種々の発育段階で採取したカキ果実の呼吸, エチレン生成及び成熟¹

高 田 峰 雄
千葉大学教育学部 260 千葉市弥生町

Respiration, Ethylene Production and Ripening of Japanese Persimmon Fruit Harvested at Various Stages of Development

Mineo TAKATA
Faculty of Education, Chiba University, Chiba 260

Summary

The respiration, ethylene production and ripening of Japanese persimmon fruit (*Diospiros kaki* Thumb. cv. Fuyu) harvested at different stages of development were determined individually at 25°C. Stage I fruit harvested in June and July exhibited climacteric-like increases in respiration and ethylene production, softened and yellowed. The calyx of every fruit in stage I abscised at the peak of ethylene production. There was a close parallelism between respiration and ethylene production.

Stage II fruit harvested in August exhibited an increase in respiration without peak, produced ethylene with clear cut peak, softened and yellowed. The calyx of fruit did not abscise.

Stage III fruit exhibited an increase in respiration, produced a small quantity of ethylene and softened. There was no peak both in respiration and ethylene production. The calyx of fruit did not abscise.

It seemed that the ability of ethylene production in fruit decreased rapidly as the fruit matured.

The rates of respiration and ethylene production varied considerably with individual fruits, and it appeared better to determine them individually.

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

緒 言

収穫適期のクライマクテリック型の果実は収穫後急速に成熟が進み、その際に呼吸の増大が起こり、またエチレンが大量に生成されるが、ノンクライマクテリック型の果実は呼吸の増大は起こらず、エチレン生成もほとんど認められないという特徴がある(1, 3, 4, 19, 28, 29)。これに対しカキ果実の場合には、ステージⅠ(6~7月)で採取すると急速に成熟様変化が起こり、呼吸量の変化にクライマクテリック様のパターンが現れるが、さらに発育の進んだステージⅡ(8月)、ステージⅢ(9~11月)で採取した果実ではこれらの変化がはっきりしなくなる(30, 31)。また、ステージⅠの果実では急激な成熟様変

化の進行時に KMnO_4 溶液還元性の気体が大量に生成され、それがエチレンであろうと推測された(未発表)。一般に果実の成熟とエチレンとは密接な関係があることが知られているが、カキ果実の場合にはそのエチレン生成が果実の発育とどのようにかかわっているかを調べるのが、カキ果実の成熟特性を明らかにする上で意味があると考えられる。この観点から、本実験ではカキ‘富有’果実のエチレン生成と呼吸量の変化を果実の発育と関連させて検討した。

材料及び方法

供試材料には千葉大学教育学部附属農場産のカキ‘富有’果実を、1982年6月から10月にかけて適時採取して使用した。供試果実はすべて開花時(5月25日前後)に

¹ 1983年3月24日 受理

人工授粉を行ったものである。実験に際しては、同一樹からはほぼ大きさの等しい発育正常な果実を 20 個以上選び、採取後直ちに実験室に持ち帰って個体ごとに重量を測り、その中から重量がほぼ等しく、発育正常で、外観的

にもよく似ている果実を必要個数選び、直ちに 25°C の呼吸室（ガラス製、0.5 l~1.5 l 容）に入れた。呼吸量及びエチレン生成量の測定は採取翌日から腐敗直前まで、前報(29)の方法に従って 1 日 1 回行った。本実験で

Fig. 1. Respiration and ethylene production of Japanese persimmon fruits (cv. Fuyū) harvested at stage I (June to July) and held at 25°C. Fruit were harvested on June 14 (A, fruit wt=7.7 g), June 22 (B, fruit wt=13.5 g), June 29 (C, fruit wt=20.9 g), July 6 (D, fruit wt=29.1 g), July 13 (E, fruit wt=39.1 g) and July 22 (F, fruit wt=57.5 g), respectively. —, ○····○, △—△ and ×—× represent the results obtained from individual fruit.

