

## 물푸레나무와 들메나무葉의 光合成과 呼吸의 特性<sup>1\*</sup>

韓相燮<sup>2</sup> · 沈朱鎬<sup>2</sup>

### Characteristics of Photosynthesis and Respiration in *Fraxinus rhynchophylla* Hance and *Fraxinus mandshurica* Rupr. Leaves<sup>1\*</sup>

Sang Sup Han<sup>2</sup> and Joo Suk Sim<sup>2</sup>

#### 要 約

물푸레나무와 들메나무의 光合成과 呼吸의 特性을 밝히기 위하여 본 研究에서는 苗圃場의 罫트에서 生育시킨 3年生 苗木에 대하여 光, 溫度, 水分의 變化에 따른 光合成速度와 呼吸速度의 變化, 그리고 그들의 季節變化를 測定比較 하였다. 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 光補償點은 물푸레나무葉이  $35\mu\text{Em}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 들메나무葉이  $28\mu\text{Em}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 였다. 光飽和點은 두樹種 모두  $700\mu\text{Em}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 였다.

2. 最大光合成速度는 물푸레나무葉이  $25^\circ\text{C}$ , 들메나무葉이  $20^\circ\text{C}$  정도에서 일어났다.

3. 물푸레나무葉은  $-13\text{bar}$ , 들메나무葉은  $-10\text{bar}$ 에서 純光合成速度의 初期減少가 시작되었고 물푸레나무葉은  $-29\text{bar}$ , 들메나무葉은  $-23\text{bar}$  부터 純光合成速度가 0에 가까와 지기 시작했다.

4. 葉의 暗呼吸速度는 두樹種 모두  $10\sim 40^\circ\text{C}$  溫度域에서 비슷한 값을 나타냈으며,  $-10\text{bar}$ 의 水分缺差에서 부터 增加하다가  $-28\text{bar}$  이하에서는 현저한 減少가 일어났다.

5. 葉의 純光合成速度는 6月까지는 들메나무가 높았으나 이후는 물푸레나무가 높았다. 葉의 暗呼吸速度는 6~8月에는 물푸레나무가 높았으나 그후는 비슷한 값을 나타냈다.

6. 줄기와 뿌리의 呼吸速度는 두樹種 모두 4월에 가장 높았으며 全生長季節 동안 물푸레나무가 들메나무 보다 높았다.

#### ABSTRACT

The present study was to examine the effects of light, temperature, and water stress on the photosynthesis and respiration rates and its seasonal changes in 3-year-old *Fraxinus rhynchophylla* and *Fraxinus mandshurica* seedlings raised in pot in nursery. The results obtained are as follows :

1. The estimated light compensation points at which net photosynthesis approached zero were  $35$  and  $28\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  for *F. rhynchophylla* and *F. mandshurica* leaves, respectively. The light saturation points occurred at  $700\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  in these species.
2. The maximum rates of net photosynthesis of leaves occurred at about  $25^\circ\text{C}$  in *F. rhynchophylla* and at  $20^\circ\text{C}$  in *F. mandshurica*.

<sup>1</sup> 接受 1989年 6月 3日 Received on June 3, 1989.

<sup>2</sup> 江原大學校 林科大學 College of Forestry, Kangweon National University Chuncheon 200-701, Korea

\* 이 논문은 1987년도 문교부 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

3. The decrease in net photosynthetic rates of leaves began at -13 bars in *F. rhynchophylla* and -10 bars in *F. mandshurica*, and then its rates approached approximately zero at -23 bars in *F. mandshurica* and -29 bars in *F. rhynchophylla*.
4. The dark respiration rates of leaves were similar from 10°C to 40°C between these species. Also these increased from -10 bars to -28 bars, and then decreased remarkably in these species.
5. The net photosynthetic rates of leaves of *F. mandshurica* were higher than those of *F. rhynchophylla* until June, and after that lower than *F. rhynchophylla*. The dark respiration rates of leaves of *F. rhynchophylla* were higher than those of *F. mandshurica* from June to August, and After that similar between these species.
6. The respiration rates of stem and root were highest in April during the growing season. These values of *F. rhynchophylla* were slightly higher than those of *F. mandshurica* throughout the growing season.

