

サゴヤシ (*Metroxylon sagu*) 樹幹内におけるデンプンの蓄積と分布

萩田信二郎, 久保隆文, 竹内学, 山口千尋, 岡崎正規*

東京農工大学農学部 〒183 東京都府中市幸町 3-5-8

* 東京農工大学大学院生物システム応用科学研究科 〒183 東京都府中市幸町 3-5-8

要約 光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡 (SEM) によって, 3年生, 5年生, 8年生および開花直前の13年生のサゴヤシ (*Metroxylon sagu*) 樹幹内のデンプン蓄積量の変化と分布を観察した。デンプンは楕円形あるいは豆型であり, 基本組織の柔細胞中に蓄積されていた。しかし, 基本組織中に一様に分布するのではなく, 維管束周辺の柔細胞中により多く蓄積されていた。デンプン粒の直径は5~50 μm と様々であり, 樹齢および樹高によって異なった。デンプン粒の直径は加齢と共に増大傾向を示し, その蓄積量も増加した。基本組織中には大きな髄腔が多数認められた。このような髄腔にはデンプン粒は全く存在していなかった。

キーワード サゴヤシ, SEM, デンプン粒

Accumulations and Distribution of Starch in Sago Palm (*Metroxylon sagu*) Stems

Shinjiro Ogita, Takafumi Kubo, Manabu Takeuchi,
Chihiro Yamaguchi and Masanori Okazaki*

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology,
Saiwaicho, 3-5-8 Fuchu-shi, Tokyo 183 Japan

* Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, Faculty of Agriculture,
Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, 3-5-8 Fuchu-shi, Tokyo 183 Japan

Abstract Anatomical characteristics of starch accumulations and distribution in sago palm (*Metroxylon sagu*) stems of different ages were investigated by a light microscope and a scanning electron microscope (SEM). Starch grains, which were elliptical or a bean-like shape and approximately 5–50 μm in diameter, were often observed in ground parenchymatous tissue at the outskirts of vascular bundle. They varied in size with palm age or height, in particular, starch diameter and their content began to increase in correspondence with the palm age. Furthermore, large medullary cavities developed in the all around of the ground tissue and there were not any starch grain in the cavities.

Key words: Sago palm, SEM, Starch grain

緒言

東南アジア諸島に自生するサゴヤシ (*Metroxylon sagu*) は, 樹齢十数年で成熟し, その樹高は10 m以上に達する。幹立ち後から花芽形成開始期までに, その樹幹内に200 kgにおよぶ多量のデンプンを蓄積することが知られており, サゴヤシデンプンは古くから食用として重用されてきた。サゴヤシデンプンは, 現地住民による家内工

業規模での生産が主流であったが, 最近ではサゴヤシの高いデンプン生産性が注目され, プランテーションによる継続的かつ効率的な栽培技術の開発が期待されている。

これまでに, 幹立ち後のサゴヤシにおいては, 樹齢別あるいは樹高別のデンプン収量に関する調査(下田ら1994)が報告されている。しかしながら, サゴヤシ樹幹内のデンプン蓄積と分布に関する詳細な組織形態観察は十分になされていない。そこで本研究では, 幹立ち後3年

の幼齡個体から花芽形成時期に当たる13年の成熟個体まで樹齡の異なるサゴヤシについて、樹幹内のデンプン蓄積と分布ならびにデンプン粒の形態的变化を、ヨウ素ヨウ化カリウム染色法を用いた光学顕微鏡観察および走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察により調査した。

なお、本研究は1995年度日本学術振興会熱帯生物資源研究助成事業「サゴ栽培による熱帯泥炭地農業の持続性2」に併せて行った。

材料および方法

採取地および試料採取方法

供試材料として Indonesia の南東 Sulawesi 州 Tobimeita のサゴヤシ林および Malaysia の Sarawak 州 Dalat に位置する Sungai Talau Peat Research Station 隣接地に植栽されていたサゴヤシ林の2ヵ所で、サゴヤシの生育調査および土壌調査に併せて伐採した4本を用いた。Tobimeita からは3, 5, 8年生の3本, Dalat からは13年生1本を伐採し、各樹幹から光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡の観察組織片を切り出した。伐採したサゴヤシの樹齡、樹高および採取部位の詳細を Table 1 に示した。

