希少澱粉の性質 —ハヤトウリおよび花生姜の澱粉の性質—

(2013 年 8 月 27 日受付；2013 年 11 月 29 日採択)

菊田千景^{1,2,*}, 杉本温美², 森田大地³, 樋口 寿²,
岩城啓子⁴, 川西 (朝岡) 正子³

¹大阪樟蔭女子大学学芸学部 (577-8550 大阪府東大阪市菱屋西 4-2-26)

²元近畿大学農学部

³近畿大学農学部 (631-8505 奈良県奈良市中町 3327-204)

⁴畿央大学健康科学部 (635-0832 奈良県北葛城郡広陵町馬見中 4-2-2)

Properties of Rare Kinds of Starches: Chayote Starch and Ginger Lily Starch

Chikage Kikuta,^{1,2,*} Yoshimi Sugimoto,² Daichi Morita,² Hisa Higuchi,²
Keiko Iwaki³ and Masako Kawanishi-Asaoka²

¹Faculty of Liberal Art, Osaka Shoin Women's University (4-2-26 Hishiyaniishi, Higashi-Osaka, Osaka 577-8550, Japan)

²Formerly Faculty of Agriculture, Kinki University

³Faculty of Agriculture, Kinki University (3327-204 Nakamachi, Nara, Nara 631-8505, Japan)

⁴Faculty of Health Science, Kio University (4-2-2 Umaminaka, Koryo-cho, Kitakatsuragi-gun, Nara 635-0832, Japan)

要旨：希少な澱粉として、ハヤトウリ (実大, 実小, 芽) ならびに花生姜 (地下茎, 根) より澱粉を精製し、ハヤトウリは南瓜, 花生姜は 4 種類の生姜の澱粉と性質を比較した。FE-SEM による観察では、ハヤトウリ澱粉は球形, 花生姜澱粉は楕円形や先端が突出しているものなど様々な形状がみられ、粒の厚みは薄かった。平均粒径はハヤトウリ 10.9~19.0 μm , 花生姜 26.7~34.3 μm , X 線回折図はともに B 型であった。ハヤトウリ澱粉の膨潤度は南瓜澱粉に比べて非常に高かった。花生姜澱粉の溶解度ならびに膨潤度は、70, 80°C で 4 種類の生姜澱粉より高くなった。DSC ならびに RVA の結果より、ハヤトウリ澱粉は糊化温度が低く澱粉糊は老化しにくいこと、花生姜澱粉は糊化温度が高く澱粉糊は老化しやすいことが明らかとなった。酵素による消化性は、ハヤトウリ澱粉は高く花生姜澱粉は低かった。酵素分解残渣の FE-SEM 観察の結果、ハヤトウリ澱粉では粒表面に広がる浸食や 100~200 nm の突起、紐状の起伏が連なる分解痕が観察された。花生姜澱粉は、分解初期には粒表面の引っ掻いたような分解痕や表面の凹凸部分の浸食、分解が進むと粒の表面の一部が剥がれて露出した起伏状の分解面に 50~100 nm 前後の無数の細かい突起が観察された。

キーワード：ハヤトウリ澱粉, 花生姜澱粉, FE-SEM**

ハヤトウリ (英名, Chayote; 学名, *Sechium edule*) は中央アメリカ, 西インド諸島などの熱帯アメリカ原産のウリ科のつる性植物であり、植物およびその果実の呼称である。1916 年頃に最初に鹿児島に持ち込まれ栽培が広まったため、隼人 (古代日本において、薩摩・大隅、現在の鹿児島県に居住した人々のこと) が利用した瓜ということでハヤトウリという名前になったといわれる。日本では関東以西の特に暖地で栽培されることが多い。ハヤトウリは、根から出た蔓に洋ナシ形の果実を多数つける。果実は白色と緑色の品種があり、どちらも味は淡泊でくせがない。白

