

技術論文

## 湯種中の加熱糊化澱粉が生地の製パン性に与える影響

山田大樹<sup>1</sup>, 伊勢木智行<sup>1</sup>, 井上俊逸<sup>1</sup>, 吉野信次<sup>1</sup>, 坪井一将<sup>2</sup>,  
村山大樹<sup>2</sup>, デニス・サンチャゴ<sup>3,4</sup>, 小疇 浩<sup>2</sup>, 山内宏昭<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 敷島製パン株式会社

<sup>2</sup> 国立大学法人帯広畜産大学

<sup>3</sup> 国立大学法人岩手大学大学院連合農学研究科

<sup>4</sup> フィリピン大学農業カレッジ食品科学クラスター

### Effect of Gelatinized Wheat Starch on Bread-making Qualities of Yudane Dough

Daiju Yamada<sup>1</sup>, Tomoyuki Iseki<sup>1</sup>, Shunichi Inoue<sup>1</sup>, Shinji Yoshino<sup>1</sup>, Kazumasa Tsuboi<sup>2</sup>,  
Daiki Murayama<sup>2</sup>, Dennis Marvin Santiago<sup>3,4</sup>, Hiroshi Koaze<sup>2</sup> and Hiroaki Yamauchi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Pasco Shikishima Corporation, 5-3 Shirakabe, Higashi, Nagoya, Aichi 461-8721

<sup>2</sup> Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, 2-11 Nishi, Inada, Obihiro, Hokkaido 080-8555

<sup>3</sup> The United Graduate School of Agricultural Science, Iwate University, 3-18-8 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550

<sup>4</sup> Food Science Cluster, College of Agriculture, University of the Philippines, Los Baños College, Laguna, Philippines 4031

This study aimed to investigate the effects of gelatinized starch on the bread-making qualities of Yudane dough. Yudane is a type of bread dough made by mixing boiling water with flour. Various bread-making tests were performed using freeze-dried gluten and heated and gelatinized wheat starch, which was used to imitate Yudane dough. The imitation Yudane dough was prepared by mixing gelatinized starch, prepared by heating a mixture of wheat starch and water from 55 to 80 °C in increments of 5 °C, with freeze-dried gluten. The heat treatments partially or completely gelatinized the wheat starch in the imitation Yudane dough. The imitation Yudane dough was then added to flour dough at 20% (w/w, flour base). Compared with the control dough (without Yudane), the dough mixed with Yudane dough had lower gassing power, gas retention, and specific loaf volume. These significant reductions in bread-making quality were mainly related to the inhibition of gluten network formation during dough mixing by the gelatinized wheat starch present in the imitation Yudane dough. In addition, the bread made with imitation Yudane dough (gelatinized wheat starch) showed dark-brown crust, caving, a slow staling rate, as well as the major features of bread made by the normal Yudane bread-making method. (Received Mar. 26, 2015; Accepted Aug. 18, 2015)

**Keywords** : bread making quality, Yudane, wheat starch, gelatinization

**キーワード** : 製パン性, 湯種, 小麦澱粉, 糊化

近年製パン業界において、生地を使用する小麦粉の一部と熱湯をあらかじめ混合することで小麦澱粉の一部を糊化させた湯種といわれる生地を用いた製パン法（以下湯種製法）が多く用いられている<sup>1)~3)</sup>。湯種製法により食感、食味等に優れたパンを製造することが可能であり、生地吸水性の増加、糊化澱粉から小麦粉内在性酵素によって分解生成された糖類による良好な甘さ、パンクラムの老化遅延等のプラス面が報告されている<sup>4)5)</sup>。一方、生地の製パン性が低下するというマイナス面があることも報告されている。そして、この湯種製法における製パン性の低下は、湯種を製造する際に、澱粉の糊化と同時に熱湯や熱源に接触したグ

ルテンの一部が変性することが主要因であると考えられている<sup>5)</sup>。

また、種々の澱粉を添加した生地の製パン性や超高压処理した小麦粉生地の生地特性等への影響についても多くの研究がなされている<sup>6)~13)</sup>。それらの中で、パン生地への湿熱処理トウモロコシ澱粉添加により、生のトウモロコシ澱粉の場合に比べて比容積が低下することが報告され<sup>6)</sup>、超高压処理によって一部が糊化した小麦粉生地のレオロジーは、製パン性に負の影響があることが報告されている<sup>7)</sup>。これらの結果は、湯種製法における製パン性の低下に、糊化澱粉が影響している可能性を示唆していると考えられる。

<sup>1</sup> 〒461-8721 愛知県名古屋市中区東区白壁五丁目3, <sup>2</sup> 〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11, <sup>3</sup> 〒020-8550 岩手県盛岡市上田三3-18-8

<sup>4</sup> 〒4031 フィリピン国ラグナ市ロスバノスカレッジ

\*連絡先 (Corresponding author), yamauchi@obihiro.ac.jp

一方、逆にお粥や糊化させた米粉を入れることで製パン性が向上したとの報告<sup>11)</sup>や炊飯米や各種糊化状態の澱粉をパン生地に添加した場合にパンの比容積が向上したとの報告もある<sup>10)12)13)</sup>。しかし、糊化澱粉を入れることで製パン性が向上するメカニズムは十分に明らかにはなっておらず、炊飯米を入れた生地電子顕微鏡観察の結果から、糊化澱粉がグルテンマトリックス上に膜状に広がっており、これがガス保持力を上げていると報告されている<sup>13)</sup>。しかし、糊化澱粉の製パン性への影響はいまだに明らかにされていない。また、湯種製法の製パン性低下の要因がグルテン変性によるものなのか、糊化澱粉によるものかどうかを明確に解析した報告もなされておらず、湯種製法の製パン性の低下については詳細な検討は行われていない。

