低アミロース米飯の低温保存中における硬化性とその評価方法

高見幸司*・郡山 剛*・大坪研一**

Staling Characteristics of Cooked Low-Amylose Rice and a Proposal of Evaluation Method

Koji TAKAMI*, Tsuyoshi KORIYAMA* and Ken'ichi OHTSUBO**

* Central Research Laboratory, Nippon Suisan Kaisha, LTD., 559-6,
Kitano-machi, Hachioji-shi, Tokyo 192-0906

** National Food Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries,
2-1-2, Kannondai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8642

In order to elucidate the staling characteristics of low-amylose rice (apparent amylose content ; 3.7-11.0%), low-compression test (25% deformation), high-compression test (90% deformation) and continuous progressive compression test using a Tensipresser were carried out. Among these textural analyses, the degree of hardness and stickiness changes obtained by low compression test could express the staling characteristics of cooked rice, and three low-amylose lines of Ouu 343, Ouu 344 and Ouu 354 were showed to be varieties with lower degrees of staling. Physicochemical properties of low-amylose rice were also investigated to determine the factors responsible for its staling characteristics. Apparent amylose contents of Ouu 343, Ouu 344 and Ouu 354 ranged from 3.7% to 9.3%, and were not simply related to the degree of staling of cooked low-amylose rice. It was considered that the Rapid-Visco-Analyser values, especially at the final temperature of 5°C, were useful for the selection of staling-resistant-lines, as three varieties of Ouu showed lower final viscosities and set back values on RVA analysis. The principal-component analysis of the values by Tensipresser (degree of hardness and stickiness changes), RVA (final viscosity and set back) and gel strength of rice flour revealed that 8 lines of low-amylose rice were classified into 4 groups. We assumed that the principal-component analysis of these indices could clarify the staling characteristics of low-amylose rices.

(Received Sep. 17, 1997 ; Accepted Apr. 24, 1998)

わが国の稲作を取りまく環境は大きく変化しており、生産コストの低減と米の消費拡大が重要施策として取り上げられている。すなわち、米の需給の均衡化を図ることが必要となってきており、米の用途拡大につながる加工・利用技術の開発も同様に重要視されている。また、消費者のニーズは多様化しており、米に対する要求にも嗜好性の面が高まってきている。このような背景から米の形質の多様化が求められ、近年、低アミロース、高アミロース、巨大粒、長粒、巨大胚、香り米等の新しい形質の米（新形質米）が育成されている¹⁾。これらの従来と

異なる形質を持った新形質米の育成、特性の解明、加工・利用技術の開発は米の需要拡大につながるものと考えられ、大きく注目されている。

前記の新形質米のうち、低アミロース米は、アミロース含量やアミログラム特性でうるちともちの中間的特性を示すことが知られており²⁾、加工・利用特性ではパフマシンによる膨化特性が優れていること²⁾やソフトタイプ米菓に適すること³⁾が報告されている。更に、低アミロース米は、そのアミロース含量の特異性からデンプンの老化が遅いことが期待されている⁴⁾ものの、その具体

* 日本水産株式会社中央研究所（〒192-0906 東京都八王子市北野町 559-6）

** 農林水産省食品総合研究所（〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-2）

的研究報告は殆どなく、特に低アミロース米の中での品種間差については研究例が見当たらない。よって、その品種間差の特性を明らかにすることは用途拡大や新品種育成を考える上でも非常に重要といえる。

米飯の性状は経時的に変化し、硬く粘りのない食感となる。このような性状変化すなわち米飯の老化は、低温ほど進むことが知られており^{5)~8)}、米飯の老化に関する研究には、デンプンの性状変化に主として着目した報告^{9)~12)}や米飯の性状変化^{13)~16)}に着目した報告例がある。しかしながら、うるち米の品種特性としての耐老化性を評価する方法は確立していない。これらの手法が確立されれば、耐老化性という新たな形質を有する米を選択して育成することが可能となり、加工米飯等の用途拡大にもつながるものと考えられる。そこで、本研究においては、低アミロース米の理化学性状の分析および5℃保存による老化特性の比較についていくつかの検討を行い、その特性および耐老化性に優れた低アミロース米の選抜法について興味ある結果が得られたので報告する。