Key words : photosynthesis ; respiration ; Fraxinus rhynchophylla ; Fraxinus mandshurica

### 緒 論

최근 우리나라 潤葉樹材의 需要가 급증하고 있기 때문에 針葉樹 造林 일변도에서 潤葉樹 造林으로의 轉換이 시급한 실정이다. 물푸레나무와 들메나무는 우리나라에 自生하는 溫帶潤葉樹 중에서 材質이 우수하고 生長도 비교적 빠르며 通直하게 자라므로 대단히 用材價値가 높은 樹種이다. 또 이들 樹種은 種子에 의한 養苗方法도 비교적 용이하여 苗木의 大量生産도 可能하다.

현재 물푸레나무類의 物質生産, 生育環境, 天然便新, 人工造林등에 관한 기초연구는 외국에서는 활발히 진행되고 있으나(生原等, 1985, 1989; 동, 1988; 眞鍋·大窪, 1973; 中江·辰巳, 1963; 中江·眞鍋, 1962; 大友·西本, 1985; 淺川, 1956; 薄井, 1963; Wardle, 1959) 우리나라에서는 鄭 등(1984)의 들메나무 種子의 發芽 및 苗木生産密度에 관한 연구가 있을 뿐이다.

이러한 樹種에 대하여 造林과 撫育에 필요한 生理·生態의 習性的의 가장 기초가 되는 光合成速度와 呼吸速度의 特性을 測定하여 造林의 適地環境과 一次生産力의 크기를 밝히는 것은 매우 중요하다. 특히 樹木의 適地環境의 診斷에는 여러가지 環境因子の 變化에 따른 光合成速度와 呼吸速度의 變化特性을 測定하여 사용하고 있다(Brix, 1979; Dougherty과 Hinckley, 1981; Han과 Kim, 1989; Hinckley등, 1978; Koike와 Sakagami, 1984; Larcher, 1969, 1975; Maruyama와 Toyama, 1987; Negisi, 1966;

Puritch, 1973).

일반적으로 樹木에 있어서 光合成速度는 光, 溫度, 水分, 養分濃度, 風速, CO<sub>2</sub>濃度등에 크게 영향을 받는데 비하여 呼吸速度는 溫도와 體内の 養分濃도에 크게 영향을 받는다. 光度가 增加하면 光合成速度가 增加하여 最大値에 달하며 이 값은 어떤 樹種의 物質生産力과 에너지生産效率의 크기를 論하는데 매우 중요하다. 또 葉이 水分缺差를 받으면 光合成速度는 민감하게 減少하며 더욱 심한 水分缺差를 받으면 原形質分離가 시작되고 完全 氣孔閉鎖가 일어나 純光合成速度가 0에 달한다. 또 葉溫이 上昇하면 光合成速度가 증가하나 最適 光合成 溫度域을 넘으면 다시 減少한다. 그러나 呼吸速度는 最適 光合成 溫度域 이상의 溫度에서는 계속 증가하다가 生育 不可能한 高溫域에서 급격히 감소한다(Larcher, 1980). 이러한 光合成速度와 呼吸速度의 變化現象은 先天的으로 갖고 있는 樹種의 特性에 따라 현저하게 다르기 때문에 適地環境과 生長이 種에 따라 다르다. 따라서 어떤 樹種의 適地環境과 物質生産力을 論할 때는 環境因子の 變化에 따른 光合成速度와 呼吸速度의 特性을 밝힐 필요가 있다.

본 研究에서는 물푸레나무와 들메나무의 光合成과 呼吸의 特性을 밝히기 위하여 光, 溫度, 水分의 變化에 따른 葉의 光合成速度의 變化, 溫도와 水分缺差의 變化에 따른 엽, 줄기, 뿌리의 呼吸速度의 變化, 그리고 이들 값의 季節變化등을 測定 比較 하였다.

### 材料 및 方法

물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* Hance)와 들메나무(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)의 光合成速度와 呼吸速度 測定에는 斷面積 200cm<sup>2</sup>, 높이 25cm의 원형 포트에 1年生 苗木을 植栽하여 江原大學校 構內 苗圃場에서 生育시킨 3年生 苗木을 사용하였다. 葉의 光合成速度와 呼吸速度의 測定은 着生葉을 아크릴 同化箱(8cm×13cm×10cm)에 넣어 測定했으며 CO<sub>2</sub>濃度は 赤外線CO<sub>2</sub> 分析機(ADC-MK<sub>3</sub>)로 測定 하였다. 줄기 呼吸測定은 葉을 제거하고 줄기만을 同化箱에 넣어 測定하였으며, 뿌리의 呼吸測定은 포트에서 캐어낸 후 물로 흠을 세척하여 뿌리만을 同化箱을 넣고 測定하였다.

