

단풍나무屬 植物 四種에 대한 葉綠素含量과 光合成率의 季節的 變化

崔賢雙·李惠井*

慶熙大學校 文理科大學 生物學科

慶熙大學校 大學院 生物學科*

Seasonal Changes of Chlorophyll Contents and Photosynthetic Rates in Four Species of Maple Trees in Korea

Choe, Hyun-Sup and Hye-Jeong Lee*

Department of Biology, College of Liberal Art and Science, Kyung Hee University

Department of Biology, Graduate School, Kyung Hee University*

ABSTRACT

Acer pseudo-sieboldianum, *A. ginnala*, *A. negundo* and *A. saccharinum* were selected as materials for the studies on the seasonal fluctuation of chlorophyll content and photosynthetic rates. In all the four species during the growing season except in October, the principal component that determined the total chlorophyll content was chlorophyll a. Content of chlorophyll b increased with leaf age, but that of chlorophyll a decreased. In contrast to *A. saccharinum* and *A. pseudo-sieboldianum* which showed their maximum chlorophyll content in June, *A. negundo*, which showed the highest chlorophyll content of the four species, exhibited its maximum chlorophyll content in July, whereas September in the case of *A. ginnala*. The fluctuation of chlorophyll content was similar to that of air temperature, and it increased till July. But chlorophyll contents decreased rapidly after July. Photosynthetic property and chlorophyll content showed a significant relationship in early stage of leaf development, and there could be any interdependence between them in accordance with the seasonal change, no longer. In all four species light compensation points decreased in accordance with the seasonal change, and the maximum photosynthetic rates were obtained in August. Respiratory rates were shown no significant difference among species, and they decreased according to the advance of season.

Key words: Chlorophyll contents, Photosynthetic rates, Respiratory rates, Seasonal changes

본 연구는 92년도 한국과학재단 연구비 지원(과제번호:911-0404-004-2)과 경희대학교 학술연구 조성비(94년도)에 의해 수행되었음.

緒 論

단풍나무屬(*Acer*)은 주로 北半球의 溫帶와 熱帶山地에 分布하는 樹種으로서 全世界에 約 148 種이 散在하고 있으며, 그 中에는 귀중한 木材 資源으로서 利用되거나 食糖 生産 및 풍치 樹木으로서 脚光을 받고 있는 것도 있다. 韓國에서도 십여種의 단풍나무가 자라고 있으며 變種을 포함하면 約 30여種에 달한다(김 1984, 박과 김 1984, 이 1985).

지금까지 알려진 단풍나무에 대한 研究로는 種에 따른 CO_2 補償點에 관한 研究(Krenzer *et al.* 1975), 잎의 두께와 最大 光合成率과의 相關關係(McClendon 1962), 被陰處理에 따른 葉構造의 變化(Jackson 1967), 陰葉과 陽葉의 葉의 外部 組織的 形態와 内部 組織的인 特性에 관한 研究(Wylie 1951) 및 陽葉과 陰葉에서 빛에 대한 適應形態로써의 잎의 위치 角度에 관한 研究(McMillen and McClendon 1979)등이 있다. 그 외에 잎의 形態 및 解剖學的 特性에 의한 檢索表 作成(박과 김 1984), 잎의 發生(Steingraeber 1982), 잎의 成長 調節에 대한 研究(Taylor and Davies 1985, 1986) 및 種子의 採集時期가 種子發芽率에 미치는 影響에 관한 研究(김 1984) 등이 報告된 바 있으며, 이들은 주로 잎의 成長과 光條件에 따른 解剖學的 特性에 관한 研究들이 었다.

단풍나무屬 植物의 生態生理學的 研究(Hesketch 1963, Andaya and Choe 1977, Hinckley *et al.* 1978)는 간혹 발표된 研究가 있으며 특히 이른 봄 初期의 季節的 變化에 따라 유럽가문비나무와 느티나무의 葉綠素含量과 光合成率의 變化(Saeki and Nomoto 1958, Nelson *et al.* 1982)가 調査되어 발표되어 있다. 또한, 녹두와 모밀의 葉에 따른 光合成能力의 變化에 대한(Saeki, 1959) 調査도 보고된 바 있다.

따라서 본 研究에서는 季節에 따른 溫度와 光條件의 變化가 뚜렷이 나타나는 韓國과 같은 氣候 條件下에서, 봄부터 가을까지의 季節變化에 따라 數種 단풍나무屬 植物 잎의 葉綠素 含量과 光合成 特性이 어떻게 變化하는지를 조사하여 이를 生態生理學的 側面에서 比較 檢討해 보고자 하였다.

