

リンゴの早期落果とエチレン発生との関係 並びにガスクロマトグラフ質量分析計による 果梗の離層部分におけるアブシジン酸の分析

野呂昭司・小原信実・工藤仁郎
三上敏弘¹⁾・橋和丘陽²⁾

青森県りんご試験場

²⁾ 島津製作所応用技術部東京分析センター, 182 東京都調布市

Relationship between Early Apple Fruit Drop and Ethylene, and Analysis of Abscisic Acid in Abscission Zone of the Fruit Pedicel by Gas Chromatography - Mass Spectrometry

Shoji NORO, Nobumi OBARA, Niro KUDO,
Toshihiro MIKAMI¹⁾ and Takaharu KITSUWA²⁾

Aomori Apple Experiment Station
Kuroishi, Aomori 036-03, JAPAN

²⁾ Shimadzu Corporation Tokyo Research and Applications Laboratory
Chofu, Tokyo 182, JAPAN

昭和62年 7月31日受理

本報告の一部は園芸学会東北支部昭和57年度大会及び園芸学会昭和60年度秋期大会で発表した。

1) 現青森県畑作園芸試験場, 039-07 三戸郡五戸町

目 次

I 緒 言	3
II 材料及び方法	3
1. エチレンと早期落果の関係	3
(1) 各品種の健全果と発育停止果におけるエチレンの比較	3
(2) ‘スターキングデリシャス’ の 組織部位別エチレン含有量の比較	4
(3) 時期別エチレンの変化と早期落果率	4
(4) エスレルの散布と落果率	4
2. AVG,GA及びBAの混合処理と 早期落果率及び果実のエチレン発生量の比較	5
3. 果梗の離層部分におけるABAの分析	6
III 結 果	7
1. エチレンと早期落果の関係	7
(1) 各品種の健全果と発育停止果におけるエチレンの比較	7
(2) ‘スターキングデリシャス’ の 組織部位別エチレン含有量の比較	7
(3) 時期別エチレンの変化と早期落果率	8
(4) エスレルの散布と落果率	9
2. AVG,GA及びBAの混合処理と 早期落果率及び果実のエチレン発生量の比較	9
3. 果梗の離層部分におけるABAの分析	15
IV 考 察	16
V 摘 要	18
引用文献	19
Summary	20

I 緒 言

1978年の‘スターキングデリシャス’における早期落果はその年の生産量を減ずる大きな要因として知られている(1)。この早期落果については、1934年に既に当試験場で研究が始まり(2)、またその後の研究によると、受精の不完全、胚の発育停止及び養分の競争等が関係していると報告されている(14)。しかし、その落果の機構についての報告は少ない。エチレンについては落果及び離層形成を促進する(11,13)ことが知られているが、早期落果との関連性を詳細に検討した報告は少ない。

そのため、筆者らはエチレンと早期落果との関係を明らかにする目的で、千葉・久保田(4)及びGreene(7)の報告を参考にしてエチレン発生と落果の関係、エチレン阻害剤として知られるアミノエトキシビニルグリシン(AVG)、ジベレリン(GA)及び6-ベンジルアミノプリ

ン(BA)との混合処理と落果及びエチレン発生との関係、さらに遮光と落果及びエチレン発生との関係について検討した。また、発育が停止した果実(発育停止果、果梗が黄変した果実を含む)と健全な果実(健全果)の果梗における離層部分のアブシジン酸(ABA)を分析したので、その結果を報告する。

本研究の実施に当たり、エスレルを供試していただいた日産化学工業株式会社、また、ジベレリンGA₄及びGA₇₊₉を供試していただいた協和発酵株式会社に厚く御礼申し上げる。また、本報の御校閲の労をとられた青森県りんご試験場長工藤祐基氏、同次長田中弥平氏、さらに英文摘要の御校閲をいただいた元ニューヨーク州立農業試験場のRoger.D.Way博士に深謝の意を表す。

II 材料及び方法

1. エチレンと早期落果の関係

- (1) 各品種の健全果と発育停止果におけるエチレンの比較

1979年6月27日(‘スターキングデリシャス’の満開後35日)に‘ふじ’、‘ゴールデンデリシャス’、‘紅玉’、‘陸奥’、

‘玉林’、‘レッドゴールデン’、‘世界一’、‘スターキングデリシャス’及び‘つがる’の9品種を供試し、健全果と発育停止果のエチレンを千葉・久保田(4)の報告に準じ、次のような方法で測定した。すなわち、採取果をガラス容器に入れてゴム栓で密閉し、30℃の恒温器に入れ、1時間ごとにゴム栓を通して注射器により容器の内部ガス

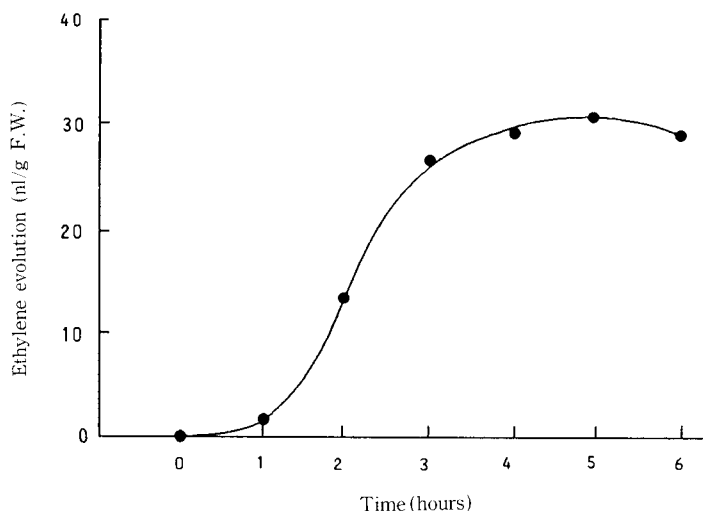


Fig.1. Change in ethylene^z evolution in the apple fruit^y cv. Starking Delicious with stopped development.

(^z Analyzed by GC using head space method after incubating the fruit at 30° C.
^y Picked on June 22 (30 days after full bloom), 1979.)

を採取し（以下ヘッドスペース法と略記），ガスクロマトグラフ（充填剤，ポラパックQS；検出器，FID）で分析したところ，5時間後に生成量が最大値に達した（第1図）。そのため，30℃の恒温器で5時間加温した後に発生するエチレンを分析した。

(2) ‘スターキングデリシャス’の組織部位別エチレン含有量の比較

圃場においては，がくの立ち上がりがない果実はがくの立ち上がりがみられる果実より早期に落下することが観察される。

そこで，‘スターキングデリシャス’の果実を供試し，1981年5月25日（満開後8日）採取の果実についてがくの立ち上がりがないものとがくがかなり立ち上がっている果実（共に緑色果）の離層部分（果梗先端から約3mmまでの部位）と果実部分におけるエチレン含有量を次のような分析方法で比較した。すなわち，組織内の微量なエチレンの損失をできるだけ少なくして分析するために，ガスクロマトグラフ用熱分解装置（島津製作所，PYR-1A）を用いてこれをガスクロマトグラフ本体のキャリアーガス流路内に接続した（第2図）。そして，分解管内に組織片を入れた後に管内空気をキャリアーガスと同一ガスで置換した。次に，その組織片を約30秒間200℃で熱し（以下加熱法と略記），その時発生するガスを

分析した（第3図）。

(3) 時期別エチレンの変化と早期落果率

ア 1980年調査 ‘スターキングデリシャス’を供試し，5月29日（満開後9日）から6日ごとに外見上健全と思われる果実を側果と中心果に分けて採取し，ヘッドスペース法でエチレン発生量を分析した。落果の調査は同年5月29日から6月22日まで行った。

イ 1981年調査

i) ヘッドスペース法によるエチレンの分析
 ‘スターキングデリシャス’を用い，5月29日（満開後12日）から6月22日まで6日ごとに外見上健全と思われる果実を採取し，エチレンを分析した。落果の調査は同様に5月29日から6月22日まで行った。

ii) 加熱法による組織別エチレンの分析
 ‘スターキングデリシャス’を用い，5月25日（満開後8日）から6月24日まで3日ごとに離層部分と果実部分の組織内におけるエチレン含有量を加熱法により分析した。落果の調査は5月25日から6月24日まで3日ごとに行った。

(4) エスレルの散布と落果率

エチレン発生物質として知られるエスレル(8)を散布することにより落果が誘発されるかどうかを確認するために，次のような実験を行った。

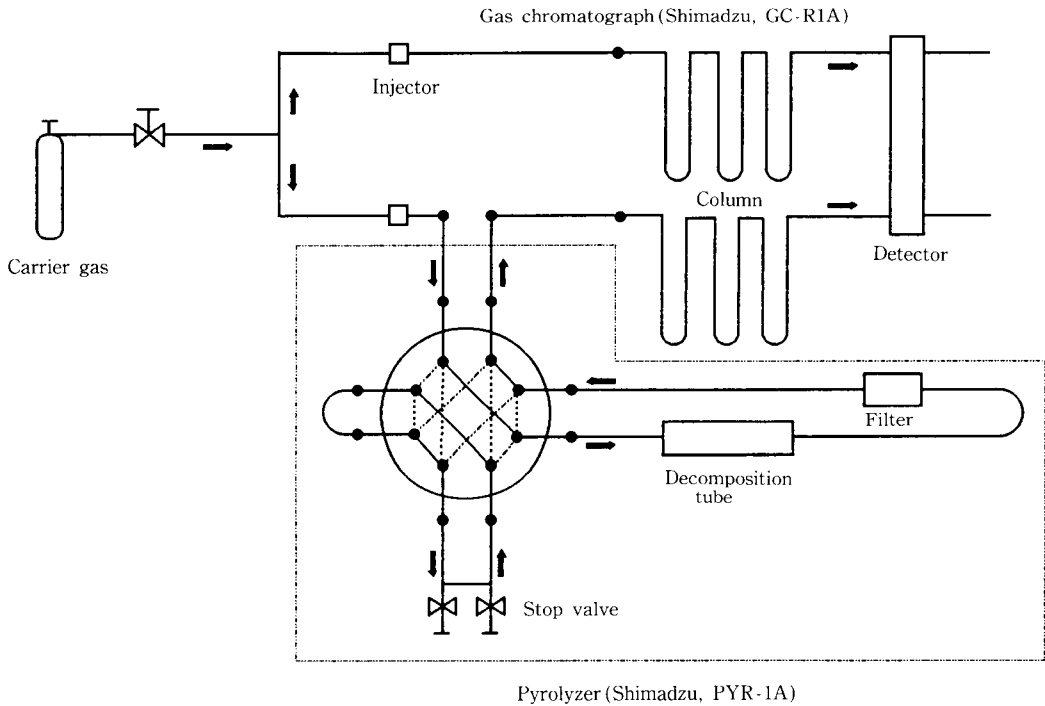


Fig.2. Flow of carrier gas in pyrolyzer and gas chromatograph.

