

市販活性グルテンの品質特性と米粉食パンへの利用

Quality Characteristics of Commercial Vital Gluten and Its Usage in Rice Flour Bread

山澤正勝¹⁾・佐藤生一・今井奈央²⁾・日比野久美子

Masakatsu YAMAZAWA, Seiichi SATOU, Nao IMAI, Kumiko HIBINO

要旨：本研究では、乾燥方法や添加物の異なる各種市販活性グルテンについて、一般成分、pH、色調、吸水力およびグルテンゲルの破断強度を比較した。その結果、特にグルテンのpHは、グルテン製造に際し添加される酢酸、アンモニア、亜硫酸塩によって大きく影響された。グルテンゲルの破断強度はpH6付近で最高で、酸性側あるいはアルカリ性側にシフトすると低下した。

米粉の20%を活性グルテンで置換した米粉食パンの高さや比容積は、グルテンのpHによって影響された。グルテンのpHが6付近からより酸性側あるいはアルカリ性側にシフトすると減少し、高さや比容積との間には非常に強い相関関係が認められた。さらに、圧縮強度は、pHが高いほど大きくなる傾向が認められた。米粉食パンの高さ、比容積、圧縮強度、パンの切断面の観察、および官能検査の結果から、添加物を添加しないグルテンが米粉パンには最も適していた。

Abstract: This study compared the nutrient composition, pH, color, water absorption capacity and characteristic rupture strength of gluten gel in commercial vital glutes prepared under varying drying processes and with different additives. The results showed that the pH of gluten in particular was greatly affected by the acetic acid, ammonia and sulfites used in the manufacturing process. The rupture strength of gluten gel reached its maximum at around pH 6 and declined once the pH shifted to either a more acidic or alkaline condition. When 20% of the rice flour was replaced with the vital glutes for rice flour bread, loaf height and specific volume were affected by the gluten pH. Loaf height and specific volume decreased when the pH shifted from around pH 6 to either a more acidic or alkaline condition, indicating a strong correlation between these parameters. Furthermore, the compressive strength of rice flour bread tended to be greater with higher gluten pH values. Based on the results of loaf height, specific volume, compressive strength, cross-sectional images of the bread structure and sensory tests, vital gluten manufactured without any additives was found to be the most appropriate gluten for rice flour breads.

キーワード：活性グルテン、米粉パン、pH、比容積、破断強度

Key word: vital gluten, rice flour bread, pH, specific volume, rupture strength

1. 緒言

小麦粉の生地（ドウ）からデンプンや水溶性物質を水で洗い流すと、黄褐色のゴム状タンパク質が得られ、これがグルテンである。我が国の場合、グルテンを直接生麩や焼麩、グルタミン酸ナトリウムなどの原料としての利用が主であった。諸外国においては製パン工業に積極的に利用され、その形態も乾燥粉末化されたグルテン、いわゆる活性グルテン（バイタルグルテン）が主体であった。

我が国では、食生活の変遷によりパン食が普及すると

パン用小麦粉生産が増加し、それに伴う副産物としてのグルテンの利用開発が必要となった。グルテンの利用法には粉末状小麦タンパク製品（活性グルテン）と呼ばれるもののほか、粒状小麦タンパク製品、繊維状小麦タンパク製品などがあり、その特徴にあわせて多用途に利用されている。

現在、生グルテンを乾燥して粉末化した活性グルテンは、製パン、製麺、水産練り製品、製菓、冷凍食品などの食品加工業界において、品質改良等に広く利用されている。しかし、その使用目的は食品によって異なり、製

¹⁾ 元名古屋文理大学短期大学部教授、²⁾ 元名古屋文理大学短期大学部助手

パン工業では小麦粉タンパク質含量の調整，食感改良，老化防止，製麺工業では麺の腰の強化，ゆで麺の食感に及ぼす影響，水産練り製品業界では弾力補強，製菓工業では食感改良などに使用されている¹⁾⁻⁵⁾。

一方，我が国では，食料自給率の向上や水田利用率の増加を目的として，炊飯以外のコメ利用が広く求められている。米粉利用法の1つとして米粉パンがあるが，米粉には小麦粉と違ってグルテンが存在しないため，同じ製法では小麦粉と同様のパンを製造することは難しい。そのため，米粉の一部にグルテンを置換した米粉パンが作られるようになり，また，小麦アレルギーの防止の目的でグルテンを使用しないグルテンフリー米粉パンの開発も検討されている⁶⁾⁷⁾。

このような社会的背景のもと，米粉パンが注目され，種々のタイプの米粉パンが市場に出回っているが，その多くは米粉の一部に活性グルテンを置換して調製したものが主流である。しかし，現在国内で市販されている各種活性グルテンの品質は，原料小麦や製造工程における添加物・乾燥方法等によって様々である¹⁾⁸⁾⁻¹⁰⁾。そこで，米粉パンへの利用を目的とし，各種市販グルテンについて，一般成分組成に加えて，吸水力，ゲル強度などの品質特性について明らかにした。また，市販活性グルテンの品質特性が米粉食パンの品質に及ぼす影響についても検討したので報告する。

2. 実験方法

(1) 各種市販活性グルテンの特徴とその品質特性

1) 各種市販活性グルテンの調製法の特徴

活性グルテン試料は，市販活性グルテンメーカー（グ

リコ栄養食品株式会社，株式会社新進，長田産業株式会社，北国フード株式会社）より提供していただいた9種を実験に供した。各グルテンメーカーのパンフレットに記載されたグルテンの調製条件を表1に示した。

本実験では，表1に示すように，グルテンの種類をⅠ群からⅢ群に分類した。生グルテンに添加物を加えず乾燥方法の異なる試料群をⅠ群試料（No.1～4）とした。乾燥に分散剤を利用する分散乾燥法は，一般に分散剤として酢酸を利用する場合は0.01Nになるように調整し，アンモニア利用ではpH9～10になるように調整して分散性を高め，スプレードライ法で乾燥する方法であり，これら試料群をそれぞれⅡ群-1試料 No.5（酢酸処理）およびⅡ群-2試料 No.6,7（アンモニア処理）とした。亜硫酸塩等を単独あるいはアンモニア等を併用しSS結合を一部切断した試料群（変性グルテン）をⅢ群試料（No.8,9）とした¹⁾⁹⁾¹⁰⁾。なお，今回使用した市販活性グルテンは原料小麦粉，添加物濃度や乾燥条件などの製造条件がメーカーによって異なる。

