

圧力処理炊飯米の老化の特徴

杵淵美倭子*, 渡辺勝也¹, 小宮新一¹, 山崎 彬¹, 山元皓二

長岡技術科学大学生物系 (940-2137 長岡市上富岡町 1603-1)

¹越後製菓(株)総合研究所 (947-0102 小千谷市高梨町 1003-1)

Characteristic of Retrogradation of Pressure-Treated Cooked Rice

Miwako Kinefuchi,* Katsuya Watanabe,¹ Shinichi Komiya,¹
Akira Yamazaki¹ and Koji Yamamoto

Department of Bioengineering, Nagaoka University of Technology
(1603-1, Kamitomioka-machi, Nagaoka 940-2137, Japan)

¹*Research Institute, Echigo Seika Co., Ltd.*

(1003-1, Takanashi-machi, Ojiya 947-0102, Japan)

We researched into the characteristic of retrogradation of cooked rice treated by pressure after soaking. By β -amylase pullulanase (BAP method), the degree of gelatinization of the nonpressure-treated rice immediately after cooking was 95.7% and 79.1% after 5 days. On the other hand, the degree of gelatinization of the pressure-treated rice immediately after cooking was 98.4% and 92.9% after 5 days. Retrograded rice was scanned by a Differential Scanning Calorimeter (DSC). ΔH was 14.3 mJ/mg to the cooked rice immediately after cooking, and 10.4 mJ/mg to the rice treated by pressure. Furthermore, with the storage time ΔH in the rice came closer to ΔH in the rice flour with water. But in this case, ΔH in the pressure-treated cooked rice was more lower than ΔH in the nonpressure-treated cooked rice. The results of Near Infrared Reflectance (NIR) analysis were as follows: The first principal component score (coefficient of determination 90.5%) correlated to its storage term ($R^2=0.775$). A difference between the pressure-treated and the nonpressure-treated rice was observed by plotting the first and the fourth (c.d. 0.5%) principal component scores. With a value calculated by ΔH and a value measured by the BAP method as a purpose variable and the first through the fourth principal component scores as explanation variables, the multiple correlation analysis was calculated by the addition and reduction method. The fourth principal component score ($R^2=0.513$) was primarily obtained, then the first principal component score ($R^2=0.818$), and then the third principal component score ($R^2=0.865$) significantly appeared. When the retrograded rice was heated with a microwave, the degree of gelatinization of nonpressure-treated cooked rice was 93.1 to 96.8%, but that of pressure-treated cooked rice was 100%. Even after 30 days, the retrogradation pressure-treated rice showed a high degree of gelatinization by micro-wave heating.

現在、加工米飯はその生産量において約 20 万トンほどである。そのうち 70%が冷凍米飯であるが、この冷凍米飯の生産量の伸びは前年比 117%である。これに対して無菌化包装米飯が加工米飯市場に占める割合は 10%程度であるが、前年比 163%と大きな伸びを示している¹⁾。この無菌化包装米飯の生産量は、1986 年には 1 トン未満であったが、わずか 10 年の間に 2 万

トンに増加したもので、簡便な個食型の無菌化包装米飯の需要は今後も増加するものと考えられる。

無菌化包装米飯とは炊飯米の二次汚染を防止して、できるだけ無菌的に充填・密封した長期保存が可能な包装米飯である²⁾。河野らの官能検査の報告によれば、パネラーは包装米飯をレンジで糊化状態に復元したとき、香りがよく粘りと弾力と艶がある米飯を「おいしいご飯」と評価し、現状では包装米飯はまだおいしさを実現していないとしている³⁾。無菌化包装米飯

*Corresponding author.

の香り・粘り・弾力と艶に関係する製造工程は以下のようにまとめられる¹⁻³⁾。第一は炊飯工程で、ここでは原料米に添加物を加えて耐熱性菌の殺菌効果を高める。第二は計量工程で、一度炊飯してからほぐして計量する炊飯システムが多く、計量を円滑にするために油脂類を使用する。第三は包装工程で、樹脂袋の臭気が影響する。これらの課題について改善をすることが必要であるが、米粒の外観に艶があり、炊飯直後に粘りが増加し、老化しても粘りや弾力性のある米飯は、無菌化包装米飯に利用した場合、高い付加価値があると考えられる。

このような付加価値を高める一つの方法として圧力処理が考えられる。山崎らは浸漬米に圧力処理を施して炊飯した米飯を圧力処理炊飯米と呼び、この炊飯米のいくつかの特徴を報告している⁴⁾。第一に圧力処理炊飯米は炊飯後の米粒に亀裂がなく、原料の米粒に相似のまま炊飯されていて光沢のある外観を示した。第二に圧力処理炊飯米をテンシプレッサーで測定すると、炊飯1時間後には硬さと粘りの比であるバランス度が高く、食味では粘る傾向を示した。24時間後の測定では、200 MPa、400 MPaで圧力処理を施したものは無処理と同じバランス度となったが、バランス度を構成する硬さと粘りの数値は無処理のものより高く、粘りと弾力性のある食味を残していた。