のハヤトウリを薄く切りヨウ素で染めると青く染まったことから澱粉が含まれていることが推定された。

花生姜 (英名, Ginger lily; 学名, *Zingiber zerumbet* Smith) はショウガ科の植物で、観賞用として花と香りを楽しむ植物である。熱帯から亜熱帯地方で広くみられ、日本国内の温暖な地域でも栽培されている。根茎部は通常の食用ショウガと似ているが非常に苦い。食用の生姜と同じく花生姜の地下茎の切片のヨウ素染色性を確認しており、澱粉が存在していると推定される。

ハヤトウリの果実および花生姜の地下茎に澱粉粒が存在

*連絡先 (Tel. 06-6723-8181, E-mail: kikuta.chikage@osaka-shoin.ac.jp)

**Key words: Chayote Starch, Ginger Lily Starch, FE-SEM

FE-SEM, field emission scanning electron microscope; B.V., Blue Value; DSC, differential scanning calorimetry; T_0 , onset temperature; T_p , peak temperature; T_c , conclusion temperature; RVA, rapid visco analyzer.

することについての報告はほとんどみられない。知名度に加えてこれらの植物体の澱粉は、含有率も低く量的にも希少である。

希少な澱粉についてはこれまでに、藤本ら¹⁻³⁾や杉本ら⁴⁻⁶⁾により多くの研究がなされている。希少な澱粉の性質を明らかにすることで、植物体自体の利用価値を見出すことや栽培地域の産業の賦活に貢献しうる知見が得られている他、量的に希少な澱粉についても、ごくわずかであってもその存在が植物体の食味や加工に及ぼす影響を知るための知見となることが報告されており、研究の意義は深い。そこで本研究では、希少澱粉であるハヤトウリ澱粉ならびに花生姜澱粉の性質を明らかにするために、ハヤトウリは同じウリ科で果菜類の南瓜、花生姜は4種類の食用の生姜の澱粉を対照として、走査電子顕微鏡による観察を中心に比較した。

1. 実験材料および方法

1) 実験材料

ハヤトウリは、和歌山県の日高で収穫されたものを用いた。ハヤトウリは宿根で毎年同じ株から芽が出て、同じ根から出た蔓が次々に伸びて実を付ける。霜が降りると蔓は枯れてしまうため、霜が降りる前に収穫し約5カ月間保存したものを試料とした。収穫した実の大きさに差があったため、ハヤトウリの大きい実 (平均 500 g) とハヤトウリの小さい実 (平均 180 g)、さらに芽が出たハヤトウリの実に分けた (以下、それぞれハヤトウリ (大), (小), (芽))。対照としてハヤトウリと同じウリ科の果菜類である熊本県産の黒川南瓜 (以下、南瓜) を用いた。

花生姜は和歌山県の橋本産で、地下茎 (以下、花生姜 (地下茎)) と根 (以下、花生姜 (根)) に分けた。対照の食用生姜として熊本県産の八郎生姜 (以下、生姜 (熊本)), 高知県産生姜 (以下、生姜 (高知)), 英国リミングトン産生姜 (以下、生姜 (リミングトン)), 英国ワイト島生姜 (以下、生姜 (ワイト)) の4種類を用いた。

2) 澱粉の調製方法

各試料の皮を除いてカッターナイフで小片にまで切断した後、3~4倍量の蒸留水を加えてミキサーにより粉碎し、ナイロクロスで濾して静置した。上澄み液を除去した後、沈殿物に蒸留水を加えて200メッシュの篩 (篩目の大きさ75 µm) に通し静置した。上澄み液を除去した後、蒸留水を加えてマグネチックスターラーで攪拌、静置の操作を計10回繰り返した。その後、澱粉をシャーレに広げて自然乾燥し、100メッシュの篩 (篩目の大きさ150 µm) を通した。

2. 実験方法

走査電子顕微鏡 (FE-SEM) による観察には、超高分解

能電界放出形走査電子顕微鏡 (以下 FE-SEM, S-4800 形; 株式会社日立製作所, 東京) を用い、精製した澱粉粒ならびにパンクレアチン (動物性パンクレアチン由来, アミラーゼ活性, 2,800 U/g 以上; 天野エンザイム(株), 名古屋) により消化反応を行った澱粉粒の残渣を観察した。