光学顕微鏡による組織観察

伐採後、サゴヤシ樹幹から切り出した組織片を直ちに FAA (Formalin: Acetic acid: 70% (V/V) Ethyl alcohol = 5:5:90) 溶液中に浸漬し、固定した。これを一昼夜水洗した後、エタノールシリーズ (50, 70, 80, 90, 100% (V/

Table 1 Details of samples for observation of starch accumulations and distribution in sago palm stem

Locality	Age (year)	Palm height (cm)	Position of samples	Log length (cm)	Stem diameter (cm)
Tobimeit	3	1546	Bottom	25-50	47
			Middle	150-175	48
			Upper	375-400	53
Tobimeit	5	1610	Bottom	25-50	52.5
			Middle	225-250	52.5
			Upper	425-450	52
Tobimeit	8	1730	Bottom	25-50	48
			Middle	275-300	58
			Upper	525-550	63.5
Dalat	13	1645	Bottom	50-100	44
			Middle	400-450	49
			Upper	850-900	41

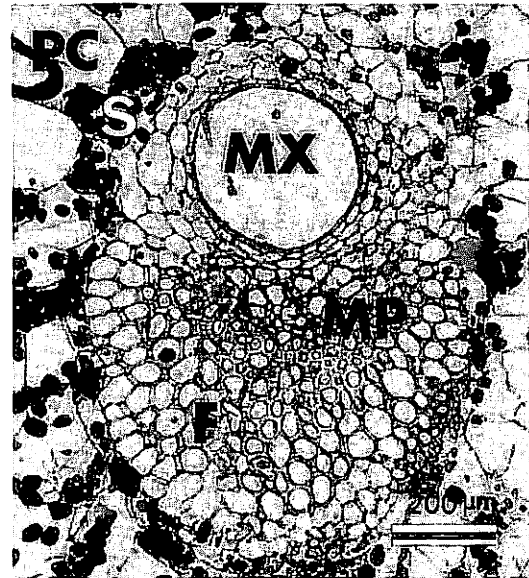


Fig. 1 Light micrograph of vascular bundle in sago palm (transverse section).
F: sclerenchymatous fiber, MP: metaphloem, MX: metaxylem, PC: parenchymatous cell, S: starch grain.

V)) で脱水してから、セロイジンで樹脂包埋した。樹脂包埋した組織片からマイクロトームによって切り出した20~30 μm の切片を4% (W/V) ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液で染色し、組織中のデンプン分布状態を光学顕微鏡で観察した。

走査型電子顕微鏡 (SEM) による組織観察

FAA 溶液で固定後、エタノールシリーズで脱水したサゴヤシ樹幹の組織片を、パラフィンで包埋してから、横断面および縦断面の各 SEM 観察面をマイクロトームにより平滑にした。これをキシレンで脱パラフィン処理を行った後に酢酸イソアミルで置換し、CO₂ 臨界点乾燥装置 (JCPD-5, JEOL LTD.) を用いて組織片の水分を取り除いた。乾燥後の組織片を、イオンパタリング装置 (JFC-1500, JEOL LTD.) により金コーティングして SEM 観察用試料とした。走査型電子顕微鏡 (JSM-T330A, JEOL LTD.) による観察は5 kV の加速電圧で行った。

