical stress-strain curve.

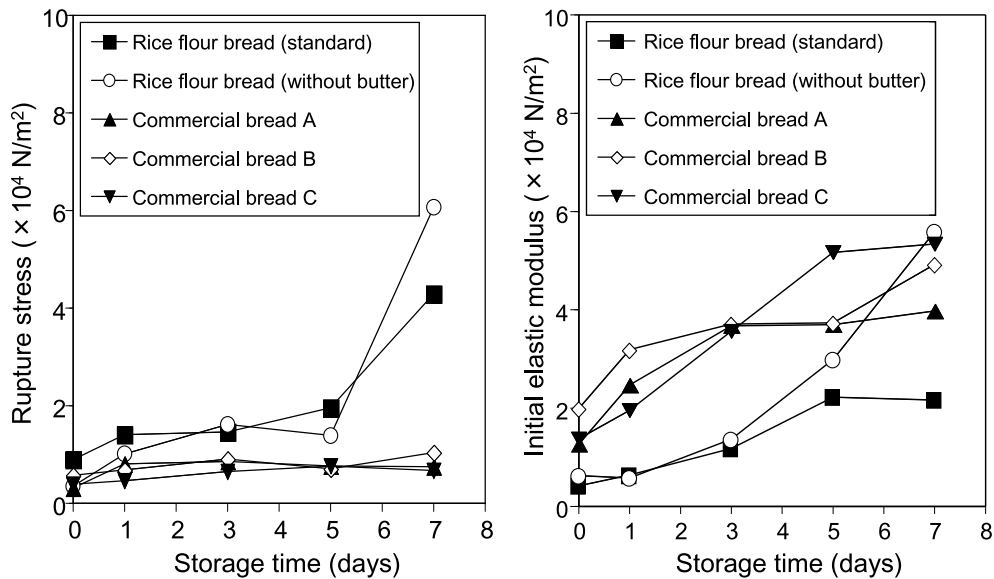


Fig. 5 Effect of storage time on rupture stress and initial elastic modulus of breads.

両者の曲線に違いが見られた。

応力-ひずみ曲線から得られた、破断応力と初期弾性率の結果を Fig. 5 に示した。ただし、米粉パンは破断点を得られなかったため、70 % 圧縮時の抵

抗応力を示している。米粉パンは、小麦粉パンに比べ、抵抗応力が高く、硬いパンとなり、さらに保存日数の経過に伴い応力が増大した。特に、バターの入っていない米粉パンの方がその傾向は顕著であっ



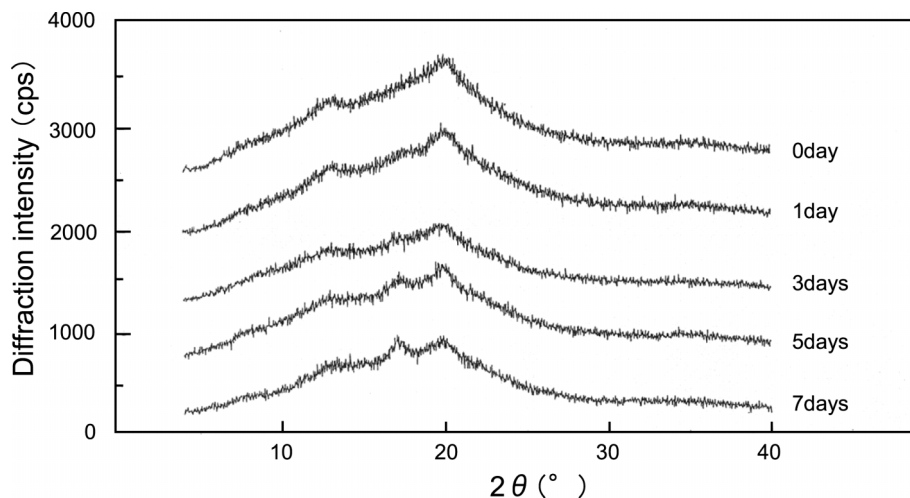


Fig. 6 X-ray diffraction curves of the rice flour bread.

