

バナナの澱粉に関する研究

Study on banana starch

加 藤 陽 治*

Yoji KATO*

要 旨

弘前市内のスーパーマーケットの店頭に並べられたばかりのバナナをすぐに購入し、家庭の室温(18°C)下でのバナナ果実中の食物繊維と澱粉の変化について調べた。購入日から0日目、2日目、6日目のバナナの80%エタノール可溶性画分(単糖・オリゴ糖画分)と80%エタノール不溶性画分(澱粉・細胞壁画分)の量は順に、13.98gと5.97g、14.56gと2.24g、12.98gと1.42gで、日が増すと不溶性画分が著しく減少することがわかった。この減少は含まれている澱粉の減少に起因することが確認された。また、澱粉の消化性について加熱(糊化)操作と液アミラーゼによる加水分解を組み合わせて調べた。バナナ澱粉は生の状態では加水分解されず、加熱すなわち糊化操作が加わることで加水分解されることがわかった。従来よりいわれているバナナ澱粉の難消化性が確認された。難消化性澱粉は食物繊維の1つに含まれる。バナナに含まれる食物繊維は澱粉と細胞壁成分の合算量と見積もることが出来る。バナナの皮の色がハーファイエロー段階のバナナ一本150g(可食部90g)程度で約5.4gの食物繊維量と成り、日本人の1日の食物繊維摂取目標量(18~69歳, 男性20g以上, 女性18g以上)の1/4程度の摂取が可能ということがわかった。

キーワード: バナナ、難消化性澱粉、食物繊維、細胞壁

I. 緒 言

バナナは日本人にとり身近な果物のひとつである。ビタミンB₆、Cを比較的多く含み、カリウム、マグネシウムなどのミネラルおよび食物繊維の供給源として重要である¹⁾。これら栄養価に加え健康機能でも注目されている。これまで、白血球などの免疫系の活性化^{2,3)}、血糖値やコレステロールを低下させる作用⁴⁾も報告されている。

一般にバナナは輸入の段階で、緑色の状態である。市場から店頭まで並ぶまでに、室(むろ)と呼ばれる熟成室で、追熟を行なわれている⁵⁾。果実の熟成は未熟、適熟(完熟)、過熟、腐敗へと進み、それに伴って呈味の変化が得られる。また、バナナは100gあたりの糖質が19.3~25.8gと果物の中では多く、未熟な段階では約20%が澱粉質で、糖分との割合は澱粉:糖=20:1だが、熟成することで1:20に逆転することが知られている。

われわれはこれまで生産地の異なる輸入直後の3種

類のバナナ(エクアドル産、フィリピン産、台湾産)を用い、室処理ではなく、室温下での熟成に伴う含有澱粉・細胞壁量と糖量の変化、および熟成に伴う澱粉粒の変化について報告した⁶⁾。さらに、フィリピン産の高地栽培種(スウィーティオバナナ)および従来の低地栽培バナナ(レギュラーバナナ)を用い両者の追熟過程での糖度の変化と、バナナの加熱調理(焼く、蒸す)が糖度および糖組成におよぼす影響について報告した⁷⁾。本実験では、市内のスーパーマーケットの店頭に並べられたばかりのものをすぐに購入し、家庭の室温下でのバナナ果実中の難消化成分の変化およびバナナ澱粉の消化性について調べたので報告する。

II. 実験方法

1) 材料

青森県弘前市内のスーパーマーケットよりバナナ(フィリピン産)を購入した。これを室温(18°C)下で保存し、購入日から、0日目、2日目、6日目のも

*弘前大学教育学部家政教育講座食物学研究室

*Laboratory of Food Science, Department of Home Economics, Faculty of Education, Hirosaki University

