



Title	超遠心粉碎機による米のクラリオ微粉末化と各種米微粉末の微細構造
Author(s)	高橋, 寿明; 清水, 直人; フジウ, カテリーナ 他
Citation	日本食品工学会誌, 14(1), 59-67 https://doi.org/10.11301/jsfe.14.59
Issue Date	2013-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/68437
Rights	著作権は日本食品工学会にある。利用は著作権の範囲内に限られる。
Type	journal article
File Information	CryomillingT12370.pdf



原稿

① クライオ米微粉末化と微細構造

② 超遠心粉碎機による米のクライオ微粉末化と各種米微粉末の微細構造

③ 高橋寿明¹, 清水直人^{2†}, カテリーナ フジウ¹, マルコス ネヴェス¹,

市川創作¹, 中嶋光敏¹

④ ¹ 筑波大学 生命環境系

〒305-8572 つくば市天王台 1-1-1

² 北海道大学 大学院農学研究院

〒060-8589 札幌市北区北 9 条西 9 丁目

⑤ Pulverization of Rice by Ultracentrifuge Cryomilling and Microstructure of Various Pulverized Rice

⑥ Toshiaki TAKAHASHI¹, Naoto SHIMIZU^{2†}, Katerina Irene BUTRON FUJII¹,

Marcos Antonio das Neves¹, Sosaku ICHIKAWA¹, Mitsutoshi NAKAJIMA¹

⑦ ¹ Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennoudai,

Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

² Graduate School of Agriculture, Hokkaido University,

Kita9 Nishi9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8589, Japan

⑧ 清水 直人 Fax 番号 011-706-3848, E-mail: shimizu@bpe.agr.hokudai.ac.jp

1 英文要旨

2 Six types of pulverized rice were prepared by ultracentrifuge cryomilling. In this
3 method, the sample being pulverized is immersed in liquid nitrogen. The moisture
4 content and protein content of pulverized rice obtained were determined, and their
5 characteristics were compared with those of rice flours pulverized with three types of
6 mill (disk mill, hammer mill, and jet mill) and a purified non-waxy rice starch. The
7 particle size distributions of rice pulverized by ultracentrifuge cryomilling showed two
8 peaks at 14.3–17.8 μm and 52.1–92.1 μm . The most finely pulverized rice showed a
9 major peak at 17 μm . The pulverized rice particles (average particle size of 40 μm) were
10 composed of spherical shapes. Rice flour pulverized to a micro-scale point (average
11 particle size of 6.5 μm) was characterized by the enhancement of whiteness, which is
12 one of the most important indices for bulk flours.

13

14 **Keywords:** rice, pulverization, cryomilling, microstructure

15

1. 緒 言

我が国では、年間約 130 万トン（輸入米含む）の砕粒（精米工程で発生）や米穀粉が、米菓、包装餅、清酒、味噌などの原料素材として供給されている。穀粉と呼ばれている米からの微粉碎物品は、白玉粉、上新粉等があり、生のままで原料を水洗、水浸漬処理の後に粉碎を行う湿式処理が行われている。湿式処理は、粉碎時の熱や衝撃をおさえるため伝統的になされてきた。概して米粒の外周部は、硬度が高いが、水分を含ませて軟化させた後に粉碎する処理によって粉末の平均粒径は、約 120 μm 程度までに微粉末化される[1]。

米微粉末を平均粒径 数 μm スケールまで小さく微細化させることにより生ずる物理化学的性質の変化を期待して、米の微細化加工基盤技術に関する研究が進み、高度な微粉碎技術を適用させて、水を使用することなく、乾式粉碎でも高品質に穀粉製品を製造することが可能になってきている[2-3]。また、それら微粉碎物の加工特性・適性についても解明が進んでいる[4-8]。

クライオ粉碎、液体窒素浴下での乾式粉碎がでんぷん粒の粉碎に利用され、分子サイズや構造差への影響が報告されている[9]。クライオ粉碎は、液体窒素で凍結、粉碎原料の脆性を高め、常温粉碎よりも細かな微粉末が調製され、非熱的な粉碎方法のため食品素材の味、香、色が保持される利点がある[10]。

本研究では、乾式粉碎方法を用いて米を可能な限り小さく微細化させることを目標に、超遠心粉碎機による米のクライオ微粉末化の素過程の解析を試み、臼式製粉、ハンマーミ

ル，ジェットミル調製粉末の微細構造の観察と，バルク粉末表面色の結果についての報告
を行う．

2. 供試材料と実験方法

2.1 供試材料

原料として茨城産コシヒカリ玄米（平成 19 年産）を供試し，同玄米を精米機（CBS300AS：
（株）サタケ）で歩留 91 %の精米を調製した．玄米と精米それぞれを低温臼式製粉・ハン
マーミル（1018-S-3，（株）吉田製作所）で 2 回粉碎・ハンマーミル後にジェットミル（IDS，
日本ニューマチック工業（株））で粉碎の 3 種類の粉碎方法[2，3]で調製した米微粉末を
（独）農研機構 食品総合研究所より入手した．またハンマーミル（供給流量：18 kg/h，
スクリーン径：0.5 mm）による調製玄米微粉末（平均粒径：108 μm ，水分：11.3%）を
クライオ微粉末化の原料として供試した．形態観察・表面色の対照として，粳米でんぷん
（マイクロパール：上越スターチ（株））を使用した．

2.2 米微粉化

平均粒径 108 μm の玄米微粉末試料 25.0 g（乾物）を液体窒素に浸し-192℃の状態を 10
分間保持した．同試料を直接，超遠心粉碎機（ZM-200，（株）レッチェ）に投入して粉碎した．
超遠心粉碎機の粉碎部には 12 枚ブレードのローターと梯形孔：0.08 mm ステンレススクリ
ーンが備えられており，ローター回転数 6000，8000，10000，14000，および 18000 rpm に
設定して試料粉碎を行い，18000 rpm でのみ粉碎部に試料を 2 回通す（ダブルパス）処理条