ア 1981年調査 慣行の摘果を行った‘スターキングデリシャス’を供試し, 1981年6月21日(満開後35日)にエスレル1,000ppm及びエスレル2,000ppmを無散布区の比較のもとに散布した。

イ 1982年調査 ‘スターキングデリシャス’を供試し, 6月5日(満開後24日)に1果そう1果に摘果して6月7日に次のようにエスレルを散布した。すなわち, エスレル250ppm区, エスレル500ppm区及び無散布区を設けて果実に散布し, 翌日から3日ごとに落果率を調査した。

2. AVG, GA及びBAの混合処理と早期落果率及び果実のエチレン発生量の比較

(1) 1982年調査 ‘スターキングデリシャス’を供試し, Greene(7)が満開期に結実確保のために行った方法に

準じて次のような処理を行った。すなわち, 1982年6月5日(満開後24日)に無摘果樹の果実を用いて次の処理区を設けた; 1区, AVG・250ppm; 2区, GA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm; 3区, AVG・250ppm+BA・50ppm+GA₄₊₇・50ppm; 4区, 無処理区。処理は浸漬処理方法とし, 落果調査を3日ごとに行った。また, 全処理区とも遮光率50%の寒冷紗で6月5日から6月14日までの9日間遮光した。

一方, 別の‘スターキングデリシャス’を供試して上記と同様の4処理区を設け, 同年6月7日に果実を浸漬処理した後, 処理後1日, 4日, 8日及び13日目における果実のエチレンをヘッドスペース法によりガスクロマトグラフで分析した。

(2) 1983年調査 ‘スターキングデリシャス’を供試し, 5月27日(満開後21日)に無摘果樹の果実を用いて

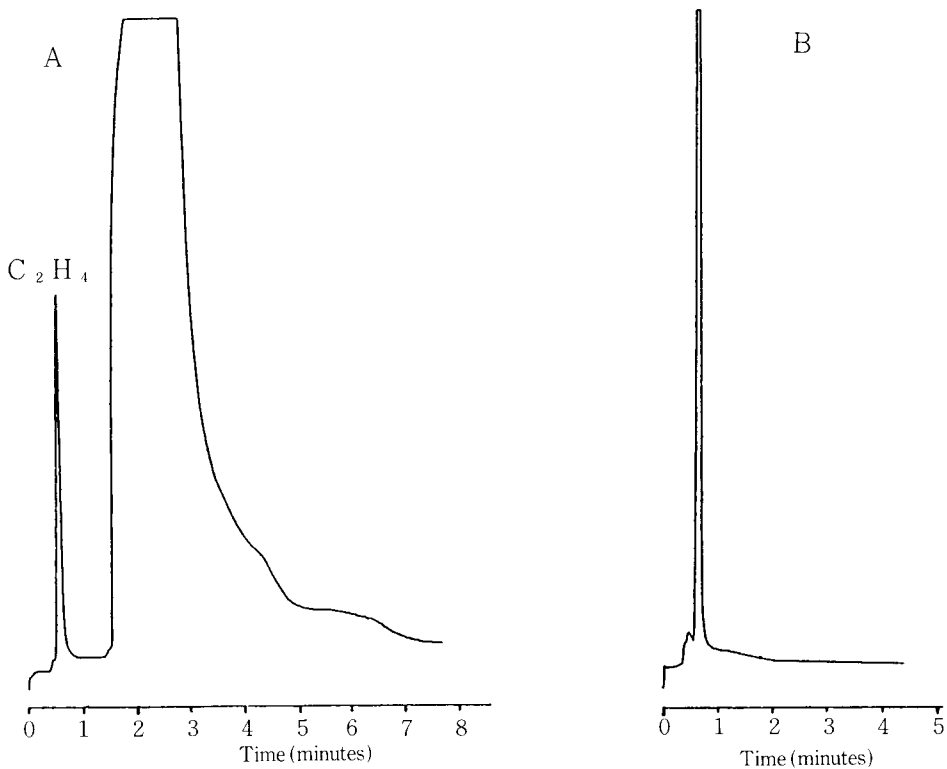


Fig.3. Gas chromatograms of endogenous ethylene^z(A) in the top of the fruit pedicel in the apple fruit cv.Starking Delicious and standard ethylene gas(B).

Analytical conditions: column, 2m x 3mm ID containing Porapack QS; temperature, 150°C; carrier gas, nitrogen; detector, FID.

^z Sample was obtained from the top the fruit pedicel and heated to 200°C in nitrogen using pyrolyzer^y for GC.

^y The flow of carrier gas is shown in Fig.2.

次のような処理区を設けた。すなわち1区, AVG・200 ppm; 2区, AVG・200ppm+GA₄・50ppm; 3区, AVG・200ppm+BA・50ppm; 4区, AVG・200ppm+GA₄・50ppm+BA・50ppm; 5区, GA₄・50ppm+BA・50ppm; 6区, 無散布遮光; 7区, 無散布非遮光; のように設定し, 1区から6区までは遮光率50%の寒冷紗で5月27日から6月14日まで18日間遮光した。落果の調査は5月28日から6月26日まで3日ごとに行った。

一方, 上記の各処理区における果実のエチレンを落果

の調査日に合わせてヘッドスペース法によりガスクロマトグラフで分析した。

3. 果梗の離層部分におけるABAの分析

1983年6月1日(満開後26日)から2日にかけて, 発育停止した‘スターキングデリシャス’の果実を約500果採取した。各果実の果梗先端から約3mmの離層部分を切り取り, 健全果の同一部分を対照としてABAの分析を行った。

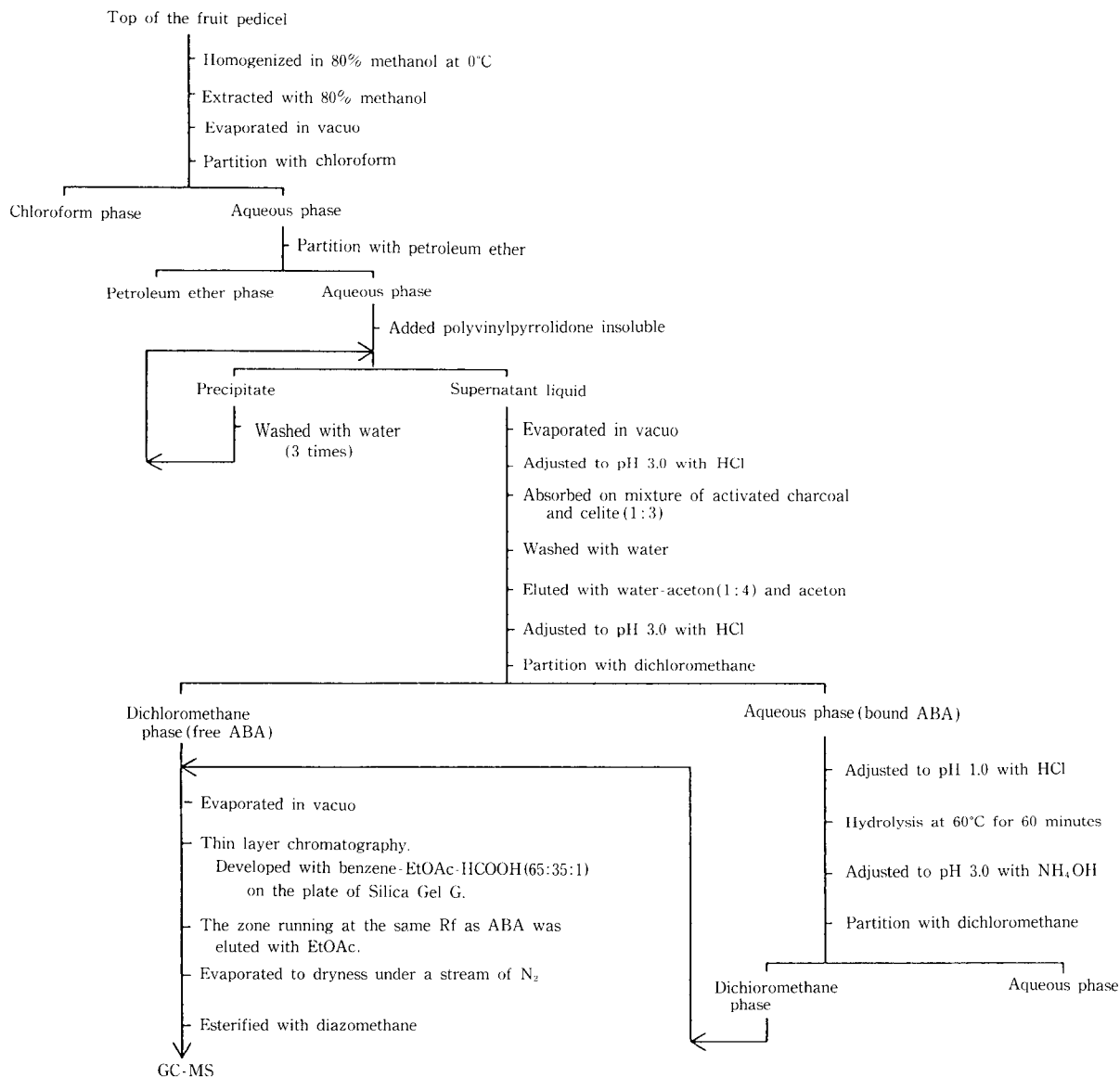


Fig.4. Procedure for extraction and analysis of abscisic acid (ABA) from top of the fruit pedicel in the apple fruit cv. Starking Delicious.

