

第2編 高糖度果実の安定生産技術に関する研究

果物は、嗜好品であり、味が品質の中で重要な要素となることは疑う余地がない。ニホンナシの場合、糖度と肉質が果実品質を決定する要素といわれている（町田、1965）。しかし、冷夏長雨年には低糖度傾向が著しくなり（本條、1994）、大きな問題となることがしばしばある。

通常年の栽培において出荷基準糖度をわずかに超える程度の果実を生産している、冷夏年に基準糖度以上の果実を生産することは不可能である。本編では、高糖度果実を安定生産するための基礎的知見と実用的技術の開発を行うため、葉と糖度の関係に注目して研究を行った。

第1章 ニホンナシ短果枝葉の光合成能力の季節変化

樹体の維持、成長や果実の成長に使われる物質の生産は葉で行われる光合成作用に依存している。個葉の光合成能力や光合成特性を正確に把握することは、その作物の成長モデルを精緻化するとともに、生産力や品質の向上に向けた技術開発に資する。果樹の個葉光合成能力（飽和光下光合成速度）は一般的に成葉化とともに増加し、最大値となった後は、加齢とともに低下することが知られている（松井、1989）。しかし、ニホンナシにおいて光合成能力の加齢変化や季節の変化を調査した例は熊代ら（1990）の報告のみであり、同一葉を同一条件下において経時的に調査した例はない。一方、ニホンナシの最適な葉面積指数（LAI）を考える際は、短果枝葉と新梢葉のLAIを分けて考えるべき（高橋、1989）とされており、林（1960）、小豆沢・伊藤（1983）、吉田ら（2006）は短果枝葉率が高いことが果実生産力を高めるために重要であるとしている。そこで、本試験は、ニホンナシの代表的品種である‘幸水’および‘ゴールド二十世紀’を用い、果実の生産、品質形成に重要な働きを持つと思われる短果枝葉について、個葉光合成能力の季節変化を調査するとともに、‘ゴールド二十世紀’樹の新梢葉と短果枝葉の落葉率および日射吸収量の変化を調査し、物質生産能力の変化について知見を得ることを試みた。

なお、本試験においても第1編第3章と同様、10cm未満の1年枝を短果枝、10cm以上の1年枝を新梢として取り扱った。

材料および方法

1. 試験地と供試樹

1999年には農林水産省果樹試験場（現在 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所）において露地ほ場植栽の24年生ニホンナシ‘幸水’を供試した。また2001年には鳥取県園芸試験場内の露地ほ場、ハウス内（加温栽培）に植栽の‘ゴールド二十世紀’（露地：高接ぎ後10年、

ハウスの高接ぎ後13年、中間台は両ほ場とも‘二十世紀’29年生）を供試した。試験年（2005年）の作型の満開日は、ハウス栽培樹が3月21日、露地栽培樹が4月13日であった。ハウス栽培樹は、2月26日から5月7日までハウスを被覆（POフィルム）し、保温することで成育を促進した。収穫時期は、ハウス栽培樹が7月下旬、露地栽培樹が8月下旬～9月上旬であった。

2. 測定機器と測定条件の検討

光合成速度の測定にはオープンチャンバー型の光合成蒸散測定装置（LI-COR社：LI 6400P）を用いた（第2-1図）。この装置は、チャンバー内の光合成有効放射束密度（以下PPFD）、CO₂濃度、温度ならびに通気量を任意に設定できるが、ニホンナシの光合成測定を行った報告がなかった。そこで、次の予備試験を行い、測定条件の検討を行った。

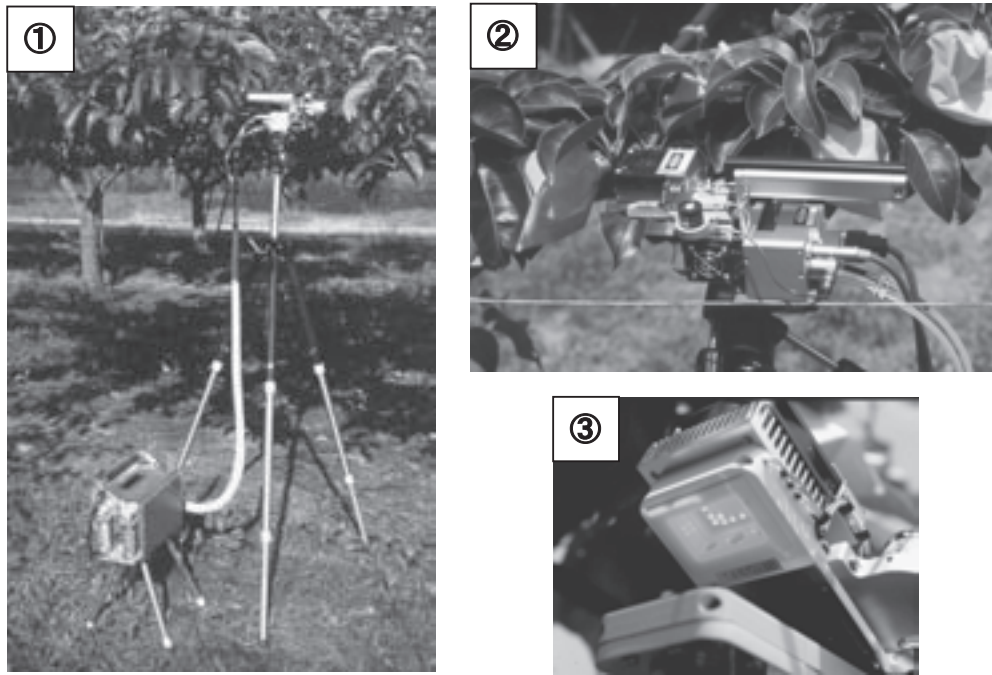
①通気量の検討：PPFDを1500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の条件に設定したチャンバーに‘幸水’の短果枝葉を挿入後、通気量を75～750 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲で連続的に変化させて光合成速度を測定した。

②光飽和点の調査：光合成能力の測定は光飽和点以上の光量が必要であるため、チャンバー内のPPFDを0～2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に変化させて光-光合成曲線を作成し、光飽和点を求めた。‘幸水’‘ゴールド二十世紀’とも短果枝葉3葉について、晴天時の午前中に調査した。

③測定時刻の検討：‘幸水’の短果枝葉を用い、PPFDを1500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ にした場合および外光に同調したPPFDを照射した場合について、晴天日の日の出直後から日没前まで1時間ごとに光合成速度を測定し、日変化を調査した。

3. 光合成速度の季節変化

‘幸水’は1樹内より8個の短果枝を選び、それぞれ



第2-1図 試験に使用したオープンチャンバー型光合成蒸散測定装置
(LI-COR社：LI 6400P)

①装置全体像 ②測定中の様子 ③チャンバー内のLED(点灯時の状態)

の中位葉1枚にラベルを付けこれらの光合成能力を6月29日～9月3日まで約2週間間隔で測定した。‘ゴールド二十世紀’は露地栽培、ハウス栽培とも4樹を供試し、1樹につき5個の短果枝の中位葉各1枚(4樹合計20葉)の光合成能力を各作型の満開約1ヶ月後(加温栽培：4月23日、露地栽培：5月19日)から11月8日まで、‘幸水’と同程度の間隔で測定した。測定は水分ストレスのない状態で行うため、降雨後数日以内または灌水翌日に行うようにした。なお、後述する予備試験の結果に基づき、通気量は $500 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 、PPFDは $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、測定時刻は早朝から午前9時までの間とした。

なお、 CO_2 濃度については、‘幸水’調査時は制御を行わず、ほ場の棚上4mから取り入れた外気を使用し、‘ゴールド二十世紀’調査時はチャンバー入り口濃度を370ppmに制御した。また、この装置は光合成速度と同時に蒸散速度、気孔コンダクタンスが測定・計算される。これらの値を利用して、測定後に葉肉コンダクタンスを堀江ら(1981)の方法により求めた。

4. 落葉率、日射吸収量の変化

3. の試験で用いた鳥取県園芸試験場のハウス栽培および露地栽培の‘ゴールド二十世紀’4樹を供試した。5月30日から約1か月間隔で1樹につき樹冠下(棚下約1m)6か所と樹上1か所に日射量測定フィルム(大成オプトリーフY-1W)を設置し(第2-2図)、1回につき

約1週間の積算日射量を調査した。この調査を4樹で行い、樹下の測定値と樹上の測定値の比により、ニホンナシ樹の日射吸収率を求めた。これらの調査樹には、5月13、15日に短果枝葉および新梢中央部にそれぞれ800枚のラベルを付けた。数日おきに落葉したラベル葉を回収し、全落葉後、回収された全葉数と回収日までの回収数との比により時期ごとの落葉率を求めた。

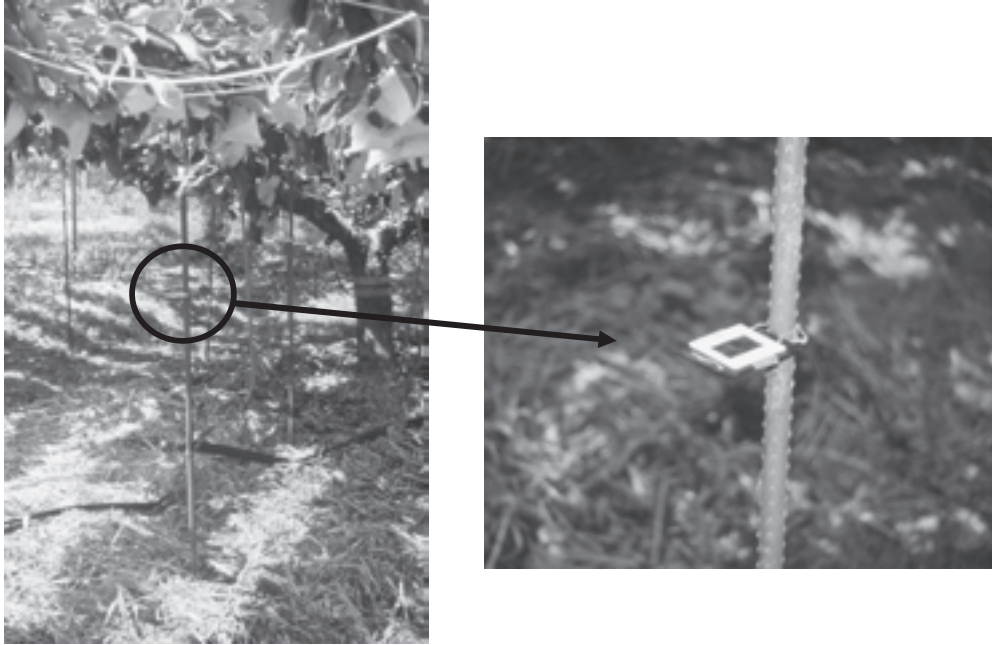
結 果

1. 予備試験

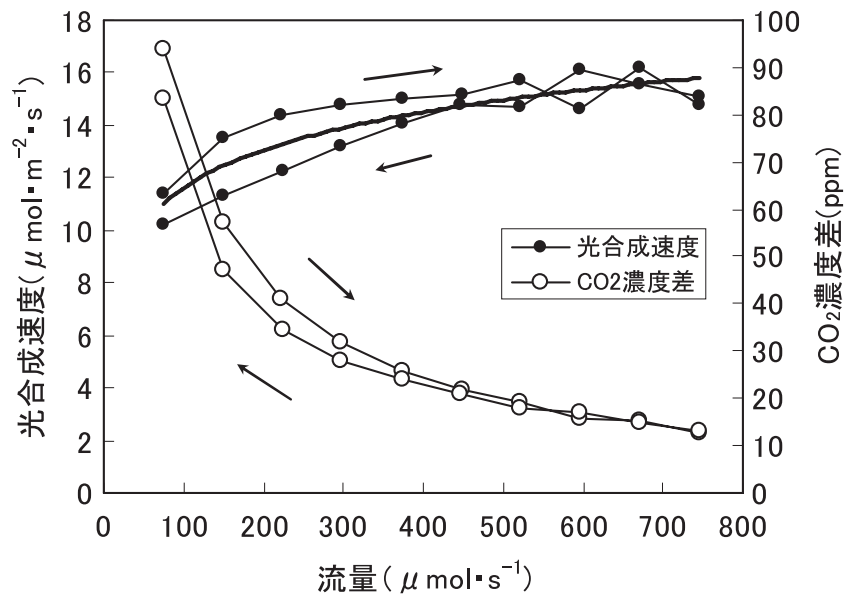
①通気量の検討：通気量と光合成速度の関係を第2-3図に示した。通気量が少ないと光合成速度は低下傾向を示し、特に $300 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下の場合急激に低下した。チャンバー入り口と出口の CO_2 濃度の差は $300 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下で急激に増加した。

②光飽和点の調査：‘幸水’および‘ゴールド二十世紀’の光-光合成曲線はそれぞれ第2-4図、第2-5図のとおりであった。両品種とも光合成速度はPPFD1000～ $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で飽和した。飽和光下で測定された最大の光合成速度は‘幸水’で $15.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、‘ゴールド二十世紀’で $18.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。

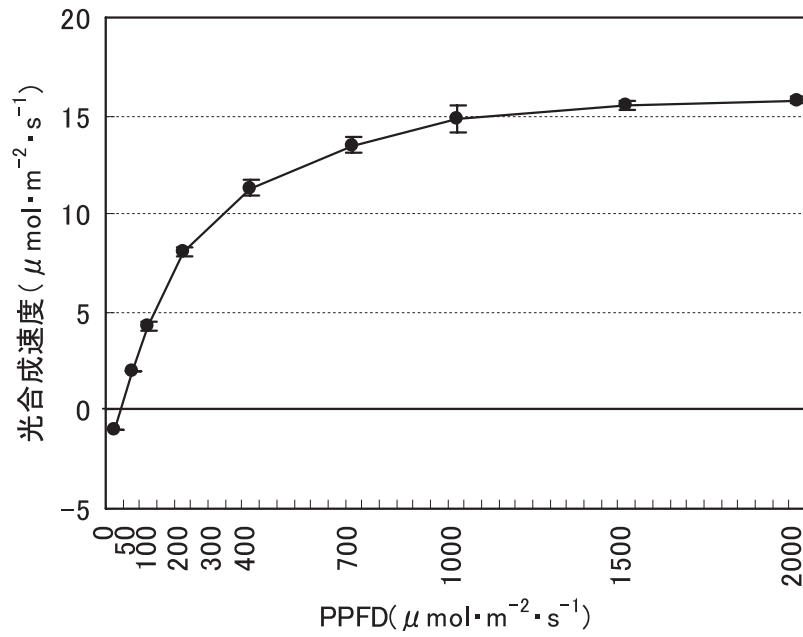
③測定時刻の検討：光合成速度の日変化を第2-6図に示した。光合成速度は外光同調時、飽和光照射時とも午前7時に最高値を示し、9時まで高い値を保った後11時にかけて低下した。その後、12時から13時にかけていったん