観察用試料は、両面テープを試料台に貼り付け、その上に澱粉粒を振りかけて固定した。これらをオスミウムコーター (HPC-30 形ホローカソード CVD, 株式会社真空デバイス, 水戸) によりオスミウムを膜厚 10 nm で蒸着した後、FE-SEM を用いて加速電圧 2 kV, 電流 10 µA で観察した。

澱粉粒の粒度分布は、蒸留水を溶媒としてレーザー回折式粒度分布測定装置 (SALD-2200, 島津製作所, 京都) を用いて、レーザー回折・散乱法にて赤色半導体レーザー (波長 680 nm) で測定を行った。粒子径は体積基準で表した粒子量 (%) の積算分布から、25, 50, 75% の粒子径を示し、重量%で 50% 通過時の大きさを平均粒径とした。

澱粉のヨウ素呈色は鈴木らの方法⁷⁾に従い測定した。

膨潤度および溶解度は貝沼ら⁸⁾の方法に準じ 60, 70, 80 °C で測定した。

澱粉の X 線回折図, ラピッドビスコアナライザー (以下 RVA, RVA-Super 3; Newport Scientific Pty., Ltd., Warriewood) による加熱糊化時の粘性特性値ならびに示差走査熱量計 (以下 DSC, 株式会社島津製作所製; DSC-60, 島津製作所, 京都) による糊化吸熱特性値の測定は、既報^{9,10)}に示す方法に従い測定した。

In vitro での澱粉粒のパンクレアチンによる消化性は Fuwa らの方法¹¹⁾に従い測定した。

3. 結果および考察

Fig. 1 に単離した澱粉の FE-SEM 図を示す。ハヤトウリ (大), (小), (芽) (Fig. 1(a)~(c)) は球形, 南瓜 (Fig. 1(d)) は粒に凹凸のある球形であった。花生姜 (地下茎) (Fig. 1(e)~(g)) は、澱粉の厚みがうすく様々な形状のもの (くびれのあるものなど) がみられ、複雑な形状であることが明らかとなった。花生姜 (根) (Fig. 1(h)) の澱粉にも、一部くびれのある粒など複雑な形状のものがみられた。生姜 (熊本, 高知, リミングトン, ワイト) (Fig. 1(i)~(l)) の澱粉も、厚みがうすく花生姜の澱粉に似た形であった。

Table 1 に各試料の青果重量, 得られた澱粉の重量, 澱粉の水分含量, 平均粒径ならびに X 線回折パターンを示す。ハヤトウリ, 花生姜ならびに生姜に含まれる澱粉は少なく、わずかな収量であった。生姜については、杉本らの報告で 1.1 kg の青果重量より 16.4 g の澱粉を回収したことが示されており、本研究における澱粉の収量は妥当な量であったと考えられる。水分含量は、澱粉の収量が少ないため測定できなかったハヤトウリ (小) ならびに (芽) と花生姜 (根) を除き、13.3~17.3% であった。4 種類の生姜は、日本産のものが外国産のものより水分含量が高かった。ハヤトウリ (大) の平均粒径は、ハヤトウリ (小) よ

Fig. 1. Scanning electron micrographs of ten types of starch granules.

(a) Chayote (Large), (b) Chayote (Small), (c) Chayote (Sprout), (d) Pumpkin, (e)~(g) Ginger lily (Stem), (h) Ginger lily (Root), (i) Ginger (Kumamoto), (j) Ginger (Kochi), (k) Ginger (Lymington), (l) Ginger (Wight).

Table 1. The fresh weight, isolated starch weight, moisture content, average granular size and X-ray diffraction patterns of ten types of starches.

