

バナナに対する 1-メチルシクロプロペン(1-MCP)処理について

東京農業大学 馬場 正
神奈川県農業技術センター三浦半島地区事務所 小泉明嗣

はじめに

バナナ果実は、年間約 100 万トンが輸入され、総務省家計調査によれば、2004 年に「みかん」を抜いてわが国で最も食べられている果実となった。全国民が 1 週間に 1 本以上のバナナを消費している計算になる。日本では果皮が緑色の「青バナナ」の状態に輸入され、輸入後にエチレン処理により追熟を進める。これが「色付け加工」で、果皮が黄色くなったバナナを「色バナナ」と呼ぶ。エチレン処理により追熟が始まると、果皮の黄化・果肉の軟化が進み、果皮には老化斑点と呼ばれる褐色斑点が発生する。「シュガースポット」の呼び名で知られているのがこれで、バナナの食べごろの目安となる。シュガースポットが出現すると、その後果皮の褐変や果肉の軟化が急速に進み、ほどなく食べられなくなる。果肉の軟化、糖度上昇が起こってから食べられなくなるまでを可食期間とすると、通常で 6 日程度と「足の早い」果物の一つである。そのためロスも多く、ロス軽減に向けて追熟加工法の改善、加工センターの増設、配送回数の増加などさまざまな対策が講じられている。それでも約 10% がロスしているといわれる。そのため現場では、少しでも可食期間を延ばして、ロスを少なくする技術が求められている。

1. バナナの追熟加工法

バナナは自然状態でも追熟するが、果指 (finger) と呼ばれる果実 1 本 1 本の追熟にむらができるため、商業的には一斉に追熟が進むよう追熟処理が行われる。1970 年頃までの追熟処理は、地下に室(むろ)をつくり、都市ガスと氷を使って行われていた (樽谷・北川 1992)。このうち都

市ガスは、温度管理とともにエチレン発生源としての役割を果たしている。また氷は追熟した果実の過熟防止と湿度管理のために使用していた。品種や産地、季節によってガスの点火・消火時間、氷の使用方法などが微妙に異なるため、昼夜の別なく細心の観察を行いつつ、追熟処理が行われていた (高木 1967)。現在は温湿度管理のもと、エチレンを処理して追熟を進行させるのが一般的である。ただし品種、産地、季節によって処理条件を変える必要性は変わらず、100 以上のバリエーションがあるともいわれる。なお海外を中心にカルシウムカーバイドでアセチレンを発生させる追熟法もある。

2. バナナの追熟抑制技術について

バナナ追熟の外観の目安となるシュガースポットは、低温や高温、低酸素濃度下でその発生が抑制される (Ketsa 2000; Choehom *et al.* 2004)。ただしこれらの環境制御ないし処理を現場で行うのは難しい。唯一実現可能な方法は、フィルム包装して密封し袋内の酸素濃度を低くする方法である (白ら 1990; Pesis *et al.* 2005)。ただし日本到着以降にエチレン処理を行う必要性から、バナナの袋には穴が開いている場合がほとんどであり、低酸素環境を実現できる密封包装の導入は難しいのが現状である。

3. エチレン作用阻害剤 1-メチルシクロプロペン (1-MCP) について

バナナがエチレンの作用によって老化が促進される典型的なクライマクテリック型果実であることを考えると、可食期間の延長にはエチレンの老化作用の抑制が重要であることはいうまでもない。バナナに限らずエチレンの老化作用

を抑える剤として1-メチルシクロプロペン (1-MCP) が注目されている (Blankenship and Dole 2003; Watkins 2006)。1-MCP は 1990 年代半ばに米国ノースカロライナ州立大学の Sisler および Blankenship によって開発され (櫻村 2014)、植物におけるエチレンの作用を強力に阻害する。常温常圧ではガスであるため、取り扱いが難しく利用が進まなかったが、ローム・アンド・ハース社がこの物質を α -シクロデキストリンに包摂し粉末状に加工する技術を開発したことによって商品化が実現した。2002 年に米国などで販売が開始されて以降、世界各国で認可・販売されている。

