

携帯型装置による果樹葉の光合成 及び蒸散速度の測定

熊代 克巳・塚原 卓郎*・阪本 祐一**

信州大学農学部 園芸生産利用学講座

Measurement of Net Photosynthesis and Transpiration in Leaves of Fruit Trees by a Potable System in Field Conditions

Katsumi KUMASHIRO, Takurō TSUKAHARA and Yuichi SAKAMOTO

Laboratory of Pomology, Faculty of Agriculture, Shinshu University

Net photosynthesis rate (Pn), transpiration rate (E) and stomatal conductance (gs) in leaves of apples, Japanese pears, peaches and grapes were measured by the ADC potable system in field conditions.

1. The maximum Pn in leaves of the four species was obtained at 350 ml min⁻¹ of the flow rate of air to the leaf chamber.

2. The light saturation point of Pn in leaves of "Fuji" apple, "Kōsui" Japanese pear, "Ōkubo" peach and "Kyohō" grape were ca. 1,100, 1,200, 1,000 and 900 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively.

The Pn at light saturation point in leaves of the four species was ca. 15, 15, 13 and 9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively. The low Pn in "Kyohō" grapes might be due to an advanced leaf age and soil drought.

The light compensation point of Pn in leaves of the four species was ca. 10, 30, 50 and 20 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively.

The gs in leaves of the four species not changed remarkably with light intensity, but decreased slightly under 500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

3. A peak of Pn in leaves of the four species in a day appeared at 8:00 to 9:00 in summer, and at 9:00 to 12:00 in early fall.

A gentle peak of the E in leaves of the four species appeared at 10:00 to 12:00 in summer, and at 10:00 to 14:00 in early fall.

The gs in leaves of the four species was high at early morning, and decreased with time of day. The decrease of the gs with time of day was more notable in summer than in early fall.

*現山梨県庁果樹園芸課 **現京都府峰山農業改良普及所
1989年9月30日 受付

4. The Pn in leaves of the four species increased with leaf growth. The maximum stage of Pn in leaves of the four species corresponds to that of chlorophyll content after completion of leaf growth. The Pn in leaves of apples, Japanese pears and peaches kept a high level from July to September, and afterwards decreased from early October in peaches, from middle October in Japanese pears and from late October in apples. The Pn in leaves of grapes decreased slowly from August. The remarkable decrease of Pn in leaves of apples and Japanese pears appeared before the decrease of chlorophyll content in late fall.

The trend of seasonal changes of the E and the g_s in leaves of the four species was similar to that of the Pn.

(Jour. Fac. Agric. Shinshu Univ. 26 : 63-78, 1990)

摘 要

ADC 社製携帯型光合成・蒸散測定装置 (広葉用) を用いて、圃場条件下でリンゴ、ニホンナシ、モモ及びブドウの葉の純光合成速度 (Pn)、蒸散速度 (E) 及び気孔拡散伝導度 (g_s) を測定した。

1 各果樹葉とも、同化箱へ送る空気の流速が 350 ml min^{-1} のとき、Pn が最高であった。

2 Pn の光飽和点は、リンゴ「ふじ」は約 $1,100 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約60 klux)、ニホンナシ「幸水」は約 $1,200 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約65 klux)、モモ「大久保」は約 $1,000 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約55 klux) そしてブドウ「巨峰」は約 $900 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約50 klux) であった。

光飽和点における Pn は、「ふじ」及び「幸水」は約 $15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約 $24 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$)、「大久保」は約 $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約 $21 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$) そして「巨峰」は約 $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約 $14 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$) であった。「巨峰」の Pn が低かったのは、葉齢が進んでいたことと土壌の乾燥が原因ではないかと思われた。

Pn の光補償点は、「ふじ」は約 $10 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約 550 lux)、「幸水」は約 $30 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約 1,600 lux)、「大久保」は約 $50 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約 2,700 lux) そして「巨峰」は約 $20 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約 1,100 lux) であった。

g_s は、約 $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (約27 klux) 以上の光量下ではほぼ一定で、それ以下の光量ではやや低下した。

3 日変化を測定した結果、Pn は、各果樹葉とも、夏の高温日には、8:00~9:00に顕著な山を形成し、やや気温の低い初秋には、9:00~12:00に緩やかな山を形成した。

E は、各果樹葉とも、夏には10:00~12:00に山を形成し、初秋には10:00~14:00に緩やかな山を形成した。

g_s は、各果樹葉とも、早朝が高くて時刻とともに低下し、その低下度は夏のほうが初秋よりも著しかった。

4 季節的变化を測定した結果、Pn は、各果樹葉とも、生長中の幼葉は低く、生長が完了し、それに次いで葉緑素含量が最高になる時期に最高値に達した。リンゴ、ニホンナシ及びモモの Pn は、7~9月が高水準を維持し、その後モモは10月上旬から、ニホンナシは10月中旬から、そしてリンゴは10月下旬から急低下した。ブドウの Pn は、8月から徐々に低下した。晩秋期に Pn が急低下する時期は、葉の葉緑素含量が急低下する時期より早かった。

E 及び g_s も、Pn にほぼ似た季節的变化を示した。

緒 言

果樹葉の光合成及び蒸散速度に関する報告はこれまで、室内の人工的に制御された環境下で、鉢植樹や切り枝の葉について測定されたものが多かった。最近、携帯型の光合成・蒸散測定装置が開発され、比較的短時間のうちに、圃場条件下での測定が可能になってきた⁶⁾。

幸い本学部にも携帯型装置の一種が導入されたので、それを用いて代表的果樹葉について受光量による変化、日変化及び季節的变化を測定した。

材 料 及 び 方 法

1) 測定装置

測定に用いた装置は、英国 ADC 社製で島津製作所発売のもので、第1図に示すように、空気供給装置 (ASU)、同化箱 (PLC)、赤外線 CO₂ 分析器 (LCA)、及びデータ処理・集積装置 (DL) から成立っている。

同化箱は、開放型で、広葉用と細葉用とがあるが、本報告では広葉用 (測定葉面積は $2.5\text{ cm} \times 2.5\text{ cm} = 6.25\text{ cm}^2$ に固定) を用いた。

データ処理・集積装置に表示かつ記憶されるデータは、試料番号、測定時刻、流速 (m l min^{-1})、葉面積 (cm^2)、同化箱内湿度 (%), 同化箱入口の CO₂ 濃度 (ppm), 同化箱出口の CO₂ 濃度 (ppm), 受光量 ($\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 同化箱内気温 ($^{\circ}\text{C}$), 蒸散速度 ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 葉温 ($^{\circ}\text{C}$), 気孔拡散伝導度 ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 純光合成速度 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) 及び気孔内 CO₂ 濃度 (ppm) である。そして、これらの14項目を1組として、240組のデータを記憶させることができる。なお、上記項目のうち、同化箱内湿度から同化箱内気温までは直接測定値であり、蒸散速度以下の項目は計算によるものである。それらの計算方法は、島津製作所の解説書³³⁾に譲り、省略する。直接測定値と計算値とでは、表示にやや時間的ずれがある。これらのデータは、そのまま記録させる以外に、他の装置へ転送し加工することも可能である。