件を設けた。

2.3 米微粉末成分分析

試料水分は、加熱乾燥法（105℃，24 時間）を用いて測定した。タンパク質含量は元素分析装置 (2400 CHN Elemental Analyzer, (株) パーキンエルマージャパン) で求めた窒素含量に換算係数 5.95 を乗じて求めた。

2.3 微細構造観察と粒度分布測定

走査型電子顕微鏡 (Scanning electron microscopy : SEM) Miniscope と画像ソフト TM-1000 (ともに (株) 日立ハイテクノロジーズ) を用いて、米微粉末の形態観察を行った。

レーザー回折式粒度分布測定装置 (LS 13 320, ベックマン・コールター (株)) を用いて、ドライパウダーシステムの仕様で粒度分布を測定した。粒子径測定原理の概略としては、レーザー (波長 750 nm) を試料粒子に照射し、その時に生じる回折・散乱光をフーリエレンズによりマルチディテクターに捕集して、回折・散乱光の強度を測定することで粒径を求める。試料粒子への光を照射した際の光が回折や散乱する。その回折・散乱光の強度パターンは粒子の大きさに依存するので、回折・散乱光の角度により異なる強度パターンを観測して粒径分布が求められる。レーザーの波長のおよそ半分である 0.4 μm がドライパウダーシステムでの測定の下限值である。

2.4 表面色

調製米微粉末 (クライオ微粉碎原料の玄米微粉末, クライオ微粉末 6 種, 各種米微粉末 6

種，粳米でんぷん）のバルク表面色（L*値，a*値，b*値）は，それぞれの調製微粉末をチャック付きポリエチレン袋に封入の後，色彩式差計（CR-200，コニカミノルタオプティクス（株））のプローブをポリエチレン袋の表面にあててを測定し，下式を用いて白度を算出した．

$$\text{白度} = 100 - \sqrt{(100 - L^* \text{値})^2 + a^* \text{値}^2 + b^* \text{値}^2}$$

3. 実験結果及び考察

3.1 超遠心粉砕機による米のクライオ微粉末化

超遠心粉砕機で調製した玄米微粉末の水分・収率・平均粒径を Table 1 に示した．ローター回転数 6000 rpm で微粉砕した微粉末の水分（10.8%）と収率（68.6%）がもっとも高かった．8000 rpm 以上の回転数で調製した微粉末では水分変動は 7.8～9.9%で，収率は 46.3～57.7%であった．ローター回転数が上昇するごとに，調製されたそれぞれの微粉末の平均粒径は低下した．ローター回転数 6000～14000 rpm の条件では，回転数が上昇するごとに微粉砕物の水分と収率の測定結果の低下が認められる．粉砕機の粉砕室を装置カバーで密封した状態で粉砕試験を進めるが，14000 rpm の条件では，他の条件と比べて収率が低かった．これは，他の条件と同じように粉砕室の気密性が保たれていなかったために，粉砕室からサブミクロンスケールの微粉砕物が一部漏れてしまい，回収微粉末の収率と水分の低下を生じさせた，粉砕時の装置セットアップ手順の問題であると思われる．18000 rpm でダブルパスした試料がもっとも平均粒径が小さく，21.9 μm であった．18000 rpm と 18000 rpm ダ

ブルパスの収率は、それぞれ 50.9 %, 56.6 %であった。同じような手順で粉砕試験を進めているものの、粉砕室からの微粉砕物損失の影響が避けられず、異なる収率を示したものと考えられる。また、回収された米微粉末それぞれの水分については、収率の高い条件では、水分が高い傾向にあることから、18000 rpm のシングルパスより 18000 rpm ダブルパスの方が、水分が高くなった。粉砕に要する時間はいずれの条件も約 2 分間であり、粉砕直後の品温は 25℃以下であった。

原料玄米微粉末と 6 種の粉砕条件を用いて調製された玄米微粉末の粒径分布を Fig. 1 に示した。原料玄米微粉末の粒子体積頻度は、194.2 μm 付近の粒子が最大であった。ロータ一回転数を 6000 から 18000 rpm まで高めて調製された 5 種類の玄米微粉末の粒度分布には、14.3~17.8 μm と 52.1~92.1 μm の付近に 2 つのピークが認められ、最も平均粒径の細かい微粉末は、17 μm を中心とする粒径分布に移行した。

超遠心粉砕機で調製した玄米微粉末の SEM 観察像を Fig. 2 に示した。材料のハンマーミルで調製した平均粒径 108 μm の玄米微粉末では様々な形状の粒子が観察された。粒子表面が不規則なものや滑らかな曲面に近い粒子が観察された。丸い粒子の表面はでんぷん粒がつぶれているか研削されたように見られた。超遠心粉砕機による粉砕で粒径が小さくなるにつれて、形状が球に近い粒子が多くなり、粒子サイズも揃っていった。21.9 μm の玄米微粉末では、粒度分布から分かるように比較的均一な粒径の粒子が多いだけでなく、その形状も同様のものが多く観察された。粒子表面の SEM 観察像 (Fig. 2: (b), (c), (d), (e))

には、亀裂が認められ、これらがもとになって、より強力な衝撃力やせん断力が粒子に作用した際に、微細化が進むものと考えられる。超遠心粉碎機における粉碎過程では、投入試料が、高速ローターに接触して衝撃粉碎され、更に、ローター外周のリング状のステンレス梯形孔を粒子が通過する際のせん断により破壊される。粒子に作用する力はローター回転数に依存する。回転数が増加すると、粒子は、衝撃破壊され、スクリーンに粒子が接触する頻度が高くなり、粒径の低下と形状が均一化する。粒子形状が球形に近くなるのは、スクリーン通過時に粒子に加わるせん断力で多面体粒子の角が削れていく。玄米微粉碎物の粉碎は瞬時になされるが、粒子には衝撃力とせん断力の複合された力が働き、5種の玄米微粉末の粒子分布には、 $14.3\sim 17.8\text{ }\mu\text{m}$ と $52.1\sim 92.1\text{ }\mu\text{m}$ の2つのピークが認められ、最も平均粒径の細かい粉碎粉末は、 $17\text{ }\mu\text{m}$ を中心とする粒径分布へと変化、収束していったものと考えられる。また、スフェロゾームと呼ばれる $1\sim 3\text{ }\mu\text{m}$ 程度の脂肪球がいずれの試料でも観察された[12]。スフェロゾームの数はどの試料でもほとんど変化していなかった。

