

# 米粉食パンの品質に及ぼす米粉製粉技術の影響

## Effect of Rice Flour Milling Methods on the Quality of Rice Flour Bread

山澤 正勝, 中島 千枝, 坂本 奈央, 日比野久美子

Masakatsu YAMAZAWA, Chie NAKASHIMA, Nao SAKAMOTO, Kumiko HIBINO

米粉食パンの品質に及ぼす各種米粉製粉方法の影響について検討した。使用した各種米粉類はグルテンと8:2の割合で混合され、米粉食パンの調製は市販のホームベーカリーによった。

胴搗粉碎法や気流粉碎法で調製した米粉は、本実験に使用したホームベーカリーによる米粉食パン作りには、食パンの高さ、形状、比容積、圧縮強度などの面から不適当であった。一方、ロール粉碎法と気流粉碎法を組み合わせた二段階製粉法や酵素液（ペクチナーゼ）浸漬後気流粉碎する酵素処理製粉法による米粉は、本実験条件下での米粉食パン作りに適していた。

食パン用米粉の特性としては、米粉の粒度は小さいほど良いわけではなく、粒度分布は $63\mu\text{m}$ 以下の粒径割合の多いことであった。また、米粉の吸水力はデンプンが糊化するまでは小さく、糊化後急激に増大する米粉が適していた。さらに、米粉の損傷デンプン含量は多いほど、食パンの高さや比容積が低くなる傾向が認められ、米粉の損傷デンプン含量と食パンの比容積の間には負の高い相関が認められた。

以上の結果、本実験条件下での米粉食パン用米粉としては、損傷デンプンが少なく、吸水力が小さく、 $63\mu\text{m}$ 以下の粒径割合の多い米粉が適していた。

This study examined the effects of various rice flour milling methods on the quality of rice flour bread. All rice flour samples were mixed with vital gluten at a ratio of 8:2 and baked in a home bread maker.

In terms of resultant loaf height, shape, specific volume and compressive strength, rice flour prepared by the hammer milling and blade milling methods were not suitable for use in rice flour bread. On the other hand, rice flour milled by a two-step milling method (a combination of the roll and blade milling methods) and an enzyme-treated method (involving pre-soaking in an enzyme solution containing pectinase followed by blade milling) were suitable for use in rice flour bread baked under our study conditions.

Small rice flour particle size was not necessarily a favorable property for bread making. Rice flour containing a high proportion of particles with diameters of  $63\mu\text{m}$  or less was most suitable for bread making. The ideal rice flour also had the characteristic of an initially low water absorption capacity before starch gelatinization, followed by a rapid increase. Furthermore, an increase in damaged starch content resulted in a proportional decrease in height and specific volume of the bread loaf, demonstrating a strong negative correlation between damaged starch content and specific volume.

Therefore, under the current study conditions, the ideal rice flour for bread making was characterized as having a low damaged starch content, an initially low water absorption capability and a high proportion

of rice flour particles with diameters of 63  $\mu$ m or less.

キーワード：米粉パン、製粉技術、粒子径、吸水力、損傷デンプン

rice flour bread, milling, particle size, water absorption ability, damaged starch

日本における食料自給率の向上を目指し、その一つとして、米の幅広い利用技術、特に米粉パンの開発が進められている。一般に、米の大部分は粒のままご飯として摂取され、一部が米粉として団子、せんべい、うどんなど和菓子の原料粉として利用されている。米粉パンとしては、小麦粉の一部を米粉に置換した部分置換パン、米粉にグルテンを添加したグルテン添加パンやグルテンの代わりに増粘多糖や $\alpha$ 化米粉を加えたグルテンフリーパンなどが検討されてきた<sup>1)</sup>。

一方、米粉の製粉技術としては、従来からロール粉砕法、胴搗粉砕法、気流粉砕法などが使用されているが、これらの粉砕技術で製造された米粉は米粉パンにはあまり適しておらず、米粉パン用の米粉の開発が望まれている。最近、新潟県農業総合研究所食品研究センターが米粉パン用米粉の製粉技術として、二段階製粉法や酵素処理製粉法を開発している。<sup>2-4)</sup>

