

「新形質米」胚乳澱粉の構造と物理化学的性質

堀端哲也、井ノ内直良

日本の農林水産省（現・農業技術研究機構）の各地農業試験場で栽培されたアミロース含量の違いにより分類した4タイプの米の胚乳澱粉、すなわち、糯米、および粳米の中で見かけのアミロース含量が低い、中間、および高い米の胚乳澱粉の構造および物理化学的性質について調べた。粳米澱粉よりアミロペクチンを精製し、その側鎖長分布を調べた結果、特に高アミロース米のアミロペクチンに非常に長い側鎖が存在していた。アミロペクチンの中で最も短い側鎖画分の割合と糊化温度との間には、高い負の相関関係が観察された。近年日本で育成された米のアミロペクチンの短い側鎖画分割合と非常に長い側鎖含量との関係の分布図を作成し、系統的に米胚乳澱粉を分類する方法を提唱した。

キーワード：米澱粉、超長鎖、見かけと真のアミロース含量、アミロペクチンの鎖長分布

米はわが国においてもっとも重要な食品のひとつである。1970年代に始まった米の生産過剰により稲の作付け調整が続く中で、当時の農林水産省は米消費の多様化による需要の拡大を目指して1989年（平成元年）よりプロジェクト研究「需要拡大のための新形質水田作物の開発」（略称「スーパーライス計画」）を実施した。このプロジェクト研究では米の品質研究と育種研究が密接に提携して、新しい米の利用法や加工法を開発するとともに、その利用目的に対応した新しい特性を備えた品種（新形質米品種）を育成することによって、新しい米の需要拡大を図ってきた¹⁾。

新しい用途が期待される米の形質としては、長粒、大粒など粒の形状に関わるもの、澱粉やタンパク質などの米胚乳の成分に関わるもの、香りや色素に関わるものなどがある。このように育成された新しい米の形質には、米飯用としては必ずしも適さないものもあるが、既存の主食用米では対応できなかった用途に適し、

新たな米需要を生み出すものと期待されている。

われわれは「スーパーライス計画」の中で米の主成分である胚乳澱粉の構造特性および糊化特性について検討してきた。今までに 1988~1991 年に栽培された標準米および新育種素材米としては高アミロース米、低アミロース米、多収米、良食味米、心白米、大粒米、小粒米、巨大胚米、香り米などの 46 品種、85 試料について、胚乳澱粉の性質について報告してきた^{2)~4)}。

中村らはアジアで栽培された米品種の胚乳澱粉をアミロペクチンのクラスターの鎖長の違いによって L 型と S 型の 2 種類のタイプに分類した⁵⁾。L 型の米は主としてインディカ米に属し、S 型はジャポニカ米に属していた。アミロペクチンは澱粉の主要成分であり、澱粉の物理化学的性質はアミロペクチンの微細構造によって大きく影響される。言い換えればアミロペクチンの構造特性は澱粉の糊化や老化のような物理化学的および機能的特性と密接に関係している⁵⁻¹⁰⁾。

米澱粉の性質は炊飯米のテクスチャーに大きな影響を及ぼすと考えられる。従って最近の米育種の目的のひとつは新しいタイプの澱粉をもった米を育成することである。たとえば低アミロース米のミルクークイーンのような良食味米の育成がなされ、低アミロース米澱粉の物性が研究されている¹¹⁾。

ラピッド・ビスコ・アナライザー (Rapid Visco Analyser ; RVA)によって高アミロース米胚乳澱粉のセットバック(setback ; SB)が高いことが報告された³⁾。一般にアミロース含量の高い澱粉は老化しやすい傾向にあることが認識されている。高アミロース米の胚乳澱粉のアミロペクチン中にはアミロースのような超長鎖(super long chain ; SLC)が存在している¹²⁾。SLC の存在は米¹³⁾、トウモロコシ¹⁴⁾、大麦¹⁵⁾、アワ¹⁶⁾、モロコシ¹⁶⁾、その他の植物¹⁷⁾で確認されている。檜作らはウルチ種の澱粉には SLC が存在し、モチ種には存在しないと報告している¹⁸⁾。炊飯米の食味は米澱粉中のアミロース含量によって大きく左右される。SLC もまた炊飯米の食味に影響を及ぼすと考えられる。SLC を含む炊飯米は硬くて粘りが少ないことが示された^{21), 22)}。

高橋らは新形質米の性状と調理特性²⁰⁾、炊飯特性²¹⁾、食味と米澱粉の構造の関係²²⁾、米粉と澱粉の性質とゲル特性²³⁾、低アミロース米澱粉の理化学的性質²⁴⁾、米飯の食感と食味特性²⁵⁾などの一連の調理・加工適性に関する研究を行っている。岡留らはテンシプレスサーによる低圧縮試験、高圧縮試験、連続圧縮試験により、品種・栽培による米飯物性の相違を検出できることを報告している²⁶⁾。今回、われわれは主として 1998 年と 1999 年に栽培された新形質の糯米、低アミロース米、通常のアミロース含量の粳米、高アミロース米の胚乳澱粉の構造と物理化学的性質を調べた。

「新形質米」胚乳澱粉の構造と性質

実験方法

1. 実験試料米

主として 1998 年、1999 年およびその他の年に「新形質米」プロジェクトに続く次世代稲作米プロジェクトの一環として、日本の各地農業試験場で栽培された試験米および品種登録米の玄米 (59 品種、92 試料) を実験試料として用いた。Table 1 に用いた米試料の名称、栽培地、およびいくつかの実験結果をまとめ、胚乳澱粉を酵素・クロマト法により測定した見かけのアミロース含量 (apparent amylose content ; AAC, GPC による Fr.I 含量) により、糯米の胚乳澱粉 (waxy starch ; WS) (AAC = 0.0%) (14 品種、21 試料)、AAC が低い米の胚乳澱粉 (low amylose starch ; LS) ($7.4\% \leq AAC \leq 14.2\%$) (10 品種、19 試料)、AAC が中間の米の胚乳澱粉 (medium amylose starch ; MS) ($15.0\% \leq AAC \leq 23.7\%$) (25 品種、39 試料)、AAC が高い米の胚乳澱粉 (high amylose starch ; HS) ($26.5\% \leq AAC \leq 31.3\%$) (10 品種、13 試料) の 4 つのグループに分類した。

Table 1. Name, cultivation year and place of rice seeds, apparent amylose contents, thermal properties and group of amylopectin fine structure of endosperm starches of rice plants recently bred in Japan and popular cultivars of waxy and non-waxy rice harvested mainly in 1998 and 1999

I. Waxy rice

Name	Japanese letter	Cultivation		GPC ^{*3}		DSC ^{*4}				Group ^{*5}	
		Year ^{*1}	Place ^{*2}	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Hiyokumochi	ヒヨクモチ	iii	F	0.0	0.0	68.5	68.4	11.9	11.4	(e)	(e)
Hakuchomochi	はくちようもち	iii	Ho	0.0	0.0	62.7	67.0	12.4	13.1	(e)	(f)
Hakutomochi	ハクトモチ	iii	Hi	0.0	0.0	66.7	66.6	13.9	13.1	(e)	(f)
Asamurasaki	朝紫	iii	A	0.0	0.0	65.0	67.4	10.9	11.4	(e)	(e)
Hokkaimochi 286	北海道286号	i	Ho	0.0	-	63.6	-	10.9	-	(f)	-
Hokkaimochi 290	北海道290号	ii	Ho	-	0.0	-	67.6	-	12.1	-	(e)
Hokurikumochi 181	北陸181号	i	N	0.0	-	67.3	-	12.8	-	(e)	-
Taahukei 431	多収米431	iii	Hi	0.0	0.0	78.8	78.5	17.7	17.3	(b)	(b)
Chugokumochi 167	中国167号	iii	Hi	0.0	0.0	66.4	67.6	13.2	12.3	(d)	(e)
Saikaimochi 223	西海223号	i	F	0.0	-	67.9	-	14.4	-	(d)	-
Saikaimochi 225	西海225号	i	F	0.0	-	67.7	-	12.2	-	(f)	-
Saikaimochi 227	西海227号	i	F	0.0	-	67.5	-	12.6	-	(e)	-
Saikaimochi 235	西海235号	iii	F	0.0	0.0	67.9	68.7	13.0	12.9	(e)	(e)
Saikaimochi 243	西海243号	ii	F	-	0.0	-	78.9	-	15.3	-	(b)

*1 Cultivation years; i: 1998 year, ii: 1999 year, iii: both years of 1998 and 1999, iv: neither 1998 nor 1999 year.
 *2 Provided by the Ministry of Agriculture, Forestry, and Fishery of Japan; Ho; Hokkaido, A; Akita, N; Niigata, I; Ibaraki, Hi; Hiroshima, F; Fukuoka.
 *3 Isoamylase-debranched materials. Fraction(Fr.) is divided according to a range of λ max. of iodine-glucan complexes of each tubes as follows; Fr.I, λ max. ≥ 620 nm.
 *4 Differential scanning calorimeter; Tp; peak temperature, ΔH ; enthalpy change of gelatinization.
 *5 6 group were classified based on the peak area of Fr.A, that is, Fr.A consisted of glucose chain with degree of polymerization 6 to 12. Group (a); Fr.A < 20.0%, Group (b); 20.0% \leq Fr.A < 26.0%, Group (c); 26.0% \leq Fr.A < 29.0%, Group (d); 29.0% \leq Fr.A < 30.5%, Group (e); 30.5% \leq Fr.A < 32.0%, Group (f); 32.0% \leq Fr.A.

