

リンゴの早期生理落果に関する研究

— 落果の機構解析とその制御について —

近 藤 悟

Studies on the Early Fruit Drop of Apple (*Malus*
pumila Mill. var. *domestica* Schneid.)

— An Analysis of the Mechanism of Fruit
Abscission and its Regulation —

Satoru Kondo

目 次

第1章 緒 論	3	第2節 材料及び方法	15
第2章 早期落果に関与する気象要因と栽培 管理		1. 夜間の高温及び遮光処理が落果率、果 実肥大度ならびに新しょう伸長量に及 ぼす影響	
第1節 緒 言	5	2. 幼果のエチレン発生と呼吸量、及び夜 間の高温下ならびに遮光条件下におけ るエチレン発生抑制剤の散布が落果に 及ぼす影響	
第2節 材料及び方法	5	第3節 結 果	17
1. 気象要因と早期落果との関係		1. 夜間の高温及び遮光処理が落果率、果 実肥大度ならびに新しょう伸長量に及 ぼす影響	
2. 窒素施肥及び環状除皮・切傷による樹 勢の相違と早期落果との関係		2. 幼果のエチレン発生と呼吸量、及び夜 間の高温下ならびに遮光条件下におけ るエチレン発生抑制剤の散布が落果に 及ぼす影響	
3. せん定の程度が早期落果に及ぼす影響		第4節 考 察	20
第3節 結 果	7	第4章 夜間の高温条件下における早期落果と 果実のエチレン発生	
1. 気象要因と早期落果との関係			
2. 窒素施肥及び環状除皮・切傷による樹 勢の相違と早期落果との関係			
3. せん定の程度が早期落果に及ぼす影響			
第4節 考 察	13		
第3章 夜間の高温及び遮光条件が早期落果に 及ぼす影響			
第1節 緒 言	15		

第1節 緒 言	22	第6章 総合考察	40
第2節 材料及び方法	22	摘 要	45
1. ‘つがる’、‘スターキング・デリシャス’、‘ふじ’の早期落果と果実のエチレン発生		謝 辞	46
2. 離層形成、離層部のセルラーゼ活性ならびに種子発育に及ぼすAVG及びエセフォンの影響		引用文献	47
第3節 結 果	24		
1. ‘つがる’、‘スターキング・デリシャス’、‘ふじ’の早期落果と果実のエチレン発生			
2. 離層形成、離層部のセルラーゼ活性ならびに種子発育に及ぼすAVG及びエセフォンの影響			
第4節 考 察	28		
第5章 リンゴの早期落果と内生生長調節物質との関係、ならびにMCPB、GA ₃ +GA ₄ 及びBAの散布が早期落果に及ぼす影響			
第1節 緒 言	30		
第2節 材料及び方法	31		
1. ‘スターキング・デリシャス’及び‘ふじ’の種子中における内生生長調節物質の消長			
2. 遮光処理下でのMCPB、GA ₃ +GA ₄ 及びBA散布が早期落果に及ぼす影響			
第3節 結 果	33		
1. ‘スターキング・デリシャス’及び‘ふじ’の種子中における内生生長調節物質の消長			
2. 遮光処理下でのMCPB、GA ₃ +GA ₄ 及びBA散布が早期落果に及ぼす影響			
第4節 考 察	37		

第1章 緒

論

1. リンゴの早期生理落果現象の概要

永年性作物である果樹の生育は枝の伸長、葉の展葉と緑化といった栄養生長と、花芽を形成し果実を結果、發育させるという生殖生長の二面によって形成される。結果現象は高等植物の生活環において基本的な過程である⁹³⁾が、果実生産を目的とする果樹の果樹たる所以でもある。

リンゴはバラ科 (Rosaceae) ナン亜科 (Pomoideae) リンゴ属 (*Malus*) に分類される。25~30種あるリンゴ属植物の多くは自家不和合性である⁶⁵⁾。このため、結果には和合性のある他品種の花粉による受粉と受精が不可欠な要素であり、多くの場合、受精しなかった花は結果せずに落花・果する。リンゴ果実の發育過程においては、このような不受精による落花・果のみでなく、受精し結果した後も、収穫までの果実の發育ならびに成熟期間中において、各種の生理的な原因により落果する。この落果の波相には、一般的に数回のピークのあることが観察されているが、Luckwill⁹⁸⁾はこの生理的落果のピークを果実發育に深く関わりを持つ種子⁹³⁾の發育段階と対応させて三つの時期に分類した。すなわち、第1期は胚乳が遊離核、胚が前胚状態にある落花3~4週間後の時期とし、第2期は胚乳が遊離核状態から細胞壁形成状態に変化し、一方、胚の形成が始まり完成するまでに当たる落花7~10週間後の時期、いわゆる June drop、そして第3期は胚乳や胚の生長が終わり種子が休眠期に入る時期、いわゆる後期落果(収穫前落果)とした。しかしながら、品種や気象条件の違いによって影響を受けるものの、第1期と第2期の落果ピークは連続あるいはごく接近する場合が多いため、一般に第2期までを早期落果、そして第3期のピークを収穫前落果と呼んでおり、本論文においてもこれに従うこととした。

早期落果は、リンゴ以外にもモモ^{23, 24, 25, 34, 89, 90, 135, 144, 160)}、オウトウ^{137, 169, 170)}、ブドウ¹²⁰⁾、カキ^{66, 148, 149, 150)}、カンキツ^{55, 56, 67, 124)}など、我が国で栽培されている主要果樹のほとんどに毎年見られる現象である。

したがって、結果量が十分であり、かつ同程度に早期落果が発生するのであれば、それを見越して摘果などの人為的操作によって結果量を確保すればよいことになる。しかしながら、早期落果の發生度は年によって変異するため、生産農家にとっては収量不安定の大きな原因となっている。

