

## 湯種中の加熱グルテンが生地の製パン性に与える影響

誌名	日本食品科学工学会誌 : Nippon shokuhin kagaku kogaku kaishi = Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology
ISSN	1341027X
著者名	山田,大樹 井上,俊逸 吉野,信次 坪井,一将 小疇,浩 山内,宏昭
発行元	日本食品科学工学会
巻/号	64巻2号
掲載ページ	p. 90-97
発行年月	2017年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



技術論文

## 湯種中の加熱グルテンが生地の製パン性に与える影響

山田大樹<sup>1\*</sup>, 井上俊逸<sup>1</sup>, 吉野信次<sup>1</sup>, 坪井一将<sup>2</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

Effect of Heated Gluten on Bread-making Qualities of Yudane Dough

Daiju Yamada<sup>1\*</sup>, Shunichi Inoue<sup>1</sup>, Shinji Yoshino<sup>1</sup>, Kazumasa Tsuboi<sup>2</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

This study aimed to investigate the effect of heated gluten 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 non-heated wheat starch and heated freeze-dried gluten, which was used to imitate Yudane dough. The imitation Yudane dough was prepared by mixing heated gluten (prepared by heating a mixture of freeze-dried gluten and water from 55 to 80°C in increments of 5°C) with non-heated wheat starch. The imitation Yudane dough was then added to flour dough at 20% (w/w, flour base). Compared with the control dough (without heated gluten), the dough mixed with imitation Yudane dough (with heated gluten) had longer dough development time, and higher gas retention and specific loaf volume. These improvements in bread-making quality were mainly related to the partially denatured gluten present in the imitation Yudane dough. In addition, the bread made with imitation Yudane dough (including denatured gluten) showed a slow staling rate, attributable to the increased molecular weight of the heated gluten compared to the native gluten. (Received Aug. 8, 2016; Accepted Oct. 6, 2016)

**Keywords** : bread-making quality, Yudane, wheat flour, gluten  
キーワード : 製パン性, 湯種, 小麦粉, グルテン

パン生地は、イーストが発酵過程で発生させた二酸化炭素をパン生地が保持することにより膨張し、焼成過程で澱粉の糊化とタンパク質の変性によって固定化される。生地膨らみはパンの品質と密接に関係しており、過去多くの報告で生地がガスを保持する力や、膨らみを数値化した比容積を製パン性として評価してきた。その中で、パンの原材料として大部分を占める小麦粉中の主要なタンパク質であるグルテンが製パン性に関与していることは古くから知られている<sup>1)</sup>。このグルテンは小麦粉と水を混合している過程でグルテニンとグリアジンというタンパク質が結合することで作られ、製パン性が良いとされる小麦粉中のグルテンの質は強く、量は多く、生地形成時間は長くなることが明らかになっている<sup>2)</sup>。このグルテンへの加熱の影響はいくつか検討されており、40°Cで一部のグルテンで遊離SH基の減少という変性が確認され、60°Cでほとんどのグルテンで疎水性表面の減少を伴う高分子化という変性が報告されている<sup>3)</sup>。

そして、近年、製パン業界では生地に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）が多く用いられており、本製法により食感、食味等に優れたパンを製造することが可能である。本製法のパンの特徴としては生地吸水性の増加、小麦粉内在性のβ-アミラーゼを主体とする酵素によって生地中の糊化澱粉が分解され生成するマルトース等の糖類による良好な甘さ、パンが時間経過に伴い硬くなる現象である老化を遅延させる等のプラス面が報告されている<sup>4)~6)</sup>。一方、生地のガス保持力や比容積等の製パン性が低下するというマイナス面も報告されており<sup>7)8)</sup>、その他に焼色が濃くなることや、パンの側面が折れてしまう現象のケービングが発生することが知られている。そして、この湯種製法における製パン性の低下には、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生地中のグルテンの一部が変性することが大きく影響すると考えられている<sup>9)</sup>。

<sup>1</sup> 〒461-8721 愛知県名古屋市中区白壁5-3, <sup>2</sup> 〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11

\*連絡先 (Corresponding author), daiju-yamada-21676@pasconet.co.jp

一方、湯種中の糊化澱粉がグルテンとの複合体を脆弱にすることが報告されており<sup>9)</sup>、著者らは既報<sup>10)</sup>において湯種中の糊化澱粉が生地のガス保持力の低下や比容積の減少を引き起こし、製パン性を大きく低下させることを明らかにした。また、グルテンを完全に変性しない温度帯で小麦粉を乾熱処理することで、小麦粉の製パン性を向上させる製法が明らかになっている<sup>11)12)</sup>。これらの報告は、湯種製造時に適度に加熱された生地中のグルテンが製パン性を低下させず、逆に向上させる可能性を示唆している。

そこで、本研究では非加熱の凍結乾燥グルテンを水の共存下で種々の温度で加熱した加熱グルテンと、小麦粉から分離された小麦澱粉の混合物（グルテンのみ加熱変性させた疑似湯種）を調製し、本疑似湯種を用いて種々の製パン実験を行なった。本研究では、疑似湯種が糊化澱粉を全く含まないため、本製パン実験を通じて湯種調製時に加熱されたグルテンが製パン性に及ぼす影響を明確に検証することを目的とした。