本報では、米粉の一部をグルテンで置換する米粉パンについて、製粉方法及び粒度分布の異なった愛知県産米の市販米粉を使用し、二段階製粉法および酵素処理製粉法で調製した米粉と米粉食パン適正について比較検討したので報告する。

## 実験方法

### 1. 原材料

#### 1) 米粉

吉村製粉㈱製の愛知県産米「あいちのかおり」を胴搗粉砕法で製造した米粉を愛知1（胴搗製粉粉）、気流粉砕法で製造した米粉を愛知2（気流製粉粉）、気流製粉法のうち、より微粉砕した米粉を愛知3（気流製粉（微粉）粉）とした。また、新潟県農業総合研究所食品研究センターがロール粉砕法と気流粉砕法を組み合わせた二段階製粉法や酵素液（ペプチナーゼ）浸漬により米粉を軟化させた後気流粉砕する酵素処理製粉法で製造した米粉をそれぞれ新潟1（二段階製粉粉）、新潟2（酵素処理製粉粉）と表示した。（新潟製粉製パウダーライスDおよびC<sub>1</sub>）

### 2) グルテン

凍結乾燥法で製造されている市販活性グルテン（北国フード製，H印）を使用した。

### 2. 米粉食パンの調製法

パナソニック製ホームベーカリー SD-BMS151（1.5斤用）を使用し、米粉の2割を活性グルテンで置換したグルテン添加米粉パンを調製した。配合割合は以下の通りである。

（配合割合：米粉320g，グルテン80g，砂糖24g，塩7g，スキムミルク10g，バター32g，ドライイースト6.5g，水310g）

なお、ホームベーカリーの製造工程と所要時間は、「ねかし」20分―「こね」25分―「発酵」65分―「焼き上げ」45分であった。焼き上がった食パンは常温で1時間放冷後プラスチックフィルムに入れて25℃の恒温機内で一晩放置し、物性測定用試料とした。

### 3. 米粉食パンの物性測定法

#### 1) 食パンの高さ

食パン調製後1日後の物性測定用試料について高さ（cm）を測定した。

#### 2) 比容積

約2.5cm角の食パン試料3個について、植物種子置換法（カラシ種子）により、食パン1g当たりの容積（ml/g）を求めた。

#### 3) 圧縮強度

食パンをパンスライサーで2.5cm厚に切り、TPU卓上物性測定器（山電製）を使用し、直径20mmの円盤状ブランジャーで50%圧縮したときの圧縮強度（N：ニュートン）を求めた。

#### 4) 凝集性

上記圧縮試験を2回繰り返し、1回目の圧縮面積に対する2回目の圧縮面積比を凝集性とした。

## 5) 色調

測色色差計（日本電色工業製 NE-2000型）によりクラムの色調（ $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ）を測定した。

## 6) 米粉食パンの形状および断面写真

各米粉食パンの外観はそのまま、断面図はパンスライサーによる切断面を一眼レフデジタルカメラ（キャノン・EOS Kiss Digital）で撮影した。

## 7) 米粉の粒度分布および平均粒径の測定

5種類の米粉について、振動式ふるい分け測定器（セイシン企業）により測定し、粒度分布を求めた。また、積算重量百分率から平均粒径を求めた。

## 8) 米粉の吸水力の測定

50ml 遠沈管に米粉0.5gを精秤し、水25mlを加えた後、ときどき攪拌しながら30～100℃に30分間保持した。終了後、3000rpmで30分間遠心分離し、上澄液を捨てて残渣の重量を測定し、各温度における米粉1g当たりの吸水力（ml/g）を求めた。

