

餅つき機を利用した「衝撃式微粉碎米粉」の製パン技術とその加工特性

西田 阿斗・岡田 みゆき*・忠谷 睦美*

Making Bread with Impact-Milled Rice Flour Using Rice Cake Machine and Processing Characteristics

Ato NISHIDA, Miyuki OKADA and Mutsumi CYUTANI

キーワード：硬化抑制，米粉，衝撃式粉碎機，損傷澱粉率，低コスト化，パン，餅つき機

県内の小規模な農村女性起業グループ等でも取り組みやすい「米粉パン」の加工技術の確立を目的に、衝撃式粉碎機で粉碎した米粉を利用した製パン技術を確認し、その加工特性を明らかにした。

- 1) 「米粉パン」に適した米粉の粒度および生地の混捏方法は、粉碎機のスクリーン穴の大きさ直径0.1mmを通過した粉を利用し、縦型ミキサーよりも餅つき機で混捏する方法が適している。
- 2) 砂糖およびバターを基本配合の8%から10~12%に増量する、もしくは卵を4~10%添加することで、「米粉パン」の硬化を抑制でき、パンの柔らかさ保つことができる。
- 3) 粒厚1.85mm以下の米のパン加工適性は、粒厚1.90mm以上の米より優れる。加えて、一斤あたりの原材料費は、粒厚1.85mm以下の米が106~120円、粒厚1.90mm以上の米が166円であり、粒厚1.85mm以下の米を利用することで、原材料費を一斤あたり46~60円抑えることができる。
- 4) 本県育成品種および多収品種を材料としてパンを加工すると、「コシヒカリ」と比べて、生地作成の作業性は劣るが、「味」の評価は同等である。
- 5) 衝撃式粉碎機で粉碎した米粉を利用したパンは、気流式よりも「膨らみ」は劣るが、米粉の特徴である「もちもち感」と「しっとり感」で優れる。

1. 緒言

滋賀県は、中央に琵琶湖を有した温和な気候が水田農業に適しており、環境にこだわった「近江米」の生産が盛んである。

しかし、食生活の変化により、国民一人あたりの米の消費量は、昭和37年度の年間118.3kgをピークに、平成21年度には58.5kgと半減し、今後もさらなる減少が見込まれている⁷⁾。また、米の生産調整や、高齢化および労働力不足により、水稻の作付面積は減少の一途をたどっている⁸⁾。このような背景から、米の「ごはん」としての粒食利用には限界があると言われており、新たな需要拡大を目的とした用途開発が強く求められている。

そのような状況の中、米を粉として利用する試みとして「微粉碎米粉」が注目されている。「米粉」は、古くから上新粉や

*現、東近江農業農村振興事務所農産普及課

上用粉等として和菓子に利用されるのみで用途が限られていた。そこで、新たにパンや麺等の小麦粉分野への用途拡大として、米を小麦粉並の細かさまで微粉碎する技術研究が進んだ。その結果、新潟県でパンに適する「微粉碎米粉」の製造方法が開発された³⁾ことをきっかけに、「米粉パン」の取り組みが全国へ拡大した。

一方、県内では、「安全・安心」や「地産地消」という観点から、農村女性起業グループ等を中心に、生産履歴が明確な地元産の米を利用した「米粉パン」加工の取り組みが始まった。しかし、パンに適する「微粉碎米粉」の製粉設備は非常に高額であるため、県内に導入されていなかった。このため、県外へ製粉を委託する必要があるが、委託製粉代や輸送費等の費用負担が大きい上に、委託製粉できる米のロットが大きく、少量製粉には向いていないことが問題であった。そこ

で、小規模な農村女性起業グループ等でも取りくみやすい、少量加工向きのパンに適した「微粉碎米粉」の開発と製パン技術の確立が求められていた。

これを受けて、少量製粉に対応できる「微粉碎米粉」の製造が可能な「篩付高速粉碎機 (HT-1-KJ2FS) ; 宝田工業製」が開発され、県内の農産加工施設に導入された。この粉碎機は、一般的に「衝撃式 (乾ピンミル式) 」と呼ばれ、米をパンに適する細かさまで粉碎することはできないとされていた³⁾が、粉碎機の改良により、パンを製造できる細かさまで米を粉碎することが可能になった (以下、この粉碎機で粉碎した「微粉碎米粉」を「衝撃式微粉碎米粉」とする)。「衝撃式微粉碎米粉」は、新潟県で開発された「微粉碎米粉」よりも粒の大きさは粗く、パンの膨らみは劣るが、製粉設備が安価で少量製粉に対応でき、製粉費用の削減も期待できる。つまり、生産から加工、販売までを一体化した「地産地消」に向けた「微粉碎米粉」であるといえる。

しかし、「衝撃式微粉碎米粉」を利用して、実際にパンを加工すると、生地を混捏中にミキサーの回転が停止するという問題が生じた。これは、「米粉パン」の加水量が小麦粉パンよりも10%以上多く生地が重いこと、また、「米粉パン」の生地は小麦粉パンの生地よりも硬く伸展性に乏しいことが原因で、ミキサーに負荷がかかっていると考えられた。このため、機械への負担が少ない生地の混捏方法について検討したところ、杵搗方式の餅つき機を利用すると、機械を停止させずに、生地を混捏することができたため、「衝撃式微粉碎米粉」を利用したパンの混捏方法として有望であると考えた。加えて、粉碎機の「スクリーン」を変えることにより、米粉の粒度の調節が可能であることから、生地の混捏方法と合わせて、パンに適する米粉の粒度について検討する必要がある。さらに、「米粉パン」の特徴として、小麦粉パンよりも硬化が速く、原材料費が高いという問題があり、「衝撃式微粉碎米粉」を利用したパンに関して、硬化抑制技術や米粉価格を低減する方法を明らかにする必要があった。

そこで、本試験では、「衝撃式微粉碎米粉」の製パン技術について、パンに適した米粉の粒度および生地の混捏方法を検討した。また、その加工特性について、硬化抑制が期待できる副材料とその配合割合、価格の安い米として粒厚1.85mm以下の米のパン加工適性、米の品種や粉碎方法による米粉の特性がパンの品質に及ぼす影響について検討を行ったので報告する。

