報 文

[Nippon Nōgeikagaku Kaishi Vol.64, No. 4, pp. 883~889, 1990]

サトイモ (*Colocasia esculenta* (L) Schott) の球茎形
成肥大に伴う熱水可溶性多糖の消長

大谷貴美子, 遠山深雪, 太田敦子, 磯崎千恵

(武庫川女子大学家政学部食物学科)

平成元年5月1日受理

Changes in Carbohydrate Components of Hot Water-Soluble
Polysaccharides of Satoimo (*Colocasia esculenta* (L) Schott)
during Tuberization and Development

Kimiko OHTANI, Miyuki TOOYAMA, Atsuko OOTA and Chie ISOZAKI

Faculty of Home Science, Mukogawa Women's University, Hyogo 663, Japan

Carbohydrate components were examined in hot water-soluble polysaccharides of the mother corm, first cormel and second cormel of Satoimo during tuberization and development. The extracted hot water-soluble polysaccharides were fractionated by Sepharose 6B column (1.5×80 cm) chromatography. The elution profiles and the carbohydrate compositions of polysaccharides fractionated by column chromatography were compared. The extracted polysaccharide from the mother corm produced three fractions by column chromatography. The proportion of polysaccharide fractionated in the small molecular weight fraction, which consist of glucose, increased during tuberization and development. The first cormel polysaccharide was mostly obtained in the intermediate molecular weight fraction, of which the carbohydrate composition was galacturonic acid and glucose. The elution profiles were not changed much through tuberization and development. The second cormel polysaccharide was composed of that fractionated in the large molecular weight fraction, of which the carbohydrate composition was mainly galactose, glucose and galacturonic acid. The elution profiles were not changed through tuberization and development.

(Received, May 1, 1989)

緒 言

サトイモは单子葉植物に属するイモ類であるが、種芋を植え付けると、種芋中の澱粉を糖化分解しながら親芋が形成され、親芋は茎葉を繁茂させ、光合成を行う。そして、光合成産物を利用して、親芋の肥大、子芋、孫芋の分球肥大成長が行われる。この時、親芋は直接光合成産物を利用するが、子芋は、いったん、親芋を通して栄養源が供給され、孫芋はさらに親芋、子芋を通して栄養源が供給されるというように、光合成産物の流れは芋の世代によって、非常に異なっている。

さきに、われわれは、種芋を植え付けてから、幼苗期、地上部の茎葉繁茂期、地下部の子芋の分球肥大期を通じて、親芋、子芋の中に含まれている非澱粉性多糖が、どのように変化するかを検討し、とくに、親芋、子芋共に熱水可溶性多糖および、シュウ酸アンモニウム可溶性多糖の構成糖のうち、グルコースが顕著に変化することを報告した。

熱水可溶性多糖および、シュウ酸アンモニウム可溶性多糖は、一般的にはペクチン画分に分類され、主として、細胞間物質が分画されるところでもあるが、芋の生長に伴い顕著な変化を示したグルコースを含む多糖が、

ベクチン画分に分類される多糖なのか、もしくは細胞内の貯蔵性多糖に由来するものなのかは明らかではなかった。

そこで本研究では、親芋、子芋に新たに孫芋を加えて、熱水可溶性多糖におけるグルコースの変化を、この画分に分画された多糖の消長を調べることで検討を行い、若干の知見が得られたので報告する。

実験方法

1. 試料 サトイモは、昭和 58 年 4 月に同じ種芋から採取された石川早生を、大阪府立農林技術センターで植え付け、約 2 週間ごとに 11 月末まで採取した親芋、子芋、孫芋を用いた。

2. 熱水可溶性多糖の分画 経日的に採取された親芋、子芋、孫芋を冷水中で粉砕し、おおよその澱粉粒をナイロン布でこしとり、その澱粉除去残渣に 3 倍容の熱水を加え、100°C で 3 時間、2 回、多糖の抽出を行った。また、この画分に混入した澱粉については、枯草菌由来の α -アミラーゼでヨード反応が無くなるまで繰り返し分解し、透析除去後、凍結乾燥させ試料とした。このようにして、調製した熱水可溶性多糖をセファロース 6B カラム (1.5×80 cm) を用いて分画を行った。流出溶媒には、0.05 M 酢酸緩衝液、pH 5.0 (10 mM EDTA 含む) を用い、各画分約 2.0 ml ずつ分取し全糖量とウロン酸の測定を行った。

