[農化 第 45 卷, 第 3 号, p. 107~112, 1971]

甘藷澱粉の内部油分に関する研究 (第3報)

時期別掘取甘藷について

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 16 日 受理

Studies on the "Fat by Hydrolysis" of the Sweet Potato Starch Part III. Characteristics of the Starches from Tubers in Various Stages of Growth

By Shigeo FUJIMOTO, Tomonori NAGAHAMA and Matsuo KANIE

Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Kagoshima University

The starch granules were isolated from peel, cambium, and inner-tissue of sweet potato tubers (Norin No. 2) harvested in various stages of growth, respectively. These samples were analyzed about the fatty acid components of "fat by hydrolysis" as well as about some chemical and physical properties, such as particle size, iodine color, Brabender viscosity and X-ray diffraction.

Growth of tubers was accompanied by decrease in both amylose- and fatty acid-contents of the starch granules. In general, the fatty acid content was ascertained to be in direct proportion to amylose content.

In the early stage of growth, palmitic acid was found to be the major component of fatty acids of the inner-tissue-starch, but in the later stages, oleic acid occupied the greater proportion of them. This means that the predominant incorporation of palmitic acid into the inner-tissue-starch in the early stage of growth was replaced with it of oleic acid with the growth of tubers.

In peel-starches, palmitic acid ratio increased with the growth of tubers.

(Received June 16, 1970)

緒 言

甘藷澱粉中に内部油分として含まれている脂肪酸 (内部脂肪酸) は, 比較的パルミチン酸に富み⁽¹⁾, また, この組成割合と粒子の大きさなどの間に相関的な関係がみられる⁽²⁾. これらのことから, 内部油分は単なる不純物ではなく, 少なくとも脂肪酸の種類による選択的な取込みがなされているように考えられる⁽²⁾.

このような脂肪酸の選択的取込みは, 澱粉粒子の成長過程にも重要な意味をもつものと推測されるが, 成長の各段階にある澱粉粒子についてその内部油分を比較すれ

ば, これに関する何らかの知見がえられるものと思われる.

甘藷の生育段階における澱粉の性質の変化について, 鈴木ら^(3,4)および川西ら⁽⁵⁾は甘藷の時期別掘取を行なってしらべているが, 甘藷の肥大に伴って常に新たな澱粉粒子も作られつつあると考えられるので, 掘取時期のおそい甘藷に含まれる澱粉粒子がすべて, より成長度の進んだものとはいえない. また甘藷は長期にわたって肥大を続けるので, その間の気温その他の環境条件の変化により, 澱粉粒子の性質にも影響がもたらされているかも知れない.

著者らは前報⁽²⁾において、同一掘取時期の甘藷でも塊根の大きさや組織部位の違いにより、それぞれの澱粉の性質がかなり異なっていることを見出した。また甘藷澱粉では粒子の大きさとその成熟度は一致しないので、単に粒度別に分級して得た試料では成長段階の変化をみることはできないと思われた。

そこで今回は澱粉粒子の成長による変化や環境条件の影響などについての手掛りを得る目的で、生育時期を違えて掘取った甘藷塊根からそれぞれ部位別に澱粉を調製し、それぞれの一般的な諸性質や内部脂肪酸につき比較検討を加えたのでその結果を報告する。

実験方法

1. 甘藷の栽培および掘取り 甘藷の品種は農林 2 号で、鹿児島県吹上町下田尻の圃場で栽培したものである。すなわち、昭和 43 年 5 月 18 日に定植し、第 1 表に示すように、50～55 日間隔で 3 回に分けて掘取り、試料とした。また地上部損傷の影響や地温の影響などをみるため、途中で全莖葉を切除したもの、および 7 月に定植したものを参考試料とした。

第 1 表 試料甘藷の栽培と掘取り

試料区分	定植日 (月-日)	掘取日 (月-日)	栽培 日数 (日)	掘取 株数 (株)
初期掘取	5-18	7-12	55	208
中期掘取	5-18	8-31	105	156
後期掘取	5-18	10-28	163	104
参考 1. (109 日目 莖葉除去)	5-18	10-28	163	107
参考 2. (夏期高温時 定植)	7-12	9-5	55	216

