報 文

空気分級, 静電分級による高蛋白質含量米粉の調製

野口明徳*・佐藤 修**・Zahurul HAQUE***・斎尾恭子*

Preparation of Protein Rich Flour from Rice by Air Classification and Electrostatic Separation

Akinori NOGUCHI*, Osamu SATO**, Zahurul HAQUE*** and Kyoko SAIO*

*National Food Research Institute, 2-1-2, Kannondai, Yatabe, Tsukuba, Ibaraki, 305

**Agricultural Station of Ibaraki Prefecture, Nanbara, Kokui, Mito, Ibaraki, 311-42

***Institute of Nutrition & Food Science, Dacca University, Dacca-2, Bangladesh

Preparation of protein rich flour from rice was investigated by air classification and electrostatic separation. Electron microprobe X ray analyzer revealed that rice protein was distributed mainly in about 25% region of endosperm from its outerlayer. After being polished from 91% to 75%, rice flour was found to have the protein content upto 14%, compared with 7% of rice grain polished to 91% of initial weight. Moreover, this protein rich flour was raised up its protein content at maximum to 17.5% after air classification and its main particle size was estimated around 40μ by scanning electron microscopy. Electrostatic separation can be useful to the rice coarse flour (over 100μ) dispersible in the air but not suitable for rice fine flour (below 100μ) because of their tight aggregation. Protein rich coarse flour was always attracted to the positive electrode under the low potential around 2.5 kV, which indicates that protein rich coarse flour has negative charges on the surface. However, rice flour was distributed uniformly between electrodes regardless of the protein content when high voltage was applied over 7 kV. It is noticeable that even fine flour below 30μ was increased its protein content by 2% after repeated electrostatic separation. This separation would be promising if its efficiency was improved.

(Received Oct. 14, 1980)

近年の米の豊作, 消費減退は, 過剰米と古米蓄積の問題をより深刻なものにしつつある。この問題を解決する為には, 消費サイドでは既存の消費形態をより強く推進するか, 又は全く新しい食品あるいは食品素材を米から作成する以外に方法はないと言っても過言ではない, 特に後者の食品(素材)作成は, 種々の状況から見て, 問題解決に大きな比重を占めると予想される。一方, 素材作成においては, 生成物のテクスチャーの良否は, 素材利用のプロセスにおいて, 水処理が介在する場合, 蛋白の存在によって左右される。一般に, 製造条件にも依存するが, 蛋白質の含量が高い程, 強靱なテクスチャー

ーが得られる。食品製造においては, 水処理は必至であり, したがって, 蛋白質含量の高い原料を調製する方法の開発が, 第一に必要となる。この点について, 乾式的に高蛋白米粉調整を空気分級, 静電分級によって試みた結果, いくつかの興味ある知見を得たので, 報告する。

実験方法

1. 材料

昭和53年度産, 宮城産ササニシキを使用した。中野式搗精機にて, 91% 搗精した後, 全粉碎, 又はさらに

* 農林水産省食品総合研究所 (〒305 茨城県筑波郡谷田部町観音台 2-1-2)

** 茨城県農業試験場 (〒311-42 茨城県水戸市上国井町南原)

搗精処理を施した。91% 搗精時の米水分は 11%, 蛋白含量は 7.1% であった。

2. 米分調製

搗精処理による場合は, 中野式搗精機を用いて, 各搗精度段階で米粉を採取し, 空気分級処理を行って分画した。全粒粉碎の場合は, Fig. 1 に示す処理過程を経て,

Fig. 1 Schematic flow diagram of rice milling

米粉を調整した。すなわち, 91% 搗精米をプレーキロールミル (R-3) で荒粉砕し, 続いて, ビンミル (Alpine, 160 Z) で微粉砕した。さらに微粉砕の必要がある場合は, 続いてジェットミルで超微粉砕し, いずれの場合も 10 μ 単位で, 空気分級機により, 分画した。なお, いずれの場合も得た米粉の水分は 10% に調整した。

3. 蛋白質含量

マイクロケルダール法¹⁾によって, 米粉の N 含量を求め, 係数 6.25²⁾を用いて, 蛋白質含量とした。カールフィッシャー法³⁾によって水分を確認し, 補正を行った。

4. 走査型電子顕微鏡 (SEM), X線マイクロアナライザー

分級後, 米粉の粒度確認及び米粉形状, 表面観察は走査型電子顕微鏡 (Hitachi S-500A) を用いて行った。前処理は白金-パラジウムによるイオンコーティング (Eiko, IB-5) である。米粒内の蛋白質分布は X線マイクロアナライザー (Shimadzu, EMX-SM 7) によって, 次の条件で行った。加速電圧 20 kV, 使用結晶, N: PbSD, P: ADP, Ca: LiF。前処理は, 米を長軸方向

