各種澱粉資源とその澱粉特性

不破 英 次*

Resources for Starch and Properties of Various Starches

Hidetsugu FUWA

Department of Food and Nutrition, Osaka City University
(Sumiyoshi-ku, Osaka 558, Japan)

A review paper. Contents of amylose and distributions of α -1,4-chains of amylopectin were determined by two enzyme-chromatographic methods using the following endosperm starches of maize (*Zea mays* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) with definite genetic backgrounds: amylose-extender (*ae*), dull (*du*), sugary-1 (*su*₁), sugary-2 (*su*₂) and waxy (*wx*) single-mutants, *ae wx* double-mutant and their normal counterpart of the inbred Oh43 maize; low-amylose (cultivar: Norin 8), high-amylose and sugary (cultivar: Kinmaze) mutants of rice, and waxy (*wx*) and nonwaxy rice (cultivar: Taichung 65) grown under different temperature conditions after anthesis. References on starches other than maize and rice studied in the author's laboratories were also cited.

1. はじめに

緑色植物は、光合成の最初の産物として炭水化物を生成する。生成物は葉緑体中に澱粉粒の形で一時的に貯蔵される(同化澱粉)。同化澱粉は必要に応じて、再び糖類に変えられ利用されるが、とくにイネ、ムギ類、トウモロコシなどの穀物とジャガイモやサツマイモなどのイモ類は光合成産物を澱粉粒(貯蔵澱粉)の形で、胚乳あるいは根茎に貯える効率のよい系をもっている。これらの作物は、人間が安定して食糧を入手できるよう、エネルギーを次代の生存のために澱粉粒の形で貯えるという植物の特性を高度に利用して、育種により育てあげたものである。

植物の貯蔵澱粉の形態、構造や性質は、遺伝的要因と環境的要因の影響をうけていることが知られている。すなわち、それぞれの澱粉の起源植物に特有の形、構造、性質をもっているが、そればかりでなく、同じジャガイモ澱粉でも、大粒子と小粒子で異なり、さらに細かくいうと、個々の澱粉粒がそれぞれ個性をもっているといえ

る。また、生育環境によって澱粉の構造と性質は変化するし、さらに澱粉粒の調製方法、調製後の保存条件によっても澱粉の構造と性質は変化することが知られている。

各種澱粉のうち、工業的に生産されているものは多くなく、せいぜい10種類程度である。その代表的なものは、トウモロコシ、ジャガイモ、サツマイモ、コムギ、タピオカ、サゴ、モロコシ、コメなどである。このほか、生産量は少ないが、特殊な用途に利用されているものに、マメ類、クズ、ワラビ、ハス、ヒシなどの澱粉がある。

さて、穀類やマメ類種子中の澱粉粒のように、地上で、比較的水分の少ない条件下で生産され、しかも種子が完熟した状態では、さらに水分の少ない条件下に存在する澱粉を地上澱粉という。これに対し、イモ類の澱粉粒に代表されるように、地下で、比較的水分の多い条件下で生産され、完熟した状態でも比較的水分の多い条件下で存在する澱粉を地下澱粉という。この両者は、それぞれトウモロコシ澱粉とジャガイモ澱粉に代表される。

われわれの研究室ではここ十数年来、アメリカ Indiana 州立 Purdue 大学の David V. Glover 教授との協同研究で遺伝的背景の明らかなトウモロコシを実験材

* 大阪市立大学生活科学部 (558 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

Table 1. Mature kernel phenotype of normal and selected single recessive maize genotypes.

Genotype	Chromosome	Kernel phenotype
Normal		Translucent
Waxy (<i>wx</i>)	9	Opaque
Amylose-extender (<i>ae</i>)	5	Tarnished, translucent or opaque; sometimes semi-full
Dull (<i>du</i>)	10	Opaque to tarnished
Sugary-1 (<i>su</i> ₁)	4	Winkled, glassy
Sugary-2 (<i>su</i> ₂)	6	Slightly tarnished, often etched at base

Table 2. Some properties of starches isolated from mature kernels of normal and single recessive genotypes of inbred Oh43 maize.

Genotype	Properties of endosperm starch
Normal	25% amylose and 75% amylopectin
<i>wx</i>	100% amylopectin
<i>ae</i>	High amylose, high intermediate fraction, and novel amylopectin
<i>du</i>	High amylose and novel amylopectin
<i>su</i> ₁	High amylose, novel amylopectin, and phytylglycogen
<i>su</i> ₂	High amylose

Table 3. Determination of chain-length distribution of amylopectin by two enzyme-chromatographic methods.

