

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2011～2015

課題番号：23405018

研究課題名(和文) エタノール資源植物としての熱帯産デンプン蓄積ヤシ類の評価

研究課題名(英文) Evaluation of the starch accumulating palms in the Tropics as the resource of ethanol production

研究代表者

山本 由徳 (YAMAMOTO, Yoshinori)

高知大学・その他部局等・名誉教授

研究者番号：00093956

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯産デンプン蓄積ヤシであるサゴヤシ、サトウヤシ、‘サグバル’ (Arenga microcarpa) およびコリファヤシの収穫適期の全地上部各部位のバイオマス量、全糖およびデンプン収量を測定し、さらにエタノール生産効率を測定した。各ヤシのバイオマス量(乾物重)、全糖およびデンプン収量は、髄部で最も高く、それぞれ39～75%、52～72%、88～98%を示した。また、エタノール生産効率は、髄部で他の部位に比べ著しく高く、個体当たりの髄部からのエタノール生産量(57～1293L)は、全地上部生産量の77～97%を示した。

研究成果の概要(英文)：The biomass, total sugar and starch contents of each part of shoot (above-ground part of plant) of four starch accumulating palms in the Tropics, sago palm (*Metroxylon sagu*), sugar palm (*Arenga pinnata*), "sagu baruk" (*Arenga microcarpa*) and gebang palm (*Corypha utan*) were measured and ethanol efficiency from each part were determined. Biomass, total sugar and starch contents of each part of shoot in all the palms were higher in the order of pith>> bark petiole + leaf sheath> leaflet> rachis and the percentage of pith was 39～75%, 52～72%, 88～98%, respectively. The ethanol efficiency of each part of shoot of these palms ranged from 1.5 to 98.2ml/100g dry weight. Consequently, the estimated ethanol amount produced from pith of these palms (57～1293L) contributed 77～96% of whole the ethanol amount from the shoot. From these results it was recommended to use the only pith part of these palms for ethanol production.

研究分野：作物学

キーワード：サゴヤシ サトウヤシ ‘サグバル’ コリファヤシ 全糖 デンプン エタノール インドネシア

## 1. 研究開始当初の背景

樹幹の髄部にデンプンを蓄積する主要なヤシ類として6属にわたる *Arenga pinnata* (サトウヤシ), *A. microcarpa* ('サグバル'), *Caryota mitis* (カブダチクジャクヤシ), *C. urens* (クジャクヤシ), *Borassus flabellifer* (パルミラヤシ), *Corypha utan* (=gebanga) (コリファヤシ), *Eugeissona insignis*, *E. utilis* (チリメンウロコヤシ) および *Metroxylon sagu* (サゴヤシ) が挙げられる。ヤシ類では、デンプンが栄養器官である樹幹髄部に蓄積されるために、環境耐性が強く、また、一般に、他の作物が生育できないような不良土壌条件下でも生育可能であり、さらにほとんど資材投入なしに栽培できることから、広い範囲での環境下での低投入・持続的栽培が可能である。

研究代表者らは、長年にわたりマレーシア、インドネシアの各地域におけるサゴヤシの生育とデンプン生産性について、(民俗) 変種や環境条件との関係で明らかにしてきた。この一連の調査・研究の中で、高いデンプン収量や全糖収量を示す変種は、今後のバイオ燃料(エタノール)資源植物として有望と考えられた。

一方、サゴヤシ以外のデンプン蓄積ヤシ類に関しては、デンプンを主食や菓子用原料として一部の地域で現在も利用されているが、それらのデンプン生産性やデンプン特性に関しては、ほとんど見るべき学術的調査がなされずにきた。これらのヤシ類は属を異にし、生育環境が大きく異なる条件下でも生育可能なヤシ類が含まれ、広範な環境条件下でのデンプン生産が可能である。研究代表者らは、サトウヤシ、'サグバル'、カブダチクジャクヤシ、コリファヤシ、パルミラヤシ、アブラヤシなどの生育やデンプン収量の調査を行ってきた。これらの一連の研究からは、サトウヤシ、'サグバル' およびコリファヤシは個体当たりのデンプン生産性から、バイオ燃料資源ヤシとして有望であると考えられた。また、サトウヤシでは、花梗から樹液(10~20%の糖を含む)を採取して砂糖やヤシ酒を製造しているが、この採取樹液から直接にエタノール生産が可能であり、糖化の過程を必要とせず、効率的なエタノール生産資源であると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、今までの研究代表者らのマレーシア、インドネシアにおける熱帯産デンプン蓄積ヤシ類や樹液採集ヤシ類の調査結果を基に、エタノール資源ヤシとしてサゴヤシ、サトウヤシ、'サグバル' およびコリファヤシを取り上げる。そして、これらのヤシ類の各部位のバイオマス量と全糖およびデンプン含有量を測定する。そ