	Fresh weight (kg)	Isolated starch weight (g)	Moisture content ^{a)} (%)	Average granular size ^{b)} (μm)	X-ray diffraction pattern ^{d)}
Chayote (Large)	1.50	10	15.3 ± 0.03	10.9 ± 0.55	B
Chayote (Small)	1.08	1	—	18.9 ± 1.74	—
Chayote (Sprout)	1.14	1	—	—	—
Pumpkin	1.02	130	17.3 ± 0.08	15.6 ± 0.48	B
Ginger lily (Stem)	1.46	40	14.9 ± 0.13	34.3 ± 1.13	B
Ginger lily (Root)	0.26	0.5	—	26.6 ^{c)}	—
Ginger (Kumamoto)	0.48	8	15.5 ± 0.12	12.6 ± 0.23	C
Ginger (Kochi)	0.98	19	15.5 ± 0.08	13.3 ± 0.03	C
Ginger (Lymington)	0.39	13	13.3 ± 0.09	13.7 ± 0.08	Ca
Ginger (Wight)	0.39	7	13.5 ± 0.04	14.9 ± 0.50	A

^{a)}Data are expressed as mean values ± standard deviation ($n = 3$). ^{b)}Data are expressed as mean values ± standard deviation ($n = 5$). ^{c)}Data are expressed as mean values ($n = 2$). ^{d)}Experiments were performed in duplicate.

り小さく、さらに同じウリ科の果菜類である南瓜よりも小さかった。これまでに栗やジャガイモについて、果実や塊茎が生長により大きくなるにつれ澱粉粒径も大きくなることが報告^{12,13)}されているが、本研究で用いたハヤトウリ (大) は、ハヤトウリ (小) と比べて実が大きい平均粒径は小さく、栗やジャガイモと逆の結果となった。花生姜 (地下茎) の平均粒径は花生姜 (根) よりも大きく、4種類の生姜と比べて約2~3倍の大きさであった。また、表には示していないが花生姜の澱粉粒径は、地下茎、根共に4種類の生姜の粒径よりも広範囲に分布していた。ハヤトウリ (大)、南瓜、花生姜 (地下茎) のX線回折パターンはB型、生姜 (熊本)、生姜 (高知)、生姜 (リミングトン) はC型 (Ca型)、生姜 (ワイト) はA型を示した。ハヤトウリは同じウリ科の果菜類である南瓜と同様の回折パターンを示した。花生姜は4種類の生姜と異なる回折パターンで

あった。生姜澱粉のX線回折パターンについては、杉本ら⁶⁾はC型、Reyesら¹⁴⁾はA型であると報告しているが、本研究で使用了4種類の生姜については、X線回折図形の差異が品種や栽培・収穫地の気温などの生育条件の違い^{15,16)}によるものであるかの推定はできなかった。

Fig. 2にヨウ素・澱粉複合体の吸収曲線より得られた最大吸収波長 ($\lambda_{\max}$) を縦軸に、680 nmでのOD値 (B.V.) を横軸に取り作成した散布図を示した。ハヤトウリ (大、小、芽) と南瓜の澱粉は、B.V. が高くなれば $\lambda_{\max}$ が高くなる正の相関性がみられた。花生姜 (地下茎、根) と4種類の生姜は、B.V. が高いものほど $\lambda_{\max}$ が低い負の相関性がみられた。これらの澱粉の微細構造の推定には、今後のさらなる検討が必要である。

Table 2に溶解度・膨潤度測定の結果を示す。ハヤトウリ (大) の溶解度は、60°Cでは他の澱粉よりも高いが、70

Fig. 2. Scatter plot on B.V. and $\lambda_{\max}$ of ten types of starch granules.

◆, Chayote (Large); ◇, Chayote (Small); ◆, Chayote (Sprout); ×, Pumpkin; ●, Ginger lily (Stem); ○, Ginger lily (Root); ■, Ginger (Kumamoto); ■, Ginger (Kochi); ■, Ginger (Lymington); □, Ginger (Wight). Data are mean values in triplicate experiments.