結果

樹幹内におけるデンプン粒の分布

ヨウ素ヨウ化カリウム溶液によって明瞭に染色されたデンプン粒は、Fig. 1 に見られるように基本組織の柔細

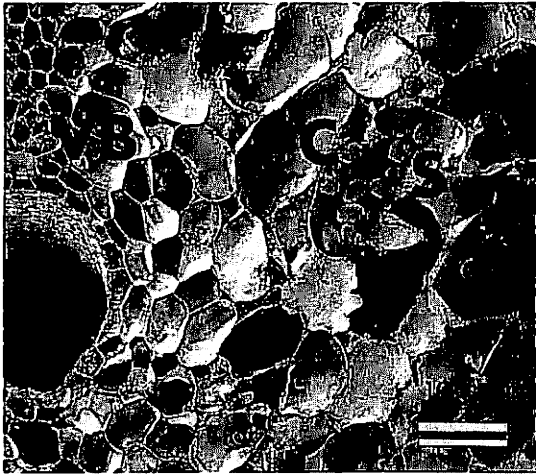


Fig. 2 SEM micrograph of starch grain accumulated in ground tissues of sago palm (transverse section).

PC: parenchymatous cell, S: starch grain, VB: vascular bundle.

胞中に存在している。特に、デンプン粒は維管束周辺の柔細胞に密に蓄積する傾向を示した。しかし、基本組織中にはデンプン粒を全く含んでいない柔細胞も認められ、デンプン粒は全ての柔細胞中に一様に蓄積されている訳ではない。維管束近傍に蓄積しているデンプン粒をSEM観察すると (Fig. 2), 維管束内の厚壁細胞中にはデンプン粒は見られないが、その周辺の柔細胞中には、楕円形あるいは豆型のデンプン粒が確認できる。Fig. 3A および B に示した縦断面においては、垂直方向に積層状に配列をなす柔細胞中に大量のデンプンが蓄積されている様子が観察できる。また、基本組織中には大きな髄腔が多数形成されているが、このような髄腔中には、デンプン粒は全く存在しないことが確認された。

樹齢によるデンプン蓄積形態の変化

柔細胞に蓄積されたデンプン粒を樹齢の異なる4個体(3年生, 5年生, 8年生および開花直前の13年生のサゴヤシ)について観察したところ、樹齢の増加に伴ってデンプン粒の直径は増大し、また、デンプン含有量も増加する様子が明瞭に確認された。例えば、Tobimeita で採取した3年生の個体では5~20 μm の小型のデンプン粒が微量あるいは少量認められる程度であったが、5年生の個体になると20~30 μm のやや発達したデンプン粒が多く存在するようになる。さらに8年生の個体あるいはDalat

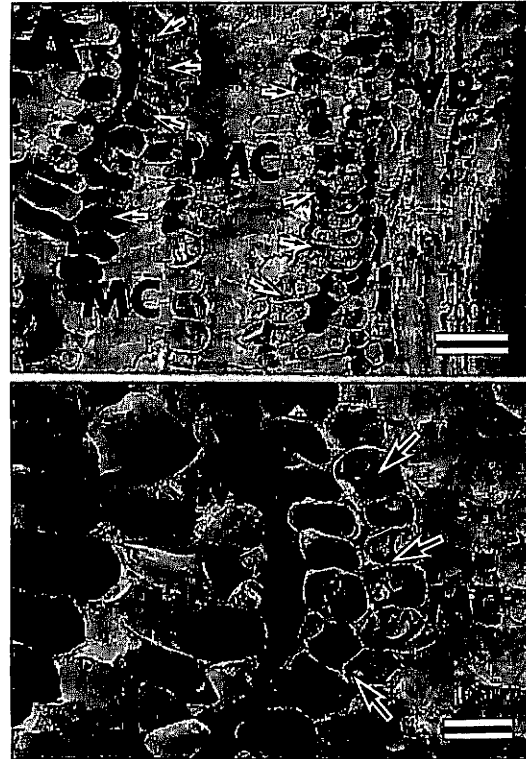


Fig. 3 SEM micrographs of medullary cavity in ground tissues of sago palm (longitudinal section).

A and B are shown in different scale, Arrows: starch grain, MC: medullary cavity, VB: vascular bundle.