## 実験方法

### 1. 供試材料

供試材料は既報<sup>10)</sup>と同様のものを用いた。

### 2. 加熱処理グルテン (HG) の調製法

本研究では既報<sup>10)</sup>に従い、凍結乾燥グルテン（以下グルテン）の加熱は均一混合が可能な水分量として、グルテン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>2)~4)</sup>を参考に55~80℃とした。具体的な調製法は、グルテン10gとイオン交換水20g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、使用前に均一に混合して製パン試験に用いた。

### 3. 前処理小麦澱粉 (TS) の調製法

非加熱の小麦澱粉懸濁液の調製は、既報<sup>10)</sup>に従いグルテンと同条件の水分量でかつ澱粉の糊化が起こらない温度帯でTSの調製を行った。具体的には、小麦澱粉32g、イオン交換水64g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使用前に均一に混合して製パン試験に用いた。

### 4. 製パン配合と製パン試験法

製パン配合についても既報<sup>10)</sup>の方法に従って、標準的な食パン配合（小麦粉160g、イオン交換水60g、TS96g、HG24g、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>13)</sup>の方法に従って、ピン型ドウ

ミキサー（National Mfg.USA製）により最適ミキシング時間（電力値ピーク後、約10秒後）までミキシングを行い捏ね上げ温度が30±1.0℃のパン生地を調製した。パン生地は100gに分割後丸めを行い、ベンチタイムを20分取り、モルダーを用いて、成形後、パン型に入れた。その後、最終発酵を70分行い、180℃で25分焼成した。

### 5. 生地のみキシング特性

既報<sup>10)</sup>に従って、ミ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、ピン型ミ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、それより最大消費電力とそれを示す時間を生地形成時間とした。

### 6. 製パン性と製パン品質

製パン性はYamauchiら<sup>7)</sup>の方法に準じてパンの膨らみを示す比容積（Specific loaf volume 以下SLV）、焼成による熱変化を伴わない状態で生地がどのくらいガスを保持することができるかを示す生地ガス保持力（Gas retention of dough 以下GRD）、発酵過程でイーストが発生させたガスの量として生地ガス発生量（Gassing power of dough 以下GP）の測定を行った。具体的には、SLVは焼成後のパンを用いて菜種置換法によって容積を測定し、容積を電子天秤を用いて測定したパンの重量で除することで算出した。GRDとしてミキシング直後と最終発酵終了後の生地20gを真空状態にすることで生地中のガスを膨張させ、生地が最大まで膨張した際の容積を測定した。GPはベンチタイム後の生地20gについてファームグラフII（ATTO社製）を用いて専用の密閉ガラス瓶中に生地を入れ、30℃の恒温水槽中で生地中のイーストが発生させるガス量を測定した。製パン品質として外観、色相、内相を評価した。具体的には外観はデジタルカメラ（キャノン(株)製、PowerShotSX10）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）を用いてパンの表皮であるクラストと内部の白い部分であるクラムについて明度(L\*)、赤色度(a\*)、黄色度(b\*)を測定した。内相はクラムの色相を計測したのと同じパンの中心部をスキャナー（セイコーエプソン(株)製、GT-5640）を用いて撮影し評価した。

### 7. パンの老化測定法

パンの老化はYamauchiら<sup>7)</sup>の方法に従ってクラムの硬さの測定により評価した。含水率は、クラムの硬さの測定に使用したパンクラムを135℃、3時間乾燥させて測定した。

### 8. 統計解析

Table 1のデータは、2回の測定結果の平均値で示した。Table 2, 4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、Table 3のデータは6回の測定結果の平均値±標準偏差で表した。Fig. 3のデータ間の単相関係数と有

意差は、Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp., Redmond, USA) を用いて求めた。Table 2, 3, 4 の全てのデータについては Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp., Redmond, USA) 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. 生地のミキシング特性

最大消費電力はコントロールが最大を示し、80℃ HG が

Table 1 Mixing property

Bread making level	Maximum electric power (W)	Dough development time (s)
Control	249.5	261
55℃ heated gluten	244.0	258
60℃ heated gluten	245.0	276
65℃ heated gluten	240.5	264
70℃ heated gluten	238.0	280
75℃ heated gluten	234.5	300
80℃ heated gluten	225.0	351

