バナナ果実の追熟生理および貯蔵に関する研究 (第2報)

バナナ果実の追熟に伴う呼吸の変化とその機構

古 衡 山*・邨 田 卓 夫**・緒 方 邦 安**

収穫後のバナナの呼吸に climacteric rise の現象がみられることは第1報¹⁾に述べた。輸入果実の販売に先立って行なわれるむろ処理はこの呼吸の climacteric rise を促し、追熟を促進させる手段である。最近温度をリモートコントロール方式で調節できる新しいむろ室が各地に建設されたが、むろ処理そのものはなお経験的な技術に頼って行なわれている状態で、追熟果実の品質にもむらが多い。むろ処理技術の進歩のためにはバナナの追熟に伴う生理的变化が明らかにされねばならない。

本報ではバナナの climacteric rise を中心とした生理について述べる。

材料および方法

1. 実験材料 *sapientum* L.

中米産の *Musa* (*Gros-Michel*) を主体とし、一部台湾産の *Musa sapientum* L. (*Sin-zun* (仙人蕉)) を併用した。

2. 実験方法

呼吸量の測定は前報と同様に、果実をデシケーター内に密封し、排出した炭酸ガスを 2*N* 水酸化カリウムに吸収させ測定した。組織切片の呼吸(以下組織呼吸と略す)は 30°C でワールブルグ検圧計を用いて行なった。組織はステンレススチール製のカミソリで果肉および果皮を、aging の実験については 1×1×1 mm, 3×3×3 mm, 5×5×5 mm の大きさに、その他の組織呼吸は 3×3×3 mm の大きさに切断し、その 0.5 g ずつを用いて pH 5.0 の 1/15*M* リン酸緩衝液中で測定を行なった。検圧計のベッセル中の反応液に含まれる有機酸についてのペーパークロマトグラフィーは LIEBERMAN らの方法²⁾³⁾によった。

実験結果ならびに考察

1. 組織呼吸とスライスの大きさおよび aging

植物組織の呼吸がスライスの大きさおよび aging の時間によって影響されることはよく知られており、LATIES⁴⁾ はジャガイモについてこの関係を調べ、スライスの厚さがうすいほど呼吸量は大きく、また 24 時間の aging によって呼吸量は 4~5 倍になることを認めている。バナナでも第1表にみられるようにスライスの厚さがうすいほど呼吸量は大きい、ジャガイモの場合と逆に aging によって呼吸量が減少し、黄熟果ではとくに減少がはなはだしい。リン酸緩衝液中(30°C, 通気せず)での aging 30 分では呼吸量の減少は割合に小さいが、60分ではかなり減少する。この aging に伴う呼吸の減少率はスライスの厚さが大きいほど少ない。このように厚さおよび aging によって呼吸量が変動するので、以後の組織呼吸は大きさ 3×3×3 mm で、新鮮な組織を

第1表 バナナの組織呼吸とスライスの大きさおよび aging (比数)

		大きさ (mm)	1×1×1	3×3×3	5×5×5
緑熟果	果皮	fresh	100	85	69
		aging (30分)	95	76	68
		aging (60分)	67	67	56
	果肉	fresh	100	49	78
		aging (60分)	77	51	77
		aging (60分)	100	69	53
黄熟果	果皮	fresh	100	69	53
		aging (60分)	21	20	19
	果肉	fresh	100	100	92
		aging (60分)	—	19	17

* Dept. of Biophys. Biochem., Univ. of Calif. (Los Angeles 24, Los Angeles, U.S.A.)

** 大阪府立大学農学部園芸利用学研究室 (堺市大仙町1065)

Studies on Post-Harvest Ripening and Storage of Banana Fruits. Part II. Physiological changes of banana fruits during the course of ripening. By HAN-SAN KU, TAKAO MURATA and KUNIYASU OGATA.

用いた。

2. 追熟に伴う呼吸の変化

追熟温度と呼吸の climacteric rise との関係については第1報に述べたとおりで、第1図にみられるように4月下旬に本邦に輸入された台湾産のバナナは常温下で約11日で climacteric maximum に達する。この場合の果肉切片(C部、第2図参照)についての組織呼吸は酸素は climacteric onset 後に一時増大するがその後ぜん減する。いっぽう炭酸ガスは追熟に従ってぜん増する傾向があるので RQ の値は貯蔵中増大し、color index 0~1.0 の果実では 1.0 前後であったものが、index が 4.0~5.0 の段階では RQ は 2.0 以上の値になり climacteric maximum 後果肉組織の呼吸の一部が発酵過程に変っていることがうかがわれ、第1報のアルコール含量の変化の結果とよく一致する。

