

## Studies on Physicochemical Properties of Various Starch Granules

(Received September 24, 2006)

Yoshimi Sugimoto<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Agriculture, Kinki University  
 (3327-204, Nakamachi, Nara 631-8505, Japan)*

**Abstract:** 1. Developmental changes in starch properties of 9 plant species. Developmental changes in starch properties of 9 plant species (taro, Chinese yam, arrowhead, kiwi fruit, potato, squash, chestnut, Chinese radish and ginkgo nuts) were examined. By Scanning Electron Microscopy, the particle size of starch granules of the nine plant species were found to increase during the early developmental stage. The amylose contents of starch granules of the nine plant species tended to increase during the early developmental stage. X-ray diffractograms of starches could be divided into those showing pattern changes (taro, Chinese yam, chestnuts and ginkgo nuts), A-type pattern (arrowhead) and B-type pattern (kiwi fruit, Chinese radish, potato and squash) throughout development. The initiation temperature for gelatinization of taro, Chinese yam, arrowhead, Chinese radish and chestnut starches tended to be lower in the later stage of development than in the earlier stages. The initiation temperature for gelatinization of kiwi fruit, ginkgo nuts, potato and squash rarely changed throughout development. 2. Some properties of various starch granules. The mean particle size of konjac, taro, takenokoimo and bamboo shoot starch was 1.2–1.3, 1.4, 2 and 3.7  $\mu\text{m}$ , respectively, being very small. The susceptibility of their starch granules to hog pancreatin was very high. The amylose contents of takenokoimo and taro starches as determined by the enzyme-chromatographic method were 10.8 and 13.5%, respectively, being very small. In contrast, the amylose contents of saffron, arrowhead and azuki bean starches were 29.2, 29.2 and 30.4%, respectively, being very large. The initiation temperature for gelatinization of katakuri and takenokoimo starches by photopastography and differential scanning calorimetry were 44, 46.8°C and 73, 76°C, respectively. The former was the lowest, and the latter was highest. 3. Observation of various starch granules by Scanning Electron Microscope (SEM) and field emission scanning electron microscope (FE-SEM). On SEM starch granules in the slices of konjac bulbs (Zairai, Akagi and Haruna) were found to be polygonal in shape. In particular, the small polygonal granules in slices of Zairai were assembled like a soccer ball. The appearance on the surface of sotetsu trunk starch granules attacked by pancreatin was quite similar to that of normal maize starch granules. By FE-SEM observation, a string with the width of 20 nm was found on the surface of taro starch granules. 4. Gelatinization and swelling of starch as seen on imaging. Under a polarized-light microscope, the appearance of gelatinization and swelling of katakuri and potato starch and starch granules in slices of azuki bean cut by microtome was recorded with a video camera; then the video was edited to a speed 9–12 time faster to demonstrate the progression of changes in the image.

**Key words:** Scanning Electron Micrograph, average granular size, amylose content

### 各種澱粉粒の理化学的特性に関する研究\*\*

杉本温美<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 近畿大学農学部 (631-8505 奈良市中町 3327-24)

この度、伝統ある日本応用糖質科学会の平成18年度学会賞を受賞する栄誉に浴し、身に余る光栄に存じます。坂野好幸前会長、竹田靖史会長をはじめ、受賞選考委員の先生方ならびにご推薦いただきました新田近畿支部長に心から御礼申し上げます。

32年前、不破英次先生が大阪市立大学に、走査電子顕微鏡(以下SEMと略します)を導入されました。このときから私は、数多くの生澱粉ならびに酵素分解を受けた澱粉粒について、SEMを用いて *in vivo* ならびに *in vitro* で

の分解のされ方について研究を進めてきました。

#### 1. 生育段階の異なる各種澱粉粒の性質について

9種類の作物(サトイモ<sup>1)</sup>、ヤマノイモ<sup>2,3)</sup>、キウイフルーツ<sup>4)</sup>、クワイ<sup>5)</sup>、中国大根<sup>6)</sup>、栗<sup>7,8)</sup>、ギンナン<sup>9)</sup>、ジャガイモ<sup>10)</sup>、カボチャ<sup>11)</sup>)について生育中の澱粉の性質を調べた。

##### 1) 澱粉粒の大きさ

9種類の作物について生育中の澱粉粒の大きさをSEMで観察し、粒径が生育の初期に大きくなる様子を確認した。それらの中から、ヤマノイモ澱粉<sup>2)</sup>が生育中に大きくなっていく様子をFig. 1に示す。6/14 (Fig. 1-1)、7/12 (Fig. 1-2) ならびに7/26 (Fig. 1-3) の澱粉が8/23以降の

\* Corresponding author (Tel.+81-742-43-8163, Fax.+81-742-43-2252, E-mail: ysugimot@nara.kindai.ac.jp).