3.2 各種米微粉末の成分と微細構造

低温臼式製粉、ハンマーミル、ジェットミルで調製した米微粉末試料の水分とタンパク質含量と平均粒径を Table 2 に示した。低温臼式、ハンマーミルで調製した試料の平均粒径は、各々約 $100\text{ }\mu\text{m}$ であり、市販の上新粉の平均粒径 ($128\text{ }\mu\text{m}$ [13], $135\text{ }\mu\text{m}$ [4]) と比べて若干小さな値であった。ハンマーミルダブルパス試料の平均粒径は約 $40\text{ }\mu\text{m}$ 、ハンマーミル後にジェットミルで粉碎した試料では $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であった。微粉末の水分は低温臼式

製粉で調製した試料がもっとも高かった。低温臼式製粉法では、製粉時の品温上昇を抑制
することができるため、水分蒸発量が少なかったと考えられる。ハンマーミルでは粉碎時
に粉碎室の温度が 40℃前後まで上昇してしまう仕様のために、粉碎時に粉体に外力が加え
られ、熱が発生して温度上昇が生じ、米微粉末の水分が損失したものと考えられる。ジェ
ットミルでは衝突に利用した圧縮空気が膨張する際に温度が低下する（ジュールトムソン
効果）ため低い温度で粉碎される[11]。特に、精米微粉末については、最も微粉化が達成
されているにもかかわらずハンマーミルで 2 回粉碎した試料よりも水分が高く維持され
ていた。粉碎後の製品微粉末について、平均粒径が小さくなるとタンパク質含量が減少す
る傾向が見られた。粗粒はタンパク質を多く含んでいる[1]。粒径が 100 μm 程度の粗粒の
ままであれば、タンパク質を保持しておくことができるが、粉碎によるサイズダウンの際、
高タンパクのフラクションが粉碎室外に排出されてしまい最終品に残存しなかったことが
予想される。

対照粳米でんぷんの SEM 観察像を Fig. 3 に示した。それら粒子の表面は、滑らかな多面
体であり、複粒は見られず、単粒のみが観察された。低温臼式製粉、ハンマーミルダブル
パス、ハンマーミルの後ジェットミルで調製した米微粉末の SEM 観察像を Fig. 4 に示した。
平均粒径が小さくなるにつれて、表面に傷や凹凸のあるでんぷん粒が多く見られるように
なった。BR-1 と BR-2 では、スフェロゾームが多く観察されたが、原料精米では糠の部分が
除去されているため、BR-3 と精米微粉末ではほとんど存在しなかった。また、臼式製粉に

よる米微粉末 BR-1 と WR-1 では粒表面には多くの凹凸が確認された。これらは複粒の境界毎に形成されており、窪みの奥には亀裂が存在することも予想され、粒子に更なる外力を与えることが可能な粉碎方式のハンマーミルやジェットミルを用いた際、粒子に作用する衝撃力やせん断力等により小さな粒子を生成させるものになるものと考えられる。でんぷんの粒表面がほぼ無傷なまま存在していた。米粒の糊粉層は、内側の胚乳に比べタンパク質含量が高く[14]、破壊し難い構造体である。そのため臼式製粉時にせん断力や摩擦力が粒子に作用した際に、粗粒の単位で残存した部位であると考えられる。ハンマーミルによる BR-2 と WR-2 では、複粒に近い形の粒子が多く見られ、形状は球状のものが多かった。ジェットミルによる BR-3 と WR-3 では、でんぷん粒が 3 粒子程度のより小さな粒子が多く見られたが単粒同士の境界が判別しづらく、その形状は圧扁したようなものから多角形状のものまで幅広く存在した。

粒径が 100 μm 付近の玄米微粉末を製粉方法で比較すると、ハンマーミルで調製した米微粉末粒子 (Fig. 2(a)) は丸い粒子であるのに対して、低温臼式で調製した粒子 (Fig. 4(a)) には、多面体構造が観察された。

平均粒径がほとんど変わらないハンマーミル粉 BR-2 (平均粒子径 : 41.7 μm , Fig. 4(c)) と超遠心粉碎機で調製した 44.6 μm 粉の形状 (Fig. 2(c)) を比較した。44.6 μm 粉の粒子は、BR-2 の粒子と比べてより角が削られて丸い形状であった。

3.3 表面色

表面色の測定結果を Fig. 5 に示した．試料形態別の比較では，L*値は粳米でんぷんが最も高く，ついで精米微粉末，玄米微粉末の順に低下していった．a*値と b*値では逆に粳米でんぷんが最も低く，ついで精米微粉末，玄米微粉末の順に高かった．玄米微粉末 L*値について，クライオ微粉碎粉末は，臼式製粉，ハンマーミル，ジェットミルによる微粉末に比べて高い値を示した．平均粒径で比較すると，玄米微粉末・精米微粉末ともに L*値は粒径が小さいほど高くなり，b*値は逆に低くなり黄色の発色強度が低下した．粒径が 50 μm 程度までの米微粉末は，粒径が細かいほど白いとする Nishita[15]，有坂ら[16]の結果とほぼ一致しているものと判断される．精米微粉末の a*値はほぼ変わらなかったが，玄米微粉末では粒径が小さいほど低くなり，無採色に近づいていく性質は，米微粉末を利用しているうえで大きな利点となろう．粒径が数 μm のマイクロスケールまで小さくなるほど，対照粳米でんぷんに表面色が近づいていき，粒径の小さい米微粉末の表面色がより白くなることが明らかになった．

糠は胚乳部よりも L*値が低く，a*値と b*値が高い[14]．玄米微粉末にはこの糠の部位が含まれているため，粳米でんぷん・精米微粉末よりも L*値が低く，a*値と b*値が高かった．精米微粉末と粳米でんぷんではタンパク質含量が大きく異なるので，その差により表面色の違いが現れたものと考えられる．

