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

杉本温美*・大西恵子*・高谷友久*・不破英次*

(昭和54年3月17日受理)

Comparative Susceptibility to Pancreatin of Starch Granules from Different Plant Species

Yoshimi SUGIMOTO, Keiko OHNISHI, Tomohisa TAKAYA and Hidetsugu FUWA

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

We confirmed that starch granules of potato, Chinese yam (tubers of *Dioscorea batatas*), banana (fruits of *Musa cavendishii*), lily (bulbs of *Lilium* sp.), ginkgo (seeds of *Ginkgo biloba*), high-amylose corn, lotus (tubers of *Nelumbo nucifera*), chestnuts (seeds of *Castanea crenata*), kuzu (Japanese arrowroot, *Pueraria lobata*) and sweet potato were respectively in decreasing order more resistant to the action of pancreatin than were those of normal corn, wheat, rice, red corn (maize morado) and taro (roots of *Colocasia antiquorum*). Although starch granules of roots and tubers were, in general, more resistant to the action of amylase than those of cereals, taro starch granules were highly susceptible and starch granules of banana, ginkgo and chestnuts were rather resistant to the action of pancreatin comparing with those of the normal corn.

We also examined relative susceptibility to pancreatin of starch granules of 13 cultivars of legumes (*Vicia faba*, *Pisum sativum* var. *arvense*, *Phaseolus vulgaris*, *Vigna sesquipedalis*, *Vigna angularis*, and *Dolichos lablab*). These starch granules were, in general, less susceptible to the enzyme action than those of the normal corn. By scanning electron microscopy (SEM), damage on the surface layers of legume starch granules could not be observed after the action of pancreatin, but, step-shaped inner structures of some granules were visible.

Starch contents of starchy legumes, soybeans and peanuts were 35-40, 0.8-1.4 and 5.1% (on wet weight basis), respectively. Starch granules with smooth surfaces embedded in cells of dissected cotyledon were observed by SEM of ungerminated seeds of legumes and peanuts. After 7 days of germination, although some starch granules had smooth surfaces, some other granules had rough surfaces. However, patterns of enzymatic erosion of the starch granules visible in the dissected endosperms of normal corn following the early germination period were seldom observed in the case of the cotyledon of germinating legume seeds except for those of azuki beans and peanuts.

一般に穀類種子の澱粉粒は、他の起源の澱粉粒よりも酵素作用を受けやすいことが、*in vitro* および *in vivo* で示されている。われわれもパンクレアチン、細菌 α -アミラーゼあるいはカビのグルコアミラーゼを用いて、澱粉粒の分解性はジャガイモ、ヤマノイモ、サツマイモ、

トウモロコシ、コメであることを確認した¹⁾。しかし、これら澱粉粒のアミラーゼによる分解性の差は、澱粉粒をアルカリで完全に糊化すると消失する。したがって、澱粉粒の構造、とくに表面構造が、アミラーゼによる分解性と関係のあることが推定される。

近年、澱粉粒の表面構造を立体的に観察する有力な手段の一つとして走査電子顕微鏡 (SEM) が用いられてい

* 大阪市立大学生活科学部
(558 大阪市住吉区杉本町 459)

る。Gallant ら²⁾ はジャガイモ、マニオック、コムギ、トウモロコシ、モチトウモロコシ、アミロメイズの各澱粉粒に子ブタの膵液を作用させ、澱粉粒がどのように浸食されるかを透過電子顕微鏡および SEM で調べた。その結果、膵液による澱粉粒の消化のされ方は、澱粉の起源によって異なることを見出した。また、Rasper らも³⁾ 4 種のヤマノイモ、ココヤシ、モロコシ、キビ、コムギ、タピオカの各澱粉粒に数種のアミラーゼ(細菌 α -アミラーゼ、麦芽 α -アミラーゼ、カビのグルコアミラーゼ)を作用させ、その分解性を検討するとともに、澱粉粒の酵素による攻撃のされ方を SEM を用いて調べた。その結果、種々の酵素による澱粉粒の攻撃のされ方は、澱粉の起源によって異なること、および同一の澱粉粒の分解の様子は、作用させるアミラーゼの種類によって異なることを報告している。