Table 1 Continued.

II. Low amylose rice

Name	Japanese letter	Cultivation		GPC ^{*3}		DSC ^{*4}				Group ^{*5}	
		Year ^{*1}	Place ^{*2}	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Milky queen	ミルクQueen	iii	I	7.4	12.3	68.8	70.2	12.6	15.5	(d)	(d)
Snow pearl	スノーパール	iii	A	10.8	9.1	65.8	68.6	11.1	13.1	(e)	(f)
Soft 158	ソフト158	iii	N	12.6	14.2	65.8	67.6	11.6	14.1	(e)	(e)
Hanabusa	はなぶさ	iii	Ho	14.0	11.4	64.3	67.8	12.0	14.8	(f)	(e)
Hokkai 288	北海道288号	ii	Ho	-	9.9	-	68.7	-	14.3	-	(e)
Kanto 194	関東194号	iii	I	8.1	10.2	68.8	69.9	13.6	14.4	(f)	(e)
Hokuriku 161	北陸161号	iii	N	9.5	9.5	68.4	71.7	12.5	13.4	(e)	(e)
Hokuriku 180	北陸180号	iii	N	11.0	12.9	67.7	68.8	11.8	12.4	(f)	(f)
Saikai 215	西海215号	iii	F	9.6	9.0	69.6	69.6	12.5	13.7	(d)	(e)
Saikai 236	西海236号	iii	F	9.8	8.2	68.7	68.9	13.4	14.2	(d)	(e)

Table 1 Continued.

III. Ordinary amylose rice

Name	Japanese letter	Cultivation		GPC ^{*3}		DSC ^{*4}				Group ^{*5}	
		Year ^{*1}	Place ^{*2}	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Koshihikari	コシヒカリ	iii	N	17.9	17.8	63.5	69.3	11.6	13.1	(d)	(d)
Sasanishiki	ササニシキ	iii	A	21.2	20.5	67.2	69.3	11.7	13.6	(e)	(d)
Kirara 397	きらら397	iii	Ho	21.2	20.1	66.4	66.7	11.2	12.2	(e)	(e)
Nipponbare 1	日本晴	iii	I	23.0	21.5	68.3	68.3	11.5	11.5	(e)	(e)
Nipponbare 2	日本晴	ii	F	-	19.6	-	68.8	-	13.6	-	(e)
Hinohikari	ヒノヒカリ	iii	F	18.5	16.8	68.0	67.8	10.8	13.2	(e)	(e)
Akenohoshi	アケノホシ	iii	Hi	15.7	15.0	77.7	78.0	15.3	16.8	(b)	(b)
Haiminori	はいみのり	iii	Hi	15.7	15.8	77.2	77.6	15.1	15.3	(b)	(b)
Hokkai 287	北海道287号	i	Ho	18.9	-	63.2	-	10.1	-	(f)	-
Ou 368	奥羽368号	iii	A	20.7	23.7	65.4	69.2	9.9	12.0	(d)	(d)
Ou 370	奥羽370号	ii	A	-	21.4	-	69.9	-	13.2	-	(e)
Kanto 186	関東186号	i	I	17.8	-	66.2	-	12.2	-	(e)	-
Kanto 188	関東188号	iii	I	17.5	21.9	66.9	69.2	11.2	13.2	(e)	(e)
Kanto 193	関東193号	ii	I	-	20.6	-	69.8	-	13.0	-	(e)
Kanto 195	関東195号	i	I	20.5	-	65.4	-	12.8	-	(e)	-
Kanto 198	関東198号	iii	I	19.6	20.0	66.9	68.6	12.6	13.1	(e)	(e)
Kenkei 2084	研栄2084	iv	I	17.3	-	78.0	-	15.7	-	(a)	-
Shu 6352	収6352	ii	N	-	18.5	-	67.5	-	13.4	-	(e)
Hokuriku 183	北陸183号	iii	N	21.8	20.6	66.8	68.4	13.5	12.6	(e)	(e)
Hokuriku 184	北陸184号	iii	N	20.3	18.3	67.4	69.6	15.7	13.2	(e)	(e)
Chugoku 113	中国113号	ii	Hi	-	22.5	-	67.3	-	12.7	-	(e)
Chugoku 146	中国146号	ii	Hi	-	19.6	-	67.9	-	12.9	-	(e)
Chugoku 147	中国147号	ii	Hi	-	18.0	-	68.5	-	12.6	-	(d)
Chugoku 153	中国153号	ii	Hi	-	18.3	-	67.4	-	12.4	-	(d)
Saikai 231	西海231号	iii	F	18.1	20.7	67.7	67.2	11.4	12.7	(d)	(d)
Saikai 242	西海242号	ii	F	-	17.4	-	67.9	-	11.8	-	(e)

冷アルカリ浸漬法による米胚乳澱粉の調製^{27,28)}、米胚乳澱粉のヨウ素吸収曲線より求める青価 (blue value, B.V.) および最大吸収波長(λ_{max})の測定²⁹⁾、示差走査熱量測定計 (differential scanning calorimeter ; DSC)による米胚乳澱粉の糊

Table 1 Final.

V. High amylose rice

Name	Japanese letter	Cultivation		GPC ^{*3}		DSC ^{*4}			Group ^{*5}		
		Year ^{*1}	Place ^{*2}	1998	1999	1998	1998	1999	1998	1999	
Hoshiyutaka	ホシユタカ	iii	Hi	28.0	27.4	65.5	64.9	11.0	11.2	(e)	(e)
Hoshinohiki	ホシノヒキ	iii	I	26.5	27.2	63.7	65.9	10.3	11.3	(e)	(e)
Chugoku 134	中国134号	i	Hi	29.5	-	64.7	-	11.3	-	(e)	-
Yumeciro	夢十色	iii	N	30.8	27.3	63.8	64.7	10.2	11.1	(d)	(d)
Shu 6351	収6351	ii	N	-	30.6	-	64.9	-	12.0	-	(d)
Guizhao 2	桂朝2号	ii	N	-	30.8	-	64.7	-	11.5	-	(d)
Tohoku 148	東北148号	iv	A	27.8	-	63.0	-	11.0	-	(e)	-
Saikai 184	西海184号	iv	F	31.1	-	62.0	-	9.1	-	(d)	-
Kou 309	漕309	iv	I	31.3	-	76.4	-	13.2	-	(b)	-
Beniroman	ベニロマン	iv	F	26.8	-	70.3	-	12.9	-	(c)	-

化温度と糊化熱量の測定⁶⁾、Rapid visco analyzer (RVA)による米胚乳澱粉懸濁液の粘度測定^{3),30)}、米胚乳澱粉からのアミロペクチン(AP)の精製 (竹田らの方法³¹⁾)、示差屈折計 (relative index, RI) と低角レーザー光散乱光度計 (low angle laser light scattering) を検出器に用いた高速液体クロマトグラフィー (HPLC) (HPLC-RI-LALLS 法) による WS および精製 AP の側鎖長分布の測定¹⁸⁾、中圧ゲルろ過クロマトグラフィー (gel permeation chromatography ; GPC) による枝切りした米胚乳澱粉および精製 AP の溶出曲線の測定³²⁾、パルスドアンペロメトリー検出器 (pulsed amperometric detector ; PAD) を用いた陰イオン交換クロマトグラフィー (high performance anion exchange chromatography) (HPAEC-PAD 法) による米胚乳澱粉の AP の短鎖領域の側鎖長分布の測定³³⁾、膨潤力・溶解度の測定³⁴⁾は既報の方法に準じて行った。

結果

1. 米胚乳澱粉のヨウ素吸収曲線より求めた青価 (blue value, B.V.) および最大吸収波長(λ_{max})

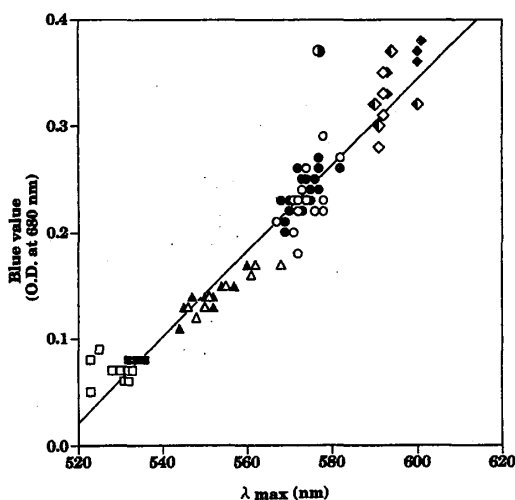


Fig.1 Relationship between λ_{max} (wavelength at absorption maximum) and blue value (absorption at 680nm) of iodine-starch complexes of endosperm starches. Open symbols; rice plants harvested in 1998, close symbols; rice plants harvested in 1999, half-closed symbol; rice plants harvested in neither 1998 nor 1999 year, square; waxy rice, triangle; low-amylose rice, circle; normal-amylose rice, lozenge; high-amylose rice, half-closed circle; Kenkei 2064