に二分割後, ガラスナイフで表面を平坦化し, カarbon 蒸着を行った。

5. 空気分級機, 静電分級機

使用した空気分級機は, ドナルドソン A-12, 及びマルチプレックス・ジグザグ分級機 100 MZR である。静電分級機は試作機で Fig. 2 に示す構造を持つ。印加直流電圧の脈流有無はシンクロスコープで検討し, 0.5% 以下である事を確認した。

Fig. 2 Scheme of electrostatic separator
DC supply: 0~20 kV. Electrode size: width (100mm) × length (400 mm)

実験結果と考察

1. 米粒内蛋白質分布

高蛋白質米粉を分級によって得るためには, 高蛋白質量の原料を利用する事が望ましいのは当然である。その為, まず米粒内で蛋白質が, どの様に分布しているのかを X線マイクロアナライザーで検討し, 得た結果を Fig. 3 に示した。アリュウロン層に局在する多量のリンが米胚乳部の縁を示している。窒素の分布は胚乳外表部から約 25% 胚乳内部まで高い存在量を示し, それ以後, 急速に低下してほぼ一定値を示した。この結果は, 米粒短軸方向でのものであるが, 長軸方向でも同様の結果であった。したがって, 高蛋白質量の米粉を搗精によって得るには, 胚乳外表部より約 25% 原形搗精すれば, 良い事になる。

Fig. 3 X ray microanalysis of N, P and Ca distribution in Rice

Acc. volage: 20 kv, Crystals: ADP, LIF and PbSD

2. 搗精米粉

玄米より，91%搗精し，精白米作成後，1. の結果に基づいて，さらに搗精処理を行い，各段階で得られた米粉の蛋白質含量を Table 1 に示した。精白米の蛋白質含量

Table 1 Data on the progressive polishing of rice

Step	Moisture content (%)	Protein content (%)	Polish (%)
1	11.9	14.7	87.4
2	12.5	14.2	84.8
3	12.2	14.8	79.4
4	12.3	14.0	76.8

約7%に比較して，全搗精段階で14%以上の値を示し，1. の結果を裏付けている。これらの高蛋白質米粉をさらに粒度別に空気分級により，分画した結果を Fig. 4 に示した。最高蛋白質含量は，87.4% 搗精米粉の 40 μ

Fig. 4 Air classification of rice flour prepared by Nakano method

Step: 1, ○; 2, ●; 3, ○; 4, △
These polishing steps are same as steps shown in Table 1

粒度範囲にあり，17.5%であった。最大収率は，いずれの搗精段階でも 70 μ 付近にあり，かつその時の蛋白質含量は，ほぼ一定して14%を示した。各搗精段階で得られる米粉の蛋白分布と粒度分布がほぼパラレルの関係で，同一である事は，分級点を搗精度に応じて，変化させる必要がない。したがって低蛋白画分を空気分級により，分別する際，好都合である。搗精処理により特定の粒度範囲 (70 μ) の粉体が，大きな割合を占める原因は，蛋白質によるデンプン粒の結着か，又はデンプン粒自体に基く胚乳内部の硬度分布に由来するものと考えられるが，詳細は不明である。

3. 全粒粉砕

米粒内での蛋白粒とデンプン粉の存在様式 (斎尾：私信) から考えて，粒粉全砕した場合に得られる米粉の種類は Fig. 5 に示されるものになると予想される。すな

Fig. 5 Type of rice flour expected after rice milling

わち，粒度別に見ると，デンプン粒と蛋白粒の大複粒体 (A)，その小複粒体 (B)，デンプン粒又は破壊されたデンプン粒 (D)，そして蛋白粒 (C) と破壊された微細デンプン粒，これらの全混合物である。蛋白質含量の高い米粉は，小さい粒度範囲に，又，ある粒度範囲ではデンプン粒が主体を占め，それ以上の大きい粒度範囲では複粒体となるために，蛋白質含量の変動は小さくなるものと予想される。この予測を裏付ける結果が，米を全粉砕後，空気分級し各粒度域の蛋白分布を示す Fig. 6 (Fig. 1 参照) である。すなわち，蛋白質含量は 10 μ 以下では上昇し，10~40 μ では，デンプン粒又は破壊デンプン粉の割合が多いため低下し，それ以降は一定値を示している。ジェットミルによる超微粉砕処理は，SEM によれば，10 μ 以下の破壊デンプン粒の割合を多くするため，蛋白粒の粒度域と重なり，結果的に小さい粒度域の蛋白質含量上昇を抑えているものと思われる。又，10~40 μ においては，デンプン粒に付着する蛋白粒の除去が強くなるために，蛋白質含量の低下が認められている。

