

高圧処理を施した浸漬米の炊飯後の 微細構造と物性

Physical Properties and Fine Structure of Grains
of High-Pressure-Treated Rice after Cooking

山崎 彬* 杵淵美倭子** 山本和弘** 山田明文*
Yamazaki, Akira Kinefuchi, Miwako Yamamoto, Kazuhiro Yamada, Akifumi

The rice grains (*Oryza sativa* L. *Japonica*, cultivar Koshihikari) harvested in Niigata prefecture in 1994 was soaked in water, and subjected to high pressure treatment at 400 MPa for 10 min. The rice thus high-pressure-treated was then boiled for cooking. The physical properties of the cooked rice were compared with those of a control rice with respect to the hardness, stickiness and conductivity immediately after cooking, and also with respect to those with time during the storage. The high-pressure-treated rice exhibited higher stickiness than the control rice immediately after cooking, but it became harder than the control rice the next day. Furthermore, the high-pressure-treated rice exhibited higher conductivity immediately after cooking than the control rice, and the conductivity increased with time during the storage. Scanning electron micrographs (SEM) indicated that the grains of the high-pressure-treated rice were swollen by the high pressure treatment, with water effectively penetrating into the peripheral portion of each starch granule, and when such rice was cooked, deep vacant holes and thick walls of starch gel were formed in each grain. It has been confirmed that the rice subjected to such high pressure treatment, when cooked, is tasty even after becoming hard with time during storage.

[high pressure treatment, cooked rice, tensipresser, conductivity, SEM]

1. はじめに

食品の調理や加工に、100 MPa以上の静水圧の利用が試みられるようになったのは今世紀に入ってからである。しかし、近年になって高圧装置の普及とともに、多くの食品や食品素材に対する高圧効果の研究が報告されている〔1-4〕。著者らも静水圧処理が調理の簡便性、迅速性、質の向上に有効であることを確認し、野菜・穀類等に対する実験を試みてきた。その研究の中で、簡易包装漬物へ適用した結果〔5〕、野菜は圧力100 MPaから400 MPa、処理時間10 minで組織内部に水の進入経路が形成され、吸水性のよい状態に変化するために塩や調味液の進入が早く、食感も優れることを確認した。

また、餅の原料・副資材に静水圧を利用し、弾塑性、進展性に優れた無菌の餅ができることを報告した〔6〕。更に、二度の糊化工程を持つ米菓の製造工程に静水圧利用を試みた。即ち浸漬米に700 MPa、10 minの圧力処理を施すと澱粉が変性し、団子としての成型能が生じるので、蒸す工程を省き、焙焼工程のみで米菓が作りうることを確認した〔7〕。

最近では米（糯、粳）澱粉にたいし、圧力での変性状態と熱での糊化状態の違いをDSC(示差走査熱量測定)を用いて比較し、圧力処理の場合には融解ピークが0℃付近であるという知見を得、圧力と熱では澱粉と水の相互作用に差があることを示した〔8〕。

従来、渡辺らは浸漬米に圧力処理を施した米(以下圧処理浸漬米とする)を炊飯することによって粘り

* 〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1 長岡技術科学大学工学部化学系

Department of Chemistry, Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata 940-21

** 〒947-01 新潟県小千谷市高梨町1003-1 越後製菓(株)総合研究所

Research Institute, Echigo Seika Co., Ltd., 1003-1 Takanashi-machi, Ojiya, Niigata 947-01

が増加し、古米の改善に役立つと報告している〔9〕。しかし我々は圧処理浸漬米を炊飯したご飯（以下圧処理炊飯米とする）は炊飯直後に粘りが増加するが早く硬くなり、しかも無処理で炊飯したご飯が老化した食感とは異なることを経験していた。

そこで本報告では、浸漬米に圧力処理を施したコシヒカリが無処理の場合と比較して炊飯、糊化、吸水、老化などの点でどのように異なるかを明らかにするため微細構造の観察と物性の測定を行った。

2. 実験方法

2.1 試料

2.1.1 試料

粳米は1994年新潟県産コシヒカリ (*Oryza sativa* L. *Japonica*, cv. Koshihikari) を、糯米は1994年新潟県産こがねもち (*Oryza sativa* L. var. *glutinosa* Matsum. cv. Koganemochi) を使用し、小型精米機 (National KG-1000) を用いて90%に精白した。

2.1.2 試料の調整

原料米200gを採取し、2lの水で洗い水切りをする。軟質性樹脂袋に入れ、粳米は総量で500gに、糯米は総量で440gに加水して密封する。封入した米は15℃で15hの浸漬をした後、圧力処理を行った。予備実験の結果、浸漬後に圧力処理をした浸漬米はコントロール(無処理)に比較して水分が1%程度上昇するが、浸漬時間の経過とともに差が少なくなることが確認されたので浸漬時間を15hとした。圧力処理の10min前に30℃の温浴槽に入れ温度を一定にした。

2.1.3 圧力処理

圧力処理装置は石川島播磨重工業製の食品用高圧特機を使用した(最高圧力1.5GPa、容量0.3-7l)。圧力処理の条件は次のように設定した。温度は圧力容器にブラインを循環して30℃とし、試料の加圧保持時間は各圧力に到達してから10min間とした。昇圧および減圧に要する時間は各々2minとした。

2.1.2で調整の終了した試料を袋のまま圧力容器に入れ圧力処理を行った。圧力処理後は15℃に放置した。

圧処理浸漬米のSEM写真はこの米を試料とした。

2.1.4 炊飯

家庭用炊飯器(東芝製 RC-69)を使用した。米と水は樹脂袋から残らず内釜に移して炊飯した。

2.2 水分測定

浸漬米については1000rpm、5min間遠心分離を

行い、炊飯米についてはそのままアルミ秤量缶に入れて、常圧135℃で恒量に達するまで乾燥し水分を求めた。(科学技術庁資源調査会「四訂日本食品標準成分表」の穀類の項目に準拠〔10〕。)

