甘藷澱粉の内部油分に関する研究 (第 2 報)

部位別澱粉について

藤本滋生, 永浜伴紀, 蟹江松雄

(鹿児島大学農学部農芸化学科)

昭和 45 年 6 月 1 日 受 理

Studies on the "Fat by Hydrolysis" of the Sweet Potato Starch

Part II. The Difference among Tissues

By Shigeo FUJIMOTO, Tomonori NAGAHAMA and Matsuo KANIE

*Department of Agricultural Chemistry,
Faculty of Agriculture, Kagoshima University*

Starch samples of sweet potato (Norin No. 2) were prepared from the peel, cambium, and inner-tissue of smaller (av. wt. 24 g) and larger (av. wt. 265 g) tubers, harvested at the same time, respectively. The fatty acid components of "fat by hydrolysis" and some chemical and physical properties, such as particle size, iodine coloration, Brabender viscosity and X-ray diffraction were analyzed with these six samples.

Both amylose and fatty acid contents were higher in the peel starch, and low in the inner tissue starch. Within a variety, there would exist a general tendency that, the higher the fatty acid content of starch, the larger the proportion of palmitic acid, while that of oleic acid was smaller.

It was also confirmed that there were great differences about their properties among starches prepared from different tissues of larger tubers, while these differences were small among respective starches from smaller tubers, and the cambium starch of the larger tubers resembled in many respects closely to the smaller tuber starches.

(Received June 1, 1970)

緒 言

前報⁽¹⁾において、甘藷澱粉の内部油分を構成する脂肪酸 (内部脂肪酸) をしらべ、その特徴および産地や品種などによるバラエティを見た。また内部脂肪酸は澱粉に偶然にとり込まれた不純物ではなく、脂肪酸の種類によっては選択的なとり込みも行なわれていると思われる知見を得た。

しかし、一般に調製せられる甘藷澱粉は、成熟度や性格の非常に異なる種々の粒子が混合されたものと考えられる。すなわち、ただ 1 個の塊根から採られた澱粉であっても、その中にはその塊根の肥大初期に生成された古い粒子もあれば、掘取の直前に生成されたばかりの若い粒子も含まれているはずである。さらに塊根の大きさ、

組織部位、掘取時期などの違いも澱粉の性質に影響を与える要素として考慮に入れなければならない。そこで、もしこれらの異なった性格の粒子を分別することができれば、甘藷澱粉の性質についてのより正確な知見が得られるのではないと思われる。

本報ではこの目的から、まず塊根の大きさ、およびその部位による澱粉の一般的性質の違いを比較し、さらにこれと内部脂肪との関連性をしらべたので、その結果を報告する。

実 験 方 法

1. 試料甘藷 鹿児島市吉野町の圃場にて昭和 42 年 5 月 22 日に定植し、同年 10 月 24 日に掘取った農林 2 号を用いた。栽培日数は 156 日であるが、平年にくら

べて肥育状態はやや悪く、平均塊根重量は約 200 g であった。

2. 検鏡 軟腐病に罹った甘藷塊根は、組織の細胞間結合がゆるくなり、容易に単細胞状に分離することが知られている⁽²⁾。そこでこれを利用し、適当な塊根を罹病せしめたのち、目的の組織部位をとってその細胞澱粉を検鏡した。

3. 粒度 日立光走査式粒度分布測定装置 (PSA-2 型) によった。澱粉の比重はピクノメーターによる測定値、 $d=1.50$ をとり、水を分散媒とした。測定値は、澱粉の懸濁液をセル中で攪拌して 1.5 分後に液面より深さ 6 cm までの濃度分布を測り、これを粒度に換算したものである。また平均粒径は粒度分布のヒストグラムより計算した。

4. アミログラフイー ブラベンダービスコグラフ (DC-3 型) を用いた。澱粉濃度は無水物として 6.0% で、pH を 7.0 に調整した。これを 1.5°C/分の昇 (降) 温速度で 30°C より 95°C まで温度をあげ、95°C に 10 分間保持したのち 50°C まで降温し、この間の粘度を記録した。ドラムの回転速度は 75 rpm とした。

