

グルテンフリー米粉パンの物性と食味に及ぼす絹フィブロイン およびキサンタンガムの影響

Effects of Silk Fibroin and Xanthan Gum on the Properties and Taste of Gluten-Free Rice Flour Bread

大崎 聡子*[§] 市川 朝子*

Akiko Osaki

Tomoko Ichikawa

New uses for rice flour are being investigated to increase the consumption of rice in Japan. Rice flour bread was prepared in this study with silk fibroin or xanthan gum added, and the properties were examined to compare with those having no gluten additive (control). The specific volume, hardness and adhesiveness were all higher in the rice flour bread with silk fibroin added than for the control ($p < 0.05$). Xanthan gum added in a sol with the water content increased from 105% to 115% resulted in a higher, specific volume and lower hardness than the control values ($p < 0.05$). The combination of silk fibroin and rice flour paste gave a higher score in the sensory evaluation than the control score ($p < 0.05$). Leaving the dough for 24 hour after preparing it with no additive (control) and with silk fibroin added, respectively increased the specific volume ($p < 0.05$), and resulted in a finer-grained structure. The sensory evaluation of the control bread showed significant preference for the sample obtained by leaving the dough after its preparation.

キーワード：米粉パン rice flour bread；官能評価 sensory evaluation；物性 physical properties；キサンタンガム xanthan gum；絹フィブロイン silk fibroin；気泡形成 bubble formation

緒 言

近年、日本人の主食である米の消費量は、減少の一途を辿っている。そこで米の消費を従来のように維持し、食料自給率の向上につなげるため、米を新たな形状で主食として用いる製品の開発が、農林水産省総合食料局をはじめとする各都道府県自治体などにおいて積極的に進められ、米粉パンに関しても開発が進んでいる。

従来からの小麦粉パンは、調製中に形成されるグルテンの網目構造が、発酵により生成される二酸化炭素を保持することで、膨化機構が維持される。しかし米粉の場合、グルテン形成を伴わない。それゆえ、市場で販売されている米粉パンは、小麦粉の一部を米粉に代替した「部分置換パン」および米粉に小麦グルテンを添加した「グルテン添加パン」といった“コメコパン”がほとんどである¹⁻⁵⁾。現在、増粘多糖類などグルテンと同様の効果を示す粘性物質を添加したグルテンフリーパンの開発が進められているが、製造が困難なため普及に至っていないのが現状である。しかしグルテンフリーパンは、米粉100%でパンの調製を行うため、米の消費拡大につながり、かつ小麦アレルギーの人もパンを食べることが可能となる。

そこで本研究では、グルテンと同様の効果が期待できそ

うなたんぱく質として食用絹フィブロインあるいは、増粘多糖類としてキサンタンガムを形状保持剤として加えることで、グルテンフリー米粉100%パンの調製を目指した。絹フィブロインは、蚕が作り出す絹中のタンパク質である。食品素材としても研究が進められており、絹フィブロインを添加したうどんなどが開発されている⁶⁾。また、優れた泡沫特性を有することが示されており、米粉スポンジケーキの食味改良効果も示されている⁷⁻⁹⁾。キサンタンガムは優れた粘性を示し、食品においてテクスチャーの改善や増粘作用などに寄与する¹⁰⁾。特にグルテンの含まれないパンに使うと、体積、テクスチャー、水分保持を改善できるとされる¹⁰⁾。さらに米粉の生地については、水和した生地を一定時間ねかすことで、製品の膨化性を向上させるとの報告もあるため¹¹⁾、米粉生地の“ねかし”効果など、米粉パンの調製条件についても検討した。

試料及び実験方法

1. 試料

米粉は米粉パンの調製に適するとされる中アミロース米「おぼろづき」（群馬製粉 平成21年度産 アミロース含量16%、水分14.3%、粒度75~105 μ （粉全体の61%））を用いた¹²⁾。砂糖は(株)パールエース製の上白糖、オリーブオイルは(株)J-オイルミルズ製のエクストラバージンオリーブオイル、食塩は和光純薬工業(株)製の塩化ナトリウム、ドライイーストは日清製粉(株)製の日清スーパーカメライヤを用いた。タンパク質として絹フィブロイン（シルク

* 大妻女子大学
(Otsuma Women's University)

[§] 連絡先 大妻女子大学家政学部
〒102-8357 東京都千代田区三番町12
TEL 03(5275)6062 FAX 03(5275)9172

パウダー FD, 分子量 5 千, KB セーレン(株)), 増粘多糖類としてキサンタンガム (サンエース NXG-S, 分子量 400 万, 三栄源エフ・エフ・アイ(株)) を用いた。なお本研究においてはこれら絹フィブロインとキサンタンガムを以下において形状保持剤と呼ぶことにする。

2. 米粉パンの配合および調製方法

米粉パンの配合量を表 1 に示した。すなわち米粉を 100 (重量に対する割合) に対し, 砂糖 8, オリーブオイル 5, 食塩 1.5, ドライイースト 1.5, 水 105 (以後用いた加水量は%で記す) で調製した生地を対照とした。形状保持剤としてキサンタンガム (以後 XG と略す) および絹フィブロイン (以後 FD と略す) を用いた。特に XG は添加により, 生地の粘性が高くなり, 対照と同一量では操作上扱い難かったため, 基本加水量を 115 とした。添加量はいずれも米粉 100 (重量) に対し, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 (重量) (以後添加量は%で記す) とした。なお XG については, 粉末及び 2%濃度のゾル状に調整して添加した。また, 米粉の一部を加熱糊化させ, 米粉糊として添加する場合の配合割合を表 2 に示した。米粉糊の濃度は 25%濃度になるように調整した。米粉糊を, 米粉糊用と生地用米粉を合わせた全米粉量に対して 10, 20, 30%となるように添加した。さらに, FD と米粉糊との併用条件についても検討した。米粉の生地については, 混捏生地を一定時間ねかし生地を水和させると, 製品の膨化保持力を向上させると報告されていること¹¹⁾を応用し, ドライイーストとその予備発酵に必要な

表 1. 各米粉パンの配合量* (g)

材料名	配合量 (g)					
	対 照	絹フィブロイン (FD)		キサンタンガム (XG)		
米粉	100	100	100	100	100	100
水	105	105	105	115**	115**	115**
砂糖	8	8	8	8	8	8
オリーブオイル	5	5	5	5	5	5
食塩	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ドライイースト	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
形状保持剤	-	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5 1.0 1.5 2.0

