

技術報告

製粉方法の異なる米粉の特性と製パン性の関係

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[§]

Breads made from rice flours prepared by different milling methods

Koh-ichi Yoza, Junko Matsuki, Hiroshi Okadome, Mayuko Okabe, Keitaro Suzuki,
Tomoya Okunishi, Yoshiaki Kitamura, Akira Horigane, Sumiyo Yamada, and Ushio Matsukura[§]

National Food Research Institute, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8642 Japan

Abstract

Ten kinds of rice flours were prepared by several milling methods including hammer mill, pin mill and blade mill. The rice flours were mixed with vital gluten (8:2) and used for bread making. Mean particle size of the rice flours ranged from 40.9 μm to 407.2 μm and damaged starch content from 6.1% to 27.1%. Specific volume of the breads ranged from 1.98 mL/g to 3.82 mL/g. Correlation of rice flour properties and bread qualities were analyzed. Negative correlation was found between amount of damaged starch and specific volume ($r=-0.670$, $p<0.05$). Mean particle size of the flour was not correlated with specific volume.

Keywords: 米粉 (rice flour), パン (bread), 損傷デンプン (damaged starch), 平均粒径 (mean particle size)

緒言

日本の食糧自給率は昭和40年にカロリーベースで73%であったが、平成20年には41%まで低下している¹⁾。また、日本人の主食である米の消費量も長期的に漸減傾向にあり、昭和37年には一人当たり年間118kgを消費していたが、平成20年度には59kgと半減している。これまで米の消費拡大への努力が各方面で払われてきたにもかかわらず消費量の減少傾向は続いており、炊飯米としてこれ以上の消費拡大を期待するのは難しいと思われる。近年、炊飯米以外の米の利用方

法として米粉が注目されるようになった。これまで米粉の利用用途としては和菓子向けが多かったが、製粉技術や食品製造技術の進展により米粉をパンや麺などの新規用途に加工することが可能となった²⁾。具体例を挙げると、新潟県農業総合研究所食品研究センターが開発した二段階製粉技術³⁾や酵素処理製粉技術⁴⁾などがある。2種類の製粉手法を組み合わせた二段階製粉技術により、微細な米粉の製造が可能となりケーキやカステラなどに活用されている。またペクチナーゼで前処理する酵素処理製粉技術により損傷デンプンの少ない微細な米粉の製造が可能となり、米粉パンや麺などに活用されている。この他、山形大学では、水を加

[§]連絡先, mushio@affrc.go.jp

2009年10月30日受付 2009年10月30日受理

えると粘性を生じる特殊な米粉を開発している⁵⁾。この米粉を使用することにより、従来は困難とされてきた（グルテンや増粘多糖類などを使用せずに）米粉のみでパンを作ることが可能となった。このように米粉食品に関する様々な技術開発が行われており今後も進展するであろう。米粉食品の開発には様々な可能性が考えられる。特にパンは小麦粉使用食品の中でも最も生産量が多い品目であるので、米粉の利用用途として期待されている。

米粉パンはいくつかのタイプに分類することができる。(1)小麦粉の一部を米粉で置換するタイプ⁶⁾⁻¹⁰⁾、(2)小麦粉を使わず米粉とバイタルグルテンを用いるタイプ¹¹⁾⁻¹³⁾、(3)米粉に増粘多糖などの粘性物質を添加するタイプ¹⁴⁾⁻¹⁶⁾、(4)さらには、米粉を糊化させて粘性をもたせるタイプがある^{5),17)}。その他、米粉ではないが炊飯米などを生地添加到して焼成したパンもある^{18),19)}。これらの中で(2)のタイプの米粉パンは、米粉の使用割合が高いので米粉らしいもっちりした食感のパンとなる。また、米粉パンの特性研究に関しても、米粉の特徴が明確に現れるので、その特徴をとらえやすいことが利点となる。米粉パンの研究は食品開発を目的として行われる場合が多く、米粉の特性と製パン特性の基礎的な関係はまだ十分には解明されていない。米粉の特性と製パン性に関する基礎的な理解が進むことにより今後の食品開発への応用が期待できる。そこで、製粉方法の異なる米粉を用いて、米粉の特性と製パン特性との関係を調べる目的で試験を実施した。

