

様 式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

科学研究費助成事業

研究成果報告書



平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：82111

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560042

研究課題名(和文) 高温加熱調理過程におけるナノスケール粉碎米粉の挙動解析

研究課題名(英文) Behavior analysis of nano-scale pulverization rice flour in the high-temperature cooking process

研究代表者

岡留 博司 (Okadome, Hiroshi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・その他部局等・研究員

研究者番号：10353963

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000 円

研究成果の概要(和文)：平均粒子径がナノスケールの米粉と乾式粉碎したマイクロスケール米粉との特性比較を行った。湿式メディアミルを用いて24時間連続粉碎することにより平均粒子径600nm程度のナノスケール米粉が得られた。作製した米粉試料の溶解性及び吸水性は平均粒子径の減少とともに増加し、ナノスケール米粉で最大値を示した。損傷澱粉及びインヒトリ消化性もナノスケール米粉で最大となった。これらの結果より、ナノスケール米粉は全く異なる加工特性を有しており、高温加熱調理過程において生地や最終製品の吸水性や消化性の強化に利用できるのではないかと考察した。また消化性が平均粒径よりも損傷澱粉や吸水性が強く影響することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The characteristics of rice flour with nano-scale mean size were compared with those of dry-ground fours with micro-scale. The nano-scale flour of approximately 600 nm mean size could be produced, using a wet-media mill with 0.3 mm zirconia beads by continuous 24 h pulverization. The solubility and water absorption increased as the mean size decreased, reaching maximum values in the nano-scale flour. The starch damage and digestibility were also highest in the nano-scale flour. From the above, the wet-ground nano-scale rice flour had quite different processing properties. We considered that the nano-scale rice flour may be available for giving high water absorption and high digestibility for the dough or the final products in the high-temperature cooking application. It was elucidated the digestibility was more strongly influenced by starch damage and the water absorption index than by the mean particle size.

研究分野：食品工学

キーワード：米 米粉 粉碎 マイクロスケール ナノスケール 吸水性 消化性 損傷澱粉

1. 研究開始当初の背景

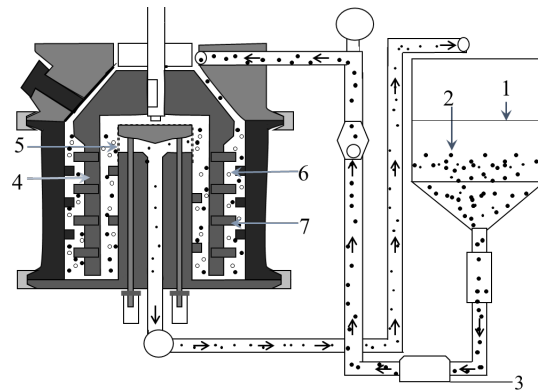
自給率向上や米粉の需要拡大を背景に、米粉パンや麺用米粉に関する研究報告が増えてきているが、天ぷら粉やフライ用米粉に関する研究報告は少ない。申請者は米粉の微粉碎研究を進める中で、マイクロスケール領域では平均粒子径 3~10 μ m 前後で特性が劇的に変化することを報告した。またさらに細かい超微粉碎技術の開発を進め、平均粒子径が 500nm 以下のナノスケール米粉の製造に成功した。しかし、その特性や加工用途については殆ど解明されていない。またナノスケールの米粉では損傷澱粉の増大が避けられないためパン用途には適さないと判断し、研究事例の少ない天ぷら等高温加熱調理用途を想定した特性を検討することにした。

2. 研究の目的

米粉の用途拡大に向けて従来よりも平均粒子径が小さい 30~40 μ m 程度の微細米粉の利用が進みつつある。一方、申請者は平均粒子径がナノスケールの超微粉碎技術を開発し、米の単一澱粉粒(概ね 4 μ m 前後)よりも遙かに小さいナノスケールの米粉の作製に成功した。本研究ではナノスケール米粉の高温加熱調理用途の可能性を探るために、市販米粉と同程度のマイクロスケール米粉(平均粒子径が 30 μ m 以上)等を比較対照にしながら、ナノスケール米粉(平均粒子径が 300nm~1 μ m 程度)の加工特性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