1978年に、秋田県北部、青森県全域に発生した早期落果は、デリシャス系品種特に、‘スターキング・デリシャス’を中心として‘レッドゴールド’、‘世界一’、‘祝’など多品種に及んだ。秋田県北部での被害面積は総結果樹面積の50%以上に当たる400haに及び、被害金額はほぼ4億円と推定された。また、我が国のリンゴ栽培面積のおよそ47%を占める青森県では、全栽培面積の38.3%の9,314haが被害を受け、被害総額122億円、うち108億円が栽培面積の40%以上を占めていたデリシャス系品種によるものと報告されている¹²²⁾。

数十系統あるデリシャス系品種の枝変わりの一つである‘スターキング・デリシャス’は、1921年にアメリカ合衆国ニュージャージー州で発見された品種であるが、この‘スターキング・デリシャス’は芳香があり果実品質が優れ、デリシャス系の品種の中心的な品種であるため、世界的に主要品種の一つとなっている⁶⁵⁾。そのため我が国でも昭和30年代から増殖が進み、昭和52年にはリンゴ全生産量の36%余りを占めるに至ったが¹¹⁸⁾、早期落果が激しく生産量が不安定であることが、栽培上深刻な問題となっている。

また、最近増殖の進んできている‘つがる’、さらに‘レッドゴールド’、‘紅玉’、及び‘世界一’なども生理落果しやすい品種として知られている。また、果実品質の優れたこれらの品種が交配親となった場合に、生理落果しやすい性質が後代に引き継がれることも十分に予想される。そのため、早期落果の機構を解明し、その防止技術を確立することは、リンゴ栽培における生産量の安定化のために極めて重要な課題と考えられる。

2. リンゴの早期生理落果に関する解析及び 防止研究の方向

早期落果現象は品種によってその発生度は分かれるが、落果しやすい品種でも年によって発生度が異なることは、年によるリンゴ樹の栄養条件、それに関与する気象、土壌条件などの環境要因との関連性の強い現象であると考えられる。

Tukey¹⁵⁵⁾は、リンゴ‘旭’の果実生長に及ぼす夜温の影響を調査するため夜間に加温したところ、当初果実肥大が促進されたものの幼果の落果が多く観察されたことを報告した。一方、日照の制限が早期落果を促進したことが、いくつかの報告によって示されている^{23, 24, 71, 144, 146)}。そこで本研究では樹をとりまく環境要因として、まず最初に気象要因と早期落果との関係を解析し、その結果に基づいて落果を促進する気象条件の再現を試みた。さらにそれらの気象要因が樹体に及ぼす影響を調査し、早期落果との関連性を追求した。また一般的に、早期落果の程度は個々の樹によっても異なることが知られているが、本試験では特に樹勢との関係を中心として栽培管理との関連を追求し、慣行的に行われている栽培技術によってその軽減が図れるかどうかについても検討した。

リンゴの早期落果現象は果梗の基部と果台の間に離層が形成され、離層部での細胞分離と細胞壁の破壊が引き起こされることによって生じる³⁾。果実果梗部の離層形成には内生生長調節物質の働きが深く関与しているが^{3, 93)}、リンゴではLuckwill⁹⁷⁾によって、種子中のオーキシン含量と早期落果との関係が検討され、それによると種子中のオーキシン活性の消長と落果のピークに関連がみられ、活性の低い時期に落果が多いということが報告されて以来、特にオーキシン、エチレン、そしてオーキシンとエチレンの相互関係の面から研究されてきた^{11, 48, 141)}。Reid¹³⁶⁾はエチレンと落果に関する論議の中でAddicottの論文⁵⁾を引用し、エチレンは落果に関与する作用や

局所的な作用以上に落果に関して典型的な役割を担っているとしている。しかしながら、エチレンの作用機構についてはいまだ不明な点が多く、ジベレリンを始めとして他の内生生長調節物質も深く関わっていることが推察されている⁹⁹⁾。さらに、これら植物ホルモン剤を外生的に利用した実用的な早期落果の防止技術は確立されていない。本研究では早期落果の機構を解析するに当たって、‘スターキング・デリシャス’の比較対照品種として、既往の観察により調査年、栽培環境が同じ場合にも早期落果の少ない‘ふじ’を選定した。‘ふじ’は1962年に農林水産省果樹試験場盛岡支場で‘国光’に‘スターキング・デリシャス’を交配して育成、登録された品種⁶⁵⁾であるが、果実品種及び貯蔵性の優れることから増殖され、昭和62年には全国のリンゴ栽培面積の42.8%を占め¹¹⁹⁾、現在わが国の主力品種になっている。このようなことから、本研究では、早期落果の多い‘スターキング・デリシャス’と早期落果の少ない‘ふじ’の、我が国で栽培されている代表的2品種を比較し、オーキシン、ジベレリン、サイトカイニン、エチレンの消長と早期落果との関係を検討した。さらに、早期落果を促進する気象条件下で、これら植物ホルモン剤を利用した効果的な落果防止法の確立を試みた。

概して、これまでの研究では早期落果現象を解析するに当たって、気象条件、受粉状態、摘果程度など外的な面から、そして内生生長調節物質を中心とした生理的な面から、それぞれ別々に考察したものが多いと思われる。本研究では、樹体及び果実生理に大きく影響を及ぼす気象などの環境要因の解析を行って得られた資料から、栽培管理と早期落果との関係を明らかにした上で、さらに内生生長調節物質の消長と関連させながら、早期落果問題を検討することができるように研究を進めた。本研究の結果から実用的に利用できる早期落果防止に関する技術の一端を確立することができうるものとする。

