

## 米粉と各種澱粉併用による低アレルギー性蒸しパンへの応用

### Application of rice flour with various starches to the low-allergenic steamed-bread

前 田 智 子\* 安 藤 ひとみ\*\* 森 田 尚 文\*\*\*  
MAEDA Tomoko ANDOU Hitomi MORITA Naofumi

優れた加工特性を示す小麦粉は多種多様の加工食品をもたらす、日本の食生活を支える重要な食品素材のひとつであるが、一方でそのタンパク質の性質により代表的なアレルギー反応を示すことでも知られている。日本における低い食料自給率の向上と食物アレルギー反応の低減化を目指し、近年、小麦粉代替品として、国産米粉が注目されている。本研究では、小麦粉の代替品として米粉を取り上げ、小麦粉の「焼く」という調理・加工方法に対し、米粉に適した「蒸す」という手法により蒸しパンを調製した。米粉の品質改良剤として各種澱粉も併用し、その美味しさと低アレルギー性を示す米粉加工食品の調製方法を検討した。ウルチ米粉の小麦粉アレルギー反応は陰性であったが、使用した澱粉には陽性を示すものもあった。さらに、反応は弱いものの、全ての米粉蒸しパンから陽性反応が認められた。米粉単独による蒸しパンは、保形性と膨らみの悪い外観であった。しかし、米粉由来のリン酸架橋澱粉とヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉の添加により、その保形性や膨らみと明るさは向上し、ウルチ米粉単独の蒸しパンに見られた崩れやすさも改善された。一方、これらにタピオカ澱粉を併用すると、同様に良好な結果が得られたが、極めて硬い蒸しパンとなり、ソフト感保持と改善には至らなかった。従って、ウルチ米粉ベースの製品には、同様のウルチ米由来の加工澱粉との相性が良く、米粉加工食品への品質改善効果が期待された。しかし、アレルギー反応の観点からは、米粉製品であっても小麦アレルギー患者に対する詳細な検討が、更に必要であると考えられた。

キーワード：米粉，低アレルギー，加工澱粉，小麦粉，蒸しパン

Key words : rice flour, low-allergy, modified-starch, wheat flour, steamed-bread

#### 1. 緒言

日本に米が伝わったのは縄文時代といわれており、弥生時代に大きく広がった。米粉の利用については奈良時代、遣唐使により唐の文化が伝えられ、小麦粉や米粉を用い、油で揚げた煎餅のような唐菓子が伝わったとされている。この唐菓子の移入以降、穀物を加工した日本の菓子が始まった。伝統的な米粉の用途としては主に米菓、和菓子などがある。

日本では米の消費が1963年度の年間1,341万トンから近年は900万トン台まで落ち込んでおり、一人あたりの消費量は1962年度の118.3kgから2011年度には57.8kgと激減している。このような状況のもと、行政や関係団体は米の消費拡大を目指した取り組みを行ってきた。しかし、従来からある、煎餅、団子、落雁、大福餅、さくら餅などの和菓子製品だけでは消費拡大を期待することは難しかった。小麦粉グルテンを添加してパンや麺などを量産する技術が確立されたことにより、米の消費拡大への期待が高まっていたが、10年以上普及しなかった。理由は米と小麦の価格差によるものであった。また、米粉製品を学校給食に取り入れる自治体も出てきたが、技術的問題により品質にばらつきがあるなど急激に普及するまでには至っていなかった。

しかし近年、中国やインド等での食糧需要の増大や、

世界的なバイオ燃料の原料としての穀物等の需要増大といった構造的な要因に加え、輸出国における輸出規制に伴い、麦の国際相場が大幅に上昇しており、小麦粉代替品としての日本国産の米粉が脚光を浴びることとなった。小麦価格高騰を受け、農林水産省は代替原料として米粉の増産支援に乗り出すこととなり、2009年4月に米穀の新用途への利用の促進に関する法律を成立した<sup>1)~2)</sup>。

