

## バナナの追熟および加熱調理による糖組成の変化

### Changes in the sugar composition of banana during ripening and cooking

伊藤 聖子\*\*・葛西麻紀子\*・加藤 陽治\*

Seiko ITO\*\*・Makiko KASAI\*・Yoji KATO\*

#### 要 旨

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）を用い追熟過程および加熱（焼く、蒸す）調理過程それぞれでの糖度および糖組成の変化を調べた。高地栽培種、低地栽培種の可溶性糖質含有量は高地栽培種の方が多いことが確認された。また、両者ともその主成分はスクロース、グルコース、フルクトースであるが、追熟とともにスクロースが減少し、グルコースとフルクトースが増加することがわかった。また、微量に含まれるソルビトールは減少し、オリゴ糖は増加する傾向にあった。

加熱調理（焼く：180℃のオーブンで20分、30分、40分処理、および蒸す：蒸し器で10分、20分、30分処理）では、いずれも、焼き調理より蒸し調理後の糖度が高くなる傾向がみられた。焼きは30分で最も高く40分では減少していた。また、蒸し調理では10～20分で最も高く、それ以上になると、かなり減少することがわかった。

**キーワード**：バナナ、スウィーティオバナナ、糖、熟成、加熱変化

#### 1. 緒言

バナナは日本に輸入される果物の中でもっとも輸入量が多く、輸入果物の約5割を占めている。輸入先はフィリピンが最も多く、輸入量の90%を占め、次いでエクアドル5.4%、台湾1.9%の順になる<sup>1)</sup>。青森県は1人当りのバナナの購入価格は全国ナンバーワンであり、身近な食品であることが挙げられる<sup>2)</sup>。バナナはビタミンB<sub>6</sub>、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<sup>3)</sup>。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<sup>4, 5)</sup>、血糖値やコレステロールを低下させる作用<sup>6)</sup>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。市場から店頭に並ぶまでに、室（むろ）と呼ばれる熟成室で、追熟を行なわれている<sup>7)</sup>。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100 g当りの糖質が19.3～25.8 g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、バナナの成熟速度の違い、バナナの熟成に伴う含有デンプン量と糖量の変化、および熟成に伴うデンプン粒の変化について報告した<sup>8)</sup>。

本研究では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を調べると共に、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を調べたのでその結果を報告する。

#### 2. 実験材料および方法

##### 2-1. バナナの追熟による糖度と糖組成の変化

##### 2-1-1. 材料

フィリピン産の高地栽培バナナ（スウィーティオバナナ（S））および従来の低地栽培バナナ（レギュラーバナナ（R））（（株）ドール）を用いた。

\* 弘前大学教育学部家政学科教室食物学研究室

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

\*\* 静岡県立大学食品栄養科学部

School of Food and Nutritional Sciences, University of Shizuoka

## 2-1-2. 貯蔵条件

スウィーティオバナナおよびレギュラーバナナは室温にて貯蔵した。貯蔵は2005年7月22日～7月27日まで行った。

## 2-1-3. バナナ可食部のヨウ素デンプン反応および糖度測定<sup>9)</sup>

スウィーティオバナナ (S) およびレギュラーバナナ (R) の追熟0日目 (2005年7月22日: S1、R1)、3日目 (2005年7月25日: S2、R2)、5日目 (2005年7月27日: S3、R3) のものを用いた。可食部 (S1～S3、R1～R3) 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。また、R1～R3についてデンプンのヨウ素液呈色状態を、光学顕微鏡 (ZEISS 社 Axioskop 2) を用いて観察した。

さらに、それぞれの試料をミキサーで磨砕し、遠心分離 (8,000rpm、30分) にて上清と沈殿に分け、各上清の糖度 (Brix %) を ATAGO DIGITAL REFRACTOMETER PR-1を用いて測定した。

## 2-1-4. バナナ可食部の糖質の分画<sup>10)</sup>

試料 (S1～S3およびR1～R3) それぞれに4倍量のメタノールを加えてミキサーで磨砕し、吸引濾過で濾液と残渣に分けた。残渣は80%メタノールで5回洗浄し、洗浄液は濾液と混合し「80%メタノール可溶性画分 (単糖・オリゴ糖画分)」とした。残渣は凍結乾燥し、「80%メタノール不溶性画分 (細胞壁・デンプン画分)」とした。全糖量の測定はフェノール・硫酸法にてグルコース相当量として算出した。ただし、80%メタノール不溶性画分の場合は、乾燥試料5mgに72%硫酸を0.5ml加え、ソニックバスにて1時間懸濁・溶解後、8.5mlの蒸留水を加え希釈したものを用いた。