2. 材料および方法

2.1 供試米粉の調製

米は、「衝撃式 (乾ピンミル式) 」の粉碎機である篩付高速粉碎機 (HT-1-KJ2FS) で粉碎した (図1)。米粉の調製は、次の方法で行った。精白米を粉碎機に投入し、回転部分の外側にある「スクリーン」に開いた穴 (直径0.05mmおよび直径0.1mm)

を通り抜ける大きさになるまで粉碎し、100メッシュ (篩目開き150 μ m) の篩で篩分けた。篩を通過した粉を「衝撃式微粉碎米粉」として試験に供試した。

2.2 「米粉パン」の配合割合および製パン工程

「米粉パン」の配合割合は表1のとおりとし、製パン工程は、「シトギ法」^{9) 10)}を参考にした (図2)。すなわち、バターを除く材料を、縦型ミキサー (万能混合攪拌機マイティ15; 愛工舎製作所製) により低速で1分30秒混合した後、バターを追加し、さらに12分混捏を行った。混捏した生地は、分割後、ねかしを20分行い、成型および発酵機 (電子発酵機 SK-15; 大正電機製) による発酵後、ガスオープン (RCK-10M; リンナイ製) で焼成した。



図1 篩付高速粉碎機 (HT-1-KJ2FS)

表1 米粉パンの配合割合

材料	分量 ¹⁾	割合(%) ²⁾
米粉	720g	
グルテンミックス ³⁾	180g	
砂糖	72g	8
バター	72g	8
スキムミルク	45g	5
ドライイースト	22.5g	2.5
食塩	18g	2
水	720g	80

注1) 1.5斤の食パン2個分の分量を示した。

注2) 米粉+「グルテンミックス」に対する割合を示した。

注3) グリコ栄養食品製を使用した。

2.3 「衝撃式微粉碎米粉」の製パン技術

2.3.1 パンに適した米粉の粒度および生地の混捏方法

「衝撃式微粉碎米粉」を利用したパンに適した、米粉の粒度および生地の混捏方法を2005年に調査した。

(1) 供試材料と米粉の粒度調製

米は湖北産「コシヒカリ」(2005年産) を供試した。

米粉は、粉碎機の「スクリーン」を変えることで、直径0.05mmを通過した粉 (以下、「0.05粉」とする) および直径0.1mmを通過した粉 (以下、「0.1粉」とする) の2種類の粒度の米粉を調製した。

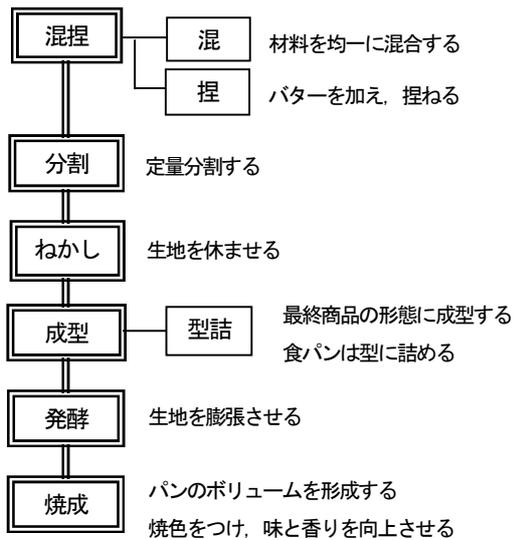


図2 製パン工程

(2) 製パン方法

2. 2に示した製パン工程における、バター追加後の生地の混捏方法を、縦型ミキサー（中速）で12分混捏する方法（以下、「ミキサー方式」とする）および縦型ミキサー（中速）で2分混捏後、杵搗式の小型自動餅搗機（中井機械工業製）で10分混捏する方法（以下、「餅つき方式」とする）（図3）により生地を調製し、2つに分割後、ワンローフ型に成型し、1.5斤のパン型（内寸L180×W105×H125, mm）に詰め、発酵30℃・30分、焼成180℃・30分を行った。



ミキサー方式

餅つき方式

図3 生地の混捏方法

(3) 調査項目

①パンの品質評価

焼成後、1時間放冷したパンの高さおよび体積（菜種置換法）を測定した。また、焼成当日を0日としたときの焼成0～1日後のパンについて、内相の硬さをレオメーター（NRM-2010J-CW；不動工業製）で測定した。

②パンの官能評価

「0.1粉」を利用した「餅つき方式」および「ミキサー方式」で生地を混捏したパンの外観品質（表皮、焼色、形）、内相品質（内部色、すだち（気泡の大きさ）、触感）および食味（もちもち感、香り、味、甘味）の10項目について、評点法により5段階で評価した。

2. 4 「衝撃式微粉碎米粉」のパン加工特性

2. 4. 1 副材料の増量、添加によるパンの硬化抑制

「米粉パン」の硬化抑制を目的に、パンの副材料である砂糖およびバターの増量、または卵の添加がパンの品質に及ぼす影響について2006年に調査した。

(1) 供試材料

米は湖北産「コシヒカリ」（2006年産）を、「0.1粉」に調製し供試した。

(2) 製パン方法

副材料の「砂糖」および「バター」では、基本の8%添加区（表1）と10%、12%添加区の3試験区を設定した。また、「卵」では、基本の0%添加区（表1）と4%、6%、8%、10%添加区の5試験区を設定した。生地を調製し、2つに分割後、ワンローフ型に成型し、1.5斤のパン型に詰め、発酵30℃・30分、焼成180℃・30分を行った。

(3) 調査項目

①パンの品質評価

焼成後、1時間放冷したパンの高さおよび体積を測定した。また、焼成当日を0日としたときの焼成0～2日後のパンについて、内相の硬さをレオメーターで測定した。

2. 4. 2 粒厚1.85mm以下の米のパン加工適性

米粉価格の低減を目的に、粒厚1.85mm以下の米のパン加工特性について2006年に調査した。

(1) 供試材料

農業技術振興センター産「コシヒカリ」（2006年産）を粒厚で選別し、粒厚1.85mm以下の米（以下、「1.85mm以下米」とする）および粒厚1.90mm以上の米（以下、「1.90mm以上米」とする）をそれぞれ粉碎し、「0.1粉」に調製し供試した。また、「1.85mm以下米」の粒厚分布は坪刈用縦目篩選別機で、米粉の粒度分布は電磁式篩分け振とう機オクタゴンデジタル（セイシン企業製）で測定した。