野呂ほか: リンゴの早期落果とエチレン及びアブシジン酸の関係

ABAの抽出方法は第4図に示す操作で行い、その試料をジアゾメタンでメチルエステル化した。ABAの確認は、市販品を用いて同様にジアゾメタンでメチルエステル化し、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)

によるマススペクトルの比較及びマスフラグメントグラフィーにより行った。また、定量も同様にマスフラグメントグラフィーにより行った。使用機器及び分析条件は第1表のとおりである。

Table 1. Equipments and conditions for analysis of abscisic acid methylester.

Equipments	
Gas chromatograph-mass spectrometer; Shimadzu, GCMS-6020	
Data acquisition system; Shimadzu, SCAP-1123	
Conditions	
column, 2% QF-1 on Chromosorb W (80-100 mesh), 1m x 2mm ID; column temperature, 190°C; carrier gas, He, 30ml/min; injection temperature, 280°C; ion source temperature, 270°C; ionizing voltage, 20eV; trap electric current, 60 μA; molecular separator temperature, 300°C	

III 結 果

1. エチレンと早期落果の関係

- (1) 各品種の健全果と発育停止果におけるエチレンの比較

いずれの品種においても発育停止果は健全果よりもエチレン発生量が多かった。特にその差が著しい品種は

‘世界一’、‘紅玉’及び‘ゴールデンデリシャス’で、健全果に対する発育停止果の比をみると、それぞれ約33倍、9倍及び6倍であった。次いで、その差が著しい品種は‘陸奥’、‘つがる’、‘スターキングデリシャス’、‘レッドゴールド’、‘ふじ’及び‘玉林’で、その比率は約2倍から4倍であった(第2表)。

Table 2. Differences in ethylene evolution between developing and non-developing fruits.

Cultivar ^z	Fruits with stopped development	Fruits continuing to develop	Cultivar	Fruits with stopped development	Fruits continuing to develop
Fuji	18.3 ^y	7.6	Redgold	96.6	34.9
Golden Delicious	18.8	3.1	Sekaiichi	86.1	2.6
Jonathan	56.4	6.0	Starking Delicious	87.6	26.0
Mutsu	60.3	17.2	Tsugaru	26.1	7.7
Orin	25.1	13.7			

^zPicked on June 27 (35 days after full bloom of ‘Starking Delicious’), 1979.

^ynl/g F.W./h

- (2) ‘スターキングデリシャス’の組織部位別エチレン含有量の比較

がくの立ち上がりが無い果実とがくがかなり立ち上がっている果実において、離層部分と果実部分のエチレン含有量を比較したが、その結果は第3表のとおりである。

この結果をみると、前者においては離層部分のエチレンが果実部分よりも2.3倍多かったが、後者においては逆に離層部分のエチレンが約1/4と少なかった。また、両者の果実における離層部分の比較をみると、がくの立ち上がりが無い果実はがくのかかなり立ち上がった果実よ

Table 3. Differences in endogenous ethylene content between fruitlets without a raised calyx and fruitlets with a raised calyx in the apple fruit cv. Starking Delicious.

Fruitlets ^Z	Top of the fruitlet pedicel	Fruitlet tissue
Fruitlets ^Y without a raised calyx	2,410 ^X	1,060
Fruitlets ^Y with a raised calyx	15	57

^ZPiked central fruitlet of cluster on May 25 (8 days after full bloom), 1981.

^YThe color is green.

^Xnl/g F.W.

り163倍もエチレンが多かった。同様の比較を果実部分についてみると、前者の果実部分は後者の果実部分より約19倍多かった。すなわち、がくの立ち上がりのない果実、すなわち落下の可能性が非常に高いと思われる幼果においては離層部分のエチレンが果実部分よりも特異的に多いことを確認した。

(3) 時期別エチレンの変化と早期落果率

ア 1980年調査

ヘッドスペース法による果実の時期別エチレン発生量

を5月29日(満開後9日)から6日ごとにみると、側果及び中心果とも5月29日が最も多く発生し、その後は急激に減少した。また、側果と中心果のエチレン発生量の変化を比較すると、側果の方が中心果より初期ほど多い状態で推移した(第5図)。

一方、この時期における落果の波相をみると、側果及び中心果とも落果率は6月4日が最も高かった(第5図A)。すなわち、側果及び中心果とも最大落果率が観測される以前に最大量のエチレンが検出された。また、落

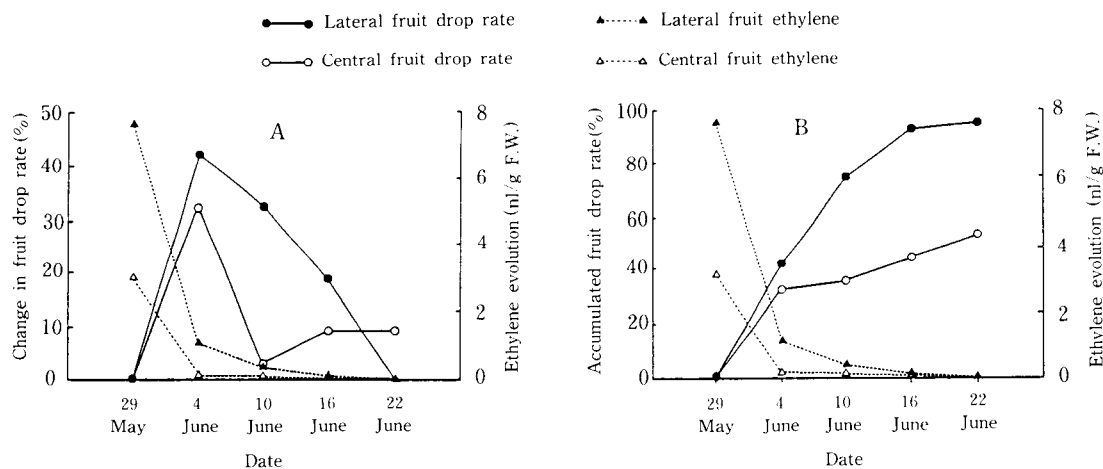


Fig.5. Changes in ethylene evolution and early fruit drop rates in lateral and central fruits of cluster in the apple fruit cv. Starking Delicious (1980).

(A : Relationship between changes in early fruit drop rates and ethylene evolution.)
 (B : Relationship between accumulated early fruit drop rates and ethylene evolution.)

果率を累積落果率で表わし、エチレン発生量との関係をみた結果、側果は累積落果率が中心果よりも高く、同時に初期のエチレン発生量も多かった(第5図B)。

イ 1981年調査

ヘッドスペース法による果実の時期別エチレン発生量を5月29日から6日ごとにみると、5月29日が最も多く

発生し、その後は急激に減少した。一方、この時期における落果の波相をみると、落果率は6月4日が最も高く、その後は低下の状態を呈した(第6図)。すなわち、最大落果率が観測される以前に最大量のエチレンが検出された。

加熱法による果実の離層部分におけるエチレン含有量を5月25日から3日ごとに分析した結果をみると、5月25日が最も多く、次いで6月6日が多かった。また、こ

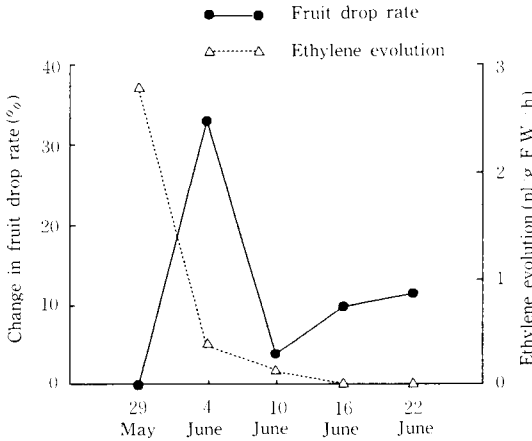


Fig. 6. Changes in ethylene evolution and early fruit drop rate in the apple fruit cv. Starking Delicious (1981).

の調査時期に対応した落果の波相をみると、落果率は5月31日が最も高く、次いで6月6日が高かった。一方、

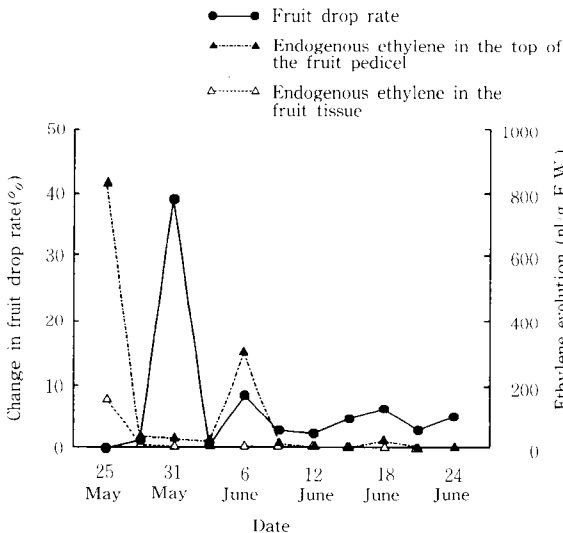


Fig. 7. Changes in early fruit drop rate and endogenous ethylene contents in the top of the fruit pedicel and the fruit tissue in the apple fruit cv. Starking Delicious (1981).