実験材料及び方法

1. 供試米

平成19年茨城県産コシヒカリの精白米を茨城県つくば市内の米穀店より購入して米粉原料とした。

2. 米粉製粉方法

試験に供した10種類の米粉を表1に示した。以下これらの米粉の製粉方法について記述する。ハンマーミルと呼ばれる製粉機では、回転するハンマーの衝撃で粉砕することにより製粉する。製粉形式としては機械的衝撃式製粉に分類される²⁰⁾。本試験で使用したハンマーミルは(株)吉田製作所1018-S-3である。スクリーンのメッシュサイズを0.7mm, 1.0mm, 2.0mmとして3種類の試料用米粉を調製した。この方式により製粉した米粉を本論文では以下H0.7, H1.0, H2.0と略記

表1. 試験に使用した米粉

米粉の略記名称		製造方法
1	H0.7	0.7mmスクリーンを使用したハンマーミルによる粉砕
2	H1.0	1.0mmスクリーンを使用したハンマーミルによる粉砕
3	H2.0	2.0mmスクリーンを使用したハンマーミルによる粉砕
4	P	ピンミルによる粉砕（Y社で委託製造）
5	WY	湿式気流粉砕（Y社で委託製造）
6	WN	湿式気流粉砕（N社で委託製造）
7	D	乾式気流粉砕（Y社で委託製造）
8	U	UDY社サイクロンサンプルミルを使用
9	M	Osttiroler Getreidemühlen社製ラ・パルラを使用した小型電動臼による粉砕
10	R	レッチェ社超遠心式粉砕機により粉砕

する（表1参照）。遠心衝突式製粉機に分類されるピンミルを使用して製粉した米粉はY社にて委託製造した。この米粉を以下Pと略記する。ローターを高速で回転させて発生する渦流で粉砕する渦流式粉砕は米粉関連業界で気流粉砕（あるいは気流式粉砕）と呼ばれることが多い。本論文ではこの気流粉砕により製粉することを気流製粉と呼称する。気流製粉は湿式と乾式に分かれる。米粉の製造過程において、水洗後に浸漬過程を経て、米の水分含量を約30%に調製した後に製粉する方式を湿式と呼ぶ。浸漬過程を経ない方式を乾式と呼ぶ。本論文でもこの呼称に倣う。気流製粉の米粉はY社およびN社で委託製造した。湿式気流製粉により調製した米粉2種類についてY社製造の粉をWY, N社製造のものをWNと略記する。また、Y社製造による乾式気流製粉による米粉はDと略記する。この他に、試験用（もしくは家庭用）の小型製粉機を用いて以下の3種類の米粉を調製した。1つはUDY社製サイクロンサンプルミル（スクリーンのメッシュサイズは0.5mm）を使用して製粉した米粉である。この方式では内部のインペラーによる気流により装置内壁に試料を衝突させて粉砕する。この米粉を以下Uと略記する。また、機械的せん断力により粉砕する挽き臼式製粉機としてOsttiroler Getreidemühlen社製ラ・パルラを使用した。本機は家庭用の小型製粉機である。本機により調製した米粉を以下Mと略記する。内部ローターによる遠心力により飛ばされた試料が衝撃およびせん断力により粉砕される超遠心製粉機には(株)レッチェ製超遠心製粉機ZM100（スクリーンのメッシュサイズは0.5mm）を使用した。本機により調製し

表2．米粉パンの組成

	ベーカーズパーセント(%)	配合量(g)
米粉	80	400
グルテン	20	100
砂糖	6	30
塩	1.6	8
イースト	1	5
油脂	5	25
脱脂粉乳	2	10
水	80	400mL

注：ベーカーズパーセントでは、使用する粉を100%として、粉に対する割合で他の材料を表す。本実験では米粉およびグルテンの合計を100%とした。

た米粉を R と略記する。

3．米粉特性測定法

損傷デンプン含量の測定にはメガザイム社の損傷デンプン測定キット(K-SDAM)を使用した。すなわち、米粉を微生物由来 -アミラーゼで処理し、生じた分解物をさらにグルコースへと分解し比色定量することにより米粉に対する損傷デンプンの割合を求めた。アミロース含量の測定は Juliano が開発したヨード比色定量法²¹⁾により、見かけのアミロース含量として求めた。粉体物性の測定は(株)セイシン企業製粉体物性測定器マルチテスター MT-1001を使用した。本機を用いてゆるめかさ密度、安息角およびスパチュラ角を測定した。平均粒径の測定はベックマンコールター(株)製粒度分布測定装置 LS13320を使用し、乾式法による粒度分布計測値から平均粒径を求めた。