\*\*平成18年度日本応用糖質科学会学会賞受賞講演

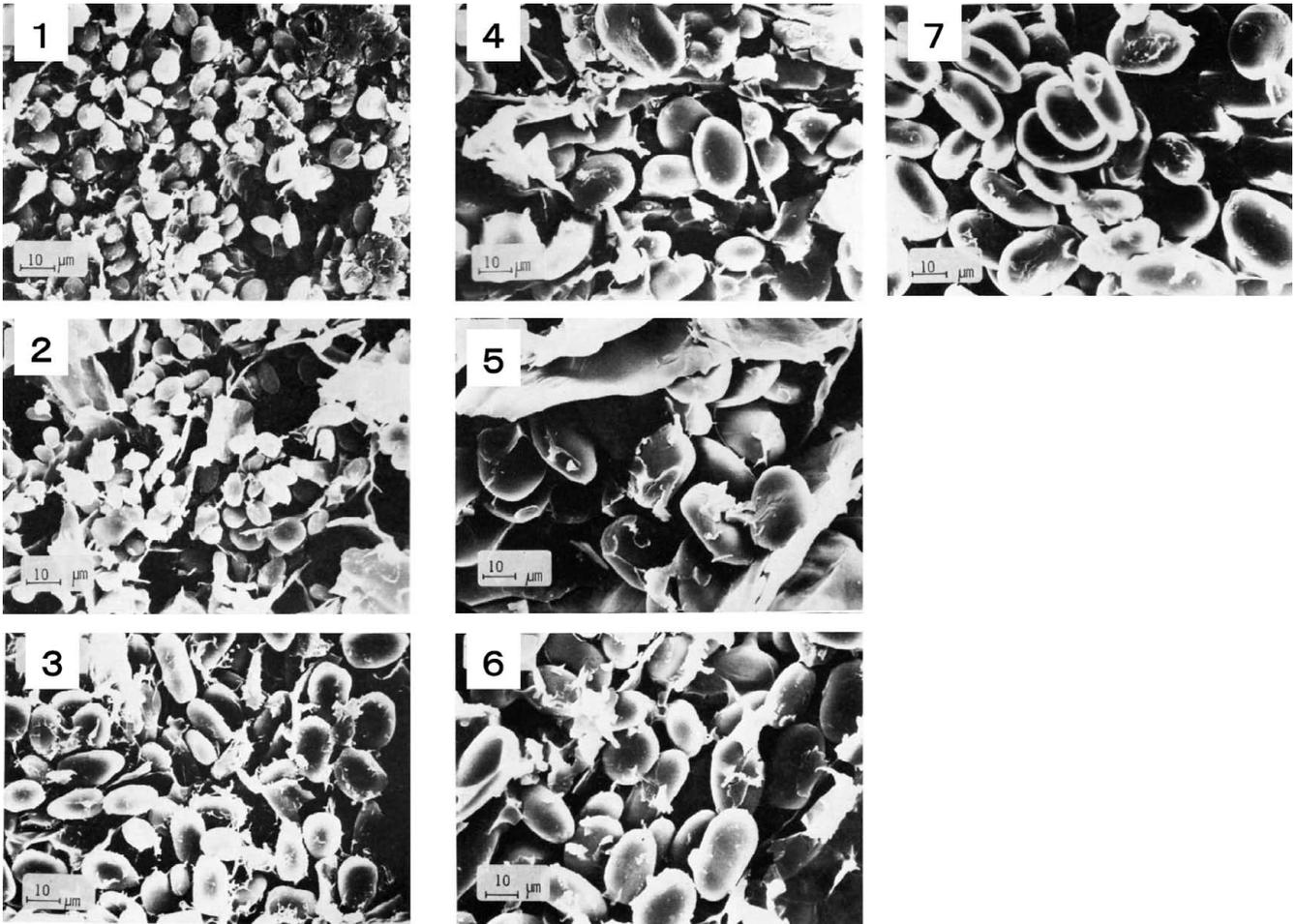


Fig. 1. Scanning Electron Photomicrographs (SEM) of starch granules in lyophilized-slices of developing Chinese yam tubers. Tubers harvested on 1) June 14; 2) July 12; 3) July 26; 4) August 23; 5) September 20; 6) October 18; 7) November 15.

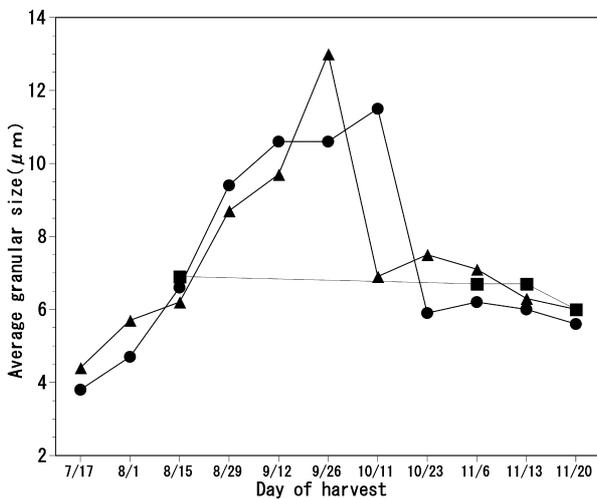


Fig. 2. Developmental changes in average granular size of kiwi fruit starches.

●, Bruno; ▲, Hayward; ■, Abbot.

ものより粒が小さく、とりわけ6/14, 7/12の澱粉粒は7/26のものよりもさらに粒が小さいことが観察できた。8/23以降11/5までは澱粉粒の大きさにあまり差はなかった。さらに、澱粉粒の大きさについては、島津遠心沈降式粒度分布測定装置を用いて粒度分布の測定を行い、重量%で50%通過時の大きさを平均粒径として求めた。生育の初期に粒径が増大したのは、ヤマノイモ<sup>2)</sup>、キウイフルー

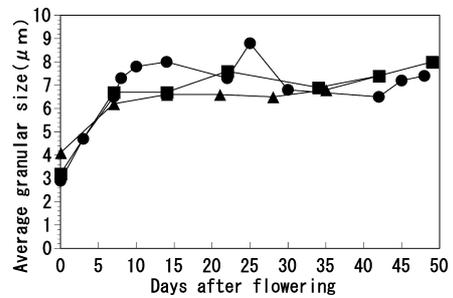


Fig. 3. Developmental changes in average granular size of squash starches.

●, Ebisu; ▲, Kogiku (Plants flowered on June 30); ■, Kogiku (Squash harvested on August 11).

ツ<sup>4)</sup> (Fig. 2), クワイ<sup>5)</sup>, 栗<sup>7)</sup>, ジャガイモ<sup>10)</sup>およびカボチャ澱粉<sup>11)</sup> (Fig. 3) で、サトイモ<sup>1)</sup>, 中国大根<sup>6)</sup>およびギンナン澱粉<sup>9)</sup>には生育による顕著な差はみられなかった。Fig. 2にキウイフルーツ澱粉の平均粒径を生育を追って示した。キウイフルーツ澱粉の平均粒径はブルーノで3.8-11.5 μm, ヘイワードで4.4-13.0 μm, アボットで4.4-6.9 μmで、これらを生育時期別にみると、ブルーノは10/11, ヘイワードは9/26まで生育につれて大きくなったが、その後は逆に減少した。福家ら<sup>12)</sup>はキウイフルーツ (ブルーノ, ヘイワード) の生育中の澱粉含量を測定し、6/30には1%以下だったものがしだいに増加し、8/31では約3%, 9/30で

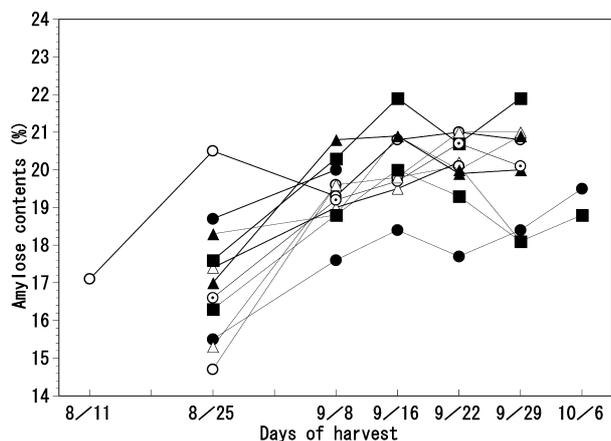


Fig. 4. Developmental changes of the amylose contents in chestnut starches by amperometric titrimetry.

