

葉の水ストレス及び葉やけが「バートレット」葉の光合成に及ぼす影響

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	山本, 隆儀 渡部, 俊三
巻/号	51巻1号
掲載ページ	p. 19-28
発行年月	1982年6月

葉の水ストレス及び葉やけが‘バートレット’葉 の光合成に及ぼす影響¹

山本隆儀・渡部俊三
山形大学農学部 997 山形県鶴岡市

The Effects of Leaf Water Stress and Leaf Burn on Photosynthesis of ‘Bartlett’ Pear Trees

Takanori YAMAMOTO and Shunzo WATANABE
Faculty of Agriculture, Yamagata University,
Tsuruoka, Yamagata 997

Summary

Photosynthetic activity of ‘Bartlett’ pear leaves was measured in relation to leaf water deficiency using an infra-red gas analyzer under laboratory conditions. Multiple regression analyses of photosynthesis of the tree canopies were conducted from data of rates of dry matter accumulation measured by a leaf punch method under field conditions. Further, the extents of the loss of the photosynthetic product were estimated in relation to leaf water stress and leaf burn.

1. The saturation light intensity in the rates of apparent photosynthesis (P_o) in ‘Bartlett’ pear leaves was 35–40 cal cm⁻² h⁻¹ and the light compensation point was below 5 cal cm⁻² h⁻¹ in the laboratory conditions. The rate of true photosynthesis at its maximum was about 28 mg CO₂ dm⁻²·h⁻¹ when leaf water potential (Ψ_l) was above -20 bars under a constant leaf temperature of 29°C. It reduced gradually until Ψ_l reached at -30 bars, a substantial decline occurred when the Ψ_l was below about -30 bars. Further, the P_o reduced remarkably when high leaf temperature occurred with low Ψ_l ; for instance P_o was 2.5 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ at 40°C in leaf temperature and below -32 bars in Ψ_l . But the total reduction of the P_o under such conditions cannot be attributed only to the increase in the dark respiration and the photorespiration. Probably, the lowered photosynthetic activity and the stomatal closure under such conditions can be implicated in the reduction.

2. In the field conditions the rates of apparent photosynthesis (P_a , rates of dry matter accumulation measured by the leaf punch method) fell significantly at high irradiances over approximately 40 cal cm⁻² h⁻¹. The “efficiency of photosynthesis”, i. e., the actual P_a divided by the photosynthetic potential (P_p) which was given by the light saturation curve under suitable conditions, fell linearly below -10 bars in Ψ_l and reached its maximum value at mean air temperature of about 19°C.

3. Negative correlations were found between the percentages of leaf burn per day and the P_a s for 4 years, the latter being an estimate based on the multiple regression analyses. The total loss of the leaf area by the shedding of burned leaves and the accumulation of the photosynthetic product were calculated from the middle of July to early September of 1975. The proportion of the total loss of the photosynthetic products attributed to leaf shedding was only about 6%, notwithstanding the fact that the proportion of the actual total burned leaf area to the total leaf area was about 15%. The remarkable losses of the photosynthetic products in the healthy leaves were estimated under several degrees of

¹ 1981年10月9日受理

セイヨウナシの葉やけに関する研究 (第12報)

leaf water deficiency which frequently accompanied the occurrences of the leaf burn.

緒 言

セイヨウナシは世界の主要果樹の一つであるにもかかわらず、その光合成の測定例は、カンキツやリンゴと比較して極めて少ない。赤外線ガス分析計を用いた測定例としては、Šiškanu (1969), Kriedemann and Canterford (1970) 及び Tormann (1978) の報告が認められるにすぎない (6, 4, 10)。わが国に栽培されているセイヨウナシの主力品種‘パートレット’には葉やけが多発し、また、夏季の水ストレスも他の果樹に比較して著しい。この葉やけ発生の悪影響として、果実肥大不良、胴枯病や腐らん病の誘発及び翌年の花芽着生不良などが考えられている (3, 7, 8)。これらは、恐らく、葉やけによる葉面積損失と水ストレスによる光合成の低下に関連しているものと思われるが、その立証には実際に光合成を測定して検討する必要がある。以上の見地より、本報告では、第1に、‘パートレット’個葉の光合成特性とこれに及ぼす水ストレスの影響の調査 (1980年)、第2に、ほ場の‘パートレット’成木の光合成に及ぼす気象要因及び葉内水分の影響の調査 (1975年)、第3に、光合成速度の重回帰推定とそれを用いて葉やけ及び水ストレスによる光合成量の減少の評価 (1971, 72, 74, 75年) などを行った結果を報告する。なお、1971, 72, 74年については、光合成及び葉内水分の測定を行っていなかったので気象データを用いてこれらを推定したものをを用いた (12)。

材料及び方法

1. 個葉を用いた光合成測定

はち植え4年生‘パートレット’ (ヤマナシ台) 5樹を用いて、ガラス室内で土壌乾燥処理を施し、着生個葉のみかけの光合成速度 (P_0)、暗呼吸、光呼吸、葉温及び蒸散速度などを測定した。これらの測定装置は原理的に Gaastra (2) の方法 (通気式) に準じ、アクリル樹脂製同化箱 (12.0×4.5×0.6 cm) の周囲に温度調節用の流水槽を設置した。同化箱へのガス供給経路に、相対湿度 60~70% を保つためのシリカゲル除湿管、及びソーダライム管からの炭酸ガス除去空気と新鮮空気とを混合するための混合器とを設置した。炭酸ガス濃度は赤外線ガス分析計 (日立堀場) を用いて測定記録した。同化箱へ入る、またはそれから出るガス経路の分路内に湿球温度及び乾球温度の測定装置 (熱電対法) を取り付けて、絶対湿度を測定した。また、供試葉温も同時に測定した (熱電対法)。500 W の陽光ランプ 6 個を用いて、同化箱との距離を自由に変えられるようにして光強度を調節す