Fig.1 は今回用いた試料米胚乳澱粉のそれぞれのヨウ素吸収曲線から測定した最大吸収波長 λ_{max} と 680nm における吸光度 (B.V.) との関係を示したグラフである。WS 澱粉のいずれも λ_{max} は 520nm 以上 540nm 未満、B.V.は 0.05 以上 0.1 未満、LS は λ_{max} が 540nm 以上 570nm 未満、B.V.は 0.1 以上 0.2 未満、MS は λ_{max} が 560nm 以上 585nm 未満、B.V.は 0.2 以上 0.3 未満、HS は λ_{max} が 585nm 以上、B.V.は 0.25 以上の範囲に分布していた。ただし研系 2064

「新形質米」胚乳澱粉の構造と性質

は λ_{\max} の値は580nm付近でMSのような値を示すがB.V.はHSのような値を示すために、 λ_{\max} とB.V.の回帰直線から大きくはずれていた³⁵⁾。

2. 示差走査熱量計 (DSC) による糊化温度と糊化熱量

Table 1-I~IVにDSC [(株)リガク 8240D型]による米澱粉試料の糊化ピーク温度(peak temperature; T_p)および糊化熱量(enthalpy change of gelatinization; ΔH)を示した。いくつかの例外を除いて1999年産の米澱粉の方が T_p および糊化熱がわずかに高い傾向がみられた。この結果は栽培年が異なるために主として生育温度の違いなどの環境的要因がそれぞれの同一品種の米胚乳澱粉の糊化特性に及ぼした影響を表していると考えられる。一般に北海道産の米の澱粉は糊化温度が低い傾向がみられた。この結果は以前の報告³⁾と一致している。

「多収系431」(WS)「西海糯243号」(WS)、「アケノホシ」(MS)「はいみのり」(MS)「研系2064」(MS)、「鴻309」(HS)の T_p (76.4°C~78.9°C)および ΔH (13.2 J/g~17.7 J/g)はその他の米澱粉試料の T_p (62.0°C~71.7°C)および ΔH (9.1 J/g~15.7 J/g)よりも有意に高い値を示した(以後、これらの試料澱粉を高温糊化澱粉(starch gelatinized at higher temperature; HTSと示す)。「多収系431」、「はいみのり」はともに「アケノホシ」を親にもつので「アケノホシ」系統の米の特徴かもしれない。HSに属する「鴻309」を除くHTSの ΔH の値15.1 J/g~17.7 J/gは、その他の米澱粉試料の ΔH よりも高い傾向があった。一般的に ΔH の値は主としてAPによって構成されている結晶領域の融解熱であると考えられている³⁶⁾ので、「鴻309」の ΔH の値がHTSの中では低い値を示したのは、AACが高いためと考えられる。

HTSを除く1998年産と1999年産の米胚乳澱粉の T_p の平均値はそれぞれWSで66.7°C、67.9°C、LSで67.5°C、69.2°C、MSで66.4°C、68.4°C、HSで64.4°C、65.0°Cであり、いずれも1999年産の方の T_p が高かったが、WS、LS、MSの間に T_p の大きな違いは見られず、HSの T_p は幾分低い値を示した。

3. ラピッドビスコアナライザー (RVA) による粘度特性

Fig. 2にRVA-3D (Newport Scientific Pty. Ltd.; Australia)を用いて図中の点線で示した温度プログラムで測定した1998年産「コシヒカリ」の米胚乳澱粉の10%水懸濁液(w/w)のビスコグラムと、得られたビスコグラムから読み取った各種特性値の名称とその略号を示した。ここで粘度上昇開始温度(viscosity rising

temperature ; T_v) は、ベースラインよりピーク粘度(peak viscosity ; PV)までの粘度の 5%に相当する粘度上昇に達した時の温度とした。 T_v からピーク粘度時の温度 (temperature at peak viscosity ; T_{PV}) までの間に上昇した粘度をその温度範囲 ($T_{PV} - T_v$) で割った値 $\tan \theta$ は粘度上昇速度を表わす数値として算出した。ピーク粘度とそれ以降の最低粘度 (minimum viscosity ; MV) との差 (PV-MV) をブレイクダウン (breakdown ; BD)、冷却時の最高粘度にあたる最終ピーク粘度 (final peak viscosity ; FV) と MV との差 (FV-MV) を SB とした。

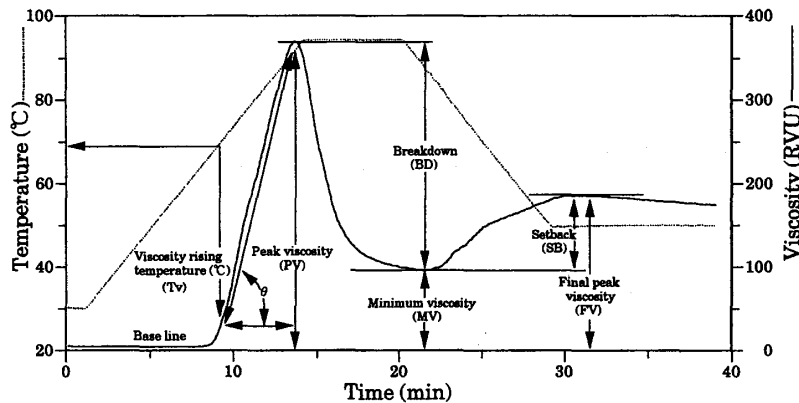


Fig.2 RVA viscoqram and some characteristic values

Fig.3-A には HS および研系 2064 (米胚乳澱粉の B.V.が 0.25 以上)、Fig.3-B には 1998 年、Fig.3-C には 1999 年に栽培された Table 1 の I~IV のそれぞれのグループの代表的な試料米胚乳澱粉のビスコグラムを示した。またいずれのグラフにも比較のために「コシヒカリ」のビスコグラムを示した。

Fig.3-A の結果より、「コシヒカリ」に比べて HS および研系 2064 は T_v が高かった。「研系 2064」の PV は「コシヒカリ」とほぼ同じ値を示したが、HS の PV は低かった。MV、FV、SB の値は HS および「研系 2064」でいずれも「コシヒカリ」よりも高かった。特に「研系 2064」と「西海 184 号」は、MV、FV、SB のいずれも特に高い値を示した。Fig.3-B、C の結果より、「コシヒカリ」に比べて WS の「ヒヨクモチ」、LS の「ミルキークイーン」、「スノーパール」、「ソフト 158」は粘度の上昇がより低温で観察された。HS の試料澱粉は特徴的なビスコグラムを示した。すなわち、Fig.3-B の「ホシニシキ」と Fig.3-C の「ホシユタカ」のいずれも SB はおよそ 150 RVU、PV はおよそ 200 RVU で、また Fig.3-B の「夢十色」と Fig.3-C の「桂朝 2 号」は SB も PV もおよそ 300 RVU であった。

WS の中では「多収系 431」(Fig. 3-B) と「西海糯 243 号」(Fig. 3-C)、MS の中では「アケノホシ」と「はいみのり」は、高い T_v を示した (Fig. 3-B)。これらの結果は DSC による測定で HGS と判定された品種と

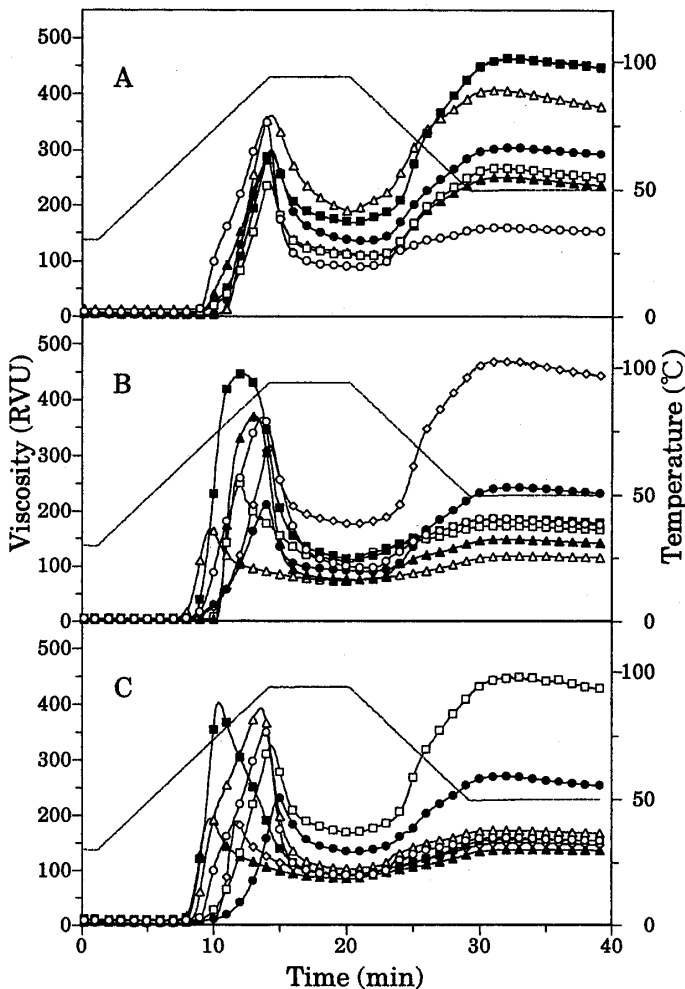


Fig.3 RVA viscosograms of rice endosperm starches suspended in water (10%, w/w). Viscosogram of Koshihikari (open circle) harvested in 1999 was shown in all figures (A,B and C) as a reference.
 [A]; High-amylose rice plants harvested in neither 1998 nor 1999 year, open square; Touhoku 148, closed triangle; Beniroman, closed circle; Kou 309, closed square; Saikai 184, open triangle; Kenkei 2064,
 [B]; Starches of rice plants harvested in 1998, closed square; Milky queen, closed triangle; Akenohoshi, closed circle; Hoshinishiki, open lozenge; Yumetoiro, open triangle; Hiyokumochi, open square; Tashukei 431,
 [C]; Starches of rice plants harvested in 1999, closed square; Snow pearl, open triangle; Soft 158, closed circle; Hoshiyutaka, open square; Guizhao 2, closed triangle; Hiyokumochi, open lozenge; Saikaimochi 243