第2-2図 日射量測定フィルムを用いた樹冠下の日射量測定の様子

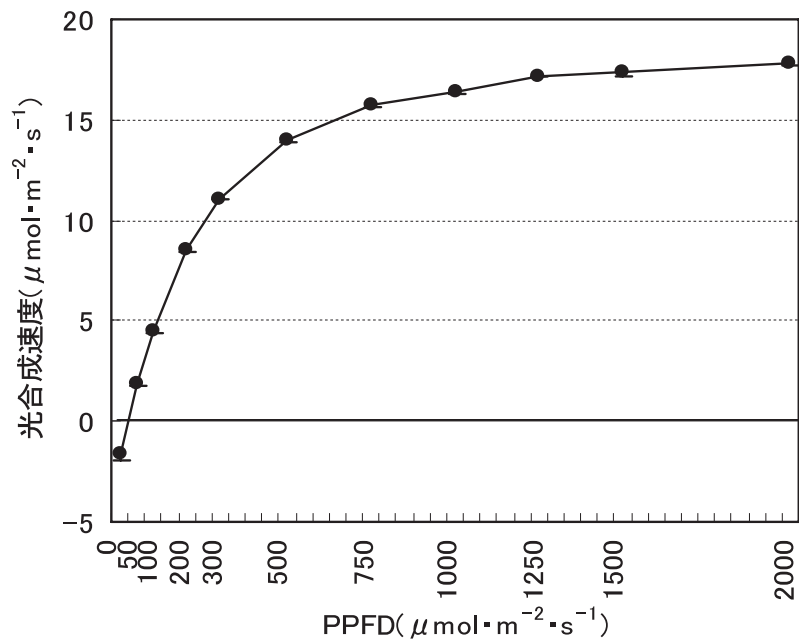


第2-3図 チャンバー内の流速が‘幸水’の光合成速度およびチャンパー内CO₂濃度に及ぼす影響
図中の矢印は測定順序を示す



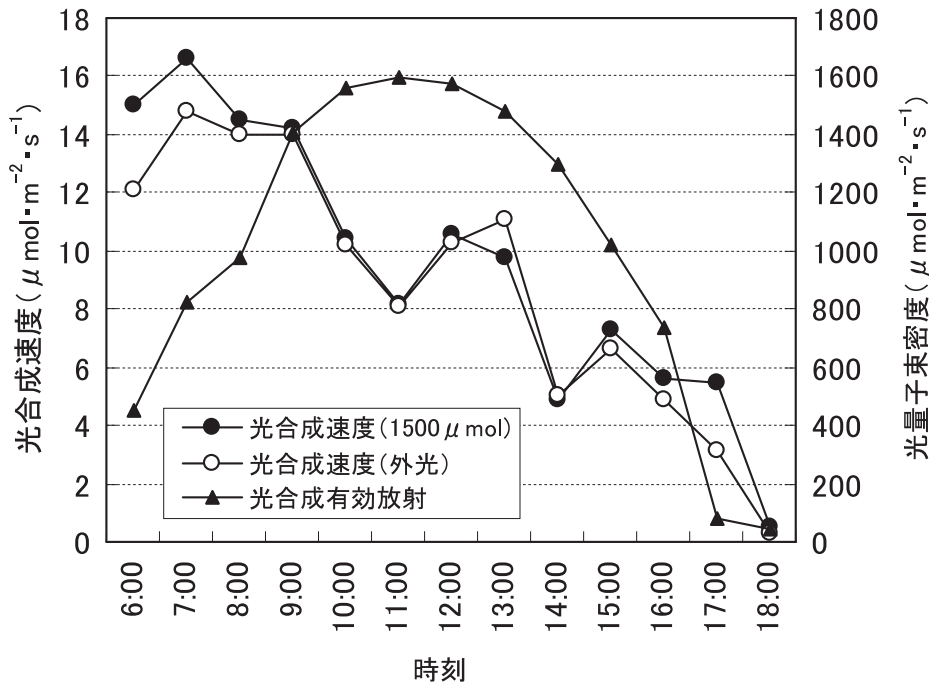
第2-4図 '幸水' の光-光合成曲線

グラフの各シンボルのバーは標準誤差を示す (n=3)



第2-5図 'ゴールド二十世紀' の光-光合成曲線

グラフの各シンボルのバーは標準誤差を示す (n=3)



第2-6図 ‘幸水’の光合成速度の日変化

やや上昇したが、その後日没まで次第に低下した。

2. 光合成能力の季節変化

① ‘幸水’：光合成能力は6月29日～8月18日にかけて、やや上昇傾向を示しつつ推移し、収穫期（8月20～31日）以後有意に低下した（第2-7図）。気孔コンダクタンスは8月18日にかけて有意に上昇したが、収穫後には6月29日と同レベルに低下した（第2-8図）。葉肉コンダクタンスは8月18日まで一定レベルで推移し、収穫期以後有意に低下した（第2-9図）。

② ゴールド二十世紀：ハウス栽培における光合成能力は、4月23日（満開約1ヶ月後）には、最大能力に達しており、収穫開始14日前の調査（7月3日）までその能力を維持した後、次第に低下した（第2-10図）。露地栽培においては、5月19日（満開約1ヶ月後）は最高値の9割程度の能力であったが、50日後には最高値に達し、ハウス栽培と同様収穫期までその能力を維持した後、次第に低下した（第2-11図）。気孔コンダクタンスは、両作型とも、収穫期前に有意に上昇した後、収穫後に再び低下するという動きを示した（第2-12、13図）。葉肉コンダクタンスの変化は、光合成能力の変化と概ね一致した動きを示したが、光合成能力の場合より低下が早く始まる傾向を示した（2-14、15図）。

3. 落葉率および日射率の変化

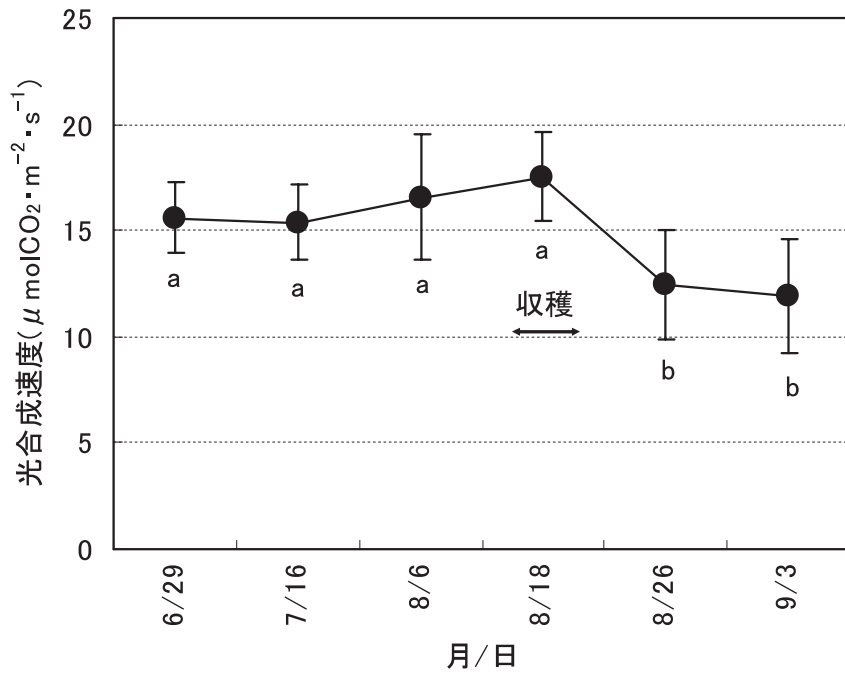
落葉率および日射吸収率の変化を第2-16図（ハウス）、第2-17図（露地）に示した。両作型とも短果枝葉の落葉

は、7月からわずかに認められたが、多くなったのは収穫期以後で、9月中旬以後10月中旬にかけて急激に増加した。10月下旬に一時低下は収まったが、11月になると再び増加し下旬にかけて全葉が落葉した。新梢葉は、収穫後に落葉が始まり、10月下旬まで次第に減少し、その後急激に落葉した。日射吸収率は、収穫まで高い値を示した後、新梢葉の落葉とほぼ並行して減少した。

考 察

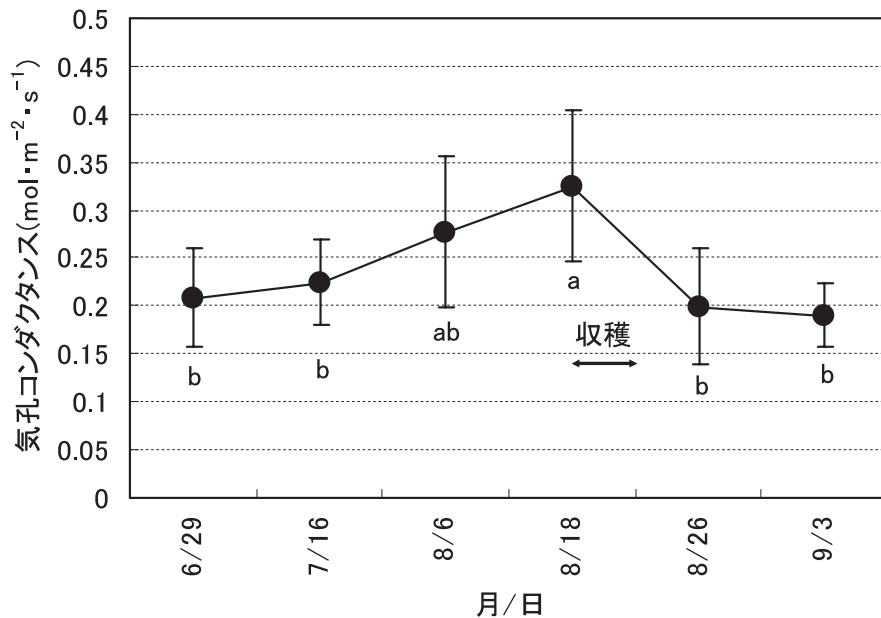
石井ら（1980）はリングにおいてチャンバー内の空気 of 十分な攪拌が来ている場合、その光合成能が通気速度とともに上昇し、やがてプラトーに達することを報告している。また、低い通気速度での光合成能の低下はチャンバー内のCO₂濃度が低くなったためとしている。本試験においても、流量が少ない場合、チャンバー内のCO₂濃度が低下し、光合成速度は低下した。石井ら（1980）は、通気速度はプラトー値以上に高めていく必要があると述べているが、本試験において、600 μmol·s⁻¹以上では光合成能力の低い葉の場合、チャンバー入り口側と出口側のCO₂濃度差が10ppm以下となり、非常に慎重な測定が要求された。そこで季節変化の調査に当たっては、入り口と出口の濃度差として20ppm程度を確保できるよう、500 μmol·s⁻¹の通気速度で調査を行った。

光-光合成曲線から求められた光飽和点および光合成能力の値は、1000～1200 μmol·m⁻²·s⁻¹であり、本條ら（1983）、熊代ら（1990）の報告とほぼ同じであった。そこで季節変化の調査に当たっては、飽和点を十分に超