℃ではほぼ横ばいで 60℃以降急激に上昇した南瓜よりも低くなった。80℃では上澄みと沈殿物に分離しなかったため測定ができなかった。膨潤度は、南瓜やその他の澱粉に比べて非常に高かった。花生姜（地下茎）の溶解度は、60℃では4種類の生姜と同様に低かったが、70、80℃と昇温に伴い4種類の生姜と比べて大幅に上昇し、高値を示した。膨潤度は60℃では、4種類の生姜と同程度であったが、70℃ではわずかに高く、80℃では他の生姜澱粉よりも3~7倍も高い値となった。生姜澱粉はいずれも、溶解度ならびに膨潤度が低く、品種や生育環境の違いによる影響を受けにくいことが示唆された。

Table 3 に RVA（無水換算で 8% 濃度）による粘性特性値を示す。粘度上昇開始温度は、ハヤトウリ（大）と南瓜は、粘度上昇開始温度が4種類の中では低く、高いブレークダウンと低いセットバックを持ち、類似した粘性特性であった。ハヤトウリ（大）は、膨潤度（Table 2）が高く澱粉粒が膨潤しやすく糊の粘性が高くなりやすいため、RVA の最高粘度も高くなったと考えられる。花生姜（地下茎）と生姜（高知）は、ブレークダウンが低くセットバックが高かった。これらの粘性特性の結果より、ハヤトウリ（大）の澱粉は加熱攪拌時の粒の崩壊の程度が大きく糊は老化しにくいこと、花生姜（地下茎）の澱粉は粒の崩

Table 3. Pasting properties by RVA of four types of starch granules.

	Pasting properties (8% suspension)			
	Viscosity rising temperature (°C)	Peak viscosity (RVU)	Break down (RVU)	Setback (RVU)
Chayote (Large) ^{a)}	60.9	546	390	48
Pumpkin ^{b)}	64.7 ± 0.0	383 ± 4.3	237 ± 3.7	61 ± 0.6
Ginger lily (Stem) ^{b)}	74.0 ± 0.0	358 ± 3.6	65 ± 1.5	197 ± 3.4
Ginger (Kochi) ^{b)}	86.7 ± 0.1	179 ± 1.0	57 ± 5.1	125 ± 5.8

^{a)}Experiments were performed one time. ^{b)}Data are expressed as mean values ± standard deviation ($n = 3$).

壊は少ないものの糊は老化しやすいことが明らかとなった。

Table 4 に DSC 測定により求めた糊化特性を示す。ハヤトウリ（大、小、芽）は、南瓜と比べると糊化開始温度 (T_0) が低くて T_0 と終了温度 (T_c) の差が大きく、それらはハヤトウリ（芽）、（小）、（大）の順に顕著であった。花生姜（地下茎）と花生姜（根）の糊化温度は、花生姜（根）がやや低いものの類似しており、生姜（熊本）とも似ていた。しかし、生姜（熊本）の糊化熱量 (ΔH) は極めて低かった。生姜（熊本）は、本研究で検討したその他の性質には特異性はみられなかったことから、この点については、今後、RVA 測定など物理化学的性質についての検討を行い考察する必要があると考えられる。その他の3種類の生姜は、花生姜（地下茎）と比べて T_0 と T_c の差が大きく、中でも生姜（リミントン）は、 T_0 が花生姜（地下茎）と同程度の低さで、 T_c は 90℃ を超える高さであった。生姜（ワイト）の T_0 、糊化ピーク温度 (T_p)、 T_c は他の生姜類と比べて特に高く、 T_0 は花生姜（地下茎）の T_c より高温であった。

Fig. 3 に酵素により3時間ならびに24時間反応した際の各種澱粉の消化性を示した。ハヤトウリ（大）は3時間反応で、一般的に酵素消化性が高いといわれるトウモロコシ澱粉の約 50% の消化性しか示さなかったが、反応時間が24時間にまで及ぶとトウモロコシよりさらに高く、ほぼ 100% 消化された。また、同じウリ科の果菜類の南瓜より分解率が高かった。花生姜（地下茎）はトウモロコシより分解率が低かった。4種類の生姜と比べると3時間反応

Table 2. Solubility and swelling power of seven types of starch granules.

