

Study on Organ-specific Starch Properties of Sweetpotato

(Received September 21, 2004 ; Accepted October 8, 2004)

Kanefumi Kitahara*

*Department of Biochemical Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University
 (1-21-24, Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan)*

Abstract: To study starch biosynthesis in terms of molecular structures of organ-specific starches within one plant species is interesting. The structural properties of starches from tuberous roots of various sweetpotato varieties and breeding lines, and also starches from leaf and callus of sweetpotato cv. Koganesengan were investigated in this study. Examination of the structure and pasting properties of the 16 kinds of root starches suggested that, statistically, the variation in pasting properties of the starches was more accurately reflected by amylopectin structures than by amylose. During the course of examination on starch structures of the latest breeding lines, we found two lines having root starches with unique characteristics. One had low amylose starch and the other had low temperature gelatinizing starch. The physicochemical properties of these starches were likewise characterized. In leaves where the starch structures and their diurnal-nocturnal changes were examined from leaves harvested at different times of a day. Gel-permeation chromatography of the leaf starches and amylopectins showed that, compared to root starch, the leaf starches had higher amount of materials eluted at the low molecular weight fraction which contained both amylose and a large amount of small amylopectin molecules. It was found that the amylose content of the leaf starches dropped during the daytime whereas the branch aspect of the leaf amylopectins remained relatively constant throughout the whole day. Finally, the structural properties of starch formed in the sweetpotato callus were studied. The starch content increased from nearly zero to the maximum content in the first week of culture, and then decreased afterward. Based on the chain-length distributions of the callus starches at different culture periods, it was demonstrated that the structural change from waxy to normal feature of starch granule occurred during the culture of the callus. Thus, the structural characteristics of starches from tuberous root, leaf and callus of sweetpotato have been revealed.

Key words: starch structure, sweetpotato, tuberous root, leaf, callus

サツマイモの器官別デンプンの特性に関する研究**

北原兼文*

鹿児島大学農学部生物資源化学科 (890-0065 鹿児島市郡元 1-21-24)

ヒトは主に貯蔵デンプンを含む組織を食料として利用していることから、デンプンの研究対象はこれらのデンプンに集中している。一方、緑葉においても一時的に蓄積される同化デンプンが形成されることは良く知られており、さらに、カルスのような未分化な細胞においてもデンプン粒の存在が観察されている¹⁻⁴⁾。同一植物種において、これらのデンプンの特性を詳細に比較した研究はなく、器官に特異的なデンプンの構造を調べることはデンプンの生合成を理解する観点から興味もたれた。本研究では、サツマイモを研究材料に用いてこの課題に取り組み、南九州の地域糖質資源作物の基盤研究を高めることを目指した。

サツマイモは果皮色や肉色の異なる品種が在来し、従来の多収・高デンプンに加え、近年では有用成分や加工適性に着目した育種が行われ、数多くの品種が生み出されてい

る^{5,6)}。しかし、研究開始当時はこれらの塊根のデンプンについて積極的な特性の解明は行われていなかった。この課題はサツマイモデンプンの固有用途を拡大するためには重要と考え、まず、品種別塊根デンプンの特性の多様性を調べることから着手した。また、調理用素材として新たに育成された新形質サツマイモのデンプンについても調べた。次に、緑葉および培養カルスで形成されるデンプンの構造特性を調べた。ここでは、塊根デンプンとの相違点を明らかにするとともに、葉のデンプンは昼夜における分子構造の変化を、カルスのデンプンは培養過程における分子構造の変化を追った。

1. 塊根デンプンの特性

1) 品種別サツマイモデンプンの特性⁷⁾

デンプンの性質を植物間で比較すると、十字図形⁸⁾やクラスター分類によるレーダーチャート⁹⁾で示されているように、サツマイモデンプンの性質は概して中間的な位置づ

* Tel. +81-99-285-8638, Fax. +81-99-285-8639, E-mail: kitahara@chem.agri.kagoshima-u.ac.jp

** 平成 16 年度日本応用糖質学会奨励賞受賞講演

Table 1. General properties of starches from tuberous roots of Koganesengan, Kyukei 89376-12 and Kyushu No. 127.

	Apparent amylose* ¹ (%)	Phosphate* ² ($\mu\text{mol/g}$ starch)	Average granular size* ³ (μm)	X-ray diffractogram* ⁴ (type)
Koganesengan	18.6	6.90	13.0	A
Kyukei 89376-12	10.3	7.14	15.7	A
Kyushu No. 127	17.3	2.38	14.2	C

*¹Determined by the blue value method. *²Determined by the Fiske-Subbarow method after HClO₄-incineration of defatted starch. *³Determined using a Coulter LS130. *⁴Determined using a Rigaku RU-200B X-ray diffractometer.

