

バナナ追熟時におけるアスコルビン酸の動態

西川陽子*・安瀬智悠*

（2014年11月28日受理）

The change of ascorbic acid on after-ripening banana

Yoko NISHIKAWA* and Chihiro ANZE*

(Received November 28, 2014)

1. はじめに

果実は主にビタミン、ミネラル、食物繊維の供給源として優れており、「健康日本21」では1日200gの摂取が目標値として掲げられている¹⁾。しかし、日本人の果実摂取量は世界的に見ても低く、平成7年までは徐々に国内消費量は伸びていたが、その後は横ばい状態で、1人当たりの年間摂取量は約40kg、1日当たりではH24年の国民健康・栄養調査によると108g/人と目標値の約半分となっている（図1）。特に若い層で果物離れの傾向が強い。摂取が伸びない主な要因は、果実の健康効果及び果実摂取の重要性における認知度が低い、価格が高い、食べるタイミングがないといったことが挙げられている²⁾。そのような中でバナナは、消化吸収のよい糖質、カリウムやマグネシウムといったミネラル、ビタミンB群などがバランスよく含まれており栄養的に優れている³⁾ことが広く認知されており、価格も年間を通して比較的安く安定していて入手しやすい。そのため、果実摂取を妨げる主な要因がカバーされ、現在ではバナナはみかんやりんごを抑えて日本における果実消費量の1位を占め、日本人にとって最も身近な果実となっている（図2）⁴⁾。

しかし、バナナは赤道をはさむ緯度30°以下の熱帯及び亜熱帯地域が栽培可能地域であり、日本での栽培は沖縄などの一部に限られる⁵⁾。国内産は稀少なため市場にはほとんど出ず、現在国内に流通するバナナのほぼ100%は輸入に頼っており、バナナは輸入果実量の増加を牽引している。世界的にもバナナの人気は高く、年々その生産量、消費量、流通量は増加しており、その中でも日本はバナナの主要輸入国であり、輸入量はアメリカ、ドイツ、ベルギーに次ぐ第4位である。日本におけるバナナの輸入は1903年に台湾から始まり、その後戦時中は市場から姿を消したが、1950年に台湾との通商協定が結ばれ、再び輸入され市場に出回るようになった。日本人に台湾バナナが馴染み深い所以である。当時のバナナの卸値は約1000円/kgと、平均月収が1万円の時代においては非常に高価であり、めったに食べられない高級品であったが、1963年にバナナの輸入自由

*茨城大学教育学部食物学研究室（〒310-8512 水戸市文京2-1-1；Laboratory of Food Science, College of Education, Ibaraki University, Mito 310-8512 Japan）