	Solubility (%)			Swelling power		
	60 °C	70 °C	80 °C	60 °C	70 °C	80 °C
Chayote (Large)	8.6 ± 0.33	10.0 ± 0.78	—	46.6 ± 2.80	148.7 ± 4.44	—
Pumpkin	2.9 ± 0.12	12.9 ± 0.39	23.9 ± 1.08	8.0 ± 0.46	29.7 ± 0.58	48.4 ± 1.77
Ginger lily (Stem)	0.0 ± 0.00	6.6 ± 0.45	19.6 ± 0.44	3.6 ± 0.04	7.5 ± 0.12	23.0 ± 0.78
Ginger (Kumamoto)	1.0 ± 0.08	2.2 ± 0.04	6.0 ± 0.50	2.8 ± 0.05	4.2 ± 0.73	7.6 ± 0.18
Ginger (Kochi)	0.6 ± 0.12	1.6 ± 0.02	3.1 ± 0.12	2.7 ± 0.19	3.1 ± 0.05	4.8 ± 0.34
Ginger (Lymington)	0.7 ± 0.08	0.7 ± 0.01	5.3 ± 0.16	2.7 ± 0.12	3.9 ± 0.58	6.2 ± 0.04
Ginger (Wight)	0.6 ± 0.10	0.6 ± 0.04	1.5 ± 0.05	2.9 ± 0.07	3.7 ± 0.31	3.4 ± 0.21

Data are expressed as mean values ± standard deviation ($n = 3$).

Table 4. DSC characteristics of ten types of starch granules.

	$T_o^{1)}$ (°C)	$T_p^{2)}$ (°C)	$T_c^{3)}$ (°C)	$\Delta H^{4)}$ (J/g)
Chayote (Large)	56.7 ± 0.1	60.3 ± 0.1	66.6 ± 0.3	11.5 ± 0.2
Chayote (Small)	56.1 ± 0.2	61.0 ± 0.1	68.8 ± 0.6	—
Chayote (Sprout)	58.9 ± 0.7	65.1 ± 0.1	73.1 ± 0.2	—
Pumpkin	60.4 ± 0.2	63.2 ± 0.1	67.8 ± 0.1	10.9 ± 0.2
Ginger lily (Stem)	66.9 ± 0.4	70.9 ± 0.2	75.3 ± 1.0	12.5 ± 0.3
Ginger lily (Root)	65.8 ± 0.2	69.3 ± 0.2	73.2 ± 0.3	—
Ginger (Kumamoto)	65.6 ± 0.1	70.3 ± 0.4	74.7 ± 0.4	1.9 ± 0.1
Ginger (Kochi)	78.7 ± 0.3	84.0 ± 0.3	96.2 ± 0.8	8.1 ± 0.2
Ginger (Lymington)	65.7 ± 0.2	81.3 ± 0.2	90.7 ± 0.4	13.1 ± 0.3
Ginger (Wight)	80.8 ± 0.2	85.8 ± 0.2	96.2 ± 0.9	12.1 ± 0.6

¹⁾Onset temperature. ²⁾Peak temperature. ³⁾Conclusion temperature.⁴⁾Gelatinization enthalpy of starch. Data are expressed as mean values ± standard deviation ($n = 3$). **Fig. 3.** Time courses for the degradation of eight types of starch granules by pancreatin.

For duration of reaction, refer to symbols. ■, 3 h; □, 24 h. Data are mean values in duplicate experiments.

Fig. 4. Scanning electron micrographs of seven types of starch granules attacked by pancreatin.

(a) Chayote (Large), 23.6% degradation; (b) Chayote (Large), 97.0% degradation; (c) Pumpkin, 13.7% degradation; (d) Pumpkin, 79.8% degradation; (e) Ginger lily (Stem), 10.9% degradation; (f)~(i) Ginger lily (Stem), 57.7% degradation; (j) Ginger (Kumamoto), 19.3% degradation; (k) Ginger (Kumamoto), 87.3% degradation; (l) Ginger (Kochi), 28.2% degradation; (m) Ginger (Kochi), 79.6% degradation; (n) Ginger (Lymington), 14.2% degradation; (o) Ginger (Lymington), 44.2% degradation, (p), (q) Ginger (Wight), 46.6% degradation.

