Comparative Study on Structures of Three Hayadakimai Products Produced with Different Heating Conditions

(Received March 2, 2005 ; Accepted June 8, 2005)

Kazuya Kohayakawa,^{1,*} Yoshio Nishida,² Masanari Asano,³ Nobuko Yoshio,⁴ Iwao Maeda,⁴
 Makoto Hisamatsu⁵ and Hajime Taniguchi⁶

¹Aichi Industrial Technology Institute (Nishishinwari, Hitotsugi, Kariya 448-0003, Japan)

²Food Research Center, Aichi Industrial Technology Institute (2-1-1, Shinnpukuji-cho, Nishi-ku, Nagoya 451-0083, Japan)

³Asano Food CO, LTD. (3-43, Syoumei-cho, Nakagawa-ku, Nagoya 454-0855, Japan)

⁴Aichi Konan Junior University (172, Ohmatsubara, Takaya-cho, Konan 483-8086, Japan)

⁵Faculty of Bioresources, Mie University (1515, Kamihama-cho, Tsu 514-8507, Japan)

⁶Bioscience and Biotechnology, Chubu University (1200, Matsumoto-cho, Kasugai 487-8501, Japan)

Abstracts: Hayadakimai is a briefly cooked rice product with an appearance similar to that of uncooked rice. It requires only a short time cooking before serving without the washing and soaking processes essential for serving uncooked rice. Morphological, rheological and sensory properties of three commercial Hayadaikimai products manufactured by different heating processes were studied in comparison with uncooked rice. On soaking in water, grains of Hayadakimai products absorbed water to a higher extent than uncooked rice. In the surface layers of Hayadakimai grains, gelatinized starch filled up endosperm cells whereas in interior parts of grains, starch gelatinized only partly and maintained granular structures. There were significant differences among three types of Hayadakimai products in the extent of water absorption at 50°C and in the retaining of crystal structure of starch. There was a correlation between the difference of water absorption and disappearance of the crystal structure. These differences were discussed in relation to the cooking time and the amount of water required for cooking of three types of Hayadakimai.

Key words: partial-cooked rice (Hayadakimai), water absorption, granule structure, RVA

製造方法の異なる早炊き米の粒構造に及ぼす加熱条件の影響

小早川和也^{1,*}, 西田淑男², 浅野正成³, 吉尾信子⁴, 前田 巖⁴, 久松 眞⁵, 谷口 肇⁶

¹愛知県産業技術研究所 (448-0003 刈谷市一ツ木町西新割)

²愛知県産業技術研究所食品工業技術センター (451-0083 名古屋市西区新福寺町 2-1-1)

³株式会社アサノ食品 (454-0855 名古屋市中川区昭明町 3-43)

⁴愛知江南短期大学 (483-8086 江南市高屋町大松原 172)

⁵三重大学生物資源学部 (514-8507 津市上浜町 1515)

⁶中部大学応用生物学部 (487-8501 春日井市松本町 1200)

コメの生産・消費量が世界的に増加する中で日本の生産・消費量はこの 40 年間にほぼ 2/3 に減少し、世界における生産・消費のシェアは 7.8% (1960 年) から 2.0% (2004 年) となりコメの年間消費量も世界平均とほぼ同程度の 61.9 kg/人 (平成 15 年度)¹⁾と 30 年前の 1/2 にまで減少している。一方、簡便性や健康志向など消費者ニーズにマッチした加工米飯 (無菌充填米飯, レトルト米飯, 冷凍米飯など), 加工米 (胚芽米, 発芽玄米, 無洗米など) の生産品目, 数量は増加し²⁾, 米加工品の市場は活況を呈している。

加工米飯は加熱調理済みで, 澱粉は糊化しており, 水分も炊飯米並みの 60% 以上あり, 調理時間はほとんど不要である。一方, 加工米は未加熱で, 水分も精白米と同程度