で採取した13年生の個体では、30 μm 以上の大型のデンプン粒が多量に蓄積されていた (Fig. 4A-D)。

樹高によるデンプン蓄積変化

同一個体の樹幹内において、高さ方向および放射方向のデンプン蓄積変化を観察したところ、デンプン含有量は樹幹基部で最も多く、上部ほど少量となる傾向を示し、また同一高さの含有分布は髄側と皮層側とで異なる傾向を示した。しかし、このような樹幹内におけるデンプン粒の蓄積分布は、個体の樹齢によって異なっていた。葉柄中のデンプン粒についても観察したが、Fig. 5 に示したように柔細胞中にデンプン粒は全く認められなかった。

考察

光学顕微鏡およびSEM観察の結果、デンプン粒はサ

ゴヤシ樹幹の基本組織である柔細胞中に一様に蓄積されるのではなく、維管束周辺の柔細胞ほど密に充填されることが認められた。

加齢と共に、デンプン粒の直径および蓄積量は増大し、特に8年生以上の個体においては、30 μm 以上のデンプン粒が柔細胞中に多量に蓄積されていた。樹体の成熟化に伴う柔細胞中への多量のデンプン粒の蓄積は、*Calamus* 属のような他の種類のヤシでは認められないと報告されている (Bhat et al. 1993; Schmitt et al. 1995)。したがって、このような樹幹内の大量のデンプン蓄積は、サゴヤシに見られる特徴であるといえる。

デンプン粒の成長と含有量の増加は、樹体の成長と花

芽形成周期に関係があるといわれている。サゴヤシは花芽形成時期までに、その樹幹内に 200 kg におよぶ大量のデンプンを蓄積する。しかし、蓄積したデンプンは開花後から果実形成に伴って激減する (Flach 1977) ことが報告されている。一般には、この現象は生殖のためのエネルギー源として多量のデンプンが消費されるために起こると理解されている。下田らは (1994) パプアニューギニアにおける調査において、サゴヤシ樹幹内のデンプンは幹立ちの 2.5~3 年後から幹の基部より蓄積を開始し、次第に頂部に向かって蓄積量を増して、8 年後には最頂部を除いて樹高別の含有率はほぼ一定となると報告している。今回の組織観察結果からも、概ね同様の傾向が認められ