では花生姜（地下茎）が最も低いが、24時間反応では、生姜（熊本）ならびに生姜（高知）より低いものの、生姜（リミングトン）ならびに生姜（ワイト）より高値であった。国産の生姜（熊本）と生姜（高知）は、3時間反応ではトウモロコシより低いが、24時間反応時間では同程度

まで消化された。杉本ら⁶⁾は、国産の生姜の澱粉について、パンクレアチンによる消化性が3時間反応で約15%、24時間反応で54%と低いことを示しているが、本研究では外国産の生姜（リミングトン）ならびに生姜（ワイト）がその結果と近い傾向にあった。X線回折図と酵素消化性と

の関連では、一部例外があるものの一般的に酵素消化性の低いものはB型、高いものはA型、中間のものはC型を示すことが報告¹⁷⁾されている。しかし、本研究では逆の傾向がみられ、X線回折でB型を示したハヤトウリが最も消化性が高く、Ca型の生姜(リミングトン)ならびにA型の生姜(ワイト)の消化性は低かった。このことは、先に述べた通りハヤトウリ澱粉は、生姜(リミングトン)ならびに生姜(ワイト)澱粉よりも低い糊化温度と $\lambda_{\max}$ 、高い溶解度・膨潤度を持つことが関連しているのではないかと考えられる。すなわち、両者の澱粉の構造上の差異、つまり澱粉を構成する層状構造の充填具合や澱粉粒表面の細孔、粒内部の無定形溝や空洞の構造の違いにより、澱粉粒の吸水、膨潤力や澱粉分解酵素の浸透性が異なった^{10,18)}ことによる結果ではないかと考えられる。

Fig. 4に酵素分解後に残った澱粉粒をFE-SEMで観察した図を示す。ハヤトウリ(大)では、ひび割れのように粒中心部へと溝状の浸食が進む様子(Fig. 4(a))や粒表面の紐状の起伏が連なる状態が観察された(Fig. 4(b))。南瓜は粒の凹凸部分から分解が段丘状に進み(Fig. 4(c))、さらに分解が進むと(Fig. 4(d))、小さな穴が無数にみられる海綿状となった。花生姜(地下茎)は、分解の初期(3時間)(Fig. 4(e))には粒の表面を引っ掻いたように削られた分解痕や表面の凹凸部分の浸食がみられた。さらに分解が進むと、粒の表面の一部が剥がれた状態が観察された(Fig. 4(f)のA)。Fig. 4(f)Aを拡大すると(Fig. 4(g))、起伏のある分解面の隆起部分が細い紐のように放射線状に伸び、その間に挟まれた沈降箇所50~100 nm前後の無数の細かい突起が観察された。このような突起はアピオス澱粉の酵素分解残渣¹⁹⁾でも観察されている。これらの突起は、Baldwinら¹⁹⁾が原子間力顕微鏡(AFM)ならびSEMを用いて報告した、ジャガイモ澱粉および小麦澱粉のブロックレットと形状や大きさが類似していた。また、粒の縁には、Fig. 4(h)に示すような1~1.5 μm の突起状に分解された表面の凹凸が観察された(Fig. 4(h)のBを拡大したFig. 4(i))。生姜(熊本)は、粒の縁から分解が進み、粒の表面は海綿状であった(Fig. 4(j))。分解がさらに進むと(Fig. 4(k))、粒全体に分解が及んでいた。Fig. 4(l), (m)は生姜(高知)の3時間、24時間反応後の分解残渣である。粒の端から分解され大きく穴が空いた様子が観察された。Fig. 4(p)とFig. 4(p)のCを拡大したFig. 4(q)は生姜(ワイト)の24時間反応後の分解残渣である。粒表面は絡まった紐のように複雑な凹凸となり、紐状部分の幅は100~200 nmであった。アピオス澱粉の酵素分解残渣でも同様に100 nm前後の幅の紐状の粒表面が観察されており、これらも先に述べた突起と同様で、Gallantら¹⁸⁾が述べている澱粉を構成するブロックレットに類似していた。