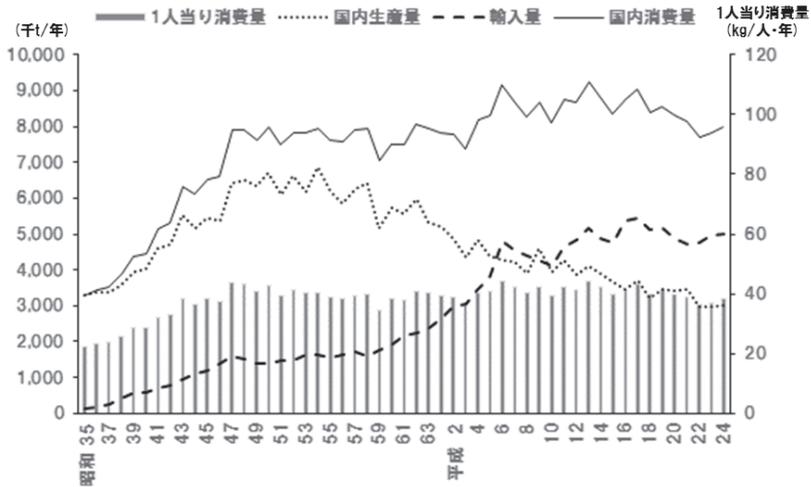


図1 日本における果物の需給推移（農林水産省，食料需給表より）

化が協定されて以降，身近なものとなった。輸入自由化されてからも，1970年代半ばまでは8割以上を台湾から輸入していたが，1970年代後半からはフィリピンにおいてアメリカ企業の参入によってバナナの生産輸出が盛んになり，日本のバナナの輸入相手国は台湾からフィリピンへと移った。現在では，輸入先の約9割がフィリピンからとなっている（図3）⁶⁾。かつての主流である台湾からの輸入量は，現在では約1%にまで減少したが，濃厚な甘みと香りを持つ台湾バナナには今も根強いファンがおり，やや高値で流通されている。食用として栽培されるバナナの品種には表1のようなものがあり，世界的には日本で一般に食される甘い生食用のものだけではなく，さつま芋のように食される調理用のものもあり，大きく分けて生食用と調理用の2つに大別される³⁾。生食用バナナにおける世界で最も流通量が多い品種は，日本でも最も多く出回っている病害虫に強いジャイアント・キャベンディッシュである。流通にのせる生食用バナナの場合，樹上完熟はさせず，開花後約3カ月の青い未熟果のうち収穫される。これは，樹上完熟させ柔らかくなったものは，運搬の際に傷みやすく，甘味や香りも損なわれやすいためである。更に，輸出されるバナナは運搬中の追熟

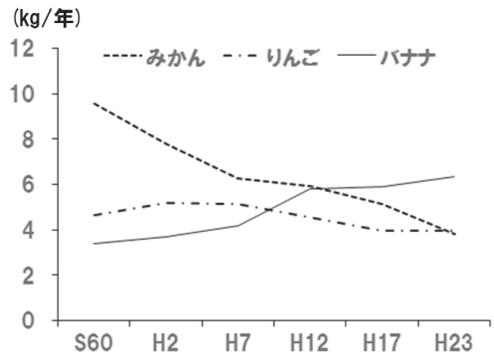


図2 国内消費量上位3つの果実における1人当たり購入数量の推移（総務省，「家計調査」より）

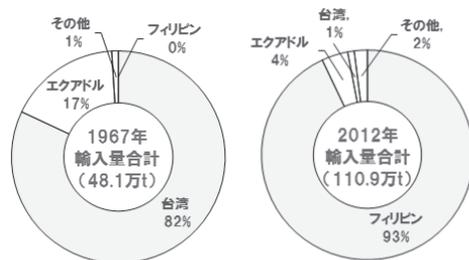


図3 日本におけるバナナの輸入相手国割合（財務省統計より）

表1 バナナの主な品種と特徴³⁾

生食用	ジャイアント・キャベンディッシュ	フィリピンバナナとも呼ばれ、日本で一般に出回る主要品種。病気に強く生産性に富み、世界的にも最も流通量が多い。厚い皮で日持ちがよく、果肉は柔らかでさっぱりした甘味。
	台湾バナナ	台湾で主に栽培され、北蕉や仙人蕉などの品種がある。ジャイアント・キャベンディッシュよりも味が濃厚で芳香が強く、ねっとりした食感。
	島バナナ	沖縄や奄美諸島などで栽培され、長さ10～15cmの小型。台風の影響を受けやすく生産が不安定なため、ほとんど流通しない。適度な甘味と酸味がある。
	セニョリータ	長さ7～9cm。モンキーバナナとも呼ばれる。皮が薄く、果肉は柔らかく甘い。
	モラード	厚く赤褐色の皮。レッドバナナとも呼ばれる。果肉は他のバナナと同じくクリーム色。もっちりした食感とあっさりした甘味。
料理用	ツンドク	大型で40cmを超えるものもある。牛の角に似ていることからホーンバナナとも呼ばれる。バナナチップの原料としても使われる。
	カルダバ	太く短く角張った形。焼くと薩摩芋のようなホクホクした食感。フィリピンで料理用として最も多く利用されている。
	リンキッド	20～30本の果指がくっつき、房が扇形。揚げたり蒸したりして食し、もっちりとした食感と甘味を持つ。