2. 澱粉の調製 各掘取期ごとの全塊根を洗浄・秤量し、平均的な重量のものを中心に約 10 kg 採り、これを前報⁽²⁾に準じて同心円的に皮層部、形成層部および内部に分けてそれぞれの澱粉を採った。

3. 粒度分布、アミログラフィー、X 線回折および内部脂肪酸 これらの測定方法はすべて前報^(1,2)に記載したとおりである。

4. 膨潤度 Schoch⁽⁶⁾ に準じ以下の方法で測定した。すなわち、50 ml 容のステンレス製濾沈管に澱粉 0.5 g (無水物相当) と蒸留水 25 ml を入れ、ゆるやかに攪拌しつつ所定の温度の湯浴中に 30 分間浸す。これを急速に冷却してのち、約 25 ml の水を加え、3000 rpm

で 15 分間遠心分離し、その沈降部を秤量した。原澱粉量に対する増加倍数を膨潤度として表示した。

5. ヌード呈色値 澱粉の溶解は倉沢⁽⁷⁾の報告を参考として次の方法に従った。すなわち、澱粉 100 mg (無水物相当) を試験管にとり、5 ml の水を加えてこれに懸濁せしめ、よく振とうしつつ 1.0 規定の水酸化ナトリウム溶液 5 ml を加える。これを室温にて 1 夜放置後 80°C の湯浴中で 10 分間加熱したのち 100 ml に定容した。呈色条件は前報⁽²⁾と同様である。測定は日立分光光度計 EPS-3 T を用い、1 cm セル、680 mμ における吸光度を求めた。またこれをアミロース量に換算するための標準線は、Gilbert⁽⁸⁾ の方法により甘藷澱粉から調製したアミロースとアミロペクチンを用いて作成した。

実験結果および考察

1. 甘藷の生育経過

栽培日数の経過と 1 株あたりの全塊根重量との関係、および各掘取期における重量別塊根数をそれぞれ第 1 図、第 2 図に示した。

この年は定植時の 5 月中旬より 7 月にかけて早魃状態にあったため、塊根の着生数も少なく、形態的には茎梗部の伸長が著しかった。順当な気象条件となった 7 月 12 日に定植したもの (参考 2) を初期掘取区と比較すると、同じ 55 日で塊根着生数ならびに 1 株あたりの塊根総重量が約 2 倍の値を示していることがわかる。また甘藷の塊根の分化は植付後 20 日ごろより始まり、塊根数は比較的初期に決定されるといわれている⁽⁹⁾。第 2 図の結果でも、初期 (55 日目) には塊根数がほぼ決まっているものとみられ、それ以後の総重量の増加は各塊根の肥大によってもたらされている。したがって前報⁽²⁾で澱粉

第 1 図 甘藷の生育経過と掘取り

第2図 重量別塊根数

の性質を比較した大塊根と小塊根は、それぞれの肥大速度が違っていたものと解釈してよいであろう。

また甘藷は9月以降は地上部の発育が止まり、その後は急速に塊根が肥大するとされている^(4,10)が、本実験の場合は第1図に示されるように、9月から10月にかけての肥大曲線が極めてゆるやかとなっている。この原因としては9月上旬のナカジロシタパ(イモヨトウ)の発生に引き、9月下旬の台風による塩害のため葉の大半が損傷されたためと考えられる。これと比較のために9月4日に完全に蔓葉を切除したもの(参考1)をみると、直ちに萌芽を始め、10月末には地上部のかなりの伸長がみられたが、塊根の総重量は蔓葉の切除当時よりも減少している。この例からも葉の損傷によって塊根の肥大が阻害されることがわかる。本試料甘藷は以上のように平年に比較してやや異質な生育経過をたどったものと思われるが、この年には鹿児島

のほぼ全域にわたって同様の傾向が認められた⁽¹¹⁾。

2. 澱粉の収率および粒度

第2表に澱粉の収率および平均粒径を示す。

皮層部の澱粉も塊根の生育につれてその含量はわずかながら増加している。

また内部組織においてはむしろ中期が最も澱粉含量が

高かったが、このような後期における澱粉量の減少については鈴木ら⁽⁹⁾および川西ら⁽¹⁰⁾も同様の傾向を報告している。またそれぞれの粒度分布は第3図に示すとおりで、生育期の経過につれて粒度分布の幅はより広くなり、平均粒径も漸増していることがわかる。