の 14% 前後のため, 洗米, 浸漬, 炊飯, 蒸らしの一連の工程が必要で, 90–120 分程度の調理時間を必要とする。「早炊き米」は, 加工米飯と加工米の中間的な半調理米 (水分量 30–35% 程度, 糊化度 45–80% 程度) で, 洗米・浸漬が不要で炊飯時間も約 1/2 と短く, 調理時間は従来法の 1/3 以下の 25–30 分程度に短縮することが可能な商品として開発された。早炊き米は十分に吸水させた精白米に短時間の加熱処理を施すことにより製造されており, 加熱方法も蒸煮処理^{3,4)}, 熱風処理⁵⁾, レトルト処理⁶⁾などが考案され, それぞれの商品が市販されている。

著者らは前報⁷⁾で, 蒸煮処理早炊き米の浸漬時の吸水量は精白米と異なり温度とともに増加し, 浸漬温度 50°C では精白米平衡水分量 30% に対し 64% と倍以上になることを見出し, 米粒表層部の加熱糊化, 粒全体に及ぶ澱粉結晶構造の消失など粒構造の変化が吸水性を著しく改善させることを明らかにし, 早炊き米の調理時間短縮に吸水性改善

* Corresponding author (Tel. +81-566-24-1841, Fax. +81-566-22-8033, E-mail: kazuya_kohayakawa@pref.aichi.lg.jp)

が大きく寄与していると考察した。

豊島ら⁸⁾は、洗米条件、蒸煮時間および蒸煮圧力を変えた蒸煮処理早炊き米について処理条件により食味が変化すること、また、RVAの最高粘度が低下し最終粘度が増加することを報告しているが、熱風処理あるいはレトルト処理早炊き米の炊飯性に及ぼす研究はほとんどない。また、市販早炊き米の炊飯時の加水量は加熱処理方法(蒸煮処理、熱風処理、レトルト処理)によりそれぞれ異なっており、経験的に定めているが学問的な検討は全くなされていない。本研究では、製造方法の異なる早炊き米について吸水性、粒構造、テクスチャーなどの品質に及ぼす加熱処理の影響について検討し、炊飯時に必要とされる水分量の差についても検討した。

実験材料および実験方法

1. 供試試料

短時間蒸煮処理早炊き米(以下 蒸煮処理品)、短時間低温含気レトルト処理早炊き米(以下 レトルト処理品)および短時間熱風乾燥処理早炊き米(以下 熱風処理品)の製造フローの概要を Fig. 1 に示す。

蒸煮処理早炊き米は前報と同じく2003年、福島県産コシヒカリ精白米(精白歩合92%)を会津本郷農業振興公社で100℃、10–15分の短時間蒸煮処理したものを、レトルト処理早炊き米は2003年、岩手県産ひとめぼれ精白米(精白歩合92%)を湿式無洗米処理後、愛知県内の企業で最高温度110℃、30分程度の含気(窒素置換)レトルト処理したものを、熱風処理早炊き米はブレンド米(精白歩合・産年産地不明)を短時間熱風処理した市販品(加熱条件不明)を用い、対照として2003年、福島県産コシヒカリ精白米(精白歩合92%)を使用した。

2. 実験方法

1) 試料の乾燥および粉碎

前報と同様に、それぞれの早炊き米試料は水分14–15%程度になるよう予め室温(20–30℃)で、5–7時間、通風

乾燥した後、Tecator社製 Cycltec 1093 Sample Mill (0.5 mm メッシュ装着)で粉碎し、X線回折、粘度測定用試料とした。なお、乾燥試料の粉碎は品温上昇防止のためドライアイス存在下で行った。また、糊化度測定用試料は(株)ケッ科学研究所製ロール型粉碎器 TQ-100 により粉碎した。

2) 吸水性試験

前報同様、酒造用原料米全国統一分析法⁹⁾に準拠し行った。なお、初発の水分は常圧乾燥法(135℃、3時間)により求めた。

3) 理化学的特性

走査型電子顕微鏡(SEM)による断面観察は前報同様、脱水、固定化などの前処理は行わず、試料を真空デシケーター中で十分に乾燥後、ピンセットで折り、その自然断面を銀蒸着した。観察は日本電子(株)製走査型電子顕微鏡 JSM-820 を用い、加速電圧5–10 kVで行った。