実験方法

1. 供試材料

低アミロース米としては、農林水産省の新形質米プロジェクト研究の中で育成された新形質米品種8点(平成6年,7年度産)を、通常のうるち米、もち米として新潟県魚沼産コシヒカリおよび福島県産ヒメノモチ(いずれも平成7年度産)の2点を使用した。精白米は精米機(山本製作所製ライスパル31型)で搗精歩留まり90±0.5%に精米し、炊飯試験に供した。また、粉砕機(UDYサイクロンサンプルミル)にて精白米の米粉を調製し、理化学性状の分析に用いた。

2. 炊飯および米飯物性解析方法

精白米300gを水洗し、米重量の1.35倍(もち米では1.20倍)の脱イオン水を加えて、60分間浸漬を行った。炊飯器には電子ジャー炊飯器(ナショナル製SR-X05)を用い、炊飯が終了して20分蒸らした後に、炊飯米をプラスチックトレイに移した。トレイに濾紙とフィルムを被せ(炊飯直後)、この試料を5℃にて24時間保存した(保存24時間)。いずれの米飯試料も25℃に2時間放置した後に以下の物性試験に供した。

物性測定機器にはテンシプレスサー(タケトモ電機製My Boy System)を用い、岡留らの方法¹⁷⁾に準じて物性測定を行った。すなわち、付属のソフトウェアであるBIn(1×2)にて25%低圧縮試験、90%高圧縮試験を、また積算加重法にて米飯粒厚に対して3%ずつ繰り

返し荷重を加えた(積算加重試験)。これらの測定は1粒ずつ10粒反復して行い、データの解析を行った。

3. アミロース含量とWxタンパク質量

JULIANOらのヨード比色法¹⁸⁾により見かけのアミロース含量を測定した。なお、基準とするアミロース(和光純薬製コーンアミロース)は予めゲル透過法¹⁹⁾(Sephacrose CL-2B)によりアミロース含量が80%以上、中間区が20%であって、λmaxが570nm付近のアミロペクチン画分が混入していないことを確かめて使用した。

HAMAKERらの方法²⁰⁾で抽出したタンパク質を、アクリルアミド10%の分離ゲルを用いて、常法に従ってSDS電気泳動を行った。タンパク質量の解析にはデンシトメーター(島津製作所製フライングスポットスキャナCS-9000)を用い、60KDのタンパク質量を読みとり、読みとった全タンパク質量を100とした相対比を求めた。

4. 理化学性状

(1) ラビッドビスコアナライザー(RVA)による粘度特性

Newport Scientific Pty. Ltd.製のRapid Visco Analyser 3Dplusを用いた。精白米粉の乾物換算3.0gに脱イオン水25mlを加え、50℃から昇温速度11.25℃/minで95℃まで加熱し、7分間保持後、冷却速度11.25℃/minで50℃まで冷却し、3分間保持した(最終温度50℃区)。更に、低温循環槽を用いて-15℃に冷却したアルコール冷媒にて、冷却速度1.18℃/minで5℃まで冷却、3分間の保持を行った後に(最終温度5℃区)、測定結果の解析を行った。なお、コンシステンシーは最終粘度から最低粘度を減じて、セットバックは最終粘度から最高粘度を減じて算出した。

(2) ゲル物性

乾物8gの精白米粉に脱イオン水80mlを加え、圧力バイアルにて密封後、これを油浴中で加熱した。95℃60分間の加熱後、φ38×12mmのアルミカップに充填し(保存0時間)、5℃24時間の保存を行った(保存24時間)。いずれの試料も25℃に2時間放置した後にテンシプレスサーの1bite法にて、φ17.5mmの円柱形プランジャーを用い、クリアランスを3.0mmとして硬さの測定を行った。

5. 主成分分析

理化学評価結果について、統計解析ソフトSPSS ver. 6.0 for Macintoshを用いて解析を行った。

実験結果および考察

1. テンシプレッサーによる老化米飯物性の解析

テンシプレッサーによる米飯の物性解析は岡留らにより詳細に解析されており、圧縮率を変えた試験において、低圧縮試験の方が高圧縮試験より変動係数が大きく、また、25% 圧縮率以下での測定による米飯粒表層の物性評価で品種間の物性の微妙な相違を捉えられることを報告している¹⁷⁾。今回の実験における米飯の5℃ 保存時の物性測定結果でも同様に、低圧縮試験の方が平均値に対する標準偏差値が大きく、変動係数が大きいことが示唆された (Table 1)。