2.3 炊飯米の観察

双眼顕微鏡(カートン光学 SPT-30)を使用し10倍で撮影を行った。

2.4 走査型電子顕微鏡写真撮影

圧処理浸漬米、圧処理炊飯米を適量採取し、液体窒素を用いて急速に凍結処理を行なった。その後凍結乾燥により米粒を乾燥した。米粒の腹面に傷を入れて割り、その面に金蒸着を行った後、走査型電子顕微鏡(日立製作所 S-515型)で加速電圧15kVで観察し、写真撮影を行った。

2.5 炊飯米の物性

2.5.1 テンシプレッサーによる測定

炊飯終了1h後に、湿らせた濾紙を壁面に貼り湿度を100%に調整したシャーレ内に炊飯米を移した。15℃の室温に放置後、シャーレ内の中心部の炊飯米をテンシプレッサーで計測した。測定機器はテンシプレッサー(タケモト電機製 TTP-50BX)を用いた。予備テストの結果から試料を圧縮するクリアランスは0.4mmとし3粒法により5回測定して結果を求めた。Fig.1に示した測定図に従い H_1 (硬さ)、 H_2 (粘り)から、バランス度(H_2/H_1)を算出した。

2.5.2 炊飯米の導電率の測定方法

炊飯米を粒状の集合体として導電率を測定するため Fig.2 に示すごとく両側に電極が挿入できるアクリル筒を作成した。測定方法は文献〔11〕を参考とし、アクリル筒に資料を120g入れ、銅板を通して1kHz・1Vの交流電圧を印加し、両極間のインピーダンスから導電率を算出した。6hで内部温度を5℃とし、その時点での導電率を1日目の導電率とした。その後5℃のまま保存して日時経過による導電率を測定した。

3. 実験結果並びに考察

3.1 浸漬米と炊飯米の水分の測定結果

浸漬米と炊飯米の水分の測定の結果を Table 1 に示した。浸漬米水分は圧力処理によって400MPaまでは圧力の上昇につれて少しずつ上昇し、600MPaで急激に水分が高くなった。これは600MPa付近で澱粉の結晶構造が変化し〔12〕、水の進入によって質的な変化が生じたものと考えられる。

Table 1. Water contents of the cooked rice and the swollen rice.

Process Pressure	Swollen rice		Cooked rice	
	Koshihikari ^a	Koganemochi ^b	Koshihikari ^a	Koganemochi ^b
Control	31.30 %	35.26 %	63.47 %	59.11 %
200MPa	31.31 %	35.78 %	63.10 %	58.84 %
400MPa	31.93 %	36.03 %	63.21 %	58.85 %
600MPa	36.10 %	39.73 %	64.64 %	58.05 %

^a "Koshihikari", *Oryza sativa* L. *Japonica*, cv. Koshihikari, harvested in Niigata prefecture in 1994.

^b "Koganemochi", *Oryza sativa* L. var. *glutinosa* Matsum. cv. Koganemochi, harvested in Niigata prefecture in 1994.

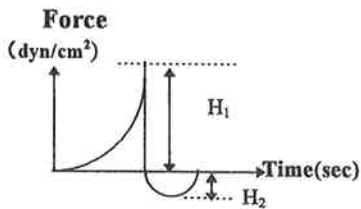


Fig. 1. Measurement figure of tensipresser.
H₁, Hardness; H₂, Stickiness; H₂/H₁, Balance ratio

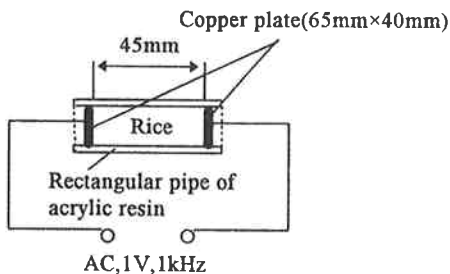


Fig. 2. Method of the conductivity measurement.

米粒に触れると、600 MPaの圧処理浸漬米が少し柔らかかったが、それ以外の処理区ではコントロールと圧処理浸漬米に外見上の差はなかった。

炊飯米水分は出来上りの水分にできるだけ差がつかないように、加水総量を調節して炊飯した。しかしコシヒカリの600 MPaについては浸漬米水分が高かったためか1%以上高い炊飯米となった。Fig. 6に示した600 MPa圧処理浸漬米のSEM写真から澱粉が

変性している様子が観察できる。圧力処理によって500 MPa付近で結晶構造が崩れる〔12〕、酵素消化性が上昇する〔13〕などの報告があることから、600 MPaでは広範囲に圧力による澱粉の変性が生じた結果、熱での糊化に影響を与えたものと考えられる。

3.2 テンシプレッサーによる炊飯米のバランス度(H₂/H₁)の測定結果

テンシプレッサーでの炊飯米の物性測定はJuliano〔14〕磯野ら〔15〕によってテクスチャーメーターやインストロンと同様な傾向が得られるという報告があり、更に岡留や大坪らは改良型テンシプレッサーでは圧縮率の違いによって炊飯米の全体と表面付近の各々の情報を得ることができるとしている

〔16〕。設定したクリアランス値で圧縮した場合、得られた最大波高荷重値を硬さ(H₁)とし、圧縮終了後に引張する際付着による応力が生じるが、この最大の谷を粘り(H₂)とし、「粘り/硬さ」をバランス度(H₂/H₁)と呼んでいる。バランス度は米飯の食味総合評価と正の相関を示しており、大坪らは食味粘りと0.777の正の相関を示すと報告している〔16〕。