3.4 クライオ米微粉碎の素過程

クライオ微粉碎には，ハンマーミルで調製された平均粒径 100 μm の玄米微粉末を供試

して、超遠心粉碎機を用いてクライオ微粉碎を行い、平均粒径が、約 70 μm から約 20 μm までの範囲で、6 種の調製試料を得た。ローター回転数 10 000 rpm の条件で粉碎された米微粉末の粒度分布は、15.7 μm と 69.6 μm にピークが認められ 18 000 rpm まで回転数を高めた粉碎条件では、17.2 μm 付近に粒度分布のピークが収束していった (Fig. 6)。この結果から、粉碎過程においてローター回転数を上昇させ、遠心力を高めることにより 80~200 μm 程度の粒子が 15~30 μm の複粒程度までサイズダウンされることが明らかになり、超遠心粉碎機のローター回転数の操作による米微粉碎物の粒子径制御の可能性が示された。単粒程度の大きさまで米をダウンサイジングさせるためには、粉碎時に粉末粒子への外力を高める強力な機械的操作が必要である。

4. 結論

低温臼式、ハンマーミル、ジェットミル、超遠心粉碎機と粉碎原理の異なる四種類の粉碎方法によって調製された米微粉末を分析に用いた。平均粒径が約 100 μm 、約 40 μm 、約 10 μm の試料を供試した。クライオ米微粉碎方法を用いて、超遠心粉碎機の粉碎条件を変化させることにより 20~70 μm の試料を調製した。

調製米微粉末の成分を比較すると、低温臼式で製粉された試料では成分（水分とタンパク質）が保持されており、ハンマーミルダブルパス・ハンマーミルの後にジェットミルで粉碎されたそれぞれの試料では、水分とタンパク質含量が低下していた。SEM による形態観察から、平均粒径が小さくなるほど表面の粗いでんぷん粒が増加していた。粉碎方法によ

り粒子の大きさだけでなく表面形状も違う様子が観察された。低温臼式で調製された米微
粉末の粒表面には凹凸や無傷なでんぷん粒子が観察された。スクリーンとのせん断を利用
する超遠心粉碎機やハンマーミルで調製された微粉末は滑らかな曲面を持つ粒子が多かっ
た。表面色は玄米微粉末よりも精米微粉末のほうが対照とした粳米でんぷんの表面色に近
かった。クライオ微粉碎の効果としては、玄米微粉末の L*値（明度）が顕著に高くなる。
玄米微粉末・精米微粉末ともに表面色は粒子の平均粒径が小さくなるほど、白度が上昇し、
粳米でんぷんに近づいていく特性が加工適性として認められた。

謝辞

本研究は、農林水産省 食品ナノテクノロジープロジェクトで実施されたことを記し、謝
意を表します。

引用文献

- 1) S. Saito; Rice starch and rice powder as materials for food industry (in Japanese).
Denpun Kagaku, **27**, 295-313 (1980).
- 2) A. Horigane, Y. Kitamura, S. Horita; Pulverization of technology under low
temperature by stone mill for cereals (in Japanese). in: M. Nakajima, S. Sugiyama
(Eds.), Food Nanotechnology, CMC Publishing Co. Ltd., Tokyo, 2009, p. 133–141.
- 3) H. Okadome; Pulverization of cereals by the jet mill and hammer mills (in Japanese).
in: M. Nakajima, S. Sugiyama (Eds.), Food Nanotechnology, CMC Publishing Co.,

- 214 Ltd., Tokyo, 2009, p. 142–149.
- 215 4) I. Sotome, M. Tsuda, M. Okabe, S. Oshima, M.S. Hossen, M. Itakura, M. Takenaka H.
216 Okadome, S. Isobe; Effect of milling methods and particle size on Carr's
217 flowability and floodability indices of rice flour (in Japanese). Japan J. Food
218 Eng., **10**, 95–106 (2009).
- 219 5) K. Yoza, J. Matsuki, H. Okadome, M. Okabe, K. Suzuki, T. Okunishi, Y. Kitamura,
220 A. Horigane, S. Yamada, U. Matsukura; Breads made from rice flours prepared by
221 different milling methods. Rept. Natl. Food Res. Inst., **74**, 37-44 (2010).
- 222 6) MS. Hossen, I. Sotome, M. Takenaka, S. Isobe, M. Nakajima, H. Okadome; Effect
223 of particle size of different crop starches and their flours on pasting properties.
224 Japan J. Food Eng., **12**, 29–35 (2011).
- 225 7) N. Shoji, Y. Hanyu, S. Mohri, S. Hatanaka, M. Ikeda, C. Togashi, T. Fujii;
226 Evaluation of powder and hydration properties of rice flour milled by different
227 technique(in Japanese). Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, **59**, 192-198
228 (2012).
- 229 8) M. Shibata, J. Sugiyama, CL. Tsai, M. Tsuta, K. Fujita, M. Kokawa, T. Araki;
230 Viscoelastic properties and air-bubble structure of bread containing gelatinized
231 rice porridge (in Japanese). Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, **58**,

- 232 196-201 (2012).
- 233 9) A. F. Devi, K. Fibrianto, P. J. Torley, B. Bhandari; Physical properties of cryomilled
234 rice starch, *J. Cereal Sci.*, **49**, 278-284 (2009).
- 235 10) T. Yokoyama; Syokuhin funsai ni tokuyu no funnsai gijyutsu (in Japanese). in: H.
236 Hosaka (Eds.), *Syokuhin setsubi • Kikijiten*, Sun Choh Publishing, Tokyo, 2002, p.
237 24.
- 238 11) K. Iinoya, S. Miwa; Kaitei shinpan kagakukougaku tsuron II (in Japanese). Asakura
239 shoten, Ltd., Tokyo, 1989, p. 44.
- 240 12) K. Takano; Mechanism of lipid hydrolysis in rice bran, *Cereal Foods World*, **38**,
241 695-698 (1993).
- 242 13) H. Takano, H. Toyoshima, A. Watanabe, Y. Koyanagi and Y. Tanaka; Effect on
243 rheological properties and bread making properties of composite rice-wheat flour in
244 relation to the difference in particle size of the rice flour (in Japanese), *Rept. Natl.*
245 *Food Res. Inst.*, **48**, 43-51(1986).
- 246 14) T. Itani, M. Tamaki, E. Arai and T. Horino; Distribution of amylase, nitrogen, and
247 minerals in rice kernels with various characters, *J. Agric. Food Chem.*, **50**,
248 5326-5332 (2002)
- 249 15) K.D. Nishita, M.M. Bean; Grinding methods: Their impact on rice flour properties,

- 250 Cereal Chem., **59**, 46–49 (1982).
- 251 16) M. Arisaka K. Nakmura, Y. Yoshii; Properties of rice flour prepared by different
- 252 milling methods, Denpun Kagaku, **39**, 155–163 (1992).