のを実験に用いた。

2) バナナ可食部のヨウ素・澱粉反応

可食部を軸からハーフカットになるように切断し、切断面に0.01%ヨウ素-0.1%ヨウ化カリウム溶液を塗布し反応後写真撮影を行った。

3) 全糖量および酸性糖量の測定

試料中の全糖はフェノール・硫酸法⁸⁾にてグルコース (Glc) 相当量として求めた。

4) 構成糖の分析

試料に含まれる多糖の構成糖は、全糖量100 μ g相当を1.0Mトリフルオロ酢酸、100 $^{\circ}$ Cで3時間加水分解した後に濃縮乾固し、分析に供した。水不溶性画分は1~5mgの試料を用い72%硫酸を加え超音波で1時間処理した後、硫酸濃度が1.5Mになるように蒸留水で希釈して100 $^{\circ}$ Cで3時間加水分解した。反応物を炭酸バリウムで中和し内部標準物質2-デオキシグルコース (2-DG) を100 μ g加え、遠心操作 (30分、3,000rpm、18 $^{\circ}$ C) を行った。遠心上清をAnberlite IR-120で脱塩処理を行い、濃縮後分析に供した。

分析にはイオンクロマト DX-300 (日本ダイオネックス社) を用いた。分離カラムはCarboPac PA1を、ガードカラムはCarboPac PA1 GUARDを用いた。分析は溶離液として超純水を用い、1.0mL/分の流速で行った。検出はパルスドアンペロメトリー検出器 (金電極) を用いた。標準単糖としてフコース (Fuc)、アラビノース (Ara)、ラムノース (Rha)、ガラクトース (Gal)、グルコース (Glc)、キシロース (Xyl)、マンノース (Man) を用いた⁹⁾。

5) Bio-Gel P-2カラムクロマトグラフィー¹⁰⁾

Bio-Gel P-2をガラスカラム (ϕ 2.5cm \times 49cm) に詰め、蒸留水で平衡化し、蒸留水で溶出した。溶出液は4mLずつフラクションコレクターで集め、適量を取りフェノール・硫酸法にて糖量を測定した。

6) バナナ可食部の分画

バナナ可食部 (0日目87.636g、2日目90.633g、6日目96.080g) それぞれを4倍量のエタノールとともにミキサーで磨砕した。磨砕物を遠心 (9,000rpm、20分、4 $^{\circ}$ C、以下遠心操作はすべてこの条件で行った) にて上清と沈殿に分けた。この操作を2回繰り返した。最終沈殿物はアセトンで洗浄後乾燥させ、80%

エタノール不溶性画分 (澱粉・細胞壁画分) とした。遠心上清はすべてを一緒にし、80%エタノール可溶性画分 (単糖・オリゴ糖画分) として、糖量測定と単糖・オリゴ糖分析に供した。

7) 80%エタノール可溶性画分の単糖・オリゴ糖分析

分析にはイオンクロマト DX-300 (日本ダイオネックス社) を用いた。分離カラムはCarboPac PA1を、ガードカラムはCarboPac PA1 GUARDを用いた。分析は溶離液A (100mM水酸化ナトリウム) と溶離液B (500mM酢酸ナトリウム/100mM水酸化ナトリウム) を用い、0分時にA:B=100:0で、30分時にA:B=70:30になるように直線的グラジエントで、1.0mL/分の流速で行った。検出はパルスドアンペロメトリー検出器 (金電極) を用いた。内部標準物質として2-DGを、標準物質としてグルコース (Glc)、フルクトース (Fur)、スクロース (Suc)、ソルビトール (Sol) を用いた⁹⁾。

8) 0日目澱粉・細胞壁画分のだ液アミラーゼ処理

0日目澱粉・細胞壁画分200mg/18mLの0.05Mリン酸緩衝液 (pH 6.9) を二つ用意し、一方は10分間沸騰湯浴中で加熱し冷却後直ちに、ヒトだ液アミラーゼ溶液 (2mL) を加えた。他方は加熱せず、2mLの同緩衝液を加えた。両者を37 $^{\circ}$ Cで24時間振とうした。だ液アミラーゼ溶液はだ液15mLを0.1Mのリン酸緩衝液 (pH 6.9) 15mLと混合した後遠心で得られた上清を用いた¹⁰⁾。酵素反応後、それぞれを遠心にて上清と沈殿に分けた。沈殿は水洗浄後凍結乾燥させ、だ液アミラーゼ不溶性画分とし構成糖分析に供した。上清は洗浄液と一緒にし、だ液アミラーゼ可溶性画分とした。

