遺伝的要因が澱粉の特性に及ぼす影響

不破 英 次*

Effects of Genetic Factors on Starch Characteristics

Hidetsugu FUWA

*Institute of Industrial Science Research, Fukuyama University
(985, Sanzo, Higashimura-cho, Fukuyama 729-02, Japan)*

1. Starch granules were prepared from mature kernels of several single mutants, double- and triple-mutant combinations of waxy (*wx*) gene with other endosperm genes, and their normal counterpart in the inbred Oh43 maize (*Zea mays* L.) background. Starches of the mutants containing the *wx* gene comprised almost 100% amylopectin. β -Amylase limit dextrins prepared from the starches were successively debranched by isoamylase and pullulanase, and followed by quantitative gel-filtration on Toyopearl HW50SF. The unit chain-length distribution of amylopectins of the normal and *wx* starches were similar. Amylopectin of the amylose-extender; waxy (*ae*; *wx*) mutant had an increased proportion of long B chains and a decreased proportion of short B chains, compared with *wx* amylopectin, whereas amylopectin of dull; waxy (*du*; *wx*) mutant had a decreased proportion of long B chains and an increased proportion of short B chains. Therefore, the *ae*; *wx* and *du*; *wx* amylopectins were novel. Amylopectin of the *ae*; *du*; *wx* mutant belonged to the *du*; *wx* type instead of the *ae*; *wx* type.

2. Starch granules were prepared from rice (*Oryza sativa* L.) endosperms of dull (*du*), sugary (*sug*), and high-amylose (*ae*) mutants. The amylose content of the *du* starch was half as low as that of the nonmutant (normal) one. The *sug* starch contained more amylose than the normal starch. The starch in the *ae* mutants was characterized by a higher content of amylose and loosely branched amylopectin with longer chains compared with the normal starch.

このたびの二國賞の受賞を真に光栄と存じますとともに、心から感謝いたしております。この受賞に際し、ご推薦くださいました三輪泰造東日本支部長ならびに後藤富士雄中部支部長、ご選考いただきました中村道德会長はじめ選考委員の諸先生に厚くお礼を申し上げます。

1. はじめに

植物の貯蔵澱粉の形態、大きさ、構造や性質は遺伝的要因と環境的要因の影響を受けて変化する。たとえばコメという一つの植物種について考えると、その種のなかの品種によって澱粉の特性は異なる。さらに、環境条件、とくに稔るときの温度が澱粉の特性の決定に重要である。筆者は大阪市立大学在任中、農林水産省北陸農試の奥野

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の特性の検討を行ってきた。またトウモロコシについては十数年来、アメリカ Indiana 州立 Purdue 大学細胞遺伝学研究室の D. V. Glover 教授との協同研究により、遺伝的背景の明らかなトウモロコシの正常株と種々の変異株について胚乳澱粉の特性の検討を行ってきた。それらの結果については、すでにいくつかの総説¹⁻³⁾に概略を述べてきたのでそれらを参考にさせていただきたいが、新しい結果を加えて今一度以下にまとめて述べることにする。

2. トウモロコシ澱粉の特性に及ぼす遺伝子の影響

トウモロコシでは、澱粉の含量や特性を変える多くの胚乳劣性遺伝子の存在が知られていた (Table 1, 上段)⁴⁾。

* 福山大学産業科学研究所 (729-02 福山市東村町三蔵 985)

Table 1. Mature kernel phenotypes of several single recessive maize (*Zea mays* L.) genotypes.

Genotype	Chromosome	Kernel phenotype
Amylose-extender (<i>ae</i>)	5	Tarnished, translucent or opaque; sometimes semi-full
Brittle-1 (<i>bt</i> ₁)	5	Often translucent and brittle
Brittle-2 (<i>bt</i> ₂)	4	Translucent and brittle
Dull (<i>du</i>)	10	Opaque to tarnished
Soft starch (<i>h</i>)	unknown	Opaque, floury
Shrunken-1 (<i>sh</i> ₁)	9	Shrunken
Shrunken-2 (<i>sh</i> ₂)	3	Shrunken, floury
Shrunken-4 (<i>sh</i> ₄)	5	Shrunken, floury
Sugary-1 (<i>su</i> ₁)	4	Wrinkled, glassy
Sugary-2 (<i>su</i> ₂)	6	Slightly tarnished, often etched at base
Waxy (<i>wx</i>)	9	Opaque

Some properties of starches isolated from mature kernels of selected single recessive genotypes and their normal counterpart in inbred Oh43 maize background.