第2章 早期落果に関与する気象要因と栽培管理

第1節 緒 言

果実は受粉後の細胞分裂とその後の細胞肥大によって発育していく。果実の生長の様式は果樹の種類によって異なり、リンゴ、ナシ、カンキツなどはS字（Sigmoid）型の生長曲線を示し、ブルーベリー、ブドウ、オリーブなどは2重S字（Double sigmoid）型の曲線を示す³¹⁾。このように果実はそれぞれの発育型を持っているが、いずれにしてもこれらの果実の生長は気温、日照、無機養分の多少など多くの要因によって影響を受ける^{73, 151, 155)}。早期落果はいわば果実の発育が停止することであるから、これら環境要因と果実発育及び落果との関係がこれまでも追求されてきた。

日照との関係について、モモの枝を10日間遮光したところ、激しい早期落果が発生したことが観察され²³⁾、また、リンゴ‘レッドローム’の枝に対する落花23日後より1週間の遮光が着果を減少させたことが報告されている¹⁴⁴⁾。カキにおいても、生理的落果が梅雨期に多いのは、降雨の多少よりも日照量の不足が原因であるとされている¹¹⁶⁾。気温との関係について、リンゴ‘スパータン’を開花後7日目から30日間加温処理したところ、処理開始20日目前後に幼果の激しい落果が見られたことが報告されている¹⁵¹⁾。一方、自然条件下での早期落果現象に関して、熊谷⁸⁶⁾は5年間にわたってリンゴ‘デリシャス’の落果波相と気象との関係を調査しているが、受粉に影響を与える満開日から1週間前の降水量や日照時間との関係は認め

られたものの、結果後の、満開日から満開7週間後までの期間の気象条件と落果率との間には明らかな傾向が見られなかったとしている。一方、秋田県北部で異常な早期落果が発生した1978年において、満開30日後以降6～7月にかけての気象状況は、最高及び最低気温が高くまた降水量が多いなど明らかに平年とは異なっていた。そこで本試験においては、最初に早期落果が異常に多く発生した1978年の気象条件の特徴を明らかにし、さらにその後7年間の気象要因と落果波相との関係を統計的に解析し、落果に関与する気象要因と強く関与する時期を明らかにしようとした。

次に、果実の結果及びその後の発育と栄養生長、特に枝の生長との関わりについてはいくつかの報告があるが^{101, 133)}、なかでもQuinlanら¹³⁴⁾は、枝の生長がリンゴの早期落果を左右する要因であるとし、摘心処理によって、僅かではあるが落果が軽減されたことは、葉で生産された光合成産物が果実に多く分配されたためであるとした。一般に多肥、特に窒素の多施用は枝の伸長を旺盛にし、強せん定もまた同様な現象を生じることが経験的に知られている。そのため、新しょうの生長が極端に旺盛になると果実と新しょうとの間に養分の競合が生じ、このことが早期落果を促進することが推察される。本試験においては、栄養生長に影響を及ぼす栽培的要因として施肥及びせん定を取り上げ、これらと早期落果との関わりを検討した。

第2節 材料及び方法

1. 気象要因と早期落果との関係

早期落果の激しかった1978年の気象状況を検討した。すなわち、満開日の5月15日から早期落果の終了した満開55日後の7月9日までの日照時間、降水量、最高気温、最低気温について、1968～1981年の各々の平均値

と比較した。また、1979年から1985年の各年の満開日から早期落果終了日（その後の派生的な落果を除く）までの落果の波相と、この期間の上記と同じ気象要素とを調査し、早期落果率と気象要素との関係について後記する方法で統計解析した。

落果波相の調査には、まず予備調査として1979年及び1980年に台木の異なるマルバカイドウ台及びM.26台の‘スターキング・デリシャス’を用いたが、M.26台樹とマルバカイドウ台樹の落果波相に大きな差がみられなかったため、落果波相の基礎調査は1981年以降は7～10年生のM.26台の‘スターキング・デリシャス’、各々3樹ずつを供試した。結果の確認された150果にラベルして満開10日後より早期落果が終了したと思われる7月上旬まで毎日ないし隔日に調査した。なお、試験1、2、3ともすべて秋田県果樹試験場鹿角分場（秋田県鹿角市花輪字小坂野）は場に植栽されている樹を供試した。は場の土壌条件は以下の通りである。

土性名：腐植質火山灰土壌

根群の分布している土層の深さ：60cm

根群の分布している土壌の化学性：pH 5.6、CEC 42.3me

統計処理の方法は、満開日を0日として5日間隔、7日間隔、あるいは10日間隔に落果終了日までを区切り、それぞれの期間毎に、1日当たりの最高気温、最低気温、平均気温、日照時間及び降水量の平均値を求め、それらを説明変数とし最終的な落果率を目的変数として、単相関係数または重相関係数を変数増減法によりすべて計算し、分散分析の結果その分散比F値に有意性が認められ、かつ相関係数の高いものの回帰式を求めた。

なお、気象観測値は秋田県果樹試験場鹿角分場内にある農業気象総合記録装置（飯尾電気、AMR-1702型）により、また、日平均気温は（日最高気温＋日最低気温／2）、日照時間は検出器による電圧信号の一定値以上（ $0.3\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ）の時間の積算である。

2. 窒素施肥及び環状除皮・切傷による樹勢の相違と早期落果との関係

1983年にMM.106台の‘スターキング・デリシャス’10年生樹を供試した。個々の樹の樹勢に差を生じさせるため、1979年4月より施肥量の増減及び環状除皮・環状切傷処理を行った。

供試樹の施肥には化成肥料（N：20.0%、P：8.0%、

K：14.0%）、または堆肥（N：1.05%、P：2.83%、K：1.60%、有機物：30.0%）を継続して用いた。環状除皮は幅1.0cmに、環状切傷処理は鋸で上下に2本入れ、いずれも6月中旬に接木部位より20cm上の主幹部分に行った。