材料 및 方法

단풍나무屬 植物의 葉綠素含量 및 光合成率에 대한 季節的 變化를 알아보기 위해, 韓國에서 自生하는 단풍나무屬 植物 中 당단풍(*Acer pseudo-sieboldianum*), 신나무(*A. ginnala*), 네군도단풍(*A. negundo*) 및 은단풍(*A. saccharinum*) 등 4種을 각각 4個體씩 選定하여 1993年 4月부터 同年 10月까지 各 種마다 月別로 6회 반복 測定하여 그 平均値를 취하였다. 實驗期間동안의 氣象條件(Table 1)은 중앙기상대의 資料를 參考로 하였다.

葉綠素 含量 測定

植物體의 葉綠素 含量은 Mackinney(1941)와 Arnon(1949)의 方法에 준하여 測定하였다. 먼저 選定된 4種의 植物體로부터 葉綠素 抽出에 필요한 잎을 採取하여 각각의 잎에서 葉脈을 피한 위치에 直徑 0.6 cm의 펀치로 10개의 잎 디스크(disk)를 만들어 平均 30 mg의 試料를 준비하고, 80%의 아세톤溶液과 混合하여 막자사발에서 組織을 分碎한 후 濾過紙(Whatman No. 2)로 濾過하였으며, 分碎시의 溫度는 0℃ 內外로 유지하였다. 抽出液은 分光光度計(UV Visible

Table 1. Meteorological observations at Seoul Weather Station (Location : 37°34'N and 126°58' E; Elevation: 87.01 m above m.s.l.) during the entire sampling period from April to October, 1993

| Month | Temperature(°C) | | | Precipitation (mm) | Average Relative humidity (%) | Average cloud amount (1 / 10) |
|-------|-----------------|------|------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Min. | Mean | Max. | | | |
| Apr. | 8.8 | 14.3 | 20.5 | 14.0 | 48 | 3.6 |
| May. | 13.3 | 17.9 | 23.4 | 41.1 | 64 | 5.1 |
| Jun. | 16.9 | 21.2 | 26.2 | 177.1 | 67 | 5.8 |
| Jul. | 21.2 | 24.5 | 28.5 | 343.5 | 79 | 6.8 |
| Aug. | 21.7 | 25.5 | 29.7 | 329.0 | 72 | 6.0 |
| Sep. | 16.9 | 20.7 | 25.1 | 101.2 | 73 | 6.1 |
| Oct. | 9.0 | 13.6 | 18.8 | 69.9 | 66 | 3.5 |

Spectrophotometer, DMS 90, Varian, Australia)를 사용하여, 645, 663 및 710 nm에서의 흡광도(Absorbance:A)를測定하였으며, 이 값을 Arnon식(1949)에代入시켜葉綠素 a, 葉綠素 b 및 總葉綠素含量을算出하였다.

光合成率과 暗呼吸率 測定

研究材料로 利用한 잎은 地上에서 1.5~2.0 m 内外의 높이에서 임의로 選擇하여, 전정가위로 가지를 切斷하여 採取하였고 그 즉시 水中에 담가둔 다음 水分供給을 유지시키면서 實驗室로 운반하였다. 필요한 잎의 材料는 葉병을 물속에서 切斷하여 길이 3 cm, 直徑 1 cm되는 작은 물병에 넣은 다음 동화상자에 넣고 密閉시킨 다음 약 30분정도 植物의 잎을 安定시킨 후, 照度を 5 Klux부터 매 段階마다 5 Klux씩 增加시키면서 光飽和點까지 CO₂ 吸收量을 赤外線가스분석장치로 測定하였다. 光合成에 필요한 光源으로는 白色光을 내는 백열등 500 W 4개와 300 W 4개를 사용하여 均一한 照도를 얻도록 하였으며 照度は 照度計(Takemura Electric Works Ltd., Model DM-28, Japan)을 써서 測定하였다.

同化箱子 内の 溫度는 冷却水 循環 장치를 利用하여 25±0.5°C를 유지시켰고, 同化箱子 内の CO₂ 濃度變化는 赤外線가스분석 방식인 植物同化測定裝置(Hitachi-Horiba Model ASSA-1100, Japan)를 사용하여 測定하였다. 동화상자로 부터 植物同化測定裝置로 流入되는 空氣의 流量은 분당 1 l를 유지시켰으며 空氣 中の 水分은 防濕劑(silica-gel, blue)로 완전히 除去하였다.

光合成에 의한 光飽和가 얻어지면, 곧 동화상자에 暗膜을 씌워 呼吸에 의한 CO₂ 放出量을 測定하였다. 測定이 完了되면 잎은 採본하여 自動葉面積計(Koizumi, Type KP-90, Japan)로 葉面積을 測定하였다.

植物同化測定裝置로부터 測定된 CO₂ 濃度 變化量을 다음의 식(Sesták *et al.* 1971)에 넣어 光合成率 및 呼吸率을 計算하였다.