は果実の成熟特性を明白に知るため、供試果実は原則として1呼吸室1果としたが、果実が著しく小さい場合にのみ1呼吸室2果とした。実験結果は、個体差が見られたため、平均値を示さず、個々の呼吸室について得られた結果をそのまま示した。

結 果

1. ステージⅠ (6,7月) の果実

6月14日から7月22日にかけて、7日～9日の間隔を置いて果実を採取し、その後の呼吸量とエチレン生成量の変化を測定した。結果は第1図 (A)～(F) に示すとおりであった。なお、(A) は6月14日採取 (1果平均重 7.7 g), (B) は6月22日採取 (1果平均重 13.5 g), (D) は7月6日採取 (1果平均重 29.1 g), (E) は7月13日採取 (1果平均重 39.1 g), (F) は7月22日採取 (1果平均重 57.5 g) であった。

呼吸量の変化はすべての果実で明白なピークを示した。最も早い時期の果実 (6月14日採取) では呼吸量は直ちに増大したが、時期が遅れるにつれて一度減少してから、増大に移るようになり、また減少する期間が長くなり、採取後ピークに至るまでの期間も長くなった。ピーク値は果実の発育が進むにつれて減少する傾向があり、またその山の型もなだらかになった。供試果実は多数採取した中からよくそろったものを選んだのであるが、すべての場合に個体差が見られ、特に発育の進んだ果実において差が大きかった。エチレン生成量の変化は

いずれの果実においても明白なピークを示し、ピークの時期は呼吸量のそれと一致した。ピーク値は呼吸量の場合とは異なり、6月29日採取の果実で最大となり、その前後で低く、ピーク後は果実の発育につれて急減した。エチレン生成の開始は果実の発育が進むにつれて遅れる傾向があり、呼吸量の増大開始と一致した。エチレン生成についても呼吸量と同様に個体差が見られた。エチレン生成量と呼吸量とをピーク値について個体ごとに比較した場合、エチレン生成量の大きい果実、必ずしも呼吸量が大きいとは言えなかった。果実の軟化と果色の黄化はエチレン生成開始前後から始まり、急速に進行した。このほかに、ステージⅠの果実のみに見られた特徴的な現象にへた (蒂) の脱落があったが、この現象はエチレン生成量のピーク時と一致して起こった。

2. ステージⅡ (8月) の果実

8月23日採取の果実 (1果平均重 96 g) の呼吸量とエチレン生成量の変化は第2図のとおりであった。

呼吸量はかなりの期間漸減した後増大に転じたが、この場合はピークを示すことなく腐敗した。また採取後増大を開始するまでの期間には個体差が大きかった。これに対しエチレン生成量の変化には明白なピークが認められた。エチレン生成の開始は呼吸量増大開始と一致した。果実の軟化と果色の黄化はエチレン生成開始前後から始まり、測定終了時には完全に軟化し、果色も完全に緑色を失い、黄化した。しかしステージⅡの果実ではへ

Fig. 2. Respiration and ethylene production of Japanese persimmon fruits (cv. Fuyū) harvested at stage II (August 23, fruit wt=96 g) and held at 25°C. —, ○·····, △—△ and ×—× represent the results obtained from individual fruit.

Fig. 3. Respiration and ethylene production of Japanese persimmon fruits (cv. Fuyū) harvested at stage III (October 25, fruit wt=194 g) and held at 25°C. —○—○—, ·····○·····, △—△—△ and ×—×—× represent the results obtained from individual fruit.

たは脱落しなかった。なお前年8月中旬に採取した果実について調べた結果では、測定値の絶対値には差があったが、傾向は本年の結果と同様であった。

3. ステージⅢ（10月）の果実

10月25日採取（収穫適期）の果実（1果平均重 194 g）の呼吸量とエチレン生成量の変化は第3図のとおりであった。

呼吸量はかなりの期間漸減した後増大に転じ、約1週間で最大となり、その後は変化せず、ピークははっきりしなかった。最大値はいずれも 25 mg/kg·h 以下で、ステージⅡの果実のそれに比して低かった。採取後増大に転ずるまでの期間は個体差が大きかった。エチレン生成は呼吸量の増大開始とほぼ同時に始まったが、ピークは認められなかった。エチレン生成量の最大値はいずれも 4.5 μl/kg·h 以下で、ステージⅡの果実のそれに比べて非常に低かった。果実の軟化はエチレン生成開始前後から始まり、測定終了時には完全に軟化した。なお前年9月下旬及び11月中旬に採用した果実での結果も、本実験の結果と大差なかった。

考 察

本実験では、採取後のカキ‘富有’果実の成熟特性を、できる限り明確に把握するため、大きさや熟度などについて、できる限りそろった果実を用い、特別な場合を除いて1呼吸室1果として果実を個々に測定し、結果も個々の果実についてそのまゝを示した。その結果、個体間にはかなりの差異があることが明らかにされた。同様の