澱粉の結晶性はX線回折により行った。前報同様、400メッシュ以下に篩別した粉碎試料を、相対湿度75%で一晩調湿し(株)リガク製 Gaigerflex RAD-II C (線源 Cu) を用いて電圧40 kV、電流40 mA、スキャンスピード2°/分で測定した。

4) 糊化特性

糊化度はグルコアミラーゼ法¹⁰⁾により、温度-粘度曲線は前報同様、豊島ら¹¹⁾の方法に準拠して Newport Scientific 社製 Rapid Visco analyzer RVA-3 D+ (RVA) を用い測定した。測定条件は試料3.5 g (水分14%換算)に水25 mLを加え、50℃で1分間保持した後、93℃まで4分間で昇温、93℃で7分間保持、50℃まで4分間で降温、50℃で3分間保持した。パドル回転数は開始後6秒間は960 rpm とし、それ以降は160 rpm とした。

5) 炊飯

炊飯にはタイガー魔法瓶社製マイコン電子炊飯器 JNL-F 550 (早炊きモード付き)を用いた。市販の早炊き米試料100 gにそれぞれ調理法で定められた所定の水分量(蒸煮処理品、100 g; レトルト処理品、136 g; 熱風処理品、130 g)を加えた後、直ちに早炊きモードで炊飯(約25分)した。対象としてコシヒカリを網かごに取り、流水中で1分間洗米し、原料米重量の1.5倍(洗米中の吸水を含む)になるよう水を加え、水温15℃で60分間浸漬後、通常炊飯モードで炊飯・蒸らし(合計約45分)を行った。

6) 物性測定

過剰な蒸気抜きを兼ねて炊飯米をプラスチック容器に移し、結露水の落下防止のため木綿布で上部を覆い、室温25℃、1時間放置した試料をテンシプレッサー(タケトモ電機製 My Boy System)を用いて、岡留らの単粒法により炊飯米の物性を測定した^{12,13)}。試料米1粒をプランジャー径φ18 mm、圧縮速度0.1 mm/sで、低圧縮(25%)および高圧縮(90%)の二度の圧縮を繰り返し、定法通り硬さ(90%圧縮加重の積分値)、コシ(25%圧縮加重の積分値と90%圧縮加重の積分値の比)、付着(90%圧縮後のプランジャー戻りに要した負の加重の最大値)、粘り(90%圧

Fig. 1. Manufacturing procedures of three types of Hayadakimai.

縮後のプランジャー戻りに要した負の加重の積分値)を求めた。

結果および考察

1. 吸水特性

各試料の初発水分は対照品(コシヒカリ)14.8%に対し、熱風処理品, レトルト処理品, 蒸煮処理品の順で多くなり, 吸水後の加熱条件の差が水分に反映していた。水切り後直ちに包装し水分の移行がほとんどないレトルト処理品で32–34% (平均32.7%), 水切り後に蒸気加熱した蒸煮処理品では蒸煮中の水分吸収のため33–35% (平均33.8%)と高く, 逆に, 熱風処理品では水分が蒸散し易く31–32% (平均31.2%)と最も水分量が少なかった。また, その外観は対照品と比較し, いずれの早炊き米も表面に光沢があり, 吸水加熱の影響により膨潤しており特に長径方向でその傾向が顕著であった。