を抑えるため、温度管理設備を備えたトラックや船舶で低温障害（バナナは12℃以下になると果皮や果肉が褐変する低温障害が見られる）を受けないよう約13℃に保ち輸送され、輸入国内にて出荷に合わせて追熟が開始される⁷⁾⁸⁾。

日本では、植物防疫法により、バナナは成熟前の青いもののみ輸入が認められ、輸入後に国内にて追熟させることが義務付けられている。日本における追熟開始操作は、温度20℃、湿度90～95%にて、12～24時間およそ1000ppmのエチレングス濃度下に置くことで行われる。このエチレン処理後、数日で果皮が黄色に変化し可食状態になる。そのため、日本ではバナナは流通購入時にはまだ若く甘みは弱い状態のものが多く、購入してからいわゆる「スイートスポット」と呼ばれる果皮に茶褐色の斑点が見られるようになる食べ頃の状態まで追熟させ食べるのが一般的である⁷⁾⁸⁾。バナナの追熟時の変化は大きく、甘味と芳香が増し、皮の弱化と果肉の軟化が急速に進む。そのため、食べ頃の状態を逸することも多い。このような追熟時の急速な変化においては、その栄養成分も著しく変化するものと予想される。近年、パパイヤなどで幼若果の栄養的価値が新たに見出され、それらの成分の多くが追熟により失われることが報告されており⁹⁾、このことから果実の熟しにおける栄養成分の変化は大きいと考えられるが、バナナにおける追熟時の栄養変化における詳細は未だ明らかになっていない。バナナは日本で最も多く食されている果実であり、栄養摂取源としての役割は大きく、摂取時のバナナの状態によって摂取される栄養量に影響があるのかわかることは有意義であると考えられる。バナナはバショウ科バショウ属の植物で、食物繊維やミネラルに富むが、ビタミンC（アスコルビン酸、AsA）も100g中16mgと、特筆して多く含まれるということではないが、トマトやアスパラガスなどと同程度の量が含まれ、AsAの供給源として寄与している³⁾。AsAは補酵素としての働き以外に、抗酸化能も有するため、食品においてはその加工・保蔵時に受ける酸化に抗して働き、その際AsA自身は酸化される¹⁰⁾。ゆえに、食品

中の AsA 量及びその酸化状態の変化は食品の酸化状態が反映される。本研究では、果実の栄養成分の変化を考察するために、バナナ中の AsA を酸化状態の指標としても扱い、その動態を分析しバナナの追熟における栄養学的評価を試みるものである。

2. 方法

2.1. 追熟条件の検討

試料には、フィリピン産のバナナ、品種はジャイアント・キャベンディッシュ、品名「バナナ屋さんの逸品」を用いた。平均的なバナナの追熟環境に結果が応用できるよう、水戸市内のスーパーにて最も入手しやすいことを観点とし選定した。購入時にはできるだけ若くシュガースポットが出ていない状態のものを選び、試料とした。以下、本実験に用いたバナナは、すべてこの同じ銘柄、同じ購入方法による。

バナナの追熟は、恒温器（ADVANTEC CI-410）を用い、湿度が高くないよう開放系とし、各季節の平均室内温度に合わせた 16℃、20℃、25℃、27℃、30℃の5つの一定温度下に置くことで行った。追熟状態は、糖度（糖度計：ATAGO HAND-HELD ATC-1E）および官能試験（香り、食感、味）の結果によって判定し、安定した望ましい追熟条件について検討した。

2.2. 追熟による AsA の変動

2.1. と同様に若い状態で購入したバナナについて、購入直後のもの、2.1. の実験結果から、最も短期間に安定した追熟状態が得られるとされた追熟条件（25℃、3～4日保存）で糖度 22° に達した食べ頃のもの、さらに同じ追熟条件で食べ頃を過ぎアルコール臭が出はじめるまで5～6日保存した過熟のもの、これら3つの異なる熟度のバナナについて、AsA 量及び酸化型 AsA（デヒドロアスコルビン酸（DHA））量を測定した。AsA の定量は HPLC を用いて文献記載の方法¹¹⁾により行った。DHA 量は、還元型 AsA 量とジチオトレイトール（DTT）によって還元した還元試料から測定される総 AsA 量を用いて、総 AsA 量－還元型 AsA 量により算出した。試料の調製を含め試薬は全て和光純薬工業製のものを用い、HPLC 分析に用いた装置及び条件の概要は以下の通りである。