1 試料あたりの測定所要時間は短く、約30秒である。開放通気型であるし、また測定所要時間が短いので、冷却装置はなくても、同化箱内の気温が異常に上昇する心配はない。

2) 光量及び光合成速度 (Pn) の単位^{6,33)}

光量はこれまで $\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, Wm^{-2} , lux, ft·c などで表現したものが多かったが、最近では本装置のように $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (または $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) で表現したものが多くなっている。これらの単位の相互関係は、太陽光の場合、下記のとおりである^{6,33)}。なお、光合成に有効な光量 (PAR) は 400~700nm の波長域であるが、本装置の光量値は PAR を示している。

$$\begin{aligned} 1000\ \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}\ (400\sim 700\text{nm}) &\doteq 0.318\ \text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}\ (400\sim 700\text{nm}) \\ &\doteq 222\ \text{Wm}^{-2}\ (400\sim 700\text{nm}) \\ &\doteq 52.8\ \text{klux} \\ &\doteq 5 \times 10^3\ \text{ft}\cdot\text{c} \end{aligned}$$

Pn の単位はこれまで、 $\text{mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ で表現したものが多く、これと本装置で用いている $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ との関係は次のとおりである。

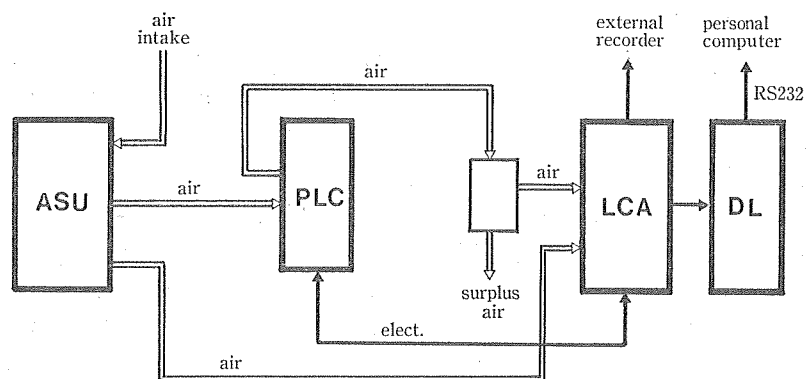
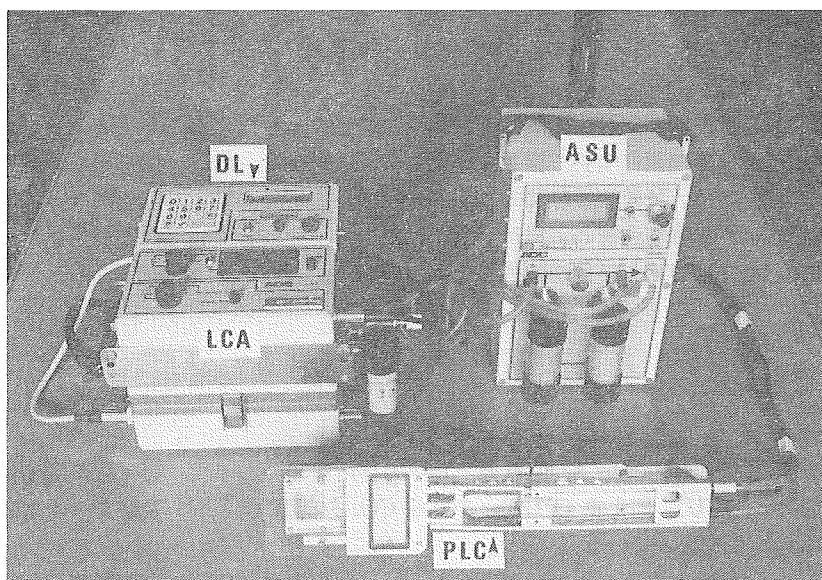


Fig. 1 The ADC system for measurement of net photosynthesis and transpiration of single leaves in field. (ASU: air supply unit, PLC: Perkinson leaf chamber, LCA: leaf chamber analyzer, DL: data logger)

$$1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} = 1.584 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$$

3) 好適流速

測定葉面積 6.25 cm^2 の場合の好適流速を知るために、数種の果樹葉について、光量 $2,000 \sim 2,300 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、気温 $27 \sim 29^\circ\text{C}$ 下で、流速別の測定を行った。リンゴ「つがる」での結果は、第2図に示すとおりで、流速 350 ml min^{-1} で P_n が最高であった。他の果樹葉でもほぼ同じであったので、以後の測定はすべて 350 ml min^{-1} の流速で行った。

4) 光量の影響

1986年10月上旬の晴天日に、リンゴ「ふじ」、ニホンナシ「幸水」、モモ「大久保」及びブ

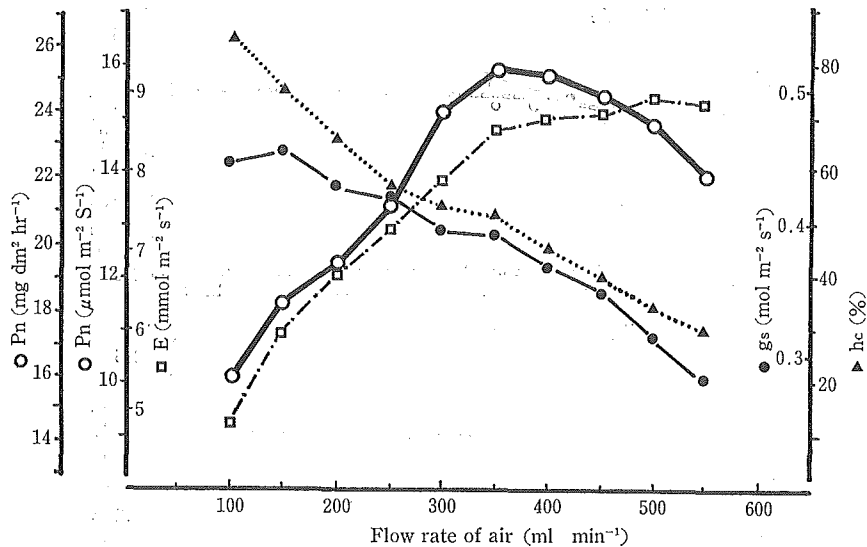


Fig. 2 Effect of the flow rate of air on net photosynthesis rate (Pn), transpiration rate (E) and stomatal conductance (gs) in leaves of "Tsugaru" apple, and relative humidity (hc) in the leaf chamaer.