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 with more long B chains and less short B chains than those of the <i>wx</i> amylopectin
<i>du</i>	High amylose and novel amylopectin with less long B chains and more short B chains than those of the <i>wx</i> amylopectin
<i>su</i> ₁	High amylose and phytoglycogen
<i>su</i> ₂	High amylose

Table 2. Determination of chain-length distribution of amylopectin by two enzymatic and chromatographic methods.

1. Debranching starch and amylopectin by <i>Pseudomonas</i> -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, $600 \text{ nm} > \lambda_{\max} \geq 540 \text{ nm}^a$
Fr. III: short B chains and A chains of amylopectin, $540 \text{ nm}^a > \lambda_{\max}$
2. Debranching β -amylase limit dextrin by <i>Pseudomonas</i> -isoamylase and <i>Aerobacter</i> -pullulanase and fractionate debranched materials by gel filtration through Toyopearl HW50SF column
Fr. I $_{\beta}$: amylose β -limit dextrin, $\lambda_{\max} \geq 600$ nm
Fr. II $_{\beta}$: stubs of long B chains of amylopectin, $\overline{\text{c.l.}} \geq 20^b$
Fr. III $_{\beta}$: stubs of short B chains of amylopectin, $20^b > \overline{\text{c.l.}} \geq 4$
Fr. IV $_{\beta}$: maltose and maltotriose, stubs of A chains of amylopectin

^{a)} 525 nm for rice starch. ^{b)} 17 for rice starch.

われわれが近交系デント・トゥモロコン Oh43 の正常株といくつかの一重変異株の胚乳澱粉の特性を検討した初期の結果は井川⁵⁾によって一部紹介されているが、その後の結果も含めた概略は以下のとおりである (Table 1,

下段).

i) 澱粉を isoamylase で枝切り後, 生成物をゲル濾過分別する酵素・クロマト法 1 (Table 2) によるアミロース含量は正常株の 25% に対し, waxy (*wx*) 変異株で

Fig. 1. Elution patterns of *Pseudomonas*-isoamylase-debranched starches and sugary-1 phytoglycogen in inbred Oh43 maize (*Zea mays* L.) background by gel filtration on Toyopearl HW55-HW50 columns.

Fig. 2. X-ray diffractograms of endosperm starches of selected single recessive genotypes and their normal counterparts in inbred maize Oh43 background.

は 0 %, amylose-extender (*ae*), dull (*du*), sugary-1 (*su*₁), sugary-2 (*su*₂) 変異株ではいずれも高い (Fig. 1, Table 3)^{6,7)}.

ii) アミロペクチンの長鎖と短鎖の重量比は正常株に対し *ae* が低く, *du* が高い. *su*₁ と *su*₂ は高い傾向を示す (Fig. 1, Table 3)^{6,7)}.

iii) *ae* はさらに中間区分の含量が高く, 正常株のアミロペクチンに比べ鎖長が長く, 枝分れの少ない新奇のアミロペクチンをもつ (Fig. 1, Table 3)^{6,7)}.

iv) 正常株, *du*, *wx*, *su*₁, *su*₂ はいずれも穀類澱粉

Table 3. Weight percentage of total carbohydrate of *Pseudomonas*-isoamylase-debranched materials of several starches and sugary-1 phytoglycogen obtained from mature kernels of inbred Oh43 maize.

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>su</i> ₂	36.3	6.4	15.3	42.0	2.7
<i>su</i> ₁	28.5	6.5	12.7	52.3	4.1
<i>su</i> ₁ -phytglycogen	—	0.8	6.9	92.33	—

Table 4. DSC characteristics of several starches of inbred Oh43 maize.^{a)}

Genotype	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (cal/g)
Normal	63	68	75	3.53 ± 0.20 ($n=15$)
<i>wx</i>	64	71	82	4.55 ± 0.28 ($n=7$)
<i>du</i>	65	70	78	3.44 ± 0.22 ($n=10$)
<i>su2</i>	48	56	64	1.24 ± 0.09 ($n=9$)

^{a)} T_o , onset, T_p , peak and T_c , conclusion temperatures of gelatinization; ΔH , heat of gelatinization (mean $\pm$ standard deviation).