*用いる米粉重量を 100 g とした場合の各材料重量

**キサンタンガムは添加により, 生地の粘性が高くなり, 対照と同一加水量では操作上扱い難かったため, 基本加水量を 115 とした。

表 2. 米粉糊添加パンの配合量

材料名	配合量 (g)			
	0	10	20	30
25% 米粉糊 ※	0	10	20	30
米粉	100	97.5	95	92.5
水	105	97.5	90	82.5
砂糖	8	8	8	8
オリーブオイル	5	5	5	5
食塩	1.5	1.5	1.5	1.5
ドライイースト	1.5	1.5	1.5	1.5

※米粉糊用の米粉と水は, 25%米粉糊 0 g 試料中の米粉と水より差し引いて使用。

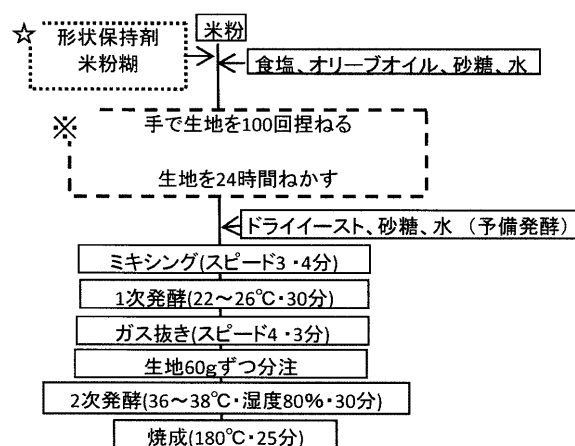


図 1. 米粉パンの調製方法

☆形状保持剤, 米粉糊添加米粉パンの場合

※ 24 時間ねかし処理を行う場合

な砂糖, 水以外の材料を加えた米粉生地の 24 時間ねかし効果 (以後ねかし生地) についても検討した。

米粉パン (対照) の調製方法は図 1 に示したように, 米粉, 砂糖, オリーブオイル, 食塩, 予備発酵させたドライイーストおよび水を専用ミキシングボウルに入れ, パン捏ね機 (Kitchen Aid KSM) スピード 3 (1 分間に約 115 回転) で 4 分間混捏を行った。

形状保持剤 (XG, FD) や米粉糊を添加する場合は, 上記の材料とともに添加した。ねかし生地は, ドライイーストとその予備発酵に必要な砂糖と水以外の材料をボウルに入れ, 手で 100 回捏ね, ラップし室温 (22~26°C) で 24 時間ねかした。その後予備発酵させたドライイーストを加え同様に混捏を行った。各混捏生地が入ったボウルにラップし, 室温 (22~26°C) で, 30 分間 1 次発酵を行った。1 次発酵後スピード 4 (1 分間に約 160 回転) で 3 分間ガス抜きし, テフロン樹脂加工したプリン型 (底面 42 mm φ×上面 61 mm φ×高さ 54 mm (外径)) に 60 g ずつ生地を分注し, 36~38°C, 湿度 80% 条件下に調整した孵卵機 (yamato) 中で, 30 分間 2 次発酵後, ガスオープン (リンナイ RBR-311EVS-HBR) を使い 180°C で 25 分間焼成した。焼成後, 室温で 30 分間放冷後, 保存袋 (ジップロックストックバック 旭化成製) に入れ 1 日放置後, 各々の測定に供した。

3. 測定項目および測定方法

1) 生地の膨化実験

対照生地の加水量, 発酵時間の決定のために膨化実験を行った。試料の重量は, 米粉パン 1 ロットの 8% 量とした。加水量は米粉 100 に対し, 90, 95, 100, 105, 110, 120, 130, 140 の範囲で検討した。方法は岡留らの生地発酵力試験¹³⁾を参考に, 米粉, 砂糖, オリーブオイル, 食塩, ドライイースト, 水をボウルに入れ, 薬さじを用いて 100 回 (約 2 分 30 秒) 混ぜ合わせた。この生地を 200 ml 容特殊広口メスシリンダーの底部に空気を含まないように入れ, 生

地の頂部を平らにし、30℃の恒温水槽中、10分間隔で120分後までの体積を測定した。

2) 発酵中の生地光学顕微鏡観察

各調製生地の発酵時の気泡形態の変化について光学顕微鏡(Nikon OPTOPHOT 顕微鏡)を用い観察を行った(対物レンズ倍率×4, 接眼レンズ倍率×10)。すなわち米粉パンの生地調製条件は1)と同様に行い、スライドガラスにそのうちの数滴(約5mg)のせ、カバーガラスをかけ、室温25℃で5分間隔で50分後まで顕微鏡用デジタルカメラ(Nikon DSカメラコントロールユニット DS-L2)で撮影した。

3) 米粉パンの断面画像

焼成翌日の米粉パンの中央部の縦断面を撮影した。

4) 比容積

松元らの菜種法¹⁴⁾に準じて米粉パンの体積を求め、体積を重量で除した値で示した。

5) テクスチャー

焼成翌日に、底面部から1cmで切断後さらに、クラムを超音波サンプルカッター(山電(株)USC-3305型)で高さ2.0cmに切断した試料を、2.5×2.5×2.0cmの直方体に調整し試料とした。測定装置はクリープメーター(山電RE2-33005S型)を用い、硬さ、凝集性、付着性を測定した。測定条件は、プランジャーNo.3(樹脂製直径16mm円筒形)、ロードセル20N、測定歪率75%、試料台速度0.5mm/sec、運動回数2回の条件とした。

6) 官能評価

官能評価は米粉、砂糖、オリーブオイル、食塩、ドライイーストおよび水で調製した米粉パンを対照とし、以下の米粉パンとの比較を行った。

- ① FD添加米粉パン
- ② ゴル状XG添加米粉パン
- ③ FDと米粉糊併用添加パン
- ④ ねかし処理を行った対照米粉パン

食味評価は、5段階評価の評点法を用いて識別試験・嗜好試験を行った。識別試験の質問項目は、「外皮の色：薄い(-2)ー濃い(+2)」、「きめ：粗い(-2)ー細かい(+2)」、「硬さ：硬い(-2)ー軟らかい(+2)」、「もちもち感：弱い(-2)ー強い(+2)」、「香り：弱い(-2)ー強い(+2)」とした。嗜好試験の質問項目は、識別試験の項目に総合的な好ましさを加え、いずれの項目についても「好ましくない(-2)ー好ましい(+2)」とした。パネルは大妻女子大学の教職員及び学生18名とした。官能評価用試料は、焼成翌日の米粉パンを縦半分にした1片を1試料とした。

