動的粘弾性測定による米澱粉の品種特性の解明

乙部和紀*・吉井洋一**・杉山純一*・菊池佑二*

Varietal Properties Related to Dynamic Viscoelasticity on Gelatinized Rice Starch

Kazunori OTOBE*, Youichi YOSHII**, Junichi SUGIYAMA*
and Yuji KIKUCHI** National Food Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry,
and Fisheries, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305** Food Research Institute of Niigata Prefecture,
2-25, Shinei-cho, Kamo-shi, Niigata 959-13

Dynamic viscoelasticity of gelatinized rice starch was measured by the same instrument (micro-rheometer) and method (double-side shear mode) as those in the measurement of cooked rice grains reported in the preceding paper. Gelatinized starches of five rice varieties prepared under the several conditions including water contents (50-60%), heating durations of gelatinization (10-60 minutes) and durations of storage (1 hour and 24 hours). The measurements showed that the coefficients of variance (CV) of dynamic modulus (G') and dynamic loss (G'') were from 10 to 20% over all samples. On the other hand, CV of loss tangent ($\tan\delta$) was less than 10%. Each variety could be classified by $\tan\delta$ in spite of different preparations. This classification was similar to that of the cooked rice grains, which is independent of cooking methods. In addition, tendency of changes of $\tan\delta$ were the same between the microwave cooked rice grains and gelatinized rice starch. The correlation between the breakdown and $\tan\delta$ was found, which was also observed in the cooked rice grains. These results show that the dynamic viscoelasticity of cooked rice grains is mostly dominated by the property of their starches.

(Received Jan. 12, 1994)

著者らは前報¹⁾において、杉山²⁾らの開発した微小体用動的粘弾性測定器により微小変形領域におけるレオロジー測定ができることを利用して、非破壊的な米飯粒レオロジーの測定を試みた。その結果、米飯粒のレオロジー的品種特性を表す指標として、動的粘弾性パラメータのひとつである損失正接の有効性が確かめられた。また、従来法との比較として、アミログラム特性との対応もあわせて調べた。その結果、供試米のブレイクダウンと損失正接との間に相関がみられたことから、損失正接に対する澱粉レオロジーの影響が示唆された。

米の主要成分である澱粉や蛋白質、細胞壁と米飯レオ

ロジーとの関係については、これまで様々な研究が成されている³⁾⁴⁾。ただし、従来の研究では成分のレオロジーと米飯粒レオロジーの相関を議論するに留まり、米飯粒に対する成分のレオロジー的な寄与を明確に示すデータは得られていない。その原因のひとつとして、両者のレオロジーを測定する際、それぞれ異なった測定手法を用いている点があげられる。

例えば、米飯レオロジーの測定は遠藤ら⁵⁾のテクスチュロメータを用いた研究や、辻⁶⁾のテンシプレッサーによる研究等がある。一方、米飯レオロジーと関連した澱粉レオロジーの研究では、竹生ら⁷⁾、ならびに堀内ら⁸⁾

米飯の動的粘弾性に関する研究 (第2報)

* 農林水産省食品総合研究所 (〒305 茨城県つくば市観音台) 2-1-2)

** 新潟県食品研究所 (〒959-13 新潟県加茂市新栄町2番25号)

によるアミログラフを用いた研究がある。しかし、これらは観察している現象(変形・破壊様式等)がそれぞれ異なっているため、手法間の相関はわかっていても数値の比較は意味を成さない。特にアミログラフは観察している澱粉濃度が米飯と異なることに加えて、澱粉ゲルの構造を破壊しながら測定するため、米飯レオロジーとの対応について様々な問題点が指摘されている⁹⁾。

さらに、成分の寄与を調べると言っても、細胞壁の構造を保持した状態で澱粉を分離することは不可能である。したがって間接的ではあるが、澱粉単独のレオロジーを調べることににより、それぞれの寄与を調べる方法を採らざるを得ない。そのためには米飯粒との比較が必要であることから、米飯粒の場合と同様の条件において澱粉レオロジーを観察する必要がある。その点では、杉山らの方法は不定形試料の測定が可能であることから、上記の要件を満たしている。さらに、動的粘弾性測定については高分子材料を対象とした研究が進んでおり¹⁰⁾、それらの知見を生かした米飯レオロジーの解析につながる可能性がある。