○—○, Tanzawa; ●—●, Ibuki; △—△, Yamatowase; ▲—▲, Izumo; ■—■, Fukunami; ⊙—⊙, Tsukuba; ○—○, Ginyose; ●—●, Imakita; △—△, Otomune; ▲—▲, Taziri-ginyose; ■—■, Ishizuchi.

は4-5%, 10/31には約6%で最高になり,その後減少して11/10には2-4%,さらに12/10には0.2-0.3%になったと報告している。したがって平均粒径がブルーノで10/23,ヘイワードで10/11から小さくなったのは,この時期は澱粉の蓄積より分解が大きいため,見かけ上,小粒がふえたものと考えられる。また, Fig. 3にカボチャ澱粉の平均粒径を生育段階を追って示した。えびすの平均粒径は2.9-8.8 μmで,開花日2.9 μm,3日目4.7 μm,7日目6.6 μmと開花1週間位は生育にしたがって大きくなる傾向がみられたが,その後は,ほとんど変わらなかった。また,小菊は,開花0日目で平均粒径3.2 μm,4.0 μmで,開花後7日目の6.7 μm,6.2 μmに比べて小さく,この間の粒径を測定していないのははっきりしたことはいえないが,小菊もえびす同様開花1週間位は生育にしたがって大きくなった。

## 2) 電流滴定による見かけのアミロース含量ならびにゲルろ過分析

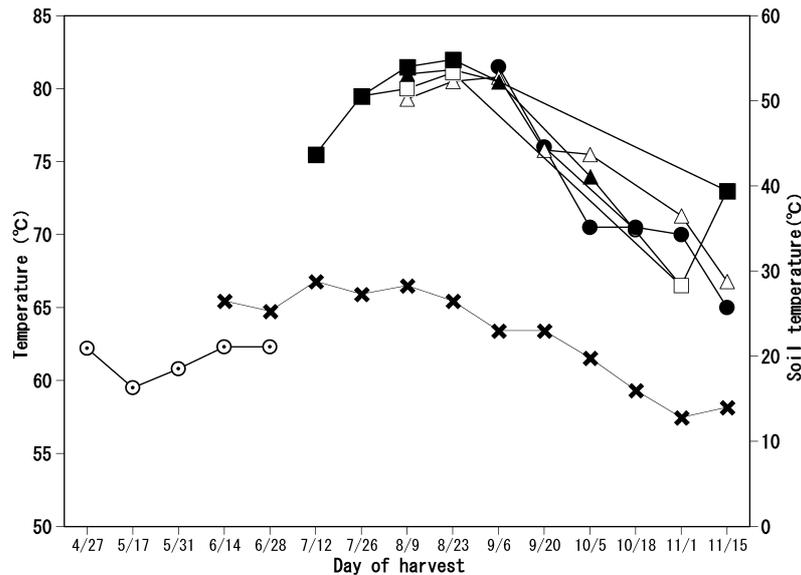
電流滴定による見かけのアミロース含量は,9種類の作物について生育の初期に増加する傾向がみられた。Fig. 4に11種類の栗澱粉について電流滴定によって求めた見かけのアミロース含量を生育段階を追って示した<sup>8)</sup>。11種類の栗澱粉のアミロース含量は15-22%の間で,丹沢は8月11日から25日,その他のものは8月25日から9月16日の生育の初期に増加する傾向があった。生育の初期と後期のアミロース含量の差は,伊吹を除いて3-6%であった。アミロース含量が生育の初期から後期にかけて増加することは,藤本ら<sup>13)</sup>が既報で論じているように小麦,大麦,ソラマメ,エンドウ,ジャガイモなどの各種の植物で確認されている。また,これらの栗澱粉のうち,丹沢,筑波,銀寄について,イソアミラーゼで枝きり後,Sephadex G-75を用いてゲルろ過を行った結果をTable 1に示した。アミロース区分と考えられるFr. Iは丹沢16.5-20.9%,筑波16.8-22.8%,銀寄16.6-19.4%で,いずれも生育の初期よりも後期の栗澱粉のアミロース含量が高い傾向を示した。また,Fr. III/Fr. IIは生育が進むにつれて減少した。これは,Table 1からも明らかのようにアミロペクチンの長い鎖Fr. IIが丹沢ではほとんどかわらないが,筑波,銀寄では生育とともにやや増加し,また,アミロペクチンの短い鎖Fr. IIIが生育につれて減少しているためだと思われる。Asaoka *et al.*<sup>14)</sup>は生育中の米澱粉ではアミロペクチンの鎖長の分布が一様であるため,Fr. III/Fr. IIはほとんど変化しないと報告しているが,杉本ら<sup>1)</sup>はサトイモ澱粉,山下ら<sup>9)</sup>はギンナン澱粉のFr. III/Fr. IIが生育とともに減少することを認めている。この違いは明らかではないが,おそらく栗<sup>7)</sup>やサトイモ<sup>1)</sup>およびギンナン<sup>9)</sup>澱粉のX線回折図が生育とともに変化するのに対して,米澱粉では檜作<sup>15)</sup>が示しているように,X線回折図が生育に関係なく一定であることとも関連しているのではないかと考えられる。

Table 1. Developmental changes of distribution of isoamylase-debranched materials of chestnut starches (Tanzawa, Tsukuba and Ginyose).