炊飯直後の物性を 100 としたときの5℃ 24 時間保存後の物性変化 (硬さの変化率および粘りの変化率) を Fig. 1 および Fig. 2 に示した。低圧縮試験、高圧縮試験ともに低温保存に伴う粘りの減少、硬さの増加が確認さ

れたものの、低圧縮試験の方がその変化が大きかった。このことより米飯の老化に伴い、特に米飯表層部で物性性状の変化が起こっていることが示され、米飯の老化に伴う物性性状の把握には低圧縮試験が適しているものと推定された。品種間の老化性状の比較において、ヒメノモチでは低温保存により保存前より粘りがむしろ強くなり、硬さが大きくなった。もち米を他の米と同様の加水条件で炊飯したとき、米飯として喫食するには明らかに軟らかすぎたことから、本試験では加水量を減らして炊飯を行っている。この点が特に硬さの変化に影響を与えている可能性があり、一概にもち米は他の米より硬くなり易いとはいえないものとする。一方、コシヒカリは特に表層部の粘りの減少が顕著であり、硬化も比較的大きかった。また、老化米飯の特徴を感度良く捉えることができると考えられた低圧縮試験における低アミロース米間の比較では、粘りの減少が奥羽 343 号、彩、奥羽 344

Table 1 Hardness and stickiness for cooked low-amylose rice by low compression (25% deformation) and high compression (90% deformation) tests using Tensipresser (10^6 dyn/cm²)

	Freshly cooked		Staled (5°C, 24 h)	
	Stickiness	Hardness	Stickiness	Hardness
Low compression test				
Ouu 343	0.15±0.03	0.56±0.06	0.15±0.06	0.79±0.19
Ouu 344	0.18±0.04	0.66±0.10	0.14±0.04	0.83±0.24
Ouu 354	0.12±0.04	0.42±0.10	0.09±0.02	0.54±0.15
Milky queen	0.21±0.21	0.67±0.15	0.10±0.03	1.08±0.32
Hokuriku 158	0.21±0.04	0.68±0.14	0.13±0.02	1.21±0.38
Hokuriku 161	0.20±0.03	0.52±0.06	0.12±0.04	1.18±0.28
Saikai 215	0.25±0.03	0.78±0.19	0.12±0.04	1.37±0.55
Aya	0.15±0.03	0.63±0.07	0.14±0.03	1.13±0.27
Koshihikari (Uonuma)	0.13±0.03	0.69±0.13	0.04±0.03	1.43±0.32
Himenomochi	0.10±0.04	0.31±0.07	0.14±0.06	0.86±0.31
High compression test				
Ouu 343	4.05±0.35	17.5±1.86	4.03±0.28	21.0±3.07
Ouu 344	4.56±0.20	21.1±0.98	4.52±0.34	21.8±3.13
Ouu 354	3.85±0.37	16.2±1.86	4.16±0.46	18.9±2.63
Milky queen	5.09±0.27	20.1±1.44	4.31±0.63	24.2±2.35
Hokuriku 158	5.01±0.22	19.8±1.62	4.49±0.74	24.1±3.48
Hokuriku 161	4.34±0.17	19.9±1.29	4.08±0.58	26.6±2.89
Saikai 215	4.90±0.22	22.3±2.13	3.34±1.35	31.6±6.19
Aya	4.98±0.44	19.6±1.21	4.80±0.61	25.8±3.05
Koshihikari (Uonuma)	4.23±0.19	21.1±1.22	3.47±0.93	27.5±2.05
Himenomochi	3.09±0.15	15.7±1.24	4.67±0.15	21.8±2.40

Fig. 1 Degree of stickiness change

Degree of stickiness change was formulized as follows: Stickiness of staled rice/stickiness of freshly cooked rice $\times 100$. Stickiness of cooked rice was analyzed by low-compression test (25% deformation) and high-compression (90% deformation) test using Tensipresser

Fig. 2 Degree of hardness change

Degree of hardness change was formulized as follows: Hardness of staled rice/hardness of freshly cooked rice $\times 100$. Hardness of cooked rice was analyzed by low-compression test (25% deformation) and high-compression (90% deformation) test using Tensipresser

