

リンゴとセイヨウナシにおける強風落果の発生機構および
果梗付近の物理的補強処理によるその防止対策

山本隆儀*・伊藤昌美**・原子樹**

*山形大学名誉教授

**山形大学農学部生物生産学科農業生産学講座
(平成23年11月10日受理)

Mechanism of Wind Fruit Drop and its Prevention by
Physical Reinforcement near Fruit Stalk in Apples and Pears

Takanori YAMAMOTO *, Masami ITO ** and Tatsuki HARAKO **

* Professor Emeritus, Yamagata University, Tsuruoka,
997-8555, Japan

** Section of Agricultural Production, Department of Bioproduction, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka, Yamagata 997-8555, Japan
(Received November 10, 2011)

リンゴとセイヨウナシにおける強風落果の発生機構および 果梗付近の物理的補強処理によるその防止対策

山本隆儀*・伊藤昌美**・原子樹**

*山形大学名誉教授

**山形大学農学部生物生産学科農業生産学講座
(平成23年11月10日受理)

Mechanism of Wind Fruit Drop and its Prevention by Physical Reinforcement near Fruit Stalk in Apples and Pears

Takanori YAMAMOTO *, Masami ITO ** and Tatsuki HARAKO **

* Professor Emeritus, Yamagata University, Tsuruoka,
997-8555, Japan

** Section of Agricultural Production, Department of Bioproduction, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka, Yamagata 997-8555, Japan
(Received November 10, 2011)

Summary

Wind fruit drops in apples and pears occur owing to breakage of the fruit stalk bases where the inertial forces of the fruits increase by branch movements. In the each cultivar examined, the fruit detachment resistance force perpendicular to the fruit stalk shaft was remarkably smaller than that parallel. Two physical treatments were conducted at about 50 days before each harvest time; jamming a fruit stalk, the shoot and the spur between two convex-adhesive tapes ("+" tape), and wrapping a fruit stalk, the shoot and a part of the spur in a patch of punch carpet and stapling them (punch carpet). In the fruit vibration experiments, the reducing effect of bending angle near the fruit stalk was confirmed in the both treatment of "+" tape and punch carpet. The artificial fruit drop tests using shocks showed significant effects in reducing of detachment rates at fruit stalk base in the both treatments in one variety of apples or pears.

Key Words : bending angle, constriction at fruit stalk base, inertial force, parallel detachment resistance force, perpendicular detachment resistance force.

緒言

リンゴやセイヨウナシの後期落果には、収穫期に近づくとき自然に落果する生理落果（収穫前落果）のほかに、台風などによる強風落果がある。強風落果の被害はしばしば激甚レベルに達する。1980年以降の青森県内リンゴ台風被害総額の大きい例として、159億9,000万円（1985年9月の台風13号）、741億7,000万円（1991年9月の台風19号）および139億円（2004年9月の台風18号）な

どがあげられ、被害は激甚レベルに達した。セイヨウナシもリンゴと同様に大きな被害が発生し、たとえば、2007年9月の台風9号により、山形県村山地方の狭い区域だけで、‘ラ・フランス’の落果被害は約10億円にも達し、また、同地域のリンゴにもほぼ同額の被害が発生した。小規模の強風落果は連年とは言えないものの、頻繁に発生し、最近の例として、2009年10月の台風18号によるリンゴの落果被害は約6県に及び、被害額は合計6億2,100万円に達した。収穫期の落果リンゴは加工に

キーワード：折れ曲がり角度、果梗基部のくびれ、慣性力、平行離脱抵抗力、垂直離脱抵抗力。

回せるが、通常価格の10分の1にも届かず、収穫期以前の落果は加工にも回せない。樹の倒伏や太枝の折損を伴うときはまさに壊滅的被害になる。

我が国果樹の台風被害については、主にカンキツなどの潮風害研究が報告されているが（森永ら，1999；村松ら，1994；小笠原，1971；緒方ら，1995；山本ら，2008），これ以外の台風被害や強風落果の研究は少ない（飯塚，1961；農林水産省果樹試験場，1992）。強風落果は、枝部分の大きな揺れにより、果梗基部付近が折損し、落果するもので、一種の機械的落果と見なされる。ニホンナシの場合、針金棚の上下動を少なくするパイプ補強や果実袋の枝がけなどの新しい対策も検討されているが、立木仕立てのリングやセイヨウナシの強風落果に対しては、枝揺れを軽減するための恒久的対策だけにとどまっている。

台風襲来前に収穫を終えれば強風落果の被害を回避できるが、これは大抵不可能である。そこで強風による枝揺れそのものを減らす目的で、防風ネットや支柱の設置および棚仕立てが実施されてきた。一方、果梗に加わる荷重を減らす処理、あるいは、果梗部分を物理的に補強し、強風時の果梗と果台枝のたわみや折れ曲がりや減らす処理（以下、果実への物理的処理）などについてはあまり検討されていない。

最近、筆者らは、上記物理的処理のための予備実験として、市販の干柿用ネットで果実を吊る網袋処理、あるいは、果梗、果台枝および短果枝の一部を2枚の梱包用透明粘着テープで挟む処理（一文字テープ処理）を施し、落果防止効果を調査した（山本・伊藤，2007）。しかし、両処理では果梗と果台枝のたわみや折れ曲がりを減少させる効果はさほど顕著でなく、落果せず樹上にとどまった果実の一部において果梗基部付近が折損した（山本・伊藤，2007）。また、果実の機械収穫（土屋，1971）を参考にして実施した太枝振動による落果試験では、果実着生部位によって振動規模が相当異なり、処理効果の正確な比較が困難であった（山本・伊藤，2007）。そこで、強風落果現象の一層の解明とともに、物理的処理方法および落果試験方法の改良を目指して3か年にわたり以下の調査や実験を行った。すなわち、リングとセイヨウナシの各2品種を用い、強風落果の様相や果梗部分の形状を観察するとともに、果実の離脱抵抗力を測定した。また、これらと並行して、新たに2種類の物理的処理方法を考案し、果実を振動させたときの果梗付近の折れ曲がり

