

## 異なる追熟条件がセイヨウナシ果実の エチレン生成におよぼす影響

村山秀樹・長沼真徳\*・北村利夫\*\*・福嶋忠昭  
(山形大学農学部農産物流通学講座)  
(平成4年9月1日受理)

### Effects of Different Ripening Conditions on Ethylene Production in Pear Fruits

Hideki MURAYAMA, Masanori NAGANUMA, Toshio KITAMURA  
and Tadaaki FUKUSHIMA

Section of Distributive Science in Agricultural Products, Faculty of Agriculture,  
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan  
(Received September 1, 1992)

#### Summary

Effects of different ripening conditions on ethylene production in pear fruits were studied.

Ethylene production, ethylene-forming enzyme (EFE) activity, and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) levels were stimulated by chilling (1°C, 2 weeks) in 'Bartlett' pears. Treated fruits required less days to ripen than untreated fruits.

'La France' pears treated with chilling (1°C, 2 weeks) or 200 ppm ethylene required about 10 days to ripen with quality. Conversely, fruits kept at 20°C or 25°C without either treatment never ripened. In these fruits, EFE activity increased, but ethylene production and ACC levels remained low. Fruit weight loss reached more than 10% of initial weight for 40 days storage.

#### 緒 言

近年、食生活の少量・多様化志向の高まりとともに、セイヨウナシの香りと味の良さが評価され、生食用果実として需要が急増している。とりわけ、'ラ・フランス (La France)' については、生産量、消費量ともに急増している。

しかしながら、樹上で成熟してから収穫される果実と異なり、セイヨウナシは果肉の硬い時期に収穫して、果実の追熟を完了させなければ食用に適さない。なかには、いくら日数を経ても追熟しない果実も見受けられ、セイ

ヨウナシ果実の流通上の大きな問題となっている。この原因を解明するうえで、セイヨウナシ果実の追熟のメカニズムを解明することは非常に重要であると思われる。

セイヨウナシ果実は追熟過程において典型的なクライマクテリック・ライズを示す果実であり、クライマクテリック・ライズの直前には果実内に多量のエチレンの発生が認められる<sup>2)</sup>。また、果実のエチレンを処理することにより追熟が促進することも報告されており<sup>9,13)</sup>、セイヨウナシの追熟とエチレンは密接な関係にある。

本報では、2, 3の追熟条件がセイヨウナシ果実のエチレン生成にどのような影響をおよぼすかについて、早生

\*: 現在 株式会社アベックス。東京都足立区東伊興 2-8-3.

\*\* : 現在 石川県立農業短期大学。Ishikawa Agricultural College

品種の‘パートレット (Bartlett)’ と中晩生品種の‘ラ・フランス’を用いて検討した。

### 材料および方法

実験には、山形県立園芸試験場産‘パートレット’および山形県上市産の‘ラ・フランス’の果実を用いた。‘パートレット’は1990年9月5日（満開後132日）、また‘ラ・フランス’は同年10月10日（満開後167日）にそれぞれ果実を収穫した。

収穫した果実は翌日、処理区（20℃で追熟させる20℃区、2週間1℃で低温処理したのち20℃で追熟させる低温処理区）に移した。‘ラ・フランス’についてはこのほかに25℃で追熟させる25℃区と200 ppm エチレンで2日間処理（20℃）したのち20℃で追熟させるエチレン処理区を設けた。なお各処理区ともに果実40個ずつ処理した。

実験は2～4日ごとに果実3個を取り出し、エチレン生成量、エチレン生成酵素 (EFE) 活性、ACC 含量および果重を測定した。‘ラ・フランス’については果肉硬度も測定した。

エチレン生成量の測定は常法通りヘッドスペース法によりガスクロマトグラフィーを用いて測定した。EFE 活性は高ら<sup>7)</sup>の方法に準じて *in vivo* で測定した。すなわち、果実を縦に切り、その中央部2カ所を直径20 mm のコルクボーラーで抜き取ったのちに約2 g に調整した。これを2 mM ACC および0.1 mM シクロヘキシミドを含む50 mM リン酸緩衝液 (pH 5.3) 2 ml を入れた約40 ml 容ネジ蓋付き三角フラスコに入れ、5秒間減圧しACCを果肉切片に浸透させた。その後、速やかにキャップをしたのち、30℃で1時間インキュベートした。インキュベート終了後、フラスコ内のエチレン濃度を測定し、EFE 活性を求めた。ACC 含量の測定はLizada と Yang<sup>11)</sup>の方法に準じて行った。果肉硬度は、果肉赤道部の果皮を取り除き、富士平工業製の果実硬度計（直径8 mm のプランジャー）を用いて測定した。果重減少率については次式により算出した。