ドウ「巨峰」の樹冠外周部の葉について測定した。受光量の調節は、黒色寒冷しやを0～10枚木枠に張りつけたものを用意し、それで同化箱を覆った。測定時の気温は20～23℃であった。

5) 日変化

1987年6月23日, 8月6日, 9月19日及び10月17日に, リンゴ「ふじ」, ニホンナシ「幸水」モモ「大久保」及びブドウ「ナイヤガラ」の新梢中位葉各5枚ずつについて, 日の出直後から日没直後まで約1時間おきに測定した。早朝は葉の表面に露が存在したが, 測定前にていねいに拭きとった。測定結果は代表的な6月23日及び9月19日のもののみを示した。

6) 季節的变化

1987年の5月中旬から落葉期にかけて, リンゴの「ふじ」及び「つがる」, ニホンナシの「幸水」及び「二十世紀」, モモの「白鳳」及び「大久保」, そしてブドウの「ナイヤガラ」及び「巨峰」の新梢の中位葉各10～20枚について測定した。測定は晴天日に行い, 測定間隔は, 葉の生長中及び落葉直前は短くし, その中途は長くした。測定時刻は, 6～8月は8:00～10:00, 5月及び9月以降は9:00～11:00とした。なお, 測定直後に, 葉身の長さ及び巾を測定し, また葉緑素計(ミノルタ SPAD-501)を用いて葉緑素含量を測定した。

結 果

1 光量の影響

受光量と Pn 及び gs との関係は, 第3図に示すとおりであった。

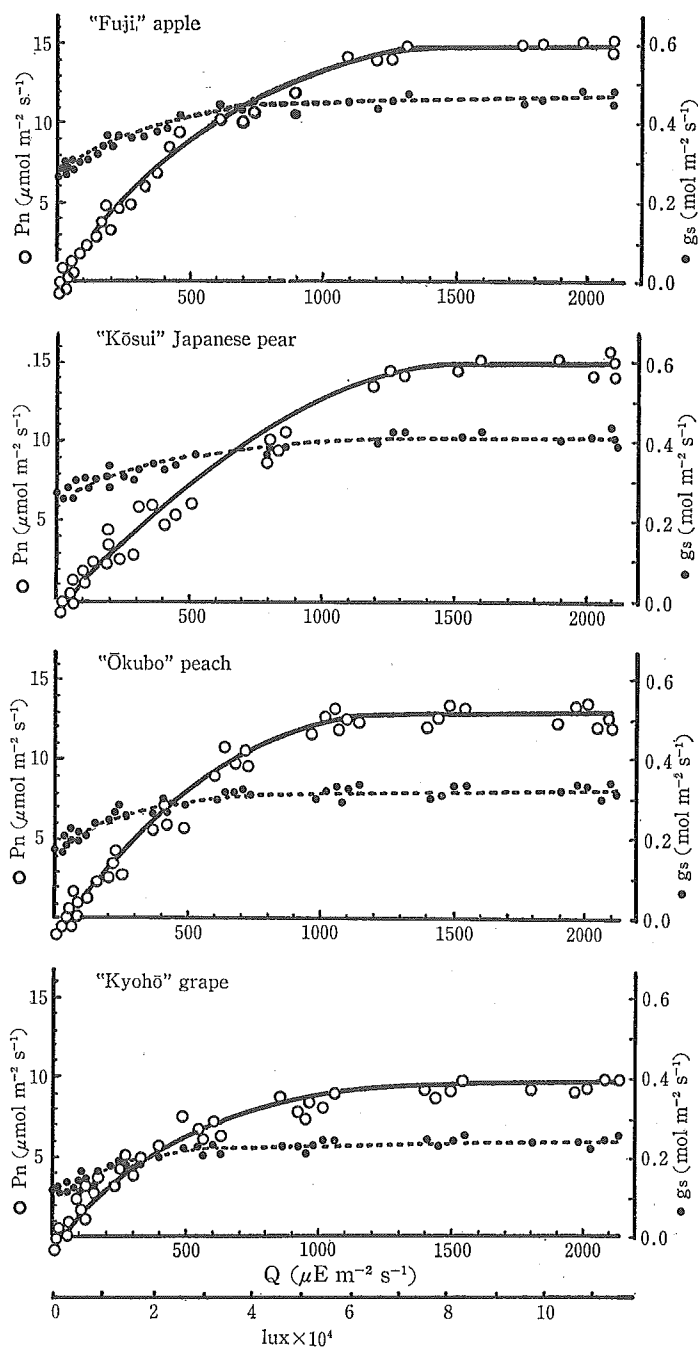


Fig. 3 Effect of photon flux density (Q) incident upon the leaf chamber on net photosynthesis rate (P_n) and stomatal conductance (g_s) in leaves of "Fuji" apple, "Kōsui" Japanese pear, "Ōkubo" peach and "Kyohō" grape.

Pn の光飽和点は、「ふじ」では約 $1,100 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 60 klux), 「幸水」では約 $1,200 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 65 klux), 「大久保」では約 $1,000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 55 klux), そして「巨峰」では約 $900 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 50 klux) であった。

光飽和点における Pn は、「ふじ」及び「幸水」は約 $15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ (約 $24 \text{ mg dm}^{-2} \text{hr}^{-1}$), 「大久保」は約 $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 $21 \text{ mg dm}^{-2} \text{hr}^{-1}$), そして「巨峰」は約 $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 $14 \text{ mg dm}^{-2} \text{hr}^{-1}$) であった。

Pn の光補償点は、「ふじ」では約 $10 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 550 lux), 「幸水」では約 $30 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 1,600 lux), 「大久保」では約 $50 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 2,700 lux), そして「巨峰」では約 $20 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-2}$ (約 1,100 lux) であった。

gs は、各果樹葉とも、受光量の増減にともなう変化は少く、約 $500 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約 27 klux) 以上の光量ではほぼ一定であり、受光量がそれ以下になるとやや低下した。

2 日変化

1) 6月23日

6月23日は、第4図に示すように、光量は、6:30ごろから急上昇し、9:00~15:00はほぼ同じで、それ以後は急低下した。同化箱内の気温は、6:00から11:00にかけて上昇し、12:00~16:00はほぼ同じで、それ以後は低下した。同化箱内の湿度は、6:00から7:00にかけて急低下し、7:00から16:00にかけて緩やかに低下し、それ以後はまた急低下した。

「ふじ」では、Pn は、日の出から8:00まで急上昇し、8:00が頂点で、8:00から14:00にかけて低下し、14:00から16:00はほぼ同じで、それ以後は急低下した。Eは、11:00まで上昇し、11:00が頂点で、11:00から14:00にかけて緩やかに低下し、それ以後は急低下した。gs は、7:00から11:00にかけて急低下し、11:00~16:00 はほぼ同じで、それ以後はまた急低下した。

「幸水」も傾向は「ふじ」とほぼ同じで、Pn は9:00、Eは9:00~13:00そしてgsは6:30が最も高かった。

「大久保」もほぼ同じ傾向で、Pn は8:00、Eは11:00~12:00、そしてgsは早朝が最も高かった。ただし、「ふじ」及び「幸水」に比べて、Eの11:00~12:00における山が顕著であり、また13:00以後におけるgsがかなり低かった。