第2表にみられるように果肉の他の部分(A, B部、第2図参照)でも同様な傾向がみられる。果皮は果肉と異なり climacteric rise の傾向がみられ、maximum

第1図 バナナ果実の追熟に伴う呼吸の変化

第2表 バナナの追熟と各部位の組織呼吸の変化 (O₂: μl/g/hr)

測定部位		pre-climacteric		climacteric		post-climacteric	
		O ₂	RQ	O ₂	RQ	O ₂	RQ
果 肉	A	117	0.94	93	1.76	73	2.17
	B	113	0.88	62	2.01	49	2.04
	C	108	0.97	93	1.38	71	2.04
果 皮	A	95	0.94	318	1.45	274	1.38
	B	85	0.93	298	1.37	234	1.21
	C	94	0.94	288	1.42	286	1.30

第2図 組織呼吸の測定部位

では酸素吸収量が増大しその後ぜん減する。RQ は追熟に従って増大するが次報で述べるように果皮には酸化基質を多く含むので RQ の値は果肉にみられるような 2.0 の値を越えない。

3. 追熟に伴う代謝系路の変化

追熟果実の climacteric rise に伴う呼吸の質的变化については 2, 3 の総説^{5) 6)}や多くの研究報告がみられるがいまなお不明点が多い。つぎにバナナの climacteric rise に伴う呼吸の質的变化について述べる。

(1) Embden-meyerhof pathway (EMP 経路)

植物の主要解糖系路である EMP 経路の酵素作用を抑制する阻害剤の代表的なものにフッ化ナトリウム、モノヨード酢酸がある。フッ化ナトリウムはエノラーゼ^{7) 8)}、モノヨード酢酸はフォスフォヘキソキナーゼ⁹⁾およびフォスfogリセロアルデヒド脱水素酵素の作用を阻害する。果皮の組織呼吸に対するこの両阻害剤の効果と追熟との関係を第3表に示した。

抑制効果はフッ化ナトリウム、モノヨード酢酸とも pre-climacteric の段階で少なく、climacteric, post-climacteric の段階で大きくなる。このことはバナナの果皮の組織呼吸における EMP 経路の占める割合が初め小さく、追熟に伴ってぜん増することを示している。このことを裏づけるデータは TAGER ら¹⁰⁾、BARKER

第3表 バナナの追熟と果皮の組織呼吸に対するフッ化ナトリウムおよびモノヨード酢酸の抑制効果(比数)

	pre-climacteric		climacteric		post-climacteric	
	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
対 照 区	100	100	100	100	100	100
5×10 ⁻³ M NaF	81	122	52	76	37	50
10 ⁻² M CH ₃ COOH	86	80	50	45	56	38

ら¹¹⁾によって報告されている。TAGER らは未熟果で活性の低い aldolase, carboxylase の活性が climacteric の段階で数倍に増加することから、緑熟バナナで解糖系の主要経路であった hexose monophosphate pathway が追熟果では EMP 経路に変わることを推察している。また BARKER らによれば追熟中呼吸量が4～5倍に増加するとき、fructose-1,6-diphosphate の含量は20倍、 α -keto acid と malate の含量が3～6倍に増加する。

(2) TCA cycle

TCA cycle 中の succinic dehydrogenase の特異的な阻害剤であるマロン酸の酸素吸収量に対する抑制効果と追熟との関係は第4表に示したように果皮、果肉とも climacteric peak で強い抑制効果がみられる。

この cycle 中の基質である pyruvate, malate, succinate の添加効果は第3図にみられるように酸素につ

第4表 バナナの追熟と組織呼吸に対するマロン酸 (Na 塩) の抑制効果 (比数)

		pre-climacteric		climacteric		post-climacteric	
		O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
果肉	対 照 区	100	100	100	100	100	100
	10 ⁻³ M malonate	80	103	66	97	84	69
果皮	対 照 区	100	100	100	100	100	100
	10 ⁻¹ M malonate	78	122	52	70	64	119

第3図 バナナの追熟と果皮の組織呼吸に対する基質の添加効果 (基質濃度: 0.05M)

いては climacteric peak 後に高い malate の添加効果がみられ、炭酸ガスについては各酸とも climacteric peak で添加効果が增大するが、とくに pyruvate の添加効果は pre-climacteric で 103 であったのが、climacteric peak で 200, post-climacteric で 355 と著しく増大する。これは追熟果実の組織の脱炭酸酵素の活性が著しく増大していることを示すもので