7) 統計解析

Jump8を用い一元配置の分散分析(ANOVA)後、tukey-kramerの多重比較を用いて検定した。p<0.05を有意水準とした。

実験結果及び考察

1. 対照生地の膨化条件による加水量の決定

各加水量での生地膨化度の経時変化について図2に示した。米粉に対して加水量110%までは、加水量が多いほど膨化が進み、60分経過後にはほぼ一定となった。一方、米粉に対して加水量120%以上では、20分を経過した辺りから急激に膨化が進行するが、60~80分程度で生地がガスを保持しきれなくなった。以上の膨化実験結果より対照生地の加水量は110%前後、1次、2次発酵時間を合計して60分程度とすることが、膨化とその保持の面で好ましいと推測した。

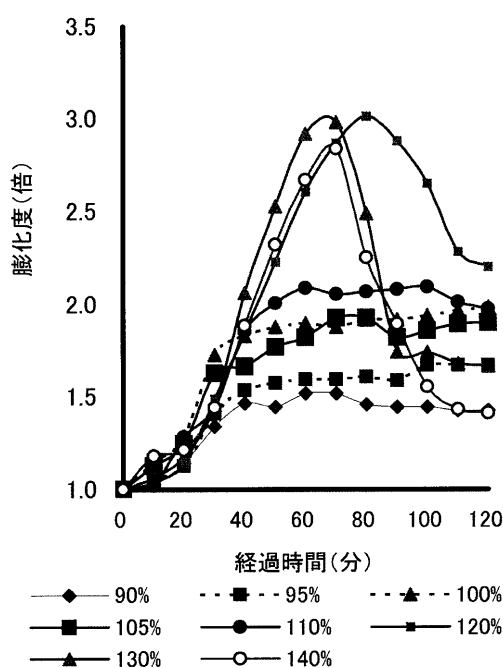


図2. 加水量の変化に伴う膨化度の経時変化

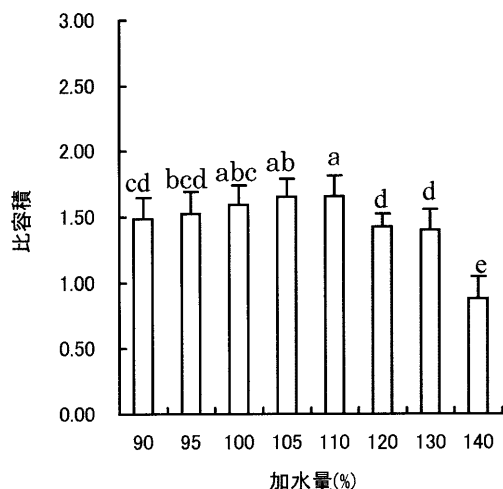


図3. 加水量の変化に伴う比容積変化
異なるアルファベットで有意差あり (p<0.05) n=16~24

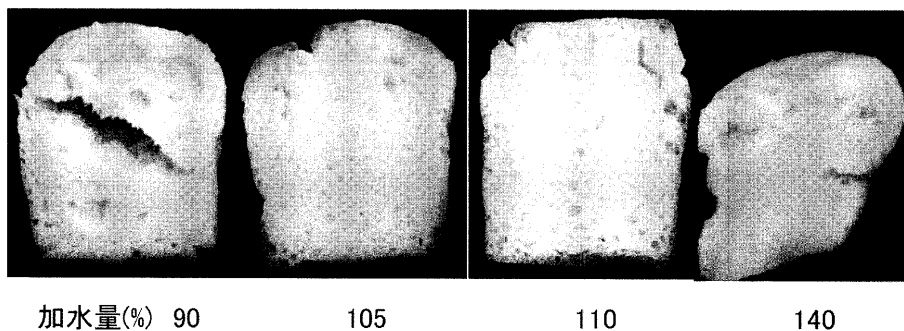


図4. 代表的加水量における米粉パンの外観

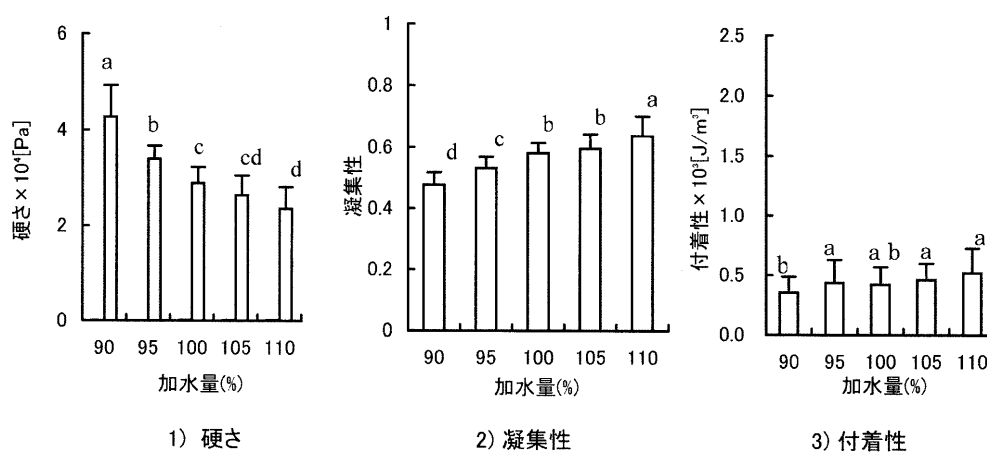


図5. 加水量の変化に伴う物性変化

異なるアルファベットで有意差あり ($p < 0.05$) $n = 16 \sim 21$

膨化実験結果を基に米粉に対して加水量 90~140%でパンを調製し、物性値を比較した。その結果、加水量 90~110%間においては加水量の増加に伴い比容積は有意に上昇し、120%以上では低下傾向となった(図3)。なお加水量 105%のとき内相のきめが最も細くなる傾向にあった。120%以上では、加水量が多すぎたため、内相はモチ様を呈した。加水量 90~140%米粉パンの代表的加水量による製品の外観を図4に示した。加水量 90%では水量が少なすぎて生地がうまく膨化せず、パンに亀裂が入ってしまった。加水量 105%、110%は膨化が進み、内相のきめの細かいパンとなった。しかし加水量 140%では水量が多すぎて、もち様の内相となった。テクスチャーについてはサンプルの調製が可能であった 90, 95, 100, 105, 110%に関して測定した。硬さは加水量の増加に伴い有意に低下し、加水量 110%で最も軟らかくなった(図5-1))。凝集性は加水量の増加に伴い有意に上昇した(図5-2))。付着性は加水量の増加に伴い上昇傾向が示された(図5-3))。以上の結果より、比容積が高く、内相のきめが細かく、軟らかい性質をもつパンとなることから、加水量 105%、110%が適切量と考えた。さらに有意差は認められなかったものの、加水量 110%は操作的に 105%よりは扱い難かったことから、基本加水量は 105%とした。