(2) 製パン方法

生地を調製し、2つに分割後、ワンローフ型に成型し、1.5斤のパン型に詰め、発酵30℃・30分、焼成180℃・30分を行った。

(3) 調査項目

①パンの品質評価

焼成後、1時間放冷したパンの高さおよび体積を測定し、内相の色調は測色色差計（ND-1001；日本電色工業製）で測定した。また、焼成当日を0日としたときの焼成0～2日後のパンについて、内相の硬さをレオメーターで測定した。

②パンの官能評価

「1.85mm以下米」および「1.90mm以下米」から製パンしたパンの外観品質（表皮、焼色、形）、内相品質（内部色、すだち、触感）および食味（もちもち感、香り、味）の9項目について、「1.90mm以上米」を基準（3点）と

し、評点法により5段階で評価した。

(4) 原材料費の試算

「1.85mm以下米」および「1.90mm以上米」の価格(2007年時点)から、「米粉パン」の原材料費の試算を行った。なお、価格は農協から聞き取り、精米の歩留まりを90%、製粉の歩留まりを80%として計算した。

2. 4. 3 品種特性がパンの品質に及ぼす影響

本県育成品種および多収穫品種の米粉特性が、パンの品質に及ぼす影響について2009年に調査した。

(1) 供試材料

農業技術振興センター産「コシヒカリ」(2008年産)、本県育成品種として「レーク65」(2008年産)、「ゆめおうみ」(2009年産)および「吟おうみ」(2009年産)、多収穫品種として「ホシアオバ」(2008年産)および「クサノホシ」(2008年産)の6品種を粉砕し、「0.1粉」に調製し供試した。

(2) 製パン方法

生地を調製し、2つに分割後、1つはワンローフ型に成型し、1.5斤のパン型に詰め、発酵40℃・40分、焼成180℃・30分を行い、品質評価に供試した。残りの生地は、80gずつに分割し、ワンローフ型に成型し、ミニ食パン型(内寸L95×W45×H50, mm)に詰め、発酵40℃・25分、焼成180℃・20分を行い、官能評価に供試した。なお、加水温は一定(25℃)とした。

(3) 調査項目

① 米粉の特性

米粉の粒度分布は電磁式篩分け振とう機オクタゴンデジタル(セイシン企業製)で、水分含有率は常圧乾燥法で、アミロース含有率はオートアナライザーⅡ(テクニコン製)で測定した。また、米粉の損傷澱粉率を酸溶解法²⁾で、吸水量は乾物重1gあたりの最大吸水量を測定した。

② パンの品質評価

製パン時の室内温度、粉温度および捏上温度を測定し、混捏後の生地の柔らかさ、べたつきおよび伸びを観察した。また、焼成したパンの高さ、体積および比容積(体積/重さ)を測定し、内相の硬さは卓上型物性測定器(TPU-2S; 山電製)で測定した。

③ パンの官能評価

6品種から製パンしたパンの外観品質(表皮、焼色、形)、内相品質(内部色、すだち、触感)および食味(食感、香り、味)の9項目について、「コシヒカリ」を基準(3点)とし、評点法により5段階で評価した。

2. 4. 4 粉砕方法がパンの品質に及ぼす影響

「衝撃式微粉碎米粉」および「気流式」の「微粉碎米粉」(以下、「気流式微粉碎米粉」とする)の特性が、パンの品質に及ぼす影響について2009年に調査した。

(1) 供試材料

農業技術振興センター産「コシヒカリ」(2008年)を粉砕し、「0.1粉」に調製し供試した。

(2) 製パン方法

生地を調製し、「食パン」および「あんパン」を製パンした。「食パン」は、2つに分割後、1つをワンローフ型に成型し、1.5斤のパン型に詰め、発酵40℃・40分、焼成180℃・30分を行い、品質評価に供試した。残りの生地は、80gずつに分割し、ワンローフ型に成型し、ミニ食パン型に詰め、発酵40℃・25分、焼成180℃・20分を行い、官能評価に供試した。「あんパン」は、生地を50gずつに分割し、丸く成型し、小豆餡(30g)を包み、発酵40℃・20分、焼成180℃・15分を行い、官能評価に供試した。

(3) 調査項目

① 米粉の特性

米粉の水分含有率および損傷澱粉率、吸水量を測定し、色調は測色色差計(ZE-6000; 日本電色工業製)で測定した。

② パンの品質評価

混捏後の生地の柔らかさ、べたつきおよび伸びを観察した。また、焼成したパンのケービング(焼成後、パンの側面が内側にへこむ現象)の程度を観察し、高さ、体積、比容積を測定し、内相の硬さは卓上型物性測定器で測定した。

③ パンの官能評価

「衝撃式微粉碎米粉」および「気流式微粉碎米粉」のパンの特性について、SD法により評価を行った。

3. 結果

3. 1 「衝撃式微粉碎米粉」の製パン技術

3. 1. 1 パンに適した米粉の粒度および生地の混捏方法

パンの高さおよび体積は、「0.05粉」を利用した「餅つき方式」で劣り、それ以外ではほぼ同等であった。パンの内相の硬さは、「0.1粉」は「0.05粉」よりも、焼成当日および焼成1日後ともに柔らかかった(表2, 図4)。「0.1粉」を利用したパンの官能評価は、「餅つき方式」が「ミキサー方式」よりも、「すだち」の評価が高く、その他の項目はほぼ同等であった(図5)。

表2 米粉の粒度および生地の混捏方法によるパンの品質(n=12)

米粉粒度	混捏方法	混捏時間(分)		高さ(cm)	体積(cm ³)	焼成各日数後の硬さ(g/cm ³) ^{注1)}	
		ミキサー	餅つき			0日	1日
0.05粉	餅つき方式	2	10	12.8a ^{注2)}	2064a	42.2	59.3
	ミキサー方式	12	0	14.1b	2226b	33.7	57.7
0.1粉	餅つき方式	2	10	14.2b	2389b	31.8	46.2
	ミキサー方式	12	0	14.4b	2287b	33.0	42.4