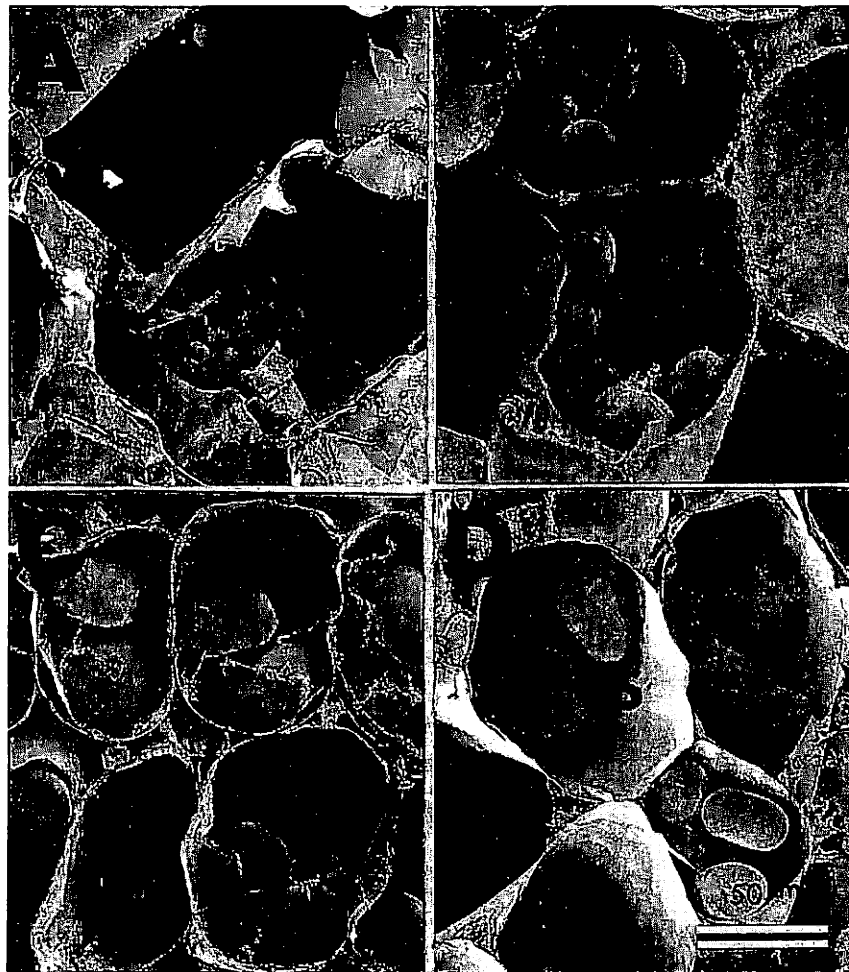


Fig. 4 SEM micrographs of starch grain in different age of sago palm (transverse section).
A: 3 years, B: 5 years, C: 8 years, D: 13 years, S: starch grain.

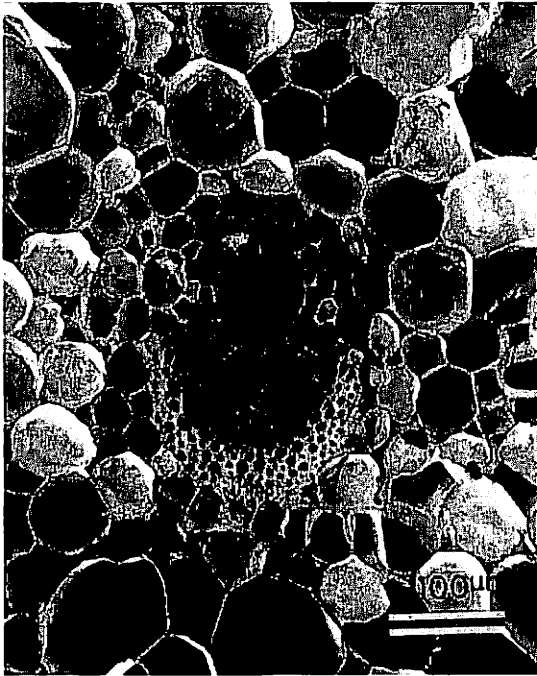


Fig. 5 SEM micrograph of leaf stalk in sago palm (transverse section).

た。この現象を明らかにするためには、さらに樹幹内の経年的なデンプン量変化を定量的に分析し、組織観察との関連性を検討すべきであると考え。

サゴヤシ葉の組織中には、葉緑体が発達しており、小さなデンプン粒の存在が確認されている (Maeda 1986)。本研究において、葉柄中のデンプン粒を観察した結果、

維管束周辺の柔細胞中にはデンプン粒は全く認められなかった。このことは、光合成活動によって葉で形成された糖類が、葉柄部においてはほとんど蓄積されることがなく幹の下方に転流し、樹幹基部からデンプン粒の形で蓄積されたために起こったと推察される。

謝 辞

本研究を行うにあたり、現地でのサンプリングに協力いただいた Haluoleo 大学 (Indonesia) および Land Custody and Development Authority, Malaysia の皆様に対して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Bhat, K. M., K. M. Mohamed Nasser and P. K. Tulasidas 1993 Anatomy and identification of South Indian rattans (*Calamus* spp.). IAWA Journal, Vol. 14 (1): 63-76.
- Flach, M. 1977 Sago palms from equatorial swamps: A competitive source of tropical starch. Sago-76 International Sago Symposium, pp. 110-127.
- Maeda, E. 1986 Optical and Electron Microscopic Study of Sago Palm (*Metroxylon Sagu*). Proceedings of the Third International Sago Symposium, Tokyo, pp. 109-116.
- Schmitt, U., G. Weiner and W. Liese 1995 The fine structure of the stegmata in *Calamus axillaris* during maturation. IAWA Journal, Vol. 16 (1): 61-68.
- 下田博之・斉藤邦行・A. P. パワー 1994 サゴヤシのデンプン生産性に関する調査研究—パプアニューギニアにおける調査事例—。SAGO PALM 2: 1-6.