われわれも、各種澱粉粒にアミラーゼを作用させた後、残存する澱粉粒の状態を SEM で観察した。その結果、ジャガイモ、ヤマノイモ、高アミローストウモロコシなど分解されにくい澱粉粒は、酵素作用後も、形、表面の状態など、いずれも酵素を作用させないものとの澱粉粒と

ほとんど差が認められなかった。一方、分解されやすい澱粉粒、たとえばトウモロコシ澱粉粒では、酵素作用の後、表面に多数の穴が生じ、反応の進行にともない、これらの穴は数を増すとともに、粒の中心に向かって進み、やがて粒がこわれていくように見えることを知った⁴⁻⁷⁾。それとともに、トウモロコシ澱粉粒に種々の α -アミラーゼあるいはグルコアミラーゼを作用させた時の分解のされ方は、各アミラーゼに特有であることを知った^{8,9)}。

今回は、今迄未検討のものを含み、起源をことにする種々の澱粉粒についてパンクレアチンを作用させ、その分解性を検討した(実験 I)。とくに 20 種類のマメ澱粉粒については、*in vitro* での酵素分解性を検討するとともに、分解後残った澱粉粒を SEM で観察した(実験 II-1)。さらに、発芽種子の食品栄養学的研究の一環として、種々のマメについて種子を発芽させ、発芽時子葉中の澱粉粒の分解の様子を SEM で観察した(実験 II-2)。

実験方法

材 料

1. 実験 I に用いた材料: Table 1 に示す 19 種類の

Table 1. Brief summary of preparation methods of starch granules from various sources.

Plant from which starch granules were prepared			Method of preparation**
<i>Oryza sativa</i>	Rice	コ メ	d
<i>Triticum aestivum</i>	Wheat	コムギ	a
<i>Zea mays</i>	Normal corn	トウモロコシ	e
<i>Zea mays</i> , Maize morado	Red corn	ムラサキトウモロコシ	b
<i>Zea mays</i>	High-amylose corn	高アミローストウモロコシ	e
<i>Solanum tuberosum</i>	Potato	ジャガイモ	a
<i>Ipomoea batatas</i>	Sweet potato	サツマイモ	a
<i>Colocasia antiquorum</i>	Taro	サトイモ	b
<i>Dioscorea batatas</i>	Chinese yam(round-type)	ヤマノイモ	a
<i>Dioscorea batatas</i>	Chinese yam(long-type)	ナガイモ	a
<i>Lilium maximowiczii</i>	Lily	オニユリ	a
<i>Nelumbo nucifera</i>	Lotus	レンコン	b
<i>Pueraria lobata</i>	Kuzu	ク ズ	e
<i>Musa cavendishii</i>	Banana	バナナ	c
<i>Musa cavendishii</i>	Banana(green)	バナナ(グリーン)	c
<i>Musa cavendishii</i>	Banana(5 days)*	バナナ(5日目)*	c
<i>Musa cavendishii</i>	Banana(8 days)*	バナナ(8日目)*	c
<i>Castanea crenata</i>	Chestnuts	ク リ	b
<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgo	ギンナン	b

* Days after ethylene gas treatment.

** a, Repeated washing with $H_2O^{10,11)}$; b, Schoch's method¹²⁾; c, Fujimoto's method¹³⁾; d, Alkali steeping method¹⁴⁾; e, Commercial.