これらを15°Cの冷水に240分間または, 50°Cの温水に60分間浸漬したときのそれぞれの水分変化をFig. 2に示した。浸漬温度15°Cではいずれの試料も120分ではほぼ平衡水分に達し, 対照品29.5%, レトルト処理品, 蒸煮処理品に差は認められず, それぞれ38.7%, 38.8%であった。熱風処理品は34.8%で, 対照品とレトルト処理品, 蒸煮処理品のほぼ中間であった。一方, 浸漬温度50°C, 60分間浸漬後の対照品の水分は29.3%で15°C, 120分と同じ値で浸漬水の温度による平衡水分量に差は認められなかった。一方, 早炊き米では, 熱風処理品45.4%, レトルト処理品54.7%, 蒸煮処理品は炊飯米並みの63.3%まで増加しており, 吸水速度もこの順で速くなった。蒸煮早炊き米の吸水性には温度依存性があることは前報で明らかにしたが, レトルト処理品あるいは熱風処理品においても吸水量の増加, 吸水速度の上昇などが共通して認められ, 吸水性の改善が早炊き米の炊飯時間短縮に共通に寄与していることが示唆された。また, 熱風処理品, レトルト処理品, 蒸煮処理品の吸水後の水分にはそれぞれ10%程度の差があり, 加熱方法により粒表層での糊化層の形成, 澱粉の結晶性の崩壊など粒構造に差があることが示唆された。

Fig. 2. Water absorption profiles of three types of Hayadakimai.

(A) Soaking at 15°C, (B) Soaking at 50°C. □, steamed rice; ●, pressure cooker processed rice; △, hot air processed rice; ○, control (incooked rice).

2. 粒構造の変化

Fig. 3に示したX線回折パターンから明らかなように, 蒸煮処理品(D)は市販α米(E)のV図形に類似し, 澱粉の結晶構造はほぼ消失していた。一方, 熱風処理品(B)は穀類澱粉特有のA図形を示し¹⁴⁾, その回折強度も対照品(A)とほぼ同じで, 澱粉の結晶構造が維持されていることが明らかとなった。レトルト処理品(C)もA図形を示したが回折強度は対照品, 熱風処理品と比較し弱く, 結晶構造が部分的に消失していると考えられた。また, グルコアミラーゼ法による糊化度は対照品8%, 熱風処理品45%, レトルト処理品73%, 蒸煮処理品81%で加熱方法により差があるものの, いずれの早炊き米も吸水後の加熱処理により澱粉の糊化が進行していた。

早炊き米断面のSEM観察結果をFig. 4に示した。蒸煮処理品(Fig. 4A)は前報同様に, 粒中心部に向かって同心円状に配向した澱粉粒を含む通常の細胞組織構造が確認されたが¹⁵⁾, 表層から約100μmの幅で細胞構造が完全に消失し非晶質化した糊化層が認められた。レトルト処理品(Fig. 4B)の断面も蒸煮処理品同様に中心部の結晶構造, 表層部の糊化層が確認された。一方, 熱風処理品(Fig. 4C)の表層部には明瞭な糊化層はほとんど認められず, 粒構造に及ぼす加熱処理の影響は蒸煮処理品, レトルト処理品よりも小さいことが明らかとなった。著者らはSEM観察では細胞構造を完全に維持している蒸煮処理早炊き米粒中心部(表層から重量比で40%を研磨で取り除いたもの)においても, X線回折ではA図形を示さず, V図形になっており, 水存在下での短時間加熱で中心部まで結晶性が消失することを前報で明らかにした。

X線回折による結晶構造の消失(Fig. 3), 糊化度の上昇およびSEM観察結果(Fig. 4)は良く一致し, 粒構造の変化に及ぼす加熱の影響は熱風処理品<レトルト処理品<蒸煮処理品の順に大きくなっていることが判明した。50°C, 1時間浸漬後の水分量も熱風処理品<レトルト処理品<蒸煮処理品順に増加しており, 吸水量の増加には粒構造の変化(結晶構造の消失, 糊化度, 糊化層の形成)が大きく関

Fig. 3. X-ray diffraction patterns of three types of Hayadakimai.

(A) Control (uncooked rice), (B) Hot air processed rice, (C) Pressure cooker processed rice, (D) Steamed rice, (E) Dried gelatinized rice.

Fig. 4. Scanning electron micrograms of three types of Hayadakimai.