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

最少を示し、グルテンの加熱処理温度の上昇に伴って低下する傾向が見られた (Table 1, Fig. 1)。また、生地形成時間は最大消費電力とは逆に 80℃ HG が最大を示し、コントロールが最少を示し、加熱処理温度の上昇に伴って増加する傾向が見られた。本試験においてグルテンへの加熱処理温度以外に条件を変えていないことから、このミキシング特性の変化にはグルテンの加熱処理、即ちグルテン変性と関連があると推察される。ミキサーにおけるミキシング時の消費電力は、回転数が一定で、電圧が一定の条件ではミキサーのモーターにかかった負荷を示しており、一般的にミキシング時の消費電力は生地の硬さと強度を示す。しかし、モーターにかかる負荷は生地の硬さと強度以外にも、生地とミキサーのピンが接触する面積にも比例している。これは、ミキシングの初期段階で繋がりが無く伸展性の悪い生地は、ピンに絡むことはないために負荷は増加せず、ミキシングによって良く伸びるが切れにくい、伸展性の良い生地に変化していくことで生地がミキサーのピンへ絡まっていき負荷が上昇することをも示している。つまり、消費電力は高いと生地は硬く弾性的でありピンによく絡まった状態を示しており、低いと柔らかく粘性的でピンに絡まっていない状態を示している。しかし、Kawai ら<sup>14)</sup> は原料中の水を減らし生地を弾性的にすることで比容積が増加し、