るとともに、両者の間に流水槽フィルターを設けて温度の上昇を防いだ。光強度は日射計 (農試電試計) を用いて測定した。光合成速度及び蒸散速度の計算方法は宇田川 (11) の示したとおりである。葉の水ポテンシャル (Ψ_1) はプレッシャーチャンパー法により、同化箱に供試葉を入れている間は、その近傍の葉を用い、光合成測定終了直後からは供試葉を用いて測定した。同化箱への通気量は原則として 41 min^{-1} 、湿球・乾球への通気量は 21 min^{-1} (風速 1.2 m sec^{-1}) として、光強度、葉温及び炭酸ガス濃度を変えて上記の項目を測定した。この測定は 1980 年 7 月下旬及び 8 月中~下旬に行った。

2. ほ場成木の光合成測定

1975 年の5月中旬より9月中旬まで、27 年生の‘パートレット’ 5 樹を供試して、リーフパンチ法 (半葉法、9) により、日中の乾物増加速度を、また、別に打ち抜いた葉ディスクにより葉の飽和水分不足度 ($W. S. D.$) を測定した。両者共樹上平均値を得る目的から、採葉方法は葉の受光状態を主要な目印とした比例抽出法 (12) によった。午前 9 時に約 15 葉の片面から約 50 ディスク (直径 1.2 cm) を、午後 3 時に残りの片面から同数のディスクを打ち抜いて 1 日間熱乾燥して、みかけの乾物増加速度 (P_d) を算出した。正午ころに約 10 葉から 20 ディスク (直径 1.9 cm) を打ち抜いて、ポリウレタンフォーム浸漬法により $W. S. D.$ を測定した。別に、プレッシャーチャンパー法により葉の水ポテンシャルを測定した直後に、同浸漬法により葉の $W. S. D.$ を測定し、両者の関係を調査した。

3. 葉やけ日発生率、気象データ、土壌水分張力などの測定

1971, 1972, 1974, 1975 年の夏季の気象データ、土壌水分張力及び葉やけ日発生率については既報で示したとおりである (12)。

結果及び考察

1. 個葉の光合成特性とこれに及ぼす水ストレスの影響

1) 個葉の光一光合成曲線と水ポテンシャル

光一光合成曲線を第 1 図に示した。7 月下旬では、 P_0 の飽和値は約 $40 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 以上の、8 月中旬では約 $35 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ の光強度に見られ、それぞれ、約 $23 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、約 $16 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ であった。同図から真の光合成速度の最高値を算出すると、7 月下旬で約 $28 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、8 月中旬で約 $20 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$

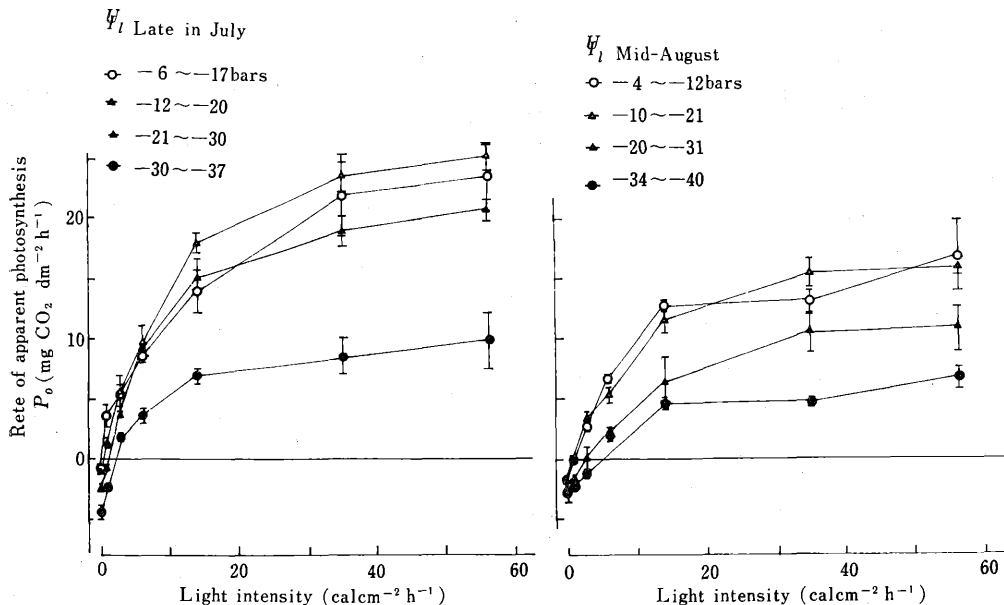


Fig. 1. Effects of light intensities and leaf water potentials on the rates of apparent photosynthesis of 'Bartlett' pear leaves.