号, 奥羽 354 号の順で小さく, 硬さの増加は奥羽 344 号, 奥羽 354 号, 奥羽 343 号, ミルキークイーンの順で小さかった。一般に米飯の食感は粘りと硬さのバランスで評価されることを考慮すれば, 本試験に用いた低アミロース米試料中で, 奥羽 344 号, 奥羽 343 号, 奥羽 354 号が低温保存による食感変化が小さいものと考えられた。

積算加重試験で用いた 2 つのパラメータ (非弾性距離および弾性限界距離, Table 2) は, 米飯粒へ微小変形を与えていったときの戻り過程で停止した瞬間の応力の変化であり, この応力は米飯が老化するに従い, 大きくなる傾向を示した。このことは, 老化により米飯の復元力あるいは反発力が大きくなることを示し, 繰り返し加重による組織構造の破壊が小さくなることを示唆するものである。また, 一方では非弾性距離および弾性限界距離は, 粘りの変化率と非常に高い負の相関 (-0.89 および -0.94) を示しており, 本試験は米飯の表面構造と内部

構造の変化の両面を捉えているものと推定された。これらのことは, 岡留ら¹⁷⁾が指摘しているように積算加重試験が米飯粒の複合的な物性挙動を含んでいることを示唆しており, 上記の積算加重試験の測定値が米飯老化時の粘りとは高い相関を示すものの, 硬さとは相関が低い (-0.38 および -0.59) ことから, 米飯老化時の硬さの変化と相関するパラメータの検索が今後の課題として挙げられる。

2. アミロース含量と老化特性

本試験に用いた低アミロース米の見かけのアミロース含量は 3.7-11.0% (Table 3) と, いずれもうるち米ともち米の中間的な値であった。姉妹系統である奥羽 343 号 (平成 7 年度産), 奥羽 344 号 (平成 6 年度産) ではアミロース含量がそれぞれ 9.3%, 3.7% と年次変動が大きく, これは, 平成 6 年度の登熟期の平均気温が高かったためと考えられる。すなわち, 低アミロース変異体は,

Table 2 Results of continuous progressive compression test

	Freshly cooked		Staled (5°C, 24 h)	
	Non-elastic length*	Elastic limit length*	Non-elastic length*	Elastic limit length*
Ouu 343	58.1±3.7	38.3±4.4	67.5±4.2	43.9±4.2
Ouu 344	60.8±4.4	43.1±2.1	72.1±11.0	47.3±3.6
Ouu 354	54.8±2.9	43.5±3.4	66.4±3.8	46.1±4.0
Milky queen	55.5±4.0	38.3±4.7	79.1±16.4	48.8±3.9
Hokuriku 158	57.0±3.7	36.8±2.0	79.4±12.0	49.5±3.4
Hokuriku 161	62.6±3.8	42.0±3.7	76.2±13.1	48.7±2.4
Saikai 215	62.3±9.0	42.4±7.4	72.1±11.1	47.6±3.8
Aya	54.8±2.5	34.9±3.0	63.0±5.2	43.1±4.0
Koshihikari (Uonuma)	66.0±5.2	46.1±4.5	89.9±13.2	46.3±4.2
Himenomochi	43.8±2.4	34.2±2.4	55.0±18.9	34.3±2.7

*Compression rates for non-elastic length and elastic limit length were formulized as the percentage against the width of cooked rice.

Table 3 Apparent amylose content, concentration of Wx protein, and correlation coefficients of low-amylose rice varieties

	Apparent amylose content (Dry basis %)	Wx protein (Relative unit)
Rice varieties		
Ouu 343	9.3	2.6
Ouu 344	3.7	1.6
Ouu 354	3.7	1.6
Milky queen	9.8	1.8
Hokuriku 158	10.1	1.4
Hokuriku 161	6.6	2.6
Saikai 215	11.0	2.5
Aya	7.1	1.3
Koshihikari (Uonuma)	17.4	4.4
Himenomochi	0.0	0.4
Correlation coefficients*		
Texture of staled rice (5°C, 24 h)**		
Hardness	0.70 ^a	0.19
Stickiness	0.14	0.10
Rate for textural change***		
Hardness	0.37	0.32
Stickiness	-0.37	-0.14

*Correlation coefficients with texture for low compression test.

**See Table 1.

***See Fig. 1 and Fig. 3.

^aSignificant at 5% level.