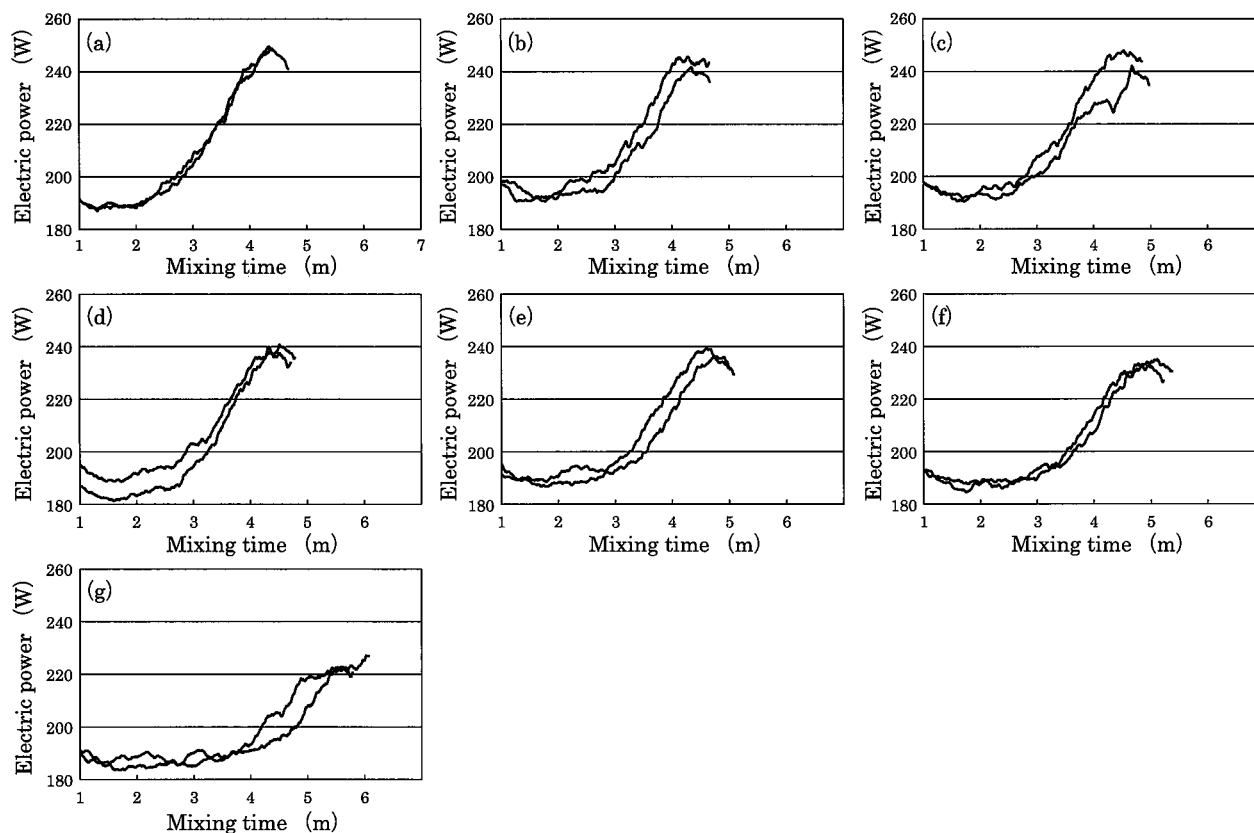


Fig. 1 Dough mixing chart

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

Table 2 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	27.2±0.2 <sup>a</sup>	60.8±0.6 <sup>a</sup>	89.4±1.6 <sup>a</sup>	118.3±0.0 <sup>a</sup>	102.2±4.2 <sup>b</sup>	4.74±0.26 <sup>b</sup>
55°C heated gluten	27.5±0.6 <sup>a</sup>	61.3±0.3 <sup>a</sup>	89.6±0.7 <sup>a</sup>	118.3±3.5 <sup>a</sup>	105.0±5.8 <sup>ab</sup>	4.99±0.24 <sup>ab</sup>
60°C heated gluten	27.4±0.1 <sup>a</sup>	60.4±1.1 <sup>ab</sup>	88.6±2.1 <sup>a</sup>	120.3±2.9 <sup>a</sup>	106.1±3.8 <sup>ab</sup>	5.18±0.29 <sup>ab</sup>
65°C heated gluten	27.2±0.2 <sup>a</sup>	60.4±0.3 <sup>ab</sup>	88.3±0.7 <sup>a</sup>	123.3±2.9 <sup>a</sup>	105.0±2.9 <sup>ab</sup>	5.13±0.21 <sup>ab</sup>
70°C heated gluten	27.0±0.6 <sup>a</sup>	60.1±1.0 <sup>ab</sup>	88.0±1.7 <sup>a</sup>	115.3±8.7 <sup>a</sup>	108.3±5.0 <sup>ab</sup>	5.04±0.22 <sup>ab</sup>
75°C heated gluten	27.4±0.5 <sup>a</sup>	60.2±1.1 <sup>ab</sup>	87.7±2.2 <sup>a</sup>	115.3±8.7 <sup>a</sup>	113.3±1.7 <sup>a</sup>	5.35±0.31 <sup>a</sup>
80°C heated gluten	25.6±1.8 <sup>a</sup>	57.6±2.0 <sup>b</sup>	85.3±2.0 <sup>a</sup>	120.3±2.9 <sup>a</sup>	113.3±0.0 <sup>a</sup>	5.25±0.10 <sup>ab</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 ( $p < 0.05$ ).

原料中の水を増やし生地を粘性的にすることで比容積が減少することを報告している。後述するように、比容積は加熱処理温度に伴って75°Cまで増加している為に、粘性が強くなったとは考えられないことから、55°C以上のHGを入れることで生地はコントロールに比べピンに絡みにくくなり負荷が減ったと考えられる。また、小麦粉中のグルテンの量が多く、そして質が強くなるにつれて生地形成時間は長くなるのが明らかになっており<sup>2)</sup>、グルテンの質に関しては、高分子グルテニンサブユニットの遺伝子型が生地形成時間や生地の安定性に大きく影響していることが報告されている<sup>15)16)</sup>。そして、生地形成時間の長い生地は製パン性が向上すると言われており<sup>17)</sup>、生地形成時間については、製パン性に優れる小麦粉中のグルテンではそれが劣る小麦粉中のグルテンに比べ、よりグルテンがミキシング中に高分子化するためにミキシングに時間がかかることが報告されている<sup>17)</sup>。さらに、Stathopoulosら<sup>3)</sup>は40°Cの加熱でグルテンの変性は始まり、70°Cから90°Cの間で遊離SH基と疎水性表面の減少、高分子化が急激に起こることを報告しており、本実験ではグルテンの総量は一定である。これらのことから、70°C以上のHGを使用した試験群における生地形成時間の延長とミキシング曲線の変化は、55°Cから65°Cの加熱によって起こったグルテンの変性の程度とは異なる明らかな変化が起こったことを示し、グルテンのより大きな変性が70°C以上で起こった可能性を示唆している。また、加熱によりグルテン内の疎水結合、SS結合等の増加によってグルテンが高分子化した可能性を示していると考えられる。

## 2. 製パン性

SLVは75°C HGがコントロールに比べて有意に高い値を示した (Table 2)。また、有意差はなかったものの他のすべての水準でコントロールに比べSLVが大きくなった。一般的に小麦粉中のグルテンの量は製パン性、SLVに正の相関がある。また、湯種製法の製パン性の低下は、グルテンの加熱変性によるものだとされており<sup>8)</sup>、これは湯種を製

造する過程で熱湯や加熱源と接触した生地部分のグルテンが変性し、活性グルテンの総量が減少するためだと考えられている<sup>8)</sup>。しかし、本実験におけるSLVの結果は、グルテンの加熱は80°Cまでであれば製パン性を向上させるというものであった。前述したように、グルテンの変性は40°Cから始まっていることが報告されており<sup>3)</sup>、本実験の結果は、湯種中の加熱されたグルテンは80°Cまでであれば変性は部分的であることを示唆し、グルテンの部分変性は製パン性を低下させるのではなく、逆に向上させる可能性を示している。

ミキシング直後のGRDは、すべての試験区で有意差は見られなかったが、ホイロ終了時のGRDは75°C HG、80°C HGでコントロールに比べて有意に増加した (Table 2)。この結果は、加熱されたグルテンが生地の物性を強化することで、発酵中に起こる生地中の気泡の合一を抑制し、ホイロ終了時までミキシング直後のGRDをほぼ維持したためと考えられる。また、GPは、2hでの80°C HGがコントロールに比べて有意に低下したが、その他の試験区では有意差は見られなかった (Table 2)。

Yamauchiら<sup>7)</sup>は、湯種製法のパンではGRDとGPが低下することを報告しており、既報<sup>10)</sup>においては糊化澱粉の添加がGRD、GPを低下させることを報告している。さらに、Naitoら<sup>9)</sup>は湯種中の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に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、今回の試験において加熱処理されたグルテンの添加は生地のGRD、GPを低下させることはなく、GRDをむしろ向上させた。これらの結果は湯種製法における製パン性の低下が、小麦粉中のグルテンの加熱変性によるものではなく、糊化澱粉がGRDとGPを減少させることに起因することを示している。

