米の品種特性が米粉パン品質に及ぼす影響

高橋 誠[§], 本間紀之, 諸橋敬子, 中村幸一, 鈴木保宏*

新潟県農業総合研究所食品研究センター

* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所

Effect of Rice Cultivar Characteristics on the Rice Flour Bread Quality

Makoto Takahashi[§], Noriyuki Homma, Keiko Morohashi,
Kouichi Nakamura and Yasuhiro Suzuki*

Food Research Center, Niigata Agricultural Research Institute, 2-25 Shinei-cho, Kamo-shi, Niigata 959-1381

* National Institute of Crop Science, National Agriculture and Food Research
Organization, 2-1-18 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8518

A total of 24 samples of rice flour were prepared from 16 different types of rice for analyzing the crude protein, amylose, damaged starch and particle size composition. The particle size of all rice flour samples was over 90% at the 200 mesh passage, but the particle size compositions differed among the rice types. Hokuriku 166 showed a higher 300 mesh passage proportion than other rice types and trends of lower damaged starch content. Regarding the physical properties of gluten-mixed rice flour, the farinograph water absorption rate differed among the rice types, showing a correlation to the amylose content. Specific volume and shape of the rice flour bread also differed among the rice types, with the amylose content being related to the viscogram property of the gluten-mixed rice flour. About 25% amylose content of rice flour was estimated to result in the largest specific volume of rice flour bread. Rice flour bread hardness was also correlated to the amylose content. The hardness of all the rice flour breads increased relative to storage time, but the rate of bread hardening differed among the rice types. In the floury and low glutelin rice types, low values of bread hardness and hardening rate were found in comparison with normal rice flour bread which had equivalent amylose and protein contents. Therefore, protein and element composition of the rice appears to affect the bread properties. The amylose rice cultivars containing about 15 to 25% amylose content are the most suitable for baking rice flour bread.

(Received Jan. 5, 2009 ; Accepted Mar. 24, 2009)

Keywords : rice flour, bread, specific volume, hardness

キーワード : 米粉, 米粉パン, パン比容積, パン硬さ

米は現在の日本で唯一自給可能な穀物資源であるが、国民1人当たりの米消費量は減少の一途をたどっており需要増加に結びつく用途開発が強く求められている。

米の用途は粒食が主で粉食が従であり、従来の粉食利用は団子や米菓などいわゆる和菓子用途が主体である。すなわち、小麦粉のような和洋菓子類、麺類およびパン類のような広範囲な利用はなされておらず、そのため小麦粉分野への米粉の利用拡大を目的として多くの研究が行われ、報告されてきている^{1)~10)}。とりわけパン類への利活用に向けた研究は数多く、種々の米粉利用パンの製造法が研究開発および特許出願され¹¹⁾、商品化されてきている。しかし、これらの研究は主に生産過剰基調にある主食用米の活用

を目的とした製粉法やパン製造技術の開発が主体であり、米の品種や成分特性からの調査報告は極めて少ないのが現状である。

また、農林水産省は1989年以降「需要拡大のための新形質水田作物の開発(スーパーライス計画):1988-1994年」,「次世代稲作:1995-2000年」,「21世紀プロ(5系):2001-2002年」,「ブランドニッポン(5系水稻):2003-2005年」等のプロジェクト研究を実施し、既存の主食用米とは米粒形状や成分特性などが異なる水稻品種(新形質米)を開発している¹²⁾¹³⁾。しかし、その大部分は米飯としての利活用を目的としており、粉食用途に適した品種の選定や活用法の検討は数少ない。そこで、本研究では米の品種特性・成分と米粉および米粉パン製造特性との関連について調査を行い、その関係について報告する。

〒959-1381 新潟県加茂市新栄町 2-25

* 〒305-8518 茨城県つくば市観音台 2-1-18

[§] 連絡先 (Corresponding author), matakaha@ari.pref.niigata.jp

実 験 方 法

1. 試験試料および搗精方法

2005～2007年に栽培された一般水稻品種および新形質米（低・高アミロース米，低グルテリン米，胚乳粉質米の各品種系統）を供試した（表1）。2007年産の関東229号，関東227号，ホシニシキについてはそれぞれ多肥栽培した3点も加え，合計16品種・系統24点を試料とした。米は10℃，RH60％で保存し，搗精前日に室温に戻して搗精歩合90％を目安に搗精を行った。搗精方法は摩擦式（ハイワンパス精米機NBS-10A，サタケ）としたが，北陸166号，中国酒185号は摩擦式では胚乳が破砕し搗精歩合の調整が困難なため，研削式（GRAIN TESTING MILL，サタケ）での搗精とした。

2. 米粉の調製

米粉の調製は，米粒を細胞壁分解酵素で処理後，気流粉碎機で粉碎する方法（以下酵素処理法）で行った。酵素処理法は以下の手順により行った。スミチームPTE（新日本

化学工業）を力価5U/1となるように0.1％（w/v）クエン酸3ナトリウム水溶液に溶解して酵素液とした。酵素液に同重量の水洗（40℃，1分間×5回）・脱水処理（H-130E，国産遠心器，1800rpm・5秒間）した精米を浸漬し，40℃で1時間の酵素処理を行った。酵素処理した米粒は前述の条件で脱水後，気流粉碎機（KV-3-4S，躍進機械製作所）で粉碎（6800rpm）を行い，流動層乾燥機（MDW-20，不二パウダル）で水分12％まで乾燥した。米粉は15℃・RH75％で，水分13.5％前後に調湿後試験に用いた。