T_{pv} もわずかに高かった。SB の値には「ホシユタカ」の約 150 RVU と「夢十色」の約 300 RVU の二種類の値が観察された。

従来、米粉および米胚乳澱粉の SB はそれらの AAC との間に高い負の相関関係があることが知られている。しかしながら HS (Fig.4-D) および amylose-extender (ae) 変異体米の「研系 2064」(Fig.3-A) の SB は非常に高い値を示した。

一致していた。

Fig.4A~D にそれぞれ Table 1 の 4 つの分類 (Table 1 - 1~4) に対応する 1998 年産米の WS、LS、MS、HS の 10% 水懸濁液の RVA ビスコグラムを示した。比較のために、Fig.4A~D のすべてのグラフに「コシヒカリ」澱粉のビスコグラムを示した。Fig.4A~D のビスコグラムはそれぞれ特徴的なパターンを示した。すなわち、MS に属する「コシヒカリ」と比べて、WS (Fig.4A) の T_v 、 T_{pv} 、PV、BD、MV、SB、FV のいずれの値も低く、WS の $\tan \theta$ は LS、MS、HS に比べて高い値を示す傾向がみられた。WS の中では例外的に「多収系 431」は「コシヒカリ」よりも高い T_v 、MV を示した。LS (Fig.4B) は「コシヒカリ」と比べて PV が高く、 T_v 、 T_{pv} 、SB は低い傾向を示した。MS (Fig.4C) のビスコグラムの中で MS に属する「コシヒカリ」はどの特性値も平均的なビスコグラムを示した。HS (Fig.4D) の T_v 、SB は「コシヒカリ」に比べて高く、

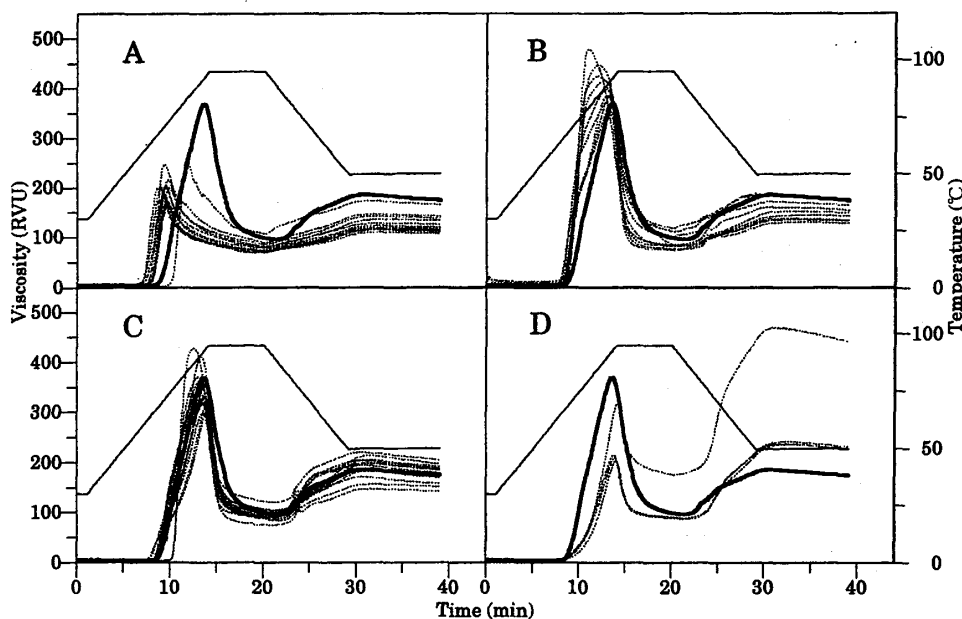


Fig.4 RVA viscograms of endosperm starches of rice plants harvested in 1998. Viscogram of Koshihikari starches (solid lines) was shown in all figures (A, B, C and D). Dotted lines: [A]; Waxy rice starches (AAC=0.0%), [B]; Low amylose rice starches (0.0% < AAC < 15.0%), [C]; Non-waxy rice starches (15.0% ≤ AAC < 25.0%), [D]; High amylose rice starches (AAC ≥ 25.0%)

4. 示差屈折計と低角レーザー光散乱光度計を用いた高速液体クロマトグラフィー (HPLC-RI-LALLS) による糯米胚乳澱粉および精製APの単位鎖長分布

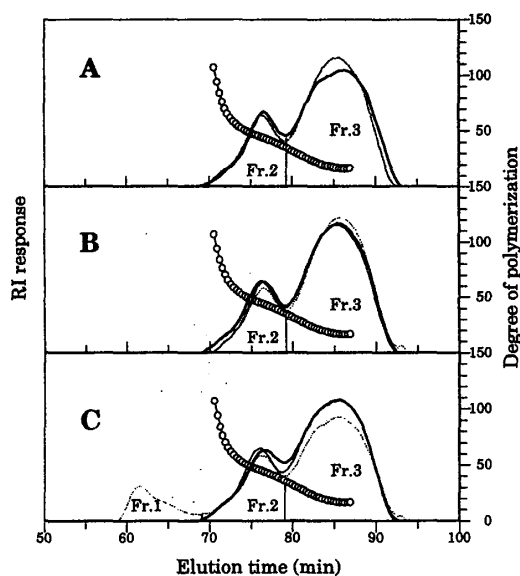


Fig.5 Elution profiles of isoamylase-debranched waxy rice starches and purified amylopectins by HPLC-RI-LALLS. Open circle; Degree of polymerization, [A]; Starches of Hiyokumochi (solid lines) and Tashukei 431 (fine dotted lines), [B]; Starches of Tashukei 431 (solid lines) and Amylopectins of Haiminori (fine dotted lines) and Akenohoshi (dotted lines), [C]; Amylopectins of Nipponbare (solid lines), Koshihikari (fine dotted lines) and Yumetoiro (dotted lines)

Fig.5 に示差屈折計 (RI) と低角レーザー光散乱光度計 (LALLS) を検出器として用いた高速液体クロマトグラフィー (HPLC) により WS、あるいは NS から精製した AP の側鎖をイソアミラーゼで枝切りして得られた生成物 (AP の単位鎖) を HPLC により分画して RI モニターで得られた溶出曲線と RI-LALLS により得られた値より算出した重合度曲線を示した。Fig.5-A は標準糯米品種の「ヒヨクモチ」と多収糯米の「多収系 431」の AP 単位鎖の溶出曲線を示している。「多収系 431」の Fr.3 のピークは「ヒヨクモチ」よりもわずかに高分子側に観察された。「多収系

「新形質米」胚乳澱粉の構造と性質

431」は RVA および DSC 測定により糊化温度が通常の米澱粉よりも高く、市販のトウモロコシ澱粉に近かった。そこで、「多収系 431」と同様に糊化温度が高い「アケノホシ」と「はいみのり」の精製 AP の単位鎖長分布を調べた結果、「多収系 431」とほぼ同じ溶出曲線を示した (Fig.5-B)。

HS の「夢十色」から精製した AP の単位鎖長分布を調べた結果、用いた連結 HPLC カラムでは排除体積に相当する画分 1 (Fraction 1; Fr.1) に約 15%の溶出が観察された (Fig.5-C)。この Fr.1 は竹田らが以前報告した AP 中に含まれるスーパーロングチェーン (super long chain; SLC) であると考えられる。³⁷⁾「夢十色」の Fr.2、Fr.3 は「日本晴」および「コシヒカリ」などの MS から精製した AP とほぼ同様の鎖長分布を示した。

5. 中圧ゲル濾過法(GPC)による枝切りした澱粉および精製 AP の鎖長分布

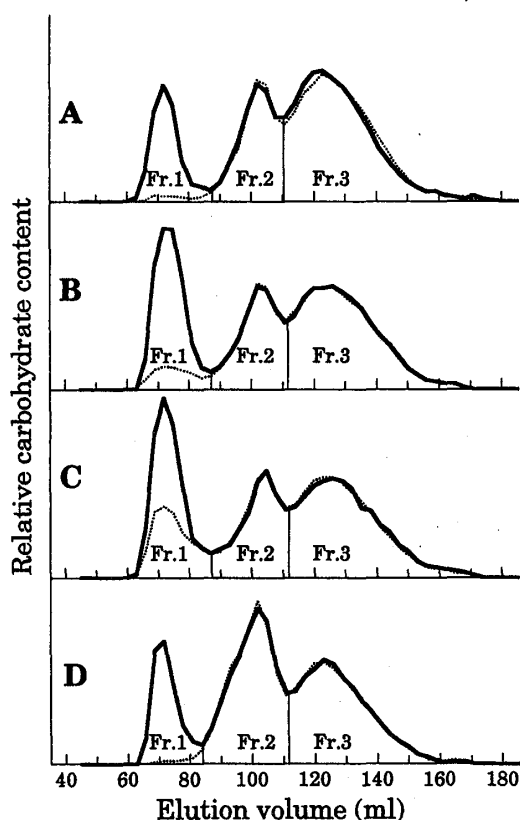


Fig.6 Elution profiles of isoamylase-debranched starches and amylopectins by GPC through Toyopearl HW55S - HW50S columns. Solid and dotted lines were starch and amylopectin, respectively. [A]; Koshihikari, [B]; Chugoku 134, [C]; Saikai 184, [D]; Kenkei 2064