4. 1-MCP のバナナへの利用

バナナに対する 1-MCP 処理に関する研究は、開発当初より活発に行われた。たとえば緑熟果に対する 1-MCP 処理により、果実のエチレン感受性が失われ、着色、香気成分の発生、軟化といった追熟過程の開始が遅れる (Golding *et al.* 1998; Jiang *et al.* 1999a, b; Harris *et al.* 2000; Macnish *et al.* 2000)。このように 1-MCP はバナナの貯蔵期間 (Storage life) もしくは収穫後寿命 (Postharvest life) を延長させる上で非常に有効である。一方エチレン処理を行って追熟を開始

させたバナナに対して 1-MCP 処理を行うと、追熟がゆっくり進行し可食期間 (Eating life) が延長する (Golding *et al.* 1998, 1999; Jiang *et al.* 1999b; Bagnato *et al.* 2003; Moradinezhad *et al.* 2008)。わが国では、バナナ果実の可食期間を延ばすことが求められており、その点において後者の研究成果が重要である。筆者らはこれらの研究成果を受けて、わが国の実情に合わせて、1-MCP の処理時期、処理ステージ、処理濃度を変えて、バナナ可食期間に対する延長効果をみた (小泉ら 2008)。その成果を述べたい。

フィリピン産緑熟バナナ果実 ('Giant Cavendish') を用いて、1-MCP の処理時期 (エチレン処理前, エチレン処理時, エチレン処理後)、処理ステージ (着色度 1, 3, 5)、処理濃度 (0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 10 ppm) を変えてその可食期間延長効果を検討した。この際果皮の L* 値 (明度, 明るさの指標) を測定することで可食期間を非破壊で推定できることを明らかにした。そのため以下の図では、縦軸に L* 値をとり、これが 60 を下回った時を可食期間の限界としている。

追熟開始前のバナナに 0.3 ppm の 1-MCP 処理を行ったところ、追熟開始は遅れたが、追熟後の可食期間の延長には効果がなかった (図-1)。こ

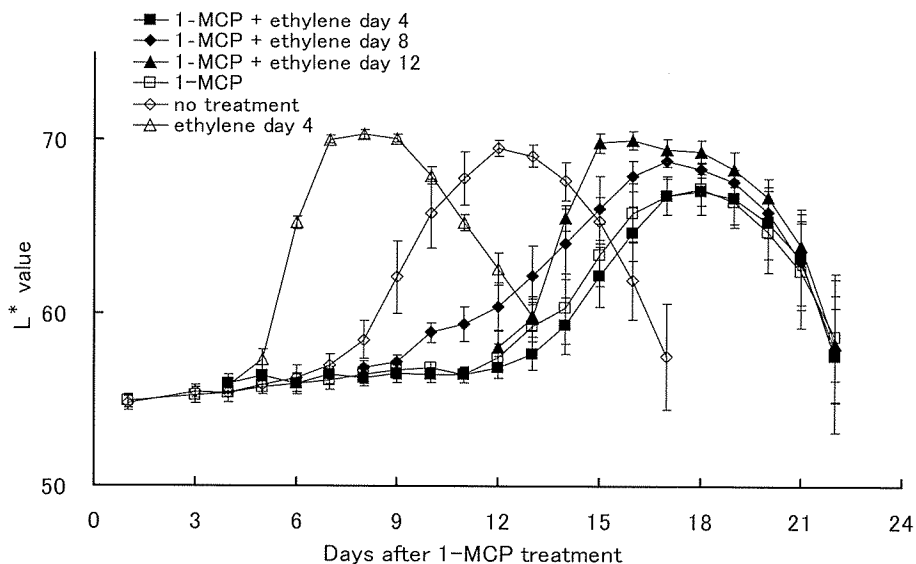


図-1 エチレン処理前に 0.3ppm の 1-MCP で処理し 25°C・95% RH 以上で貯蔵したバナナ果実の L* 値の推移 (小泉ら 2008)

の場合 1-MCP 処理によりエチレン感受性が一定期間失われたが、8 日目以降徐々に回復し、12 日目までにはほぼ完全に復活することがわかった。エチレン感受性の復活に要する日数は報告によりばらつきがある。その要因として収穫から 1-MCP 処理までの日数、その間の温度 (Jiang *et al.* 2002) やガス環境 (Jiang and Joyce 2003) が考えられる。このように追熟開始前の 1-MCP 処理はエチレン感受性を一時的に失わせるが、一定期間経過後には通常と同様の追熟パターンを示すことがわかった。