果重減少率 (%) =

$$\frac{\text{収穫時の果重 (g)} - \text{調査時の果重 (g)}}{\text{収穫時の果重 (g)}} \times 100$$

また、官能による食味試験も行った。

調査・測定は1個の果実について全項目の測定を行い、各区とも果実3個を供試して3反復した。

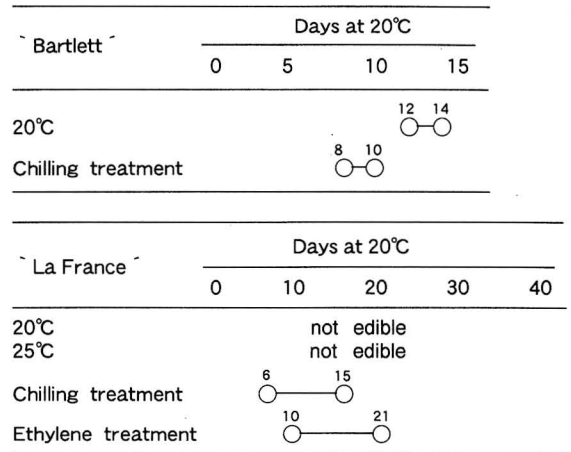


Fig. 1. Edible period (○—○) of ‘Bartlett’ and ‘La France’ pears during ripening period.

### 結 果

本実験では、果実の収穫翌日を追熟後1日とした。ただし、低温処理区とエチレン処理区はそれぞれの処理後20℃に移した日を追熟後1日とした。

‘パートレット’の20℃区および低温処理区ではそれぞれ、追熟後12日および8日から可食状態の果実がみられ、両区ともに果実の追熟が正常に進行した（第1図）。エチレン生成は低温処理区において4日から認められ、その後、急増し、10日にピークに達した。これに対して、20℃区では7日からエチレン生成が認められ、調査終了時まで増加し続けた（第2図—A）。なお、低温処理期間中はエチレンの増加は認められなかった。EFE 活性は両区ともにエチレン生成に先駆けて増大し、なかでも、低温処理区では20℃に移した直後から急増した。また、EFE 活性は低温処理区および20℃区でそれぞれ、4日および9日にピークに達した（第2図—B）。ACC 含量は、両区とも追熟にともなってしだいに蓄積した。ただし、低温処理区の方が20℃区に比べて蓄積量が多かった（第2図—C）。なお、低温処理区では、処理終了時（追熟1日）のACCの蓄積はわずかであった（0.12 nmol/g）。果重の減少率については両区ともに追熟日数が経つにつれて上昇傾向を示し、測定が終了時には、5～6%の値を示した（第2図—D）。