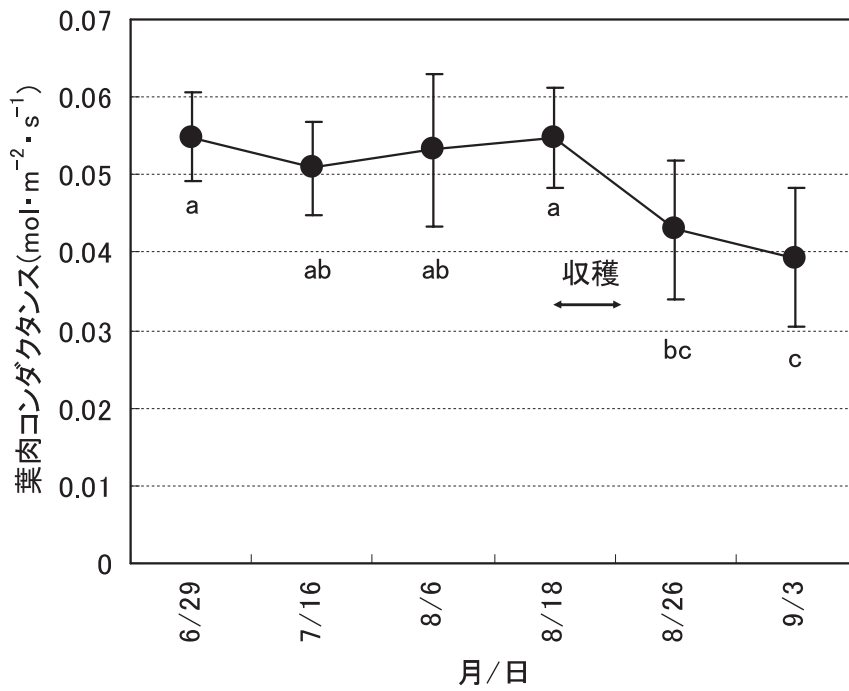
第2-7図 '幸水'の光合成能力の季節変化

グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。



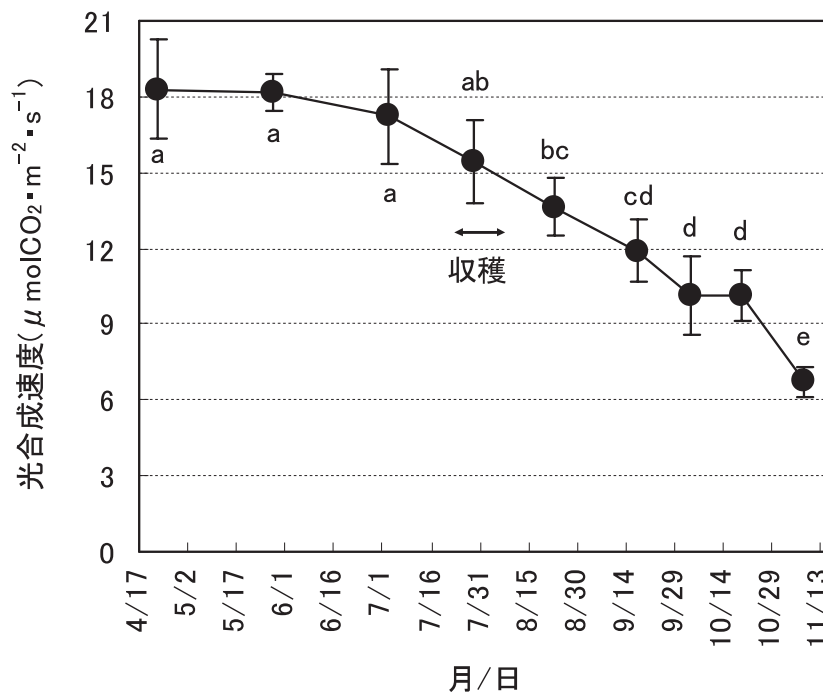
第2-8図 '幸水'の気孔コンダクタンスの季節変化

グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。



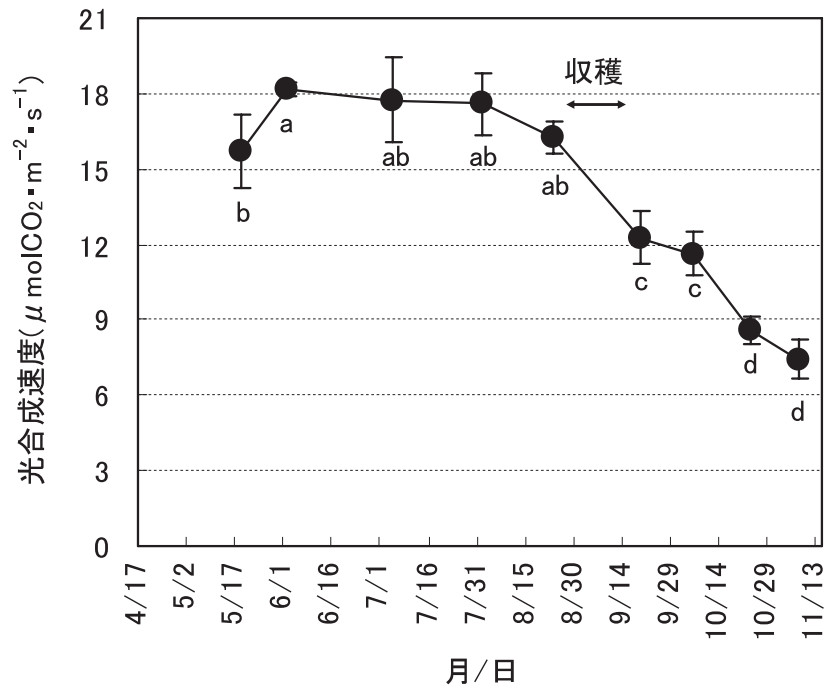
第2-9図 ‘幸水’の葉肉コンダクタンスの季節変化

グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。

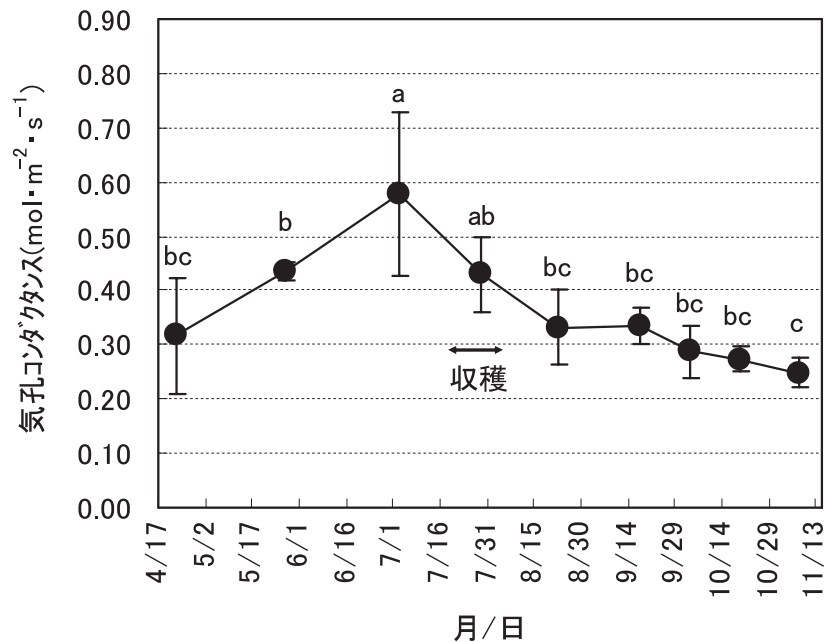


第2-10図 ‘ゴールド二十世紀’の光合成速度の季節変化（ハウス栽培）

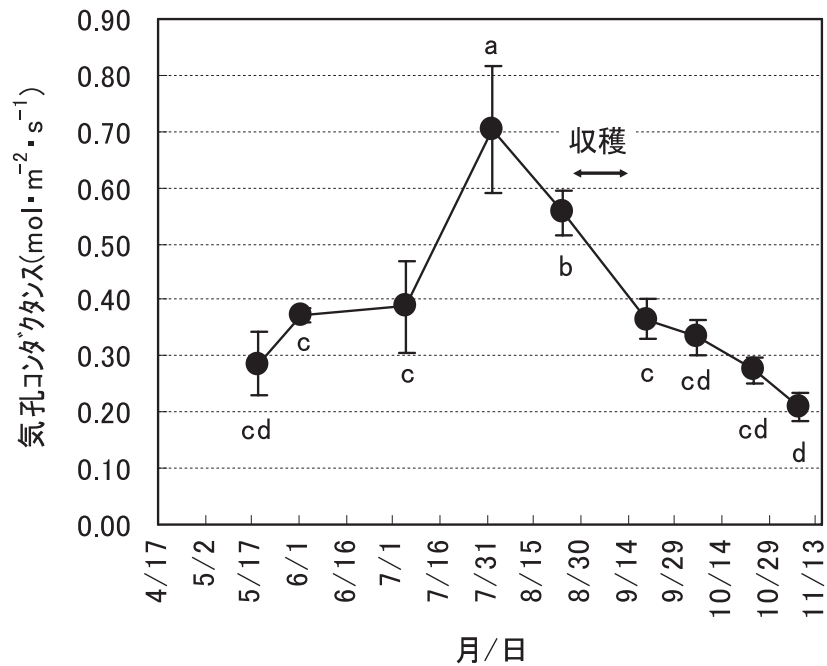
グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。



第2-11図 ‘ゴールド二十世紀’の光合成速度の季節変化（露地栽培）
 グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。

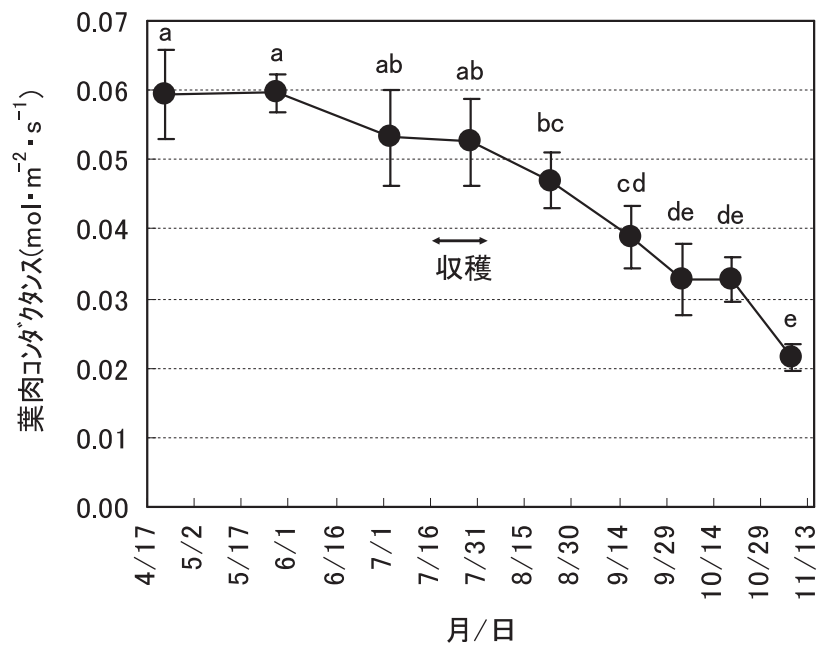


第2-12図 ‘ゴールド二十世紀’の気孔コンダクタンスの季節変化（ハウス栽培）
 グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。



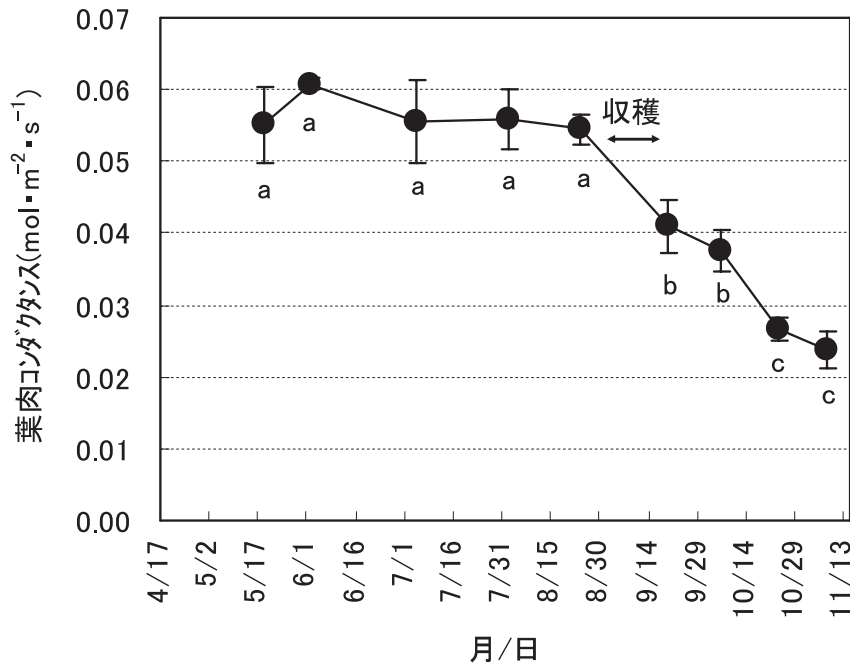
第2-13図 ‘ゴールド二十世紀’の気孔コンダクタンスの季節変化(露地栽培)

グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。



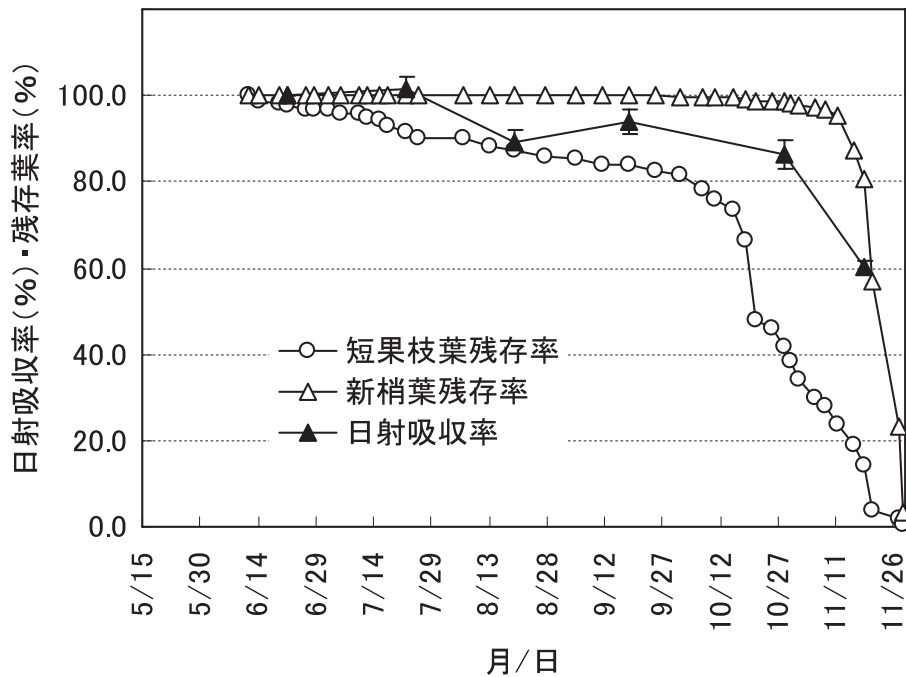
第2-14図 ‘ゴールド二十世紀’の葉肉コンダクタンスの季節変化(ハウス栽培)

グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。



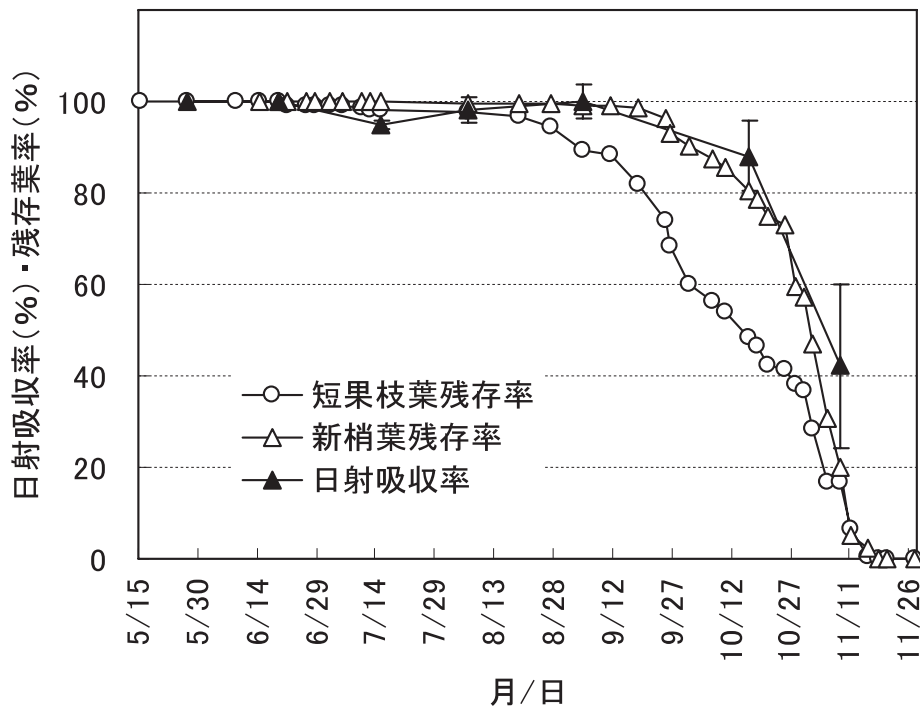
第2-15図 ‘ゴールド二十世紀’の葉肉コンダクタンスの季節変化（露地栽培）

グラフの各シンボルのバーは標準偏差、アルファベットは異符号間にチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す。



第2-16図 ‘ゴールド二十世紀’の日射吸収率、残存葉率の変化（ハウス栽培）

（いずれも初回測定値を100とした。日射吸収率の垂線は標準誤差を示す。n=4）



第2-17図 ‘ゴールド二十世紀’ の日射吸収率、残存葉率の変化（露地栽培）
 (いずれも初回測定値を100とした。日射吸収率の垂線は標準誤差を示す。n=4)

える $1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の光を照射し、測定を行った。

ニホンナシの光合成速度の日変化は、熊代ら(1990)が‘幸水’について報告している。この報告は、外光を当てた調査であるため、光合成速度は、日の出から次第に高くなり、9時~10時に最大となった後低下している。本調査では、最大能力の維持時間を調べるため、自然光に同調させた場合とともに飽和光を早朝から当てた場合も調査を行った。その結果、自然光、飽和光ともに午前7時に最大値を示し、9時頃まで高い値を維持した後、10時以降、正午にかけて急激に低下した。また伊藤ら(2003)は、渦相関法によってニホンナシ群落の二酸化炭素フラックスを測定したところ、二酸化炭素吸収速度が晴天日にはしばしば午前9時~11時を境に低下することを確認している。このようにニホンナシの個葉や群落の光合成速度が午前中から低下する原因は必ずしも明らかでないが、90%以上の果実が摘果されることによるsink能力の不足や、水分ストレスなどが考えられる。従って、最大光合成能力を測定する観点からは、早朝から測定を開始し、9時頃には調査を終える必要がある。

ニホンナシにおいて光合成速度が最大となる時期について、熊代ら(1990)は6月下旬、としており、これは満開約70日後と推定される。しかし、Tengら(2002)は満開2週間後、Zhangら(2005)は満開28~63日後としており、結果が互いに異なっている。本試験において

‘幸水’と‘ゴールド二十世紀’のハウス栽培の場合は初回調査時に既に最大値に達していたため判定できないが、‘ゴールド二十世紀’露地栽培の場合6月上旬(満開約50日後)に最大となった。この結果は、Zhangら(2005)の報告を支持するものである。なお、熊代ら(1990)は6月の測定時の気温が高すぎたため、光合成速度が最大となる時期が遅れたのではないかと述べている。また、Tengら(2002)の報告の光合成速度は、本試験や他の試験例に比べ非常に低い値であり、測定葉あるいは樹の状態が通常より劣っていた可能性が考えられる。

一般に木本植物の光合成能力は草本植物に比べて長期間維持されるといわれている(木村・戸塚、1973)。本試験においても‘幸水’の個葉光合成能力は、収穫期までは葉齢の経過に伴う低下は少なく、収穫後に低下することが明らかになった。なお、‘幸水’において8月6日と18日の値が6~7月より10%程度高いが、これは、光合成能力が顕著に増大したものではなく、測定中の CO_2 濃度が他の測定日より7%程度高かった(データ省略)ことが主な原因と思われた。また、‘ゴールド二十世紀’は作型に関係なく光合成能力が収穫期まで維持された。高橋・倉橋(1983)、本條ら(1989)はブドウ、小野(1985)はウンシュウミカンにおいて着果樹または着果節近くの葉の光合成速度が高いことを認めており、Monselise・Lenz(1980)は、リンゴにおいてシンク能

力の強さに応じてソース能力が高まることを明らかにしている。本試験では、同じ品種の作型を変えた場合および品種間の比較を行ったが、いずれの場合も収穫を境にして急激な光合成能力の低下が起こっており、着果負担が光合成能力の維持に大きく関与していることをより明らかにする結果がえられた。また、着果期間中の光合成能力維持のメカニズムを、気孔コンダクタンスと葉肉コンダクタンスの面で見ると、葉肉コンダクタンスは、収穫期前から低下傾向を示す一方、気孔コンダクタンスは、次第に上昇し、収穫時期にピークを迎えた。従って、光合成能力は、葉肉活性の低下を気孔コンダクタンスの向上により補うことで維持されていると考えられた。

以上のように、本試験結果は、光合成能力が果実発育期間中、高い能力を維持していることを示した。本試験のデータは、実際の栽培樹について、チャンバー内を最大の光合成能力を発揮できる条件に設定し、水分ストレスの少ない状態で、測定したものである。日野ら(1974)はポット栽培したモモ、ブドウ、カキ、イチジク、クリ、温州ミカンの光合成速度の季節変化を調査し、8月に一時的に光合成速度の低下が見られることを報告するとともに、その原因について、ポット樹は、夏期高温による空中湿度の低下や土壌水分の減少による影響を受けやすいためであると述べている。この報告は、好適条件下では光合成を高いレベルで行える能力を持っている短果枝葉といえども、高温乾燥等様々なストレスを受ける条件では、その能力を発揮できていない場合があることを示すものと考えられる。今後、高温乾燥下におけるマルチや灌水が光合成速度の維持に及ぼす効果を実証的に調査することで、それらの栽培管理の効果的な方法や時期を明らかに出来るのではないかと考えられる。

鳥取県のニホンナシ栽培農家は樹勢への影響を極力抑えつつ、翌年の萌芽を促進する方法として、秋の枝抜きと呼ばれる技術を行っている(林, 1960)。この技術は10月20~25日に強すぎる徒長枝や側枝を切り落とすことによりまだ休眠の浅い陰芽の活動を促し、翌年の発芽を促進するものである。この時期より早いと貯蔵養分を減少させてしまい、遅いと発芽促進につながらないといわれている。10月20~25日は本試験の結果を見ると、光合成能力は最高時の50%、葉の枚数は40%~60%となっている。また、10月の鳥取市における日照時間は8月の約70%であることを勘案すると、葉の光合成による物質生産量は最高時の20%以下と考えられる。これらのことか

ら考えると、10月20~25日にある程度の枝抜きを行っても、確かに貯蔵養分の減少はほとんど起こらない。

一方、日射吸収率は短果枝の落葉が始まっても高い値を維持し、その後の新梢の落葉に依存して低下する傾向を示した。この結果は日射の多くが新梢葉に吸収されている可能性を示すと考えられる。杉浦ら(2001)も落葉は短果枝葉から始まることや、50%の葉が落葉しても日射吸収率はピーク時の80%に維持されることを報告している。この新梢葉による光合成産物は新梢伸長停止後も枝の肥大のために消費されることがTengら(2002)の ^{13}C を用いた調査により明らかになっている。新梢の大部分が冬季せん定時に切除されることを考えると、新梢が多く発生している樹では無駄な光合成が行われている可能性が高い。このことから、枝抜きは現在より早い時期に行い、短果枝葉の光合成能力が高い時期に短果枝葉に光を当てた方がよいのではないかと考えられる。ただし、この技術は休眠や樹勢との関係もあることから、誘引の技術ともあわせ、今後秋期の光合成産物の動態の調査や実証試験によりさらに検討すべきである。

摘 要

ニホンナシ短果枝葉の飽和光下光合成速度(光合成能力)の季節変化を携帯型光合成測定装置を用いて調査した。

予備試験の結果、光合成能力の測定のためのチャンバー内条件として通気量 $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 、光合成有効放射束密度 $1500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ が適当であった。また、光合成速度は午前9時以降減少することから、測定は9時までに終了することとした。

ニホンナシ短果枝葉の光合成能力は、満開後30日~50日目に最高値に達し、その後収穫時期あるいはその直前まではほぼ同じ値が維持された。収穫後は次第に低くなり、10月以降は落葉の進行と同じく急激に低くなった。このことから、光合成能力の維持には果実のsink能が深く関わっていると考えられた。収穫期までの光合成能力は、葉肉コンダクタンスの低下を気孔コンダクタンスの上昇により補って維持されていると考えられた。また、落葉の進行と樹の日射吸収率を光合成能力の変化と併せて調査したところ、新梢葉に吸収される日射が多い可能性が認められ、果そう葉部分の光環境改善技術の必要性が示唆された。

第2章 非破壊糖度センサーによる果実糖度の推定と糖度予測技術の検討

従来、果実の糖度は、果実から果肉の一部をサンプリングし、その果汁のBrixを測定する方法で求められていた。この方法は、果肉をサンプリングする必要上、同一果実の糖度変化を追跡することは不可能であった。一方、1980年代に果実の糖度を近赤外分光分析法により非破壊状態で推定する装置が開発され、1989年以降、この装置が選果機に取り付けられ、全国の選果場に普及し始めた（木村、2003）。この方法はニホンナシについても成熟果および生育中の果実糖度が高い精度で推定出来ることが示されている（小島ら、1994；坂本ら、2001）。近年は携帯型非破壊糖度センサー（以下糖度センサーと表記）が開発され、樹上の果実糖度を非破壊で測定することが可能となり、リンゴでは、未熟果の測定による収穫適期の把握や品質予測への利用が報告されている（別所、2004）。この技術は、試験研究面では糖度向上を目指す処理効果の正確な調査、栽培面では糖度の推定による収穫適期の判断への応用等、これまでの技術では不可能であったことを可能にするものとして期待される。そこで、本試験では、ニホンナシ‘ゴールド二十世紀’について、携帯型非破壊糖度センサーによる樹上果実の糖度変化の追跡をおこない、その精度を確認するとともに糖度予測技術への適応の可能性を調査した。

材料および方法

1. ハウス栽培および露地栽培における収穫前1ヶ月間の糖度変化と糖度センサーの測定精度

ハウス栽培（満開日3月20日）および露地栽培（満開日4月6日）のニホンナシ‘ゴールド二十世紀’（ハウス栽培樹は8年生、露地栽培樹は15年生）を供試した。ハウス栽培樹は、2月下旬から5月中旬までPOフィルムでハウスを被覆し、夜間温度が10℃以上になるよう加温を行い、成育を促進させた。各作型の収穫の概ね1か月前に樹上の果実60果を選んで調査果とした。調査果の陽光面赤道部1ヶ所に油性インクで印を付け、印部分を中心に左右約2cm離れた2か所の糖度を糖度センサー（クボタ社製K-BA100）により、約7日間隔で収穫日まで計測した。屋外における調査時には、外光が果実に当たらないよう、センサーのプロープと果実を黒色布で覆いながら測定した（第2-18図）。各調査日には、樹上調査果以外の60果について糖度センサーにより樹上で糖度を計測した後収穫した。この果実の糖度を測定した部分の果肉を直径約4cm深さ1cmの円筒状にくりぬき（第2-19図）、果汁を搾って糖度（Brix）をデジタル式屈折糖度計（アタゴDBX-55）により測定し、糖度センサーの推定値と比較した。



第2-18図 試験に用いた携帯型非破壊糖度センサー（クボタ社：K-BA100）
調査時は黒色布で果実とプロープを覆って外光の進入を遮断した（右）



第2-19図 調査果実の実測糖度を測定している様子

糖度センサー測定部の果肉を円筒状に切り抜き（左）
専用の搾汁器で果汁を絞る（右）

2. 露地栽培における収穫前1ヶ月間の糖度変化の年次変化

露地栽培‘ゴールド二十世紀’（調査開始時14年生）を供試し、収穫1か月前（8月10日前後）の樹上果実の糖度とその果実の収穫時の糖度調査を、1と同様の調査方法により5年間（2002年～2006年）行い、収穫前1か月の糖度変化について調査した。この調査には、2002年は50果、2003、2005、2006年は80果、2004年は140果を供試した。

結果および考察

1. ハウス栽培および露地栽培における収穫前1ヶ月間の糖度変化と糖度センサーの測定精度

加温ハウス栽培、露地栽培における測定期間中の屈折糖度計測定値と糖度センサー測定値の関係を第2-1表に示した。両者は高い相関関係が認められた。また、両測定値の誤差の標準偏差（以下SEPと表記）は加温ハウスの7月4日を除き0.4以下であり、実用的な精度を有すると考えられた。しかし、ハウス栽培、露地栽培とも収穫適期前の早い時期の調査ほどバイアスが大きくなる傾向が見られ、樹上果実の糖度推定には、調査日毎に補正

第2-1表 携帯型非破壊糖度センサーによる収穫1か月前から収穫日までの推定糖度の精度とバイアス

作型	調査日	測定値比較用収穫調査果Brix		r^x	SEP ^w	バイアス	樹上果Brix センサー値 ^v
		センサー値 ^z	屈折計示度 ^y				
加温 ハウス	7月4日	11.1	9.8	0.77	0.42	1.28	9.8
	7月12日	10.7	10.1	0.90	0.32	0.61	10.1
	7月19日	11.0	10.5	0.90	0.35	0.50	10.4
	7月26日	10.9	10.8	0.91	0.27	0.06	10.8
	8月3日	11.2	11.2	0.93	0.25	0.02	11.2
露地	8月7日	10.6	9.4	0.66	0.34	1.18	9.3
	8月16日	10.8	9.7	0.72	0.36	1.11	9.6
	8月27日	10.8	10.4	0.75	0.32	0.41	10.6
	9月2日	11.2	10.8	0.71	0.33	0.42	10.8
	9月6日	11.1	11.1	0.89	0.33	0.00	11.1