処理区は、A：化成肥料、10a当たり年間窒素成分換算20kg（以下、窒素成分換算を-Nと記す）、B：化成肥料、10kg-N、C：化成肥料、5kg-N、D：堆肥、15.8kg-N、E：化成肥料、10kg-N及び試験開始1年目（1979年）環状除皮処理、3年目（1981年）環状切傷処理の5区とした。

主幹形仕立てで、強い切り返しせん定や間引きせん定の行われていない樹を各処理区より3樹ずつ選び、結果の確認された中心果100果にラベルし、満開14日後より落果の波相を調査した。また、1樹につき頂端新しょう（結果母枝の先端部から発生した発育枝）10本にラベルし、満開16日後（5月26日）から満開53日後（7月2日）まで6～7日毎にその長さの測定を行ない、新しょう伸長量、停止時期と落果率との関係についても検討した。また、常法により7月下旬に供試樹の頂端新しょう中央部の葉を採取し、葉内無機成分含量の分析に供した。分析は常法により、窒素はケルダール法、カルシウム・マグネシウム・カリは原子吸光分光光度計（日立、170-30型）、リンは分光光度計（日立、100-50型）により測定した。

3. せん定の程度が早期落果に及ぼす影響

1984年にフリースピンドル仕立てのM.26台‘スターキング・デリシャス’7年生樹を供試し、1処理区当たり3樹とした。満開10日後に、1樹につき結果が確認された中心果30個を樹全体にばらつくように、また同程度の大きさの果実を選んでラベルし、早期落果が終了したと思われる7月上旬まで7日毎に落果状況を調査した。さらに1樹当たり頂端新しょう10本にラベルし、試験2の調査と同様に調査した。

1982年より処理を行い、せん定は切り返しせん定を主体とし、せん除にともなう頂芽数の減少の程度に応じて、A：強せん定区（全頂芽数の50～60%をせん除）、B：標準区（全頂芽数の30～35%をせん除）、

C: 弱せん定区(全頂芽数の10~15%をせん除)とした。施肥は4月下旬及び9月下旬に行い、窒素成分で10a

当たり10kg(4月: 6kg、9月: 4kg)の施肥量とした。

第3節 結 果

1. 気象要因と早期落果との関係

1978年は満開36日後の6月20日ごろから7月上旬にかけて激しい早期落果が発生し、地域によっては80~100%の落果率となった。同年の満開時から7月上旬までの気象資料(第1図)を平年値(1968~1981年)と比較してみると、満開31日後の6月15日以降、最高気温

及び最低気温が平年より高く経過し、特に最低気温は6月16日から6月21日までは平均19.6°Cで、平年を7.1°C上回った。加えて、満開27日後の6月11日から6月22日まで日照時間が少なく、降水量の多かったことが特徴としてあげられる。

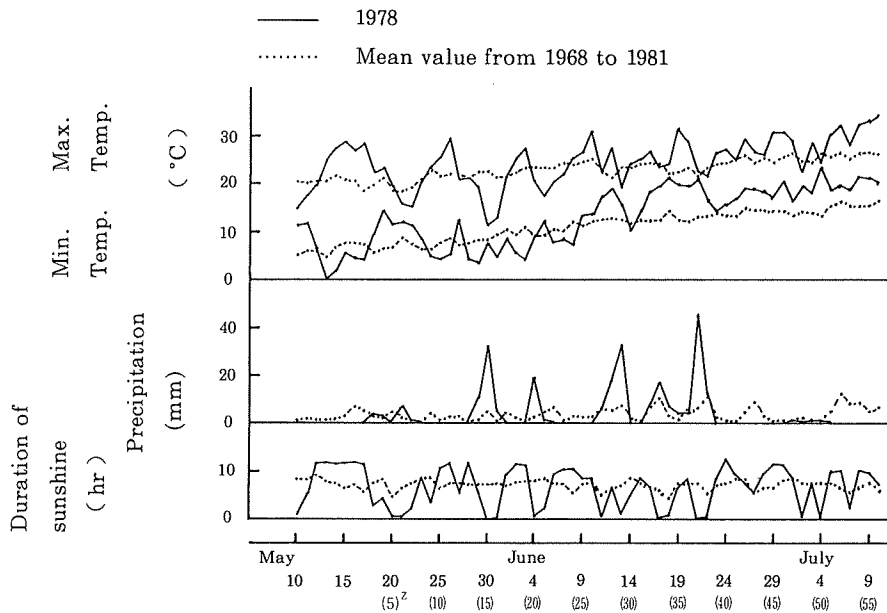


Fig.1. The weather conditions from the middle of May to the beginning of July in 1978 when the early fruit drop occurred largely from approximately the 36th day after full bloom (AFB) to the 56th day AFB.

^z Days after full bloom.

一方、1979～1985年の各年の落果率は、それぞれ1979年：72.0%、1980年：45.7%、1981年：30.5%、1982年：19.0%、1983年：58.6%、1984年：56.0%、1985年：40.9%で落果率の最も低かった1982年は、落果は満開25日後から始まったがその期間中特にピークが認められず、満開45日後までの気象状態は最高、最低気温とも1968～1981年の平年値を下回る日が多く、

さらに満開22日後以後は、連日日照時間が平年値を上回り、降水がほとんどなかったことが特徴であった（第2図）。これに対して落果率の最も高かった1979年の特徴は、落果が満開24～30日後に集中し、満開22～27日後に多量の降雨があり、また最低気温が満開9日後以後、1968～1981年の平年値を5℃以上上回る日が多かった（第3図）。

