発育ステージの異なるカキ果実の呼吸, エチレン生成 及び成熟に対するエチレン処理の影響¹

高 田 峰 雄

千葉大学教育学部 280 千葉市弥生町

Effects of Ethylene on Respiration, Ethylene Production and
Ripening of Japanese Persimmon Fruit Harvested at
Different Stages of Development.

Mineo TAKATA

Faculty of Education, Chiba University, Chiba. 280

Summary

The effects of 10 ppm ethylene treatment on the respiratory rate, ethylene evolution and ripening of Japanese persimmon (*Diospiros kaki* Thunb. cv. Fuyū) fruits harvested at different stages of development during from June to November were investigated at 25°C.

1. The ethylene treatment was applied continuously for 1, 2 and 3 days beginning 1 day after harvest at each stage.

All treatments stimulated respiration, and induced ethylene production and softening of fruits regardless of their stages.

The treatment was more effective for the fruits at stage I than at stage III.

It seemed that the sensitivity of fruit to ethylene decreased as the fruit matured.

The rate of ethylene evolution at the climacteric (or climacteric-like) peak induced by ethylene treatment declined rapidly as the fruit matured.

The fruit treated with ethylene softened more rapidly than the untreated fruit.

2. When 1-day treatments with ethylene were repeated every other day on the fruit harvested at stage III, the fruit showed some response to the first 2 to 3 treatments, but responded little to the subsequent treatments.

3. In view of its characteristics mentioned above, Japanese persimmon fruit was considered to be a type of fruit which differed from both climacteric and non-climacteric fruits.

緒 言

エチレンには果実の成熟を促進する作用があり, また収穫適期のクライマクテリック果実は収穫後急速に成熟が進み, その際に著しい呼吸量の増大(クライマクテリックライズ)と, 大量のエチレン生成が起こる. これに対して, ノンクライマクテリック果実は収穫後も呼吸量の増大が見られず, エチレン生成もほとんどない(1, 5, 6, 16, 19, 22).

一方, わが国特産のカキ果実は, 若い発育段階(ステージⅠ=6, 7月)で採取すると, 採取後の呼吸量の変化にクライマクテリック(あるいはクライマクテリック

様)パターンが見られ, 果肉の軟化が急速に進むが, 発育段階がより進んだ段階(ステージⅡ=8月, ステージⅢ=9, 10, 11月)での採取では, 上記の呼吸変化のパターンははっきりしなくなり, 果肉の軟化も非常に遅れる(24). また, 収穫適期のカキ果実にエチレンを処理すると, 呼吸量が増大し, 果肉の軟化も急速に進むことが知られている(11, 25). カキ果実の示すこれらの性質は, クライマクテリック果実の一般的な性質とも異なるし, またノンクライマクテリック果実のそれとも異なるように思われる. このようなことから, 本実験では種々の発育段階のカキ‘富有’果実にエチレンを処理し, それによって呼吸, エチレン生成及び成熟にどのような変化が

¹ 1981年12月10日受理

起こるかを調べて、カキ果実の特性を明らかにしようとした。

材料及び方法

供試果実を、千葉大学教育学部附属農場産のカキ‘富有’果実を、ステージⅠ、ステージⅡ、ステージⅢの各段階で適宜採取して使用した。果実は開花時（5月下旬）に人工授粉を行い、採取時にはできる限り大きさのそろった発育正常な果実を選んで使用した。果実は採取後直ちに 25°C の呼吸室に入れ、呼吸量及びエチレン生成量は翌日から測定した。呼吸量は通気式比色法により、通気量約 60 ml/min で CO₂ の排出量を測定した(23)。エチレン生成量は、呼吸量測定直後に、呼吸室（ガラス製、約 1.5 l 容）内の空気を、エチレンを含まない空気で完全に入れかえた後、呼吸室内に果実を 1 時間密閉し、そのヘッドスペースから約 20 ml の空気を採取し、さらにその中から 1 ml を採って、日本機器 KK 製ガスクロマトグラフによりエチレン濃度を測定し、果実によるエチレン生成量を求めた。なお、使用カラムは内径 3 mm、長さ 2 m のステンレススチール製、充填剤は Porapak Q メッシュ 80~100、カラム温度 100°C、キャリアーガスは N₂、FID 検出器を使用した。エチレンの測定は 1 試料につき 2 回以上行い、結果は平均値で示した。エチレンの検出限界濃度は 0.02 ppm であ