4．製パン試験法

1) 材料

製パン試験の材料の組成は表2に記載した。使用した材料はイースト：日清フーズ(株)製スーパーカメラヤドライイースト、グルテン：グリコ栄養食品(株)製A-グルG X、脱脂粉乳：森永乳業(株)スキムミルク、油脂：日油(株)製カナリヤイト、砂糖：大日本明治精糖(株)製ばら印の白砂糖、食塩：(財)塩事業センター食塩である。

2) 製パン機器および製パン法

表3の条件で、ワンローフ型のパンをストレート法により製パンした。製パン工程においてミキサーは関東混合機工業(株)製 KTM-10を使用した。付属の5 L用ミキサーボウル(直径20cm、高さ20cm)を使用し、フックは本機用のステンレスドゥフックを使用した。混

表3．米粉パンの製パン条件

製造工程	製造条件
混捏	油脂以外の材料を投入後、低速で3分混捏し、次に中速で4分混捏した。次に油脂を投入し、低速で3分混捏し、中速で5分混捏した。
捏ね上げ目標温度	29
ベンチタイム	27 , 15分
分割量	420 g
ホイロ	37 , 食パン型(1斤)の上端まで(約60分)
焼成温度	上部185 , 下部200
焼成時間	25分

注：KTM-10において低速：150rpm、中速：250rpm

捏の手順は次の通りである。油脂以外の材料を投入後、低速(150rpm)で3分混捏し、次に中速(250rpm)で4分混捏した。ここで油脂入れて、さらに低速で3分混捏し、中速で5分混捏した。混捏後の目標生地温度は29とした。混捏した生地は、直ちに分割してまるめた(分割量420g)。生地を休ませるベンチ工程はパナソニック(株)NS-D923FAを用いて27 15分行った。成形は(株)オシキリ製ワイドファインモルダー WF-01Sを使用し生地をロール状に成形し、スルトン食パン型1斤型(WST-03)(遠藤商事(株)より購入)に詰めた。ホイロは戸倉商事(株)製 Took proofer PR-1Dを用いた。37にて、生地の上端が型の上端に達するまで最終発酵を行った(約60分間)。デッキオーブンは戸倉商事(株)製 TDV-431Sを使用し、上部185、下部200で25分間焼成した。

5．パンの品質測定法

パンの比容積および硬さの測定は製パンの翌日に実施した。焼成したパンは22で1時間放冷した後、ポリエチレン袋に詰めてその口を輪ゴムで封じ22で保管した。比容積に関しては、レーザー体積計、(株)アステックス製 SELNAC VM130を使用してパンの容積を求め、これを重量で除することによって比容積(mL/g)とした。パンの硬さの測定は(株)山電製 RE-3305 RHEONERを使用してアメリカ穀物化学者協会の公定法に準じて行った²²⁾。すなわち、ワンローフ型パンを長軸方向に対して垂直に25mmの厚さにスライスし、直径36mmの円柱状のプランジャーを用いてスライスの中央部を100mm/minの速度で圧縮した。圧縮距離はスライスの厚さの40%まで行い、この際の25%圧縮した時点での応力(kPa)をパンの硬さとした。

表4．米粉の特性値および製パン特性

	平均粒径 (μm)	損傷デンプン (%)	米粉水分(%)	アミロース (%)	ゆるめカサ 密度(g/cm^3)	安息角	スパチュラ角	比容積	硬さ(kPa)
H0.7	40.9	27.1	8.3	17.6	0.444	51.3	71.7	1.98	7.2
H1.0	87.8	18.3	10.9	17.5	0.523	49.8	72.3	2.68	3.5
H2.0	124.2	10.8	13.1	17.5	0.573	44.1	62.1	3.12	2.2
P	241.8	6.1	12.4	17.2	0.702	45.7	66.1	2.49	4.6
WY	59.0	6.3	14.5	18.9	0.393	50.3	66.2	3.82	1.6
WN	73.3	12.8	7.7	18.7	0.552	50.4	70.4	2.58	5.3
D	80.8	13.6	11.6	18.2	0.556	50.0	64.1	2.90	3.3
U	108.9	12.4	12.1	18.1	0.573	46.2	69.0	3.16	2.1
M	407.2	11.5	14.6	17.7	0.671	45.5	62.1	2.65	2.9
R	191.1	10.5	14.4	18.0	0.613	51.5	64.5	3.04	2.2