次に 1-MCP とエチレン同時処理を行った。もしこの方法で可食期間の延長効果があれば、現在の流通過程に容易に組み込めるので、実用的価値の高い処理法と思われた。その結果 (図-2)、0.3 ppm の 1-MCP に対して 100, 250, 500 ppm のエチレンで果皮に緑色のまだら模様が残った。エチレン濃度 1,000ppm では 1-MCP の効果はほとんど認められず速やかに黄化が進行した。このように 1-MCP とエチレンの同時処理では、両者の間にエチレン受容体をめぐって競合が認められ、

1-MCP が 1 に対してエチレンが 300 以下程度では追熟の開始が遅れる。ただしこの場合も、可食期間の延長には効果は認められなかった。

エチレン処理後の 1-MCP 処理では、着色度 1 到達時 (エチレン処理終了 1 日後) の 1-MCP 処理では、果皮の着色が進行しなかった (図-3)。一方着色度 3 到達時 (エチレン処理終了 2 日後) に 0.1 ~ 10ppm のすべての濃度の 1-MCP 処理で L* 値の低下がゆるやかとなり、可食期間が延長した (図-4)。中でも 0.3 ppm 以上の 1-MCP 処理で、可食期間が 6 日間延長した。詳細をみると、シュガースポット発生までの日数が 2 日ほど遅れ、さらに発生後の追熟がゆっくり進行した結果、可食期間が約 2 倍になった。ロス軽減の観点からはこの結果が重要である。着色度が 5 まで進んだ果実では同様の延長効果が認められなくなることから (図-5)、処理ステージに関しては十分な注意が必要である。以上の結果から、着色度 3 到達時に 0.3 ppm の 1-MCP 処理により 25℃ 下においても可食期間が 12 日まで延長できることが明らかとなり、バナナ果実への 1-MCP 処理の

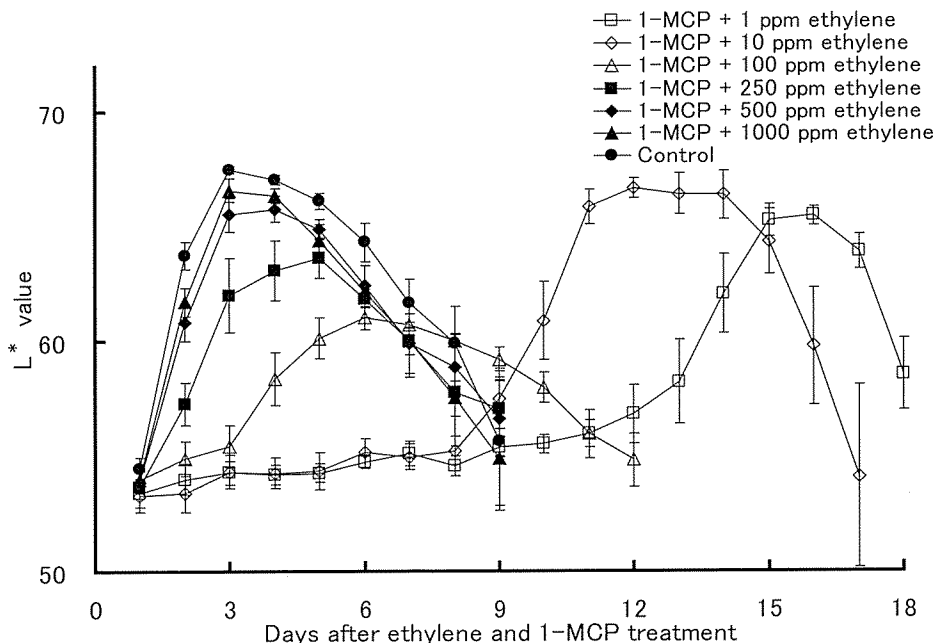


図-2 0.3ppmの1-MCPと1~1,000ppmの濃度の異なるエチレンとを組み合わせると同時処理し25℃・95%RH以上で貯蔵したバナナ果実のL*値の推移 (小泉ら 2008)