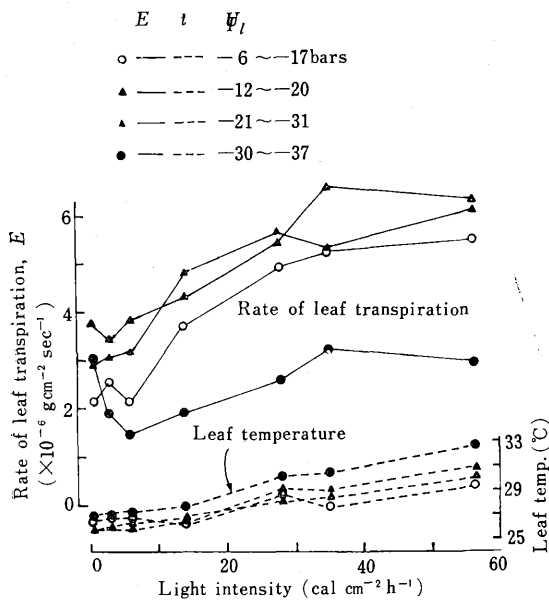


Fig. 2. Effects of leaf water potentials (Ψ_l) and light intensities on the rates of leaf transpiration (E) and leaf temperatures (t) of 'Bartlett' pear trees in the late of July.

h^{-1} であった。同じ'バートレット'葉を用いた外国における測定結果は約 $25 \sim 33 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (4) あるいは $29.2 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (6) であり、本実験値との間に大差はない。いずれにしても、セイヨウナシ'バートレット'の葉の光合成速度の値は、リンゴを除く他の果樹の葉のそれよりも大きいと言えよう。光補償点は $5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 以下であった。しかし、水ポテンシャル(Ψ_l)が低下すると P_0 値は低下した。本実験では葉温をなるべく一定に保ったが、光強度の増大及び Ψ_l の低下により、葉温は最大 5°C の上昇が見られた(第2図)。同化箱内の蒸散速度は Ψ_l が $-6 \sim -17 \text{ bar}$ 、 $-12 \sim -20 \text{ bar}$ 及び $-21 \sim -31 \text{ bar}$ の3区間には大差が見られなかったが、約 -30 bar 以下では約半減し、約 $3 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ であった(第2図)。

2) 葉温及び水ポテンシャルがみかけの光合成速度及び暗呼吸に及ぼす影響

光強度を一定にした場合(第3図)、 Ψ_l が $-13 \sim -16 \text{ bar}$ の区と $-17 \sim -24 \text{ bar}$ の区で、葉温が 25°C から 40°C に上昇すると、 P_0 はそれぞれ約 6 mg 、約 10 mg 低下した。 Ψ_l が $-32 \sim -40 \text{ bar}$ の区では、 20°C の場合にも P_0 は前2区約6割であり、 40°C に上昇することにより約 10 mg 低下した($P_0 = 2.5 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$)。この原因として、葉温上昇と Ψ_l 低下に伴う呼吸速度の上昇が考えられた。しかし、暗呼吸速度

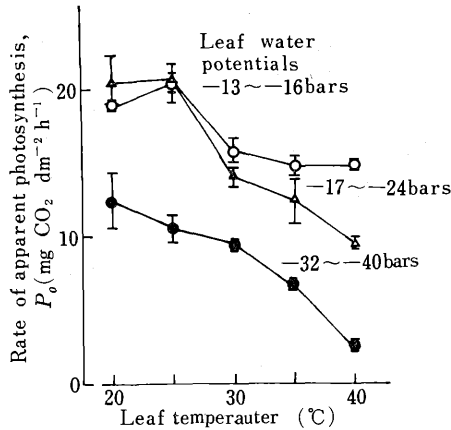


Fig. 3. Effects of leaf temperatures on the rates of apparent photosynthesis of 'Bartlett' pear leaves in the middle of August. $Q=28.1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

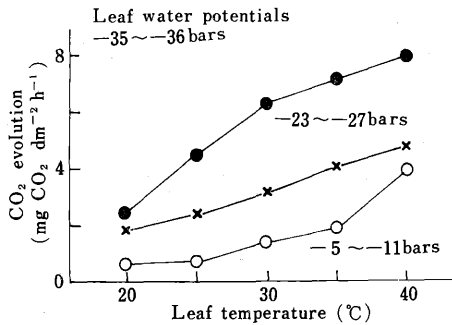


Fig. 4. Effects of leaf temperatures and leaf water potentials on the dark respiration of 'Bartlett' pear leaves in the middle of August.

(炭酸ガス放出速度)は、葉温が 20°C から 40°C に上昇するに伴い、 $-5\sim-11 \text{ bar}$ 及び $-23\sim-27 \text{ bar}$ の両区で $3\sim3.5 \text{ mg}$ 、 $-35\sim-36 \text{ bar}$ の区で約 5.2 mg 上昇したにすぎず(第4図)、この上昇分は、上記の葉温上昇に伴う P_0 低下分(第3図)の半分にすぎなかった。

3) 炭酸ガス濃度及び水ポテンシャルがみかけの光合成速度に及ぼす影響

高 Ψ_l ($-13\sim-17 \text{ bar}$) と低 Ψ_l ($-32\sim-35 \text{ bar}$) の両区に、炭酸ガス濃度と P_0 との間に正の直線関係が認められ、炭酸ガス補償点は、前者で 37 ppm 、後者で 54 ppm であった(第5図)。蒸散速度(E)は前者で後者の $3\sim4$ 倍であり(第6図)、第5図に示した P_0 の差より大きかった。しかし、蒸散速度に及ぼす炭酸ガス濃度の影響は明りょうでなかった(第6図)。このことは、'バートレット' 葉の気孔の開閉運動が炭酸ガス濃度の変