(A) Steamed rice, (B) Pressure cooker processed rice, (C) Hot air processed rice. White bars represent 100 μm .

Table 1. Pasting properties of three types of Hayadakimai.

Sample	Temperature at which viscosity begins to rise ($^{\circ}\text{C}$)	Maximum viscosity		Minimum viscosity (cp)	Breakdown* (cp)	Final viscosity at 50 $^{\circ}\text{C}$ (cp)	Setback** (cp)
		(cp)	(min)				
Polished rice	67–68	4011	6.2	1777	2234	3012	1235
Hot air processing rice	72–74	3724	6.7	2241	1483	4096	1855
Pressure cooker processing rice	72–73	2279	6.8	1742	537	3152	1410
Steamed rice	69–71	3413	6.8	2006	1407	3496	1490

*Maximum viscosity–Minimum viscosity. **Final viscosity at 50 $^{\circ}\text{C}$ –Minimum viscosity.

与していることが示唆された。

結晶構造を持つ生澱粉では結晶ミセル内に水分はほとんど侵入できず、吸水は非晶質部分および結晶表面のみが関与すると報告されている¹⁶⁾。SEM 観察結果で粒表層部に糊化層形成にあまり差がみられなかった蒸煮処理品とレトルト処理品の吸水量の差は、X 線回折結果で明らかとなった両者間の結晶性の差に起因し、熱風処理品が最も吸水量が少ない原因は結晶性の消失が少なく、表層部での糊化層形成も僅かなためと考えられる。

3. 糊化特性

RVA による温度-粘度曲線を Fig. 5 に、その特性値を Table 1 に示した。糊化開始温度は対照品の 67–68 $^{\circ}\text{C}$ と比較し、いずれの早炊き米も温度が上昇し、蒸煮処理品で 69–71 $^{\circ}\text{C}$ 、レトルト処理品で 72–73 $^{\circ}\text{C}$ 、熱風処理品で 72–74 $^{\circ}\text{C}$ と 2–6 $^{\circ}\text{C}$ 上昇した。最高粘度は 4011 cp から 3724 cp (熱風処理品)、3413 cp (蒸煮処理品) と 10% 前後低下しており、特にレトルト処理品では 2279 cp と約半分にまで低下した。また、最高粘度到達時間も対照品の 6.2 分に比べ、6.7–6.8 分と遅くなった。最終粘度は対照品 (3012 cp) と比較し、熱風処理品 (4096 cp)、蒸煮処理品 (3456 cp) では高い値を示したが、レトルト処理品は 3152 cp と対照品との間に大きな差はみられなかった。ブレイクダウンは対照品>熱風処理品≒蒸煮処理品>レトルト処理品の、セットバックは対照品<レトルト処理品≒蒸煮処理品<熱風処理品の順であった。

蒸煮処理早炊き米の最高粘度の低下および到達時間の遅延、糊化開始温度の上昇は豊島ら⁸⁾がすでに報告しており、高橋ら¹⁷⁾は乾熱処理あるいはオートクレーブ処理した米粉で最高粘度の低下、糊化開始温度の上昇、ブレイクダウン

Fig. 5. RVA viscomograms of three types of Hayadakimai.

(A) Steamed rice, (B) Pressure cooker processed rice, (C) Hot air processed rice, (D) Control (uncooked rice), (E) Temperature.

の減少など同様の現象を見出している。これは久下ら¹⁸⁾が報告した糊化温度以下での長時間の湿熱処理によるアニーリング現象と同一で、水分共存下での糊化温度以上の加熱処理においてもアニーリング現象が起きたと考えられた。

RVA による温度-粘度曲線は米の銘柄により異なり最終粘度、セットバックに大きな差があり、一般に最終粘度が高く、セットバックの大きい米は老化しやすく食味が落ちるといわれている。今回比較した試料の銘柄は対象品と蒸煮処理品がコシヒカリ、レトルト処理品がひとめぼれ、熱風処理品がブレンド米とそれぞれ異なっており最終粘度、セットバックの相違が加熱処理条件によるものか銘柄の差によるものかは明確にできなかった。