り角度を無処理区と比較した。さらに、太枝振動実験の代わりに衝撃を用いた人工的落果試験を行い、各処理の強風落果防止効果を間接的に比較した。なお、本論文で扱う強風落果には、樹の倒伏や太枝折損を伴う強烈な台風の際の被害を含めていない。これらは稀であるとともに、個々の果実への物理的処理では対処できないからである。

材料および方法

1. 供試材料

山形大学農学部実験果樹園に慣行栽培されたヤマナシ台セイヨウナシの‘ラ・フランス’（27年生、ただし、2006年当時、以下同様）と‘バートレット’（27年生）を各3樹、およびマルバカイドウ台リングの‘紅玉’（58年生、英名は‘Jonathan’）と‘スターキング・デリシャス’（58年生）を各1樹用いた。いずれも立木仕立てであった。また、いずれの樹にも落果防止剤は散布していなかった。

2. 強風時の果実の観察

2007年9月7日から翌日にかけて、台風9号が東北地方を縦断した。山形県庄内地方の近くをほぼ通り過ぎた頃の9月8日の午前7時～9時にかけて、‘スターキング・デリシャス’と‘ラ・フランス’の樹をデジタルビデオカメラ（SONY、ハンデイクムHDR-SR7）の視準線を変えずに撮影した。このときの鶴岡気象観測所（供試果樹園より約50m離れた場所に設置）の毎時平均風速は5～6 m・s⁻¹であった。瞬間最大風速は同観測所で計測していないため不明であった。

3. 果梗と果台枝の外部形態および縦断面の観察方法

各品種の果台枝に着生した状態の果梗を採取し、その外部形態と縦断面をデジタルマイクロスコープ（キーエンス、VH-5910）を用いて観察した（観察倍率は10倍）。いずれの品種とも、5月25日から収穫期まで月に2回の割合で、毎回約5果を観察した。

4. 果実部分の離脱抵抗力の測定方法

2008年に、果実部分が離脱するときの抵抗力（以下、離脱抵抗力）の時期的変化をばね秤により測定した。‘ラ・フランス’は収穫日（10月20日）前約100日、‘バートレット’は収穫日（9月1日）前約50日、‘紅玉’は収穫日（10

月6日) 前約80日および‘スターキング・デリシャス’は収穫日(10月10日)前約90日から測定を開始した。収穫期前後の約2か月間は約5日間隔に品種当たり16果ずつ、それ以前は約10日間隔に品種当たり8果ずつを測定に用いた。上記供試果実数の半分を対象に、着生果実を干し柿用ネットで被い、測定範囲が1, 2, 4, 8および10kgのばね秤(SANKO, 手持ちばね秤)のいずれかを用い、ばね秤のフックをネットに引っ掛けて果梗軸方向に引っ張り、果実部分が離脱したときの荷重(以下、平行離脱抵抗力)を測定した(第1図)。次に、残り半数の果実を対象に、果梗軸に垂直な方向に引っ張り、果実部分が離脱したときの荷重(以下、垂直離脱抵抗力)を測定した(第1図)。いずれも供試果実の着生した短果枝とその付近の側枝を指で押さえながら、ばね秤を徐々に引っ張り、離脱寸前の荷重を記録した。離脱した果実部分を観察し、離脱部位(果梗基部、果台枝基部、果実と果梗の境界部および短果枝)を確認し、記録した。

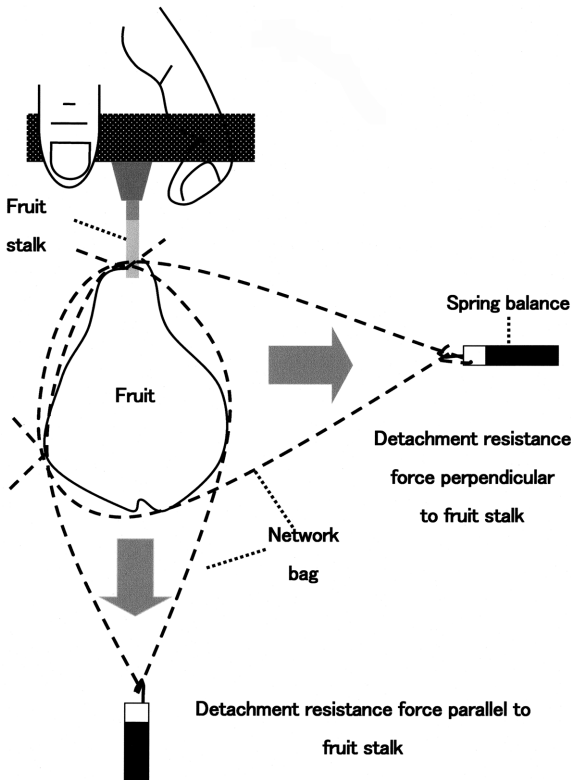


Fig. 1 The schema of measuring of detachment resistance force of fruit.

5. 果実への物理的処理

果梗などに加わる果実の荷重を減らす効果、あるいは、果梗付近を物理的に補強し、強風時の果梗・果台枝の折

れ曲がりやを減らす効果、あるいはその両者が期待される、2種類の物理的処理を考案し(第2図)、2008年に対照区(無処理区)とともに施した。凸状に折りたたんだ梱包用透明粘着テープ(NITOMS社PROSELF, 幅は5cm)2枚を用いて、上から見たとき十文字形になるように、果梗、果台枝および短果枝の一部を挟みながら張り合わせた(以下、十文字テープ区、第2図中央)。また、軽量パンチカーペット(オークリッチ社EJ-64, 100%ポリプロピレン繊維のチップを圧縮して作製した板状の敷物、厚さは2mm)を幅約5cm、長さ約4cmに切断し、折り曲げるようにして果梗、果台枝および短果枝の一部を包み、重ねた部分の2か所をホッチキスできつくなるように止めた(以下、パンチカーペット区、第2図右)。各品種の収穫期約50日前に、供試樹の全着生果実を対象に、3処理区の果実が樹内にはほぼ均等に分布するようにした。なお、セイヨウナシには輪紋病とシンクイムシの予防のため、6月中旬に袋掛けを行い、いったん除袋して上記処理を施し、再度袋掛けを行い、8月下旬に除袋した。リンゴの2品種には袋掛けを行わなかった。