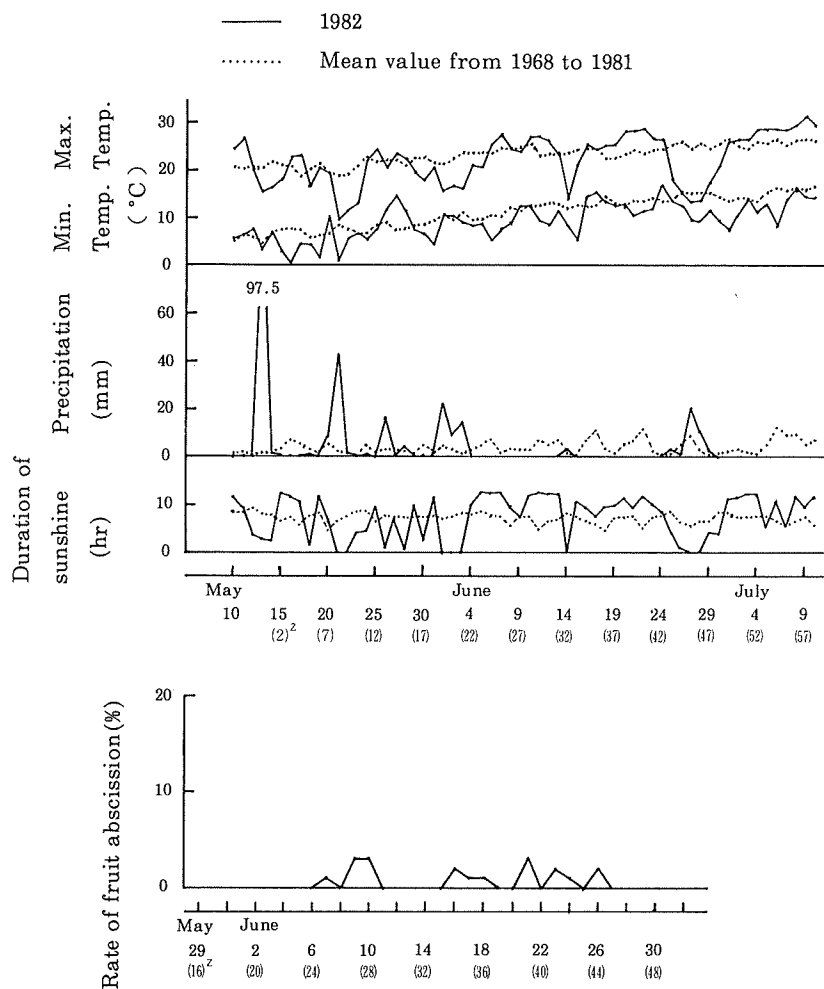


Fig.2. The weather conditions from the middle of May to the beginning of July and the behaviors of early fruit drop from the end of May to the end of June in 1982 when the early fruit drop occurred slightly.

^zThe same as in Fig.1.

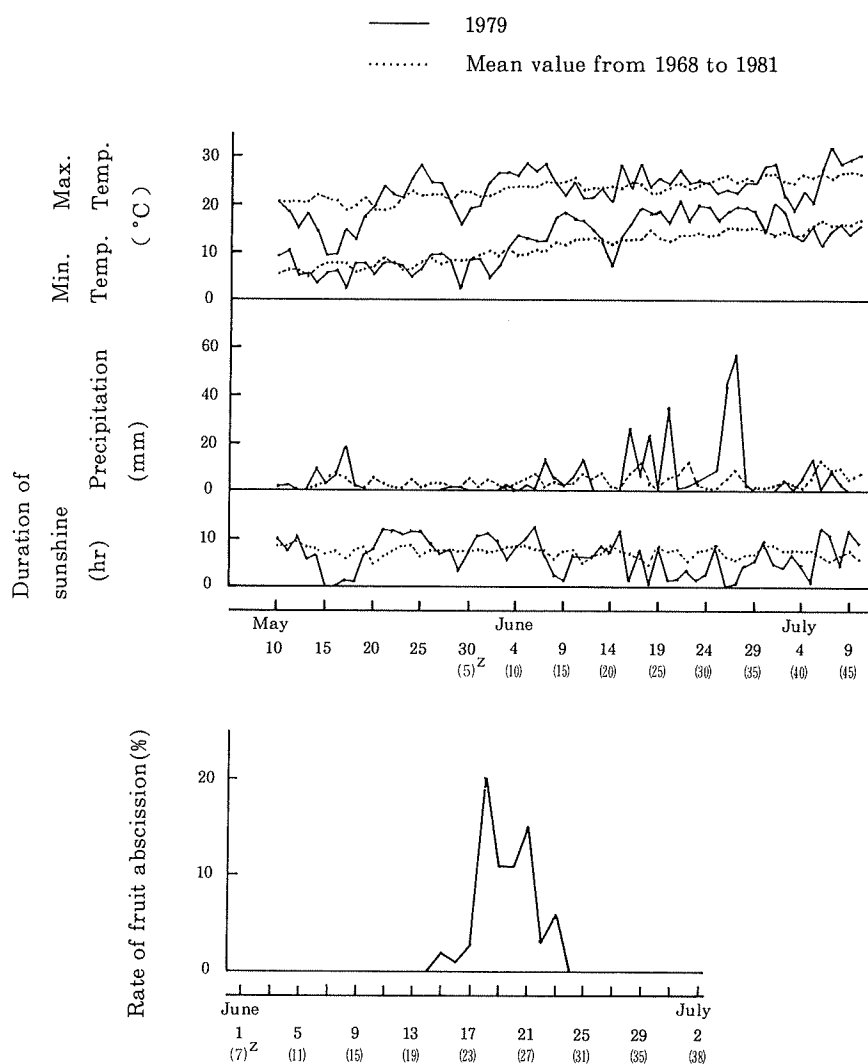


Fig.3 The weather conditions from the middle of May to the beginning of July and the behaviors of early fruit drop during June in 1979 when the early fruit drop occurred largely.

^zThe same as in Fig.1.