光合成速度와 呼吸速度 測定時의 溫度調節은 Water Circulator(Yamato, CTE-22W)를 사용하여 ±0.1℃精度로 조절하였다. 同化箱內의 葉, 줄기, 뿌리의 溫度 測定은 熱傳對式 測定法에 의거 Thermocouple를 사용하여 自動記錄計에 의해 測定하였다. 同化箱內에는 濕度 100%의 空氣를 1~2l/min의 比率로 供給하였으며 이때 同化箱內에는 小形 Fan을 부착시켜 1m/sec의 風速을 유지시키면서 光合成速度와 呼吸速度를 測定하였다. 또 同化箱內의 光은 白熱電球(1000W)에 변압기를 연결시켜 電壓을 自動調節 하면서 공급시켰으며 이때 同化箱內의 光合成 有効放射量(Photosynthetically active radiation, PAR)은 Quantum Radio-Photometer(Crump, Cat.No 550)로 測定하였다.

光合成速度와 呼吸速度 測定時의 葉의 水分포텐셜 측정에는 Pressure chamber(DIK-PC-40, Japan)을 사용하였으며 이때는 苗木을 포트에서 캐어내 葉만 同化箱에 넣고 水分缺差를 주면서 光合成速度와 呼吸速度의 測定과 同時에 同化箱 外의 側枝葉의 水分포텐셜을 측정하였다. 또 잎, 줄기, 뿌리의 光合成速度와 呼吸速度의 季節變化는 月別로 25℃에서 測定 하였다.

### 結果 및 考察

#### 1. 光合成速度에 미치는 光의 影響

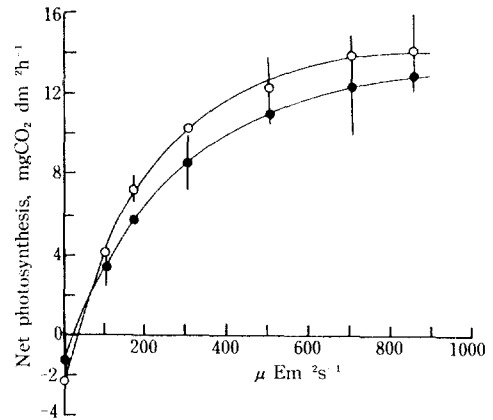


Fig. 1. Net photosynthesis (Pn) of leaves at various light intensities at 25°C in July. ○ : *Fraxinus rhynchophylla*; ● : *Fraxinus mandshurica*. Each value is the mean of three measurements. Vertical bars indicate the standard deviation for three measurements.

물푸레나무와 들메나무葉의 光-光合成 曲線을 Fig.1에 나타냈다. 全光域에서 물푸레나무의 純光合成速度가 들메나무 보다 높았다. 光補償點은 물푸레나무에서  $35\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 들메나무에서  $28\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였으며 光飽和點은 두樹種 모두  $700\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이었다. Hinckley 등(1978)에 따르면 光補償點은 *Acer saccharum* Marsh 葉에서  $20\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , *Quercus rubra* L. 葉에서  $28\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , *Quercus alba* L. 葉에서  $30\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , *Quercus velutina* Lam. 葉에서  $32\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였으며 光飽和點은 *Acer saccharum* Marsh과 *Quercus rubra* L. 葉에서  $400\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , *Quercus alba* L. 葉에서  $500\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , *Quercus velutina* Lam. 葉에서  $600\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였다고 보고하고 있다. 또 Han과 Kim(1989)에 따르면 졸참나무, 신갈나무, 굴참나무, 갈참나무 葉의 光補償點은 각각 18, 20, 24,  $38\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였으며, 光飽和點은 졸참나무, 신갈나무, 굴참나무 葉에서 모두  $500\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였다고 한다. 일반적으로 同一環境條件에서 生育한 樹木에서는 光補償點과 光飽和點이 낮을수록 耐陰性이 强하다고 할 수 있기 때문에 (Hinckley 등, 1978) 들메나무는 물푸레나무보다 다소 耐陰性이 强하다고 할 수 있다.