本実験では圧力処理の効果を明らかにするために、圧力処理炊飯米の冷蔵保存した米飯を β -アミラーゼ・ブルナーゼ法 (BAP法)、示差走査熱量測定 (DSC)、近赤外分析 (NIR分析) で調べた。また冷蔵保存した米飯をレンジで再糊化し、その糊化度に対する圧力処理の効果を調べた。

実験方法

1. 試料

1997年新潟県産コシヒカリ (*Oryza sativa* L. *Japonica*, cv. Koshihikari) を小型精米機 (National KG-1000) で90%に精白したものをを用いた。

2. 試料の調製

1) 浸漬米

原料米 600 g を採取し、6 L の水で洗ってから水切りをし、軟質性樹脂袋にこの米を入れ、水を加えて総量で 1500 g とした。封入した米を 15°C で 15 時間浸漬をした。この浸漬米に圧力処理を施した。

2) 圧力処理

圧力処理装置は石川島播磨重工業の食品用高压特機 (最高圧力 1.5 GPa, 容量 0.3-7 L) を使用した。圧力

容器の温度は 30°C とし、試料の加圧保持時間は 400 MPa に到達後 10 分間とした。昇圧および減圧の設定時間は各 2 分とした。

3) 炊飯米

炊飯は 120°C, 100°C, 80°C の 3 条件で行った。120°C の炊飯米は 1) で調製した浸漬米を小型蒸気滅菌器 (サクラ精機 ASV-3022) を用いて炊飯し、120°C に達してから 10 分間保持をした。100°C の炊飯米は 1) で調製した浸漬米を電気釜 (東芝電気がま RC-159) で炊飯した。圧力処理を施した浸漬米の炊飯についてもこの電気釜を使用して炊飯した。80°C の炊飯米は 1) で調製した浸漬米を 80°C に設定した恒温水槽 (ヤマト科学 YAMATO WATER BATH BM-82) 中で炊飯し、80°C に達してから 15 分間保持をした。炊飯時の内釜は RC-159 の内釜を共通に用いた。

4) 冷蔵保存した米飯およびレンジで復元した米飯
炊飯後 40°C 付近まで室温で放置した米飯を等量ずつ樹脂製の容器につめ、脱酸素包装を施して 5°C の冷蔵庫に保存した。レンジでの復元は冷蔵保存した米飯 100 g を 5 mm 程度の厚みに広げて表面積を一定にし、食品包装用ラップフィルムで覆った後に、電子レンジ (シャープ RE-Z7-H5P, 高周波出力 550 W) で 2 分間加熱をした。

5) 浸漬米および米飯の乾燥粉末

浸漬米および米飯の各 100 g を 5 mm 程度の厚みに広げて -80°C の冷凍庫 (日立製作所日立超低温フリーザー RS-D32URC) で急速凍結をした。その後凍結乾燥機で乾燥して水分を約 3% とした。この乾燥させた浸漬米および米飯を小型粉砕器 (Tecator 社 CYCLO-TEC 1093 Sample-mill) で粉砕して BAP法, DSC, NIR 分析の検体とした。

3. 分析方法

1) BAP法

凍結乾燥後粉砕した浸漬米および米飯の米粉を用いて貝沼らの報告した方法⁵⁾で糊化度を求めた。

2) 示差走査熱量測定 (differential scanning calorimetry: DSC)

試料として凍結乾燥後粉砕した浸漬米の米粉、無処理および圧力処理の炊飯1時間後の米飯および5°Cに冷蔵保存した米飯を用いた。米粉試料は加水して水分62.5%に調整したものを、米飯試料は米飯粒の中央部を切り出して銀製密封容器 (セイコー電子工業, 容量 15 μ L) に 14 mg を封入した。測定装置はセイコー電子工業 SSC/580DS を使用して、0.5°C/min で昇温させた⁶⁾。測定する温度範囲を 30-120°C とした。得ら

れたDSC曲線を観察し、30-120℃の温度範囲でエンタルピーの変化(ΔH)を求め、乾物1mgの値として算出した。

3) 近赤外分析 (near infrared reflectance analysis)

試料として凍結乾燥後粉碎した浸漬米および米飯の米粉を用いた。近赤外スペクトルの測定はNIR Systems社のRCA 6250型(光源: タングステン, 検出器: PbS)を用いて行った。測定波長域は1100-2500 nmとし、測定法は拡散反射法によった。得られたスペクトルの正規化を行った後、糊化を反映している波長領域2020-2220 nmについて主成分分析を行った⁷⁾。解析ソフトはエスミの「EXCELアドイン統計解析シリーズEXCEL多変量解析Ver.3.0」を使用した。DSCおよびBAP法による結果との重相関はDSCの測定値から得られた計算値、BAP法の測定値を目的変数とし主成分のスコアを説明変数として、増減法により求めた。