^z 比較調査果の糖度センサーによる糖度測定値

^y 比較調査果の屈折糖度計による糖度測定値

^x 比較調査果のセンサー値と実測値の相関係数

^w 比較調査果の実測値と推定値の差の標準偏差

^v 樹上果実の糖度センサーによる糖度測定値（バイアス補正済み）

が必要であった。リングで行われた同様の試験においても同じような傾向で未熟果にバイアスが生じているが、温度補償型の検量式を作成することで、バイアスを半分以下にすることに成功している（別所、2004）。しかし、本試験では、成熟期にかけて外気温が高くなる加温ハウス栽培と低くなる露地栽培において、同様の傾向で収穫期にむけてバイアスが減少した。従って、このバイアスは果実温の差で生じたものでなく、成熟に伴う果肉内成分や硬度等の変化が影響しているものと考えられた。この結果から以下の試験における糖度センサーの使用においては、破壊調査によりバイアスを求め、センサー値を補正し樹上果の糖度を推定した。しかし、破壊調査によるバイアスの調整は煩雑である。本試験の中では、糖度センサーを用いて未熟果の糖度推定を可能にするようなデータは得られていないが、成熟期の糖度や収穫適期の予測等を行う技術を普及するためには、バイアスを減少させる検量式の開発が不可欠であり、今後取り組まねばならない課題である。なお、本試験では、破壊調査に60果を用いたが、データから検討したところ、20果程度でもバイアスは60果の場合と比べて0.1以上変わることは少なく（データ省略）、実用上問題ない精度でデータが得られると考えられる。しかし、この場合、測定誤差を少なくするため、果肉のサンプル方法や搾汁方法の統一等について十分な注意が必要と考えられる。

2. 露地栽培における収穫前1ヶ月間の糖度変化の年次変化

2002年以降5年間における8月上旬から収穫まで30日間の糖度上昇値は第2-2表のとおりであった。収穫前30日間の糖度上昇値は、2004年が最高（2.3度）、2005年が

最低（1.4度）の値で約1度の幅があり、標準偏差は0.36であった。2004年は梅雨明けが早くその後の天候にも恵まれたため高糖度の果実が生産された年であり、2005年は冷夏の影響により低糖度が問題となった年であったことを考慮すると、収穫前30日間の糖度の上昇程度は本調査結果（2.3度～1.4度）の範囲内である可能性は高いと考えられる。このデータをもとに8月上旬（収穫1か月前）の糖度データから収穫期の糖度予測を行うことを考えた場合、両者の相関関係は有意に高いものの（第2-2表）、回帰の寄与率は50～60%であり、個々の果実糖度の予測を行うにはやや不十分な精度と考えられる。しかし、2005、2006年のデータ（各年5樹を供試）について樹ごとの平均値を用いて求めた寄与率は80%（2005年）および91%（2006年）であった。従って、収穫期の30日前における複数の果実の平均糖度をもとに、収穫予定日における平均糖度が出荷基準糖度（10.5度）に達するかといったような傾向を予測することは可能であると考えられる。これまで、ニホンナシの果実品質の予測は、果重に関するモデルが報告されている（杉浦ら、1993）が、糖度に関しては見あたらない。今後、8月の天候や土壌条件等との関係解明を明らかにすることで、より正確な糖度予測が可能になると思われる。

また、本試験では正確な調査を行うため、糖度センサーを用いて同一果実の追跡調査を行ったが、8月上旬に補正用として破壊調査を行った果実の糖度も第2-2表に示した樹上果実の推定糖度とほぼ同じ値であった。従って、糖度センサーのない産地では、屈折糖度計を用いた果実のサンプリング調査でも糖度予測が可能であることが示唆された。今後、糖度センサーの普及が進めば、多くの果実のデータ取得が可能になり、樹園地や樹の診断技術

第2-2表 ‘ゴールド二十世紀’の収穫前30日間における糖度上昇値

	樹上調査		収穫調査		30日間の糖度上昇値 ^y	①③の相関関係 (r)
	①推定糖度 ^z	②調査日	③屈折計示度	④調査日		
2002年	9.3±0.08 ^x	8月7日	11.3±0.06	9月6日	2.1±0.04	0.797** ^w
2003年	9.3±0.04	8月11日	10.7±0.03	9月10日	1.6±0.03	0.786**
2004年	9.8±0.05	8月11日	11.8±0.05	9月6日	2.3±0.03	0.757**
2005年	9.6±0.05	8月10日	11.2±0.05	9月12日	1.4±0.05	0.686**
2006年	9.1±0.05	8月9日	11.0±0.05	9月12日	1.8±0.04	0.759**

^z 糖度センサーの測定値を補正した値

^y (③-①)/(④-②)×30

^x 平均値±標準誤差 2002年：n=50、2003年、2005年、2006年：n=80 2004年：n=140

^w ** 1%レベルで有意な相関関係があることを示す

につながるものと期待できる。

摘 要

収穫1か月前から収穫までの期間における、携帯型糖度センサーによる樹上果実の糖度推定は、測定日ごとに異なるバイアスが生じるものの、屈折式糖度計測定値と

センサー測定値の相関関係は高いことから、バイアスの調整により可能であった。‘ゴールド二十世紀’の収穫前30日間の糖度変化を5年間調査した結果、この期間中の糖度変化は1.4～2.3度であることが明らかになり、収穫前における糖度予測の可能性が認められた。

第3章 葉果比が果実品質に及ぼす影響

青ナシの代表品種である‘ゴールド二十世紀’は、鳥取県の主要品種だが、他県の主要品種である赤ナシの代表品種‘幸水’‘豊水’に比べると糖度が低いため、栽培管理や天候によっては、低糖度の果実が多く市場に流通し、不評をかう場合がある。

これまで、ニホンナシの糖度向上技術については、着果管理やせん定、新梢誘引等に関する検討が行われている(金子ら、1988;松浦ら、1976;三浦・村石、1974;高橋ら、1994;山田ら、1991;安延ら、1978;吉岡ら、1973)。これらの研究は、糖度向上のポイントとして、短果枝葉の日当たり改善や葉面積指数に注目して行われているが、主枝、亜主枝単位で処理区を設けた大規模な試験が多いため、新梢量等他の要因の影響を受け、葉枚数が糖度の上昇にどの程度関わっているかは不明な点が多い。これまで、葉果比のみに注目し、葉枚数と糖度の関係を調査した事例としては、白田ら(1987)らの報告以外にない。葉果比と糖度の関係を明確にすることは、休眠期のせん定で花芽数を制限する‘ゴールド二十世紀’の栽培においては、せん定の指針を示す上で非常に重要である。

そこで、本研究では、‘ゴールド二十世紀’の高糖度果実の安定栽培技術確立に向け、第2章で検討した非破壊糖度センサーによる測定法を用いて成熟期(収穫前1か月間)における葉果比と果実の糖度の関係を詳細に調査した。

材料および方法

鳥取県園芸試験場のほ場内に植栽した10年生‘ゴールド二十世紀’10樹を供試した。収穫予定時期の約1か月前(2005年7月26日)に1樹につき5本の形質のそろった側枝(3~4年生)を選択し、それまで側枝長1m当たり10果として管理していた着果密度を側枝単位で10果、8果、6果、4果 $\cdot\text{m}^{-1}$ に調整した。6果 $\cdot\text{m}^{-1}$ の処理

は側枝2本に行い、1本は摘葉と新梢の切除により葉枚数を約半分にした(第2-3表)。着果密度調整後、処理側枝の着果部位両端に環状はく皮を行い、この範囲の葉枚数を調査した。また、各区20果(1側枝2果 \times 10本)にラベルを付け、糖度センサーを用いて、処理3日後(7月29日)と処理2週間後(8月10日)における樹上の果実糖度を試験1の方法に従って推定した。各調査日には処理区以外の果実30果を破壊調査して屈折糖度計による測定値と糖度センサーによる測定値を比較し、バイアス(屈折糖度計測定値と糖度センサー測定値の差の平均値)を求め、樹上果実の糖度センサー測定値からバイアスを引いた値を樹上果実の推定糖度とした。また、8月20日に携帯型光合成測定装置(LI-COR LI-6400)を使用し、4果 $\cdot\text{m}^{-1}$ および8果 $\cdot\text{m}^{-1}$ 区における着果短果枝葉の光合成速度を9時~10時および15時~16時に各区6葉について調査した。装置の測定条件は、二酸化炭素濃度370 ppm、光量子束密度 $1500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、流量 $500\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ に設定した。8月25日に各処理区の全果を収穫し、果重、糖度、果皮色を調査した。収穫果の糖度は、デジタル式屈折糖度計(ATAGO DBX-55)を用いて調査した。また、葉果比調整前(7月26日)の果実と、収穫後の4果 $\cdot\text{m}^{-1}$ 区、6果 $\cdot\text{m}^{-1}$ 区、8果 $\cdot\text{m}^{-1}$ 区の果実4果から果肉を約20g採取し、果汁の糖組成を糖分析用カラム(Shodex SUGAR SC1011:カラム温度 45°C)を装着した高速液体クロマトグラフ(島津LC10ADVP、検出器:RIモニター)で分析した。なお、移動相には蒸留水(流量: $1\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)を使用した。

結果および考察

ニホンナシの果実品質と葉果比の関係についての報告はいくつかあるが(平田ら、1980;川口、1931;三浦・村石、1974;白田ら、1987)糖度との関係について述べたものは少なく(白田ら、1987)‘ゴールド二十世紀’

第2-3表 処理側枝の形態の比較

処理区	側枝長 (cm)	葉枚数	葉果比 ^z	新梢本数
10果 $\cdot\text{m}^{-1}$	139 \pm 13.3 ^y	306 \pm 33	(28.0) ^x	22.3 \pm 0.4
8果 $\cdot\text{m}^{-1}$	146 \pm 7.2	296 \pm 29	(31.9)	26.2 \pm 1.5
6果 $\cdot\text{m}^{-1}$	133 \pm 11.0	275 \pm 27	(32.1)	36.6 \pm 1.5
6果 $\cdot\text{m}^{-1}$ 摘葉	130 \pm 9.3	153 \pm 13	(6.1)	19.4 \pm 0.9
4果 $\cdot\text{m}^{-1}$	148 \pm 7.3	325 \pm 21	(28.9)	54.8 \pm 3.8

^z 葉枚数/処理側枝の着果数

^y 平均値 \pm 標準偏差

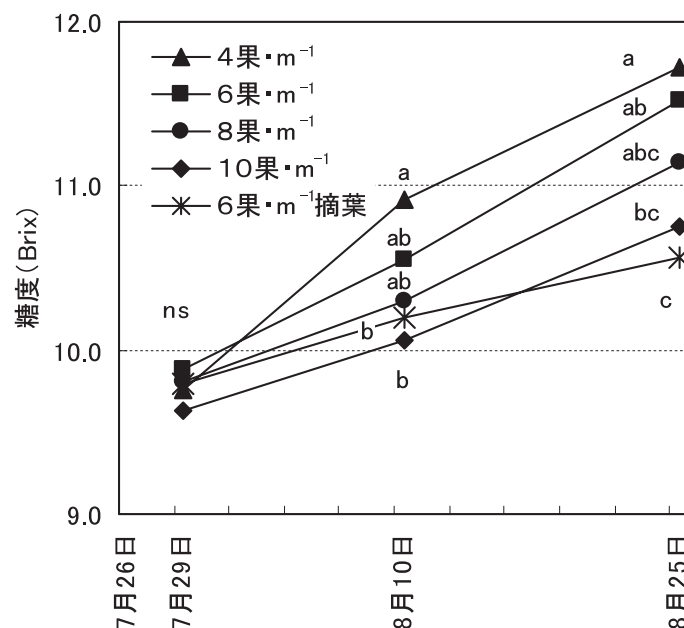
^x ()内は葉枚数のうち新梢葉の割合(%)を示す

について調査された事例はない。また、最適な葉果比は目標とする品質や対象品種により変化すると思われる。鳥取県内の選果場では、JA全農とつとりが定める‘二十世紀’の出荷基準（事前検査で糖度10.5度以上であれば出荷可能）に基づき、選果が行われている。米山（1969）は、‘二十世紀’の「うまいナシ」は糖度11度が最低線と述べている。これらを考慮し、ここでは‘ゴールド二十世紀’の糖度11度以上の果実を得ることを目標として最適葉果比を検討した。

葉果比の修正処理時から収穫期にかけて、糖度センサーで調査した樹上果実の糖度変化の様子を第2-20図に示した。処理時には、各区とも同程度の糖度であったが、

処理2週間後には葉果比が大きい（着果密度が低い）区ほど、糖度の上昇程度が大きくなる傾向が認められた。ただし、6果・ m^{-1} の摘葉区は、10果・ m^{-1} 区と同程度の変化であった。収穫時の果実品質は第2-4表のとおりであった。葉果比が大きくなるほど、糖度は高くなる傾向が認められた。ただし、6果・ m^{-1} 区の摘葉区は、8果・ m^{-1} 、10果・ m^{-1} 区と同程度であった。果重も葉果比が大きくなるほど、大きくなる傾向はあるものの、統計的に有意差が認められたのは4果・ m^{-1} 区と10果・ m^{-1} 区の間のみであった。

ニホンナシにおいて収穫期の1か月前に着果密度の変更により葉果比を変えた例は‘幸水’を用いた高橋ら



第2-20図 着果密度の変更が‘ゴールド二十世紀’の糖度の上昇程度に及ぼす影響

各シンボル横の異なる英小文字間には調査日ごとにチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す

第2-4表 着果密度の違いが果実品質に及ぼす影響

処理区	果重 (g)	糖度 (Brix)	果皮色 ^y
10果・ m^{-1}	343 bz	10.9 bc	2.7 a
8果・ m^{-1}	356 ab	11.1 abc	2.9 a
6果・ m^{-1}	371 ab	11.5 ab	3.1 a
6果・ m^{-1} 摘葉	349 ab	10.7 c	2.7 a
4果・ m^{-1}	385 a	11.8 a	3.0 a