‘ラ・フランス’の低温処理区およびエチレン処理区の果実はそれぞれ、6日および10日に可食状態に達したが、いずれの処理も行わない20℃区と25℃区の果実は調査を

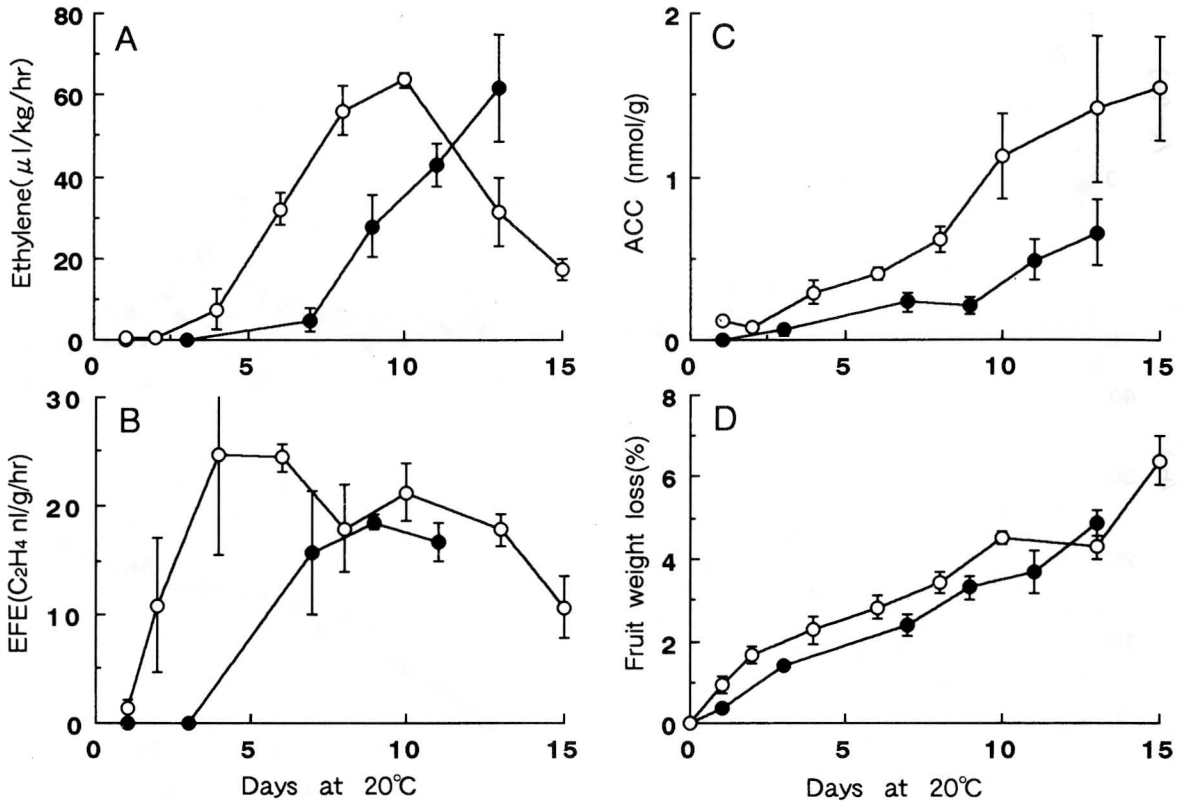


Fig. 2. Changes in ethylene evolution (A), EFE activity (B), ACC content (C), and fruit weight loss (D) in 'Bartlett' pears held at 20°C (●) or 2 weeks at 1°C then at 20°C (○). Vertical bars represent the SE (n=3).

終了した追熟後40日においても可食状態に達しなかった(第1図)。低温処理区とエチレン処理区の果実の果肉硬度はともに追熟後10日までに急速に低下した。これに対して、20°C区と25°C区の果実の果肉硬度は徐々に低下したが、調査終了時でも1kg以上の高い値を示した(第3図)。

エチレン生成は低温処理区で3日から認められ、16日にピークに達した。また、エチレン処理区では15日から22日にかけてエチレン生成量が高い値を示した。一方、20°C区と25°C区では追熟期間中ほとんどエチレンの生成が認められなかった(第4図-A)。EFE活性は、低温処理区とエチレン処理区では20°Cに移した直後から活性が認められ、エチレン生成のピークに先駆けてそれぞれ、5日および8日にピークに達した。20°C区と25°C区でも、活性が認められる時期があった。これはエチレン処理区と低温処理区の果実と比較すると15日以降と時期的には

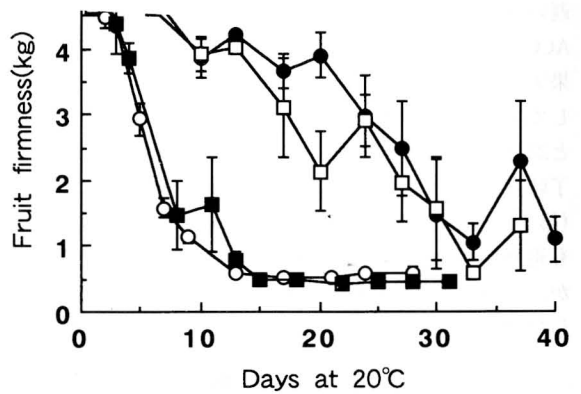


Fig. 3. Changes in fruit firmness in 'La France' held at 20°C (●), 25°C (□), 2 weeks at 1°C then at 20°C (○) or treated 200 ppm ethylene for 2 days then at 20°C (■). Vertical bars represent the SE (n=3).