果実部分におけるエチレン含有量をみると、5月25日が最も多かったが、5月28日は減少し、その後ほとんど変化はみられなかった(第7図)。すなわち、離層部分と果実部分のエチレンにおいても最大落果率が観測される以前に最大量のエチレンが検出された。

離層部分と果実部分のエチレン含有量を比較すると、5月25日と6月6日において離層部分は果実部分よりも多かった。しかし、その他の時期においては両者間にはほとんど差がみられなかった。

(4) エスレルの散布と落果率

ア 1981年調査

6月21日(満開後35日)に1,000ppm及び2,000ppmのエスレルを散布し、7日後に落果率の調査をしたところ、無散布の落果率は15%であったが、1,000ppm及び2,000ppmのエスレル散布果の落果率はともに100%であった。

イ 1982年調査

6月7日(満開後26日)にエスレルを250ppm及び500ppmの濃度で散布し、無散布を対照として3日ごとに落果率を調査した結果は第8図A,Bに示すとおりである。この結果をみると、処理後10日目(6月17日)にはエスレル散布区が両濃度区とも無散布区よりも落果が増加し、処理後13日目(6月20日)以降には両濃度区とも90%を越えた。250ppm区と500ppm区の落果率を比較すると、若干500ppm区の方が高い傾向を示した。しかし、無散布区では処理後13日目(6月20日)以降においても落果率は20%程度であった。

一方、エスレル散布果のエチレン発生量を分析した結果は第8図Cのとおりである。この結果をみると、エスレルを散布した翌日ではエチレン発生量が非常に多かったが、日数が経過するに従って減少した。この傾向はエスレル500ppm及び250ppmの両散布区とも全く同様であった。また、濃度別エチレン発生量を比較すると、500ppm区が250ppm区より多かった。

2. AVG, GA及びBAの混合処理と早期落果率及び果実のエチレン発生量の比較

(1) 1982年調査

遮光率50%の寒冷紗の中でAVG, GA₄₊₇及びBAの薬剤を処理したが、その落果に対する影響は第9図A,Bのとおりである。この結果をみると、処理後6日目(6月11日)以降ではGA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm区 > 対照区 > AVG・250ppm区 > AVG・250ppm+GA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm区の順で累積落果率が高かった。すなわち、エチレン阻害剤として知られるAVGは単独で用いた場合、若干落果率が低くなる傾向があり、さらにGA₄₊₇とBAを混用すると、落果率の低下は一層著しくなった。

一方、これらの処理区におけるエチレンの発生量を分析したが、その結果は第9図Cに示した。この結果をみ

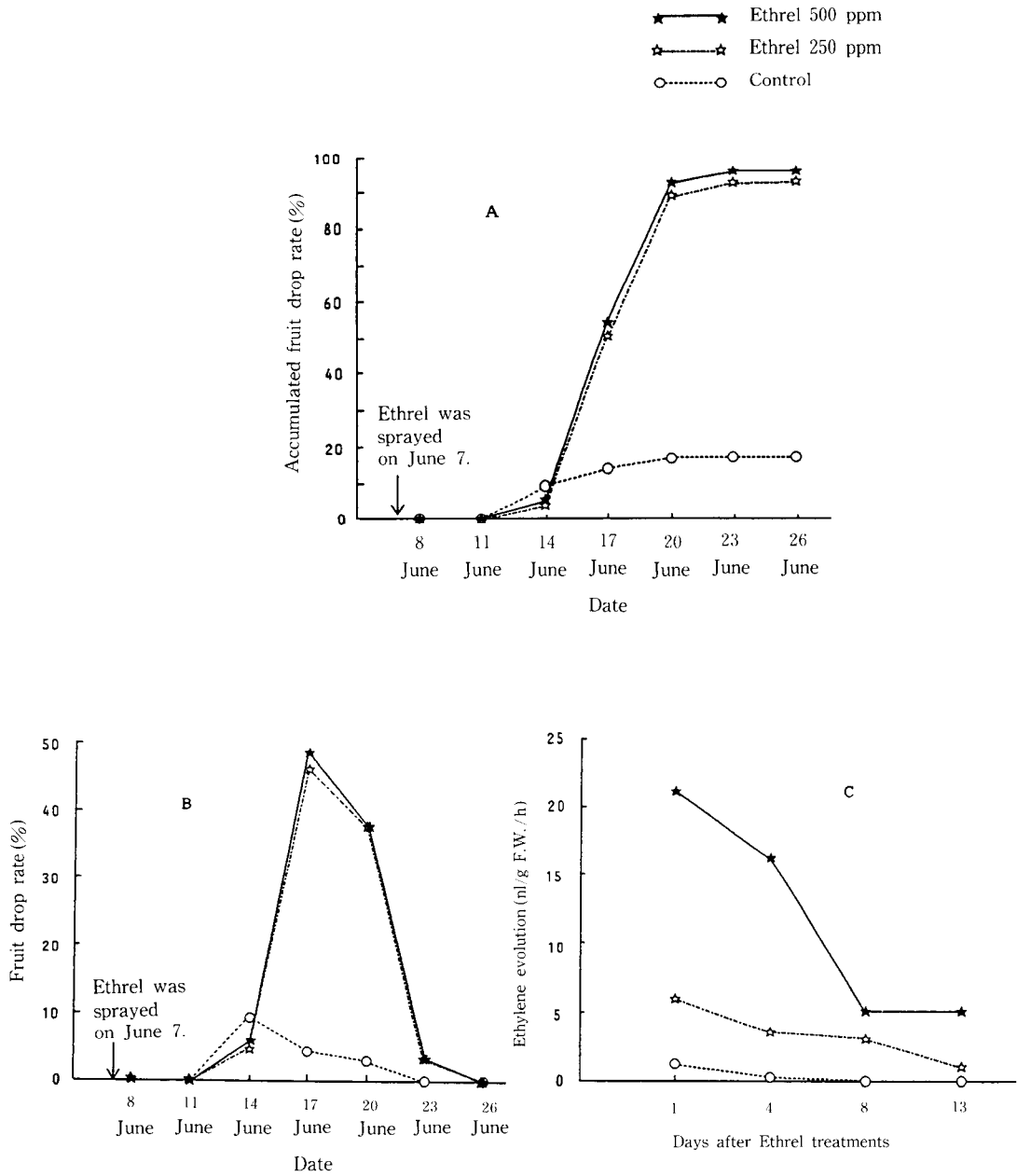


Fig. 8. Changes in fruit drop rates and ethylene evolution after Ethrel treatments in the apple fruit cv. Starking Delicious (1982).

- (A: Changes in accumulated fruit drop rates after Ethrel treatments.)
 (B: Changes in fruit drop rates after Ethrel treatments.)
 (C: Changes in ethylene evolution after Ethrel treatments.)

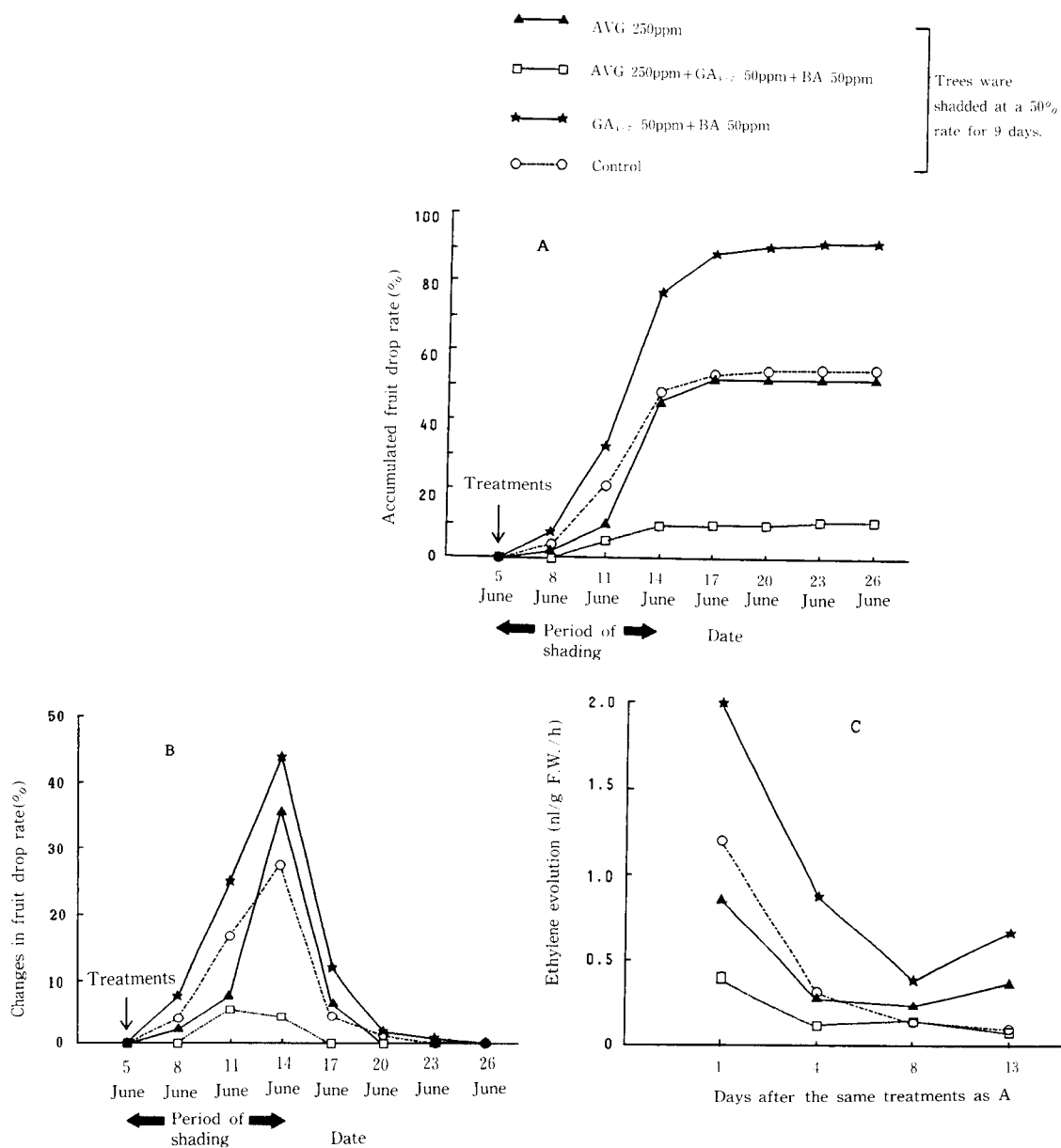


Fig. 9. Effects of AVG and its mixtures with GA₄₊₇, BA and GA₄₊₇+BA on early fruit drop rates in the apple fruit cv. Starking Delicious (1982).