注1) 値が大きい方が硬いことを示す。

注2) 異なるアルファベット間に有意差があることを示す(p<0.05, tukey法)。

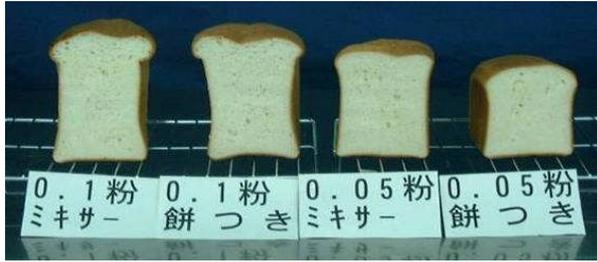


図4 米粉の粒度および生地への混捏方法によるパンの形状（焼成当日）

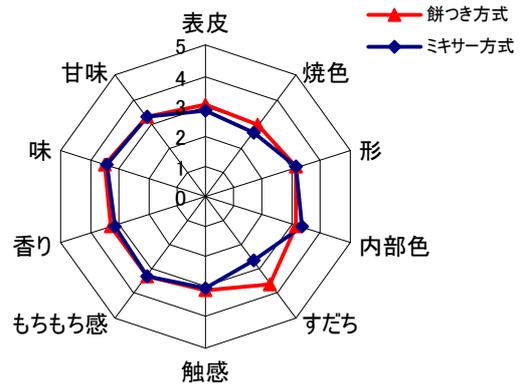


図5 生地への混捏方法によるパンの官能評価
注1) 各項目について、5: 非常によい～3: 普通～1: 非常に悪いの5段階で評価した(n=13)。

表3 副材料の配合割合によるパンの品質

副材料の種類	添加割合	高さ(%) ^{注1)}	体積(%) ^{注1)}	焼成各日数後の硬さ(%) ^{注1)}		
				0日	1日	2日
砂糖	8%(基本)	100	100	100	100	100
	10%	101	102	77	85	80
	12%	103	104	71	72	68
バター	8%(基本)	100	100	100	100	100
	10%	101	102	83	80	92
	12%	101	103	78	78	92
卵	0%(基本)	100	100	100	100	100
	4%	105	108	62	83	70
	6%	106	111	50	62	66
	8%	110	118	44	50	61
	10%	105	112	61	54	53

注1) 基本配合(表1)を100としたときの各値の割合を示す。

3. 2 「衝撃式微粉碎米粉」のパン加工特性

3. 2. 1 副材料の増量、添加によるパンの硬化抑制

「砂糖」および「バター」の増量について、パンの高さおよび体積は、添加量にかかわらずほぼ同等であった。パンの内相の硬さは、焼成0～2日後で添加量が多いほど基本配合よりも柔らかくなる傾向があり、焼成2日後の硬さは、「砂糖」12%添加区で基本の8%添加区の68%、「バター」12%添加区で92%と、「砂糖」の硬化抑制効果が大きかった。「卵」の添加について、パンの高さおよび体積は8%添加区が最も優れた。パンの内相の硬さは、焼成0日後で基本の0%添加区に対して44%と柔らかく、1日後は50%、2日後は61%と、日が経過するにしたがって硬くなった。したがって、8%添加区においては、焼成0日後、つまり焼成当日が最も柔らかかった(表3)。

3. 2. 2 粒厚1.85mm以下の米のパン加工適性

「1.85mm以下米」の粒厚分布は、粒厚1.6mm以下の米の割合が18.9%、1.6～1.7mmが16.6%、1.7～1.8mmが34.3%、1.8～1.9mmが29.4%であった。「1.85mm以下米」の米粉の粒度分布は、粒径75μm以下の米粉の割合が46.2%と、「1.90mm以上米」の40.6%よりも粒度の小さい米粉の割合が高かった(図6)。

パンの高さおよび体積は、「1.85mm以下米」が「1.90mm以上米」よりも優れ、内相の色は、「1.85mm以下米」が「1.90mm以上米」よりも明るかった。パンの内相の硬さは、「1.85mm以下米」が「1.90mm以上米」よりも、焼成後の経過日数にかかわらず、柔らかかった(表4、図7)。

パンの官能評価は、「1.85mm以下米」が「1.90mm以上米」よりも、「焼色」はやや劣るものの、他の項目はほぼ同等であった(図8)。

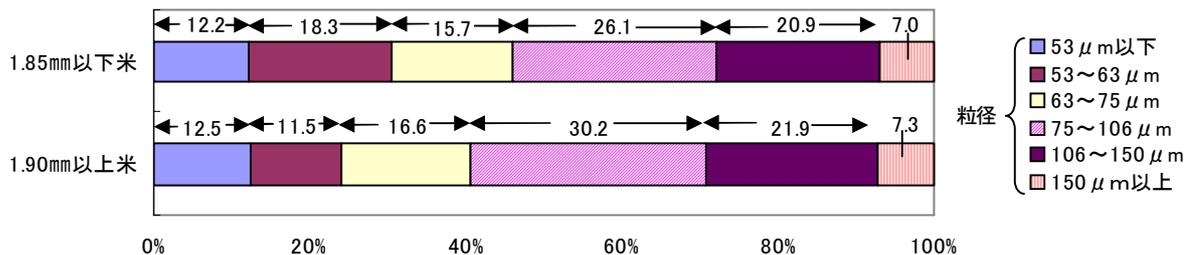


図6 粒厚の違いによる米粉の粒度分布

表4 粒厚の違いによるパンの品質 (n=12)

粒厚	高さ(cm)	体積 (cm ³)	色調 ^{注1)}		焼成各日数後の硬さ(g/cm ³) ^{注2)}		
			L		0日	1日	2日
1.85mm以下米	14.5b ^{注3)}	2234b	56.6		9.4	14.5	20.8
1.90mm以上米	13.8a	2189a	55.5		12.3	16.0	23.3

注1) 値が大きいがほうが明るいことを示す。

注2) 値が大きいがほうが硬く、小さい方が柔らかいことを示す。

注3) 異なるアルファベット間に有意差があることを示す (p<0.05, t検定)。



図7 粒厚の違いによるパンの形状 (焼成当日)