이때 대기중의 CO₂ 濃度は 300 ppm으로 補正하여 計算하였다.

$$D = \frac{\Delta CO_2 \times A}{F} \times \frac{44}{22.4} \times 60 \times 100 \times 10^{-3} \times \frac{273}{273 + T}$$

단, D : 단위 時間當 單位 葉面積 當 CO₂ 濃度 變化率(mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹)

ΔCO_2 : 植物體의 純 光合成, 또는 暗呼吸에 의한 CO_2 濃度 變化量(ppm)

A : 同化箱子에서 植物同化測定裝置로 流入되는 空氣量(ℓ / min)

F : 잎의 面積(cm^2)

T : 同化箱子 內의 溫度($^{\circ}\text{C}$)를 나타낸다.

結果 및 考察

葉綠素含量的 季節的 變化

전 實驗 期間을 통해 調查 研究 地域의 日照量, 溫度 등 環境要因의 季節 變化에 따라 總 葉綠素含量的 變化에 影響을 미치는 것은 4種의 植物에서 葉綠素 a의 含量인 것으로 나타났으며, 葉綠素 b의 含量은 季節 變化에 따라 完만한 增加 趨勢를 보였으나 10月에는 比較的 크게 增加하는 特性을 보였다(Fig. 1). 당단풍과 은단풍의 경우 6월에 總 葉綠素含量的 最大值(3.56과 3.74 mg / dm^2)를 나타냈으며, 네군도단풍은 7월에 最大值(5.00 mg / dm^2)가 나타났다. 반면에 신나무의 경우 9월에 總 葉綠素含量的 最大值(4.02 mg / dm^2)가 나타났음을 알 수 있었다(Fig. 1).

氣溫과 日照量이 급격히 上昇하는 4月과 5月에는 調查 對象 4種(*Acer pseudo-sieboldianum*, *A. ginnala*, *A. negundo*, *A. negundo*) 모두에서 最大의 總 葉綠素含量的 增加率이 표시되었으며, 은단풍과 네군도단풍의 경우에서는 6~7月까지도 總 葉綠素含量이 顯著하게 增加하였다. 이러한 樣相은 Saeki와 Nomoto(1958)가 느티나무 등을 材料로 調查한 研究 結果와 類似한 傾向이었다.

調查한 단풍나무屬 4種 중 總 葉綠素含量은 네군도단풍이 7월에 最大의 總 葉綠素含量을 나타냈으며, 그 다음은 신나무, 은단풍 및 당단풍의 순으로 最大 總 葉綠素含量이 표시되었다. 네군도단풍은 4月에서 7月까지 總 葉綠素含量이 增加하였으며($F=10.22$, $df=6$, $p<0.0001$), 은단풍과 당단풍은 6月까지 總 葉綠素含量이 增加하다가 그 이후에는 減少하고 있었다(은단풍: $F=31.75$, $df=6$, $p<0.0001$; 당단풍: $F=15.89$, $df=6$, $p<0.0001$). 신나무의 경우 6월까지 增加하다가 9월까지 그 수준을 유지한 후 9월 이후 급속도로 減少하였다(신나무: $F=5.40$, $df=6$, $p<0.0005$).

잎의 單位 面積當 葉綠素 a의 含量(Fig. 1)은 生理的 活性이 높은 時期인 4月에서 6月에 이르기까지 增加하였으며(당단풍: $F=19.46$, $df=6$, $p<0.0001$; 신나무: $F=12.19$, $df=6$, $p<0.0001$).

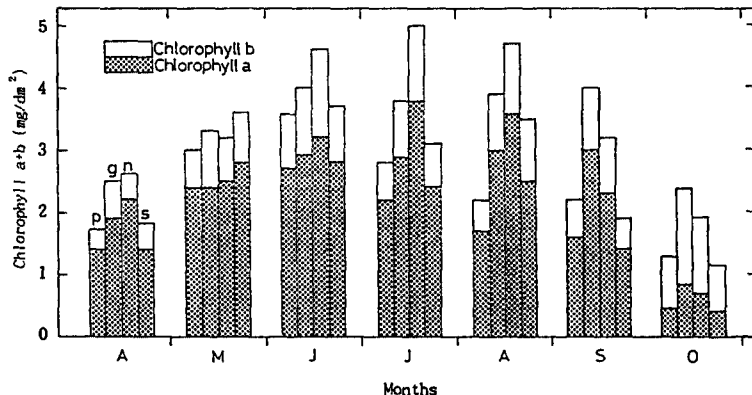


Fig. 1. Seasonal changes of chlorophyll content in leaves of genus *Acer* during the experimental period.

p : *A. pseudo-sieboldianum*; g : *A. ginnala*; n : *A. negundo*; s : *A. saccharinum*.

