

2026 年 9 月 24 日

報道機関各位

グルテンフリー米粉パンの製パン性に及ぼす ミキシング条件と加水温度の複合効果を解明

— 60℃加水では短時間のミキシングで高い膨化性を実現 —

奈良女子大学生生活環境学部食物栄養学科の齋藤公美子助教、菅尚子助教、高村仁知教授、同大学共生科学研究センターの武智多与理氏、大阪産業技術研究所の畠中芳郎氏、大阪府立環境農林水産総合研究所の和泉恵子氏、新名つぐみ氏らの研究グループは、グルテンフリー米粉パンの製造において、**ミキシングに用いるアームの種類、ミキシング時間、加える水の温度の組み合わせ**が、生地粘弾性や気泡構造を変化させ、最終的なパンの品質形成に影響することを明らかにしました。

研究グループは、フラットビーターとワイヤーホイップの2種類のミキシングアーム、5℃と60℃の加水温度、3～30分のミキシング時間を組み合わせ、生地粘弾性、発酵挙動、気泡構造、焼成後の比容積および硬さを解析しました。その結果、ワイヤーホイップでは、**5℃加水で30分、60℃加水で15分**のとき最大比容積を示し、60℃・15分では細かく均一な気泡構造が形成されました。

これらの結果から、グルテンを形成しない米粉パンにおいても、**加水温度に応じたミキシング条件の設定**が、生地粘弾性と気泡形成・保持を介してパン品質を左右することが示されました。本成果は、製造条件の制御による米粉パン品質の向上に役立つ基礎的知見です。

本研究の問い：グルテンがない米粉パンのミキシングは、本当に重要なのか？

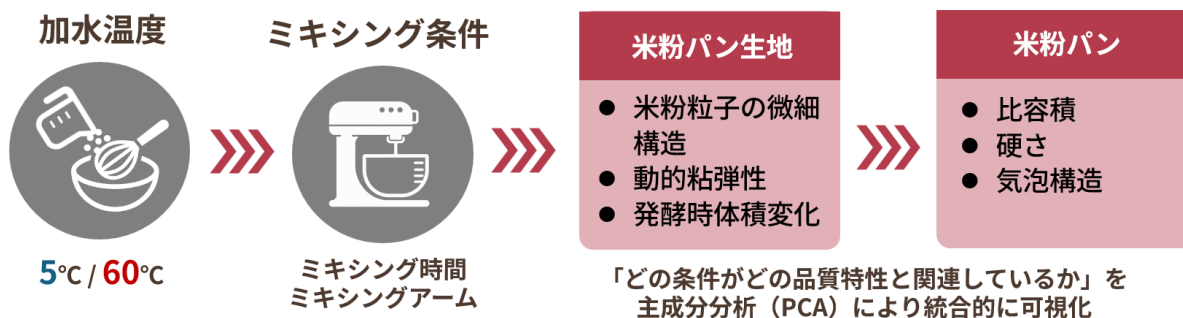


図1 研究成果の概要（研究内容に基づき作成）

研究成果の概要

■ 従来の課題

小麦パンでは、ミキシングによってグルテンネットワークが形成され、発酵で生じたガスを保持できる生地構造がつくられます。一方、グルテンフリー米粉パンにはグルテンがないため、小麦パンで確立されたミキシング条件をそのまま適用することはできません。

これまでグルテンフリーパンの品質改良は、増粘多糖類などの添加物や配合面からの検討が中心でした。

齋藤助教らは、高温の水を加えて米デンプンの膨潤や限定的な部分糊化を利用する「高温水添加製パン法」を検討してきましたが、高温加水条件下でミキシングアームや時間が生地構造・気泡挙動・パン品質に及ぼす影響は十分に明らかではありませんでした。

■ 成果のポイント

- 60℃加水では5℃加水より生地の G' ・ G'' が高く、加水温度が粘弾性形成に影響しました。
- ワイヤーホイップでは、5℃加水で30分（2.57 mL/g）、60℃加水で15分（2.60 mL/g）に最大比容積となり、高温加水で高い膨化性を得るまでのミキシング時間が短縮されました。
- 60℃・ワイヤーホイップ・15分では細かく均一な気泡が形成され、最大比容積と対応しました。
- 一方、60℃条件では過度なミキシングにより比容積が低下し、クラムが硬くなる傾向がみられ、加水温度に応じた条件設定の重要性が示されました。