Table 5. Percentages of reducing ends of materials of β -limit dextrins debranched with isoamylase and pullulanase and some characteristics of β -limit dextrins prepared from endosperm starches of single-, double-, and triple-mutants with the waxy gene and their normal counterpart of inbred Oh43 maize.

Genotype	Fr. I_β (%)	Fr. II_β (%)	Fr. III_β (%)	Fr. IV_β (%)	Short B ^{a)} Long B	A ^{b)} B
Normal	0.7	11.2	32.0	56.1	2.9	1.3
<i>wx</i>	0.0	10.3	33.2	55.7	3.2	1.3
<i>ae wx</i>	0.0	20.8	23.5	55.7	1.2	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
<i>du wx</i>	0.0	6.6	40.3	53.1	6.1	1.1
<i>ae du wx</i>	1.1	5.7	36.5	56.8	5.4	1.4
<i>bt1 wx</i>	0.0	11.1	34.2	54.7	3.1	1.2
<i>bt2 wx</i>	0.7	10.1	31.0	58.4	2.9	1.5
<i>sh1 wx</i>	0.5	10.3	33.2	56.1	3.1	1.3
<i>sh2 wx</i>	1.1	10.7	33.4	54.9	2.8	1.2
<i>sh4 wx</i>	0.2	11.0	30.0	58.9	2.7	1.5
<i>su2 wx</i>	0.0	9.9	32.5	57.6	3.3	1.3
<i>o2 wx</i>	0.7	11.4	30.6	57.4	2.6	1.4
<i>fl2 wx</i>	0.3	10.2	31.3	58.3	3.0	1.4
<i>fl1 wx</i>	0.5	10.6	30.4	58.5	2.8	1.4
<i>h wx</i>	0.4	10.7	32.1	56.9	2.9	1.3

^{a)} Short B chains/long B chains = Fr. III_β / (Fr. I_β + Fr. II_β).

^{b)} A chains/B chains = Fr. IV_β / (Fr. I_β + Fr. II_β + Fr. III_β).

に一般的なA型X線図を示すが, *su2* の回折強度は弱い。一方, *ae* はB図形を示すが, 回折強度はジャガイモ澱粉粒のものより弱い (Fig. 2)⁸⁾。

v) 示差走査熱量分析 (DSC) による糊化開始・終了温度は正常株に比べ *su2* が低く, *ae* は30~100°C の測定範囲ではほとんど吸熱ピークを示さない。糊化熱は *su2* が正常株に比べ小さく, *wx* は大きい, *ae* は測定不能 (Table 4)⁸⁾。なお, 老化特性については, 井ノ内らの報告⁹⁾ を参照のこと。

vi) 澱粉粒の酵素による分解されやすさは正常株に比

べ *ae* が悪く, *wx*, *su1*, *su2* はいずれも良く, *du* は正常株とほとんど同じである (Fig. 3)^{6,8)}。

次に *wx* 遺伝子はアミロースを作らないという点で, 他の劣性遺伝子に対して上位性をもつこと⁴⁾ を利用し, Oh43 の正常株, *wx* 変異株, *wx* を含む二重あるいは三重変異株の胚乳澱粉から β -limit dextrin を調製し, isoamylase と pullulanase で枝切り後, 生成物をゲル濾過分別する酵素・クロマト法2 (Table 2, 下段) により以下の結果をえた。

i) 正常株と *wx* 変異株のアミロペクチンはきわめ

Fig. 3. Starch-granule susceptibility of normal and selected single genotypes of inbred maize Oh43 to crude glucoamylase (*Rhizopus amagasakiense*).

Table 6. Effects of waxy (*wx*) and low-amylose (dull, *du*) mutant genes of rice (*Oryza sativa* L.) on distribution of starch materials after debranching with *Pseudomonas* isoamylase.