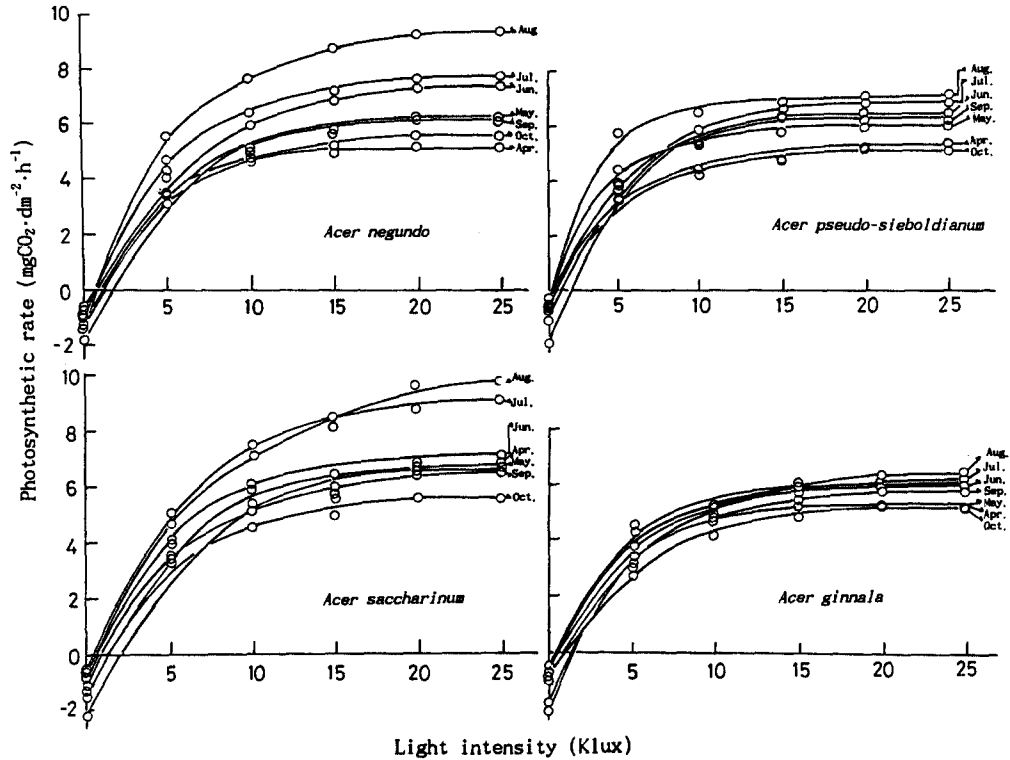


Fig. 2. Light-photosynthetic curves during the experimental period under the conditions of 25°C and 300 ppm CO₂ on leaf basis.

; 내군도단풍 : $F=17.58$, $df=6$, $p<0.0001$; 은단풍 : $F=20.01$, $df=6$, $p<0.0001$) 이러한 결과는 버드나무屬에서도 類似한 樣相으로 나타났다(Kim과 Lee, 1983).

당단풍의 葉綠素 a의 最大值(2.65 mg/dm²)가 6월에 나타났으며 7월 이후에는 서서히 葉綠素 含量이 季節 變化에 따라서 점차 減少하는 傾向을 보였다. 은단풍, 신나무 및 내군도단풍의 葉綠素 a의 最大值는 각각 6월에 2.84 mg/dm², 8월과 9월에 3.04 mg/dm² 및 7월에 3.82 mg/dm²로 나타났다. 葉綠素 a와 總 葉綠素含量을 比較해 볼 때에 이 葉綠素 含量의 最大值가 표시되는 時期가 一致됨을 알 수 있으며, 總 葉綠素含量을 決定하는 重要한 要因은 葉綠素 b보다 葉綠素 a의 含量이라는 이 등(1985)의 報告와 잘 一致됨을 알 수 있다.

季節 變化에 따른 種別 葉綠素 b의 含量은 Fig 1에 表示되어 있다. 葉綠素 b의 含量은 4월 (0.35~0.62 mg/dm²)부터 8월까지 增加(당단풍 : $F=51.27$, $df=6$, $p<0.0001$; 신나무 : $F=65.23$, $df=6$, $p<0.0001$; 내군도단풍 : $F=34.33$, $df=6$, $p<0.0001$; 은단풍 : $F=239.08$, $df=6$, $p<0.0001$)되어 9월 까지 一定值(0.5~1.2 mg/dm²)를 維持하다가 10월에 比較的 크게 增加하여 葉綠素 b 含量에 대한 葉綠素 a의 含量比가 4種 모두 平均 0.64의 낮은 값으로 變化된다는 것은 注意할만한 것이다. 위와 같은 葉綠素 b 含量이 10월에 顯著하게 나타나는 것은 葉綠素 b가 葉綠素 a로부터 轉換되어져 合成이 된다고 主張하는 Devlin과 Witham(1983)의 理論에 뒷받침되는 結果이며, 또다른 側面에서 급격히 氣溫과 日照量이 減少하여 生理的 活性이 減少되는 時期인

10월에 多量の 葉綠素 b가 合成된다는 사실은 매우 흥미있는 結果라고 思料된다.

全般的으로 種에 다른 葉綠素 a의 含量과 葉綠素 b의 含量이 種間에 뚜렷한 差異가 없었다는 점은 이 등(1985)의 報告와 相應한다고 생각된다.

