

## リンゴの早期落果とエチレン生成及び離層形成との関係<sup>1</sup>

福井博一・今河 茂・田村 勉

北海道大学農学部 060 札幌市北区

Relation between Early Drop of Apple Fruit, Ethylene Evolution  
and Formation of Abscission Layer.

Hirokazu FUKUI, Shigeru IMAKAWA and Tsutomu TAMURA

Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060

### Summary

Early fruit drop in 'McIntosh Red' apples was enhanced by 30 days of high night temperature (25°C) beginning on the 10th day after full bloom. A reduced rate of fruit enlargement for two days indicated the imminence of fruit drop; abscission occurred 6 to 10 days later. The fruit drop process was divided into four stages: stage A, potential fruit drop as indicated by the reduced rate of fruit enlargement; stage B, two days after potential fruit drop; stage C, four days after potential fruit drop; stage D, abscission. There was no difference in ethylene evolution between fruits of stage A and persistent fruits. However, the stage of fruit drop advanced from B to C, ethylene evolution increased. Few fruit at stage A had formed an abscission layer but those which had, evolved more ethylene than those which had not. These results suggest that ethylene evolution and abscission layer formation are not the primary factors causing the early drop of apple fruit but are part of the ageing process which occurs with the advance of the fruit drop process.

### 緒 言

早期落果は年によって甚大な被害を及ぼし、栽培上大きな問題となっているにもかかわらず、いまだその予測や防止方法は確立されていない。Wertheim(14)は、落果防止のためには落果過程の把握が肝要であると述べており、その解明が急務となっている。

落果に先立ち離層が形成されることは以前から報告され(6, 11), Leopold(9)は落果の過程を形態的に5段階に分け、その初期段階に離層の分化が見られると述べている。また、その総説(9)の中で離層形成と生長調節物質との関連にも触れ、エチレンは離層の分化後の発達に大きく関与していると報告している。

エチレンや 2-Chloroethyl phosphonic acid (CEPA)は早期落果を促進し(6)、これらを摘果剤として利用する研究も行われている(8)。また、Dennisら(5)や Child & Williams(3)はエチレン合成阻害剤である Amino-ethoxyvinylglycine (AVG) 処理によって落果が抑制されることを報告している。しかし、Blanpied(1)は落果する果実と正常果との間にはエチレン排出量の差がなく、エ

チレン生成は早期落果とは関連がないと報告し、同様に Schneider(13)も早期落果におけるエチレンの役割は2次的なものであると述べている。そこで、本研究は早期落果の機構解明を目的として、早期落果とエチレン生成及び離層形成との関係を明らかにしようとして行ったものである。

### 材料及び方法

北海道大学農学部附属農場に栽植されている10年生の‘旭’に‘サマーレッド’の花粉を人工授粉した後、落果を促進するためにビニルフィルムで樹体全体を被覆し、ポット式石油ストーブで加温した。加温処理は午後6時30分から午前6時30分までの被覆内部の温度を  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  に設定し、満開後10日目から30日間行った。昼間はビニルフィルムの上部を開放した。

400個の中心果にラベルを付し、同一部位の果径を満開後10日目から30日間、1日おきに測定した。2日間の果径の増加量を個々の果実ごとに算出して落果との関係を調べた結果、落果の6～10日前にその予測が可能であることがわかったので、落果が予測された果実と正常果の果柄を切り取り、広口瓶に密封して  $20^{\circ}\text{C}$  で24時間放

<sup>1</sup> 1984年3月9日受理

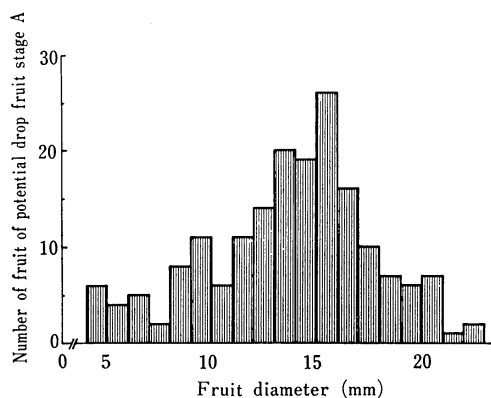


Fig. 1. Distribution of the size of potential drop fruit stage A.