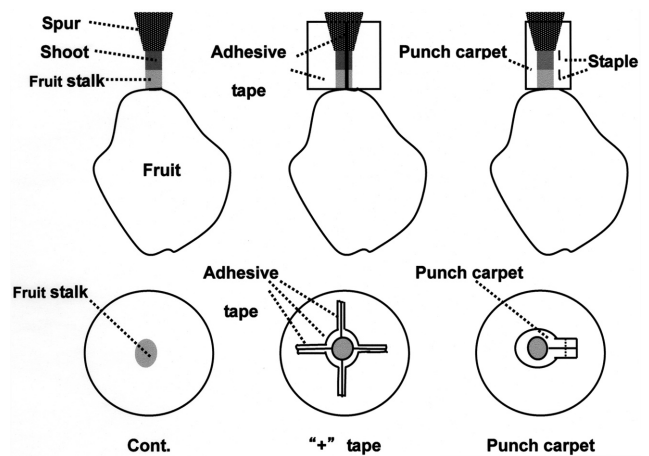


Fig. 2 Schematic illustrations of the physical treatments; the side views (upper) and the top views (lower).

6. 果実を振動させたときの果梗付近の折れ曲がり角度の測定方法

2008年の各品種の収穫期に、果実胴部の中心、果梗基部および果台枝基部の3か所について、それぞれ、撮影方向から見える表面部に直径2mmのカラー円形シールを貼った(第3図)。短果枝を指で掴み左右に揺ることにより果実に振り子運動を発生させ、デジタルビデオカメラで対照区のカラー動画を約10秒間撮影した。

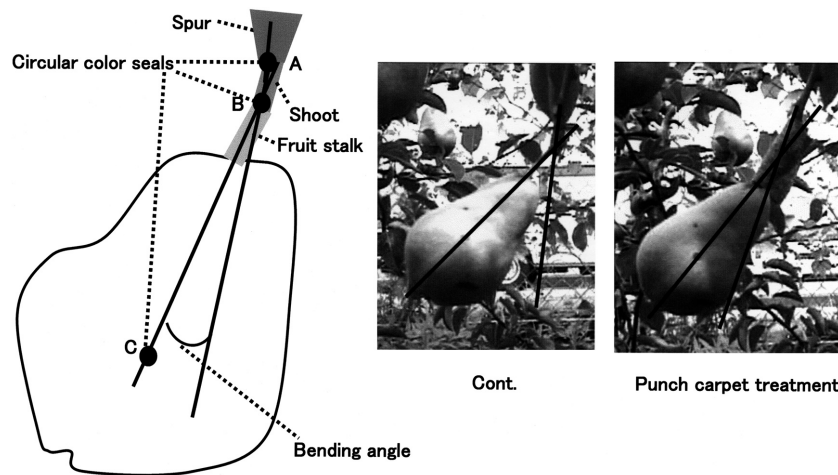


Fig. 3 The schema of measuring bending angle where two straight lines cross; one line connects base of shoot (A) and base of fruit stalk (B), other line connects B and center of fruit (C).

次に、同じ果実に5. に記したパンチカーペット処理を施し、ビデオカメラの位置と視準線を変えずに、同様な撮影を行い、同区のカラー動画を入手した。さらに、パンチカーペットを外し、十字テープ処理を施し、同様な撮影を行い、同区のカラー動画を入手した。これらの撮影を品種当たり異なる3果実について繰り返した。カラー円形シールが見えにくい場合にはパンチカーペットやテープの上の同じ場所に再度貼った。後日、上記の動画を画像処理解析システム（デジモ、Image Hyper II）を用いて再生し、果実の振り子運動における果実が最も左端に寄ったときの画面と最も右端に寄ったときの画面を果実ごと処理当たり4組選び、静止画像に変え、いったんパソコン内に保存した。画像処理解析システムの4点角計測機能を用いて、果実胴部中心点と果梗基部を結ぶ直線および果梗基部と果台枝基部を結ぶ直線を指定し、この2直線の交差角度（以下、4点角、ただし、鋭角）を画像計測した。この4点角を果実が最も左右に振れたときの果梗付近の折れ曲がり角度とした。

7. 衝撃を用いた人工的落果試験

台風による強風落果を調査できれば物理的処理効果の直接的比較といえるが、これが困難であることは当初から予想された。また、結果的に、台風は2008年のこの時期、当地方を襲来しなかった。一方、人工的落果試験方法としての太枝振動実験（山本・伊藤，2007）には緒言に記したような問題点があった。これに代わる方法を種々検討した結果、個々の果実に衝撃を与える方法を

いることにした。そこで、個々の果実にほぼ均等な衝撃力を与えることができるように、重量が300gのゴム製ハンマーと引きばねを利用した携帯型の果実衝撃装置（第4図）を作製した。2008年の収穫期、各品種各処理とも20果ずつ供試し、同装置を用いて各果実の胴部に人工的な衝撃を与え、果梗付近の離脱率を調査した。引きばねを第4図のAの位置まで引いた状態で測定対象果実まで近づき、Bの位置でハンマーが果実胴部に衝突できる位置を正確に定め、指で短果枝を抑えながら、ハンマー

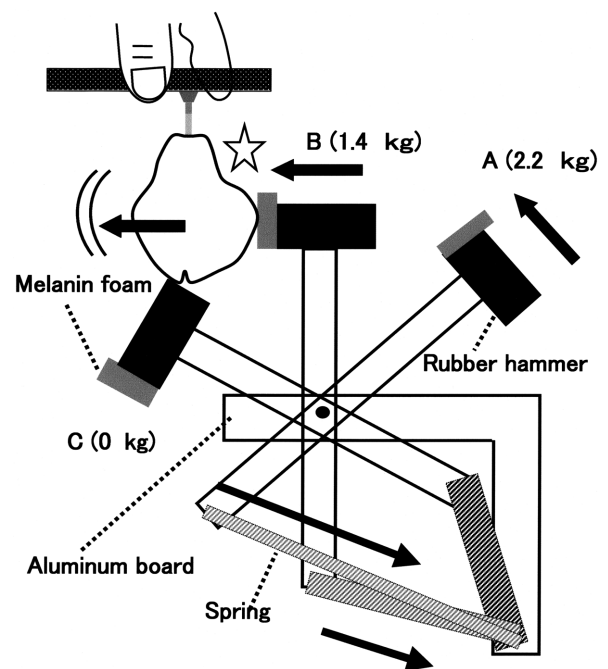


Fig. 4 The schema of the equipment for artificial fruit drop by shock.