光合成率과 暗呼吸率의 季節的 變化

一般的으로 光合成率은 잎의 展開와 더불어 上昇하고 잎의 成熟 前後의 시기에 最大值에 도달하여 頂點에 도달하며 그 以後에 잎이 老化됨에 따라서 低下한다. 暗呼吸率은 잎이 展開하기 시작할 때부터 減少하기 시작하여 잎이 완전히 成熟하면 減少率이 正지하여 一定值를 유지한다 (Saeki 1959, Nelson *et al.* 1982).

4種의 植物體 모두 實驗 條件下에서의 光飽和은 20 Klux 前後에서 나타났으며 ($F=1.89$, $df=3$, $p<0.005$), 20 Klux에서의 季節變化에 따른 光合成率은 Fig. 3에 표시되어 있다. 25 Klux 조도하에서 각 種에 따른 光合成率은 차이가 있었으며 ($F=4.98$, $df=3$, $p<0.005$), 季節變化에 따른 光合成率의 變化和 差異도 나타났다. ($F=7.13$, $df=6$, $p<0.001$). 여기에서 光合成率의 變化는 種보다는 季節에 影響을 받는 것으로 사료된다.

照度變化에 따른 各 植物體의 季節別 光合成 特性 曲線은 Fig. 2에 표시하였으며, 光飽和點과 光補償點은 각각 Table 2에 나타내었다.

당단풍과 신나무의 光飽和點은 7월에 25 Klux, 네군도단풍과 은단풍은 6월에 각각 22.7 및 23.9 Klux에서 얻어졌다. 모든 種에서 7~8월에 光合成의 最大值가 얻어졌고, 전 實驗 期間을 통해 은단풍의 光合成率이 가장 높게 나타났으며 그 다음은 네군도단풍, 당단풍 및 신나무의 순이 었다. 8월 중 最大 光合成率은 은단풍이 $9.59 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 을 나타냈고, 네군도단풍, 당단풍 및 신나무가 각각 9.35 , 7.94 및 $7.45 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 의 값으로 나타냈다(100:97:82:77). 各 種에 따라서 光合成率은 8월 이후에 급격하게 減少되면서 10월에는 種간 차가 없이 약 $5 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 이었다. 暗呼吸率은 植物의 種間에 차가 없이 幼植物이 形成될 時期에 $-2.3 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 이었으나 잎이 완전히 전개되었을 7월 초에는 $-0.7 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-2}$ 로서 暗呼吸率이 減少되었고 그 이후에는 暗呼吸率은 變化되지 않고 그대로 유지되었다.

季節別 光-光合成 曲線에서 季節變化에 따른 光補償點의 變化樣相을 알 수가 있는데, 당단풍의 경우 4월에는 1.5 Klux로 비교적 높은 값을 나타내고 있으나 7월 이후에는 점차 減少하였다. 전 實驗期間을 통해 葉齡이 增加함에 따라 光補償點이 낮아지고 光飽和點에 쉽게 到達하고 있었

Table 2. Seasonal changes of light saturation points(LSP) and light compensation points(LCP) in photosynthesis of genus *Acer* plants during the experimental period

(Klux)

| Species | <i>A. pseudo-</i> | | <i>A. ginnala</i> | | <i>A. negundo</i> | | <i>A. saccharinum</i> | |
|---------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-----------------------|------|
| | LSP | LCP | LSP | LCP | LSP | LCP | LSP | LCP |
| Month | | | | | | | | |
| Apr. | 16.90 | 1.51 | 15.20 | 1.50 | 19.00 | 1.01 | 22.30 | 2.00 |
| May | 19.00 | 0.95 | 19.00 | 1.25 | 18.30 | 1.67 | 19.30 | 1.28 |
| Jun. | 19.30 | 0.61 | 23.90 | 0.83 | 22.70 | 0.68 | 23.90 | 0.76 |
| Jul. | 25.00 | 0.30 | 25.00 | 0.48 | 20.00 | 0.66 | 22.80 | 0.38 |
| Aug. | 18.40 | 0.45 | 19.80 | 0.54 | 22.10 | 0.75 | 20.40 | 0.58 |
| Sep. | 17.80 | 0.21 | 18.80 | 0.33 | 18.80 | 1.10 | 22.90 | 0.83 |
| Oct. | 18.60 | 0.50 | 18.80 | 0.96 | 14.20 | 0.67 | 19.30 | 1.35 |

으며, 대부분의 경우 光飽和點이 15 Klux와 20 Klux사이에서 얻어짐을 볼 수 있었다. 신나무의 경우는 다른 3種의 경우와 달리 季節變化에 따라 月別 最大 光合成量의 차이가 크지 않고($F=1.30$, $df=6$, $p=0.26$, NS), 10월에 가장 낮은 $5.32 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$, 7~8월에는 가장 높은 $7.23\sim 7.45 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 의 비교적 近似한 값을 나타내고 있다. 4월의 光補償點은 1.5 Klux였으나 漸次 그 값이 작아져 9월에는 약 0.33 Klux의 낮은 값을 나타내고 있다. 신나무는 葉芽가 發芽된 후 잎의 發育이 비교적 늦고 葉面積이 작아 光合成率의 變化가 크게 나타나지 않는 것으로 생각된다. 實驗期間 동안 4월을 제외하고 全般的인 光飽和는 20 Klux 內外에서 이루어졌다.