Fig.6は Toyopearl HW55S(300×20mm)×1- Toyopearl HW50S(300×20mm)×3 の合計 4 本連結カラムを用いて、米胚乳澱粉をイソアミラーゼで枝切りした単位鎖、およびその胚乳澱粉から精製した AP の単位鎖の溶出曲線を米胚乳澱粉と精製 AP のそれぞれの Fr.2 と Fr.3 の合計面積を揃えて示した図である。「コシヒカリ」(A)、「中国 134号」(B)、「西海 184号」(C)、「研系 2064」(D)とも澱粉とその精製 AP の枝切り生成物の Fr.2 と Fr.3 の溶出曲線はほぼ一致していた。この結果は澱粉とその澱粉から精製した AP の Fr.2 と Fr.3 を構成している単位鎖長の分布の間に有意な違いがみられないことを意味しているので、澱粉からの AP 精製操作が AP 単位鎖に及ぼす影響はほとんどなかったと考えられる。竹田らによって AP 中に SLC の存在が明らかにされるまでは、Fr.1 は澱粉の AM 画分として認識されてきた。すなわち澱粉の Fr.1

含量が真のアミロース含量 (true amylose content ; TAC) として理解されてきた。SLC の存在が明らかにされた後には、Fr.1 含量は AAC として評価されるようになった。TAC は現在、一般的に澱粉とその精製 AP のヨウ素電流滴定法により得られたヨウ素親和性の測定値から算出する方法¹³⁾が用いられている。

Fig.6 の結果より、RVA の SB が約 300 RVU と非常に高い値を示す「西海 184 号」(C) の精製 AP に非常に高い Fr.1 含量 (16.1%) が観察された。RVA の SB が約 150 RVU の値を示した「中国 134 号」(B) の精製 AP では 5.5% の Fr.1 が観察された。「コシヒカリ」(A) と「研系 2064」(D) の精製 AP 中には微量の Fr.1 しか観察されなかった。

Fig.6 のように澱粉全体の単位鎖長分布とその澱粉から精製した AP の単位鎖長分布のそれぞれの Fr.2 と Fr.3 の合計値を一致させるように作図した溶出曲線では、枝切りした澱粉の全溶出量は澱粉分子全体を表しているのので、実線部分の Fr.1 はその澱粉の AAC、点線部分の Fr.1 はその澱粉の SLC 含量に相当する。したがって AAC から SLC 含量を差し引いた値はその澱粉の TAC に相当することになる。Fig.7-A に枝切りした澱粉と精製 AP の溶出曲線から算出した TAM、TAP、SLC、AAM、AAP のそれぞれの含量の関係を図示した。また Fig.7-B には枝切りした澱粉と精製 AP の溶出面分と TAM、TAP、SLC、AAM、AAP の関係を図示した。

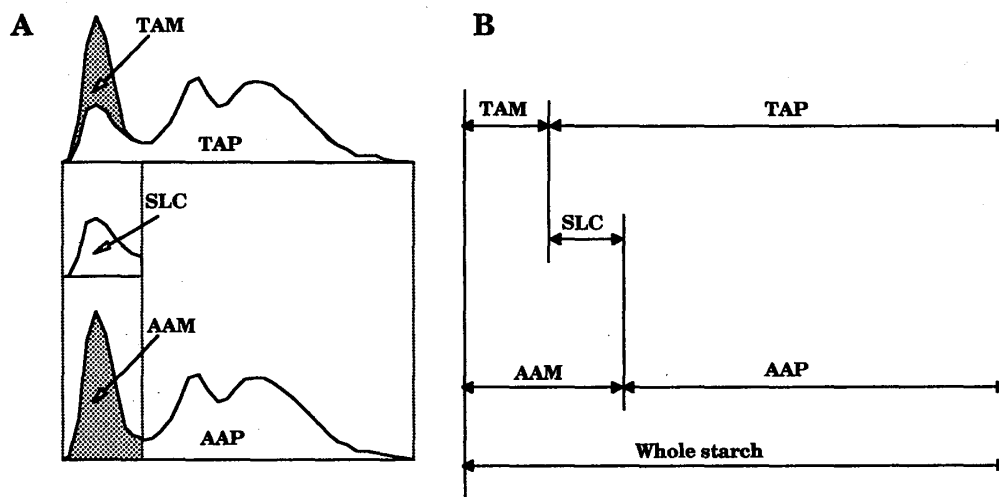


Fig.7 Scheme of starch components obtained by GPC method
A; typical chromatograms of debranched starch and purified amylopectin, B; Scheme of starch components, TAM; true amylose, TAP; true amylopectin, SLC; super long chain, AAM; apparent amylose, AAP; apparent amylopectin

本実験で用いた澱粉とその精製 AP の枝切り生成物の GPC 分析から算出する方法は時間がかかるが、AAM、TAM、SLC の三種の含量および AP の単位鎖長分布を同時に測定することができるので、有効な実験方法のひとつと考えられる。

「新形質米」胚乳澱粉の構造と性質

Table 2 に以上のような手法により算出した AAC、TAC、SLC の含量を示した。

Table 2. Content of apparent and true amylose, and super long chains of amylopectin in starches and swelling power and solubility of rice plants recently bred in Japan.

Starch samples	Japanese letter	Year*	Apparent	True	Super long	Swelling	Solubility	
			amylose	amylose	chains	power	(%)	
			contents (%)	contents (%)	contents (%)	(at 75°C)	(at 75°C)	
Snow pearl	スノーパール	ii	6.8	6.8	0.0	14.1	2.2	
Soft 158	ソフト158	ii	13.1	13.1	0.0	11.7	2.3	
Nipponbare 2	日本晴2	ii	19.6	19.6	0.0	8.9	2.8	
Milky queen	ミルクQueen	ii	9.8	9.6	0.2	14.1	2.0	
K-type	Haiminori	はいみのり	ii	13.8	13.2	0.6	9.2	2.6
	Koshihikari	コシヒカリ	i	19.1	18.0	1.1	10.4	3.9
	Akenohoshi	アケノホシ	ii	15.0	13.5	1.5	9.3	2.8
	Kenkei 2064	研系2064	iv	19.2	17.7	1.5	7.6	3.6
	Nipponbare 1	日本晴	ii	19.7	17.7	2.0	8.6	3.4
	Beniroman	ベニロマン	iv	27.6	22.5	5.1	9.1	4.6
	Chugoku 134	中国134号	i	30.3	24.8	5.5	8.1	6.0
H-type	Hoshinishiki	ホシニシキ	ii	29.1	23.3	5.8	7.9	5.4
	Tohoku 148	東北148号	iv	28.7	22.6	6.1	7.6	4.2
	Hoshiyutaka	ホシユタカ	ii	28.1	21.2	6.9	7.5	4.3
	Kou 309	鴻309	iv	32.2	25.1	7.1	8.1	4.0
	Yumetoiro	夢十色	ii	29.4	15.8	13.6	7.5	2.7
Y-type	Guizhao 2	桂朝2号	ii	31.9	18.0	13.9	7.2	3.3
	Shu 6351	収6351	ii	29.5	15.0	14.5	7.1	2.3
	Saikai 184	西海184号	iv	32.2	16.1	16.1	7.6	3.6

*Shown in Table 1

その結果、SLC 含量が 2.0%以下の値を示した「コシヒカリ」などの米品種タイプ（コシヒカリタイプ；Koshihikari type；K-type）、SLC 含量が 5~7%程度の値を示す「ホシユタカ」などの米品種タイプ（ホシユタカタイプ；Hoshiyutaka type；H-type）、SLC 含量が 13~16%程度の値を示す「夢十色」などの米品種タイプ（夢十色タイプ；Yumetoiro type；Y-type）に分けることができた。

6. パルスドアンペロメトリー検出器を用いた陰イオン交換クロマトグラフィー（HPAEC-PAD）による枝切りした澱粉の AP の短鎖領域の側鎖長分布

AP の短鎖領域の側鎖長分布を GPC 分析よりも精密に調べるために、パルスドアンペロメトリー検出器（PAD）を用いた高速陰イオン交換クロマトグラフィー（HPAEC）によって枝切りした澱粉の AP の短鎖領域の単位鎖長分布を測定した。Fig.8 は「コシヒカリ」と「研系 2064」の AP の重合度 48 までの単位鎖の PAD により検出されたピーク面積割合を AP 単位鎖の重合度別にグラフに示したものである。この図より「コシヒカリ」、「研系 2064」とともに AP の最小の単位鎖の重合度は 6（すなわちマルチヘキサオース）であり、「コ

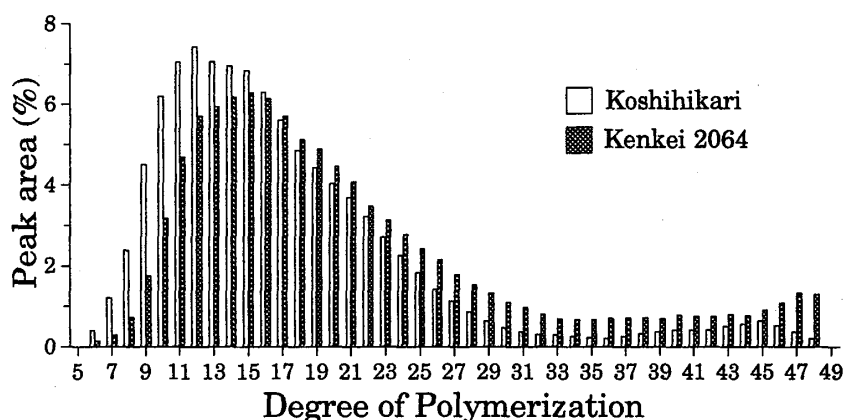


Fig.8 Peak area % of unit chains of isoamylase-debranched materials of endosperm starches from rice plants (Koshihikari and Kenkei 2064) determined by HPAEC-PAD.