原料にはコシヒカリの精白米を用いた。乾式粉碎ではハンマーミルを用いてスクリーン径を変えながら平均粒子径が 90~110 μ m 程度のマイクロスケール米粉を作製し、ジェットミルではさらに細かい 5~10 μ m 程度の米粉を作製した。ナノスケール米粉については、先述のジェットミルを用いて乾式で一次粉碎した米粉に水を加えて 10%濃度のスラリーを作製し、図 1 に示す湿式メディアミル(ビューラーAG 社製、PML2-SuperFlow4 型)を用いて湿式による二次粉碎での作製を試みた。具体的には、直径 0.3mm のジルコニア製ビーズを用いて、一次粉碎した米粉スラリーを水冷しながら 24 時間連続粉碎した後に液体窒素を用いて急速凍結した。さらに凍結試料を粗粉碎した後に真空凍結乾燥して乾物の米粉試料を作製した。作製した米粉試料の粒子径分布はレーザ回折式粒子径分布測定装置を用いて米粉試料に水を加えた懸濁液に超音波を照射しながら計測した。なお、ナノスケール米粉では粉体が凝集しやすいため、予め超音波ホモジナイザーを用いて懸濁液を分散させてから、超音波を照射して計測した。最終的には平均粒子径が異なる 4 種類のマイクロスケール米粉と 1 種類のナノスケール米粉について、溶解性、吸水性、損傷澱粉や消化性等の特性分析を行った。



1: Water, 2: Rice flour, 3: Pump, 4: Rotor, 5: Screen, 6: Media, 7: Pin

図1 湿式メディアミル

4. 研究成果

(1)ナノスケール米粉の溶解性、吸水性、損傷澱粉の解析

作製した米粉試料の粒子径分布、SEM 観察画像及び各種特性の分析結果を図 2、3 及び表 1 に示した。湿式メディアミルでは 24 時間の連続粉碎で平均粒子径が 600nm 程度のナノスケール米粉(MMF)が得られ、粒子径 D90 と D10 の比率が最も小さく、均一な分布を示した。

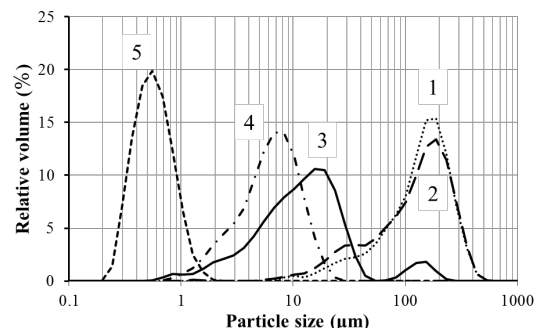


図2 作製した米粉の粒子径分布

※1: Hammer mill large flour (HLF, Mean size=110.6 μ m), 2: Hammer mill small flour (HSF, 97.3 μ m), 3: Jet mill large flour (JLF, 10.8 μ m), 4: Jet mill small flour (JSF, 5.6 μ m), 5: Media mill flour (MMF, 0.6 μ m).

SEM 観察においては、ハンマーミルでは大小様々な粒子が存在し、大きい粒子では 50 μ m 以上のものが観察された。ジェットミルでも大小の粒子が含まれているが、ハンマーミルよりも小さく、また JSF の方が JLF よりも粒子径が小さいことが確認できた。一方、湿式で粉碎したナノスケール試料(MMF)では乾式の試料とは形状が全く異なる粒子が観察された。すなわち、10 μ m 以上の塊片や 1 μ m 以下のナノスケール粒子(図中の矢印)が多数観察された。ナノスケール米粉の粒子径分布の測定では乾物試料に水を加えて、超音波ホモジナイザーと超音波照射を用いて試料を十分に解砕・分散させた状態で測定するため、粒子径分布の結果は最大でも 2 μ m 程度となっ