- Debranching starch and amylopectin by *Pseudomonas*-isoamylase and fractionate debranched materials by gel filtration through either Sephadex G-75 column or Toyopearl HW55SF and HW50SF columns
 Fr. I: amylose, $\lambda_{\max} \geq 620$ nm
 Int. Fr.: short chain amylose and long B chains of amylopectin, $620 \text{ nm} > \lambda_{\max} \geq 600$ nm
 Fr. II: long B chains of amylopectin, $600 \text{ nm} > \lambda_{\max} \geq 540$ nm*
 Fr. III: short B chains and A chains of amylopectin, $540 \text{ nm}^* > \lambda_{\max}$
- Debranching β -amylase limit dextrin by *Pseudomonas*-isoamylase and *Aerobacter*-pullulanase and fractionate debranched materials by gel filtration through Toyopearl HF50SF column
 Fr. I $_{\beta}$: amylose β -limit dextrin, $\lambda_{\max} \geq 600$ nm
 Fr. II $_{\beta}$: stubs of long B chains of amylopectin, $\overline{\text{CL}} \geq 20$
 Fr. III $_{\beta}$: stubs of short B chains of amylopectin, $20 > \overline{\text{CL}} \geq 4$
 Fr. IV $_{\beta}$: maltose and maltotriose, stubs of A chains of amylopectin

* 525 nm for rice starch.

料に使用し、正常株と、それと均質胚乳遺伝子をもった変異株の穀粒から澱粉粒を調製し、それらの構造と性質について検討を進めている。また、コメ澱粉については、農林水産省北陸農業試験場の奥野員敏博士との協同研究により、遺伝的背景の明らかなイネ、さらに生育環境の明らかなイネの胚乳澱粉を用いて、それらの構造と性質

の検討を行っている。今回は、これらの研究結果のうち、とくにトウモロコシアミロペクチンの鎖長分布とコメ澱粉を中心にのべ、さらに澱粉あるいは澱粉質食品の利用のための基礎的研究として、主として筆者の研究室で検討した、種々の澱粉の構造と性質についての文献をあげることとする。

Fig. 1. Elution patterns of *Pseudomonas*-isoamylase-debranched maize starches and phytoglycogen by gel filtration on Toyopearl HW55-HW50SF columns.

2. 遺伝的背景の明らかなトウモロコシ 胚乳澱粉の構造と性質

トウモロコシには、Table 1 に示すように、胚乳澱粉の性質や胚乳の炭水化物含量を変えるいくつかの胚乳遺伝子の存在が知られている¹⁾。われわれが近交系デントトウモロコシ Oh43 の正常株と、これと均質胚乳遺伝子をもつ変異株のいくつかについて検討した胚乳澱粉の特

徴を Table 2 にまとめた。これらは Table 3-1 の酵素・クロマトグラフィ法を用いてえた結果^{2,3)} (Table 4 と Fig. 1) をもとにまとめたものである。すなわち、waxy (*wx*) 遺伝子はアミロースの生成をおさえ、澱粉はアミロペクチンほぼ 100% からなる。これに対し、amylose-extender (*ae*)、dull (*du*) と sugary-2 (*su*₂) は高アミロースの澱粉を生成する。*ae* 澱粉はさらに中間区分 (Int. Fr.) が多く、またアミロペクチンの鎖長が長い特

Table 4. Weight percentage of total carbohydrate of *Pseudomonas*-isoamylase-debranched materials of several starches obtained from mature kernels of inbred Oh43 maize (*Zea mays* L.).*

Genotype	Fr. I (%)	Int. Fr. (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)	Fr. III / Fr. II
Normal	24.3	3.4	18.3	54.0	2.9
<i>wx</i>	0.0	4.9	24.5	70.6	2.9
<i>ae</i>	35.1	18.4	22.6	23.9	1.1
<i>du</i>	32.3	3.2	13.1	51.4	4.0
<i>su₂</i>	36.3	6.4	15.3	42.0	2.7
<i>su₁</i>	28.5	6.5	12.7	52.3	4.1
Phytoglycogen	—	0.8	6.9	92.3	

* For each fraction (Fr.), see Table 3.

Fig. 2. Elution patterns of debranched β -limit dextrins of maize starches and phytoglycogen on a Toyopearl HW50SF column.

徴がある。sugary-1 (*su₁*) については Oh43 トウモロコシの場合アミロース含量がいく分高くなるが、他のトウモロコシの結果はアミロース含量が正常株にくらべて高いもの、ほぼ同じもの、さらに低いものと一定していない¹⁾。

Fig. 1 は、Table 3-1 にのべた方法、すなわち澱粉をイソアミラーゼで枝切り (α -1,6 結合の切断) 後、生成物をゲルろ過する方法で、Oh43 の正常株といくつかの変異株の澱粉のアミロース含量とアミロペクチンの鎖長分布、ならびに *su₁* フィトグリコーゲンの鎖長分布を

Table 5. Number percentage of materials of β -limit dextrins debranched by isoamylase and pullulanase and A : B chain ratio of starches of inbred Oh43 maize (*Zea mays* L.).*

	Fr. I $_{\beta}$ (%)	Fr. II $_{\beta}$ (%)	Fr. III $_{\beta}$ (%)	Fr. IV $_{\beta}$ (%)	Fr. III $_{\beta}$ Fr. II $_{\beta}$	$r = \frac{A}{B}$
Normal	0.7	11.2	32.0	56.1	2.9	1.3
<i>wx</i>	0.0	10.3	33.2	56.5	3.2	1.3
<i>su</i> ₁ phytyloglycogen	0.0	49.9		50.1		1.0

* For each fraction (Fr.), see Table 3.