3. 糖の分析 全糖量の測定は、フェノール硫酸法⁽²⁾を用い、ウロン酸の測定は、*m*-ヒドロキシジフェニール法⁽³⁾を用いた。分画された多糖の構成糖は、先の報告⁽¹⁾と同様に、酸で加水分解後、還元、アセチル化を行い、アルジトールアセテート誘導体としてガスクロマトグラフィーで分析した。

ウロン酸については、ウロン酸を含む多糖を水可溶性カルボジミドを用いて還元⁽⁴⁾し、ウロン酸を相当する中性糖にかえた後、構成糖を調べ、還元前の構成糖と比較することにより、同定を行った。

構成糖残基の配向性については、堀場高速自動旋光計 SEPA-200 を用いて、測定した。溶媒は水を用い、25°C で測定を行った。

結果および考察

一般にイモ類の細胞壁構成多糖を含む非澱粉性多糖の研究は、ジャガイモ^(5,6)を除き少なく、サトイモ⁽⁷⁾やセマ

ノイモ^(8,9)などは、粘質物の研究に取上げられている程度で、芋の世代を追って、またその生長過程を追って研究されたものは見当たらない。

Fig. 1. Changes of the Contents of Hot Water-Soluble Polysaccharide in Satoimo (*Colocasia esculenta* (L) Schott) with Growing Days. ●, Mother corm; ○, the first cormel; ▲, the second cormel.

Fig. 2. Changes in Carbohydrate Composition of Hot Water-Soluble Polysaccharide of the Second Cormel. □, Rhamnose; ■, arabinose; ●, xylose; ▣, mannose; △, galactose; ▲, glucose; ⊙, uronic acid. Content of uronic acid was expressed as the proportion in total carbohydrate.

Fig. 3. Elution Profiles of Hot Water soluble Polysaccharides of Mother Corm on Sepharose 6 B Column (1.5×80 cm). Elution was performed with 0.05 M acetate buffer, pH 5.0, containing 10 mM EDTA. Each 2 ml was collected. —, Total carbohydrate contents; ·····, uronic acid contents.

サトイモは単子葉植物に属する球茎であるが、種芋を植え付けると、まず光合成を行うために、親芋が形成され、親芋の産生する光合成産物を利用して、子芋、孫芋などが分球、肥大していく。このとき、親芋は自らが産生した光合成産物を利用するのに対し、子芋は親芋を通して、また、孫芋は親芋、子芋を通して栄養源が供給される。ところで、芋の肥大は単に細胞の肥大による⁽¹⁰⁾とされているが、貯蔵澱粉の合成、細胞壁構成多糖の合成いずれも、親芋の産生した光合成産物を利用してなされるものの、そのプロセスについては明らかにされていない。われわれは、サトイモが比較的早く世代交代することを利用して、各世代の芋の生長過程において、芋中の非澱粉性多糖がどのように変化するかを検討してきた。その結果、芋の世代によって、そこに含まれている非澱粉性多糖の含量、構成糖また、それらの変化が非常に異なっていることが示唆された⁽¹¹⁾。とくに、熱水可溶性多糖においては、構成糖中のグルコースが特異的な変化を示し、親芋では芋の肥大と共に増加していくのに対し、子芋ではむしろ減少傾向を示すなどの違いが認められ

た。熱水可溶画分には、細胞間構成物質、細胞壁構成多糖と共に細胞内貯蔵多糖も分画される。そこで、このような顕著な変化を示したグルコースがどのような多糖に由来しているものかを検討する目的で、さらに孫芋も含めて3世代の芋について比較検討を行った。

なお、種芋については、さきにも報告したとおり⁽¹¹⁾親芋の生長に伴い組織の軟化崩壊が起きたため、熱水可溶性多糖の収量が少なく検討できなかった。

まず経日的に採取された親芋、子芋、孫芋 100 g 当りに抽出分画された熱水可溶性多糖の含量の変化を Fig. 1 に示した。その結果、子芋、孫芋では芋の生長肥大に伴い含量は減少傾向を示したが、親芋では、初期に増加しその後は、あまり変化せず、芋 100 g 当たりの含量を比較すると、親芋の場合が最も高値を示し、子芋、孫芋の順に低値を示した。この間、親芋、子芋、孫芋いずれも肥大生長が認められ、澱粉の含有量も増加を示している⁽¹¹⁾。一方、芋の生長に伴うこれら熱水可溶性多糖の構成糖の変化は、親芋、子芋については先に報告したとおり⁽¹¹⁾であるが、孫芋では、Fig. 2 に示すようにグル

Fig. 4. Elution Profiles of Hot Water-Soluble Polysaccharides of the First Cormel on Sepharose 6 B Column (1.5×80 cm). See the legend in figure 3.