そこで、本研究においては種々の温度で水の共存下で加熱された小麦澱粉と、小麦粉から分離された非加熱の凍結乾燥グルテンを小麦粉の一定量と置換して製パン実験することによって加熱変性グルテンを含まない疑似的な湯種を作成し、糊化小麦澱粉が製パン性に及ぼす影響を検証することを目的とした。

## 実験方法

### 1. 供試材料

パン用強力粉として「カメリア」(日清製粉(株)製)、凍結乾燥グルテンとして「H印 凍結乾燥小麦蛋白(バイタルグルテン)」(北国フード(株)製)、小麦澱粉として「和光一級 でんぷん、小麦由来」(和光純薬工業(株)製)を用いた。その他の製パン材料として上白糖は「上白糖」(日本甜菜製糖(株)製)、パン酵母は生イースト「ニッテンレギュラーイースト」(日本甜菜製糖(株)製)、食塩は「食塩」((公財)塩事業センター製)、ショートニングは「ノヴァショートシルクスター」((株)カネカ製)、L-アスコルビン酸は「試薬特級 L(+)-アスコルビン酸」(和光純薬工業(株)製)を用いた。

### 2. 加熱処理小麦澱粉(HS)の調製法

一般的に湯種は小麦粉と熱湯を同量で混合し製造することが報告されている。しかし、湯種に関して小麦粉と熱湯との比に明確な定義がある訳ではなく、実際には種々の混合比で各種湯種が製造されている<sup>1)~3)</sup>。予備試験において小麦澱粉と同量のイオン交換水を混合後加熱した際に、硬いゲル状になったためにミキシングで均一に混合することが困難であった。そこで、均一混合可能な澱粉ゲルの硬さを調製するために、本試験では小麦澱粉に対して倍量のイオン交換水を混合後加熱した。また、加熱処理温度は湯種の捏上温度が55℃から80℃で製造するとの文献<sup>1)~3)</sup>を参考に決定した。具体的な調製法は、小麦澱粉40gとイオン交換水80gをプラスチックバックに入れ良く混合後密閉し、30℃の恒温水槽中で10分予備加熱をした後、コントロールは30℃、加熱処理群は55℃、60℃、65℃、70℃、75℃、

80℃の各温度の恒温水槽で60分間加熱を行った。処理後、氷水で急冷し5℃の冷蔵庫で一晩保存したものを製パン試験に用いた。

### 3. HSの特性

澱粉の結晶性の観察は、HSを蒸留水に懸濁し偏光顕微鏡(オリンパス(株)製、DP21)で行った。また、それぞれのHSについて99%エタノールを用いて急速脱水を行い、ろ過後、ろ紙に残った固形分を50℃の恒温器で6時間乾燥させHS乾燥物を調製した。このHS乾燥物について135℃、3時間の条件で含水率を測定した。そして、最大容量1mlのステンレス製の示差走査熱量計(DSC)(SETRAM製、MicroDSC II)の専用セルに、HS乾燥物が乾物含量を0.15g計量し、全量が0.5gになるよう蒸留水を加えた後セルの蓋を閉めた。リファレンスセルには蒸留水0.35gのみを入れ同様にセルの蓋をした。両セルをセッティング後、速度は0.8℃/分の条件でHS乾燥物(澱粉)の糊化開始温度( $T_0$ )、吸熱エンタルピー( $\Delta H$ )を測定し、HSの糊化度を以下の式から求めた。

$$\text{糊化度}(\%) = (A - B) \div A \times 100$$

A : 30℃処理HSの $\Delta H$  (J/g)

B : 各加熱処理HSの $\Delta H$  (J/g)

### 4. 前処理グルテン(TG)の調製法

TGは凍結乾燥グルテン8g、イオン交換水16gを蓋付きプラスチックチューブに入れ良く混合後密閉し、30℃の恒温水槽のなかで10分間保持した後、氷水で急冷し5℃の冷蔵庫で一晩保存したものを製パン試験に用いた。なお、グルテンの前処理を行った理由は、HSの加熱前と同様の処理をグルテンにも行うためである。

### 5. 製パン配合と製パン試験法

製パン配合については山内ら<sup>14)</sup>の方法に従って、標準的食パン配合(小麦粉160g、イオン交換水60g、HS96g、TG24g、上白糖10g、食塩4g、ショートニング10g、生イースト4g、L-アスコルビン酸20mg)で行った。製パン試験法については山内ら<sup>15)</sup>の方法に準じて行った。即ち、ピン型ドウミキサー(National Mfg. USA製)により、ミキシングモーターの電力値を指標に最適ミキシング時間(電力値ピーク後、約10秒)までミキシングを行い捏ね上げ温度が $30 \pm 1.0^\circ\text{C}$ のパン生地を調製した。パン生地は100gに分割後丸め、30℃、相対湿度(RH)75%でベンチタイムを20分取り、モルダー((株)愛工舎製作所製、MMR230-2)を用いて、上段ローラークリアランス79mm、下段ローラークリアランス47mm、展圧板の高さ20mmの条件で棒状に成形後パン型(上面:縦5.6cm、横12.2cm、底面:縦4.7cm、横10.2cm、高さ:5.0cm、容積:270ml)に入れた。その後、38℃、RH85%の恒温器(三幸機械(株)、MOC-GCH-II型)で最終発酵を70分行い、180℃のオープン(三幸機械(株)、MOC-GCH-II型)で25分焼成した。