して、各部位からのエタノール生産効率を明らかにし、各部位のバイオマス量とからエタノール生産量を算出し、熱帯産ヤシ類のエタノール資源植物としての潜在性を明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究における調査地は、研究代表者らが今までに調査を行ってきたインドネシアの数カ所において、エタノール生産資源ヤシとして有望と考えられた4種のヤシ(サゴヤシ、サトウヤシ、'サグバル'、コリファヤシ)について、5年間にわたり行った。これらヤシ類の各部位別のバイオマス量を測定し、さらに各部位の全糖およびデンプン含有量を明らかにした。そして、アミラーゼによる糖化試験と酵母によるエタノール発酵試験を実施し、各部位のバイオマスからのエタノール生産効率と生産量を明らかにした。また、サトウヤシについては、花梗からの樹液量およびその糖組成の変化を明らかにし、樹液からのエタノール生産の可能性について検討した。そして、これらの調査・研究結果より、熱帯産ヤシ類のエタノール資源植物としての評価を行った。

## 4. 研究成果

### (1) サゴヤシ

2011年9月と2012年9月にインドネシア、パプア州ジャヤプラ市近郊スタニ湖畔において、デンプン収量が大きく異なるサゴヤシ5変種(栽培変種: Para, Yepha, Pane, Rondo; 野生変種: Manno)の収穫適期の平均的な個体各1本(但し、2011年のMannoは2本)を伐採調査した。

その結果、スタニ湖畔のサゴヤシ変種については、個体当たりの全地上部の生重と乾物重は、それぞれ1177kg~4942kg, 459~2178kgを示し、Paraで顕著に重く、Rondoで顕著に軽く、変種間で約4.3倍の差が認められた。樹幹および髄の乾物重は栽培変種で野生変種より重く、明らかな変種間差異が認められた。全地上部の全糖およびデンプン収量(乾燥デンプン)は、それぞれ35kg~139kg, 74~1028kgとなり、変種間でそれぞれ約4.0, 約13.9倍の差が認められ、Paraで顕著に高く、Rondo, Mannoで顕著に低かった。

地上部各部位の理論糖量からのエタノール製造効率率は、25.3~93.9%、エタノール生成量は6.7~98.2ml/100gで、小葉で最も低く、髄部で最も高かった。Paraの全地上部の乾物重および個体当たりのエタノール生産量は、それぞれ

741ml/kg, 1437L で髓部が 90%を占めた。

## (2) サトウヤシ

インドネシア・南スラウェシ州タナ・トラジャ、サンダ・ピリ村で 2013 年 9 月に、(a) サトウヤシの樹液生産性と樹液特性、(b) サトウヤシのバイオマス、全糖およびデンプン生産性について調査した。

(a) については、10 農家（各 1 本）の樹液量と樹液特性（pH、EC、液温、Brix 糖度、糖の組成等）を測定した。また、採液個体の推定樹齢、生長形質の調査を行った。

その結果、採液量は 1.45～8.12L/日の範囲にあり、平均 3.75L であったが、採液ヤシの生長形質や樹齢と採液量との間には、一定の傾向はみられなかった。採取液の平均 pH は 5.67、液温:22.3、Brix 糖度:12.4、EC:2.75 で、全糖平均濃度は 106.3g/L、そのうち果糖:13.8、ブドウ糖:14.8、ショ糖:77.7 g/L であった。

(b) については、生育時期（幹立ち直後～採液終了）の異なるサトウヤシ 10 個体を対象に伐採調査を行った。

その結果、個体当たりの全地上部の生重と乾物重は、それぞれ 533～4543kg, 158～2179kg で、幹立ち直後第一花序が出現する頃までは増加したが、それ以降の明瞭なバイオマス量の増加は認められなかった。また、個体当たりの全地上部の全糖およびデンプン収量は、それぞれ 17～230kg, 2～375kg で、第一花序出現期頃までは顕著に増加したが、それ以降では、個体間差異が大きかった。