置した 後エチレン生成量を日立164型ガスクロマトグラフで FID を用いて定量した。

果柄と果そう基部は無水エタノールで固定し、*n*-ブタノールで脱水後、パラフィンに包埋し、15  $\mu$ m の縦断切片を作った。切片はマイヤーの酸性ヘマラウンで染色し、離層形成部周辺組織を観察した。

### 結 果

夜間加温処理区的全落果率は 82% であった。落果した果実の横径は 10 mm から 20 mm の間であった (第 1 図)。2 日間の果径増加量の変化を調べたところ、果径増加量とその落果の可能性との間に一定の関係が認められた。正常に発育する果実、すなわち正常果 (persistent fruit) は 2 日間に果径が約 2.1 mm ずつ増加したが、落果するものは落果の 6~10 日前に 2 日間の果径増加量が 1.5 mm 以下に減少し、その後肥大が停止して落果に至った (第 2, 3 図)。この果径増加量の減少が認められた果実の 96% は落果した。したがって、2 日間の果径増加量の変化から、落果の 6~10 日前にあらかじめそ

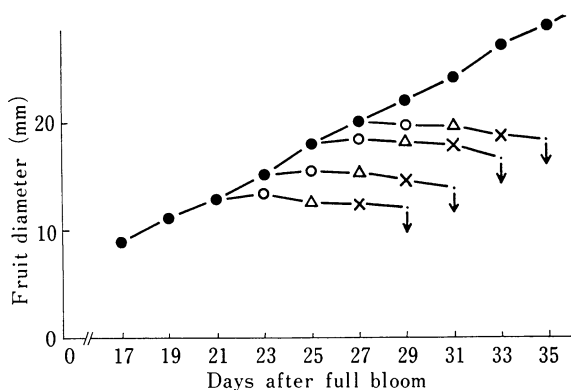


Fig. 2. Pattern of persistent fruit enlargement and fruit abscission.

- : persistent fruit
- : potential drop fruit stage A
- △ : potential drop fruit stage B
- × : potential drop fruit stage C
- ↓ : abscission

れを判定できることが明らかになった。この方法で落果が予測された果実を落果判定果 (potential drop fruit) と呼ぶことにした。さらに、落果を予測できるようになってから実際に落果するまでの過程を便宜上細分化するために、最初の落果判定可能時の果実を落果判定果 A (potential drop fruit stage A)、その 2 日後の状態の果実を落果判定果 B (potential drop fruit stage B)、4 日後の状態の果実を落果判定果 C (potential drop fruit stage C) とした。第 2 図に示すように、落果する果実は果径増加量が減少し、落果判定果 A となった後、落果判定果 B、落果判定果 C を経て落果に至る。

### エチレン生成と落果

横径 10 mm 以下の正常果の生重当たりのエチレン生成量は極めて大きな値を示した。しかし、果実が発育す

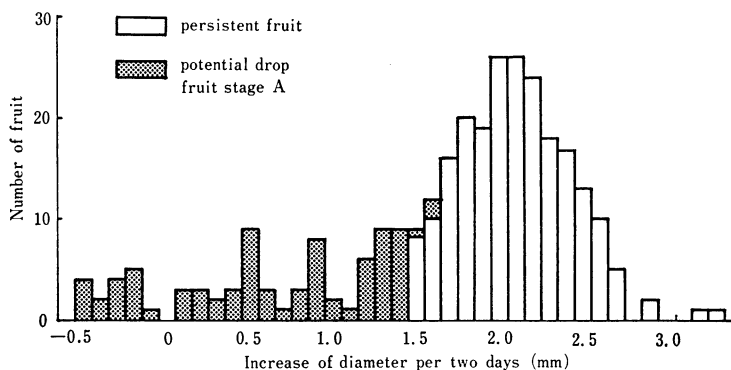


Fig. 3. Distribution of fruit growth rate from the 23 th to 25 th day after full bloom in persistent fruit and potential drop fruit stage A.

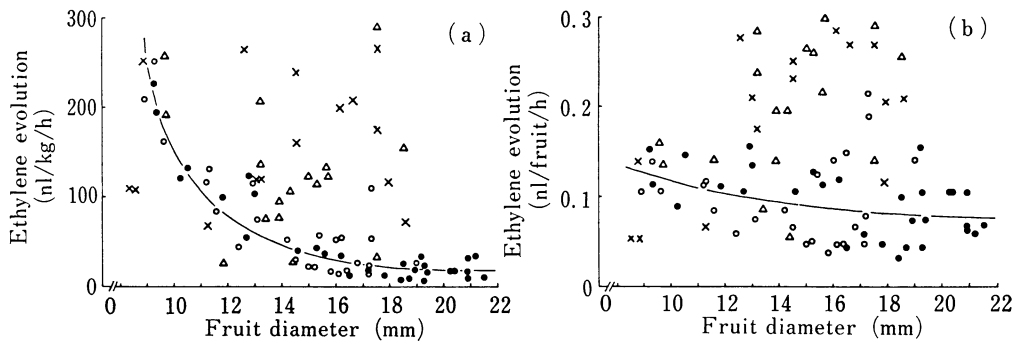


Fig. 4. Relation between fruit drop and ethylene evolution.