結果および考察

1. 各炊飯方法における炊飯温度曲線

各試料を調製した際の炊飯温度曲線をFig. 1に示した。120℃炊飯においては100℃以上の熱が50分、100℃炊飯においては電気釜のスイッチが切れるまで

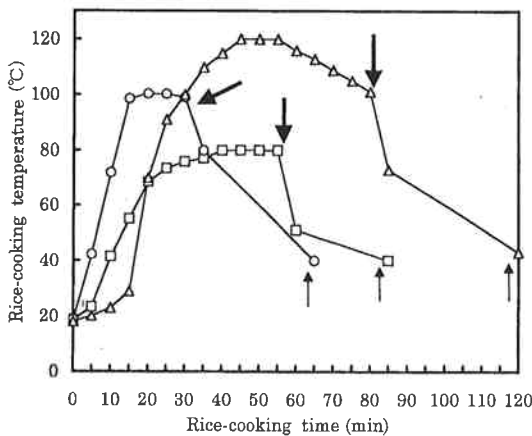


Fig. 1. Rice-cooking temperature classified by rice-cooking method.

□, cooked rice at 80°C; ○, cooked rice at 100°C; △, cooked rice at 120°C. →, The time when a center portion and peripheral parts of the cooked rice in a rice cooker were mixed. →, The time when the cooked rice was packed into a plastic bag and treated with a deoxidizer.

に100℃以上の加熱が15分、80℃炊飯では70℃以上の加熱が35分間継続した。炊飯釜の中での炊飯米の中心部と外周部を混ぜた時点を太い矢印の点で示した。冷蔵保存する米飯試料を調整するために、小分けをして樹脂容器につめ脱酸素包装を施した時点を細い矢印で示した。

炊飯後の米飯は120℃炊飯では褐色みをおびた米飯であり、100℃炊飯では粘りのあるよい米飯であり、80℃炊飯では若干生煮えの部分があり粘りがなく、口当りが不良であった。

2. BAP法による糊化度測定

浸漬米の糊化度は3.0%、80℃で炊飯した米飯の糊化度は57.0%、120℃で炊飯した米飯の炊飯直後の糊化度は100%であった。100℃で炊飯した(電気釜で炊飯した)米飯を用いて老化の進行とそれに及ぼす圧力処理の効果を調べた。無処理の米飯では炊飯直後の糊化度は95.7%、5日後に79.1%であった。これに対して圧力処理を施した米飯の炊飯直後の糊化度は98.4%、5日後に92.9%であった。5日間の冷蔵保存期間では同じ日の無処理の米飯と比較すると、圧力処理を施した米飯の糊化度が高かった。

通常に炊飯された米飯の脱水粉末の糊化度は100%に近ければ炊飯直後とされ、冷蔵保存するにつれて糊化度が低下する⁹⁾。低下の程度は文献によって差がある⁸⁻¹⁰⁾が、沸騰継続時間を変化させて糊化をした試料の場合、炊飯直後の糊化度は同じであるが、沸騰時間が長いほど冷蔵保存後の糊化度が高いと報告されている¹⁰⁾。したがって炊飯時によく糊化された米飯は冷蔵保存しても糊化度が高いと考えられる。この点から圧力処理を施した米飯は、圧力の履歴が熱の履歴に加わって無処理よりも高い糊化を示し、それが冷蔵保存後も失われずに現われたものと考えられる。米粒への圧力の履歴は圧力による細胞膜などの組織の損傷、澱粉の結晶構造の崩壊、十分な吸水などが考えられる。

炊飯直後の米飯の特徴は、無処理の米飯ではよく炊飯された米飯であり、圧力処理を施した米飯は無処理の米飯よりもよく粘る炊飯米で食味も良好であった。冷蔵保存した米飯の特徴は、無処理の米飯では白濁し光沢が減るのに対して、圧力処理を施した米飯では透明感が残りやや光沢があった。冷蔵保存後の食味では圧力処理炊飯米のほうが粘りと弾力があった。この点で糊化度が米飯の冷蔵保存された状態を反映していると思われた。しかし80℃炊飯の炊飯直後の米飯に近い硬化や生がえり感があっても、糊化度は高い数値を示し、レオロジー的な老化感を直接的に示してはいな

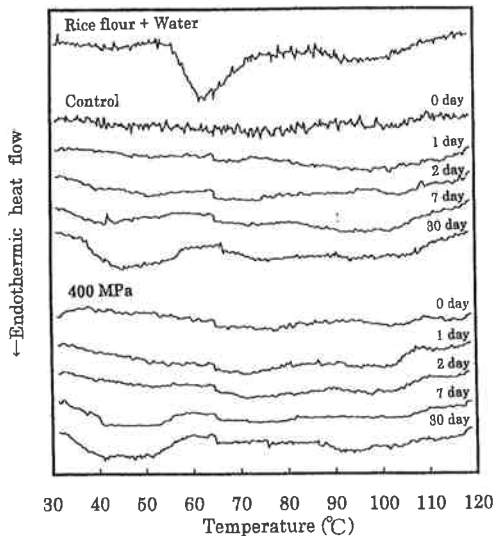


Fig. 2. DSC curves of rice flour with water and cooked rice.