## 2-1-5. 80%メタノール不溶性画分に含まれるデンプンの定量<sup>10)</sup>

各乾燥試料200mgに20mMの酢酸：酢酸ナトリウム緩衝液 (pH 4.5) を30ml加え、沸騰湯浴中で10分加熱後、室温まで冷却した。その後イソアミラーゼ (*Pseudomonas* 300単位)、グルコアミラーゼ (*Rhizopus niveus*、9単位) を加え、表面を数滴のトルエンで覆い40℃で48時間反応させた。反応後、遠心操作 (3,000rpm、30分) にて上清 (デンプン画分) と沈澱 (細胞壁画分) に分け、沈澱は蒸留水で洗浄した。洗浄液は上清に加え、沈澱は凍結乾燥後、2-1-4と同

様の方法で全糖量を測定した。

## 2-1-6. 80%メタノール可溶性画分 (単糖・オリゴ糖画分) の分析

80%メタノール可溶性画分を適当量とり減圧下濃縮乾固し、乾燥物を適当量の蒸留水に溶解した。遠心操作 (3,000rpm、30分) にて不溶物を除き、陰イオンクロマトグラフィー<sup>11)</sup> およびBio-GelP-2カラムクロマトグラフィー<sup>10)</sup> に供した。

## 2-1-7. 陰イオンクロマトグラフィー<sup>11)</sup>

イオンクロマトグラフは、日本ダイオネクス社のイオンクロマト DX-300を、標準物質としてソルビトール (Sor)、グルコース (Glc)、フルクトース (Fru)、スクロース (Suc) およびマルトオリゴ糖シリーズを用いた。分離カラム：CarboPac PA1 (日本ダイオネクス社)、ガードカラム：CarboPac PA1 GUARD (日本ダイオネクス社)、溶離液：A液として100mM NaOH、B液として100mM NaOH / 500mM CH<sub>3</sub>COONa、溶出グラジェント：A液100% (開始0分) ～84% (20分後)、B液：0% (開始0分) ～16% (20分後)、流量：1.0ml/分で分析した。

## 2-1-8. Bio-Gel P-2カラムクロマトグラフィー<sup>10)</sup>

Bio-Gel P-2をガラスカラム (φ5.5cm × 75cm) に詰め、蒸留水で平衡化し、蒸留水で溶出した。溶出液は23mlずつフラクションコレクターで集め、適当量を取りフェノール・硫酸法にて糖量を測定した。

## 2-2. バナナ果肉のアミラーゼ活性の確認

### 2-2-1. バナナ酵素液の調製

バナナ可食部1本 (105.710g) を包丁で細かく刻み20mM酢酸緩衝液100mlとともに泡立たないように乳鉢磨砕を行った。磨砕物を、三枚重ねガーゼで濾過し、濾液を遠心操作 (3,000rpm、30分、4℃) により上清と沈澱に分けた。得られた上清は同緩衝液に対し透析を行った。透析外液における全糖量が0付近になったことを確認後、透析内液を遠心操作 (3,000rpm、30分、4℃) にかけて、得られた上清をバナナ酵素液とした。

### 2-2-2. 酵素活性測定と酵素量の算出<sup>12)</sup>

デンプン溶液 (可溶性デンプンを20mM酢酸緩衝液 (pH5.5) に濃度0.05%になるよう溶解したもの) 2.0mlを40℃に保ち、バナナ酵素液0.25mlを加え反応を開

始させた。正確に5分、10分、20分と10分刻みで60分後まで各溶液にヨウ素試薬 (0.01%  $I_2$ -0.1% KI/1M 塩酸) を加えてよく混ぜた。これに、3.0ml の蒸留水を加えて混合し、620nm で吸光度を測定した。反応0分の場合は、同容量のデンプン溶液に、ヨウ素試薬、バナナ酵素液および蒸留水の順に加え、吸光度を測定した。

### 2-2-3. バナナデンプンに対するバナナ酵素液の作用と反応物の分析

前報<sup>8)</sup>で調製した追熟0日目バナナデンプン20mg に20mM 酢酸緩衝液を5ml 加え、10分間沸騰湯中で加熱後、室温まで冷却した。このデンプン溶液を4個用意し、溶液のみ、バナナ酵素液3ml (27単位)、同酵素液6ml (54単位)、同酵素液9ml (81単位) の4種類の試料と同酵素液に同緩衝液5ml のみを加えた試料、合わせて5個を調製した。これらを40℃の湯浴中で24時間反応させた後、5分間沸騰湯中で加熱し酵素を失活させた。その後、遠心操作 (4,500rpm、30分、20℃) で上清と沈殿に分け、得られた上清をヨウ素呈色反応に供した。さらに上清を Bio-Gel P-2 カラム (φ1.0cm × 30cm) クロマトグラフィーに供し、フェノール硫酸法にて単糖・オリゴ糖の糖分布を調べた。