「ナイヤガラ」は、他の3種に比べて、日変化の傾向はほぼ同じであったが、Pn、E及びgsの値がやや低く、変動巾が小さかった。

なお、「ふじ」及び「ナイヤガラ」における6:00のE及びgsは、葉面の露の徐去が不十分であったためか、葉によって著しい変異が認められたので省略した。

2) 9月19日

9月19日は、第5図に示すように、6月23日に比べて、日中の光量はほぼ同程度であったが、同化箱内の気温はやや低く、湿度はやや高かった。

「ふじ」では、Pn は、6月23日のような顕著な頂点は形成せず、8:00~13:00に緩やかな山を形成し、10:00~14:00のPnは6月23日に比べてかなり高かった。Eは、10:00~14:00に緩やかな山を形成し、6月23日のような頂点は認められなかった。gsは、9:00から17:00にかけて緩やかに低下し、6月23日に比べて全般的にやや高かった。

「幸水」は、「ふじ」とほぼ同じ傾向を示し、6月23日に比べると全般的に、Pn及びgs

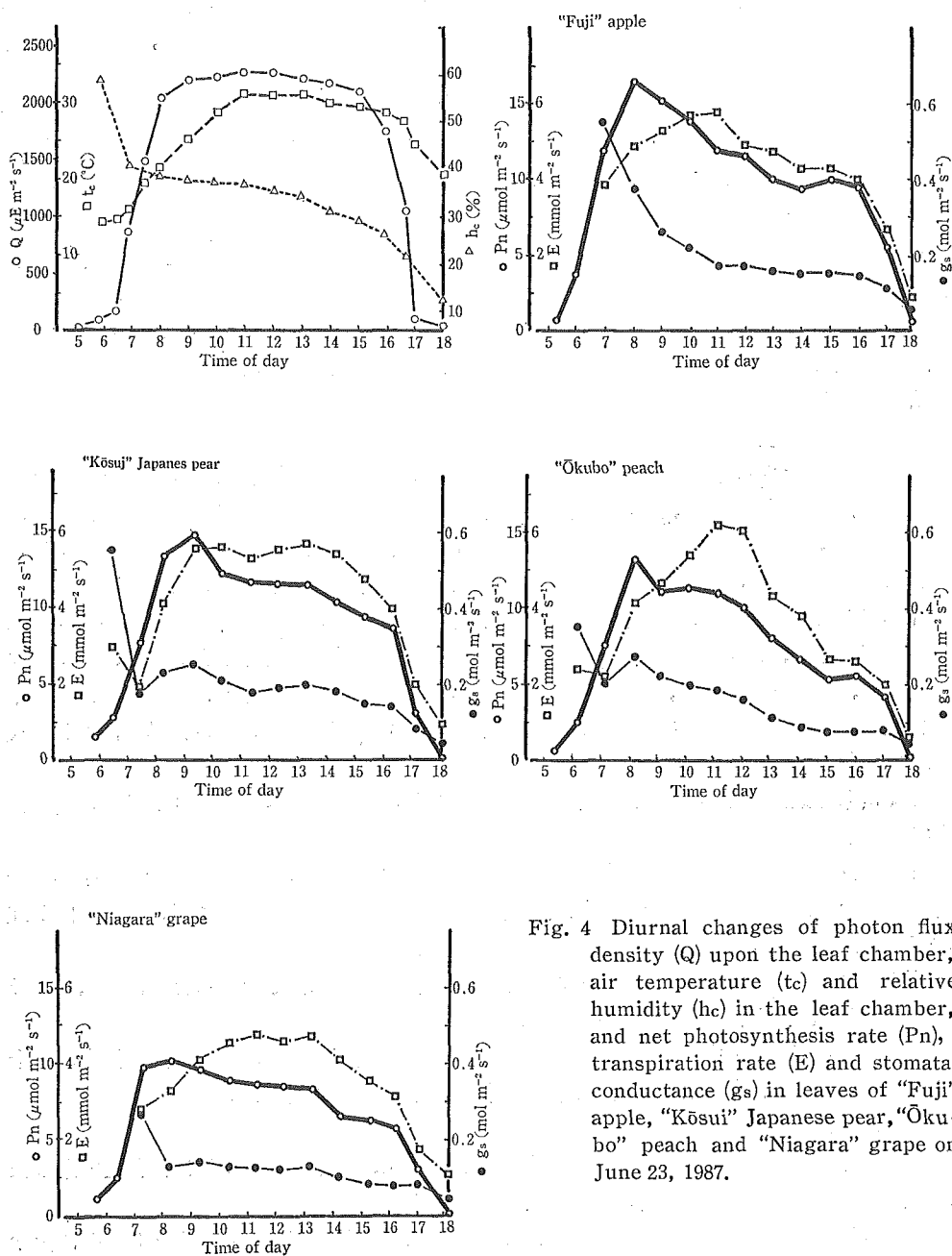


Fig. 4 Diurnal changes of photon flux density (Q) upon the leaf chamber, air temperature (t_c) and relative humidity (h_c) in the leaf chamber, and net photosynthesis rate (P_n), transpiration rate (E) and stomatal conductance (g_s) in leaves of "Fuji" apple, "Kōsui" Japanese pear, "Ōkubo" peach and "Niagara" grape on June 23, 1987.