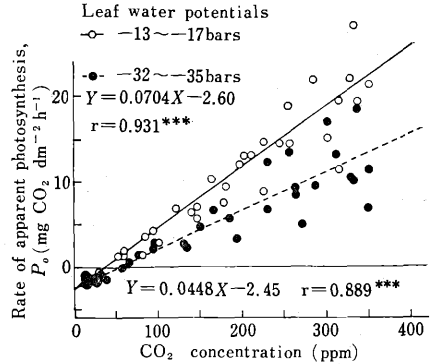


Fig. 5. Effects of CO_2 concentrations and leaf water potentials on the rates of apparent photosynthesis of 'Bartlett' pear leaves in the middle of August. $Q=28.1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

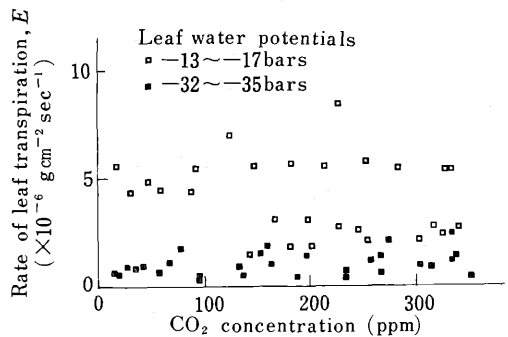


Fig. 6. Effects of CO_2 concentrations and leaf water potentials on the rates of leaf transpiration of 'Bartlett' pear leaves in the middle of August.

化に対して鈍いことを示す。

4) 光呼吸

炭酸ガス除去空気中の炭酸ガス放出速度 (CO_2 free air 法)は、 20°C の時の 1.7 mg から 40°C の時の 3 mg に上昇し、葉温の上昇に伴い光呼吸が増大する傾向が見られたが(第7図)、その増加分はわずかであった。また、光呼吸速度と光強度との間には飽和曲線に似た関係が認められ(第8図)、強光域ではほとんど一定の値であった。この両実験は Ψ_l が約 -15 bar の葉に限定して測定し、低 Ψ_l のものについて測定していない。しかし、第5図の炭酸ガス濃度が 0 ppm の時の P_0 値を推定すると、高 Ψ_l 区で $-2.6 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、低 Ψ_l 区で $-2.45 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ となり、この値の符号を変えたものは、いわゆる外挿法による光呼吸速度を示す。この結果を見る限り、 Ψ_l の低下により光呼吸の増大は認められない。

以上の結果、'バートレット' の葉の光合成作用は、葉

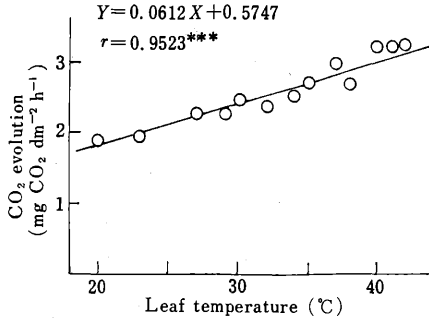


Fig. 7. Effects of leaf temperatures on the photorespiration of 'Bartlett' pear leaves (CO_2 free air method). $\Psi_l = -15$ bars, $Q = 28.1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

の水分不足と葉温の上昇により著しく低下するが、その低下の内容は暗呼吸や光呼吸の増大だけでは十分説明できない。水ストレスが光合成を抑制する機構はいまだ十分解明されていないが、Boyer (1) によれば、その主要な原因として、気孔閉鎖、クロロプラストの活性低下及び葉の老化や枯死による葉面積損失があげられている(1)。特に短期間の水ストレスでは、暗呼吸と光呼吸の増大、もしくはクロロフィル含量の低下のいずれも生じにくく、もっぱら、クロロプラストの光反応速度の低下及び気孔閉鎖による光合成作用の低下の影響が大きいと考えられるが、その場合も、前者による低下は弱光下、後者による低下は強光下で生じやすいとされている(1)。個葉の蒸散速度が -30 bar 以上ではほとんど低下しなかったことは(第2図)、'バートレット'葉の気孔の開閉機能が鈍いという性質(14)を示すものであろうが、 -30 bar 以下では、実質的に低下したことから(第2図)、上記の気孔閉鎖が作用しているものであろう。Kriedemann and Canterford(4)も Ψ_l が -30 bar

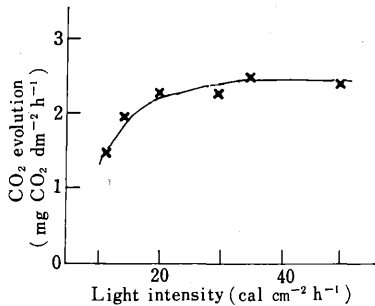


Fig. 8. Effects of light intensities on the photorespiration of 'Bartlett' pear leaves (CO_2 free air method). Leaf temperature = $27 \sim 31^\circ\text{C}$, $\Psi_l = -15$ bars.