澱粉粒を用いた。ここで Banana は黄熟バナナの市販品、Banana(green)はエチレングス処理をしない前の緑熟バナナ、Banana(5 days) と Banana(8 days) はそれぞれエチレングス処理後 5 日目と 8 日目のバナナを示す。エチレングス処理は、大阪府立大学農学部園芸学科緒方邦安教授の研究室で常法 (1,500 ppm, 20°C, 24 hr) に従って行った。処理後バナナは 18°C の部屋に 2 週間保存し、5 日目および 8 日目にそれぞれ澱粉を抽出した。これら 19 種類の材料のうち、トウモロコシ澱粉粒は日本食品化工(株)より、高アミローストウモロコシ澱粉粒は敷島澱粉(株)より供試いただいた。また、クズ澱粉は市販品を用いた。これら以外の他の 16 種類については実験室で調製した。各澱粉の調製は Table 1 に示すとおりであるが、これらの澱粉のうち、コムギ澱粉はグルテンを除いたのち、水洗を繰り返した。また、サトイモはぬめりがあるので、2~5 mm の輪切りにし、3~5 倍容の水を加えて低温室に 1 晩放置し、ぬめりをよく除いたのち、イソアミルアルコールによる除蛋白を行った。

2. 実験Ⅱに用いた材料

2-1. マメ：用いたマメは、大阪近郊で栽培されている 20 種類である。[ラッカセイ](*Arachis hypogaea*) 落花生、[ソラマメ](*Vicia faba*) そらまめ、[エンドウ](*Pisum sativum* var. *arvense*) 実えんどう(グリーンピース)、莢えんどう(網さや)、[インゲンマメ](*Phaseolus vulgaris*) 平英尺五寸菜豆、長鶏菜豆、衣笠菜豆、松みどり菜豆、さつきみどり菜豆、つるなし菜豆、五月豆、[ササゲ](*Vigna sesquipedalis*) 小豆ささげ、三尺ささげ、[アズキ](*Vigna angularis*) 小豆、丹波大納言小豆、[フジマメ](*Dolichos lablab*) 赤花鵲豆、[ダイズ](*Glycine max*) 黒大豆、玉錦大豆、早生枝豆、中生枝豆。

2-2. 澱粉粒の調製：脂肪の多い落花生、大豆および五月豆、丹波大納言小豆以外の 13 種類のマメからの澱粉の調製は、既報¹⁵⁾に述べたとおりである。また、対照として用いたトウモロコシ澱粉粒は、実験Ⅰと同じく日本食品化工(株)より供試いただいた日食コーンスターチである。

2-3. 発芽種子の調製：マメを 3% サラシ粉で 10 分間殺菌し、滅菌蒸留水に 1 日浸漬し、吸水した種子を水でしめらせた脱脂綿上に播種し、室温で暗所に保って発芽させ調製した。

3. パンクレアチン：市販品 (Sigma, Type VI A from hog pancreas)。

4. *Rhizopus niveus* 結晶グルコアミラーゼ：市販品

(生化学工業株式会社)。

方 法

1. *in vitro* での澱粉粒の分解性：パンクレアチンによる澱粉粒の分解性の測定は、既報¹⁾の方法に従い、可溶化した炭水化物をフェノール硫酸法で定量し、グルコースとして計算、分解の % を求めた。

2. 澱粉の定量：Dekker らの方法¹⁶⁾に準じて行った。すなわち、試料をアルカリ糊化し、*Rhizopus niveus* の結晶グルコアミラーゼを 24 時間作用させ、遊離するグルコースを glucose oxidase-peroxidase 法で求めて計算した。なお、同時に標準としてトウモロコシ澱粉を用いて、この条件下で分解が完全に行われていることをたえず確認した。

3. SEM による観察：既報¹⁵⁾に述べたとおりである。SEM による観察に用いたマメの発芽前、発芽後のサンプルは、凍結乾燥を行ったのち観察に用いた。また、大豆および落花生は脂肪が多いため、ヘキサンを用いてバッチ法で油を除いたのち、試料とした。