## 3. 製パン品質

すべてのHG添加区のパンの外観はコントロールに比べ

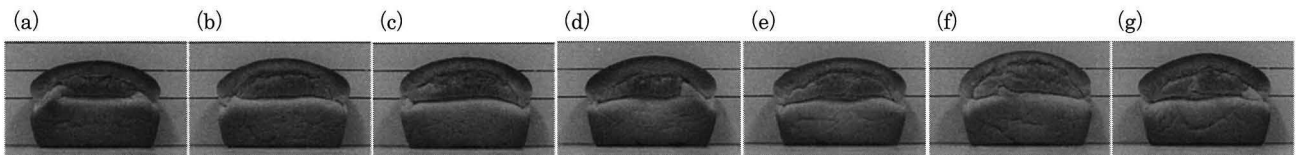


Fig. 2 Appearance and photocopy of bread

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

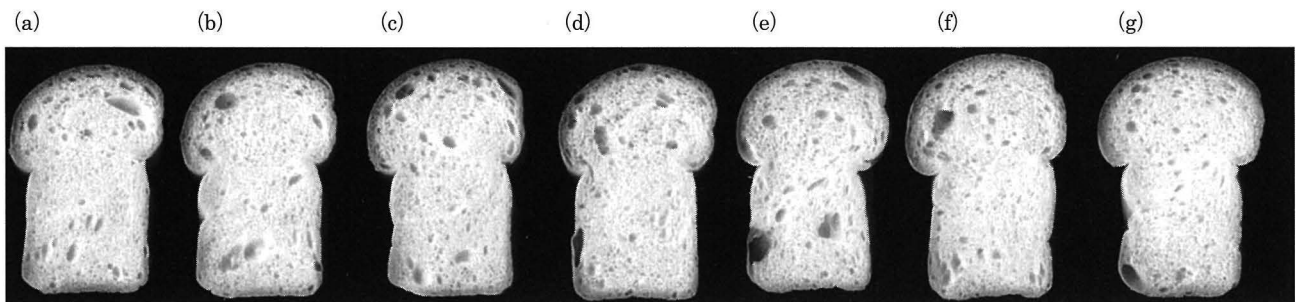


Fig. 3 Appearance and photocopy of sliced bread

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

て大きくなることを確認された (Fig. 2)。一般的に山形のパンの場合、焼成過程で生地が急激に膨張した際にパン生地の側面にパイルと呼ばれる生地が割れた個所が表れ、このパイルが大きいと製パン性が良いとされている。本実験において特に、75°C HGにおいては窯伸びの大きさを示すパイルが大きく表れており、非常に製パン性に優れた生地であることが示された。その他の水準についてもコントロールに比べてパイルが大きくなっていることが確認された。また、湯種製法のパンは、その生地の製パン性が劣り、得られたパンにしばしばケービングと言われるパンの側面が折れる外観上の品質低下の問題点が知られている。既報<sup>7)</sup>において糊化澱粉を加えることで、同様にケービングが発生することを報告している。しかし、本試験においてケービングは全く確認されなかったことから、湯種製法のパンにおけるケービングの現象は加熱されたグルテンによって発生するのではなく、糊化澱粉に起因すると考えられる。パンの内相は各水準に大きな差は見られなかったが、75°C HG、80°C HGにおいて、キメが細かく白い内相が確認された (Fig. 3)。

クラストとクラムの色相の結果を Table 3 に示した。L\* は物体の表面が光をどのくらい反射するかを示しており、数値が高い程と光を反射し白く見えることを示している。そして、a\* と b\* はそれぞれ数値が高い程、赤色、黄色であることを示し、低いと緑色、青色であることを示している。パンのクラストの L\* と a\* はコントロールに比べてグルテンの加熱処理によって有意な差は見られず、b\* は、65°C HG と 80°C HG において有意な増加が見られた (Table 3)。

山型食パンにおけるクラストの上部は最も焼き色が付く個所である。そして、この着色反応の主要因はメイラード反応であり、湯種製法のパンは焼き色が付きやすいとの報告<sup>8)18)</sup> もされている。これは、湯種の製造中に小麦粉中の内在性の酵素によって糊化した澱粉の一部が分解され還元糖の麦芽糖が生成され、メイラード反応が促進されるためであると考えられている<sup>8)18)</sup>。焼き色が付くことによって L\* の低下と a\* の上昇が推測されるが、L\* と a\* に有意差はなく、むしろ L\* については増加する傾向が見られたことから、湯種中の加熱されたグルテンは湯種製法における焼き色の促進効果に関与していないと考えられる。