各年を通じて、早期落果は満開20日後以降から始まり満開50日後にはほぼ終了した。そこで満開時から満開50日後までの各年の気象状態と早期落果率の関係を統計的に分析(第1表)してみると、早期落果率と満

開30日後前後の気象要素との相関関係が他の時期に比べて高く、なかでも分散分析の結果1%の危険率で有意性が認められ相関係数の高かったものは、早期落果率と満開28~34日後の最低気温、日照時間及び降水量

Table 1. Relationship between the meteorological elements after full bloom and the rate of early fruit drop(1979-1985).

Time	R^2 R R F-value	Explan- atory variable	partial regression coefficient	Standard partial regression coefficient	partial correlation coefficient	Standard error of partial regression coefficient	F-value of partial regression coefficient	Linear multiple regression equation
28-34 days after full bloom	0.974 0.987 0.947 36.85** ^z	X ₂ X ₄ X ₅	3.496 -4.521 -1.253	0.719 -0.746 -0.540	0.970 -0.976 -0.947	0.503 0.586 0.245	48.33** 59.48** 26.06*	Y = 39.972 + 3.496X ₂ - 4.521X ₄ - 1.253X ₅
30-39 days after full bloom	0.930 0.965 0.895 26.68**	X ₃ X ₄	4.778 -6.684	0.564 -0.872	0.904 -0.956	1.131 1.024	17.86* 42.62**	Y = 0.485 + 4.778X ₃ - 6.684X ₄
28-34 days after full bloom	0.960 0.980 0.920 24.07*	X ₃ X ₄ X ₅	4.062 -5.441 -0.883	0.664 -0.898 -0.381	0.955 -0.974 -0.875	0.730 0.735 0.282	31.00** 54.74** 9.83*	Y = 16.338 + 4.062X ₃ - 5.441X ₄ - 0.883X ₅

Y: Final rate of fruit drop. X₁: Max. Temp. X₂: Min. Temp.

X₃: Ave. Temp. X₄: Duration of sunshine. X₅: Precipitation.

R²: Coefficient of determination. R: Multiple correlation coefficient.

$\bar{R}$: Multiple correlation coefficient adjusted for the degrees of freedom.

^zSignificant at p<0.01 (**) or p<0.05 (*).

との相互関係であり、このほか満開30～39日後の平均気温と日照時間との相互関係であった。また、5%の危険率では、早期落果率と満開28～34日後の平均気温と日照時間及び降水量との相互関係が高く、その年の早期落果率にこれらの気象要素が大きく影響しているという結果を得た。

2. 窒素施肥及び環状除皮・切傷による樹勢の相違と早期落果との関係

1980年から1983年まで早期落果率の調査を行ったが、処理開始後4年を経過し、樹体の生長程度から処

理の影響が明確に現れたと考えられる1983年の結果を示した。

各処理区の最終的な早期落果率は、A: 20kg-N区及びE: 10kg-N+環状除皮・切傷区が42～43.0%、B: 10kg-N区が30.0%、C: 5kg-N区及びD: 堆肥区が19.0%であった(第4図)。

第2表には各区の葉分析値を、また第5図には各区の新しょう長を示した。施肥量と葉内窒素含量との関係は必ずしも対応しなかったが、葉内窒素含量と新しょう伸長量及び7月初めまでの新しょう伸長停止との関係が一致した。すなわち、特に20kg-N区では葉

内室素含量が高く、新しょう伸長量が大きく新しょう停止が遅くなった。一方、早期落果率(第4図)との関係は、葉内室素含量が高く新しょう伸長量が大きかったA: 20kg-N区、逆に葉内室素含量が低く新しょう伸長量が最も小さかったE: 10kg-N+環状除皮・切傷区において落果率が高かった。

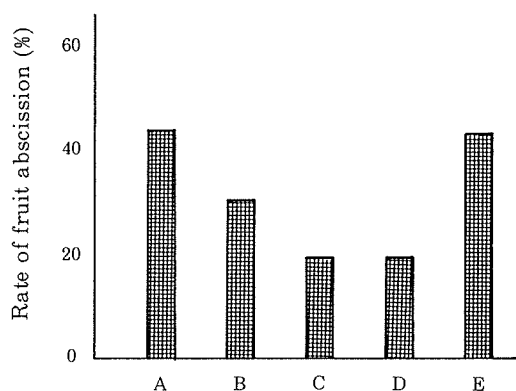


Fig. 4. Effect of fertilizer applications on the rate of early fruit drop (1983).

A: C.F., 20kg nitrogen ingredient/10a/year.
 B: C.F., 10kg nitrogen ingredient/10a/year.
 C: C.F., 5kg nitrogen ingredient/10a/year.
 D: F.M., 15.8kg nitrogen ingredient/10a/year.
 E: C.F., 10kg nitrogen ingredient/10a/year.
 (Ringing and scoring were applied in 1979 and in 1981, respectively.).

The fertilizer applications using compound fertilizer (A, B, C and E) and farmyard manure (D) have continued since 1979.

C.F.: Compound fertilizer.

F.M.: Farmyard manure.

Table 2. Effect of fertilizer applications on the mineral element compositions of leaves (1983).

Treatment	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
A ^z	2.59 ^b	0.19 ^a	1.76 ^{ab}	0.67 ^{ab}	0.32 ^a
B	2.37 ^{ab}	0.20 ^a	1.69 ^a	0.78 ^b	0.36 ^a
C	2.43 ^{ab}	0.18 ^a	1.74 ^{ab}	0.56 ^a	0.32 ^a
D	2.51 ^{ab}	0.22 ^a	1.87 ^{ab}	0.86 ^b	0.31 ^a
E	2.32 ^a	0.22 ^a	2.06 ^b	0.77 ^{ab}	0.31 ^a

Different letters within column represent significant differences according to Duncan's multiple range test, 5% level.