の系の活性化が推察され、前報に述べた追熟に伴ってアルコール含量が増加する傾向とよく一致する。HULME¹²⁾, HULME ら¹³⁾はリンゴについて climacteric rise と有機酸の添加効果との関係を調べ pre-climacteric でみられない炭酸ガスについての malate の添加効果が climacteric maximum およびその後著しく増大することか

第4図 ワールブルグ検圧計のベッセル中の反応液に含まれる有機酸のクロマトグラム (果皮組織)

ら、リンゴの climacteric rise の現象の原因として、この“malate effect”を提唱しているが、炭酸ガスについての malate の添加効果からみてバナナではこの現象は存在しないようである。

つぎに果皮組織切片におけるワールブルグ検圧計の反応液に含まれる有機酸についてのペーパクロマトグラムは第4図に示したように pre-climacteric の段階では malate, α -ketoglutarate, succinate は添加後 TCA-cycle 中のつぎの酸に移行していることがうかがわれる。climacteric peak, post-climacteric でも同様な現象がみられ、バナナの呼吸系路が TCA-cycle を通ることは明らかである。pre-climacteric とその後の段階とでの添加効果の違いはとくに succinate と malonate についてみられる。pre-climacteric では succinate の添加によって malate が検出されるが climacteric, post-climacteric では検出されない。また malonate の添加によって pre-climacteric では succinate が検出されるが、climacteric peak, post-climacteric ではみられない。LIEBERMAN³⁾によればリンゴでは citrate, α -ketoglutarate, fumarate, malate を基質として用いて incubate した場合は他の酸が検出されるが succinate は検出されない。この際 malonate を併用すると succinate が検出されるところから、succinate は他の酸よりもすみやかに酸化されると推察している。climacteric peak 以後のバナナにこの現象がみられないがその理由は明らかでない。

以上のことから緑熟バナナの果皮組織での呼吸の主経路は hexose monophosphate pathway であると考えられるが、追熟に従って EMP 経路とこれにつながる TCA cycle の占める割合が大きくなり、一部組織内に過剰に生じたピルビン酸は脱炭酸されアルコール、アルデヒドを生ずるものと思われる。なお果肉組織についてもほぼ同様であることが推測される。

(3) Oxidative phosphorylation

dinitrophenol (DNP) が呼吸における oxidation と phosphorylation とのカップリングを切断する試薬であることはよく知られている。バナナの追熟過程と DNP の添加効果の関係を第5表に示した。pre-climacteric のときにみられる DNP の添加効果は climacteric peak 後にみられなくなり、NEAL ら¹⁴⁾がリンゴで報告しているものと全く同様の傾向を示す。この climacteric 前後における DNP の添加効果の変化についてはいろいろの解釈が試みられているが、climacteric rise に伴ってリン酸受容体が増加するのか、DNP と同様 oxidation と

第5表 バナナの追熟と果皮の組織呼吸に対する DNP の添加効果 (比数)

	pre-climacteric		climacteric		post-climacteric	
	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
対 照 区	100	100	100	100	100	100
5×10 ⁻⁴ M DNP	119	134	82	99	59	98

phosphorylation のカップリングを切断する働きのある物質がバナナのなかに生成されるのか不明である。楊ら¹⁵⁾は pre-climacteric のバナナ組織の呼吸に対する ATP の添加効果がみられないことから、この段階における呼吸の制限因子は ATP-ase の欠乏にあるといっている。WISKICH ら¹⁶⁾はアボカドから抽出した particles について DNP は ATP-ase の活性を増大せしめることを報告しているので、前記の結果と総合して pre-climacteric の緑熟バナナの組織に ADP が不足することは推察にかたくな。

要 約

(1) 組織切片の呼吸はスライスの大きさが小さいほど呼吸量が大い。また aging によって呼吸量は減少する。

(2) バナナは収穫後典型的な呼吸の climacteric rise の現象をもつ果実で、追熟に伴って果肉組織の RQ が増大する。

(3) 普通、植物では EMP 経路が解糖系の主経路であるとされるが、バナナは緑熟果では他の系が主体で追熟に従って EMP 経路の占める割合が大きくなる。

(4) 緑熟、黄熟果とも TCA cycle の存在が認められる。ピルビン酸の添加効果の結果からみて追熟に従って脱炭酸反応の系が活性化されることがうかがわれる。

(5) climacteric peak の前後で DNP の添加効果が変わり、この間に呼吸の質的变化があることが明らかである。

本研究の要旨は 1962 年園芸学会秋季大会で発表した。

文 献

- 1) 邨田卓夫・古 衡山・緒方邦安: 食品工誌 **12**, (4), 121 (1965).
- 2) LIEBERMAN, M. and BIALE, J.B.: *Plant Physiol.*, **31**, 425 (1956).
- 3) LIEBERMAN, M.: *Plant Physiol.*, **36**, 804 (1961).
- 4) LATIES, G.G.: *Plant Physiol.*, **37**, 679 (1962).
- 5) 緒方邦安: 食品工誌, **10**, (11), 470 (1963).
- 6) BIALE, J.B.: *Advances in Food Research*, **10**, 293 (1960).