一般のうち品種と較べて、登熟期の温度の違いによりアミロース含量は大きく変動することが知られており²¹⁾、これはアミロース合成酵素であるWxタンパク質量が変動することによることがわかっている²²⁾。前記の試料のWxタンパク質量は、奥羽343号が2.6 RU、奥羽344号が1.6 RUであり、Wxタンパク質量は、アミロース含量に対応した変動が認められた。

低アミロース米の5℃ 24時間後の粘り、硬さおよび5℃ 保存による物性変化の割合とアミロース含量との相関をTable 3に示した。アミロース含量は、5℃ 24時間後の硬さと相関する傾向を認めたが、5℃ 24時間後の粘りや、5℃ 保存による硬さや粘りの変化率とは相関を全く認めなかった。すなわち、テンシプレッサーによる解析結果から耐老化性が高いと推定された奥羽344号、奥羽343号、奥羽354号のアミロース含量は3.7~9.3%と大きく変動しており、このことから、低アミロース米の老化特性はアミロース含量のみで支配されているものではないことが示された。

3. 精白米粉の理化学性状と老化特性

RVAの解析においては、低アミロース米間の老化性状差異を明確にすることを目的としたため、試験終了温度に関して50℃と5℃の比較を行った(Table 4)。終了温度50℃から5℃での最終粘度の変化は、ヒメノモチが114.1 RVU、コシヒカリが195.9 RVUであり、低アミロース米8種はその中間であった(122.7~144.6 RVU)。

テンシプレッサーによる解析結果において、低温保存時の変化が小さいことが示された奥羽343号、奥羽344号、奥羽354号では最終粘度が低いことと併せてセットバック値が小さいことが特徴であり、特にこの特徴は試験終了温度が5℃の時のほうが差が明確であった。そして奥羽3品種よりセットバック値が小さい北陸161号は最終粘度が高く、また、最終粘度が低い彩ではセットバック値が大きい結果となり、これらのことから、最終粘度とセットバック値を指標とすることにより、低アミロース米の低温保存時の食感変化を迅速に推定できる可能性が示唆された。更に、ヒメノモチではセットバック値が非常に大きく、更なるデータの蓄積は必要であるが、うち、もちを含めた米全品種を対象とした耐老化性が高い低アミロース米の選抜に本方法が使用できる可能性が示唆され、測定時の感度としては試験終了温度を5℃とした方が良好であるものと考えられた。

低アミロース米の5℃ 24時間後の物性値および5℃ 保存による硬さ、粘りの変化率と精白米粉のRVA特性

との相関をTable 4に示した。RVA特性のうち、耐老化性低アミロース米を選抜する際の指標となる可能性が示された最終粘度、セットバック値の各々単独での相関係数は低く、糊化開始温度、最終粘度(50℃)、コンシステンシー(50℃)が5℃ 保存時の粘りの変化率と高い負の相関を示した。すなわち、5℃ 保存における粘りの変化が小さい低アミロース米は、糊化開始温度、50℃における最終粘度が低く、コンシステンシーが小さいものと考えられた。

精白米粉のゲル物性の測定結果をFig. 3に示す。老化後のゲル強度は、老化後のテンシプレッサーの硬さと正の相関(0.642)、老化後の粘りの変化率とも負の相関(-0.677)が認められた。このことから、米粉ゲルの低温保存時の挙動はアミロース含量に依存せず、米飯粒の物性挙動に近い変化を示し、この米粉ゲルの物性挙動は米飯の老化による物性変化をトータルとして捉えるのに、単一の試験として最も良い方法と考えられた。

ここで述べたRVA、ゲル物性の挙動は、試験試料の新鮮度の影響を受ける可能性があり、保存中のタンパク質、細胞壁等の変化がこれらの理化学性状に影響を与えることが十分に考えられる。前記の試験結果は、低温保存していたとはいえ保存期間が長い試験試料も含まれており(酸性度指示薬による新鮮度判定の結果では、試験に用いた試料は比較的鮮度が高く、試料間でも大きな差がないことは確認している)、これらの実験結果が実際に育種現場において利用できるかについてが今後の課題となろう。