## 6. 生地のみキシング特性

みキシング特性として最大消費電力と生地形成時間を測定した。具体的には、製パン試験用の生地（小麦粉 200g ベース）を調製する際に、ピン型みキサーに取り付けたヴァーサロガー（アトー（株）製、AF-1700）を用いて 0.05 秒毎の消費電力を記録した。そして、得られた消費電力の 10 秒間の移動平均値を本機のソフト機能である Dougraph 機能によって求め、移動平均値が最大を示した時の消費電力を最大消費電力とし、その時間を生地形成時間とした。

## 7. 製パン特性と製パン品質

製パン特性は Yamauchi ら<sup>4)</sup>の方法に準じて測定を行った。具体的には、比容積 (SLV) は焼成後のパンを 1 時間室温で冷却したものを菜種置換法によって測定した。生地ガス保持力 (GRD) はみキシング直後と最終発酵終了後の生地 20g を用い真空状態での生地の最大膨張力を測定した。生地ガス発生量 (GP) はベンチタイム後の生地 20g を専用蓋付きガラス瓶に入れ、30℃に設定された恒温水槽中に蓋をしたガラス瓶を入れファーモグラフ II (ATTO 社製) を用いて、1,2,3 時間までの総ガス発生量を測定した。外観はデジタルカメラ (キャノン(株)製、PowerShot SX10) を用いて撮影し、色相は色彩色差計 (コニカミノルタ(株)製、CR410) を用いて 2 本のワンローフそれぞれのクラスト上部の中央部 1 か所と両端から約 2cm の 2 か所のそれぞれ極力フラットな部分を選んで測定した。内相はパンの中心部をスライス後、スキャナー (セイコーエプソン(株)製、GT-5640) を用いて撮影した。

## 8. パンの老化測定法

パンの老化は Yamauchi ら<sup>4)</sup>の方法に従ってクラムの硬さの測定により行った。即ち、硬さの測定から得られる最大応力値のパン保存中の経時変化を老化として評価した。具体的には、焼成後のワンローフのパンを室温で 1 時間冷却後、2 重にポリエチレン袋に入れ口を閉め、20℃、RH70% の恒温器で 1,2,3 日間保存した。そのパンを 1 日毎に取り出し 2cm にスライスした後、クラムの中央部の部分を 3cm×3cm にカットし、物性測定装置レオナー II ((株)山電製、CREEP METER RE2-33005C) を用いて、プランジャー (テフロン製、6cm×6cm 角形) を使用し、歪み率 50%、速度 1mm/s で 2 度圧縮し 1 度目の圧縮時の最大応力からクラムの硬さを測定した。含水率は、クラムの硬さの測定に使用したパンクラムサンプルを用い 135℃、3 時間乾燥法により測定した。

## 9. 統計解析

Table 1, 3, 6 のデータは、3 回以上の測定結果の平均値 ± 標準偏差で表した。また、Table 2 のデータは、2 回の測定結果の平均値で示した。Table 5 のデータは、6 回の測定結果の平均値 ± 標準偏差で表した。Table 4 のデータ間の単相関係数と有意差は、Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp., Redmond, VSA) を用いて求めた。Table 1, 3,

5, 6 の全てのデータについては、Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp., Redmond, VSA) にアドインソフト「エクセル統計 2012」((株)社会情報サービス)を追加し、Tukey 法 ( $\alpha=5\%$ ) で有意差検定を行った。

## 実験結果および考察

### 1. HS の特性

HS の偏光顕微鏡による観察の結果、コントロール (30℃ HS) においては小麦澱粉の結晶性が確認されるが、加熱処理温度の上昇に伴って結晶性が損失して膨潤し巨大化した澱粉粒が確認されるようになった (Fig. 1)。そして、65℃以上の加熱処理では、ほぼ結晶性が消失していた。

HS の熱特性の測定結果として、コントロールの  $\Delta H$  は 11.2 J/g で、これは過去の報告<sup>16)~18)</sup>とほぼ一致し (8.85~11.46 J/g)、加熱処理温度の上昇に伴って  $\Delta H$  は減少した (Table 1)。深沢ら<sup>2)</sup>は、湯種の吸熱エンタルピーを 1.24~2.86 J/g と報告し、杉山ら<sup>3)</sup>は、0.62~3.64 J/g であると報告している。今回、調製した HS では 55℃、60℃、65℃で加熱処理したものが、一般的な湯種中の澱粉の状態に近かったと考えられた。また、糊化度の結果は、前述の偏光顕微鏡での観察結果を支持しており 65℃以上の加熱処理によって 90% 以上の澱粉の結晶性が損失し、今回使用した小麦澱粉の完全な結晶性の損失は 75℃以上の加熱処理で起こったと考えられた。