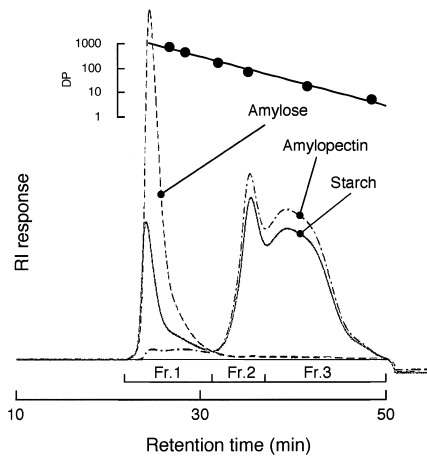


Fig. 1. Representative elution profiles of debranched starch, amylose and amylopectin from tuberous root of sweetpotato cv. Koganesengan.

Two linked columns of Superose 12 and Sephadex G25SF are calibrated with standards of synthesized linear amyloses.

けとなる。サツマイモデンプンの特性の多様性を調べる目的で、デンプン原料用や青果用、有色品種を含む16種の在来種や栽培種の塊根からデンプンを調製し、平均粒径、粗タンパク質含量、結合リン酸含量、X線回折図形、見かけのアミロース含量、イソアミラーゼによる枝切り処理後の鎖長分布、膨潤力と溶解度、およびアミログラフによる粘度特性を調べた。16種の品種の中で、平均粒径や粗タンパク質含量、結合リン酸含量、X線回折図形においては特異な特性値を示すものはなかった。また、見かけのアミロース含量は13-19%の範囲にあった。次に、普及品種であるコガネセンガンのデンプンから調製したアミロースとアミロペクチンの鎖長分布に基づいて (Fig. 1), デンプンの溶出曲線を三つの画分に分けて鎖長分布を比較した。このとき、大部分のアミロースが溶出するボイド容量の位置 (Fr.1) には、アミロペクチン由来の長い単位鎖 (超長鎖) も溶出していることがわかったので、この超長鎖の割合をデンプンの Fr.1 の割合から見かけのアミロース含量を差し引いた簡便値として求めた。16種の中で、Fr.1 の割合は18.6-23.5%の範囲、アミロペクチンの構造指標である Fr.3/Fr.2 の値は2.0-2.4の範囲、そして超長鎖の割合は3.0-6.5%の範囲にあった。以上のデンプンの構造特性値と、アミログラフィーの特性値や膨潤力、溶解度を統計的に解析したところ、鎖長分布における Fr.2 の割合は糊化

開始温度 ($r=0.847$, $p<0.01$) とセットバック ($r=-0.707$, $p<0.01$) に、また、Fr.3/Fr.2 の値は糊化開始温度 ($r=-0.741$, $p<0.01$) に高い相関が認められ、さらに、アミロペクチンの超長鎖の割合にもいくつかの物性値との相関が見出された。一方、見かけのアミロース含量はいずれの物性値とも相関が認められなかった。以上の結果から、16種の品種別サツマイモデンプンの構造特性は、モチ種から高アミロース種が存在する穀類デンプンと比べると多様性に乏しいものの、それらの糊化特性の相違には主としてアミロペクチンの分子構造が関与していると考えられた。

2) 新形質サツマイモデンプンの特性^{10,11)}

九州沖縄農業研究センター畑作研究部のサツマイモ育種研究室において、スープやコロッケなどの調理用サツマイモが選抜されていた。この29種の系統からデンプンを調製し、イソアミラーゼ処理後の鎖長分布を調べた。鎖長分布において、主にアミロース成分由来とされる Fr.1 の割合は平均値で $16.5 \pm 1.3\%$ であった。先に述べた16品種の平均値は $20.9 \pm 1.2\%$ であり⁷⁾、調理用として選抜された系統が低アミロース性に傾いていることが判明した。これらの中で九系89376-12は Fr.1 の値が最も小さく、低アミロースサツマイモデンプンとして見出された。九系89376-12のデンプンは見かけのアミロース含量が10.3%であり、普及品種コガネセンガンのデンプンのおよそ半分であった (Table 1)。デンプンを食品や工業用材料として利用する上で粘度特性は重要な性質であり、低アミロースデンプンのそれには興味もたれる。アミログラフィーにおいて、九系89376-12のデンプンは最高粘度とブレイクダウンが大きく、糊化開始温度とセットバックはコガネセンガンのものと類似していた (Fig. 2)。前者の特徴はモチトウモロコシデンプンと似ており、低アミロースサツマイモデンプンはモチ種デンプンとサツマイモデンプンの特徴を合わせもっていた。一方、粒径や結合リン酸含量、X線回折図形はコガネセンガンのものに類似しており (Table 1)、また、アミロペクチンを調製して鎖長分布を調べたが、コガネセンガンのものと大きな相違は認められず、同様に、高性能陰イオン交換クロマトグラフィー (HPAEC-PAD) による短い単位鎖の分布においても相違は認められなかった (Fig. 3)。このように、低アミロースデンプンとコガネセンガンデンプンの構造特性はアミロース含量を除くとよく似ており、両者の糊化特性の相違はアミロース含量の差に