実験結果および考察

実験Ⅰ：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

Fig. 1 は、トウモロコシ、サトイモ、クズ、サツマイモ、ジャガイモの各澱粉粒にパンクレアチンを作用させた時の分解率を経時的にみたものである。サトイモ澱粉粒は、トウモロコシ澱粉粒とほぼ同じ分解の傾向を示し、24 時間の反応では 90% 以上の分解率であった。サツマイモ澱粉粒も 24 時間の反応ではほぼ 90% と高い分解性を示したが、ジャガイモ澱粉粒は、24 時間の反応でも 8% しか分解されず、図に示していないが、48 時間の反応でも 10% 以上の分解率にはいたらなかった。Fig. 2 は、ジャガイモ、クズ、サツマイモ、サトイモ、ナガイモ、ヤマノイモ、バナナ、ギンナン、クリ、ムラサキトウモロコシ、高アミローストウモロコシおよびトウモロコシの各澱粉粒にパンクレアチンを 5 時間または 24 時間作用させた時の結果を示す。ムラサキトウモロコシの澱粉粒は、トウモロコシ澱粉粒とほぼ同じ分解率を示した。ナガイモ、バナナ、高アミローストウモロコシの各澱粉粒は、分解率が低かった。普通エチレングス処理をしていない緑熟バナナの澱粉含有量は 20% 近くあるが、それが熟成中に減少し、食用の黄熟バナナでは 1% 以下になっている。このことから、バナナ澱粉をとりだして、*in vitro* で酵素作用を行った場合、分解が高いのではないかと予想したが、バナナ澱粉は分解があまり進まなかっ

Fig. 1. Time courses of digestion of starch granules of normal corn, taro, kuzu, sweet potato and potato by pancreatin.

○, normal corn; ●, taro; △, kuzu; ▲, sweet potato; ■, potato.

Reaction mixture contained 50 mg (on dry weights) of starch granules, 6.7 mM phosphate buffer (pH 7.2), 10 mM sodium chloride, 10 mM calcium acetate, and 0.5% pancreatin in a total volume of 1.5 ml. Incubation was made at 37°C. Two blanks were run simultaneously. One under identical conditions except for the starch granules and the other identical except for the enzyme. At appropriate intervals, 8.0 ml of ice-cold water was added to the mixture. After stirring and centrifugation, an aliquot of the supernatant was used for assay of solubilized carbohydrates by the phenol-sulfuric acid method.

た (Fig. 2, 3). Fig. 3 には緑熟バナナおよび黄熟途中のバナナ澱粉粒とともに、ユリネ、レンコン、コムギ、コメの各澱粉粒についての結果を示してある。コメおよびコムギの澱粉粒は、トウモロコシ澱粉粒とほぼ同じ分解率を示したが、レンコン、ユリネ、バナナの各澱粉粒は比較的低い分解性を示した。緑熟バナナの澱粉粒は、黄熟バナナの澱粉粒よりも分解が高いのではないかと予想したが、エチレングス処理をしていない緑熟バナナ、熟成5日目、8日目のバナナの各澱粉粒は、いずれも低い分解を示した。未熟バナナの澱粉粒がジャガイモ澱粉粒ほどではないが、トウモロコシ澱粉粒に比べて分解がおそいということは、大橋ら¹⁷⁾、藤本ら¹⁸⁾の結果と一致する。また、バナナの中の酵素系についてはすでにいろいろな人の報告があり、Yan と Ho¹⁹⁾ および Singh と Sanwal²⁰⁾ は、バナナの中の澱粉はアミラーゼよりも主

Fig. 2. Digestion of various starch granules by pancreatin-1.

Duration of reaction, open bar; 5 hr, shaded bar; 24 hr.

Fig. 3. Digestion of various starch granules by pancreatin-2.

See legend to Fig. 2 and Table 1.

としてフォスホリラーゼによって加リン酸分解されるといっている。しかし、Mao²¹⁾ および Sornsrivichai²²⁾ は、バナナ熟成中のアミラーゼの活性のピークと澱粉含量の減少する時期が同じであることを示している。一方、われわれや大橋ら¹⁷⁾、藤本ら¹⁸⁾の結果によっても明らかのように緑熟バナナ澱粉粒は *in vitro* でアミラーゼによってあまり分解されない。しかも、バナナの熟成中に澱粉含量が急速に減少するのであるから、強力な酵素系が