さらに各掘取期における全澱粉量、澱粉の平均粒径、平均重量および総粒数などの増加率を第2表によって求めたところ第3表に示す結果が得られた。

別に顕微鏡観察によると、1個の細胞内の澱粉粒子はいずれもほぼ同じ時期に生成されるようで、その後新たな粒子が作られることはないと思われる。したがって澱粉粒数の増加は新たな細胞の増加によってもたらされるものと考えてよからう。また澱粉粒子が常に細胞内に充満した状態で見出されることから、澱粉粒子の成長は

第2表 時期別澱粉の収率および粒径

掘取区分	初期	中期	後期
供試塊根平均重量(g)	23.5	156.0	264.0
澱粉収率(%)			
皮層部	6.1	7.7	9.4
形成層部	11.7	18.6	19.3
内部	13.7	19.5	18.5
澱粉平均粒径(μ)			
皮層部	6.2	7.6	7.8
形成層部	8.6	10.2	12.9
内部	9.0	10.7	15.4

第3表 生育時期による増加率

掘取区分	塊根重量	澱粉			
		全量	平均粒径	平均重量*	総個数
初期	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
中期	6.6	13.0	1.6	3.7	3.5
後期	11.2	21.8	1.9	5.7	3.9

* 直径の3乗とした。
いずれも初期を1.0とした場合の数値。

第3図 時期別澱粉の粒度分布

日立光走査式粒度分布計 PSA-2, 分散媒: 水。

..... 初期, ——— 中期, ——— 後期

細胞の成長に伴っているものと考えられる。これらのことと第3表の結果をあわせて考察すると、初期より中期の間は個々の細胞の成長とともに新たな細胞の形成が盛んに行なわれ、中期より後期の間は主として個々の細胞の成長に重点がおかれたものと思われる。しかし甘藷は塊根の個体差が極めて大きいものであり、また後期における葉の損傷などの影響がこれらの数値には含まれていることも念頭におく必要があろう。

なお形成層部の組織は皮層部と内部と厳密に区分しえないが、その平均粒径や粒度分布をみても内部に属すべき澱粉粒子が相当量混入しているものと思われる。またその諸性質はほぼ皮層部と内部の中間を示したので、以下には皮層部と内部の澱粉についての測定結果のみを記載する。

3. アミログラフィーおよび膨潤率

皮層部および内部澱粉のアミログラムを第4図に示す。

皮層部の澱粉は一般に内部に比してその糊化開始温度が高く最高粘度は低い。とくに中期のものが著しい。内部澱粉も初期が最も糊化開始温度が低く、これが中期には最も高くなり、後期には再び低くなっている。鈴木ら^(8,4)(8月以降)および川西ら⁽⁶⁾(9月以降)も塊根の全組織より採った澱粉について、時期が遅くなるにつれて糊化開始温度が低下する同様の傾向を得ているが、この

第4図 時期別澱粉のアミログラム

装置: Brabender viscometer DC-3, 澱粉濃度: 6%-500ml, pH: 7.0, ドラム回転: 75rpm, 昇降温速度: 1.5°C/分。

—— 初期, —— 中期, —— 後期, 参考2(夏期定植)。

第5図 時期別澱粉の膨潤度

皮層部 内部
初期 ○---○ ○---○
中期 ●---● ●---●
後期 ▲---▲ ▲---▲

ように中期が最も糊化開始温度が高いということは夏期の高い地温の影響であろうと思われる。すなわち、二国ら⁽¹²⁾の栽培地温を変えた実験によって、高地温で成長した甘藷澱粉の糊化開始温度が高いことが証明されている。米についても同様で、高岡⁽¹³⁾は熱帯地方の外地米ほどその澱粉がより強固なミセルを形成していると述べており、鈴木ら⁽¹⁴⁾は同一品種の稲を早、晩期に植えて比較し、登熟期の温度が高くなるにつれて糊化開始温度が高く、アルカリ抵抗性も強くなると報告している。このようなことから、甘藷塊根中には高温時に成長したかたい粒子(あるいは粒子の部分)や温度の低いときに成長したやわらかい粒子(あるいは粒子の部分)などがそのまま混在していると考えられる。