Symbols are the same as in Fig. 2.

Ethylene evolution curve of persistent fruit.

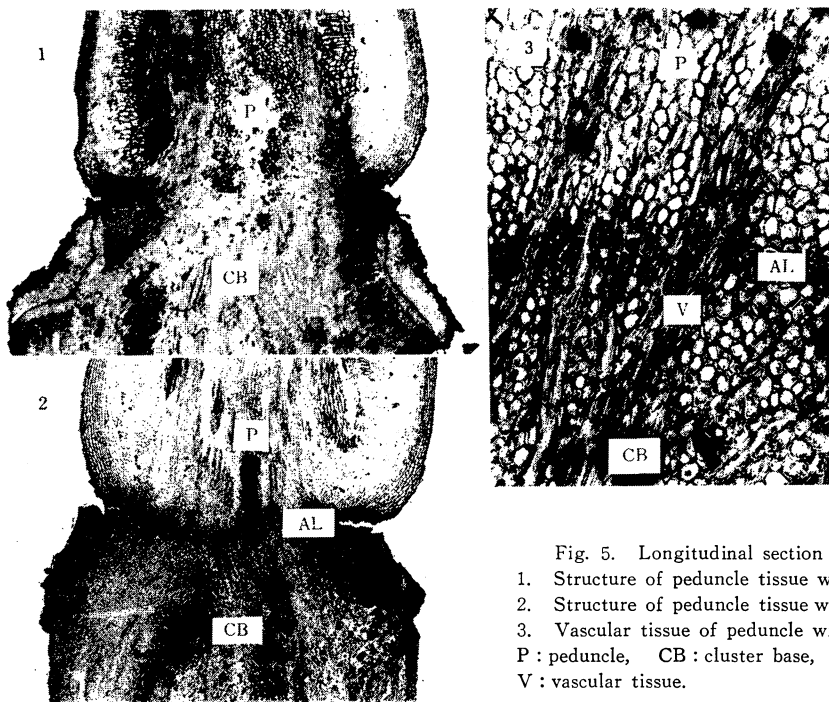


Fig. 5. Longitudinal section of abscission zone.

1. Structure of peduncle tissue without abscission layer.

2. Structure of peduncle tissue with abscission layer.

3. Vascular tissue of peduncle with abscission layer.

P: peduncle, CB: cluster base, AL: abscission layer,

V: vascular tissue.

るに従いエチレン生成量は急激に減少し、20 mm の正常果のエチレン生成量は 18 nl/kg/h であった (第 4 図, a)。しかし、エチレン生成量を果実あたりに換算すると果実の発育程度とは余り関係がなく、0.1 nl/果実/h 前後ではほとんど変化しなかった (第 4 図, b)。正常果と落果判定果 A のエチレン生成量はいずれの単位で表示してもほとんど差が認められなかったが、落果判定果 B と落果判定果 C のエチレン生成量は正常果のそれを大きく上回っていた (第 4 図, a, b)。また、正常果より大きなエチレン生成量を示した果実の果柄は黄変したものが多かった。

#### 離層形成と落果

第 5 図に示したように、離層は果柄と果そう基部との間に形成され、離層部の細胞は他の組織と比較して小さかった。また、維管束の切断は観察されず、落果まで連結していた。

第 6 図に離層形成と早期落果過程との関係を示した。正常果の果柄と果そう基部の間には離層は形成されていなかった。また、落果判定果 A においてもほとんど離層は形成されておらず、離層形成率は 9% と低かった。しかし、落果の過程が進み落果判定果 B、落果判定果 C となるに従い、離層形成率は上昇し、落果判定果 C の離層

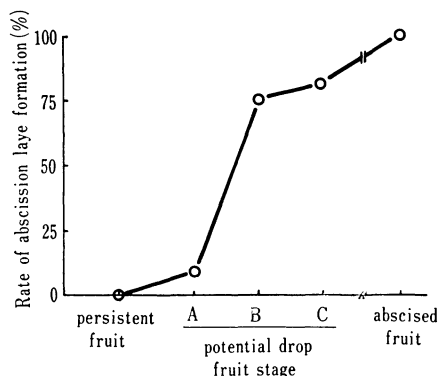


Fig. 6. Relation between the formation of abscission layer and various stages of fruit drop process.