### 2-3. 加熱調理による糖度と糖組成の変化

#### 2-3-1. 材料

レギュラーバナナ (R) (可食部100g 当たり Glc 相当量で約12g の単糖・オリゴ糖を含む) とスウィーティオバナナ (S) (可食部100g 当たり Glc 相当量で約14g の単糖・オリゴ糖を含む) を用いた。

#### 2-3-2. 加熱処理

レギュラーバナナおよびスウィーティオバナナを180℃のオーブで20分、30分、40分間加熱した。また、蒸し器で10分、20分、30分間蒸した。比較対照として未処理の各バナナを用いた。

#### 2-3-3. バナナ可食部加熱処理後の糖質の分画と分析

加熱処理前後の試料それぞれに4倍量のメタノールを加えてミキサーで磨砕し、吸引濾過で濾液と残渣に分けた。残渣は80%メタノールで5回洗浄し、洗浄液は濾液と混合し「80%メタノール可溶性画分 (単糖・オリゴ糖画分)」とした。全糖量の測定はフェノール・硫酸法にてグルコース相当量として算出した。また、

80%メタノール可溶性画分 (単糖・オリゴ糖画分) を適量とり減圧下濃縮乾固し、乾燥物を適量の蒸留水に溶解し遠心操作 (3,000rpm、30分) にて不溶物を除き、陰イオンクロマトグラフィーおよび Bio-GelP-2 カラムクロマトグラフィーに供した。方法は上述 2-1-7 と 2-1-8 に準じて行った。

### 3. 結果および考察

#### 3-1. バナナの追熟による糖度と糖組成の変化

レギュラーバナナ (R) とスウィーティオ (S) 可食部のヨウ素デンプン反応を行った結果 (図1と2)、追熟0日目の R1 および S1 とともに可食部全域に呈色が見られ、デンプンが全体に分布していた。追熟3日目の R2 および S2 は、可食部の中心部の呈色が少なくなっており、皮に近い方に呈色が見られることから、可食部中心からデンプンが分解しているのがわかつ

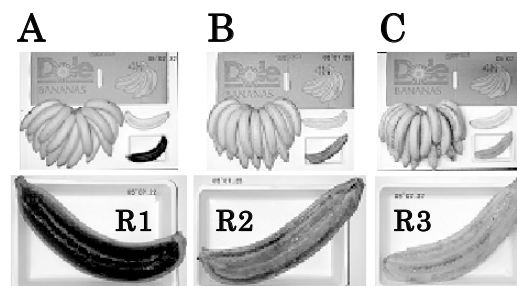


図1 レギュラーバナナのヨウ素-デンプン反応  
(A) 低地栽培バナナ (レギュラーバナナ) 追熟0日目 (R1)  
(B) 低地栽培バナナ (レギュラーバナナ) 追熟3日目 (R2)  
(C) 低地栽培バナナ (レギュラーバナナ) 追熟5日目 (R3)

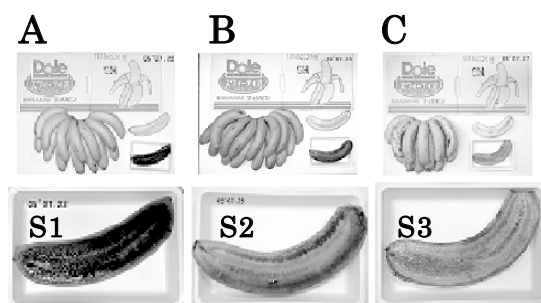


図2 スウィーティオバナナのヨウ素-デンプン反応  
(A) 高地栽培バナナ (スウィーティオバナナ) 追熟0日目 (S1)  
(B) 高地栽培バナナ (スウィーティオバナナ) 追熟3日目 (S2)  
(C) 高地栽培バナナ (スウィーティオバナナ) 追熟5日目 (S3)

た。追熟5日目のR3およびS3では、ヨウ素デンプン反応がほとんどなくなり、デンプンが分解されているのが確認された。

また、光学顕微鏡観察(図3)で追熟0日目(R1)はデンプン粒が単独で存在しているのが確認できる。しかし、追熟3日目(R2)や5日目(R3)になると、デンプン粒以外の粘性をもつ物質も存在し始めていた。一般に果実はデンプンを糖化して成熟を迎え、デンプンがほぼなくなり、過熟に進む段階で細胞壁多糖が溶解して軟化することが知られている。また、バナナの場合、デンプンの糖化とともに、細胞壁多糖であるペクチンが溶解する特徴があること、また、細胞壁多糖の含有量が一般的な果物より少ないことが報告<sup>13)</sup>されている。本実験でも、バナナデンプンが酵素により分解されたことと同じように細胞壁成分のペクチンも壊されていることが確認された。このようにデンプン粒が重なり合ったりデンプン粒の数そのものが減少したりすることで、バナナ果実の断面に直接ヨウ素液を反応させた場合は断面がまだらに呈色するか、もしくは呈色自体されにくくなると思われる。