Table 2. Relative susceptibility of various starch granules to pancreatin.*

Starch granules	Duration of reaction	
	5 hr	24 hr
Red corn	109	105
Rice	106	100
Wheat	106	100
Normal corn	100	100
Taro	109	96
Sweet potato	85	92
Kuzu	60	78
Chestnuts	47	74
Chinese yam(round-type)	36	55
Lotus	36	51
Gingko	29	50
High-amylose corn	36	45
Banana(yellow)	17	43
Lily	26	42
Banana(green)	14	31
Banana(8 days)**	12	30
Banana(5 days)**	11	28
Chinese yam(long-type)	10	28
Potato	3	7

* Data were expressed relative to commercial normal corn enzyme degradation percentage(normal corn=100).

** See legend to Table 1.

あるはずであるが、この点については、今後の研究で説明してゆきたいと考えている。Table 2 に、Fig. 2 と 3 の結果を、各実験系列でのトウモロコシ澱粉粒の分解率をそれぞれ 100 として計算して示した。やはり、ムラサキトウモロコシ、コメ、コムギ、トウモロコシの穀類の澱粉粒は高い分解性を示した。しかし、根茎澱粉であるサトイモ澱粉粒も高い分解性を示した。サトイモ澱粉が根茎澱粉にもかかわらず、高い分解性を示したのは、非常に小さな澱粉粒であるために、酵素と直接触れる面が大きかったのではないかと考えられる。ところが、同じ根茎澱粉で粒の大きいサツマイモ澱粉も分解性が比較的高いから、澱粉粒の表面積のみが分解性に関係しているとはいえない。しかし、貝沼ら²³⁾は、ジャガイモ澱粉粒の小粒子と大粒子にグルコamilラーゼを作用させると、24 時間の反応で、小粒子は大粒子の 2.4 倍もよく分解すると述べている。したがって、同一起源の澱粉粒であれば、表面積の大きい方が分解性がよいといえるのであろう。クズ、クリの澱粉粒もやや高い分解を示したが、ヤ

マノイモ、レンコン、ギンナン、高アミローストウモロコシ、ユリネ、バナナ、ナガイモ、ジャガイモの澱粉粒は分解が高くなかった。

実験 II: マメ類澱粉粒の酵素分解性

1. マメ類澱粉粒の酵素分解性

Table 3 に、種々のマメ類の水分含量および澱粉含量をあらわす。この結果、大豆および落花生を除いた種々のマメ類の澱粉含量は、一番多いもので小豆の 43.4% (乾物中 49.4%)、一番少ないもので衣笠菜豆の 32.5% (乾物中 36.6%) と大体 30~45% (乾物中 35~50%) 前後であることがわかった。これらの値は川村ら²⁴⁾が示している値よりも幾分高い傾向にあるが、これは用いた試料が違うためではないかと考えられる。落花生の澱粉含量は 5% 前後、また、完熟大豆には、この方法で 1% 前後の澱粉が含まれていることがわかった。大豆を発芽させると澱粉が増加することが、佐々木²⁵⁾、檜作ら²⁶⁾によって報告されているが、われわれも豆 10 粒当りの発芽前と発芽 7 日目の子葉中の澱粉含量を測定し、早生枝豆および中生枝豆の澱粉含量は発芽によってかなりふえることを確認した。ことに中生枝豆は 7 日間の発芽によって発芽前の 7 倍も澱粉含量が増えた。しかし、大豆と落花生を除いた澱粉を主成分とするマメ類の澱粉は、発芽のためのエネルギー源および植物体形成に使われるためか減少した。さらに Table 3 に、市販のコーンスターチおよび種々のマメ類の澱粉粒にパンクレアチンを作用させたときの結果をトウモロコシ澱粉粒の分解率を 100 とした時の割合であらわす。マメ類澱粉粒の酵素による分解性は、トウモロコシ澱粉粒を 100 としたとき、さつきみどり菜豆澱粉粒が 3 時間反応で 78.0%、24 時間反応で 90.7% と比較的高い分解性を示した。その他のものは、3 時間、24 時間ともに 70% 以下とあまり高い分解を示さなかった。これらの結果を Table 2 の結果と比較して考えると、24 時間の反応で比較的高い分解の高かったさつきみどり菜豆澱粉粒は、サツマイモと同程度の分解性を示し、分解性の低かった衣笠菜豆、赤花鵲豆、つるなし菜豆、平英尺五寸菜豆の澱粉粒は、レンコンやギンナンと同程度の分解性を示した。また、横沢²⁷⁾はエンドウの澱粉について研究を行い、その澱粉粒は、ブタの膵臓アミラーゼによって消化されやすく、小麦澱粉粒と同程度の分解を示すと述べている。われわれの Table 2 の結果からも明らかなように、小麦の澱粉粒はトウモロコシ澱粉粒と同程度かそれよりも高い分解性を示すから、横沢²⁷⁾の結果とわれわれの結果ではくい違うことになるが、これは酵素反応条件および用いた豆の個体差ならびに栽培