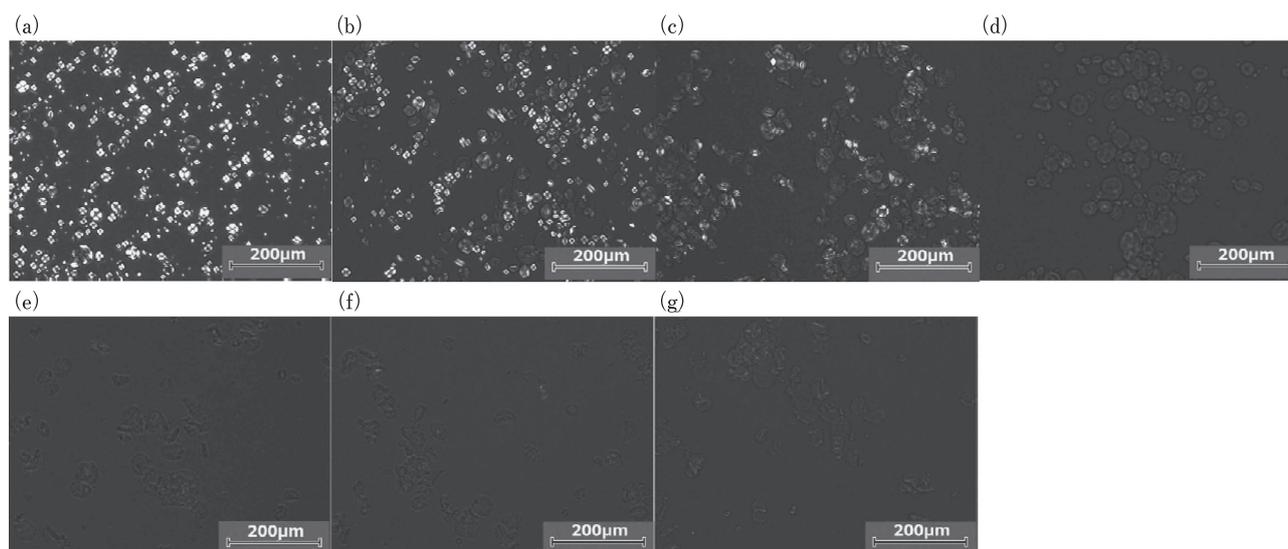
### 2. 生地みキシング特性

生地みキシング特性の結果を Table 2 に示す。これより、最大消費電力は 80℃ HS が最大値を示したが、澱粉の加熱処理温度による大きな差異は見られなかった。生地形成時間は 60℃以上の加熱処理群でコントロールに比べて増加が見られ、80℃ HS が最大値を示した。60℃以上の加熱処理で見られた生地形成時間の延長は、みキシング中のグルテンの形成、結合を糊化澱粉が阻害することが主な原因だと考えられた。

### 3. 製パン特性

GP は 1, 2, 3 時間すべてにおいて加熱処理温度が 65℃までは減少する傾向を示し、65℃以上の加熱処理群間では有意差は見られなかった。また、65℃以上の加熱処理でコントロールと比較して有意に低い値を示した (Table 3)。Yamauchi ら<sup>4)</sup>は小麦粉の 20% を湯種に置き換えることで GP が有意に減少したことを報告しており、本研究の結果はそれと一致した傾向である。

GRD と SLV はすべての HS 添加区でコントロールに比べて有意に減少したが、60℃以上の加熱処理群間に有意差は見られなかった (Table 3)。糊化度は 60℃ HS において 84.2% に達しており、65℃以上の加熱処理群においては 90% 以上であった。この結果から、GP と同様に、HS の糊化度と GRD、SLV に大きな関連があることが示唆された。



**Fig. 1 Appearance and photocopy of heated wheat starch by polarization microscopy**

(a), Control; (b), 55°C heated starch; (c), 60°C heated starch; (d), 65°C heated starch; (e), 70°C heated starch; (f), 75°C heated starch; (g), 80°C heated starch.  
Scale bar is 200 µm.

**Table 1 Analysis of heated wheat starch**

Sample name	Onset Temperature (°C)	$\Delta H$ (J/g)	Gelatinization percent (%)
Control	52.2±0.05 <sup>a</sup>	11.2±0.11 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>
55°C heated starch	60.8±0.02 <sup>b</sup>	6.6±0.11 <sup>b</sup>	41.1 <sup>b</sup>
60°C heated starch	64.0±0.12 <sup>c</sup>	1.8±0.05 <sup>c</sup>	84.2 <sup>c</sup>
65°C heated starch	65.2±0.51 <sup>c</sup>	0.7±0.08 <sup>d</sup>	93.8 <sup>d</sup>
70°C heated starch	69.4±1.07 <sup>d</sup>	0.2±0.01 <sup>e</sup>	98.6 <sup>e</sup>
75°C heated starch	ND <sup>1)</sup>	ND <sup>1)</sup>	100.0 <sup>e</sup>
80°C heated starch	ND <sup>1)</sup>	ND <sup>1)</sup>	100.0 <sup>e</sup>

Each value is the mean±SD. ( $n=3$ )

The values followed by the same letter within the column are not significantly different ( $p<0.05$ ).

The analysis of variance between the data was evaluated by using Tukey's multiple range test of Excel statistical software 2012.

<sup>1)</sup> ND : no detected

**Table 2 Mixing property**

Bread making level	Maximum electric power (W)	Dough development time (s)
Control	248.5	256
55°C heated starch	250.0	259
60°C heated starch	247.5	288
65°C heated starch	242.0	305
70°C heated starch	240.0	295
75°C heated starch	252.5	319
80°C heated starch	255.5	320

Each value is the mean ( $n=2$ )