2. 形状保持剤の添加が米粉パンの物性、食味に及ぼす影響

形状保持剤 (FD, XG) の添加が米粉パンの物性や食味に与える影響について調べた。FD, XG の添加量は、米粉の 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%とした。

1) 絹フィブロイン (FD) 添加による物性への影響

FD の添加量を米粉の 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%とした時の比容積結果を図6-1)に示した。その結果、FD 0.5, 1.0%添加では有意な増加効果はみられなかったが、1.5%添加において対照と比較して有意に高値となった。さらに2.0%まで添加量を増やしてもそれ以上の増加効果は示さなかった。硬さについては、添加量の増加に伴い、値は有意に上昇した(図6-2))。また付着性については、FDを添加することで対照と比較して有意に高値となった(図6-3))。以上の結果より、FDの添加により硬さ、付着性は上昇し、比容積は1.5%前後の添加量るとき最大値を示す上昇傾向を有する変化を呈することが確かめられた。

2) 絹フィブロイン (FD) 添加による食味への影響

FDを添加した場合の食味の変化を調べるために、FDを0.5%、1.5%、2.0%添加した米粉パンについて、各々対照と比較した官能評価を評点法で行った。

識別試験では、きめ、硬さにおいて有意差が認められた

グルテンフリー米粉パンの物性と食味に及ぼす絹フィブリンおよびキサンタンガムの影響

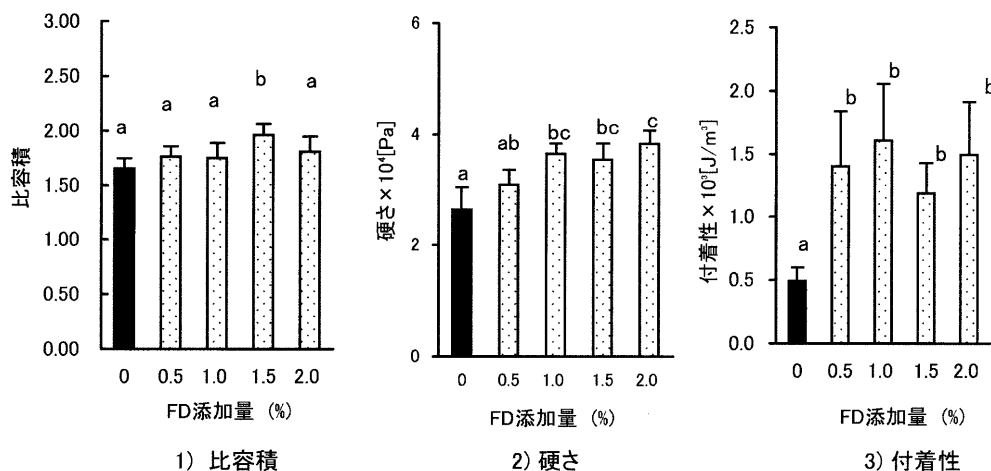


図6. 絹フィブリン (FD) 添加米粉パンの物性変化
 ■ 対照 □ FD 添加
 異なるアルファベットで有意差あり (p<0.05) n=10~23

(表3-上段)。きめは、対照とFD 2.0%添加間およびFD 0.5%とFD 2.0%添加間で、FD 2.0%添加が有意に細かいと識別された。硬さは対照とFD 2.0%添加間でFD 2.0%添加が、有意に硬いと識別された。FD添加量の増加に伴いきめは細くなり、硬さは硬くなると識別された。この結果は1)で示したテクスチャーの硬さの結果と同様の傾

向であった。嗜好試験では、きめにおいてFD 2.0%添加パンが対照と比較して有意に好まれた(表3-上段)。このことはFD 2.0%添加パンのきめが対照と比較して有意に細かいと識別されたことに基づいていると考えられる。しかしながら、総合評価においてFD添加による有意差は認められず、FD添加米粉パンの嗜好性については、さらに検討

表3. 各条件下における米粉パンの官能評価

		添加量 (%)	外皮の色	きめ	硬さ	もちもち感	香り	総合評価	
FDとの比較	識別	対照 0	0	0 a	0 a	0	0		
		FD	0.5	0.28±1.15	0.00±1.11 a	-0.44±0.90 ab	0.22±0.97	0.00±0.94	
			1.5	0.44±0.83	0.56±0.96 ab	-0.56±0.83 ab	0.44±1.12	0.00±0.94	
	嗜好	対照 0	0	0 a	0	0	0	0	
		FD	0.5	0.22±0.97	0.22±0.92 ab	0.22±0.97	0.28±0.93	0.28±1.04	0.28±1.10
			1.5	0.67±1.05	0.61±0.83 ab	0.56±1.01	0.17±1.07	-0.06±0.70	0.67±1.11
ゾル状XGとの比較	識別	対照 0	0 a	0	0 a	0 a	0		
		ゾル状XG	0.5	0.94±0.85 b	0.11±1.05	0.64±0.81 ab	0.28±0.99 ab	0.00±0.75	
			1.0	0.06±1.08 a	0.03±1.06	1.22±0.85 b	0.67±1.05 ab	-0.22±1.18	
	嗜好	対照 0	0	0	0 ab	0 a	0	0 a	
		ゾル状XG	0.5	0.31±1.14	0.39±0.76	0.31±0.65 ab	0.47±0.92 ab	0.11±0.57	0.64±0.57 ab
			1.0	0.22±1.18	0.47±0.86	0.67±0.75 a	0.94±0.85 b	0.03±0.75	0.86±1.08 b
併用添加との比較	識別	対照 0	0 a	0	0	0	0		
		FD+糊30%	0.5	0.78±0.97 b	0.42±0.85	0.00±0.93	0.22±0.92	-0.08±0.92	
			1.5	0.81±0.93 b	0.25±1.20	0.06±1.18	0.47±1.01	0.25±1.00	
	嗜好	対照 0	0 a	0 a	0 a	0	0	0 a	
		FD+糊30%	0.5	0.83±0.90 b	0.44±0.83 a	-0.08±0.85 a	0.47±1.30	0.22±0.91	0.17±1.01 a
			1.5	0.81±0.80 b	1.06±0.62 b	0.39±0.95 ab	0.55±1.01	0.33±1.05	0.89±0.94 b
2.0	1.00±0.94 b	1.17±0.83 b	0.92±0.95 b	0.80±1.11	0.16±0.83	0.97±1.03 b			