ている。しかし、SEM 観察では 10 μ m 以上の塊片が観察されることから、急速凍結中に粒子同士が凝集して塊片を形成したことが考えられる。

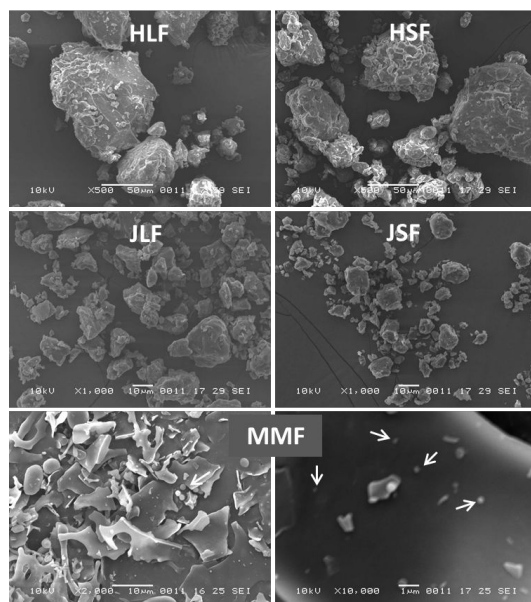


図3 作製した米粉のSEM観察画像

米粉の溶解度(Solubility)は平均粒子径の減少とともに増加傾向を示し、ナノスケール米粉(MMF)では粒度が最も粗い米粉(HLF)の約 20 倍の値を示した。同様に吸水性(WAI)も平均粒径の減少とともに増加しており、MMF の吸水性が最も高く、HLF の約 2 倍の値を示した。これより、MMF は粒子径の粗い米粉よりも生地やバターの吸水性を幅広く制御できる可能性が示唆された。損傷澱粉(Starch damage)の割合についても MMF が最も高くなっており、HLF の 8 倍以上となった。

表1 作製した米粉の特性

Sample	Mean Particle Size (μ m)	D90/D10 (-)	Solubility (%)	WAI	Starch Damage (%)
HLF	110.6 \pm 1.1a	6.2b	2.6 \pm 0.02a	1.9 \pm 0.0a	8.8 \pm 0.1a
HSF	97.3 \pm 2.9b	9.4a	2.9 \pm 0.04a	2.1 \pm 0.0b	13.2 \pm 0.2b
JLF	10.8 \pm 0.3c	9.9a	6.7 \pm 0.07b	2.0 \pm 0.1a	24.3 \pm 0.6c
JSF	5.6 \pm 0.3d	5.5c	12.0 \pm 0.2c	2.4 \pm 0.1c	28.2 \pm 0.1d
MMF	0.6 \pm 0.0e	2.2d	41.8 \pm 1.1d	3.7 \pm 0.1d	73.7 \pm 0.8e

Values followed by the same letter within a column are not significantly different ($P < 0.05$). D90 and D10 : Particle diameter at 90 and 10% of the cumulative particle size distribution, respectively. WAI = Water absorption index

(2) ナノスケール米粉のインビトロ消化性の解析

図 4 には α -アミラーゼを用いたインビトロ消化性の結果を示した。消化性は平均粒子径の減少と伴い増加傾向を示し、ナノスケール米粉(MMF)が最大値を示し、粒度が最も粗

い米粉(MMF)の 3 倍以上の値を示した。これは、米の単粒澱粉の粒子径は 4 μ m 前後であるのに対して、ナノスケール米粉では澱粉粒よりも遙かに小さい平均粒子径 600nm 程度まで粉砕されている。このため、澱粉粒自体がかなり細かく粉砕されている状態であり、結果的に酵素が作用しやすくなり消化性が急増することが考えられる。