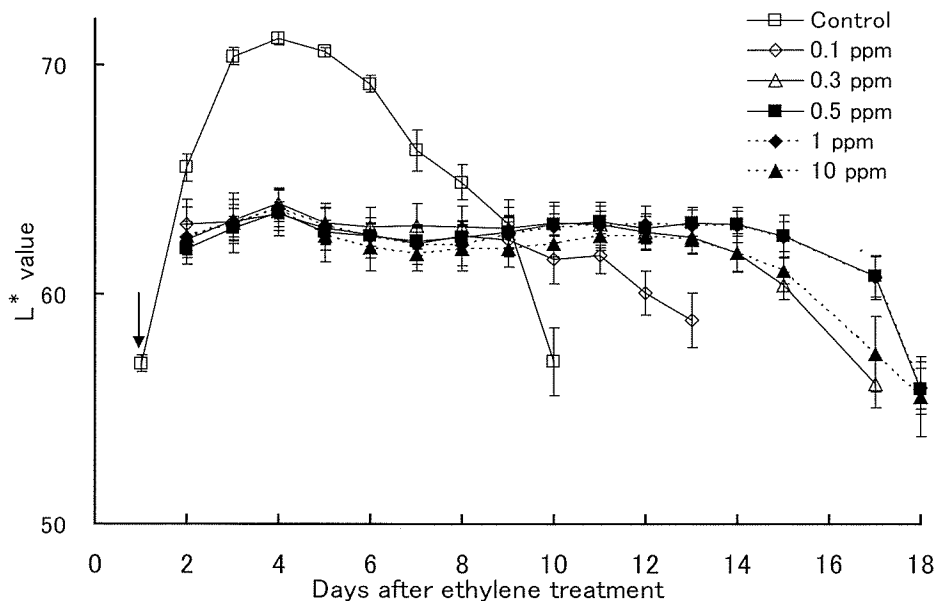


図-3 エチレン処理後着色度1到達時(図中の下向き矢印)に濃度の異なる1-MCPで処理し25℃・95%RH以上で貯蔵したバナナ果実のL*値の推移(小泉ら2008)

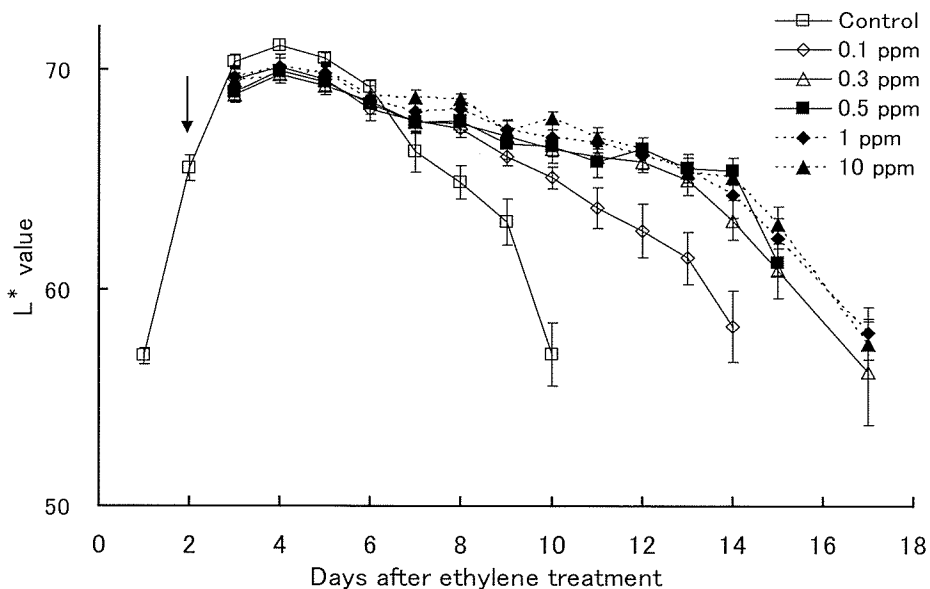


図-4 エチレン処理後着色度3到達時(図中の下向き矢印)に異なる濃度の1-MCPで処理し25℃・95%RH以上で貯蔵したバナナ果実のL*値の推移(小泉ら2008)

有効性が示された。

このほかバナナに対する1-MCP処理については、Tojo *et al.* (2009) がエチレン処理後の1-MCP処理による品質変化について、Tome *et al.* (2009) が1-MCP複数回処理について、