Fig. 6 Protein content of different particle size in rice flour prepared by whole grain milling

●—● sample A, ○—○ sample B same as in Fig. 1

4. 静電分級⁴⁾

空気分級の限界は、装置によるが一般には 20μ 付近にあり、それ以下の粒度の粉体に対しては、適用が難しい⁶⁾。したがって、この様な粒度の粉体に対して、又、 100μ 以上の大きな粒度の粉体に対しても、成分差に基づく電荷量の違いがあれば、分級が行われる静電分級は、今後の発展が期待できる。静電分級を適用した例⁶⁾⁷⁾の1つに小麦粉があげられるが、空気分級は消費動力が大である上に、粉体に多大のエネルギーを加えるため変質が生じやすいのに対して、その様な問題点がない事も静電分級の利点の1つに加えられる。しかし、一方で、静電分離は供給する過程で団粒化しやすく、分級効果が低い事も指摘されている⁸⁾。

本実験では、粉体供給は、約 2 g/分 とし、粉体間で凝集が認められない場合はマイクロフィーダーを、又、認められる場合は 177μ の電動フルイをフィーダーとして使用した。電極上部間隔は 1 cm 、下部は 7 cm とし、9分割の粉体受けをその下方に設置した。各分割で採取された粉体収量とその蛋白質含量を粉体粒度、印加電圧

Fig. 7 Relationship among voltage of elect. rode, yield and protein content of rice flour
Particle size of rice flour: over 100μ . ○—, yield; ●— Protein-content in each section: see Fig. 2

の関係で表示した結果が、Fig. 7, 8, 9 である。使用した米粉試料は、全粒粉碎米粉を Fig. 1, Sample A に基いて作成し、 30μ 以下、 $30\sim 100\mu$ 、 100μ 以上に分画した物である。 100μ 以上の場合、凝集は全くなく、各粉体は単一粒子として、電極間を落下する事が観察された。Fig. 7. A で明らかな様に、印加電圧がない場合は、

蛋白質含量の上昇もなく、0 位を中心として左右対称の分布収率を示している。印加電圧上昇に伴い、プラス極側に蛋白質含量の高い粉体が得られたが、蛋白質含量と分布収率の間に、はっきりした関係は認められなかった。 $30\sim 100\mu$ では、かなり凝集が生じており、SEM によっても、大部分、凝集体として、電極間を落下する比が判

Fig. 8 Relationship among voltage of electrode, yield and protein content of rice flour

Particle size of rice flour: $30\sim 100\mu$. ○, ● same as Fig. 7

Fig. 9 Relationship among voltage of electrode, yield and protein content of rice flour

Particle size of rice flour: below 30μ . ○, ● same as Fig. 7

Fig. 10 SEM photographs of rice flour surface

A, nearest to negative electrode (-4)

B, equal distance from negative and positive electrode (0)

C, nearest to positive electrode (+4)

see Fig. 2 about (+4, -4, 0); particle size: over 100μ , Voltage applied is 25 kV

明している。したがって、静電場内での高蛋白、低蛋白含量米粉の分画は期待できず、事実、Fig. 8 に示される様に、蛋白質含量上昇は、ほとんど認められない。 30μ 以下では、凝集度合はさらに著しく、電動フルイによっても、粉体を供給する事自体が困難であった。結果は $30\sim 100\mu$ の場合とほぼ同じである (図9)。

静電場内における分級が、成分差のみに基いているのではない事が、次の点から予想される。すなわち、 100μ 以下での場合、蛋白質含量がほぼ同一でありながら、+4~-4 にわたって収率も高い値を示す事である。分級が成分差のみに基くならば、凝集体はそれ自体、成分差がほとんどないため、Fig. 7. A と同様の分布収率を示す筈である。しかし、実際には、それぞれの電極に吸引され、フラットな分布収率を示している。 100μ 以上の場合でも、強電界では同じ傾向を示す様になる。したがって、この現象は、弱電界では成分差による表面電荷の違いが、粉体挙動に反映し、強電界になるにしたがって粉体形状あるいは他の未知因子が反映するという可能性を示唆している。