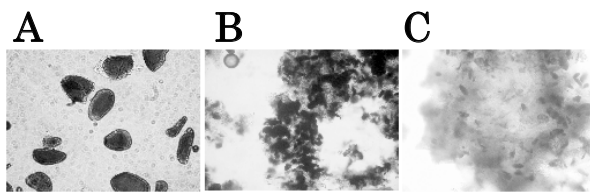


図3 ヨウ素-デンプン反応したレギュラーバナナの光学顕微鏡観察写真

- (A) 低地栽培バナナ(レギュラーバナナ) 追熟0日目(R1)
- (B) 低地栽培バナナ(レギュラーバナナ) 追熟3日目(R2)
- (C) 低地栽培バナナ(レギュラーバナナ) 追熟5日目(R3)

可食部をミキサーで磨砕しジュースの糖度(Brix%)を調べたところ、R1、R2、R3それぞれの平均値は15.4、21.0、19.1であった。一方S1、S2、S3それぞれ平均値は18.0、22.7、20.7であった。レギュラーバナナ(R)より、スウィーティオ(S)のBrix%が高く、いずれも追熟3日目が最高値となり、5日目に減少する傾向にあった。また、可食部に含まれる単糖・オリゴ糖の全糖量と糖組成を測定するために可食部からエタノールで抽出して得た、いわゆる80%エタノール可溶性画分をフェノール硫酸法で比色定量(グルコース相当量)した場合のバナナ可食部100g当たりの糖量を算出すると、R1、R2、R3それぞれの平均値が7.5g、

11.7g、12.1gで、S1、S2、S3それぞれの平均値が9.6g、12.7g、12.6gであった。レギュラーバナナ(R)より、スウィーティオ(S)の全糖量が高いことが示された。

R1、R2、R3およびS1、S2、S3の80%メタノール不溶性画分(デンプン・細胞壁画分)の全糖量(g/可食部100g)はそれぞれ13.5、1.0、0.6および6.9、0.9、0.6であった。アミラーゼ処理することによって求めたデンプンと細胞壁多糖の割合(%)はR1で69.7:30.3、R2で30.8:69.2、R3で26.6:73.4、S1で77.0:23.0、S2で32.4:67.6、S3で31.7:68.3あった。

これらの結果より単糖・オリゴ糖:デンプン:細胞壁多糖の含有量(可食部100g当たり)は、R1(7.5g:9.4g:4.1g)、R2(11.7g:0.3g:0.7g)、R3(12.1g:0.2g:0.4g)およびS1(9.6g:5.3g:1.6g)、S2(12.7g:0.3g:0.6g)、S3(12.6g:0.2g:0.4g)と算出され、高地栽培バナナおよび従来型の低地栽培バナナは追熟と共にデンプンが分解され糖分が増加することがわかった。

追熟に伴い増加する単糖・オリゴ糖を調べるために、R1~R3およびS1~S3の80%メタノール可溶性-水可溶性画分を陰イオンクロマトグラフィー分析(図4)に供した。標準糖としてソルビトール(Sorbitol, Sor)、グルコース(Glucose, Glc)、フルクトース(Fructose, Fru)、スクロース(Sucrose, Suc)、マルトオリゴ糖シリーズ(Malto-oligosaccharides)を用いた。クロマトチャートのピーク面積からソルビトール、グルコース、フルクトース、スクロースおよびオリゴ糖(スクロース以外のオリゴ糖すべて)の割合を求めたのが表1である。いずれも主成分はスクロース、グルコース、フルクトースであるが、追熟とともにスクロースが減少し、グルコースとフルクトースが増加することがわかった。また、微量に含まれるソルビトールは減少し、オリゴ糖は増加する傾向にあった。レギュラーバナナ追熟3日目(R2)のオリゴ糖が特に多く含まれていた。これはレギュラーバナナはスウィーティオよりデンプンが多かったことと、追熟後はスウィーティオとほぼ同量になることから、デンプン分解物がスウィーティオより多く含まれていたためではないかと考えられる。また、データは示していないがBio-Gel P-2を用いたゲルろ過クロマトグラフィーによる溶出パターンよりいずれも陰イオンクロマト分析結果と同様、単糖・二糖が主成分であること、そして追熟することで微量ではあるがオリゴ糖画分が増加することが確認された。飯島ら<sup>14)</sup>の高地栽培バナナと従来バナナの嗜好性調査によると「両者の