い⁹⁾と思われた。

3. 加水した米粉および米飯のDSC曲線とエンタルピーの変化 (ΔH)

1) Fig. 2に加水した米粉、100°Cで炊飯した炊飯直後と5°Cで1-30日間冷蔵保存させた米飯のDSC曲線が無処理と圧力処理に分けて経過日別に並べて示した。

加水した米粉では、61°C付近に吸熱ピークが現れ、水分50%の馬鈴薯澱粉のDSC曲線と同じような特徴がみられた¹¹⁾。また43°C、94°C付近にも吸熱ピークがみられた。石田らの報告によると馬鈴薯とトウモロコシの澱粉において75%の水分含量のDSC曲線は単一のピークを示した。それに比較して58%の水分含量では高温側にすそを引いた形となり、トウモロコシ澱粉では48°Cと100°C付近にもピークを示したとしている¹²⁾。北村は未脱脂の57.5%に加水した米澱粉のDSCカーブでは90°C付近に肩を持ち、水分を減らすと高温側にピークが移動すると報告している。さらに110°C付近の吸熱ピークはアミロース脂質複合体の融解のピークであると述べている¹³⁾。したがって本実験でのDSC曲線の吸熱ピークは比較的加水が制限された中での米の澱粉の糊化を示していると考えられる。しかも北村の報告した水分66.6%のジャポニカ米のDSC曲線に比較して、澱粉の吸熱ピークが61°C付近にシャープに出現していることから、試料に使用した原料米のタンパク質や脂質、細胞膜の澱粉に対する糊

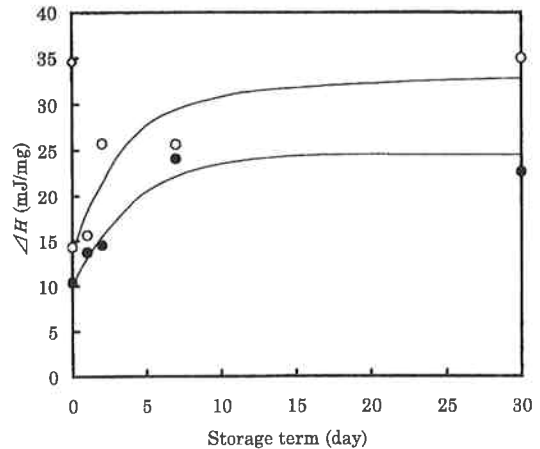


Fig. 3. Change in enthalpy of cooked rice after storage at 5°C.

○, cooked rice at 100°C; ●, 400 MPa; ◇, rice flour.

化阻害が少ないのではないかと推定された。

炊飯直後の米飯は圧力処理の有無にかかわらず、広い温度範囲での吸熱を示し、米粉で現われた60°C付近の吸熱ピークはみられなかった。老化するにつれて全体的に吸熱量が増加する傾向が現われ、45°C付近の吸熱が増加した。この傾向は圧力処理の有無にかかわらず共通の現象であった。30日を経過すると62°C付近を境として45°C付近と94°C付近の吸熱ピークを示す二つの吸熱帯に分れる傾向が強くなった。これは中沢が示した5°C老化で水分50%の馬鈴薯澱粉のDSC曲線に非常に似た傾向であった¹¹⁾。

2) Fig. 3に米飯の冷蔵保存にともなうエンタルピーの変化 (ΔH)を示した。加水した米粉の ΔH は34.6 kJ/mgであった。澱粉の糊化のエンタルピーとしては ΔH は約18 kJ/mgであることから⁶⁾、2倍程度の ΔH を示した。これは未脱脂の米粉を用いたため吸熱が広範囲に及んでいるからではないかと推定した。米飯における ΔH では炊飯直後の無処理の米飯で14.3 kJ/mg、圧力処理を施した米飯で10.4 kJ/mgを示した。一度糊化をした水分50%のポテト澱粉を1日以内に再度DSC測定した場合には、一回目の測定値の約40%ほどの ΔH を示していることから¹⁴⁾、本実験におけるエンタルピーの低下は妥当な範囲にあると考えられた。またいずれの保存日でも無処理の米飯において ΔH が大きかった。さらに保存日数を経るにつれて米飯の ΔH は加水した生米粉の ΔH に漸近した。しかしその場合においても圧力処理を施