- (A : Changes in accumulated fruit drop rates after treatments of AVG and its mixtures with growth regulators.
 B : Changes in the fruit drop rates after the same treatments as A.
 C : Changes in ethylene evolution after the same treatments as A.

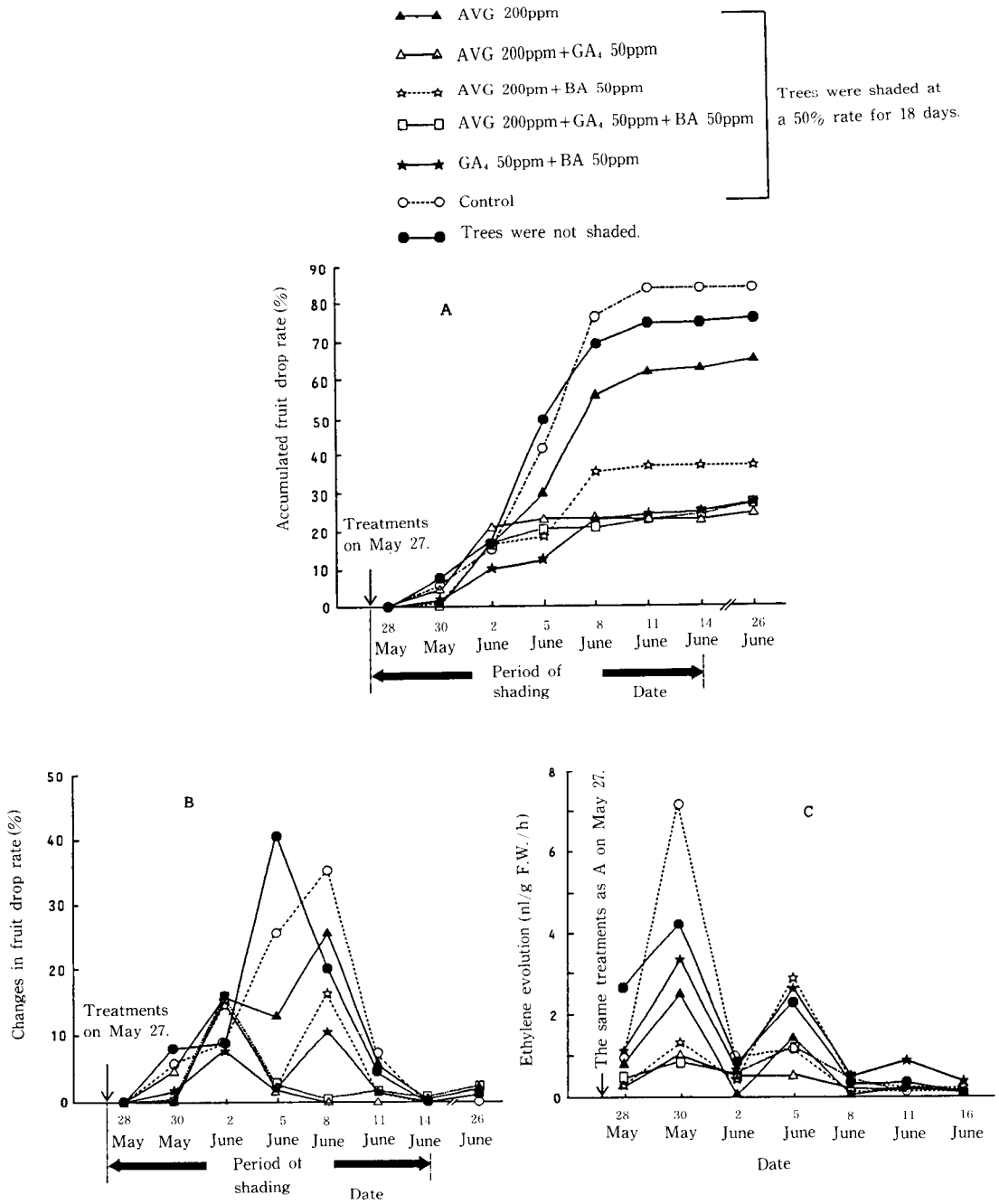


Fig.10. Effects of AVG and its mixtures with GA₄,BA and GA₄+BA on early fruit drop rates in the apple fruit cv. Starking Delicious (1983).

- (A : Changes in accumulated fruit drop rates after treatments of AVG and its mixtures with growth regulators.
- B : Changes in the fruit drop rates after the same treatments as A.
- C : Changes in ethylene evolution after the same treatments as A.

ると処理後の翌日では、エチレン発生量はGA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm区>対照区>AVG・250ppm区>AVG・250ppm+GA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm区の順となっており、エチレンの抑制効果はAVG・250ppmが存在する区にみられた。特に、その抑制効果はAVG・250ppm+GA₄₊₇・50ppm+BA・50ppmの混合区において高かった。この傾向は処理後4日まで続いたが、その後はいずれの処理区でもエチレン発生量は低下し、処理区間の差は少なくなった。

これらの結果を基にして処理区間の落果率とエチレンの発生量との関係を見ると、処理後6日目(6月11日)以降の累積落果率の順と処理後1日目及び4日目におけるエチレン発生量の順が一致した。この結果から生理的にエチレンが多量に発生する状態にある果実はその後の落果が誘発されやすいと考えることができる。

(2) 1983年調査

前年度に準じて遮光率50%の寒冷紗の中でAVG, GA₄, 及びBAの薬剤を供試し、それら薬剤の組み合わせ数をさらに多くして落果に対する影響を調査したが、その結果は第10図A, Bのとおりである。

この累積落果率をみると、処理後3日目(5月30日)及び6日目(6月2日)では各処理区間にあまり大きな差はみられなかったが、処理後9日目(6月5日)以降ではかなり差がみられた。すなわち、処理後9日目の累積落果率をみると、落果の多い区は非遮光無処理区と遮光無処理区が挙げられ、ほかの薬剤処理区の落果率はいずれもこれらの区より低かった。処理後12日目(6月8日)及びそれ以後の累積落果率をみると、遮光無処理区が最も高く、次いで非遮光無処理区で、ほかの薬剤処理区は処理後9日目と同様低かった。

薬剤処理区間の累積落果率を処理後12日(6月8日)と比較すると、落果率が著しく低い区はAVG・200ppm+GA₄・50ppm+BA・50ppm区、AVG・200ppm+GA₄・50ppm区及びGA₄・50ppm+BA・50ppm区で、次いでAVG・200ppm+BA・50ppm区、AVG・200ppm区であった。この結果は処理後30日(6月26日)まで続いた。

これらの結果をみると、エチレン阻害剤として知られるAVGは単独でも遮光無処理区より落果率が低く、しかもGA₄又はBAとの混用、またGA₄+BAとの混用はさ

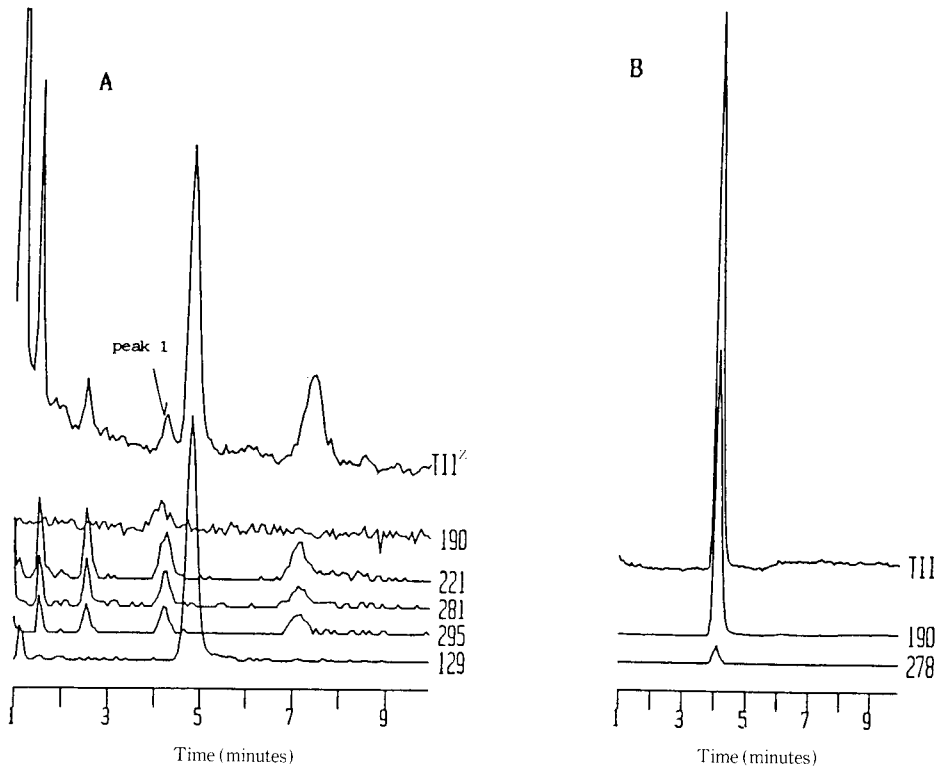


Fig. 11. Mass chromatograms^y of methyl ester derivative (A) from the top of the fruit pedicel in the apple fruit cv. Starking Delicious and abscisic acid methyl ester (B).