		Fr. I (%)	Inter. Fr. (%)	Fr. II (%)	Fr. III (%)	Fr. III/Fr. II
Tanzawa	8/11	16.5	4.5	22.6	56.4	2.50
	8/25	19.1	4.0	22.5	54.4	2.42
	9/8	17.0	4.9	23.5	54.6	2.33
	9/16	19.2	6.6	24.6	52.5	2.43
	9/22	20.9	4.2	22.4	52.5	2.34
	9/29	20.8	5.3	23.4	50.0	2.15
Tsukuba	8/25	16.8	6.7	21.1	55.3	2.62
	9/8	17.5	6.5	22.0	54.0	2.46
	9/16	18.9	5.8	22.0	53.3	2.43
	9/22	19.1	7.2	23.6	50.1	2.13
	9/29	22.8	4.8	24.1	48.3	2.00
Ginyose	8/25	17.0	4.4	21.2	57.4	2.70
	9/8	16.6	7.4	24.1	51.9	2.16
	9/16	16.8	6.7	24.4	52.2	2.14
	9/22	18.2	7.2	24.7	49.9	2.02
	9/29	19.4	5.3	25.5	49.8	1.95

**Table 2.** Developmental changes of X-ray diffraction patterns of chestnut starches.

	8/11	8/25	9/8	9/16	9/22	9/29	10/6
Tanzawa	Cb	Ca	Ca	Ca	Ca	Cb	
Ibuki		C	Cb				
Yamato-wase		Ca	Cb	Cb	Cb		
Izumo		Ca	Ca	Cb	Cb	Cb	
Fukunami		Ca	Ca	Cb	B	B	
Tsukuba		Ca	C	C	Cb	B	
Ginyose		Ca	Ca	Ca	Cb	Cb	
Imakita		C	C	Ca	Cb	Cb	B
Otomune		C	Ca	Ca	Cb	B	
Taziri-ginyose		Cb	Ca	Cb	Cb	B	
Ishizuchi			C	Cb	Cb	Cb	Cb

**Fig. 5.** Developmental changes in the initiation temperature of gelatinization of Chinese yam starches seen on photopastography.

✕, soil temperature; ⊙, seed tuber. Tuber weight: ○, A ≥ 500 g; ●, 500 g > B ≥ 300 g; △, 300 g > C ≥ 100 g; ▲, 100 g > D ≥ 50 g; □, 50 g > E ≥ 10 g; ■, F ≤ 10 g.

**Table 3.** Some properties of various starch granules.

Starch	Average granular size* <sup>2</sup> (μm)	Digestion of various starch granules by pancreatin* <sup>3</sup>		Initiation temperature for gelatinization (°C)		Amylose contents Fr. I (%) <sup>*6</sup>	X-ray diffraction pattern
		5 h (%)	24 h (%)	Photopaste* <sup>4</sup>	DSC* <sup>5</sup>		
Konjac	1.2–1.3	128–138	85–95	62–64	62.7–67.7	18.5–19.4	A
Taro (Ishikawawase)	1.4	103	98	62	65	13.5	A
Taro (Takenokoimo)	2	98	98	73	76	10.8	A
Bamboo shoot (Moso bamboo)	3.7	123	114	56.7	56	23	Ca
Saffron	9.7	64	100	59.5	65	29.2	Ca
Loquat seed	9.5–12.6	72.4–90.1* <sup>1</sup>	85.9–92.4		50.8–57.7	22.4–28.6	Cb or C
Kuzu	10.6	50	81	58	60.3	21.3	Ca
Ginkgo nut	12.4	26.5	46	67.7	69.6	25.6	Ca
Ginger	13.1	32	59	67	—	24.2	C
Sotetu (trunk)	13.2	49	83.7	58.5	63.1	23.2	A
Wasabi	13.4	49	78	56	55.2	22.1	B
Maize	13.6	100	100	58	64	23	A
Hishinomi	14.0	48	71	66.2	70.5	23.8	Ca
Sweet potato	14.2	58	88	60	66.3	21.9	C
Arrowhead	14.5	87.2	97	61	67.4	29.4	Ca
Tochinomi	14.5	48	71	55.9	58.7	25.9	Cb
Chinese yam (round-type)	16.8	17	26	63	65	24.2	C
Chinese yam (long-type)	18.8	11	18	65	66	26.1	Cb
Katakuri	19.9	54	91	44	46.8	22.6	B
Lotus	32.7	40	64	53.5	58.6	21.3	Cb
Azuki bean (Akanedainagon)	34.2	120	92	52	54.4	30.4	Cb
Potato	35.4	0	8	62	65.2	24.6	B

\*<sup>1</sup>3 h. \*<sup>2</sup>Average granular size as judged on the particle size distribution. \*<sup>3</sup> Results are expressed as percentage relative to normal maize starch (normal maize=100). \*<sup>4</sup> The initiation temperature for gelatinization by photopastography. \*<sup>5</sup> The initiation temperature for gelatinization by differential scanning calorimetry. \*<sup>6</sup> The amylose contents by enzyme-chromatographic method.