Fig. 3. Modes of the action of β -amylase on amylose and amylopectin.

分析した結果を示している。また、Fig. 1²の実線部分から求めた各画分の重量分布を Table 4 に示す。Fr. I はアミロースに由来する。*wx* 澱粉は Fr. I を含まず、アミロペクチンにもとづく Fr. II, Fr. III とごく少量の Int. Fr. を含む。*ae*, *du*, *su*₂ の澱粉は正常株のものより Fr. I の含量が多い。*ae* 澱粉は Int. Fr. の含量が多く、また Fr. II, Fr. III とともにピーク位置が鎖長の長い方向に移動している。Fr. III/Fr. II はアミロペクチンを構成している α -1,4 鎖のうち鎖長の長いものと短いものの比であり、それぞれのアミロペクチンで特有の値を示す^{2,3)}、すなわち、正常株と *wx* のものはほぼ 3 と等しく、*ae* は 1 と低い のに対し、*du* と *su*₁ では 4 と高い。また *su*₂ のものは正常株と *wx* のものに近いが、やや低い傾向がみられる。*su*₁ フィトグリコーゲンはアミロペクチンと同様に分枝分子であるが、Fig. 1 に示したように α -1,4 鎖の分布はアミロペクチンの 2 ピークに対し、他のグリコーゲン同様一つのピークをもつ特徴がある。

さらに、これらのアミロペクチンの鎖の分布を詳細に

知るため、高度に精製した β -アミラーゼを用い、澱粉から β -限界デキストリンを調製し、Table 3-2 にのべた酵素・クロマトグラフィ法、すなわち β -限界デキストリンをイソアミラーゼとプルラーゼで逐次枝切り後、生成物をゲルろ過する方法で、Oh43 の正常株と *wx* の澱粉、ならびに *su*₁ フィトグリコーゲンを分析した⁴⁾。結果は Fig. 2 に示す。また Fig. 2 の還元末端量(点線)から求めた各画分の鎖の本数比を Table 5 に示す。

Fig. 3⁴⁾ に示したように、アミロペクチン分子は、Peat⁵⁾ が定義したように、自分自身は枝分れしているが枝をもたない A 鎖、自分自身枝分れしていると同時に枝をもつ B 鎖、ならびに還元末端基をもつ 1 本の C 鎖からなる。さて、高度に精製されて α -アミラーゼと α -グルコナーゼを含まないジャガイモの β -アミラーゼは、アミロペクチン分子に作用させると非還元末端から順次マルトース単位で切断するが、A 鎖については偶数個のグルコース残基からなるものでは α -1,6 結合の手前 2

Table 6. Number percentage of materials of β -limit dextrins debranched by isoamylase and pullulanase and A : B chain ratio of starches of double- and triple-mutants of inbred Oh43 maize (*Zea mays* L.) having amylose-extender (*ae*) and waxy (*wx*) genes.*

	Fr. I $_{\beta}$ (%)	Fr. II $_{\beta}$ (%)	Fr. III $_{\beta}$ (%)	Fr. IV $_{\beta}$ (%)	Fr. III $_{\beta}$ Fr. II $_{\beta}$	$r = \frac{A}{B}$
<i>ae wx</i>	0.0	20.8	23.5	55.7	1.1	1.3
<i>ae wx fl₂</i>	0.0	19.9	23.2	56.9	1.2	1.3
<i>ae wx su₁</i>	0.0	18.5	25.0	56.5	1.4	1.3
<i>ae wx su₂</i>	0.0	18.4	22.7	58.9	1.2	1.4

* For each fraction (Fr.), see Table 3.

個のグルコース残基を残して反応は止り、奇数個のグルコース残基を含むA鎖では3個のグルコース残基を残して止る。また、B鎖については、偶数個の鎖の場合2個のグルコース残基を残し、奇数個の場合は1個のグルコース残基を残して反応は止ることが酵素の特異性の研究からわかっている⁶⁾。この結果、 β -アミラーゼをアミロペクチンに作用させた場合、かなり高分子量の限界デキストリン (β -限界デキストリン) が残ることになる。