また澱粉の膨潤度は第5図に示すとおりであり、この曲線からもアミログラムとはほぼ同様の情報を得ることができる。

4. X線回折

内部澱粉のX線回折図は第6図に示されるが、明らかに中期の澱粉が最もA型に近く、前項の糊化開始温度と結晶構造との相関性⁽¹²⁾が示されている。すなわち結晶構造にもその成長時の温度による影響が表われることが確認された。

第6図 時期別内部澱粉のX線回折図

装置: 理半電機 D-3 F, 条件: Cu-Ni, 30 kV, 15 mA, 走査速度: 0.5°/分。

第4表 時期別甘藷澱粉のヨード呈色値

部 位	掘取区分	ヨード 呈色値 ($-\log T$)	アミロース 換 算 値 (%)
皮 層 部	初 期	0.484	21.3
	中 期	0.479	20.8
	後 期	0.475	20.4
内 部	初 期	0.477	20.6
	中 期	0.468	19.8
	後 期	0.461	19.1

5. ヨード呈色値

ヨード呈色値を第4表に示した。このヨード呈色値はほぼアミロース含量に比例するとして、別に作成した標準線により算出したアミロース換算値も付記した。皮層部の方が内部のものよりヨード呈色値が高いことは前報⁽²⁾の結果と同じである。また、ともに初期が高く、後期にかけてこれが減少していることは、アミロース含量がその澱粉粒子の成長する際の環境温度に影響されないことを示唆している。すなわち、アミログラムやX線回折図などにみられるような粒子のかたさやその結晶構造などの性質は、中期が特異的であることから環境温度の影響をうけるものと

判断されたが、アミロース含量はこれらとも無関係のように思われる。

なお鈴木ら^(8,9)も同様に、初期のアミロース含量が高い結果を得ているが、一般に、時期別のアミロース含量の変化は Doremus ら⁽¹⁰⁾による品種別の定量値 (17.5~21.7%) に比較すればその範囲が小さいといえよう。

6. 内部脂肪酸

内部脂肪酸のガスクロマトグラフィーによる分析値は第5表のとおりであった。

脂肪酸総量は第4表のアミロース量と相関的な関係にあることがわかり、また各掘取区とも、皮層

部は内部の約2倍の含有量である点など前報⁽²⁾の部位別澱粉の結果に一致している。

また内部澱粉では甘藷塊根の生育が進むにつれ、脂肪酸の取込み量は漸減するとともに、その全体の組成はオレイン酸に富むようになる。すなわち、肥大初期の塊根の澱粉においては、その内部脂肪酸はとくにパルミチン酸に富んでいるが、これが後期に至る間にはもっぱらオレイン酸が多く取込まれていると考えられる。また中期のものの組成割合が必ずしも初期と後期の中間に位置していないが、脂肪酸成分についてはある程度の温度の影響が存在するのかも知れない。

また前報⁽²⁾において、同一品種内の澱粉については脂

第5表 時期別甘藷澱粉の内部脂肪酸組成

脂 肪 酸	部位・掘 取区分	皮 層 部			内 部		
		初期	中期	後期	初期	中期	後期
ミリスチン酸 (14:0)		0.6	0.7	0.7	0.9	1.4	1.3
パルミチン酸 (16:0)		42.0	49.0	56.8	59.6	46.9	29.9
ヘキサデセン酸 (16:1)		3.0	1.8	3.0	3.1	3.0	3.4
ヤラピノール酸 (16-OH)		4.0	2.4	2.3	2.9	2.6	2.9
ステアリン酸 (18:0)		6.3	8.1	8.8	5.6	7.1	8.9
オレイン酸 (18:1)		15.3	10.0	15.9	16.5	23.1	44.5
リノール酸 (18:2)		22.4	22.9	9.4	9.0	13.7	7.4
リノレン酸 (18:3)		6.4	5.1	3.1	2.5	2.2	1.7
総 量 (mg %*)		102.6	78.2	63.5	49.8	35.2	26.2

