

令和元年6月23日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05012

研究課題名（和文）蛍光指紋イメージングによる米ゲル含有パン生地物の物性と膨化機構の解明

研究課題名（英文）Investigation of Bread Dough Including Rice Gel on Physical Property and Swelling Mechanism

研究代表者

杉山 純一（Sugiyama, Junichi）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・客員教授

研究者番号：20353972

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：高アミロース米から作られる米ゲルにより、小麦パンのように膨らむパン生地を作るための、基礎的な条件を明らかにし、比容積の大きい、おいしい米ゲルパンを作る条件を明らかにした。具体的には、米粉、米ゲル、水分など主要構成成分の最適化、膨化に関連するパラメータの確認、米ゲルのレトルト加工に関する性状確認と品種毎の特性解明などを行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

米は、日本の主要農産物であるが、年々、消費量が減ってきており、農家も高齢化により、作付面積が減少傾向にある。一方で、パン食が増えているが、近年、海外だけでなく、国内にもグルテンアレルギーを発症する者が増えつつある。また、オリンピックを控え、選手や多くの海外旅行者の中にも、グルテンフリーの食生活が必要な者も多い。そこで、本課題は、高アミロース米をベースに作られた米ゲルで、小麦パンと遜色のないグルテンフリーパンを実現するために、基礎的な知見と応用技術を開発するものである。

研究成果の概要（英文）：We invented rice gel made from high amylose rice. Our research found the condition of physical property of dough in order to bake non-gluten bread made from rice gel. Ratio of rice gel, rice powder and water content were key factors to get highest volume ratio of rice gel bread.

研究分野：食品工学

キーワード：グルテンフリー 米ゲル 比容積 膨化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国において自給率は低下傾向を辿っており、農業者の高齢化で耕作放棄地も増え、農業の衰退を防ぐためにも主要穀物である米の新規需要用途、高付加価値利用のための食品加工技術が切望されている。また、小麦に含まれるグルテンによるアレルギー疾患（セリアック病）が海外のみならず日本でも増えており、グルテンを含まない米による代替食品が期待されている。

2. 研究の目的

米の新規需要促進として米粉に替わって、米ゲルという新素材が注目を浴びている。これをパンに利用した際に、

- 1) パン生地が最も膨らむ際の、生地の物性範囲(弾性値と粘性値)を明かにするとともに、
- 2) 米粉と米ゲル(小麦粉は無添加)を混ぜたパン生地において、膨らむ生地物性を明らかにし、
- 3) 膨らむための最適条件(物性値等)を達成するために、各素材のブレンド理論を構築する。

そして、1)～3)を駆使した応用例として、しっかりと膨らむグルテンフリーのパンを実現する。

3. 研究の方法

玄米と白米(品種:モミロマン)を試料として、米に対して、水を1.2倍～2倍まで、5段階に変化させた米ゲルを作成し、供試材料とした。表1のような条件で、穀物量は合わせて100%になるようにし、加水量を80%、90%、100%と変化させたパン生地を作成し、同一焼成条件にて、グルテンフリー食パンを製造した。

表1 米ゲルパンの米と水の分量

試料名 (米に対する倍率)	A	B	C	D	E
材料	配合割合 (%)				
米ゲル中の米			30		
米ゲル中の水	36	42	48	54	60
米粉			70		
加水(80%)	44	38	32	26	20
加水(90%)	54	48	42	36	30
加水(100%)	64	58	52	46	40

- ・全ての試料に共通して、米粉(70%)と米ゲル中の米(30%)を使用し、穀物量は合わせて100%となるようにした。
- ・試料名A～Eは米ゲルの加水倍率と対応している。

4. 研究成果

図1に各パンの硬さを示す。全体水分量が多いほどパンは柔らかくなり、特に全体水分80%と100%を比較すると、すべての試料で100%のパンの硬さの方が小さい値を示し、玄米ゲルB以外でその差は有意であった。

米ゲルの水分条件(A-E)による違いについては、白米ゲル、玄米ゲルのパンのどちらにおいても全体水分量80%では有意な差がみられなかった。一方、全体水分量90%、100%のパンでは、米ゲルの水分量が多くなるに従ってパンが硬くなる傾向がみられた。以上の結果から、硬さに大きな影響を与えるのは全体水分量であり、全体水分量は100%が適していると考えられた。