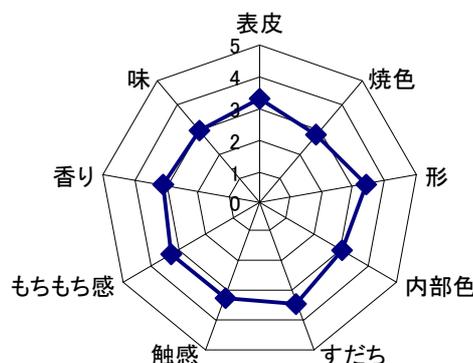


図8 「1.85mm以下米」のパンの官能評価

注1) 各項目について、5: 非常によい~3: 同等~1: 非常に悪いの5段階で評価した (n=32)。

表5 パンの原材料費(食パン1斤)

原材料	分量(g)	米 ¹⁾				小麦 ²⁾
		米 ¹⁾			小麦 ²⁾	
		1.85mm以下米①	1.85mm以下米②	1.90mm以上米		
米粉	240	27	13	73	-	
グルテンミックス	60	28	28	28	-	
強力粉	300	-	-	-	58	
バター	24	29				
砂糖	24	4				
スキムミルク	15	17				
ドライイースト	7.5	14				
食塩	6	1				
計		120	106	166	123	

注1) 1.85mm以下米①は近年の高値として4,800円/60kg, ②は近年の安値として2,400円/60kg,

1.90mm以上米は13,200円/60kgで試算した。

注2) 小麦は、市販の強力粉を193円/kgとし、試算した。

食パン1斤あたりの原材料費は、「1.85mm以下米」で106~120円, 「1.90mm以上米」で166円, 小麦で123円と試算された(表5)。

3. 2. 3 品種特性がパンの品質に及ぼす影響

米粉の粒度分布は、粒径75 μ m以下の米粉の割合が、「コシヒカリ」は21.6%と最も低く、本県育成品種は22.9~32.7%, 多収穫品種は46.3~47.4%であった。最も細かい粒径53 μ m以下の米粉の割合は、「コシヒカリ」および本県育成品種で見られなかったが、「クサノホシ」で16.8%, 「ホシアオバ」で19.6%と、粒度の小さい米粉の割合が高かった(図9)。米粉のアミロース含有率は、16.3~21.6%の範囲にあり、多収穫品種が約21%程度と高かった。米粉の損傷澱粉率は、3.4~4.7%の範囲にあり、多収穫品種で約3.5%程度と、「コシヒカリ」および本県

育成品種の約4.5%程度よりも低かった。米粉の吸水量は、粒度分布が類似している「コシヒカリ」および本県育成品種で、損傷澱粉率が高いものほど吸水量が多かった。生地作業性は、「コシヒカリ」でべたつかず扱いやすかったが、その他の品種では、柔らかく、べたつき、扱いにくかった(表6)。

パンの高さ、体積および比容積は、同品種でも捏上温度が高いほど優れる傾向があり、また、比容積が高いほど、パンの内相は柔らかい傾向があった(表7)。パンの官能評価は、「ゆめおうみ」で「すだち」が、「ホシアオバ」で「すだち」および「触感」が有意に劣ったが、「内相色」、「食感」、「香り」および「味」は、ほぼ同等の評価であった。多収穫品種では、「コシヒカリ」よりも甘みや風味が若干うすい印象をうけたが、「味」の項目への影響は小さかった(表8)。

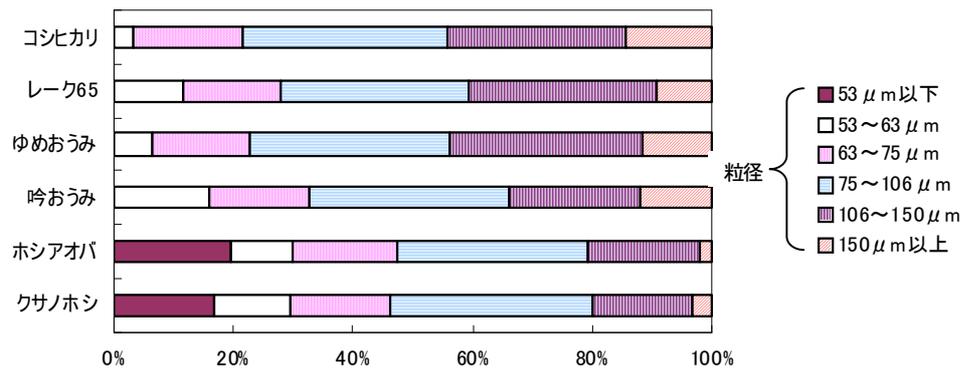


図9 品種による米粉の粒度分布

表6 品種による米粉特性および生地作業性

品種	水分(%)	アミロース(%)	損傷澱粉率(%)	吸水量(g/g D.W.)	生地作業性
コシカカリ	11.8	17.5	4.41	0.56	べたつかない
レーク65	12.1	16.3	4.49	0.58	柔らかく、べたつく
ゆめおうみ	13.1	18.6	4.38	0.40	柔らかく、べたつく
吟おうみ	12.8	20.3	4.68	0.60	柔らかい
ホシアオバ	12.2	21.6	3.44	0.56	柔らかく、べたつき、よく伸びる
クサノホシ	12.2	20.9	3.65	0.52	柔らかく、べたつき、よく伸びる

表7 品種によるパンの品質

品種	室内温度(°C)	粉温度(°C)	捏上温度(°C)	高さ(cm)	体積(cm ³)	比容積(cm ³ /g) ¹⁾	硬さ(N) ²⁾
コシカカリ	12.8	10.8	24.6	124	1978	2.41	3.93
	13.5	11.2	24.8	119	2065	2.50	2.88
	15.8	14.3	29.4	145	2365	2.91	2.15
レーク65	16.5	14.0	29.4	153	2437	3.04	1.53
	13.8	11.9	26.7	130	2138	2.65	2.72
	15.1	13.8	27.8	131	2165	2.66	2.10
ゆめおうみ	12.7	12.4	26.8	138	2335	2.85	2.64
	15.0	12.7	27.4	151	2426	3.02	1.59
吟おうみ	15.2	12.4	26.0	153	2461	3.09	1.87
	15.9	13.3	26.2	160	2555	3.11	1.97
ホシアオバ	14.0	12.6	26.0	133	2248	2.74	2.98
	14.3	11.6	24.6	142	2351	2.88	2.86
クサノホシ	14.6	12.7	27.3	140	2409	2.97	2.68
	15.8	13.8	27.7	148	2439	3.04	1.70