た。一方、小麦粉パンは保存日数の経過に伴う破断応力の増加はそれほど顕著ではなかった。

パンは、日数がたつにつれて硬くなるが、この現象はデンプンの老化が主な原因であり、老化を抑制することができれば日持ちの向上につながる。飽和脂肪酸と膨潤したデンプン中のアミロペクチンは複合体を形成しデンプンの再結晶化を抑制するという報告<sup>7)</sup>があり、このことから、バターの入っている米粉パン（基準）の方が硬化が抑制されたのではないかと考えられる。

初期弾性率については、すべてのパンにおいて、保存日数が経過するにつれて増大した。米粉パン（基準）、米粉パン（バターなし）ともに、小麦粉パンよりも初期弾性率が低くなる傾向が見られた。しかし、5日後、7日後では徐々に差が小さくなっていった。米粉パン同士の比較では、米粉パン（基準）に比べ、米粉パン（バターなし）の方が急激に初期弾性率が増大した。

### 3.6 X線回折測定

米粉パン（基準）でのX線回折カーブをFig. 6に示した。米粉パン（基準）においては、アミロース-脂質複合体の形成であると考えられている<sup>6)</sup>  $2\theta = 13^\circ$  付近のピークが0日目から認められたが、ピークの大きさに経時的な変化は見られなかった。一方、 $17^\circ$  付近のピークは5日目からはっきりと認められ、保存日数の経過に従い鋭いピークとなった。

このことから、米粉パンは保存3日程度では老化しないことが示された。

### 3.7 官能評価

米粉パンの官能評価の結果をFig. 7に示した。米粉パン（基準）、米粉パン（バターなし）は、小麦粉パンと比較して、危険率1%の有意差で、きめが粗く、弾力があり、しっとりしていて、もっちりしていて、食べごたえがあると評価された。また、米粉パン（基準）では、嗜好性において危険率1%の有意差で、好ましくないと評価された。米粉パン（バターなし）では、危険率1%の有意差で硬いと評価された。

## 4. まとめ

米粉の製パン特性について研究を行った。試行錯誤の結果、小麦粉、グルテンを使用せずに米粉のみでパンを調製することができた。米粉を用いて調製したパンは小麦粉パンとは異なる特徴を示し、官能評価の結果より、しっとり、もっちりしており食べごたえがあるパンであることがわかった。また米粉パンは状態変化が急激であることが明らかとなった。

米粉パンにおけるバターの添加は、比容積を向上させ、硬化などの状態の急激な変化を抑制する効果があることが示された。しかし、官能評価においては米粉パン（バターなし）の方が嗜好性が高いと評

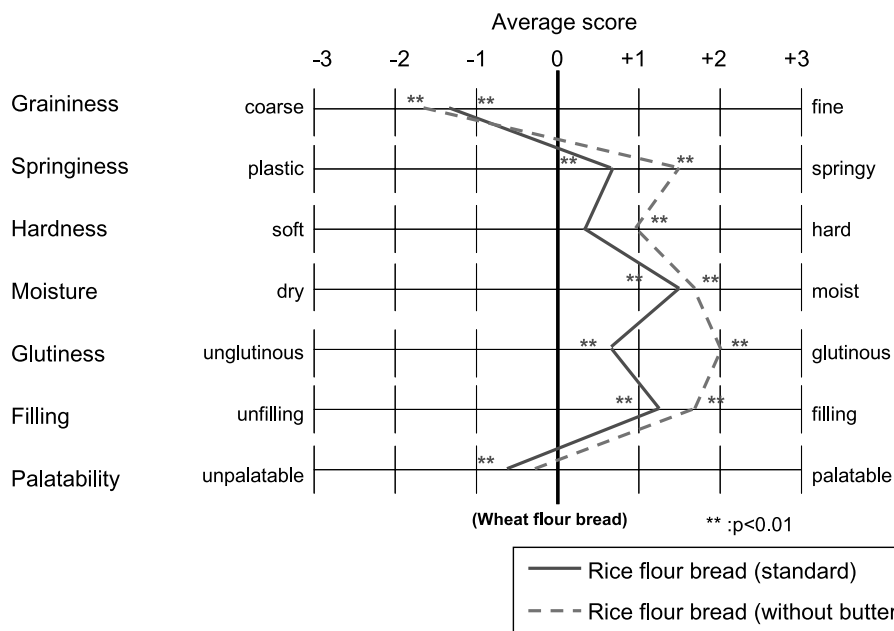


Fig. 7 Results of sensory evaluation of the rice flour breads.