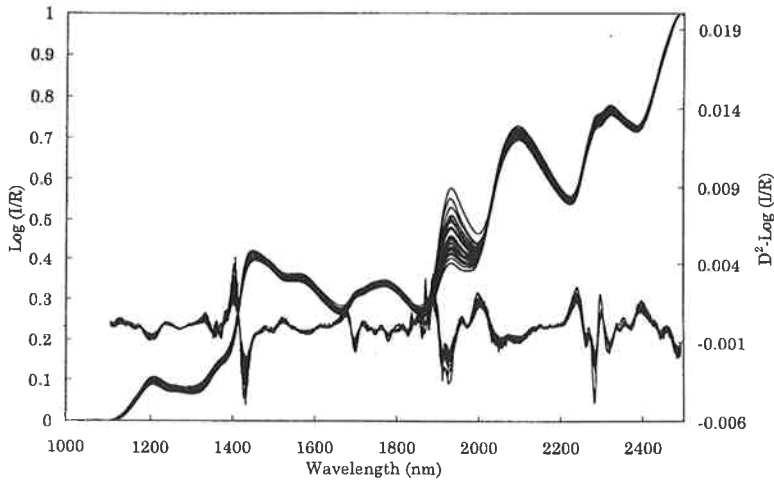


Fig. 4. NIR spectra and second derivative spectra of soaked rice and cooked rice.

した米飯の ΔH は無処理に比較して少なかった。30日後には ΔH は無処理の米飯で35.0 mJ/mg, 圧力処理を施した米飯で22.6 mJ/mgであった。

4. NIR 分析の結果

1) 正規化したスペクトルとその2次微分スペクトル

Fig. 4に浸漬米ならびに米飯の正規化したスペクトルおよびその2次微分を示した。分散の大きかった波長は1200, 1450, 1930, 2100, 2300 nmなどであった。尾崎らによって振動数表が示されている¹⁵⁾が、それによると各波長に関与していると推定される成分は1200 nmで水・澱粉, 1450 nmで澱粉・タンパク・水, 1930 nmで水・澱粉・タンパク, 2100 nmで澱粉, 2300 nmで澱粉・タンパク・脂質などである。恩田らは脱脂したウルチ米澱粉を異なる温度で処理し、糊化度の異なる試料を得てNIR分析を行った。さらに2100 nm付近(2040-2100 nm)の2次微分値をもとに主成分分析を行ったところ、主成分1には粒度などの物理的情報が、主成分2には糊化の情報があったとしている¹⁶⁾。またOsborneらは小麦澱粉の損傷度を調べているが、2180 nmがFarrand法で求めた結果と相関が高いとしている¹⁷⁾。以上の点から2100 nm付近に糊化の情報を求めることが可能であると考えられた。また図のように炊飯米の2次微分スペクトルはノイズが多いために以降の分析には正規化したスペクトルを用いた。

2) 2020-2220 nmの波長に関する主成分分析とスペクトル

a) 浸漬米, 80℃炊飯米, 120℃炊飯米について主成分分析を行い、炊飯温度と主成分1のスコアとの直線回帰式を求めた。主成分1のスコア(寄与率74.2%)をy軸とし、浸漬米, 80℃炊飯米, 120℃炊飯米の温度をx軸にとると $y = 0.2089x - 15.863$ ($R^2 = 0.937$)が得られた。石田らによるとコーン澱粉のDSC測定の結果、制限された加水においては105℃付近に吸熱のピークが現われることから、50%付近に加水された澱粉の糊化は80℃の加熱では不十分で、120℃の加熱においてほぼ完全糊化したといえるとしている⁹⁾。浸漬米、糊化が充分であろうと推察される120℃炊飯米、およびその中間での80℃炊飯米において、炊飯温度と主成分1に高い相関があることは炊飯米においてもこの波長帯に糊化の情報があるものと考えられた。

b) 老化した米飯に関して知見を得るために100℃で炊飯した米飯(無処理ならびに圧力処理)のスペクトルを用いて主成分分析を行った。Fig. 5に保存日数と主成分1スコアとの相関を示した。主成分1のスコア(寄与率90.5%)と保存日数に負の相関($R^2 = 0.775$)がみられた。冷蔵保存した米飯は保存につれてスコアが負の方向に移行した。圧力処理を施した米飯は無処理の米飯よりも負側に位置した。恩田らは主成分分析では測定対象物の物理的特性による吸収スペクトルの変動が大きい場合、物理的特性やノイズが主成分1に集約されると報告している¹⁶⁾が、この場合

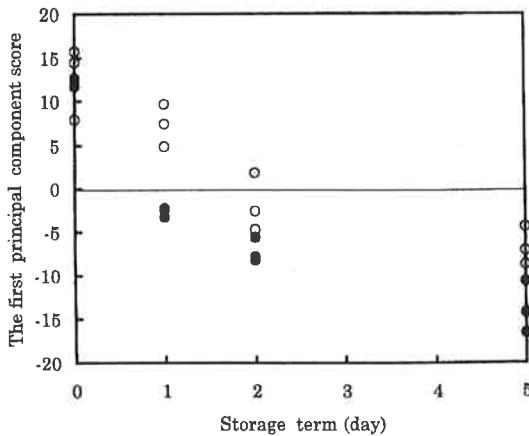


Fig. 5. Correlation between storage term and the first principal component score of cooked rice at 100°C (pressure-treated and nontreated) (2020 to 2220 nm).