数値は各々の総量に対する百分率 (%), (メチルエステルとして)。

* mg/毎水澱粉 100 g。

脂肪酸の多いものほどパルミチン酸に富む傾向がみられたが、本報でも内部の澱粉については同様の結果であった。しかし皮層部の澱粉ではこれがむしろ逆になっていることから、皮層部と内部とでは脂肪酸の取込みにおいてかなり違った経過をとっているものと思われる。

しかしながら、とくに中期および後期の澱粉は、その幅広い粒度分布に示されるとおり、成長段階の種々異なった粒子の混合物であるといえる。したがって、これまでに示された各時期別澱粉の諸性質の違いがそのまま澱粉粒子の成長に由来するものではない。したがって次の実験段階として、各期の澱粉をさらに粒子の大きさによって分級して、それぞれ粒子の大きさによる性質を比較することが考えられ、本報の結果とあわせて検討することにより澱粉粒子の成長に由来する変化と、これに対する環境の影響を一層明確に区別しうるのはないかと期待される。

要 約

(1) 生育期間の異なった甘藷塊根を得るために時期別掘取を行ない、それぞれの塊根を皮層部、形成層部および内部に3分して澱粉を採った。これらの澱粉につき、その一般的な性質ならびに内部脂肪酸を測定し、塊根の肥大に伴ってこれらがどのように変化するかをしらべた。

(2) 澱粉粒子のミセルのかたさや、その結晶構造などは明らかに外的な温度の影響をうけていると思われたが、アミロースの含量や内部脂肪酸の含量は、これらと無関係のようであり、ともに生育につれて漸減した。またアミロースと内部脂肪酸の量的な傾向は常に一致していた。

(3) 内部澱粉では初期にはパルミチン酸の含有割合が多いが、これが後期へと移るにつれてオレイン酸が主体に取込まれ、後期にはオレイン酸の含有割合がパルミ

チン酸を凌ぐ結果が得られた。しかし皮層部の澱粉ではパルミチン酸の割合がむしろ漸増しており、皮層部と内部とではかなり違った変化の様相を有することが認められた。

終りに試料甘藷の入手については、鹿児島県伊作農協、西羽田親志氏のお世話をいただいた。記して深甚の謝意を表する。なお本報告の要旨は昭和44年度日本農芸化学会大会シンポジウムにて発表したものである。

- (1) 藤本滋生, 永浜伴紀, 蟹江松雄: 農化, 45, 62 (1971).
- (2) 藤本滋生, 永浜伴紀, 蟹江松雄: 農化, 45, 68 (1971).
- (3) 鈴木繁男, 田村太郎, 根本芳郎, 荒井克祐: 農化, 33, 990 (1959).
- (4) 鈴木繁男, 荒井克祐, 鈴木弘子, 宇高京子: 澱粉工誌, 12, 61 (1965).
- (5) 川西幸敏, 本坊慶吉, 光武竜馬, 大久保猛: 澱粉糖技研誌, No. 30, 14 (1964).
- (6) T. J. Schoch: *Stärke*, 11, 156 (1959).
- (7) 倉沢文夫, 伊賀上郁夫, 早川利郎: 農化, 37, 16 (1963).
- (8) L. M. Gilbert: "Methods in Carbohydrate Chemistry," Vol. 5, ed. by R. L. Whistler, Academic Press, 1965, p. 25.
- (9) 戸部義次, 藤瀬一馬: 作物大系, 第5編いも類, 養賢堂, 1962, p. 4.
- (10) 坂井健吉, 丸峯正吉: 澱粉工誌, 8, 39 (1960).
- (11) 農林省農林経済局統計調査所: 昭和43年度作物統計, No. 11, p. 383.
- (12) 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).
- (13) 高岡研一: 澱粉工誌, 4, 179 (1957).
- (14) 鈴木 裕, 川原田裕司, 村山 登: 農化, 40, 1 (1966).
- (15) G. L. Doremus, F. A. Crenshaw, F. H. Thurber: *Cereal Chem.*, 28, 308 (1951).