**Table 3 Results of bread making qualities**

Bread making level	Gassig power of dough (ml/20 g dough)			Gas retention of dough (ml/20 g dough)		Specific loaf volume (ml/g)
	After 1 h	After 2 h	After 3 h	After mixing	After final proofing	
Control	26.9±0.7 <sup>a</sup>	60.8±0.6 <sup>a</sup>	90.1±2.0 <sup>a</sup>	116.0±4.3 <sup>a</sup>	102.8±1.0 <sup>a</sup>	4.9±0.2 <sup>a</sup>
55°C heated starch	26.6±0.8 <sup>ab</sup>	59.7±0.6 <sup>ab</sup>	88.2±0.9 <sup>ab</sup>	92.3±6.5 <sup>b</sup>	81.7±2.9 <sup>b</sup>	4.6±0.1 <sup>b</sup>
60°C heated starch	26.2±0.3 <sup>abc</sup>	57.8±1.1 <sup>abc</sup>	83.9±1.6 <sup>abc</sup>	78.3±0.0 <sup>c</sup>	71.1±4.8 <sup>c</sup>	4.4±0.1 <sup>bc</sup>
65°C heated starch	24.6±0.6 <sup>c</sup>	55.3±0.3 <sup>bc</sup>	81.0±1.1 <sup>bc</sup>	72.7±3.7 <sup>c</sup>	63.9±4.2 <sup>c</sup>	4.2±0.1 <sup>c</sup>
70°C heated starch	24.9±1.2 <sup>bc</sup>	54.8±3.9 <sup>c</sup>	79.4±6.1 <sup>c</sup>	76.7±2.0 <sup>c</sup>	66.7±2.9 <sup>c</sup>	4.2±0.1 <sup>c</sup>
75°C heated starch	24.5±0.5 <sup>c</sup>	53.4±1.2 <sup>c</sup>	77.8±1.9 <sup>c</sup>	76.3±2.7 <sup>c</sup>	66.7±2.9 <sup>c</sup>	4.2±0.1 <sup>c</sup>
80°C heated starch	24.8±0.1 <sup>bc</sup>	55.2±1.0 <sup>bc</sup>	80.7±1.7 <sup>bc</sup>	75.0±2.4 <sup>c</sup>	68.3±0.0 <sup>c</sup>	4.2±0.1 <sup>c</sup>

Each value is the mean±SD. ( $n\geq 3$ )

The analysis of variance between the data was evaluated by using Tukey's multiple range test of Excel statistical software 2012. The values followed by the same letter within the column are not significantly different ( $p<0.05$ ).

Table 4 Correlation coefficients between gelatinization percent and bread making qualities

	Gassig power of dough (ml/20 g dough)			Gas retention of dough (ml/20 g dough)		Specific loaf volume (ml/g)
	After 1 h	After 2 h	After 3 h	After mixing	After final proofing	
Gelatinization percent (%)	-0.8768**	-0.9199**	-0.9417**	-0.9797**	-0.9783**	-0.9906**

\*\* Correlation coefficients are significant at  $p < 0.01$  level

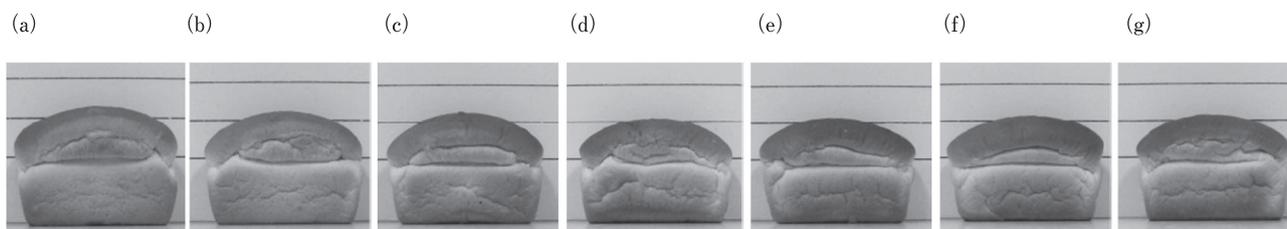


Fig. 2 Appearance and photocopy of bread

(a), Control; (b), 55°C heated starch; (c), 60°C heated starch; (d), 65°C heated starch; (e), 70°C heated starch; (f), 75°C heated starch; (g), 80°C heated starch.

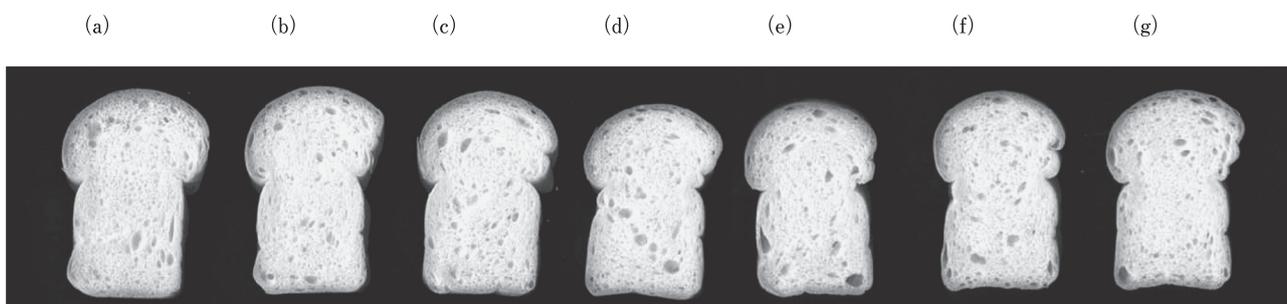


Fig. 3 Appearance and photocopy of sliced bread

(a), Control; (b), 55°C heated starch; (c), 60°C heated starch; (d), 65°C heated starch; (e), 70°C heated starch; (f), 75°C heated starch; (g), 80°C heated starch.