9) 0日目澱粉・細胞壁画分のだ液アミラーゼ処理で得られた可溶性画分のグルコアミラーゼ処理

可溶性画分 (12mg/2mL 0.05Mリン酸緩衝液 (pH 6.9)) にグルコアミラーゼ (*Rhizopus niveus*, 30単位) を加え、40 $^{\circ}$ Cで48時間反応させた¹¹⁾。

10) バナナ可食部磨砕物のだ液アミラーゼ処理

0日目のバナナの可食部71.966gを144mlの0.1Mリン酸緩衝液 (pH 6.9) とともにミキサーで磨砕した。本磨砕溶液25mLに25mLの同緩衝液を加え沸騰湯浴中で10分処理し、冷却後直ちに上述だ液アミラーゼ4mLを加え37 $^{\circ}$ Cで48時間振とうしながら反応させた。

また、同磨砕溶液25mLに25mLの同緩衝液と上述だ液アミラーゼ4mLを加え37°Cで48時間振とうしながら反応させた。さらに、同磨砕溶液25mLに29mLの同緩衝液を加え37°Cで48時間振とうした。

反応後、それぞれを遠心で沈殿と上清に分けた。沈殿物は水で洗浄し凍結乾燥した。遠心上清は洗浄液と一緒にした。

Ⅲ. 結果及び考察

バナナは皮の色や糖度などから判断して次の7段階に分けられる。1：オールグリーン（船からの荷揚時、緑色、糖度1.0～3.0%）、2：ライトグリーン（加工初期の色、糖度3.0～7.0%）、3：ハーフグリーン（黄と緑が50%ずつの状態、温暖な時期の長距離輸送に適、糖度8.0～12.0%）、4：ハーフイエロー（夏期出荷に適、糖度13.0～16.0%）、5：グリーンチップ（冬期出荷に適、店頭に並べられる、少々甘さ不足、糖度15.0～20.0%）、6：フルイエロー（食用にほぼ理想的な状態、色もつやも良く食べ頃、糖度20.0～22.0%）、6：フルイエロー（食用にほぼ理想的な状態、色もつやも良く食べ頃、糖度20.0～22.0%）、7：スター（シュガースポットと呼ばれる斑点がみられる、甘く完熟した証拠、見かけは少し悪いがバナナの一番美味しい時、糖度20.0～23.0%）（エナーノバナナ カラーガイドより）。消費者がバナナを入手するのは一般に地域のスーパーマーケット、青果店などからである。これらの店頭に並べられるのは段階4から5の時期のものである。今回は弘前市内のスーパーマーケットから購入したバナナを用い、家庭の室温下でのバナナ果実中の難消化成分の変化およびバナナ澱粉の消化性について調べた。

購入日0日目、2日目、6日目のバナナの皮の色と可食部のヨウ素・澱粉反応による澱粉の存在の有無を調べた結果が図1である。皮の色の变化とともに澱粉量が少なくなっているのがわかる。

次に、バナナ可食部を80%エタノール可溶性画分（単糖・オリゴ糖画分）と不溶性画分（澱粉・細胞壁画分）に分けた。80%エタノール可溶性画分の生重量100gあたりの全糖量（Glc相当量）は、0日目、2日目および6日目でそれぞれ13.98g、14.56g、12.98gであった。いずれも含まれている糖はGlc、Fru、Sucであった。