Cross	Genotype of endosperm								Fr. I (%)	Int. Fr. (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)	Fr. III / Fr. II
	<i>wx</i> locus			<i>du</i> locus									
+ ^{a)}									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>									0.0	1.5	19.8	78.8	4.0
+ × <i>du</i>									13.2	3.4	18.4	65.0	3.5
<i>du</i> × +						<i>du</i>	<i>du</i>		12.7	3.8	20.6	62.9	3.1
+ × <i>wx</i>									10.1	3.6	19.2	67.1	3.5
<i>wx</i> × +				<i>wx</i>	<i>wx</i>				5.4	3.1	21.1	70.4	3.3
<i>du</i> × <i>wx</i>							<i>du</i>	<i>du</i>	9.1	3.3	20.9	66.7	3.2
<i>wx</i> × <i>du</i>				<i>wx</i>	<i>wx</i>			<i>du</i>	4.9	3.2	20.2	71.7	3.5

^{a)} The *wx* and *du* mutants were selected in the progenies after treatment with ³²P (β-ray) of the original cultivar, Norin 8 (+).

Table 7. Distribution of isoamylase-debranched materials of starches and water soluble polysaccharides (WSP) from sugary (*sug*) mutant of rice.

Genotype	Fr. I (%)	Int. Fr. (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)	Fr. III / Fr. II
Non-mutant ^{a)} starch	20.4	3.7	19.9	56.0	2.8
Sugary starch	25.9	4.7	16.0	53.4	3.3
Sugary WSP	0.0	0.0	6.1	93.9	—

^{a)} Cultivar; "Kinmaze."

てよく似た鎖長分布を示し、A鎖とB鎖の本数比(A/B)は1.3, 短いB鎖と長いB鎖の本数比(短B/長B)はほぼ3である (Table 5)¹⁰⁾.

ii) *ae*; *wx* 系統のアミロペクチンは、一般に *wx* の

アミロペクチンに比べ長いB鎖が多く、短B/長Bは1.1~1.2と小さい。しかしA鎖の本数の変化は小さいので、A/Bの値は1.3~1.4と *wx* とほぼ同様である (Table 5)¹¹⁾.

Fig. 4. X-ray diffractograms of starches of sugary (*sug*) mutant and its original cultivar ("Kinmaze").

Fig. 5. Time courses of degradation of starch granules by crude glucoamylase (*Rh. amagasakiensis*).

Table 8. DSC characteristics of starches of *sug* mutant and its normal counterpart (cultivar; "Kinmaze") of rice.^{a)}

Genotype	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (cal/g)
Non-mutant	57	61	72	1.8
Sugary	47	50	58	0.8

^{a)} T_o , onset, T_p , peak and T_c , conclusion temperatures of gelatinization; ΔH , heat of gelatinization.

Table 9. Distribution of isoamylase-debranched materials of endosperm starches from high-amylose mutants (*ae*) and non-mutant rice plants.^{a)}

Genotype	Fr. I (%)	Int. Fr. (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)	Fr. III / Fr. II
Non-mutant	22.7	4.2	19.9	53.3	2.7
EM-10	28.4	10.0	26.8	34.8	1.3
EM-16	30.6	11.3	24.4	33.7	1.4
EM-72	28.1	8.9	26.3	36.7	1.4
EM-129	28.8	9.9	25.4	35.9	1.4
EM-145	29.3	10.8	27.5	32.4	1.2
EM-174	23.6	8.1	26.2	42.1	1.6
EM-288	26.7	9.8	27.8	35.8	1.3
EM-304	26.4	10.5	25.8	37.4	1.5

^{a)} Starches were prepared from endosperms of eight *ae* mutants and the cultivar "Kinmaze" grown in the paddy field on the NIAS, Tsukuba, in 1983.

iii) *du*; *wx*; のアミロペクチンは、逆に、長い B 鎖が少なく、短 B/長 B は約 6 と大きい。しかし、この場合も A 鎖の本数の変化は小さいので、A/B の値は 1.1 であり *wx* とほぼ同様である (Table 5)¹¹⁾。

iv) *ae*; *du*; *wx* のアミロペクチンは *ae*; *wx* 系統

ではなく *du*; *wx* 形である (Table 5)¹¹⁾。

v) 上述以外の *wx* を含む二重変異株のアミロペクチンは、*wx* アミロペクチンとほぼ同じ A/B と短 B/長 B の値を示した (Table 5)^{11,12)}。

Fig. 6. X-ray diffractograms of starches, original cultivar ("Kinmaze"), EM-16 (high-amylose type, *ae*) and EM-174 (*ae*).

Fig. 7. Time courses of degradation of starch granules by crude glucoamylase (*Rh. amagasakiensis*).