注) 略記した試料名に関しては表1参照

実験結果および考察

1. 米粉の特性

米粉の特性値および製パン試験の結果を表4にまとめた。これまで製パン性、特に比容積に影響を与える米粉の特性として特に注目されてきたのは平均粒径および損傷デンプン含量である^{11),13)}。今回の試験に関して、10種類の米粉試料の平均粒径の平均値は141.5 μm で中央値は98.3 μm であった。ハンマーミルにより製粉した米粉の平均粒径はH0.7:40.9 μm , H1.0:87.7 μm , H2.0:124.2 μm であった。今回供試した10種類の米粉試料の中では、H0.7の平均粒径が最も小さく、H2.0は中程度であった。ピンミルで製粉した米粉Pでは241.8 μm と試料の中で2番目に大きい平均粒径を示した。湿式および乾式の気流製粉した米粉の平均粒径はWY:59.0 μm , WN:73.3 μm , D:80.8 μm であり供試した米粉の中で比較的小さい傾向にあった。UDY社の製粉機で製粉した米粉Uの平均粒径は108.9 μm と中程度であった。臼式製粉機で製粉した米粉Mの平均粒径は一番大きく407.2 μm であった。これは全試料間の平均値の3.1倍である。レッチェ社の製粉機で製粉した米粉Rは191.1 μm と試料間の平均より大きかった。これまで報告されている製パン試験で使用された米粉と比較してみると、荒木らの報告では平均粒径が最大の米粉は市販の上新粉で115.9 μm であった¹³⁾。また、穴戸らの報告で平均粒径が最大であったロール式製粉による米粉でも132.4メッシュ(およそ120 μm)であり¹¹⁾、山木らの試験で使用した最大の平均粒径の試料(ロール式製粉による米粉)では148.7 μm であった²³⁾。これらと比較して本試験で使用した米粉P, Mの平均粒径は大きい。

損傷デンプンに関しては、全試料間の平均値は

12.9%であった。最小値は米粉Pの6.1%であり、最大値はH0.7の27.1%であった。荒木らの試験では損傷デンプンの範囲は1.0~22.1%の範囲にあった¹³⁾。これと比較してもH0.7の損傷デンプン含量の値は高い。ハンマーミルにより製粉した粉(H0.7, H1.0, H2.0)についてこの3試料間で比較すると、メッシュの細かいスクリーンを使用して製粉した平均粒径が小さい米粉ほど損傷デンプン含量が高かった。穴戸らも機械的に粒子の分割を細かく行おうとしたとき、粒子の受ける損傷が大きくなり易いとしている¹¹⁾。気流製粉による米粉WYは損傷デンプン含量が低く6.3%であった。荒木らの試験でも湿式気流製粉の米粉の損傷デンプン含量は7.0%であり比較的低い値となっている。この現象の説明として、江川は湿式気流製粉では製粉過程で米粉に含まれる水分が気化することにより米粉の損傷が防がれるためとしている²⁴⁾。同じ湿式気流製粉による製粉でも米粉WNは損傷デンプン含量が12.8%と中程度であった。

その他の特性の主な結果に関して記述する。米粉水分に関しては、全試料間の平均値は12.0%であった。市販されている小麦粉の水分含量は14~15%であり²⁵⁾、これと比較すると若干低い値であった。特に米粉H0.7が8.3%, WNが7.7%と低かった。ゆるめカサ密度は粉体のバルクとしてのみかけの密度である。平均値は0.56であり、最小値はWYの0.39であり、最大はPの0.7であった。安息角とは粉体を積み上げた時に崩れることなく安定を保つ斜面の角度のことで、粉体の粒子の丸みと関係している。粒子の形が丸いと安息角は小さくなる。安息角の各試料間の平均値は48.4°であった。供試した米粉のうち最小値はH2.0の44.1°であり、最大値はRの51.5°であった。スパチュラ角は静止状態の粉体を運動させるのに必要な角度であり、一般的に安息角より大きな値を示す。試料