^zTotal ion intensity.

^yMass spectra of peak 1 and abscisic acid methyl ester are shown in Fig. 12.)

らに落果率を低下させた。

一方、これらの処理区におけるエチレンの発生量を分析した結果は第10図Cのとおりである。この結果をみると、処理後3日目(5月30日)で遮光無処理区と非遮光無処理区のエチレン発生量が著しく多く、特にその増加量は前者が顕著であった。また、この時期において薬剤処理区と無処理区におけるエチレン発生量を比較すると、 $AVG \cdot 200ppm + GA_4 \cdot 50ppm + BA \cdot 50ppm$ 区 $<$ $AVG \cdot 200ppm + GA_4 \cdot 50ppm$ 区 $<$ $AVG \cdot 200ppm + BA \cdot 50ppm$ 区 $<$ $AVG \cdot 200ppm$ 区 $<$ $GA_4 \cdot 50ppm + BA \cdot 50ppm$ 区 $<$ 非遮光

無処理区 $<$ 遮光無処理区 の順で、いずれの薬剤処理区においても無処理区よりエチレン発生量は少なかった。

しかし、処理後6日目(6月2日)以降になるとエチレン発生量は非遮光無処理区及び遮光無処理区とも減少傾向となり、しかも各処理間のエチレン発生量には時期的な変動がみられ、処理間の差は明らかでなかった。

これらの結果から、非遮光無処理区及び遮光無処理区のエチレン増加時期においてエチレン阻害剤としてのAVGの効果を見ると、AVG単独の使用の場合においても明らかにエチレン発生量を抑制するが、 GA_4 又はBA

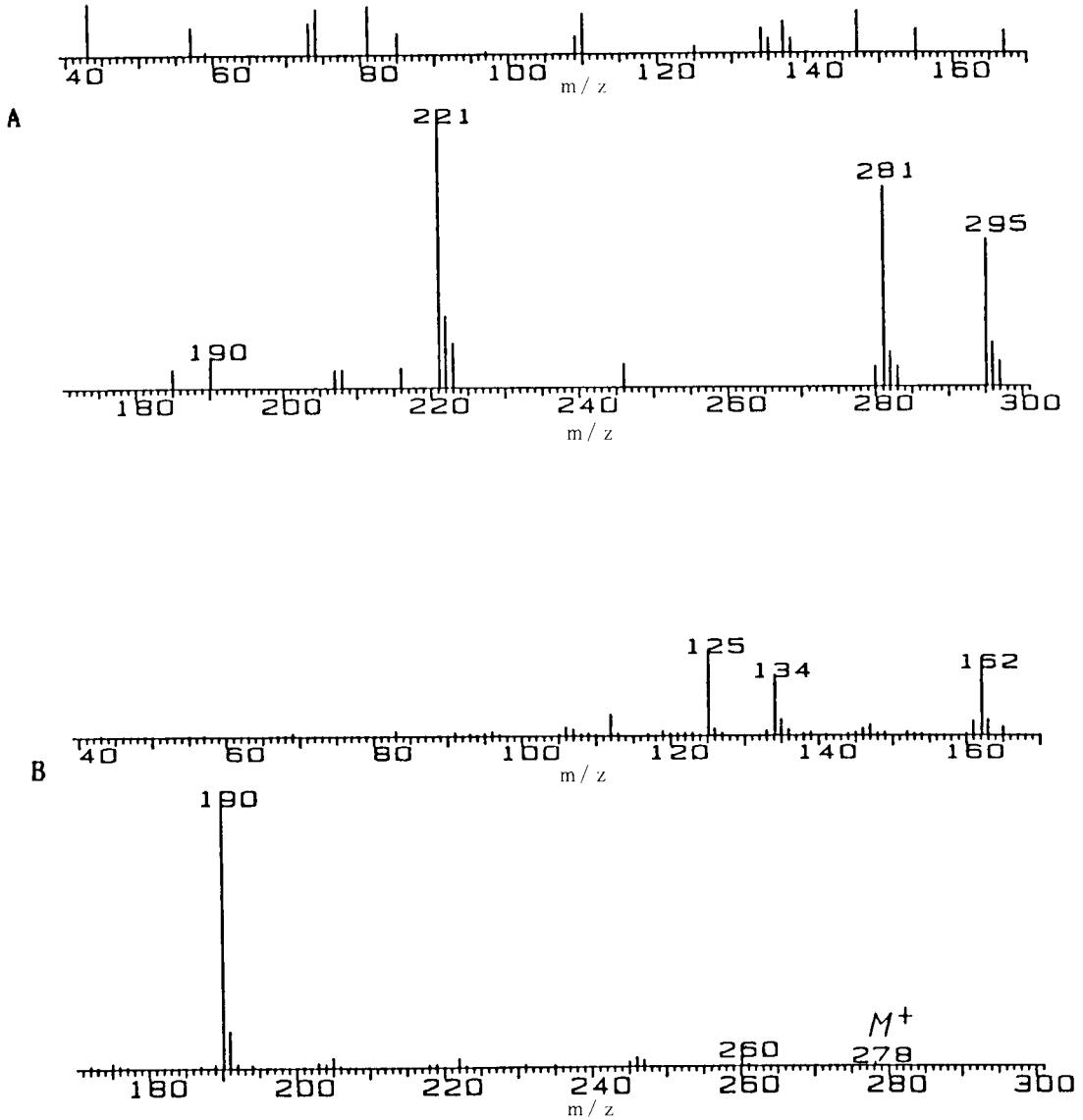


Fig.12. Mass spectra of peak 1(A) and abscisic acid methylester (B) in Fig.11.

との混合処理, さらにGA₄+BAとの混合処理は一層エチレン発生を抑制した。

3. 果梗の離層部分におけるABAの分析

発育停止果の離層部分と健全果の離層部分の両方にABAが確認された(第11, 12及び13図)。

また, これらの離層部分における ABAの量を比較したところ, 遊離型 ABAにおいては両者の間にあまり大きな差はみられなかった。しかし, 結合型 ABAは発育停止果の離層部分が健全果のそれより約2倍ほど多く, また全ABA(遊離型+結合型)も発育停止果の離層部分の方が多かった(第4表)。

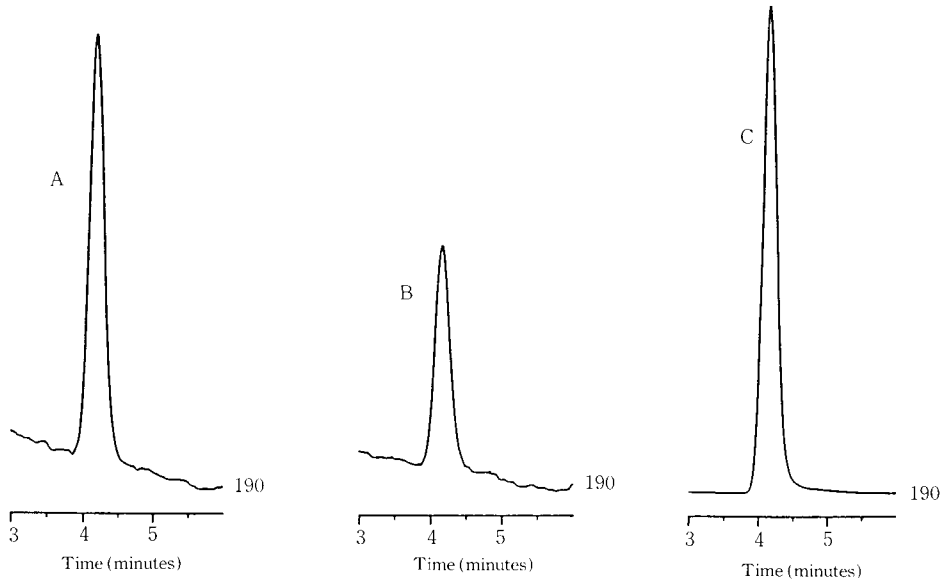


Fig.13. Mass fragmentograms of methylester derivative monitoring m/z 190.

- A : Extract before hydrolysis from the top of the fruit pedicel of persistently developing fruit.
- B : Extract after hydrolysis from the top of the fruit pedicel of persistently developing fruit.
- C : Abscisic acid methylester.

Table 4. Difference in abscisic acid in the top of the fruit pedicel between developing and non-developing fruits^z.

Fruits	Abscisic acid (ng/g F.W.)		
	Free	Bound ^y	Total
Fruits with stopped development	52	60	112
Fruits continuing to develop	60	31	91

^z The apple cv. Starking Delicious.

^y Analyzed as methylester derivative by mass fragmentography monitoring m/z 190.