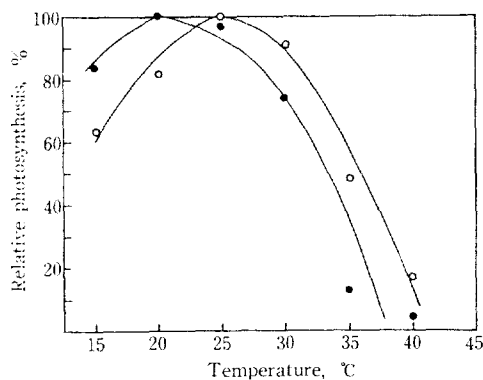
#### 2. 光合成速度와 呼吸速度에 미치는 溫度의

**影響**

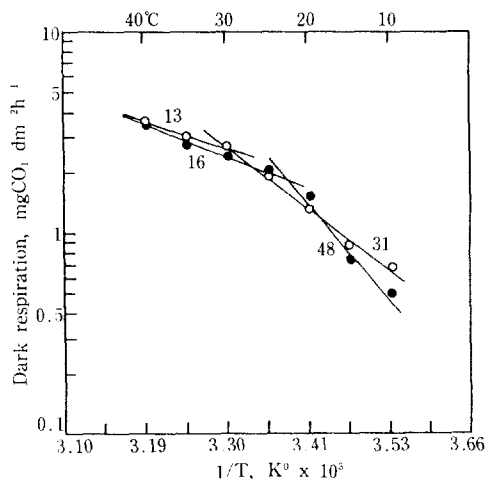
물푸레나무와 들메나무의 葉溫變化에 따른 相對 光合成速度의 變化를 Fig.2에 나타냈다. 生長旺盛期인 6월에 葉의 最大光合成速度는 물푸레나무의 경우 25℃ 전후, 들메나무는 20℃ 전후에서 일어남을 알 수 있었다. 80%이상의 光合成速度를 유지하는 溫度域은 물푸레나무가 20~30℃, 들메나무가 15~25℃ 범위였다. 또 高溫인 40℃의 葉溫에서는 물푸레나무가 17%, 들메나무가 5%의 光合成速度를 나타냈다. 이와같은 결과로 비교해 볼때 들메나무는 물푸레나무 보다 5℃ 낮은 溫度域이 生育環境에 適合하다고 생각된다. Hinckley등(1978)에 따르면 미국 미조리주에서 生育한 *Quercus velutina* Lam.는 20℃, *Quercus alba* Lam., *Quercus rubra* L., *Acer saccharum* Marsh등은 25℃ 전후에서 最大光合成速度를 나타냈으며, 이들 樹種은 44℃에서 完全 氣孔閉鎖가 일어나 光合成速度가 0에 달한다고 보고하고 있다. 보통 最大光合成速度가 일어나는 溫度域은 그 種의 最適環境 이라고 할 수 있으며 光合成速度가 0가 되는 高溫域은 致死溫度域이라 할 수 있다(Larcher, 1975).

한편 Arrhenius 法則에 따른 葉의 暗呼吸速度의 變化를 Fig.3에 나타냈다. 보통 Arrhenius法則에 있어서 呼吸速度와 葉溫과의 관계는 다음식으로 나타낸다(Hagihara와 Hozumi, 1977).

$$R = A \exp \left( \frac{-E_a}{RT} \right)$$



**Fig. 2.** Effect of temperature on the photosynthesis of leaves in June. ○: *Fraxinus rhynchophylla*; ●: *Fraxinus mandshurica*. Each plot is the mean of three measurements.



**Fig. 3.** Arrhenius plot for dark respiration of *Fraxinus rhynchophylla* (○) and *Fraxinus mandshurica* (●) leaves in June. Each plot of the mean of three measurements.