表5．米粉および米粉パンの各特性値間の相関係数

	平均粒径 (μm)	損傷デンプン 含量 (%)	米粉水分 含量 (%)	アミロース 含量 (%)	ゆるめカサ 密度 (g/mL)	安息角 ($^{\circ}$)	スパチュラ角 ($^{\circ}$)	比容積 (mL/g)
損傷デンプン含量 (%)	-0.380							
米粉水分含量 (%)	0.557	-0.667*						
アミロース含量 (%)	-0.402	-0.245	-0.039					
ゆるめカサ密度 (g/mL)	0.787**	-0.397	0.281	-0.530				
安息角 ($^{\circ}$)	-0.537	0.410	-0.375	0.481	-0.581			
スパチュラ角 ($^{\circ}$)	-0.587	0.609	-0.756*	0.069	-0.460	0.500		
比容積 (mL/g)	-0.126	-0.670*	0.656*	0.563	-0.263	-0.088	-0.400	
硬さ (kPa)	-0.211	0.676*	-0.831**	-0.251	-0.095	0.317	0.576	-0.888**

* p<0.05, **p<0.01

間の平均値は66.9 $^{\circ}$ であった。最小値はP及びMの62.1 $^{\circ}$ であり、最大値はH1.0の72.3 $^{\circ}$ であった。

2. 製パン特性

製パン特性に影響を与える米粉の特性について、これまで報告されている結果を概説する。本試験で取り扱っている米粉パン、すなわち小麦粉を使用せず米粉にバイタルグルテンを2割程度混合して使用するタイプの米粉パンに関しては、これまで新潟県農業総合研究所食品研究センターなどで積極的な技術開発が行われてきた。その結果をもとに、江川は、米粉パンに適した米粉の特性として平均粒径40 μm 以下、安息角50以下、濡れ特性0.02mm²/sec以上という基準を提案した²⁶⁾。これに適合する米粉として、ペクチナーゼによる酵素処理後に湿式気流製粉する技術が開発された⁴⁾。この他、損傷デンプン含量に関して、宍戸らは損傷デンプンの増加が米粉の製パン性（製品品質）に悪影響を示すことを報告している¹¹⁾。荒木らは80%加水条件下で損傷デンプン含量と米粉パンの比容積との間に負の相関関係がみられることを明らかにした¹³⁾。また、平均粒径と比容積の間には有意の相関関係がみられなかったことも報告している。

今回の試験では米粉パンの比容積の試料間の平均値は2.84 mL/gであった。比容積の最小値は1.98 mL/gであり最大で3.82 mL/gであった。参考として小麦粉パンの一般的な値を示すと、例えば角形食パンは3.8~4.2 mL/gであり、山形食パンは4~4.5 mL/gである²⁷⁾。今回の米粉パンの試験結果はこれらの値より小さい。また、米粉の種類や製パン条件が異なるので単純な比較はできないが、荒木らの報告では比容積は2.2~3.6 mL/gであった¹³⁾。また、高橋らによる品種の異なる米粉の製パン試験では2.51~4.40 mL/gであった¹²⁾。試験に供試した各米粉について記述すると、今回実施した10種類の中では、米粉WYが最も大きな比容積

(3.82 mL/g)を示した。湿式気流製粉した米粉はロールミルやピンミルで製粉した粉を使用した場合より比容積が大きくなる傾向がこれまでに報告されている^{11),13)}。同じ湿式気流米粉でもWNでは比容積2.58 mL/gと小さな値になったのは粉の水分含量が7.7%と極端に少ないため必要な加水量に達しなかったと推察した。また、全体で最も比容積が小さかったのはH0.7試験区で1.98 mL/gであった。これは損傷デンプンが27.1%と極めて高いためであろう。損傷デンプンは吸水量を増加させ製パン性を低下させることが知られている¹¹⁾。またH1.0の比容積が小さいのも同様の理由であろう。ハンマーミルを用いた3種類の米粉(H0.7, H1.0, H2.0)の中で比較した場合、スクリーンのメッシュサイズを小さくすると平均粒径が小さくなる一方で、損傷デンプンは増大し、水分含量が低下し、比容積が低下する傾向がみられた。また、ピンミルにより製粉した米粉Pおよび石臼により製粉したMでは比容積はそれぞれ2.49 mL/gおよび2.65 mL/gと低かった。この原因は平均粒径が大きいことが考えられる。江川は、平均粒径の大きい上新粉で製パン試験を行うと、添加するグルテンが切れて発酵時に生地が割れ、ガスが抜けて膨張せずパンにならないと論じている²⁶⁾。また、岡留らも石臼式製粉方法で調製した米粉ではグルテン膜ができにくく、生地は粘土のようであり試験区の中で最も容積の小さなパンとなったと報告している²⁸⁾。本研究においても製パン試験における米粉PおよびMの生地は硬く、弾力に乏しく粘土のようであり、特にMは砂粒を混ぜたように粒径の大きな米粉が生地の表面に観察された。こうした生地の特徴が比容積が小さくなる原因となると推察した。