異なるアルファベットで有意差あり (p<0.05) n=18
 但し各項目の数値において左値は評点平均値、右値は標準偏差値を示す。

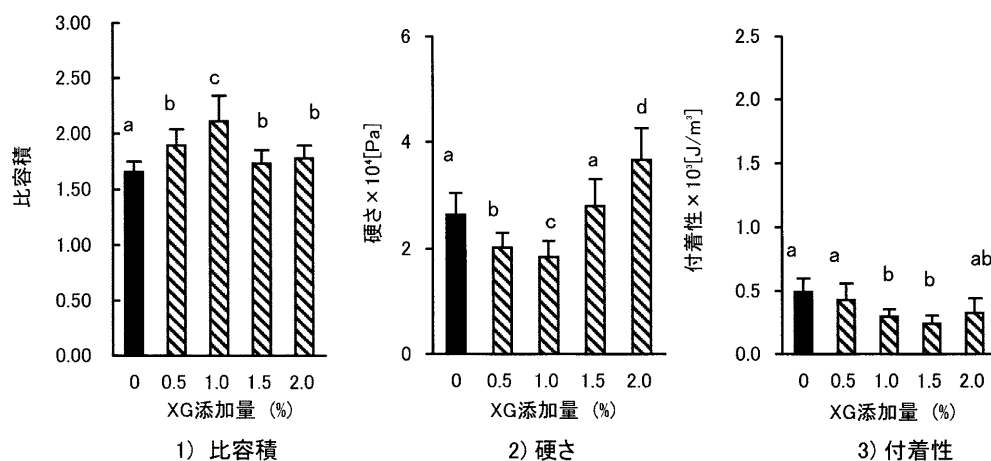


図7. ゼル状キサンタンガム (XG) 添加米粉パンの物性変化

■ 対照 □ ゼル状 XG

異なるアルファベットで有意差あり ($p < 0.05$) $n = 6 \sim 19$

することが必要とみなされた。

3) キサンタンガム (XG) の添加条件による物性への影響

キサンタンガムは増粘多糖類で、その優れた物性が食品添加物として広範囲に応用されていることを考慮し、一定量を粉末のまま用いる方法とあらかじめ水を加えてゾル状にしたものを用いる方法について比較した。XG 添加米粉パンの比容積結果は、粉末添加では、対照と同様の低値であった。予め XG をゾル状にして添加することで、対照に比べ有意に高値となった。さらに XG を添加する場合には、基本と同一の加水量では操作上扱い難かったため、加水量を 105% から 115% に増量した試料についても比較した。

その結果加水量を 115% まで増加することで、比容積は最高値となった。ここでは加水量 115% ゼル状添加の結果のみについて図 7-1) ~ 図 7-3) に示した。XG 添加量を 1% にしたとき、比容積は最も高い値となり、それ以上増やすと低値となった。硬さについては、0.5%、1.0% 添加は対照に比べ有意に低値となった。2% まで添加すると対照より有意に高値となった。また付着性については、XG を 1.0 ~ 1.5% 添加した場合、有意に低値となった。

以上の結果より、XG はゾル状で加水量を 115% に増量した場合、添加量 1.0% 前後で特徴ある物性が示された。

4) ゼル状キサンタンガム (XG) 添加による食味への影響

ゾル状 XG 添加による食味の変化を知るために、XG を 0.5%、1.0%、2.0% 添加した加水量 115% 米粉パンについて、各々対照と比較した官能評価を評点法で行った。

識別試験では、外皮の色、硬さ、もちもち感において有意差が認められた (表 3-中段)。外皮の色は、ゾル状 XG 0.5% 添加は、対照と比較して有意に濃いと識別された。硬さは、ゾル状 XG 1.0% 添加が、対照と比較して有意に軟らかいと識別された。この結果は、3) で示したテクスチャーの硬さで 1% 添加が最も低値となったことと同様の傾向であった。もちもち感は、ゾル状 XG の添加量が多いほど強

いと識別された。嗜好試験では、硬さ、もちもち感、総合評価において有意差が認められた (表 3-中段)。硬さは、識別試験で最も軟らかいと識別されたゾル状 XG 1.0% 添加が最も高値となり、ゾル状 XG 2.0% と比較し有意に好まれた。もちもち感は、ゾル状 XG 1.0% 添加が対照と比較して有意に好まれた。総合評価では、XG 1.0% 添加が対照およびゾル状 XG 2.0% 添加と比較して有意に好まれた。

これらの結果から、ゾル状 XG 1.0% 添加した試料は、比容積値が高いこと、硬さは軟らかいこと、および適度のもちもち感を有していることが高い嗜好性評価につながるとみなされた。

3. FD と米粉糊併用添加が米粉パンの物性、食味に及ぼす影響

FD 添加米粉パンの嗜好性をさらに向上させる目的で、米粉糊との併用添加の影響を検討した。米粉糊については、米粉パンや米粉ポン・デ・ケージョの調製において、米粉の一部を加熱糊化し糊状にすることで、生地粘性を与え、膨化力や嗜好性を向上させる^{15,16)} ことがすでに報告されていることを応用した。FD 添加量は 2.1) と同様に、0.5、1.0、1.5、2.0% とし、各々について、米粉糊用と生地用米粉をあわせた全米粉量に対して、米粉糊を 10、20、30% 量添加した。

1) FD と米粉糊併用添加による物性への影響

比容積について、結果を図 8-1) に示した。対照となる米粉糊のみの添加量について比較すると、糊 10% 添加では比容積への顕著な影響は認められなかった。しかし 20% 添加により有意に値は高値となる傾向がみられ、20% と 30% 間の差は小さかった。FD の添加量 0.5 ~ 2.0% と米粉糊量との併用効果については、糊 10% 添加で、FD 1.0 ~ 2.0% 添加のとき、値への影響が認められた。一方、糊を 20 ~ 30% 添加すると、FD 1.5% 添加のとき、値はやや高値になるものの、有意な影響には至らなかった。このことは、米