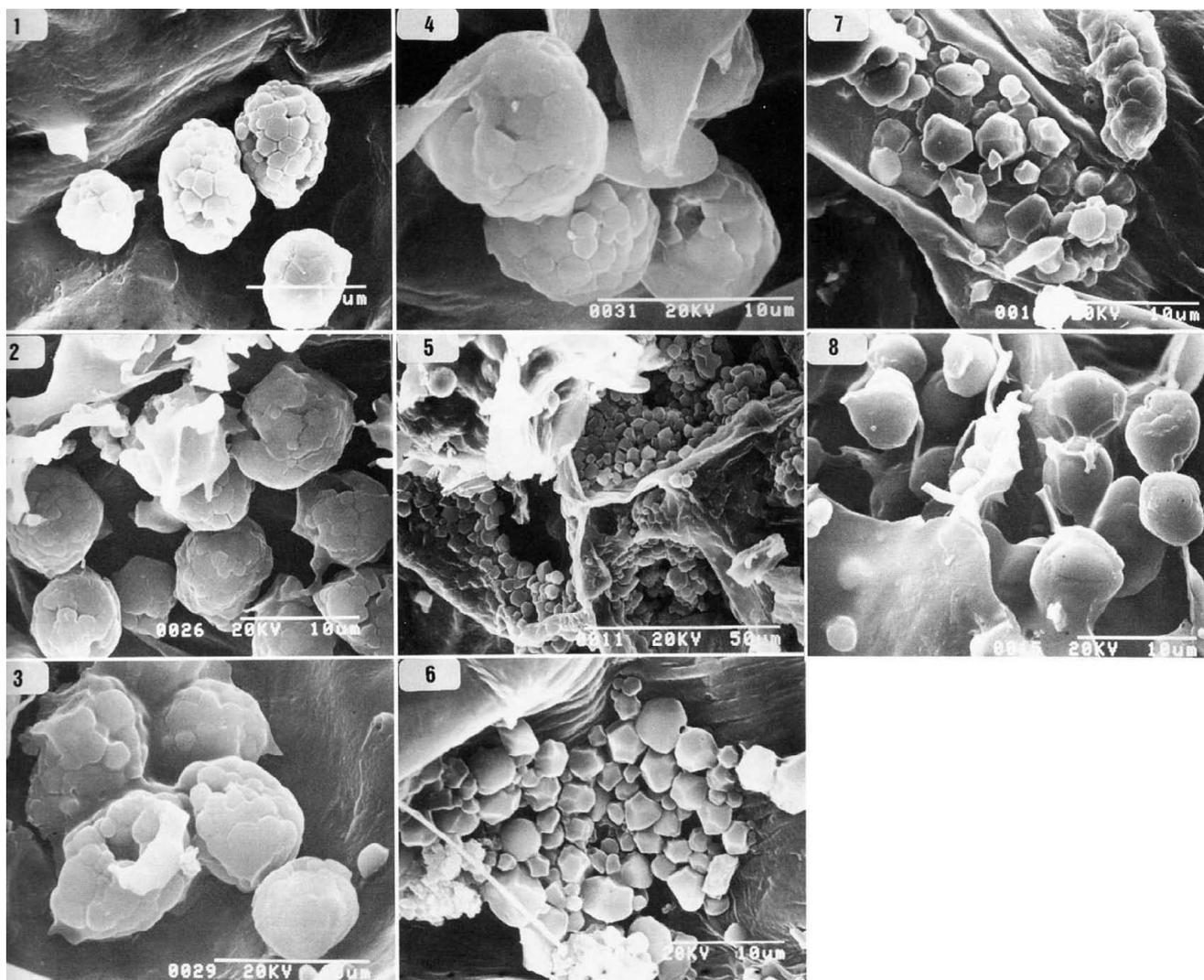


Fig. 6. Scanning Electron Photomicrographs (SEM) of starch granules in lyophilized slices of konjac.

1-4, Zairai; 5-6, Akagi; 7-8, Haruna.

### 3) X線回折図

X線回折図は生育につれて変化するもの(サトイモ<sup>1)</sup>, ヤマノイモ<sup>2)</sup>, 栗<sup>7)</sup>, ギンナン<sup>9)</sup>, 全期間を通じてA図型を示すもの(クワイ<sup>5)</sup>, 全期間を通じてB図型を示すもの(キウイフルーツ<sup>4)</sup>, 中国大根<sup>6)</sup>, ジャガイモ<sup>10)</sup>, カボチャ<sup>11)</sup>)に分かれた。Table 2に11種類の栗澱粉のX線パターンを生育を追って示した<sup>7)</sup>。この結果、栗澱粉はいずれのものも生育につれて変化することがわかった。これは、二國ら<sup>16)</sup>, Hizukuri *et al.*<sup>17)</sup>が示しているように、澱粉が生成される際の環境温度の影響を受けたのではないかと考えられる。また竹田ら<sup>18)</sup>は、栗澱粉(丹沢)のX線回折図はCb図型、またアミロペクチンの平均単位鎖長(CL)は迅速ミス分解で22.8、イソアミラーゼによる方法で22.3であることを示し、このことは、Hizukuri *et al.*<sup>19)</sup>の見出した平均単位鎖長と結晶型との関係を支持すると述べている。すなわち、栗澱粉の平均鎖長はB図型を示すジャガイモ澱粉(CL=23.7)よりも1残基短く、A図型を示す穀類のアミロペクチンよりも2残基長い両者の中間に位置し、この平均単位鎖長が中間に位置するものはX線回折図が環境温度によって影響を受けやすいと述べている。今回、栗澱

粉のX線回折図が生育につれて変化したという結果は、上述の仮説を支持するものである。

### 4) 糊化開始温度

サトイモ<sup>1)</sup>, ヤマノイモ<sup>2)</sup>, クワイ<sup>5)</sup>, 中国大根<sup>6)</sup>および栗<sup>8)</sup>の糊化開始温度は、環境温度の影響を受けて生育とともに下がる傾向にあったが、キウイフルーツ<sup>4)</sup>やギンナン<sup>9)</sup>の実の澱粉や、2月に定植し、5月から7月に採取するジャガイモ<sup>10)</sup>や、5月に定植し、6月から8月に採取するカボチャ<sup>11)</sup>の澱粉の糊化開始温度は生育による変化はみられなかった。Fig. 5にヤマノイモ澱粉のフォトペーストグラフィーによる糊化開始温度を生育を追って示した。糊化開始温度の減少カーブは地温の減少カーブに類似していることがわかった。このことから、二國ら<sup>16)</sup>が示しているように澱粉生成時の地温が糊化開始温度に影響しているのではないかと考えられた。

## 2. 各種澱粉粒の二、三の性質

各種澱粉粒の理化学特性をTable 3に示した<sup>20-30)</sup>。粒度分布計で求めた平均粒径が非常に小さい澱粉粒は、コンニャク(1.2-1.3 μm)<sup>20)</sup>, サトイモ(1.4 μm)<sup>21)</sup>, 筍イモ(2