< HPLC 分析条件 >

システム : コントローラ (SCL-10A vp, SHIMADZU), 分析処理 (CLASS-VP, SHIMADZU)
カラム : ODS-2 (Inertsil, 4.6 mm × 150 mm), 25℃
溶離液 : リン酸バッファー (0.05 M, pH 2.3), 0.7 ml / min
検出 : UV 245 nm (SPD-10AV vp, SHIMADZU)

2.3. バナナの部位別 AsA 量の測定

2.1. と同様に若い状態で購入した購入直後のバナナについて、果肉、スジ（果肉と皮の間にあり果肉表面に付着し、維管束に相当）、皮（内側の白い部分）、これら3箇所の部位別に分け、2.2. の測定方法と同様の方法により AsA 量及び DHA 量の分析を行った。

2.4. 長期保存に適した保存方法の検討

購入直後の若いバナナを表2に示した冷蔵、冷凍、蜂蜜漬けの3通りの方法で保存し、3日、7日、10日間保存したバナナと蜂蜜漬けの蜂蜜についてAsA量及びDHA量を2.2.の実験と同様に測定し、これらの結果から、バナナの長期保存に適した保存方法について検討した。

表2 長期保蔵試験のためのバナナの各保蔵方法

保存方法	操作
冷蔵	1cm厚さの輪切りにし、密閉袋に入れ空気をなるべく抜いて封をし、4℃にて保存。
冷凍	冷蔵保存と同じく、1cm厚さの輪切りにし、密閉袋に入れ空気をなるべく抜いて封をし、-33℃にて保存。
蜂蜜漬け	1cm厚さの輪切りにし、密閉袋に入れ、バナナと同重量の蜂蜜(百花蜜、中国産)を加え、空気をなるべく抜いて封をし、4℃にて保存。

3. 結果と考察

購入後、家庭での追熟においては温度と湿度が大きく影響する。水戸においては、年平均気温13.6℃、各季節の平均気温はおよそ冬で5℃、春・秋で14℃、夏で23℃であり、室内では冷暖房を使用し、一般的な快適室内環境として冬場18～20℃、湿度40～50%、夏場25～27℃、湿度50～60%を目安に調節され、冬場でも平均室温は約18℃と高く保たれ¹²⁾¹³⁾、冬の調理場であってもこの平均温度前後であると

予想される。これらを考慮し、バナナを購入後、家庭で追熟させる場合の温度として16℃～30℃の5つの温度を設定し、一般的な家庭での追熟環境に沿った最適な追熟試験条件を設定するための検討を行った。また、追熟には湿度の影響も大きく、湿度が高いと皮の褐変が急速に進み、通常の追熟過程とは異なる反応が進む。そのため、厳密な湿度調節は行わなかったが、湿度70%を超えないよう恒温機を密閉せず開放系とし、一定温度を保ち追熟試験を行った。熟度は糖度を主な指標とし、追熟が完了し食べ頃とされる糖度22度以上になるまでの追熟日数を中心に検討を行った(図4)。春・秋～冬の室温の参考値となる20℃、16℃では、食べ頃になるまでに購入してから平均して5～7日間、追熟に要することが示唆された。また、夏場の室内環境の参考となる25℃、27℃、30℃では25℃では非常に短期間の購入後3日ほどで食べ頃になるが、27℃、30℃では購入