## 9) 米粉の損傷デンプンの測定

損傷デンプン測定キット（日本バイオコン株式会社）を使用する酵素法で測定した。

## 10) 食味

本学教員および学生により試食し、食感の特徴をとりまとめた。

## 結果および考察

### 1. 各種米粉を原料とした米粉食パンの品質

#### 1) 食パンの高さおよび形状

各米粉より調製した米粉食パンの高さを図1に、形状を図2（写真）に示した。図1より、愛知県産米粉のうち、愛知2が最も高く14.5cmであり、次いで愛知3、愛知1の順であり、愛知1は10.5cmと非常に低かった。また、図2より、愛知1の上部は凹凸の激しい外観を呈し、愛知3も愛知1ほどではないが、山形食パンからかけ離れた形状をしていた。愛知2は高さは低い形状は山形食パンの様相を呈していた。一方、新潟1、2はほぼ同じ大きさ、形状を呈しており、新潟1は最も高く18.5cm、次いで新潟2の18cmであり、形、ふくらみ具合ともに本来の山形食パンの形状を呈していた。

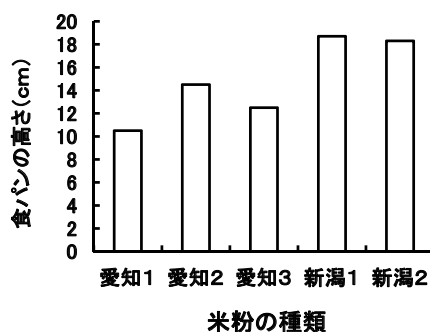


図1 米粉の種類と米粉食パンの高さとの関係

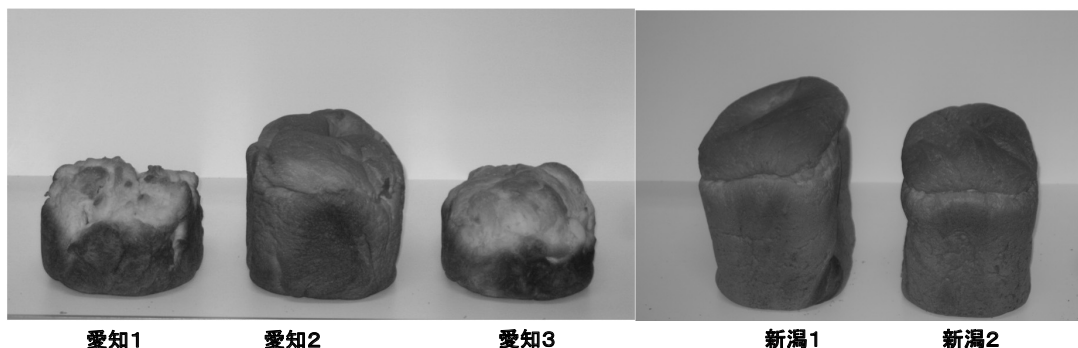


図2 米粉食パンの形状

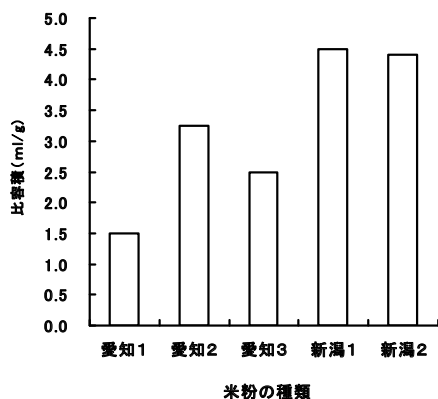


図3 米粉の種類と食パンの比容積との関係

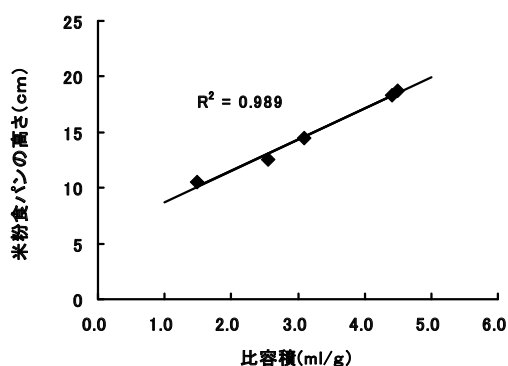


図4 米粉食パンの高さと比容積の関係

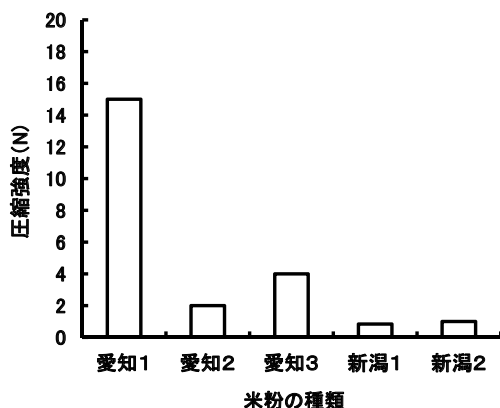


図5 米粉の種類と米粉食パンの圧縮強度との関係

## 2) 食パンの比容積

米粉食パンの比容積の大きさを図3に示した。新潟1, 2はいずれも約4.5ml/gと大きな比容積であったが、愛知県産米粉では、愛知2, 愛知3, 愛知1の順に小さくなり、特に愛知1では1.5 ml/gであった。食パンの比容積と高さとは関係について、図1と図3から、両者の相関関係を求め図4に示した。結果は、 $R^2=0.989$ であり、非常に高い相関関係が求められた。