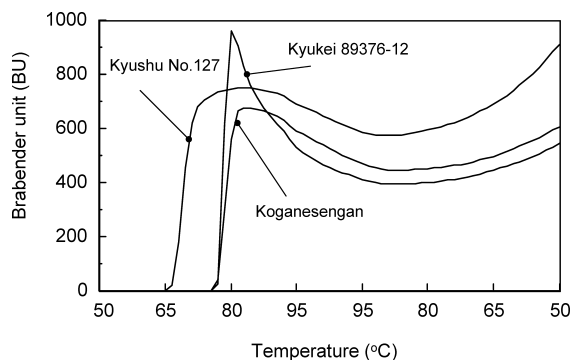


Fig. 2. Brabender amylograms of root starches from Koganesengan, Kyukei 89376-12 and Kyushu No. 127.

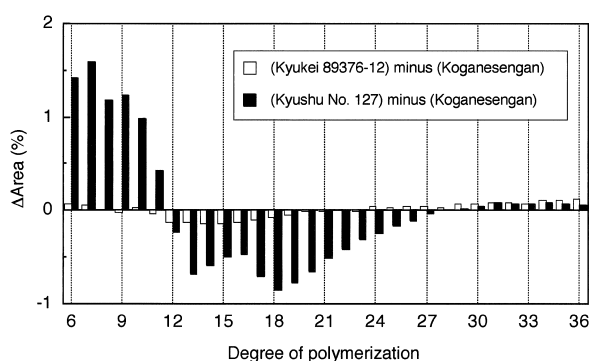


Fig. 3. Difference in short-chain distributions of root starches from Kyukei 89376-12 and Kyushu No. 127 in comparison with Koganesengan starch.

よって現れるものと思われた。

同様にサツマイモ育種研究室において、加熱調理後に非常に甘い品種、九州 127 号が選抜されていた。九州 127 号のデンプンは糊化開始温度がコガネセンガンのものより約 10°C 低く、低温糊化性のサツマイモデンプンであることがわかった (Fig. 2)。このデンプンの特性は結合リン酸含量が低いこと、B 型結晶形に近づくこと (Table 2)、アミロペクチンの超長鎖が多いこと¹¹⁾、アミロペクチンを構成する重合度 6-11 の単位鎖が多いこと (Fig. 3)、また、粗グルコアミラーゼによる酵素消化性が高いこと¹¹⁾を明らかにした。サツマイモの甘味には、それ自体に元来遊離糖としてグルコースやフルクトース、スクロースが存在して若干の品種間差があるが⁸⁾¹²⁾、調理後の甘味はデンプンにβ-アミラーゼが作用して生成したマルトースによることが知られている¹³⁾。サツマイモのβ-アミラーゼは生デンプン粒にはほとんど作用できず、加熱にともなって熱失活するので、加熱過程におけるマルトースの生成にはデンプンの糊化開始から本酵素の失活までの糖化時間が重要となる。九州 127 号はデンプンの糊化開始が早く、したがって糖化時間が長くなり高甘味を発現するものと考えられた。アミログラフを用いたデンプンと酵素抽出液の加熱糖化モデル実験において、九州 127 号の糖化後のデンプンはβ-アミラーゼ分解限度であるマルトシルおよびマルトトリオシル基がコガネセンガンのものに比べて著しく増大していることを示し、このデンプンが加熱過程でβ-アミラーゼの作

Table 2. Chain-length distribution of starch and amylopectin from sweetpotato root and leaves at different times.