Fig. 5. Elution Profiles of Hot Water soluble Polysaccharides of the Second Cormel on Sepharose 6 B Column (1.5×80 cm). See the legend in figure 3.

Table I. Proportion of Neutral Sugar of Hot Water-Soluble Polysaccharides of Mother Corm Fractionated by Sepharose 6 B Column

Date	Fraction	Rham	Ara	Gal	Glc	Uronic acid %	Recovery %
8/4	H	6.3	9.4	31.3	53.1	0	27.8
	M	2.2	4.3	7.2	86.2	17.8	72.2
	L	not fractionated					0
8/18	H	7.1	7.1	35.7	50.0	12.7	30.4
	M	4.0	16.0	40.0	40.0	41.4	69.6
	L	not fractionated					0
9/14	H	5.3	10.5	52.6	31.6	0	9.0
	M	7.1	5.7	14.3	72.9	29.5	60.6
	L	2.3	17.6	7.6	72.5	0	30.3
10/26	H	5.0	15.0	50.0	30.0	9.9	13.4
	M	11.4	42.9	28.6	17.1	16.3	48.8
	L	0.6	4.0	3.1	92.3	0	37.8
11/9	H	9.1	18.2	18.2	54.5	47.4	18.5
	M	not fractionated					0
	L						81.5
11/21	H	—	13.6	45.5	40.9	7.6	8.2
	M	1.3	15.2	12.7	70.9	26.4	33.1
					100.0	0	58.6

Content of uronic acid was expressed as proportion to total sugar. Total carbohydrate was determined by phenol-sulfuric acid method using galacturonic acid as standard.

コースの増加傾向とガラクトースの減少傾向が認められ、同じく地下部において澱粉を貯蔵し次世代産生を担う子芋とは異なった動きを示した。そこで、親芋、子芋、孫芋の各世代における熱水可溶性画分に分画される構成多糖の消長についてより詳細に検討するため、セファロース 6B カラムを用いて多糖の分画を行った。

Fig. 3 から Fig. 5 に親芋、子芋、孫芋の熱水可溶性多糖をセファロース 6B カラムに供したときの流出パターンを示した。採取日により収穫したサトイモの重量が異なるため、得られた多糖の収量に違いがあり、カラムに供した熱水可溶性多糖の量は一定ではない。そこで流出パターンを比較してみると、親芋の場合、多糖は大きく 3 つの画分に分画された。地上部での茎葉の繁茂、および地下部での子芋の分球肥大という過程の中で熱水可溶画分に含まれる多糖のうち、フラクション No. 60 以降の低分子量側に分画される多糖が増加していく傾向が示された。また各画分の構成糖を調べたところ、Table I に示すように、最も低分子量側に分画された多糖は、ほとんどがグルコースから成っており、親芋の生長に伴う熱水可溶性画分における経日的なグルコースの増加は、この画分の多糖の増加によるものと考えられた。また他

の 2 つの画分に分画された多糖は、ウロン酸を多く含み中性糖もグルコース以外にガラクトース、ラムノース、アラビノースを含んでいた。子芋の場合は、Fig. 4 に示すように、親芋の場合とは異なり、フラクション No. 40 から 80 付近にウロン酸を含む多糖が分画された。そこで多糖を図中に示すように、2 つの画分に分け構成糖を調べたところ、結果は Table II に示したように、低分子量側に分画された多糖は、ウロン酸以外はほとんどがグルコースから成っており、高分子量側に分画された多糖には、グルコースの他に、ガラクトース、ラムノース、アラビノースなどが含まれていた。つまり、子芋の生長に伴い経日的にグルコースの減少傾向が認められたのはガラクトースなど他の中性糖を含む分子量の大きい画分と中性糖としてグルコースからのみなる低分子量側の画分の量比の関係によるものと考えられた。また、子芋の低分子量側に分画された多糖は、別に報告する⁽¹²⁾が、親芋と同様にデキストラナーゼ (*Penicillium*) による分解を受けることから、おそらく親芋の低分子量画分に分画された多糖と類似の多糖と考えられた。また、子芋の場合いずれの採取日のものもグルコースから成る多糖の他にウロン酸を含む多糖が多く得られ、これらが子