여기서 R=暗呼吸速度(mg CO<sub>2</sub>dm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>), A=常數(mg CO<sub>2</sub> dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), E<sub>a</sub>=活性에너지(cal·mol<sup>-1</sup>), R=가스정수(cal·deg<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>), T=絕對溫度(deg). Fig.3에 나타낸 바와 같이 Arrhenius法則을 적용하여 推定한 時間當 呼吸의 活性에너지 E<sub>a</sub>값에 가스정수 R(=0.08207)를 고려하여 計算 할때 低溫域에서는 물푸레나무가 31 cal·mol<sup>-1</sup>/R=378cal·mol<sup>-1</sup>, 들메나무가 48cal·mol<sup>-1</sup>/R=585cal·mol<sup>-1</sup>인데 비하여 高溫域에서는 물푸레나무가 13cal·mol<sup>-1</sup>/R=158cal·mol<sup>-1</sup>, 들메나무가 16cal·mol<sup>-1</sup>/R=195cal·mol<sup>-1</sup> 이었다. 다시 이들 값을 1日當 呼吸의 活性에너지 E<sub>a</sub>값으로 환산 할때 低溫域에서는 물푸레나무가 9.1 Kcal·mol<sup>-1</sup>, 들메나무가 14.0Kcal·mol<sup>-1</sup>, 高溫域에서는 물푸레나무가 3.8Kcal·mol<sup>-1</sup>, 들메나무가 4.7Kcal·mol<sup>-1</sup> 이었다. Hagihara와 Hozumi(1977)에 의하면 1日當 暗呼吸速度로 계산 할때 편백나무葉의 E<sub>a</sub>값은 低溫域에서 17.8 Kcal·mol<sup>-1</sup>, 高溫域에서 9.0Kcal·mol<sup>-1</sup> 이었다고 한다. 따라서 樹木의 葉의 暗呼吸速度에 대한 E<sub>a</sub>값은 低溫域에서 더 큰값을 나타내기 때문에 低溫域의 呼吸速度가 高溫域 보다 溫度反應에 敏感하다고 할 수 있다.

또 Arrhenius法則을 적용할때 Fig.3과 같이 물푸레나무는 30℃, 들메나무는 23℃에서 convex curve가 일어남을 알 수 있었다.

3. 光合成速度와 呼吸速度에 미치는 水分의 影響

葉의 水分缺差에 따른 물푸레나무와 들메나무의 相對 光合成速度를 Fig.4에 나타냈다. 물푸레나무의 光合成速度는 약 -15bar에서 初期減少가 시작되어 약 -29bar에서 0에 달하기 시작하는데 비하여 들메나무의 光合成速度는 약 -10bar부터 初期減少가 시작되어 약 -23bar에서 0에 달하기 시작했다. 보통 葉이 강한 水分 缺差를 받을 때 氣孔을 열고 높은 光合成을 행하는 種이 耐乾性樹種 이라고 할 수 있다(Hinckley등, 1978; Maruyama와 Toyama, 1987). 따라서 들메나무는 물푸레나무보다 耐乾性이 약하다고 할 수 있으며 造林 할때 濕氣가 많은 陰地에 植栽할 필요가 있으며, 물푸레나무는 어느 정도 乾燥土壤에까지 植栽可能 하다고 생각된다. Maruyama와 Toyama(1987)에 따르면 陰樹인 너도밤나무의 光合成速度는 -7bar에서 初期減少가 시작되어 -30bar에서 5~25%의 光合成速度를 나타내는데 비하여 耐乾性樹種인 졸참나무는 -10~-12bar에서 初期減少가 시작되어 -30bar에서 30~50%의 光合成速度를 나타낸다고 하였다.

한편 葉의 水分缺差에 따른 물푸레나무와 들메나무 葉의 暗呼吸速度를 Fig.5에 나타냈다. 두樹種 모두 약 -9bar에서 부터 呼吸速度가 增加하기 시작하여 -20~-25bar에서 最大值를 나타내다가 -27bar부터 다시 급격한 減少를 보였다. Brix (1962)에 의하여 구주소나무葉의 暗呼吸速度는 -9bar에서 부터 減少가 일어나다가 -20bar에서 다시 增加하기 시작하여 -28~-36bar에서 最大值(飽水時의 약 140%)를 나타냈고 그이상의 水分缺差

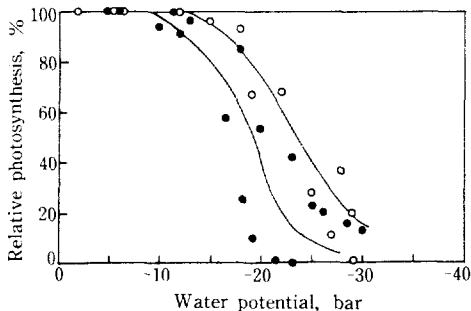


Fig. 4. Effect of water stress on the photosynthesis of leaves. ○ : *Fraxinus rhynchophylla* ; ● : *Fraxinus mandshurica*.