以下の場合、'バートレット'葉の光合成の大きな低下を示している。ミトコンドリア内で生ずる暗呼吸とクロロプラスト内で生ずる光呼吸に対する水ストレス影響は必ずしも一定したものでなく、種特性によるところが大きい(1)。この反面、本実験ではこの両呼吸は葉温上昇と共に増大していた(第4, 7図)。いずれにしても、真夏の強光下、葉温上昇と Ψ_l の低下により、'バートレット'葉の光合成作用が大きく減退することが推察される。

2. ほ場成木の葉の乾物増加速度に及ぼす気象要因と葉水分の影響

1975年の夏の'バートレット'葉のみかけの乾物増加速度(樹上平均値, P_a)、樹上平均 $W. S. D.$ 及び各気象要因の日変化を第9図に示した。なお、同図には、これら以外に果径日変化量及び葉やけ日発生率も示した。また、葉の乾物増加を測定している時間帯(午前9時～午後3時)の平均毎時全日射量(Q)と P_a との関係を第10図に示した。両者の間には、弱光下で飽和曲線(双曲線)的関係が見られたが、 $45 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 以上では P_a は全体として大きく落ちこんだ。これらの落ちこみは真夏に多く見られ(第9図)、強光条件下にありながら、高温と乾燥が加わることの影響と考えられる。土壌が湿潤で気温がそれほど上昇していないが日射量の多い6月及び7月上旬の晴天日では(第9図)、光飽和の傾向が見られ(第10図の点線内)、その数式化を行ったところ、 $P_a = 80.585 Q / (0.0602 Q + 1)$ が得られた。この曲線上の値は、光以外の要因がほぼ好適な場合に得られるものと考え、その意味でみかけの乾物増加可能速度(樹上平均値、以後 P_p)と呼ぶことにする。 Q を上

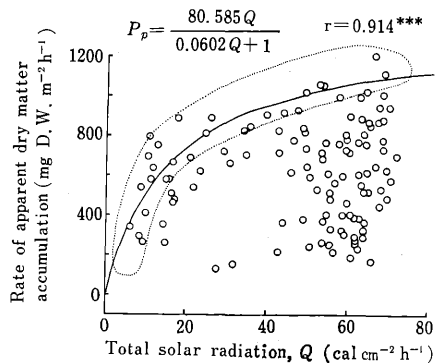


Fig. 10. Relation between the rates of apparent dry matter accumulation of 'Bartlett' pear leaves and total solar radiations. A solid line indicates the light saturation curve calculated from the data under suitable conditions (inside of the dotted line).

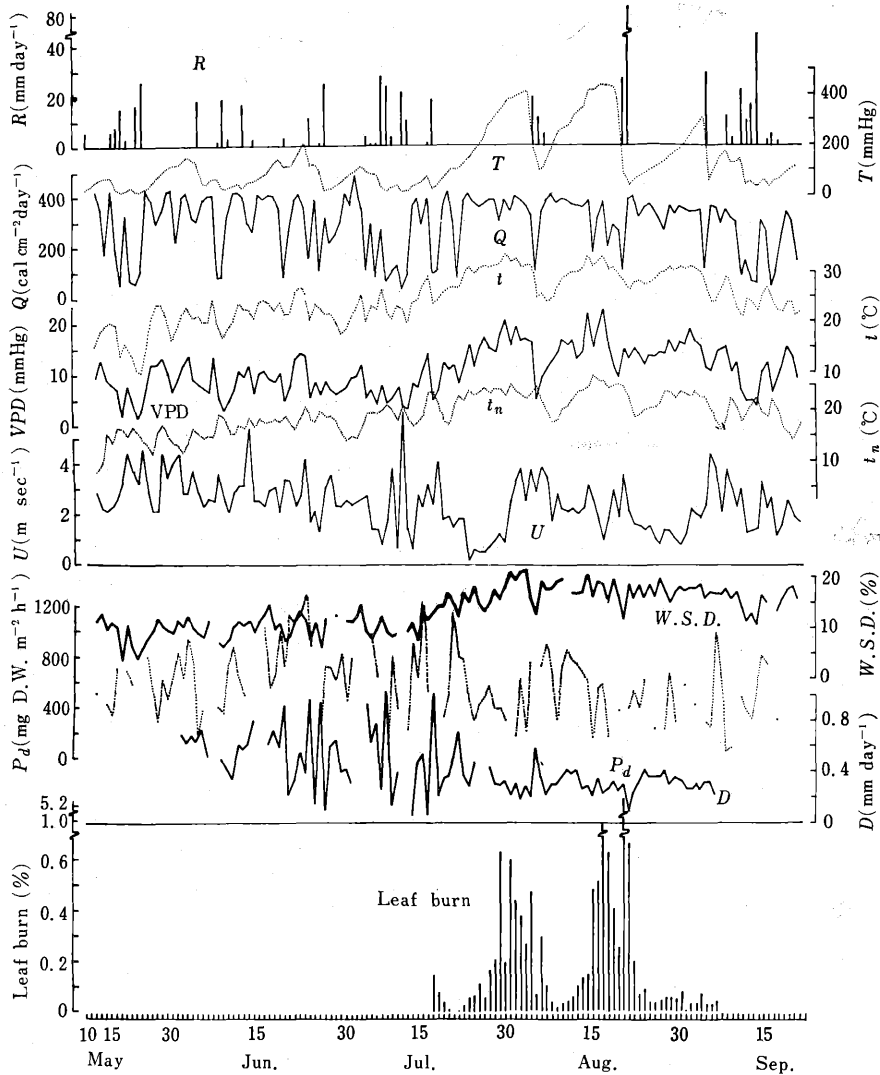


Fig. 9. Seasonal changes in mean leaf *W.S.D.*, the rates of apparent dry matter accumulation (P_d), percentage of leaf burn per day and daily changes in fruit diameter (D) of 'Bartlett' pear trees and several meteorological elements, i.e., R : rainfall, T : soil moisture tension, Q : total solar radiation, t : mean air temperature in the daytime, t_n : mean air temperature in the nighttime, VPD : mean vapor pressure deficits in the daytime and U : mean wind velocity.