5. X線回折 装置は理学電機社 D-3F 型機を用いた。澱粉は約 25% に含水せしめ、Cu-Ni, 30 kVp, 15 mA の条件で $2\theta=3\sim30^\circ$ の範囲を記録した。その他の諸条件は楢作ら⁽⁶⁾に準じた。

6. ヨード呈色値 試料澱粉は Schoch 法⁽¹⁾にて内部油分を除去したものを用いた。溶解は McCready ら⁽⁴⁾の方法に準じ、呈色は 50 ml 中に澱粉 2 mg, ヨード 4 mg, ヨウ化カリウム 40 mg の条件をとった。これを 1 夜放置後、日立光電光度計 (FPW-4 型) を用いて 1 cm セル, 660 mμ フィルターでの吸光度を測定した。

7. 内部脂肪酸 内部脂肪酸の抽出およびそのガスクロマトグラフィー (GLC) による定量はすべて前報⁽¹⁾に記載の方法に従った。

実験結果および考察

1. 塊根の部位による澱粉の比較および試料の調製

甘藷塊根の断面は第1図に示すような組織構造であるとされている⁽⁶⁾。山村ら⁽⁶⁾はこれを皮部、形成層部、外中心部、中心部の4部に分割してそれぞれ澱粉をとり、皮部の澱粉含量は少なく粒子も小さいことなどを報告し

第1図 甘藷塊根断面図⁽⁶⁾

第1表 塊根部位による澱粉の収率および平均粒径

部位*	1	2	3	4	5	6	7	8
収率**%	8.9	19.8	19.3	20.2	19.1	17.8	18.3	16.8
平均粒径μ	6.8	7.1	8.4	11.6	12.4	12.5	12.6	12.6

* 第1図による。 ** 無水澱粉/生組織
試料は農林-2号, 450 g の塊根。

ている。著者らもこれにならい、重量 450 g、中央部直径 8 cm の塊根を選んでこの中央部を約 2 cm 厚さの輪切りとし、これを第1図に示すように同心円状に8つの部分 (1~8) に分割した。この各分割部より、それぞれ家庭用ミキサーを使って調製した澱粉の収率および平均粒径は第1表に示すとおりであった。

澱粉の収率は1の部分はきわめて低く、2~4の部分が最も充実し、中心部はかえって澱粉含量も低い結果である。また平均粒径では3と4の間に隔差がみられる。これらの結果を断面の組織構造と対比して考えると、同心円的には皮層部 (1)、形成層部 (2,3)、内部 (4~8)、の3部位に区別するのが適当と思われる。またこれら3部位の代表的な細胞形態は第2図のようなものであった。すなわち、皮層部の細胞はやや小さく、澱粉粒子はまばらに存在しており、形成層部は小細胞が多く、ほとんどが小粒の澱粉で充満されている。また内部には、形成層部でみられるような小細胞も混在するが、一般に細胞は大形であり、澱粉粒子も大きい。しかしこれらの各組織部位から分離した澱粉粒には、第3図に示されるように形態的な違いは見られない。

また適当な違った重量の塊根6個を選び、それぞれを上記のように3部位に分割し、各部位の重量を測定した

第2図 組織別の細胞澱粉形態 (×600)

第3図 組織別の澱粉粒子 (×600)

ところ第4図の結果を得た。

これから、塊根の大きさによって各部位に由来する澱粉の比率も違ってくることがわかる。すなわち、塊根が小さい場合は皮層部の澱粉の割合が多いことになる。また前報でもふれたように、同じ部位でも塊根の大きさに

よって澱粉の性質が違うことも予想されるので、分別に際しては部位とともに塊根の大きさも考慮し、次のように行なった。すなわち、試料甘藷の中から小塊根（平均 24 g）約 450 個と大塊根（平均 256 g）約 40 個を選び、それぞれを皮層部、形成層部、内部の3部位に分割して