#### 4. 糊化度と製パン特性の関係

これまでの結果から澱粉の糊化度と製パン特性に関連があることが示唆された。糊化度との関連を確認する為製パン特性と糊化度について回帰分析を行った結果を Table 4 に示した。これより、糊化度とすべての製パン特性に有意に高い負の相関が見られることが明らかになった。特に GRD, SLV とは非常に高い負の相関関係があることが明らかになった。

Naito ら<sup>20)</sup> は湯種中の糊化澱粉は生地構造に大きな変化を起し、生地内の気泡孔の拡大やグルテン繊維が太くなる現象があることを報告している。そして、この現象は生地中に存在する糊化澱粉は健全な澱粉粒と異なりグルテンと十分な複合体を形成できず、グルテンシートが脆弱になるためとも報告している。また、今回得られた添加した HS の糊化度とミキシング直後の生地の GRD が高い負の相関関係を示したことと澱粉の加熱処理温度の増加によって生地形成時間が長くなることから (Table 2, 4), 生地を

ディベロップさせるミキシング段階において生地中に存在する糊化澱粉がグルテンの形成を阻害していると考えられる。さらに、ミキシング段階でグルテンの形成に影響を及ぼした糊化澱粉は、糊化澱粉添加生地のミキシング直後の生地の GRD を低下させ、これが最終発酵終了時の低い GRD や SLV に影響していることが明らかになった。

#### 5. 製パン品質

パンの外観は澱粉の加熱処理温度の上昇に伴ってコントロールから 65°C までは明らかに小さくなる傾向を示し、それ以上の加熱温度処理の澱粉の場合、65°C 加熱澱粉のそれと大きな差異は見られなかった (Fig. 2)。また、見た目のパンの色も 60°C 以上の加熱処理によって濃くなり、側面がくすんだ色になる傾向を示した。さらに、湯種製法のパンでしばしば観察されるケービングが 65°C 以上の加熱処理群で顕著に見られたことから、ケービングの主要因が糊化澱粉添加に関係していることが示唆された。クラストの明度 ( $L^*$ ) は、コントロールに比べて HS 添加群で減

Table 5 Hue of bread crust

Bread making level	L*	a*	b*
Control	50.1±1.2 <sup>a</sup>	15.4±0.4 <sup>b</sup>	33.1±0.6 <sup>a</sup>
55°C heated starch	48.9±2.5 <sup>ab</sup>	15.6±0.6 <sup>ab</sup>	32.4±1.5 <sup>ab</sup>
60°C heated starch	45.4±2.3 <sup>bc</sup>	15.9±0.4 <sup>ab</sup>	29.5±2.4 <sup>abc</sup>
65°C heated starch	46.0±1.0 <sup>bc</sup>	16.2±0.2 <sup>a</sup>	30.3±1.0 <sup>abc</sup>
70°C heated starch	44.4±2.7 <sup>c</sup>	16.0±0.3 <sup>a</sup>	28.7±2.5 <sup>bc</sup>
75°C heated starch	44.8±1.9 <sup>c</sup>	16.1±0.1 <sup>a</sup>	27.6±4.6 <sup>c</sup>
80°C heated starch	45.5±1.6 <sup>bc</sup>	16.0±0.1 <sup>ab</sup>	29.2±1.7 <sup>abc</sup>

Each value is the mean±SD. ( $n=6$ )

The analysis of variance between the data was evaluated by using Tukey's multiple range test of Excel statistical software 2012. The values followed by the same letter within the column are not significantly different ( $p<0.05$ ).

少傾向を示したが、60°Cから75°Cの加熱処理群間で有意差は見られなかった (Table 5)。これらの結果は、HS添加によってパンの焼色が濃くなったことと関連し、HS添加群ではメイラード反応がコントロールに比べて進みやすい状態であったと考えられた。赤色度 ( $a^*$ ) は一部の試験区間で有意差が見られたが、試験区間で大きな変化が見られず、黄色度 ( $b^*$ ) は  $L^*$  と同様の傾向を示した。この  $b^*$  の低下も、焼き色に関連し、メイラード反応がより進んだことで黄色みが失われたことと関連していると考えられた。

メイラード反応は還元糖とアミノ酸との重合反応であり、還元糖もしくはアミノ酸の量が増加することによって反応が促進される。過去の湯種製法に関する研究において、生地中の糊化澱粉が、湯種の製造過程を含む製パン過程で小麦粉中の内在性の酵素によって分解され、デキストリンや還元糖が増加することが報告されている<sup>13)</sup>。しかし、今回の疑似湯種製造においては、精製された小麦澱粉を使用しているため、HS中に内在性酵素はほとんど存在しておらず、HSの製造過程における還元糖の生成はほとんどないと考えられる。同様に、HSの製造過程でアミノ酸が増加することも考えにくい。そのため、今回の疑似湯種を用いたパンの外観、色相の変化は、疑似湯種添加生地のミキシング時に添加される小麦粉に由来する内在性酵素によって、生地のミキシング以降の製パン過程で、生地中のHSの糊化澱粉が分解され、還元糖やデキストリンが生成され、それによりメイラード反応が促進されたことが主要因であると推察される。Table 2, 5の結果から、疑似湯種パンの  $L^*$  の低下と比容積の間には、一見相関があるように見える。しかし、疑似湯種のパンの様に比容積の小さいパンは、一定条件での焼成では焼減率が低くなり、焼成時の焼減率が低いパンの  $L^*$  の低下は抑制されることが呉ら<sup>19)</sup> により報告されていることから、比容積の低下が疑似湯種パンの  $L^*$  の低下 (外観、色相の変化) には関係していないと考えられる。

また、Yamauchi ら<sup>4)</sup> は通常の湯種の使用量の増加に伴っ

て、湯種無添加の対照のパンに比べ色相の  $L^*$  が低下することを報告しており、この結果と比較した場合、今回の疑似湯種パンは通常の湯種パンと同様の外観、色相の変化を示したと考えられる。これらの結果から、上記した湯種パンの外観、色相変化に大きく影響する還元糖やデキストリンの生成については、湯種製造過程で生成するそれらも一部寄与していると考えられるが、両者のパンがほぼ同様の外観、色相変化を示したことから、湯種無添加の対照のパンと比較場合の湯種パンの外観、色相変化は、生地のミキシング以降の製パン過程で生成する還元糖やデキストリンの寄与が大きいと推定される。