○, cooked rice at 100°C; ●, 400 MPa.

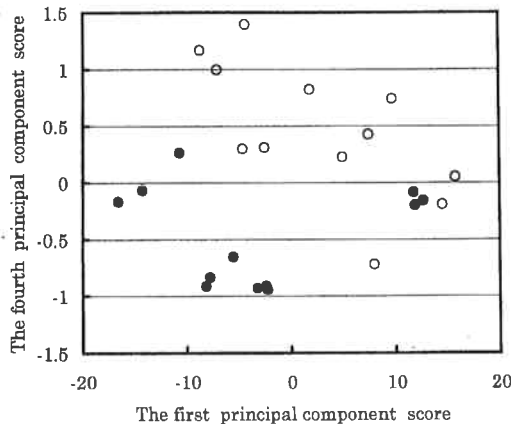


Fig. 6. Correlation between the first and the fourth principal component scores of cooked rice at 100°C (pressure-treated and nontreated).

○, cooked rice at 100°C; ●, 400 MPa.

も主成分1に粒度などの物理的要因を色濃く反映しているものと推察された。

c) Fig. 6に100°Cで炊飯し冷蔵保存した米飯(無処理ならびに圧力処理)の主成分1と主成分4の散布図を示した。各試料の主成分1と主成分4(寄与率0.5%)をプロットすると圧力処理と無処理の米飯の間に分布の差が認められた。このことは圧力処理と無処理の米飯の差がこの両主成分に反映されていることを示していると考えられた。

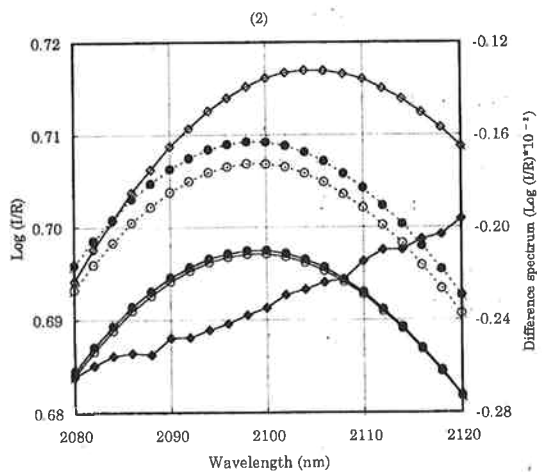
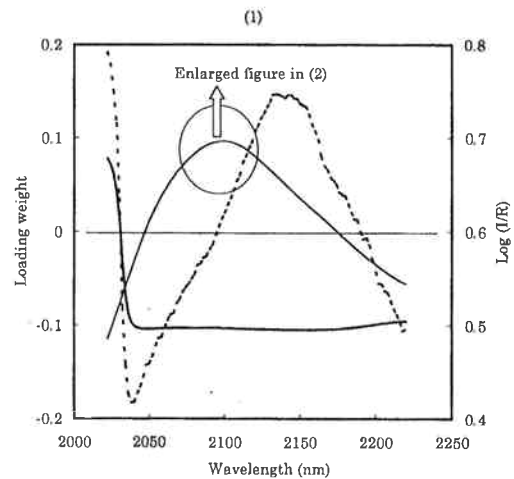


Fig. 7. Spectra and loading weight on the first and the fourth principal component scores.

(1) —, spectrum; —, the first principal component; --, the fourth principal component. (2) —○—, cooked rice at 100°C (0 days); ---○---, cooked rice at 100°C (5 days); —●—, 400 MPa (0 days); ---●---, 400 MPa (5 days); ◇, rice flour; ◆, difference spectrum between 100°C and 400 MPa at 5 storage days.

d) 主成分1と主成分4の固有ベクトルおよび浸漬米、炊飯米、冷蔵保存5日後のスペクトルの例を示したものがFig. 7である。主成分1の固有ベクトルの要素は2030 nmから負になりその後一定値をとる。主成分1の重みが2100 nm付近に変曲点をもたないことから、主成分1には粒度などの物理的影響が現われていると考えられた。主成分分析においては分散を最大にする合成変量は固有ベクトルの要素を係数として変数との積で求められる¹⁰⁾。主成分1スコアと保存