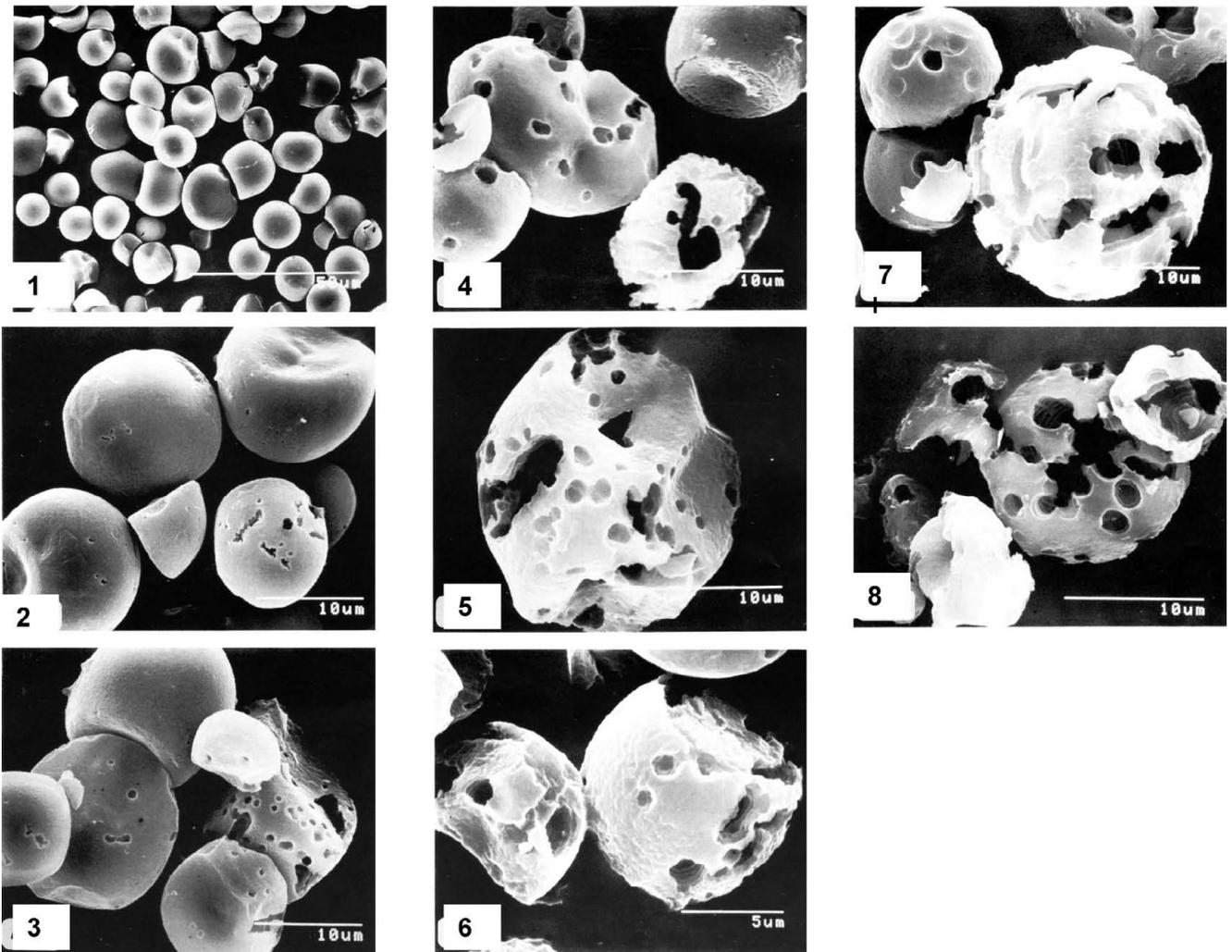


Fig. 7. SEM of starch granules of sotetsu (trunks) and normal maize with or without attack by pancreatin.

1-7, Sotetsu; 1) native; 2) 12.2% degradation; 3) 13.7% degradation; 4) 24.7% degradation; 5 and 6) 37.4% degradation; 7) 73.5% degradation; 8) normal maize, 72.4% degradation.

$\mu\text{m}$ )<sup>21)</sup>およびタケノコ ( $3.7 \mu\text{m}$ )<sup>22)</sup>澱粉で、これらの澱粉粒は豚の膵臓  $\alpha$ -アミラーゼによる分解性が高かった。また、イソアミラーゼで枝きり後、ゲルろ過分析によって求めたアミロース含量 (Fr. I) が少ない澱粉は、筍イモ (10.8%) およびサトイモ (13.5%) 澱粉、逆に多い澱粉はサフラン (29.2%)<sup>23)</sup>、クワイ (29.2%)<sup>29)</sup> および小豆 (30.4%)<sup>30)</sup> 澱粉であった。フォトペーストグラフィーならびに示差走査熱分析 (DSC と略す) で求めた糊化開始温度が一番低かった澱粉はカタクリ澱粉 (44,  $46.8^\circ\text{C}$ )<sup>25)</sup>、一番高かった澱粉は筍イモ澱粉 (73,  $76^\circ\text{C}$ ) であった。

### 3. 各種澱粉粒の走査電子顕微鏡ならびに電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM) による観察

コンニャク芋の切片の SEM による観察の結果を Fig. 6 に示す<sup>20)</sup>。コンニャク澱粉粒はサトイモや筍イモの澱粉粒<sup>21)</sup>と同じように角ばっており、中にはその角ばった小さな粒がたくさん集まってブドウの房やサッカーボールの球のような形を示すものも観察できた。ソテツの幹の澱粉粒が酵素によって分解される様子を Fig. 7 に示す<sup>20)</sup>。ソテツの幹の澱粉粒の酵素による分解のされ方は、トウモロコシ

澱粉粒の分解のされ方と非常によく似ており、反応が進むにつれて、小さなピンホールがだいに大きくなって侵食が進み、その際に層状構造が観察できた。また、FE-SEM による観察の結果、サトイモ澱粉粒の表面に SEM 観察ではみられなかったおよそ 20 nm の幅の紐状のものを観察した (Fig. 8)<sup>31)</sup>。地下澱粉粒は、一般に種実のような地上澱粉粒に比べて酵素作用を受けにくいことが知られているが、これらの中にも例外があり、サトイモ澱粉粒の酵素による分解性が高いことをすでに示し<sup>32)</sup>、その理由として澱粉の粒状構造、とくに表面構造が関係していると推察した。今回、サトイモ澱粉粒の FE-SEM 観察によってサトイモ澱粉粒の表面に、およそ 20 nm の幅の短い紐状のものが観察され、このことが、酵素による分解が高い原因であり、これまでの推察を支持するものではないかと考える。

### 4. 映像でみる澱粉の糊化・膨潤

偏光顕微鏡下で、片栗澱粉、ジャガイモ澱粉ならびにミクロトームで切り出した小豆の切片について、澱粉が糊化・膨潤していく様子をビデオカメラで撮影し、ビデオに収録したものを、9-12 倍速に編集して示した。顕微鏡の

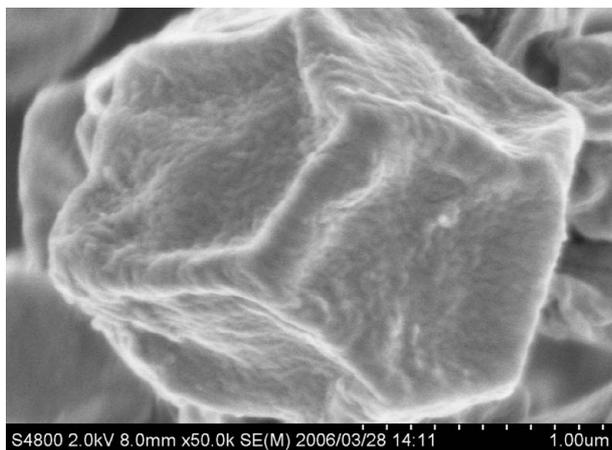


Fig. 8. Field emission Scanning Electron Photomicrographs of taro starch granules.