	Fr.1* (%)	Fr.2* (%)	Fr.3* (%)	Fr.3/Fr.2	ΔFr.1** (%)
Starches					
Root	19.6	30.4	50.0	1.6	15.7
Leaves					
05:00	23.8	31.1	45.1	1.5	14.9
09:00	28.3	29.8	41.9	1.4	14.4
13:00	18.8	32.2	49.0	1.5	7.0
17:00	19.8	31.6	48.6	1.5	7.4
20:00	23.1	31.2	45.7	1.5	12.6
00:00	27.1	29.9	43.0	1.4	14.6
Amylopectins					
Root	3.9	36.5	59.6	1.6	—
Leaves					
05:00	8.9	37.5	53.6	1.4	—
09:00	13.9	36.4	49.7	1.4	—
13:00	11.8	34.0	54.2	1.6	—
17:00	12.4	35.1	52.5	1.5	—
20:00	10.5	36.5	53.0	1.5	—
00:00	12.5	37.3	50.2	1.3	—

*Fractionated on two linked columns of Superose 6 and Sephadex G25SF (The elution profiles are somewhat different from those determined in Table 4 because of HPLC conditions). **Difference in Fr. 1 contents of the starch and amylopectin.

用を受けやすいことを実証した¹¹⁾。

サツマイモデンプンのアミロース含量に関しては、後に遺伝子組み換え技術を用いてアミロースフリーのサツマイモデンプンが作出された¹⁴⁾。また、Katayama ら¹⁵⁾は九州 127 号よりさらに糊化温度の低いデンプンをもつ品種、関東 116 号 (現品種名クイックスイート) を見出した。低温糊化性のデンプンは耐老化性などの優れた性質も合わせもっており、現在、プロジェクトとして九州沖縄農業研究センターと筆者の研究室を中心に用途開発ならびに構造特性に関与している酵素の検索が進行している。

2. 緑葉デンプンの特性^{16,17)}

緑葉で形成されるデンプンの研究は古くから行われていたが数は少なく、構造特性値が報告されているものは、サンフラワー¹⁸⁾、イネ^{19,20)}、タバコ^{18,21,22)}、ジャガイモ²³⁾、エンドウ²⁴⁾、アラビドプシス²⁵⁾などがある。分析項目や方法が異なるため構造特性を比較しにくいのが、アミロース含量として報告されているものは植物種や品種により様々で (3.6-25%)、また、葉の採集時刻や成長度によっても変動することが報告されている²²⁾。おそらく葉のデンプンは動的な代謝のなかに存在し、常に変化しつつ多様な構造を示すことが予測された。そこで、3 カ月間栽培したコガネセンガンの葉を時間ごとに採集し、含まれるデンプンの構造を調べた。

葉のデンプン含量は夜明け前から朝を最小とし (乾物あたり約 7%)、夕方を最大とする (約 17%) 概日リズムが認められた。サツマイモの葉を単に摩砕しただけではデンプンの収率が非常に悪かったため、組織を熱ジメチルスルホキシド中で摩砕してデンプンを抽出し、さらに、デンプ

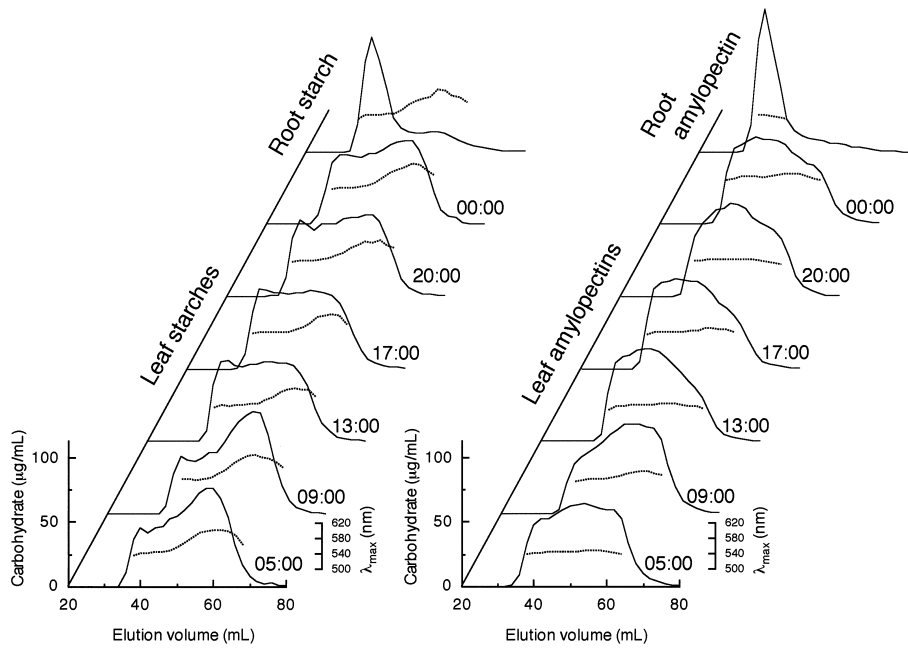


Fig. 4. Molecular weight distributions of starches and amylopectins from root and leaves at different times determined by GPC on Toyopearl HW-75F.