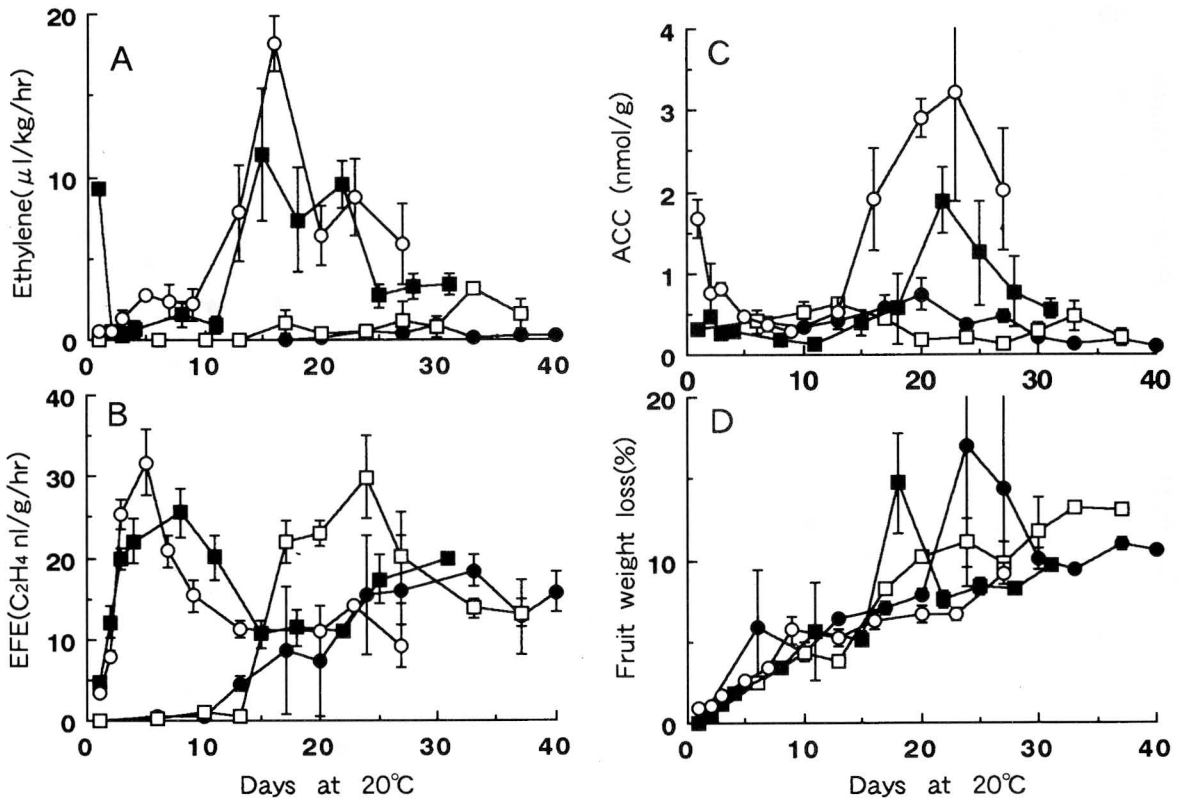


Fig. 4. Changes in ethylene evolution (A), EFE activity (B), ACC content (C), and fruit weight loss (D) in 'La Frace' pears held at 20°C (●), 25°C (□), 2 weeks at 1°C then at 20°C (○) or treated 200 ppm ethylene for 2 days then at 20°C (■). Vertical bars represent the SE (n = 3).