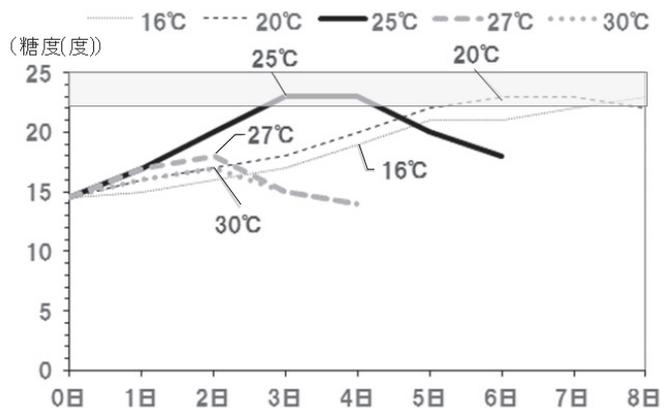


図4 異なる温度下におけるバナナ追熟時の糖度変化 (n=4)
(グレーゾーンは糖度22度以上の食べ頃領域)

後2日目で、糖度が低下しアルコール発酵が見られ、期待する追熟反応から逸脱することが確認された。ゆえに、バナナの追熟においては、購入後平均して夏場で2～5日、それ以外の季節では5～8日が追熟に要する日数の目安になると推察された。今回の実験では、より短期に良好な食べ頃状態のバナナを調製する必要があるので、以降の実験における食べ頃バナナの試料作成においては、25℃にて3日前後追熟させ、糖度22度以上を確認し用いることとした。

バナナは熟度により味や食感等が大きく異なり、追熟時の短期間にこれらの変化が急速に進む。そのため、摂取するバナナの熟度の違いによって栄養成分の変動があるのではないかと考え、熟度の異なるバナナのAsA量について分析を行った(図5)。購入直後の若いバナナと、25℃で3日前後追熟させ食べ頃となったバナナ、そして25℃で6日前後追熟させ糖度が下がり柔らかくなった過熟バナナの3つについてAsAの分析を行ったところ、食べ頃のものより60%

までAsA量が有意に($p<0.05$)低下し、更に過熟のものでは33%にまで減少した。また、AsA酸化率も追熟が進むにつれ激しくなり、追熟時のAsA酸化分解が非常に急速に進むことが推察された。また、食品成分表ではバナナのAsA量は16mg/100gとなっており、今回測定した購入時のAsA量の14.23mg/100gに近く、食品成分表値は摂取時に配慮した食べ頃の状態でないことが推察された。これは、追熟変化の早い果実の場合、実際に摂取されるAsA量については、摂取時の熟度によって食品成分表値とはかなり異なる可能性があることを示唆する結果と考えられた。

果実においては酸化反応の防御に対して皮の役割が大きく、皮が損傷されると果肉の酸化は一気に進む¹⁴⁾¹⁵⁾。バナナのような追熟の早い南国系の傷みやすい果実の場合、酸化防御機構は重要であり、皮に強い抗酸化能を有している可能性が高い。実際バナナの皮は追熟により急速に薄く軟化するとともに褐変し、激しく酸化を受けているものと考えられる。これらのことから、皮部及び皮と果肉の間のスジ部において、抗酸化機能を有するAsAが高濃度に含まれている可能性があるのではないかと考え、これらの部位におけるAsA量の測定を行った。測定

には、追熟により酸化が進みAsAが分解してしまうことを避けるため若いバナナを用いた。その結果、皮に近いほうが酸化が激しいことが示唆され、AsA量については、果肉部よりもスジ及び皮のほうがともに少ないことが確認された(図6)。すなわち、皮やスジの部分における抗酸化機構にAsAは大きくは関与していないと推察された。

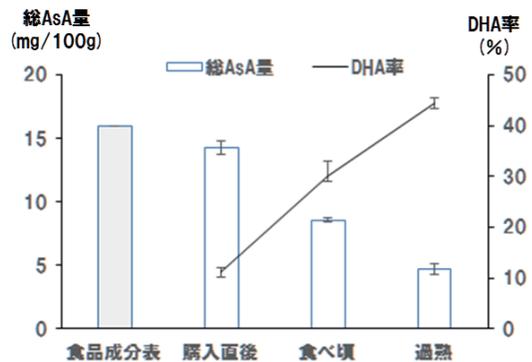


図5 バナナの追熟によるアスコルビン酸量の変化 (n=4)