和文要旨

和文表題：超遠心粉碎機による米のクライオ微粉末化と各種米微粉末の微細構造

著者名：高橋寿明，清水直人，カテリーナ フジウ，マルコス ネヴェス，市川創作，
中嶋光敏

ハンマーミルで調製された平均粒径 $108\ \mu\text{m}$ の米微粉末を一次原料にして，粉末の液体窒素浸漬処理の後，超遠心粉碎機を用い，ローター回転数を 6000, 8000, 10000, 14000, 18000, 18000 $\times 2\ \text{cycle rpm}$ に設定して米のクライオ微粉末化を試み，6 種の米微粉末を調製した．それら米微粉末の成分と粒径分布の測定を行い，米のクライオ微粉化の素過程に関して，各種米微粉末（低温臼式製粉粉，ハンマーミル粉，ジェットミル粉）の成分や平均粒径を参考にしながら解析を進めた．次いで，走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning electron microscopy) を用い粳米でんぷんの粒子画像を対象にして，超遠心粉碎機による米微粉末と各種米微粉末の微細構造の観察を行った．超遠心粉碎機による米微粉化の素過程として，5 種の玄米微粉末の粒子分布には， $14.3\sim 17.8\ \mu\text{m}$ と $52.1\sim 92.1\ \mu\text{m}$ の 2 つのピークが認められ，最も平均粒径の細かい粉碎粉末は， $17\ \mu\text{m}$ を中心とする粒径分布へと変化，収束していった．SEM によって観察された平均粒径 $40\ \mu\text{m}$ の粒子は，輪郭が丸く，球形に近かった．平均粒径 $10\ \mu\text{m}$ 以下の粒子の構造は，粳米でんぷんの一次粒子に近い多面体であった．また，粉末の加工適性として重要な品質項目であるバルク粉末表面の白色度について，マイクロスケールまで微細化された米微粉末は，より白色度が高まり，細かいほど白とする傾向は，数マイクロまでサイズダウンされた米微粉末についても言えるとともに，白度が有用な指標であることが分かった．

276

277

278 Table.1 Moisture content, average particle size and yield of pulverized rice

279

by the ultra centrifuge cryomilling.

	Moisture	Yield	Average particle
	(%)	(%)	size(μm)
6000 rpm	10.8	68.6	71.4
8000 rpm	9.9	57.7	44.6
10000 rpm	9.7	48.5	38.4
14000 rpm	7.8	46.3	33.4
18000 rpm	9.1	50.9	27.0
18000 rpm $\times$ 2	9.5	56.6	21.9

280

281

282

283

284

Table.2 Moisture and protein content, average particle size of

285

rice starch and the pulverized rice by disk-mill,

286

hammer mill and jet mill.

			Moisture	Protein	Average particle size
			(%)	(%)	(μm)
Method					
Rice starch			10.7	0.3	38.1
Brown rice flour	BR-1	Disk mill	13.5	7.4	101
	BR-2	Hammer mill $\times 2$	9.7	5.6	41.7
		Jet mill after			
	BR-3	hammer mill	8.9	5.5	9.7
White rice flour	WR-1	Disk mill	11.8	6.2	97.0
	WR-2	Hammer mill $\times 2$	9.8	4.9	43.0
		Jet mill after			
	WR-3	hammer mill	10.0	5.5	6.5

287

288

Figure legend

Fig.1 Particle size distribution for the pulverized rice.

Fig. 2 SEM images for the primary brown rice flour and pulverized rice by the ultracentrifuge cryomilling with four rotational conditions.

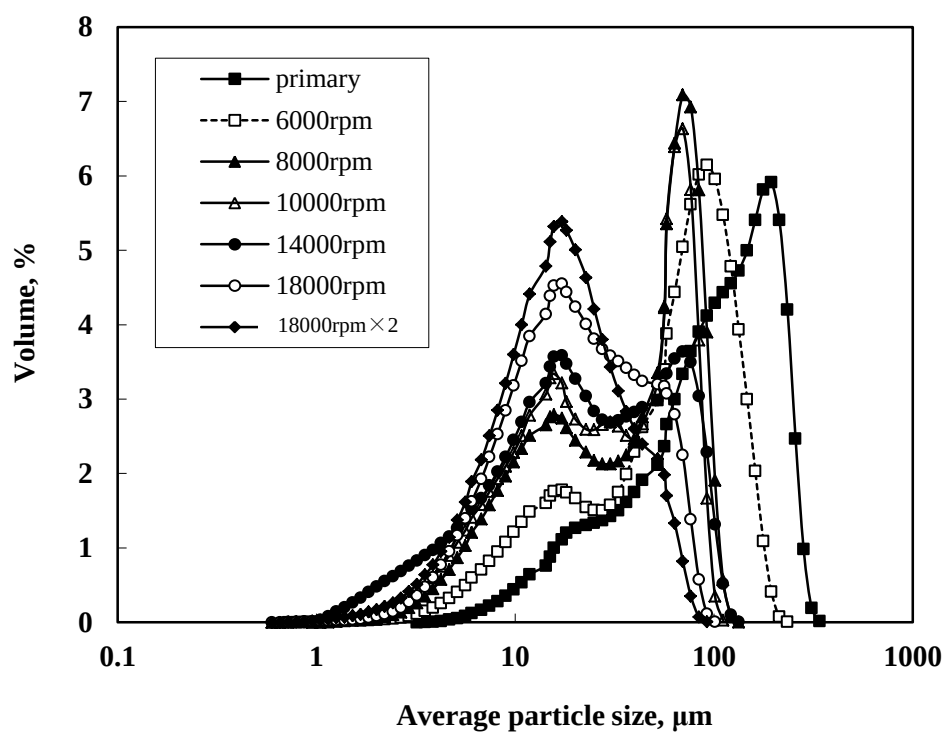
Fig.3 SEM image for the rice starch ($\times 5000$)

Fig.4 SEM images for the brown/white rice flours by disk-mill, hammer mill and jet mill after hammer mill.