Fig. 4. Scanning electron photomicrographs (SEM) of starch granules of 'Matsumidori-saito' (*Phaseolus vulgaris*).

a, starch granules attacked *in vitro* by pancreatin (percent degradation, 60.7); b, starch granules in ungerminated cotyledon dissected longitudinally; c, starch granules in longitudinally dissected cotyledon after germination for 7 days.

a, $\times 3,000$; b, $\times 1,000$; c, $\times 1,000$.

Fig. 5. SEM of starch granules in peanuts (*Arachis hypogaea*) cotyledon dissected longitudinally.

a and b, starch granules of ungerminated peanuts; c and d, starch granules in cotyledon after germination for 7 days.

a, $\times 1,000$; b, $\times 4,000$; c, $\times 2,000$; d, $\times 4,000$.

Fig. 6. SEM of starch granules of azuki beans (*Vigna angularis*).

a and b, starch granules attacked *in vitro* by pancreatin (percent degradation, 28.1); c and d, starch granules in ungerminated cotyledon dissected longitudinally; e and f, starch granules in longitudinally dissected cotyledon after germination for 7 days.

a, $\times 1,000$; b, $\times 2,000$; c, $\times 1,000$; d, $\times 2,000$; e, $\times 1,000$; f, $\times 2,000$.

条件の差によるものと考えられる。

2. マメ類澱粉粒の SEM による観察

in vitro で酵素作用の後残っている澱粉粒および発芽前、発芽後の子葉部を凍結乾燥したものの切片について SEM 観察を行った。Fig. 4 a は *in vitro* で 24 時間反応後の松みどり菜豆の澱粉粒である。トウモロコシ澱粉粒のようにはっきりはしていないが、粒内部の層状構造がみえるものもある。Fig. 4 b, 4 c は松みどり菜豆の未発芽種子および発芽 7 日目の種子に含まれる澱粉粒で、発芽前にはなめらかな表面をしていたものが、発芽によって表面が変化していくのがわかる。この様子は Silva

ら²⁸⁾によるペニバナインゲンの発芽中の SEM 観察と非常によく似ている。彼らはペニバナインゲンの 0, 2, 4, 8, 10 日間の発芽中の澱粉粒を SEM 観察し、ペニバナインゲンの子葉中の澱粉粒は 8 日間の発芽のあとで、こわれていくのがはっきり見え、10 日ほどでその粒はスポンジ状になって破片になりはじめたと述べている。松みどり菜豆の発芽 7 日目の表面のこわれ方 (Fig. 4 c) はペニバナインゲンの 4 日目のこわれ方と似ており、また 10 日目のスポンジ状のこわれ方は、われわれの観察した発芽 7 日目の落花生のこわれ方とよく似ている (Fig. 5 c, 5 d)。今回、われわれは発芽前と発芽 7 日目の種子の子

Table 3. Contents of water and starch of several legumes and oil seeds and relative susceptibility of starch granules of several legumes to pancreatin.