Fig. 2 は前述のように、 β -限界デキストリンをイソアミラーゼとプルラーゼで完全に枝切りし、生成物をゲルろ過で分画したものである。Fr. IV $_{\beta}$ は Table 3-2 に示したように、マルトースとマルトリオースのみからなり、したがってA鎖に由来することがわかる。Fr. I $_{\beta}$ は *wx* とフィトグリコーゲンの β -限界デキストリンからは生成せず、またヨウ素複合体の最大吸収波長 ($\lambda_{\max}$) が 600 nm 以上であるのでアミロースの限界デキストリン由来のものである。さて、C鎖は1本であるので無視できるとすると、Fr. II $_{\beta}$ と Fr. III $_{\beta}$ はB鎖由来である。Fig. 1 の正常株 (normal) と *wx* の Fr. II と Fr. III のピーク鎖長は、いずれもそれぞれ約45と15である。一方、Fig. 2 の Fr. II $_{\beta}$ の鎖長は20以上でピーク位置では約35であるので、Fig. 1 の Fr. III から β -アミラーゼ分解後 Fr. II $_{\beta}$ が生成したとは考えにくく、Fr. II から Fr. II $_{\beta}$ が生成したと考えるのが妥当であり、また量的にも約10%と一致している。したがって Fr. II $_{\beta}$ は長いB鎖、Fr. III $_{\beta}$ は短いB鎖であり、Fig. 1 の Fr. II は長いB鎖、Fr. III は短いB鎖とA鎖の混合物である。ゲルろ過の条件によっては Fr. III が二つのピークに分れることが知られている。

さて、Fig. 2 の正常株と *wx* を比較してみると、Fr. I $_{\beta}$ の部分を除くと両者の図型はきわめてよく似ている。Table 5 からA鎖とB鎖の比はいずれも1.3であり、また短いB鎖と長いB鎖の比は約3である。このことは、

wx 遺伝子はアミロースの生成をおさえるが、アミロペクチンの鎖長分布には影響を与えないことを示している。さらに、*wx* 遺伝子はアミロースの生成をおさえる点で、他の澱粉の構造と性質を変える遺伝子に対し優位性(epistatic) であるので^{1,2)}、*wx* を含む二重変異株、たとえば *ae wx*, *du wx*, *su₂ wx* などのアミロペクチンについて Table 3-2 の方法を適用すれば *ae*, *du*, *su₂* など、それぞれのアミロペクチンの鎖長分布がわかることとなる。

実際に、*ae* と *wx* を含む二重あるいは三重変異株の澱粉 (アミロペクチン) について実験した結果を Table 6 に示す⁷⁾。*ae* のアミロペクチンはA鎖とB鎖の比は1.3と正常株あるいは *wx* のものと変わらないが、短いB鎖と長いB鎖の比は1.1~1.4と小さい。A鎖 (Fr. IV $_{\beta}$) の本数比は正常株や *wx* のものとほとんど変化がないが、*ae* のものは長いB鎖 (Fr. II $_{\beta}$) が約2倍と多く、短いB鎖 (Fr. III $_{\beta}$) が約3/4と少なくなっているのが特徴である。また Fig. 1 でのべたように *ae* アミロペクチンは全体として鎖長が長いことも特徴である。

3. 遺伝的背景および生育条件の明らかな イネ胚乳澱粉の構造と性質

3.1. 遺伝子の影響

イネ胚乳澱粉 (コメ澱粉) については、もち性の存在が早くから知られ⁸⁾、waxy (*wx*) あるいは glutinous (*gl*) 遺伝子は第6染色体上に存在することも明らかになった⁹⁾。しかし、米粒の登熟が完全に行われ、その品種の特性である粒の形・大きさ・色などを十分に発揮している完全米以外のもの、すなわち不完全米は実用面で米の品質を下げることから嫌われ、選別によって捨てられてきたため、イネの場合トウモロコシでみつけれられたような胚乳澱粉の性質や量を変える遺伝子は、*wx* を除いて比較的最近までみつけれなかった。

Table 7. Endosperm genes of rice (*Oryza sativa* L.) affect starch properties.

Genes	Chromosome	Authors
Waxy (<i>wx</i>)	6	Ikeno (1914) ⁸⁾ Iwata and Omura (1971) ⁹⁾ Okuno (1976) ¹⁰⁾ Okuno, Fuwa and Yano (1983) ¹¹⁾
Dull (<i>du</i>)		Yano <i>et al.</i> (1985) ¹²⁾
High-amylose Sugary (<i>su</i>)	12	Satoh and Omura (1981) ¹³⁾ Yano <i>et al.</i> (1984) ¹⁴⁾
Shrunken (<i>sh</i>)	3	Satoh and Omura (1981) ¹³⁾ Yano <i>et al.</i> (1984) ¹⁴⁾

Table 8. Effect of waxy and low-amylose mutant endosperm genes of rice on distribution of *Pseudomonas*-isoamylase-debranched materials of starch.*