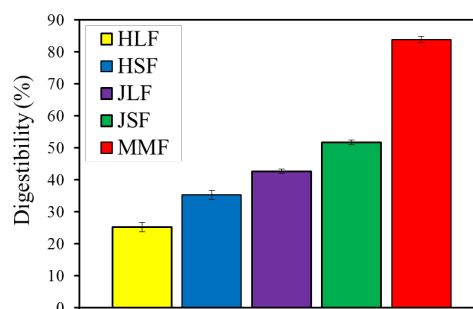


図4 α -アミラーゼによるインビトロ消化性の比較

(3) 特性相互の相関解析

ナノスケール米粉はマイクロスケール米粉とは吸水性や消化性が大きく異なる結果が得られたことから、その要因解析を行った(図 5)。消化性は平均粒子径と負の相関、損傷澱粉とは正の相関を示したが、相関係数は後者の方が高い値を示した。また消化性は吸水性とも高い相関を示した。これより、消化性は平均粒子径よりも損傷澱粉や吸水性に強く影響されることが明らかとなった。またナノスケール米粉での消化の作用メカニズムについては、澱粉粒の粒子径以下に粉砕されることによって損傷澱粉の割合が増大し、それに伴い澱粉の吸水が促進されて酵素の作用を受けやすくなり、結果的に消化性が増大したことが考えられる。

(4) その他

参考までに市販の米粉(平均粒子径:110 μ m 程度)を比較対象に揚げ玉を作製し、吸油性とテクスチャーの測定を試みた。吸油性については市販品に比較してナノスケール米粉では高くなる傾向が見られた。一方、テクスチャーについては、ナノスケール米粉では形状の安定した揚げ玉試料片の作製が困難であったため、機器測定での比較ができなかった。このため、今後の課題としては、できるだけ一定形状の揚げ玉等試料片を作製できるフライ調理の実験系を確立した上で、形状の安定した試料片を用いて、粒子径による吸油性やテクスチャーの相違の詳細な検討が必要と感じた。またナノスケールの米粉では粉体同士が凝集しやすいため、標準法となる粒子径分布測定法の確立が必要と感じた。

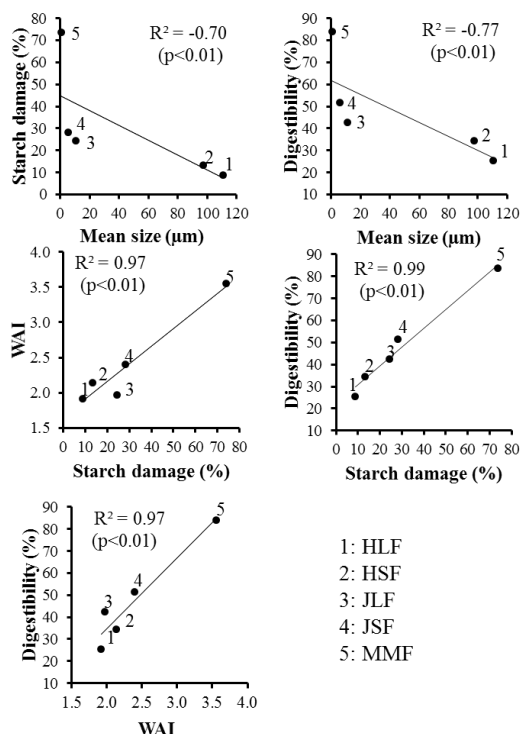


図5 特性間の相関関係

(5) まとめ

平均粒子径がナノスケールの米粉と乾式粉碎したマイクロスケール米粉との特性比較を行った。湿式メディアミルを用いて 24 時間連続粉碎することにより平均粒子径 600nm 程度のナノスケール米粉が得られた。作製した米粉試料の溶解性及び吸水性は平均粒子径の減少とともに増加し、ナノスケール米粉で最大値を示した。損傷澱粉及びインビトロ消化性もナノスケール米粉で最大となった。これらの結果より、ナノスケール米粉は全く異なる加工特性を有しており、高温加熱調理過程において生地や最終製品の吸水性や消化性の強化に利用できるのではないかと考察した。また消化性が平均粒径よりも損傷澱粉や吸水性が強く影響することが明かとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Hossen Md. Sharif, Itaru Sotome, Kazuko Nanayama, Tomoko Sasaki, Hiroshi Okadome. Functional properties of submicron sized rice flour produced by wet media grinding, *Cereal Chemistry*, 93(1), 53-57 (2016). 査読有り.
<http://dx.doi.org/10.1094/CCEM-03-15-0045-R>