^z 各項目の異なる英小文字間にはチューキーの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す

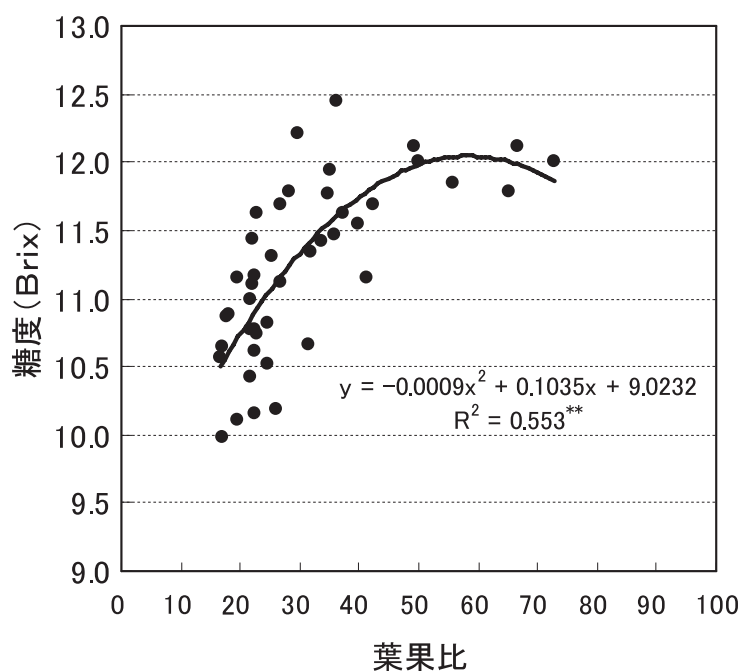
^y 日園連二十世紀用カラーチャート値

(1994) や文室 (2000) の報告があるが、処理後の糖度変化を追跡した事例は見られない。本試験では、収穫1か月前の葉果比変更後、同一果実の糖度変化を追跡調査し、処理2週間後には糖度の上昇程度が変化することが認められた。また、同じ着果数でも (6果・m⁻¹)、着果数の調整後、葉枚数を半減すると、糖度上昇程度は明らかに低くなり、10果・m⁻¹区と同程度となったことから、着果密度の高低により生じる糖度差は、1果あたりの葉枚数の差が関与している可能性が高いと考えられた。これらの結果は、葉果比を大きくすることが、糖度の上昇に有効な手段であり、処理後比較的短期間で効果が現れることを示している。着果密度と糖度の関係については多くの報告があり (金子ら、1988; 松浦ら、1976; 高橋ら、1994; 山田ら、1991; 安延ら、1978; 吉岡ら、1973) 着果密度が高いほど糖度は低下するという見解で一致している。本試験においても着果密度が高いと糖度の上昇程度は低く、従来の報告と同様の結果となった。

処理側枝ごとの葉果比と糖度との関係を第2-21図に示した。糖度は葉果比35まで増加に従って高くなり、35以上では11.0~12.0度の範囲で平衡となった。このことから、'ゴールド二十世紀'の11度以上の果実を安定して得るための葉果比は35以上が必要と考えられる。しかし、樹冠面積あたりの着果数を一定としてLAIを過度に高めた場合 (山田ら、1991) や短果枝葉の日当たりが悪い場合 (田辺ら、1982) は糖度が低下するという報告がある。本試験でも葉果比50以上では糖度向上に効果が認められなかったことやニホンナシの地上部器官の中では葉が最

も大きな維持呼吸器官である (伊藤ら、2000) ことを考慮すると、葉枚数の増加により過度に葉果比を高めることは、品質低下につながる可能性がある。これらのことを考慮すると、'ゴールド二十世紀'の糖度11度以上の果実を安定して得るための葉果比は35~50が適当と考えられる。高橋 (1989) は、最適LAIを考える際は、短果枝葉と新梢葉のLAIを分けて考えるべきと述べており、小豆沢 (1983) や吉田ら (2006) は果実生産力の高い樹体ほど短果枝葉率が高いとしている。葉果比について検討する場合もこの考え方は重要であると考えられる。本試験における短果枝葉と新梢葉の割合は、各区とも小豆沢 (1983) および吉田ら (2006) が示す果実生産力の高い樹体での値と同等か低めであった。また、6果・m⁻¹摘葉区の新梢本数は摘葉時の切除により他区より少ないが、葉果比のほぼ等しい10果・m⁻¹区と同程度の品質であった。これらのことから本試験で用いた側枝の新梢量は果実品質に影響を与えるほどのものではないと考えられる。

葉果比を増加させるためには、摘果による果数の減少やせん定時に残す芽数を増やすといった方法がある。試験1の結果から収穫1か月前に収穫期の糖度予測を行い、低糖度が予想されるような場合には、摘果により葉果比を大きくすることで、収穫時の高糖度果実の割合を高めることが期待できる。鳥取県内で栽培されている'ゴールド二十世紀'の場合、側枝1mあたり10芽の短果枝 (花芽) をせん定時に残し、8果着果させるという着果管理が一般的に指導されている。本試験ではこの着



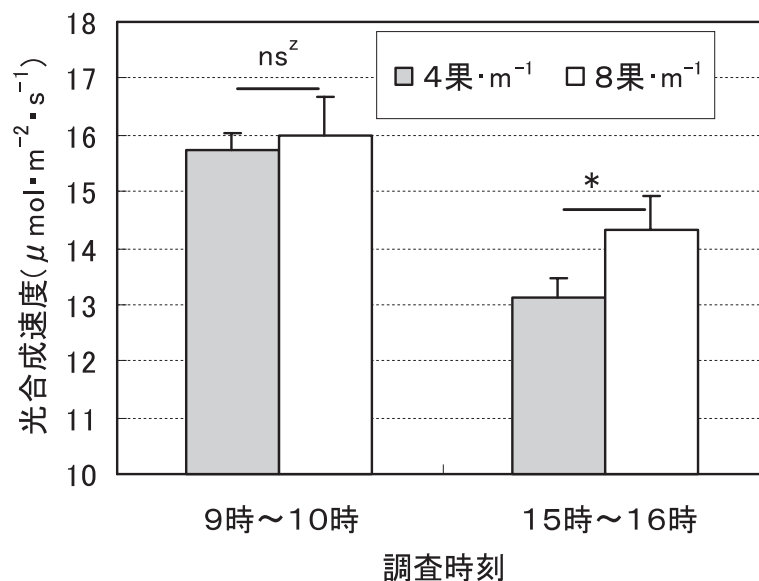
第2-21図 'ゴールド二十世紀'の葉果比と糖度の関係

果基準（8果・ m^{-1} ）から25%減らした場合（6果・ m^{-1} ）の果重の増加は、4%程度であり、着果数の制限による葉果比増加は、品質向上が期待される反面、減収につながる可能性が高い。しかし、ニホンナシの場合、リンゴやモモ等他の果樹類に比較するとわずかな糖度差が食味に影響しやすく、‘二十世紀’の場合、鳥取県の選果基準では糖度10.5度以下は出荷停止であり、糖度11.0度以上は「うまいなし」（米山,1969）という評価になる。着果密度を減少させることにより糖度が上昇する傾向は明らかで、側枝単位でも効果はあると思われることから、低糖度が予想された場合には、着果密度の高い側枝の小玉や変形果等を中心に着果基準（8果・ m^{-1} ）通り～やや少ない程度に摘果することで低糖度果の発生率を下げ、平均糖度を上昇させることが出来るのではないかと考えられる。

一方、着果数を維持したまま芽数を増やすことは、短果枝葉の増加につながり、葉果比の増加に効果的と考えられる。先に述べた鳥取県で指導されている着果方法の場合、本試験の結果では葉果比は30にやや足りない程度（データ省略）であったことから、葉果比35～50を目指すためには、現在のせん定基準より多め（12芽・ m^{-1} 程度）に短果枝（花芽）を残し、着果数は従来どおり8果・ m^{-1} とする方法がよいと考えられる。‘ゴールド二十世紀’の短果枝のせん除程度については、吉田ら（1998）も12芽・ m^{-1} とすることにより品質が向上することを報告して

おり、本試験はこれを裏付ける結果としてこの技術の普及促進につながるものと考えられる。

8月20日における個葉の光合成速度の変化は第2-22図のとおりであった。午前中の測定では、8果・ m^{-1} 区、4果・ m^{-1} 区とも同程度の値であった。午後になると、両区とも光合成速度は低下したが、その低下割合は、4果・ m^{-1} 区の17%に対し、8果区は10%と少なかった。着果負担は光合成能力を高く維持することが温州ミカンやニホンナシにおいて報告されており（池田・吉田,2003；小野ら,1984）、本試験でも同様の傾向となった。また、‘ゴールド二十世紀’の光合成能力は、第1章で明らかになったように収穫期まで大きな低下は見られないことから、本データの測定時期は収穫期に近いものの、着果密度変更後の光合成能力の傾向を示すものと考えられる。従って、着果密度の減少により葉果比を大きくした場合の果重の増加および糖度の上昇は、光合成能力の向上によるものではなく、個々の果実への光合成産物の分配量が多着果のものに比べて相対的に多くなったためと考えられる。また、着果密度が高い区的光合成能力が午後も高く維持されるという結果は、適切な葉果比を確保した上であれば着果密度が高くても品質低下につながりにくい可能性を示しており、先に述べた現在の着果基準のまま芽数を多く残し、葉果比を増やす方法は、収量の維持と果実の高糖度化を目的とした栽培を行う上で理にかなった方法と考えられる。



第2-22図 着果密度を変えた側枝上の‘ゴールド二十世紀’個葉における光合成速度の変化

各カラムの垂線は標準誤差を示す（ $n=6$ ）

² t検定によりnsは有意差無し *は5%レベルで有意差があることを示す

各区の果汁の糖組成は第2-5表のとおりであった。処理開始時の構成比は、フルクトースの割合が最も高かったが、収穫時には4果・m⁻¹区においてスクロースの割合が最も高くなり、フルクトースの割合は低くなった。

‘二十世紀’は成熟期になるとスクロースが急激に増加するタイプである(梶浦、1979)。スクロースの集積には、酸性インペルターゼ活性の減少とスクロース合成酵素やスクロースリン酸合成酵素の関与が示されている(森口、1996; 山木、1992)。調査果の熟度は、外観上(果皮色)では差が見られないが、葉果比の向上は、これらの酵素の活性に影響し、果肉の成熟促進や糖度の向上につながっている可能性も推察される。

以上の結果、葉果比は糖度の上昇に大きな影響を及ぼしており、‘ゴールド二十世紀’の高糖度果(糖度11度以上)を安定的に生産することを目指した場合、葉果比35~50の葉量を確保する管理(適切な芽数を残すせん定方法、適正着果等)技術が重要と考えられた。また、収

穫予定時期の1か月前の糖度から1か月後(収穫予定時期)における糖度の傾向を予測することが可能であり、低糖度が予想される場合は、この時期からでも、着果密度の高い部分や小玉果実を中心に摘果を行うことにより、低糖度果の発生率を少なく出来ると考えられた。

摘 要

ニホンナシ‘ゴールド二十世紀’の成熟期の糖蓄積に及ぼす葉果比の影響について調査した。

収穫1か月前に摘果により葉果比を変更し、その後の糖度変化を携帯型センサーで調査した。糖度は、葉果比が高い処理区ほど高くなった。この傾向は、処理後2週間目から認められた。同じ着果密度でも、葉枚数を少なくした処理区では、糖度の上昇程度は少なく適切な葉果比の確保が高品質果実の生産には重要であることが示された。葉果比と糖度の関係から検討した結果、糖度11度以上の果実を得るための葉果比は35~50と考えられた。

第2-5表 着果密度の変更前および変更後の‘ゴールド二十世紀’成熟果の糖組成(%)

処理区	スクロース	グルコース	フルクトース	ソルビトール
処理日 ^z	9.2±0.52 ^y	17.8±1.58	53.3±1.54	19.7±3.34
8果・m ⁻¹	24.5±2.63	17.1±1.86	45.5±3.67	13.0±0.79
6果・m ⁻¹	22.6±1.40	15.1±0.38	48.1±1.45	14.3±0.59
4果・m ⁻¹	34.4±1.57	19.0±1.03	30.6±0.81	16.0±1.27

^z 7月26日の8果・m⁻¹区の果実

^y 平均値±標準誤差(n=3)

第4章 高品質果実生産のために必要な短果枝葉の確保技術

第3章において、糖度11度以上の果実を生産するために必要な葉果比を明らかにした。本章では、実際の栽培現場において本知見を活用するための技術について検討を行った。

第1節 高品質果実生産に必要な葉果比の確保技術

‘ゴールド二十世紀’の年間作業時間に摘果作業が占める時間は、15.7%である(鳥取県農林水産部、2003)が、‘ゴールド二十世紀’は、満開後30日頃に小袋を掛ける作業体系が一般的に行われているため、摘果は満開後2～4週間というきわめて短い期間内に行う必要がある。出来るだけ無駄な労力を省くため、‘ゴールド二十世紀’をはじめ‘二十世紀’、‘おさゴールド’等の短果枝に着果させるタイプの品種は、冬期のせん定時に着果基準(10果・ m^{-1})に近いレベルに花芽数を制限して栽培されてきた。一方、第3章では、糖度11度以上の果実を得るためには着果密度は現状を維持したまま、せん定時に残す花芽数を増やした方がよいことが示唆された。また、吉田ら(1998)は短果枝花芽を着果予定数より多めに残し、葉果比を高めることによって、果実品質が向上することを報告している。しかし、花芽数を剪定時に多く残すと、適正着果量まで摘果するための作業時間は増加する。雇用労力の不足や高齢化に伴い、省力化が課題となっている農家にとって、作業の増加は大きな負担に

なる。そこで、本節では、葉果比を高めつつ摘果作業時間は増やさない方法として、着果予定数以上に残した短果枝花芽については果台を残してかき取る(以下この処理を除芽と表記)方法を検討した。