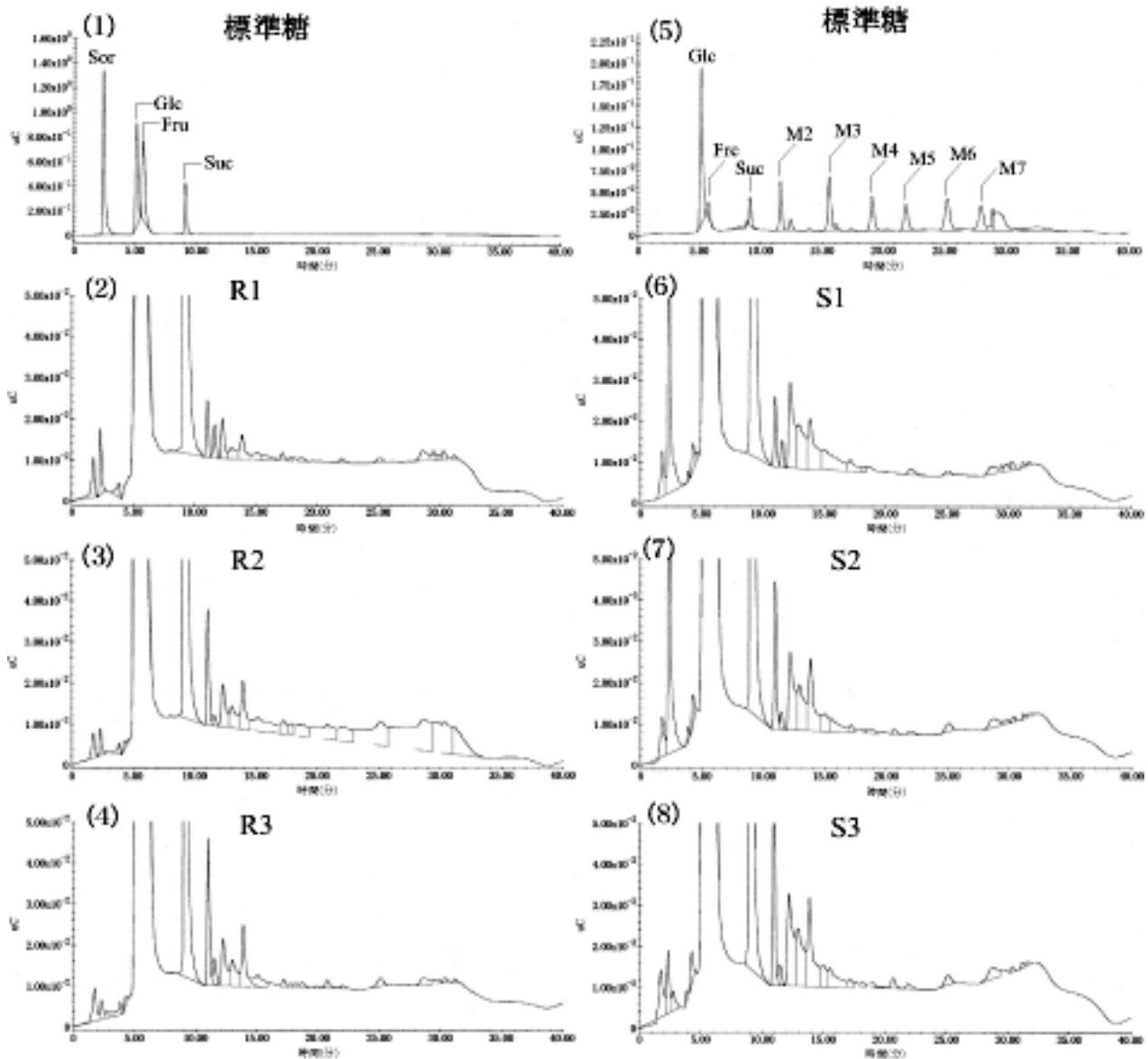


図4 レギュラーバナナおよびスウィーティオバナナの追熟各過程における可溶性糖質の陰イオンクロマトグラム

- (1): 標準糖 Sorbitol (Sor)、Glucose (Glc)、Fructose (Fru)、Sucrose (Suc)  
 (2): レギュラー追熟0日目 (R1)  
 (3): レギュラー追熟3日目 (R2)  
 (4): レギュラー追熟5日目 (R3)  
 (5): 標準糖 Glucose (Glc)、Fructose (Fru)、Sucrose (Suc)、各種マルトオリゴ糖 (M2～M7)  
 (6): スウィーティオ追熟0日目 (S1)  
 (7): スウィーティオ追熟3日目 (S2)  
 (8): スウィーティオ追熟5日目 (S3)