IV 考 察

果実の発育が5月下旬から6月下旬にかけての幼果期に停止し、果梗が果実部分より先に黄変した果実が樹上で観察されることがある。‘スターキングデリシャス’ではこのような果実の果梗が太陽光線のもとで赤く着色されることから、津軽地方ではこの現象を俗に‘赤すね’と呼んでいる。このような発育停止果は緑色を失っていることからエチレンの発生が考えられる。

そこで、1979年6月27日(‘スターキングデリシャス’の満開後35日)に‘ふじ’、‘ゴールデンデリシャス’、‘紅玉’、‘陸奥’、‘王林’、‘レッドゴールド’、‘世界一’、‘スターキングデリシャス’及び‘つがる’の9品種について健全果と発育停止果のエチレン発生量をヘッドスペース法により分析したが、いずれの品種においても発育停止果は健全果よりもエチレン含量が多かった。この結果は早期落果した果実はエチレン生成能が大きいかを示し、またエチレンが落果及び落葉を促進するという報告(9)があることから、エチレンが早期落果に関与している可能性が考えられる。しかし、早期落果した後にエチレンが発生したことも否定できない。

そのため、エチレンの生成により果実が落下するかどうかを確認する目的で、1981年6月21日(満開後35日)にエスレルを1,000ppmと2,000ppmの濃度で‘スターキングデリシャス’に散布したが、7日後にはこれらの両散布区はともに100%の落果率を示した。すなわち、エスレル散布により早期落果が誘発されることを確認した。

しかし、100%の落果率を示したことからこの濃度では濃過ぎることが考えられたため、1982年6月7日(満開後26日)にエスレルを250ppmと500ppmの濃度で散布したところ、散布後10日目には両エスレル散布区とも無散布区より落果率が増加し、13日目以降には両エスレル散布区とも落果率が90%を越えた。すなわち、エスレルの濃度を250ppmに低下しても落果が誘発されることを確認した。この際、同時にエスレル散布果のエチレン発生量を分析したところ、散布した翌日ではエチレン発生量が非常に多かったが、日数の経過とともに減少した。この傾向はエスレルの250ppmと500ppmの両散布区とも全く同様であった。また、散布したエスレルの濃度別エチレン量を比較すると、500ppm区が250ppm区より多かった。すなわち、エスレルを散布すると、それに応じて果実は明らかにエチレンを多く生成し、落果が誘発されることを確認した。この結果は千葉ら(3)及びJonesら(10)の結果と同様であった。

次に、1980年5月29日(満開後9日)から6日ごとに自然状態におけるエチレンの消長をヘッドスペース法によりガスクロマトグラフで測定した。その結果をみると、

側果及び中心果ともエチレンが5月29日で最も多く発生し、その後は急激に減少した。また、側果と中心果のエチレン発生量の変化をみると、側果の方が中心果より初期ほど多い状態で推移した。一方、この時期における落果の波相をみると、側果及び中心果とも落果率は6月4日が最も高かった。すなわち、側果及び中心果とも最大落果率が観測される以前に最大量のエチレンが検出された。さらに、この落果率を累積落果率でみると、側果の累積落果率は中心果よりも高かった。すなわち、初期にエチレン発生量が多かった側果が累積落果率も高かった。この結果から初期のエチレン発生量の増加がその後の累積落果率の増大に関与していることが推察された。

これらの結果を年度を重ねて確認するために、1981年5月29日(満開後12日)から6日ごとに果実の時期別エチレンの発生量を同様の方法で分析したところ、全く同様の結果が得られた。すなわち、最大落果率が観測される以前に最大量のエチレンが検出された。この結果は千葉・久保田が行った結果(4)と同様であった。

このように、果実の初期生育期ではエチレンの発生することが確認されたが、果実のどの組織からエチレンが多く発生するかを知るために、果梗の離層部分と果実部分の組織内エチレンを次のようなステージで分析した。すなわち、1981年5月25日(満開後8日)の採取果(中心果)についてがくの立ち上がりが果実とがくがかなり立ち上がっている果実(ともに緑色果)の離層部分(果梗先端から約3mmまでの部位)と果実部分におけるエチレン含有量を比較した。この結果をみると、前者においては離層部分のエチレンが果実部分よりも2.3倍多かったが、後者においては逆に離層部分が約1/4と少なかった。また、両者の果実における離層部分のエチレンを比較すると、がくの立ち上がりが果実の離層部分のはがくのかなり立ち上がった果実の離層部分より163倍もエチレンが多かった。同様の比較を果実部分についてみると、前者の果実部分は後者の果実部分より約19倍多かった。すなわち、がくの立ち上がりのない、つまり落下の可能性が非常に高い幼果においては離層部分のエチレンが果実部分よりも特異的に多いことを確認した。

次に、果梗の離層部分と果実部分におけるエチレンの消長と落果の波相との関係を同年5月25日(満開後8日)から3日ごとに調査した。その結果をみると、果梗の離層部分におけるエチレン含有量は5月25日が最も多く、次いで6月6日が多かった。また、果実部分におけるエチレン含有量をみると、5月25日において最も多かったが、5月28日においては減少し、その後ほとんど変化は

みられなかった。さらに、離層部分と果実部分のエチレン含有量を比較すると、5月25日と6月6日において離層部分は果実部分より多かった。しかし、そのほかの時期においてはほとんど差がみられなかった。

一方、落果の波相を同様に3日ごとにとみると、落果率は5月31日が最も高く、次いで6月6日が高かった。すなわち、この調査においても最大落果率が観測される以前に最大量のエチレンが離層部分及び果実部分において検出された。特に、このエチレン量は5月25日の発育初期の離層部分において著しく多かった。

エチレンの脱離作用については、ワタ及びインゲンマメのエクスプラントを使用した実験で離層形成促進及びセルラーゼの活性増大が報告されており(5)、したがって、リンゴの発育初期における早期落果は果実部分のエチレンよりむしろ離層部分のエチレンが離層形成に関与する結果として発生することが推察された。

以上の結果から、特に果梗の離層部分に注目し、エチレン増大時期における健全果と発育停止果の離層部分について、ワタの脱離ホルモンとして知られるABA(12)を遊離型と結合型に分けてそれぞれ定量し、比較した。その結果をみると、遊離型 ABAにおいては発育停止果と健全果との間に大差はみられなかった。しかし、結合型 ABAは発育停止果が健全果より約2倍ほど多く、また全ABA(遊離型+結合型)も発育停止果が健全果より多かった。

ABAとエチレンの脱離作用における関係については、Cracker & Abeles(6)はワタ及びインゲンマメのエクスプラントを用いた実験で、ABAはエチレンの発生を増加し、またセルラーゼの活性を増加することを報告している。

本報における筆者らの実験では、最大落果期以前の発育ステージで、特に離層部分のエチレンが増加しており、したがって、採取された発育停止果の離層部分においてもABAの増加が推察される。また、全ABAについては発育停止果の離層部分が健全果の離層部分より多く認められ、したがって、リンゴの早期落果の脱離現象についてもワタ及びインゲンマメのエクスプラントと類似の脱離機構が推察された。

しかし、ABAについてはYoshii & Imasekiはヤエナリの下胚軸を用いた実験で、インドール酢酸の存在下ではABAは1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸(ACC)及びエチレンの生成を抑制することを報告しており(15)、落果の機構については今後はかの植物ホルモンとの影響を考慮して詳細に検討をする必要がある。

以上の結果から、エチレン発生を抑制することが早期落果の軽減につながることが想定されたため、1982年にエチレン阻害剤として知られるAVG・250ppm、及びその混合物としてGA₄₊₇・50ppmと BA・50ppmを加えた

処理区を設け、落果とエチレン生成との関係を調査した。その際、自然状態より落下しやすい条件下で効果を確認するために処理開始日から9日間遮光率50%の寒冷紗で調査樹全体を覆った。

この結果をみると、AVG・250ppmは単独で用いた場合、無散布区より若干落果率が低くなる傾向があり、さらにAVG・250ppmとGA₄₊₇・50ppm+BA・50ppmを混用すると、落果率の低下は一層著しかった。しかし、GA₄₊₇・50ppm+BA・50ppmだけの混合処理区は無散布区より落果が増加した。この結果はGreene(7)が結実確保のために満開時期に行った処理結果と一致した。

一方、これらの処理区についてその後のエチレンの発生量を分析したが、処理後の翌日では、エチレン発生量はGA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm区>対照区>AVG・250ppm区>AVG・250ppm+GA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm区の順となっており、エチレン生成の抑制効果はAVG・250ppmが存在する区に認められた。特に、その抑制効果はAVG+GA₄₊₇+BAの混合処理区において高かった。この傾向は処理後4日まで続いたが、その後はいずれの処理区でもエチレン発生量は低下し、処理区間の差は少なくなった。この結果もGreene(7)が行った結果と同様であった。

これらの結果から、処理区間の落果率とエチレン発生量との関係をみると、処理後6日目以降の累積落果率はGA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm区>対照区>AVG・250ppm区>AVG・250ppm+GA₄₊₇・50ppm+BA・50ppm区の順で、この結果は処理後1日目及び4日目におけるエチレン発生量の順と一致した。したがって、エチレン発生を抑制するような処理を早期落果の発生初期に行うことにより落果を抑制できることが確認された。

このことをさらに年度を重ねて確認するため、1983年に次のような実験を行った。すなわち、前年度と同様に遮光率50%の寒冷紗の中でAVG・200ppm、GA₄・50ppm及びBA・50ppmの薬剤を供試し、その薬剤の組み合わせをさらに多くして落果に対する影響を調査した。

この結果をみると、AVG・200ppmは単独でも無処理より累積落果率が低く、しかもGA₄・50ppm又はBA・50ppmとの混用、またGA₄・50ppm+BA・50ppmとの混用はさらに累積落果率を低下させた。

一方、前年と同様、これらの処理後のエチレン発生量を分析したが、無処理区のエチレン増加時期においてAVG・200ppmのエチレン阻害剤としての効果をみると、単独使用の場合は明らかにエチレン発生量を抑制し、しかもGA₄・50ppm又はBA・50ppmとの混用、さらにGA₄・50ppm+BA・50ppmとの混用は一層抑制した。すなわち、このAVGのエチレン抑制効果と落果の抑制効果は前年度と全く同様であった。しかし、前年度のGA₄₊₇・50ppm+BA・50ppmの処理区とGA₄・50ppm+BA・50ppmの比

較をすると、前者においてはエチレン発生量及び落果率がともに無処理区より多かったが、後者においてはエチレン発生量及び落果率も無処理区よりともに少なかった。この結果は、BAとGAとの混合においては、使用するGAの種類すなわち、GA₄とGA₄₊では落果に対する影響が異なるように思われた。