パンのクラムの L\* はコントロールが最も低く、80°C HG が最も高く両水準間に有意差が見られ、加熱処理温度の増加に伴って増加する傾向が確認された (Table 3)。クラムにおける L\* の増加は、気泡膜による光の乱反射が抑えられていることが主要因であると考えられ、乱反射抑制の要因としては、気泡が細かく、気泡表面が滑らかであることが考えられる。そして、気泡表面も滑らかさは澱粉の糊化に伴うゲル化と、窯伸びにより気泡が大きく伸ばされ気泡膜が滑らかになることが考えられる。今回の疑似湯種を用いた製パンにおいて吸水は一定であり、使用された疑似湯種の澱粉は糊化しない同一の低温加熱処理が行われた。この結果、パンの比容積はグルテンの加熱処理温度の増加に伴って増加した。これらのことから、加熱処理 HG の添加による L\* の有意な増加は、窯伸びの増大によって気泡膜表面の構造がより良好になったことが主要因であると考えられた。

Table 3 Hue of bread crust

Bread making level	Bread crumb			Bread crust		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Control	74.7±1.0 <sup>b</sup>	-2.0±0.0 <sup>a</sup>	9.8±0.4 <sup>ab</sup>	49.0±1.9 <sup>a</sup>	15.3±0.3 <sup>a</sup>	32.2±1.4 <sup>b</sup>
55°C heated gluten	76.8±1.3 <sup>ab</sup>	-1.9±0.0 <sup>a</sup>	9.2±0.4 <sup>b</sup>	50.6±1.9 <sup>a</sup>	15.1±0.4 <sup>a</sup>	33.6±1.4 <sup>ab</sup>
60°C heated gluten	74.9±1.0 <sup>ab</sup>	-1.8±0.1 <sup>a</sup>	9.2±0.7 <sup>b</sup>	50.5±1.5 <sup>a</sup>	15.0±0.3 <sup>a</sup>	33.3±0.7 <sup>ab</sup>
65°C heated gluten	76.8±0.2 <sup>ab</sup>	-2.0±0.0 <sup>a</sup>	9.6±0.2 <sup>ab</sup>	52.2±2.9 <sup>a</sup>	14.9±0.6 <sup>a</sup>	34.4±1.2 <sup>a</sup>
70°C heated gluten	75.9±0.3 <sup>ab</sup>	-2.0±0.0 <sup>a</sup>	9.8±0.6 <sup>ab</sup>	51.9±1.8 <sup>a</sup>	15.2±0.4 <sup>a</sup>	34.2±1.0 <sup>ab</sup>
75°C heated gluten	76.8±4.0 <sup>ab</sup>	-2.0±0.0 <sup>a</sup>	10.6±0.3 <sup>a</sup>	51.8±2.4 <sup>a</sup>	15.2±0.6 <sup>a</sup>	34.2±0.9 <sup>ab</sup>
80°C heated gluten	79.9±1.9 <sup>a</sup>	-2.0±0.0 <sup>a</sup>	9.3±0.2 <sup>b</sup>	51.2±2.4 <sup>a</sup>	15.2±0.5 <sup>a</sup>	34.5±1.1 <sup>a</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 ( $p<0.05$ ).

Table 4 Results of changes in hardness and moisture content during storage

Bread making level	Hardness of bread crumb ( $N/m^2 \times 10^3$ )			Moisture content of bread crumb (%)		
	1 day after baking	2 day after baking	3 day after baking	1 day after baking	2 day after baking	3 day after baking
Control	3.50±0.13 <sup>ab</sup>	7.07±0.48 <sup>a</sup>	7.50±0.43 <sup>a</sup>	41.2±0.3 <sup>ab</sup>	38.7±0.7 <sup>b</sup>	38.3±0.5 <sup>a</sup>
55°C heated gluten	3.67±0.61 <sup>a</sup>	6.14±0.56 <sup>b</sup>	7.65±0.21 <sup>a</sup>	41.2±0.6 <sup>b</sup>	39.9±0.5 <sup>ab</sup>	38.8±0.3 <sup>a</sup>
60°C heated gluten	3.14±0.36 <sup>abcd</sup>	5.06±0.42 <sup>cd</sup>	6.86±0.49 <sup>ab</sup>	41.9±0.7 <sup>ab</sup>	40.1±0.9 <sup>a</sup>	38.6±0.9 <sup>a</sup>
65°C heated gluten	2.93±0.14 <sup>bcd</sup>	5.11±0.53 <sup>cd</sup>	5.33±0.57 <sup>c</sup>	42.2±0.6 <sup>ab</sup>	40.4±0.9 <sup>a</sup>	39.8±0.4 <sup>a</sup>
70°C heated gluten	3.40±0.27 <sup>abc</sup>	5.48±0.64 <sup>bc</sup>	5.51±0.33 <sup>bc</sup>	42.0±0.8 <sup>ab</sup>	40.3±0.5 <sup>a</sup>	39.2±0.6 <sup>a</sup>
75°C heated gluten	2.67±0.14 <sup>d</sup>	4.21±0.28 <sup>d</sup>	4.80±0.65 <sup>c</sup>	42.4±0.4 <sup>a</sup>	40.6±0.4 <sup>a</sup>	39.5±0.6 <sup>a</sup>
80°C heated gluten	2.80±0.20 <sup>cd</sup>	4.32±0.42 <sup>d</sup>	5.71±0.85 <sup>bc</sup>	42.0±0.4 <sup>ab</sup>	40.5±0.8 <sup>a</sup>	38.5±0.8 <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 ( $p<0.05$ ).