を離すことで衝撃を与えた。さらに、反対方向にもう1回衝撃を与えた。上記測定に先立ち、ばね秤を用いて、第4図のA、BおよびCの位置における引きばね力を測定したところ、それぞれ、2.2、1.4および0kgであった。ハンマーの重量、ハンマー先端部に取り付けたメラニフォームの緩衝力、Bにおける加速度、装置の摩擦抵抗は変わらなかったため、Bにおける衝撃力は一定である。ただし、衝撃力は計算できなかった。

上記の衝撃実験の後で、落下した果実および樹上にとどまった果実を対象に離脱部位を確認し、記録した。後者の場合、透明テープの外側から観察したり、あるいはパンチカーペットを外してから観察した。離脱部位の分類結果のうち、果梗基部で離脱した果実数および未離脱果実数を用いて離脱率(%)を集計した。

8. 統計処理

6. の計測結果について、SAS (バージョン9.1) を用いてTukeyの平均値多重比較検定を行った。この場合、供試果実ごと、左右ごと、折れ曲がり角度の平均値を3つの物理的処理区(対照区を含む)の間で比較した。7. の集計結果について、Tukeyの比率多重比較検定を行った。

結 果

1. 強風下における果実の様相

強風時の同一視野内におけるビデオ動画像の一部を抜粋して静止画像に変え、第5図に示した。風圧により枝葉が動き、果実の位置が変化したが、果実の姿勢も大きく変わった。他の画像も合わせ検討したところ、以下の特徴が読み取れた。すなわち、風が吹き始めたとき(第5図AおよびD)、枝葉はすぐ動いたが、重い果実は静止状態を維持しようとしたため、枝葉が果実を引きずり、結果的に果実は傾き、振り子運動が始まった(第5図BおよびE)。風がやんだとき、枝葉はすぐ元の位置に戻り静止したが、振り子運動が始まった果実はしばらくの間静止できなかった(第5図CおよびF)。また、風が吹き続けている間、風の強弱と振り子運動が組み合わさることにより、果実の姿勢は複雑に変化した。強風時間帯、上記の状況が繰り返され、その都度、短果枝と果実の間を繋ぐ細い枝状部分(果台枝と果梗)はたわむように折れ曲った。なお、同園地において、この強風により落果が散見された。

2. 果梗と果台枝の外部形態および縦断面の観察結果

両樹種とも果梗と果台枝の境界付近に相当する離層形



Fig. 5 Photographs of fruit movements and the attitude changes of an apple 'Starking Delicious' (upper) and a pear 'La France' (lower). The wind blew for the left from the right in the photographs. The wind began to blow (A and D), the attitude of the fruits changed (B and E), and the pendulum motion of the fruit continued, even if the wind weakened (C and F).

成帯の内部については、縦断面の低倍率表面観察であったため、明確に観察できなかった（第6図）。幼果期の果台枝や果梗の太さには、リンゴとセイヨウナシの間に大きな違いが認められなかったが（第6図A,E,IおよびM）、収穫期に近づくにつれ、セイヨウナシの方が太く、特に果梗基部の肥大が顕著であった（第6図B,F,JおよびN）。果梗と果台枝の境界部付近は幼果期から幾分かびれていたが（第6図A,E,IおよびM）、その後の果台枝と果梗の肥大生長により、くびれは顕著になった（第6図C,G,KおよびO）。また、くびれ先端部は狭い陥没状空隙を形成し、内部まで食い込んでいた（第6図D,H,LおよびPの矢印）。

3. 離脱抵抗力の時期的変化

すべての品種で垂直離脱抵抗力は、平行離脱抵抗より著しく小さかった（第7図）。たとえば、8月以降の平行離脱抵抗に対する垂直離脱抵抗の割合（%）は、‘スターキング・デリシャス’で8.3%、‘紅玉’で8.1%、‘バートレット’で4.2%および‘ラ・フランス’で4.7%で

あり、リンゴでは約12分の1、セイヨウナシで約22分の1という極めて大きな違いが見いだされた。

8月以降、リンゴとセイヨウナシの間に垂直離脱抵抗力の大きな違いが認められなかったが、平行離脱抵抗には両樹種間に違いが認められた（第7図）。8月以降の平行離脱抵抗力の平均値を比較すると、‘スターキング・デリシャス’で2.84kg、‘紅玉’で2.08kgであったのに対し、‘バートレット’で4.38kg、‘ラ・フランス’で4.71kgであった。

リンゴ2品種の平行離脱抵抗力の時期的変化はさほど大きくなかった（第7図）。セイヨウナシ2品種の平行離脱抵抗力は、測定期間の前半で緩やかに増大し、後半には増加が停滞したが、果実間差も大きくなった（第7図）。

リンゴ2品種の垂直離脱抵抗力は試験開始直後から緩やかに減少し、その後はほぼ一定に推移した（第7図）。セイヨウナシ2品種における測定開始時期以降の垂直離脱抵抗力の時期的変化は小さかった（第7図）。