倍率は400倍で行った。

(1) 片栗澱粉：片栗澱粉は他の澱粉に比べて糊化温度が低いので測定は40°Cから行った。偏光が消失し始めるのは大体42°Cで、44°Cになると偏光十字の短い方から急激に膨潤が起こり、ジャガイモ澱粉の糊化がまだ始まらない55°Cで膨潤が終了した。

(2) ジャガイモ澱粉：ジャガイモ澱粉は大体60°Cで偏光が消失し始め、大粒は63-65°Cにかけて膨潤が急激に起こり、67°Cくらいで終了したが、小粒は67°C位で膨潤し始め75°Cで終了した。大粒と小粒を比較すると、糊化温度は大粒の方が低く、また、粒の膨潤は大粒の方が小粒よりも大きかった。

(3) 小豆(白小豆)の切片：白小豆の澱粉も最初から亀裂がはいったものが多く、55°Cで一部変形がはじまり、58°Cでそれが顕著になった。白小豆の切片については、切片を作るときに一部の細胞壁が壊れたため、澱粉がそこから細胞の外に流れ、急激に膨潤した。

## おわりに

生および酵素分解を受けた澱粉粒の走査型電子顕微鏡による観察を中心にして数多くの澱粉の特性について研究を進めてまいりましたが、この度、このような地味な研究分野にも光を当ていただき、学会賞をいただきましたことは、同じような研究分野の研究者にも励みになるものと思ひ、心より感謝申し上げます。

これらの研究を進めるにあたり終始暖かいご指導とご鞭撻をいただきました(故)大阪市立大学名誉教授・不破英次先生に衷心より感謝の意を捧げます。高谷友久(元大阪市立大学)、井川佳子(広島大学)、小西洋太郎(大阪市立大学)、岩城啓子(畿央大学)、藤田修三(青森県立大学)、井ノ内直良(福山大学)、川西正子(常盤短期大学)の諸先生方には、共同研究者として色々な面で助けていただきました。厚く御礼申し上げます。私が今日まで仕事を続けてこられたのは、公私ともに私を支え励ましてくださいました鈴木綾子先生(元大阪府立女子大学)のお蔭です。心よ

り御礼申し上げます。また、生育段階の研究に用いた9種類の作物は、大阪府立農林技術センターで作っていただきました。現大阪府立大学教授阿部一博先生ならびに関係者の皆様に感謝申し上げます。また、これらの研究は大半が武庫川女子大学在職中に行ったものであり、元武庫川女子大学助手、西原公恵さん、山本美千子さん、山下安代さんならびに卒業生の方々、さらに現在の共同研究者である近畿大学助手菊田千景さんに厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 杉本温美, 西原公恵, 阿部一博, 藤田修三, 不破英次: 生育段階の異なるサトイモ澱粉の性質について. 澱粉科学, **34**, 1-10 (1987).
- 2) 杉本温美, 山本美千子, 阿部一博, 不破英次: 生育段階の異なるヤマノイモ澱粉の性質について. 澱粉科学, **34**, 11-20 (1987).
- 3) 杉本温美, 澤田崇子, 加藤みずほ: 生育段階の異なるヤマノイモ澱粉の性質について(その2). 関西女子短期大学紀要, **9**, 77-84 (1999).
- 4) 杉本温美, 山本美千子, 阿部一博, 不破英次: 生育段階の異なるキウイフルーツ澱粉の性質について. 澱粉科学, **35**, 1-10 (1988).
- 5) 杉本温美, 山本美千子, 阿部一博, 不破英次: 生育段階の異なるクワイ澱粉の性質について. 澱粉科学, **35**, 11-18 (1988).
- 6) 杉本温美, 山本美千子, 阿部一博, 不破英次: 生育段階の異なる2種類の“中国大根”の澱粉の性質について. 澱粉科学, **35**, 19-27 (1988).
- 7) 杉本温美, 山下安代, 杉原順子, 湊千香子, 阿部一博, 奥田義二, 不破英次: 生育段階の異なる栗澱粉の性質について(その1). 澱粉科学, **37**, 145-153 (1990).
- 8) 杉本温美, 山下安代, 小野田宜世, 阿部一博, 奥田義二, 井ノ内直良, 不破英次: 生育段階の異なる栗澱粉の性質について(その2). 澱粉科学, **37**, 155-161 (1990).
- 9) 山下安代, 杉本温美, 不破英次: 生育段階の異なるギンナンデンプンの性質について. 家政誌, **41**, 723-732 (1990).
- 10) 杉本温美, 山下安代, 堀 育美, 阿部一博, 不破英次: 生育段階の異なるジャガイモ澱粉の性質について. 応用糖質科学, **42**, 345-353 (1995).
- 11) 杉本温美, 山下安代, 大盛美香, 鈴木睦代, 脇田裕美, 森下正博, 不破英次: 生育段階の異なるカボチャ澱粉の性質について. 応用糖質科学, **45**, 11-19 (1998).
- 12) 福家洋子, 松岡博厚: キウイフルーツの生育中および追熟後の糖, デンプン, 有機酸, 遊離アミノ酸の変化. 日食工誌, **29**, 642-648 (1982).
- 13) 藤本滋生, 永浜伴紀, 蟹江松雄: 甘藷澱粉粒子の成長に伴うアミロースの変化について. 農化, **46**, 577-583 (1972).
- 14) M. Asaoka, K. Okuno, Y. Sugimoto and H. Fuwa: Developmental changes in the structure of endosperm starch of rice (*Oryza sativa* L.). *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 1973-1978 (1985).
- 15) 檜作 進: 澱粉の構造と物性. 澱粉科学, **21**, 61-69 (1974).
- 16) 二國二郎, 檜作 進, 藤井ミチ子, 土井健二, 長谷川浩, 森脇 勉, 奈良省三, 前田 巖: サツマイモデンプンの性質に及ぼす栽培地温の影響. 農化, **37**, 673-676 (1963).
- 17) S. Hizukuri, M. Fujii and Z. Nikuni: Effect of temperature during germination on the crystalline type of starch in soybean seedlings. *Nature*, **192**, 239-240 (1961).
- 18) 竹田千重乃, 竹田靖史, 檜作 進: 栗澱粉の構造と性質. 澱粉科学, **34**, 31-37 (1987).
- 19) S. Hizukuri, T. Kaneko and T. Takeda: Measurement of the chain length of amylopectin and its relevance to the origin of crystalline polymorphism of starch granules. *Biochim. Biophys. Acta*, **760**, 188-191 (1983).
- 20) 杉本温美, 山下安代, 国重直美, 不破英次: コンニャク澱粉の二, 三の性質について. 応用糖質科学, **42**, 223-229