3. 米粉成分および特性

米粉成分中の粗蛋白質含量はケルダール法（Kjeltec Auto 1030 Analyzer，フォスジャパン）で測定し，蛋白換算係数5.95を用いて換算した。また見かけのアミロース含量は米粉をJulianoの簡易測定法¹⁴⁾により測定した。検量線の作成には標準アミロース（ポテトアミロースTypeⅢ，Sigma）を用いた。

粒度構成はロータップ型篩振とう機（筒井理化学器械）を用いて米粉50gを1時間振とう後，各篩残重量の回収

表 1 試料リスト

産年	品種系統名	特 徴	生産地
2005	朝つゆ	低アミロース	北 陸
	LGC ソフト	低アミロース・低グルテリン	中 国
	コシヒカリ	粳（一般品種）	つくば
	中国酒 185 号（みずほのか）	低グルテリン，酒米	中 国
	北陸 166 号	胚乳粉質	北 陸
	夢十色	高アミロース	北 陸
2006	スノーパール	低アミロース	東 北
	はなえまき	低アミロース	北海道
	ミルキークイーン	低アミロース	つくば
	北陸 166 号	胚乳粉質	北 陸
	コシヒカリ	粳（一般品種）	北 陸
	日本晴	粳（一般品種）	つくば
	春 陽	低グルテリン	北 陸
	夢十色	高アミロース	北 陸
2007	関東 229 号	低アミロース	つくば
	関東 229 号（多肥栽培）	低アミロース	つくば
	コシヒカリ	粳（一般品種）	北 陸
	北陸 166 号	胚乳粉質	北 陸
	関東 227 号	粳（一般品種）	つくば
	関東 227 号（多肥栽培）	粳（一般品種）	つくば
	北海 293 号	低グルテリン	北海道
	ホシニシキ	高アミロース	つくば
	ホシニシキ（多肥栽培）	高アミロース	つくば
	北陸 207 号	高アミロース	北 陸

北海道：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター

東 北：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター

つくば：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所

北 陸：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター

北陸研究センター

中 国：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構近畿中国四国農業研究センター

表 2 米粉パン製造での米粉ブレンド割合

	2006			2007		
	はなえまき	コシヒカリ	夢十色	関東 229 号	コシヒカリ	北陸 207 号
ブレンド A (アミロース含量 13%)	57%	40%	3%			
ブレンド B (アミロース含量 25%)	8%	40%	52%			
ブレンド C (アミロース含量 13%)				54%	40%	6%
ブレンド D (アミロース含量 25%)				1%	40%	59%

重量に対する割合から求めた。また、損傷澱粉量は Starch damage assay kit (Megazyme 社) により測定した。測定試料 100 mg に 1 ml の α アミラーゼ溶液 (50 U/ml) を加え、40℃ で 10 分間反応させた。8.0 ml の硫酸 (0.2%, v/v) を加えて混和した後 1000×g で 5 分間遠心分離し、上清 0.1 ml を試験管に移してアミログルコシダーゼ溶液 (0.1 ml, 20 U/ml) を加え、40℃ で 10 分反応させた。その後 4 ml の GOPOD 試薬を加え、40℃ で 20 分間反応させた後、510 nm での吸光値を測定してグルコース量を求め、損傷澱粉量に換算した。検量線作成には付属のグルコース溶液を用いた。

4. 米粉ミックスの調製

米粉の一部は活性グルテン (ホイートプロ 80, 粗蛋白質含量 85.3%, ADM フェーイースト) を混合して米粉ミックスとした。米粉と活性グルテンの混合割合は 85 : 15 (重量比, 水分 13.5% 換算) とした。

5. 米粉ミックスのビスコグラフ特性の測定

すでに記してある 2005~2007 年産の 24 点に、アミロース含量が 13 および 25% になるよう 2006 および 2007 年産の低アミロース米、粳米と高アミロース米をブレンドした 4 点 (ブレンド A~D) (表 2) を加え、合計 28 点についてビスコグラフ特性を測定した。米粉ミックスを乾物換算試料濃度 8% となるよう水に分散したもの 500 g を用い、ブラベンダービスコグラフ (Viskograph PT 100, Brabender 社) により 30℃ から 96℃ まで加熱し、96℃ で 10 分間保持、96℃ から 30℃ まで冷却して測定した。昇温・降温速度は 1.5℃/分、回転速度 75 rpm、硫酸銅等の酵素阻害剤を添加せず行った。

6. ファリノグラフ吸水率測定

米粉ミックスの吸水率は、ファリノグラフ (Brabender 社) を用いて試料 300 g 使用時の 500 BU 吸水率 (粉水分 13.5% 換算) を、小麦粉生地物理性検定¹⁵⁾ に準じて測定した。なお加水量が多くなる場合は、粉量を調整して生地総量が約 520 g 程度になるようにした。

7. 米粉パンの製造

各品種 24 点と、表 2 に示したブレンド 4 点、合計 28 点について米粉パンを製造した。原料配合は日本イースト工業会パン用酵母試験法¹⁶⁾ を参考とし (表 3)、加水量はファリノグラフ 500 BU 吸水率の値とした。塩化ナトリウム、

表 3 米粉パン製造の原料および配合

原 料	配合割合 (%)
米粉ミックス (13.5% 水分換算)	100
圧搾酵母	2
ショ糖	5
塩化ナトリウム	2
ショートニング	5
脱イオン水	ファリノグラフ 500 BU 吸水率