## 3) 食パンの圧縮強度

図5に食パンの圧縮強度を示した。愛知1の圧縮強度は約15N、愛知3では4Nと非常に大きく、硬いパンであるのに対し、新潟1, 2の圧縮強度は約1Nと非常に小さく、柔らかいパンであった。なお、圧縮強度と比容積との間には相関が認められなかった。

## 4) 食パンの凝集性

図6に食パンの凝集性の結果を示した。新潟1, 2の米粉食パンの凝集性は約0.9と復元力の高い値を示し、弾力のある食感を示しているが、愛知1, 3の米粉食パンは0.7付近であり、復元力のない食パンであった。

## 5) 食パンのクラムの色調

パンスライサーで切断したクラムの切断面について、測色色差計で測定した $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 値の結果を表1に示した。 $L^*$ 値は新潟2が多少低い、その他の食パンの間にはほとんど差が認められなかった。 $a^*$ 値は試料間にほとんど差が認められなかった。褐変の指標となる $b^*$ 値は新潟1が最も低く、次いで新潟2であり、肉眼的にも明らかに差が認められた。

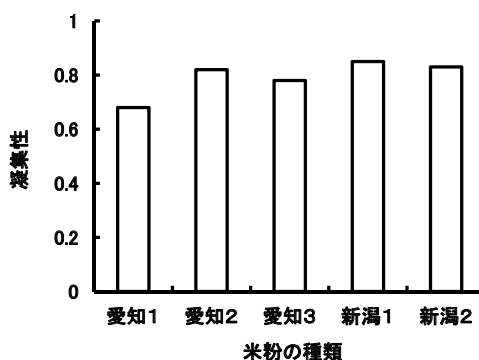


図6 米粉の種類と米粉食パンの凝集性との関係

表1 各種米粉食パンのクラムの色調

| 米粉の種類 | L*   | a*    | b*    |
|-------|------|-------|-------|
| 愛知1   | 78.1 | 0.03  | 18.33 |
| 愛知2   | 81.3 | -0.4  | 19.94 |
| 愛知3   | 80.2 | -0.44 | 16.85 |
| 新潟1   | 78.3 | -0.6  | 13.81 |
| 新潟2   | 74.2 | -0.89 | 16.29 |

## 6) 米粉食パンの切断面

各米粉食パンの切断面の写真を図7-1～5に示した。愛知1, 3は、図7-1, 3に示すように、団子の生地のように全く気泡が含まれていない部分があり、そのため、全体に気泡による膨潤が抑制されていた。これらの原因については後で考察する。一方、愛知2、新潟1, 2は、図7-2, 4, 5に示すように、それぞれ食パンらしい組織を呈しているが、新潟1, 2がきめ細かく、かつふっくらとした組織であるのに対し、愛知2は膨らみが小さいため、気泡を含んでいるが硬い組織の様相を呈していた。