Solid line indicates carbohydrate, and dotted line indicates the λ_{\max} in each eluate. The molecular weight distributions of root starch and amylopectin are expressed as a half scale.

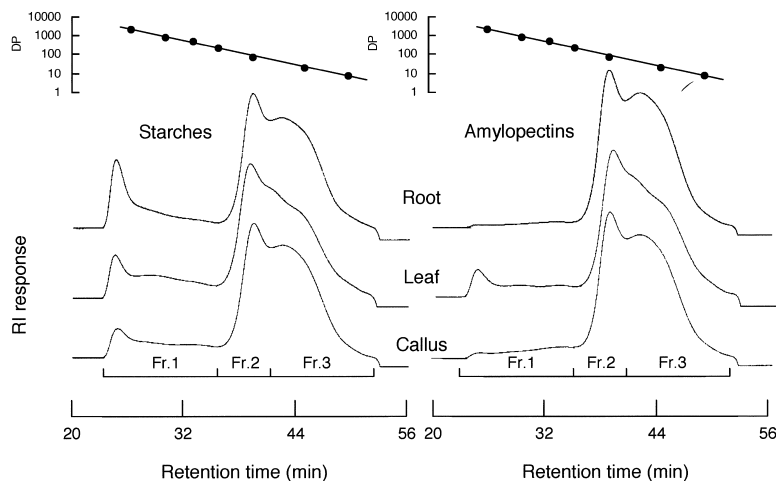


Fig. 5. Chain-length distributions of debranched starches and amylopectins from sweetpotato root, leaf collected at 17:00 and callus cultured for 7 days.

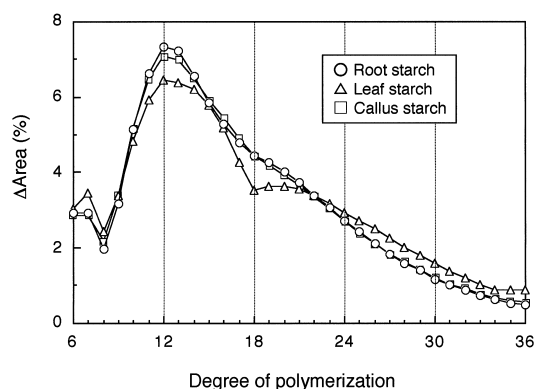
ンはヨウ素により特異的に沈殿させて調製した²⁶⁾。まず、トヨパール HW-75 F を用いてデンプンとアミロペクチンの分子量分布を調べた (Fig. 4)。一般に、塊根デンプンの溶出曲線は高分子側と低分子側に分けることができ、アミロペクチンのみの溶出曲線や λ_{\max} の値からそれぞれ主にアミロペクチンとアミロース由来であることがわかる。同様にして葉のデンプンとアミロペクチンの分子量分布と λ_{\max} の値をみると、葉のデンプンは低分子側の溶出量が多く、この画分にはアミロースと低分子のアミロペクチンが存在することが明らかになった。また、アミロペクチンの分子量分布は昼間に高分子側に移行し、日没から明け方にかけて低分子側に移行した。さらに、ゲル濾過による鎖長分布と HPAEC-PAD 法による短い単位鎖分布を調べ、それぞれ Fig. 5 と Fig. 6 には塊根デンプンとデンプン含量が最大となる夕方 5 時の葉のデンプンの結果を、また、後

述するカルスデンプンの結果もあわせて示した。ゲルろ過による鎖長分布の Fr.1 において、葉のデンプンにはポイド容量に溶出するピークと、その後続くなだらかなピークが認められ、これらの成分の一部はアミロペクチンの溶出曲線との比較によりアミロース由来であることが示された (Fig. 5)。また、葉のアミロペクチン分子には Fr.1 に溶出する超長鎖が多量に存在することや、Fr.3 の溶出曲線は塊根のものとは明らかに異なること (Fig. 5)、さらに葉のデンプンは重合度 12 と 18 の単位鎖近傍が少ないこと (Fig. 6) が特徴として見出された。Table 2 には継時的に採集した葉のデンプンについて、鎖長分布の各画分の割合と、それらのアミロペクチンの結果をまとめた。また、アミロース含量はデンプンとアミロペクチンの Fr.1 の割合の差として評価した (Δ Fr.1)。エンドウ²⁴⁾ やアラビドプシス²⁵⁾ の葉のデンプンはほとんどアミロースを含まないこと

Table 3. Starch content, chain-length distribution of starch, and GBSSI transcript in sweetpotato calli at different culture periods.