전체적으로 은단풍과 내군도 단풍은 4種중 季節變化에 따른 光合成率의 變化가 뚜렷한 種들로서(은단풍 : $F=11.8$, $df=6$, $p<0.0001$; 내군도단풍 : $F=14.7$, $df=6$, $p<0.0001$) 光合成率의 最大값과 最小값 사이에 큰 差異를 나타내고 있으며, 내군도단풍의 경우 그 最大, 最小값이 8월과 4월, 10월에 25 Klux에서 각각 9.59 , 5.43 및 $5.58 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 의 값을 나타내고 있다. 두 種類 모두 높은 光合成率을 나타내고 있으나, 7월과 8월에는 내군도단풍에 비해 은단풍이 비교적 높은 光合成率을 보이고 있는 것으로 보아, 은단풍이 4種 중 가장 높은 溫度와 光條件下에

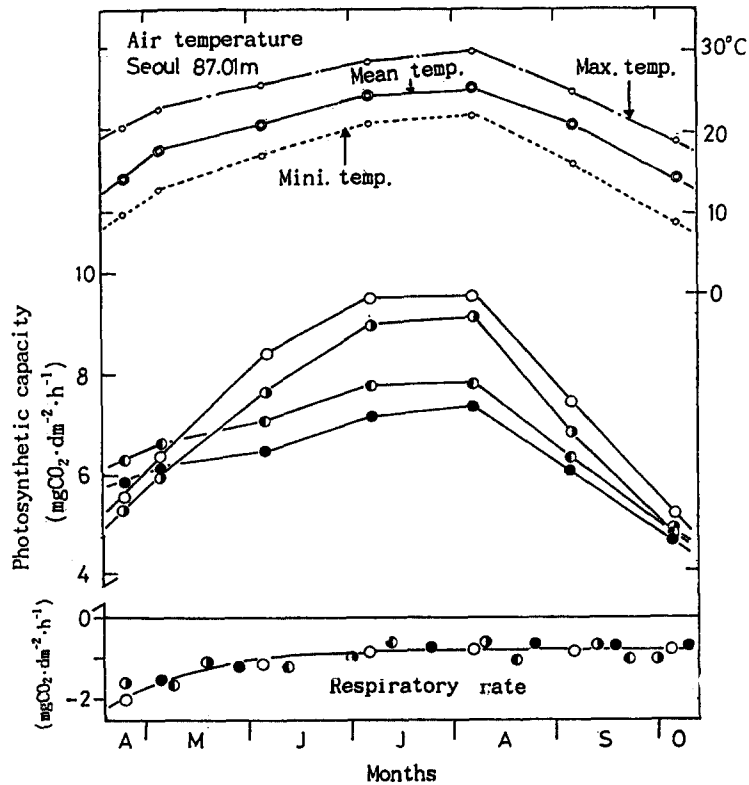


Fig. 3. Seasonal Changes of air temperature, photosynthetic capacity, and respiratory rate in 4 different species of maple trees under the condition of 20 Klux, 25°C and 300 ppm CO₂ on leaf area basis.

- — *Acer saccharinum*
- ◐ — *A. negundo*
- ◑ — *A. pseudo-sieboldianum*
- — *A. ginnala*

서 最大의 광합성율을 표시하는 種으로 생각된다. 계절적 변화에 따른 4種의 光合成率을 比較하여 볼 때에 은단풍과 네군도단풍이 같은 傾向을 보였고 또한 당단풍과 신나무가 같은 樣相을 보여줌을 알 수 있었다.

光補償點은 네군도단풍의 경우 5월에 1.67 Klux, 6월, 7월 및 8월에는 약 0.7 Klux정도로 나타났으며, 은단풍의 경우는 4월에 2.0 Klux, 7월에 약 0.4 Klux를 나타냈다. 光飽和點은 모두 20 Klux 內外에서 얻어졌다. 4種의 식물체 모두의 光合成 特性에서 發見할 수 있는 事實은 季節變化에 따라 光補償點이 減少한다는 것($F=8.71$, $df=6$, $p<0.005$)과 4種의 最大 光合成率이 7~8월에 나타난다는 점이다. 모든 種에 있어서 7~8월에 最大 光合成率을 나타내는 것은 Saeki와 Nomoto (1958)가 느티나무 등을 대상으로 成長期 동안의 光合成能을 조사한 바와 잘 일치하고 있다.