価された。一般的には、パンは比容積 4.0 前後が良く、「比容積が大きすぎるとすだちの粗い，触感，弾力の弱いパンになる。小さすぎると触感が硬くなる。表皮は黄金褐色に焼けているのが良い。皮質は薄く，滑らかで柔らかいものが良い。内相の色は冴えた淡いクリーム色が良い。すだちは，やや楕円形の小さい気泡が揃っているのが良い。気泡膜が厚いもの，気泡が粗いものは良くない<sup>19)</sup>。」とされている。

今後，米粉パンが普及していくためには，小麦粉パンにはないしっとり，もちりとした食感を生かし，さらなるおいしさと食感の向上を追求しつつ，保存性の高いパンを開発していくことが必要と考えられる。

### 引用文献

- 1) 前田智子，森田尚文：新しい食品素材一分級小麦粉の特性と製パンへの利用（その 1），食生活研究，**22**，31-42（2001）
- 2) 前田智子，森田尚文：新しい食品素材一分級小麦粉の特性と製パンへの利用（その 2），食生活研究，**22**，38-47（2001）
- 3) 岩田恭一：製パンにおける澱粉の役割と加工澱

粉の利用，パン科学会誌，**47**，3-15（2001）

- 4) 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**，21-27（1996）
- 5) 藤井久美子，大橋壽彦，笠井八重子：直捏ね法による製パンにおけるガス抜き時期の検討，日本調理科学会誌，**35**，368-374（2002）
- 6) 高橋 徹，篠田和雄，三浦 靖，金 哲，小林昭一：加熱処理が米粉の物理化学的特性に及ぼす影響，日本食品科学工学会誌，**49**，757-764（2002）
- 7) 宗像良治，小島信吾：米粉パンと油脂について，食品工業，**49**，38-46（2002）
- 8) 川合俊之：トレハロースを使用した米粉パンの開発，食品工業，**49**，47-51（2002）
- 9) 綿貫亜紀，原 安夫，新井映子：米粉パン製造時の物性に及ぼす電解生成水の影響，日本調理科学会誌，**37**，352-359（2004）
- 10) Sivaramakrishnan H. P., Senge B. and Chattopadhyay P. K.: Rheological properties of rice dough for making rice bread, *J. Food Eng.*, **62**, 37-45（2004）
- 11) Ahlborn G. J., Pike O. A., Hendrix S. B., Hess W.

- M. and Huber C. S.: Sensory, mechanical, and Microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads, *Cereal Chem.*, **82**, 328-335 (2005)
- 12) 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, 和洋女子大学紀要 (家政系), **48**, 45-54 (2008)
- 13) 奥西智也: 炊飯米を生地に添加したパンの官能評価, 日本食品科学工学会誌, **56**, 424-428 (2009)
- 14) 本間紀之, 高橋 誠, 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, **56**, 394-402, (2009)
- 15) Mezaize S., Chevallier S., Le Bail A. and de Lamballerie M.: Optimization of gluten-free formulations for French-style breads, *J. Food Sci.*, **74**, E140-146 (2009)
- 16) Nakamura S., Suzuki K. and Ohtsubo K.: Characteristics of bread prepared from wheat flours blended with various kinds of newly developed rice flours, *J. Food Sci.*, **74**, E121-130 (2009)
- 17) 川端晶子: 食品物性学 レオロジーとテクスチャー, 建帛社, 東京, 37 (1989)
- 18) 吉田 勉, 早瀬文孝: 食品学総論 (改訂版), 三共出版, 東京, 100-105 (2005)
- 19) 長尾精一: 最新食品加工講座 小麦とその加工, 建帛社, 東京, 228 (1984)