以上の点から、本報では前報と同様の手法により、澱粉と米飯粒の動的粘弾性の比較を試みた。ただし、同じ品種の米であっても搗精度や乾燥・貯蔵などの条件により変化することを考慮して、前報で使用した試料から抽出した澱粉を用いた。これを米飯粒と類似の条件で糊化させ、同じ測定法で動的粘弾性パラメータの測定を行うことにより、性状及び測定条件の共通性を確保した。また、従来から言われている糊化・老化時の澱粉性状変化と動的粘弾性パラメータの挙動との対応を調べるため、試料調製条件(加熱条件、水分含量、放置時間)の検討に重点をおいて実験を行った。これらのデータに基づいて米飯粒のデータとの比較を行うことにより、炊飯過程における澱粉性状変化に関する新たな知見を得ることができた。

実験方法

1. 試料

(1) 供試米

前報の実験に用いた試料と同時に摩擦式精米器(サケモーターワンパス)により搗精されたものを用いた。アミロース含量の異なる試料に関する知見を得るため、低アミロース米として平成元年産道北52号(北海道立上川農業試験場)、高アミロース米としてはホシユタカ(農林水産省中国農業試験場)、中間種として平成2年新潟県産アキヒカリ、コシヒカリおよび越路早生を用い

表1 供試米(搗精後)の理化学的性状 単位:%

	精米歩合	タンパク質	アミロース
コシヒカリ	90.3	6.7	19.4
越路早生	90.0	8.1	21.3
アキヒカリ	90.7	7.6	21.9
道北52号	90.2	11.6	17.5
ホシユタカ	86.7	6.5	30.0

た。搗精後の精米歩合、タンパク質およびアミロース含量を表1に示した。試料は環境温度4℃で保存しておき、試験直前に常温に戻してから試験に供した。

(2) 澱粉ゲル作製方法

(1)の試料から0.2% NaOH水溶液を用いて抽出した米澱粉に、所定の水分量となるように水を加えてスラリーにした後、樹脂袋(PET)に充填・密封して所定の時間煮沸して糊化させた。ただし、澱粉は沈降速度が速いため、澱粉の分布に片寄りが生じて均一なゲルを得ることが難しい。このため、澱粉が浮遊している間の短い時間で膨潤するように、熱が試料全体に伝搬し易い形状である必要があることから、充填・密封すると平板状(厚さ約2mm)になる樹脂袋に澱粉懸濁液を充填した。

糊化条件は、含水率並びに加熱時間による影響を調べるために、含水率を50%、55%、60%(加熱時間20分)、加熱時間を10分、40分、60分(含水率50%)とした。

(3) 米飯粒

前報に示したように、伝熱炊飯米は精米300gを1.4倍加水で電気炊飯器(日立、RZ-480MT)にて自動炊飯したものを用いた。マイクロ波加熱炊飯米としては、精米150gを1.5倍加水で電子レンジ用炊飯容器にて電子レンジ(500W, 13分間)を用いて炊飯したものを用いた。

2. 測定方法

作成された試料を室温(20℃)で1時間および24時間放置した場合についてそれぞれ調べた。所定の時間放置した試料を測定直前に樹脂袋から取り出して、約5mm×5mm×2mmの大きさに切り出してから、乾燥を防ぐためにふた付きプラスチックカップ(径5cm, 高さ3cm)に移した。試料をカップから2片ずつ取り出して微小体用動的粘弾性測定装置(レオログラフマイクロ、東洋精機(株))に装着し、以下の条件で測定を行った。

<測定条件>

測定モード : 不定形ズリ振動モード

スペーサ厚さ: 2.6mm

加振振幅 : 40 μ m

加振周波数 : 2Hz

歪 : 3.6% (平均)

動的弾性率 (G'), 動的損失 (G''), 及び損失正接 ($\tan\delta$) の数値は, 試料を測定するたびに取り替えて 10 回繰り返し測定した平均値で表している。

結果および考察

1. 動的粘弾性パラメータの変動率

含水率及び加熱時間による動的粘弾性パラメータの変動率変化は, 各品種とも同じ傾向を示した。例として道北 52 号の場合を表 2 に示す。 G' , G'' の変動率は含水率や加熱時間に関わらず, 1 時間放置の試料で 10~20% の範囲であったのに対して, 24 時間放置の試料では 20% を越えるものが多い。一方, $\tan\delta$ の変動率は放置時間に依らず全て 10% の範囲であり, 特に 1 時間放置試料では米飯粒の測定結果と同様に 5% 以内であった。ただし 24 時間放置試料の変動率の増加傾向は G' , G'' と同様に見られた。