#### 4. パンの老化

パンクラムの硬さは保存1日において75°C HGが有意に柔らかく、保存2日においてコントロールに比べすべてのHG添加区で有意に柔らかくなった (Table 4)。また、グルテンの加熱処理温度の増加に伴ってより柔らかくなる傾向が見られた。保存3日においてもコントロールに比べて55°C HGを除いて柔らかさを維持する傾向が見られ、65°C以上でグルテンを加熱処理した試験群でコントロールに比べて有意に柔らかくなった。この結果から、グルテンの65°C以上の加熱処理は、パンの老化抑制に大きなプラスの効果を与えることを示している。

含水率は保存1日および保存3日ではコントロールとその他の水準間で有意差は見られなかったが、コントロールよりも高い含水率を維持する傾向が確認され、保存2日ではコントロールに比べて60°C以上のHG使用群で有意に含水率が高かった (Table 4)。パンの老化には含水率が影響することが報告されているが<sup>19)</sup>、焼成過程で糊化した澱粉の再結晶化が主要因であるとも報告されている<sup>20)</sup>。Fig. 4に今回の試験におけるすべての水準のパンのクラムの硬さ

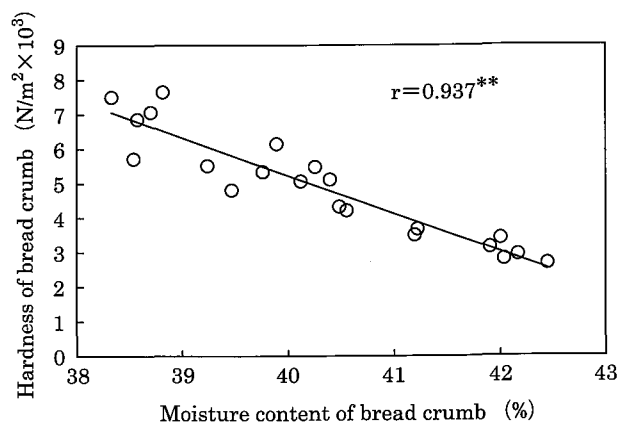


Fig. 4 A relationship between hardness and moisture content of bread crumb

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

と含水率の関係を示した。その結果、相関係数は高く有意であり過去の報告のように、本実験のパンクラムの硬さと含水率には大きな関係があることが明らかになった。この結果から、本実験の55°C以上HG添加区のパンが柔らかく

老化が遅くなった主要因は、これらのパンの保存中の水分含量が高く維持されたことにあると考えられる。そして、55℃以上のHG添加パンの高い水分含量は、加熱処理によりグルテンの構造変化が起これ、その結果としてパンの構造が変化し水の保持能力が向上したことが関係していると考えられる。また、米澱粉の再結晶化速度は水分含量の上昇によって抑制されることが報告されており<sup>21)</sup>、HG添加によってHGと澱粉との相互作用により澱粉がより保水しやすくなったために、パン中の澱粉の再結晶化速度も抑制されているとも考えられる。一般的に、湯種製法における老化遅延効果は部分分解された糊化澱粉とパンの水分含量の上昇によるものだと考えられているが、本実験のパンの老化と含水率の結果は、湯種中のグルテンも湯種の製造工程でパンの水分含量の向上とその保持効果により老化遅延に関与していることを示唆している。また、HG添加群で比容積がコントロールに比べて大きくなったことから、単位体積当たりのパンの空隙率が増大したことも得られたパンの硬さ（特に保存1日目の硬さ）の低下に寄与している可能性が考えられる。

## 要 約

湯種製法での製パンにおいて、湯種製造中に加熱変性した小麦グルテンが生地の製パン性にどのような影響を及ぼすかについて、グルテンと小麦澱粉を用いた疑似湯種を用いて検討を行った。結果として、湯種中のHGはコントロールに比べて生地形成時間を延長させ、生地のGRD、パンのSLVを増加させた。これらには、湯種中のグルテンが加熱部分変性し高分子化したことが関係している可能性が示唆された。

さらに、HGを製パンに用いることでパンの保存中の含水率が増加し、パンの老化が抑制されることが判った。この老化抑制には、湯種中のHGがより多く保水することでパン中の水分含量を高い状態で維持し糊化澱粉の老化を抑制することが関係していると考えられた。これらの結果から、HGの添加（湯種製造中のグルテンの部分加熱変性）は、これまでの報告と異なり湯種製法のパン生地の製パン性を向上させ、得られたパンの老化を抑制することが明らかになった。

## 文 献

- 1) He, H. and Hoseney, R.C. (1992). Effect of the Quantity of Wheat Flour Protein on Bread Loaf Volume. *Cereal Chem.*, **69**, 17-19.
- 2) 田中康夫編, 松本 博編 (1991). 製パンの化学 I 製パンプロセスの化学, 第3版, 光琳, 東京.
- 3) Stathopoulou, E. C., Tsiambis, A. A., Schofield, J. D., and Dobraszczyk, J.B. (2008). Effect of heat on rheology, surface hydrophobicity and molecular weight distribution of gluteins extracted from flours with different bread-making quality. *J. Cereal Sci.*, **47**, 134-143.