注1) 膨らみの程度を示し、値が高いほど膨らみが良いことを示す。

注2) 値が大きいくほど硬く、小さいほど柔らかいことを示す。

表8 品種によるパンの官能評価(n=8)

品種	表皮	焼色	形	内相色	すだち	触感	食感	香り	味
コシカカリ	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
レーク65	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	3.3	3.3	3.0
ゆめおうみ	2.9	3.0	2.8	2.8	2.3*	2.5	3.3	2.9	3.3
吟おうみ	2.4	2.0	2.0	2.7	2.4	2.6	3.0	3.0	3.0
ホシアオバ	2.9	3.0	2.6	2.9	2.3*	2.4*	3.0	3.0	2.8
クサノホシ	3.0	3.0	2.9	2.9	2.6	3.0	2.9	3.0	3.0

注1) 各項目について、5:非常によい~3:同等~1:非常に悪いの5段階で評価した。

注2) *:「コシカカリ」と比較して、有意差があることを示す(p<0.05)。

3. 2. 4 粉碎方法がパンの品質に及ぼす影響

米粉の損傷澱粉率および吸水量は、「衝撃式微粉碎米粉」が「気流式微粉碎米粉」よりも約2倍以上高かった。米粉の色調は、「衝撃式微粉碎米粉」が「気流式微粉碎米粉」よりも暗かった。生地の作業性は、「衝撃式微粉碎米粉」は生地はべたつかず扱いやすく、「気流式微粉碎米粉」は生地は柔らかく、べたつき、扱いにくかったが、なめらかで良く伸びた(表9)。

「食パン」のケービングは、「衝撃式微粉碎米粉」で見られなかったが、「気流式微粉碎米粉」で見られた(図10)。「食パン」の高さ、体積および比容積は、「衝撃式微粉碎米粉」が「気流式微粉碎米粉」よりも劣り、内相は硬かった(表10)。

パンの官能評価は、「食パン」は、「衝撃式微粉碎米粉」が「気流式微粉碎米粉」よりも「焼き色がよい」、「膨らみが悪い」とされたが、その他の項目ではほぼ同等の評価であった。

表9 粉碎方法による米粉特性および生地作業性

粉碎方法	水分(%)	損傷澱粉率(%)	吸水量(g/g D.W.)	色調 ¹⁾ L	生地の作業性
衝撃式	11.8	4.41	0.56	94.61	べたつかない
気流式	13.6	2.44	0.21	95.29	柔らかく、べたつき、よく伸びる

注1)値が大きいほど明るいことを示す。



衝撃式 気流式

図10 粉碎方法の違いによるパンの形状
(焼成当日)

表10 粉碎方法によるパンの品質

粉碎方法	高さ(cm)	体積(cm ³)	比容積(cm ³ /g) ^{注1)}	硬さ(N) ^{注2)}
衝撃式	128.2a	2104a	2.54a	2.66b
気流式	158.0b	2520b	3.10b	1.49a

注1)膨らみの程度を示し、値が高いほど膨らみが良いことを示す。

注2)値が大きいほど硬いことを示す。

注3)異なるアルファベット間に有意差があることを示す(p<0.05, t検定)。

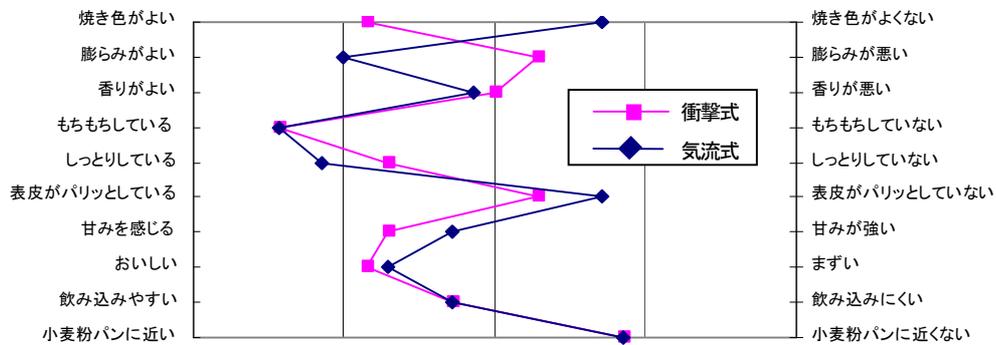


図11 「食パン」の官能評価

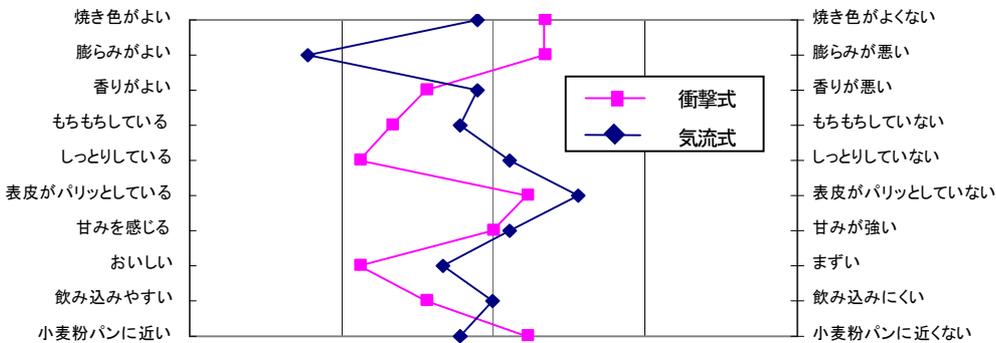


図12 「あんパン」の官能評価

(図11)。「あんパン」では、「衝撃式微粉碎米粉」が「気流式微粉碎米粉」よりも、「焼き色がよくない」、「膨らみが悪い」とされたが、「もちもちしている」、「しっとりしている」、「おいしい」等の項目で、評価が高かった(図12)。

4 考察

4.1 「衝撃式微粉碎米粉」の製パン技術

「衝撃式微粉碎米粉」を利用したパンに適する米粉の粒度を検討した結果、「0.1粉」が「0.05粉」よりも、パンに適していた。これは、「0.1粉」が「0.05粉」よりも、直径の大きい穴を通るように粉碎されるため、機械の圧力や熱によって損傷する澱粉の割合(損傷澱粉率)が低いことが原因だと考え