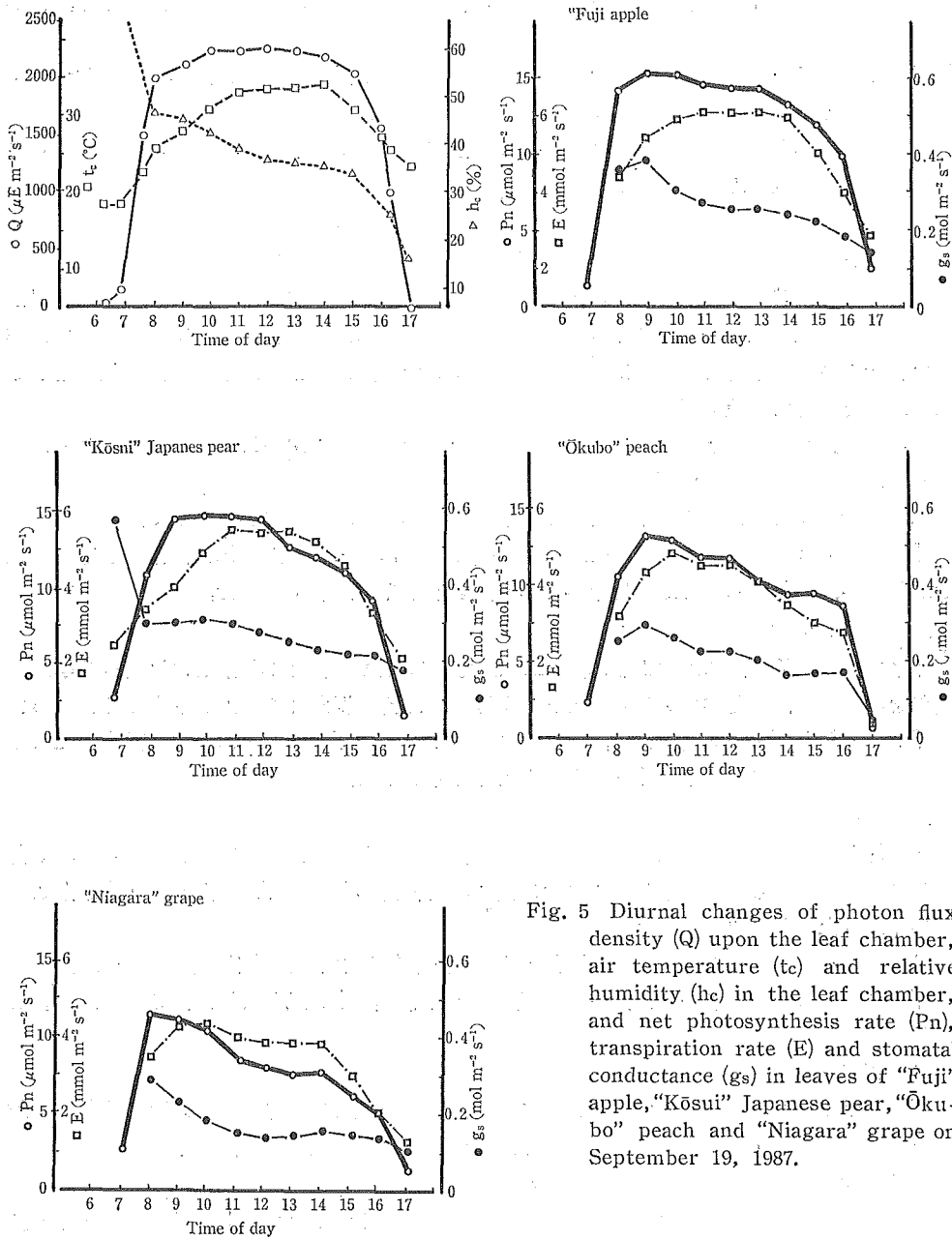


Fig. 5 Diurnal changes of photon flux density (Q) upon the leaf chamber, air temperature (t_c) and relative humidity (h_c) in the leaf chamber, and net photosynthesis rate (P_n), transpiration rate (E) and stomatal conductance (g_s) in leaves of "Fuji" apple, "Kōsui" Japanese pear, "Ōkubo" peach and "Niagara" grape on September 19, 1987.

はやや高く、Eはやや低かった。

「大久保」も、「ふじ」及び「幸水」とほぼ同じ傾向を示し、6月23日に比べると、Eが低く、gsはやや高かった。

「ナイヤガラ」は、6月23日とほぼ同じ傾向を示したが、6月23日に比べて、8:00~10:00のPnがやや高く、10:00~13:00のEがやや低かった。

なお、「ふじ」「大久保」及び「ナイヤガラ」における7:00のE及びgsの値は、6月23日の場合と同様な理由で省略した。

3 季節的变化

1) リンゴ

「ふじ」は、第6図に示すように、Pnは5月中旬から6月上旬にかけて急上昇し、気温が異常に高かった6月中旬にはやや低下したが、6月下旬にかけて再上昇してほぼ最高値に達した。その後9月下旬まではほぼ高水準を保っていたが、10月上旬からやや低下傾向を示し始め、10月下旬から急低下した。

Eは、5月から7月まではPnと似た変化を示したが、8月から10月にかけてしだいに低下し、11月上旬以降は急低下した。

gsは、Pnと似た季節的变化を示したが、Pnに比べて変動巾は小さかった。

「つがる」(データ省略)は、Pn、E及びgsともに、「ふじ」とほぼ同様の季節的变化を示したが、10月以降のPnの低下が「ふじ」よりもやや顕著であった。

2) ニホンナシ

「幸水」は、第6図に示すように、Pn、E及びgsともに、「ふじ」とほぼ同様の季節的变化を示したが、5月中旬から6月上旬にかけての上昇速度が「ふじ」よりもやや低かった。

「二十世紀」(データ省略)は、Pn、E及びgs共に、「幸水」とほぼ同じ経過をたどったが、晩秋期における低下が「幸水」よりもやや早かった。

3) モモ

「白鳳」では、第6図に示すように、Pnは、「ふじ」とほぼ同じ経過をたどって、6月下旬に最高値に達し、9月下旬まではほぼ高水準を維持したが、「ふじ」及び「幸水」よりも早く10月上旬から急低下した。

E及びgsは、Pnに比べて、6月上旬及び7月中旬にやや顕著な山が認められた。

「大久保」(データ省略)は、Pn、E及びgsともに、「白鳳」とほぼ同じ季節的变化を示した。

4) ブドウ

「ナイヤガラ」は、第6図に示すように、Pnは、5月中旬から急上昇して6月下旬に最高値に達し、その後9月下旬にかけて緩やかに低下し、10月上旬から急低下した。

E及びgsは、7月中旬を頂点にした緩やかな山型を示した。

「巨峰」(データ省略)は、Pn、E及びgsともに、「ナイヤガラ」とほぼ同じ季節的变化を示したが、6月下旬以後の数値は「ナイヤガラ」に比べてかなり低かった。

5) 葉の生長量及び葉緑素含量とPnとの関係

各果樹とも、Pnは、若葉では低く、葉の生長とともに上昇した。そして、葉の生長が完了したやや後に葉緑素含量が最大になったが、そのころにPnも最大になる傾向が認められた。