記の式に代入して算出した P_p に対する実際の P_d の割合を光合成効率 (= $100 P_d/P_p$ %) と考えた場合、同効率と樹上平均葉内水分または平均気温との関係を第 11, 12 図に示した。なお、葉の *W.S.D.* 値を Ψ_i に変換する検定曲線を第 13 図に示した。光合成効率は樹上平均 *W.S.D.* (d) の上昇、もしくは樹上平均葉水ポテンシャル $\bar{\Psi}_i$ の低下に伴い、ほぼ直線的に低下し、たとえば、 $\bar{\Psi}_i$ が約 -8 bar の時に比較して、 -20 bar では、約 4 割の大きさであった (第 11 図)。この場合、

個葉の P_0 と Ψ_i との関係 (第 1 図) と異なり、 $\bar{\Psi}_i$ がかなり高いところで光合成の低下が見られた原因として、樹上葉内水分の不均一分布が考えられる。すなわち、直射光を受けている葉は、樹体内の水分不足が顕著な日には、 Ψ_i も相当低いので光合成も大きく低下するが、弱光下で散乱光を受けている葉は Ψ_i は高いものの光合成作用が弱いので、結果として、 $\bar{\Psi}_i$ が比較的高いところで、光合成効率の低下が始まることになる。同効率は平均気温に対して密接な 2 次曲線の関係が見られ、

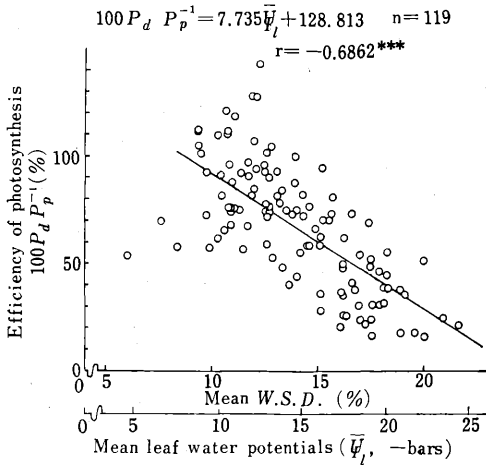


Fig. 11. Relations between the efficiencies of photosynthesis of 'Bartlett' pear leaves and the mean leaf water potentials ($\bar{\Psi}_l$) or mean W.S.D.

気温約 19°C で最高であり、30°C で最高値の約 4 割の大きさであった (第 12 図). この関係は、葉温が直射光下では気温より 6~13°C、散乱光下では 1~3°C 高いこと (未発表) を考慮すると、個葉の葉温と P_0 との関係 (第 3 図, 特に高 Ψ_l 区) とほぼ類似しているものと考えらる。しかし、第 11 図の結果には気温の、第 12 図の結果には葉内水分の影響が重複して現れていることを見逃してはならない。

3. P_d の重回帰推定及び P_d に及ぼす水ストレスと葉やけの影響

上記のように、は場測定の場合には、多数要因が同時に複合的に影響し、一つ一つを分離できないので、多変

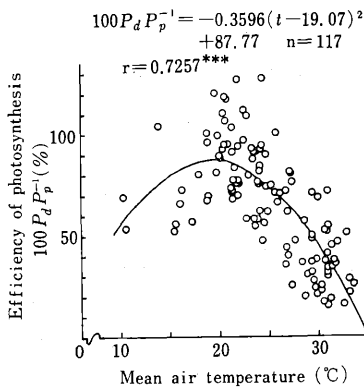


Fig. 12. Relations between the efficiencies of photosynthesis of 'Bartlett' pear leaves and mean air temperature (t).

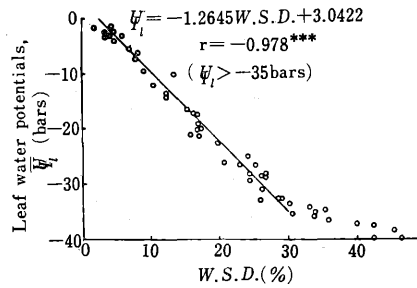


Fig. 13. Relations between water potentials (Ψ_l , pressure chamber method) and water saturated deficits (W.S.D., polyurethane foam immersion method) of 'Bartlett' pear leaves.

量解析の一つとして、 P_d の重回帰推定を行った。独立変数として、光要因、水要因及び温度要因を用いねばならない。種々検討したところ、光要因として P_p 、水要因として昼間の樹上平均 W.S.D. (以下 d)、さらに温度要因として第 12 図の 2 次曲線の関係から最適気温と平均気温 (t) の差の 2 乗、すなわち $(t-19.07)^2$ の値を用いた。これらの変数以外に、樹体が水ストレス状態から回復しても光合成が回復しない現象があり (1)、この主たる原因が気孔の after effect (5) であることから、前 3 日間の W.S.D. の平均 ($1/3 \sum d$) を用い、さらに、風要因として風速 (U) と外部拡散抵抗との関係から

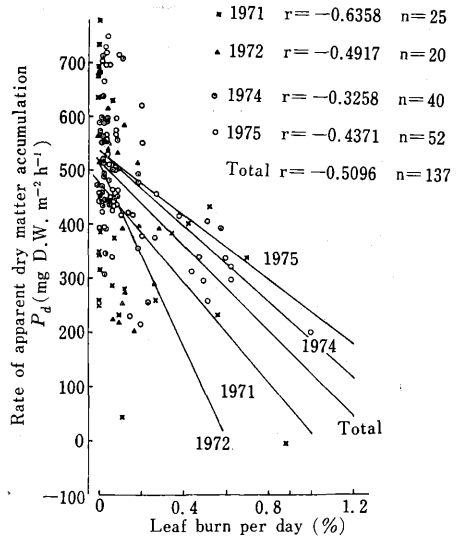


Fig. 14. Relations between P_d s and percentages of leaf burn per day of 'Bartlett' pear trees for 4 years. P_d s were the actual data in 1975 and the estimated ones in other 3 years.