各クロマトグラムで10～15分、15～20分、20～25分、25～30分、35～40分に溶出したピークをそれぞれまとめ、Oligo 1、Oligo 2、Oligo 3、Oligo 4、Oligo 5とした。

バナナに対する嗜好性は甘さを除いて、従来種がさっぱりしている、柔らかい、粘りが無いに対して、高地栽培種は味が濃厚、硬い、ねっとりとしているというように対照的である」と報告している。また、鈴野ら<sup>15)</sup>

は高地栽培バナナの完熟段階でのデンプン含有量が最も低く糖が最も多いことを報告している。高地栽培種の方が従来種より甘いことは確かであるが、熟度に影響されることは間違いないと思われる。

表1 レギュラーバナナおよびスウィーティオバナナの追熟過程における可溶性糖の変化

		全糖量(g) ** 可食部100g	割合(%)								
			Sor	Glc	Fru	Suc	Oligo1	Oligo2	Oligo3	Oligo4	Oligo5
レギュラーバナナ	R1*	7.5	0.7	33.7	21.9	38.7	3.0	0.8	0.1	0.7	0.2
	(低地栽培) R2	11.7	0.3	35.0	26.4	26.3	3.7	1.9	1.3	2.8	2.5
	R3	12.1	0.2	44.2	32.3	18.2	3.8	0.7	0.2	0.4	0.1
スウィーティオバナナ	S1	9.6	2.5	32.4	21.9	36.3	5.8	0.4	0.2	0.5	0.2
	(高地栽培) S2	12.7	2.9	40.2	27.5	23.9	4.4	0.6	0.1	0.4	0.1
	S3	12.6	0.5	39.2	29.7	23.7	5.5	0.7	0.2	0.5	0.1

\* 1、2、3はそれぞれ追熟0日目、3日目、5日目

\*\* フェノール硫酸法で求めた Glc 相当量

表2 レギュラーバナナ追熟0日目のデンプン粒に対するとバナナ酵素液の作用

酵素量 (ml)	上清 可溶化糖量(mg)	沈殿 (mg)	可溶化率 (%)	ヨウ素呈色反応 吸光度(Abs)
0	1.05	15	25	2.71
3	4.63	12	40	3.08
6	13.08	7	65	1.14
9	15.61	5	75	0.78

### 3-2. バナナ果肉のアミラーゼ活性の確認

バナナ果肉から調製した酵素液を可溶性デンプンに作用させ経時的にヨウ素呈色反応を行い、反応10分の吸光度の値を酵素反応開始前(0分)の吸光度の値から10分当たりの呈色減少率  $A[A = \{(D - D') / D\} \times 100]$  ( $D =$  反応0分の吸光度、 $D' =$  反応10分の吸光度)を算出した。10分当たり10%減少させる酵素量を1単位とし、バナナ酵素液1ml当たりの酵素量〔単位数  $X = (A / 10) / 0.25$ ]を求めた結果800.3単位/果肉100gであった。また、バナナデンプンに対してバナナ酵素液を作用させた結果をまとめたものが表2である。追熟0日目のバナナデンプンにバナナ酵素が作用することにより、酵素の分解のみによってデンプンから得られた上清可溶化糖量は、酵素量が増えるにつれて増加している。これに伴い、酵素量別における沈殿の重量も減少していることから、糖の可溶化率が増加し、酵素量が増すにつれてデンプン分解の働きが高まったと考える。さらに、ヨウ素デンプン反応による呈色状態を確認すると、酵素量が3mlから増加するにつれて吸光度が減少し、このことからバナナに含まれる酵素によるバナナデンプンの分解が明らかである。図5は酵素反応物のBio-Gel P-2によるゲルろ過パターンである。単糖画分に糖の溶出が認められ、少なくとも数種の酵素が関与していると考えられた。