Table 2にコシヒカリによる炊飯米のコントロールと圧処理炊飯米の炊飯後1hと24h後の硬さ(H₁)、粘り(H₂)およびバランス度(H₂/H₁)を5検体の平均で示した。

炊飯1h後ではコントロールに比較して圧処理炊飯米はバランス度が高く、粘りのあることを示している。これは圧処理炊飯米が糯種に近づいたような食感を与えることと合致しており、渡辺らの200 MPaの圧力処理の結果と同様な傾向を示している〔9〕。ただ渡辺らは広島県産アキヒカリを20 min浸漬し圧力処理をした場合には、400 MPa以上では吸水量が多く、多くの澱粉が水に流出するために湯

Table 2. Balance ratio of the cooked rice "Koshihikari" by Tensipresser (TTP-50BX).

Physical properties sample	1 h after cooking			24 h after cooking		
	Hardness, H_1 [$\times 10^3$ dyn/cm 2]	Stickiness, H_2 [$\times 10^3$ dyn/cm 2]	Balance ratio H_2/H_1 [-]	Hardness, H_1 [$\times 10^3$ dyn/cm 2]	Stickiness, H_2 [$\times 10^3$ dyn/cm 2]	Balance ratio H_2/H_1 [-]
Control	5.95	0.40	0.07 ^a	3.86	0.27	0.07
200MPa	5.12	0.55	0.11 ^b	4.97	0.33	0.07
400MPa	6.15	0.60	0.10 ^b	4.81	0.28	0.06
600MPa	5.56	0.80	0.14 ^c	3.46	0.46	0.13

The average of five measurements is shown in the table.

^{a,b,c}: The same letters are not significantly different at $P=0.05$ as determined by Duncan's multiple range test ($n=5$).

炊きをしなければならなかったと報告している。しかしこの実験では 400 MPa 以上の圧力処理でもそのような現象は見受けられなかった。

1 h 後と 24 h 後のバランス度を比較するとコントロールでは殆ど変化しなかった。しかし 200、400 MPa での圧処理炊飯米のバランス度は低下し、コントロールとあまり変わらない値となった。炊飯米の硬さと粘りは時間経過とともに低下するが、圧処理炊飯米のバランス度の低下は、硬さの低下よりも粘りの低下が大きいことに起因している。しかし圧処理炊飯米は粘りの低下が大きいにもかかわらずコントロールに比べて相対的に高いために、24 h 後になっても老化したご飯を食べた時に感じる崩壊感がなく弾力性のある食感であった。この老化に際しての好ましい食感については圧縮率を変化させて測定することが必要なのではないかと考えられた。600 MPa 圧処理炊飯米も粘りの低下が大きく他の圧処理炊飯米と同様な特長を示している。しかし浸漬米の水分が高いことに起因すると思われるが、炊飯後の水分も高く、結果として硬さが低くなりバランス度が高かった。食感も 400 MPa 圧処理炊飯米に比べ軟らかかった。

圧力処理炊飯米は炊飯直後には非常に粘りが大きいことが特長である。その後老化とともに硬さの低下に比較して粘りの低下が大きく、食感が硬く感じられると推定された。

そこで炊飯後のバランス度の変化が大きく、圧力の影響を強く受けていると考えられる 400 MPa 圧処理炊飯米の微細構造を観察した。

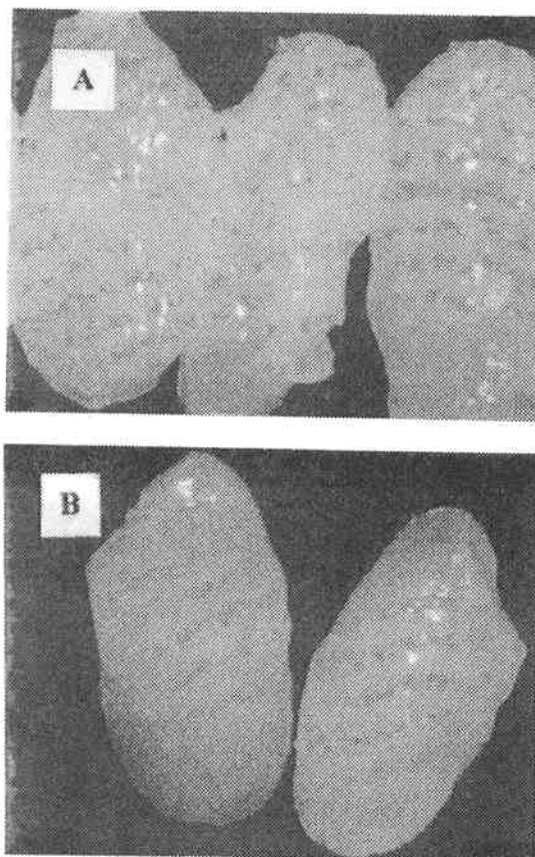


Fig.3. Appearance of the cooked rice "Koshihikari".

A, Cooked control rice: The grains of the cooked control rice have some cracks.

B, Cooked high-pressure-treated rice: A grain of cooked high-pressure-treated rice is similar in figure to a raw rice grain.