2) グルテンの一般成分および pH

市販活性グルテン（以下，グルテンと表す）の一般成分は常法（水分：105℃乾燥法，灰分：550℃灰化法，脂質：エーテル抽出法，タンパク質：ケルダール分解法）によった。pH はグルテン試料に3倍量の水を加えて良く攪拌した後，遊離水について東亜電波製ガラス電極 pH メーターで測定した。

3) グルテン粉末の色調

日本電色工業（株）製測色色差計 NE-200を使用し，粉体用セルにグルテン試料を詰め， L^* ， a^* ， b^* 値を測定した。

表1 各種市販活性グルテンの添加物および乾燥方法

グルテンの種類		添加物の有無	乾燥方法
Ⅰ 群	1	無し	フラッシュドライ法
	2	無し	フラッシュドライ法
	3	無し	フリーズドライ製法
	4	無し	真空乾燥
Ⅱ 群-1	5	酢酸	スプレードライ法
Ⅱ 群-2	6	アンモニア	スプレードライ法
	7	アンモニア	スプレードライ法
Ⅲ 群	8	亜硫酸塩	真空乾燥
	9	亜硫酸塩・ アンモニア	スプレードライ法

4) グルテンの吸水力の測定

50ml 容共栓遠沈管にグルテン粉末0.5 gを精秤 (W_1) し、蒸留水25mLを加えて時々攪拌しながら30℃～100℃の湯中で30分間加熱した。加熱終了後常温で直ちに3000rpm, 30分間遠心分離し、沈殿部の重量 (W_2) を測定し、吸水力 = W_2/W_1 で求めた¹¹⁾。

5) グルテンゲルの調製および破断強度の測定

グルテン粉末に加水して捏ねていくと、Ⅰ群は吸水と共に次第にほぼ均一な塊となるが、Ⅱ群は均一に吸水するが粘性が高く、ベタベタした状態、Ⅲ群は吸水時に不均一に吸水して固まり、離水量が多かった。そのため、これら性質の異なったグルテンから均一なゲルを調製する方法として、フードプロセッサー (クイジナー製 DCL-10PRO 型) にグルテン粉末試料と2倍量の蒸留水を加えて軽くブレンドして均一に分散させ、絞り袋を使用してポリ塩化ビニリデンケーシング (直径30mm) に充填した。これを85℃の湯中で45分間加熱した後流水で冷却後一晩冷蔵庫に保存した。なお、Ⅲ群 No.8では、ゲルは形成されているが、ケーシング内に著しく離水が認められた。

破断強度の測定は、常温に戻した試料を2.5cm 厚に切断し、ヤマデン製卓上型物性測定器 TPU-2S (B) を使用し、5mm 球形プランジャー、プランジャー速度 2.5mm / sec で行った。

6) RVA によるグルテン置換小麦デンプンの粘度変化

品質特性の異なる各種グルテンが加熱による小麦デンプンの粘度変化に及ぼす影響について検討した。測定には Newport Scientific 社製 RVA (Rapid Visco Analyzer) を使用した。先に著者らがいろいろの品質に及ぼすグルテンの影響を検討した方法¹²⁾を参考にし、専用アルミ缶に試料3.5 g (小麦デンプン: 市販浮粉 (きくや商店)) 85% + 各種グルテン15% : 無水物換算) を秤取り、これに水を25ml 加え、加熱・冷却に伴う粘度変化 (50℃～95℃) を測定した。この時の試料濃度は12.3% (無水物換算) であった。測定条件は、豊島らの米粘度特性試験¹³⁾を参考に、50℃で1分間保持後95℃まで5分間で昇温させた。95℃で10分間保持した後、50℃まで5分間で降温させ、50℃で5分間保持して終了とした。また、RVA での特性値についても、上記文献¹³⁾を参考に最初に示すピークを最高粘度、冷却前の粘度が最低に達した点を最低粘度、測定時間終了時点の粘度を最終粘度とした。また、最高粘度と最低粘度の差をブレイクダウン、最低粘度と最終粘度の差をセットバック値と表現した。参考として、小麦強力粉には日清製粉製カメリアを使用した。

(2) 米粉食パンの調製法と品質評価法

1) 米粉食パンの調製法

食パンの調製は、Panasonic 製ホームベーカリー SD-BMS151 (1.5斤用) を使用した。米粉食パンは米粉の20%をグルテンで置換したグルテン置換米粉食パンである。原料米粉は、前報¹⁴⁾において、本米粉食パン製造条件において市販小麦粉食パンと同程度に膨化することが確認された新潟製粉製パウダーライス D (損傷でんぷん4.3%, 平均粒径39.6 μ m) を使用した。原材料の配合割合は、メーカーの取扱説明書に準じ、米粉320 g, グルテン (表1の9種) 80g, 砂糖24 g, 塩7 g, スキムミルク10 g, バター32 g, ドライイースト6.5 g, 蒸留水310mlとした。パンの調製条件は、上記ホームベーカリーの米粉食パンコース (2時間30分) で行った。各工程と時間配分は、ねかし (20分) - 捏ね (25分) - 発酵 (65分) - 焼き上げ (45分) であった。焼成後のパンは常温で1時間放置した後ビニール袋に入れ、25℃の恒温機内で一晩放置後、以下に述べる物性測定に供した。

2) 米粉食パンの高さ

食パン調製1日後の物性測定用試料について、高さ (cm) を測定した。

3) 米粉食パンの比容積

食パンのクラム部分からパンスライサー (ハクラ精機株式会社製 ALFA70) にて約2.5cm 角の立方体を切り出し、カラシ種子を使用した植物種子置換法¹⁵⁾で比容積を算出した。

4) 米粉食パンの圧縮強度

米粉食パンをパンスライサーで2.5cm 厚に切断し、上記物性測定機を使用し、直径20mm の円板状プランジャーにて、圧縮速度2.5mm/sec, クリアランス12.5mm 圧縮 (50%圧縮) したときの強度を圧縮強度 (N) とした。

5) 米粉食パンの色調

上記測色色差計を使用し、パンスライサーで切断したクラム部の切断面30 ϕ の表面色について、 L^* , a^* , b^* 値を測定した。

6) 米粉食パンの切断面写真

パンスライサーにより調整した米粉食パンⅠ群 No.3, Ⅱ群 -1No.5, Ⅱ群 -2No.6, Ⅲ群 No.8の切断面を Canon デジタル一眼レフカメラ EOS キッス×4, レンズは Canon 標準ズームレンズ EF-S18-55mmF3.5-5.6IS で撮影した。