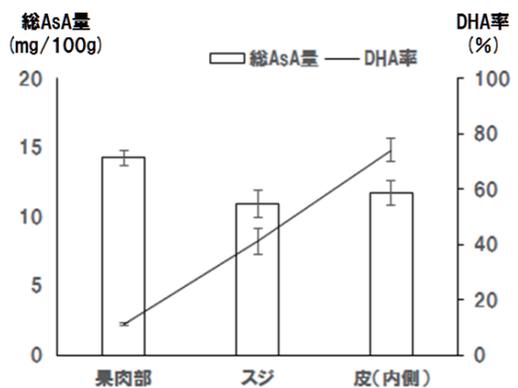


図6 バナナ(購入直後)の部位別アスコルビン酸量 (n=4)

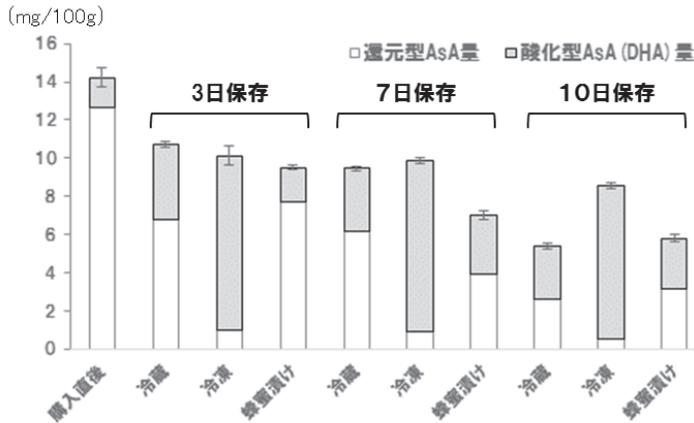


図7 バナナの各保存方法(冷蔵・冷凍・蜂蜜漬け)におけるアスコルビン酸の動態 (n=4)

バナナは通常房(4~6本程度)単位で購入し、一度に食べきらず数日保存され、最後のほうでは食べ頃を逃し過熟状態となることが多い。その場合は菓子材料などに利用されたりもするが、仕方なく外観や味が劣ってもそのまま食されることも少なくない。食べ頃を逃し余りそうなバナナについては、追熟はさせず購入直後から別の保存手段をとったほうが栄養学的側面からより良い可能性がある。そこで、日常的に可能性の高い、冷凍、蜂蜜漬け、の2つの保存方法について栄養学的に有効であるか検証した。保存条件は、バナナを1cm厚さの輪切りにし蜂蜜漬けはバナナと同重量の蜂蜜を加え、各々密閉袋に入れ、冷蔵と蜂蜜漬けは4℃、冷凍は-33℃にて保存し、保存中のAsA量の変化を分析した。冷蔵保存試料については、冷凍及び蜂蜜漬けの対照として用意したものである。総AsA量の保持状態を見ると、冷凍保存のものが最も安定で冷蔵や蜂蜜漬けに比べて10日間の保存期間中一貫して有意に(p<0.05)他の保存方法に比べて高い値を維持していた(図7)。しかし、冷凍保存におけるバナナ中AsAのほとんどは酸化型で、低温障害による影響か不安定な状態にあることが推察可能であり、使用時の調理加工によっては酸化分解が進みやすく注意が必要と考えられた。一方、蜂蜜漬けは保存7日までの初期段階でのAsAの損失が大きく、その損失は冷蔵保存よりも大きかったが、その後の減少は緩やかになり、冷蔵保存よりもAsAの保持においては有意に良い(p<0.05)ことが確認された(図7)。また、蜂蜜漬けの場合、冷蔵・冷凍保存と異なり、蜂蜜へのバナナの水分流出が大きく、外観的にも萎縮が見られ、バナナ重量は保存前の重量に対して保存3日目で67.6%まで減少し、その後は7日目で62.8%、10日保存で61.7%と一定し、水分の流出と萎縮は保存の早い段階で急速に進むことが観察された。このことから蜂蜜漬けバナナ