Culture period	Starch content (% DM)	Chain-length distribution*				GBSSI transcript**
		Fr.1 (%)	Fr.2 (%)	Fr.3 (%)	Fr.3/Fr.2	
1 day	2.3	0	32.6	67.4	2.1	+
3 days	5.6	7.5	32.7	59.8	1.8	+
5 days	9.6	10.1	31.1	58.8	1.9	
7 days	10.5	12.3	31.1	56.6	1.8	
2 weeks	7.3	16.8	29.2	54.0	1.9	+
3 weeks	4.3	17.8	29.5	52.7	1.8	
4 weeks	0.9	nd	nd	nd	nd	+
Root starch	nd	19.3	29.0	51.7	1.8	

nd, not determined. *Fractionated on two linked columns of Superose 6 and Sephadex G25SF (The elution profiles are somewhat different from those determined in Table 3 because of HPLC conditions). **Determined quantitatively by a competitive RT-PCR technique.

**Fig. 6.** Short-chain distributions of debranched starches from sweetpotato root, leaf collected at 17:00 and callus cultured for 7 days.

が報告されているが、サツマイモでは7.0-14.9%の範囲で変動しており、その含量は昼間で低かった。一方、昼夜におけるアミロペクチンの鎖長分布 (Table 2) と短い単位鎖分布¹⁷⁾には目立った変動は認められなかった。これらの結果において、昼間のデンプン合成期にアミロースが分解されるとは考えにくいから、この時期にはアミロペクチンが優先して合成されていると推定された。

3. カルスデンプンの特性^{16,27)}

植物生理学や細胞工学、育種学などの観点から培養細胞が研究材料として取り上げられている。このような培養細胞内にもデンプン粒が存在することは知られていたが、そのデンプンの構造特性については調べられていなかった。培養細胞は未分化な組織であり器官ではないが、デンプン生合成のモデル系として興味ある材料と考えられた。先に、サツマイモ近縁品種の *Ipomoea cordatotriloba* の懸濁培養細胞に形成されるデンプン粒について調べたが¹⁶⁾、ここではコガネセンガンの茎頂培養により調製したカルスに形成されるデンプン粒²⁷⁾について述べる。

ムランゲ・スクーク塩類を基本とし、植物ホルモンとし

て2,4-ジクロロフェノキシ酢酸とナフチル酢酸、炭素源として3%スクロースを含む液体培地でサツマイモカルスを培養すると、デンプンは1週間目で最大量に達し、後に減少して4週間目にはほとんど消失した。そこで、デンプン粒をほとんど含まない培養4週間目のカルスを新たな培地に植え継ぎ、継目的にデンプンの鎖長分布を調べた。Fig. 5とFig. 6にはデンプン含量が最大となる培養7日目の試料の結果を示したが、鎖長分布では塊根のものに比べてFr.1の割合が小さく、一方、アミロペクチンの鎖長分布 (Fig. 5) やHPAEC-PAD法による短い鎖単位鎖分布 (Fig. 6) はそれぞれの塊根のものと同様であった。Table 3には4週間の培養過程におけるデンプン含量と鎖長分布の各画分の割合をまとめた。主にアミロース画分とされるFr.1は培養1日目で認められず、その後の過程で増大し、さらに、デンプン含量が減少する過程においても残存するデンプンでは増大した。一方、培養1日目のデンプン粒から結晶性が認められ²⁷⁾、培養を通してアミロペクチンの構造指標であるFr.3/Fr.2の値はほぼ一定であることや (Table 3)、HPAEC-PAD法による短鎖単位鎖分布は相違が認められないこと²⁷⁾から、アミロペクチンの分岐構造は培養1日目から完成されていると思われる。カルスデンプンの成長過程において、特にアミロース画分に変化が認められたため、アミロース合成に与る粒結合型デンプン合成酵素 (GBSSI) 遺伝子の転写量を競合RT-PCR法で調べた。Table 3に示すように、GBSSI遺伝子の転写産物は4週間の培養を通して一定レベルで確認された。この実験では培養4週間目のカルスを0日目として新たに植え継いでおり、このことは培養開始時でもGBSSI遺伝子は転写されていたことを意味する。それにもかかわらず培養1日目でアミロース画分が認められないことは、少なくとも構造上はアミロース合成とアミロペクチン合成に時間的な差があることを示唆し、アミロペクチンマトリクスの合成後にアミロース合成が起こるといった概念^{28,29)}に一致すると考えた。