地上部各部位のエタノール製造効率は、47～81%、エタノール生成量は 5.7～43.1ml/100g で髓部が最も高かった。全地上部の乾物重および個体当たりのエタノール生産量は、それぞれ 158ml/kg, 271L で髓部が 85%を占めた。

2014 年 9 月に、インドネシア・北スラウェシ州ミナハサ地区（Tomohon）において、樹液生産を明らかにするとともに、樹齢や採液前歴の異なる個体を伐採調査した。

その結果、個体当たりの 1 日の樹液採集量は 20～40L とタナ・トラジャのサトウヤシに比べて多かったが、樹液糖濃度は、やや低い傾向が見られた。幹立ち直後第一花序が出現する頃までは地上部各部位のバイオマス量が増加し、個体当たりの全地上部の生重と乾物重は、それぞれ 378～3317kg, 108～1146kg を示した。しかし、それに続く花序出現期から採液期間のバイオマス量の変化は小さく、採液終了後は低下した。

個体当たりの全地上部の全糖およびデンプン収量は、それぞれ 17～132kg, 2～176kg で、第一花序出現期頃までは顕著に増加したが、それ以降では、減少した。

樹幹髓部のデンプン含有率は、花序出現期頃に約 30～40%と最大値を示したが、この値はサゴヤシや‘サゴバル’と比べても低く、個体当たりのデンプン収量は 100～200kg であった。

## (3) ‘サグバル’

2014 年 9 月に、インドネシア・北スラウェシ州サンギヘ島において、幹立ち直後から収穫適期（花梗出現期）までの樹齢の異なる個体を伐採調査した。

その結果、幹立ち直後から収穫適期にかけてバイオマス量は増加した。このヤシは、収穫適期の樹幹長は約 20m と長いが、樹幹直径は 15～20cm 程度と細く、デンプン抽出作業が容易であると考えられた。また、髓部のデンプン含有率は、樹幹伸長中期（花芽形成期頃）に最大となり、50～60%を示し、樹幹の部位によってはサゴヤシと同等あるいはそれ以上の値を示した。‘サグバル’の髓部のデンプン含有率が高いことは、走査型電子顕微鏡観察においても認められた。個体当たりの全地上部の全糖およびデンプン収量は、それぞれ 8～36kg, 2～100kg で、樹齢とともに増加した。

地上部各部位の理論糖量からのエタノール製造効率は、53～94%、エタノール生成量は 2.4～32.6ml/100g で、小葉で最も低く、髓部が最も高かった。全地上部の乾物重および個体当たりのエタノール生産量は、それぞれ 237ml/kg, 64L で髓部が 89%を占めた。

## (4) コリファヤシ

インドネシア、南東スラウェシ州ムナ島および東ヌサ・トゥンガラ州クバン市郊外で花芽形成期付近と推定された個体を各 3 本ずつ伐採調査した。

その結果、個体当たりの全地上部の生重と乾物重は、それぞれ 3900～5661kg, 2009～3352kg の範囲にあり、樹幹乾物重は 1947～3172kg の範囲にあったが、いずれもクバンに比べてムナ島の個体で重かった。

髓部のデンプン含有率は、平均 62～64%を示したが、樹幹下部では中央部や上部に比べて低かった。全地上部の全糖収量は 80～160kg, デンプン収量は 990～1550kg を示し、髓部のみのデンプン収量は 960～1480kg で、サゴヤシでデンプンの最大収量を示した変種 Para の 939kg

を遙かに凌駕した。樹幹位置による髄部デンプン含有率の差異は、走査型電子顕微鏡観察においても認められた。

地上部各部位の理論糖量からのエタノール製造効率は 10.1 ~ 34.6%, 生成量は 1.5 ~ 33.2ml/100g で、小葉で最も低く、髄部が最も高かった。全地上部の乾物重および個体当たりのエタノール生産量は、それぞれ 247ml/kg, 631L で髄部が 96%を占めた。

#### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 4 件)