100μ 以上の粉体を静電分級後、+4, 0, -4, 分画の粉体を SEM で調べた結果、Fig. 10 に示される様な違いが認められた。すなわち、0 分画では表面にほとんど小顆粒が見られず、全体に滑らかな印象を受ける。+4, -4 共に多くの小顆粒が認められ、形状も0分画に比較して、歪んでいる。+4 と -4 の間に大きな違いは認められず、成分差によって分級が行われた事を示唆するが、同時に粉体形状が静電分級効率に影響を与える一因子である事は充分に考えられる。この点について、今後、検討を重ねる予定である。

一回の静電分級による蛋白上昇は、 100μ 以上の分散

が良好な場合でも、たかだか1.5%どまりであった。これを繰返し、行った場合の結果が Fig. 11 である。粉体受けは3分割として、+側に移行した粉体を、続けて分級処理し、その都度、+、-側に移行した粉体の蛋白質含量の変化を検討したものである。 30μ 以下の粉体でも、充分、リサイクルの効果があり凝集体にもかかわらず、徐々に分散され、粉体粒度から考えて、蛋白粒の存在割合が多いために、良好な分級効率を得られたものと考えられる。一方、 100μ 以上では、Fig. 5. A に該当する複粒体であるため、おのずから分級限界があり、事

Fig. 11 Effect of repeated separation on the protein increase

○, positive side; ●, negative side

実，30 μ 以下の場合に比べて，リサイクルの効果は少ない。

一般に，100 μ 以下の粉体に関しては，凝集体をいかに単一粒子として分散させるかが，分級率向上のカギになると思われる。

搗精米粉の場合，最高蛋白質含量を示す粒度範囲が40 μ と凝集体形成域にあり，全粒粉碎の100 μ 以下の米粉と同様の結果に終始した。

以上の結果より，胚乳外表部を用いて米粉を調製する事，さらに蛋白含量を高めるには，空気分級による低蛋白部分の除去又は静電分級の繰返し処理によって，高蛋白質米粉の調製が可能である事を示している。静電分級処理については，装置改良に加えて，粉体の凝集防止又は強制分散の方法を検討する事，及び粉体間，又は粉体と他の物体間の摩擦による帯電の可能性を明確にして，それを積極的に利用する事が必要になると思われる。

要 約

空気分級，静電分級による，蛋白質含量の高い米粉調製を試みた。得た結果の要約は以下の通りである。

(1) 米は胚乳外表部より約25%内胚乳まで，蛋白質含量の高い領域を持つ。

(2) 搗精により調製された米粉は，それ自体で約14%の蛋白質含量を示し，空気分級により最高17.5%まで

高められた。

(3) 静電分級は，凝集が認められる粉体に対しては，ほとんど効果はないが，分散が良好な粉体に対しては有効であり，かつ繰返し処理で分級効果を高められる事が判明した。

終りに本研究を行うにあたり，米粉調製に際して，御援助を賜った(株)日清製粉，技術開発研究所中川 宏氏外研究室の方々に謝意を表します。

文 献

- 1) CLARK, E.P.: Semi-Micro Quantitative Organic Analysis (Academic Press) p. 42. (1943),
- 2) A. O. A. C., 12th. ed., 14.063 (1975).
- 3) A. O. A. C., 12th. ed., 32.040 (1975).
- 4) RALSTON, O. C.: Electrostatic Separation of Mixed Granular Solids (Elsevier Publishing Company) (1961).
- 5) 三輪茂雄：分級装置技術便覧（日本粉体工業協会編）p. 84 (1978).
- 6) MORRISON, H. C.: US Patent 2615570 (1958).
- 7) 国府田佳弘・泉 千穂・内田正己：日食工誌，18, 222 (1971).
- 8) 国府田佳弘：New Food Industry, 19, 47(1977).
(昭和55年10月14日受理)

新 刊 紹 介

**Microbial Testers
Probing Carcinogenesis**
Cecil Felkner, I. 編

最近，化学物質の変異原性が大きな話題となっているが，本書は微生物を用いた変異原性試験法の解説書である。といっても実験書ではなく，各種の方法の原理と，特徴の解説である。特に，我国では余り用いられていな

い枯草菌を用いる方法が詳述されている。また，イントロダクションとして化学物質の変異原性発現のメカニズム，発ガン性との関連が述べられている。変異原性試験の実験書は我国でも出版されているが，広範な解説書としては本書は非常に有用である。

A 5 版 264 頁 42 ドル
Marcel Dekker, Inc.
270 Madison Avenue, New York,
NY 10016 U.S.A.