遅いものの、十分に高い活性と思われた(第4図-B)。ACC含量は、エチレン生成と同様、20°C区と25°C区の果実では追熟期間中ほとんど増加しなかった。これに対してエチレン処理区と低温処理区では、それぞれ、22日と23日にピークに達した。また、低温処理区では処理終了時点ですでに1.66 nmol/lのACCが蓄積していた(第4図-C)。果重の減少率については、いずれの区でも追熟開始から15日前後までは5%前後の値であったが、その後も上昇を続け、測定終了時には10~13%に達した(第4図-D)。

#### 考 察

'バートレット'では、20°C区および低温処理区とも果実は可食状態に至った。両区を比較すると、低温処理区の果実が4日早く可食状態に達した。この差はエチレン生成の増加する時期の差とほぼ一致した。EFE活性は、

両区ともにエチレン生成に先駆けて増大し、また、ACCはエチレン生成のピークの後に蓄積する傾向がみられた。EFE活性がエチレン生成に先駆けて増大することはバナナを用いた実験でも報告されている<sup>7)</sup>。

'ラ・フランス'では、20°C区と25°C区の果実は可食状態に達しなかった。これらの果実は果肉がメルティング質にならず、硬度は約1kgまで減少していたものの“ごりごり”した歯ざわりであった。セイヨウナシ果実においては追熟にともなって水溶性ペクチンが増加することが報告されているが<sup>3,8)</sup>、おそらく可食状態に達しなかった果実ではペクチン物質の質的な変化が抑制されたのではないと思われる。

また、可食状態に達しなかった20°C区と25°C区の果実のEFE活性は増大するものの、低温処理区とエチレン処理区の果実に比べ、ACC含量とエチレン生成量はかなり低い値を示した。とりわけ、20°C区ではエチレンの

生成はほとんど認められなかった。このことは、可食状態に至らなかった果実において、エチレンの生成が抑制されており、そのエチレン生成は EFE 活性の増大よりも ACC 含量の多少が制限因子になっていることを示唆しているものと考えられた。ACC の生合成は主に ACC 合成酵素により制御されており<sup>1)</sup>、本実験では ACC 合成酵素活性を測定していないのはっきりしたことはいえないが、おそらく 20℃区と 25℃区の果実では、なんらかの理由でこの酵素活性が抑制されていたのではないかと思われる。

McMurchie ら<sup>12)</sup>はエチレン生成経路には未熟果に存在する system 1 と追熟過程で新たに誘導される system 2 があることを報告している。さらに両 system の関係は、system 1-エチレンがあるレベルまでに達するとそれによって system 2 エチレンが誘導されると推察されている<sup>14)</sup>。本実験でうまく追熟しなかった 25℃区の果実でも、ごく微量のエチレンが検出されたが、それは system 2-エチレンを誘導するには十分なレベルでなかったため、その後の追熟に支障をきたした可能性もある。

また、20℃区と 25℃区の果実が可食状態に至らなかった原因として、追熟中の果実の重量減少率が高かったことがあげられる。これは恒温室内の湿度が低かったためと考えられる。エチレン処理区と低温処理区の果重減少率も 20℃区および 25℃区における減少率とはほぼ同様に推移したが、これらの処理を行った果実ではエチレン生成が追熟開始初期に誘導されており、その後の果実の追熟が進行し、可食状態になったと思われる。

低温処理区とエチレン処理区の果実は両品種とも順調に追熟した。低温処理が果実のエチレン生成におよぼす影響についてはすでにいくつかの報告がある<sup>4,5,10)</sup>。しかしながら、エチレン処理が処理後の果実のエチレン生成におよぼす影響に関する報告はあまり多くない<sup>13)</sup>。本実験で、両処理区のエチレン生成の様相を比較した結果、エチレン生成量、ACC 含量および EFE 活性のいずれとも追熟中の変化はほぼ同じような傾向を示した。ただし、低温処理を行った果実では処理終了直後には、エチレン生成は認められなかったが、ACC の蓄積が認められた。とりわけ、'ラ・フランス'ではかなり多量に蓄積していた。一般に、低温処理を行うと果実が個体差なく、そろって追熟するといわれているが、これは低温処理中にエチレンの前駆物質である ACC が果実中に蓄積することと関係があると考えられる。

'パートレット'と'ラ・フランス'両品種とも低温処理区で可食状態に至ったが、追熟中のエチレン生成量のピークは'パートレット'の方が'ラ・フランス'の 3 倍以上の値を示した。また可食適期の期間はそれぞれ、3日と12日であった。Chen ら<sup>6)</sup>は貯蔵性の低い品種の'ボスク (Bosc)'と貯蔵性に富む品種の'アンジョウ (Anjou)'を用いて実験を行い、'ボスク'のエチレン生成量が'アンジョウ'と比較して量的にかなり高い値を示すことを見だし、このことと貯蔵期間の長さとの間に負の相関関係があることを報告している。本実験で用いた'パートレット'と'ラ・フランス'においてもこれと同様の傾向が認められた。