日数の相関係数が負で、ベクトルが負であることから積は正となり、保存日数が増加すると2100 nm付近のピークは高くなるといえる。スペクトル上では Fig. 7(2) のバンドの強度にこの傾向が現われていると考えられた。一方、主成分4の固有ベクトルの要素は2095 nmを境に負から正へ転じた。主成分1との相関において圧力処理を施した米飯は負の値を有することから、2095 nmより短波長側で正、2095 nmで0、2095 nmより長波長側で負となり、圧力処理を施した米飯では2100 nm付近のピークは短波長側に移行するといえる。これは Fig. 7(2) に示したスペクトルの波長変化、および差スペクトルに現われていると考えられた。

e) 2020-2220 nmの波長範囲では炭水化物のOH変角とOH伸縮を観察している⁷⁾と考えられるが、短波長への移行は分子の内部エネルギーが増加することを示している¹⁵⁾。圧力処理を施した米飯では無処理の米飯に比較して乾燥米粉に蓄えられたエネルギーが高い状態にあるものと推察された。

3) DSC および BAP 法との相関

DSC との相関を求めるために実測 ΔH から近似式を得た(無処理については $y=0.083x+2.6621$ ($R^2=1$)), 圧力処理については $y=0.1098x+2.4284$ ($R^2=0.959$)). それによる計算値を目的変数におき、主成分1-4のスコアを説明変数として、増減法により重相関分析を行うと、第1番目に主成分4 ($R^2=0.513$), 次いで主成分1 ($R^2=0.818$), 最後に主成分3 ($R^2=0.865$) が有意に得られた。主成分4のスコアが第1番目に選択されたことは、主成分4が他の主成分よりDSCのエントロピー変化に対応していることを示していた。

同様に BAP 法で得られた糊化度を目的変数におき、主成分1-4のスコアを説明変数として、増減法により重相関分析を行った。第1番目に主成分4 ($R^2=0.443$), 次いで主成分1 ($R^2=0.780$), 最後に主成分3 ($R^2=0.818$) が有意に得られた。主成分4のスコアが第1番目に選択されたことは、主成分4が他の主成分より BAP 法で得られた糊化度の変化に対応していることを示していた。

5. 冷蔵保存した米飯をレンジで復元した後の糊化度

圧力処理を施した米飯を冷蔵保存し、レンジで復元した場合の糊化度を Fig. 8 に示した。無処理の米飯が93.1-96.8%の範囲で復元したのに対し、圧力処理を施した米飯は100%で復元した。冷蔵保存30日後に

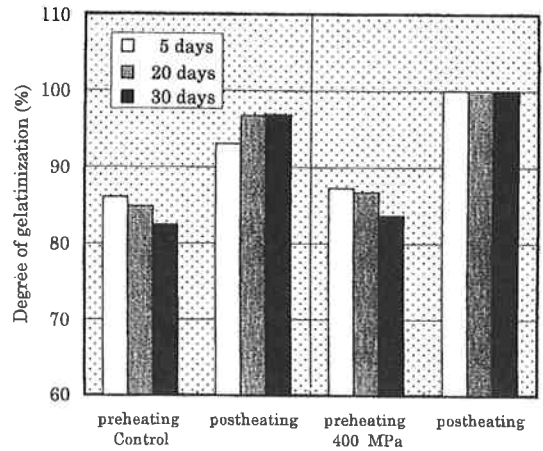


Fig. 8. Degree of gelatinization of cooked rice after microwave heating against stored rice in a refrigerator.

Before and after microwave heating classified by storage day.

おいても圧力処理を施した米飯はレンジで復元した後の糊化度が高かった。以上の点から、浸漬米に圧力処理を施して炊飯した米飯は初期の老化において酵素消化性が高く、 ΔH が低く、乾燥米粉に蓄えられたエネルギーが高いという特徴を示しただけでなく、冷蔵保存30日後にもその履歴が消えずに残っていることが認められた。

要 約

1. BAP 法による糊化度測定の結果

浸漬米の糊化度は3.0%、80℃で炊飯した米飯の糊化度は57.0%、120℃で炊飯した米飯の炊飯直後の糊化度は100%であった。100℃で炊飯した(電気釜で炊飯した)米飯の場合、無処理の米飯で炊飯直後の糊化度は95.7%、5日後に79.1%であった。これに対して圧力処理を施した米飯は炊飯直後の糊化度は98.4%、5日後に92.9%であった。圧力処理を施した米飯は、沸騰時間が長く炊飯されたかのような挙動を示した。5日間の冷蔵保存期間では同じ日の無処理の米飯に比較すると、圧力処理を施した米飯において糊化度が高い結果を得た。

2. DSC 測定の結果

水分62.5%に調製した浸漬米の米粉のDSC曲線では吸熱ピークが43℃、61℃、94℃付近にみられ、110℃付近にも小さなショルダーが観察された。 ΔH は34.6 mJ/mgを示した。

100℃で炊飯した米飯のDSC曲線は圧力処理の有無にかかわらず、炊飯直後には広い温度範囲での吸熱を示し、米粉で現われた60℃付近の吸熱ピークはみられなかった。冷蔵保存につれて62℃付近を境として45℃と94℃付近をピークとした二つの吸熱帯に分れる傾向がみられた。 ΔH は無処理の米飯で、炊飯直後の14.3 mJ/mgから30日後の35.0 mJ/mg、圧力処理の米飯で炊飯直後の10.4 mJ/mgから30日後の22.6 mJ/mgを示し、圧力処理を施した米飯の ΔH が低かった。