Fig. 5 Surface color intensity for the bulk pulverized rice and rice starch.

Fig. 6 Rice pulverized mode and the whiteness change in size reduction of rice particle.

305



306

307

308 Fig. 1 Particle distribution for the pulverized rice.

309

Fig.1 Takahashi et al.

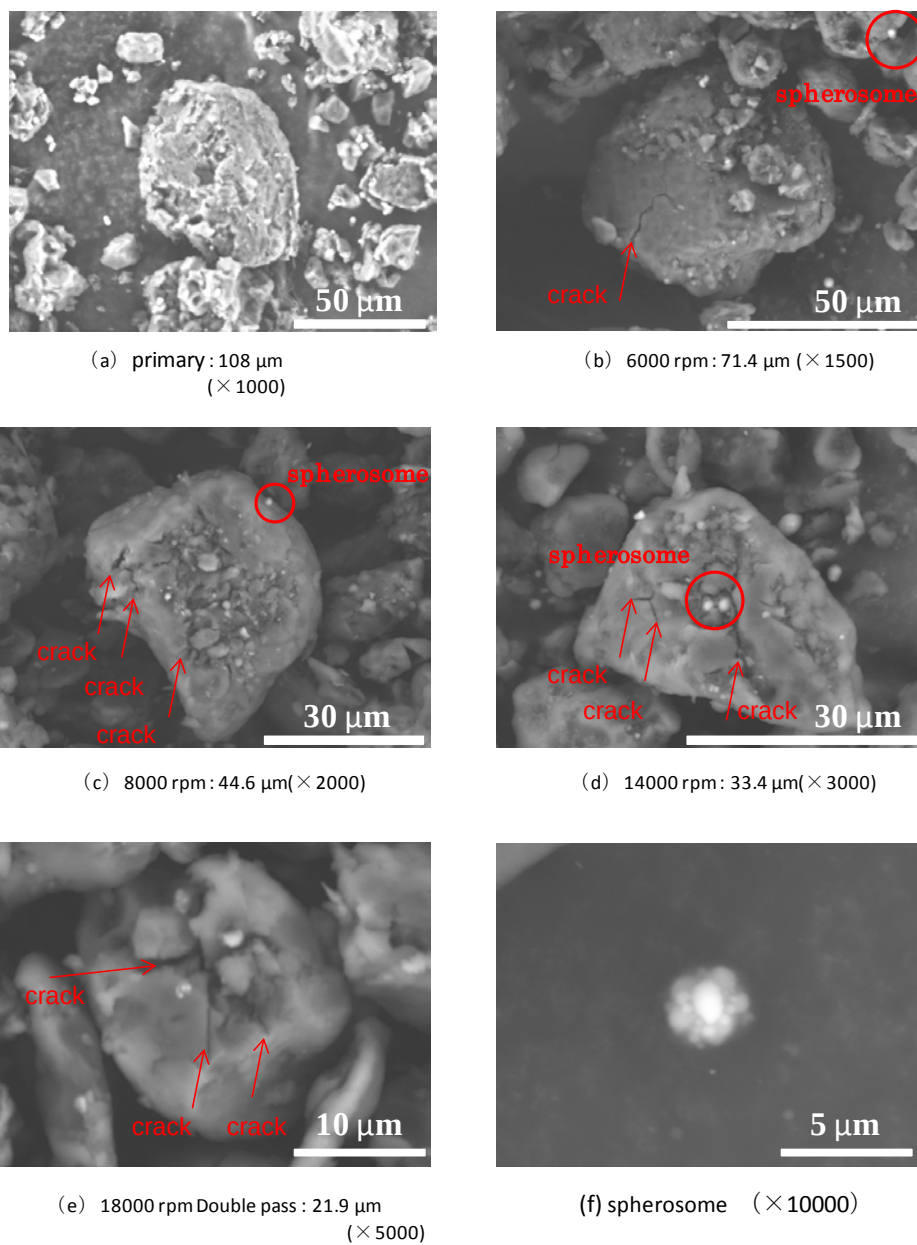


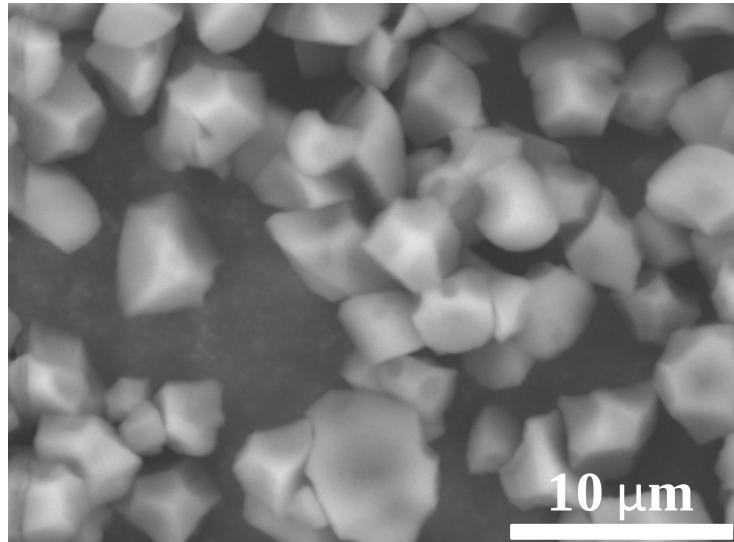
Fig.2 SEM Images for the primary brown rice flour and pulverized rice by the ultra centrifuge cryomilling with four rotational conditions.

Fig.2 Takahashi et al.