研究内容と成果

1. 加水温度とミキシング時間によって生地の粘弾性が変化

動的粘弾性を測定した結果、60℃加水では5℃加水より G' および G'' が高くなりました。また、ミキシング時間によって周波数依存性も変化し、3分では生地構造が十分に発達していない挙動、15分では比較的安定した応答、30分では再び周波数依存性が強くなる条件がみられました。これらの結果から、加水温度とミキシング時間の双方が生地の構造形成に関与することが示されました。

なお、本研究ではデンプンの糊化度を直接測定していません。60℃加水でみられた粘弾性の上昇は、同じ高温加水法を用いた既報で確認されたデンプンの膨潤や限定的な部分糊化と整合する構造変化として解釈しています。

PRESS RELEASE

2. 60℃加水では短時間のミキシングで高い比容積を実現

ワイヤーホイップを用いた場合、5℃加水ではミキシング時間の延長とともに比容積が増加し、30分で2.57 mL/g となりました。一方、60℃加水では15分で最大2.60 mL/g となりました。すなわち、本研究条件では、同程度の高い膨化性を得る条件が5℃では30分、60℃では15分と大きく異なりました。

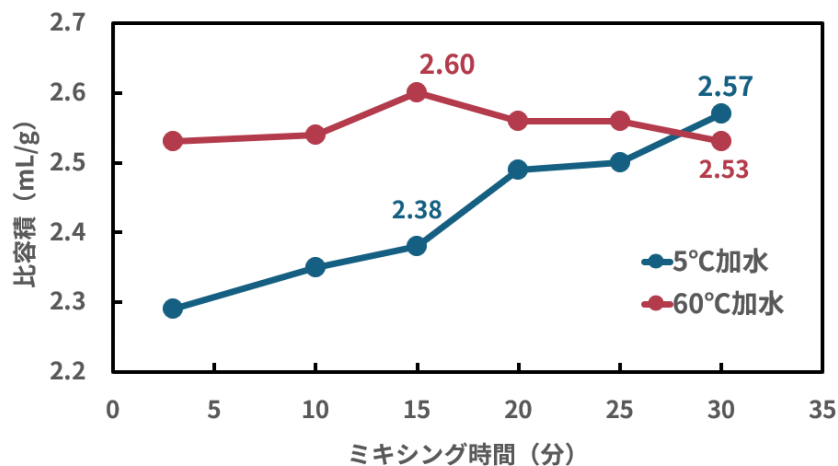


図2 ワイヤーホイップ使用時のミキシング時間と比容積（論文 Table 1 の値をもとに作成）

三元配置分散分析でも、比容積に対して加水温度とミキシングアームの有意な主効果が認められ、さらにミキシング時間×加水温度の交互作用も有意でした。これは、適切なミキシング時間が一定ではなく、加水温度との組み合わせによって変化することを示しています。

3. 発酵挙動・気泡構造と最終的なパン品質の関係

60℃加水の生地は5℃加水より発酵時の最大体積が小さい傾向を示したにもかかわらず、焼成後には同等またはそれ以上の比容積となりました。また、X線CTによる解析では、60℃・ワイヤーホイップ・15分で発酵生地に細かく均一な気泡が形成され、最大比容積と対応しました。一方、30分では気泡が粗大化し、比容積はわずかに低下しました。

さらに、主成分分析（PCA）により、生地の粘弾性、発酵時の最大生地体積、比容積、クラムの硬さ、焼成パンの平均気泡面積などの関係を統合的に可視化しました。その結果、発酵時の膨張と最終的な比容積は単純には対応せず、気泡の形成・保持や生地物性を含む複数の要因がパン品質に関与することが示されました。