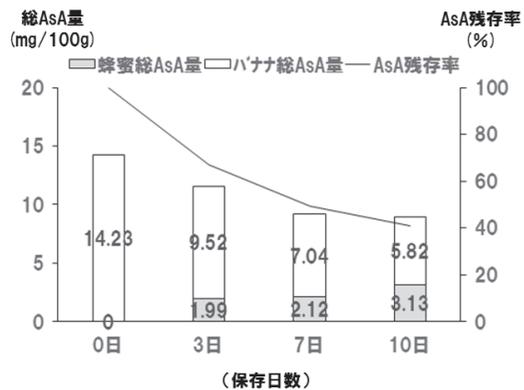


図8 蜂蜜漬けバナナにおけるバナナと蜂蜜中の総アスコルビン酸量の変化 (n=4)

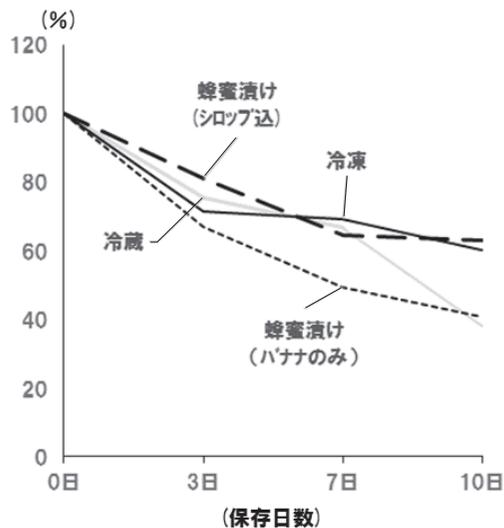


図9 バナナの各保存方法(冷蔵・冷凍・蜂蜜漬け)における総アスコルビン酸量保持率の変化

の AsA の損失は、この水分流出と一緒に蜂蜜側に AsA が流出することによるものと推察した。そこで、漬け込み蜂蜜の AsA 量の分析を行ったところ、漬け込み前の蜂蜜には AsA は $0.03\text{mg}/100\text{g}$ とほとんど含まれていなかったが、漬け込み後 3 日目では $1.99\text{mg}/100\text{g}$ 、7 日目では $2.12\text{mg}/100\text{g}$ 、10 日目では $3.13\text{mg}/100\text{g}$ と増加しており、バナナからの AsA 流出を示唆する結果が得られた。また、その増加状態から蜂蜜中では AsA の酸化分解は低く抑えられ安定に存在しているものと推察された (図 8)。蜂蜜漬けにしたバナナを食す際、漬け込みに使った蜂蜜も共に食すと仮定すれば、蜂蜜漬けバナナの総 AsA 量の損失は少ないと考えられる。冷蔵、冷凍、蜂蜜漬け (蜂蜜シロップ除く、蜂蜜シロップ含む) の各保存方法における総 AsA 量の保持率の変化をまとめると図 9 のようになる。常温で追熟させて食すよりも長期の保存に適する方法という観点では、7 日以上保存における AsA 量が問題となり、冷凍と蜂蜜漬けは漬け込み蜂蜜も除かず食すと考えると栄養学的にはほぼ同等という結果になった。通常の常温における追熟で過熟状態になった場合の総 AsA 量残存率は約 33% であるのに対して (図 5)、冷凍及び蜂蜜漬けの 10 日保存ではそれぞれの総 AsA 量残存率は 60%、62% と高く、通常追熟させて食す際の食べ頃状態のバナナにおける総 AsA 量に匹敵する。すなわち、食べ頃を逸してしまいそうな分のバナナについて、購入直後に冷凍や蜂蜜漬けといった保存手段をとることは、栄養学的見地から有効であると考えられた。