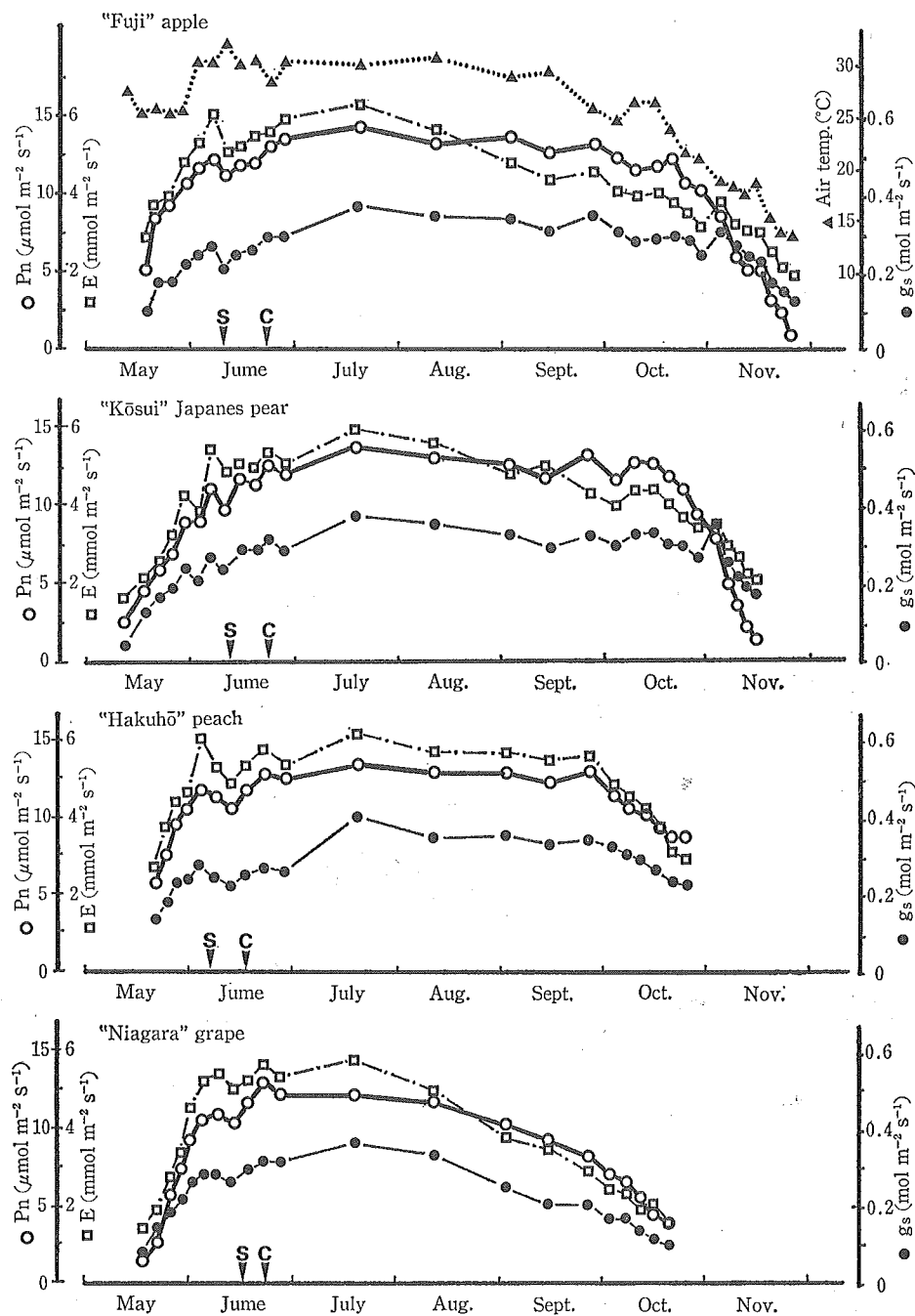


Fig. 6 Seasonal changes of net photosynthesis rate (P_n), transpiration rate (E) and stomatal conductance (g_s) in leaves of "Fuji" apple, "Kōsui" Japanese pear, "Hakuhō" peach and "Niagara" grape. (S: time reached the maximum leaf size, C: time reached the maximum chlorophyll content)

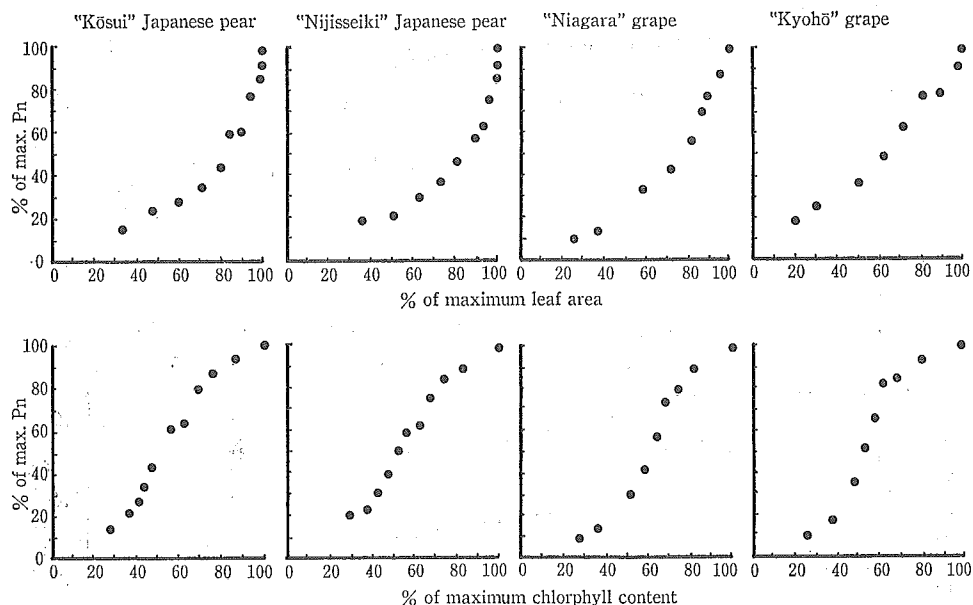


Fig. 7 Relations between growth level, chlorophyll content and net photosynthesis rate (Pn) in leaves of "Kōsui" and "Nijisseiki" Japanese pear, and "Niagara" and "Kyohō" grape in early summer.

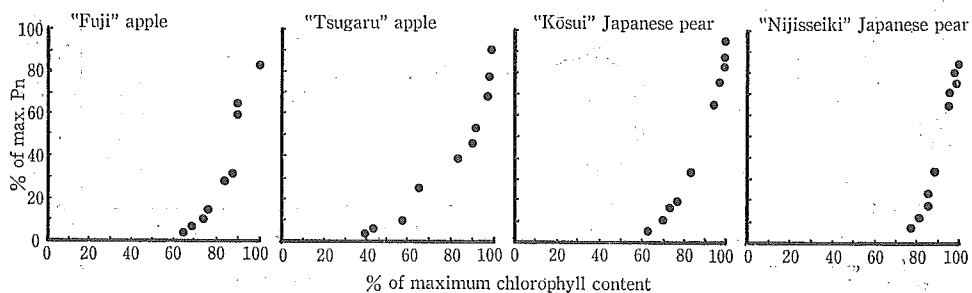


Fig. 8 Relation between chlorophyll content and net photosynthesis rate (Pn) in leaves of "Fuji" and "Tsugaru" apple, and "Kōsui" and "Nijisseiki" Japanese pear in late fall.