Cross	Genotype of endosperm						Fr. I (%)	Int. Fr. (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)	<u>Fr. III</u> Fr. II
	<i>wx</i> locus			<i>du</i> locus							
+	+	+	+	+	+	+	19.4	2.4	17.0	61.2	3.6
<i>du</i> **	+	+	+	<i>du</i>	<i>du</i>	<i>du</i>	10.5	1.3	17.6	70.6	4.0
<i>wx</i> **	<i>wx</i>	<i>wx</i>	<i>wx</i>	+	+	+	0.0	1.5	19.8	78.8	4.0
$+\times du$	+	+	+	+	+	<i>du</i>	13.2	3.4	18.4	65.0	3.5
$du\times +$	+	+	+	+	<i>du</i>	<i>du</i>	12.7	3.8	20.6	62.9	3.1
$+\times wx$	+	+	<i>wx</i>	+	+	+	10.1	3.6	19.2	67.1	3.5
$wx\times +$	+	<i>wx</i>	<i>wx</i>	+	+	+	5.4	3.1	21.1	70.4	3.3
$du\times wx$	+	+	<i>wx</i>	+	<i>du</i>	<i>du</i>	9.1	3.3	20.9	66.7	3.2
$wx\times du$	+	<i>wx</i>	<i>wx</i>	+	<i>du</i>	<i>du</i>	4.9	3.2	20.2	71.7	3.5

* For each fraction (Fr.), see Table 3.

** Waxy (*wx*) and low-amylose (*du*) mutants were selected in the progenies after treatment with ³²P (β-ray) of original cultivar, Norin 8(+).

ところが、最近の有用な遺伝資源を探索する方向の中でイネ穀粒の成分の再評価がとりあげられ、胚乳澱粉の含量あるいは性質を変える遺伝子に注目した研究が活発となった。その結果、Table 7 にみられるいくつかの胚乳遺伝子がみつけれられた。

これらのうち、dull (*du*) 遺伝子は、穀粒（玄米）の外観が dull であることから Okuno¹⁰⁾、ならびに Satoh and Omura¹³⁾ がみつけ、命名したものである。イネの *du* 遺伝子は穀粒の外観を dull にする点ではトウモロコシの *du* 遺伝子と同様であるが、前述のようにトウモロコシの *du* 澱粉は高アミロース (Table 2, 4) であるのに対し、コメの *du* 澱粉はアミロース含量を下げる方向に働く。Table 8 は、前述の Table 3-1 の方法で農林 8 号の正常株、もち (waxy) および低アミロース

(dull) の澱粉を比較したものである¹¹⁾。

また、高アミロース¹²⁾、sugary (*su*) および shrunken (*sh*)^{13,14)} の変異株は、いずれも九大農学部の大村教授らのグループにより、金南風の変異誘発剤による処理でみつけられたものである。このうちのいくつかのものについて Table 3-1 の方法で澱粉の性質をしらべた結果を Table 9 に示す。高アミロース (EM-16) は正常株にくらべ Fr. I が高く、Int. Fr. が約 3 倍で、Fr. III/Fr. II が低く、全体的にアミロペクチンの鎖が長い点、ちょうどトウモロコシの *ae* 澱粉とよく似ている。一方、*su* (EM-5) はトウモロコシの sugary 澱粉に似ており、しかもトウモロコシの sugary-1 (*su*₁) の特徴であるフィトグリコーゲンにきわめてよく似た水溶性多糖を *su* コメの完熟種子は多量に含んでいる¹⁵⁾。

Table 9. Weight percentage of total carbohydrate of *Pseudomonas*-isoamylase-debranched materials of starches and phytoglycogen of rice (*Oryza sativa* L., cultivar: Kinmaze).*

	Fr. I (%)	Int. Fr. (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)	Fr. III Fr. II
Normal	20.4	3.7	19.9	56.0	2.8
High-amylose (EM-16)	27.7	10.1	29.2	33.0	1.1
Sugary (EM-5)	25.9	4.7	16.0	53.4	3.3
Phytoglycogen	—	—	6.1	93.9	15.5

* For each fraction (Fr.), see Table 3.

Table 10. Weight percentage of total carbohydrate of *Pseudomonas*-isoamylase-debranched materials of endosperm starches from rice plants grown at different temperature during grain filling period after anthesis (cultivar: Taichung 65).*

	Fr. I (%)	Int. Fr. (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)	Fr. III Fr. II
A (nonwaxy)					
25- 5 : 30-29	11.3	4.4	26.6	57.7	2.2
25-10 : 30-25	15.8	3.7	23.5	57.0	2.5
25-15 : 30-21	18.5	3.5	20.2	57.8	2.6
25-20 : 30-17	19.6	3.1	20.9	56.4	2.7
25-40	19.0	3.6	20.3	57.1	2.8
30- 5 : 25-34	19.2	4.4	21.1	55.3	2.6
30-10 : 25-28	15.6	4.8	23.7	55.9	2.4
30-15 : 25-22	12.5	4.4	26.2	56.9	2.2
30-20 : 25-16	13.1	5.8	24.9	56.2	2.3
30-34	12.3	4.6	26.3	56.7	2.2
B (waxy)					
25- 5 : 30-29	0	3.4	30.0	66.6	2.2
25-10 : 30-25	0	3.5	28.6	67.9	2.4
25-15 : 30-21	0	1.9	28.4	69.7	2.5
25-20 : 30-17	0	2.2	26.7	71.1	2.7
25-40	0	2.3	26.5	71.2	2.7
30- 5 : 25-34	0	3.3	26.7	70.0	2.6
30-10 : 25-28	0	3.1	30.2	66.7	2.2
30-15 : 25-22	0	4.3	29.6	66.1	2.2
30-20 : 25-16	0	3.5	31.1	65.4	2.1
30-34	0	4.2	30.2	65.7	2.1

* For each fraction (Fr.), see Table 3.