ことは種々の果実についても見られ(14, 15, 20, 22, 23, 25), 1呼吸室内に複数個の果実を入れて測定すると、呼吸量及びエチレン生成量の変化が平均化されたり、またピークの形がゆがめられたりして、その果実の特性を不明確にする恐れがあるので、できることならば、個々の果実について別々に測定を行うことが望ましいと考えられる。

本実験において、採取後のカキ‘富有’果実は、すべての発育ステージのものでエチレン生成が認められたが、エチレン生成量及びその経時変化は、果実の発育ステージが違えば大差があり、呼吸量やその他の特性にも差が見られた。即ち、ステージⅠで採取した果実の呼吸量はすべての場合に明らかな増大、ピーク、減少のパターン（クライマクテリック様パターン）を示し、エチレン生成は呼吸量の増大開始前後に始まり、経時変化は明らかなピークが認められるなど、呼吸量の変化と一致した。ステージⅡの果実の呼吸量の変化にはピークが認められなかったが、エチレン生成量では明らかなピークが見られた。ステージⅢの果実では、呼吸量、エチレン生成量ともにピークが見られなかった。また、エチレン生成は、すべてのステージの果実で呼吸量の増大開始前後に始まり、採取後エチレン生成が始まるまで期間は、ステージⅠの果実で最も短かった。

第4図は、本実験で得られた呼吸量及びエチレン生成量のピーク値の変化を、果実の発育と関連させて示したものである。

Fig. 4. Changes in weight of Japanese persimmon fruits (cv. Fuyū) with growth and in peak or maximum values of respiration and ethylene production of fruit harvested at various stages of development and held at 25°C. Each curve represents the average of 3 years (1980–1982).

呼吸量及びエチレン生成量のピーク値は、果実の発育につれて大きく変化することが明らかである。ステージⅡ及びステージⅢにおいては、両ピーク値の変化は似た傾向を示したが、ステージⅠにおいては両者間に差異が見られ、この点は今後さらに検討すべき問題であろう。

一般に、収穫適期のクライマクテリック型果実は、収穫後数日で呼吸の増大とエチレン生成が始まり、両者ともピークに達した後減少する。これに対し、本実験の収穫適期のカキ果実（ステージⅢ）では、呼吸量の増大とエチレン生成がほぼ同時に始まったものの、その開始時期は収穫適期のクライマクテリック型果実に比べて遅く、エチレン生成量も少なく、またピークも見られないなど、クライマクテリック型果実の一般的特性とは一致しなかった。一方、収穫適期のノンクライマクテリック型果実では、収穫後も呼吸量の増大は起こらず、エチレン生成もないことが特徴的である。これに対し、本実験の収穫適期のカキ果実は、呼吸量の増大も起こり、かつ生理的に十分活性を示すと考えられる量のエチレン生成（3 μ l/kg·h 以上）を示し、明らかにノンクライマクテリック型果実とは異なる特性を示した（第3図）。同様のことは岩田らも認めており、また種々の点から検討して、カキ果実をクライマクテリック型とするのは妥当でないとし、イチゴ、モモとともに、カキ果実を第3の型に分類している（12, 13）。以上の点から考えて、カキ果実はクライマクテリック型とも、またノンクライマクテリック型とも異なる型の果実とすることが妥当と考えられる。