Miyazaki, A., D. Watanabe, Y. Yamamoto, T. Yoshida, F. S. Rembon, Y. B. Pasolon, and F. S. Jong 2016. Comparison of root development in sago palm of different ages, regions and folk varieties. Tropical Agriculture and Development (in press). (査読有)

Yamamoto, Y., K. Omori, Y. Nitta, K. Kakuda, Y. B. Pasolon, F. S. Rembon, R. S. Gusti, A. A. Arsy, A. Miyazaki and T. Yoshida 2016. Dry matter production and distribution after trunk formation in sago palm (*Metroxylon sasu* Rottb.). Tropical Agriculture and Development (in press). (査読有)

Yamamoto, Y., K. Omori, Y. Nitta, K. Kakuda, Y. B. Pasolon, R. S. Gusti, A. Miyazaki and T. Yoshida 2014. Changes of leaf characters in sago palm (*Metroxylon sagu* Rottb.) after trunk formation. Tropical Agriculture and Development 58 (2): 43-50. (査読有)

Yamamoto Y. and P. Hardaning 2013. Current status of starch factories of sago palm and cassava in Bogor, Indonesia. Sago Palm 21: 20-24. (査読有)

(学会発表) (計 17 件)

石間 裕人・Ahmad Junaedi・山本 由徳・宮崎 彰 2015. インドネシア西ジャワ州チアンジュールにおけるサトウヤシ (*Arenga pinnata* Merr.) の生育特性とその利用. 日本作物学会四国支部会報 52:38-39. (松山市, 愛媛大学; 2015/11/26-27)

Yoshinori Yamamoto 2015. Matter production as a basis of starch production in sago palm (*Metroxylon sagu* Rottb.), Abstract of the 12th International Sago Symposium, Tokyo,

Japan., 1. (東京都, 立教大学; 2015/9/15-17)

Pasolon B. Yulius, L. M. A. Minta, S. N. Ole, L. Mariani and Y. Yamamoto 2015. Measurement of palm sugar toddy production in Muna Island. Abstract of the 12th International Sago Symposium, Tokyo, Japan, 24. (東京都, 立教大学; 2015/9/15-17)

Ishima H., Y. Yamamoto, A. Ochi, F. S. Rembon, T. Yoshida, E. Manaroinsong, C. Sayangbati, E. Tenda and A. Miyazaki 2015. Changes of growth and starch yield of sugar palm (*Arenga pinnata* Merr.) with age in Central Minahasa, North Sulawesi, Indonesia. Abstract of the 12th International Sago Symposium, Tokyo, Japan, 44. (東京都, 立教大学; 2015/9/15-17)

山本 由徳・Fransiscus Suramas Rembon・Engelbert Manaroinsong・Christffek Sayangbati・Elsje Tenda・越知歩美・吉田 徹志・石間 裕人・宮崎 彰 2015. デンプン蓄積ヤシ‘サグバル’ (*Sagu Baruk*) (*Arenga microcarpa* Beccari) の栽培と利用 - インドネシア, 北スラウェシ州サンギヘ島における調査から - . 平成27年度第23回サゴヤシ学会講演会要旨, 15-16. (加賀市, 中山温泉; 2015/6/20)

山本 由徳・越知 歩美・Fransiscus Suramas Rembon・吉田 徹志・Engelbert Manaroinsong・Christffek Sayangbati・Elsje Tenda・石間 裕人・宮崎 彰 2015. インドネシア, 北スラウェシ州サンギヘ島における‘サグバル’ (*Arenga microcarpa* Beccari) の樹齢による生長形質とデンプン蓄積量の変化. 平成27年度第23回サゴヤシ学会講演会要旨, 17-18. (加賀市, 中山温泉; 2015/6/20)

新田 洋司・山本 由徳・浅木 直美・塩津 文隆・小久保 敏明 2015. 走査電子顕微鏡観察で認められたサグバル茎における高いデンプン生産性. 平成 27 年度第 23 回サゴヤシ学会講演会要旨, 19-20. (加賀市, 中山温泉; 2015/6/20).