- (1995).
- 21) 杉本温美, 西原公恵, 不破英次: 2種類のサトイモ (石川早生, 筍イモ) ならびにヤマノイモ (イセイモ, ナガイモ) 澱粉の二, 三の性質について. 澱粉科学, **33**, 169-176 (1986).
  - 22) 杉本温美, 山下安代, 村上恵美子, 井ノ内直良, 不破英次: タケノコ澱粉の二, 三の性質について. 応用糖質科学, **43**, 179-186 (1996).
  - 23) 杉本温美, 西原公恵, 藤田修三, 不破英次: サフラン澱粉の二, 三の性質について. 澱粉科学, **33**, 40-46 (1986).
  - 24) 杉本温美, 井ノ内直良, 不破英次: びわ種子澱粉の二, 三の性質について. *J. Appl. Glycosci.*, **48**, 335-342 (2001).
  - 25) 杉本温美, 山下安代, 井ノ内直良, 藤森正宏, 川村吉也, 不破英次: カタクリ澱粉の二, 三の性質について. 澱粉科学, **36**, 265-272 (1989).
  - 26) 杉本温美, 山下安代, 加藤彰宏, 不破英次: ソテツ幹澱粉の二, 三の性質について. 澱粉科学, **39**, 147-154 (1992).
  - 27) 杉本温美, 西原公恵, 藤田修三, 不破英次: ワサビおよびショウガ澱粉の二, 三の性質について. 家政誌, **35**, 97-104 (1984).
  - 28) 岩城啓子, 杉本温美: トチの実およびヒシの実デンプンの二, 三の性質について. 家政誌, **55**, 13-19 (2004).
  - 29) 杉本温美, 西原公恵, 不破英次: ハスおよびクワイ澱粉の二, 三の性質について. 日本栄養・食糧学会誌, **37**, 465-473 (1984).
  - 30) 杉本温美, 小西洋太郎, 不破英次: 三品種の小豆澱粉の二, 三の性質について. *J. Appl. Glycosci.*, **50**, 45-49 (2003).
  - 31) 杉本温美, 菊田千景, 川西 (朝岡)正子, 小西洋太郎, 不破英次: 各種澱粉粒の電界放出形走査電子顕微鏡による観察. *J. Appl. Glycosci.*, **53**, Suppl., 45 (2006).
  - 32) 杉本温美, 大西恵子, 高谷友久, 不破英次: 起源をことにする各種澱粉粒のパンクレアチンによる分解性. 澱粉科学, **26**, 182-190 (1979).

## 各種澱粉粒の理化学的特性に関する研究

杉本温美<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 近畿大学農学部

(631-8505 奈良市中町 3327-24)

### 1. 生育段階の異なる各種澱粉粒の性質について

9種類の作物 (サトイモ, ヤマノイモ, クワイ, キウイフルーツ, ジャガイモ, カボチャ, 栗, 中国大根, ギンナン) について生育中の澱粉の性質を調べ, 粒径が生育の初期に大きくなる様子を SEM で確認した. また, アミロース含量は生育の初期に増加する傾向を示した. X線回折図は生育につれて変化するもの (サトイモ・ヤマノイモ・栗・ギンナン), 全期間を通じて A 図型 (クワイ) や B 図型 (キウイフルーツ・中国大根・ジャガイモ・カボチャ) を示すものに分かれた. サトイモ, ヤマノイモ, クワイ, 中国大根ならびに栗の澱粉の糊化開始温度は, 生育の初期よりも後期に下がる傾向にあった. キウイフルーツやギンナン, ジャガイモならびにカボチャの澱粉の糊化開始温度は生育による変化はみられなかった.

### 2. 各種澱粉粒の二, 三の性質

平均粒径が非常に小さい澱粉粒は, コンニャク (1.2-1.3  $\mu\text{m}$ ), サトイモ (1.4  $\mu\text{m}$ ), 筍イモ (2  $\mu\text{m}$ ) およびタケノコ (3.7  $\mu\text{m}$ ) 澱粉で, これらの澱粉粒は豚の膵臓  $\alpha$ -アミラーゼによる分解性が高かった. また, 酵素クロマトグラフ法によって求めたアミロース含量が少ない澱粉は, 筍イモ (10.8%) およびサトイモ (13.5%) 澱粉, 逆に多い澱粉はサフラン (29.2%), クワイ (29.2%) および小豆 (30.4%) 澱粉, フォトペーストグラフィーならびに示差走査熱量計で求めた糊化開始温度が一番低かった澱粉はカタクリ澱粉 (44, 46.8°C), 一番高かった澱粉は筍イモ澱粉 (73, 76°C) であった.

### 3. 各種澱粉粒の走査電子顕微鏡ならびに電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) による観察

コンニャク芋の切片の SEM による観察の結果, コンニャク澱粉粒は角ばっており, 中にはその角ばった小さな粒がたくさん集まってサッカーボールの球のような形を示すものも観察できた. ソテツの幹の澱粉粒の酵素による分解のされ方は, トウモロコシ澱粉粒の分解のされ方と非常によく似ていた. また, FE-SEM による観察の結果, サトイモ澱粉粒の表面におよそ 20 nm の幅の紐状のものを観察した.

### 4. 映像でみる澱粉の糊化・膨潤

偏光顕微鏡下で, カタクリ澱粉, ジャガイモ澱粉ならびにミクロトームで切り出した小豆の切片の澱粉が糊化・膨潤していく様子をビデオカメラで撮影し, ビデオに収録したものを 9-12 倍速に編集し, 映像で示した.