そこで、葉面積の比較的大きいナシ及びブドウについて、初夏における葉の生長量及び葉緑素含量と Pn との関係を第7図に示した。

それによると、「幸水」及び「二十世紀」の Pn は、葉の生長量の面からみると、成葉の約80%を越えるところから急上昇し、100%に達した後もしばらく上昇を続けることを示しており、そして葉緑素含量の面からみると、最大量の約40%を越えるところから急上昇し、約80%を越えると Pn が最高値に近くなることを示している。

「ナイヤガラ」及び「巨峰」の Pn は、葉の生長量の面からみると、成葉の約60%を越え

るところから急上昇し、100%近くになっても上昇を続けることを示しており、そして葉緑素含量の面からみると、最大量の約50%を越えるところから急上昇し、約80%を越えると P_n が最高値に近くなることを示している。

晩秋期における葉緑素含量と P_n との関係は第8図に示すとおりで、リンゴ及びニホンナシともに、葉緑素含量が低下し始める前に P_n が急低下することを示している。

考 察

1 好適流速について

P_n の測定においては、同化箱への空気の流速はきわめて重要な要素である⁶⁾。 P_n は CO_2 濃度と密接な関係があり、 CO_2 濃度が大気中の濃度よりも低下すると P_n は低下する。流速が低過ぎる場合には、葉の吸収による CO_2 濃度の低下に対する補給が不十分で、 P_n が低下する。いっぽう流速が高過ぎる場合には、多量の乾燥空気の流入によって、同化箱内の湿度が低下し、蒸散が促進されるが、葉はそれに対する防衛反応として、気孔をせばめて過度の蒸散を抑制しようとする。その結果、 CO_2 吸収量が減少して P_n が低下する。

リンゴ、ナシ、モモ及びブドウでは、 350 ml min^{-1} で P_n が最高であったが、 P_n のより高い種類ではより高速で、いっぽう P_n のより低い種類ではより低速で測定するのが適当であろう。

2 光飽和点及び光補償点について

果樹葉 P_n の光飽和点をこれまでの報告から調べてみると、リンゴは、低いもので $3,000 \sim 4,000\text{ ft-c}$ (約 $600 \sim 800\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)⁴⁾、高いもので $6,000\text{ ft-c}$ (約 $1,200\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹⁰⁾ であり、ニホンナシは、 60 klux (約 $1,100\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹³⁾、モモは 40 klux (約 $740\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) から $1,000\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ¹⁷⁾、そしてブドウは、 30 klux (約 $550\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹⁾ から 60 klux (約 $1,100\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹⁴⁾ である。本報告の値は、ほぼこれらの範囲内にある。

これまでの報告における光飽和点下の最大 P_n 値は、リンゴでは最高が $35\text{ mg dm}^{-2}\text{ hr}^{-1}$ ($22\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) で³⁾、大部分が $20 \sim 30\text{ mg dm}^{-2}\text{ hr}^{-1}$ (約 $13 \sim 19\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) の範囲にあり^{3,5)}、ニホンナシは、 $24.6\text{ mg dm}^{-2}\text{ hr}^{-1}$ ($15.5\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹³⁾、モモは、 $13 \sim 14\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ⁷⁾、そしてブドウは、 $16 \sim 26\text{ mg dm}^{-2}\text{ hr}^{-1}$ (約 $10 \sim 16\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹⁴⁾ である。本報告の値は、季節的にややおそい10月上旬の測定値であるが、「巨峰」を除いてはほぼこれらの範囲内にある。

本報告における「巨峰」の P_n が低かったのは、葉齢が進んでいたことと、供試樹がビニール屋根で被覆されていて土壌が乾燥し、かなりの水ストレス状態にあったためではないかと思われる。水ストレス下では P_n が低下することは一般に認められている^{2,5,6,15,21,31)}。

P_n の光補償点をこれまでの報告で調べてみると、リンゴは、全日射量で 12 W m^{-2} (PAR で約 $23\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)²¹⁾ から 400 ft-c (約 $80\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹⁰⁾ の範囲にあり、ニホンナシは 500 lux (約 $9\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹³⁾、モモは $1 \sim 3\text{ klux}$ (約 $18 \sim 55\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$)¹⁾、そしてブドウは、 $0.5 \sim 3\text{ klux}$ (約 $9 \sim 55\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) の範囲にある¹⁴⁾。本報告の値は、これらの値に比べて「ふじ」では低く、「幸水」及び「大久保」ではやや高い。

P_n の光飽和点及び光補償点、及び最大 P_n は、環境条件、葉齢、着果の有無、測定方法

などによって異なるので^{5,6,24,31)}、さらに慎重な検討が必要であろう。

3 日変化について

6月23日の測定結果において、9:00以後の P_n が低下したのは、気温が高く、葉と大気との飽差が拡大して蒸散が促進され、葉は過度の蒸散を防ぐために気孔開度を低下させ、その結果 CO_2 吸収量が低下したためではないかと思われる^{27,28,34,36)}。また、高温及び水ストレス下では、葉肉伝導度 (P_n /細胞内 CO_2 濃度) も低下するといわれており、そのことも P_n 低下の原因になっていると思われる³⁴⁾。ちなみに、葉肉伝導度を計算してみたところ、 P_n ときわめてよく似た日変化を示した。

15:00~16:00に P_n が再上昇する気配を示したのは、気温が低下したためであろう。これと同様な現象はカンキツも認められている²⁸⁾。

g_s が日の出直後に著しく高かったのは、葉面に残った露の蒸発によって、同化箱内の湿度が異常に上昇し、測定装置がこれをもとに計算したためであろう。

9月19日の測定結果において、10:00~15:00の P_n 及び g_s が、6月23日に比べてやや高かったのは、気温が低かったためであろう。本調査では各果樹葉とも、同化箱内の気温が約30°Cそして葉温が約32°Cを越えるところから、 P_n 及び g_s が急低下する傾向が認められた。温度と P_n 及び g_s との関係についてはさらに詳細な検討が必要であろう。

本報告の結果から、種類間あるいは実験処理区間の P_n 、 E 及び g_s を比較するような場合には、高温期にはとくに測定時刻に注意する必要がある。

4 季節的变化について

展開後まもない若葉の P_n が低いのは一般に認められていることで、その理由として、気孔が未熟で g_s が低く、葉肉内の細胞間隙が小さくて葉肉伝導度が低く、葉緑素含量が低く、葉肉内の光合成系が未完成であることなどがあげられている^{5,11,12,18,20,29,30)}。

P_n が最大になる時期については、成葉の80%の生長時期³⁰⁾、葉の生長完了期のやや前²³⁾、葉の生長完了期²²⁾、葉の生長完了の2~3日後⁵⁾、展葉してから30~40日後^{14,35)}などの報告がある。また、葉緑素含量は葉の生長が完了後も増加し²⁾、葉緑素含量が最大になる前に P_n が最大になるという報告がある²⁹⁾。本調査における最大 P_n 到達時期は、これらの報告よりもやや遅い。この理由の一つとして、1987年は、測定葉の生長完了期である6月上・中旬の気温が異常に高くてそのために P_n が低く、6月下旬は気温がやや低下したために、6月下旬に最大 P_n 値に達したのかも知れない。

なお、5~7月の農薬散布直後の測定において異常に低い値が得られたことがあり、それらは集計から除外した。農薬散布の P_n 、 E 及び g_s に及ぼす影響については、これまでも報告されているが⁸⁾、さらに詳細な検討が必要であろう。

ブドウの P_n は、これまでの報告^{14,35)}と同様に8月以後徐々に低下したが、リンゴ、ニホンナシ及びブドウの P_n は、7月から9月までほぼ高水準を維持した。一般に、木本植物は草本植物に比べて、最大 P_n を長期にわたって維持するといわれている¹⁸⁾。