ショ糖は試薬特級、圧搾酵母はチュウエツイースト (中越酵母工業)、ショートニングはリスシルバーショート (ADEKA) を用いた。米粉パンの製造方法は中村の方法¹⁷⁾ を参考とし、100% 中種法で行った。すなわち、油脂を除く原料を 1 速で 30 秒ミキシング (SK-20 型, エスケーミキサー) 後、1 次発酵 (70 分, 30±1℃・RH80%) を行った。次に 1 速 1 分, 2 速 2 分, 3 速 3 分のミキシング後に油脂を添加した。そして最適生地を得るまで 3 速でミキシングした。生地捏ね上げ温度は温度調整用ジャケットの水温を調整し、30±1℃ の範囲とした。ミキシング時間は油脂添加後の時間 (秒) とし、最適生地の判断は生地を指で伸ばした時にちぎれず薄膜となり、指が透けて見える点を終点とした。

生地は直ちに分割 (670±1 g) し、めん棒を用いて 1 cm 厚にのし、ワンローフ型に成型してパン型 (スルトン加工 1.5 斤型, 内寸 L 180×W 105×H 125, mm) に詰め、ホイロ (KM-62EX-C 型, 協同電熱製作所) で型上 1.5 cm までホイロ発酵 (38±1℃・RH85%) させた後、製菓製パン電熱窯 (南蛮窯 ST 型, 七洋製作所) で 200℃・30 分焼成した。

焼成後の米粉パンは室温 (約 25℃) で放冷し、1 時間後に重量と、菜種法で容積を測定し比容積 (焼成 1 時間後のパン容積 (ml)/パン重量 (g)) を算出した。ケービング率はパンを 25℃ で 1 日保存したパンの中央部の切断面と、パン型断面積の比率により求めた。

8. 米粉パンの硬度測定

焼成後 25℃ で 0~4 日間保存したパンを約 2 cm 厚に切り、内相部の硬度をテンシプレッサー (TTP-50BX, タケトモ電機) により測定した。具体的には、25 mm 円盤形プランジャ、圧縮速度 120 mm/min の条件下、パン厚さの 40% まで圧縮した際の 25% 圧縮時硬度をパン硬度 (gf/

cm²)として10回測定の平均を求めた。

実験結果および考察

1. 米粉の成分および特性

米粉の粗蛋白質含量は品種や施肥量、年次により若干変動が見られ5.0～7.2%であったが、多くは約6%であった(表4)。供試材料のアミロース含量は、低アミロース米品種で6～10%、中アミロース米(コシヒカリ等の粳一般品種を含む)で16～22%、高アミロース米品種で30～36%と変異の幅は大きかった。一方、米粉の損傷澱粉量はいずれの試料も低く1.4～6.0%の範囲であり、供試24点の平均は2.9%であった。粉質胚乳米品種の北陸166号は3年間の平均値で2.1%と他の供試品種よりも低い傾向を示したが、今回の供試品種の範囲ではアミロース含量や粗蛋白質含量、粉質性と損傷澱粉量との明確な関係は認められなかった。

2. 米粉の粒度構成

供試した24点全ての米粉粒度は、いずれも微粉碎されており200メッシュ通過(粒径約75μm以下)割合90%以上であったが、最も細かい300メッシュ通過(粒径約45μm以下)の割合は品種間差が認められた(表5)。粉質胚乳品種の北陸166号では300メッシュ通過割合は60%以上と他の供試品種と比べ高く微粉碎されやすい特性を有していた。この結果は、Hommaら¹⁸⁾の北陸166号の胚乳澱粉粒子が球状で小さいため米の微粉化が容易である結果と一致する。多肥栽培の米では粒度構成がわずかではあるが粗くなる傾向が認められた。このことは、米粒中の蛋白質が粒度構成に影響を与えている可能性を示唆している。

3. 米粉ミックスのビスコグラフ特性

米粉ミックスのビスコグラフ特性(表6)にはアミロース含量に関する品種差が認められ、米のビスコグラフ特性は市販強力小麦粉(日清製粉カメリア)とは大きく異なり最高粘度値やブレイクダウン値が高い結果が得られた。品種の特性別に解析すると、北陸166号は粘度が全体的に低く、最高粘性時温度もやや低いなど、同程度のアミロース含量の米と異なる特性を示した。一方、高アミロース米品種の北陸207号とホシニシキは最高粘度や最終粘度が他の供試品種と比較し小さい値を示したが、夢十色は最終粘度が比較的高くブレイクダウンが極めて小さい値を示した。このように、同程度アミロース含量でもビスコグラフ特性に品種間差が認められた。多肥栽培によるビスコグラフ特性の明確な変化は確認されなかったが、米のRVA粘性とテクスチャー特性を蛋白質除去とジスルフィド結合の開裂を通して分析し、プロテアーゼやDTTは糊化特性に影響を及ぼす¹⁹⁾とした報告もあり、今後更なる調査が必要と考えられる。