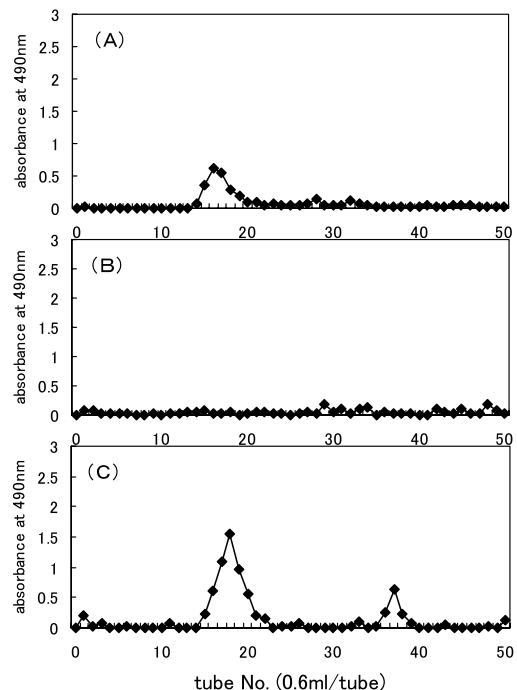


図5 レギュラーバナナ追熟0日目のデンプン粒に対するバナナ酵素液反応物のBio-Gel P-2カラムクロマトグラフィー

- (A) 追熟0日目のバナナデンプン粒粉末の可溶性画分  
(B) バナナ酵素  
(C) 追熟0日目バナナデンプン20mgにバナナ酵素9mlを作用させ、24時間反応後の遠心上清画分

### 3-3. 加熱調理による糖度と糖組成の変化

各加熱操作前後の80%メタノール可溶性画分（単糖・オリゴ糖画分）に含まれる糖量および糖組成をまとめたのが表3と表4である。いずれも、焼き調理より蒸し調理後の糖度が高くなる傾向がみられた。調理時間は、焼きは30分で最も高く、40分では減少していた。また、蒸し調理では、10~20分で最も高く、それ以上になると、かなり減少することがわかった。

レギュラーバナナは加熱処理によってソルビトールが増加し、グルコース、フルクトース、スクロースは減少する傾向にあった。しかし、スウィーティオは、焼き操作ではソルビトールの増加がみられるが、蒸し操作ではほとんど変化がみられなかった。また、グルコース、フルクトースおよびスクロースは調理によって増加する傾向がみられた。蒸し調理によって、オリゴ糖が著しく減少するのも確認された。

また、表3と表4からレギュラーバナナは、調理によってOligo 1およびOligo 4が増加しており、加熱によってOligo 2がOligo 1に、Oligo 5がOligo 4に

分解されている可能性が考えられた。また、スウィーティオは、Oligo 1とOligo 4が主であったが、加熱調理によって各オリゴ糖が減少し、単糖が増加することから、加熱によってオリゴ糖が単糖やショ糖に分解されたと考えられる。焼き調理と蒸し調理では、蒸し調理の方がオリゴ糖の減少が大きいことも確認された。データは示していないが、レギュラーバナナとスウィーティオの未処理および蒸し調理20分後の試料の、Bio-Gel P-2の溶出パターンから、いずれも陰イオンクロマト分析結果と同様、調理によってオリゴ糖画分の減少が確認された。

バナナには、種々の酵素が含まれるが、なかでも $\beta$ -アミラーゼ<sup>16)</sup>や $\alpha$ -グルコシダーゼ<sup>17, 18)</sup>は、バナナの追熟過程において澱粉を分解し、糖度を高める酵素として重要である。また、バナナ澱粉の糊化温度は、品種によって若干異なるが、65~75℃と報告されている<sup>19, 20)</sup>。蒸し調理は水を沸騰させて蒸気による加熱のため、食材の表面から内部温度の上昇は緩慢となるが、オーブンによる焼き調理では表面が急速に加熱

表3 レギュラーバナナの加熱処理（焼き、蒸し）過程での可溶性糖の変化

処理方法	全糖量	割合(%)								
		Sor	Glc	Fru	Suc	Oligo1	Oligo2	Oligo3	Oligo4	Oligo5
未処理	12.0g	6.1	29.3	22.5	31.3	1.8	3.9	-	3.8	2.9
焼き	20分	11.2g	15.6	26.1	18.6	30.9	4.2	1.1	-	4.5
	30分	12.8g	15.8	22.8	14.7	33.4	3.4	2.9	-	7.0
	40分	12.3g	14.1	27.7	18.3	30.8	3.9	0.9	-	4.3
蒸し	10分	13.4g	15.8	29.2	20.4	28.2	2.2	0.5	-	3.0
	20分	12.9g	21.1	27.7	19.1	24.8	1.4	-	-	5.9
	30分	8.7g	21.9	24.7	16.1	23.6	2.6	0.1	-	10.9

表4 スウィーティオバナナの加熱処理（焼き、蒸し）過程での可溶性糖の変化

処理方法	全糖量	割合(%)								
		Sor	Glc	Fru	Suc	Oligo1	Oligo2	Oligo3	Oligo4	Oligo5
未処理	14.0g	9.9	26.7	17.1	27.0	10.1	2.6	-	6.6	-
焼き	20分	12.9g	12.1	32.7	21.1	24.8	3.4	1.0	-	5.0
	30分	13.6g	10.7	30.5	19.9	26.6	4.3	1.1	-	6.8
	40分	13.2g	9.5	33.1	23.3	22.9	3.2	0.6	-	8.4
蒸し	10分	13.5g	9.6	34.7	24.0	23.9	2.6	0.9	tr.	3.8
	20分	13.9g	9.3	34.9	24.6	24.1	2.8	0.5	tr.	3.3
	30分	11.7g	9.7	34.3	24.6	24.0	3.0	0.5	-	3.4