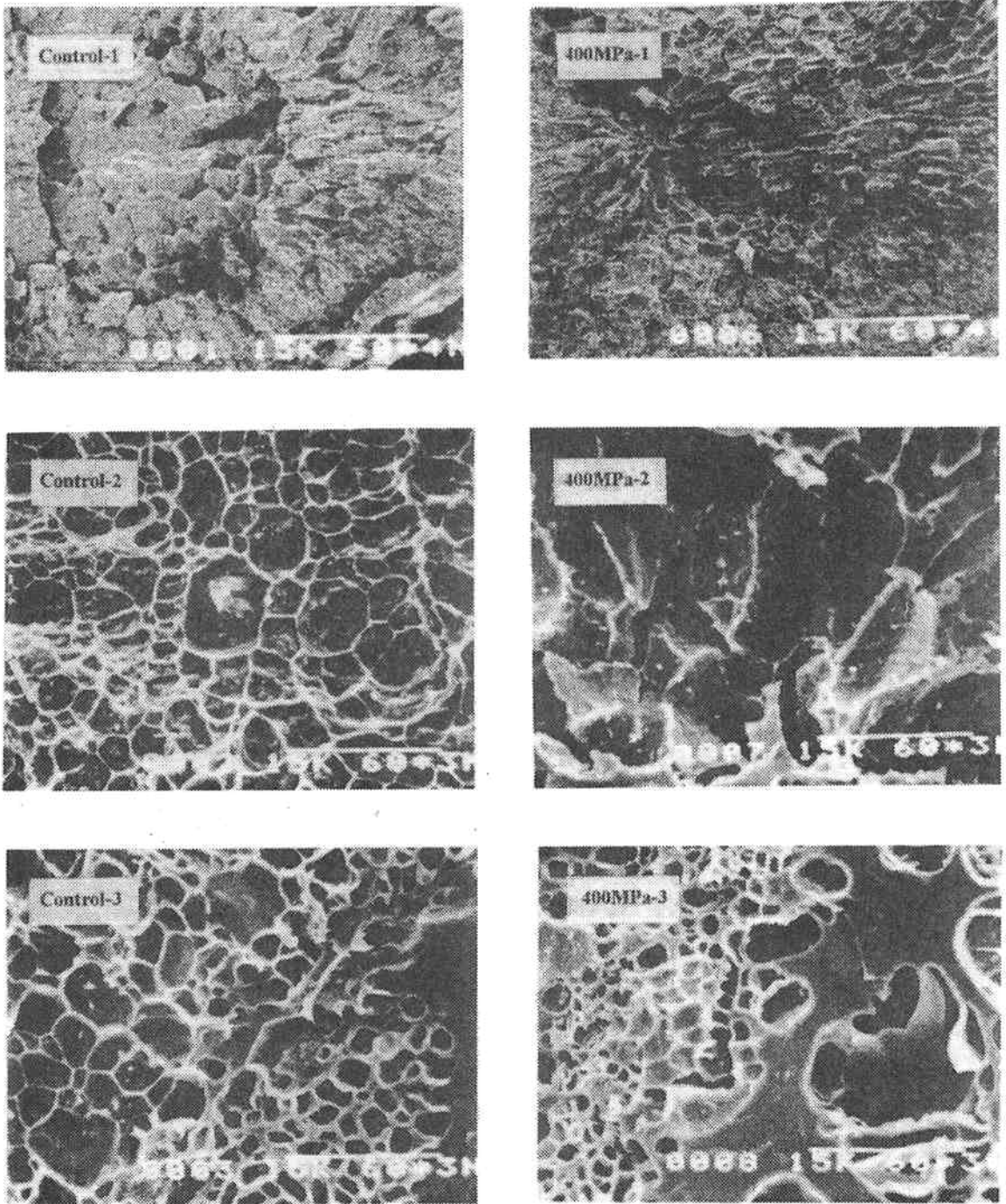


Fig.4. Scanning electron micrographs showing inner structure of the cooked rice "Koshihikari" .

1, whole, bar length, 600 μm ; 2, center, bar length, 60 μm ; 3, outer, bar length, 60 μm .

400 MPa-1: The endosperm cells are more deformed than the control sample.

Control-2,3: Since the starch granules are not yet gelatinized enough, thin gelatinous membrane networks are observed.