4. 炊飯特性

豊島ら⁸⁾はササニシキとコシヒカリのブレンド米から調製した蒸煮処理早炊き米は原料米と比較し、炊飯米(白飯)では硬くて粘りが弱く、調味液と一緒に炊飯した(味付け

飯) 場合は精白米の硬さが増加し、粘りが低下するため早炊き米と精白米の差は小さくなることを報告している。今回比較検討した三種類の市販早炊き米は具材および調味液と一緒に炊飯される炊き込みご飯としての用途が多く、具材・調味液と早炊き米とをセットとして販売されているものがある。また、白飯として炊飯する場合は硬さの増加、粘りの低下を少なくする目的で加水量を多くして炊飯することを推奨している。

炊飯時の加水量は対照品では対原料重量比 1.5 倍であるのに対し、早炊き米では蒸煮処理品は 1 倍、熱風処理品は 1.3 倍、レトルト処理品は 1.36 倍で、固形物換算で加水量を比較すると、精白米は 1.93 倍で蒸煮処理品は 2.02 倍で大きな差はみられない。一方、熱風処理品では 2.34 倍、レトルト処理品は 2.51 倍となり、早炊き米は多加水条件で炊飯が必要で、特にレトルト処理品の加水が最も多かった。

調理法で定められた加水量で炊飯した 50 粒の炊飯米テクスチャー測定値の分布を Fig. 6 に、特性値を Table 2 に示した。Fig. 6 の横軸と縦軸の比は Table 2 のコシに、縦軸は硬さに相当する。対照米の分布が最も広く、早炊き米では分布範囲は狭くなり、炊飯前の加熱処理は炊飯時の加熱むらを減少させる効果が認められ、特にレトルト処理品の分布が最も狭かった。レトルト処理品は袋に密閉した後

Fig. 6. Rheological properties of cooked grains of three types of Hayadakimai.

Each hayadakimai sample was cooked and rheological properties of respective grains were determined by Tensipresser. (A) Steamed rice, (B) Pressure cooker processed rice, (C) Hot air processed rice, (D) Control (uncooked rice).

Table 2. Rheological properties of three types of Hayadakimai.

Sample	Strength (Koshi) Ave. $\pm$ SD*	Hardness (Katasa) Ave. $\pm$ SD*	Stickness (Fuchakusei) Ave. $\pm$ SD*	Adhesiveness (Nebari) Ave. $\pm$ SD*
Polished rice	0.16 $\pm$ 0.031 ^{a)}	45650 $\pm$ 17234 ^{a)}	-162 $\pm$ 77.9 ^{a)}	-4452 $\pm$ 2840 ^{a)}
Hot air processing rice	0.09 $\pm$ 0.026 ^{b)}	76532 $\pm$ 20307 ^{b)}	-549 $\pm$ 147.6 ^{b)}	-9685 $\pm$ 2981 ^{b)}
Pressure cooker processing rice	0.11 $\pm$ 0.017 ^{c)}	83383 $\pm$ 14810 ^{b)}	-557 $\pm$ 115.1 ^{b)}	-7003 $\pm$ 2354 ^{c)}
Steamed rice	0.10 $\pm$ 0.018 ^{b),c)}	78616 $\pm$ 19648 ^{b)}	-470 $\pm$ 112.1 ^{c)}	-7764 $\pm$ 3146 ^{c)}

*Standard deviation. Shoulder's alphabet means the result of Dankan's multiplex analysis. There is no significant difference between the same alphabet. And there are significant difference ($\rho < 0.05$) between different alphabets.