4. 米粉ミックスの製パン特性

米粉ミックスのファリノグラフ500BU吸水率には品種

表4 米粉試料の成分特性

産年	試料名	粗蛋白質 含量 (%)	アミロース 含量 (%)	澱粉 損傷度 (%)
2005	朝つゆ	5.3	6.8	2.6
	LGC ソフト	6.6	10.0	2.0
	コシヒカリ	6.0	17.6	2.4
	中国酒 185 号(みずほのか)	6.0	17.9	2.2
	北陸 166 号	6.5	18.0	2.3
	夢十色	6.5	35.6	1.6
2006	スノーパール	6.2	5.9	4.5
	はなえまき	6.2	8.5	5.1
	ミルキークイーン	6.1	8.5	3.4
	北陸 166 号	6.6	15.8	2.4
	コシヒカリ	5.9	18.0	3.4
	日本晴	6.6	19.5	2.9
	春 陽	5.6	21.7	3.2
	夢十色	6.9	33.2	4.3
2007	関東 229 号	5.9	8.8	2.1
	関東 229 号(多肥栽培)	5.5	9.6	2.9
	コシヒカリ	5.0	16.2	6.0
	北陸 166 号	7.2	16.7	1.7
	関東 227 号	5.5	19.5	2.5
	関東 227 号(多肥栽培)	5.8	18.3	2.8
	北海 293 号	6.1	20.8	3.0
	ホシニシキ	5.2	30.6	1.9
	ホシニシキ(多肥栽培)	6.1	30.9	3.9
	北陸 207 号	5.7	31.5	1.4

間差が認められ、73.8(2006年産夢十色)～85.2%(2005年産朝つゆ)と大きく異なる値を示した(表7)。米粉の粗蛋白質含量とファリノグラフ吸水率との関係は明確ではなかった。小麦粉の場合、吸水率に大きく関係する成分には澱粉、蛋白質、ペントザンがあり、特に蛋白質の影響が大きい。一方で小麦粉中に含まれる数%の損傷澱粉も吸水率に影響すると考えられている²⁰⁾。本試験では各試料に対してグルテンを同量添加しているため、米粉ミックスのファリノグラフ吸水率の差異は米粉試料自体の吸水特性を示していると考えられる。

有坂ら²¹⁾や長沼²²⁾は、製粉方式や製粉条件と米粉の性質について、大久ら²³⁾や吉井ら²⁴⁾は米の種類およびアミロース含量と米粒の飽和水分について、そして斉藤²⁵⁾や平ら²⁶⁾は米粉の蛋白質含量と吸水性について、それぞれ報告している。従って、米粉の吸水性は米粉の粒径や損傷澱粉量等の粉体特性に加え、米粉中に含まれる澱粉の特性や、蛋白質等の成分特性が総合的に関連していると考えられる。そこで、供試した米粉24点の粒度(300メッシュ通過割合)、損傷澱粉量、アミロース含量および蛋白質含量についてファリノグラフ吸水率との関係を確認したところ、アミロース含量との間に最も高い相関が認められた(図1)。これは米粉の粉体特性が類似している場合、米粉の成分中で

表 5 米粉試料の粒度構成

産年	試料名	粒度構成割合 (%)						
		60 メッシュ 不通過	60-100 メッシュ	100-150 メッシュ	150-200 メッシュ	200-250 メッシュ	250-300 メッシュ	300 メッシュ 通過
2005	朝つゆ	0.0	0.2	0.4	0.7	1.6	22.7	74.3
	LGC ソフト	0.1	0.0	0.1	2.2	8.3	33.1	56.1
	コシヒカリ	0.1	0.2	0.5	1.8	8.2	40.4	48.9
	中国酒 185 号 (みずほのか)	0.0	0.3	0.6	0.8	1.3	21.0	76.0
	北陸 166 号	1.1	0.2	0.7	1.9	3.6	20.4	72.1
	夢十色	0.6	0.6	0.9	1.1	2.4	18.9	75.6
2006	スノーパール	0.2	0.2	1.4	7.1	16.6	40.4	34.1
	はなえまき	0.1	0.2	1.1	7.2	16.4	37.7	37.3
	ミルククイーン	0.1	0.1	0.3	1.5	9.2	50.5	38.3
	北陸 166 号	2.5	0.2	0.5	1.8	2.5	23.9	68.7
	コシヒカリ	0.1	0.2	1.0	7.1	19.3	32.4	39.9
	日本晴	0.1	0.1	0.4	4.0	12.3	45.9	37.2
	春 陽	0.1	0.1	0.3	2.0	8.3	28.7	60.7
	夢十色	1.8	0.5	1.4	3.5	7.7	32.6	52.4
2007	関東 229 号	0.0	0.1	0.5	6.2	15.2	38.3	39.8
	関東 229 号 (多肥栽培)	0.0	0.0	0.4	5.0	17.0	34.5	43.1
	コシヒカリ	0.0	0.4	0.6	1.7	7.6	43.5	46.2
	北陸 166 号	0.0	0.1	0.4	1.5	3.5	29.7	64.7
	関東 227 号	0.0	0.2	1.3	8.4	19.6	33.9	36.5
	関東 227 号 (多肥栽培)	0.0	0.1	0.5	5.9	29.7	30.2	33.6
	北海 293 号	0.0	0.1	0.1	1.2	6.1	37.4	55.1
	ホシニシキ	0.0	0.3	0.6	1.6	10.4	33.7	53.3
	ホシニシキ (多肥栽培)	0.0	0.3	0.9	2.1	30.3	30.5	36.0
	北陸 207 号	0.0	0.2	0.6	2.2	5.9	25.8	65.3