Scientific name	Common name or cultivar name	Contents		Starch-granule susceptibility*	
		Water(%)	Starch(%)	3 hr	24 hr
<i>Arachis hypogaea</i>	Peanuts	5.7	5.1		
<i>Vicia faba</i>	Broad bean	12.6	32.9	68	75
<i>Pisum sativum</i> var. <i>arvense</i>	{ 'Mi-endo'	11.7	41.2	48	72
	{ 'Saya-endo'	11.3	38.7	50	73
<i>Phaseolus vulgaris</i>	{ 'Hirazaya-shakugosun-saito'	11.6	35.1	38	49
	{ 'Nagauzura-saito'	11.5	35.5	50	57
	{ 'Kinugasa-saito'	11.3	32.5	34	51
	{ 'Matsumidori-saito'	10.6	38.8	58	67
	{ 'Tsurunashi-saito'	11.8	39.5	39	50
	{ 'Satsukimidori-saito'	—	—	78	91
	{ 'Satsukimame'	11.1	33.6	—	—
<i>Vigna sesquipedalis</i>	{ 'Azuki-sasage'	11.0	39.4	46	57
	{ 'Sanzyaku-sasage'	10.5	33.5	53	67
<i>Vigna angularis</i>	{ Azuki	10.2	40.7	40	67
	{ 'Tanba-dainagon-azuki'	12.2	43.4	—	—
<i>Dolichos lablab</i>	'Akabana-kasasagimame'	—	—	36	50
<i>Glycine max</i>	{ 'Kuro-daizu'	10.2	1.3	—	—
	{ 'Tamanishiki-daizu'	10.1	0.8	—	—
	{ 'Wase-edamame'	8.7	1.4	—	—
	{ 'Nakate-edamame'	9.7	0.9	—	—

* Data were expressed on the basis of a relative percentage of commercial normal corn control enzyme degradation determined as a percentage glucose equivalent.

葉切片の SEM 観察のみを行ったが、個々のマメについてその発芽過程を追って SEM 観察を行えば、Silva らが観察したようなこわれ方、すなわち、松みどり菜豆の発芽をさらに進めれば、スポンジ状のこわれ方が見えたかもしれない。Fig. 6 a, 6 b は *in vitro* で 3 時間反応後の小豆澱粉粒である。松みどり菜豆澱粉粒にみられたと同じような層がみられる。今回、ここで示した *in vitro* での松みどり菜豆および小豆澱粉粒にみられたようなこわれ方や層は他のほとんどのマメ類の澱粉粒においても観察できた。小豆の発芽前および発芽 7 日目の子葉中の澱粉粒を Fig. 6 c, d および Fig. 6 e, f に示す。この結果、発芽前には細胞の中になめらかな表面をしておさまっていたものが、発芽によって粒がこわれていき、トウモロコシ澱粉粒と同じような穴をあけてこわれていく様子が観察できた。

要 約

1) 一般に穀類（地上）澱粉粒の方が地下澱粉粒よりも酵素により分解されやすいといえるが、地上澱粉にも、バナナ、高アミローストウモロコシ、ギンナンの澱粉粒のようにパンクレアチンで分解されにくい例外があり、地下澱粉にもサトイモの澱粉粒のように分解されやすい例外のあることがわかった。

2) マメ澱粉粒の *in vitro* での分解性は、さつきみどり菜豆澱粉粒が比較的高い分解性を示したが、その他のマメ澱粉粒は高い分解性を示さなかった。また、分解後残った澱粉粒の SEM 観察の結果、マメ類の澱粉粒はトウモロコシ澱粉粒のように穴があいてこわれる様子を示さなかったが、トウモロコシの場合と同様、粒内部の層状構造が認められた。

3) マメ類の澱粉含量は、大豆で 1% 前後、落花生で 5% 前後、その他のマメ類は 30~45% 前後であった。

4) 発芽前および発芽7日目の子葉切片のSEM観察の結果, 7日間の発芽により細胞中で澱粉粒のつまり方がいく分少なくなり, 表面に変化が認められたが, トウモロコシの発芽の時にみられるような穴や層は, 小豆および落花生を除いてみられなかった。