3. NIR分析の結果

NIRのスペクトルにおいて分散の大きかった波長は1200, 1450, 1930, 2100, 2300 nmなどであった。浸漬米, 80℃炊飯米, 120℃炊飯米について2020-2220 nmの波長に関する主成分分析の結果、主成分1のスコア(寄与率74.2%)と炊飯温度との間に相関($R^2=0.937$)がみられた。100℃で炊飯した米飯(無処理ならびに圧力処理)においては、主成分1のスコア(寄与率90.5%)と保存日数に相関($R^2=0.775$)がみられた。また主成分1と主成分4(寄与率0.5%)をプロットすると無処理と圧力処理の米飯の間に差が認められた。主成分1の固有ベクトルの成分は2030 nmから負になりその後一定値をとり、主成分4の固有ベクトルの成分は2095 nmを境に負から正へ転じた。スペクトルとの関係でいえば、保存日数が増加すると2100 nm付近のピークは大きくなるといえる。一方、圧力処理を施した米飯は2100 nm付近のピークは短波長側にシフトする結果が得られ、圧力処理を施した米飯では無処理の米飯に比較して高いエネルギー状態にあるものと推察された。増減法による重相関分析ではDSC, BAP法の結果との間に第1番目に主成分4が2番目に主成分1が第3番目に主成分3が有意に得られた。

4. 冷蔵保存した米飯をレンジで復元した後の糊化度

無処理の米飯が93.1-96.8%の範囲で復元したのに対し、圧力処理を施した米飯は100%で復元した。冷蔵保存30日後も圧力処理を施した米飯はレンジで復元した後の糊化度が高かった。

以上の点から、浸漬米に圧力処理を施して炊飯した米飯は初期の老化において酵素消化性が高く、 ΔH

が低く、乾燥米粉に蓄えられたエネルギーが高いという特徴を示し、冷蔵保存30日後にもその履歴が消えずに残っていることが認められた。

この米飯は外観や食味相関としての粘りが良好なだけでなく、レンジの復元性においても良好であることから、工業的な利用価値が高いと考えられた。

本研究にあたりDSCを指導いただいた長岡技術科学大学の塩見友雄教授、宮正光技官、ならびにNIR分析に関してご指導いただいた新潟県農業総合研究所作物研究センター育種科の星豊一課長、穴戸功一主任研究員に対し厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 平田孝一：食品工業, **39**, 16-29 (1996).
- 2) 西田吉男：食品加工技術, **13**, 402-407 (1993).
- 3) 河野昭子：食品と科学, **1**, 26-29 (1997).
- 4) 山崎 彬, 杵淵美穂子, 山本和弘, 山田明文：高圧力の科学と技術, **5**, 168-178 (1996).
- 5) 貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一：澱粉科学, **28**, 235-240 (1981).
- 6) 高橋克忠：「澱粉・関連糖質実験法」, 中村道徳, 貝沼圭二編, 学会出版センター, 東京, p. 201 (1989).
- 7) 岩元陸夫, 河野澄夫, 魚住 純：「近赤外分光法入門」, 幸書房, 東京, p. 63 (1994).
- 8) 松永暁子, 貝沼圭二：家政学雑誌, **32**, 653-659 (1981).
- 9) 大田原美保, 畑江敬子, 島田淳子：家政誌, **46**, 841-848 (1995).
- 10) 関 千恵子, 貝沼やす子：家政誌, **37**, 93-99 (1986).
- 11) 中沢文子：「新熱分析の基礎と応用」, 日本熱測定学会編, 東京, p. 199 (1991).
- 12) 石田信昭, 小林登史夫, 貝沼圭二：日食工誌, **35**, 98-104 (1988).
- 13) 北村進一：澱粉, 日本澱粉学会中部支部編, **37**, 174-178 (1992).
- 14) F. Nakazawa, S. Noguchi, J. Takahashi and M. Takada：Agric. Biol. Chem., **49**, 953-957 (1985).
- 15) 尾崎幸洋：「近赤外分光法」, 尾崎幸洋, 河田 聡編, 学会出版センター, 東京, p. 14, 17, 216 (1996).
- 16) 恩田 匠, 阿部英幸, 松永暁子, 小宮山美弘, 河野澄夫：日食工誌, **41**, 886-890 (1994).
- 17) B. G. Osborne, S. Douglas and T. Fearn：J. Food Technol., **17**, 355-363 (1982).
- 18) 田中 豊, 脇本和昌：「多変量統計解析法」, 現代数学社, 東京, p. 56 (1992).

(平成10年8月27日受付；平成10年11月26日受理)