図 1 米粉ミックスのアミロース含量とファリノグラフ吸水率の関係

最も多くを占める澱粉の吸水特性が、米粉の吸水性に大きく影響していることを示唆している。本試験では米粉の粗蛋白質含量とファリノグラフ吸水率との関係は明確ではなかったが、斉藤²⁵⁾や平ら²⁶⁾が報告しているようにホシニシキでは粗蛋白質含量の増加によりファリノグラフ吸水率が若干低下したことから、蛋白質含量の影響については、今後更に詳細な調査が必要と考えられる。

油脂添加後のミキシング時には品種間差が認められ、90 秒 (2006 年産はなえまき他) から 220 秒 (2005 年産夢十

色) と大きく異なっていた (表 7)。ファリノグラフ吸水率が高い試料のミキシング時間は短い傾向が示されたが、例外的に関東 229 号は吸水率が高くミキシング時間が長い値を示した。北海 293 号はファリノグラフ吸水率が 79.7% と高く、ミキシング時間が 90 秒と大幅に短いなど、同程度のアミロース含量の品種系統とは異なる特性を示した。米粉の蛋白質組成がミキシングに与える影響が報告されているので²⁷⁾、今後は低グルテン米等の蛋白質組成変異米や施肥との関係を明らかにする必要がある。

パンの比容積 (以下比容積) は 2.5~4.4 と大きな試料間差があり、低アミロース米 (アミロース含量 6~10%) で小さく、中アミロース米 (アミロース含量 16~22%) および高アミロース米 (アミロース含量 30~36%) で比較的大きい傾向が認められた (表 7)。詳細に検討すると、低グルテン米 3 品種と北陸 166 号の比容積はほぼ 4 以上と、他の品種と比較し高い値を示したが、米の産年により比容積に若干の差が認められた。米粉パンの断面形状を図 2 に示した。低アミロース米を用いた米粉パンは大きくケービングし、特に朝つゆやスノーパールは著しいケービングを示した。ケービング率は 18.9%~52.6% と高い値であった (表 7)。中アミロース米では 9.0~21.4%、高アミロース米では 2.1%~15.2% のケービング率を示したが、後者では外観上はほとんどケービングは認められなかった。江川²⁸⁾は、吸

表 6 米粉ミックス試料のビスコグラフ特性

産年	試料名	アミロース 含量 (%)	糊化開始 温度 (℃)	最高粘度		最低粘度 (BU)	最終粘度 (BU)	ブレーク ダウン (BU)	コンシス テンシー (BU)
				(BU)	(℃)				
2005	朝つゆ	6.8	66.0	660	88.5	280	560	380	280
	LGC ソフト	10.0	66.0	470	88.5	235	475	235	240
	コシヒカリ	17.6	69.0	730	91.5	355	730	375	375
	中国酒 185 号 (みずほのか)	17.9	69.0	620	93.0	315	690	305	375
	北陸 166 号	18.0	67.5	300	91.5	160	410	140	250
	夢十色	35.6	69.0	620	93.0	580	1210	40	630
2006	スノーパール	5.9	66.0	480	79.0	210	425	270	215
	はなえまき	8.5	66.0	490	83.5	200	435	290	235
	ミルククイーン	8.5	67.5	670	85.7	340	665	330	325
	ブレンド A (アミロース 13%)	13.0	66.0	570	90.0	270	540	300	270
	北陸 166 号	15.8	73.5	240	84.0	110	300	130	190
	コシヒカリ	18.0	70.5	630	87.5	300	640	330	340
	日本晴	19.5	72.0	600	88.8	340	705	260	365
	春 陽	21.7	73.5	550	87.3	300	670	250	370
	ブレンド B (アミロース 25%)	25.0	69.0	580	91.5	390	840	190	450
2007	夢十色	33.2	75.0	530	90.0	510	1025	20	515
	関東 229 号	8.8	67.5	785	90.0	390	740	395	350
	関東 229 号 (多肥栽培)	9.6	70.5	760	91.5	380	690	380	310
	ブレンド C (アミロース 13%)	13.0	72.0	670	91.5	325	630	345	305
	コシヒカリ	16.2	67.5	620	91.5	280	570	340	290
	北陸 166 号	16.7	70.5	220	88.5	100	260	120	160
	関東 227 号	19.5	69.0	665	91.5	305	615	360	310
	関東 227 号 (多肥栽培)	18.3	70.5	660	91.5	315	625	345	310
	北海 293 号	20.8	67.5	450	91.5	260	580	190	320
	ブレンド D (アミロース 25%)	25.0	75.0	450	91.5	270	600	180	330
	ホシニシキ	30.6	69.0	315	91.5	240	580	75	340
参考	ホシニシキ (多肥栽培)	30.9	69.0	320	91.5	240	595	80	355
	北陸 207 号	31.5	75.0	340	91.5	235	465	105	230
	参考：小麦粉 (日清製粉カメラ)	—	72.0	240	88.5	190	500	50	310

産年

2005

朝つゆ LGCソフト 北陸 166 号 中国酒 185 号 (みずほのか) コシヒカリ 夢十色

2006

スノーパール はなえまき ミルククイーン ブレンド A (アミロース 13%) 北陸 166 号 コシヒカリ 日本晴 春陽 ブレンド B (アミロース 25%) 夢十色

2007

関東 229 号 関東 229 号 (多肥栽培) ブレンド C (アミロース 13%) コシヒカリ 北陸 166 号 関東 227 号 関東 227 号 (多肥栽培) 北海 293 号 ブレンド D (アミロース 25%) ホシニシキ ホシニシキ (多肥栽培) 北陸 207 号