った。果肉の軟化は肉眼の観察と手による感触によった。

実験は、(1) 1 日、2 日及び 3 日間処理した場合、(2) 1 日間の処理を隔日に行った場合、の二通りを行い、処理濃度はすべて 10 ppm とし、処理方法は Pratt らの装置を応用した(20)。なお、果実はその特性をはっきりさせるため、原則として 1 呼吸室 1 果としたが、果実が著しく小さい場合は 1 呼吸室 2 果とし、1 処理区 2 呼吸室とした。また、ここに示した結果は 1977 年に得られたものであるが、翌年の追試においても同様の結果が得られた。

結 果

1. 1 日、2 日及び 3 日間処理した場合

ステージⅠの果実（6 月、7 月採取）での結果は第 1 図 (A)~(D) に示すとおりである。なお、(A) は 6 月 30 日採取（1 果平均重 19 g）、(B) は 7 月 8 日採取（1 果平均重 34 g）、(C) は 7 月 18 日採取（1 果平均重 60 g）、(D) は 7 月 27 日採取（1 果平均重 81 g）の果実についての結果である。

すべての場合、エチレン処理によって直ちに呼吸量の増大が起こり、またエチレン生成が誘起された。呼吸及びエチレン生成のピークはエチレン処理によって早まり、また両者のピークはすべての場合同時に出現した。

Fig. 1. Effects of 10 ppm ethylene treatment at 25°C on the respiration and ethylene evolution of Japanese persimmon fruits harvested, (A): June 30 (fruit wt=19g), (B): July 8 (fruit wt=34g), (C): July 18 (fruit wt=60g), and (D): July 27 (fruit wt=81g), respectively. —: control, ○—○: 1 day treatment, ×—×: 2 day treatment, △—△: 3 day treatment. Arrows in the figure show the initiation of the treatments.

Fig. 2. Effects of 10 ppm ethylene treatment at 25°C on the respiration and ethylene evolution of Japanese persimmon fruits harvested at August 17 (fruit wt = 113g). —: control, ○--○: 1 day treatment, ×--×: 2 day treatment, △--△: 3 day treatment. Arrow in the figure shows the initiation of the treatment.

エチレン処理期間の違いによる相違はあまりなかった。また、このステージの果実ではいずれの場合にも、呼吸量及びエチレン生成のピーク時にへた（蒂）が脱落した。果肉の軟化はエチレン生成開始の前後から始まり、生成量のピーク時にはかなり軟化した。無処理区も処理区と似た傾向を示したが、呼吸量の増大及びエチレン生成の開始は遅かった。また、果実の発育が進むにつれてこの開始時期は遅くなる傾向があった。

ステージⅡの果実（8月17日採取，1果平均重113g）に対するエチレン処理の結果は第2図に示すとおりである。

エチレン処理によって呼吸量は直ちに増大した。1日間及び2日間処理区は処理終了後一時呼吸量が減少したが、すぐに増大に転じた。3日間処理区は処理終了後も減少することなく、増大を続けてピークに達した。これらのうち、1日間処理区のみは呼吸量のピークが見られず、増大が続いたが、これは末期に腐敗による呼吸量の増大と重なったためかも知れない。

エチレンの排出は、1日間処理区では処理終了直後にわずかに認められたが、その翌日（処理終了1日後）には見られなくなった。しかしその翌日からは再び始ま

り、今度は増大を続けてピークに達した。これに対し、2日間及び3日間処理区では、処理終了後もエチレンの排出は減少することなく、増大を続けてピークに達した。無処理区はこの間エチレンの排出は認められなかった。このように、1日間処理区と他の2処理区間には明らかな相違が認められた。また、1日間処理区においては呼吸量のピークは見られなかったが、エチレン生成においては明瞭なピークが認められた。さらに、ピーク時のエチレン生成量（ピーク値）が、ステージⅠの果実に比して、各区とも大きく減少したことが注目された。