400 MPa-2,3: Since the starch granules are gelatinized well, thick gelatinous membrane networks are observed.

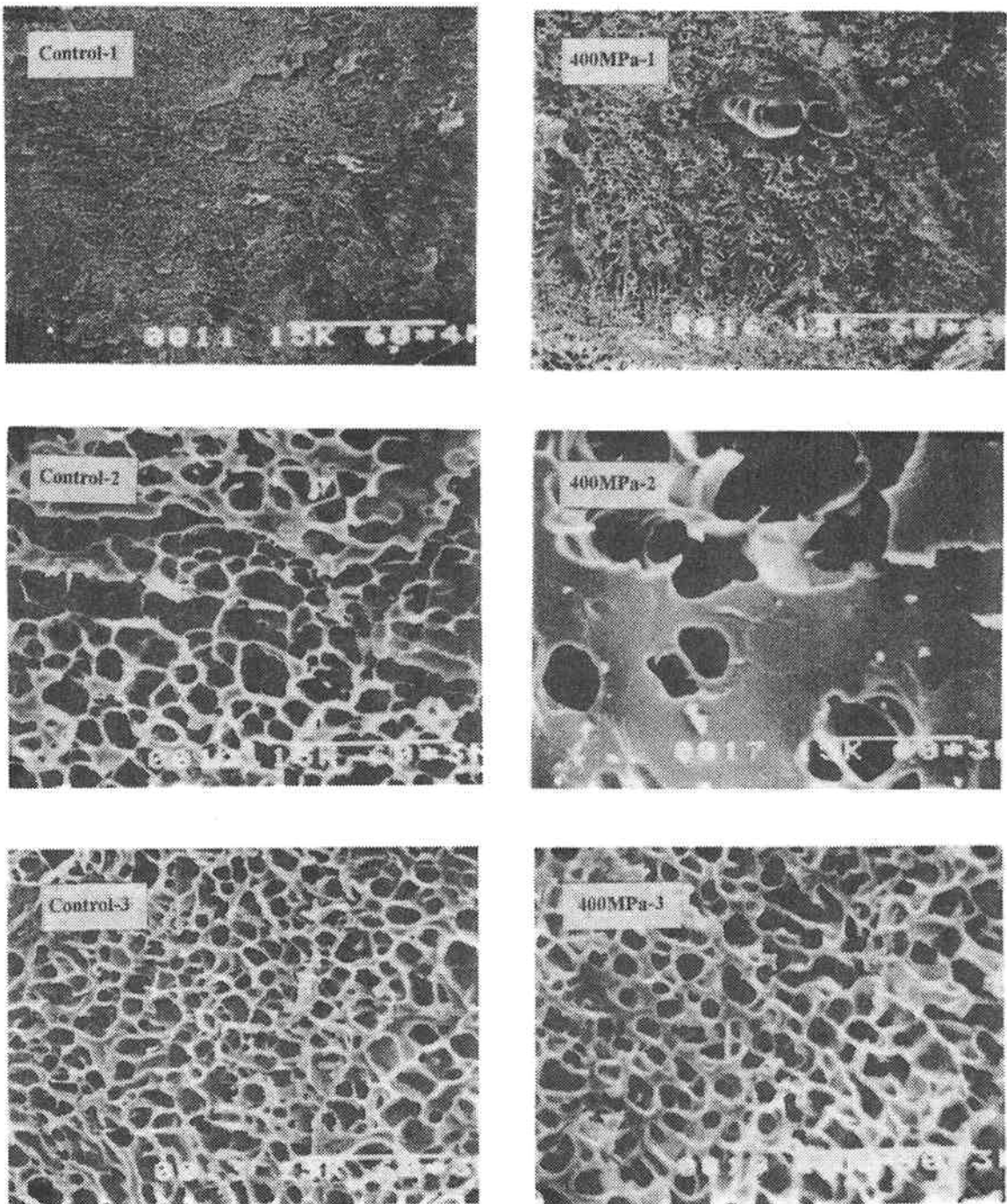


Fig. 5. Scanning electron micrographs showing the inner structure of the cooked rice "Koganemochi" .

1, whole, bar length, 600 μm ; 2, center, bar length, 60 μm ; 3, outer, bar length, 60 μm .