それにより、特にパン用・麺用等について米粉の利用促進を図っており、これまでの地域・中小企業の取組みに加え、大手企業も取り組みはじめ、米粉用米の生産量は2012年度で約2万8千トンに増加し、2020年度には50万トンを目指している。これに伴い米粉パンの学校給食導入状況は、給食実施校数(校)に対して2009年には39%となり5年前の3倍の値となっている<sup>3)</sup>。

一般に、パンや麺は小麦粉で加工されてきたが、小麦粉には米にはないタンパク質による食物アレルギーを生じることがある。アレルギー反応の治療の基本は、アレルギーの原因となっている食品を除去することであり、小麦使用においてもアレルギー問題は深刻な課題である。

以上の事情を踏まえて、本研究では、米粉の有効利用を目的とし、米粉を用いたパンを調製し、その美味しさとアレルギー性について検討した。特に、本稿では焼成パンのような「焼く」という手法ではなく、米粉に適切

\*兵庫教育大学大学院教育内容・方法開発専攻行動開発系教育コース \*\*京都文教短期大学

\*\*\* (株) FUDAI, 東洋食品工業短期大学

平成25年11月1日受理

な加工・調理方法である「蒸す」という手法を使用し、蒸しパンを調製した。また米粉製品の品質改良剤として各種澱粉を併用し、米粉の加工食品への最適实际应用について検討を行った。

2. 実験試料

ウルチ種の米粉，ウルチ米粉100%をコントロールとした。市販の天然タピオカ澱粉の他に，リン酸架橋タピオカ澱粉，リン酸架橋ウルチ米澱粉，ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉の3種類を併用した。蒸しパン調製用の副材料として，市販の上白糖，重曹，イーストを使用した。

3. 実験方法

3-1. アレルギー試験<sup>4)</sup>

米粉，各種澱粉試料ならびに蒸しパン製品について，食品アレルゲン検出キット（ナノトラップーアレルゲン検出シリーズ・小麦，生化学バイオビジネス（株））を用いて，アレルゲン試験を行った。

3-2. 米粉による蒸しパンの調製<sup>4)</sup>

材料は，各種粉の総量を50 g，上白糖15 g，イースト0.75g，重曹0.25 g，蒸留水は各配合に対して最適量を予備実験により検討し，32-70 gとした。詳細な材料配合を表1に示す。家庭用蒸し器を使用し，下記の手順で，カップ型蒸しパン7種を調製した。また各材料の重量を4倍とし，直径18cmの円形型でも発酵および蒸し時間を各々，40分，20分として同様に行った。

- 1. 各種粉，上白糖，重曹，ドライイーストを計量し，ふるいにかける。
- 2. ボウルに蒸留水を入れ，1を加え，混ぜ合わせる。
- 3. 型に流し込み，ラップをして，室温（25度）で30分間発酵させる。
- 4. 蒸し器で，強火で15分間蒸す。

なお，カップ型と円形型で，結果に同様の傾向が見られたので，本稿では，特にカップ型蒸しパンの結果を取り扱うこととする。

3-3. 蒸しパンの品質特性

(1) 外観と高さの測定<sup>4)</sup>

蒸しパン調製後，室温（25度）で30分間冷却し，外観結果をデジタルカメラ（LCS-L1，ソニー（株））で撮影した。また，室温（25度）で24時間冷却した後，パンを中央部から二つに切断し，最も膨らんでいる箇所の高さを計測した。

(2) 物性試験（破断，テクスチャー試験）<sup>5)～11)</sup>

各種蒸しパンを調製後，室温（25度）で24時間冷却し物性を測定した。パンを噛んだ時や，手で押さえた時を想定した物性を調べるために，クリープメーター（（株）山電 RE-3305S）を用いて破断及びテクスチャー試験を行った。破断試験は，試料の大きさを2×3×2 cmとし，プランジャー No. 49（くさび型），歪み率50%で行った。一方，テクスチャー試験は，試料の大きさを2×3×4 cmとし，プランジャー No. 1（円型），歪み率25%で行った。