7) 官能検査

本学学生 (18-19歳) 25名を対象に、Ⅰ群 NO.3, Ⅱ群 -2 NO.6, Ⅲ群 NO.8のグルテンを使用した米粉食パンを

表2 市販活性グルテンの一般成分

グルテンの種類		水分(%)	タンパク質(%) ()は無水物換算値	炭水化物(%)	脂質(%)	灰分(%)
Ⅰ 群	1	5.6	73.5 (77.9)	15.1	5.0	0.80
	2	6.5	73.6 (78.7)	14.4	4.6	0.90
	3	4.1	79.5 (82.9)	10.7	5.0	0.70
	4	7.7	71.1 (77.0)	15.4	4.8	1.00
Ⅱ 群-1	5	5.4	76.3 (80.7)	12.4	5.0	0.90
Ⅱ 群-2	6	4	76.4 (79.6)	12.8	5.9	0.90
	7	4.2	74.3 (77.6)	11.6	8.4	1.50
Ⅲ 群	8	8.6	66.6 (72.9)	13.9	8.8	2.05
	9	5.5	74.1 (78.4)	9.9	7.6	2.90

試食し、図10に示すようなアンケート調査を行った。試料サイズは2.5cmの立方体を使用し、検査項目（もちり感、しっとり感、噛み切り易さ、硬さ、すだち、異臭、風味）についてそれぞれ2～-2点に評価し、平均値を取りまとめた。

(8) 試験回数

各品質評価の試験は2～3回繰り返し実施し、その平均値と標準偏差を示した。

3. 結果および考察

(1) 市販活性グルテンの一般的な性状

市販活性グルテン9種の一般成分（表2）、pHおよび色調（表3）の結果を示した。

表2より、水分は4.0～8.6%、タンパク質72.9～82.9%（無水物換算値）、脂質4.6～8.8%、炭水化物9.9～15.4%、灰分0.8～2.9%など試料間にかなり差が認められた。これらの相違は、各メーカーの原料粉および製造条件に由来するものと推察された。そのため、以後のグルテンの品質特性試験ではタンパク質量（無水物換算値）が一定になる条件で行った。

表3より、グルテンのpHは添加物のないⅠ群（No. 1～4）では5.64～6.34の間であった。分散剤として酢酸で処理したⅡ群-1No.5はpH4.46とⅠ群に比べて低い値であり、アンモニアで処理したⅡ群-2No.6,7では6.85～7.27と高い値を示した。一方、Ⅲ群のうち、亜硫酸塩単独で処理したグルテンNo.8は6.10とⅠ群と同程度であるが、アンモニアを併用したNo.9は7.54であった。

グルテンの色調は、Ⅰ群No.1,2,3試料では、Ⅱ、Ⅲ群に比べると L^* 値が高く、 a^* 、 b^* 値はともに低く、製造

表3 市販活性グルテンのpHと色調

グルテンの種類		pH	色 調		
			L^* 値	a^* 値	b^* 値
Ⅰ 群	1	6.21	89.76	0.91	12.26
	2	5.95	87.30	1.76	12.00
	3	6.34	90.00	0.63	11.47
	4	5.64	86.72	2.22	13.76
Ⅱ 群-1	5	4.46	89.20	0.48	11.75
Ⅱ 群-2	6	6.85	89.83	0.32	11.98
	7	7.27	85.37	1.30	13.83
Ⅲ 群	8	6.10	86.83	1.38	16.59
	9	7.54	85.75	1.23	15.13

工程における品質変化が少ないことが推察された。ただし、No.4はpHが低く、 L^* 値が低く、 a^* 、 b^* 値が高い原因については明らかではなかった。次いで、メイラード反応による褐変の強さはpHが低いほど抑制されることや小麦粉中のフラボノイド色素はアルカリ性で黄変することが知られており¹⁶⁾、Ⅱ群-1No.5はpHが低く L^* 値が高く、 a^* 、 b^* 値はともに低かったが、Ⅱ群-2No.6はpHがⅠ群よりも高いのにも関わらず a^* 値が低い理由は明らかではなかった。Ⅱ群No.7はpHが高く、 L^* 値が低く、 a^* 、 b^* 値が高かった。Ⅲ群では、亜硫酸塩で単独処理したNo.8はpHがⅠ群と同程度であるが L^* 値が低く、 b^* 値が非常に高かった。アンモニアを併用したNo.9はpHが非常に高く、 L^* 値が低く、 a^* 、 b^* 値

ともに高かった。なお、No.4, No.7～No.9は b^* 値が13以上でかなり黄色味が強かった。

このようにグルテンの色調は多様であり、添加物の相違とそれに伴うpH変化および小麦粉の種類（成分）、乾燥条件（温度、時間）が複雑に関与しているものと推察された。

（２）グルテンの品質評価

1) グルテンの吸水力

グルテンの吸水力は、加熱温度の上昇と共に著しく増加すると述べられている¹⁰⁾。図1に示したように、I群2種類、II群-1、II群-2、III群各1種類についてのグルテンの吸水力は、同じ群間でもバラツキがあるが、30℃では2.0～2.5g/gであった。加熱温度が50℃まではほとんど変化しないが、60℃から徐々に増加した。多くの試料で100℃では30℃の約1.3～1.5倍に増加したが、II群-1 No.5は80℃以上になると減少傾向を示したがpHの低いためか理由は明らかではない。