400 MPa-1: The starch granules are more gelatinized than the control sample.

400 MPa-2,3: The gelatinous membrane networks are observed more thickly than the respective control samples.

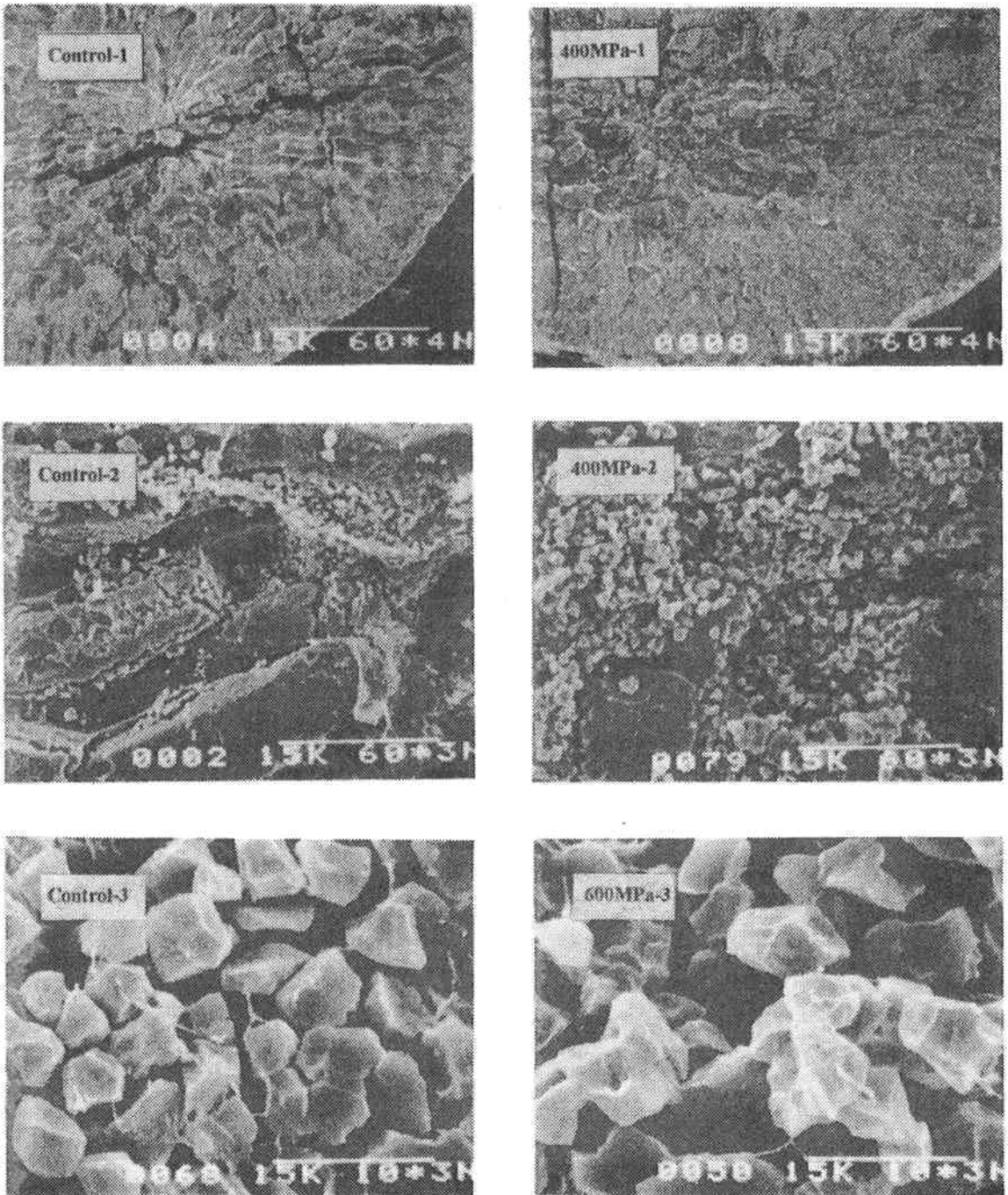


Fig. 6. Scanning electron micrographs showing the inner structure of the swollen rice "Koshihikari".

1, whole, bar length, 600 μm ; 2, center, bar length, 60 μm ; 3, starch granules, bar length, 10 μm .

400MPa-1: The endosperm cells are more deformed than the control sample.

400MPa-2: The water penetration into the peripheral portion of each starch granule is observed more clearly than the control sample.

600MPa-3: Compared with the control sample, some parts of starch granules are denatured to gelatinized starch.

3.3 圧処理炊飯米の外観

Fig.3 にコントロールと 400 MPa 圧処理炊飯米の外観写真を示した。

米粒の外観についてコントロールでは亀裂や破裂の現象が見られる。それに比較して 400 MPa 圧処理炊飯米はほぼ穀粒の時の形態のまま大きくなっていて、米粒に亀裂や破裂の現象は見られない。

この外観の差が炊飯直後に、コントロールは米粒の形が不良で光沢がなく、一方 400 MPa 圧処理炊飯米は光沢があり各々の粒が立っている印象を与えるものと考えられた。この炊飯米の形態の違いは、糊化の違いを示唆しており、3.4 に考察した。

3.4 圧処理炊飯米ならびに浸漬米の微細構造

3.4.1 圧処理炊飯米の微細構造

Fig.4 にコシヒカリのコントロールと 400 MPa 圧処理炊飯米の SEM 写真を示した。写真に記された 1 は全体像、2 は中心部の拡大、3 は外周部の拡大像を示した。

全体像を観察すると、コントロールに比較して 400 MPa 圧処理炊飯米では米粒中の空隙が大きくなり、胚乳細胞の形が崩壊している。

中心部ならびに外周部の拡大写真を比較すると、コントロールの中心部や外周部には未膨潤の澱粉粒が残り、糊のネットワークは壁が薄く、空隙は小さい。一方 400 MPa 圧処理炊飯米の中心部や外周部では、部分的に厚い壁で構成された糊のネットワークが認められる。

Fig.5 に糯種であるこがねもちのコントロールと 400 MPa 圧処理炊飯米の SEM 写真を示した。コシヒカリのコントロールと 400 MPa 圧処理炊飯米に観察される傾向は、こがねもちでは更にはっきりと認められる。400 MPa 圧処理炊飯米ではコントロールに比べ膨潤している様子が観察され、厚い糊のネットワークが確認される。

一般にコシヒカリのような良食味米および新米を凍結乾燥法によって SEM 写真で観察すると、小さな空隙が数多く観察される〔17〕。しかし相原はグルタルアルデヒドで固定して試料を作成した場合には、澱粉粒の周りに単純な亀裂が観察されると報告している〔18〕。凍結乾燥法では凍結時の氷結膨張による食品全体の体積膨張は含有水分と氷結率の積の 9 %位とされている。食品の共晶点は -60°C 付近とされているが、60%の水が一度全部氷結したもの

とすると $0.6 \times 1.00 \times 0.09$ で約 5 %程度の膨張となる〔19〕。従ってもし自由水が存在した場合にはその箇所は割増しの空隙として観察される筈である。しかし Fig.4、Fig.5 にみられる澱粉糊のネットワークの囲む空隙について、本来は水で満たされていたのか空気が存在していたのかを直接的に確認することはできない。

秋山らは酒米の蒸し工程での蒸し米をレプリカ法によって光学顕微鏡で撮影しているが〔20〕、内部は澱粉と水で構成されているように思われる。また空隙が全て気泡であったと仮定すると、炊飯米はもっと透明感がなく白濁すると思われる。これらの点から空隙には自由水またそれに近い水が存在していたと考えられる。したがってそれが凍結乾燥によって強調されたものと推定できる。

いずれにしても浸漬米に圧力処理を行って炊飯した場合には、コントロールに比較して澱粉粒への水の進入が深く、糊化の進行が推察された。

3.4.2 圧処理浸漬米の微細構造

圧処理炊飯米は糊化が促進されたと考えられる。これは浸漬時に加圧され、含水状態に差が生じたことに起因すると思われる。そこで浸漬米の微細構造の観察を行った。米には蛋白顆粒が 3~4 %あり、ほかに細胞壁成分なども含まれるが、ここでは主たる構成物質としての澱粉を観察した。

Fig.6 にコシヒカリのコントロールと 400 MPa 圧処理浸漬米の SEM 写真を示した。全体像を観察すると、400 MPa 圧処理浸漬米の胚乳細胞は形を崩している。中心部の写真を観察すると、コントロールでは澱粉粒が緻密に細胞中に存在し、細胞膜付近や所々の澱粉の間に水が浸入した形跡があるだけである。一方 400 MPa では、広い範囲で澱粉粒の間に水の浸入した形跡が観察される。圧力処理によって、米粒中の胚乳細胞を構成する澱粉の各粒や、粒子の内部にまで水が浸入したものと推定される。