第4図 塊根の大きさと部位の割合

のち、家庭用ミキサーを使用して澱粉を調製した。なお、土肉は澱粉に対する水の量を種々調節することによりくり返し分離せしめ、できるかぎり完全に除去した。

2. 収率および粒度

それぞれの部位の澱粉の収率および平均粒径は第2表に、粒度分布は第5図に示すとおりであった。

なお、これとは別に平均的な重量の塊根につき、その全体を磨砕して採った澱粉の収率は、小塊根 15.3%、大塊根 19.5% であり、平均粒径は 9.5μ および 11.9μ で、ともに第2表の計算値とはほぼ一致した。

第2表 部位別澱粉の収率および平均粒径

塊根	部位	収率 %	平均粒径 μ
小塊根 (24 g)	皮層部	8.9	8.3
	形成層部	14.6	8.1
	内部	21.6	12.2
	全体*	15.5	9.2
大塊根 (256 g)	皮層部	7.7	10.0
	形成層部	20.3	10.0
	内部	20.6	13.7
	全体*	19.6	11.7

試料甘藷は農林-2号

* 計算値

第5図 部位別澱粉の粒度分布図

測定装置：日立光走査式粒度分布計 (PSA-2)、分散剤：水、
--- 皮層部、—— 形成層部、—— 内部。

第6図 部位別澱粉のアミログラム

装置：Brabender Viscograph DC-3、澱粉濃度：6%-500 ml、
pH：7.0、ドラム回転：75 rpm、昇降温速度：1.5°/分、
--- 皮層部、—— 形成層部、—— 内部。

第2表より皮層部の澱粉含量はやはり少なく、小塊根では形成層部もやや少ないことがわかる。また粒子の大きさは、皮層部と形成層部とはほとんど差がみられない。この形成層部は組織学的にいう一次形成層の細胞が中心をなしているので、比較的若い細胞が多いと思われる。澱粉粒子の小さいこともうなずけるが、皮層部の粒子も同様に小さいのは、皮層部では澱粉粒の成長が遅いことを示唆するものと思われる。また内部の澱粉は粒度分布の幅が広く、大塊根の方がより大きい粒子に富んでいることもわかる。

3. アミログラム

アミログラムは第6図に示すとおりで、小塊根では部位による差異は比較的小さいが、大塊根ではそれぞれにかなり特徴が認められる。とくに皮層部の澱粉は糊化開始温度が高く、滑らかな立ち上がりを示し、また最高粘度が低い。このことから、皮層部には難溶性の澱粉が混在しているのではないかとと思われる。福井ら⁽⁷⁾も甘藷の難溶性澱粉はもともと甘藷の中にある糊化し難い粒子に由来するものであると推論している。しかし大塊根の皮層部澱粉の方が小塊根のそれよりもより難溶性と思われる曲線を示していることについては、塊根の肥大に伴って難溶性化するのか、

あるいは生成された環境の違いによるものか明らかでない。これについてはさらに検討が必要であろう。

一方、形成層部の澱粉は最も糊化しやすく、また小塊根の澱粉は各部位ともこれに近い。これは粒子が成長初期の段階で小粒であることなど共通しているためと思われる。また内部澱粉の粘度が高く、ブレイクダウンが大きい曲線は大型粒子の特徴として説明される⁽⁸⁾。

4. X線回折

X線回折図を第7図に示す。いずれもほとんど差はないが、わずかに内部澱粉の第1環を示すピークが低く、また第4環のaとbの差が接近してややA型に近い回折図形を示している。一方、形成層部の澱粉は最もB型に近いと判断される。一般に植物の種類を問わず、澱粉粒はその生成時の温度が低い場合はB型、高い場合はA型の結晶構造に偏することが知られている⁽⁹⁻¹¹⁾。甘藷は、晩春から晩秋までの長期に渉って肥大を続けるので、内部の澱粉がA型に近いことは、これが夏期の高温度時に成長した澱粉粒子を含んでいることを示しているものと思われる。また逆に、形成層部の澱粉は比較的掘取期に近い時期、すなわち気温が低くなってから成長した澱粉粒子であるということができよう。