果肉の軟化に関しては、全処理区ともエチレン生成のピーク時にかなりの軟化が認められ、測定終了時には完全に軟化した。無処理区はこの間に軟化は全く起こらず、硬かった。へたの脱落はいずれの場合にも見られなかった。なお、木実験において、処理開始1日後に果実からのエチレン排出が認められたが、排出量が少なかったため、このエチレンが内生エチレンであったのか、それとも果実内に残留していた外生エチレンであったのかは判別できなかった。

ステージⅢの果実（9月、10月採取）での結果は第3図（E）、（F）に示すとおりである。

（E）は9月26日採取の果実（1果平均重180g，収穫適期には約1か月早い）での結果であるが、呼吸量は全処理区とも処理開始1～2日後にピークに達した後減少した。エチレン排出量の変化も呼吸量のそれと似た傾向を示した。無処理区ではこの間エチレンの排出は認められなかった。果肉の軟化は、2日間及び3日間処理区では処理開始2日後にかなり軟化した。1日間処理区はこれよりも約3日遅れた。また、全処理区とも測定終了時には完全に軟化した。無処理区の果実は全く軟化せず、硬かった。

（F）は10月30日採取の果実（1果平均重205g，収穫適期）についての結果である。ただし、図中の1日間処理区のみは、二連で行った測定結果に差があったため、その一つの結果のみを示した。他の一つの結果は図示したものよりも呼吸量及びエチレン生成の増大開始が3～4日遅く、エチレン生成のピークも4日遅かった。しかし他の点では大差なかった。（F）の結果は（E）と比べていくつかの点で相違が見られた。まず呼吸量に関しては、1日間処理区で処理終了後約20日間にわたって呼吸量が減少した後増大に転じたこと、エチレン生成に関しては、1日間処理区において、エチレン処理によって処理1日後にエチレン排出が見られたものの、処理終了とともにエチレンの排出もなくなり、後日再びエチレン生成が始まったこと、果肉の軟化も、1日間処理区では

Fig. 3. Effects of 10 ppm ethylene treatment at 25°C on the respiration and ethylene evolution of Japanese persimmon fruits harvested, (E) : September 26 (fruit wt=180g), and (F) : October 30 (fruit wt=205g), respectively. — : control, ○-○ : 1 day treatment, ×-× : 2 day treatment, △-△ : 3 day treatment. Arrows in the figure show the initiation of the treatments.

Fig. 4. Effects of 1-day treatment repeated every other day with 10 ppm ethylene at 25°C on the respiration and ethylene evolution of Japanese persimmon fruits harvested, (G) : October 15 (fruit wt=198g), (H) : November 11 (fruit wt=212g), and (I) : November 22 (fruit wt=216g), respectively. — : control, ×-× : treated. Arrows in the figure show setting-on or -off the treatments.

採取後 20 日以上経過してから始まったこと、などである。このように、(E) と (F) との間の相違は、1 日間処理区において著しかった。このほか、ステージⅢの果実のエチレン生成では、そのピーク値が、ステージⅡの果実のピーク値に比して、さらに一段と減少したことが注目された。なお、(F) においても第 2 図の場合と同様、エチレン処理開始 1 日後に見られた果実からのエチレン排出が、内生エチレンによるものか、それとも外生

エチレンであるかは明らかでなかった。

2. 隔日に 1 日間のエチレン処理を繰り返した場合

10 月中旬から 11 月下旬 (ステージⅢ) にかけて採取した果実に対して、1 日間のエチレン処理を隔日に繰り返した場合の結果は、第 4 図 (G) ~ (I) に示すとおりである。なお、(G) の果実 (1 果平均重 198 g) は 10 月 15 日採取で、収穫適期には少し早目、(H) の果実

(1果平均重 212g) は 11 月 11 日採取で収穫適期、(I) の果実 (1果平均重 216g) は 11 月 22 日採取で、収穫適期より少し遅かった。