シヒカリ」に比べて、「研系 2064」の AP 単位鎖は長く、重合度 17 以上の割合が高いことなどがわかった。AP の短鎖領域の単位鎖の検出器によるピーク面積割合を重合度 6~12 を Fr.A、重合度 13~36 を Fr.B1、重合度 37 以上を Fr.B2 とした。

Fig.9 は HPAEC-PAD 法により調べた米試料澱粉の AP の短鎖領域の単位鎖長分布を Fr.A 含量の数値によりグループ(a)~(f)に分類し [グループ(a) ; Fr.A < 20.0%, グループ(b) ; 20.0% ≤ Fr.A < 26.0%, グループ(c) ; 26.0% ≤ Fr.A < 29.0%, グループ(d) ; 29.0% ≤ Fr.A < 30.5%, グループ(e) ; 30.5% ≤ Fr.A < 32.0%, グループ(f) ;

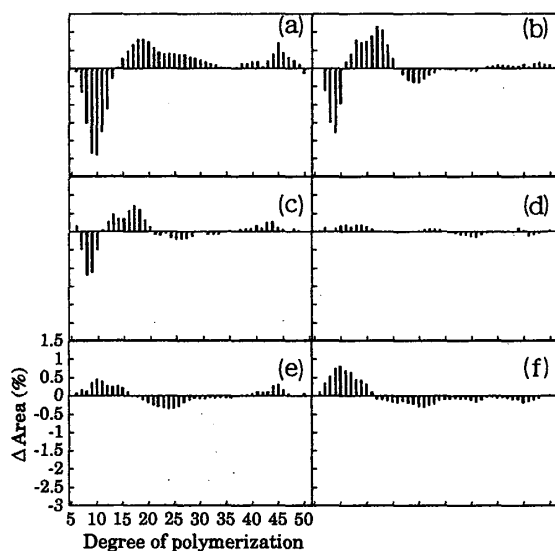


Fig.9 Differences in chain-length distributions of isoamylase-debranched starches of several rice plants with comparison to Koshihikari starch. Chain-length of debranched rice amylopectin were classified into 6 groups based on Fr.A content.

Group (a); Fr.A < 20.0%, (Kenkei 2064),
Group (b); 20.0% ≤ Fr.A < 26.0%, (Akenohoshi),
Group (c); 26.0% ≤ Fr.A < 29.0%, (Beniroman),
Group (d); 29.0% ≤ Fr.A < 30.5%, (Milky queen),
Group (e); 30.5% ≤ Fr.A < 32.0%, (Nipponbare*1),
Group (f); 32.0% ≤ Fr.A, (Hakuchomochi)

Differences in chain-length distributions of starches of rice plants shown in parenthesis with comparison to Koshihikari starch were shown as a representative of each group (a) to (f).

32.0% ≤ Fr.A], それぞれのグループに属する代表的な米試料として、(a)「研系 2064」、(b)「アケノホシ」、(c)「ベニロマン」、(d)「ミルクークイーン」、(e)「日本晴」、(f)「ハクチョウモチ」を選び、各グループの代表的な試料澱粉の鎖長分布から「コシヒカリ」澱粉の鎖長分布を差引いたグラフを示したものである。「コシヒカリ」はこのグループ分けの方法によると、「コシヒカリ」の突然変異米に相当する「ミルクークイーン」と同じグループ(d)に属していた。

(a)から(f)の順に AP の短鎖領域の鎖長は短くなっている。Table 1 - I~IV にそれぞれの試料米がどのグループに属するかを示した。その結果、Table 1 - の I ~IV のそれぞれのグループにおいて(a)~(f)の分布

「新形質米」胚乳澱粉の構造と性質

に片寄りは見られないことから、米澱粉の AAC と AP の短鎖領域の側鎖長分布との間には関連性はないと考えられる。しかしながら、高温糊化米の「研系 2064」は(a)、その他の高温糊化米はいずれも(b)グループに属し、高温糊化米グループに次いで糊化温度の高かった「ベニロマン」が(c)グループに属し、その他の試料澱粉は(d)~(f)のグループに属していた。そこで WS、LS、MS、HS の試料澱粉の Fr.A 含量に対して T_p をプロットした結果を Fig.10 に示した。Fig.10 より Fr.A 含量と T_p の間に負の相関がみられたが、(d)、(e)に属する試料澱粉では HS の T_p が比較的低下する傾向がみられた。この結果は同様な Fr.A 含量をもつ澱粉の場合、SLC が糊化温度を低下させる要因となっている可能性を示唆している。

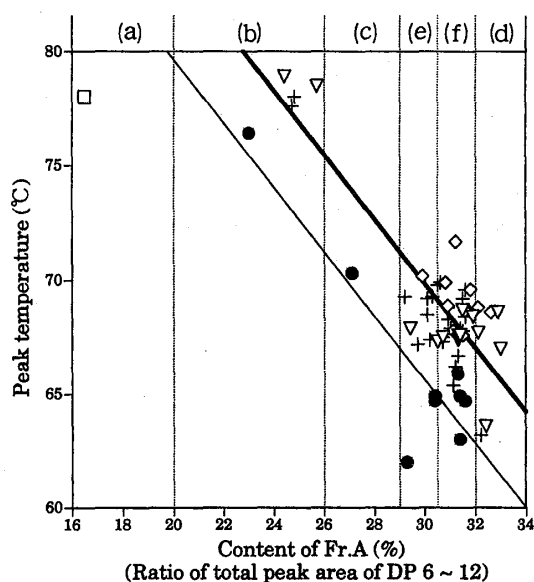


Fig.10 Correlation of Fr.A (DP 6-12) content and peak temperatures of gelatinization of rice starches. Reversed triangle; waxy rice, lozenge; low-amylose rice, cross; normal-amylose rice, closed circle; high-amylose rice, square; Kenkei 2064, n=60

7. 澱粉の膨潤力と溶解度

Table 2 に 75°Cにおける膨潤力と溶解度の測定の結果を示した。AAC の低い「スノーパール」、「ミルクイーオン」、「ソフト 158」などの LS は膨潤力が高く、溶解度が低い傾向があった。一方、HS の中でも TAC が高い H タイプに属する米澱粉は溶解度が高い傾向がみられた。これらの結果は、TAC が溶解度と密接な関係があることを示唆している。

8. 米澱粉の分布図

Fig.11 は横軸に AP の Fr.A 含量、縦軸に AP の SLC 含量をとり、WS、LS、MS、HS および研系 2064 の記号を変えてプロットした分布図である。図中には横軸の Fr.A 含量により分類した(a)~(f)のグループを示した。すなわち、AP 側鎖の特性の2つの要素、すなわち Fr.A 含量および SLC 含量をそれぞれ横軸と縦軸で表わし、TAC の範囲によりグループ化したものを記号の違いで表現することにより、米澱粉の分類図の作成を試みた。

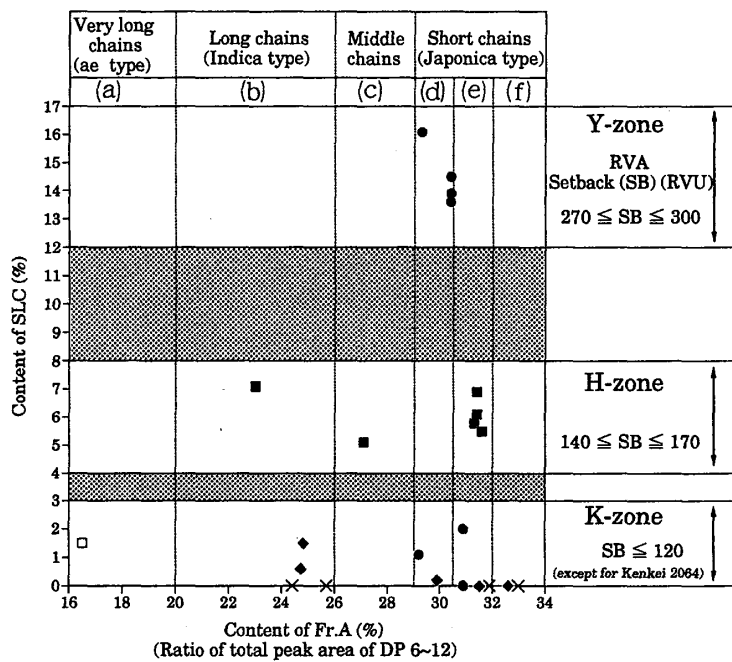


Fig.11 Scatter plots of Fr.A (DP 6-12) contents and super long chains contents in amylopectin of rice endosperm. Results of starch samples of non-waxy rice in Table 2 and of waxy rice (Hiyokumochi, Hakuchomochi, Tashukei 431, and Saikaimochi 243) were plotted in this figure. Cross; TAC=0.0%, closed lozenge; 0.0%<TAC<15.0%, closed circle; 15.0%≤TAC<20.0%, closed square; 20.0%≤TAC, open square; Kenkei 2064