4種 모두 8월이 지나면서 光合成率이 급격히 減少하는 것을 볼 수 있었다. 이런 現狀은 느티나무 등(Saeki와 Nomoto 1958)에서 나타나는 現狀과 잘 一致되나, 스트로부스잣나무(*Pinus strobus*)에서 조사한 Shiroya 등(1966)의 結果에서는 9월 이후에 光合成率이 急激하게 減少되고 하였다. 10월에는 4種의 植物體들이 나타내는 光合成率이 거의 비슷하여 平均 5.2 mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹ 內外의 값을 나타내고 있는 것은 흥미로운 現狀이다.

實驗期間 동안 測定된 4種의 暗呼吸率은 Fig. 3에 나타냈으며, 종간에는 서로 차이가 거의 없었으며, 季節變化에 따라 暗呼吸率이 減少하고 있음을 알 수 있었다($F=13.07$, $df=6$, $p<0.001$). 모든 種에서 잎의 展開 初期에는 呼吸率과 光補償點이 높게 나타나고 있는데, 이것은 어린 잎일수록 呼吸率과 光補償點이 높고, 葉綠素量과 光合成率이 낮다는 Saeki와 Nomoto(1958) 및 Gabrielsen(1948)의 보고와 一致한다고 사료된다.

實驗期間 동안 葉綠素 含量의 變化와 光合成率의 變化 사이에서 나타날 수 있는 直接的인 關係는 發見할 수 없었으며, 단지 成長 初期에는 모든 種에 있어서 葉綠素 含量의 急激한 增加와 함께 光合成率이 큰 폭으로 增加하는 것을 알 수 있으며, 이는 Kim과 Lee(1983)의 報告와 一致한다. 그러나 葉成長이 충분히 이루어진 6월 이후에는 전체적인 光合成 樣相은 은단풍을 제외하고는 총 葉綠素 含量과는 無關係하게 進行되고 있는데(당단풍: $r=0.123$; 네군도단풍: $r=0.519$; 은단풍: $r=0.686$; 신나무: $r=0.007$), 이는 光合成이 총 葉綠素 含量의 變化와는 獨立的인 다른 調節機構에 의해 이루어지는 것으로 思料된다.

그러나, 모든 種에서 葉綠素 a의 含量 變化와 光合成率의 變化 樣相이 비교적 높은 相關關係(당단풍: $r=0.739$; 신나무: $r=0.995$; 은단풍: $r=0.783$; 네군도단풍: $r=0.610$)를 나타내는 것으로 보아 光合成에는 葉綠素 a가 중요한 것으로 여겨진다. 한편, 種간에서 葉綠素 含量과 光合成率은 뚜렷한 差異를 나타내고 있는데, 葉綠素의 含量이 가장 높은 은단풍과 네군도 단풍의 경우는 顯著하게 높은 光合成率을 나타낸다는 점은 유의할만 하며, 아마도 이런 特性을 내재하고 있는 間接的인 證據로 思料된다(Böhning and Burnside 1956, Boardman 1977, 정 1988).

摘 要

단풍나무속 植物體들이 季節 變化에 따라 나타나는 葉綠素 含量 및 光合成 特性의 變化에 대해 알아보고자 당단풍(*Acer pseudo-sieboldianum*), 신나무(*A. ginnala*), 네군도단풍(*A. negundo*) 및 은단풍(*A. saccharinum*)을 대상으로 實施한 研究內容의 結果는 다음과 같다.

1. 10월을 제외한 전 實驗期間에 걸쳐 총 葉綠素 含量을 決定하는 要因은 葉綠素 a의 含量인

것으로 나타났으며, 葉綠素 b의 含量은 季節 變化에 따라 增加하는 樣相을 보였으나 葉綠素 a의 含量은 減少했다.

2. 4種 중 네군도단풍의 葉綠素 含量이 가장 높아 7월에, 당단풍과 은단풍은 6월에 最大값을 나타내고 있으며, 신나무는 9월에 最大값을 나타냈다.
3. 총 葉綠素 含量의 變化 樣相은 年中 氣溫 變化의 樣相과 類似했으며 대부분 7월까지 葉綠素 含量이 增加했고, 그 후로는 葉綠素 含量이 急激히 減少하였다.
4. 光合成에 필요한 빛에너지를 받아들이는 葉綠素의 含量과 光合成率의 關係는 葉展開의 初期에는 相關關係를 가지나, 季節이 變化함에 따라 葉綠素 含量의 變化와는 無關하게 光合成이 進行되는 것을 알 수 있었다.
5. 모든 種에서 季節 變化에 따라 光補償點이 減少했으며 最大 光合成率이 8월에 나타났다. 은단풍, 네군도단풍, 당단풍 및 신나무의 最大 光合成率은 각각 9.59, 9.35, 7.94 및 7.45 mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹의 값으로 나타났다(100 : 97 : 82 : 77).
6. 4種 모두에 있어서 呼吸率의 差異는 거의 없었으며, 季節이 變化함에 따라 減少하는 趨勢를 보였다. 즉 4월 초의 呼吸率은 -2.2 mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹이었고 그 이후 7월초까지 暗呼吸率(0.8 mg CO₂ dm⁻² hr⁻¹)이 減少하였다가 그 이후에는 變化가 없었다.