いずれの場合にもエチレン処理に対して果実は反応を示したが、それぞれの場合で少しずつ相違が見られた。すなわち、呼吸量では (G)、(H) とともに、第 1 回目及び第 2 回目の処理に対して反応が見られたが、第 3 回目の処理に対しては反応しなかった。一方、(I) は第 4 回目の処理に対しても明らかに反応したが、第 3 回目の処理に対しては反応しなかった。エチレンの排出については、いずれの場合も第 1 回目のエチレン処理によって、果実からエチレンが排出されたが、処理終了 1 日後にはすべての場合エチレン排出が見られなくなった。第 2 回目の処理に対してもすべてで反応が見られ、再びエチレンが検出された。第 2 回目の処理終了 1 日後、(G) は処理が停止されているにもかかわらず、エチレンの排出が認められ、その後もエチレンは増大を続けた。(H) では第 2 回目の処理終了 1 日後にエチレンの排出が認められたが、その後排出量は増大しなかった。(I) でも第 2 回目の処理終了 1 日後にエチレンの排出が認められたが、その量は少なかった。第 3 回目の処理に対しては、(G) と (H) はともに反応しなかったが、(I) は明らかに反応した。しかし (I) も第 4 回目の処理に対してはほとんど反応しなかった。果肉の軟化に関しては、(G) と (H) は第 2 回目の処理によってかなり軟化した。このように、同じくステージⅢの果実であっても、エチレン処理に対する反応は少しずつ異なり、また、この相違は果実の熟度と関連があるように思われた。

なお、第 1 回目のエチレン処理終了直後の果実からエチレンの排出が見られたが、この場合にも、このエチレンが内生エチレンであるのか、それとも外生エチレンであるかは明らかでなく、したがって、第 1 回目の処理で内生エチレンの生成が一度は誘起されたと見てよいかどうかとも不明であり、今後さらに検討する必要があると考えられた。

考 察

本実験において、エチレン処理はすべての發育段階のカキ果実に対して呼吸量を増大させ、内生エチレンの生成を誘起し、果肉の軟化を促進する効果があった。カキ果実に対するエチレンのこれらの効果は、果実の發育段階によって相違したが、特にエチレン処理が 1 日間だけ行われた場合に相違が大きかった。これらのうち、エチレン処理による内生エチレン生成と果肉の軟化は、未熟

な果実ほど速やかに誘起され、發育段階が進むと遅れる傾向があった。これに対し、クライマクテリック果実として知られているバナナ果実は、未熟なもののほどエチレン処理に対する反応が弱く(7, 28)、セイヨウナシ(29)、メロン(14)、トマト(12, 14)でも同様であった。また、クライマクテリック果実の代表的なアボガドでも、未熟な果実ほど、エチレン処理によって誘起される呼吸のクライマクテリックや内生エチレン生成が遅れ、特に未熟な果実では、内生エチレン生成がエチレン処理の期間中には誘起されなかった。なお、この場合、内生エチレン生成のピーク値は、發育段階が進むにつれて上昇する傾向があった(9)。

これに対し、本実験のカキ果実での結果では、ステージⅠの未熟な果実ほどエチレン処理に対して敏感に反応し、ステージⅡ、Ⅲと進むにつれて鈍感になった。さらに、カキ果実のエチレン生成のピーク値は、若い未熟な果実ほど大きく、發育段階の進行とともに急減した。

このように、クライマクテリック果実の代表的ないくつかの果実と比較すると、カキ果実は著しく異なった性質を持っていることがわかる。この点では、岩田らも数品種の成熟期のカキ果実について調べ、それらがクライマクテリック果実とは異なる性質を有することを認め、カキをクライマクテリック果実とするには問題があるとしている(10)。

他方、ノンクライマクテリック果実である成熟期のカンキツ果実をエチレン処理すると、呼吸量は 1 日～3 日後にピークに達し、その後はエチレン処理を続けても呼吸量は減少し、また、エチレン処理をそのピーク以前に停止すると、呼吸量は直ちに減少する(11, 21, 25)。さらに、エチレン (あるいはプロピレン) 処理によって、内生エチレン生成は誘起されないことも知られている(15, 27)。