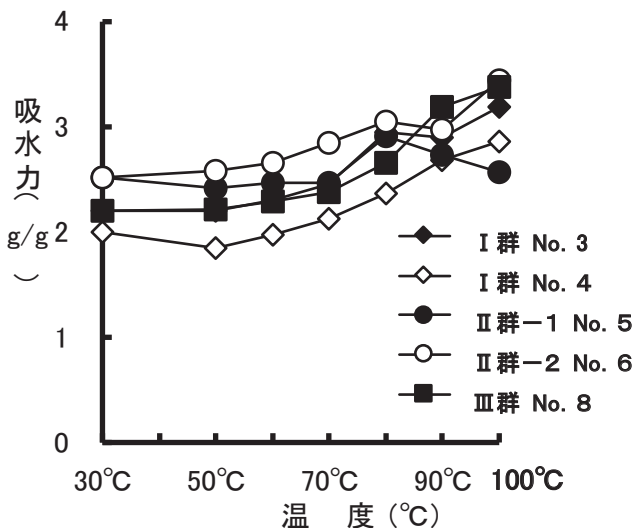


図1 市販活性グルテンの吸水力
グルテンの種類番号は表1に準ずる

なお、グルテンの吸水力とpHとの関係については、100℃加熱試料で比較すると、I群、II群間ではpHが高いほど吸水力が高い傾向が認められた。

2) グルテンゲルの破断強度

グルテンゲルの破断強度を図2に示した。I群グルテンゲルはいずれも高い破断強度を示していた。II群-1 No.5は表3に示すようにpHが低いためかI群と比べて著しく低かった。II群-2 No.6,7はI群に比べると低いがII群-1 No.5よりは高かった。III群では、亜硫酸塩の添加は還元剤の作用により、グルテンのSS結合が一部

切断され、分子が低分子化し、伸展性、流動性、粘着性が増大¹⁰⁾とされており、No.9 (pH7.54)の破断強度は著しく低かった。一方、No.8 (pH6.10)の破断強度はグルテンゲルの調整の項で述べたように、離水によりゲルが硬化しているためか、あるいは表3に示すようにI群とpHが同程度のためか、破断強度もI群と同程度であった。これらの相違には、上述のように、添加物の違いによるグルテンの構造変化が大きく関与しているものと推察された。

次に、グルテンのpH（表3）とグルテンゲルの破断強度（図2）との関係を図3に示した。pH6付近のグルテンゲルの破断強度が高く、グルテンのpHが酸性あるいはアルカリ性にシフトすると破断強度が低下する傾向が認められ、グルテンゲルのネットワーク形成にpHが大きく関与しているものと推察された。

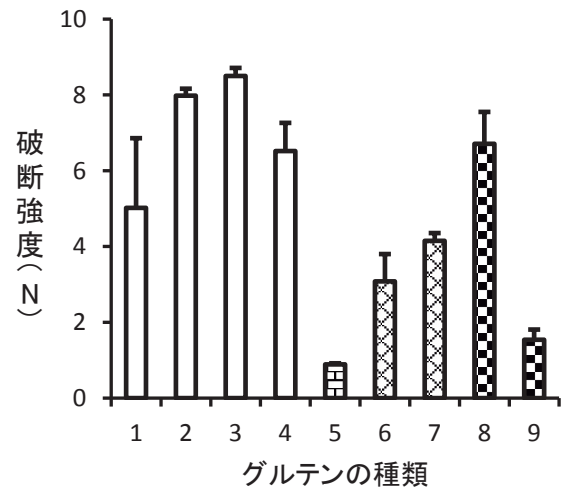


図2 グルテンの種類とゲルの破断強度
グルテンの種類番号は表1に準ずる
値は2回の平均値±標準偏差を示す

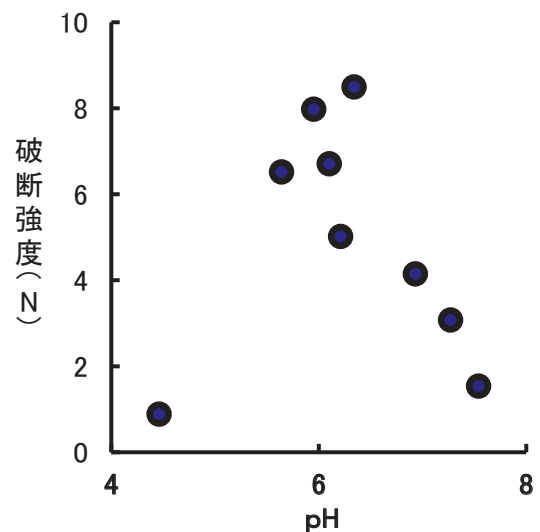


図3 グルテンのpHとゲルの破断強度

これらのことは、上記グルテン調製時の添加物の作用以外に、グルテンの等電点は6付近¹⁸⁾であり、等電点を境に酸性側あるいはアルカリ性側にシフトするとグルテンが膨張し、そのため破断強度が小さくなる¹⁹⁾ためと推察された。

(3) RVAによる各種グルテン置換小麦デンプンの粘度変化

前報¹²⁾において、小麦デンプンいろいろの破断強度およびRVAによる小麦デンプンの最高粘度はグルテン置換量が増えるほど低下することを明らかにした。そこで、各種グルテンが加熱に伴う小麦デンプン糊の粘度変化に及ぼす影響を明らかにする目的で、前報¹²⁾と同様の方法で小麦デンプンに各種グルテンを15%置換した試料（ミックス粉）についてRVAによる粘度変化を測定した。

各種グルテン置換に伴うミックス粉のRVAの特性値の変化を表4に、参考として小麦デンプン単独および小麦強力粉の特性値も併せて示した。

最高粘度を比較すると、I群グルテンで置換したミックス粉では約5000cPで最も高いのに対し、II群-1では4200cPと特に低く、II群-2、III群グルテンで置換したミックス粉では4700cP前後であり、いずれの値も小麦デンプンの値よりも小さく、強力粉のそれよりも大きかった。同様に、最低粘度、ブレイクダウンおよび最終粘度のいずれも最高粘度の場合と同じ傾向を示した。一

方、デンプンの老化に関する指標とされるセットバック値はI群～III群グルテン置換ミックス粉いずれもほぼ同じ値であった。

以上のように、小麦デンプン原料に対して一部を各種グルテンで置換すると、グルテンの破断強度の大きさとRVAによる最高粘度は同様の傾向を示した。グルテン置換によるデンプンの最高粘度の減少が小さいほどグルテンゲルの破断強度が大きいことから、RVAの最高粘度の結果から、グルテンゲルの破断強度の大小を推察できると考えられた。

(4) 米粉食パンの品質に及ぼす各種市販活性グルテンの添加効果

1) 米粉食パンの高さと比容積に及ぼす各種グルテンの影響

米粉の20%をグルテンで置換した食パンの高さの結果を図4に示した。図4より、食パンの高さは、I群間では17～19cmであるのに対し、II群-1No.5置換食パンは15cmであった。一方、II群-2 No.6,7およびIII群 No.8,9置換食パンの高さはいずれも10cm以下であった。

一方、食パンの比容積は、図5に示すように、I群では4～4.5であるのに対し、II群-1 No.5では3.5付近、II群-2 No.6,7およびIII群置換試料では1.5～2付近であり、食パンの高さと同じ傾向を示した。