(3) 色彩測定<sup>4)</sup>

各種蒸しパンを調製後，室温（25度）で24時間冷却し，測色計（ミノルタ（株）CM-3500d）の彩チェックを用いて色彩を測定した。2×3×4 cmに切断した試料を2個使用し，直径3.0cm シャーレガラス上に置き，D65光源，視野10度で，各々，2回ずつ測定した。

4. 実験結果

4-1. アレルギー試験結果

米粉と各種澱粉のアレルギー試験を行った。結果において，以下の表記に統一した。

陽性（+）：アレルギー反応がみられる。

陰性（-）：アレルギー反応がみられない。

表2より，ウルチ米粉は陰性反応であったが，リン酸架橋ウルチ米澱粉ではうっすらと陽性反応が出た。各種粉試料のキット写真を写真1に示す。

一方，蒸しパンの結果を表3と写真2に示す。明らかなライン検出（陽性反応）ではないものの，完全な陰性反応を示したものはなかった。強弱はあるものの全ての蒸しパン試料で，うっすらとピンクのラインを示した。従って，本試料のように小麦粉を含まない食品であって

表1. 米粉蒸しパンによる材料配合

試料No.	試料	ウルチ米粉	タピオカ澱粉	ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	リン酸架橋ウルチ米澱粉 (g)	リン酸架橋タピオカ澱粉	上白糖	イースト	重曹	蒸留水
No. 1	ウルチ米粉100%（コントロール）	50	0	0	0	0	15	0.75	0.25	70
No. 2	ウルチ米粉+ ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	35	0	15	0	0	15	0.75	0.25	60
No. 3	ウルチ米粉+ リン酸架橋ウルチ米澱粉	35	0	0	15	0	15	0.75	0.25	60
No. 4	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉	25	25	0	0	0	15	0.75	0.25	42
No. 5	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	10	25	15	0	0	15	0.75	0.25	35
No. 6	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ リン酸架橋ウルチ米澱粉	10	25	0	15	0	15	0.75	0.25	32
No. 7	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ リン酸架橋タピオカ澱粉	25	10	0	0	15	15	0.75	0.25	40

表2. 各種粉試料のキットによる  
小麦アレルギー反応結果

試料	判定
ウルチ米粉	-
タピオカ澱粉	-
ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	-
リン酸架橋ウルチ米澱粉	±
リン酸架橋タピオカ澱粉	-

も完全な陰性反応を示すことはなく、その原因としては、加工に伴う副材料や加工過程等も関与していると思われる。

以上の結果は米粉加工食品であっても、小麦アレルギー反応患者に対して、全てが完全なノンアレルギー食品として対応できるものばかりではなく、食品アレルギーに

おける課題の大きさが推察された。

4-2. 米粉による蒸しパンについて

(1) 外観と色彩結果

写真3に示すように、米粉単独のNo.1では、かなり好ましくない外観であり、膨らみの悪い蒸しパンとなった（No. 1）。しかし、それは同じウルチ米由来のリン酸架橋澱粉やヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉添加により改善され、蒸しパンの色の明るさや保形性を向上させた（No. 2, No. 3）。特に、色味のトーンは、米粉とリン酸架橋ウルチ米澱粉の併用（No. 3）で、赤味、黄味を抑制しつつ最も明るくなった。一方、No. 7に見られるように、リン酸架橋タピオカ澱粉の添加は、他の加工澱粉試料よりもL\*値が低く、蒸しパンの白度や明