以上の結果、図1～7より、新潟1, 2を原料とした米粉食パンは、高さおよび比容積が大きく、圧縮強度は小さく、凝集性が大きかった。また、食パンとしての形状を維持し、かつ切断面及び食味試験から米粉

パンとしての特徴であるもちもち感やしっとり感が得られ、弾力もあり、米粉食パンとして好ましい性質を示していた。一方、今回使用した愛知1, 3はいずれも新潟1, 2の米粉食パンと比較すると、高さ、比容積が小さく、圧縮強度は極めて大きく、米粉食パンとしては膨らみが小さく、蒸しパンのようで適当ではなかった。愛知2は、愛知1, 3に比べると食パンらしい形状を示したが、高さ、比容積は新潟1, 2に比べると小さく、もちもち感やしっとり感がなかった。これら各原料粉の違いによる食パンの品質については、次項で米粉の特性との関係で考察する。

## 2. 米粉の各種特性と米粉食パンの品質との関係

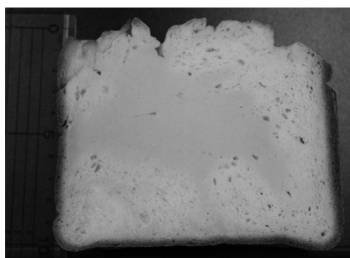
上記結果から、米粉食パンの品質は米の製粉技術によって大きく異なることが明らかであった。米粉は製粉技術によって粒度分布、平均粒径、ぬれ特性、安息角、損傷デンプン含量、吸水力などが変化し、米粉パンの品質に及ぼす影響が検討されている<sup>6)</sup>。

そこで、本報においても、米粉の各種特性のうち、粒度分布、吸水力および損傷デンプン含量について米粉食パンの品質に及ぼす影響について比較・検討した。

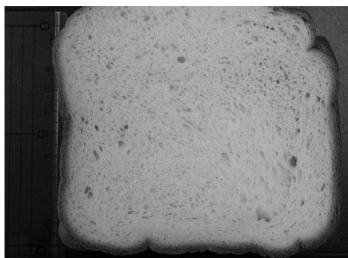
### 1) 米粉の粒度分布

米粉パン用米粉は、粒径は小さいこと、粒度分布は

7-1 愛知1 胴搗製粉



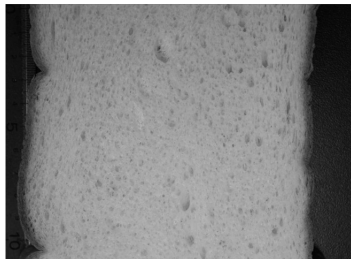
7-2 愛知2 気流式製粉



7-3 愛知3 気流式製粉(微粉)



7-4 新潟1 二段階製粉



7-5 新潟2 酵素処理製粉

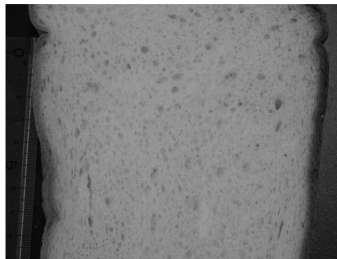


図7 米粉食パンの切断面写真



一定であることが望ましいと述べられている<sup>3,4)</sup>。そこで、使用原料粉について、粒度分布を調べ、結果を図8に示した。また、積算重量百分率50%の粒度を平均粒径 $d=50$ として表2に示した。

図8より、最も粒径の小さい $38\mu\text{m}$ 以下の割合は、愛知3が最も大きく、次いで新潟2、1の順であった。図1、2、3、5、7より、米粉食パンとして愛知3は必ずしも適切ではないことから、米粉の粒径は小さいほど良いわけではなかった。次に $38\sim 63\mu\text{m}$ の範囲では、新潟1が最も大きく、次いで新潟2であり、他の3種はほぼ同程度に小さかった。逆に、 $75\mu\text{m}$ 以上の粒度の比率は、愛知2、3が最も大きく、次いで愛知1、新潟2の順であり、新潟1が最も少なかった。