図 2 米粉パンの断面形状

表 7 米粉ミックス試料の製パン特性

産年	試料名	ファリノグラフ吸水率 (%)	ミキシング時間 (秒)	パン比容積 (ml/g)	ケービング率 (%)
2005	朝つゆ	85.2	90	2.91	52.6
	LGC ソフト	81.4	160	4.19	18.9
	コシヒカリ	78.8	200	3.82	10.1
	中国酒 185 号 (みずほのか)	78.8	140	4.21	12.5
	北陸 166 号	77.6	170	4.40	14.9
	夢十色	74.1	220	3.98	4.0
2006	スノーパール	81.1	110	2.51	41.9
	はなえまき	82.5	90	3.15	39.3
	ミルクークイーン	80.5	120	3.18	27.4
	ブレンド A (アミロース 13%)	79.5	110	3.34	27.2
	北陸 166 号	77.3	160	3.99	10.9
	コシヒカリ	75.5	160	3.63	11.1
	日本晴	74.8	150	3.97	9.0
	春 陽	75.5	160	4.04	9.8
	ブレンド B (アミロース 25%)	75.2	130	3.86	12.0
	夢十色	73.8	210	3.94	2.1
2007	関東 229 号	80.8	200	3.17	23.6
	関東 229 号 (多肥栽培)	81.0	150	3.11	28.0
	ブレンド C (アミロース 13%)	80.8	120	3.43	20.8
	コシヒカリ	81.8	140	3.52	21.4
	北陸 166 号	78.0	140	3.94	20.1
	関東 227 号	78.3	150	3.46	17.8
	関東 227 号 (多肥栽培)	78.1	150	3.49	14.2
	北海 293 号	79.7	90	3.61	16.4
	ブレンド D (アミロース 25%)	77.1	150	3.75	16.6
	ホシニシキ	78.0	100	3.52	11.2
	ホシニシキ (多肥栽培)	77.6	120	3.67	15.2
	北陸 207 号	74.4	150	3.67	13.3

ファリノグラフ吸水率：ファリノグラフ粘度 500 BU に要した水量（水分 13.5% 米粉ミックス 100 g 当換算値）

ミキシング時間：油脂添加後，最適生地を得るまでのミキシングに要した時間

比容積：パン容積 (ml)/パン重量 (g)

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適することを報告している．また瀧尾²⁹⁾は，最適な吸水量が多い場合にはグルテン膜形成ができたとしても発酵時の生地が重くてボリュームが出ず，焼成時に内部が「おかゆ」状態となるためケービングしたパンとなることを報告している．さらに最近，荒木ら³⁰⁾は米粉の損傷澱粉量と比容積間に有意な負相関があり，ペクチナーゼ処理後に気流粉碎機で製粉された米粉は損傷澱粉量が少なく高いパン比容積を示すことを指摘している．本研究でも酵素処理法で米粉を調製し，得られた米粉の損傷澱粉量はいずれも低い値であったが，損傷澱粉量が低くても低アミロース米の米粉は高いファリノグラフ吸水率を示すことから，米粉パン製造にとって適さないと考えられた．楠瀬³¹⁾はタピオカ澱粉製のパンが焼成・膨張後した後に収縮（ケービング）する原因として，①糊化したタピオカ澱粉が高い粘性を持ったまま気孔壁と一体化し気孔壁が固定化せずに，②気孔壁に亀裂が生じないため気孔内の気密性を保持したまま組織内圧力が低下し大きく収縮するためと報告している．タピオカ澱粉のビ

スコグラフ特性は低い糊化温度，高い最高粘度，大きなブレークダウン，低い最終粘度であり，低アミロース米も類似したビスコグラフ特性を示す．低アミロース米の米粉パンが著しいケービングを示すことは，糊化特性がパン製造時のケービングに影響を及ぼすことを示唆している．

28 点の米粉のアミロース含量と比容積との関係には高い相関 ($r=0.521$, 1% 有意) が認められ，比容積が最大となるアミロース含量は 25% 前後と推定された (図 3)．比容積の大きな低グルテリン米および粉質胚乳米を除いた 21 点の場合，さらに高い相関 ($r=0.801$, 0.1% 有意) を示した．しかし複数の米粉をブレンドして所定のアミロース含量とした米粉パンにおいて，アミロース含量が同じでも比容積やケービング率は異なること (表 7, 図 3)，低グルテリン米や粉質胚乳米では同程度のアミロース含量の一般米と比較し高い比容積を示すことから，比容積やケービング率には見かけのアミロース含量以外の要因も関係していることが推察された．