そこで、各群の食パンの比容積、高さでグルテンのpHとの間の相関関係を図6に示した。各群は大きく3グ

表4 市販活性グルテンの粘度特性 (cp)

グルテンの種類		最高粘度	最低粘度	ブレイクダウン	最終粘度	セットバック
I 群	1	4985	1994	2991	4569	2575
	2	4914	2052	2862	4644	2592
	3	4986	2039	2947	4649	2610
	4	5042	2107	2936	4736	2629
II 群-1	5	4224	1802	2422	4228	2426
II 群-2	6	4633	1684	2949	4426	2742
	7	4745	1904	2841	4414	2510
III 群	8	4792	2156	2637	4825	2670
	9	4662	1888	2774	4411	2523
	小麦デンプン	6351	2478	3874	5796	3319
	強力粉	4089	1743	2346	4124	2381

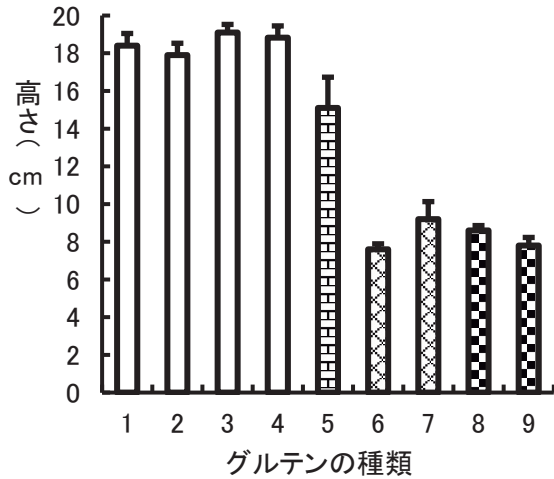


図4 グルテンの種類と米粉食パンの高さ

グルテンの種類番号は表1に準ずる
値は3回の平均値±標準偏差を示す

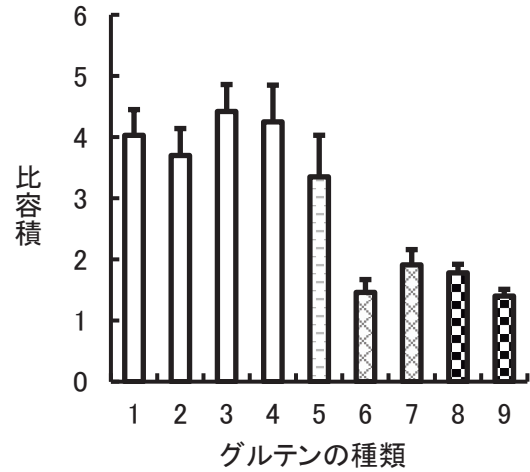


図5 グルテンの種類と米粉食パンの比容積

グルテンの種類番号は表1に準ずる
値は3回の平均値±標準偏差を示す

グループに分けられ、I群はいずれもpHが6付近で高さが高く比容積が大きい。II群-1はpHが最も低く食パンの高さ、比容積はI群よりも低く、II群-2、III群よりも高い。II群-2、III群はpHがNo.8の6.1を除くと6.65

～7.54と高く、食パンの高さ、比容積とも最も低かった。食パンの高さと比容積との関係を求めると $R^2=0.996$ の高い相関が認められた。また、試料No.8を除くとpH6付近を境に酸性側にシフトした食パンの高さと比容積は