引用文獻

- 김창호. 1984. 단풍나무 종자의 숙기가 발아에 미치는 영향. 동국대 농림과학 논문집 9 : 23-38.
- 박광우 · 김삼식. 1984. 한국산 단풍나무속 잎의 형태 및 해부학적 연구. 한국 임학회지 64 : 52-63.
- 이돈구 · 김갑태 · 조경진 · 이경학 · 주광영. 1985. 몇 소나무류의 엽록소 함량의 월별 변화. 서울 대학교 농과대학 연구 논문집 10 : 33-40.
- 이창복. 1985. 대한 식물 도감. 향문사. 서울.
- 정희심. 1988. 한국산 목본식물 12종의 양엽과 음엽의 광합성 특성에 관한 연구. 경희대 교육대학원 석사학위 논문.
- Andaya, G.L. and H.S. Choe. 1977. Studies on leaf growth and leaf growth rate. J. Res. Insti. Sci. and Technol. Kyung Hee Univ., Seoul 5 : 20-31.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
- Boardman, N.K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 28:355-561.
- Böhning, R.H. and C.A. Burnside. 1956. The effect of light intensity on rate of apparent photosynthesis in leaves of sun and shade plants. Amer. J. Bot. 43:557-561.
- Devline, R.M. and F.H. Witham. 1983. Plant physiology. Wodsworth, Inc. pp. 223-233.
- Gabrielsen, E.K. 1948. Effects of different chlorophyll concentrations on photosynthesis in foliage leaves. Physiologia Plantarum 1:5-37.
- Hesketch, J.D. 1963. Limitations to photosynthesis responsible for differences among species. Crop Science 3:493-496.
- Hinckley, T.M., R.G. Aslin, R.R. Aubuchon, C.L. Metcalf and J.E. Roberts. 1978. Leaf

- conductance and photosynthesis in four species of the Oak-Hinckory forest type. *Forest Science* 24:73-84.
- Jackson, L.W. 1967. Effect of shade on leaf structure of deciduous tree species. *Ecology* 48:498-499.
- Kim, G.T. and D.K. Lee. 1983. A technique for selecting superior *Populus alba* × *Populus glandulosa* F₁ clones with some physiological characters. *Jour. Korea For. Soc.* 59:15-30.
- Krenzer, E.G., D.N. Moss, and R.K. Crookston. 1975. Carbon dioxide compensation points of flowering plants. *Plant Physiol.* 56:194-206.
- Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *Jour. Biol. Chem.* 140:315-322.
- McClendon, J.H. 1962. The relationship between the thickness of deciduous leaves and their maximum photosynthetic rate. *Amer. J. Bot.* 49:320-322.
- McMillen, G.G and J.H. McClendon. 1979. Leaf angle: An adaptive feature of sun and shade leaves. *Bot. Gaz.* 140:437-442.
- Nelson, N.D., D.K. Dickmann and K.W. Gottschalk. 1982. Autumnal photosynthesis in short-rotation intensively cultured *Populus* clones. *Photosynthetica* 16:321-333.
- Saeki, T. 1959. Variation of photosynthetic activity with aging of leaves and total photosynthesis in plant Community. *Bot. Mag. Tokyo* 72: 404-408.
- Saeki, T. and N. Nomoto. 1958. On the seasonal change of photosynthetic activity of some deciduous and evergreen broad leaf trees. *Bot. Mag. Tokyo* 71:235-241.
- Sestak, A., H. Catasky, H. and P.G. Jarvis. 1971. *Plant photosynthetic production: Manual of methods.* The Hague: Junk. pp.162-166.
- Shiroya, T., G.R. Lister, V. Slankis, G. Krotkov and C.D. Nelson. 1966. Seasonal changes in respiration, photosynthesis, and translocation of the C¹⁴ labelled products of photosynthesis in young *Pinus strobus* L. plants. *Ann. Bot.* 30:81-91.
- Steingraeber, D.A. 1982. Heterophylly and neof ormation of leaves in sugar maple (*Acer saccharum*). *Amer. J. Bot.* 69:1277-1282.
- Taylor, G. and W.J. Davies. 1985. The control of leaf growth of *Betula* and *Acer* by photoenvironment. *New Phytol.* 101:259-268.
- Taylor, G. and W.J. Davies. 1986. Yield turgor of growing leaves of *Betula* and *Acer*. *New phytol.* 104:347-353.
- Wylie, R.B. 1951. Principles of foliar organization shown by sun-shade leaves from ten species of deciduous dicotyledonous trees. *Amer. J. Bot.* 38:355-361.

(1995년 1월 18일 접수)