80%エタノール不溶性画分（澱粉・細胞壁画分）の生重量100gあたりの乾燥重量と全糖量（Glc相当

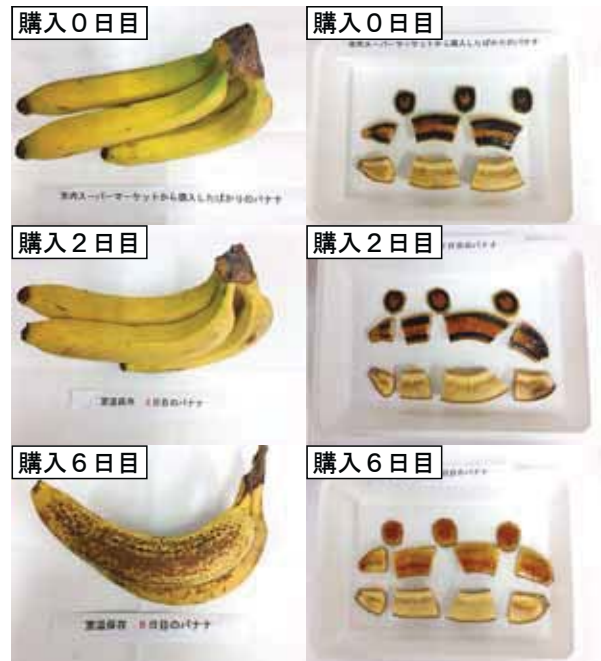


図1. 購入0日目、2日目、6日目のバナナの皮の色と果肉部分のヨウ素-澱粉反応

量)、および構成中性糖組成をまとめたのが表1である。日が増すと乾燥重量と全糖量が減少するのがわかる。構成中性糖組成のGlcの含有割合をみると0日目で83%、6日目で65.9%と明らかにGlcの割合が減少している。われわれは先にバナナの水不溶性食物繊維の構成中性糖組成におけるGlcの割合は約60%程度であることを報告している¹²⁾。ヨウ素・澱粉反応の結果と併せて考えれば0日目の試料中にみられるGlcの大部分は澱粉とセルロースを構成するGlc由来すると考えても差し支えない。

表1. バナナ可食部から得られた澱粉・細胞壁画分の収量と構成中性糖組成

試料	収量		構成中性糖 (%)						
	乾燥重量と全糖量		Fuc	Ara	Rha	Gal	Glc	Xyl	Man
0日目	7.16g	5.97g	0.2	3.8	2.3	2.1	83.0	2.6	6.0
2日目	4.36g	2.24g	0.3	5.6	2.9	2.7	76.5	4.1	8.0
6日目	3.27g	1.42g	0.5	8.7	0.4	5.3	65.9	6.8	12.4

(生重量100gあたり)

一般に澱粉はヒトの消化酵素で消化されてエネルギー源になることが知られている。しかし、ヒトの小腸内酵素やタカジャスターゼ等で分解できない澱粉がある。これを難消化性澱粉 (resistant starch, RS) と呼び「ヒトの小腸で消化吸収されない澱粉及びデンプン分解物の総量」と定義づけられ、次の5つに分類されている。RS1：物理的に隔離されて消化されない（粗粉碎穀類、マメ類、パスタなど）、RS2：B型結晶構造をもつ生澱粉（生の馬鈴薯澱粉、未熟バナナ

澱粉、高アミロース澱粉など)、RS3:老化澱粉(冷えたマッシュポテト、コーンフレーク、冷やごはんなど)、RS4:加工澱粉(エーテル化澱粉、架橋澱粉など)、RS5:アミロース脂質複合体(穀類澱粉)¹³⁾。Murphyらはアメリカ人により摂取される難消化性澱粉の量を各種食品から計算している。そのなかで、生食バナナには平均4.0g/100g(最小0.3g,最大6.2g)、料理したバナナには0.8g/100g、料理した料理用バナナには3.5g/100g含まれると報告している¹⁴⁾。そこで、バナナ澱粉の消化性について調べた。0日目の80%エタノール不溶性画分(澱粉・細胞壁画分、200mg)に含まれると思われる澱粉の糊化操作(沸騰湯浴中で10分間加熱)を行ったものと、行わなかったものについて、だ液アミラーゼ処理を行った。本酵素処理により可溶化した成分は、加熱処理のもので全糖量として119.4mgで、加熱処理なしのもので4.19mgであった。加熱処理しないとほとんど可溶化しないことが示された。加熱処理により可溶化したものをBio-Gel-P2のゲル濾過クロマトグラフィーに供した時の溶出パターンを図2Aに示す。様々な重合度を有するオリゴ糖が生じているのがわかる。同試料をグルコアミラーゼで処理した後にBio-Gel-P2のゲル濾過クロマトグラフィーに供した時の溶出パターンを図2Bに示す。図2Aにみられたピークのほとんどが単糖(Glc)に加水分解されたことがわかる。また、本酵素処理で可溶化しなかった成分の収量と構成中性糖組成(表2)をみると、加熱処理しないものは表1の0日目に示されている構成中性糖組成比とほとんど変わらず、だ液アミラーゼはほとんど作用しなかったことを示す。一方、加熱処理、すなわち糊化操作を行った場合、だ液アミラーゼが十分作用していることが確認された。