パンの内相は60°C以上の加熱処理群において気泡が丸みを帯び、コントロールや55HSに比べて空洞が増加する傾向が示された (Fig. 3)。Naito ら<sup>20)</sup> は湯種製法では気泡が通常の中種法に比べて丸みを帯びることを報告している。この内相における丸みを帯びた大きな空洞形成は、糊化澱粉によってグルテンマトリックスが脆弱化し、発酵、焼成過程で気泡膜が構造破壊を起こし、それにより気泡の合一が起こったためと考えられる。

## 6. パンの老化

クラムの硬さは、保存1日では試験区間に有意差は見られなかったが、保存2日には55°C以外のHS添加群でコントロールに比べて有意に柔らかくなった (Table 6)。また、保存3日では70°Cを除いたHS添加群でコントロールに比べて有意に柔らかくなった。柴田ら<sup>11)</sup> は米を炊飯し糊化した状態でパン生地に練り込むことで、コントロールに比べてクラムの柔らかさが維持されることを報告しており、本実験でも同様の結果が得られた。

含水率は保存1日目から60°C以上のHS添加群で有意に高い値を示した。この傾向は保存2日、保存3日でも変わらず65°C以上の加熱処理群では常にコントロールに比べて有意に高かった (Table 6)。そして、保存1日から保存3日までの含水率の減少は65°C以上の加熱処理群で小さくなった。この結果は、糊化澱粉を製パンに使用することで生地の保水性が高くなる可能性を示唆している。 $L^*$  の低下が示すように、焼き色が糊化澱粉の増加に伴って濃くなった。これは、麦芽糖を主体とした還元糖がコントロールに比べてHS添加群で生地内に多く存在することを示唆しており、還元糖含量の増加によって保水性が上がった可能性が考えられた。

パンの老化すなわちクラムの硬さの変化は、焼成中に糊化した澱粉の老化でほとんど説明可能であることが報告され<sup>21)</sup>、澱粉の老化は水分含量に大きく影響されることが報告されている<sup>22)</sup>。本研究の種々のパンは、吸水率がほぼ同一の生地から調製されたにも関わらず、パンの水分含量とクラムの硬さに大きな差異が生じた。この要因について、上記の報告を参考に考察すると大きく以下のように推定される。① HS添加によって生地の製パン性が低下し、パン

Table 6 Results of changes in hardness and moisture content during storage

Bread making level	Hardness of bread crumb (N/m <sup>2</sup> ×10 <sup>3</sup> )			Moisture content of bread crumb (%)		
	Baking after 1day	Baking after 2day	Baking after 3day	Baking after 1day	Baking after 2day	Baking after 3day
Control	3.0±0.3 <sup>a</sup>	6.6±0.6 <sup>a</sup>	7.6±0.7 <sup>a</sup>	41.2±0.6 <sup>b</sup>	39.1±0.9 <sup>c</sup>	38.3±1.0 <sup>b</sup>
55°C heated starch	3.2±0.2 <sup>a</sup>	6.0±0.9 <sup>ab</sup>	6.3±0.4 <sup>b</sup>	42.0±0.5 <sup>ab</sup>	40.0±0.5 <sup>bc</sup>	39.1±0.8 <sup>ab</sup>
60°C heated starch	3.1±0.3 <sup>a</sup>	5.4±0.6 <sup>bc</sup>	6.1±0.3 <sup>b</sup>	42.7±0.8 <sup>a</sup>	41.0±0.5 <sup>ab</sup>	39.6±0.2 <sup>ab</sup>
65°C heated starch	3.0±0.3 <sup>a</sup>	5.4±0.2 <sup>bc</sup>	6.1±0.3 <sup>b</sup>	42.8±0.3 <sup>a</sup>	41.0±0.2 <sup>ab</sup>	40.6±0.8 <sup>a</sup>
70°C heated starch	3.1±0.2 <sup>a</sup>	5.0±0.1 <sup>c</sup>	6.8±0.2 <sup>ab</sup>	42.7±0.4 <sup>a</sup>	41.7±0.7 <sup>a</sup>	40.7±0.3 <sup>a</sup>
75°C heated starch	3.0±0.3 <sup>a</sup>	5.3±0.2 <sup>bc</sup>	6.0±0.5 <sup>b</sup>	42.8±0.6 <sup>a</sup>	41.3±0.4 <sup>a</sup>	40.5±0.2 <sup>a</sup>
80°C heated starch	2.9±0.3 <sup>a</sup>	5.1±0.3 <sup>c</sup>	6.1±0.3 <sup>b</sup>	42.6±0.7 <sup>a</sup>	41.6±0.2 <sup>a</sup>	40.5±0.5 <sup>a</sup>

Each value is the mean±SD. ( $n \geq 3$ )

The analysis of variance between the data was evaluated by using Tukey's multiple range test of Excel statistical software 2012.

The values followed by the same letter within the column are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

の比容積が低下し、それにより生地の焼成時の焼減率が低下した結果、高水分のパンが得られる。② HS の製造過程で生成された糊化澱粉がその後の製造過程で小麦粉の内在性の酵素の作用によって還元糖やデキストリンに分解され、生地中のこれらの糖質含量が増加する。その結果、得られるパンの低分子の糖質含量が増加する。

これらの2つの効果により、HS の添加により高水分で低分子の糖質高含有のパンが得られ、これらの効果により、保水性が高く、老化の遅いパンが得られたと考えられる。

## 要 約

湯種製法で製パンしたパンにおける湯種製造中に糊化した小麦澱粉の製パン性に及ぼす影響について、凍結乾燥グルテンと小麦澱粉で調製した疑似湯種を用いて検討を行った。その結果、疑似湯種中の糊化した小麦澱粉は、GP, GRD, SLV をコントロールに比べて有意に低下させ、疑似湯種中の小麦澱粉の糊化度と GRD, SLV との間には非常に高い負の相関があることが判った。これより、湯種中の糊化小麦澱粉は生地の製パン性を低下させる主要因であり、湯種パンの外観、色相の特徴であるクラストの L\* の低下とケービングに対しても、大きく影響していることが明らかになった。