表3. 蒸しパン試料のキットによる小麦アレルギー反応結果

試料No.	試料	判定	ライン強度
No. 1	ウルチ米粉100%（コントロール）	±	弱
No. 2	ウルチ米粉+ ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	±	弱
No. 3	ウルチ米粉+ リン酸架橋ウルチ米澱粉	±	弱
No. 4	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉	±	中
No. 5	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	±	中
No. 6	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ リン酸架橋ウルチ米澱粉	±	中
No. 7	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ リン酸架橋タピオカ澱粉	±	強

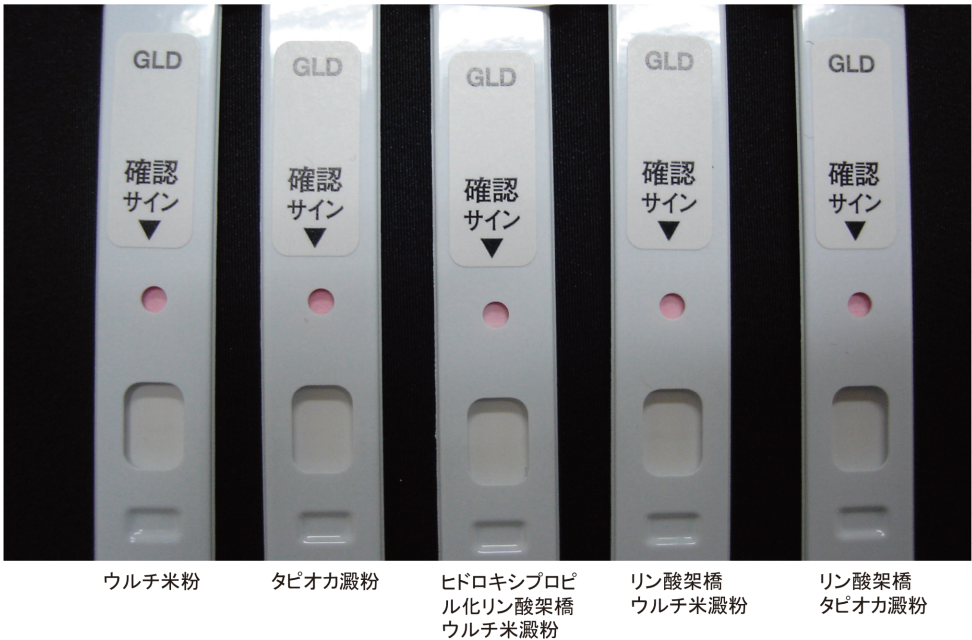


写真1. 各種粉試料のキットによる小麦アレルギー反応結果





No. 1   No. 2   No. 3   No. 4   No. 5   No. 6   No. 7

写真 2. 蒸しパン試料のキットによる小麦アレルギー反応結果

- No. 1, ウルチ米粉100%(コントロール);  
 No. 2, ウルチ米粉+ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉;  
 No. 3, ウルチ米粉+リン酸架橋ウルチ米澱粉;  
 No. 4, ウルチ米粉+タピオカ澱粉;  
 No. 5, ウルチ米粉+タピオカ澱粉+ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉;  
 No. 6, ウルチ米粉+タピオカ澱粉+リン酸架橋ウルチ米澱粉;  
 No. 7, ウルチ米粉+タピオカ澱粉+リン酸架橋タピオカ澱粉

るさを低下させる傾向を示した(表4)。

また、タピオカ澱粉とヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉の併用(No. 5),あるいはリン酸架橋ウルチ米澱粉との併用(No. 6)でも、蒸しパンの体積と膨らみは共に増加し、保形性の改善が見られた。

これは、タピオカ澱粉単独(No. 4),あるいはリン酸架橋タピオカ澱粉の添加(No. 7)では見られない結果であったので、No. 2とNo. 3の結果と同様に、ウルチ米粉ベースの製品には、同様のウルチ米由来の加工澱粉で相性が良く、製品への品質改善効果があると思われる。