前報の米飯粒では, 上記のような放置時間による変動率の増加は観察されておらず, 老化の進行度合いの空間的なばらつき方が粒状態と澱粉ゲルとで異なることを示すものと思われる。これを老化に伴う澱粉ゲルの離水と水分放散過程の面から考えると, 米飯粒の場合は粒間の隙間から水分が放散され, 集合体としての試料水分が均一になりやすい。それに対してゲルでは表面からしか放散されず, 内部の水分分布に片寄りが生じやすいため, 老化の進行度合いにばらつきが生じた結果と考えられる。

動的粘弾性パラメータの変動率については, 前報や堀内ら¹¹⁾のヤマトノリとモチ蒸し米を用いた実験で, G' , G'' の変動率が 15% 以内であることが確認されている。今回の結果も同程度の変動率であったことから, 機器の精度が性能的に保証された条件のもとで測定が行われたと判断できる。

各パラメータの変動率の大小関係については次のように考えられる。動的粘弾性パラメータ算出の基である変位と力の比を複素平面上で表すと, 強度と位相という 2 種類の独立変数で表せる¹²⁾。動的粘弾性パラメータをこれらの独立変数の組み合わせによって表すと, G' , G'' は強度と位相の積, $\tan\delta$ は位相のみで表すことができる。一方, 独立変数の積の形で表される物理量の変動率は, 両変数の変動率の平方和の平方根で表されることが知られている¹³⁾。以上のことから, G' , G'' の変動率は位相と強度各々の変動率の平方和の平方根であるため, 位相の寄与しかない $\tan\delta$ の変動率よりも大きな値を示したと考えられる。

2. 含水率による変化

図 1 に見られるように, G' , G'' は含水率が 10% 増加するのにともなって半減したのに対して, $\tan\delta$ は道北 52 号を除いて僅かに減少傾向を示しただけであった。このように, $\tan\delta$ は含水率に影響されずに品種間差を数値で表すことができることや, 動的粘弾性パラメータとして変動率が小さいことから, 米澱粉の場合でも品種間差を表す指標として有効であることが示された。一方, 24 時間放置試料 (図 2) の G' , G'' には, 図 1 と同様に含水率の上昇に伴って減少する傾向が見られるのに対して, $\tan\delta$ はホシユタカと道北 52 号を除いて含水率の上

表 2 動的粘弾性パラメータの変動率

	品種名: 道北 52 号				単位: %		
	加熱時間 ¹⁾ (分)				含水率 ²⁾ (%)		
	10	20	40	60	50	55	60
動的弾性率 G'	10.8	11.4	10.4	16.6	11.4	20.9	12.6
	20.2	18.9	23.2	22.2	18.9	30.8	20.5
動的損失 G''	10.8	10.5	11.2	17.6	10.5	19.8	13.2
	16.6	15.8	20.9	22.5	15.8	23.8	17.4
損失正接 $\tan\delta$	2.2	2.8	2.6	3.1	2.8	3.4	5.0
	4.7	4.9	4.5	2.6	4.9	8.4	7.6

上段, 1 時間放置後; 下段, 24 時間放置後

¹⁾ 含水率 50%

²⁾ 加熱時間 20 分

図 1 動的粘弾性の含水率依存性 (1 時間放置後)

○, コシヒカリ; ●, アキヒカリ; □, 越路早生;
▲, 道北 52 号; ×, ホシユタカ

図 2 動的粘弾性の含水率依存性 (24 時間放置後)

○, コシヒカリ; ●, アキヒカリ; □, 越路早生;
▲, 道北 52 号; ×, ホシユタカ

昇に伴って増加する傾向が見られる。

図 1, 図 2 の見方をかえて, 品種毎の動的粘弾性パラメータの経時変化に着目すると, 含水率により異なる傾向が現れていることがわかる。特に G' , G'' は含水率 50% で, 24 時間放置により道北 52 号を除いた 4 品種に増加傾向が認められたのに対して, 55~60% ではホシユタカ以外の品種では変化が認められない。また, 道北 52 号では両パラメータともほとんど変化していないのに対して, ホシユタカは含水率に関わらず増加している。一方, $\tan \delta$ は含水率に関わらず全品種とも 24 時間放置に

より減少している。以上の結果は, 高アミロース含量及び低含水率が老化促進の要因であることから, 老化に伴うレオロジー変化が G' , G'' の増加, 並びに $\tan \delta$ の減少として現れることを示すものと考えられる。