5. ヨード呈色値および内部脂肪酸

第8図はヨード呈色値と内部脂肪酸量の関係図である。ヨード呈色値はほぼアミロース含量に比例すると考えられるので、皮層部の澱粉は内部の澱粉にくらべてアミロースや脂肪酸がきわめて多いといえる。アミログラ

第7図 部位別澱粉のX線回折図

装置：理学電機 D-3 F. 条件：Cu-Ni, 30 kV, 15 mA.
走査速度：0.3°/分。

(例：大内＝大塊根内部澱粉)

第8図 ヨード呈色値と内部脂肪酸

(例：大内＝大塊根内部澱粉)

ムから、皮層部の澱粉がやや難溶性であることがわかったが、これがアミロースや脂肪酸に富むことは、荒井ら⁽¹²⁾の難溶性澱粉の分析結果とも一致している。またこのグラフから、アミロース量と脂肪酸量の関係はほぼ相関的であることがわかる。

次にこれらと粒子の大きさとの関係をみると第9図が得られる。形成層部および内部の澱粉では粒子の大きいものはアミロースや脂肪酸が少ない傾向があるが、皮層部の澱粉にはむしろ逆の関係がみられる。これも大塊根の皮層部澱粉がより難溶性であることの一因であると思われる。

第9図 ヨード呈色値、内部脂肪酸、粒径の関係

(例：大内＝大塊根内部澱粉)

第 3 表 内部脂肪酸の組成割合 (ガスクロマトグラフィー*)

脂 肪 酸	小 塊 根			大 塊 根		
	皮層部	形成層部	内 部	皮層部	形成層部	内 部
ラウリン酸 (12:0)	0.1	1.5	0.7	0.1	1.5	0.8
ミリスチン酸 (14:0)	0.4	0.5	0.5	0.3	0.4	0.7
パルミチン酸 (16:0)	53.4	47.0	46.7	54.7	50.8	32.3
ヘキサデセン酸 (16:1)	2.4	2.8	3.3	2.1	3.1	3.0
ヤラピノール酸 (16:OH)	0.7	3.3	0.8	2.0	3.8	0.9
ステアリン酸 (18:0)	11.7	9.3	8.9	9.0	8.2	9.6
オレイン酸 (18:1)	15.3	13.2	18.7	12.2	13.7	27.9
リノール酸 (18:2)	11.6	17.1	16.1	15.5	14.3	19.3
リノレン酸 (18:3)	4.4	5.3	4.3	4.1	4.2	5.5
脂肪酸総量 mg%**	54.7	33.3	31.5	68.1	33.6	13.4

* 条件は前報⁽¹⁾による。

** 全脂肪酸メチルエステル mg/無水澱粉 100g.

数値は脂肪酸総量に対する各脂肪酸の百分比 (メチルエステルとして)。

6. 内部脂肪酸組成

次にこの内部脂肪酸の組成割合をガスクロマトグラフィーでしらべた結果は第 3 表のとおりであった。

各部位あるいは塊根の大小により、内部脂肪酸の総量が違えばかりでなくその組成割合も少しずつ違うことがわかり、またそれぞれの部位による特徴も見出される。すなわち、皮層部の澱粉は最もパルミチン酸の割合が多く、内部は逆にオレイン酸が多い。また形成層部では他にくらべてラウリン酸やヤラピノール酸の割合が多い。なお、前報⁽¹⁾の市販や品種別の澱粉間では、脂肪酸の多いものが相対的にリノール酸に富んでいたが、第 3 表の結果から同一品種についてはリノール酸の割合はほぼ一定であるといえる。