3. 米粉特性と製パン特性との相関性

表5は測定値間のペアワイズ法による相関性の分析を行った結果である。また図1は、表5のうち平均粒

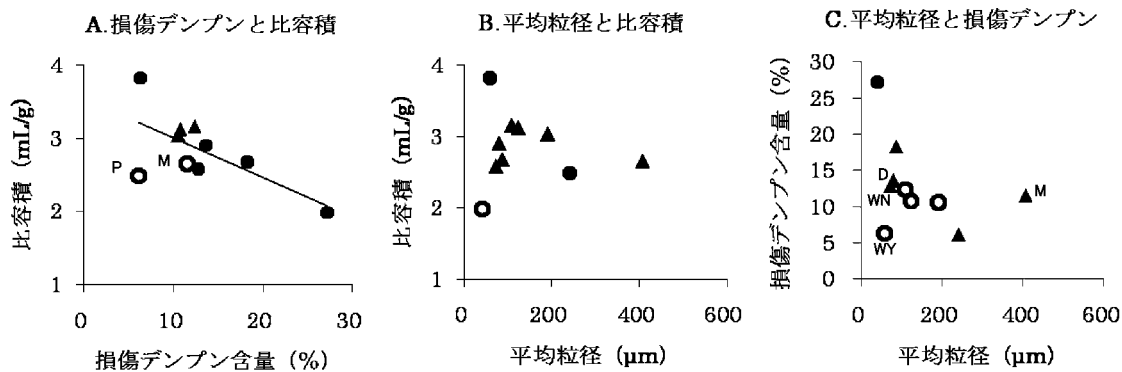


図1 損傷デンプン，平均粒径，比容積の間の相関性の散布図

- A：損傷デンプン含量と比容積の相関性の散布図
 平均粒径による区分：<math>< 100\mu\text{m}</math>，$100 \sim 200\mu\text{m}$，$> 200\mu\text{m}$
- B：平均粒径と比容積の相関性の散布図
 損傷デンプン含量による区分：<math>< 10\%</math>，$10 \sim 20\%$，$> 20\%$
- C：平均粒径と損傷デンプン含量の相関性の散布図
 比容積による区分：<math>< 2 \text{ mL/g}</math>，$2 \sim 3 \text{ mL/g}$，$> 3 \text{ mL/g}$
- 注) 図中表示した米粉の種類を示す記号については表1参照

径，損傷デンプン，比容積についての散布図である。米粉特性と製パン性に関連する項目については，損傷デンプンと比容積との間に有意の負の相関性が認められた(図1A)。また，パンの品質と関係した指標間では，比容積と硬さの間に負の相関性が認められた。すなわち比容積が大きな米粉パンほど柔らかかった。前述したように損傷デンプン含量が比容積と相関性を示す一方，平均粒径と比容積の間に有意の相関性がみられなかったことは，これまでに荒木によって報告されている¹³⁾。今回の結果では，損傷デンプン含量と比容積の相関係数が-0.670と，荒木らの結果-0.92より相関性が低かったが，これは米粉PやMなど平均粒径が200μm以上の米粉も試験区に入っていることが原因と考えられる。この2試料を除外して相関係数を再計算すると-0.91となった。

荒木らの報告と同様，平均粒径と比容積の間には有意の相関がみられなかった(図1B)。この両者の間に相関性がみられない原因としては，損傷デンプン含量の影響が大きく，これを受けて平均粒径の効果が隠れて判断しにくいことが考えられる。本実験でもハンマーミル区で観察されたように，平均粒径が小さくなると損傷デンプン含量が増えるという関係があるため，両者の関係を切り離して考えることが難しかった。平均粒径と損傷デンプン含量の関連性を切り離すことができれば，平均粒径単独の効果を明らかにできるだろう。また，江川は製パンに適した米粉の条件として40μm以下という値を提唱している。今回の試験でH

0.7は平均粒径は40.9μmと小さいものの損傷デンプンが27.1%と高く，比容積は1.98 mL/gと試料間の平均値である2.84 mL/gより小さな値となった。