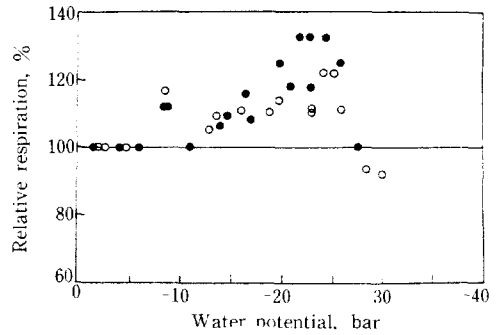


Fig. 5. Effect of water stress on the photosynthesis of leaves at 25°C. ○ : *Fraxinus rhynchophylla* ; ● : *Fraxinus mandshurica*.

를 받으면 급격히 감소한다고 하였다. 그러나 소나무 줄기의 暗呼吸速度는 水分缺差가 심한 낮동안에는 심한 減少現象을 나타내고 體內水分이 회복되는 밤동안에는 증가한다고 한다(Negisi, 1978).

4. 光合成速度와 呼吸速度의 季節變化

葉의 光合成速度와 暗呼吸速度의 季節變化를 Fig.6에 나타냈다. 純光合成速度는 5월부터 6월까지 들메나무가 높았으나 그 후는 물푸레나무가 높았다. 이것은 同一環境條件에서 들메나무가 물푸레나무 보다 빠른 開葉을 하기 때문으로 생각

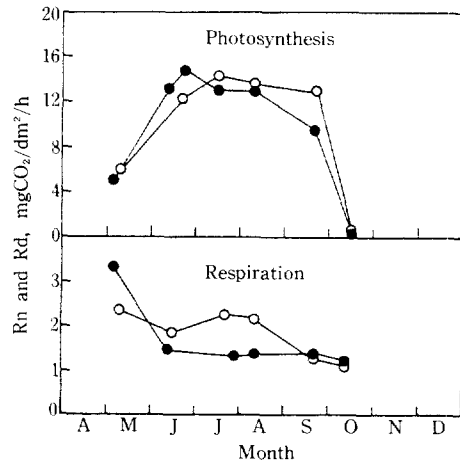


Fig. 6. Seasonal changes of net photosynthesis at  $850\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  and dark respiration of *Fraxinus rhynchophylla* (○) and *Fraxinus mandshurica* (●) leaves at 25°C. Each plot is the mean of three measurements.

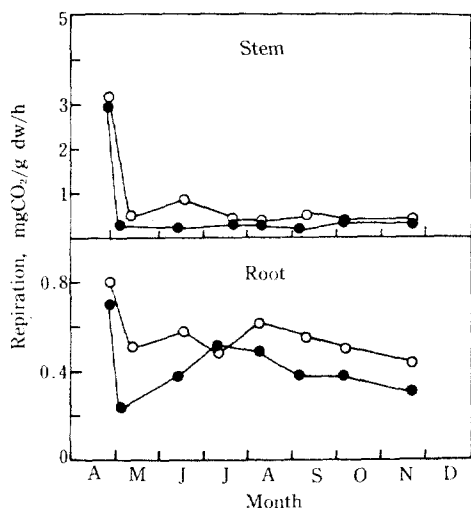


Fig. 7. Seasonal changes in respiration of stem and root of *Fraxinus rhynchophylla* (○) *Fraxinus mandshurica* (●).

된다. 純光合成速度的 最大值는 들메나무는 6월에  $14.8 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , 물푸레나무는 7월에  $14.2 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 비슷하였으며 두樹種 모두 10月 中旬에 純光合成速度가 0에 달했다. 光合成速度가 높은 時期가 生長이 왕성하다고 본다면 들메나무는 6月, 물푸레나무는 7月이라 할 수 있다. 小見山(1987)에 의하면 일본의 岐阜縣의 落葉潤葉樹林의 *Fraxinus langinosa*는 肥大生長이 빨리 시작되는 種으로 5月初에 生長이 開始되어 極大生長이 일어나는 시기는 7月初에서 7月 中旬이라고 한다. 또 葉의 暗呼吸速度는 開葉이 되는 5月草에는 들메나무가 현저히 높았으나 生長旺盛期인 6~8月에는 물푸레나무가 높았고 9~10月에는 두樹種이 비슷한 값을 나타냈다.