に加圧加熱することにより均一な加熱処理が可能となり、安定した品質の早炊き米となったと考えられる。銘柄が異なるため特性値を単純に比較することは危険であるが、いずれの早炊き米も対照米と比較しコシがなく、硬く、付着性、粘りともに大きい炊飯米になる傾向を示し、豊島ら⁸⁾の報告のように調味液、具材などを含む炊き込みご飯等に適性があると考えられる。豊島らはテクスチュロメーターを用いた炊飯米の物性測定結果より、早炊き米の粘りは小さいと述べる一方、テンシプレッサーでの 90% 圧縮による粘りには差が認められないデータを示している。今回の粘りが大きくなる結果とは一致しなかったが、使用した原料米の銘柄が異なること、測定方法が異なることがその要因と考えられる。

米澱粉あるいは米粉は吸水加熱により体積が数十倍以上に膨張するのに対し、米粒では細胞壁の制約を受け 2.5 倍程度にしか膨潤できない¹⁹⁾。粒食を前提とした炊飯は澱粉を包む細胞壁の加熱変化と細胞壁による制約を受けた澱粉糊化の二つの現象が同時に進行する。豊島らは炊飯後の蒸煮処理早炊き米の水分は多く、飯粒は膨潤し体積が多くなる(釜ぶえ)ことを見出し、澱粉の膨潤を抑制する細胞壁の機能が低下していることが示唆され、早炊き米で最高粘度が低下する RVA の結果 (Fig. 5) はこの考えと一致する。

米は長期の保存によりヘキサナルなどの発生、細胞壁の架橋化およびタンパク質の SH から S-S 結合への酸化による硬さの上昇、澱粉分解酵素の活性低下による可溶性成分の減少、遊離脂肪酸の澱粉への包接による膨潤抑制などを古米化の機構として森高は提案している²⁰⁾。さらに、貯蔵中の温湿度変化により細胞壁が吸脱湿を繰り返し、細胞間の接続が弱く脆くなり、亀裂が入りやすくなるため、精白時に碎粒米発生率が増加することが知られている。古米の炊飯物性は浸漬時間の延長および加水量の増加、細胞壁分解酵素²¹⁾、プロテアーゼの添加²²⁾により改善すると報告されている。いずれの早炊き米も短時間加熱による細胞壁の構造変化と部分的な糊化と冷却による再結晶化(老化)により細胞壁がダメージを受け、コシの減少、硬さの増加を招いたと考えられる。特に、SEM 観察 (Fig. 4) では大きな差が認められなかった蒸煮処理とレトルト処理の早炊き米で、レトルト処理品は多加水炊飯が必要であり、RVA での最高粘度の低下は高温、加圧による澱粉を内在する細胞壁、タンパク質の構造変化(架橋化、S-S 結合の

増加)によると考えられ、早炊き米での多加水炊飯は古米での多加水炊飯同様に、可食領域に炊飯米の硬さを調整するためには必須であることが示唆された。

米飯の付着性および粘りは飯粒表層部に再吸収された可溶性成分(オネバ)および米飯の水分量の影響が大きい。早炊き米の炊飯は官能的に最も重視される硬さを基準とした多加水となっているうえ、表層部を覆う糊化層(Fig. 4)が可溶化しオネバとなって再吸収されたため付着性、粘りが増加したと考えられる。

要 約

短時間加熱処理された早炊き米は、対照米と比較し吸水性が著しく改善され、50℃の温水に60分間浸漬した後の平衡水分量は蒸煮処理品63.3%、レトルト処理品54.7%、熱風処理品45.4%、対照品29.3%の順で、吸水性の改善が調理時間短縮に寄与していることが示唆された。結晶性の消失および糊化度の上昇は蒸煮処理品が最も顕著で、続いてレトルト処理品、熱風処理品、対照品の順で、平衡水分量と澱粉の構造変化の間に相関が認められた。

レトルト処理品、熱風処理品は、対照品と比較し多加水での炊飯が必要で、炊飯米の物性は共通して脆く、硬く、粘りや付着性が強い傾向にあった。早炊き米は部分的な加熱と冷却による澱粉の老化および細胞壁構成成分の架橋(古米化)が進行しており、古米同様の多加水炊飯が必要で加圧加熱処理を受けたレトルト処理品ではその影響が顕著で、炊飯に最も多くの加水量が必要であった。