グルテンフリー米粉パンの物性と食味に及ぼす絹フィブロインおよびキサンタンガムの影響

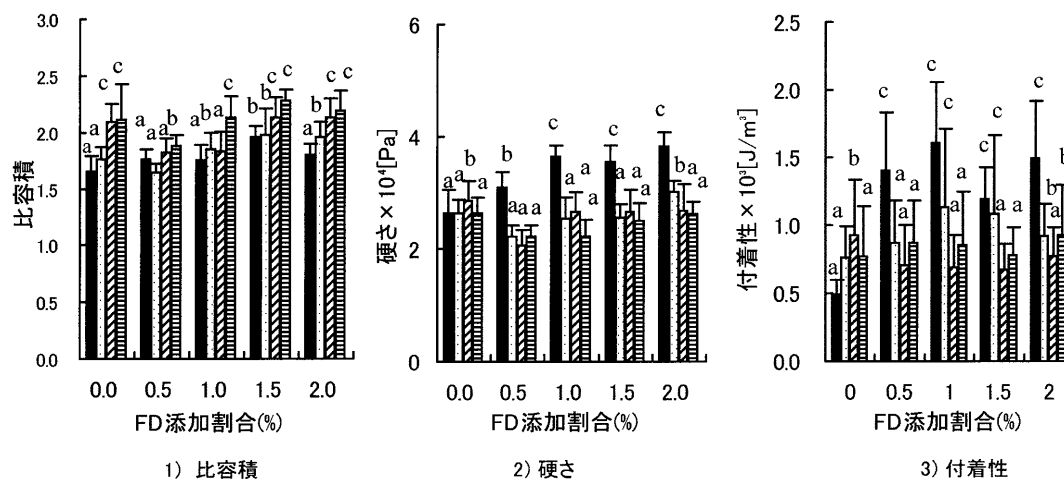


図 8. FD と米粉糊の併用添加による物性変化

糊割合 (%) ■ 0 □ 10 ▨ 20 ▩ 30

異なるアルファベットで有意差あり (p<0.05) n=8~26

ただし有意差検定については、試料数が多いため、以下の3段階の差で表記した。

対照と同程度：a, 対照と最大値の間：b, 最大値と同程度：c

粉糊の影響の方が大きくあらわれたものと考えられた。硬さについては、FD 単一添加では添加量の増加に伴い値は上昇し、一方米粉糊単一添加は 20% 添加でやや高値を示すものの、30% 添加まで同程度の値を示した。これに対し、FD と米粉糊を併用添加することで、いずれも添加量に関係なく、有意に値は低下し、対照と同程度の値となった (図 8-2)。付着性については、FD 単一添加で、値は有意に高値となったが、併用添加することにより、値は有意に低下し、対照と同程度の値となった (図 8-3))。

2) FD と米粉糊併用添加による食味への影響

FD と米粉糊の併用添加パンの食味への影響を官能評価した。FD 添加量は 0.5, 1.5, 2.0% とした。米粉糊添加量は比容積やテクスチャーで米粉糊の効果が大きく発揮された 20%, 30% について実施した結果、30% 添加の評価が高かったため、ここでは後者の結果を示した (表 3-下段)。

識別試験では、外皮の色において有意差が認められ、FD と米粉糊併用添加パン全てが対照と比較して、有意に濃いと識別された。嗜好試験では、外皮の色、きめ、硬さ、総合評価において有意差が認められた。外皮の色は、FD と米粉糊併用添加パン全てが対照と比較して、有意に好まれた。きめは、FD と米粉糊の併用添加の中でも FD を 1.5%, 2.0% 添加したパンが、対照と比較して有意に好まれた。硬さは識別試験で、最も軟らかいと評価された FD 2.0% と米粉糊 30% 併用添加パンが対照と比較して、有意に好まれた。総合評価については、FD と米粉糊の併用添加の中でも FD を 1.5, 2.0% 添加したパンが有意に好まれた。

4. 混捏生地 24 時間 “ねかし” 処理

1) 対照および FD 添加のねかしによる物性への影響

対照および FD 2.0% 添加生地のねかしによる比容積、硬

さ、付着性の変化を図 9 に示した。対照については、“ねかし” ことで比容積は有意に高値となり、内相のきめも細かくなった。FD 2.0% 添加パンは“ねかし” 操作を行わなくても、比容積は高値を示したが、“ねかし” によりさらに高値となり (図 9-1))、表面の焼き色が濃く、内相のきめはより細かくなる傾向がみられた。硬さについては対照、FD 2.0% 添加パンのいずれも“ねかし” 操作を加えることで、有意に低値となった (図 9-2))。このことは“ねかし” により生地の水和が平衡状態に近いところまで進行したことで、生地の組織構造が緩和され、それが物性における硬さの低下につながったものと解釈した。また付着性については、対照は“ねかし” 処理による変化は認められなかったが、FD 添加は、有意に低値となった (図 9-3))。FD の添加は硬さと付着性の上昇に寄与することを 2.1) の結果で示したが、“ねかし” 操作を加えることで、それらの値がいずれも低い値の物性を有するパンを調製できることが確かめられた。

以上の結果から、特に FD 添加に“ねかし” を加えることは、硬さについては米粉成分と FD 間に形成された強い骨格構造に柔軟性をプラスする効果をもたらし、同時に均質な多数の CO₂ ガスを保持し得る組織が形成される時間的余裕を加えたことが、発酵時の体積増加へとつながり、このことが付着性の低下に寄与したものと考えた。

2) 対照生地の “ねかし” による食味への影響

生地をねかしことによる食味への影響を調べるため官能評価を行った。識別試験では、外皮の色、きめにおいて有意差が認められた (表 4-上段)。外皮の色は、ねかし生地が、未処理と比較して有意に濃いと識別された。きめは、ねかし生地が未処理と比較して有意に細かいと識別された。また、嗜好試験では、外皮の色、きめ、硬さ、もちも

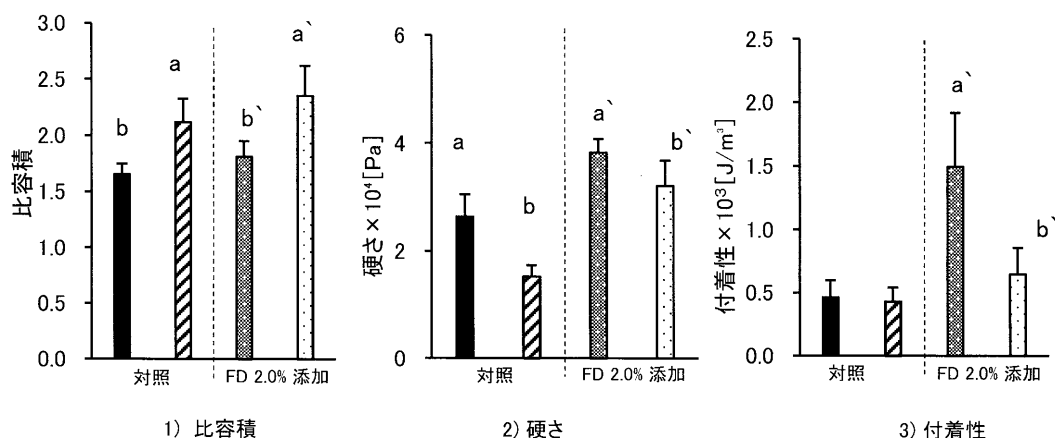


図9. 各調製生地のねかしによる物性変化

■ 対照 □ 対照(ねかし) ■ FD □ FD(ねかし)