한편 물푸레나무와 들메나무 苗木의 줄기와 뿌리의 呼吸速度를 Fig.7에 나타냈다. 줄기의 呼吸速度는 生長初期인 4月말에는 다른 生長期에 비해 6배 정도의 높은 값을 나타냈으며 全生長期間 동안 물푸레나무가 들메나무 보다 약간 높은 값을 나타냈다. 또 뿌리의 呼吸速度는 물푸레나무가 들메나무보다 높았으며, 두樹種 모두 生長初期인 4월에 가장 높은 값을 나타냈으며 5月初에 약간 감소하다가 다시 6월부터 8월까지 상승하였고 그 후는 서서히 감소가 일어났다. 乾物重當 뿌리의 呼吸速度 값의 크기는 4월을 제외한 全生長期間 동안 줄기의 呼吸速度 값과 거의 비슷하였다.

이상의 結果를 基礎로 考察할때 물푸레나무는 光補償點과 光飽和點이 높고 自然狀態의 林木의 葉에서 간혹 발생하는  $-15 \text{ bar}$  정도의 強한 水分缺差에서도 100%의 光合成速度를 나타내는 樹種이므로 強한 光을 要求하며 耐乾에도 비교적 強한 樹種이라 판단된다. 또 물푸레나무의 光合成 最適溫度는  $25^\circ\text{C}$  정도로 우리나라 中部地方의 森林群落에 있어서 7~8月的 낮동안 葉溫과 거의 일치한다고 볼 수 있다. 우리나라 물푸레나무 自生地를 調査해 보면 水分이 많은 溪谷林이나 強한 陰地 보다는 半陰地의 알맞는 濕潤土壤에서 더 잘 자라며 약간 乾性土壤까지 分布하고 있다. 이에 반해 들메나무는 光補償點이 낮고 自然狀態의 林木의 葉에서 흔히 발생하는  $-10 \text{ bar}$  이상의 水分缺差에서는 光合成速度가 현저히 감소하고 있다. 또 光合成 最適溫度도  $20^\circ\text{C}$  전후로 비교적 낮은 溫度域을 갖는 樹種이다. 우리나라 들메나무 自生地를 調査해 보면 水分이 많은 溪谷林이나 氣溫이 낮은 中部以北의 高山地帶에 주로 分布하고 生長도 비교적 좋으나 乾燥地나 陽地에는 거의 分布하지 않는다. 그리고 두 樹種 모두 天然集團群落地는 거의 찾아 볼 수 없다.

특히 물푸레나무와 들메나무는 種子結實이 좋고 種子採取도 비교적 용이하며 播種에 의한 苗木의 多量生産도 可能한 樹種이다(鄭 등, 1984).

따라서 이 두樹種은 현재 우리나라에서는 天然更新 보다는 人工造林이 有利하다고 생각되며, 造林의 要件으로 볼때 물푸레나무는 溫帶地方의 山地에는 모두 造林 可能하다고 할 수 있고 특히 強한 陰地나 水分이 너무 많은 溪谷林地를 피하고 水分이 적당하고 肥沃한 伴陰地에서 부터 伴陽地가 造林에 適合하다고 할 수 있다. 들메나무는 中部以北의 氣溫이 낮은 高山地帶의 造林에 適合한 樹種이며 특히 土壤水分이 많은 溪谷部와 陰地인 中腹以下의 斜面이 造林 適地라고 생각된다.