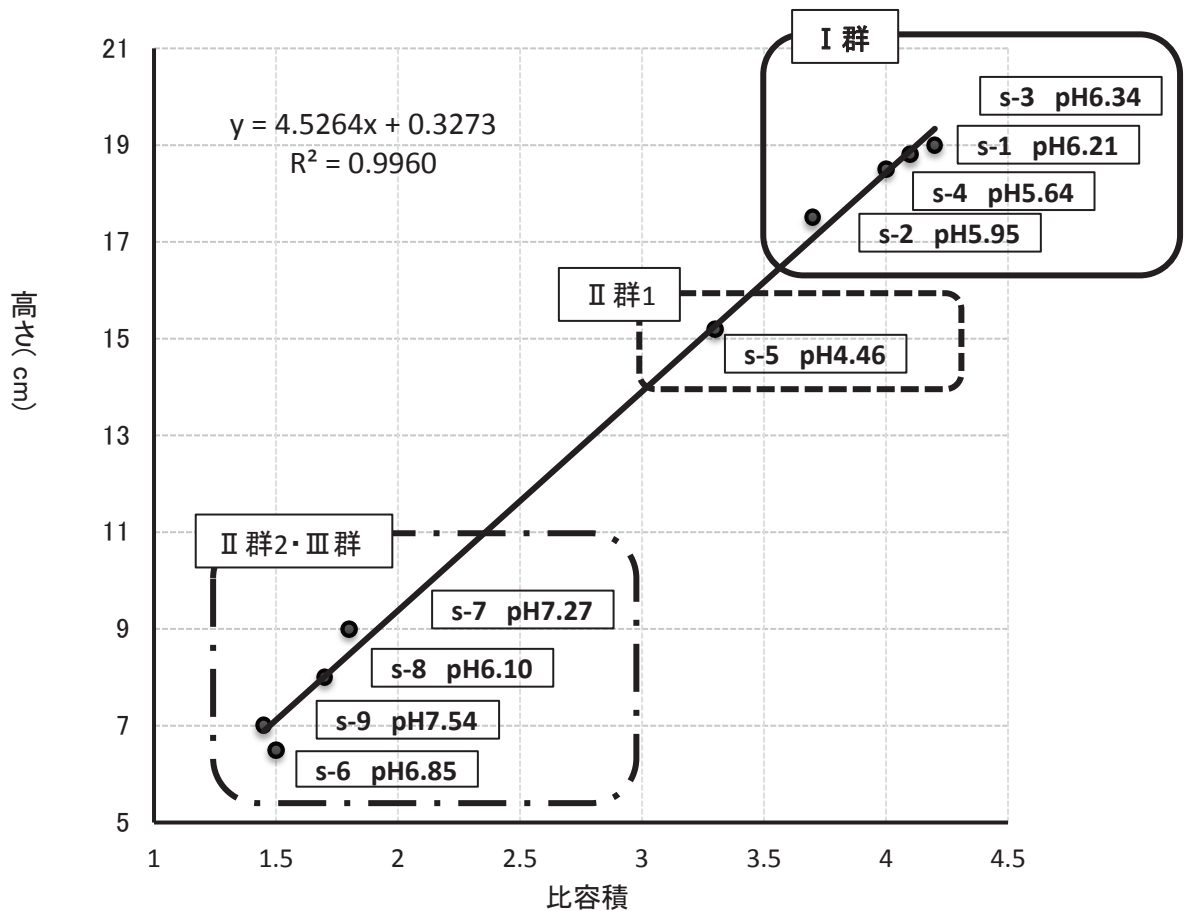


図6 米粉食パンの高さと比容積に及ぼすグルテン pH の影響

s-1から s-9はグルテンの種類を表し、番号は表1に準ずる

小さく、アルカリ側にシフトすると更に小さくなる傾向が認められた。No.8のみが上記傾向から大きくはずれる理由については今後さらに検討する必要が認められた。

これらの結果は、上述のグルテンゲルの破断強度と pH との関係と類似した傾向を示し、食パンの高さや比容積にはグルテンの pH の影響が大きいことが明らかであった。

2) 米粉食パンの圧縮強度に及ぼす各種グルテンの影響
パンの硬さの指標となる圧縮強度の結果を図7に示した。

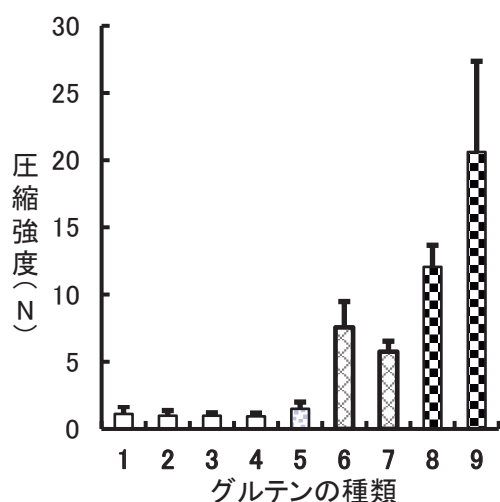


図7 グルテンの種類と米粉食パンの圧縮強度
グルテンの種類番号は表1に準ずる
値は3回の平均値±標準偏差を示す

I 群の米粉食パンはいずれも圧縮強度 1N (ニュートン) 前後と非常に小さく、官能的にも非常に柔らかかった。II 群では、II 群-1 No.5が I 群に次いで柔らかいが、II 群-2 No.6,7は5-10N 前後とかなり硬くなった。III 群も硬く、特に No.9では25N という大きな値となった。図4、

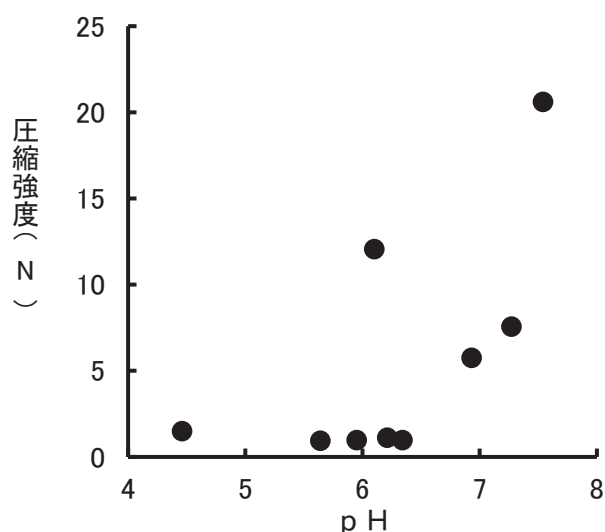


図8 グルテンの pH と米粉食パンの圧縮強度

5と図7を比較すると、圧縮強度の高い試料は、食パンの比容積が小さく高さが低い傾向が認められた。

次に、グルテンの pH と食パンの圧縮強度との関係を求めると、図8に示すように $r = 0.694$ の相関が認められ、グルテンの pH が高いほど食パンの圧縮強度が高い傾向が認められた。

II 群-2, III 群における硬い米粉食パンの要因は、アンモニア処理や亜硫酸処理によるグルテンの低分子化によりグルテンの網状構造が十分に形成されないため、炭酸ガスが保持できないことなどが要因と推察された¹⁰⁾¹⁷⁾²⁰⁾。

3) 米粉食パンの色調

米粉食パンのクラムの色調を表5に示した。I 群はいずれも L^* 値が79前後、 a^* 値は-1前後、 b^* 値は+15付近であり、官能的にも一般の小麦粉食パンと同様のクリーミーホワイト様の色調¹⁷⁾であった。II 群-1 No.5は I 群よりも L^* 値は低く、 a^* 値は+側に移行し、 b^* 値は+が多少高くなり、I 群に比べると若干黄色味を帯びていた。一方、II 群-2 No.6,7は、No.5よりもさらに L^* 値が低く、 a^* 、 b^* 値は高く、より黄色味を帯びていた。III 群では、No.8は II 群 No.7に類似しているが特に b^* 値が高い。No.9は L^* 値が66と低く、 a^* 、 b^* 値ともに高く、一層黄色味を帯びていた。これらの色調変化の多くは、前述のように、一般にアミノカルボニル反応による褐変や小麦粉中のフラボノイド色素による黄変がアルカリ性になると強くなる¹⁶⁾ ことなどが関与しているためと推察された。

表5 グルテンの種類と米粉食パンの色調

グルテンの種類		L^* 値	a^* 値	b^* 値
I 群	1	77.93	-0.63	15.27
	2	79.27	-0.67	15.37
	3	79.03	-1.69	15.64
	4	78.92	-0.59	15.75
II 群-1	5	76.75	0.23	17.85
II 群-2	6	69.20	2.02	23.12
	7	71.59	1.36	22.52
III 群	8	71.98	1.27	23.34
	9	66.47	2.10	25.23