これに対して、本実験の結果では、カキ果実はエチレン処理終了後も呼吸量の増大が続く (第 1 図 1 日間処理、第 2 図 3 日間処理)、また、すべての發育段階の果実で内生エチレン生成が誘起されるなど、ノンクライマクテリック果実とは明らかに異なる性質を示した。これらのことは、既に指摘したように(24)、カキ果実がクライマクテリック果実とも、またノンクライマクテリック果実とも異なる性質を有する果実であることを示している。

収穫適期前後 (ステージⅢ) の果実に、1 日間のエチレン処理を隔日に繰り返した行った場合、果肉がかなり軟化するまでは、処理のたびごとに呼吸量の増大が見られたが、果肉が軟化してしまっ後は反応が見られな

くなった。クライマクテリック果実は、一度クライマクテリックライズが始まってしまうと、それ以後はエチレン処理に対して反応しなくなり(5, 26), 他方ノンクライマクテリック果実は、果実の老化が著しくない限り、適当な間隔を保って処理を行えば、エチレン処理に対して何度でも反応する(8, 21, 27)。なかでも、未熟なオレンジ果実は、採取5日～10日後に呼吸量のピークが現れるが、その後であっても、エチレンを処理すると反応を示す(3)。

これに対して、本実験のカキ果実は、1日間のエチレン処理を隔日に繰り返したところ、第2回～第3回目の処理までは反応したが、それ以後は反応しなくなり、また、果肉が軟化してしまった後は、エチレン処理に対して反応しなくなった。さらに、エチレン処理に対して反応しなくなった時点では、相当量の内生エチレン生成が継続的に行われるようになっており、これらの点はクライマクテリック果実の有する特性と一致している。これまでの研究で、果肉の軟化は細胞膜、壁の性質の変化と密接な関係があり(2, 4, 17, 18, 22), また、内生エチレン生成と細胞膜、壁との間にも密接な関係があると指摘されている(13)。カキ果実は内生エチレン生成と同時に果肉の軟化が急進するが、このことは細胞膜、壁が大きく変化していることを示すものである。この点はカキ果実がクライマクテリック果実と似ているところである。

以上述べたように、カキ果実はクライマクテリック果実と共通する性質を有するが、他方、代表的なクライマクテリック果実とは著しく異なる性質をも有する。このようなことから、カキ果実はクライマクテリック型ともノンクライマクテリック型とも異なる型の果実のように考えられる。

摘 要

6月から11月にかけて採取したカキ‘富有’果実を、10 ppmのエチレンで処理した場合の呼吸量、エチレン排出量及び成熟の変化について25°Cで調べた。

1. 果実は採取翌日から、1日、2日及び3日間エチレンで処理した。どの发育段階の果実も処理によって呼吸量が増大し、内生エチレン生成が誘起され、果肉の軟化が始まった。果実の发育段階別に見ると、エチレン処理の効果は、ステージⅢの果実に対してよりもステージⅠの果実に対して大きかった。このことは、エチレンに対する果実の感受性が、果実の成熟が進むにつれて弱まることを示すように考えられた。呼吸のクライマクテリック(あるいはクライマクテリック様)ピーク値及びエチレン生成のピーク値は、果実の发育段階が進むにつれて急減した。果肉の軟化はエチレン処理により早められ

た。

2. ステージⅢの果実に1日間のエチレン処理を隔日に繰り返した場合、初めの2～3回目の処理までは、果実は処理のたびに反応を示したが、それ以後の処理に対しては反応を示さなくなった。