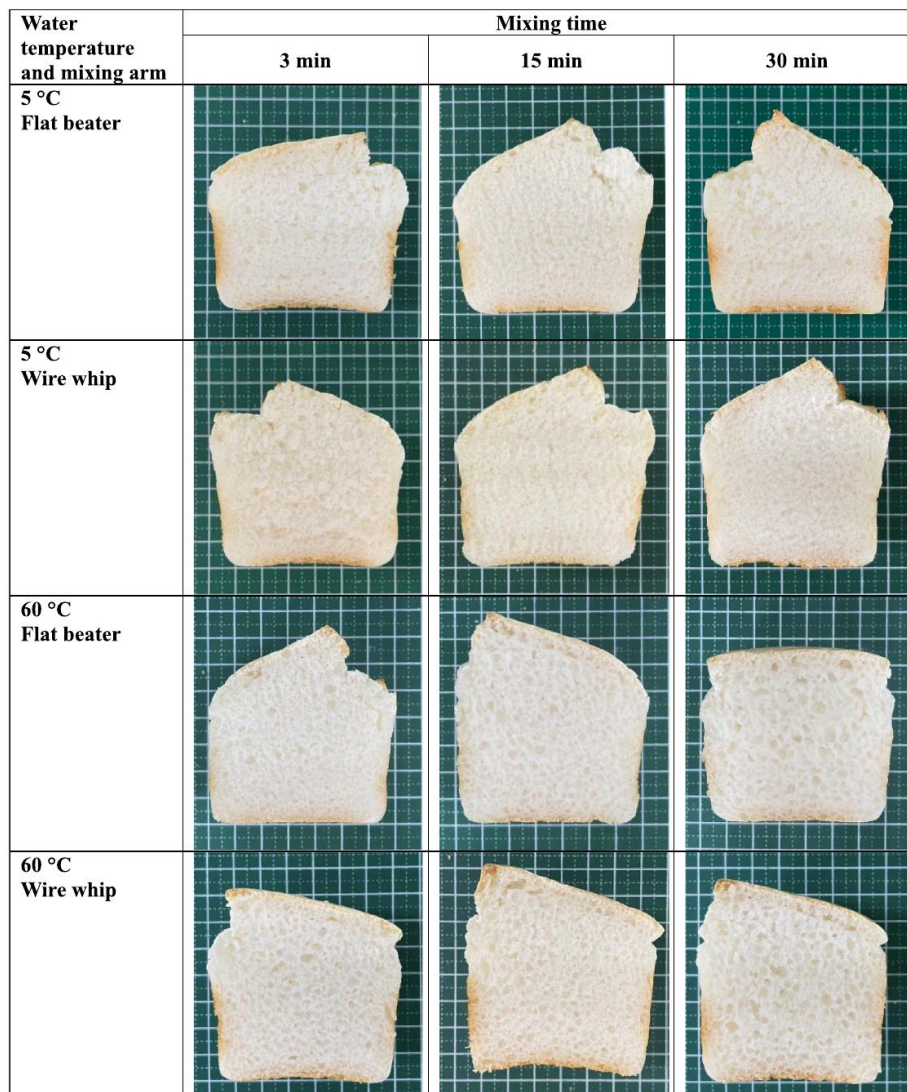


図3 加水温度、ミキシング羽根、ミキシング時間が異なるグルテンフリー米粉パンの断面写真

出典：Saito et al., Applied Food Research 6 (2026) 102484, Fig. 4 (CC BY 4.0)

今後の展開

本研究から、グルテンフリー米粉パンの品質向上には、原材料の配合だけでなく、加水温度とミキシング条件を一体として設計することが重要であることが示されました。特に、本研究条件では、60°C加水とワイヤーホイップを組み合わせることで、5°C加水より短いミキシング時間で高い膨化性が得られました。添加物に依存せず、製造プロセスの制御によって米粉パン品質を改善するための条件設計に役立つ知見です。

今後は異なる米粉や配合、ミキサー条件で検証し、本知見の適用範囲を明らかにするとともに、ミキシング不足から適正条件、過剰ミキシングに至る気泡構造の変化をより詳細に解析する必要があります。

掲載論文

題目	Effects of mixing conditions and water temperature on viscoelasticity, bubble structure, and quality in gluten-free rice bread
著者	Kumiko Saito, Naoko Suga, Yoshiro Hatanaka, Tayori Takechi, Keiko Izumi, Tsugumi Niina, Hitoshi Takamura
掲載誌	Applied Food Research, Volume 6 (2026), Article 102484
DOI	10.1016/j.afres.2026.102484
オンライン公開	2026 年 8 月 4 日
研究費	JSPS 科研費 JP26K16616（若手研究：齋藤公美子）

用語解説

[1] ミキシング

原材料を均一に混合するとともに、生地へ空気を取り込み、生地構造や粘弾性を形成する工程。本研究ではフラットビーターとワイヤーホイップを比較した。

[2] 動的粘弾性

材料の弾性的・粘性的な性質を評価する方法。貯蔵弾性率（ G' ）、損失弾性率（ G'' ）、損失正接（ $\tan \delta$ ）などを用いる。

[3] 比容積

パンの体積を重量で割った値で、パンの膨化性を示す代表的な指標。

本件に関するお問い合わせ先

（研究内容について）

奈良女子大学 生活環境学部 食物栄養学科 助教 齋藤 公美子

E-mail：k-saito@cc.nara-wu.ac.jp

（機関窓口）

奈良女子大学総務課広報・基金係

TEL：0742-20-3220 FAX：0742-20-3205

E-mail：somu02@jimu.nara-wu.ac.jp