Kawaguchi *et al.* (2010) が1-MCP水溶液処理について発表するなど、わが国だけでも研究成果が相次いだ。海外では、1-MCP処理にキトサン処理やフィルム包装などを組み合わせて可食期間、貯蔵期間を延長する論文や収穫後のエチレン

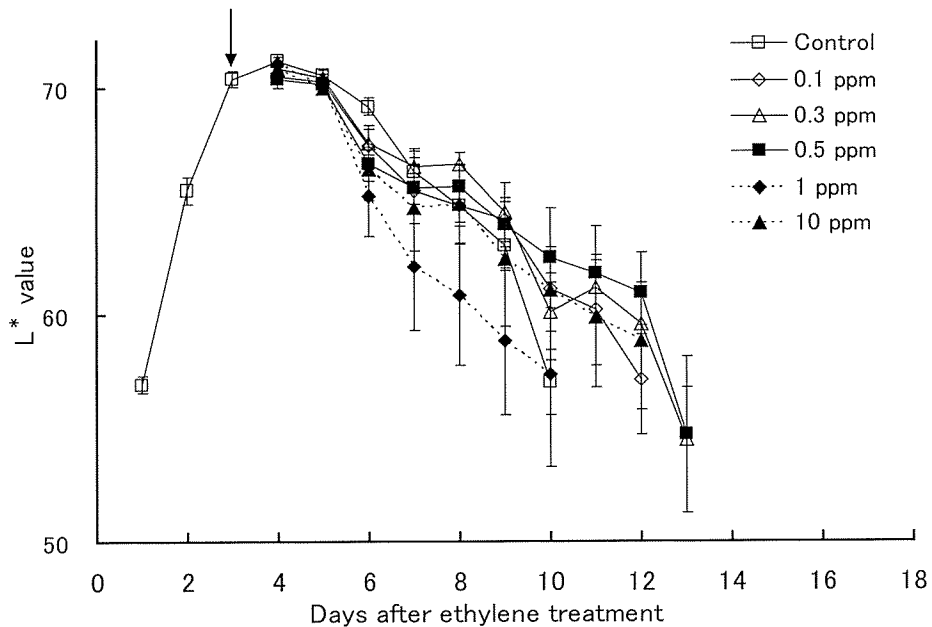


図-5 エチレン処理後着色度5到達時に(図中の下向き矢印)異なる濃度の1-MCPで処理し25℃・95%RH以上で貯蔵したバナナ果実のL*値の推移(小泉ら2008)

処理までの貯蔵温度と1-MCP処理効果との関係をみた論文が発表されている(Baez-Sanudo *et al.* 2009; Ketsa *et al.* 2013; Moradinezhad *et al.* 2010)。これらの蓄積を受けて、わが国でもバナナに対する1-MCP処理の技術普及に向けた機運が高まっていった。

5. まとめ

1-MCPについては2002年度から農薬登録に向けた生育調節剤試験が本格的に開始された。リンゴ、ナシ、カキ、スモモに次いで2013年度にバナナとキウイフルーツとともに「実」判定が出された(櫻村2014)。果実の着色度3~3.5の段階で、0.3~1ppmの処理濃度で、12~24時間暴露処理するとの条件が定められた。これで可食期間は2倍程度まで延長するので、1-MCP利用価値は非常に高いと思われる。現在は「キャベンディッシュ」だけの適用であるが、マーケットにはいろいろな品種が出回っており、中には褐変が早い品種もある。今後の適用拡大が待たれる。

引用文献

- Baez-Sanudo, M., J. Siller-Cepeda, D. Muy-Rangel and J.B. Heredia 2009. Extending the shelf-life of bananas with 1-methylcyclopropene and a chitosan-based edible coating. *J.Sci.Food Agric.* 89, 2343-2349.
- Bagnato, N., R. Barrett, M. Sedgley and A. Klieber 2003. The effects on the quality of Cavendish bananas, which have been treated with ethylene of exposure to 1-methylcyclopropene. *Int. J. Food Sci. Technol.* 38, 745-750.
- 白晋和・上田悦範・岩田隆 1990. ポリエチレン袋包装がエチレン処理バナナの保存性及び揮発性成分生成に及ぼす影響. *日食工誌* 37, 971-977.
- Blankenship, S.M. and J.M. Dole 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 1-25.
- Choehom, R., S. Ketsa and W.G. van Doorn 2004. Senescent spotting of banana peel is inhibited by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biol. Technol.* 31, 167-175.
- Golding, J.B., D. Shearer, S.G. Wyllie and W.B. McGlasson 1998. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 14, 87-98.
- Golding, J.B., D. Shearer, W.B. McGlasson and S.G.