各試料間の異なるアルファベットで有意差あり (p<0.05) n=21~24

表4. 24時間ねかし処理(対照)の官能評価

		加水量(%)	外皮の色	きめ	硬さ	もちもち感	香り	総合評価
識別	未処理	105	0 a	0 a	0	0	0	
	ねかし処理	105	1.00±0.82 b	1.78±0.42 b	0.61±1.38	0.72±1.24	-0.44±0.83	
嗜好	未処理	105	0 a	0 a	0 a	0 a	0	0 a
	ねかし処理	105	0.86±1.13 b	1.28±0.99 b	0.94±0.91 b	0.89±1.20 b	0.56±0.96	1.22±0.85 b

アルファベットの異なる試料間に有意差あり (p<0.05) n=18

但し各項目の数値において左値は評点平均値, 右値は標準偏差値を示す。

ち感において、ねかし生地が、未処理と比較して有意に好まれ、総合評価においてもねかし生地が高い評価を得た(表4-下段)。

以上の結果より、米粉生地については混捏生地を一定時間ねかすことで、製品の膨化性を向上させることがすでに明らかにされているが¹¹⁾、嗜好性の向上にもつながることが分かった。

5. 顕微鏡観察による発酵過程からの製パン性の予測

光学顕微鏡を用いて、対照生地、“ねかし”処理をした対照生地、ゾル状XG 0.5%添加生地およびFD 2.0%と米粉糊30%併用添加生地の発酵状態の気泡を15分毎に観察した結果及び、それぞれの生地ですべて実際に調製した米粉パンの断面図を図10に示した。

対照生地の発酵時の気泡の形状は、30分、45分と時間が経過するにつれて、大きく変形した。このことは、発酵中に形成される気泡の形状を保持するものが含まれていないことが原因であると推察した。

一方ゾル状XG添加生地およびFDと米粉糊の併用添加生地は、発酵時間の経過に伴い気泡の大きさは大きくなり、形状は球状を保持した。実際にこれらの生地ですべてパンを調製すると、対照と比較して比容積が有意に上昇し、パン断面図からみると球状の大小の気泡が均質に分散する様相を呈し、官能評価においても高評価を得た。これは、ゾル状XGの増粘多糖類、FDのたんぱく質、米粉糊といった

粘性物質が、イースト発酵により生成されるガスを、細かな多くの気泡として均質に分散保持し、比容積の高いパンを形づくるために寄与したとみなされた。また、対照生地においても、ねかし処理を行うことで、未処理と比較して、多少気泡の形状を球状に維持しつつ発酵が進行しているものとみなされた。このことから生地“ねかし”過程を加えることは、球状の気泡を形成する基になることが確かめられた。

以上より、各調製生地の発酵過程において、気泡の経時的変化を顕微鏡で捉える方法は、パンの仕上がり形状を予測する指標として応用可能であることが確認された。

要 約

グルテンフリー100%米粉パンの調製を目指し、小麦粉パンにおけるグルテンの役割を期待して、米粉にタンパク質の絹フィブロイン、あるいは増粘多糖類のキサンタンガム、および米粉パン生地のねかし処理を行い、物性と食味に及ぼす影響を調べた。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 生地の経時変化について顕微鏡観察を行うことで、米粉パンの仕上がり形状の予測が可能となることが確かめられた。
2. 米粉パンのスポンジ状網目構造の役割として絹フィブロインあるいはキサンタンガムを添加することで各々の