材料および方法

鳥取県園芸試験場に植栽された17年生‘ゴールド二十世紀’を供試した。せん定時(2月)に短果枝花芽数を側枝1mあたり8芽、12芽、14芽、16芽に制限する処理を行った。12芽・ m^{-1} 以上の処理区は、花芽数が10芽・ m^{-1} になるよう短果枝の花芽を除芽処理(第2-23図)した。12芽・ m^{-1} 区については、除芽を行う区と行わない区を設けた。1樹に対し各処理を形質のそろった側枝2本ずつに行い、これを5樹に反復した。5月12日に各処理枝ごとの摘果作業を5名の作業員(1樹1名)で行い、処理枝ごとに作業時間を計測した。新梢伸長停止後の7月10、11日に処理枝の枝長、新梢長、葉枚数を調査した。9月15日に処理枝の全果実を収穫し、果実品質を調査した。

結果

処理側枝の新梢発生量、葉枚数を第2-6表に示す。新梢本数は8芽・ m^{-1} 区において最も多く、16芽・ m^{-1} 区において最も少なくなった。葉枚数は差が認められなかったが、葉枚数のうち新梢葉の占める割合は、新梢本



第2-23図 短果枝花芽の除芽の様子
円内が除芽をした部分

数の多かった8芽・m⁻¹区において高い値となった。

果実品質について調査した結果を第2-7表に示す。果重は、16芽・m⁻¹区が最も小さくなった。糖度は、8芽・m⁻¹区が最も低く、12~14芽・m⁻¹区は同程度で、16芽・m⁻¹区が最も高くなった。果皮色の値は糖度とほぼ同様の傾向で、芽数が多いと果皮色の進みがやや早かった。変形果率には処理区間に差は認められなかった。

摘果の作業時間の比較を第2-24図に示す。12芽・m⁻¹

区が最も長く、ついで16芽・m⁻¹および14芽・m⁻¹区で、12芽・m⁻¹除芽区と8芽・m⁻¹区が最も短かった。

考 察

摘果時間を短縮する方法としては、花数の制限（摘らい、摘花）の効果が高いことが報告されている（川瀬・石田、1999；多比良ら、1999；川嶋ら、1994）。しかし、摘らいが可能な時期は短期間に限られている上、その時

第2-6表 花芽の除芽が新梢本数と葉枚数に及ぼす影響

処理区		新梢本数 ^z	葉枚数 ^y	新梢葉割合(%)	葉果比	葉果比(果そう葉のみ)
花芽数	除芽数					
8芽・m ⁻¹	0	6.4 a ^x	326 a	45.7 a	41.5 a	22.5 b
12芽・m ⁻¹	0	4.5 b	320 a	29.0 b	38.6 a	26.8 ab
12芽・m ⁻¹ 除芽	2	4.6 b	336 a	33.0 b	40.4 a	26.7 ab
14芽・m ⁻¹ 除芽	4	4.5 b	362 a	32.2 b	44.1 a	29.7 a
16芽・m ⁻¹ 除芽	6	3.4 c	349 a	26.8 c	43.5 a	31.5 a

^z 側枝1mあたりの本数

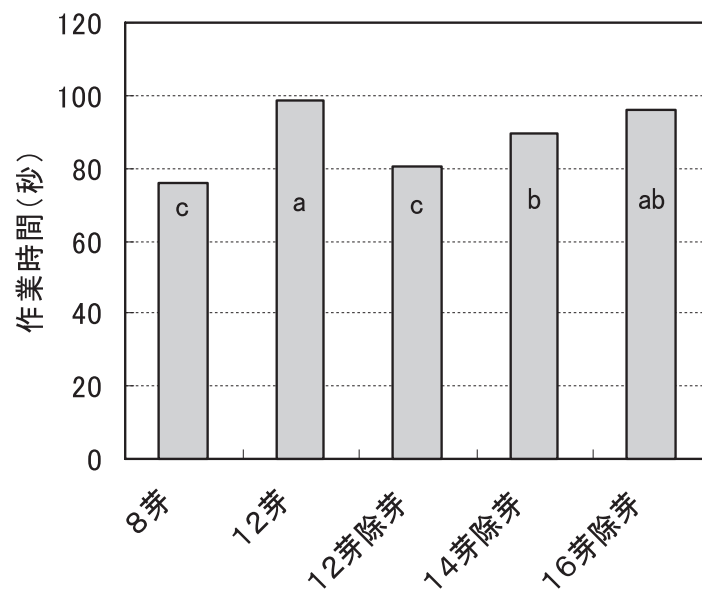
^y 側枝1mあたりの葉枚数

^x チューキーの多重検定により異符号間に有意差あり

第2-7表 花芽の除芽が果実品質に及ぼす影響

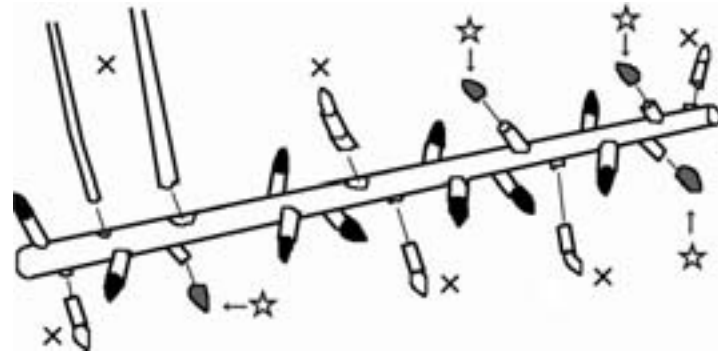
処理区		果重(g)	糖度(Brix%)	果皮色(カラーチャート値)	変形果率(%)
短果枝数	除芽数				
8芽・m ⁻¹	0	342 az	10.8 c	3.3 c	6.1
12芽・m ⁻¹	0	343 a	11.0 b	3.5 b	4.6
12芽・m ⁻¹ 除芽	2	336 ab	11.0 b	3.4 bc	5.2
14芽・m ⁻¹ 除芽	4	337 ab	11.0 b	3.4 bc	7
16芽・m ⁻¹ 除芽	6	330 b	11.2 a	3.6 a	8.2

^z チューキーの多重検定により異符号間に有意差あり



第2-24図 花芽整理の方法が結果枝1m当たりの摘果作業時間に及ぼす影響

各カラムの異符号間にはチューキーの多重検定により5%レベルで有意差あり



第2-25図 短果枝花芽の残し方(1mの側枝を想定した概念図)

X：強い二次短果枝や真下の短果枝、新梢を切り取る

☆：短果枝を残して、先の花芽部分だけ落とす
黒塗りの短果枝花芽が開花させる花芽（このうち8芽に着果させる）

期は、人工受粉用の花粉採取作業の繁忙期であり、十分に行われていないのが現状である。そこで、摘らい作業の省力化のため、不要な花芽をせん定時に除芽するという方法が検討され（各務・安井、2000；松本ら、2005）た結果、省力化の実現とともに除芽跡の不定芽から葉や新梢が発生することが認められた。本試験においても、除芽した部分の発芽、展葉は遅れる傾向だが、松本ら（2005）が報告しているように除芽跡からは正常に葉が展葉し、同じ芽数を残した場合、満開後約1か月の摘果作業の時点の展葉数に除芽の有無の差はなかった。花芽数を着果基準（8果・ m^{-1} ）に制限した区も最終的な葉枚数は花芽数を多く残した区と同程度であったが、新梢葉の割合が高かった。林（1960）は新梢葉の割合が高い場合、1果あたりの葉枚数が多くても果実品質が劣ることを報告している。このほか、高品質果実の生産には早期に展葉する短果枝葉の割合が高いことが重要であるという報告は多い（林、1960；小豆沢・伊藤、1983；高橋ら、1998；吉田、2006）。また、新梢の多発は、光環境を悪化させ糖度を低下させる（田辺ら、1982）ことが報告されている。8果・ m^{-1} 区の糖度が他の区に比べ低かったのは、短果枝葉の枚数不足と新梢の多発による光環境の悪化によるものと考えられる。

一方、16芽・ m^{-1} 区の果実は、最も高糖度となったが、摘果時間は明らかに多く、除芽を行わない12芽・ m^{-1} 区と同程度であった。この原因は、芽の密度が高く、葉の密度が高まったため、果実が葉で覆われてしまい、作業が行いにくかったためであった。また、この処理区は6月から7月にかけて、葉枚数の調査前に黄変落葉も観察された。芽数が多いにもかかわらず、他区と葉枚数に差が現れなかったのはこのためと考えられる。花芽数の違い

が展葉から新梢停止までの葉枚数の変化に及ぼす影響について、果実品質もあわせ、今後調査が必要である。

以上の結果、作業時間、果実品質を勘案すると‘ゴールド二十世紀’の冬期せん定時における短果枝花芽の密度は12芽・ m^{-1} とし、2芽を除芽する方法（第2-25図）が、摘果労力の負担を増やさず高糖度の果実を生産するために適当であると考えられた。

第2節 短果枝の安定確保技術

ニホンナシ‘二十世紀’の側枝は、1年生枝の先端3～4芽を切除し、45度程度に棚面に誘引して育成する（以下この枝を予備枝と表記）。予備枝が、優良な側枝となるためには、先端から強い新梢が伸び、それ以外のえき芽は短果枝となる事が望ましい。新たな側枝に着生した短果枝数が少ないと、第3章、第4章第1節で検討したような葉枚数を確保することは難しい。

しかし、ハウス栽培では予備枝から新梢が多発しやすく（Ikedaら、2002）、短果枝が十分確保できない場合が多い。一方、露地栽培においても予備枝に着生したえき花芽に着果させてしまった結果、果実の重さによって誘引角度が浅くなり、先端の新梢の伸びが悪い場合や途中の芽から新梢が伸び出し、短果枝が少なくなるという事例がよく見られる。特に自家和合性品種の‘おきゴールド’は、交配を行わないえき花芽にも、すべて着果してしまうため、これを防ぐための摘らいや摘果に多大な労力がかかっていた。

第1節の結果や各務・安井（2000）、松本ら（2005）の報告にあるとおり、短果枝の花芽をせん定時に手でかき取る（第1節と同様、以下この処理を除芽と表記）処

理は、摘らいや摘果の労力が削減出来るとともに、除芽跡の陰芽からの展葉により葉枚数は確保できることが認められている。そこで、予備枝のえき花芽をせん定時にすべて除芽することが、予備枝からの新梢発生量、短果枝花芽数に及ぼす影響について調査し、省力的に優良な側枝を確保する方法として利用可能か検討した。

材料および方法

1. ハウス栽培樹の予備枝に対する効果

鳥取県園芸試験場、無加温ハウスの28年生「二十世紀」6樹を供試した。2000年1月のせん定時に、形質の揃った予備枝を1樹につき10本選んだ。この内の5本について、えき花芽全てを除芽した(第2-26図)。なお、供試枝のえき花芽率は、約80%であった。無処理区のえき花芽に着果した果実は全て摘果した。12月に新梢長並びに本数および短果枝数を調査した。調査終了後、調査枝に果実を着果させるため、先端以外の新梢は除去し、側枝として棚面に固定した。この際、新梢発生数が著しく多く、側枝として不適切と思われた枝については、調査対象から除外した。2001年5月(満開後1ヶ月)に側枝上の葉枚数を比較した。8月に、全ての果実を収穫し、品質を比較した。

2. 露地栽培樹の予備枝に対する効果

鳥取県園芸試験場の「おさゴールド」4年生樹を用いて2003年1月のせん定時に、形質の揃った予備枝を1樹

につき3~9本選んだ。これらの予備枝を除芽区(2月にえき花芽をすべて除芽)、摘らい区(開花前にえき花芽部分を摘らい)、無処理区(えき花芽の果実を満開後約3週間目にすべて摘果)の3区に分け、この処理を4樹に反復した。なお、この時の処理枝のえき花芽率は約90%であった。12月に各区の新梢長並びに本数および短果枝数を調査した。

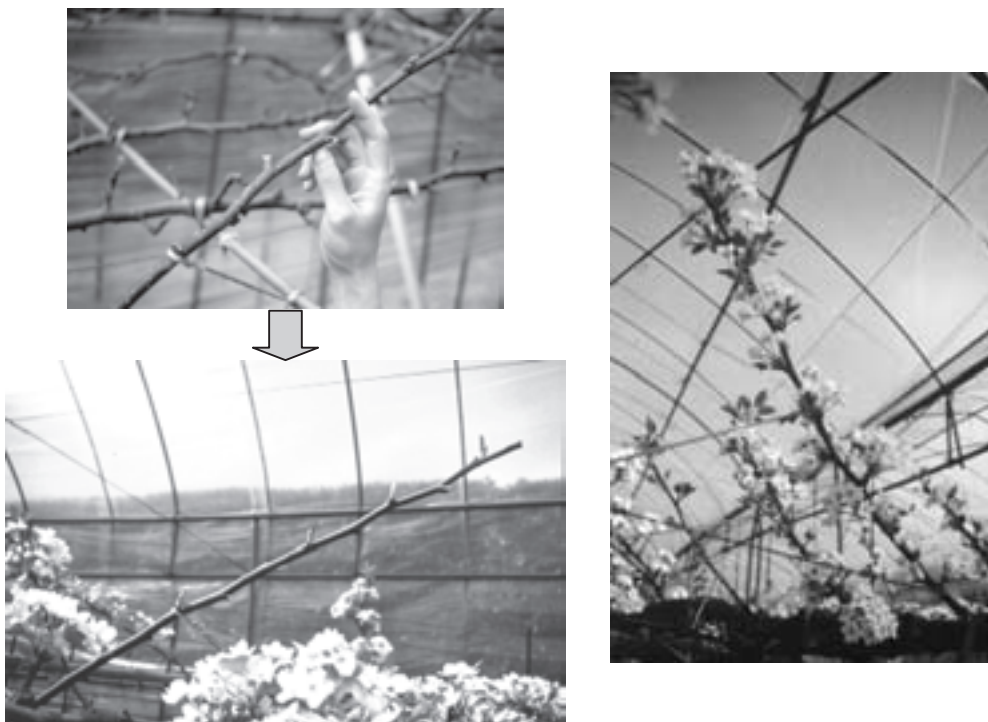
結 果

1. ハウス栽培樹の予備枝に対する効果

えき花芽の除芽が新梢成長並びに短果枝数に及ぼす影響を第2-8表に示す。除芽区は無処理区に比較して、新梢の発生数は約半分、総新梢長は約7割であった。一方、先端の芽から発生した新梢は除芽区が長かった。短果枝花芽数には大きな差がみられなかった。この年の冬期せん定において側枝として残すことが出来た調査枝は、無処理区が約4割であったのに対し、花芽除去区は約9割であった。除芽区は中間芽が無処理区より多かった。処理翌年、処理枝に初結実させた果実品質について第2-9表に示す。側枝あたりの収量、果実品質に差は認められなかった。