本実験では、果実部分が離脱するまでばね秤を引張り続けたため、両樹種とも果梗基部以外の部位でも離脱す

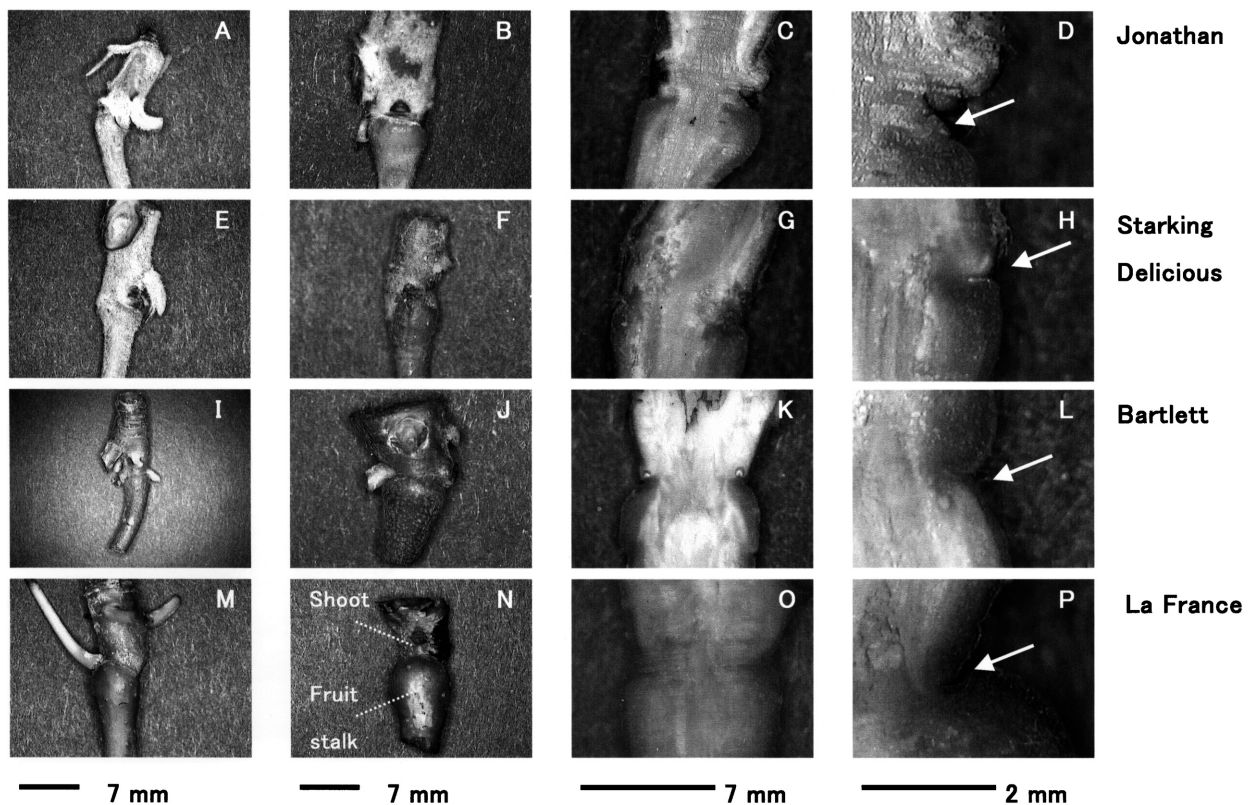


Fig. 6 Outside views of fruit stalks and shoots of the four varieties in early July (A, E, I and M), that at harvest times (B, F, J and N) and the cross section views at harvest times (C, G, K and O). Arrows in D, H, L and P indicate gaps at boundaries between the shoots and the fruit stalks.

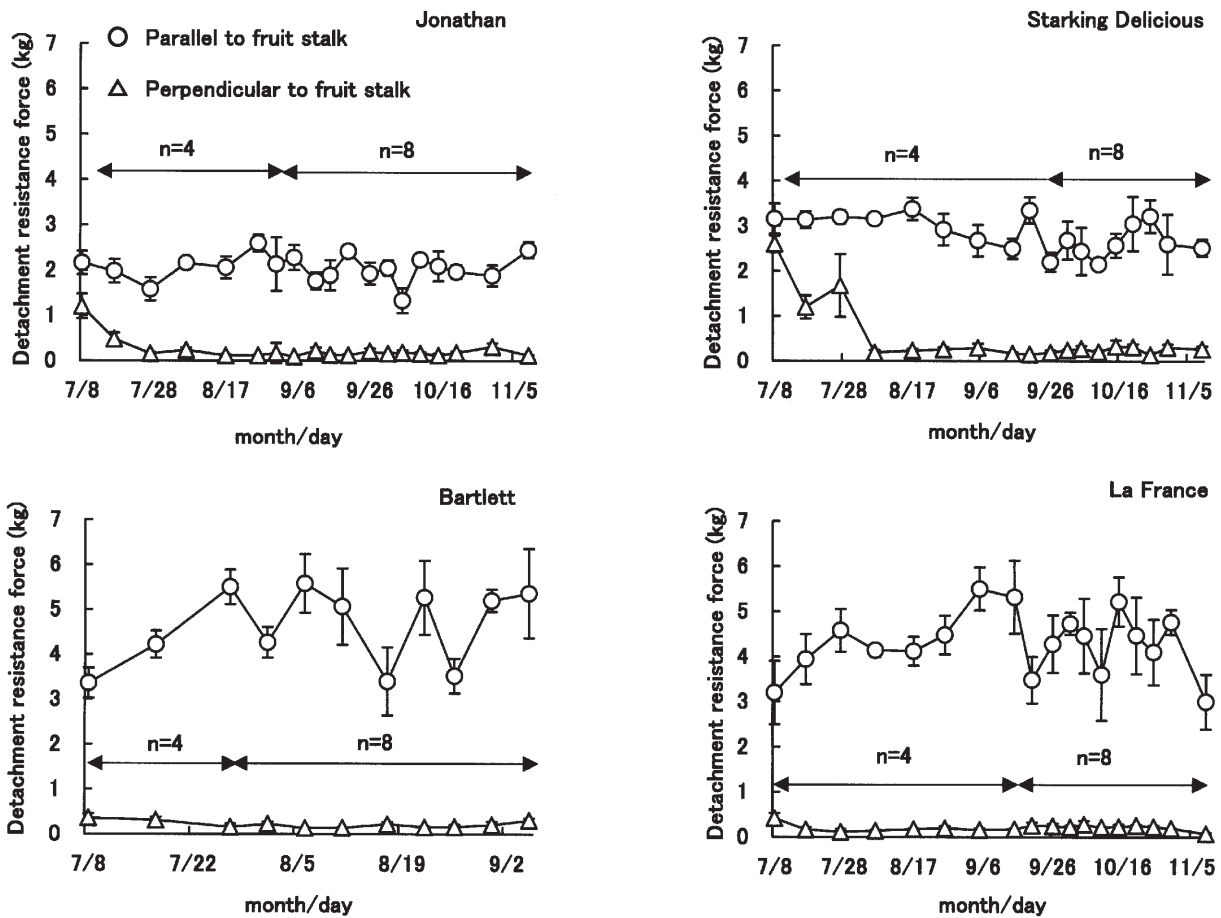


Fig. 7 Seasonal changes in fruit detachment resistance force in the four varieties. The vertical bars indicate the standard deviations. Number of replications (n) from one month before each harvest time was 8 and that in previous period was 4.