グルテンフリー米粉パンの物性と食味に及ぼす絹フィブロインおよびキサンタンガムの影響

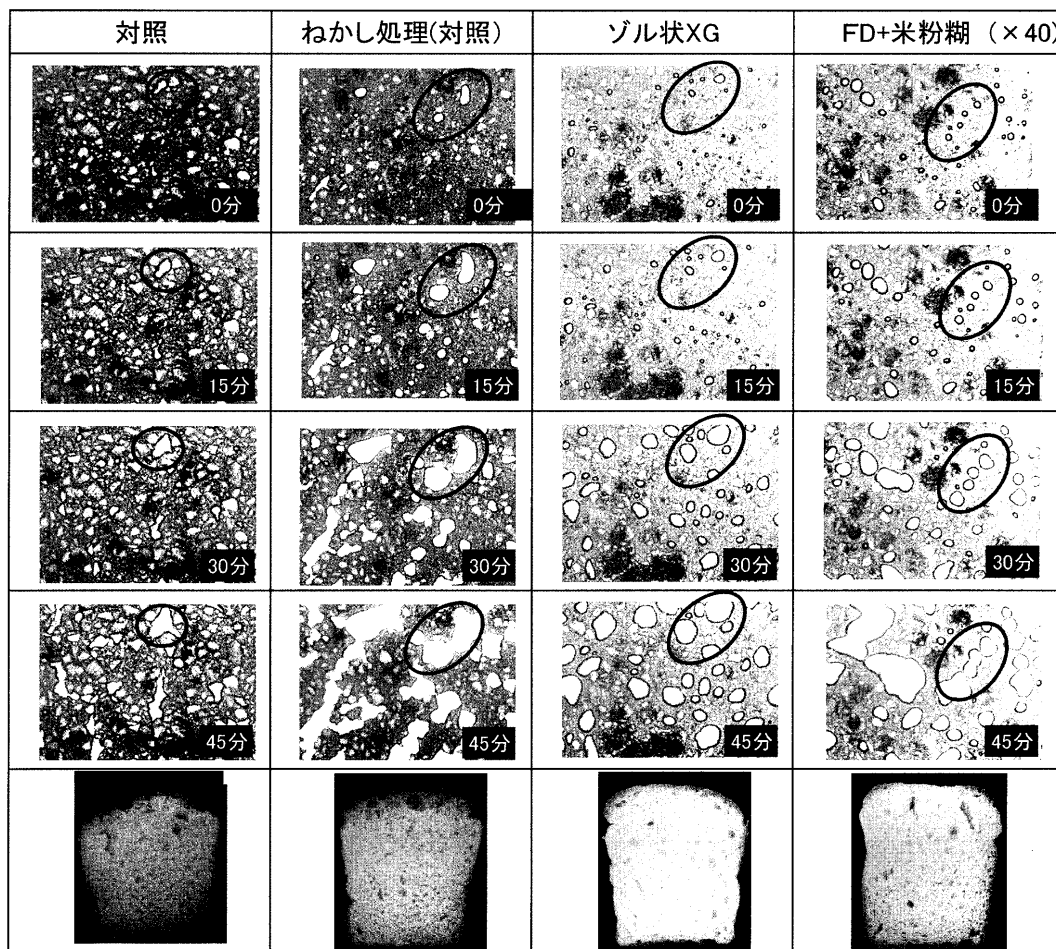


図 10. 各調製生地発酵時の気泡の光学顕微鏡観察 (×40) と調製パン縦断面図
図中の、○印は同一気泡を示す。

特徴をいかした製品が調製された。前者は比容積、硬さおよび付着性の高い性状に関わり、その適量は米粉の1.5%前後であった。後者はゾル状にして添加する方法が有効で、比容積が高く、硬さと付着性の低い性状に寄与し、その適量は米粉の1.0%前後であった。このキサンタンガムの添加は官能評価においても有意に好まれた。

- 絹フィブロイン添加パンの食味上の嗜好性向上のため米粉糊との併用添加を試みた。その結果、絹フィブロイン2.0%と25%濃度の米粉糊を米粉糊用と生地用米粉を合わせた全米粉量に対して30%量併用添加することで、嗜好的に有意に好まれる製品を調製することができた。この併用パンの物性は、対照に比べ比容積が高く、硬さ、付着性共に有意に低い値であった。
- 対照生地についても24時間“ねかす”ことで対照に比べ比容積が高く、軟らかい性状で嗜好的に有意に好まれる製品に改良された。

以上のことから、グルテンフリー100%米粉パンの調製は、米粉への水和条件の付与、米粉糊の添加、および形状保持剤の種類とその配合割合を調整することで、目的に

合った物性を有するさまざまな製品を調製できる方向性が見出された。

本研究を行うに当たり試料のご提供を頂いた三栄源エフ・エフ・アイ(株)、(株)J・オイルミルズに感謝いたします。

本研究は平成21年度22年度科学研究費補助金(基礎研究C、課題番号21500763)により行ったものです。ここに付記し、謝意を表します。また、本研究の一部は日本調理科学会平成22年度大会において発表しました。

文 献

- 1) 與座宏一, 岡部蘭子, 島 純 (2008), 米粉利用の現状と課題—米粉パンについて—, 日食工誌, **55**, 444-454
- 2) 八木俊明 (2009), 米粉百科, 株式会社グレイン・エス・ピー, 東京, pp. 42-49
- 3) 藤井恵子, 齋藤 忍 (2010), 製パン用原料素材としての米粉の開発利用, 日本女子大学紀要 家政学部, **57**, 59-66
- 4) 山口慶一 (2008), 日本の食材が世界を変える お米革命, 星雲社, 東京, pp. 59-61
- 5) 青木法明, 梅本貴之, 鈴木保宏 (2010), グルテン添加米

- 粉パンにおける多収性稲品種の製パン特性, 日食工誌, **57**, 107-113
- 6) 平林 潔 (1990), シルクを食べる, 高輪出版社, 東京, p. 14
- 7) 藤井恵子, 高橋貞幸, 木内留美子 (2000), 絹フィブロインと複合化した米粉のスポンジケーキ調製とその特性, 日食工誌, **47**, 363-368
- 8) 平尾和子, 木村由里子, 五十嵐喜治 (1998), 絹糸から調製したフィブロイン溶液の気泡特性とスポンジケーキへの利用, 日食工誌, **45**, 692-699
- 9) 藤井恵子 (2009), 米粉を用いた含泡食品の創製, 日調科誌, **42**, 263-266
- 10) テクニカルレポート食品添加物キサンタンガム (2004), 三栄源エフエフアイ株式会社, 14
- 11) 長沼誠子, 畑江敬子, 島田淳子 (1994), 米粉生地の物理的・化学的特性に及ぼす放置処理の影響, 日家政誌, **45**, 783-789
- 12) 高橋 誠, 本間紀之, 諸橋敬子, 中村幸一, 鈴木保宏 (2009), 米の品種特性が米粉パンの品質に及ぼす影響, 日食工誌, **56**, 394-402
- 13) 岡留美穂, 林 好子, 中川和秀, 大野信子 (2007), 玄米粉を用いた発酵パンの製造について, 和洋女子大学紀要家政系編, **47**, 41-52
- 14) 松元文子, 吉松藤子 (1997), 四訂調理実験, 柴田書店, 東京, pp. 136-137
- 15) 大塚せつ子 (2008), ノングルテンでふんわりやわらか白神こだま酵母のお米パン, 農文協, 東京, pp. 18-24
- 16) 下坂智恵, 市川朝子, 下村道子 (2005), 米粉を用いたボン・デ・ケージョの調製と膨化に関する研究, 日調科誌, **38**, 135-142

(平成 23 年 4 月 20 日受付 平成 23 年 11 月 16 日受理)

和文抄録

わが国では, 米の消費拡大を目指して米粉の利用法が模索されている。本研究では, 絹フィブロインやキサンタンガムを添加して米粉パンを調製し, それらの特性を, グルテン無添加で調製した米粉パン (対照) の特性と比較した。その結果, 以下のことがわかった。絹フィブロイン添加米粉パンの比容積, 硬さ, 付着性は対照と比較して有意に上昇した ($p < 0.05$)。キサンタンガムは, ゼルの状態で, 加水量を 105% から 115% に調整して添加することで, 対照と比較して比容積は有意に上昇, 硬さは有意に低下した ($p < 0.05$)。さらに, 絹フィブロインと米粉糊の併用添加した米粉パンは官能評価において対照と比較して高評価を得た ($p < 0.05$)。無添加生地 (対照) あるいは絹フィブロイン添加生地は 24 時間 “ねかし” 後に調製を行うことで, 比容積が有意に上昇し ($p < 0.05$), きめが細かくなった。対照米粉パンの官能評価では, 生地の “ねかし” により, 有意に好まれる評価を得た。