317

318

319



320

321

322

Fig. 3 SEM image for the rice starch ($\times 5000$)

323

Fig.3 Takahashi et al.

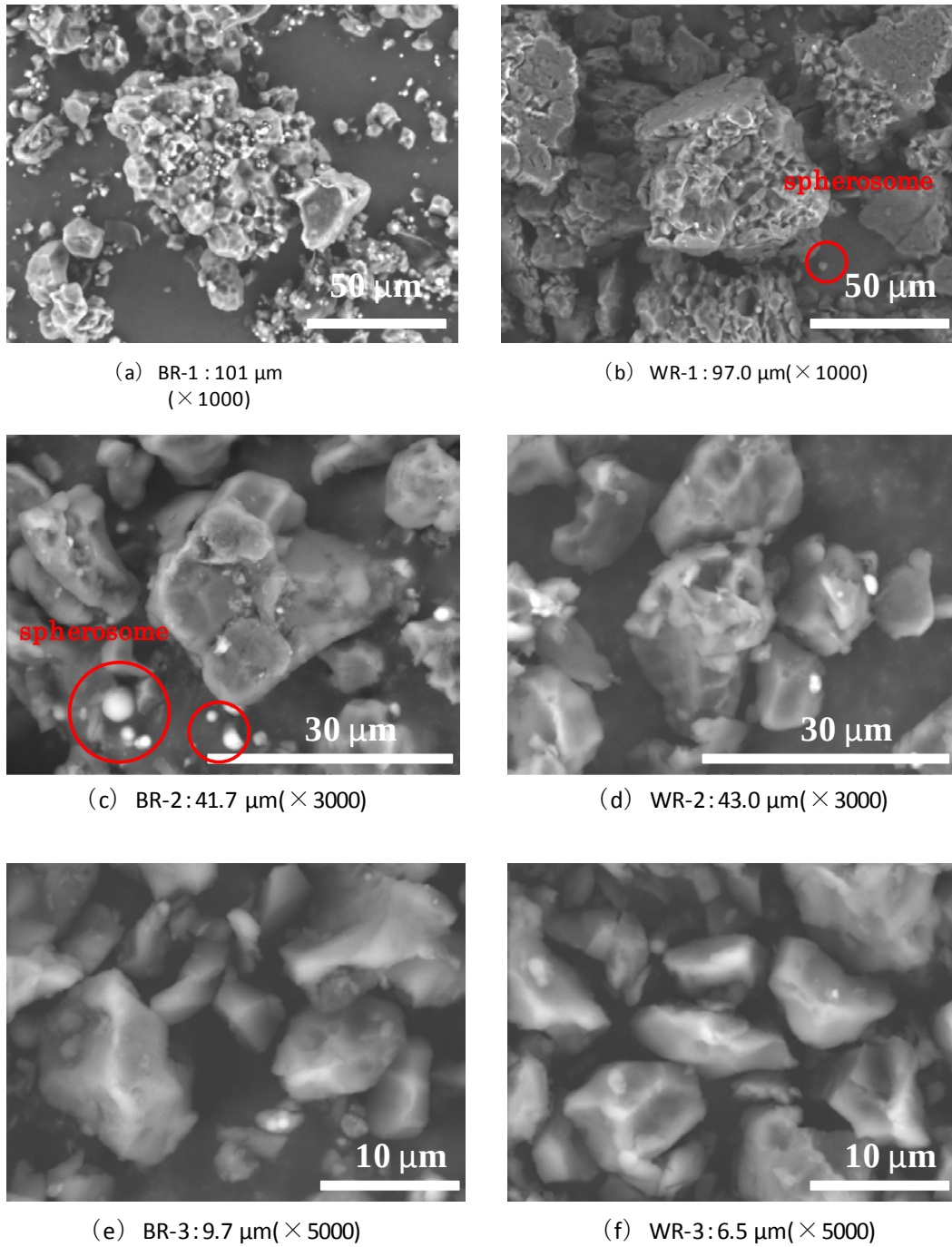


Fig. 4 SEM images for the brown/white rice flours by disk-mill, hammer mill and jet mill after hammer mill.

Fig.4 Takahashi et al.