以上の結果、米粉の粒度分布から米粉食パンに適した米粉の粒径は、 $63\mu\text{m}$ 以下の範囲の粒径割合が多く、 $75\mu\text{m}$ 以上の粒径の粒の少ない米粉であった。 $75\mu\text{m}$ 以上の粒の分布が多い粉は食パンには適していないようであった。

さらに、以上の結果を表2の平均粒径で評価してみると、平均粒径約 $40\mu\text{m}$ が最も適しており、大きくなるほど膨潤が小さく硬くなり、また、平均粒度が小

さすぎても膨潤が小さかった。

## 2) 米粉の吸水率

米粉パン用には吸水率の少ない米粉の方が良いとされている<sup>4)</sup>が、米粉は製粉時にデンプンが損傷すると吸水率が高くなるといわれている<sup>6)</sup>。また、小麦粉の吸水については、健全デンプンはそれ自身の0.44倍、損傷デンプンは2倍、グルテンは1.1倍と述べられており、損傷デンプンは健全デンプンの約5倍も吸水することになる<sup>7)</sup>。

そこで、各米粉の加熱温度と吸水率の関係を求め、結果を図9に示した。図より、常温から $50^{\circ}\text{C}$ までは、新潟1、2の米粉はほとんど吸水しないのに対して、愛知1-3は常温から $50^{\circ}\text{C}$ までにも徐々に吸水量が増加していた。 $60^{\circ}\text{C}$ 以上になると米粉デンプン粒は吸水・糊化し始め、いずれの米粉も急激に吸水量が増加し $80^{\circ}\text{C}$ ではほぼ同程度の吸水率に達した。さらに $100^{\circ}\text{C}$ に達するまでの温度帯では新潟1、2は著しく上昇したが、愛知1～3の増加量は小さかった。

図9と図1、2、3の結果から、米粉食パンには常温時には吸水が少なく、糊化後に吸水量が増加する米粉が適しており、愛知1～3のように常温時にすでに吸水がはじまり、糊化後の吸水量の少ない米粉は食パンの膨潤が抑制されるようであった。

## 3) 米粉の損傷デンプン含量と米粉パンの品質との関係

米粉パンと米粉の損傷デンプン含量との関係について、米粉パンに求められる米粉の品質は、米粉粒子に損傷のないことであり<sup>4,5,7)</sup>、含有率が約6%以下が望ましいとされている<sup>7)</sup>。また、米粉粒子を小さくするほどデンプンの損傷が大きく、アルファ化を起こ

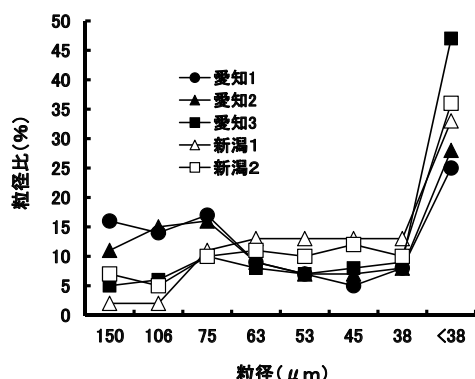


図8 各種米粉の粒径と粒径比の関係

表2 各種米粉の平均粒径

| 米粉の種類 | 平均粒径              |
|-------|-------------------|
| 愛知1   | $58.1\mu\text{m}$ |
| 愛知2   | 50.6              |
| 愛知3   | 30.5              |
| 新潟1   | 39.6              |
| 新潟2   | 39.1              |