さらに、糊化した小麦澱粉を製パンに用いることによって、得られたパンの水分含量と保水性が増加し、それによりパン中の澱粉の老化が抑制され、保存中のパンクラムの老化を抑制できることが明らかになった。

## 文 献

- 1) 柴田 太, 加藤博信, パン類の製造法, 特許第 3167692 号 (2001.3.9).
- 2) 深沢忠史, 貝沼 謙, パン類生地及びパン類の製造方法, 特許第 3624894 号 (2002.2.21).
- 3) 杉山幹雄, 貝沼 謙, 安田茂樹, 湯捏種および湯捏種を用いたパン類の製造方法, 特開 2004-000123 号 (2004.1.8).

- 4) Yamauchi, H., Yamada, D., Murayama, D., Santiago, D.M., Orikasa, Y., Koaze, H., Nakaura, Y., Inouchi, N. and Noda, T., The staling and texture of bread made using the Yudane dough method. *Food Sci. Technol. Res.*, **20**, 1071-1078 (2014).
- 5) 山田哲也, 長谷川若菜, 伊藤友美, 小原章裕, 安達卓生, 湯捏ね食パン中の澱粉の存在形態, 名城大学農学部学術報告, **40**, 9-20 (2004).
- 6) Miyazaki, M. and Morita, N., Effect of heat-moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. *Food Res. Int.*, **38**, 369-376 (2005).
- 7) Thu, H.M., Anke, L., Roman, B. and Li, D., Modification of structure and mixing properties of wheat flour through high-pressure processing. *Food Res. Int.*, **53**, 352-361 (2013).
- 8) 高崎禎子, 峯木真知子, 馬鈴薯でん粉あるいは化工馬鈴薯でん粉添加が製パン性に及ぼす影響, 日本調理科学会誌, **34**, 53-61 (2001).
- 9) 山本未穂, 菊地和美, 知地英征, 高橋セツ子, 小麦粉の一部に化工澱粉を添加した食パンの調理科学的特性, 藤女子大学紀要, **47**, 33-40 (2010).
- 10) 高野博幸, 山方次郎, 花木 満, 小柳 妙, 田中康夫, 調理法を異にする米粉の添加が小麦粉生地の物性および製パン性におよぼす影響, 食品総合研究所研究報告, **34**, 35-43 (1979).
- 11) 柴田真理朗, 杉山純一, 蔡 佳飴, 蔦 瑞樹, 藤田かおり, 粉川美踏, 荒木徹也, 粥状に糊化处理した米を添加したパンの粘弾性および気泡構造, 日本食品科学工学会誌, **58**, 196-201 (2011).
- 12) 奥西智哉, 炊飯米を生地に添加したパンの官能評価, 日本食品科学工学会誌, **56**, 424-428 (2009).
- 13) Iwashita, K., Suzuki, K., Miyashita, K. and Okunishi, T., Effects of rice properties on bread made from cooked rice and wheat flour blend. *Food Sci. Technol. Res.*, **17**, 121-128 (2011).
- 14) 山内宏昭, 一ノ瀬靖則, 高田兼則, 入来規雄, 椎名武夫, 小林 猛, 冷凍生地食パンの老化に関する速度論的解析, 日本食品科学工学会誌, **46**, 212-219 (1999).
- 15) 山内宏昭, 一ノ瀬靖則, 高田兼則, 入来規雄, 桑原達雄, 改良真空生地膨脹量測定法による小麦粉の製パン性簡易評価, 日本食品科学工学会誌, **47**, 46-49 (2000).
- 16) Maache-Rezzoug, Z., Zarguili, I., Loisel, C., Doublier, J.-L. and Buléon, A., Investigation on structural and physicochemical modifications of standard maize, waxy maize, wheat and potato starches after DIC treatment. *Carbohydr. Polym.*,

- 86, 328-336 (2011).
- 17) Majzoobi, M., Farahnaky, A., Jamalain, J. and Radi, M., Effects of L-Cysteine on some characteristics of wheat starch. *Food Chem.*, **124**, 795-800 (2011).
- 18) Kohyama, K., Matsuki, J., Yasui, T. and Sasaki, T., A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths. *Carbohydr. Polym.*, **58**, 71-77 (2004).
- 19) 呉 計春, 相良泰行, 瀬尾康久, 森嶋 博, 食パンの焼成プロセスにおける表面色変化の特性と予測法, 日本食品工業学会誌, **44**, 31-37 (1997).
- 20) Naito, S., Fukami, S., Mizokami, Y., Hirose, R., Kawashima, K., Takano, H., Ishida, N., Koizumi, M. and Kano, H., The effect of gelatinized starch on baking bread1. *Food Sci. Technol. Res.*, **11**, 194-201 (2005).
- 21) 山内宏昭, 兼重 寛, 藤村昌樹, 納庄康晴, 橋本慎一, 西山敏彦, 児玉邦彦, 小林 猛, ストレート法食パンの老化に関する速度論的解析, 日本食品工業学会誌, **41**, 1-8 (1994).
- 22) Rogers, D.E., Zeleznak, K.J., Lai, C.S. and Hosney, R.C., Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chem.*, **65**, 398-401 (1988).
- (平成 27 年 3 月 26 日受付, 平成 27 年 8 月 18 日受理)
-