澱粉は多くの植物体に分布している。本研究で用いたハヤトウリ澱粉ならびに花生姜澱粉は一般的な澱粉ではなく、また、植物全体の重量に占める澱粉の割合は0.01~

3.00%と非常に少ない。しかし、主要な澱粉に加え希少な澱粉においてもその性質を明らかにし、また由来の異なる澱粉の性質と比較することで、澱粉の構造解明や利用価値を見出す情報となりうるものと考えられる。

文 献

- 1) 藤本滋生, 池田浩二, 菅沼俊彦, 永浜伴紀: ギンギン, スイバ, ウド, ソクズの澱粉について. 澱粉科学, **32**, 293-298 (1985).
- 2) 藤本滋生, 黒木千絵, 菅沼俊彦, 永浜伴紀: イヌムギ, カモジグサ, マカラスムギの澱粉について. 澱粉科学, **33**, 253-257 (1986).
- 3) 藤本滋生, 山中 修, 菅沼俊彦, 永浜伴紀: アサギズイセン, トウショウブ, ダンドクの澱粉について. 澱粉科学, **37**, 223-227 (1990).
- 4) 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. 澱粉科学, **43**, 179-186 (1996).
- 5) 杉本温美, 山本美千子, 阿部一博, 不破英次: 生育段階の異なるキウイフルーツ澱粉の性質について. 澱粉科学, **35**, 1-10 (1988).
- 6) 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).
- 7) 鈴木綾子, 竹田靖史, 檜作 進: タピオカ, ジャガイモ, クズ澱粉の分子構造と老化性の関係. 澱粉科学, **32**, 205-212 (1985).
- 8) 貝沼圭二, 小田恒郎, 鈴木繁男: 澱粉のリン酸誘導体に関する研究(第1報) 無水リン酸による架橋型リン酸澱粉の合成. 澱粉工誌, **14**, 24-28 (1967).
- 9) 菊田千景, 川西(朝岡) 正子, 大谷弥里, 杉本温美: 低温貯蔵が多様な特性を有するジャガイモの澱粉の理化学的特性に及ぼす影響について. 応用糖質科学, **56**, 287-293 (2009).
- 10) C. Kikuta, Y. Sugimoto, Y. Konishi, Y. Ono, M. Tanaka, K. Iwaki, S. Fujita and M. Kawanishi-Asaoka: Physicochemical and structure properties of starch isolated from *Apios Americana* Medikus. *J. Appl. Glycosci.*, **59**, 21-30 (2012).
- 11) H. Fuwa, M. Nakajima, A. Hamada and D.V. Glover: Comparative susceptibility to amylases of starches from different plant species and several single endosperm mutants and their double-mutants combinations with opaque-2 inbred Oh 43 maize. *Cereal Chem.*, **54**, 230-237 (1977).
- 12) 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).
- 13) 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).
- 14) F.G.R. Reyes, B.L. d'Appolonia, C.F. Ciacco and M.W. Montgomery: Characterization of starch from ginger root (*Zingiber officinale*). *Starch/Stärke*, **34**, 40-44 (1982).
- 15) 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).
- 16) 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).
- 17) B.O. Juliano and C.M. Perez: Crystallinity of raw rice starch granules as indexed by corrosion with hydrochloric acid and amylase. *Starch/Stärke*, **42**, 49-52 (1990).
- 18) D.J. Gallant, B. Bouchet and P.M. Baldwin: Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. *Carbohydr. Polym.*, **32**, 177-191 (1997).
- 19) P.M. Baldwin, M.C. Davies and C.D. Melia: Starch granule surface imaging using low-voltage scanning electron microscopy and atomic force microscopy. *Int. J. Biol. Macromol.*, **21**, 103-107 (1997).