図1Cに平均粒径と損傷デンプン含量の関係を示した。恣意的な解釈は避けなければならないが，この図より平均粒径が最も大きいMおよび，損傷デンプンが少ないまま微細な米粉を得られる製粉法である湿式気流製粉した米粉MYを除外して考えれば，損傷デンプンと平均粒径は負の相関関係があるように見える(相関係数：-0.78)。平均粒径が小さい米粉では損傷デンプン含量が高いということに関して，前述の250メッシュを通過した米粉(63μm以下)で損傷デンプン含量が高いという穴戸らの結果と一致する。また，図中の印で示した比容積の比較的大きい米粉(>3 mL/g)について考えると，損傷デンプン含量および平均粒径の両者とも小さい。印の近傍のDおよびWNについては，Dは2.9 mL/gと比較的大きい比容積を示している。また，WNについては水分含量が低いため比容積が低かったと考えられる。このように損傷デンプン含量および平均粒径が共に小さいことが比容積の増大と関係している可能性がある。

その他の測定項目に関する相関性について記述する。今回の試験においては原料米が同一なので，試料間でアミロース含量は本来変化しないはずである。しかし，平均粒径の影響や製粉処理によって特定の精米中の特定部位が集積されてみかけのアミロース含量が変化することも想定されたので測定した。しかしなが

ら特にみかけのアミロース含量と有意の相関性のある指標は得られなかった。また、宍戸らは、安息角が低い方が比容積が大きくなると報告しているが¹¹⁾、今回の試験では特に安息角およびスパチュラ角と相関性のある製パン特性値は存在しなかった。前述したように江川は製パンに適した米粉として安息角50°以下を提唱している²⁶⁾。相関性がみられなかったのは、今回供試した米粉の中に、この50°を大きく越える米粉がなかったことがその原因であろう。宍戸らの試験では、例えば衝撃式製粉による米粉で55.7°、ロール式製粉による米粉で54.2°となっているが、本試験では平均48.5°であり、最大の米粉Rで51.5°であった。

4. まとめ

本試験では製粉方法が異なる様々な米粉を使用した。米粉の平均粒径に関しては40.9~407.2 μm であり、損傷デンプンに関しては6.1~27.1%と比較的広範囲の平均粒径、損傷デンプンの米粉を比較することができた。その一方で、粉碎原理が異なる製粉方法により調製した米粉を使用しているため、元々米粉としての性質が大きく異なっており、その統一的説明に難しい面があった。今後は、一定の製粉条件で製粉し分級して平均粒径を変えて比較するなど、より精密な試験を行う必要もあるだろう。また、加水量を80%と一定にしており、本試験は限定された条件下での比較試験である。比容積が最大となるように加水量を選択した場合、異なる結果が得られる可能性もある。

今回の試験では損傷デンプン含量による製パン時の比容積への影響が強くみられ、平均粒径の効果は不明であった。酵素処理した気流製粉米粉は損傷デンプン含量が低いので¹³⁾、こうした米粉を分級すれば、損傷デンプン含量を一定レベルに揃えて平均粒径だけ異なる米粉が得られるだろう。こうした米粉を用いて製パンテストを行えば、損傷デンプンの影響を排除し、平均粒径の影響を調べることができると考えている。また、荒木らが指摘しているように、粒度分布も比容積など製パン適性を左右する重要な因子と考えられる。粒度分布の異なる米粉を混合した場合の効果なども今後検討するべきであろう。粒度分布からみて市販の米粉では数種の米粉がブレンドされている場合があるように見えるが¹³⁾、平均粒径の異なる米粉のブレンドの効果は科学的に解明されていない。今回の試験は米粉とグルテンの混合タイプの試験であった。小麦粉と米粉を混合したタイプの米粉パン等、他のタイプの米粉パンでも同様の結果が得られるかどうかは不明であ

り、今後の課題である。米粉パンに関連して研究テーマが数多く残されており、米粉の特性が製パン性に与える影響をさらに解明して行きたい。基礎的な米粉の特性解明を通じて米粉パンの製パン適性の理論的な理解が進展し、今後の新たな米粉パンの開発に役立つことを期待する。