また、米ゲル中の水分量が少なく、製パン段階での加水量が多いほどパンの硬さは軟らかく、焼く前の生地も軟らかい傾向がみられた。

米ゲル中の水分が多い条件(DやE)では、生地全体が硬く伸展性にかけてしまうと考えられる。そして、加水量が多いほど米ゲルが生地内で分散しやすくなり、発酵時に発生した二酸化炭素と共に十分に膨張することができ、膨らみにもなって硬さも軟らかくなったと推察される。

図2に各パンの硬さ変化率を示す。硬さ変化率は、値のばらつきが大きく、有意差はみられなかったものの、全体水分量が多くなるほど硬さ変化率も低下する傾向が確認できた。本実験において、硬さ変化率が少ないということをも最適製造条件の一つとしたが、硬さ変化率に差がないのであれば、硬さが小さく、比容積の大きいパンほど良い品質のパンといえる。

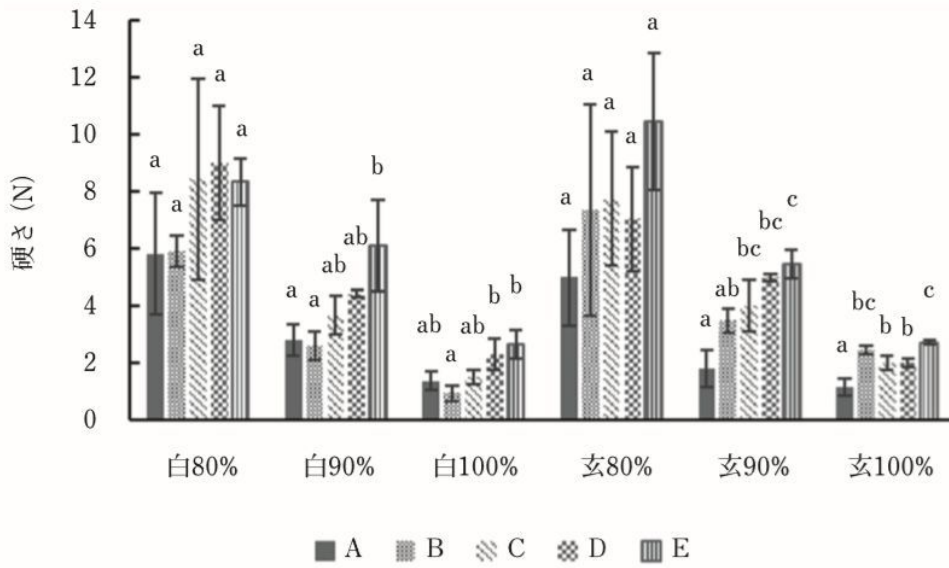


図1 異なる加水条件における米粉パンの硬さの比較

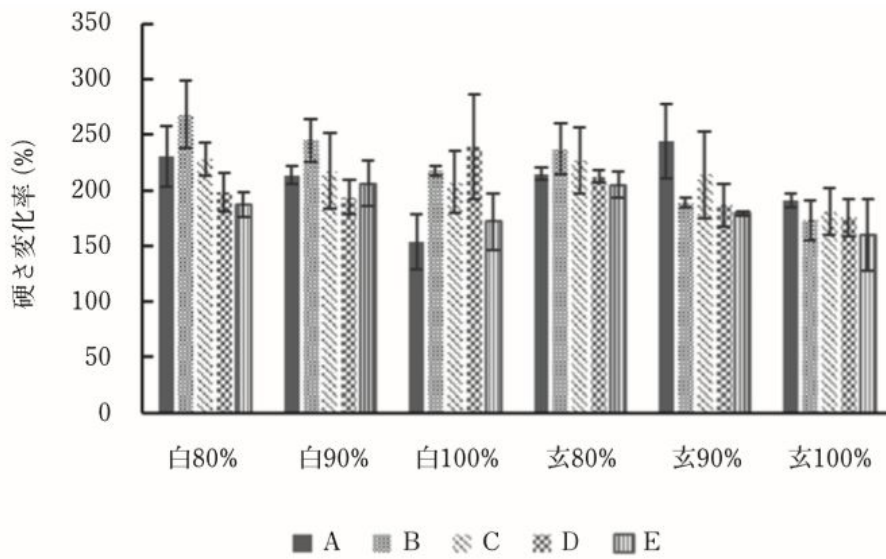


図2 異なる加水条件における米粉パンの硬さ変化率の比較

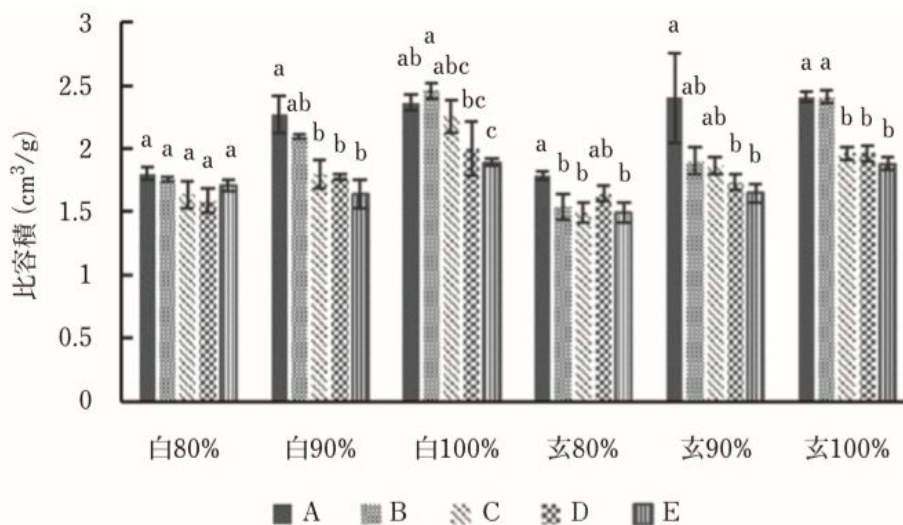


図3 異なる水分条件における米粉パンの比容積の比較

図 3 に各パンの比容積を示す。同条件で調製した白米ゲルのパンと玄米ゲルのパンの比容積について t 検定を行った結果、100°C において、玄米ゲルのパンの比容積は $2.25\text{cm}^3/\text{g}$ であり、これに対して白米ゲルの同条件のパンは $1.96\text{cm}^3/\text{g}$ となり、有意差がみられた。