## (2) 物性試験結果

### 1) 破断試験

表5に示すように、米粉単独の蒸しパンはかなり低い最大荷重0.75を示し、軟らかい蒸しパンとなった(No. 1)。いずれの澱粉添加でも、値は高くなり、蒸しパンは硬くなった。特にその傾向は、タピオカ澱粉添加で強く見られた(No. 4)。しかし、外観、色彩、膨らみなどで良好な傾向を示したNo. 2, No. 3即ち、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋およびリン酸架橋ウルチ米澱粉の添加ではそれほど高くはならず、比較的低い値を示した。これは写真3で示したように、同じく外観等で良好な結果であった、タピオカ澱粉を併用しているNo. 5とNo. 6とは極めて異なる物性結果であった。

### 2) テクスチャー試験

破断試験と同様に、最大荷重は米粉単独でかなり低い値を示し、澱粉を添加した試料の中ではNo. 2, No.

3即ち、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋およびリン酸架橋ウルチ米澱粉の添加で、もっともコントロールに近い値を示した(表5)。その他の試料ではコントロールの20倍以上高い値を示し、破断試験の結果よりコントロールとの間で差が大きく認められた。これは、プランジャーの形態が破断試験のくさび型からテクスチャー試験では円型となり、前者は試料を切る方法で、後者は押す方法で抵抗値を測定するため、より試料間の硬さの違いが明らかになったものと考えられる。

また、凝集性については、コントロールでは0.265とかなり小さく、崩れやすい蒸しパンであることがわかる。これに対し、澱粉添加をした試料では全て値が増加していることから、これらが蒸しパンの崩れにくさに関与していると思われる。

以上の物性試験の結果より、軟らかく崩れにくさを保持するには、米粉に対してヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉を併用したもの(No. 2)であることがわかった。

## 結論

優れた加工特性を示す小麦粉にはアレルギー反応をもたらすタンパク質が含まれているため、近年、その代替食品となる素材が検討されつつある。また同時に、小麦と同様、我々の食生活を支えている米の消費量低下が問題となり、米粉の有効利用も望まれつつある。本研究では特にアレルギーという視点だけではなく、学校給食にも使用されつつある米粉の実際応用を目指し、米粉加工