晩秋期には、葉緑素含量及び葉面積重 (SLW) の低下にともなって P_n が低下するといわれている¹⁴⁾が、本調査からは、葉緑素含量の低下よりも、気孔の機能鈍化による g_s の低下のほうが、 P_n の低下とより密接な関係があるように思われる。

なお、リンゴ及びナシにおける10月下旬以後の P_n の急低下は、降霜の影響が強いように

思われる。ちなみに、リンゴ葉を -1.3°C の低温に短時間あわせたところ、 P_n が急低下したという報告がある³²⁾。

引用文献

- 1) 天野勝司・日野 昭・大東 宏・倉岡唯行. 1972. 果樹の光合成作用に関する研究(第1報) 環境条件が光合成速度に及ぼす影響. 園学雑. 41: 144~150.
- 2) Anderson, P.C. and B.V. Brodbeck. 1988. Water relation and net CO_2 assimilation of peach leaves of different ages. Jour. Amer. Soc. Hort. Sci. 113: 242-248.
- 3) Avery, D.J. 1977. Maximum photosynthetic rate — a case study in apple. New Phytol. 78: 56-63.
- 4) Barden, J.A. 1971. Factors affecting the determination of net photosynthesis of apple leaves. HortScience 6: 448-451.
- 5) ———. 1978. Apple leaves, their morphology and photosynthetic potential. Hort-Science 13: 644-646.
- 6) Coombs, J., D.O. Hall, S.P. Long and J.M.O. Scurlock. (ed.) 1985. Techniques in bioproductivity and photosynthesis. 2nd ed. Pergamon Press.
- 7) DeJong T.M. 1983. CO_2 assimilation characteristics of five Prunus tree fruit species. Jour. Amer. Soc. Hort. Sci. 108: 303-307.
- 8) Ferree, D.C. 1978. Cultural factors influencing net photosynthesis of apple trees. HortScience 13: 650-652.
- 9) Fujii, J.A. and R.A. Kennedy. 1985. Seasonal changes in the photosynthetic rate in apple trees. Plant Physiol. 78: 519-524.
- 10) Heinicke, D.R. 1966. The effect of natural shade on photosynthesis and light intensity in Red Delicious apple trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 88: 1-8.
- 11) Ghosh, S.P. 1973. Internal structure and photosynthetic activity of different leaves of apple. Jour. Hort. Sci. 48: 1-9.
- 12) 日野 昭・天野勝司・沢村泰則・佐々木専治・倉岡唯行. 1974. 果樹の光合成作用に関する研究(第2報) 光合成速度の季節的变化. 園学雑. 43: 209~214.
- 13) 本条 均・嶋田福也・朝倉利員. 1983. 気象環境とニホンナシの光合成・蒸散. (第1報) ニホンナシの光合成特性. 園学昭58秋発要: 122~123.
- 14) ———・—————・—————. 1989. ガラス室栽培ブドウ‘巨峰’の光合成特性. 果樹試報告A. 16: 65~81.
- 15) 石井龍一. 1976. 物質生産の基礎としての光合成. 村田吉男編「作物の光合成と生態」: 45~96. 農文協.
- 16) 石井規相・長井晃四郎. 1978. リンゴ樹の光合成能に関する研究(第2報) 単葉および新梢の光合成特性について. 園学昭53秋発要: 28-29.
- 17) Kappel, F. and J.A. Hore. 1983. Effect of shade on photosynthesis, specific leaf weight, leaf chlorophyll content, and morphology of young peach trees. Jour. Amer. Soc. Hort. Sci. 108: 541-544.
- 18) 木村 允・戸塚 績. 1973. 物質生産に関する光合成・呼吸. 北沢佑三編「生態学講座9」:

- 1-16. 共立出版.
- 19) Kriedman, P.E. 1968. Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature and leaf age. *Vitis* 7 : 213-220.
 - 20) ———, W.M. Kliewer and J.M. Harris. 1970. Leaf age and photosynthesis in *Vitis vinifera* L. *Vitis* 9 : 97-104.
 - 21) Lakso, A.N. and E.J. Seeley. 1978. Environmentally induced responses of apple tree photosynthesis. *HortScience* 13 : 646-650.
 - 22) Leopold, A.C. and P.E. Kriedmann. 1975. Plant growth and development. 2nd ed. p35. McGraw-Hill.
 - 23) Marini, R.P. 1986. Do net gas exchange rate of green and red peach leaves differ? *HortScience* 21 : 118-120.
 - 24) Monselise, S.P. and F. Lenz. 1980. Effect of fruit load on photosynthetic rates of budded apple trees. *Gartenbauw.* 45 : 220-224.
 - 25) Porpiglia, P.J. and J.A. Barden. 1980. Seasonal trends in net photosynthetic potential, dark respiration and specific leaf weight of apple leaves as affected by canopy position. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 : 920-923.
 - 26) Proctor, J.T.A., R.T. Watson and J.J. Landsberg. 1976. The carbon budget of a young apple tree. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101 : 599-582.
 - 27) Raschke, K. and A. Resemann. 1986. The midday depression of CO_2 assimilation in leaves of *Arbutus unedo* L. : diurnal change in photosynthetic capacity related to changes in temperature and humidity. *Planta*. 168 : 546-558.
 - 28) 李 道高・門屋一臣・水谷房雄・日野 昭・石井孝昭. 1985. ネーブルオレンジにおける光合成速度の日変化及び季節的变化について. 愛媛大紀要. 30 : 31-39.
 - 29) Roper, T.R. and R.A. Kennedy. 1986. Photosynthetic characteristics during leaf development in "Bing" sweet cherry. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111 : 938-941.
 - 30) Sams, C.E. and J.A. Flore. 1982. The influence of age, position, and environmental variable on net photosynthetic rate of sour cherry. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107 : 339-344.
 - 31) Schaedle, M. 1975. Tree photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 26 : 101-115.
 - 32) Seeley, E.J. and R. Kammereck. 1977. Carbon fluxes in apple trees: Use of a closed system to study the effect of a mild cold stress on "Golden Delicious". *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102 : 282-286.
 - 33) 島津製作所航空機器事業部. 1985. ADC携帯型光合成・蒸散測定装置取扱説明書, 及び光合成・蒸散測定法. (株)島津製作所.
 - 34) Swietlik, D., R.F. Korcak and M. Faust. 1983. Stomatal and nonstomatal inhibition of photosynthesis in water-stressed apple seedlings. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108 : 54-58.
 - 35) 高木伸友・井上襄吉. 1982. ブドウ'マスカット・オブ・アレキサンドリア'の果粒の生長と葉における光合成速度の季節的变化. 園学雑. 51 : 286-292.
 - 36) Tan, C.S. and B.R. Buttery. 1986. Photosynthesis, stomatal conductance and leaf water potential in response to temperature and light in peach. *HortScience* 21 : 1180-1182.