るケースが認められた（データ未掲載）。両樹種とも平行離脱抵抗力測定の場合、果梗基部のほかに果台枝基部や短果枝の脆弱な部位で離脱するケースが一部観察された。垂直離脱抵抗力測定の場合、ほとんどが果梗基部で離脱したが、リンゴでは果台枝基部の離脱も一部観察された。全体を通じて、果実と果梗の境界部で離脱する例は観察されなかった。

4. 物理的処理が果梗付近の折れ曲がり角度に及ぼす影響

第6図から判るように、果梗はある角度をもって果台枝から発生し、その角度も個々の果実によって異なった。また、視角によっては、果梗の延長線が果実中心を通らないことが多かった。4点角を測定したときの2本の直線は、果実によって、左に凸になるように交差することもあれば、右に凸になるように交差するときがあり、4点角は果実が静止したときでも0度になることは珍しかった。果実を左右に振動させたとき、果梗付近がしなるよ

うに折れ曲がった。このとき、2本の直線の交差は、果実が左に最も寄ったときは大抵右に凸、右に最も寄ったときは大抵左に凸になり、いずれも、4点角は静止したときよりも大きくなった。ただし、左に最も寄ったときの4点角は、右に最も寄ったときの4点角に等しくならなかった。従って、物理的処理による折れ曲がり角度の減少効果を比較するためには、同一果実に異なる処理を施し、果実ごと、かつ、左右別々に比較する必要がある（第1表）。以下、個々の果実と左右の組み合わせを実験区と記す。

パンチカーペット区の折れ曲がり角度が対照区に比べて有意に減少した実験区の数24実験区中10実験区であった（第1表）。また、十文字テープ区の折れ曲がり角度が対照区に比べて有意に減少した実験区の数24実験区中8実験区であった（第1表）。特に、'スターキング・デリシャス'と'バートレット'でその効果が顕著であった。ただし、有意差を有しながら対照区と処理

Table 1 The effects of the physical treatments on the bending angles near the fruit stalk during the fruit vibration. LBA and RBA indicates the mean bending angle where the fruit moved to the left most and to the right most, respectively. The abbreviations of the treatments refer to Fig. 2.

Varieties	Fruit number Treatments	1		2		3							
		LBA	RBA	LBA	RBA	LBA	RBA						
Jonathan	Cont.	33.0	31.0	18.8	b ^z	37.4	25.2	a	17.2				
	"+" tape	11.4	24.4	26.3	a	18.2	4.6	b	16.5				
	Punch carpet	12.8	11.3	30.9	a	27.3	13.4	b	13.9				
Starking Delicious	Cont.	27.4	a	35.1	a	48.4	a	32.0	a	14.0	27.3		
	"+" tape	18.5	b	26.9	b	29.9	b	9.0	b	9.9	23.1		
	Punch carpet	12.0	c	9.3	c	32.8	b	19.4	ab	9.6	19.6		
Bartlett	Cont.	24.4	a	7.5		22.2	a	23.9	a	27.5	a	21.0	
	"+" tape	21.4	a	7.7		17.7	a	19.0	b	18.1	b	21.8	
	Punch carpet	5.2	b	3.9		10.2	b	12.7	c	7.1	c	17.6	
La France	Cont.	39.2		49.7		46.1	a	34.4		9.3		35.8	a
	"+" tape	25.9		47.3		41.4	ab	36.0		11.6		12.6	b
	Punch carpet	27.3		37.1		33.6	b	32.5		4.6		18.5	b

^z Different letters in the same column in each experiment indicate significance at the 5% level by Tukey's multiple range test for means (n=4).

区の大小関係が逆転した例が‘紅玉’で1件見られた（第1表）。この原因については考察に記した。

5. 人工的落果試験の結果

衝撃装置を用いた実験において、果梗基部以外でも離脱するケースがみられた。その原因を調査したところ以下のことが判明した。すなわち、ハンマーは果実胴部に衝突した後に、通常、果実頂部方向にそれる。しかし、衝撃装置をやや不正確に操作すると、ハンマーは果実胴部に衝突した後に果梗側にそれ、最終的に果台枝基部、短果枝、果実と果梗の境界などに衝突する。途中、ハンマーは果梗や果台枝の付近を圧迫するため、果梗基部付近は折れ曲がらず、上記の最終的な衝突部位の折損をもたらすことである。強風落果では、この現象（果台枝基部、短果枝、果実と果梗の境界などの折損）は通常見られなかったことから、果梗基部以外の離脱データを除外し、離脱率は未離脱果実数と果梗基部で離脱した果実数だけを用いて計算した。実験の結果、セイヨウナシでは‘ラ・フランス’で対照区と十文字テープ区あるいはパンチカーペット区に離脱率の有意な大小関係が認められた（第8図）。また、リンゴでは‘紅玉’で対照区と十文字テープ区あるいはパンチカーペット区に離脱率の有意な大小関係が認められた（第8図）。

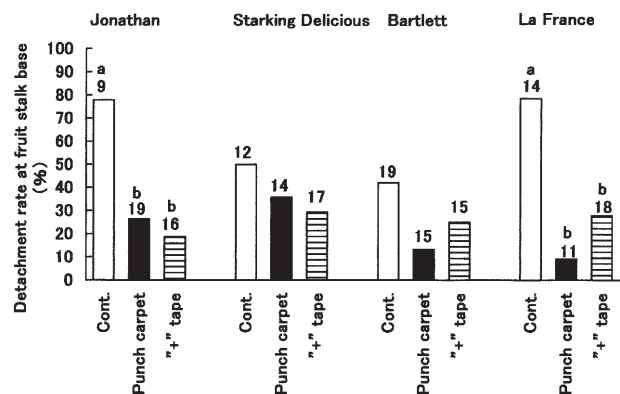


Fig. 8 The effects of the physical treatments on the detachment rates at the fruit stalk base in the artificial fruit drop test using the shock equipment. The numerals indicate numbers of fruits examined. The abbreviations of the treatments refer to Fig. 2. Different letters in the same variety indicate significance at the 5% level by Tukey's multiple range test for ratios.