(5) 米粉食パンの官能評価および切断面の観察

グルテンの種類によって食パンの高さや圧縮強度の大きさが著しく異なることから、パンスライサーによるこ

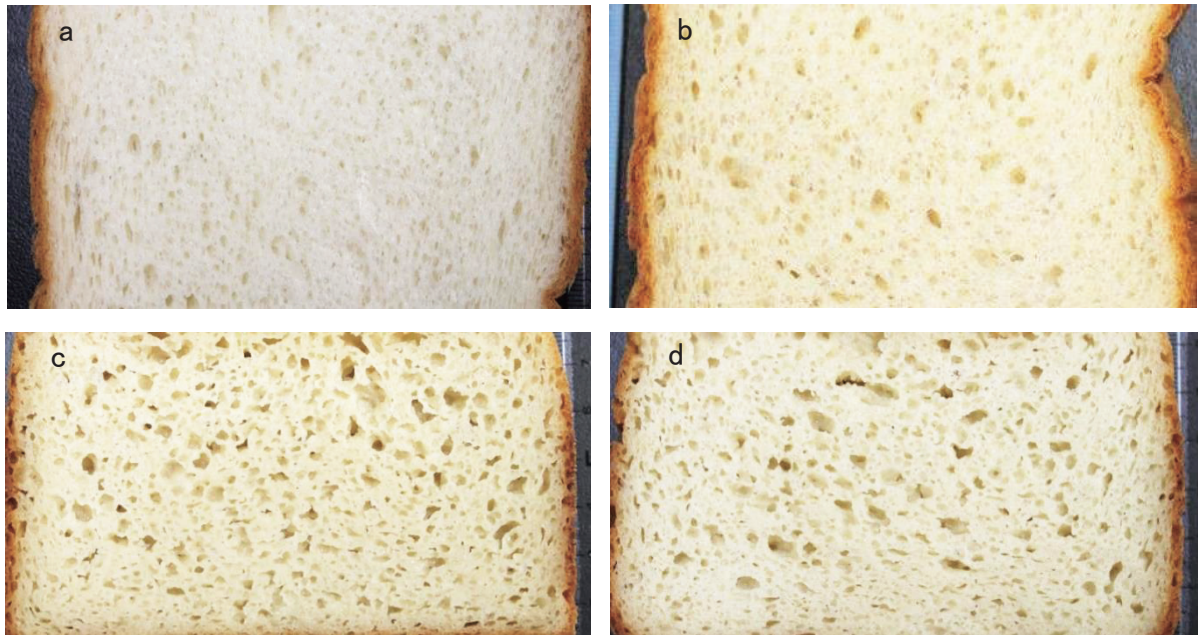


図9 グルテン添加米粉食パンの切断面

a : I 群 No.3, b : II 群 -1 No.5, c : II 群 -2 No.6, d : III 群 No. 8 (表 1 参照)

れら食パンの切断面を図9に示した。I 群 No.3を図9-a, II 群 -1 No.5を図9-b, II 群 -2 No.6を図9-c, III 群 No.8を図9-dとした。I 群試料では小麦粉パンの場合と同様に、切断面が光に反射し白く輝いて見えた。なお、図9-a, b

試料では、通常の発酵によるガス発生とグルテンの延伸、焼成によるグルテンネットワークの加熱固化現象を反映して、気泡が縦方向に成長している。それに対し、図9-c, d 特に d では、成形工程での生地伸展性が十分で

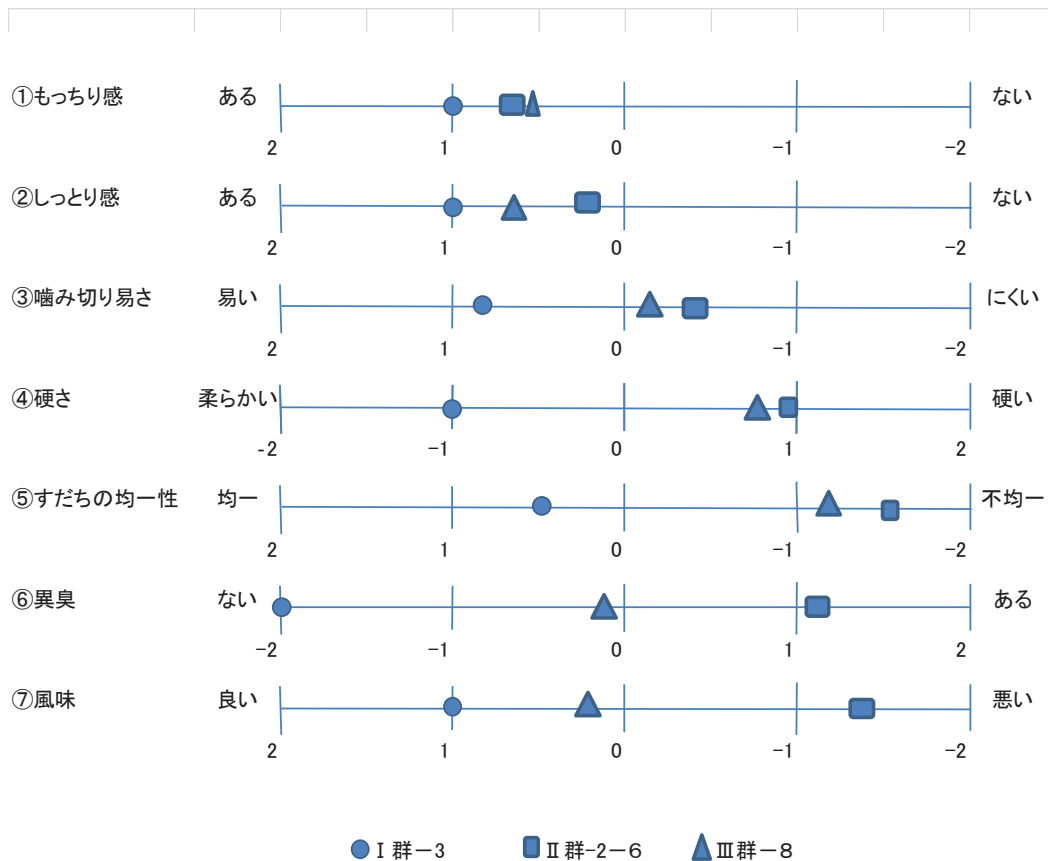


図10 官能検査結果

ないことが原因で、気泡が縦方向ではなく横方向に伸び不均一であったと考えられる²¹⁾。

また、官能検査結果を図10に示した。図9, 図10を併せて考察すると、図9-aに示すように、I群 No.3は非常に気泡が小さく、きめ細かに均一に分布しており、小麦粉パンの場合と同様に、官能的にももちり感、しっとり感があり、非常に柔らかく、嗜好性の高い食パン用に最適であった。II群 -1 No.5の図9-bはI群に比べると気泡が大きく、かつ、不均一であり、酢酸臭を伴った。II群 -2 No.6は図9-cに示すように、気泡は大きく不均一であり、官能的にアンモニアに基づくと思われる異臭が強く感じられ、食感は硬く、蒸しパンのようであり、米粉食パン用には嗜好性の観点から不適當であった。III群 No.8は図9-dに示すように、II群 -2 No.6と同様に、気泡が大きく、不均一な組織を呈しており、官能的にも亜硫酸塩に伴うと思われる異臭があり、硬く、蒸しパンのようであり、食パン用としては不適當であった。