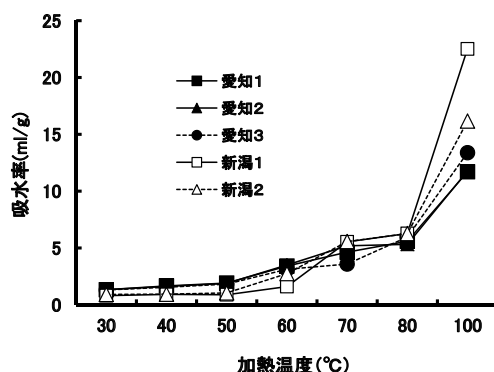


図9 各種米粉の吸水率に及ぼす加熱温度の影響

すため、吸水量が大きくなり、製パン性を低下させる<sup>5)</sup>と述べている<sup>5)</sup>。

そこで、今回使用した米粉類の損傷デンプン含量を測定し、米粉パンの品質との関係を求めた。

各種米粉の損傷デンプン含量を図10に示した。図より、新潟1, 2の損傷デンプン含量はそれぞれ4.3, 3.2%と非常に低いのにに対し、愛知1, 2, 3はいずれも12%前後と非常に大きな値を示した。また、米粉の損傷デンプン含量と米粉パンの比容積との関係を求めて図11に示したが、相関係数  $R^2=0.822$  と非常に高い相関が認められた。

さらに、米粉の損傷デンプン含量と米粉パンの高さおよび圧縮強度との関係を求めた。損傷デンプンと高さの関係は図12に示した。両者の間には  $R^2=0.876$  の負の高い相関関係が認められた。なお、損傷デンプンと圧縮強度の間には相関は認められなかった。

本実験に使用した米粉からも、米粉パンの品質には

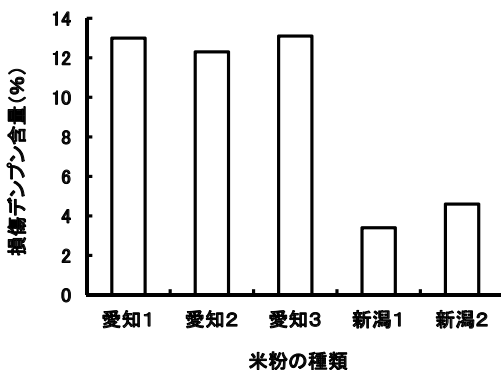


図10 米粉の種類と損傷デンプン含量との関係

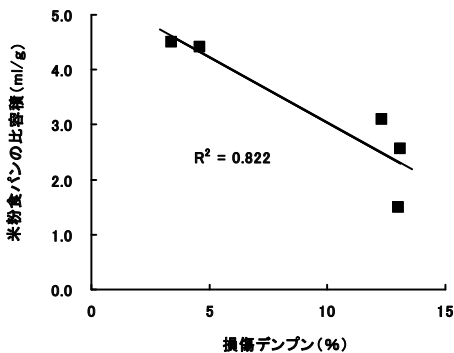


図11 米粉損傷デンプンと米粉食パンの比容積との関係

損傷デンプンが大きく関与しており、製粉時に損傷デンプンを減らすことがいかに重要であるかが明らかであった。

以上の結果、今回実験に供した愛知県産米を使用した市販米粉は、ホームベーカリーを使用した米粉食パン作りには適切ではなかったため、この理由について考察する。

一般に、「こね工程」の段階で加えられた水はまずグルテンが吸水してマトリックスをつくる。デンプンはマトリックス中に分散し、生のデンプンはほとんど吸水しないのでパン生地流動性を与えている。「発酵工程」中は、イーストによって生成された二酸化炭素はグルテンのマトリックスに閉じこめられる。「焼き上げ工程」で加熱によって二酸化炭素の体積が増大するにつれて、グルテン・マトリックスはゴム風船のように伸び広がる。さらに、70℃以上になるとグルテン・マトリックスは変性によって骨格をつくるとともに水を吐き出し、デンプン粒子はこの水を吸水・糊化し、パン組織が固定される<sup>9)</sup>。

ところが、今回使用したホームベーカリーでは最初に「ねかし工程」があり、米粉に損傷デンプンが多い場合、「ねかし工程」および次の「こね工程」の段階でデンプンの一部は水を吸水しパン生地は団子状になる。そのため、グルテンは十分に吸水できず、強いマトリックスが形成できない。また、吸水したデンプンはグルテン・マトリックスの形成する薄膜間に分散し、薄膜の粘弾性と流動性を低下させる。その結果、愛知1, 3のパン組織の断面図にみられるように、部分的に団子生地状の組織が認められる。さらに、「発酵・