考 察

1. 強風落果の発生機構

リンゴなど仁果類の後期落果は、果実の成熟に伴って、果梗基部に離層が形成され、果実の重さに耐えられず起きる（中川, 1978）。離層の形成には植物ホルモンや細胞壁を分解する酵素が関係するから、植物成長調節剤を用

いた落果防止試験がこれまで数多く報告され (Bangerth, 1978; Batjerら, 1946; Batjerら, 1966; Byersら, 2005; Smockら, 1954), 一部は実用化されてきた。現在では主にジクロロプロップがリンゴの後期落果防止剤に使用されている。強風落果は後期落果の一つと言えるが、微風でも落果する収穫前落果と同一視できない。強風落果は、果実がある程度重くなれば着色前でも発生する。また、上記の後期落果防止剤散布が強風落果の防止に有効であったという報告も無い。よって、強風落果の発生は離層の完成や離層細胞壁の溶解などに直接関係しないと考える方が妥当だろう。

無風状態では、果梗に加わる力は重力だけなので、果頂部が真下を向く果実の重量が平行離脱抵抗力を超えない限り落果しない。両樹種とも、第7図実験期間の平行離脱抵抗力は数キログラムのレベルであり、重さ数百グラムの果実は無風条件下で落果しないと考えられる。果頂部が真横を向く場合、果実の荷重は果梗軸に対して垂直方向に加わる。8月以降の垂直離脱抵抗力は約200gのレベルであり (第7図), 果実重量がこれを上回れば、無風状態でも落果すると考えられる。しかし、真横を向くケースは極めてまれである。収穫期の果実は重いので、果梗軸が天頂となす角度 (α) は大抵15度以下である。果梗軸に対し垂直方向に加わる荷重成分は果実重量 $\times \sin \alpha$ に等しいので、この場合、重量 $\times 0.26$ 以下になり、落果の危険性はほとんど無いものと考えられる。

強風落果には慣性の法則 (宮島, 1965) が深く関わる。すなわち、質量の大きい果実の着生した枝が強風により揺れ始めるとき、慣性の大きい果実は枝揺れ方向に向かって引きずられ、振り子運動を始める。風がやめば枝揺れはすぐ停止するが、慣性の大きい果実の振動運動は直ちに止まらない。このとき加わる力は一般に慣性力 (あるいは慣性抵抗) と言われる。強風時に発生する上記状態の繰り返しは、果実と短果枝を繋ぐ果梗と果台枝に対して垂直方向の慣性力を発生させる。慣性力が垂直離脱抵抗力を上回るとき、この部分が壊れ、落果する。強風落果の発生時、葉は落葉期のように大量に落ちない。葉は風圧ではためき、葉柄はたわみ、一部は引きちぎられるが、葉の質量が小さいので、慣性力は小さいものと考えられる。

強風落果には、第7図に見られるように、各品種の収穫期より2か月以上前から、平行離脱抵抗力に比べ、垂直離脱抵抗力が極めて小さいことが深く関係するものと

考えられる。リンゴやセイヨウナシにおいて、平行離脱抵抗力に比べ、垂直離脱抵抗力が何故これほどまでに小さいのか。著者らは、果台枝・果梗の境界部に観察されたくびれ (第6図) がその原因と考える。このくびれは組織内部から発生したものではなく、新梢の一種である果台枝の先端部付近に果梗が着生し、その後の両器官の肥大に伴い、自然に外部からくびれたものであった。また、くびれの先端部は極めて狭い隙間を形成していた (第6図)。慣性力により果台枝と果梗がたわむように折れ曲るとき、このくびれや隙間の存在は、この部分の機械的強度を著しく損なう。

2. 強風落果防止に関する各物理的処理の効果

強風落果の防止を目的として、果実周辺になんらかの物理的処理を施す場合、機械的に最も弱い果梗基部に慣性力を集中させない工夫が最も重要である。ギブス包帯のように果梗、果台枝および短果枝の一部をパンチカーベットのような強固な資材で被い補強すれば、折れ曲がり角度が小さくなり、果梗基部が壊れにくくなる。振動の際、脆弱な果梗基部付近の折れ曲がり減少し、これ以外の強固な部分がたわむことで、慣性力を分散することが期待できる。

また、次善の策として、果梗基部が離脱しても落果損傷を防ぐ工夫も必要である。果実を網袋で吊ったり、果梗から短果枝部分までを粘着テープで固定することには、果実の荷重の一部を網やテープに肩代わりさせ、果梗基部に加わる荷重を減少させる効果が期待できる。ただし、強風発生時期が果実成熟前の期間である場合は意味が無い。

果実を吊っただけの網袋処理 (山本・伊藤, 2007) には、果梗付近の折れ曲がり防止効果はあまり期待できない。テープ処理には折れ曲がり防止効果が期待できたが、柔らかい粘着テープを2枚重ねた一文字テープ処理 (山本・伊藤, 2007) では、振動方向がテープ面に垂直なとき、折れ曲がり防止効果はあまり期待できない。

振動実験結果の一部に、対照区の折れ曲がり角度が処理区よりも有意に小さいケースが見出された (第1表)。その原因として、対照区の振動の際、不注意のため、回転運動の混じった振動を与えたことが考えられる。この場合、振幅が大きくても曲線状に振動するため、カメラに写る振幅は小さく、4点角も減少する。