本研究の遂行に当り, 研究費の一部は, 文部省科学研究助成金によった。また, パナナのエチレンガス処理にご協力下さった大阪府立大学農学部園芸学科 緒方邦安教授と南出隆久博士ならびにトウモロコシ澱粉粒あるいは高アミローストウモロコシ澱粉粒の入手にご援助いただいた三輪泰造博士(日本食品化工(株))と渡邊弘明氏(敷島スターチ(株))に深謝します。

文 献

- 1) H. FUWA, M. NAKAJIMA, A. HAMADA and D. V. GLOVER: *Cereal Chem.*, **54**, 230(1977).
- 2) D. GALLANT, A. DERRIEN, A. AUMAITRE and A. GUILBOT: *Stärke*, **25**, 56(1973).
- 3) V. RASPER, G. PERRY and C. L. DUTSCHAEVER: *Inst. Can. Sci. Technol. J.*, **7**, 166(1974).
- 4) H. FUWA, D. V. GLOVER, Y. SUGIMOTO and M. TANAKA: *Stärke*, **30**, 186(1978).
- 5) H. FUWA, D. V. GLOVER, Y. SUGIMOTO, R. NISHIMURA and M. TANAKA: *Stärke*, **30**, 367(1978).
- 6) H. FUWA, D. V. GLOVER, Y. SUGIMOTO and M. TANAKA: *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **24**, 437(1978).
- 7) H. FUWA, Y. SUGIMOTO, T. TAKAYA and Z. NIKUNI: *Carbohydr. Res.*, **70**, 233(1979).
- 8) 不破英次: アミラーゼシンポジウム, **9**, 23(1975).
- 9) T. TAKAYA, Y. SUGIMOTO, E. IMO, Y. TOMINAGA, N. NAKATANI and H. FUWA: *Stärke*, **30**, 289(1978).
- 10) 杉本温美, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **22**, 103(1975).
- 11) 杉本温美, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **23**, 42(1976).
- 12) T. J. SCHOCH: in "Method in Enzymology III" (S. P. Colowick and N. K. Kaplan eds.), Academic Press Inc., p. 5(1954).
- 13) 藤本滋生, 最勝寺邦子, 永浜伴紀, 蟹江松雄: 澱粉科学, **24**, 31(1977).
- 14) 二國二郎編: 「デンプンハンドブック」, 朝倉書店, p. 198(1961).
- 15) 遠藤慶子, 杉本温美, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **25**, 24(1978).
- 16) F. H. DEKKER and G. N. RICHARDS: *J. Sci. Food Agric.*, **22**, 441(1971).
- 17) 大橋一二, 水野博之, 五島義昭: 日本栄養食糧学会第30回総会講演要旨集, p. 112(1976).
- 18) 藤本滋生, 下大蘭浩二, 永浜伴紀, 蟹江松雄: 澱粉科学, **24**, 36(1977).
- 19) S. E. YAN and H. K. Ho: *J. Chin. Chem. Soc. Taipei*, **5**, 71(1958).
- 20) S. SINGH, G. G. SANWAL: *Phytochemistry*, **14**, 113(1975); **15**, 1447(1976).
- 21) W. MAO: Ph. D. Thesis, Cornell Univ. (1974).
- 22) P. SORNSRIVICHAI: Ph. D. Thesis, Univ. of California(1976).
- 23) 貝沼圭二, 山本和夫, 鈴木繁男, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **25**, 3(1978).
- 24) 川村信一郎, 多田 稔, 笠井 忠: 昭和53年度澱粉学会講演要旨, 澱粉科学, **25**, 211(1978).
- 25) 佐々木周郁: 農化, **5**, 491(1929).
- 26) S. HIZUKURI, M. FUJII and Z. NIKUNI: *Nature*, **192**, 239(1961).
- 27) 横沢一二: 農産加工技術研究会誌, **2**, 66(1955).
- 28) H. C. SILVA and B. S. LUH: *J. Food Sci.*, **43**, 1405(1978).