4. おわりに

FAOの作物生産の統計資料と食品成分表の可食部の熱量によると、サツマイモの単位面積当たりの熱量生産量は17百万kcal/haと計算される。この値は同様にして求めた他の主要作物の値より高く、サツマイモのもつ熱量生産能の潜在力は極めて興味深い。この熱量源の主成分はデンプンであり、その生合成機構を解明することは生物資源エネルギーの利用や食料問題の観点から重要と思われる。本研究では、サツマイモにおいて貯蔵デンプンと同化デンプンの構造上の相違を明確なものとし、加えて、未分化なカルスで形成されるデンプンの構造特性を初めて明らかにした。また、緑葉とカルスで形成されるデンプンでは動的な構造変化を示すことができた。しかしながら、穀類やジャガイモに比べると、サツマイモのデンプン生合成酵素群の特性解明は非常に遅れている。今後は、これまでの結果を基に、さらにサツマイモデンプンの生合成機構の解明を展

開させ、地域糖質資源作物の基盤研究を高めたいと考えている。特に、カルスデンプンの構造は培養経過の変動のほか、炭素源や植物ホルモンの変化でもデンプンの量または質が変化することを認めており、今後もデンプン生合成研究のモデル系として活用したい。

このたびは日本応用糖質科学会奨励賞をいただき、誠に有り難うございました。坂野好幸会長をはじめとする役員の方、そして、ご推薦いただきました永浜伴紀前九州支部長、ご選考いただきました谷口 肇前会長をはじめ選考委員会の諸先生方に厚く御礼申し上げます。本研究は、鹿児島大学農学部に着任して以来取り組んでいる課題であります。研究を行うにあたり、終始ご指導いただきました永浜伴紀先生には改めて心から感謝申し上げます。大学では、菅沼俊彦先生（現・九州支部長）、藤本滋生先生（現・フジモト食品研究所）、竹田靖史先生、安部淳一先生、ならびに花城 勲先生から多くのご支援とご指導をいただきました。また、鹿児島大学農学部附属農場技術専門職員の松元里志氏にはサツマイモの栽培においてご協力とご助言をいただきました。さらに、独農業技術研究機構九州沖縄農業研究センター畑作研究部からは試料を提供していただき、また、在職中の山川 理博士（現・九州沖縄農業研究センター所長）、吉永 優博士（サツマイモ育種研究室長）、石黒浩二博士（畑作物変換利用研究室）、片山健二博士（サツマイモ育種研究室）、高畑康浩博士（遺伝資源利用研究室長）とは有益な議論をさせていただきました。皆さまに厚く御礼申し上げます。最後になりましたが、本研究は研究室に所属した学部および大学院学生と共に行ったものであります。サツマイモの栽培から収穫、そして積極的に実験に取り組んでいただきました。みんなでこの受賞の喜びを分かち合いたいと思います。