なお, 食品ゲルに関する $\tan \delta$ の濃度依存性については, 試料の種類や濃度は異なるが, 赤羽ら¹⁴⁾ の大豆蛋白ゲルに関する報告や, 西成ら¹⁵⁾ のゼラチンゲルに関する報告がある。大豆蛋白ゲルの場合, 濃度の増加に伴う $\tan \delta$ の減少と, 熱変性させた試料における $\tan \delta$ の濃度依存性が未変性の場合と同じであることが報告されてい

る。それに対して、ゼラチンゲルでは濃度増加に伴う $\tan\delta$ の増加が観察されている。このような観点からすると、米澱粉の場合はゼラチンゲルよりは緩やかではあるが同様の傾向がみられたことから、ゲル構造になんらかの類似性が存在するものと思われる。

3. 加熱時間による影響

加熱時間と粘弾性パラメータの関係を表したグラフを図3、図4に示す。1時間放置(図3)では、品種によ

て G' 、 G'' の変化傾向は少しずつ異なるが、変動率の範囲内であることから、加熱時間依存性はほとんどないとみなせる。しかし $\tan\delta$ では変動率を考慮すると加熱時間の増加に伴って僅かに増加する傾向があるとみなせる。この結果について、連続加熱中の澱粉懸濁液の構造的な経時変化¹⁶⁾、並びに SCHOCH¹⁷⁾ の老化機作モデルと対応させて考察を試みる。まず、アミログラフィーによる観察から、①澱粉粒の膨潤、②粒内の比較的低分子の

図3 動的粘弾性の加熱時間依存性
(1時間放置後)

○, コシヒカリ; ●, アキヒカリ; □, 越路早生;
▲, 道北52号; ×, ホシユタカ

図4 動的粘弾性の加熱時間依存性
(24時間放置後)

○, コシヒカリ; ●, アキヒカリ; □, 越路早生;
▲, 道北52号; ×, ホシユタカ

多糖（主としてアミロースであるが一部は分岐鎖分子を含む）の溶出，③ 澱粉粒およびゲル構造の崩壊，という3段階の過程が存在していると考えられている。ただし，アミログラフィーは構造の破壊を伴うのに対して，本測定法では微小変形領域の測定であるため，③のような構造破壊は相対的に少ないと考えられる¹⁸⁾。これらの前提に基づくと，加熱時間が短い場合には，①の影響が現れ，長い場合は②および③が現れると③が現れると考えられる。

一方，老化機作モデルによると，糊化に伴うアミロース溶出量とその分散度合いにより，老化の際のアミロペクチンとそれを取り巻くアミロースのネットワークの形態が変化すると考えられる。一方，米澱粉は糊化の程度が低いほど老化が速やかであると言われている¹⁹⁾。また，中沢はジャガイモ澱粉の老化をDSCにより観察した結果，老化が進行すると再糊化吸熱スペクトルは粒構造を保持した状態の澱粉のスペクトルに近づくことをみだしている²⁰⁾。以上の知見に基づくと，加熱時間と粒構造の変化，および粒構造と老化との間には深い関連があると考えられる。したがって，加熱時間の増加に伴う $\tan\delta$ の増加は，糊化の進行度（粒の崩壊度）を反映した結果であると推察される。なお， $\tan\delta$ の加熱時間依存性については，大家ら²¹⁾の米澱粉の糊化特性に関する研究においても同様の傾向のあることが報告されている。

次に，24時間放置試料（図4）では，図2の含水率50%試料（加熱時間20分）の G' ， G'' との比較からも明らかのように，コシヒカリとホシユタカの10分加熱の G' が変動率の範囲を越えて極端に小さいことがわかる。これは，図3においても10分加熱試料では低い傾向が見られたことから，①の過程が充分進行していなかったためゲル構造の形成が弱かったものと推察される。一方，24時間放置試料の $\tan\delta$ には加熱時間依存性が認められず，図2の含水率50%試料と同様の値を示した。このことから，老化が進行すると前述の糊化程度の違いによる $\tan\delta$ の差は消失するものと考えられる。

4. アミログラム特性との比較

前報の米粉アミログラム特性値のブレイクダウンと糊化澱粉の動的粘弾性との関連を調べた結果を図5に示す。図から明らかのように，ブレイクダウンの増加につれて $\tan\delta$ は増加し， G' は減少する傾向がみられる。