今回用いた米試料の胚乳澱粉では AP の SLC 含量が 3~4%と 8%~12%の範囲に入る試料米は存在しなかった。AP の SLC 含量が 12%以上の試料米の品種「夢十色」のイニシャルをとって Y ゾーン、AP の SLC 含量が 4~8%の範囲にある試料米品種「ホシユタカ」のイニシャルをとって H ゾーン、3%以下の SLC 含量の NS の「コシヒカリ」のイニシャルをとって K ゾーンと命名した。WS には SLC が存在していなかったので WS は x 軸上にプロットされる。また K ゾーン、H ゾーン、Y ゾーンに属する米澱粉の RVA の SB の値はそれぞれ 120RVU 以下、140RVU 以上 170RVU 以下、270RVU 以上 300RVU 以下であった。

今回測定した米澱粉の中では(a)に属する試料は研系 2064 のみであり、Y ゾーンには(b)および(c)に属する

「新形質米」胚乳澱粉の構造と性質

ような米試料の存在は確認できなかった。20%以上の TAC の米試料はすべて H ゾーンに属し、15%~20% の TAC の米試料は Y ゾーンと K ゾーンのいずれかに属した。

DSC による T_p は WS、LS、MS、HS の 4 グループにおいて HGS を除いた試料に関して HS で幾分低い傾向がみられたが、WS、LS、MS 間で有意な違いは観察されなかった。しかしながら、RVA の T_v では HGS を除いた試料に関して $WS < LS < MS$ という傾向がみられた。これらの結果は AP 含量が高い澱粉ほど、RVA による測定により、澱粉糊の粘度上昇速度が急速 ($\tan \theta$ が高い) であり、より低温から T_v が観察されるのであろう。一方、DSC による糊化温度は澱粉粒全体の吸熱反応をとらえる結果、AM、AP の含量の影響を受けにくいと考えられる。

考察

従来アミログラフや RVA の SB は澱粉の老化を評価する値として古くから用いられてきた。また澱粉分子の中でも AM の存在が、澱粉の老化の主な原因とされてきた。実際、今回の実験で用いた日本で育成された新形質米の胚乳澱粉の AAC が 25% 未満の粳米胚乳澱粉では、AAC と RVA の SB との間に高い正の相関 ($r = 0.71$, $n = 35$) が得られた。(結果は示していない。) Fig.12 に NS の AAM、TAM および SLC のそれぞれの含量に対して SB、PV、SO、SP のそれぞれとの相関を示した。AP 中の SLC 含量と SB との間には「研系 2064」を除いて高い正の相関関係が観察された (Fig.12-C)。この結果は SLC が澱粉ゲルの強度を増大させる性質をもっていることを強く示唆しており、SLC が澱粉の老化に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。「研系 2064」は SLC 含量が低いにもかかわらず、高い SB を示したのは、AP の Fr.2 と Fr.3 の鎖長が長いことが要因であると思われる。

HS の PV は NS の中では最も低く、逆に SB は高い値を示した。ただし、HS 中には、PV と SB がいずれも比較的高いタイプ (夢十色タイプ) と低いタイプ (ホシユタカタイプ) の 2 種類が存在していた。AAC と PV との関係を見ると、夢十色タイプ (Y-type) 以外は高い負の相関関係があり、Y-type の澱粉は他のタイプの澱粉の AAC から予想される PV よりも高い値を示した (Fig.12-D)。TAC と PV の間には高い負の相関関係がみられた (Fig.12-E)。これらの結果は、SLC を多く含む Y-type 澱粉は、TAC が K-type とほぼ同様な値を示すことより、澱粉の PV は TAC が主に影響していることを意味している。

一般的に AC (AAC および TAC) に対して膨潤力 (swelling power ; SP)、PV は負の相関関係 (すなわち

AP 含量と正の相関関係)、AC と溶解度 (Solubility ; SO) は正の相関があることが知られている。SP は TAC (Fig.12-H)よりも AAC (Fig.12-G)、SO は AAC (Fig.12-J) よりも TAC (Fig.12-K) の方が高い相関関係が得られた。澱粉の AAC と TAC の違いは AP に存在している SLC 含量に相当する。したがって AP 中の SLC は SP、SO の増大や PV の減少にあまり寄与しないことから、SLC ではなく主にクラスターを構成していると考えられる AP 側鎖の含量が SP に、より強い影響を及ぼし、TAM がより優先的に溶出することにより、TAC が SO に強い影響を及ぼし、PV は TAC が重要な要因となることを意味していると考えられる。すなわち SLC は通常の鎖長の AP 側鎖と比較して澱粉粒の膨潤にあまり関与せず、また AM と比較して熱水に対して溶解しにくいと考えられる³⁸⁾。

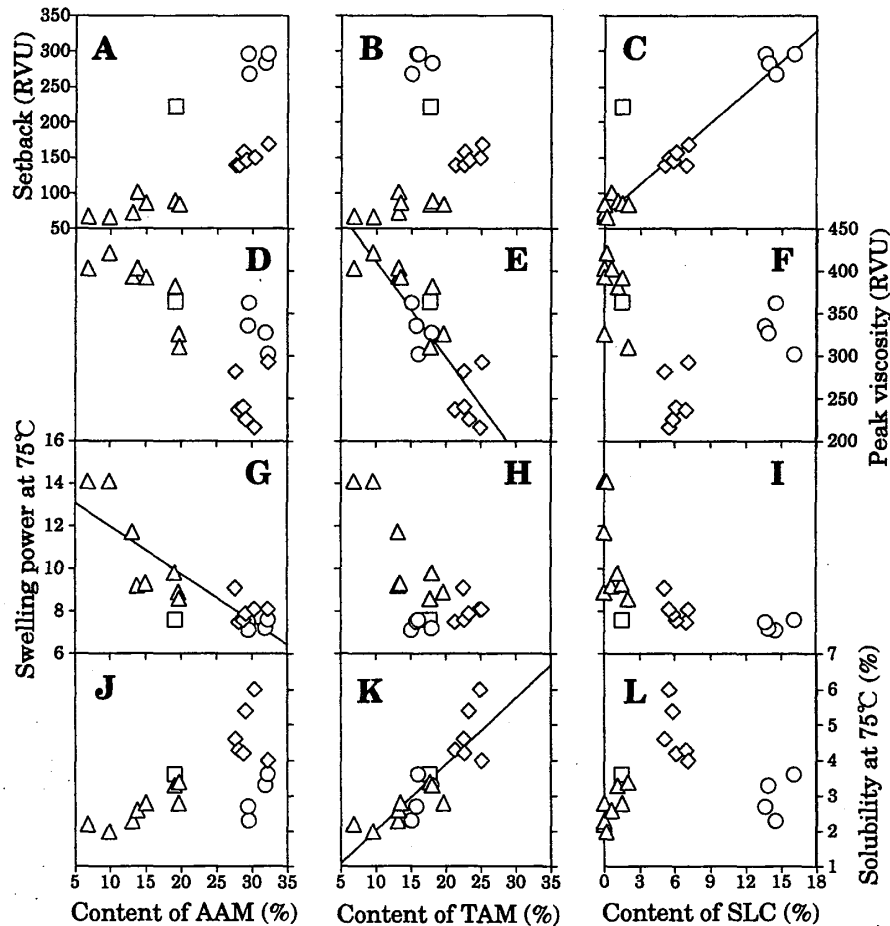


Fig.12 Correlations of apparent and true amylose, super long chain contents and functional parameters of starches obtained from rice plants (19 starch samples in Table 2). Functional parameters are as follows: setback; [A: $r=0.78$], [B: $r=0.22$], [C: $r=0.99$], peak viscosity; [D: $r=-0.77$], [E: $r=-0.88$], [F: $r=-0.35$], swelling power at 75°C; [G: $r=-0.87$], [H: $r=-0.70$], [I: $r=-0.68$], solubility at 75°C; [J: $r=0.64$], [K: $r=0.86$], [L: $r=0.17$], triangle; K-type rice varieties, lozenge; H-type rice varieties, circle; Y-type rice varieties, square; Kenkei 2064