- 4) 柴田 太, 加藤博信 (2001). パン類の製造法, 特許第3167692号, 3月9日.
- 5) 深沢忠史, 貝沼 謙 (2002). パン類生地及びパン類の製造方法, 特許第3624894号, 2月21日.
- 6) 杉山幹雄, 貝沼 謙, 安田茂樹 (2004). 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, 1月8日.
- 7) Yamauchi, H., Yamada, D., Murayama, D., Santiago, D.M., Orikasa, Y., Koaze, H., Nakaura, Y., Inouchi, N., and Noda, T. (2014). The staling and texture of bread made using the Yudane dough method. *Food Technol. Res.*, **20**, 1017-1078.
- 8) Yamada, T., Hasegawa, T., Ito, T., Ohara, A., and Adachi, T. (2004). Study on Starch in White Bread Prepared by Yukone Processing. *Scientific reports of the Faculty of Agriculture, Meijo University*, **40**, 9-20 (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).
- 9) Naito, S., Fukami, S., Mizokami, Y., Hirose, R., Kawashima, K., Takano, H., Ishida, N., Koizumi, M., and Kano, H. (2005). The Effect of Gelatinized Starch on Baking Bread. *Food Sci. Technol. Res.*, **11**, 194-201.
- 10) Yamada, D., Iseki, T., Inoue, S., Yoshino, S., Tsuboi, K., Murayama, D., Santiago, D.M., Koaze, H., and Yamauchi, H. (2015). Effect of Gelatinized Wheat Starch on Bread-making Qualities of Yudane Dough. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **62**, 547-554 (山田大樹, 伊勢木智行, 井上俊逸, 吉野信次, 坪井一将, 村山大樹, デニス・サンチャゴ, 小崎 浩, 山内宏昭, 湯種中の加熱糊化澱粉が生地の製パン性に与える影響, 日本食品科学工学会誌).
- 11) 村上浩二, 岩倉 毅, 伊藤裕朗 (2011). 製パン用小麦粉組成物およびその製造方法, 特許第4653050号, 3月16日.
- 12) 新海陽介 (2015). パン用熟処理小麦粉の製造方法, 特許第5761685号, 6月19日.
- 13) Yamauchi, H., Ichinose, Y., Takata, K., Iriki, N., Shiina, T., and Kobayashi, T. (1999). A Kinetic Study on Staling of White Bread Made by Frozen Dough Method. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **46**, 212-219 (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).
- 14) Kawai, H., Tanaka, F., Takahashi, H., and Yamauchi, H. (2006). Measurement of physical properties and expansion ability of dough for bread making. *Food Preservation Sci.*, **32**, 209-216.
- 15) Ito, M., Maruyama-Funatsuki, W., Ikeda, T., Nishio, Z., Nagasawa, K., and Tabiki, T. (2015). Dough properties and bread-making quality-related characteristics of Yumehikara near-isogenic wheat lines carrying different Glu-B3 alleles. *Breed. Sci.*, **65**, 41-48.
- 16) Kaur, A., Singh, N., Ahlawat, A.K., Kaur, S., Singh, A.M., Chauhan, H., and Singh, G.P. (2013). Diversity in grain, flour, dough and gluten properties amongst Indian wheat cultivars varying in high molecular weight subunits (HMW-GS). *Food Res. Int.*, **53**, 63-72.
- 17) A.H.ブロックマス, 上村光男編 (1990). ドウの構造, ドウのレオロジー及び, 製パン特性, 製パン技術資料295, パン技術者協会, 東京.
- 18) 原田昌博, 井上好文編 (2007). 湯種に使用する粉質が品質に与える影響, 製パン技術資料679, 社団法人パン技術研究所, 東京.
- 19) Rogers, D.E., Zeleznak, K.J., Lai, C.S., and Hoseney, R.C.



- (1988). Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chem.*, **65**, 398-401.
- 20) Yamauchi, H., Kaneshige, H., Fujimura, M., Noshō, Y., Hashimoto, S., Nishiyama, T., Kodama, K., and Kobayashi, T. (1994). A kinetic Study on Staling of White Bread Made by Straight Method. *Journal of Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi)* **41**, 1-8 (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).
- 21) Yao, Y. and Ding, X. (2002). Pulsed Nuclear Magnetic Resonance (PNMR) Study of Rice Starch Retrogradation. *Cereal Chem.*, **79**, 751-756.  
(平成 28 年 8 月 8 日受付, 平成 28 年 10 月 6 日受理)
-