〔学会発表〕(計 10 件)

岡留博司, Hossen Md. Sharif, 五月女格, 佐々木朋子. 湿式メディアミルにより作製したサブミクロン米粉の特性解析. 日本食品保蔵科学会第 65 回大会, 2016 年 6 月 25 ~ 26 日, 宮崎県宮崎市.

岡留博司, Hossen Md. Sharif, 五月女格, 佐々木朋子. 反復微粉碎による各種澱粉粒の破壊挙動の比較. 日本作物学会第 240 回講演会要旨集, 2015 年 9 月 5 ~ 6 日, 長野県長野市.

Md. Sharif Hossen, Itaru Sotome, Kazuko Nanayama, Tomoko Sasaki, Hiroshi Okadome. Submicron-scale rice flour: Effects on functional properties. 日本食品科学工学会第 62 回大会, 2015 年 8 月 27 ~ 29 日, 京都府京都市.

Hiroshi Okadome, Md. Sharif Hossen, Kazuko Nanayama, Itaru Sotome, Tomoko Sasaki. Analysis of processing properties of rice flour by micro/nano-scale grinding. The 3rd Asia Pacific Symposium on Postharvest Research, Education, and Extension (APS2014), 2014 年 12 月 8 ~ 11 日, ベトナム・ホーチミン市.

Md. Sharif Hossen, Itaru Sotome, Kazuko Nanayama, Tomoko Sasaki, Hiroshi Okadome. Enzymatic Digestibility and hydration properties of submicron-scale rice flour. The 3rd Asia Pacific Symposium on Postharvest Research, Education, and Extension (APS2014), 2014 年 12 月 8 ~ 11 日, ベトナム・ホーチミン市.

Md. Sharif Hossen, Itaru Sotome, Kazuko Nanayama, Hiroshi Okadome. Changes on hydration properties of submicron sized rice flour produced by wet media milling, 日本作物学会第 238 回講演会要旨集, 2014 年 9 月 9 ~ 10 日, 愛媛県松山市.

Md. Sharif Hossen, Itaru Sotome, Kazuko Nanayama, Hiroshi Okadome. Submicron scale pulverization of rice by media milling and enzymatic digestibility of the flour, 日本食品工学会第 15 回 (2014) 年次大会講演要旨集, 2014 年 8 月 8 ~ 9 日, 茨城県つくば市.

Hiroshi OKADOME, Md. Sharif HOSSEN, Itaru SOTOME. Effect of micro/nano-scale grinding on physicochemical property of rice flour, 2014 International Symposium on Rice Processing- From Grain to Flour-, 2014 年 6 月 6 日, 台湾台北市 (招待講演).

岡留博司, Sharif Md. HOSSEN, 五月女格, 竹中真紀子, 五十部誠一郎, 中嶋光敏, 清水直人. マイクロスケール米粉の加工用途の検討, 第 72 回農業食料工学会年次大会, 2013 年 9 月 11 ~ 12 日, 北海道帯広市.

Hossen Md. Sharif, Sotome Itaru, Nobuyuki Miura, Nanayama Kazuko, Okadome Hiroshi. Study of cooking and processing properties of rice flours obtained by

micro/nano-scale grinding, 日本作物学会
紀事第 236 回講演会要旨集, 2013 年 9 月 10
~ 11 日, 鹿児島県鹿児島市.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡留 博司 (OKADOME Hiroshi)

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総
合研究機構・食品研究部門・食品加工流通
研究領域・ユニット長

研究者番号 : 10353963