られた。パンに適した米粉特性としては、100メッシュ以下であり、損傷澱粉率が小さいものが良いとされている^{9) 10)}。次に、生地の混捏方法を検討した結果、「0.1粉」を利用したパンの官能評価は、「餅つき方式」が「ミキサー方式」よりも、「すだち」の評価が高かった。これは、「餅つき方式」が「ミキサー方式」よりも、パン内相の気泡の大きさが細かく、均一に分散していたことを示唆している。餅の加工では、杵搗方式で加工した餅の気泡及び組織は比較的均一であるのに対し、ミキサー方式では組織が小さい割に大小の気泡が多量かつ不均一に入るとされている¹¹⁾。よって、「衝撃式微粉碎米粉」を利用したパンの製造には、「0.1粉」を利用し、「餅つき方式」で混捏する方法が適していると考えられた。

以上から、県外へ委託製粉するよりも、県内で製粉できる「衝撃式微粉碎米粉」を利用することにより、少量製粉に対応できるうえ、輸送費等の削減も期待できる。また、餅つき機は汎用性があり、県内の女性起業グループ等でもすでに導入されていることから、既存の設備の有効活用が図れ、より少ない投資で「米粉パン」の製造が可能になる。したがって、餅つき機を利用した「衝撃式微粉碎米粉」の製パン技術は、小規模な女性起業グループ等でも非常に取り組みやすい技術である。

4. 2 「衝撃式微粉碎米粉」のパン加工特性

パンは焼成後時間の経過に伴い、硬くなり、パサパサした食感を示すようになるが、小麦粉パンでは、砂糖、バターおよび卵の添加に硬化抑制効果がある⁵⁾とされている。そこで、「衝撃式微粉碎米粉」を利用したパンでも同様の効果が見られるか検討を行ったところ、砂糖の添加量を8%から10~12%に増量すること、または、卵を4~10%添加することで、パンの硬化を抑制できた。卵の添加量10%で8%よりもパンの高さおよび体積が劣ったのは、卵は水分量が約75%と高く、添加量10%では生地水分量が多くなり過ぎたため、生地のつながりが悪くなったためであると考えられた。パンの硬化は、水分の蒸散および澱粉の老化等が原因であるとされ、砂糖の増量による保湿性の向上や卵に含まれるレシチンの澱粉老化抑制効果により、パンの硬化を抑制できたと考えられた⁶⁾。「衝撃式微粉碎米粉」を利用したパンの硬化抑制方法が明らかになったことにより、パン品質および日持ち性の向上が期待できる。

次に、米粉価格の低減が期待できる、粒厚1.85mm以下の米の加工適性について検討を行ったところ、「1.85mm以下米」が「1.90mm以上米」よりも、粒度分布が小さい米粉の割合が高かった。これは、「1.85mm以下米」には、多くの白未熟粒が含まれるため、澱粉のつまりが悪く、粒の硬度が低いため、粉碎しやすかったためと考えられた。同様の理由で、損傷澱粉率も低いと考えられ、損傷澱粉率の低い米粉で作成したパンは比容積が大きい¹⁾ことが報告されている。また、食パン一斤あたりの原材料費は、「1.85mm以下米」で106~120円、「1.90mm以上米」で166円であり、原材料費を46~60円抑えることができ、小麦の123円と比べても同等かそれ以下の値段に抑えることができた。「米粉パン」を普及していくためには、米粉価格を小麦粉並に抑える必要があるが、「1.85mm以下米」は「1.90mm以上米」よりも、パン加工適性が高いうえに、米粉価格を小麦粉並に低減できることから、パンに適した米粉の素材として有望であるといえる。しかし、年産によっては、「1.85mm以下米」の粒厚分布や白未熟粒の多少等が異なると考えられるため、さらなる検討が必要である。

続けて、品種特性がパンの品質に及ぼす影響を調査するために、本県育成品種および米生産の低コスト化が期待できる多収穫品種の米粉特性と製パン性の関係について検討を行った。その結果、多収穫品種の「ホシアオバ」および「クサノホシ」は、

「コシヒカリ」および本県育成品種よりも、粒度の小さい米粉の割合が高く、損傷澱粉率が低かった。これは、「1.85mm以下米」と同様に、白未熟粒が多く含まれていたことが原因であると考えられた。また、本試験で供試したサンプルのアミロース含有率は16.3~21.6%であり、パンに適したアミロース含有率は、15~25%が良い⁴⁾とされていることから、本試験で供試したサンプルはパンに向いている品種であると言えた。生地の作業性は、「コシヒカリ」以外の品種で生地は柔らかくべたついた。これは、「コシヒカリ」を基準にして、表1の基本加水量を決定しているため、「コシヒカリ」以外の品種では、最適加水量よりも生地の水分量が多いため、作業性が劣ったと考えられた。よって、最適な加水量を品種ごとに調整することで、生地の作業性は改善できると考えられた。さらに、製パン時の室内温度、捏上温度とパンの比容積、硬さとの関係を確認したところ、室内温度とパンの比容積、室内温度と硬さの間にはそれぞれ正の相関性($R=0.73, 0.84$)、比容積と硬さの間には正の相関性($R=0.82$)が確認できた。つまり、パンの品質には、米粉の損傷澱粉率、アミロース含有率だけでなく、製パン時の加水量や室温等の影響も強く関係することが明らかとなった。そのため、本試験のパンの官能評価で、「すだち」や「触感」の評価が低くなった品種については、加水量や温度を調整し、最適な状態で比較することが必要であると考えられた。しかし、「香り」や「味」の評価は、「コシヒカリ」と比べて、本県育成品種および多収穫品種ではほぼ同等であったことから、これらの品種を利用して、最適な加水量でパンを加工することで、「コシヒカリ」と遜色ないパンの加工が可能であると考えられた。本県育成品種を利用することにより、他県にはない本県ならではのパンが加工できることから、高付加価値化が期待できる。また、米粉価格を低減するためには、米生産の低コスト化が不可欠であり、一般品種よりも収量性の高い多収穫品種である「ホシアオバ」および「クサノホシ」は、パンに適する米粉特性があるうえに、米生産費の低コスト化ができることから、パンに適した米粉の素材として有望であるといえる。現状では、県内において「ホシアオバ」や「クサノホシ」は飼料用途にわずかに栽培されているのみであるが、今後は米粉用途としての作付けが期待できる。