「新形質米」胚乳澱粉の構造と性質

文献

- 1) K. Saio : Rice—the past, the present and the future—, *Denpun Kagaku*, **40**, 155-161 (1993)
- 2) M. Asaoka, K. Takahashi, K. Nakahira, N. Inouchi, and H. Fuwa : Structural characteristics of endosperm starch of new types of rice grains—nonwaxy types of rice harvested in 1990 and 1991—. *J. Appl. Glycosci.*, **41**, 17-23 (1994).
- 3) M. Asaoka, A. Nakayama, J. Endo, N. Inouchi, and H. Fuwa : Gelatinization properties of endosperm starch of new types of rice grains—nonwaxy types of rice harvested in 1990 and 1991—. *J. Appl. Glycosci.*, **41**, 25-33 (1994).
- 4) H. Fuwa, M. Asaoka, H. Sintani T. Shigematsu, M. Oshiba and N. Inouchi : Properties of endosperm starch of new types of rice grains—Giant-embryo, fragrance, high-amylose, low-amylose and big-grain rice—. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **41**, 413-418 (1994).
- 5) Y. Nakamura A. Sakurai, Y. Inaba, K. Kimura, N. Iwasawa, and T. Nagamine : The fine structure of amylopectin in endosperm from Asian cultivated rice can be largely crassified into two classes. *Starch/Staerke*, **54**, 117-131 (2002).
- 6) N. Inouchi, D.V. Glover, Y. Sugimoto, H. Fuwa : DSC characteristics of gelatinization of starches of single-, double-, and triple-mutants and their normal counterpart in the inbred Oh43 maize (*Zea mays* L.) background. *Starch/Staerke*, **43**, 468-472 (1991).
- 7) N. Inouchi, D.V. Glover, Y. Sugimoto, H. Fuwa : DSC characteristics of retrograded starches of single-, double-, and triple-mutants and their normal counterpart in the inbred Oh43 maize (*Zea mays* L.) background. *Starch/Staerke*, **43**, 473-477 (1991).
- 8) Y. C. Shi and P. A. Seib : The structure of four waxy starches related to gelatinization and retrogradation. *Carbohydr. Res.*, **227**, 131-145 (1992).
- 9) J. Jane, Y. Y. Chen, L. F. Lee, A. E. McPherson, K. S. Wong, M. Radosavljevic, and T. Kasemsuwan : Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.*, **76**, 629-637 (1999)
- 10) K. Okamoto, K. Kobayashi, H. Hirasawa and T. Umemoto : Structural differences in amylopectin affect waxy rice processing. *Plant Prod. Sci.*, **5**, 45-50 (2002).
- 11) M. Kuno, K. Kainuma, and S. Takahashi : Physicochemical characteristics of low-amylose rice starches. *J. Appl. Glycosci.*, **47**, 319-326 (2000).

- 12) S. Hizukuri, Y. Takeda, N. Maruta and B. O. Juliano : Molecular structure of rice starch. *Carbohydr. Res.*, **189**, 227-235 (1989).
- 13) Y. Takeda, S. Hizukuri and B. O. Juliano : Structures of rice amylopectin with low and high affinities for iodine. *Carbohydr. Res.*, **168**, 79-88 (1987)
- 14) Y. Takeda and J. Preiss : Structures of B90 (sugary) and W64A (normal) maize starches. *Carbohydr. Res.*, **240**, 265-275 (1993).
- 15) Y. Takeda, C. Takeda, H. Mizukami, I. Hanashiro : Structures of large, medium and small starch granules of barley grain. *Carbohydr. Polymer*, **38**, 109-114 (1999).
- 16) T. Gaffa, Y. Yoshimoto, I. Hanashiro, O. Honda, S. Kawasaki, and Y. Takeda : Physicochemical properties and molecular structures of starches from millet (*Pennisetum typhoides*) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars in Nigeria. *Cereal Chem.*, **81**, 255-260 (2004).
- 17) S. Hizukuri : Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydr. Res.*, **147**, 342-347 (1986).
- 18) S. Hizukuri : Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules : *Carbohydr. Res.*, **141**, 295-306 (1985)
- 19) M. Ramesh, S. Z. Ali, and K.R. Bhattacharya : Structure of rice starch and its relation to cooked-rice texture, *Carbohydr. Polym.*, **38**, 337-347 (1999).
- 20) H. Mizukami and Y. Takeda : Chewing properties of cooked rice from new characteristics rice cultivars and their relation to starch molecular structures. *J. Appl. Glycosci.*, **47**, 61-65 (2000).
- 21) S. Takahashi : Comparison of physical properties and cooking quality of newly developed rices. *Denpun Kagaku*, **40**, 245-254 (1993).
- 22) S. Takahashi, H. Naito and K. Kainuma : Correlation between physicochemical properties and taste of various kinds of cooked rice. *J. Appl. Glycosci.*, **45**, 91-98 (1998).
- 23) S. Takahashi, T. Sugiura, H. Naito, N. Shibuya and K. Kainuma : Correlation between taste of cooked rice and structural characteristics of rice starch. *J. Appl. Glycosci.*, **45**, 99-106 (1998).
- 24) S. Takahashi, M. Kuno, K. Nishizawa and K. Kainuma : New method for evaluating the texture and sensory

「新形質米」胚乳澱粉の構造と性質

- attributes of cooked rice. *J. Appl. Glycosci.*, **47**, 343-353 (2000).
- 25) T. Umekuni, N. Matsunaga, W. Kojima, K. Kainuma and S. Takahashi : Physical properties and eating qualities of newly developed waxy rice. *J. Appl. Glycosci.*, **49**, 297-304 (2002).
- 26) H.Okadome, H. Toyoshima, M. Suto, I. Ando, K. Numaguchi, N. Horisue, and K. Ohtsubo : Palatability evaluation for Japonica rice grains based on multiple physical measurements of individual cooked rice grain. *Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi*, **45**, 398-407 (1998).
- 27) K.Yamamoto, S. Sawada, and I. Onogaki : Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. *Denpun Kagaku*, **20**, 99-104 (1973)
- 28) K. Yamamoto, S. Sawada, and I. Onogaki : Effects of quality and quantity of alkali solution on the properties of the rice starch. *Denpun Kagaku*, **28**, 241-244 (1981)
- 29) N. Inouchi, K. Nishi, S. Tanaka, M. Asai, Y. Kawase, Y. Hata, Y. Konishi, S. Yue and H. Fuwa : Characterization of amaranth and quinoa starches, *J. Appl. Glycosci.*, **46**, 233-240 (1999)
- 30) H. Toyoshima, H. Okadome, K. Ohtsubo M. Suto, N. Horisue, O. Inatsu, A. Narizaka, M. Aizaki, T. Okawa, N. Inouchi and H. Fuwa : Cooperative test on the small –scale rapid method for the gelatinization properties test of rice flours with a Rapid-Visco-Analyser (RVA). *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **44**, 579-584 (1997).
- 31) T.Takeda, S. Hizukuri, and B. O. Juliano : Purification and structure of amylose from rice starch. *Carbohydr. Res.*, **148**, 299-308 (1986).
- 32) Y. Ikawa, D.V. Glover, Y. Sugimoto and H. Fuwa : Some structural characteristics of starches of maize having a specific genetic background. *Starch/Staerke*, **33**, 9-13 (1981).
- 33) K. Koizumi, M. Fukuda, and S. Hizukuri : Estimation of the distribution of chain length of amylopectins by high-performance liquid chromatography with pulsed amperometric detection. *J. Chromatogr.*, **585**, 233-238 (1991).
- 34) H. W. Leach, L. D. McCowen, and T. J. Schoch : Structure of the starch granules. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.*, **36**, 534-544 (1959).
- 35) N.Inouchi, N. Ikeuchi, T. Takami, M. Asaoka and H.Fuwa : Investigation of simple method measuring apparent amylose content of rice grains. *J. Appl. Glycosci.*, **43**, 1-5 (1996).
- 36) C.G. Biliaderis, T. J. Maurice, and J.R. Vose : Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning

堀端, 井ノ内

calorimetry. *J. Food Science*, **45**, 1669-1680 (1980).

37) C. Takeda, Y. Takeda, and S. Hizukuri : Physicochemical properties of lily starch. *Cereal Chem.*, **60**, 212-216 (1983).

38) T. Horibata, M. Nakamoto, H. Fuwa, and N. Inouchi : Structural and physicochemical characteristics of endosperm starches of rice cultivars recently bred in Japan. *J. Appl. Glycosci.*,(accepted) (2004)

Annu. Rep. Fac. Life Sci. Applied Biol. Sci., Fukuyama Univ. (3), 19-38 (2004)

Structural and Physicochemical Characteristics of Endosperm Starches of Rice Cultivars Recently Bred in Japan

Tetsuya Horibata and Naoyoshi Inouchi

Department of Applied Biological Science, Faculty of life science and Biotechnology, Fukuyama University,
Fukuyama, Hiroshima 729-0292, Japan

Structural and physicochemical properties of rice starches were investigated using 4 types of endosperm starches, waxy, low amylose (AM), medium AM, and high AM starches of rice cultivars recently bred in the paddy fields of Ministry of Agriculture, Forestry, and Fishery of Japan and harvested mainly in 1998 and 1999. There was a highly negative relationship between the true AM contents and the peak viscosity measured by Rapid Visco Analyser (RVA) for non-waxy starches. In the group of high AM starches, there were two types of rice starch samples with similar apparent AM contents (about 30%), different contents of super long chains (SLC) in amylopectin (AP), and different values in peak viscosity and setback of starches measured by RVA. Since there was a highly positive relationship between SLC contents and setback, the SLC in AP seems to have a great influence on the setback of starch. Both of the side-chain length distribution within the short-chain range of AP and the SLC content of AP have greatly influenced the gelatinization temperature of rice starches. The SLC in AP contributed to neither swelling nor dissolution of rice starches in water at 75°C. We proposed a scheme of the relationship between the SLC and the Fr.A (DP 6-12) contents of AP as a classification of endosperm starches of rice cultivars recently bred in Japan.

Key words : rice starch, super long chain, apparent amylose content, true amylose content, chain length distribution of amylopectin