4. 主成分分析による低アミロース米の位置づけ

試験試料とした8種の低アミロース米に関して、テンシプレッサーによる5℃ 保存時の硬さ、粘りの変化率および耐老化性指標として考えられる、いくつかの理化学評価による主成分分析を行った(Fig. 4)。8種の低アミロース米の性状に関して、第1主成分の寄与率は58.7%であり、第2主成分までの累積寄与率は80.4%であった。因子負荷量散布図より、第1主成分に対する寄与はRVAの最終粘度(5℃)、5℃ 24時間保存後の米粉ゲル強度、テンシプレッサーによる5℃ 24時間後の硬さの変化率が正に大きく、テンシプレッサーによる5℃ 24時間後の粘りの変化率が負に大きかった。また、第2主成分に対する寄与は、RVAのセットバック値(5℃)が正に大きかった。第1主成分と第2主成分について、各試料の主成分得点を求め、第1主成分を横軸(第Ⅰ軸)、第2主成分を縦軸(第Ⅱ軸)とした平面にプロットした主成分得点散布図をFig. 5に示した。前記の2主成分によ

Table 4 Rapid Visco Analyser viscosities and correlation coefficients of low-amylose rice

	Pasting Temp. (°C)	Peak visco- sity (RVU)	Minimum visco- sity (RVU)	Break down (RVU)	Final temp. at 50°C (RVU)			Final temp. at 5°C (RVU)		
					Final visco- sity	Consis- tency	Set back	Final visco- sity	Consis- tency	Set back
Rice varieties										
Ouu 343	64.0	343.9	68.2	275.7	120.0	51.8	−223.9	262.0	193.8	−81.9
Ouu 344	67.1	336.9	66.8	270.1	119.7	52.9	−217.2	247.3	180.4	−89.7
Ouu 354	67.9	320.7	65.1	255.6	110.8	45.7	−209.9	242.3	177.3	−78.3
Milky queen	69.5	332.7	88.2	244.5	149.3	61.0	−183.5	282.6	194.4	−50.1
Hokuriku 158	68.7	355.8	91.9	263.9	150.0	58.1	−205.8	293.1	201.2	−62.8
Hokuriku 161	71.0	450.2	104.0	346.2	168.7	64.7	−281.5	313.3	209.3	−136.9
Saikai 215	66.4	297.1	72.5	224.6	135.4	62.9	−161.7	277.3	204.8	−19.8
Aya	65.5	220.9	49.1	171.8	89.6	40.5	−131.3	212.3	163.2	−8.5
Koshihikari	66.3	338.2	99.7	238.5	174.6	74.9	−163.6	370.5	270.8	32.3
Himenomochi	64.7	97.8	30.4	67.3	49.2	18.8	−48.5	163.3	132.8	65.5
Correlation coeffi- cients*										
Texture of staled rice (5°C, 24 h)**										
Hardness	0.23	0.07	0.38	−0.13	0.46	0.57	0.25	0.45	0.49	0.34
Stickiness	−0.59	−0.13	−0.28	−0.07	−0.26	−0.19	0.04	−0.20	−0.10	0.05
Rate for textural change***										
Hardness	0.51	0.38	0.59	0.28	0.58	0.50	−0.21	0.57	0.50	−0.14
Stickiness	−0.71 ^a	−0.33	−0.66 ^a	−0.19	−0.73 ^a	−0.79 ^a	0.06	−0.67 ^a	−0.63 ^a	−0.01

* Correlation coefficients with texture for low compression test.

** See Table 1.

*** See Fig. 1 and Fig. 3.

^a Significant at 5% level.

り、8種の低アミロース米は4つのグループに分類され、これらは2主成分ともに低いグループ（奥羽343号、奥羽344号、奥羽354号）および2主成分ともに高いグループ（ミルキークイーン、北陸158号、西海215号）に代表され、彩と北陸161号は両者と異なった性状を示すことが示唆された。これらのことから、今回、因子分析に用いたテンシプレッサーによる米飯物性解析、5°Cを試験終了温度とするRVAによる精白米粉の粘度特性解析、および米粉ゲル物性の評価法を指標とすることにより、低アミロース米の性状を明らかにできるものとする。

要 約

低アミロース米の性状分析および5°C保存による老化特性の比較により、以下の結論が得られた。

(1) テンシプレッサーを用いた老化米飯の物性解析には、低圧縮率による圧縮試験および積算加重試験が有効であることが示され、低アミロース米8試料中で奥羽343号、奥羽344号、奥羽354号が低温保存時の食感変化が小さいと考えられた。