一方、第 3 表にもとづいて、脂肪酸総量とパルミチン

第 10 図 脂肪酸総量とパルミチン酸およびオレイン酸の割合

酸およびオレイン酸との関係がグラフ化すると、第 10 図が得られ、脂肪酸総量の多いものはパルミチン酸の割合は高くなり、逆にオレイン酸が低くなっている。このことから、脂肪酸総量とその組成割合との間にも相関的な関係があるように思える。

なお、前報⁽¹⁾において品種別試料の脂肪酸総量やパルミチン酸の割合などが市販澱粉に比較して全般に低かったが、これは品種別試料がいずれも

剥皮した塊根より調製せられたためであることが第 3 表の結果より説明される。

7. 総括

以上のように、1 個の塊根においても組織の部位によってその澱粉の性質に違いがあり、またこれは塊根の大きさによっても左右されていることがわかった。皮層部は組織も特異的であり、ここに含まれる澱粉粒は内部のものとは異なった成長過程をへるものと思われる。また形成層部と内部、あるいは小塊根と大塊根では明らかに澱粉粒子の大きさが違うので、これらの間の性質の違いはほぼ粒子の成長度によって来ると考えられる。しかし、この点に関しては X 線回折や難溶性澱粉の項でも一部ふれたように、それぞれの生成された環境が全く異なっており、この環境の違いがその性質にどのように作用しているものか明らかでないので、成長度のみ由来するものと断定することはできない。したがって、本報では単に組織部位あるいは塊根の大きさによる違いとしてとらえるにとどめ、澱粉粒子の成長に伴う変化については改めて続報で検討してゆきたい。

要 約

(1) 同一時に掘取った甘藷塊根 (豊林 2 号) のうち、小塊根と大塊根をえらび、それぞれ皮層部、形成層部、内部に分割して澱粉をとり、その一般的な諸性質や内部脂肪酸を比較した。

(2) 小塊根の澱粉は各部位による差が少なく、ほぼ大塊根の形成層部に近い性質を持つが、大塊根では部位による違いが大きかった。すなわち、皮層部の澱粉は成

長速度が遅いと思われ、難溶性でアミロースや脂肪酸含量も高かった。一方、内部の澱粉は粒度分布の幅が非常に広く、アミロースや脂肪酸は少なく、また夏期の高温時に成長したと思われる特徴もみられた。さらにアミロース量と内部脂肪酸量の間には相関的な関係があるように思われた。

(3) 各試料について内部脂肪酸の量のみでなく、その組成割合にも違いがみられ、一部には部位による特徴も認められた。しかし一品種内では一般に脂肪酸の多いものはオレイン酸に富む傾向があることから、脂肪酸の量とその組成比の間にも相関関係があると思われた。

なお、本研究の一部は澱粉工業学会 43 年度大会にて発表した。

- (1) 藤本滋生, 永浜伴紀, 蟹江松雄: 農化, **45**, 62 (1971).

- (2) 西田孝太郎, 四元哲二: 甘藷の化学とその利用, 朝倉書店, 1948, p.158.
(3) 檜作 進, 二国二郎: 農化, **31**, 371 (1957).
(4) R.M.McCready and W.Z.Hassid: *J. Am. Chem. Soc.*, **65**, 1154 (1943).
(5) 小倉 謙: 植物解剖及形態学, 養賢堂, 1958, p.107.
(6) 山村 顕, 河野利治, 中村英樹: 澱粉工誌, **6**, 60 (1959).
(7) 福井俊郎, 唄 能子, 二国二郎: 同上, **11**, 25 (1964).
(8) 渡辺篤二: 同上, **4**, 138 (1957).
(9) S.Hizukuri, M.Fujii and Z.Nikuni: *Nature*, **192**, 239 (1961).
(10) 鈴木 裕, 檜作 進, 二国二郎: 農化, **37**, 63 (1963).
(11) 二国二郎, 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: 農化, **37**, 673 (1963).
(12) 荒井克祐, 田村太郎, 鈴木繁男: 澱粉工業学会 42 年度大会 (1962).