- 7) BONNER, J., et al.: *Arch. Biochem.*, **17**, 311 (1948).
- 8) STUMPF, P.K.: *J. Biol. Chem.*, **182**, 261 (1950).
- 9) AXELROD, B., SALTMAN, P., BANDURSKI, R.S. and BAKER, R.S.: *J. Biol. Chem.*, **197**, 89 (1952).
- 10) TAGER, J.M. and BIALE, J.B.: *Physiol. Plantarum.*, **10**, 79 (1957).
- 11) BARKER, J. and SOLOMONS, T.: *Nature*, **196**, 189 (1962).
- 12) HULME, A.C.: *Advances in Hort. Sci. and Their App.*, **1**, 77 (1961).
- 13) NEAL, G.E. and HULME, A.C.: *J. Exptl. Botany*, **9**, (25), 142 (1958).
- 14) NEAL, G.E. and HULME, A.C.: *J. Exptl. Botany*, **9**, (27), 403 (1958).
- 15) 楊 祥 発・何 芳 猷: 中国化学会会誌, **5**, (1~2), 71 (1958).
- 16) WISKICH, J.T., YOUNG, R.E. and BIALE, J.B.: *Plant Physiol.*, **39**, 312 (1964).

(1964年10月23日受理)

ナリンギナーゼによる夏ミカンシラップ漬け 罐詰の苦味除去

津 坂 辰 男*

夏ミカンは従来その生産量のほとんどが生食用として消費され、加工原料として用いられる量はごくわずかであった。近年果汁工業の発展に伴いこの方面の加工原料として消費も増大してきたが、その加工利用度においてはまだ十分とはいえない。シラップ漬け罐詰として加工するための試験研究が従来から各製造工場などにおいて行なわれてきたが、いまだ発展的な結果が得られていないのが現状である。このように加工利用度の低い大きな原因は、柑橘類に特有の苦味物質であるフラボノイドおよびリモノイドが夏ミカンの組織中に含まれることによるもので、これらの代表的な物質としてナリンギンおよびリモニンがある。夏ミカンの果肉の苦味のほとんどはナリンギンに由来するものであるが、生果の状態では含有するナリンギンの40~70%が不溶型であるので適当な熟度に達したものでは生食用として苦味の点で問題はないが、加工原料とする場合はその加工処理過程の加熱により果肉に含有するナリンギンのほとんどが可溶型となるためにこれらの苦味が製品の品質にとって重要な問題となってくる^{1)~8)}。柑橘類の苦味除去に関してはアメリカにおいて、グレープフルーツの苦味除去にペクチナーゼ剤およびナリンギナーゼ剤を使用する研究報告⁴⁾があるがいまだ実用化には至っていない。わが国において

もナリンギナーゼの研究開発が行なわれるとともに実用化試験の結果も発表され^{5)~8)}、また1962~63年にかけてナリンギナーゼ剤が市販されるに及び⁹⁾¹⁰⁾、夏ミカンの加工にナリンギナーゼを利用することが一段と進展したわけであるが、いまだ酵素剤の種類も限られており実用上における種々の欠点もあるため技術的にはこれからという段階である。これらの技術を实际的に研究開発する目的で、1962~63年にかけて缶詰技術研究会による夏ミカン苦味除去の共同試験の一環として夏ミカンシラップ漬け罐詰にナリンギナーゼを利用する試験を行なったのでその結果を報告する。

実 験 1

1. 実験方法

(1) 供試原料

和歌山県有田郡産 M~L 級の普通品。1962年3月購入のもの。

(2) 供試酵素剤

ナリンギナーゼ AN

i) 酵素の性質¹⁾

最適 pH……4.0。最適温度……65°C。失活温度……70°C。力価……500 単位/g。

* 和歌山罐詰株式会社研究室（和歌山県有田郡湯浅町）

Application of Naringinase in Canned Summer Orange. By TATSUO TSUSAKA.