Table II. Proportion of Neutral Sugar of Hot Water-Soluble Polysaccharides of the First Cormel Fractionated by Sepharose 6B Column

Date	Fraction	Rham	Ara	Gal	Glc	Uronic acid %	Recovery %
8/4	H	—	—	58.8	41.1	1.4	5.7
	ML				100.0	14.2	65.4
9/14	H	not determined				N. D.	19.9
	ML	0.5	1.6	5.4	92.4	18.9	62.8
9/29	H	6.3	9.4	31.3	53.1	N. D.	24.0
	ML				100.0	25.2	67.4
10/26	H	—	—	16.7	83.3	9.1	11.3
	ML				100.0	18.5	88.7
11/9	H	16.7	12.5	41.7	29.2	19.2	37.8
	ML				100.0	19.0	62.2
11/21	H	—	11.1	37.0	51.9	7.2	35.2
	ML				100.0	16.3	64.8

Content of uronic acid was expressed as proportion to total carbohydrate. Total carbohydrate was determined by phenolsulfuric acid method using galacturonic acid as standard.

Table III. Proportion of Neutral Sugar of Hot Water-Soluble Polysaccharides of the Second Cormel Fractionated by Sepharose 6B Column

Date	Fraction	Rham	Ara	Man	Gal	Glc	Uronic acid %	Recovery %
9/14	H	—	18.8	18.8	62.4	—	8.4	36.7
	L	8.6	17.4	—	43.5	30.4	23.9	40.8
9/29	H	—	18.8	6.3	62.5	12.5	13.9	35.7
	L	—	23.8	—	23.8	52.4	42.6	35.7
10/26	H	26.5	10.2	38.8	20.4	4.1	6.1	39.2
	L	—	—	—	71.4	28.6	4.7	40.6
11/9	H	59.1	5.7	3.4	11.4	20.5	9.1	51.4
	L	34.6	—	—	12.3	53.1	5.4	21.5
11/21	H	17.2	6.9	6.9	34.5	34.5	8.0	47.8
	L	29.6	17.3	3.7	12.3	37.0	15.1	21.7

Content of uronic acid was expressed as proportion to total carbohydrate. Total carbohydrate was determined by phenol-sulfuric acid method using galacturonic acid as standard.

芋の肥大生長過程における熱水可溶性画分に占めるおもな構成多糖であることが示された。次に、孫芋の場合であるが、Fig. 5 に示すように、熱水可溶性多糖はフラクション No. 20 から 40 付近に分画される多糖とフラクション No. 60 から 80 付近に分画される多糖の 2 つの画分に分画され、孫芋の生長に伴って、親芋とは逆に、低分子量側の多糖は減少する傾向を示した。また、全生長期間を通して、分子量の大きい多糖が、主たる構成多糖であることが示された。各画分の構成糖は、Table-III に示したとおりであるが、孫芋の場合は、いずれの画分に分画される多糖もウロン酸、グルコース以外に、ガラクトース、アラビノースなどを含み、複雑な構造を持つ多糖であることが示唆された。また、孫芋熱水可溶画分における経日的なグルコースの増加傾向は、これら 2 つ

の画分に含まれているグルコースの比率が増加傾向を示したためと考えられる。

つまり、同じサトイモであっても、熱水可溶性画分に占める多糖の分子量分布は、芋の世代によって顕著に異なっており、親芋では、分子量の小さいものが、子芋では親芋より分子量の大きいものが、孫芋では分子量の大きいものが主たる構成多糖であることが示された。

また、熱水可溶画分に含まれているウロン酸については、ウロン酸を含む多糖を還元したところ、ガラクトースの増加が認められ、ウロン酸はガラクトウロン酸であることが示された。また、これらの多糖に *Aspergillus* 由来のベクチナーゼ（シグマ社）を作用させたところ分解を受けることも確認している。

一般に熱水可溶画分には、細胞間物質や細胞壁構成成

分、また、細胞内貯蔵物質が分画されてくるが、このグルコースからなる多糖がいずれに属するものなのかは現時点では不明である。また、これらの多糖は旋光度の測定結果から α 結合をしていることが考えられる。