文 献

- 1) 農林水産省総合食糧局, 食糧需給表(2004).
- 2) 農林水産省総合食糧局, 米麦加工食品生産動態等統計調査年報(2004).
- 3) 浅野幸紀, 浅野幸紀: 貯蔵飯の製造法. 特許第1896720号,

- 1986-7-1.
- 4) 浅野幸紀, 浅野幸紀: 貯蔵飯の製造方法及びその装置. 特許第3271028号, 1993-7-20.
- 5) 佐野譲二, 佐野譲二: 包装早炊き米の製造方法. 特許第2051484号, 1988-11-2.
- 6) 味の素株式会社, 加納英雄, 山崎勝利, 鳥羽 茂: 常温流通米飯の製造方法. 特許第2754799号, 1989-11-15.
- 7) 小早川和也, 大滝尚美, 西田淑男, 吉尾信子, 前田 巖, 久松 眞, 谷口 肇: 蒸煮処理早炊き米の諸性質. 日食工誌, **52**, 212-218 (2005).
- 8) 豊島英親, 小野正博, 岡留博司, 河村 満, 吉崎 繁, 木村俊範, 大坪研一: 早炊き米製造条件と食味特性. 日食工誌, **46**, 197-204 (1999).
- 9) 国税庁酒類総合研究所編: 酒造用原料米全国統一分析法(1996).
- 10) 檜作 進: 糊化と老化. 「澱粉科学実験法」, 鈴木繁男, 中村道徳編集, 朝倉書店, 東京, pp. 171-175 (1979).
- 11) 豊島英親, 岡留博司, 大坪研一, 須藤 充, 堀末 登, 稲津 脩, 成塚彰久, 相崎万裕美, 大川俊彦, 井ノ内直良, 不破英次: ラピッド・ビスコ・アナライザーによる米粉粘度特性の微量迅速測定方法に関する共同試験. 日食工誌, **44**, 579-584 (1997).
- 12) 岡留博司, 豊島英親, 大坪研一: 単一装置による米飯物性の多面的評価. 日食工誌, **43**, 1004-1011 (1996).
- 13) 岡留博司, 豊島英親, 須藤 充, 安藤郁男, 沼口憲治, 堀末 登, 大坪研一: 米飯1粒の多面的物性測定に基づく米の食味評価. 日食工誌, **45**, 398-407 (1998).
- 14) 檜作 進: 澱粉粒の構造. 「澱粉科学ハンドブック」, 二國二郎監修, 朝倉書店, 東京, pp. 25-34 (1977).
- 15) 貝沼やす子: 米の一般的性状. 「調理科学講座3 植物性食品I」, 島田淳子, 下村道子編, 朝倉書店, 東京, pp. 2-6 (1994).
- 16) 貝沼圭二, 八田珠郎: 澱粉粒の構造と形態. 「澱粉科学の事典」, 不破英次, 小巻利章, 檜作 進, 貝沼圭二編, 朝倉書店, 東京, pp. 58-73 (2003).
- 17) 高橋 徹, 篠田和雄, 三浦 靖, 金 哲, 小林昭一: 加熱処理が米粉の物理化学的特性に及ぼす影響. 日食工誌, **49**, 757-764 (2002).
- 18) 久下 喬, 北村進一: 澱粉粒のアニーリング—温水処理と湿熱処理—. 澱粉科学, **32**, 65-83 (1985).
- 19) 竹生新治郎: 米の食味. 「米の科学」, 竹生新治郎監修, 朝倉書店, 東京, pp. 117-137 (1989).
- 20) 森高真太郎: 精白米の貯蔵中の品質変化. 日本醸造協会誌, **73**, 690-696 (1978).
- 21) 渋谷直人: 米の細胞壁の化学構造と品質. 日食工誌, **37**, 740-748 (1990).
- 22) 渡辺道子: 古米の食味特性の改善. 澱粉科学, **40**, 163-168 (1993).