要 約

ハンマーミル、ピンミル、気流製粉機などを用いて10種類の製粉方法の異なる米粉を調製した。米粉80%、グルテン20%の割合で配合し、80%加水条件でストレート法によりワンローフ型パンの製パン試験を行い、米粉の特性との関連性を調べた。米粉の特性として、平均粒径は40.9~407.2 μm であり、損傷デンプン含量は6.1~27.1%であった。また、米粉パンの比容積は1.98~3.82 mL/gであった。損傷デンプンとパンの比容積の間には負の相関性 ($r = -0.670$, $p < 0.05$) がみられた。平均粒径と比容積の間には相関性がみられなかった。

謝 辞

試験で使用した油脂(ショートニング)は日油株式会社よりご提供いただきました。ご厚意に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 農林水産省食料需給表(平成20年度版)
- 2) 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, 食科工, 55, 444-454 (2008).
- 3) 有坂将美, 中村幸一, 吉井洋一, 米粉の製造方法及びその利用食品, 特許第1866267号(1994.8.26).
- 4) 諸橋敬子, 鍋谷隆史, 吉井洋一, 江川和徳, 小麦粉の代替品となる米粉の製造方法及び当該米粉を使用した加工食品, 特許第3076552号(2000.6.9).
- 5) 西岡昭博, 香田智則, 池田進, 小山清人, 東野真由美, 化穀粉の製造方法及び製造装置, 特許公開番号2007-75104号(2007.3.29).
- 6) Tanaka, Y., Quality Improvement of Rice Bread. *JARQ*, 6, 181-187 (1972).
- 7) 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

- 特性に及ぼす影響, 食品総合研究所研究報告, 48, 43-51 (1986).
- 8) 高野博幸, 豊島英親, 小柳 妙, 田中康夫, 米粉高置換添加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).
- 9) Yamauchi, H., Noda, T., Matsuura-Endo, C., Takigawa, S., Saito, K., Oda, Y., Funatsuki, W., Iriki, N., and Hashimoto, N., Bread-making quality of wheat/rice flour blends. *Food Sci. Technol. Res.* **10**, 247-253 (2004).
- 10) 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**, 121-130 (2009).
- 11) 宍戸功一, 江川和徳, ペ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) 米の粉食文化に関する研究, 新潟県食品研究所研究報告, 27, 21-28 (1992).
- 12) 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, 食科工, 56, 394-402 (2009).
- 13) Araki, E., Ikeda, T. M., 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).
- 14) Nishita, K. D., Roberts, R. L., and Bean M. M., Development of a yeast-leavened rice-bread formula. *Cereal Chem.*, **53**, 626-635 (1976).
- 15) Kadan, R.S., Robinson, M.G., Thibodeaux, D.P., and Pepperman Jr., A.B., Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *J. Food Sci.*, **66**, 940-944 (2001).
- 16) Cato, L., Gan, J. J., Rafael, L. G. B., and D. M. Small, Gluten free breads using rice flour and hydrocolloid gums. *Food Australia*, **56**, 75-78 (2004).
- 17) 大塚節子, 小麦蛋白質を含まない生地焼成食品及びその製造方法並びに酵母生地用プレミックス, 特許出願公開番号2006-174822 (2007.7.6).
- 18) 奥西智哉, 炊飯米を生地に添加したパンの官能評価, 食科工, 56, 424-428 (2009).
- 19) 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, 食科工, 56, 620-627 (2009).
- 20) 山田昌治, 粉碎, 「食品工学ハンドブック」, 第1版 (朝倉書店, 東京), pp. 75-78 (2006).
- 21) Juliano, B.O., A simplified assay for milled rice amylose, *Cereal Science Today*, **16**, 334, (1971).
- 22) American Association of Cereal Chemists, Method 74-09, Measurement of Bread Firmness by Universal Testing Machine.
- 23) 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, 北海道立食品加工センター報告, 7, 17-20 (2007)
- 24) 江川和徳, 新たな利用開発のための米微細製粉の技術開発, 技術と普及, 12, 40-43 (2001).
- 25) 長尾精一, 小麦粉, 「製パン材料の科学」, 第1版 (光琳, 東京), pp. 40 (1992)
- 26) 江川和徳, 米粉パンの開発, 農林水産技術研究ジャーナル, 26, 11-16 (2003).
- 27) 内田迪夫, パンの種類と製法, 「製パンプロセスの科学」, 第2版 (光琳, 東京), pp. 4-5 (1997)
- 28) 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性に及ぼす影響, 和洋女子大学紀要, 48, 45-54 (2008).