次に収穫適期以前の未熟な果実の場合についてみると、クライマクテリック型果実は、一般に採取後呼吸量の増大が起こり、それとともにエチレン生成が始まり、

種々の成熟様変化も見られるが、これらの変化は、収穫適期に近い果実ほど明白に現れ、未発育の幼果ではあまりはっきりしない特徴がある。呼吸量の増大とエチレン生成の開始は、未発育の幼果ほど遅く、発育が進むにつれて早まり、ピーク値はほぼ一定か、発育の進むにつれて増大する傾向がある。（6, 10, 11, 14, 16, 21, 22, 23, 27, 32, 33, 34）。これに対し、本実験のカキ果実では、未発育なステージⅠの果実でのみ、典型的なクライマクテリック型の呼吸の増大とエチレン生成の増大が見られ、発育が進むとこれがはっきりしなくなった。また、呼吸量の増大とエチレン生成の開始は、未発育の幼果で最も早く、発育が進むほど遅くなるなど、クライマクテリック型果実とは逆の傾向を示した。一方、ノンクライマクテリック型果実の場合についてみると、カンキツ果実では、未発育の果実で、採取後呼吸量の増大とエチレン生成が起こることが知られている（2, 5, 8, 9, 24）。特に温州ミカンでは、7月末までに採取された幼果で多量のエチレン生成が見られたが、8月中旬採取の果実では少量となり、9月以降採取の果実では検出できないほどの量となった。エチレン生成量のピーク値は6月下旬ごろの幼果までは増大したが、それ以後の果実では急速に減少した。また、エチレン生成は、採取数日後に始まり、果実の発育とはあまり関係なかった（8, 9, 24）。これに対し、本実験のカキ果実では、未発育のステージⅠの果実で、エチレン生成量のピーク値の変化が温州ミカンと似た傾向を示し、ノンクライマクテリック型の温州ミカン果実と共通する点を有したが、ステージⅡ及びステージⅢの果実でも、かなりの量のエチレン生成があり、温州ミカンとは決定的に異なる特性を示した。これらのことは、岩田ら（12, 13）及び前報（31）で指摘された、‘カキ果実はクライマクテリック型果実とも、またノンクライマクテリック型果実とも異なる’、という説を支持するものと考えられる。

カキ果実は、果実の生長や採取後の呼吸型、さらにその他の諸特性に基づいて、三つの発育段階が区別されたが（30, 31）、新居も果実の生長に伴う種々の変化から三段階に区別している（26）。果実の種類によっては、さらに多くの段階が区別されるが（4）、本実験の結果からも、カキ果実は三段階の区分が妥当なように考えられる。

果実はクライマクテリック型とノンクライマクテリックの二種に大別されてきたが（3）、カキ果実はこのどちらとも異なる特性をもつものと言える。また、同じ種類の果実であっても、品種によっては異なる型に属する場合も知られている（7, 14, 16, 17, 18）。また、前述のように、カキやカンキツ果実は、未発育の幼果において、採

取後呼吸のクライマクテリック様増大とエチレン生成，及びその他の成熟様変化が起こる．これらのことは‘クライマクテリック’とどのように関連づけられるべきであろうか．また，‘クライマクテリック’とはどのように理解すればよいのか必ずしも明白でないように思われる．これらのことは，今後とも，多くの種類・品種の果実についてさらに多方面から追究し，‘クライマクテリック’及び‘成熟’の本質についての理解を，一層深めて行く必要性を提起しているように考えられる．

摘 要

カキ‘富有’果実を種々の発育段階で採取し，その後の呼吸量，エチレン生成量及び成熟の変化を，25℃で個々の果実について調べた．

ステージⅠの果実は（6,7月採取），呼吸のクライマクテリック様増大と大量のエチレン生成を示し，果実は軟化し，果色は黄化した．このステージの果実はすべて，エチレン生成のピーク時にへたが脱落した．また，呼吸量とエチレン生成量は極めてよく似た変化を示した．

ステージⅡの果実（8月採取）では呼吸量の増大は見られたが，ピークは出現しなかった．これに対し，エチレン生成においては明白なピークが見られた．果実の軟化と果色の黄化も起こったが，へたの脱落は見られなかった．

ステージⅢの果実（10月採取）では呼吸量の増大と少量のエチレン生成が見られたが，両者ともピークは認められなかった．また果実の軟化は起こったが，へたは脱落しなかった．

エチレン生成に関しては，果実の成熟（発育）が進むにつれてその生成能が急速に減退するように思われた．

果実の呼吸量及びエチレン生成量を測定する場合には，個体差の大きいことを考慮して，個々の果実について測定することが望ましいと考えられた．

種々の点から検討した結果，カキ‘富有’果実はクライマクテリック型果実ともまたノンクライマクテリック型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 action of ethylene. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 23 : 259—292.
2. AHARONI, Y. 1968. Respiration of oranges and grapefruits harvested at different stages of development. *Plant Physiol.* 43 : 99—102.
3. BIALE, J. B. 1960. Respiration of fruits. *Handbuch der Pflanzen Physiologie.* 12 : 536—592. Springer Verlag, Berlin.
4. COOMBE, B. G. 1976. The development of fleshy fruits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 27 :

207—228.