4. まとめ

日本において日常食する果実として最も身近であり、国内果実消費量 1 位であるバナナについて、購入後の追熟や保存加工手段によって、栄養学的にどのような違いが生ずるか、AsA を指標として評価を試み、以下のことが明らかになった。

- ・ バナナの追熟過程では酸化反応が急速に進み、追熟させ食べ頃の状態まで追熟させたものでは、

購入直後の若い状態のものに比べて総 AsA 量はおよそ 60% 減少していることが確認された。また、食品成分表のバナナの総 AsA 量の値は購入直後の若い状態のものに相当し、食品成分表の値と実際に摂取される栄養素量との間には、果物の種類によっては違いがあることが推察された。

- ・ バナナの皮やスジの部分においては、抗酸化能が高いと考えられているが、これらの部分において AsA の局在は見られず、その抗酸化能における AsA の寄与は特段大きなものではないことが確認された。
- ・ 家庭におけるバナナの長期保存について、バナナは低温障害のある果実ではあるが、冷凍保存及び蜂蜜漬け低温保存のいずれも、蜂蜜漬けは蜂蜜ごと食すことを前提とした場合、常温追熟させた食べ頃状態のバナナとほぼ同等の総 AsA 量の摂取が期待でき、栄養学的見地から有効な保存加工手段であることが確認された。

引用文献

- 1) 武部 和夫・田中 敬一, 2013, 「fact book 果物と健康 (5 訂版)」 公益財団法人中央果実協会, 1-21.
- 2) 公益財団法人中央果実協会, 2013, 「平成 24 年度 果実加工流通消費調査報告書 - 果物の消費に関するアンケート調査 - 」(中央果実協会調査資料, No.218) 1-157
- 3) 芦澤 正和・飯塚 宗夫・武田 正倫・成瀬 宇平 (監修), 2003, 『審判 食材図典 生鮮食材篇』小学館, 290-291.
- 4) バナナ輸入組合, 2013, 「第 9 回 バナナ・果物 消費動向調査」(<http://www.banana.co.jp/public/trend/trend9.pdf>)
- 5) バナナの足研究会, 2013, 「バナナという作物」(http://www.geocities.jp/banana_rnj/)
- 6) ダン コッセル, 2012, 「バナナの世界史」太田出版, 14-32, 89-100.
- 7) 伊藤 三郎, 1991, 「果実の科学」朝倉書店, 160-162.
- 8) 国際農林業協力協会, 2000, 「熱帯作物要覧 No.30 バナナ」創造社, 4-5, 29-47.
- 9) 今尾 充子・森 昭胤, 2012, 「青パパイヤ発酵食品の科学—野生の力と健康」丸善プラネット, 1-119.
- 10) Nishikawa Y, Toyoshima Y. and Kurata T, 2001, Identification of 3,4-dihydroxy-2-oxo-butanal (L-threosone) as an intermediate compound in oxidative degradation of dehydro-L-ascorbic acid and 2,3-diketo-L-gulononic acid in a deuterium oxide phosphate buffer. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 65, 1707-1712.
- 11) Nishikawa Y. and Kurata, T, 2000, Chemical characteristics of dehydro-L-ascorbic acid. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 64, 1651-1655.
- 12) 気象庁 各種データ資料 過去の気象データ, 2013, (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)
- 13) 勝野 二郎・H.B. リジャル・菊池 世欧啓, 2012, 「リビングにおける温熱環境と快適感に関する研究」2011 年日本建築学会関東支部研究報告集 II, 109-112.
- 14) 西川 陽子・吉澤 明子・沼田 美智子, 2005, 「渋柿の脱渋とこれに関連する果実の追熟におけるアスコルビン酸の動態」茨城大学教育学部紀要 (自然科学) 第 54 号, 79-90.
- 15) 西川 陽子・兵藤 祐美, 2006, 「果実の追熟におけるアスコルビン酸の動態」茨城大学教育学部紀要 (自然科学), 第 55 号, 89-98.