従来、細胞壁の生合成において、 β 1 $\rightarrow$ 3 グルカンが重要な働きをしていることが報告されており⁽¹³⁾、単子葉植物の場合、双子葉植物に比し非セルロース系の β 1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4 結合から成るグルカンが多く含まれているという報告もなされている^(14,15)。一方、可溶性糖(還元糖)中のグルコースはショ糖を経て澱粉の生合成に利用されるため芋の肥大に伴い減少していくことが知られている⁽¹⁰⁾。しかしながら、本研究で報告したグルコースは還元糖として存在しているのではなく、また旋光度の値がプラスを示し、詳細については別に報告⁽¹²⁾するが、デキストラナーゼにより分解を受けること、メチル化分析により 1 $\rightarrow$ 6 結合を示す 2,3,4-トリ-O-メチル-D-グルコースが得られたことなどから、従来の報告にあるような β グルカンとは別の新しいタイプの多糖と考えられた。芋の生長に伴い特異的な消長を示したグルコースからなる多糖が、細胞壁や澱粉などの生合成とどのように関わっているのかは、現段階においては全く不明であるが、今後、シュウ酸アンモニウム可溶成分など他の画分に分画された多糖の消長や構造解析をすすめることにより、芋の生長に伴う非澱粉性多糖の変化の全様を明らかにしていきたいと考えている。

要 旨

同じ種芋から採取されたサトイモ(石川早生)を植え付け経日的に採取した親芋、子芋、孫芋から熱水可溶性多糖を抽出し、セファロース 6B カラムで分画を行い芋の生長に伴う熱水可溶性多糖の消長について検討を行った。

(1) 親芋の熱水可溶性多糖は大きく3つの画分に分画され、最も低分子量側に分画されたグルコースからなる多糖が、芋の生長に伴い増加する傾向が認められた。

(2) 子芋の熱水可溶性多糖は大きく2つの画分に分画され、主な構成多糖として、分子量の小さい側に、構成糖がウロン酸とグルコースから成る多糖が分画された。また芋の生長に伴いグルコースは減少傾向を示した。

(3) 孫芋の熱水可溶性多糖は主として分子量の大きい多糖からなっており、芋の生長に伴い分子量の小さい側に分画された多糖が減少する傾向が認められた。また、構成多糖中に含まれるグルコースは増加傾向を示した。

- (1) 大谷貴美子, 佐治弥生, 中岡恵美, 杉本温美, 阿部一博: 農化, **61**, 571 (1987).
- (2) M. Dubois, K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith: *Anal. Chem.*, **28**, 350 (1956).
- (3) N. Blumenkrantz and G. Asboe-Hansen: *Anal. Chem.* **54**, 484 (1973).
- (4) R. L. Taylor and H. E. Conrad: *Biochemistry*, **11**, 1383 (1972).
- (5) G. Ring and R. R. Selvendran: *Phytochemistry*, **17**, 745 (1978).
- (6) M. C. Jarvis, M. A. Hall, D. R. Threlfall and J. Freind: *Planta*, **152**, 93 (1981).
- (7) 山下あつ子, 吉川宣子: 栄養と食糧, **26**, 303 (1973).
- (8) 佐藤利夫, 水口純, 鈴木周一, 戸倉正利: 日化, **88**, 216 (1967).
- (9) A. Misaki, T. Ito and T. Harada: *Agric. Biol. Chem.*, **36**, 761 (1972).
- (10) 渡部忠世, 小合龍夫, 栗原 浩, 前田和美: 「食用作物学概論」, 農山漁村文化協会, (1983).
- (11) 杉本温美, 西原公恵, 阿部一博, 藤田修三, 不破英次: 澱粉科学, **34**, 1 (1987).
- (12) 大谷貴美子, 遠山深雪: 農化, **64**, 891 (1990).
- (13) S. Amino, Y. Takeuchi and A. Komamine: *Physiol. Plant.*, **60**, 326 (1984).
- (14) A. Darvill, M. Mcneil, P. Albersheim and D. P. Delmer: "The Biochemistry of Plant," Vol. 1, Academic Press, New York, 1980.
- (15) A. J. Buchala and H. Heier: *Carbohydr. Res.*, **26**, 421 (1973).