600 MPa 圧処理浸漬米ではスケールバーが 10 μm の写真のみを示したが、澱粉粒が変形して膨潤したように観察される。

このように圧力処理によって米粒内の澱粉粒に強制的な水合が生じ、コントロールに比べ炊飯米の糊化が進行した結果、炊飯米の米粒が穀粒に相似のまま膨張したものと推察された。

3.5 導電率の測定結果

炊飯米内部の水の存在状態の変化を調べるために炊飯米を5℃に保存し4日間の老化過程での導電率を測定した。

導電率の測定結果をFig.7に示した。

400 MPaの圧処理炊飯米は、同一水分、同一老化条件でコントロールより導電率が高かった。また他の実験で、細かい米粉を用いて高い温度で十分に糊化させて製造した餅は、通常の製法による餅より初期の導電率が高いことを確認している。

経時の測定結果では、コントロールの導電率の上昇に比べ、400 MPa圧処理炊飯米の導電率の上昇が早い。これは、澱粉ゲル中での分子の再配列が早く、ゲルおよび澱粉粒内部での導電性イオンを含む自由水の増加のためではないかと推測できる。しかし、後述するように糊化の進行した濃厚な澱粉食品での老化過程の硬化の速さについては、まだ不明の部分が多い。

3.6 まとめと今後の課題

① Fig.6 で示唆される如く、米粒のように複雑な組織の澱粉粒に均等に吸水させる手段として、圧力処理が有効であると判断された。

② コシヒカリの400 MPa圧処理炊飯米を観察した結果、圧力処理によって炊飯直後は粘りのある炊飯米となり、外観も亀裂がなく均一に炊き上がった。その後、5~15℃の保存条件でコントロールより早く硬化したが、弾力性のある食感が残りおいしいことが確認された。

③ 米粒の高圧による変性は、熱による糊化とは異なっている。今回の結果では高圧による変性が加熱による糊化を促進するような形で観察された。

④ 導電率を測定した結果、400 MPa圧処理炊飯米は炊飯当日から導電率が高く、その後更に早く上昇するという結果が観察された。これは澱粉ゲル中での分子の再配列に起因し、導電性イオンを含む自由水の増加が速いのではないかと推察された。

従来、糊化が十分に進行した澱粉は老化が遅いとわかれてきた〔21〕。

しかし近年稲場らはBAP法により糊化度と老化度を測定した実験で馬鈴薯、とうもろこし、さつまいも、小麦では糊化度の高い検体のほうが老化が速いと報告している〔22〕。

肥後は電子レンジの調理特性について一連の報告を行っているが〔23〕マイクロ波でパンを加熱すると、加熱直後は極めて軟らかいが、急速に硬化する現象について以下のように述べている。電熱加熱

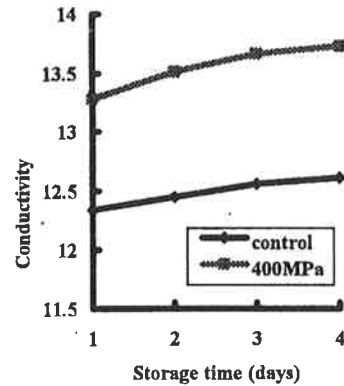


Fig.7. Changes conductivity of the cooked rice "Koshihikari" with time during the storage.

Rice treated at 400 MPa exhibited higher conductivity immediately after cooking than the control rice, and the conductivity increased with time during storage.

に比較してマイクロ波加熱の場合には急速な昇温によって糊化が促進され、澱粉粒が膨潤崩壊して親水性のアミロースが流出し、多量のゾルを生成する。その後低温に放置するとゲル状態に移行して結合水量が増加し、水溶性澱粉量が減少する。この硬化現象は糊化度の高い状態での変化であり、結晶化は硬化より遅れて生じるとしている。このことからアミロース含量の高い溶出部によって硬化現象が生じるのではないかと考えられる。

また勝田らは老化過程における団子の硬化は同一水分であれば粳団子より糯団子のほうが速く硬くなり、0℃に保存した粳団子は製造するときの粉の粒度が150~200 meshの時に硬化速度が最高であったと報告している〔24〕。その中で糊化に際してアミロースの溶出に起因する網状構造(C領域)、アミロペクチンの内部アマロファス領域のガラス転移に起因する網状構造(B領域)、その中に結晶領域の溶融に起因する密な凝集体(A領域)を想定している。そして濃厚な澱粉系のアミロペクチンのみの糯種ではA、B領域が十分接近して密度が高ければゲル化が速く、粳種ではアミロース同士の接近がアミロペクチンで阻害されることによって老化の速度が変わる。150-200 meshは粳団子の細密充填構造だったのでないかと述べている。

今回の実験では、水分60%程度の米飯で糊化が進行していながら硬化が早いという結果が得られ、実験結果は示さなかったが糯種のこがねもちについて

も同様な結果が得られている。したがって単にアミロースの溶出だけで硬化の現象は語ることができず、アミロペクチン部分の非晶質部分や結晶質部分がどのように水和、膨潤、糊化をしてゲルを形成しているか、更にコシヒカリの場合にはそこにアミロースの溶出部分がどうかかわっているかで硬化の速度が決定されるのではないかと考えられる。

工業的にはこれらの圧処理炊飯米は粒形が保たれていて作業性が良いので、加水を多くして硬化を遅らせることが可能である。また吸水の悪い古米、インデカ米についても圧力変性を併用することで、バランス度の高い炊飯米を作ることができると考えられる。