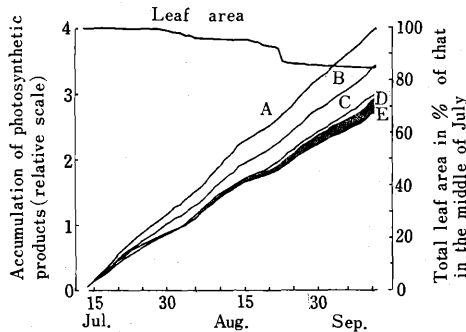


Fig. 15. Several curves of accumulation of photosynthetic products (relative scale) calculated on the following five cases (A-E) and a leaf area curve of 'Bartlett' pear trees from mid-July to early September in 1975.

A, B and C: On the supposition that mean $W.S.D.$ is below 8% (Ψ_i is above -7 bars), 12% (Ψ_i is above -12.1 bars) and 16% (Ψ_i is above -17.2 bars), respectively, with no leaf burn.

D and E: On the actual mean $W.S.D.$ with no leaf burn and with actual leaf burn, respectively.

The closed area indicates the loss of photosynthetic products attributed to the shedding of the burned leaves.

ら $U^{1/3}$ の値を用いた。5元重回帰分析による各変数間の相関行列及び重回帰推定式を第1表に示した。重相関係数はさほど大きくなかったが、推定に十分用いられるものと判断し、以後同推定式を用いて、1971, 1972 及び1974年の夏季の P_a を推定した (以後 \hat{P}_a で示す)。なお、この3年間の $W.S.D.$ 値は別の重回帰式(12)を用いて推定したものである。この3年間の \hat{P}_a 値及び1975年の P_a 測定値と、この間の葉やけ日発生率との関係を第14図に示した。両者には負の相関関係が認められ、葉やけ日発生率が高い日には、 P_a または \hat{P}_a の値は大きくなかったが、葉やけ日発生率の低い日 (0.1%以下) では、 P_a または \hat{P}_a の値の分散は大きかった。

次に、1975年の7月中旬から9月上旬までの葉やけ発生による葉面積損失量及び累積光合成量 (相対値) を算出し、さらに、数段階の葉内水分レベルを設定して、累積光合成量を推定したところ (第15図)、この間の葉やけ総発生率が約15%であったにもかかわらず、葉やけ発生のみ起因する累積光合成の損失量 (同図黒く塗りつぶした部分) は最終的に葉やけゼロの場合 (同図D) のわずか6%にすぎなかった。葉やけにより大半の葉が

落葉する被害甚大な年もあるが、総発生率が約15%より低い年も少なくないことを考えると、葉やけそのものによる光合成損失量はさほど大きくないといえよう。しかしながら、樹上平均 $W.S.D.$ を16%以下 (Ψ_i を -17.2 bar以上)、12%以下 (同 -12.1 bar以上)、さらに8%以下 (同 -7 bar以上) に調節したものと仮定すると、同図E (実際の累積光合成量) に比較して、それぞれ約10%、約25%あるいは約48%ほど累積光合成量が増大することが推定された。既に著者らは、葉やけ発生が樹体の健全葉の水ストレスを伴うことを報告したが(12)、上記の解析結果から、葉やけという乾燥障害の可視症状が出現する以前あるいはその陰に隠れて、健全葉において著しい光合成の損失が生ずることが推察される。

いずれにしても、わが国に栽培されるセイヨウナシは、梅雨期の日照不足や夏季の高温乾燥による著しい葉の水ストレスと葉やけ発生などにより、生育期間の相当長期にわたり、光合作用が低下し、甘味の少ない果実になるものと思われる。葉やけによる実質的被害は光合作用の低下であるが、葉やけに伴う健全葉の水ストレスによる光合成量の減少はそれにもまして大きいものであるから、葉やけそのものの防止にとどまらず、樹体全体の水分状態の改善に努めることが肝要であろう。

摘 要

赤外線ガス分析計を用いて、'バートレット' 着生個葉の光合成特性及び水ストレスの影響の調査、打ち抜き法によるほ場成木の光合成の重回帰推定及び水ストレスと葉やけによる光合成損失量の評価などを行った。

1. 'バートレット' 個葉のみかけの光合成速度 (P_0) の飽和値は光強度 $35\sim 40 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ に見られ、光補償点は $5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 以下であった。真の光合成速度は最高約 $28 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (高水ポテンシャル区) であったが、水ポテンシャル (Ψ_i) が -20 bar を過ぎて低下すると徐々に減少し、 -30 bar 以下で大きく減少した。この Ψ_i の低下に葉温上昇の影響が加わると、 P_0 値の減少はさらに顕著になり、 -32 bar 以下 40°C の場合の P_0 値はわずか $2.5 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ であった。暗呼吸は低 Ψ_i 及び高温条件で増大し、光呼吸も高温条件で増大したが、これらのみでは、低 Ψ_i ・高温条件下の P_0 減少分を十分に説明出来なかった。これ以外に、高温と低 Ψ_i の相乘的な作用として、光合成活性の低下及び気孔閉鎖の影響が推察された。

2. みかけの樹上平均乾物増加速度 P_d (打ち抜き法) の測定の結果、光強度でのみ決定される乾物増加速度 (P_p) に対する実際の P_d の割合で示した光合成効率

Table 1. The coefficients of single correlation among variables and the multiple regressions of rates of apparent photosynthesis of 'Bartlett' pear leaves under the field conditions.