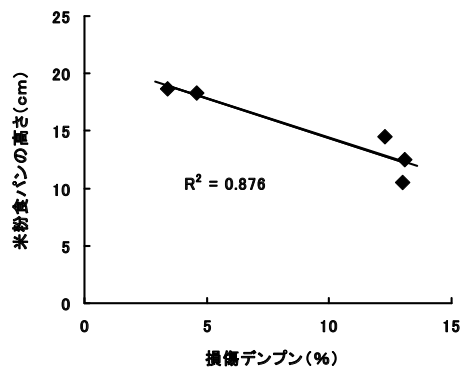


図12 米粉損傷デンプンと米粉食パンの高さとの関係

焼き上げ工程」の段階で、イーストによって生成された二酸化炭素はグルテンの薄膜が不均一で弱いため、薄膜内に閉じこめられずに漏洩し、あまり膨潤できなかったものと推察された。

なお、今回使用した愛知県産米粉類も、手捏ね法や最初からこね工程でスタートするホームベーカリーなどであれば損傷デンプンによる部分的な過度の吸水は抑制できる可能性が考えられる。今後は、食パン以外のいろいろな米粉パンの原料としての製粉技術の影響を検討する必要がある。

終わりに、本研究を行うに当たり、ご支援を賜りましたエリザベスアーノルド富士財団に厚く御礼申し上げます。また、愛知県産米「あいちのかおり」の各種米粉を提供していただくとともに粒度分布の測定にご協力いただいた吉村穀粉株式会社、実験にご協力いただいた名古屋文理栄養士専門学校生財部絵美、中野祐子、秋山薫、安藤比呂子、磯村香奈、宗宮由佳の各氏に感謝いたします。

## 要約

米粉食パンの品質に及ぼす各種米粉製粉方法の影響について検討し、以下の結果が得られた。

1. 胴搗粉碎法や気流粉碎法で調製した米粉は、本実験に使用したホームベーカリーによる米粉食パン作りには、食パンの高さ、形状、比容積、圧縮強度および組織断面図などから不適当であった。
2. ロール粉碎法と気流粉碎法を組み合わせた二段階製粉法や酵素液（ペクチナーゼ）浸漬後気流粉碎する酵素処理製粉法による米粉は、本実験条件下での米粉食パン作りに適していた。
3. 米粉の粒度分布は、 $63\mu\text{m}$ 以下の範囲の粒径割合の多い米粉が食パンには適していた。
4. 米粉の吸水率は、デンプンが糊化するまでは吸水力が小さく、糊化後急激に増大する米粉が適していた。
5. 米粉の損傷デンプン含量は多いほど、食パンの高さや比容積が低くなる傾向が認められ、また、米粉の損傷デンプン含量と比容積の間には、負の高い相関が認められた。
6. 以上の結果、米粉食パン用米粉は、損傷デンプンが少なく、吸水力が小さく、 $63\mu\text{m}$ 以下の範囲の粒径の割合の多い米粉が適していた。

## 文献

- 1) 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—，日食科誌，55,444-454(2008)
- 2) 吉井洋一，米粉の製粉方式と製粉方法—パンや麺に向く米粉をつくる，米粉とことん活用読本（農文協），127-131（2011）
- 3) 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(10)11-16(2003)
- 4) 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特性（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，No.27，21-28（1992）
- 5) 瀧尾佳明，米粉食品の普及と米粉パン，月刊フードケミカル，2007，4，38-44
- 6) 與座宏一，松木順子ら，製粉方法の異なる米粉の特性と製パン性の関係，食総研報，No.74，37-44（2010）
- 7) 長尾精一，小麦粉成分と製パン性—デンプン，田中康夫・松本博編，製パンの科学(Ⅱ)製パン材料の科学，光琳，平成4年9月
- 8) 荒木悦子，芦田かなえ，青木法明，高橋誠，米粉パンに適する米粉の特性は？品種は何がいい？米粉とことん活用読本（農文協），120-125（2011）
- 9) 松本博・団野源一，生地形成，田中康夫・松本博編，製パンの科学(Ⅰ)製パンプロセスの科学，27-62，光琳，平成3年3月