4. おわりに

澱粉、または米に圧力処理を施すと、熱による糊化と同じように酵素による消化性が上昇し、偏光十字が消えることなどが指摘されてきた。しかし圧力による水和・膨潤・変性の形態については未知の点が多い。先に述べたようにDSCによる解析で融解潜熱ピークが0℃付近にあることや、今回の実験で高圧による変性が加熱による糊化に相乗的に働いたことを考えると、圧力処理による米粒中の水は独特の存在形態をしていると考えられる。

また圧力処理米飯の炊飯直後の粘りの増加については、圧処理による外部への溶出物は認められず、内部の変化によって炊飯時に生じた現象であり、詳細の解明は今後に残されている。

圧処理炊飯米の経時的な硬化の速さは、澱粉の糊化の程度や糊化の仕方が老化過程での硬化に密接な関係があることを示している。圧力処理を行った澱粉や米粒には水の進入が深く、濃厚な澱粉系であるにもかかわらず糊化を促進できるという優れた特長がある。この特長を利用して濃厚系の澱粉ゲルの老化に関する知見が得られることを期待する。

謝 辞

本研究にあたり高圧処理装置を提供して下さった越後製菓(株)の総合研究所およびSEM写真の撮影に関してご協力をいただいた新潟県食品研究所並びにご指導いただいた吉井洋一氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 林 力丸:「高圧力の科学と技術」,1,272-279 (1992),“食品産業とバイオテクノロジーのための高圧生物学.”
- [2] 林 力丸編:「食品への高圧利用」,さんえい出版,京都,1989年
- [3] 林 力丸編:「加圧食品-研究と開発-」,さんえい版,京都,1990年
- [4] 林 力丸編:「高圧科学と加圧食品」,さんえい出版,京都,1991年
- [5] 越後製菓(株):特願平1-220528(1989),“高圧をかけて作る低塩包装漬物の製造.”
- [6] 山崎 彬, 笹川秋彦, 杵淵美優子, 山田明文:「高圧バイオサイエンス」, 功刀 滋・嶋田昇二・鈴木敦士・林 力丸編,さんえい出版,京都,1994年,第41章“高圧処理を利用した餅の製造.”
- [7] 笹川秋彦, 杵淵美優子, 山崎 彬, 山田明文:「高圧バイオサイエンス」, 功刀 滋・嶋田昇二・鈴木敦士・林 力丸編,さんえい出版,京都,1994年,第42章“高圧処理を利用した米菓の製造.”
- [8] 山崎 彬:化学工学会新潟大会研究発表講演要旨集,32-35(1995),“食品工業への高圧の利用.”
- [9] M.Watanabe, E.Arai, K.Honma and S.Fuke: Agri. Biol. Chem., 55, 2725-2731 (1991) “Improving the Cooking Properties of Aged Rice Grains by Pressurization and Enzymatic Treatment.”
- [10] 香川 綾監修:「四訂 食品成分表」, 女子栄養大学出版部, 東京, 11-14 (昭和62年), “科学技術庁源調査会編:四訂日本食品標準成分表”
- [11] A.Yamazaki, K.Yamamoto and A.Yamada: 日本食品科学工学会誌, 42, 369-375 (1995), “An Approach to the Evaluation of the Physical Quality of Rice Cakes.”
- [12] Y.Hibi, T.Matsumoto and S.Hagiwara: Cereal Chemistry, 70, 671-676 (1993), “Effect of High Pressure on the Crystalline Structure of Various Starch Granules.”
- [13] 江崎佐知子, 林 力丸:「生物と食品の高圧科学」, 林 力丸編,さんえい出版,京都,1993年,第13章“各種デンプンに対する圧力と熱の効果の相関関係.”
- [14] B.O.Juliano, T.Iwasaki and N.Sibuya: J.Texture Studies, 12, (1981)
- [15] 磯野 仁, 大坪研一, 岩崎哲也, 山崎 彬: 日本食品工業学会誌, 41, 485-492 (1994), “国内産、外国産を含む多品種、多形質の米の食味特性.”

- [16] 大坪研一, 豊島英親, 岡留博司: 食品工業, 2.28, 18-26 (1995), "おいしい米の条件とは."
- [17] 松田智明: 「稲と米」, 農林水産省農業研究センター, 生物系特定産業技術研究推進機構, 平成元年, 第11章 "稲から飯までの微細構造."
- [18] 相原茂夫: 食品加工技術 14, 317-323 (1994), "食品の高圧電場処理と水の効果."
- [19] 加藤舜郎: 「低温生物学概説」, 根井外喜男編, 東京大学出版会, 東京, 160-194 (1971), "冷凍食品における水の挙動とその影響に関する問題."
- [20] 秋山裕一, 山本友厚, 鈴木明治: 醸造試験所告第135号, 1-11 (1963), "蒸し米の蒸し時間およびその程度について、(その6)."
- [21] 松作 進: 「澱粉科学ハンドブック」, 二国二郎監修, 朝倉書店, 東京, 39-42, 3.3 "澱粉ノリの老化."
- [22] H.Inaba, Y.Hatanaka, T.Adachi, Y.Matsumura and T.Mori: Oyo Toshitsu Kagaku, 41, 181- 185 (1994), "Effects of Conditions of Gelatinization on the Retrogradation of Starches."
- [23] 肥後温子, 野口駿: 日本食品工業学会誌, 34, 781-787(1987), "マイクロ波加熱によるパンの硬化過程."
- [24] 勝田啓子, 高橋洋子, 佐藤恵美子: 日本家政学会誌, 46, 431-437 (1995), "老化団子のみかけの活性化エネルギーと自由体積分率(第2報)."

[1996年4月24日受理]