しかし、その他の条件では差はみられなかった。実験時の生地状態から、玄米ゲルは白米ゲルと比較してパン生地への分散性がよいことがわかり、この分散性の良さにより玄米に含まれている繊維等による膨化阻害という欠点が補われ、結果的に同じような膨らみになっているのではないかと考えられる。また、全体水分量が大きくなるほど比容積も大きくなる傾向がみられ、すべての試料で全体水分量 100% の比容積は大きい値を示した。全体水分量が 80% と 100% のパンを比べると、白米ゲル D と玄米ゲル A のパン以外では、有意差が確認できた。白米ゲル・玄米ゲルのパン 100%A の条件では比容積はそれぞれ $2.37\text{cm}^3/\text{g}$ 、 $2.41\text{cm}^3/\text{g}$ であり、これは 80%A と比較して、1.31 倍、1.35 倍の値であった。

米ゲルの水分条件による差もみられた。特に水分量が少ない米ゲル (A や B) を用いたパンは水分量が多い米ゲル (D や E) を用いたパンと比較して大きく膨らむ傾向がみられた。

以上の結果から、全体水分量 100% で米ゲル A を用いたパン試料、つまり水分量の少ない米ゲルに対し、製パンの段階で多量の水を添加することで、全体水分量を 100% に調整したパン試料がよく膨らむことがわかった。逆に、米ゲル自体が水を多く含み柔らかい状態であると、発酵中に形成される気泡の形状を保持する力が小さくなってしまい、パンの比容積が小さくなってしまったと考えられた。また、硬さと比容積は逆相関を示し、決定係数 R^2 は 0.73 であった。代表的なパンの写真を図 4 に示す。