5. 米粉パンの硬度

米粉パンの焼成後の硬度変化をテンシプレッサーにより

表 8 米粉パンの焼成後硬度の変化

産年	試料名	焼成後日数					平均硬化速度 (g/日)
		0 日	1 日	2 日	3 日	4 日	
2005	朝つゆ	—	—	—	—	—	—
	LGC ソフト	4.5	7.9	14.9	27.7	36.3	8.3
	コシヒカリ	6.5	22.0	59.3	121.4	145.9	37.8
	中国酒 185 号 (みずほのか)	7.9	15.9	38.7	74.4	96.0	23.4
	北陸 166 号	7.9	22.2	55.8	106.5	109.6	28.8
	夢十色	37.5	137.5	224.3	304.2	273.0	63.8
2006	スノーパール	—	—	—	—	—	—
	はなえまき	—	—	—	—	—	—
	ミルククイーン	6.1	13.0	18.3	23.0	34.4	6.7
	ブレンド A (アミロース 13%)	13.2	17.5	20.4	24.9	28.9	3.9
	北陸 166 号	10.2	18.7	34.0	45.6	65.4	13.7
	コシヒカリ	15.9	21.8	34.0	53.4	75.2	15.0
	日本晴	21.6	29.1	33.0	58.7	83.7	15.4
	春 陽	16.5	27.8	34.4	48.7	78.2	14.4
	ブレンド B (アミロース 25%)	30.6	59.9	82.5	103.7	107.6	19.8
	夢十色	29.4	82.6	136.7	170.7	199.6	42.8
2007	関東 229 号	14.3	17.7	17.7	24.4	26.7	3.2
	関東 229 号 (多肥栽培)	12.0	15.3	16.9	25.1	33.2	5.2
	ブレンド C (アミロース 13%)	16.9	22.6	32.2	37.3	42.0	6.5
	コシヒカリ	18.6	25.9	28.1	40.9	51.3	8.1
	北陸 166 号	13.0	25.3	35.2	51.3	47.9	9.6
	関東 227 号	15.1	22.2	35.0	46.2	60.5	11.5
	関東 227 号 (多肥栽培)	19.4	25.5	40.7	59.1	76.0	14.7
	北海 293 号	19.6	34.2	35.9	58.7	60.5	10.6
	ブレンド D (アミロース 25%)	21.6	107.8	148.5	168.1	160.1	33.7
	ホシニシキ	27.1	58.1	77.8	106.7	118.6	23.2
	ホシニシキ (多肥栽培)	28.9	60.7	77.0	106.5	118.0	22.4
	北陸 207 号	32.8	198.8	282.1	297.8	283.6	60.1

パン硬度 : gf/cm²

平均硬化速度 : パン硬度増加の近似式からの計算値

図 3 米粉パン比容積とアミロース含量の関係

測定した (表 8). なお, ケービングが著しい低アミロース米の米粉パンについては測定を行わなかった. 焼成後 0 日のパン硬度は 4.5~37.5 gf/cm² の範囲に分布し, 低アミロース米で低く, 高アミロース米で高い傾向が認められた. 日数の経過とともにパンの硬度は増大し, 焼成 4 日後には 26.7~283.6 gf/cm² となった. 焼成後の全ての日時にパン

硬度と米粉のアミロース含量との間に相関 ($r=0.777 \sim 0.861$, 0.1% 有意) が見られたが, 硬度や硬化速度には産年変異や品種間差も存在した. なお, 北陸 166 号は同程度のアミロース含量の通常米に比べ焼成 0 日後の硬度や硬化速度が低い値を示した. また, 低グルテリン系統でも焼成後 0 日のパン硬度や硬化速度が低い品種が認められた. 張³²⁾ は春陽と LGC ソフトから作製した米粉パンはあきたこまち米粉パンより柔らかいことを報告している. これらのことは, 米の蛋白質組成がパンの物性に影響を与えていることを示唆している.

以上の結果から, 酵素処理米粉を用いて米粉パンを製造する場合, 低アミロース米は生地の水吸水性が高くケービングしやすいこと, 高アミロース米はケービングは起こらないもののパンの硬化程度が高く硬化速度も早い傾向が確認され, 中アミロース米 (アミロース含量 15~25% 程度) が米粉パン製造適性に優れると思われる.

要 約

16 品種・系統 24 点の米を用いて米粉試料を調製し, 粗蛋白質含量, アミロース含量, 損傷澱粉量および粒度構成

を測定した。米粉の粒度は全ての供試材料で 200 メッシュ通過割合が 90% 以上だったが、粒度構成は米粉試料により異なった。特徴的な品種は 300 メッシュ通過割合が他種類に比べ高かった北陸 166 号であり、損傷澱粉量も少ない傾向が認められた。

グルテンを添加混合した米粉の物性を測定したところ、ファリノグラフ吸水率は品種間差が存在し、米粉のアミロース含量との相関が認められた。一方、米粉パンの比容積や形状は米粉試料により異なり、グルテンを添加混合した米粉中のアミロース含量やビスコグラフ特性と相関がある事が示唆された。なお、米粉パンの最大比容積は米粉のアミロース含量が 25% 前後で得られると推定された。米粉パンの硬度は米粉のアミロース含量と相関が認められた。焼成後の時間の経過とともにパンの硬度は増加したが、品種により硬度の増加速度に違いが認められた。アミロースや蛋白質含量が同程度の品種に比べ、粉質米や低グルテリン米ではパンの硬度や硬化速度が低いものも存在し、米の蛋白質組成等がパン物性に影響を与えていることが示唆された。以上の結果から、中アミロース米（アミロース含量 15~25% 程度）が米粉パン製造適性に優れると思われた。

本研究は農林水産省プロジェクト研究「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発（加工プロ）4 系（稲）」の一環として行われたものである。