以上の結果から、可食状態に至らなかった果実では、エチレン生成が抑制されていることがわかった。その原因として追熟期間中の庫内の低湿度の影響による果重減少率の増加が考えられた。このような点を明らかにするため、湿度条件と果実のエチレン生成との関係について今後さらに検討する必要がある。

## 摘 要

2, 3の異なる追熟条件がセイヨウナシ果実のエチレン生成におよぼす影響について検討した。実験には熟期の異なる 2 品種、早生種の'パートレット'と中晩生種の'ラ・フランス'を用いた。

'パートレット'果実は収穫後、低温処理(1℃, 2週間)を行うと、処理後 20℃条件下でエチレン生成がピークに達する期間が無処理の果実より短くなり、果実の追熟が促進された。

'ラ・フランス'果実は低温処理あるいはエチレン処理(200 ppm, 2日間, 20℃)を行うと処理後約 10日で果実の追熟が完了した。一方、低温あるいはエチレン処理を行わずに 20℃あるいは 25℃で追熟させた果実は、EFE 活性の増大がみられたものの、ACC 含量とエチレン生成量の増加はほとんど認められず、可食状態に至らなかった。この時'ラ・フランス'の果重減少率は処理終了時で 10%以上に達した。

## 謝 辞

実験に用いる果実を提供していただいた山形県立園芸試験場に深く感謝いたします。

## 引用文献

1. ADAMS, D. O. and S. F. YANG. Ethylene biosynthesis

- : identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proc. Natl. Sci. USA.* **76** : 170-174.
2. 荒木忠治. 1985. 果実の追熟と脱渋生理. p. 61-67. 伊庭慶昭ら. 編著. 果実の成熟と貯蔵. 養賢堂. 東京.
  3. BARTLEY, I. M., M. KNEE and M. A. CASIMIR. Fruit softening. I. Changes in cell wall composition and endo-polygalacturonase in ripening pears. *J. Expt. Bot.* **33** : 1248-1255.
  4. BLANKENSHIP, S. M. and D. G. RICHARDSON. 1985. Development of ethylene biosynthesis and ethylene-induced ripening in 'd'Anjou' pears during the cold requirement for ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **110** : 520-523.
  5. CHEN, P. M. and W. M. MELLENTIN. 1981. Effects of harvest date on ripening capacity and postharvest life of 'd'Anjou' pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **106** : 38-42.
  6. CHEN, P. M., D. G. RICHARDSON and W. M. MELLENTIN. 1982. Differences in biochemical composition between 'Beurre d'Anjou' and 'Bosc' pears during fruit development and storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **107** : 807-812.
  7. 高 俊平・久保康隆・中村怜之輔・稲葉昭次. 1989. 果実の成熟開始期におけるエチレン生成系の誘導機構. 第1報. バナナ果実の成熟誘導に伴うエチレン生成系の変化. *園学雑.* **58**(別2) : 542-543.
  8. 北村利夫. 1985. セイヨウナシの収穫と追熟. *農および園.* **60** : 63-66.
  9. 北村利夫. 1987. セイヨウナシ 'ラ・フランス' の追熟生理及び品質における収穫日, 追熟温度及びエチレン処理の影響. *園学雑.* **56** : 229-235.
  10. KNEE, M. 1987. Development of ethylene biosynthesis in pear fruits at  $-1^{\circ}\text{C}$ . *J. Expt. Bot.* **38** : 1724-1733.
  11. LIZADA, M. C and S. F. YANG. 1979. A simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal. Biochem.* **100** : 140-145.
  12. McMURCHIE, E. J., W. B. McGLASSON and I. L. EAKS, 1972. Treatment of fruit with propylene gives information about the biogenesis of ethylene. *Nature.* **237** : 235-236.
  13. WANG, C. Y., W. M. MELLENTIN and E. HANSEN. 1972. Maturation of 'Anjou' pears in relation to chemical composition and reaction to ethylene. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **97** : 9-12.
  14. YANG, S. F. 1980. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **35** : 155-189.