山本 由徳 2015. 熱帯におけるデンプン蓄積ヤシの生産性 - サゴヤシ - . 日本作物学会第 239 会講演要旨集, 55. (藤沢市, 日本大学; 2015/3/27-28)

山本 由徳 2015. 熱帯におけるデンプン蓄積ヤシの生産性 - その他ヤシ類 - . 日本作

物学会第 239 会講演要旨集, 56. (藤沢市, 日本大学; 2015/3/27-28)

山本 由徳・Fransiscus Suramas Rembon・Engelbert Manaroinsong・Elsje Tenda・越知歩美・吉田徹志・石間裕人・宮崎彰 2014. インドネシア, 北スラウェシ州サンギヘ島における'サグバル'(Sagu Baruk) (*Arenga microcarpa* Beccari) の栽培と利用. 日本作物学会四国支部会報 51: 34-35. (香川県池戸町, 香川大学; 2014/11/27-28)

越知 歩美・吉田 徹志・Engelbert Manaroinsong・Elsje Tenda・Fransiscus Suramas Rembon・石間裕人・宮崎 彰・山本由徳 2014. インドネシア, 北スラウェシ州サンギヘ島における'サグバル'(Sagu Baruk) (*Arenga microcarpa* Beccari) の葉形質. 日本作物学会四国支部会報 51: 36-3. (香川県池戸町, 香川大学; 2014/11/27-28)

石間 裕人・山本 由徳・吉田 萌実・Manselinus・Y.B. Pasolon・F.S. Rembon・吉田 徹志・宮崎 彰 2014. インドネシア, 南スラウェシ州タナ・トラジャにおけるサトウヤシ(*Arenga pinnata* Merr.)のデンプン生産. 平成 25 年度第 23 回サゴヤシ学会講演会要旨, 37-38. (東京都, 東京農業大学; 2014/6/14)

山本 由徳・吉田 萌実・石間 裕人・Manselinus・Y.B.Pasolon・F.S.Rembon・吉田徹志・宮崎 彰 2014. インドネシア, 南スラウェシ州タナ・トラジャにおけるサトウヤシ(*Arenga pinnata* Merr.) の葉形質. 熱帯農業研究 7(別1号): 39-40. (東京都, 東京大学; 2014/3/27-28)

山本 由徳・竹森 矢・加藤 正守・塚田 俊美・宮崎 彰 2013. サゴヤシ (*Metroxylon sagu* Rottb.) からのエタノール生産. 平成 25 年度第 22 回サゴヤシ学会講演会要旨, 24-28. (南国市, 高知大学; 2013/6/22)

山本 由徳・石間 裕人・Manselinus・吉田萌実・Y.B. Pasolon・F.S. Rembon・吉田 徹志・宮崎 彰 2013. インドネシア, 南スラウェシ州タナ・トラジャにおけるサトウヤシ (*Arenga pinnata* Merr.) の樹液生産と樹液特性. 日本作物学会四国支部第 50 回講演会(善通寺市, 近畿・中国・四国農業研究センター; 2013/11/28-29)

山本 由徳・吉田 萌実・石間 裕人・Manselinus・Y.B. Pasolon・F.S. Rembon・吉田

徹志・宮崎 彰 2013. インドネシア, 南スラウェシ州タナ・トラジャにおけるサトウヤシ (*Arenga pinnata* Merr.) の葉形質. 日本作物学会四国支部第 50 回講演会(善通寺市, 近畿・中国・四国農業研究センター; 2013/11/28-29)

竹森 矢・山本 由徳・吉田 徹志・F.R. Rembon・A.A. Arsy・F.S. Jong・D. Fadry・Y.B. Pasolon・宮崎 彰 2012. インドネシア, ジャヤプラ近郊スタニ湖畔に生育するサゴヤシ (*Metroxylon sagu* rottb.) 変種の物質生産特性とデンプン生産性. 第 21 回サゴヤシ学会講演会(東京都, 明治大学; 2012/6/16)

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本 由徳 (YAMAMOTO YOSHINORI)  
高知大学名誉教授  
研究者番号: 00093956

(2)研究分担者

吉田 徹志 (YOSHIDA TETSUSHI)  
高知大学名誉教授

研究者番号：10145112

宮崎 彰 (MIYAZAKI AKIRA)  
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授  
研究者番号：00304668

新田 洋司 (NITTA YOUJI)  
茨城大学・農学部・教授  
研究者番号：60228252

(3)連携研究者

なし