^zThe same as in Fig. 4.

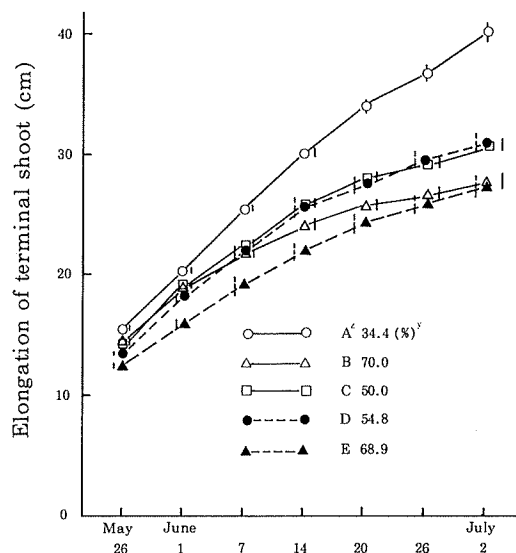


Fig. 5. Effect of fertilizer applications on elongation of terminal shoot (1983).

^zThe same as in Fig. 4.

^yThe rate of suspended elongation of terminal shoot on July 2.

Vertical bars indicate S.E..

3. せん定の程度が早期落果に及ぼす影響

1982年から1984年まで調査を行ったが、処理開始後3年目で、処理の影響が顕著となってきた1984年の結果を示した。

供試樹のせん定前の樹高、開張度、幹周はそれぞれ3.2～3.3m、2.2～2.6m、20.5～21.8cmの範囲内にとどまり、各処理区内3樹の平均値は処理区間で統計的に有意な差がなく、ほぼ同様な樹勢の樹について処理することができた。また、各区のせん枝重量の1樹当たり平均値はA：強せん定区が3.19kg、B：標準区が0.94kg、C：弱せん定区が0.4kgであった。

せん定の程度別の落果状況及び新しょう伸長量（第6図）は、A：強せん定区の落果率が83.3%で他区に比べ2倍以上となり、逆にC：弱せん定区では30.0%で最も低かった。新しょう長は、6月22日（満開27日後）にはA：強せん定区が28.1cm、B：標準区が25.8cm、C：弱せん定区が21.0cmとなり、以下それぞれ、6月29日にはA：30.6cm、B：28.5cm、C：21.9cm、そして7月6日にはA：32.0cm、B：30.2cm、C：22.1cmであった。このように新しょう伸長量はA：強せん定区で大きく、落果率もまた最も高くなった。

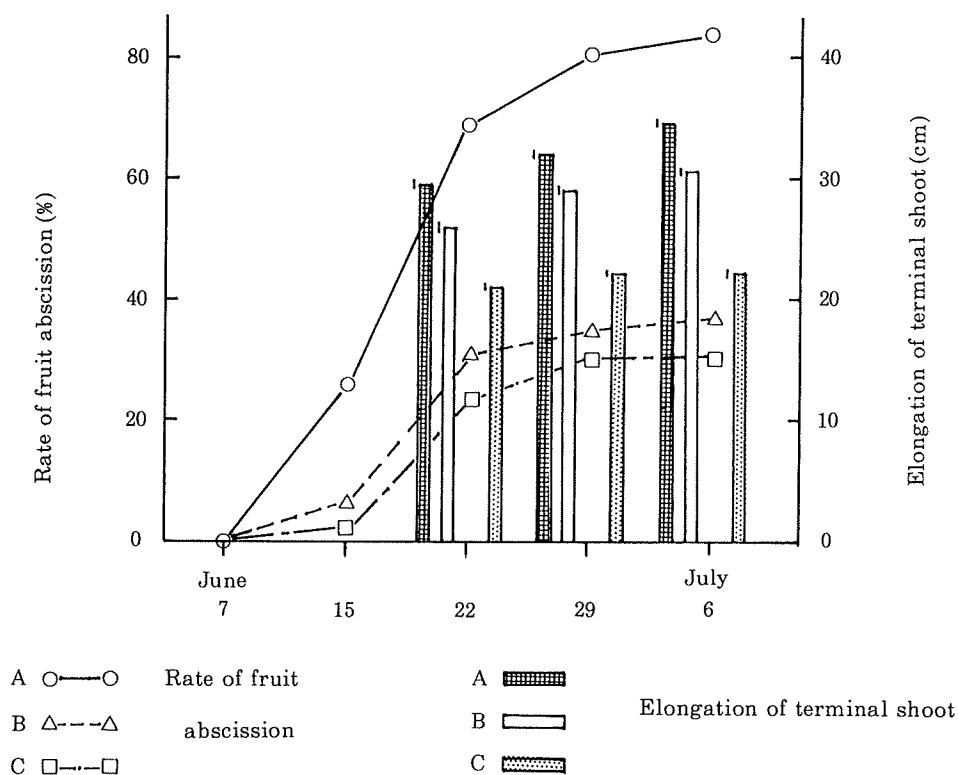


Fig.6. Effect of prunings on early fruit drop and elongation of terminal shoot(1984).

A: Heavy pruning (50-60%).

B: Moderate pruning (30-35%).

C: Light pruning (10-15%).

(Standard)

Parenthesized numbers indicate the rate of decrease of the terminal bud reduced by each pruning.

Vertical bars indicate S.E..