3.2. 生育温度の影響

低温下でイネを生育させると胚乳澱粉のヨウ素親和力が増大することは Hizukuri¹⁶⁾ が報告している。われわれは日本型うるち性水稻台中65号と、これと同質遺伝子系統のもち性のものを用い、開花後の生育温度が完熟種子の胚乳澱粉の構造と性質に及ぼす影響を検討した。

Table 10 は Table 3-1 の方法を用いてアミロース

(Fr. I) の含量とアミロペクチンの鎖長分布をしらべた結果を示している¹⁷⁾。25-5 : 30-29 は開花後イネを 25℃ の温室に入れ 5 日間保ち、つぎに 30℃ の温室に 29 日保ったものである。いずれも積算温度は 1000℃ と一定にしてある。この結果、開花後 30℃ に保ったものは 25℃ に保ったものより、うるち性のもののアミロース含量が有意に低いこと、うるち性ともち性ともにアミロペクチンの

Table 11. Number percentage of materials of β -limit dextrins debranched by isoamylase and pullulanase and A : B chain ratio of starches from rice plants grown at different temperature during grain filling period after anthesis (cultivar: Taichung 65, waxy).*

	Fr. I $_{\beta}$ (%)	Fr. II $_{\beta}$ (%)	Fr. III $_{\beta}$ (%)	Fr. IV $_{\beta}$ (%)	$\frac{\text{Fr. III}_{\beta}}{\text{Fr. II}_{\beta}}$	$r = \frac{A}{B}$
25-10 : 30-25	0	10.7	29.0	60.3	2.7	1.5
25-40	0	10.6	30.1	59.3	2.9	1.5
30-10 : 25-28	0	11.7	28.8	59.5	2.5	1.5
30-34	0	12.5	28.8	58.8	2.3	1.4

* For each fraction (Fr.), see Table 3.

Table 12. DSC characteristics of endosperm starches of rice plants (cultivar: Taichung 65) grown at different temperatures after anthesis.*

	Nonwaxy				Waxy			
	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (cal/g)	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (cal/g)
25- 5 : 30-29	65	72	82	3.0	64	70	84	3.5
25-10 : 30-25	60	65	81	2.6	60	—	82	2.4
25-15 : 30-21	59	64	80	2.5	59	—	81	2.7
25-20 : 30-17	59	65	76	2.3	61	64, 72	78	2.7
25-40	59	64	77	2.3	60	66, 73	80	2.4
30- 5 : 25-34	60	65	77	2.2	60	66	80	2.6
30-10 : 25-28	65	70	79	2.5	64	70	85	3.0
30-15 : 25-22	65	72	81	2.9	65	71	85	3.4
30-20 : 25-16	66	71	81	2.9	65	72, 78	85	3.6
30-34	66	72	80	2.8	65	72	84	3.4

* T_o , onset; T_p , peak; and T_c , conclusion temperatures of gelatinization; ΔH , heat of gelatinization.

短い直鎖と長い直鎖の重量比 (Fr. III/Fr. II) は大きいことがわかる。しかも、これらの効果は、開花後 5～15 日間の温度にもとづくようである。

アミロペクチンの鎖長分布に及ぼす生育温度の影響をさらに詳細に検討するため、Table 3-2 の方法でもち性の澱粉をしらべた。Table 11 に示すように^{18,19)}、30°C で育てたものは 25°C で育てたものよりアミロペクチンの長い B 鎖が増加し、短い B 鎖が減少するが、A 鎖にはほとんど変化のないことがわかった。また、30°C で育てたものは 25°C で育てたものより、うるち性、もち性ともに示差走査熱量測定 (DSC) による糊化開始・終了温度が高く、糊化熱も大きくなる (Table 12)。

さらに開花後 30°C あるいは 25°C に 5, 10, 15, 20 日間保った未熟種子から胚乳澱粉を調製し、検討した結果、上記の効果はすでに開花後 5 日から現われていることがわかった²⁰⁾。

4. その他の澱粉

以下に筆者の研究室で構造と性質を検討したトウモロコシとコメ以外のいくつかの澱粉に関する報文をあげておく。大部分は Table 3-1 の方法でアミロース含量とアミロペクチンの鎖長分布を検討してある。また、ヨード吸収曲線あるいはその特性値、X線図型、フォトペーストグラムまたは DSC 特性、澱粉粒の酵素による分解されやすさなどを含んでいる。