形成率は 81% であった。

#### エチレン生成と離層形成

第7図に示すように、離層が形成されている果実のエチレン生成量は未形成のものより高く、エチレン生成と離層形成との間には密接な関係が認められた。しかし、果径が 10 mm 以下の果実ではエチレン生成量が正常果と同じか低い果実でも離層形成が認められ、この時期に落果する果実の離層形成はエチレンとは関係がないと考える。

#### 考 察

夜間加温処理によって落果した果実は、果径が 10～20 mm の範囲にあって、無加温によって生じた自然の早期落果の場合と一致し(7)、両者の間に質的な差はないと考えられる。

果径を2日ごとに測定し、個々の果実の2日間の果径増加量が減少することを指標として、落果の6～10日前にそれを予測することが可能となった。この落果の判定方法の精度は極めて高く、果径増加量の減少がみられた果実の 96% は落果した。

第4図、aに示すように正常果のエチレン生成量は果径が 9 mm の時期に高い値を示し、それ以降急激に減少することが観察された。千葉(2)はスターキングを用い、これと同様に果径が 10 mm 前後の時期に高いエチレン生成のピークが存在し、その後それは急激に減少することを報告している。しかし、第4図、bに示すように表示法を果実当たりの生成量として見た場合、エチレン生成量は常にほぼ一定の値を示し、果実の発育にかかわりなくほとんど変化しないことが明らかとなった。したがって、生重当たりでみられたエチレン生成量の変化は果重の増加に基づく見かけの変化であると推測される。

エチレンは早期落果と密接な関係があり、CEPA 処理

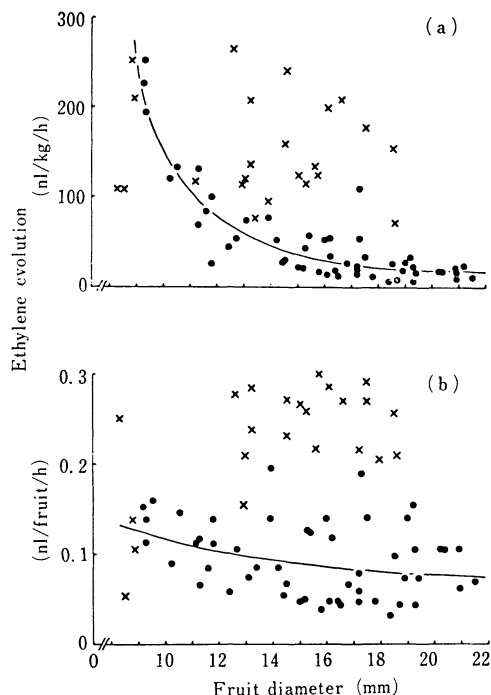


Fig. 7. Relation between ethylene evolution of fruit and the formation of abscission layer of peduncle.  
● : abscission layer unformed  
× : abscission layer formed  
Ethylene evolution curve of persistent fruit.

は葉から果実への糖の転流を減少させると言われている(12)。しかし、Schneider(13)はエチレンの作用阻害剤である硝酸銀の果実への処理が落果の抑制効果を示さないことから、エチレンは落果の引き金ではなく2次的な作用を持つものであろうと述べている。本実験では、果実の肥大が停止し、落果の引き金がすでに引かれた落果判定果Aのエチレン生成量と正常果のそれとの間に有意な差が認められなかった。そして、高いエチレン生成が見られるのは落果の過程がさらに進み、果柄の黄化などの症状が現れた落果判定果B及びCとなつてからであった。したがって、落果判定果B及びCで見られたこの高いエチレン生成は、落果過程の進行に伴う老化現象による2次的産物であると推測され、このことは、エチレン生成が落果の引き金となる初期要因ではないとするSchneider(13)の説に合致するものである。

MacDaniel(11)は離層の形態的特徴について詳細に記述し、離層形成と落果とは深いかかわりがあることを示唆し、Leopold(9)は離層の形成を落果の指標として用い、内生生長調節物質の落果に及ぼす生理作用について論述している。しかし、第6図の結果で示すように落

果過程の初期に相当する落果判定果Aにおいては離層形成が観察されておらず、その後落果過程が進行するに従って離層形成率が増加している。したがって、離層形成は早期落果の主要な要因ではなく、エチレン生成と同様、落果過程の進行に伴って発現する2次の現象であると考えられる。