物理的処理の実用性を比較すると、網袋処理 (山本・

伊藤, 2007) には果梗付近の折れ曲がりを減少する効果は小さいが, 果梗基部で離脱しても落果損傷を免れる長所がある。ただし, 袋の取り付け労力や資材費の問題が残る。粘着テープ処理には取り付け時期が早すぎなければ, 果梗基部が離脱しても落果損傷を免れる長所があり, さらに十文字テープ処理の場合, 折れ曲がり角度の減少効果も大きい。十文字テープ処理の資材費は僅かであるが(1果当たり1.84円), 取り付け労力は無視できない。パンチカーペット処理の場合, 資材費1果当たり0.79円と低廉で, 取り付け作業も僅かであった。ただし, 果梗基部で離脱すると, 早晚落果したことから, 同処理には落果損傷を防止する効果は小さい。

上記の実験に用いた物理的処理は, 有り合わせの資材を利用したにすぎず, いずれも, 機械的強度の増強, 取り付け利便性の付与, 経費削減の面で改良の余地がある。最近, 棚仕立てのニホンナシ用として, 取り付けの利便性を備えた網袋が市販され始めたので, リンゴやセイヨウナシに應用できるかもしれない。十文字テープ処理やパンチカーペット処理と同等な考え方で, 農業資材面のノウハウを活用することにより, より強固で, ワンタッチで取り付け可能なものが実現することを期待したい。

なお, それぞれの処理果について, リンゴでは収穫期, セイヨウナシでは追熟後に, 果実の品質を比較したが, 処理区間に果実品質の大きな違いは認められなかった(データ未掲載)。また, 上記物理的処理は, 強風落果とは別に, 収穫前落果の防止や果実の樹上着生期間の延長にも役立つ傾向が見られたので(データ未掲載), 今後検討したい。

摘 要

リンゴやセイヨウナシの強風落果は, 強風による枝揺れのときの果実の慣性力によって, 果梗基部(離層形成帯付近)が折損離脱するために起きる。セイヨウナシ2品種(‘ラ・フランス’および‘バートレット’)およびリンゴ2品種(‘紅玉’および‘スターキング・デリシャス’)とも, 果台枝と果梗の肥大生長に伴い, 両者境界部のくびれが顕著になり, その先端部は狭い陥没状空隙として内部まで食い込んでいた。このためか, 果梗軸に垂直方向の果実離脱抵抗力は平行方向の離脱抵抗力より著しく小さかった。果実の荷重と果梗付近の折れ曲がり

を減少させるために, 果実収穫期約50日前に, 以下の2種類の物理的処理を施した。すなわち, 凸状に折りたたんだ2枚の粘着テープで果梗, 果台枝および短果枝を固定する処理(十文字テープ区)およびパンチカーペットで果梗, 果台枝および短果枝の一部を包みホッチキスで固定する処理(パンチカーペット区)を施した。各収穫期に, 果実を振動させたときのビデオ画像を用いて, 果梗付近の折れ曲がり角度を測定し, 対照区と比較した。その結果, 両処理区に大きな効果が認められた。衝撃装置による人工的落果試験の結果, 両樹種各1品種(‘ラ・フランス’および‘紅玉’)において, 両処理による果梗基部の離脱を減少する効果が認められた。

引用文献

- Bangerth, F. 1978. The effect of a substituted amino acid on ethylene biosyntheses, respiration, ripening and preharvest drop of apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103 : 401 - 404.
- Batjer, L. P. and A. H. Thompson. 1946. Effects of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid sprays in controlling the harvest drop of several apple varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 47 : 35 - 38.
- Batjer, L. P. and M. W. Williams. 1966. Effects of N-dimethyl amino succinamic acid (Alar) on watercore and harvest drop of apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 88 : 76 - 79.
- Byers, R. E., D. H. Carbaugh, and L. D. Combs. 2005. Ethylene inhibitors delay fruit drop, maturity, and increase fruit size of ‘Arlet’ apples. *HortSci.* 40 : 2061 - 2065.
- 飯塚一郎. 1961. 果樹の風害の研究(3). 果梗の頂基部の強度と果実の風の抵抗. *農業気象.* 17 : 30 - 32.
- 宮島龍興. 1965. 力学 I. 石黒浩三・金沢秀夫・熊谷寛夫・小谷正雄・宮島龍興編集. 朝倉物理学講座1巻. 朝倉書店. 東京.
- 森永邦久・薬師寺博・宮田明義・小野祐幸・棟居信一. 1999. 潮風害による樹勢低下ウンシュウミカン樹における光合成産物の転流・分配特性. *園学雑.* 68 : 95 - 100.
- 村松 昇・高原利雄・緒方達志・高辻豊二・児玉清秀. 1994. ‘河野なつだいたい’の台風による落葉被害

- 樹の摘果の是非. 園学雑. 63 (3) : 31 - 37.
- 中川昌一. 1978. 果樹園芸学原論. 養賢堂. 東京.
- 農林水産省果樹試験場. 1992. 落葉果樹における台風被害後の生育相と対策技術の評価. 平成4年度 (1992) 果樹課題別研究会資料. pp. 1 - 55.
- 小笠原佐代市. 1971. カンキツの潮風害とその対策に関する研究. 山口農試特別研報. 25 : 47 - 63.
- 緒方達志・村松 昇・高辻豊二・高原利雄. 1995. カンキツの潮風害とその回復対策. 第2報 潮風害樹に対する摘果および秋梢除去の効果. 果樹試報. 28 : 61 - 67.
- Smock, R. M., L. J. Edgerton, and M. B. Hoffman. 1954. Some effects of stop drop auxins and respiratory inhibitors on the maturity of apples. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 63 : 211 - 219.
- 土屋功位. 1971. 果実の機械収穫に関する研究 (第1報). 農業機械学雑誌. 33 : 173 - 181.
- 山本隆儀・伊藤昌美. 2007. セイヨウナシとリンゴにおける物理的な落果防止処理の効果及び樹上着生果実品質への影響. 農業環境工学関連学会合同大会講演要旨集: 312.
- 山本隆儀・鈴木雅南子・奥谷紘平・田頭玲子・川上 洸・伊藤昌美. 2008. 8月以降の台風による渋ガキ果実の潮風害 (果皮の微細亀裂), その後の脱渋処理で発生する果面汚損および防止対策. 農業気象. 64 : 69 - 79.