5. EAKS, I. L. 1970. Respiratory response, ethylene production and response to ethylene of citrus fruit during ontogeny. *Plant physiol.* 45 : 334—338.
6. 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.
7. HERNER, R. C. and K. C. SINK, Jr. 1973. Ethylene production and respiratory behavior of the rin tomato mutant. *Plant Physiol.* 52 : 38—42.
8. HYODO, H. 1977. Ethylene production and respiration of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit harvested at different stages of development. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 45 : 427—432.
9. 兵藤 宏・邨田卓夫. 1972. いろいろな生育段階における温州ミカン果実のエチレン生成. *園学雑.* 41 : 405—410.
10. 稲葉昭次・金子 剛・中村怜之輔. 1980. モモ果実の収穫後の成熟特性. *園学要旨.* 昭55秋 : 430—431.
11. 稲葉昭次・中村怜之輔. 1981. ウメ果実の樹上及び収穫後の成熟. *園学雑.* 49 : 601—607.
12. 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.
13. 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との関係（第2報）. 収穫果実の呼吸型とその分類. *園学雑.* 38 : 279—287.
14. 加藤公道・阿部 薫・伊藤良二. 1977. リンゴ果実の成熟（第1報）. 成熟期の呼吸量，エチレン排出量および内部エチレン濃度の変化. *園学雑.* 46 : 380—388.
15. 加藤公道・佐藤良二. 1978. リンゴ果実の成熟（第2報）. 成熟期の呼吸量，エチレン排出量および内部ガス濃度の相互関係ならびに比重または密入りとの関係. *園学雑.* 46 : 530—540.
16. 北村利夫・岩田 隆・福島忠明・古川良茂・石黒運弥. 1981. 果実，野菜の成熟生理と貯蔵に関する研究（第2報）. ナシ果実の呼吸量及びエチレン生成量と種間及び品種間差異. *園学雑.* 49 : 608—616.
17. 北村利夫・梅本俊成・岩田 隆・赤沢経也. 1975. メロン果実の貯蔵に関する研究（第2報）. 追熟中における呼吸量及びエチレン生成量の変化と品種間差異. *園学雑.* 44 : 197—203.
18. 小宮山美弘・原川 守・辻 政雄. 1982. スモモ果実の追熟性と追熟に及ぼすエセホンの影響. *園学雑.* 51 : 115—123.

19. LIEBERMAN, M. 1979. Biosynthesis and action of ethylene. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 30: 533—591.
20. LYONS, J. M., W. B. MCGLASSON and H. K. PRATT. 1962. Ethylene production, respiration and internal gas concentrations in cantaloupe fruits at various stages of maturity. *Plant Physiol.* 37: 31—36.
21. 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.
22. MCGLASSON, W. B. and H. K. PRATT. 1964. Effects of ethylene on cantaloupe fruits harvested at various ages. *Plant Physiol.* 39: 120—127.
23. MCGLASSON, W. B. and H. K. PRATT. 1964. Effects of wounding on respiration and ethylene production by cantaloupe fruit tissue. *Plant Physiol.* 39: 128—132.
24. 邨田卓夫・宮下幸郎. 1971. 柑橘類果実の生理および貯蔵に関する研究 (第1報). 柑橘類果実幼果の呼吸とエチレン生成について. *園学雑.* 40: 74—80.
25. 中島武彦・田村 勉. 1970. リンゴ果実の熟度に関する研究 (第1報). 果実 (旭) の呼吸クライマクテリックと熟度との関係. *園学雑.* 39: 283—289.
26. 新居直祐. 1980. カキ '富有' 果実の肥大成長と果柄部維管束の発達について. *園学雑.* 49: 160—170.
27. 岡本一郎・稲葉昭次・伊藤卓爾・中村怜之輔・橋本 陸. 1980. バナナの収穫熟度が追熟様相に及ぼす影響. *園学要旨.* 昭55秋: 410—411.
28. PRATT, H. K. and J. D. GOESCHL. 1969. Physiological roles of ethylene in plants. *Ann. Rev. Plant physiol.* 20: 541—584.
29. SACHER, J. A. 1973. Senescence and post-harvest physiology. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 197—224.
30. 高田峰雄. 1967. カキおよびトマト果実の生育ならびに成熟に伴う呼吸量の変化. *園学雑.* 36: 95—100.
31. 高田峰雄. 1982. 发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. *園学雑.* 51: 203—209.
32. WANG, C. Y. and E. HANSEN. 1970. Differential response to ethylene in respiration and ripening of immature 'Anjou' pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95: 314—316.
33. WANG, C. Y. and W. M. MELLENTIN. 1972. Internal ethylene levels during ripening and climacteric in Anjou pears. *Plant Physiol.* 50: 311—312.
34. 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.