オオムギ大粒子と小粒子澱粉²¹⁾

ヒエ、キビ、アワとセンニンコク澱粉²²⁻²⁴⁾

ハトムギとジュズダマ澱粉²⁵⁾

モロコシ澱粉²⁶⁾

マメ類澱粉²⁷⁻²⁹⁾

サトイモとヤマノイモ澱粉³⁰⁾

レンコンとクワイ澱粉³¹⁾

サフラン澱粉³²⁾

ワサビとショウガ澱粉³³⁾

バナナ澱粉^{34~36)}

本研究は、主として筆者の研究室で行われた多数の協同研究者の成果を、筆者が総説的にまとめたものである。全部の名前を挙げることはできないが、ここに感謝の意を表する。

文 献

- 1) J. C. SHANNON and D. L. GARWOOD: *in* Starch Chemistry and Technology, 2nd ed., R. L. WHISTLER, J. N. BEMILLER and F. R. PASCHALL, eds., Academic Press Inc., New York, p. 25 (1984).
- 2) Y. IKAWA, D. V. GLOVER, Y. SUGIMOTO and H. FUWA: *Stärke*, **33**, 9 (1981).
- 3) N. INOUCHI, D. V. GLOVER, T. TAKAYA and H. FUWA: *Stärke*, **35**, 371 (1983).
- 4) 井ノ内直良: 学位論文 (大阪市立大学大学院生活科学研究科), p. 64, 66 (1984).
- 5) S. PEAT, W. J. WHELAN and G. J. THOMAS: *J. Chem. Soc.*, 3025 (1956).
- 6) R. SUMMER and D. FRENCH: *J. Biol. Chem.*, **222**, 469 (1956).
- 7) H. FUWA, D. V. GLOVER, Y. KONISHI, K. YAMADA and S. YOSHIOKA: Abstracts of Papers, 188th ACS National Meeting, CARB 58 (1984).
- 8) S. IKENO: *Z. Pflanzenzücht.*, **2**, 495 (1914).
- 9) N. IWATA and T. OMURA: *Sci. Bull. Fac. Agr., Kkushu Univ.*, **30**, 137 (1971).
- 10) K. OKUNO: *Ann. Rep. Div. Genet. Nat. Inst. Agr. Sci. Jpn.*, **1**, 28 (1976).
- 11) K. OKUNO, H. FUWA and M. YANO: *Jpn. J. Breed.*, **33**, 387 (1983).
- 12) M. YANO, K. OKUNO, J. KAWAKAMI, H. SATOH and T. OMURA: *Theor. Appl. Genet.*, **69**, 253 (1985).
- 13) H. SATOH and T. OMURA: *Jpn. J. Breed.*, **31**, 316 (1981).
- 14) M. YANO, Y. ISONO, H. SATOH and T. OMURA: *Jpn. J. Breed.*, **34**, 43 (1984).
- 15) M. ASAOKA, K. OKUNO, Y. SUGIMOTO, M. YANO, T. OMURA and H. FUWA: *Stärke* (1985) in press.
- 16) S. HIZUKURI: *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **17**, 73 (1969).
- 17) M. ASAOKA, K. OKUNO, Y. SUGIMOTO, J. KAWAKAMI and H. FUWA: *Stärke*, **36**, 189 (1984).
- 18) M. ASAOKA, K. OKUNO and H. FUWA: *in* New Approaches to Research on Cereal Carbohydrates, R. D. HILL and L. MUNCK, eds., Elsevier Sci. Publ. B. U., Amsterdam, p. 29 (1984).
- 19) M. ASAOKA, K. OKUNO and H. FUWA: *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 373 (1985).
- 20) M. ASAOKA, K. OKUNO, Y. SUGIMOTO and H. FUWA: *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 1973 (1985).
- 21) M. Y. KANG, Y. SUGIMOTO, I. KATO, S. SAKAMOTO and H. FUWA: *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 1291 (1985).
- 22) Y. SUGIMOTO, K. YAMADA, S. SAKAMOTO and H. FUWA: *Stärke*, **33**, 112 (1981).
- 23) Y. TOMITA, Y. SUGIMOTO, S. SAKAMOTO and H. FUWA: *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **27**, 471 (1981).
- 24) Y. KONISHI, H. NOJIMA, K. OKUNO, M. ASAOKA and H. FUWA: *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 1965 (1985).
- 25) 井川佳子, 近澤弥生, 阪本寧男, 不破英次: 澱粉科学, **31**, 139 (1984).
- 26) Y. IKAWA, M. Y. KANG, M. ASAOKA, S. SAKAMOTO and H. FUWA: *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **30**, 5 (1983).
- 27) 遠藤慶子, 杉本温美, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **25**, 24 (1978).
- 28) 杉本温美, 大西恵子, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **26**, 182 (1979).
- 29) 杉本温美, 西原公恵, 井上まゆみ, 不破英次: 澱粉科学, **29**, 19 (1982).
- 30) 杉本温美, 西原公恵, 不破英次: 澱粉科学, **29**, 269 (1982).
- 31) 杉本温美, 西原公恵, 不破英次: 日本栄養・食糧学会誌, **37**, 465 (1984).
- 32) 杉本温美, 西原公恵, 藤田修三, 不破英次: 澱粉科学, **30**, 312 (1983).
- 33) 杉本温美, 西原公恵, 藤田修三, 不破英次: 家政学雑誌, **35**, 97 (1984).
- 34) Y. SUGIMOTO, S. FUJITA, T. TAKAYA and H. FUWA: *Stärke*, **32**, 290 (1980).
- 35) 不破英次, 杉本温美, 高谷友久: 澱粉科学, **26**, 105 (1979).
- 36) H. FUWA, T. TAKAYA and Y. SUGIMOTO: *in* Mechanisms of Saccharide Polymerization and Depolymerization, J. J. MARSHALL, ed., Academic Press, Inc., New York, p. 73 (1980).