一方、遮光した場合としない場合のエチレン発生量と落果率の関係をみるために、1983年に前述と同様5月27日（満開後21日）から6月14日までの18日間遮光率50%の寒冷紗で調査樹を覆った。この結果をみると、処理開始時から12日以後に遮光区は非遮光区よりも累積落果率が増加した。一方、エチレン発生量の推移をみると、処理後3日目には両区とも全調査時期を通じて最も多くエチレンが発生し、遮光区は非遮光区を上回った。しかし、その後のエチレン発生量は減少し、しかも時期によりか

なり変動がみられ、両者の差は明らかでなかった。また、両者の落果の波相をみると、ともにほぼ6月5日から8日にかけて最も落果率が高かった。すなわち、ともに最大落果率が観測される以前に最大量のエチレンが検出され、しかもその時のエチレン生成量の多い遮光区がその後の累積落果率も高かった。この結果は、側果と中心果の比較において、側果がエチレンの増大時期に中心果よりエチレン生成量が多く、しかもその後の累積落果率も高かったことと類似していた。

以上の結果から、エチレンとABAは‘スターキングデリシャス’における早期落果の脱離過程に関与しているものと推察された。また、AVGとGA、BA及びGA+BAとの混合処理は早期落果を著しく抑制することが確認された。

V 摘 要

早期落果とエチレンとの関係に注目し、時期別エチレン発生量と落果の関係、離層部分（果梗先端部分）のエチレン含量と落果の関係、AVG、GA及びBAとの混合処理と落果及びエチレン発生量との関係、さらに遮光と落果及びエチレン発生量との関係を検討した。また、発育停止した果実の離層部分のABAをGC-MSにより分析し、健全な果実のそれと比較した。その結果は次のとおりである。

1. がくの立ち上がりがない幼果とがくのかなり立ち上がった幼果の離層部分及び果実部分のエチレンを比較したところ、前者は後者より離層部分及び果実部分の両方の組織でエチレンが多かった。特に、その差は離層部分で著しかった。

2. 落果の波相と果梗の離層部分及び果実部分におけるエチレン含量の変化をみると、最大落果率が観測される以前に両方の組織で最大量のエチレンが観測された。このエチレン増大期においては、果梗の離層部分のエチレンが果実部分より著しく多かった。

3. 発育停止果と健全果の果梗における離層部分のABA量を比較したところ、遊離型ABAは両者の間にあまり差がみられなかった。しかし、発育停止果の離層部分は健全果の離層部分より結合型ABAが多く、また全ABA（遊離型+結合型）も同様の結果であった。

4. 落果の波相とエチレン生成能力の関係をみると、最大落果率が観測される以前に最大量のエチレン発生が観測された。

5. 側果と中心果の落果とエチレンとの関係をみると、エチレン増大期において側果のエチレン発生量は中心果よりも多く、しかもその後の累積落果率も高かった。

6. 遮光と落果及びエチレンとの関係をみると、遮光区は非遮光区よりエチレン増大期でエチレン発生量が多く、またその後の累積落果率も多かった。

7. エスレルを散布すると、エチレンの発生量が増大し、落果も増加した。

8. AVG、GA（A₄又はA₄₊）及びBAとの混合処理と落果及びエチレン発生量との関係をみると、AVG単独処理、AVGとGA又はBAとの混合処理、さらにAVG+GA+BAの混合処理はエチレン増大期でエチレン発生を抑制し、その後の累積落果率も抑制した。この効果はAVGとGA、BA、及びGA+BAとの混合処理で特に高かった。

9. 以上の結果から、エチレンとABAは‘スターキングデリシャス’における早期落果に関与しているものと推察された。また、AVGとGA、BA及びGA+BAとの混合は早期落果を著しく抑制することが確認された。

引用文献

1. 青森県農林部りんご課 (1979) 昭和54年度りんご指導要項 生産編：37-42.
2. 青森県りんご試験場(1934) 昭和9年度業務年報：27-31.
3. 千葉和彦・久保田貞三・巢山太郎(1973) リンゴ幼果期の果実肥大，エチレン発生及び摘果効果に及ぼす 2-chloroethyl phosphonic acidの影響. 園学要旨. 昭48春：108-109.
4. 千葉和彦・久保田貞三(1979) リンゴの早期生理落果とエチレン発生，およびそれに及ぼす摘果剤デナボンの影響. 果樹試報C. 6：55-64.
5. CRACKER, L. E. and F. B. ABELES (1969) Abscission : Quantitative measurement with a recording abscissor. *Plant Physiol.* 44 : 1139-1143.
6. CRACKER, L. E. and F. B. ABELES (1969) Abscission : Role of abscisic acid. *Plant Physiol.* 44 : 1144-1149.
7. GREENE, D. W. (1980) Effect of silver nitrate, aminoethoxyvinylglycine, and gibberellins A₄₊₇ plus 6-benzylamino purine on fruit set and development 'Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 : 717-720.
8. 池田 芳・紺野和彦(1980) 新規エチレン発生剤の生理作用. *植物の化学調節.* 15 : 112-119.
9. 岩堀修 (1969) エチレンの植物に対する作用と園芸作物の利用. *植物の化学調節.* 4 : 40-51.
10. JONES, K. M., T. B. KOEN and R. J. MEREDITH (1983) Thinning Golden Delicious apple using ethephon sprays. *Hort. Sci.* 58 : 381-388.
11. LEOPOLD, A. C. (1971) Physiological process involved in abscission. *Hortscience.* 6 : 376-378.
12. 増田芳雄・勝美允行・今関英雄 (1974) 植物ホルモン：251-289. 朝倉書店，東京.
13. 増田芳雄・勝美允行・今関英雄 (1974) 植物ホルモン：289-342. 朝倉書店，東京.
14. MURNEEK, A. E. (1954) The embryo and endosperm in relation to fruit development with special reference to the apple, *Malus sylvestris*. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 64 : 573-582.
15. YOSHII, H. and H. IMASEKI (1981) Biosynthesis of auxin-induced ethylene. Effects of indole-3-acetic acid, benzyladenine and abscisic acid on endogenous levels of 1-amino cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) and ACC synthase. *Plant and Cell Physiol.* 22 : 369-379.

Relationship between Early Apple Fruit Drop and Ethylene, and Analysis of Abscisic Acid in Abscission Zone of the Fruit Pedicel by Gas Chromatography—Mass Spectrometry

Shoji NORO, Nobumi OBARA, Niro KUDO, Toshihiro MIKAMI¹⁾
and Takaharu KITSUWA²⁾

Aomori Apple Experiment Station
Kuroishi, Aomori 036-03, JAPAN

²⁾ Shimadzu Corporation Tokyo Research and Applications Laboratory
Chofu, Tokyo 182, JAPAN

Summary

Early fruit drop and ways to prevent it in the apple cv. Starking Delicious were studied. The investigation included: 1) the measurement of differences in endogenous ethylene content between fruitlets with a raised calyx and fruitlets without a raised calyx; 2) change in endogenous ethylene content in both the fruit tissue and the top of the fruit pedicel, including abscission zone, during the time of early fruit drop; 3) effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) and its mixture with regulators on ethylene evolution and early fruit drop; 4) effects of Ethrel (2-chloroethylphosphonic acid) sprays on ethylene evolution and early fruit drop; 5) relationship between a 50 % shading of trees, ethylene evolution of the fruit and early fruit drop; and 6) an analysis of abscisic acid in the top of the fruit pedicel, including the abscission zone, by gas chromatography—mass spectrometry (GC—MS).

Ethylene evolution was analyzed by gas chromatography (GC) using the head space method after incubating the fruit at 30° C for 5 hours. Endogenous ethylene content in the tissue was analyzed by GC after heating the tissue to 200° C in nitrogen using pyrolyzer for GC.

The results are as follows:

1. Endogenous ethylene content in fruitlets without a raised calyx was greater than that in fruitlets with a raised calyx in both the top of the fruit pedicel and the fruit tissue. The difference was greater in the top of the fruit pedicel than in the fruit tissue.
2. The highest quantities of ethylene evolution of fruit were detected before the highest percentage of early fruit drop was observed.
3. The highest quantities of endogenous ethylene content in both the fruit tissue and the top of the fruit pedicel were detected before the highest percentage of early fruit drop was observed. At the time when the highest quantities of ethylene content were detected, endogenous ethylene content in the top of the fruit pedicel was greater than that in the fruit tissue.
4. Ethylene evolution from lateral fruits of cluster was more than that from central fruits of cluster. Also the accumulated percentage of subsequent early drop of the lateral fruits was greater than that of the central fruits.
5. When apple trees were shaded at a 50 % rate, ethylene evolution of the fruit in the shaded trees was more than that in the trees not shaded at the time when the highest quantities of ethylene were detected. The accumulated percentage of subsequent early fruit drop in the shaded trees was more than that in the trees not shaded.

Received for publication, July 31, 1987.

¹⁾ Present address: Aomori Field Crops and Horticultural Experiment station. Gonohe, Aomori 039-07, JAPAN

6. Ethrel treatments increased both ethylene evolution of fruit and fruit drop.
7. The fruit treated with AVG reduced ethylene evolution at the time when the highest quantities of ethylene were detected in the control, and also reduced subsequent early fruit drop. Applications of mixtures of AVG and growth regulators, such as gibberellins (GA_{4+7} or GA_4), 6-benzylamino purine (BA), GA_{4+7} (or GA_4) + BA, reduced both ethylene evolution and subsequent early fruit drop more than treatment of only AVG.
8. Bound abscisic acid in the top of the pedicel of fruits with stopped development was more than that of fruits continuing to develop, whereas there was no difference in free abscisic acid in the top of the fruit pedicel between developing and non-developing fruits. Total abscisic acid in the top of the pedicel of the fruits with stopped development was more than that of the fruits continuing to develop.
9. These results suggest that ethylene and abscisic acid are related to the process of abscission in early fruit drop and that mixtures of AVG and growth regulators such as GA (GA_{4+7} or GA_4), BA, and GA + BA, remarkably reduce the early fruit drop in the apple cv. Starking Delicious.