本実験は、原料小麦粉、添加物や乾燥方法の異なる条件で調製された市販活性グルテンを使用して行った。今後、同一生グルテンから各種pHの活性グルテンを調製し、グルテンの構造変化や添加物の残存量なども併せて評価し、米粉食パンにおけるpHの影響についてさらに検討していく予定である。

6. 要約

(1) 市販活性グルテンの一般成分, pH, 色調, 吸水力, グルテンゲルの破断強度およびRVAによる小麦デンプン粘度に及ぼすグルテンの影響について比較検討した結果、特に以下のような特徴が認められた。

①グルテンのpHは、調製時に使用される酢酸、アンモニア、亜硫酸塩によって大きく影響された。

②グルテンゲルの破断強度は、pH6付近を最高に酸性あるいはアルカリ性側にシフトすると低下した。

③RVAによる小麦デンプンの粘度は一部(15%)を各種活性グルテンで置換(ミックス粉)すると、RVAによる最高粘度がグルテンゲルの破断強度の大きさと同様の傾向を示した。

(2) 米粉の20%をグルテンで置換した米粉パンの物性について比較検討した。

①米粉パンの高さおよび比容積は、ともにグルテンのpHに影響され、pH6付近が最も高く、酸性あるいはアルカリ性側にシフトすると低下し、両者の間には非常に高い相関が認められた。

②グルテン置換米粉パンの圧縮強度はグルテンのpH

が高いほど大きくなる傾向が認められた。

③米粉パン用のグルテンとしては、高さ、比容積、圧縮強度、組織断面写真、官能検査の結果から、I群が最も適しており、次いでII群の酢酸処理したものであり、II群アンモニアおよびIII群亜硫酸塩で処理したものは不適當であった

7. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご援助賜りました財団法人エリザベス・アーノルド富士財団に厚く御礼申し上げます。

また、市販活性グルテンを提供して頂いたグリコ栄養食品株式会社、株式会社新進、長田産業株式会社、北国フード株式会社の各社、実験に際し協力して頂いた名古屋文理栄養士専門学校生安藤比呂子、磯村香奈、宗宮由佳氏に感謝します。

引用文献

- 1) 遠藤悦雄, 世界商品としての粉状小麦たん白の現状, New Food Industry, 食品資材研究会, 23, (6)1-12 (1981).
- 2) 村山武, コムギ蛋白食品の利用, 食の科学, 光琳, No.41, 82-90 (1978).
- 3) 谷藤健, 金子成延, 松倉潮, 小麦のデンプンおよびグルテンの特性がゆでめんのテクスチャーに及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, 50, 333-338 (2003).
- 4) 森一雄, 内藤恵一, 阿武尚彦, グルテンによる水産ねり製品の“足”補強効果について, 栄養と食糧, 28, 201-206 (1975).
- 5) 山下民治, かまぼこの物性に及ぼす市販大豆たん白と小麦グルテン添加の影響, 日本食品工業学会誌, 38, 883-890 (1991).
- 6) 高橋克嘉, 柚木崎千鶴子, 米粉パンの膨らみに及ぼすグルテン添加量の影響とグルテンフリー米粉の試作, 宮崎県食品開発センター研究報告, No.56, 61-65 (2011).
- 7) 奥西智哉, 米粉パン研究について, 日本食品科学工学会, 62(6), 303-306 (2015).
- 8) 日比野久美子, 市販活性グルテンのネットワーク形成における硬水の効果, 名古屋文理大学紀要14号, 41-48 (2014).
- 9) 田中健次, コムギ蛋白食品の種類と製造法, 食の科学, 光琳, No.41, 64-72 (1978).
- 10) 村山武, 水産ねり製品への活性グルテンの利用, ジャ

- パンフードサイエンス, 日本食品衛生協会, 11, 358-362 (1975).
- 11) 貝沼圭二, 澱粉の物性試験法 (澱粉科学ハンドブック: 二国二郎編) p.286-289 (1977).
 - 12) 佐藤生一, 中島千枝, 山澤正勝, ういろうの品質に及ぼすグルテンの影響, 名古屋文理大学紀要, 11号 19-26(2011).
 - 13) 豊島英親, 岡留博司, 大坪研一, 須藤充, 堀末登, 稲津脩, 成塚彰久, 相崎万裕美, 大川俊彦, 井の内直良, 不破英二, ラピッド・ビスコ・アナライザーによる米粉粘度特性の微量迅速測定方法に関する共同研究, 日本食品科学工学会誌, 44, 579-584 (1997).
 - 14) 山澤正勝, 中島千枝, 坂本奈央, 日比野久美子, 米粉食パンの品質に及ぼす米粉製粉技術の影響, 名古屋文理大学紀要, 12号, 31-38 (2012).
 - 15) 後藤富士雄, 杉本勝之, 澱粉科学実験法, p. 177 (1979).
 - 16) 加藤博通, 木村進, 中林敏郎, 褐変に影響する環境条件, 食品の変色とその科学, 光琳, 5-8, 266-271 (1967).
 - 17) 田中康夫, 松本博, グルテンの形成, 製パンプロセスの科学, 光琳, 44-46 (1992).
 - 18) 阿武尚彦, グルテンの加熱ゲル化性について, 栄養と食糧, 34, 127-132(1981).
 - 19) 日本穀物科学研究会, 製パンにおける穀物4, 第6章ドウ, 1-8 (2016).
 - 20) 田中康夫, 松本博, パンの品質, 製パンプロセスの科学, 光琳, 241 (1992),
 - 21) 新井千秋, 廣瀬理恵子, 戸崎幹子, 山口聡, 鈴木実, 宮森清勝, 野口智弘, 菊池修平, 高野克己, 酸可溶性小麦タンパク質の添加が米粉混合パンの品質安定化に及ぼす影響, 日本食品科学工学会, 65(11), 518-528 (2018).