【質問】

東北大農 松田

イネの場合、モチイネでも茎葉澱粉はウルチと同じでむしろアミロース含量が高い。遺伝情報との関係はどうなっているのですか。

【答】

モチイネでは胚乳と花粉の澱粉がモチ型でそれ以外は葉も茎もウルチ型です。したがって胚乳の遺伝情報は胚乳と花粉までということです。

【質問】

食品総研 貝沼

サフランの澱粉のお話がありました。サフランの澱粉をわざわざ選ばれた理由は何でしょうか。

【答】

特別の意味があったわけではありません。ただ鳥取県のある農協でサフランの花の薬効に目をつけ多量栽培を行っているうち球根が余ってきましてのでそれから澱粉を製造し市販しましたので入手して構造と性質をしらべました。

【質問】

鹿児島大 檜作

II_{β} の fraction が C 鎖を含む fraction ということでありますが、量的に10%というのは、アミロペクチン全体からみて多いのではないのでしょうか。

【答】

C 鎖は1本で $Fr. II_{\beta}$, III_{β} のいずれかに入っているかは不明です。重量%で長いB鎖が約10%あってもとくに多すぎるとは思えません。

【コメント】

食品総研 貝沼

アミロペクチンのC鎖は必ずしも長い必要はなく、クラスターモデルで考えれば長いB鎖と同じくらいでもおかしくないように思われます。

【質問】

鹿児島大 檜作

du の遺伝子をもつものは、長いB鎖が多く、アミロース含量が多いという傾向があるのは、生合成的に両者の間にどのような関係があるとお考えですか。

【答】

非常に興味のある問題です。長いB鎖はトウモロコシの *normal* や *wx* にくらべ、*ae* で多く、*du* で少ないという結果をえています。一方、Preiss らによって *du* は branching enzyme の isozyme I, II_a, II_b のうち II_a が非常に低く、*ae* は II_b がほとんどないことを報告しています。これら既存のデータを組み合わせると I, II_b, II_a の役割分担でA鎖、長いB鎖、短いB鎖の合成を仮定することもできますが、現在 amyloplast での澱粉生合成に関する情報はまだまだ不十分ですので、現在ではわからないというのが正しい答かと考えています。

【質問】

九大農 上田

PO_4 含量大の小粒子の potato starch が大粒より分解されやすいとの報告でしたが、 PO_4 含量と生澱粉分解性との関連性はいかがでしょうか。

【答】

小粒子は大粒子より酵素分解されやすいことは確かですが表面積の差に相当するよりは差が小さいので、小粒子に多いリン酸結合が、粒内部が酵素分解される時に抵抗する結果と考えています。

【質問】

長瀬産業 小巻

生澱粉粒を酵素消化した時にコーンのように穴があいて内部が玉葱を切ったように消化されるものと、蓮根やバナナのように表面から層状に段がついたように消化されるのと、二つの型があるようですが、この両者の澱粉粒の構造や、生合成との差異と関連性はあるのでしょうか。

【答】

表面が比較的軟らかいか、表面にひずみあるいはきずのあるものはトウモロコシ型に、表面の非常に硬いものはバナナ型に分解されるようですが、生合成との関係は不明です。

【質問】

名古屋栄養短大 後藤

鹿児島大の藤本先生が、甘藷で生育段階のきわめて早期の小粒澱粉では、アミロース含量が多く、かつ、その後時期が遅くなり、肥大するに従って、アミロース含量が低下するといわれているので、生育段階を極端に早いものについてしらべてみられたら面白いのではないのでしょうか。

【答】

生育の段階で澱粉のアミロース含量をわれわれの酵素・クロマトグラフィ法で追いますと発育初期に増加するのはトウモロコシ、コメ、サトイモ、等で認めています。一方、オオムギ澱粉粒の大粒子と小粒子では大粒子のほうがアミロース含量は高く、発育段階の4, 8, 15日のいずれの段階にもこのことは認めています。