Leopold(9)はエチレンが離層の形成及び発達を促すと述べており、本研究においても第7図に示すように離層が形成された果実のエチレン生成量は未形成のものに比べて極めて高く、エチレン生成と離層形成の間には密接な関係があることが明らかとなった。近年、1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)の発見によってエチレンの生合成機構が明らかにされ(15)、また、エチレンの作用機構に関しても分子レベルでの解明がなされている(10)。したがって、この離層形成に及ぼすエチレンの作用についても今後の研究にまっところが多い。

エチレンが早期落果の主要因であるとする考えは、多くの研究者によって支持され、その理由の1つとしてCEPAの落果促進作用が挙げられている。しかし、第7図に示したように離層形成とエチレン生成との間には密接な関係が見られ、Cracker and Abeles(4)はエチレンの生理作用の1つにセルラーゼ活性の増加を報告し、Leopold(9)はエチレンが離層の発達を促すと述べている。したがって、エチレンは離層の分化のみならずその発達をも制御し、セルロースを分解することによって果実の離脱を促す作用があり、CEPAの作用はその分解によって発生したエチレンが、果実の離層形成を促し落果に導くものであると考えられる。また、Child and Williams(3)はエチレン合成阻害剤AVGの落果抑制効果の説明としてAVGによる離層形成阻害を挙げており、筆者らの推考と一致している。

### 摘 要

‘旭’を用い満開後10日目から30日間夜温を25℃とする加温処理によって早期落果を促進させ、落果過程を観察した。早期落果は、2日間の果径増加量の減少を指標とすることによって落果の6～10日前に予測することができた。最初の落果判定可能時から落果までの過程を4段階に分け、それぞれの段階とエチレン生成及び離層形成との関係を調査した。正常果と落果過程初期の果実との間にはエチレン生成量の差はなかった。しかし、落果過程が進行するに従い多量のエチレン生成が認められた。落果過程初期の果実には離層は形成されていなかった。離層が形成された果実のエチレン生成量は、未成果のそれより高く、エチレン生成と離層形成は落果の主

要因ではなく、むしろ落果過程中に起こる果実の衰弱に伴う現象であると考えられる。

### 引用文献

1. BLANFIED, G. D. 1972. A study of ethylene in apple, red raspberry, and cherry. *Plant Physiol.* 49: 627—630.
2. 千葉和彦. 1982. スターキングデリジャス幼果期の果実肥大、種子発育及びエチレン発生と落果との関係について。北海道園芸研究談話会報. 15: 52—53.
3. CHILD, R. D. & R. R. WILLIAMS. 1983. The effects of the interaction of aminoethoxyvinylglycine (AVG) with mixtures of growth regulators on fruit set and shape in Cox's Orange Pippin apple. *J. Hort. Sci.* 58: 365—369.
4. CRACKER, L. E. & F. B. ABELES. 1969. Abscission: Quantitative measurement with a recording abscission. *Plant Physiol.* 44: 1139—1143.
5. DENNIS, JR., F. G., D. D. ARCHBOLD & C. O. VECINO. 1983. Effect of inhibitors of ethylene synthesis or action, GA<sub>4+7</sub> and BA on fruit set of apple, sour cherry, and plum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 570—573.
6. EDGERTONE, L. J. 1971. Apple abscission. *Hort-Science* 6: 26—30.
7. FUKUI, H., S. IMAKAWA & T. TAMURA. 1984. Relation between early fruit drop and embryo development in apple. *J. Fac. Agr. Hokkaido Univ.* 61: 399—407.
8. JONES, K. M., T. B. KOEN & R. J. MEREDITH. 1983. Thinning Golden Delicious apple using ethephon sprays. *Hort. Sci.* 58: 381—388.
9. LEOPOLD, A. C. 1971. Physiological process involved in abscission. *HortScience* 6: 376—378.
10. LIEBERMAN, M. 1979. Biosynthesis and action of ethylene. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 30: 533—591.
11. MACDANIELS, L. H. 1936. Some anatomical aspects of apple flower and fruit abscission. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 34: 122—129.
12. SCHNEIDER, G. W. 1977. Studies on the mechanism of fruit abscission in apple and peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102: 179—181.
13. SCHNEIDER, G. W. 1978. Abscission mechanism studies with apple fruitlets. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103: 455—458.
14. WERTHEIM, S. J. 1973. Session VIII Control of fruit abscission chemical control of flower and fruit abscission in apple and pear. *Acta Horticulturae* 34: 321—331.
15. YOSHII, H., A. WATANABE & H. IMAZEKI. 1980. Biosynthesis of auxin-induced ethylene in mung bean hypocotyls. *Plant and Cell Physiol.* 21: 279—292.