文 献

- 高野博幸, 山方次郎, 花木 満, 小柳 妙, 田中康夫, 調製法を異にする米粉の添加が小麦粉生地物性および製パン性に及ぼす影響, 食品総合研究所研究報告, **34**, 35-43 (1979).
- 高野博幸, 豊島英親, 渡辺敦夫, 小柳 妙, 田中康夫, 生米粉の性状がレオロジー特性および製パン性に及ぼす影響, 食品総合研究所研究報告, **48**, 43-51 (1986).
- 高野博幸, 豊島英親, 小柳 妙, 田中康夫, 米粉高置換ライスブレッドの品質改善, 食品総合研究所研究報告, **48**, 52-62 (1986).
- 穴戸功一, 江川和徳, ベクチナーゼ処理による米粉の製造法及びその製パン適性(第 1 報) 米の粉食化に関する研究, 新潟県食品研究所研究報告, **27**, 21-28 (1992).
- 林原生物化研, (株)林原がトレハロース使用の「米粉パン」を開発 米の消費拡大と食料自給率向上にも大きな期待, 食の科学, **291**, 36-39 (2002).
- 宗像良治, 小島信吾, コメの多角的利用 米粉パンと油脂について, 食品工業, **45**, 13, 38-46 (2002).
- 川合敏之, コメの多角的利用 トレハロースを使用した「米粉パン」の開発, 食品工業, **45**, 13, 47-51 (2002).
- 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, 日調科誌, **37**, 352-359 (2004).
- 福山明子, 日高照利, 十川隆博, 工藤哲三, 県産米を利用した米粉パンの開発, 宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告, **49**, 89-93 (2005).
- 山木一史, 清水英樹, 岩下敦子, 太田智樹, 中野敦博, 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研究報告, **7**, 17-20 (2007).
- 青木法明, 多種多様な, 米粉パンと米粉パン向き米粉, 農林経済, **9982**, 2-7 (2008.10.20).
- 堀末 登, 石谷孝佑, 新しい形質を導入した新形質米品種の開発と利用の展望, 「21 世紀に向けた美味しい米の開発戦略」, 初版, (社団法人農林水産技術情報協会, 東京), pp. 115-135 (1996).
- 加藤 浩, 新しい米「新形質米」とその利用, 食品と科学, **48**, 6, 34-37 (2006).
- Juliano, B.O., A simplified assay for milled-rice amylose, *Cereal Sci. Today*, **12**, 334-360 (1971).
- 柴田茂久, 小麦粉の加工適性評価法, 「食品分析法」, 日本食品工業学会編, (光琳, 東京), pp. 619-626 (1982).
- 日本イースト工業会, 製パン試験法 [V-1] 直捏法 (ストレート法) 1 食パン, 「パン用酵母試験法」, 平成 7 年 8 月改訂, (日本イースト工業会, 東京), p. 8 (1996).
- 中村幸一, 製菓・製パン技術の近況 米粉パンの開発, ジャパンフードサイエンス, **11**, 55-59 (2001).
- Homma, N., Morohashi, K., Yoshii, Y., Hosokawa, H. and Miura, K., Properties and components of the floury and sugary rice cultivars development in the Hokuriku region, *Food Sci. Technol. Res.*, **12**, 213-217 (2006).
- Xie, L., Chen, N., Duan, B., Zhu, Z. and Liao, X., *Journal of Cereal Science*, **47**, 372-379 (2008).
- 長尾清一, 小麦粉, 「製パンの科学 II 製パン材料の科学」, 初版, 田中康夫, 松本博編, (光琳, 東京), pp. 33-34 (1992).
- 有坂将美, 中村幸一, 吉井洋一, 製粉方法を異にした米粉の性質, 澱粉科学, **39**, 155-163 (1992).
- 長沼誠子, 米粉の理化学的性質及び調理特性に及ぼす微粉化の影響, 秋田大学教育文化学部研究紀要 自然科学, **58**, 29-35 (2003).
- 大久長範, 小玉郁子, 星野 育, 鶴巻ひとみ, 大能俊久, 低アミロース米「早炊きこまち」を用いた早炊き炊飯, 食科工, **54**, 339-342 (2007).
- 吉井洋一, 有坂将美, 城斗志夫, 早川利郎, 低アミロース米の理化学的特性, 食科工, **44**, 353-360 (1997).
- 農林水産省農林水産技術会議事務局, 米の新加工食品の開発, 農林水産省農林水産技術会議事務局研究成果, **161**, 15-32 (1984).
- 平 俊雄, 庄司一郎, タンパク質の除去が精米粉の膨潤度と溶解度に与える影響, 食科工, **47**, 638-641 (2000).
- Oszvald, M., Tömösközi, S., Larroque, O., Békés, F., Keresztényi, E. and Tamás, L., Characterization of rice storage proteins by SE-HPLC and micro z-arm mixer, *Journal of Cereal Science*, **48**, 68-76 (2008).
- 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**, 10, 11-16 (2003).
- 瀧尾佳明, お米の力再発見 米粉食品の普及と米粉パン, 月刊フードケミカル, **23**, 4, 38-44 (2007).
- 荒木悦子, 池田達哉, 芦田かなえ, 高田兼則, 谷中美貴子, 飯田修一, 損傷デンプンの量と米粉の形状は米粉の製パン性に影響する, 平成 18 年度近畿中国四国農業研究成果情報, 21-22 (2007).
- 楠瀬千春, スポンジケーキ・パンの気孔構造の形成へ及ぼす気泡と澱粉粒の相互作用, 日調科誌, **37**, 135-142 (2004).
- 張 函, 低グルテリン米に由来する米粉のタンパク質組成特性および食味特性の解明, 食に関する助成研究調査報告書, **19**, 83-92 (2006).

(平成 21 年 1 月 5 日受付, 平成 21 年 3 月 24 日受理)