(2) 低アミロース米の耐老化性とアミロース含量との間に相関は認められず、耐老化性が高いと考えられた奥羽343号、奥羽344号、奥羽354号のアミロース含量は3.7~9.3%と大きく変動した。

(3) ラビッドビスコアナライザーを用いた解析において、5°Cを試験終了温度とした最終粘度とセットバック値を指標とすることにより、低アミロース米の老化特性を迅速に判定できることが示された。

(4) 主成分分析の結果、低アミロース米は4つのグループに分類された。このことからテンシプレッサー、

ラピッドビスコアナライザー、ゲル物性評価法を指標とすることにより、低アミロース米の老化特性を明らかにできることが示された。

Fig. 3 Gel strength of rice flour

Rice flours were prepared as gels (10% dry basis) by heating at 95°C for 60 min. Gel strength was measured by 1 bite method using Tensipresser. □; Freshly cooked, ■; Staled (5°C 24 h)

Fig. 4 Factor loading for the principal components I and II

Principal components I and II were analyzed by SPSS ver. 6.0 for Macintosh. Accumulated contributions of first and second principal components were 58.7% and 80.4%, respectively

Fig. 5 Component scores on the first and second principal components

Component scores were calculated based on factor loading for the principal components I and II. Eight varieties of low-amylose rice were classified into 4 groups.

1; Ou343, Ou344 and Ou354, 2; Milky queen, Hokuriku 158 and Saikai 215, 3; Aya, 4; Hokuriku 161

本研究において、試料を提供していただいた農林水産省農業研究センター稲育種研究室ならびに農林水産省東北農業試験場稲育種研究室に感謝致します。

文 献

- 1) 藤巻 宏: 食品と開発, 24, 32 (1989).
- 2) 大坪研一・中川原捷洋・岩崎哲也: 日食工誌, 35, 587 (1988).
- 3) 山田博治・笹川信夫・北沢 清: 日食工誌, 40, 278 (1993).
- 4) 大坪研一・堀末 登: 食品工業, 38, 50 (1995).
- 5) 尾崎直臣: 農化, 34, 1054 (1960).
- 6) 尾崎直臣: 栄養と食糧, 26, 289 (1973).
- 7) 庄司一郎・倉沢文夫: 家政誌, 37, 669 (1986).
- 8) 鈴木一成: 家政誌, 40, 984 (1989).
- 9) 檜作 進・藤井ミチ子・二國二郎: *Biochim. Biophys. Acta*, 40, 346 (1960).
- 10) 外山忠男・檜作 進・二國二郎: 澱粉工誌, 13, 69 (1966).
- 11) 松永暁子・貝沼圭二: 家政誌, 32, 653 (1981).
- 12) 貝沼圭二・松永暁子・板川正秀・小林昭一: 澱粉

- 科学, **28**, 235 (1981).
- 13) 辻昭二郎：日食工誌, **28**, 278 (1981).
- 14) 高木正之助・張麗・川井聖文・森田尚文・松本幸雄：澱粉科学, **36**, 239 (1989).
- 15) 庄司一郎・大西真理子・鴨居郁三：調理科学, **26**, 119 (1993).
- 16) 大田原美保・畑江敬子・島田淳子：家政誌, **46**, 841 (1995).
- 17) 岡留博司・豊島英親・大坪研一：食科工, **43**, 1004 (1996).
- 18) JULIANO, B.O., PEREZ, C.M., BLAKENEY, A.B., CASTILLO, D.T., KONGSEREE, N., LAIGNELET, B., LAPIS, E.T., MURTY, V.V.S., PAULE, C.M. and WEBB, B.: *Starch*, **33**, 157 (1981).
- 19) BABA, T., ARAI, Y., YAMAMOTO, T. and ITOH, T.: *Phytochemistry*, **21**, 2291 (1982).
- 20) HAMAKER, B. R., GRIFFIN, V. K. and MOLDENHAUER, K.A.K.: *J. Sci. Food Agric.*, **24**, 1589 (1973).
- 21) ASAOA, M., OKUNO, K., SUGIMOTO, Y., KAWAKAMI, J. and FUWA, H.: *Starch*, **36**, 189 (1984).
- 22) TSAI, C.Y.: *Biochem. Genet.*, **11**, 83 (1974).
- (平成9年9月17日受付, 平成10年4月24日受理)
-