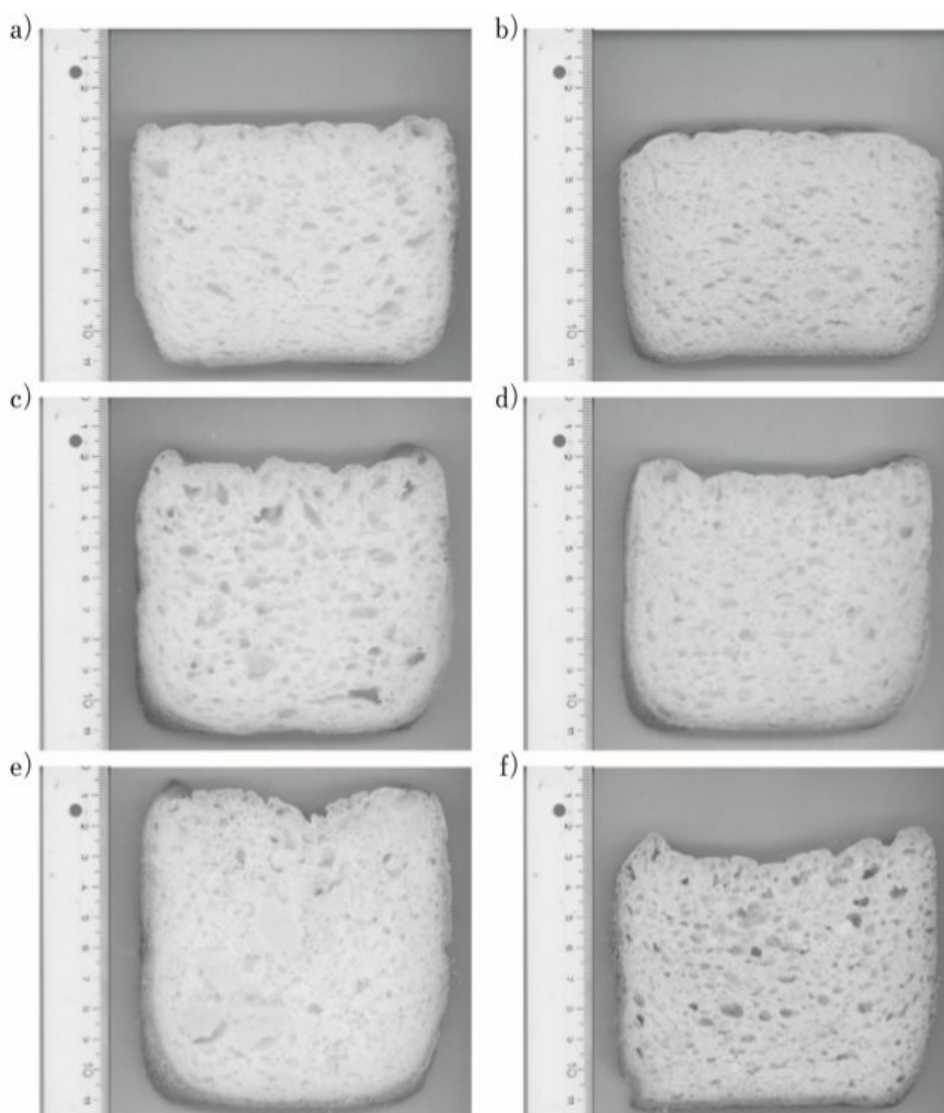


図 4 異なる水分条件における米粉パンの断面写真

a), 白米ゲルのパン 80%A ; b), 玄米ゲルのパン 80%A ; c), 白米ゲルのパン 90%A ;
d), 玄米ゲルのパン 90%A ; e), 白米ゲルのパン 100%A ; f), 玄米ゲルのパン 100%A. $\frac{A}{A}$