引用文獻

1. 淺川澄彦, 1956. ヤチダモのタネの發芽遲延についての研究. 日本林試研報 83: 1-18.
2. Brix, H. 1962. The influence of increasing water stress on the rates of photosynthesis

- and respiration of pine seedlings. *physiol. Plant.* 15 : 8-12 in V.A. Greulach ed., 1973. *Plant function and structure* in Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
3. Brix, H. 1979. Effects of plant water stress on photosynthesis and survival of four conifers. *Can. J. For. Res.* 9 : 160-165.
  4. 鄭性鎬·金鍾源·李根洙. 1984. 圃地에 있어서 들메나무의 種子發芽 및 苗木生育密度에 관한 研究. *韓林地* 63 : 9-11.
  5. Dougherty, P.M. and T.M. Hinckley. 1981. The influence of a severe drought on net photosynthesis in white oak (*Quercus alba* L.). *Can. J. Bot.* 59 : 335-341.
  6. 眞鍋逸平·大窪勝. 1973. ヤチダモの天然稚樹の消長について. 84回 日林講 262-263.
  7. 카달르소ेत्र리스노·生原喜久雄·相場芳憲. 1988. シオジ苗の生長に及ぼす光環境. 99回 日林論 339-340.
  8. Hagihara, A. and K. Hozumi. 1977. Estimation of canopy respiration and its seasonal changes in *Chamaecyparis obtusa* plantation. *J. Jap. For. Soc.* 59 : 405-413.
  9. 生原喜久雄·相場芳憲·川原井正孝·新井雅夫. 1985. シオジ用材林の便新と保育に関する研究 (第1報). 種子の發芽特性. *東京農工大演報* 21 : 71-75.
  10. 生原喜久雄·相場芳憲·井上一彦 카달르 소ेत्र리스노. 1989. 北關東地方におけるシオジの更新に関する研究. *東京農工大演報* 26 : 9-49.
  11. Han, S.S. and H.S. Kim. 1989. Effects of light, temperature, and water stress on the photosynthesis and respiration rates of leaves in four oak species. *J. Kor. For. Soc.* 78 : 151-159.
  12. 薄井宏. 1963. 高岐營林署管内 本谷國有林のシオジ原生林の保存について. 前橋營林局. 1-9.
  13. Hinckley, T.M., R.G. Alsin, R.R. Aubuchon, C.L. Metcalf, and J.E. Roberts. 1978. Leaf conductance and photosynthesis in four species of the oak hickory forest type. *For. Sci.* 24 : 73-84.
  14. Koike, T. and Y. Sakagami. 1984. Examination of methods of measuring photosynthesis with detached parts of three species of birch in Hokkaido. *J. Jap. For. Soc.* 66 : 337-340.
  15. Larcher, W. 1969. The effects of environmental and physiological variables on the carbon dioxide gas exchange of trees. *Photosynthetica*, 3 : 167-198.
  16. Larcher, W. 1975. *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag, New York, 303p.
  17. Maruyama, K. and Y. Toyama. 1987. Effects of water stress on photosynthesis and transpiration in three tall deciduous trees. *J. Jap. For. Soc.* 69 : 165-170.
  18. 中江篤記·眞鍋逸評. 1962. 京都大學北海道 練習林におけるヤチダモの育林學的研究. 第VII報. ヤチダモ苗の生長に及ぼす火山性黑色土壌の含有水分の影響について. *京大演報* 34 : 32-36.
  19. 中江篤記·辰巳修三. 1963. 京都大學北海道 練習林におけるヤチダモの育林學的研究. 第VIII報. 人工林地土壌の理學的組成と生長量について. *京大演報* 35 : 157-176.
  20. Negisi, K. 1966. Photosynthesis, respiration and growth in 1-year-old seedling of *Pinus densiflora*, *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*. *Bull. Tokyo Univ. For.* 62 : 1-115.
  21. Negisi, K. 1978. Daytime depression in bark respiration and radial shrinkage in stem of a standing young *Pinus densiflora* tree. *J. Jap. For. Soc.* 60 : 380-382.
  22. 大友玲子·西本哲昭. 1985. 地下水位とウダイカンバ·ミスナラ·ヤチダモまきつけ苗の1年間の生長. 96回 日林論 197-198.
  23. 小見山章·井上昭二·石川達芳. 1987. 落葉廣葉樹25種の肥大生長の季節性に關する樹種特性. *日林誌* 69 : 379-385.
  24. Puritch, G.S. 1973. Effect of water stress on photosynthesis, respiration, and transpiration of four *Abies* species. *Can. J. For. Res.* 3 : 293-298.
  25. Wardle, P. 1959. The regeneration of *Fraxinus excelsior* in woods with a field layer of *Mercurialis perennis*. *J. Ecol.* 47 : 483-497.