- Wyllie 1999. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. *J. Agric. Food Chem.* 47, 1646-1651.
- Harris, D.R., J.A. Seberry, R.B.H. Wills and L.J. Spohr 2000. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening bananas. *Postharvest Biol. Technol.* 20, 303-308.
- Jiang, Y., D.C. Joyce and A.J. Macnish 1999a. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-MCP in combination with polyethylene bags. *Postharvest Biol. Technol.* 16, 187-193.
- Jiang, Y., D.C. Joyce and A.J. Macnish 1999b. Responses of banana fruit to treatment with 1-methylcyclopropene. *Plant Growth Regul.* 28, 77-82.
- Jiang, Y., D.C. Joyce and A.J. Macnish 2002. Softening response of banana fruit treated with 1-methylcyclopropene to high temperature exposure. *Plant Growth Regul.* 36, 7-11.
- Jiang, Y. and D.C. Joyce 2003. Softening response of 1-methylcyclopropene-treated banana fruit to high oxygen atmospheres. *Plant Growth Regul.* 41, 225-229.
- 櫻村芳記 2014. 1-MCPによる果実の鮮度保持技術の開発動向. *日食保蔵第63回大会講演要旨集*, 39-42.
- Kawaguchi, K., Y. Suzuki and H. Terai 2010. Effects of immersion in aqueous 1-methylcyclopropene (1-MCP) solution on ripening of bananas. *Food Preservation Sci.* 36, 235-241.
- Ketsa, S. 2000. Development and control of senescent spotting in banana. *Food Preservation Sci.* 26, 173-178.
- Ketsa, S., A. Winsutiamonkul and W.G. van Doorn 2013. Apparent synergism between the positive effects of 1-MCP and modified atmosphere on storage life of banana fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 85, 173-178.
- 小泉明嗣・馬場正・真子正史 2008. 1-メチルシクロプロペン処理がバナナ果実の可食期間に及ぼす影響. *園学研* 7, 585-590.
- Macnish, A.J., D.C. Joyce, P.J. Hofman, D.H. Simons and M.S. Reid 2000. 1-Methylcyclopropene treatment efficacy in preventing ethylene perception in banana fruit and grevillea and waxflower flowers. *Aust. J. Exp. Agric.* 40, 471-481.
- Moradinezhad, F., M. Sedgley and A.J. Able 2008. Variability of responses to 1-methylcyclopropene by banana: influence of time of year at harvest and fruit position in the bunch. *Ann. Appl. Biol.* 152, 223-234.
- Moradinezhad, F.M., M. Sedgley and A.J. Able 2010. Effect of pre-ripening chilling temperatures on ripening, shelf life and quality of bananas treated with 1-methylcyclopropene. *Int. J. Food Sci. Technol.* 45, 312-318.
- Pesis, E., R.B. Arie, O. Feygenberg and F. Villamizar 2005. Ripening of ethylene-pretreated bananas is retarded using modified atmosphere and vacuum packaging. *HortScience* 40, 726-731.
- 高木一也 1967. バナナ輸入沿革史. *日本バナナ輸入組合*, 東京, 302pp.
- 樽谷隆之・北川博敏 1992. *園芸食品の流通・貯蔵・加工*. 養賢堂, 東京, 230pp.
- Tojo, F., Y. Suzuki, K. Kawaguchi and H. Terai 2009. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on ripe stages of banana fruit. *Food Preservation Sci.* 35, 73-77.
- Tome, M.E., T. Suganuma, K. Kitahara and F. Hashinaga 2009. Influence of multiple applications and exogenous ethylene on the efficacy of 1-MCP in delaying ripening of 'Cavendish' banana. *Food Preservation Sci.* 35, 65-72.
- Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.* 24, 389-409.