3. カキ果実の示した種々の特性から考えて、カキ果実はクライマクテリック果実とも、またノンクライマクテリック果実とも異なる型の果実のように思われた。

引用文献

1. ABELES, F. B. 1972. Biosynthesis and mechanism of ethylene. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 23: 259—292.
2. AHMED, A. E. and J. M. LABAVTCH. 1980. Cell wall metabolism in ripening fruit. I. Cell wall changes in ripening 'Bartlett' pears. *Plant Physiol.* 65: 1009—1013.
3. AHARONI, Y., F. S. LATTER and S. P. MONSELISE. 1969. Postharvest response of oranges to ethylene. *Plant Physiol.* 44: 1473—1474.
4. BEN-ARIE, R. and N. KISLEV. 1979. Ultrastructural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. *Plant Physiol.* 64: 197—202.
5. BIALE, J. B. 1960. Respiration of fruits. *Encycl. Plant Physiol.* 12—2: 536—592.
6. BIALE, J. B. 1964. Growth, maturation, and senescence in fruits. *Science* 146: 880—888.
7. BURG, S. P. and E. A. BURG. 1965. Relationship between ethylene production and ripening in bannanas. *Bot. Gaz.* 126: 200—204.
8. CRAFT, C. C. 1970. Respiratory response of lemons to ethylene. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95: 689—692.
9. EAKS, I. L. 1980. Respiratory rate, ethylene production, and ripening response of avocado fruit to ethylene or propylene following harvest at different maturities. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105: 744—747.
10. 岩田 隆・中川勝也・緒方邦安. 1969. 果実の収穫後における成熟現象と呼吸型の関係(第1報). カキ果実における呼吸の climacteric の有無. *園学雑.* 38: 194—201.
11. 岩田 隆・大亦郁子・緒方邦安. 1969. 果実の収穫後における成熟現象と呼吸型の関係(第3報). 果実内のエチレン濃度の変化とエチレン処理に対する反応と呼吸型との関係. *園学雑.* 38: 350—358.
12. LYONS, J. M. and H. K. PRATT. 1964. Effect of stage of maturity and ethylene treatment on respiration and ripening of tomato fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 84: 491—500.
13. MATTOO, A. K. and M. LIEBERMAN. 1977. Localization of the ethylene-synthesizing

- system in apple tissue. *Plant Physiol.* 60: 794—799.
14. MCGLASSON, W. B. and H. K. PRATT. 1964. Effects of ethylene on cantaloupe fruits harvested at various ages. *Plant Physiol.* 39: 120—127.
15. 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.
16. 緒方邦安. 1963. 果実の追熟生理と貯蔵. *日本食工会誌*. 10: 470—481.
17. PESIS, E., Y. FUCHS and G. ZAUBERMAN. 1978. Cellulase activity and fruit softening in avocado. *Plant Physiol.* 61: 416—419.
18. POOVAIAH, B. W. and A. NUKAYA. 1979. Polygalacturonase and cellulase enzymes in the normal Rutgers and mutant rin tomato fruits and their Relationship to the respiratory climacteric. *Plant Physiol.* 64: 534—537.
19. PRATT, H. K. and J. D. GOESCHL. 1969. Physiological roles of ethylene in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 20: 541—584.
20. PRATT, H. K., M. WORKMAN, F. W. MARTIN and J. M. LYONS. 1960. Simple method for continuous treatment of plant material with metered traces of ethylene or other gases. *Plant Physiol.* 35: 609—611.
21. REID, M. S. and H. K. PRATT. 1972. Effects of ethylene on potato tuber respiration. *Plant Physiol.* 49: 252—255.
22. SACHER, J. A. 1973. Senescence and postharvest physiology. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 197—224.
23. 杉山直儀・高田峰雄. 1964. 比色法による果実の呼吸量測定装置. *農及園*. 39: 385—387.
24. 高田峰雄. 1967. カキ及びトマト果実の生育ならびに生熟に伴う呼吸量の変化. *園学雑*. 36: 358—362.
25. 高田峰雄. 1975. 果実の呼吸及び成熟に対するエチレンの影響. *園学雑*. 44: 82—88.
26. 高田峰雄. 1975. 種々の成熟段階にあるトマト果実の呼吸及び成熟に対するエチレンの影響. *千葉大学教育学部研究紀要*. 第24巻第2部: 43—50.
27. 高田峰雄. 1981. エチレンと果実生理 (第2報). 柑橘果実の呼吸に対するエチレン処理の影響. *千葉大学教育学部研究紀要*. 第30巻第2部: 207—215.
28. VENDRELL, M. 1969. Reversion of senescence: effects of 2,4-di-chlorophenoxyacetic acid and indoleacetic acid on respiration, ethylene production, and ripening of banana fruit slices. *Aust. J. Biol. Sci.* 22: 601—610.
29. 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.