最後に、バナナ可食部磨砕物そのものにだ液アミラーゼを作用させた場合、磨砕物に含まれる生澱粉が消化されるか否かを調べた。この場合も加熱処理(澱粉の糊化処理)の有無により調べた。(a)磨砕物12.5g/25mL 0.1Mリン酸緩衝液に同量の同緩衝液を加え、加熱処理後4mLの酵素を加えたもの、(b)磨砕物12.5g/25mL 0.1Mリン酸緩衝液に同量の同緩衝液を加え、加熱処理しないで4mLの酵素を加えたもの、(c)磨砕物12.5g/25mL 0.1Mリン酸緩衝液に同緩衝液29mLを加えたもので、比較した。反応後遠心にて不溶性画分と可溶性画分に分け収量を測ると、可溶性画分の全糖量は(a):(b):(c)=1082mg:499mg:466mgであった。含まれる単糖・オリゴ糖

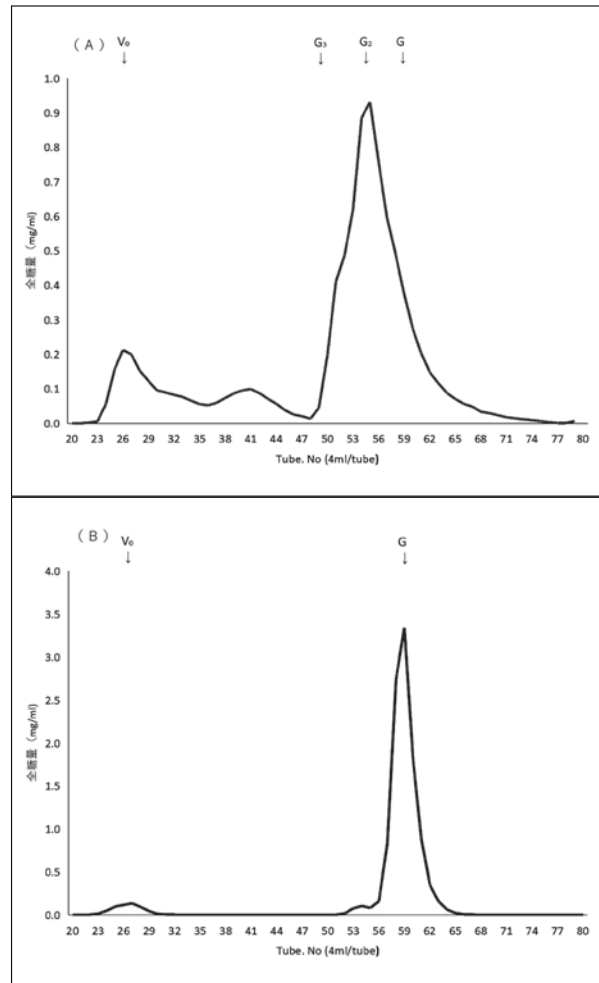


図2. 購入0日目の80%エタノール不溶性画分(澱粉・細胞壁画分)のだ液アミラーゼ処理により得られた可溶性画分(A)、および、可溶性画分をグルコアミラーゼ処理した後(B)のBio-Gel P-2クロマトグラフィーによる溶出パターン

それぞれの試料を蒸留水で平衡化したBio-Gel P-2のカラム(直径2.5cm×49cm)にのせ蒸留水で溶出した。溶出液は4mLずつフラクションコレクターにて集め、各画分の全糖量をフェノール-硫酸法で測定した。G、G₂、G₃、V₀それぞれの↓はグルコース、マルトース、マルトリオースおよびブルーデキストランの溶出位置を示す。