Table 10. DSC characteristics of high-amylose mutants (amylose-extender, *ae*) and their normal counterpart (cultivar; "Kinmaze") of rice.^{a)}

Genotype	Location ^{b)}	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (cal/g)
EM-16	Tsukuba	61	—	84	2.2
EM-174	Tsukuba	61	67	83	2.3
EM-129	Tsukuba	62	70	82	2.3
EM-129	Joetsu	64	—	84	2.3
Non-mutant	Tsukuba	55	60	70	2.5
Non-mutant	Joetsu	59	64	73	3.0

^{a)} T_o , onset, T_p , peak and T_c , conclusion temperatures of gelatinization; ΔH , heat of gelatinization.

^{b)} Place where the rice plants were grown.

3. イネ胚乳澱粉の特性に及ぼす遺伝子の影響 (Table 1, 下段)

i) *dull*(*du*) 変異株の胚乳澱粉はトウモロコシの *du* とは異なり低アミロースであり、アミロペクチンの鎖長分布は正常株や *wx* 変異株とはほぼ同じ (Table 6)¹³⁾.

ii) シュガリー変異株 (*sug*) の澱粉は糊化温度が低く、糊化熱が小さく (Table 7), X線図が不鮮明なA型である (Fig. 4) 点でトウモロコシの *su_2* に似ている。また、正常株より高アミロースであり (Table 8), 澱粉粒が酵素により分解されやすい (Fig. 5) 点ではトウモロコシの *su_1* と *su_2* の両方に似ている。しかし、澱粉以外に水溶性 α -glucan を多量に胚乳に蓄積する (Table 8) 点では *su_1* に似ている¹⁴⁾.

iii) 高アミロース変異株 (*ae*) の澱粉は正常株より高アミロースであり、中間区分の含量が多く、アミロペクチンの長いB鎖が多く (Table 9), B型X線図 (Fig. 6) を示す点でトウモロコシの *ae* 澱粉にきわめてよく似ている。しかし、澱粉粒が酵素でよく分解され (Fig. 7), また、DSC による糊化温度は正常株より高いが測定可能である点 (Table 10), デント・トウモロコシの *ae* 澱粉とはいくぶん異なる¹⁵⁾.

iv) Schoch 法の竹田らによる変法¹⁶⁾で調製したアミロースについて、高速液体ゲルクロマトグラフィー・低角レーザー光散乱光度計・精密示差屈折計の組合せで測定した¹⁶⁻¹⁸⁾ 重量平均分子量は、*ae* 変異株、*sug* 変異株ともに正常株より小さい (Table 11)¹⁹⁾.

Table 11. Some properties of amylose prepared from endosperm starches of rice plants affected by either endosperm mutations or environmental temperature during development.^{a)}

Samples	I_2 -complexes		$\overline{d.p.}_w^{b)}$	$\overline{d.p.}_{max}^{c)}$	$\overline{d.p.}_w/\overline{d.p.}_n^{b)}$
	λ_{max}	B. V.			
Kinmaze	655	1.3	3530 $\pm$ 130 ^{d)}	3680 $\pm$ 130	8.40 $\pm$ 0.35
<i>ae</i> (EM-129)	654	1.4	2730 $\pm$ 50	3040 $\pm$ 80	4.23 $\pm$ 0.18
<i>sug</i> (EM-5)	655	1.5	2520 $\pm$ 70	2140 $\pm$ 120	3.11 $\pm$ 0.15
T65-25°C ^{e)}	652	1.4	3280 $\pm$ 300	2380 $\pm$ 290	5.27 $\pm$ 0.47
T65-30°C ^{e)}	653	1.6	2060 $\pm$ 80	1850 $\pm$ 50	3.92 $\pm$ 0.35
T65-F-1 ^{f)}	652	1.6	2370 $\pm$ 60	1710 $\pm$ 50	3.89 $\pm$ 0.73
T65-F-2 ^{f)}	653	1.6	2490 $\pm$ 130	2410 $\pm$ 130	4.95 $\pm$ 1.13
T65-F-3 ^{f)}	652	1.5	3760 $\pm$ 160	2490 $\pm$ 250	4.73 $\pm$ 0.85

^{a)} Absorption curves of iodine complexes of amylose were recorded using the method of Fujimoto *et al.* The distributions of molecular weight of amylose were measured by high-performance gel chromatography on TSK-GEL G6000PW, G4000PW, and G3000PW columns (Toyo Soda Co., Ltd., Tokyo, Japan) connected in series using a Toyo Soda CO-8000 chromatograph with a low-angle laser light scattering photometer (Toyo Soda LS-8000) and a differential refractometer (Toyo Soda RI-8000) as detectors, an interface (Toyo Soda IF-8000), and a data processor.