断面写真から分かるように全体の水分量が多くなるほど気泡が大きくなり、かつ生地断面における気泡部の割合が増大する傾向がみられた。全体水分量 80%では、パンの上面が岩のようにゴツゴツしており、気泡膜が厚く、密に詰まったパン内相を呈し、団子状になっている部分も観察された。全体水分量 90%では、腰折れは見られず形状も保持され、気泡も細かく分布していた。断面写真から見ても全体水分量が 100%では膨らみがよいことがわかったが、上面に凹みがみられ、気泡が大きかった。また、特に白米ゲルパンの 100%A では、米ゲルの塊が残っていた。これは、製パンに供した生地がほとんど液状であったためと考えられる。これまで述べたように、水分量が少ない硬めの米ゲルを使用し、かつ、製パン段階での加水量が多いほど、硬さは小さく、比容積は大きい傾向がみられた。硬さ変化率については、有意差はみられなかった。最適製造条件を、比容積が大きく硬さの小さいパンが調製できる条件とした場合、白米・玄米ゲルのパンの 100%A が最適条件となる。また、米ゲルは白米、玄米それぞれから作製したものを使用したが、硬さや比容積の点ではほとんど有意差はみられなかった。本実験での最大比容積は、 $2.41\text{cm}^3/\text{g}$ であり、過去のグルテンフリー米粉パンと比較すると、大崎らは約 $2\text{cm}^3/\text{g}$ 、中村らは約 $3.5\text{cm}^3/\text{g}$ 、矢野は約 $4\text{cm}^3/\text{g}$ であるため、米ゲルを添加したグルテンフリー米粉パンの比容積は改善の余地があると考えられる。また、本実験において断面写真を観察すると、全体水分量 100%のパンは気泡が大きく、ゲルがパン生地になじみきれずに残ってしまっていた。これは生地の作製方法を検討することで改善されることが期待される。米ゲルは米と水のみから調製されているため、グルテンフリー米粉パンの添加剤として使用する場合、添加物としての表示をする必要がない。そのため米の有効活用につながるという利点がある。さらに、精米工程の省略、糠に含まれる豊富な食物繊維や栄養分を取り入れることができるといった点を考慮すると、玄米ゲルからグルテンフリーパンを作製することの利点は大きい。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

1)中野明日香、粉川美踏、北村豊：米ゲルと米粉によるグルテンフリーパンの開発および特性の検討、日本食品科学工学会誌、査読有、65(3)、124-129(2018)

2)Mario Shibata, Junichi Sugiyama, Kaori Fujita, Mito Kokawa, Yukari Hirano, Shingo Matsuyama, Vipavee Trivittayasil, Tetsuya Araki : "Manufacturing Condition Effects on Dynamic Viscoelastic Properties of High-amylose Rice Gel by High-speed Shear Treatment", Food Science and Technology Research, 査読有、24(4), 739-746(2018)

3)Keisuke Isaka, Mario Shibata, Marin Osawa, Junichi Sugiyama, Tomoaki Hagiwara : "Effect of retort treatment on physicochemical properties of highamylose rice gel made by high-speed shear treatment", Journal of Cereal Science, 査読有、79, 335-340(2018)

4)Mito Kokawa, Yoko Suzuki, Yukiko Suzuki, Masatoshi Yoshimura, Vipavee Trivittayasil, Mizuki Tsuta, Junichi Sugiyama : "Viscoelastic properties and bubble structure of rice-gel made from high-amylose rice and its effects on bread", Journal of Cereal Science, 査読有、73, 33-39(2017)

5)Kenichi Houjiyo, Junichi Sugiyama, Mito Kokawa, Kaori Fujita, Wataru Yuge, Rie Nozaki, Toshimi Itoh: "Effect of emulsification on the physical properties of high-amylose rice gel", Food Science and Technology Research, 査読有、23 (2), p.221-228, (2017)

6)北條健一、杉山純一、粉川美踏、藤田かおり、弓削渉、野崎理悦、伊藤寿美：“乳化米ゲルの添加による魚肉すり身加熱ゲルの物性制御”，日本食品科学工学会誌、査読有、第 64 巻第 3 号、p. 139-149(2017)

〔学会発表〕(計 2 件)

1)Junichi Sugiyama: "Gluten-free and low-calorie foods made from rice gel", 3rd International Congress on Food Technology, Cappadocia TURKEY(2018.10.11)

2)與座 宏一、松木 順子、佐々木 朋子、杉山 純一、徳安 健：“炊飯米から作製したゲルの低温保存中の硬さの変化”，第 243 回日本作物学会講演会（2017.3.27）

〔図書〕(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://komegel.jp>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：粉川 美踏

ローマ字氏名：Kokawa Mito

所属研究機関名：筑波大学

部局名：生命環境系

職名：助教

研究者番号（8桁）：10732539

研究分担者氏名：北村 豊

ローマ字氏名：Kitamura Yutaka

所属研究機関名：筑波大学

部局名：生命環境系

職名：教授

研究者番号（8桁）：20246672

研究分担者氏名：柴田 真理朗

ローマ字氏名：Shibata Mario

所属研究機関名：東京海洋大学

部局名：学術研究院

職名：助教

研究者番号（8桁）：40590360

研究分担者氏名：蔦 瑞樹

ローマ字氏名：Tsuta Mizuki

所属研究機関名：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

部局名：食品研究部門

職名：上級研究員

研究者番号（8桁）：80425553

(2)研究協力者

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。