ブレイクダウンと $\tan\delta$ との関連については，前報においても米飯粒の測定で同様の結果を得ている。しかし，本報でブレイクダウンと米澱粉ゲルの $\tan\delta$ との関連が示されたことにより， $\tan\delta$ に関する現象論的な理

図5 動的粘弾性パラメータとアミログラム特性値との関係

●, $\tan\delta$; ○, G' ; I, 標準偏差

解を深めることができたものと思われる。さらに，ブレイクダウンは食味評価の粘りと相関の高い指標であることから⁷⁾，この結果は $\tan\delta$ の大小と粘りとの対応関係の存在を裏付けていると考えられる。

5. 米飯粒との比較

図6および図7は，電気炊飯器にるる伝熱炊飯米（以下CH炊飯米とする）と電子レンジによるマイクロ波加熱炊飯米（以下MI炊飯米とする），および澱粉ゲルの G' ， $\tan\delta$ を比較した棒グラフである。図6に示すように，各品種とも炊飯米の G' は澱粉ゲルの3～5倍程度大きな値を示している。さらに，糊化方法に依らず含水率がほぼ同水準であることを考慮すると，米飯粒の場合は細胞壁構造の寄与が大きいものと推察される。 $\tan\delta$ に関しては，CH炊飯米と澱粉ゲルとの比較において全品種とも澱粉ゲルの方が明らかに大きいものに対して，MI炊飯米と澱粉ゲルではほぼ等しい値を示している。また，糊化方法に関わらず品種毎の値の大小関係は同じであることから，炊飯米の $\tan\delta$ は主に澱粉の特性を反映しており，米澱粉の場合にも品種特性を表す指標として有効であると考えられる。

次に， $\tan\delta$ と糊化状態との対応について，糊化方法による糊化状態の違いに関する知見を基に考察する。まず，CH炊飯米では細胞壁により澱粉の膨潤が妨げられていると言われており²²⁾，澱粉の膨潤やアミロースの溶出，崩壊が十分ではないと考えられる。澱粉ゲルでは澱粉粒の膨潤を妨げるものがないため，十分に膨潤して澱粉粒内の成分が流出した状態であると考えられる。MI

図 6 米飯と米澱粉ゲルの動的弾性率

□, 伝熱炊飯(60.8~62.7%)
 ■, マイクロ波加熱炊飯(60.2~63.7%)
 ●, 米澱粉ゲル(60%)
 () 内は含水率を表す。

図 7 米飯と米澱粉ゲルの損失正接

□, 伝熱炊飯(60.8~62.7%)
 ■, マイクロ波加熱炊飯(60.2~63.7%)
 ●, 米澱粉ゲル(60%)
 () 内は含水率を表す。

炊飯米の澱粉も細胞壁の影響を受けていると考えられるが、マイクロ波加熱した澱粉粒に関する肥後等²³⁾²⁴⁾の報告から、伝熱加熱の場合よりも膨潤・崩壊の過程が進行しているとみなすことができる。したがって、MI炊飯米と澱粉ゲルの糊化状態の類似性がみられることから、 $\tan\delta$ の類似性は澱粉の崩壊に由来すると考えられる。さらにこれは、 $\tan\delta$ とブレイクダウンの関係とも符号する。

一方、前報において $\tan\delta$ は、CH炊飯米では水分含量に依らない品種固有の値であり、炊飯時の加水量を変えるなどの方法では容易に改変できない指標であることが示されている。しかし今回の結果で、米飯粒の $\tan\delta$ がMI炊飯により澱粉ゲルと同様の値になることが示されたことから、澱粉ゲルの $\tan\delta$ をMI炊飯による改変の指標とすることも考えられる。また、米飯の粘り指標と関連があることから、 $\tan\delta$ を大きくできる炊飯方法があれば実用上の利点大きい。したがって、今後は様々な品種を用いて、MI炊飯による動的粘弾性の改変に関する詳細な研究が必要と思われる。

要 約

米飯粒と米澱粉レオロジーとの関連性を調べるため、前報の米飯粒の場合と同じ測定手法、並びに試料を用いて糊化澱粉の動的粘弾性測定を行った。米飯粒の測定に供試した5品種の精米より澱粉を抽出し、糊化条件(加熱時間・加水量)や老化状態の異なる試料を作出した。これらを、動的弾性率(G')、動的損失(G'')、及び損失正接($\tan\delta$)の挙動という観点から、米飯粒と比較することにより次のような知見が得られた。