最後に、「衝撃式微粉碎米粉」および「気流式微粉碎米粉」の特性がパン品質に及ぼす影響について検討した。結果、「衝撃式微粉碎米粉」は「気流式微粉碎米粉」よりも、損傷澱粉率が高く、色調が暗かった。これは、粉碎方法に加えて、粉碎時の前処理方法も原因であると考えられ、「衝撃式微粉碎米粉」は、精白米に前処理を加えずに、高速で回転する金属製のピンに当たった衝撃力により粉碎するのに対し、「気流式微粉碎米粉」は、精白米を洗米し、水に浸漬させ、粒を柔らかくしてから、高速の気流で粉同士をぶつける衝撃力により粉碎する。つまり、「衝撃式微粉碎米粉」は「気流式微粉碎米粉」と比べて、洗米していないこと、硬い状態のまま米を粉碎すること、水の

気化熱による温度の上昇の抑制が期待できないことから、損傷澱粉率が高く、色調が暗かったと考えられた。「食パン」の高さ、体積および比容積は、「衝撃式微粉碎米粉」が「気流式微粉碎米粉」よりも劣ったが、これは、粒度の粗い米粉の割合が高く、損傷澱粉率が高いからと考えられた。しかし、「あんパン」の官能評価では、「衝撃式微粉碎米粉」が「気流式微粉碎米粉」よりも「もちもち感」や「しっとり感」といった米粉ならではの食感が強く感じられ、「おいしい」と評価された。したがって、「衝撃式微粉碎米粉」は、膨らみが重要視される「食パン」よりも、膨らみが「食パン」ほどは重要視されない「あんパン」等の菓子パンや惣菜パン等により適していると考えられた。

以上から、米の新規用途開発の一つとして、県内の小規模な農村女性起業グループ等でも取り組みやすい、餅つき機を利用した「衝撃式微粉碎米粉」の製パン技術およびその加工適性について検討することで、地産地消に向けた「米粉」を利用した商品開発が可能となり、県産米の需要拡大が期待できる。本技術は、すでに県内の農村女性起業グループ等や新たに6次産業化に取り組む農業者等に技術移転しており、12組織で地元産の米粉を利用したパンの加工販売に取り組むに至っている。「地産地消」や「安全・安心」という観点から始まった「米粉パン」への取り組みは、現在、生産調整の円滑な推進や耕作放棄田の解消による水田の有効活用、米の消費量の増加による食糧自給率の向上を視野に入れた取り組みへと広がっている。さらに、本報が、米の需要拡大だけでなく、米粉用米の作付けによる水田の有効活用および食糧自給率の向上に寄与することを期待する。

5. 謝辞

本試験の遂行にあたり、米粉の製粉に関して、宝田工業株式会社および株式会社東洋商會にご協力いただいた。滋賀県農業技術振興センター職員には、試料を提供していただくとともに、官能評価に協力いただいた。同センター企画情報部および各農業農村事務所農産普及課の農産加工担当者には、試験研究成果の迅速な普及指導にご尽力いただいた。また、東美智子囑託員には、試験の準備および調査等に協力いただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

6. 引用文献

- 1) Araki Etsuko, Ikeda Tatsuya, Ashida Kanae, Takata Kanenori, Yanaka Mikiko and Iida Syuichi, 2009. 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.
- 2) 有坂将美・吉井洋一, 1991. 酸溶解法による米粉の澱粉損傷度の測定. 新潟食総研研報, 26 : 11-15.
- 3) 江川和徳, 2005. 小麦から米へ奮闘の技術開発. 食の科学, 6 : 4-8.
- 4) 高橋誠・本間紀之・諸橋敬子・中村幸一・鈴木保宏, 2009. 米粉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.
- 5) 竹谷光司, 2005. 新しい製パン基礎知識, 49-81pp. (株)パンニュース社. 東京.
- 6) 田中康夫・松本博, 1991. 製パンプロセスの科学, 249-262. 光琳. 東京.
- 7) 農林水産省総合食料局, 2010. 平成21年度食料需給表.
- 8) 農林水産省農村振興局, 2009. 平成20年度耕作放棄地全体調査.
- 9) 福盛幸一, 2004. 食品加工総覧4 加工品編追録1号, 478の48-55. 農山漁村文化協会. 東京.
- 10) 福盛幸一, 2009. 米粉パンの教科書, 10-17pp. 農山漁村文化協会. 東京.
- 11) 吉井洋一, 1999. 食品加工総覧4 加工品, 150-155. 農山漁村文化協会. 東京.

Summary

To establish processing techniques for rice flour bread that are readily accessible to small enterprises operated by women in rural communities in Shiga Prefecture, we experimentally made bread with rice flour milled using an impact mill, and clarified the processing characteristics.

1) Regarding rice flour granularity and the method of dough kneading for rice flour bread, it is appropriate to use flour passing through milling machine screen meshes of 0.1 mm diameter, and knead it using a rice cake machine, rather than a vertical mixer.

2) By increasing the percent amounts of sugar and butter added from the basic content ratio of 8% to 10-12% or adding eggs at 4-10%, rice flour bread maintaining a soft texture can be made with suppressed hardening.

3) Rice grains not more than 1.85 mm thick are more suitable for processing into bread than those having a thickness of not less than 1.90 mm. In addition, the raw materials cost per loaf was 106-120 yen for the rice grains not more than 1.85 mm thick and 166 yen for those having a thickness of not less than 1.90 mm; the raw materials cost can be reduced by 46-60 yen per loaf by utilizing rice grains not more than 1.85 mm thick.

4) Bread was made with various rice flours prepared from rice grains of a variety bred by the Shiga Prefecture Department of Agriculture and a high-yielding variety. These varieties were found to be equivalent to *Koshihikari* in bread taste ratings, although the dough making workability was lower.

5) Rice flour milled using an impact mill produced better bread than rice flour milled using an air flow mill in terms of chewy texture and moistness, which characterize rice flour, although the dough expandability was lower.