	P_p^z	$(t-t_0)^{y/2}$	d^z	$1/3 \sum_1^3 d^w$	U^{1/s^v}
P_p	1	0.2834	0.5388	0.1789	-0.1211
$(t-t_0)^2$		1	0.8294	0.7324	-0.2099
d			1	0.7394	-0.2932
$1/3 \sum_1^3 d$					-0.2361
$U^{1/3}$					1
P_d^u	0.1471	-0.6534****	-0.5020***	-0.5588***	0.3142
		Coefficient of multiple correlation	Coefficient of determination	Variance ratio	n
Five elements multiple regression analysis		0.7622**	0.5809	2.99	120
$P_d = 0.5798 P_p - 8.3863 d - 9.7742(1/3 \sum_1^3 d) - 2.4615(t-t_0)^2 + 66.6572 U^{1/3} + 379.9486$					

z : Potential rate of dry matter accumulation (mg D.W. m⁻²h⁻¹)

$$P_p = \frac{80.585 Q}{0.0602 Q + 1} \quad Q : \text{Mean solar radiation (cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{)}$$

y : Mean air temperature-optimum air temperature (=19.07°C)

x : Mean water saturated deficits (W.S.D.) of leaves (%)

w : Mean W.S.D. for 3 days before the day of the measurement (%)

v : Cube root of mean wind velocity (m sec⁻¹)

u : Rate of apparent dry matter accumulation (mg D.W. m⁻²h⁻¹)

t : Significant at 0.1% level with t -test

s : Significant at 5% level with F-test

は、樹上平均葉水ポテンシャル($\bar{\Psi}_l$)が約-10 bar以下になると直線的に低下し、また、平均気温が約19°Cで最高であった。

3. 上記 P_d の推定のための重回帰分析を行い、過去4年間の葉やけ日発生率と当日の P_d 値(または P_d 推定値)との関係を調査したところ、いずれも負の相関関係が認められた。1975年7月中旬から9月上旬までの葉やけ発生による葉面積損失量と累積光合成量を算出し、さらに、同推定式を用いて、葉内水分を数段階に調節出来たと仮定した場合の累積光合成量を推定した。その結果、同期間の葉やけ総発生率が15%であったが、そのための累積光合成の損失はわずか6%であり、これに反して、水ストレスの程度が著しくなることにより、健全葉の累積光合成の損失量が著しく多くなることが推察された。

謝辞 本実験を遂行するにあたり、計器の使用上ご協力を賜った本学笹原健夫助教授並びに神尾彪助教授に厚くお礼を申し上げる。

引用文献

1. BOYER, J.S. 1976. Water deficits and photosynthesis. p.154-191. In: T. T. KOZŁOWSKI (ed.) Water deficits and plant growth. Vol. IV, New York, San Francisco, London.
2. GAASTRA, P. 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal resistance. Meded. Landbouwhoges. Wageningen. 59: 1-68.
3. 後藤栄五郎. 1951. 山形県屋代洋梨の追憶と現状. 果実日本 13: 42.
4. KRIEDEMANN, P. E., and R. L. CANTERFORD. 1970. The photosynthetic activity of pear leaves (*Pyrus communis* L.). Aust. J. Biol. Sci. 24: 197-205.
5. MEIDNER, H. and T. A. MANSFIELD. 1968. Physiology of stomata. McGraw-Hill. London.
6. ŠIŠKANU, G. V. 1969. The effect of fruit position on the intensity of photosynthesis in the fruit trees. Izv. Akad. Nauk. mold. SSR, Ser, biol. him. Nauk. 6: 18-23.
7. 鈴木寅雄. 1951. 山形県における洋ナシ栽培の技術的改善. 農及園. 26: 639-643.
8. 鈴木寅雄. 1964. 山形県の洋ナシ栽培の現状とその将来. 果実日本. 19: 38-40.
9. 戸荻義次. 1971. 作物の光合成と物質生産. 養賢堂.
10. TORMAN, H. 1978. Some photosynthetic characteristics of apple, pear, protea, olive and grape-vine leaves. Hort. Abst. 50: 142.

11. 宇田川武俊. 1974. 生理生態調査法. 坪井八十二編. 農業気象ハンドブック. p. 776—792. 養賢堂.
12. YAMAMOTO, T., S. WATANABE and H. HARADA. 1979. Studies on leaf burn of pear trees. IX. Analysis of promoting factors in development of leaf burn : Relationships between leaf burn, daily courses of meteorological variables, and leaf water deficits. Bull. Yamagata Univ., Agr. Sci. 8 : 277—292.
13. 山本隆儀・渡部俊三・原田 久. 1979. 西洋ナシの葉やけに関する研究 (第 10 報). 葉の気孔開閉の機能鈍化について, 園学雑. 48 : 267—278.