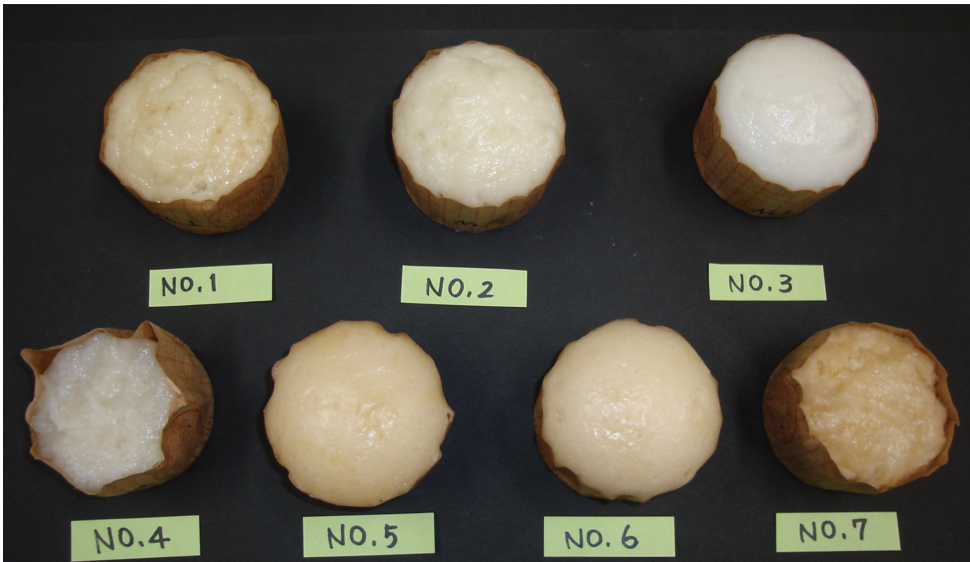


写真3. 蒸しパンの外観観察結果

- No. 1, ウルチ米粉100%(コントロール);  
No. 2, ウルチ米粉+ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉;  
No. 3, ウルチ米粉+リン酸架橋ウルチ米澱粉;  
No. 4, ウルチ米粉+タピオカ澱粉;  
No. 5, ウルチ米粉+タピオカ澱粉+ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉;  
No. 6, ウルチ米粉+タピオカ澱粉+リン酸架橋ウルチ米澱粉;  
No. 7, ウルチ米粉+タピオカ澱粉+リン酸架橋タピオカ澱粉

表4. 蒸しパン試料の色彩結果

試料No.	試料	L*	a*	b*	XYZ-X	XYZ-Y	XYZ-Z
No. 1	ウルチ米粉100%(コントロール)	66.53	-1.09	22.06	33.84	36.02	23.32
No. 2	ウルチ米粉+ ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	76.00	-1.49	16.27	46.77	49.89	38.70
No. 3	ウルチ米粉+ リン酸架橋ウルチ米澱粉	78.87	-1.16	13.57	51.43	54.71	45.28
No. 4	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉	66.95	-1.69	11.18	34.18	36.57	30.74
No. 5	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	76.88	-0.10	18.39	48.64	51.34	38.21
No. 6	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ リン酸架橋ウルチ米澱粉	76.51	0.54	19.25	48.29	50.73	37.02
No. 7	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ リン酸架橋タピオカ澱粉	75.27	-0.01	20.78	46.18	48.71	34.18

食品を調製し、その品質を調べた。これまで米粉を用いた加工実験を行ってきたが、製パンなど小麦粉が得意とする「焼く」という加工方法は、米粉単独では、安定した最終製品を得ることができなかった。そこで、本稿では従来から米に最適に使用されてきた「蒸す」という加工手法により「蒸しパン」を調製した。加工特性の低い米粉の品質改良剤として、各種澱粉を併用し、その物性や味わいから、良好な低アレルギー性蒸しパンの実際応用について検討を行った。

蒸しパン調製前の米粉では、キットによる小麦粉アレルギー反応は陰性であったが、澱粉については陽性を示すものもあり、さらにいずれの蒸しパンからも、その強度は弱いものの陽性反応が認められた。

米粉単独による蒸しパン、即ちコントロールでは、パンの膨らみと保形性が悪く釜落ちした好ましくない外観となった。しかし、米粉由来のリン酸架橋およびヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉の添加は、保形性や明るさを向上させた。これは、タピオカ澱粉単独、あるいはリン酸架橋タピオカ澱粉の添加では見られない結果であったが、リン酸架橋あるいはヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉は、タピオカ澱粉と併用することでその膨らみと保形性をより向上させているようであった。

物性試験では、コントロールではかなり軟らかい蒸しパンとなったが、いずれの澱粉添加でも、蒸しパンは硬くなった。特にその傾向は、タピオカ澱粉単独で強く見られた。しかし、外観、色彩、膨らみなどで良好な傾向

表 5．蒸しパン試料の物性試験結果

試料No.	試料	破断試験	テクスチャー試験	
		最大荷重 (N)	凝集性	最大荷重 (N)    ガム性荷重 (N)
No. 1	ウルチ米粉100% (コントロール)	0.75	0.265	0.44    0.09
No. 2	ウルチ米粉+ ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	1.88	0.908	0.56    0.51
No. 3	ウルチ米粉+ リン酸架橋ウルチ米澱粉	1.83	0.426	2.60    1.26
No. 4	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉	19.75	0.995	19.90    23.75
No. 5	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ ヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉	12.12	0.897	8.09    7.25
No. 6	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ リン酸架橋ウルチ米澱粉	8.75	0.998	19.79    29.29
No. 7	ウルチ米粉+ タピオカ澱粉+ リン酸架橋タピオカ澱粉	8.46	0.992	19.93    26.10