第4節 考察

リンゴの早期落果の程度や時期と気象条件との関連を明らかにしようとした報告はこれまでもあるが、開花期から落果率を追跡調査していったものが多く⁸⁶⁾、その最終的な早期落果率が必ずしもいったん受精結果した果実のみを対象としたものとは言えないと思われた。そこで、試験1では結果の確認された果実の早期落果と気象との関連を検討した。

1978年は満開36日後以降に急激な落果がみられ、この前後の気温、日照時間、降水量が落果率の高かった1979年と類似し、さらに極めて落果率の低かった1982年とは対照的であった。それらを考えあわせると、最高気温及び最低気温いずれもの上昇、日照時間の減少、降水量の増加という気象現象が相乗して影響し、落果に大きく関連しているものと考えられた。また、その後7年間平均の満開30日後前後の気象要因、なかでも満開28～34日後の最低気温、日照時間、及び降水量と早期落果率との相互関係を表す回帰式から、その年のいったん結果した果実の早期落果率にこれらの気象要因が大きく影響することが提示され、それらの関係を表した重回帰式は $Y=39.972+3.4959X_2-4.5214X_4-1.253X_5$ （ Y は最終落果率、 X_2 、 X_4 、 X_5 はそれぞれ満開28～34日後の最低気温、日照時間、降水量）であった。第1表の標準偏回帰係数の数字の大きい、すなわち特に大きな影響を持つ要因は日照時間と最低気温であった。このことに関して、遮光の程度が大きくなるほど同化養分の生成量が減少し⁷⁸⁾、落果の増加したこと^{23, 144, 146)}が報告され、また落花後から夜間の加温を続けた場合、高夜温区ほど幼果落果が多く観察されたこと¹⁵⁵⁾などの報告も、本報告の気象要因と早期落果との関連結果を支持するものであり、これらのことから、樹体内及び果実の栄養条件と落果との関係を明らかにすることが極めて重要である。

試験2では個々の樹、特に異なる窒素施肥量や環状除皮・切傷処理によって導かれた樹勢と早期落果率との関係について検討を行った。樹勢を判断する指標としては、今ら⁸²⁾によれば新しょうの長さ、太さ、葉の大きさ、厚さ、葉色、果実肥大度など多くの要因が

取り上げられ、それらが総合されて診断されている。本試験では樹勢を判断する一つ的手段として頂端新しょう長の測定を行ったが、このことに関して、もとより頂端新しょう長の測定のみでは不十分⁸⁰⁾と考えられるが、山崎ら¹⁷⁵⁾の例にならない、中位の長さの2年枝上の最長1年生枝と定義することにより客観的に判断できると考え、山崎¹⁷⁵⁾らの方法に従い先端が切り返されていない2年枝上の最長1年生枝を測定した。また、樹の栄養状態を知るためには葉分析が有効であり^{4, 130, 145)}、栄養生長が旺盛なほど葉内窒素成分含量の高いことが報告されている⁸⁸⁾。このため本試験では7月下旬に採取した葉の葉内無機成分含量の分析を行い、これらの結果をもとに、すなわち、頂端新しょう長の生育が旺盛で、さらに葉内窒素成分含量が高い場合には強樹勢と判断した。

本試験では施肥量と各樹の生長量は必ずしも一致しなかったが、5月下旬からの新しょう伸長量が大きすぎたり、逆に小さすぎたりした場合に落果率が高かった。さらに試験3より、強せん定は新しょうの生長を旺盛にし落果を助長した。鎌倉ら⁷⁸⁾は光合成によって生産された糖の転流について、早期落果率の高かった樹では果実よりも新しょうへ多く分配されていたことを報告しており、またモモについて、その年の新しょうの新生成養分を他に分配、消費する時期に入ってから、ジベレリン散布などのように再び新しょう伸長を促すような処理は落果を増加させたことが示され¹¹⁴⁾、リンゴでもN-dimethylamino-succinamic acid (SADH) 散布などによる新しょう伸長の抑制は着果率を増加させたことが報告されている¹⁰²⁾。本試験の結果も果実と促された新しょう伸長との養分の競合に基づく、果実への養分分配の相対的な減少に基づくものと考えられる。

さらに、このことは一般に指摘される樹勢の強すぎる場合のみでなく、試験2でみられたように生育初期からの新しょう伸長の割合が小さく5～7月の生育期を通じて樹勢の劣る場合でも早期落果率が高かったことから、逆に貯蔵養分や新生成養分の供給絶対量が少なすぎて、果実と新しょう間の競合を生ずることも早期落果を多く

することに関連するものと考えられた。

Quinlanら¹³⁴⁾はリンゴ樹で、満開5日後の枝のせん除は当初果実の結果率を増加させたものの、6月下旬から7月上旬にかけて激しく落果を増加させたことを示している。同様なことがモモについても報告され、新しょうの初期生長が劣る樹や、摘しょうを行った結果枝上の果実の落果が増加したことが観察されている¹¹⁶⁾。これらの報告は、いずれも本試験の結果を支持するものと考えられる。

本章に取り上げた試験では、早期落果について気象要因からみた解析と、樹勢、せん定など栽培管理の影響についての解析とを、それぞれ別々に取り上げたが、樹勢を判断する一つの指標としての新しょうの生長の仕方には、施肥の他降水量及び気温が大きく関わることが考えられ、ちなみにかん水が新しょうの伸長や幹周の増加など栄養生長を増加させることは多く報

告されている^{32, 54, 91)}。さらに、Jacksonらは開花後以降に生育期間を通じて程度別に遮光を行った場合、その程度が強いほど枝の生長量や葉の厚さが減じ⁷⁰⁾、果実肥大が抑制され⁷²⁾、早期落果の増加したこと⁷¹⁾を報告している。このように樹をとりまく気象上の環境条件によって栄養生長が著しく強められたり、また逆に弱められたりした場合に落果が多くなることは、本試験の樹勢と落果に関する結果からみても支持できる。

以上、リンゴの早期落果と気象要因との関連を調査し、樹の状態及びそれを左右する代表的な管理技術のせん定、施肥と早期落果との関連を明らかにした。また、本試験から栽培技術上早期落果率を軽減させる方法として、強せん定を避け適正な樹勢を維持していく管理が必要であることを知り得たことは言うまでもない。