されると同時に内在酵素は失活し、食材の内部と外部の温度差も大きくなることが考えられる。よって、焼き調理より蒸し調理後の糖度が高くなったのは、蒸し調理の方が温度むらの少ない均一な加熱であり、澱粉の糊化を促進するとともに、酵素等による分解が進行したと考えられた。また、オープンによる加熱は表面の水分が蒸発し、澱粉の糊化に必要な水分が蒸し調理より少ないことも考えられた。

焼き調理および蒸し調理ともに、加熱時間が多くなると糖度が減少する傾向にあったが、過剰な加熱調理によって可溶化した単糖がアミノ・カルボニル反応によって褐変物質に変化し、糖度が減少した可能性が考えられた。また、オリゴ糖の割合が加熱によって変化していたが、バナナ澱粉には長鎖のアミロペクチンの存在が確認されており、過剰な加熱調理によってレジスタントスターチが残存することも報告されている<sup>20)</sup>。レギュラーバナナとスウィーティオのオリゴ糖含有割合の違いは、澱粉構造の違いに由来していると考えられ、摂食した際の消化性に影響を及ぼすことが予測された。

バナナの調理法（レシピ）については数多くの報告がされているが、調理による栄養成分や機能性成分の変化に関する研究は数少ない。熟度別のバナナの調理についても今後詳細に検討し、糖質のみならず栄養健康機能成分の損失を少なくする方法、あるいは逆に増強させる方法の研究も必要となると思われる。

本研究を進めるに当たり、実験にご協力くださいました野呂哲氏と加藤俊治氏感謝します。また、本論文をまとめるにあたり、図表の作成にご協力下さいました高谷麻紀子さんに感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) H19年財務省貿易統計。
- 2) 総務省：家計調査 家計調査にみる品目別支出金額及び購入数量の都道府県庁所在市別ランキング（平成16～18年及び平成19年～21年）。
- 3) 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）。
- 4) 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）。
- 5) 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）。
- 6) 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）。
- 7) 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。
- 8) 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）。
- 9) 加藤陽治，斎藤幸子，斎藤博敏：リンゴ果実中の澱粉，弘前大学教育学部教科教育紀要，**25**, 13-21（1997）。
- 10) 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）。
- 11) 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）。
- 12) 加藤陽治，照井誉子，羽賀敏雄，小山セイ，日景弥生，盛玲子：生食野菜類のアミラーゼ活性，弘前大学教育学部教科教育研究紀要，**17**, 49-57（1993）。
- 13) 児島清秀，桜井直樹，倉石晉，小久保亮：追熟中のバナナ果実の硬さと化学的成分の変化，熱帯農業，**38**（4），293-297（1994）。
- 14) 飯島久美子，小西史子，嶋田淑子，香西みどり，畑江敬子：高地栽培バナナと従来バナナの嗜好性および物理化学的特性の違い，日本調理学会誌，**41**, 49-54（2008）。
- 15) 鈴野弘子，石田裕：高地栽培バナナの風味に係る成分の特性，日本食品科学工学会誌，**52**, 479-484（2005）。
- 16) J.R.O. do Nascimento, A.V. Junior, P.Z. Bassinello, B.R. Cordenunsi, J.A. Mainardi, E. Purgatto and F.M. Lajolo, Beta-amylase expression and starch degradation during banana ripening, *Postharvest Biology and Technology*, **40**, 41-47（2006）。
- 17) Y. Konishi, M. Harada, M. Nakasuji, M.D. Innocenzo and F.M. Lajolo, Purification and characterization of soluble and cell wall-bound acid  $\alpha$ -glucosidases of ripe yellow banana pulp, *J. Appl. Glycosci.*, **48**（1）, 19-25（2001）。
- 18) 久本美亜：バナナの酸性 $\alpha$ -グルコシダーゼの性質，夙川学院短期大学研究紀要，**29**, 13-26（2004）。
- 19) P.Zhang, R.L. Whistler, J.N. Bemiller and B.R. Hamaker : Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility-a review, *Carbohydrate Polymers.*, **59**, 443-458（2005）。
- 20) P. Zhang and B.R. Hamaker : Banana starch structure and digestibility, *Carbohydrate Polymers.*, **87**, 1552-1558（2012）。

（2013. 8. 5 受理）