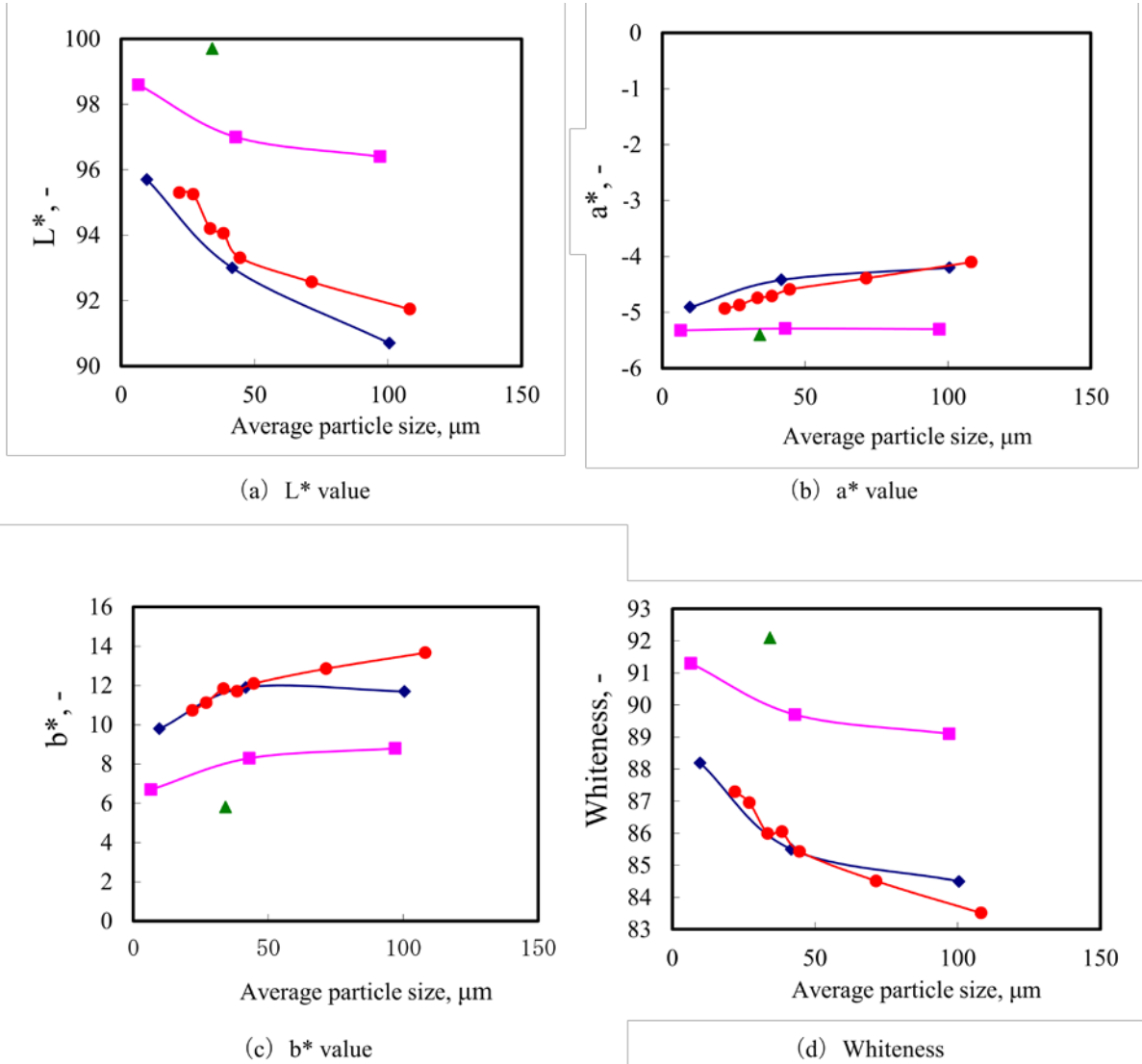


Fig. 5 Surface color intensity for the bulk pulverized rice and rice starch.

- ◆ brown rice flours
- brown rice flours by cryomilling
- white rice flours
- ▲ rice starch

Fig.5 Takahashi et al.

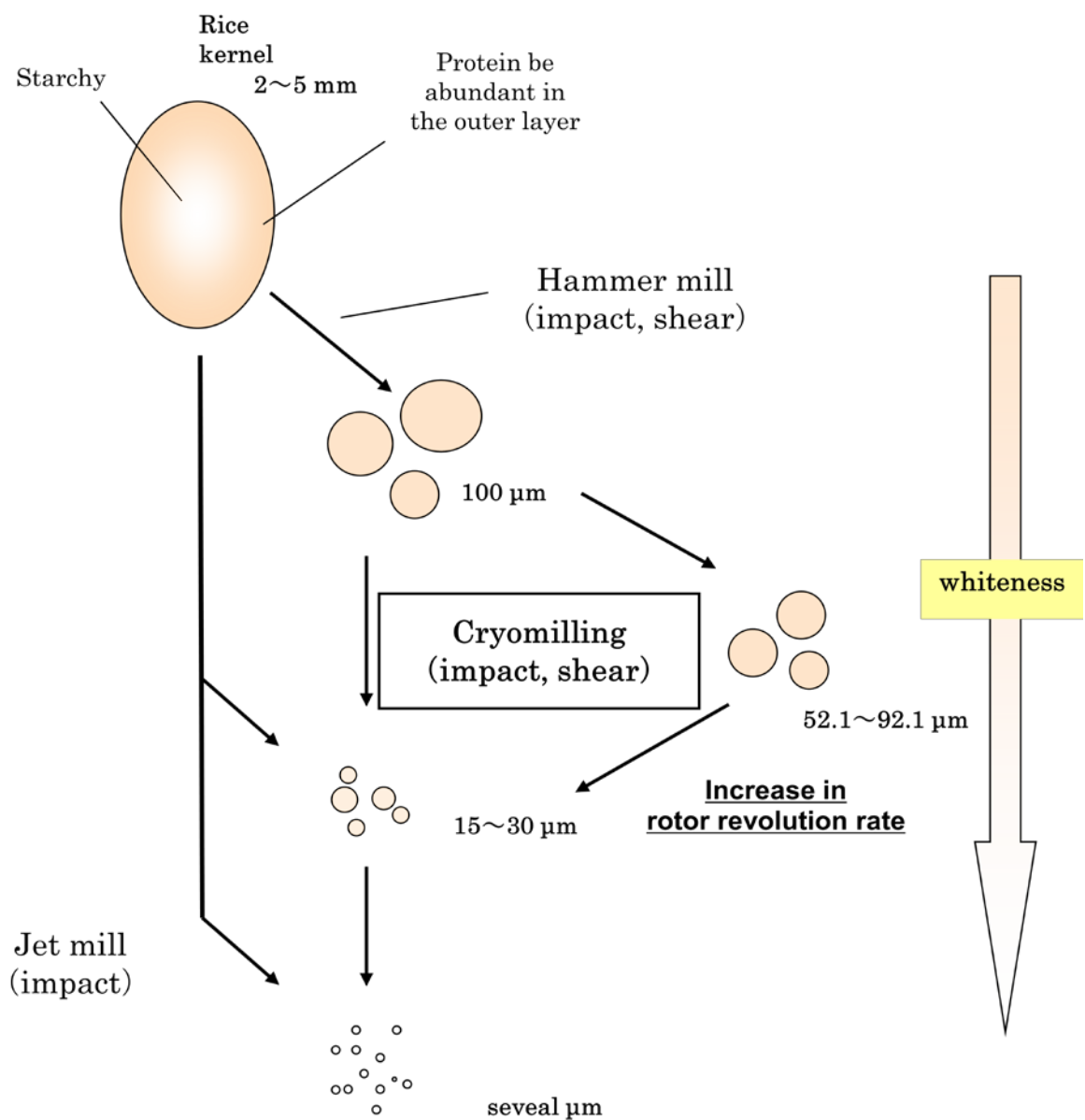


Fig.6 Cryomilling of pulverized rice leads to differential effect of particle size and surface color.

Fig.6 Takahashi et al.