文 献

- 1) T.A. Thorpe and D.D. Meier: Starch metabolism, respiration, and shoot formation in tobacco callus cultures. *Physiol. Plant.*, **27**, 365-369 (1972).
- 2) H. Obata-Sasamoto and H. Suzuki: Starch deposition in potato callus cultures. *Z. Pflanzenphysiol. Bd.*, **88**, 33-37 (1978).
- 3) T. Sasaki and K. Kainuma: Control of starch and exocellular polysaccharides biosynthesis by gibberellic acid with cells of sweet potato cultured *in vitro*. *Plant Cell Rep.* **3**, 23-26 (1984).
- 4) H.-L. Wang, P.-D. Lee, R.-H. Juang and J.-C. Su: Starch-accumulating sweet potato callus tissue devoid of β -amylase but with two starch phosphorylase isozymes. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **57**, 1311-1315 (1993).
- 5) K. Komaki, O. Yamakawa, M. Toshinaga and M. Hidaka: New wave of sweetpotato breeding in Japan. in *Sweetpotato Technology for the 21st Century*, W.A. Hill, C.K. Bonsi and P.A. Loretan, eds., Tuskegee University, Tuskegee, pp. 533-539 (1992).
- 6) 山川 理: 最近のサツマイモの用途別品種育成と品種特性. *でん粉と食品*, **25**, 33-36 (2000).
- 7) K. Kitahara, Y. Ooi, S. Mizukami, T. Sukanuma and T. Nagahama: Physicochemical properties of starches from sweetpotato cultivars. *J. Appl. Glycosci.*, **43**, 59-66 (1996).
- 8) 藤本滋生, 菅沼俊彦, 永浜伴紀: 本邦の自生植物澱粉72種の性質の図形化. *澱粉科学*, **40**, 55-60 (1993).
- 9) 菅沼俊彦, 藤本滋生, 北原兼文, 永浜伴紀: 本邦の自生植物澱粉のクラスター分類とリーダーチャートによる図形化. *応用糖質科学*, **43**, 525-533 (1996).
- 10) K. Kitahara, S. Mizukami, T. Sukanuma, T. Nagahama, M. Yoshinaga, T. Kumagai and O. Yamakawa: A new line of sweetpotato with a low amylose content. *J. Appl. Glycosci.*, **43**, 551-554 (1996).
- 11) K. Kitahara, J. Ueno, T. Sukanuma, K. Ishiguro and O. Yanakawa: Physicochemical properties of root starches from new types of sweetpotato. *J. Appl. Glycosci.*, **46**, 391-397 (1999).
- 12) Y. Takahata, T. Noda and T. Nagata: Varietal diversity of free sugar composition in storage root of sweet potato. *Jpn J. Breed.*, **42**, 515-521 (1992).
- 13) Y. Takahata, T. Noda and T. Nagata: Effect of β -amylase stability and starch gelatinization during heating on varietal differences in maltose content in sweetpotatoes. *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 2564-2569 (1994).
- 14) T. Kimura, M. Otani, T. Noda, O. Ideta, T. Shimada and A. Saito: Absence of amylose in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] following the introduction of granule-bound starch synthase I cDNA. *Plant Cell Rep.*, **20**, 663-666 (2001).
- 15) K. Katayama, K. Komae, K. Kohyama, T. Kato, S. Tamiya and K. Komaki: New sweet potato line having low gelatinization temperature and altered starch structure. *Starch/Stärke*, **54**, 51-57 (2002).
- 16) K. Kitahara, K. Imamura, Y. Omae and T. Sukanuma: Characterization of molecular structure of starch granules in suspension-cultured cells from *Ipomoea cordatotriloba* Denn. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **62**, 1962-1967 (1998).
- 17) K. Kitahara, T. Uchino, I. Okizono and T. Sukanuma: Diurnal-nocturnal changes of assimilated starch structures in sweetpotato leaves. *J. Appl. Glycosci.*, **51**, 81-85 (2004).
- 18) M.A. Radwan and C.R. Stocking: The isolation and characterization of sunflower leaf starch. *Am. J. Bot.*, **44**, 682-686 (1957).
- 19) C.M. Perez, E.P. Palmiano, L.C. Baun and B.O. Juliano: Starch metabolism in the leaf sheaths and culm of rice. *Plant Physiol.*, **47**, 404-408 (1971).
- 20) T. Taira, M. Uematsu, Y. Nakano and T. Morikawa: Molecular identification and comparison of the starch synthase bound to starch granules between endosperm and leaf blades in rice plants. *Biochem. Genet.*, **29**, 301-311 (1991).
- 21) I.R. Abbott and N.K. Matheson: Starch depletion in germinating wheat, wrinkled-seeded peas and senescing tobacco leaves. *Phytochemistry*, **11**, 1261-1272 (1972).
- 22) N.K. Matheson: The chemical structure of amylose and amylopectin fractions of starch from tobacco leaves during development and diurnally-nocturnally. *Carbohydr. Res.*, **282**, 247-262 (1996).
- 23) J.H.M. Hovenkamp-Hermelink, J.N. de Vries, P. Adamse, E. Jacobsen, B. Witholt and W.J. Feenstra: Rapid estimation of the amylose/amylopectin ratio in small amounts of tuber and leaf tissue of the potato. *Potato Res.*, **31**, 241-246 (1988).
- 24) K.L. Tomlinson, J.R. Lloyd and A.M. Smith: Importance of isoforms of starch-branching enzyme in determining the structure of starch in pea leaves. *Plant J.*, **11**, 31-43 (1997).
- 25) S.C. Zeeman, T. Umemoto, W.-L. Lue, P. Au-Yeung, C. Martin, A.M. Smith and J. Chen: A mutant of Arabidopsis lacking a chloroplastic isoamylase accumulates both starch and phytylglycogen. *Plant Cell*, **10**, 1699-1711 (1998).
- 26) N.K. Matheson: The α (1-4) (1-6) glucans from sweet and normal corns. *Phytochemistry*, **14**, 2017-2021 (1975).
- 27) K. Kitahara, M. Antoku, Y. Hori, A. Sedoshita and T. Sukanuma: Developmental change in starch granules in sweetpotato callus. *Carbohydr. Polym.*, **49**, 91-96 (2002).
- 28) S.G. Ball, M.H.B.J. van de Wal and R.G.F. Visser: Progress in understanding the biosynthesis of amylose. *Trend Plant Sci.*, **3**, 462-467 (1998).
- 29) H. Tatge, J. Marshall, C. Martin, E.A. Edwards and A.M. Smith: Evidence that amylose synthesis occurs within the matrix of the starch granules in potato tubers. *Plant, Cell Environ.*, **22**, 543-550 (1999).