^{b)} $\overline{d.p.}_w$ and $\overline{d.p.}_n$, the weight-average and number-average degrees of polymerization, respectively.

^{c)} $\overline{d.p.}_{max}$, the $\overline{d.p.}$ at the maximum of the elution peak measured with the differential refractometer.

^{d)} Mean $\pm$ standard deviation.

^{e)} T65; cultivar "Taichung 65" grown in the temperature-controlled green-house at either 25 or 30°C.

^{f)} T65 were planted in the paddy field at three different date. The heading date for F-1, F-2, and F-3 were August 8, August 20, and September 11, respectively.

本研究に用いたトウモロコシとイネの種子は、それぞれ、アメリカ Indiana 州立 Purdue 大学 David V. Glover 教授（細胞遺伝学）および農林水産省北陸農事試験場の奥野員敏博士（育種学）より送られたものである。お二人の変わらぬご協力に深く感謝する次第である。また、本研究は、筆者が大阪市立大学生活科学部食学科食品化学研究室に在任中に行ったものであり、多数の協同研究者の成果に基づいている。これら研究者の全部の名前を挙げることは控えるが、これらの人々に心から感謝の意を表したい。

文 献

- 1) 不破英次：澱粉科学，**32**，107-117 (1985)。
- 2) 不破英次：調理科学，**20**，2-8 (1987)。
- 3) 不破英次：稲と米（農林研究センター），57-102 (1987)。
- 4) J. C. SHANNON and D. L. GARWOOD: in Starch: Chemistry and Technology, R. L. WHISTLER, J. N. BEMILLER and E. F. PASCHALL, eds., Academic Press, Inc., New York, p. 26 (1984)。
- 5) 井川佳子：澱粉科学，**35**，214 (1988)。
- 6) Y. IKAWA, D. V. GLOVER, Y. SUGIMOTO and H. FUWA: *Carbohydr. Res.*, **61**, 211-216 (1978)。
- 7) N. INOUCHI, D. V. GLOVER, T. TAKAYA and H. FUWA: *Starch/Stärke*, **35**, 371-376 (1983)。
- 8) N. INOUCHI, D. V. GLOVER, Y. SUGIMOTO and H. FUWA: *Starch/Stärke*, **36**, 8-12 (1984)。
- 9) 井ノ内直良：澱粉科学，**35**，218 (1988)。
- 10) N. INOUCHI, D. V. GLOVER and H. FUWA: *Starch/Stärke*, **39**, 284-288 (1987)。
- 11) H. FUWA, D. V. GLOVER, K. MIYURA, N. INOUCHI, Y. KONISHI and Y. SUGIMOTO: *Starch/Stärke*, **39**, 295-298 (1984)。
- 12) H. FUWA, D. V. GLOVER, Y. KONISHI, N. INOUCHI, A. MARUGA and C. KASHIMA: Abstracts, XIVth International Carbohydrate Symposium, August 14-19, Stockholm, Sweden, p. 350 (1988)。
- 13) K. OKUNO, H. FUWA and M. YANO: *Jpn. J. Breed.*, **33**, 387-394 (1983)。
- 14) M. ASAOKA, K. OKUNO, Y. SUGIMOTO, M. YANO, T. OMURA and H. FUWA: *Starch/Stärke*, **37**, 364-366 (1985)。
- 15) M. ASAOKA, K. OKUNO, Y. SUGIMOTO, M. YANO, T. OMURA and H. FUWA: *Starch/Stärke*, **38**, 114-117 (1986)。

- 16) Y. TAKEDA, S. HIZUKURI and B. O. JULIANO:
Carbohydr. Res., **148**, 299-305 (1986).
- 17) S. HIZUKURI and T. TAKAGI: *Carbohydr. Res.*,
134, 1-8 (1984).
- 18) T. TAKAGI and S. HIZUKURI: *J. Biochem.*
(Tokyo), **95**, 1459-1465 (1984).
- 19) M. ASAOKA, K. OKUNO, Y. KONISHI and H.
FUWA: *Agric. Biol. Chem.*, **39**, 295-298 (1987).

(昭和63年9月30日受付)