(1) 各パラメータの変動率は、米飯粒の場合と同様に品種や加水量、加熱時間によらず、室温で1時間放置した試料の G' 、 G'' は10~20%の値を示したのに対して、 $\tan\delta$ では10%以内であることが確認された。

(2) 含水率は50~55%では、1時間放置試料の G' 、 G'' が急激に減少するのに対して、 $\tan\delta$ は僅かに減少するだけであり、品種間の $\tan\delta$ の大小関係も変わらないことを確認した。また、24時間放置試料の場合との比較から、含水率55~60%では動的粘弾性パラメータの経時的な変化が生じ難いことが示された。

(3) 1時間放置試料の場合、全品種の G' 、 G'' が加熱時間により変動率の範囲内で僅かに変化しただけであったのに対して、 $\tan\delta$ では明かな増加傾向が見られた。24時間放置試料は、加熱時間により G' 、 G'' が大きく変化する品種もあったが、 $\tan\delta$ では各品種とも加熱時間に

よらずほぼ一定の値を示した。

(4) アミログラム特性値のブレイクダウンと糊化澱粉の動的粘弾性との関連を調べた結果、米飯粒の場合と同様に $\tan\delta$ との間に正の相関が認められ、 G' との間には負の相関が認められた。

(5) 伝熱加熱およびマイクロ波加熱炊飯した米飯粒(含水率60%)と糊化澱粉(含水率60%)の G' を比較すると、各品種とも糊化澱粉の値は米飯粒の20%程度であった。一方、糊化方法に依らず品種間の $\tan\delta$ の大小関係が等しく、マイクロ波加熱炊飯米と糊化澱粉で $\tan\delta$ がほぼ同じ値を示した。

文 献

- 1) 吉井洋一・乙部和紀・杉山純一・菊池佑二：日食工誌, **40**, 236 (1993).
- 2) 杉山純一・黒河内邦夫・堀内久弥：日食工誌, **37**, 61 (1990).
- 3) 食糧 その科学と技術, 12 (農林水産省食品総合研究所, 茨城県), p. 7 (1969).
- 4) 食糧 その科学と技術, 30 (農林水産省食品総合研究所, 茨城県), p. 94 (1992).
- 5) 遠藤 勲・柳瀬 肇・竹生新治郎：日食工誌, **27**, 92, (1980).
- 6) 辻昭二郎：日食工誌, **27**, 265 (1980).
- 7) 竹生新治郎・渡辺正造・杉本貞三・酒井藤敏・谷口嘉廣：澱粉科学, **30**, 333 (1983).
- 8) 堀内久弥・竹生新治郎・谷 達雄：農化, **35**, 543 (1961).
- 9) 辻昭二郎：食品の物性 第14集 (食品資材研究会, 東京), p. 120 (1988).
- 10) FERRY, J.D.: Viscoelastic Properties of Polymers, (John Wiley, New York) p. 24 (1960).
- 11) 堀内久弥・遠藤博昭・杉山純一：日食工誌, **38**, 710 (1991).
- 12) 中川鶴太郎・神戸博太郎：レオロジー, (みすず書房, 東京), p. 414 (1959).
- 13) 千原秀昭編：物理化学実験法 第2版, (東京化学同人, 東京), p. 284 (1979).
- 14) 小林三智子・赤羽ひろ・中浜信子：家政誌, **32**, 660 (1981).
- 15) 西成勝好・堀内久弥・石田勝巳・池田勝則・伊藤宗宏・深田栄一：日食工誌, **27**, 5 (1980).
- 16) 庄司一郎・倉沢文夫：食品の物性 第8集, (食品資材研究会, 東京), p. 125 (1970).
- 17) SCHOCH, T.J.: 澱工誌, **14**, 53 (1967).
- 18) 中川鶴太郎：澱粉科学ハンドブック, 二國二郎監修, (朝倉書店, 東京), p. 46 (1977).
- 19) 檜作 進：食品工業, **2**下, 83 (1969).
- 20) 中沢文子：食品の物性 第13集, (食品資材研究会, 東京), p. 175 (1982).
- 21) 大家千恵子・川端晶子：日食工誌, **40**, 225 (1993).
- 22) 渋谷直人：日食工誌, **37**, 746 (1990).
- 23) 肥後温子・島崎通夫：家政誌, **33**, 597 (1982).
- 24) 肥後温子・大久保路子・島崎通夫：家政誌, **32**, 185 (1981).

(平成6年1月12日受理)