を示したリン酸架橋およびヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉の添加では、比較的軟らかい蒸しパンとなった。同じ二種類の加工澱粉を含み、かつタピオカ澱粉を含む蒸しパンでは、外観等では良好な結果を示したが、かなり硬い蒸しパンとなり、タピオカ澱粉の影響が大きいものと思われた。

テクスチャー試験でも、同様の傾向を示し、さらに凝集性については、崩れやすい蒸しパンであったコントロールに対して、澱粉添加試料では全て崩れやすさが改善され、特にタピオカ澱粉を含むもので、それは顕著であった。

以上の結果より、リン酸架橋あるいはヒドロキシプロピル化リン酸架橋ウルチ米澱粉の添加により、蒸しパンの体積、膨らみは共に増加し、保形性と色相、外観の改善が見られた。これは、タピオカ澱粉を含むものでは見られない結果であったので、ウルチ米粉ベースの製品には、同様のウルチ米由来の加工澱粉との相性が良く、米粉最終製品の改善効果が期待できると思われた。

一般にタピオカ澱粉はその食感改善などの目的で、小麦粉製品にも添加されているが、今回のような米粉ベースの蒸しパンには、保形性改善には良好であったが、ソフト感改善には強すぎるものであったと推察される。

米粉を加工する上で、加工澱粉との併用の仕方（種類、量）によって、まったく異なる外観と物性の蒸しパンとなることがわかり、安定した美味しい品質の最終製品の加工には、米粉に適したこれらの素材の適切な配合割合を調べる必要がある。また、アレルギー反応の観点からは、小麦粉に替わる食品素材として米粉を取り上げるならば、米粉製品の小麦アレルギー患者に対する詳細な検討が必要であると考えられた。

## 引用文献

- 1) 米穀の新用途への利用の促進に関する法律関連情報、農 林 水 産 省 <http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/>

[komeko/k\\_houritu/](http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/komeko/k_houritu/)

- 2) 「米粉の利用促進について」農林水産省（平成25年4月）<http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/komeko/pdf/20130403.pdf>
- 3) 米をめぐる関係資料 農林水産省（平成23年11月）[http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/soukatu/pdf/meguji\\_11.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/soukatu/pdf/meguji_11.pdf), p. 55.
- 4) 前田智子, 安藤ひとみ, 光永俊郎, 森田尚文, 各種大麦のアレルゲン性と低アレルゲン食品への応用, 兵庫教育大学研究紀要, 40, 131-138 (2012).
- 5) 前田智子, 溝内尚子, 森田尚文, 各種古代米の性質と製パンへの応用, 食品と科学, 51, 65-72 (2009).
- 6) 前田智子, 森田尚文, 新しい食品素材—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, 1-42 (2001).
- 7) T. Maeda, M. Ohkura and N. Morita, Characterization of wheat flour graded by polishing and its application to breadmaking, J. Appl. Glycosci., 46, 413-422 (1999).
- 8) T. Maeda, N. Maeda and N. Morita, Effect of polished-graded flour substitution to commonly milled wheat flour on the properties of dough and bread, J. Appl. Glycosci., 47, 1-12 (2000).
- 9) T. Maeda and N. Morita, Effect of polished-graded hard-type wheat flour substitution to commonly milled hard-type wheat flour on the properties of dough and bread, J. Appl. Glycosci., 48, 27-36 (2001).
- 10) T. Maeda and N. Morita, Effect of quality of hard-type polished-graded flour on breadmaking, J. Appl. Glycosci., 48, 63-70 (2001).
- 11) 前田智子, 田中香織, 森田尚文, ハイアミロース小麦粉を用いた製パンおよび製菓に関する研究, 食品と科学, 53, 81-90 (2011).