表2. 0日目の澱粉・細胞壁画分のアミラーゼ処理後に得られた不溶性画分の収量と構成中性糖組成

0日目澱粉・細胞壁画分200mgを沸騰湯浴で10分処理したものと、しないものを、だ液アミラーゼで処理した後、可溶性画分と不溶性画分に分けた。

試料	収量	構成中性糖 (%)						
		Fuc	Ara	Rha	Gal	Glc	Xyl	Man
酵素処理前加熱処理 無し	182mg	0.2	3.9	2.5	2.2	83.9	2.7	4.6
有り	51mg	0.9	11.6	4.6	8.1	50.7	7.6	16.5

はGlc, Fru, Sucであったが、特に(a)には澱粉消化物に由来する顕著な量のマルトースの他マルトオリ

ゴ糖が検出された。不溶性画分の乾燥重量は (a) : (b) : (c) = 0.192 g : 1.409 g : 1.754 g と加熱の有無による可溶化の違いが明確に示された。

これらのことより、バナナに含まれる生澱粉はそのまま食に供される場合消化されにくく、加熱処理（糊化処理）が施されれば消化されることが明確となった。

従って、生食バナナの場合、細胞壁成分と澱粉の量が食物繊維量として見積もることができる。その量は今回と前回の結果から我々が日常生活で入手する-half イエローの段階に近いものほど食物繊維量が豊富で、入手時のものと1週間ほど後のものでは食物繊維量は1/4に減少することになる。例えば1本150 g（可食部90 g）程度のバナナを摂取すると細胞壁と生澱粉を合算した食物繊維量は5.4 g程度と見積もられ、日本人の1日の食物繊維摂取目標量（18~69歳，男性20 g以上，女性18 g以上）の1/4程度の摂取が可能ということになる。

引用文献

- 1) 東直樹監修：バナナ「熟度」の健康機能について，日本バナナ輸入協会（2012）
- 2) 前田雅民，上田浩史，山崎正利：バナナに見出された免疫増強作用，*Bioindustry*, **14**, 15-20（1997）
- 3) 山崎正利，上田浩史，前田雅民：バナナ（*Musa acuminata*）中の白血球活性化成分の検討，日本癌学会総会記事，**58**, 459（1999）
- 4) 金澤武道，高梨真紀子：バナナの生理活性に関する研究（第3報）—バナナ構成成分の血糖に及ぼす効果—，日本未病システム学会雑誌，**12**, 117-118（2006）
- 5) バナナの話—バナナのすべてがわかる「バナナ百科」：日本バナナ輸入組合
- 6) 野呂哲，葛西麻紀子，山田綾子，大中徹，加藤陽治：バナナの澱粉，弘前大学教育学部紀要，**105**, 75-79（2011）
- 7) 伊藤聖子，葛西麻紀子，加藤陽治：バナナの追熟および調理による糖組成の変化，弘前大学教育学部紀要，**110**, 93-100（2013）
- 8) M.Dubois, K.A.Gilles, J.K.Hamilton, P. A.Rebers, F. Smith: Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350-356（1956）
- 9) 加藤陽治，伊藤聖子，渡辺敏幸：植物細胞壁多糖構成中性糖及び各種グルコ二糖類の陰イオンクロマトによる分析，弘前大学教育学部紀要，**94**, 47-52（2005）
- 10) Y.Kato, K.Matsuda: Presence of a xyloglucan in the cell wall of *Phaseolus aureus* hypocotyls. *Plant Cell Physiol.*, **17**, 1185-1198（1976）
- 11) 加藤陽治，松倉純子：主要葉菜類の炭水化物組成，弘前大学教育学部紀要，**71**, 61-71（1994）
- 12) 加藤陽治，伊藤聖子，渡辺敏幸：果実類の水不溶性食物繊維の多糖組成，弘前大学教育学部紀要，**86**, 91-96（2001）
- 13) 松木順子：用語解説 難消化性澱粉，*応用糖質科学*, **8** (3), 237（2018）
- 14) M.M.Murphy, J.S.Douglass and A.Birkett: Resistant starch intakes in the united states, *J. Am. Diet Assoc.*, **108**, 67-78（2008）

（2019. 1.15 受理）