2. 露地栽培樹の予備枝に対する効果

えき花芽の除芽が新梢成長並びに短果枝数に及ぼす影響を第2-10表に示す。花芽数は、除芽区において少ない傾向であった。中間芽は除芽区において多かった。中間



第2-26図 えき花芽を除去した予備枝(左)と除去しない予備枝(右)

第2-8表 えき花芽の除去処理がハウス栽培‘二十世紀’の落葉後の花芽数および新梢発生量に及ぼす影響

処理区	短枝 (個/m)		先端新梢長 (cm)	総新梢長 (cm)	新梢本数 (本m ⁻¹)
	花芽	中間芽			
除去	8.6	4.0	82.0	229.6	3.2
無処理	8.2	1.1	73.2	332.5	6
有意性 ^z	n.s.	**	*	**	**

^z t検定: * 5%、** 1%水準で有意差あり、n.s.有意差無し

第2-9表 ハウス栽培‘二十世紀’のえき花芽の除去処理によって出来た側枝から生産された果実品質と収量

処理区	着果数	収量 (kg)	果重	糖度	果皮色	変形果率
	1 mあたり	1 mあたり	(g)	(Brix)	(カラーチャート値)	(%)
除去	8.6	3.6	419	10.8	3.0	28.4
無処理	9.6	3.8	402	10.9	3.1	24.0
有意性 ^z	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

^z t検定: * 5%、** 1%水準で有意差あり、n.s.有意差無し

第2-10表 えき花芽の除去処理が‘おさゴールド’の新梢の成長および花芽数に及ぼす影響

処理区	処理時の芽数	中間芽数	花芽数	新梢本数	平均新梢長	先端新梢長
	個/m	個/m	個/m	本/m	cm	cm
除芽	22.4 a	8.3 a	20.8 c	3.8 a	58.7 a	90.7 a
摘蕾	22.2 a	4.5 b	23.5 bc	3.7 a	65.6 a	84.7 b
無処理	22.8 a	4.9 b	24.6 ab	4.7 a	56.3 a	84.9 b

各カラムの異符号間にはチューキーの多重検定により5%レベルで有意差あり

芽は、枝の基部の下芽側で多く観察された。枝の先端部の新梢長は、除芽区が長かった。発生した新梢の本数と長さに差は認められなかった。

考 察

ハウス栽培樹は新梢の発生が多くなる (Ikedaら、2002) ことから、側枝上の短果枝は減少しやすく、側枝の寿命は短い。しかし、更新用の予備枝からも多くの新梢が発生し、良質な側枝を得にくいことから、やむをえず花芽数が減少した側枝を使い、着果数の減少や果実品質の悪化を招いていた。本試験の結果、えき花芽の除芽処理により、新梢の発生が抑制され、短果枝が多く着生した良質な側枝を得られることが明らかになった。第1編第4章で検討したDIFによる制御は夜間の温度管理が可能な施設でなければ難しいが、本技術は無加温施設でも実施可能であり、ハウス栽培において広く用いることが出来る技術と考えられる。また、露地栽培においても、摘らい、摘果にかかる労力を削減しつつ、短果枝が多く着生した側枝が出来ることが確認された。ただし、基部側の芽は中間芽が多くなることが観察され、第2-27図に示すように、予備枝基部側下芽については除芽を行わな

い方がよいのではないかと考えられた。

本試験で除芽処理により得られた側枝は、頂芽付近の数芽から新梢が強く伸び、それ以下の部位の芽は短果枝でとどまっており、頂部優勢が強く働いた形態を示した。この形態は、第1編第4章で検討したMH処理枝の形態とよく類似していた。オーキシンは成長力の強い部分に多く分布するとされている (小柴、2002)。本試験結果が得られたメカニズムとして、本来強く成長すべき部位である芽が除去されたことで、MH処理と同様、枝全体のオーキシンレベルが一時的に低下した結果、ジベレリンやサイトカイニンレベルが低下し、頂部優性が強くなった可能性が考えられる。

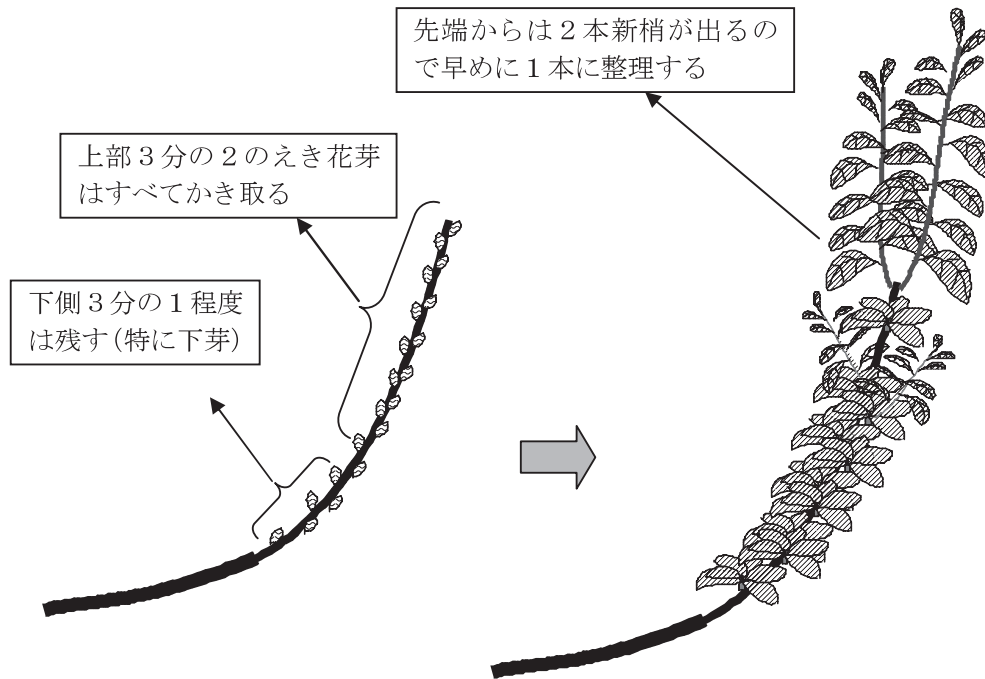
以上の結果、予備枝として利用する1年枝のえき花芽は、剪定時に除芽を行うことにより、ハウス栽培、露地栽培において、摘らいまたは摘果作業の省力化を可能とし、適度に短果枝の着生した良質な側枝が得られることが明らかになった。

摘 要

葉果比35~50を確保するための花芽整理の方法と側枝の育成方法を検討した。短果枝の花芽数は、12芽・m⁻²

とし、2芽は花芽部分を手でかき取ることにより、摘果にかかる労力を増加させることなく適切な葉枚数を確保出来た。側枝を育成するための予備枝に着生したえき花

芽は、冬季せん定時に手でかき取っておくことで、先端部分以下の芽から発生する新梢数が減少し、短果枝が多く着生した側枝を育成することが出来た。



第2-27図 えき花芽の除去方法と留意点 (模式図)

第5章 第2編 総合考察

‘二十世紀’の栽培の歴史を見みると、昭和10年頃から現在に至るまで常に糖度不足による食味不良が問題となっている（井上、2004）。特に、ハウス栽培やジベレリン処理を行った果実が、出荷を急ぐ余り早取り傾向となりがちなことから、鳥取県園芸試験場は、8月に収穫可能で、‘二十世紀’より糖度が高い青ナシ5品種を育成し、2007、2008年に品種登録した。今後、これらの新品種の普及により‘二十世紀’の早取り傾向の是正が期待されている。しかし、‘二十世紀’は鳥取県におけるナシ産業の屋台骨であり、県内のニホンナシ栽培面積の約8割を占める。新品種への更新が進むとはいえ、産地を維持していくためには、これまで以上に高品質な‘二十世紀’を毎年安定的に生産することが求められる。本研究では、果実品質に大きな影響を及ぼしていると考えられる短果枝葉の光合成能力について明らかにするとともに、その適切な量の検討を行い、得られた知見を元に実際栽培における利用技術の構築を試みた。また、この研究には近年、発達が著しい近赤外分光法を用いた非破壊糖度計測技術を利用し、従来よりも詳細に葉枚数と糖度の関係を明らかにし、将来的には糖度予測技術への適応も視野に検討を行った。

短果枝葉の重要性については、優秀園における展葉の早さ（林1960）や短果枝葉率の高さ（小豆沢・伊藤（1983））が示されており、収量を得るためには花芽を多く残して早期に短果枝葉を確保し、摘らい、摘果で結果数を制限することが薦められている。本試験において短果枝葉の光合成能力は満開後30～40日目にはほぼ最大レベルの能力を発揮できるようになっていた。ニホンナシが貯蔵養分によって成長する期間は開花後約30日といわれている（林・脇坂、1956）。従って、成長が貯蔵養分に依存する時期から葉の同化産物に依存する時期へ切り替わるこの時期に短果枝葉を多く持つことは、従来の報告どおり、果実品質向上の第1のポイントといえる。また、光合成能力は着果期間中、常に高いレベルにあることが認められた。短果枝葉の同化産物は新梢葉に比べ果実に移行する割合が高いことが認められている（Tengら、2002）。田辺ら（1982）は当年や翌年の果実品質を良くするには短果枝葉の相対日射量が60%以上必要であることを述べている。短果枝葉の光条件を良好にし、いかに収穫期まで最大限働かせるかが第2のポイントであろう。夏季剪定は、戦前より花芽着生の促進や日当たり改善の技術として紹介されている（野呂、1938；浅見、1942）が、樹勢や方法によっては、樹や果実品質に悪影響を与えるも

のとして、先の文献も含め、最近の著書の中でも積極的に行う技術としては勧められていない（柴、1994；長柄、1983）。しかし、近年、新梢の夏期誘引（吉田ら、1997）や夏季せん定（吉岡・松波、2000；文室・村田、1999）による短果枝葉の日当たり改善が、果実品質を向上するという効果が報告されている。さらにTamuraら（2003）はみつ症の軽減に夏季せん定が効果的であることを示しており、ゆず肌症の軽減にも有効であることが示されている。したがって、夏季剪定（6～9月の新梢切除）技術については、これまでの知見を整理し、第1章の中で検討した秋の枝抜き時期ともあわせ、短果枝葉を働かせるための手段として、有効な利用方法を検討していくべきではないかと考えられる。

短果枝葉の重要性は以上の点で明らかであるが、葉枚数をどの程度確保すればよいかという点が問題となる。これまでニホンナシで適切な葉枚数について検討した試験としては、最適LAIの検討（林ら、1995；小豆沢・伊藤、1983；平田ら、1980；金子ら、1988；文室・村田、1989）と葉果比の検討（臼田ら、1987；三好ら、1976；平田ら、1980）が行われている。本研究では、糖度と葉枚数の関係を明確にするため葉果比を用いて検討し、糖度11度以上の果実を得るためには葉果比を35～50確保すべきという結果が得られた。この葉果比を確保することが果実品質向上の第3のポイントである。この葉果比を確保するための方法として短果枝を着果基準（8果・ m^{-1} ）より5割程度多く残し（12果・ m^{-1} ）、2芽は除芽しておくことが有効であることを明らかにした。さらに、この方法を実現するための側枝育成法として側枝育成時に予備枝のえき花芽を除芽することが有効であることを明らかにした。このように適切な葉果比を明らかにすることにより、冬期のせん定時に短果枝の花芽数を制限する短果枝利用型の品種は、せん定方法について具体的な指針を出すことが出来る。しかし、本研究を行う中で葉果比50以上は糖度の向上効果がないことや短果枝を過度に残して葉枚数を確保しても作業性能率の低下や早期落葉が発生することが明らかになった。また、伊藤ら（2000）が報告しているように、葉は地上部の器官の中で最大の維持呼吸器官である。これらの事実は、適量以上の葉枚数の確保は、品質に悪影響となる場合もあることを示唆している。成育期間中における葉量の調査はLAIを用いることで行える。吉田（2008）は‘ゴールド二十世紀’の整枝法の試験を行った中で、LAI2.8～3.2が品質、収量の面から適切なレベルであったと述べている。今後、

本研究で確立したせん定法を適用した場合におけるLAIと果実品質の関係について調査を行い、成育期間中の葉量の適否をLAIで判断できるようにすれば、より一層の高品質果実の安定生産が可能になると考えられる。LAIは近年、群落構造解析装置（LI-2000；LI-COR社）（林ら、1994）や魚眼レンズを装着した市販のデジタルカメラ（岩谷ら、2007）で簡便な測定が可能となりつつある。さらに精度の向上が必要ではあるが、これらの活用により高品質果実生産のための高度な管理が行えるようになるものと考えられる。

携帯型非破壊センサーは、ニホンナシの糖度を高い精度で推定できることが明らかになり、本研究では、葉果比変更後の糖度変化を明確にとらえることが出来た。今後、様々な試験の中で糖度変化をとらえる手法として用いられることが期待される。糖度予測もある程度可能と考えられたが、この点については、さらにデータの蓄積

と様々な園地における実証が必要である。また、バイアスの調整が時期別に必要である点は、実用上大きな課題である。リンゴでは、別所ら（2004）の取り組みの結果、未熟果に対応した検量線が作成されている。本研究で使用した糖度センサーは、分光装置を装備しており、データの収集により新たな検量線の作成が可能である。今後の取り組みによりバイアスの調整が不要な検量線作成が期待される。糖度センサーについてはこれらのいくつかの課題があるものの、近赤外分光法の利用による非破壊測定は新たな研究手法として期待される分野である。糖度以外にも葉の水分やN含量の測定も可能であり（Okamuraら、2001；宮本、2008）、利用技術が検討されている。今後、システムが発展すれば、1台で複合的な樹園地診断装置として使用できるシステムとなりうる可能性を秘めており、今後の研究とメーカーの努力に期待したい。