

## 다른 광도에서 생육한 먼나무, 붓순나무의 생리적 차이

손석규<sup>1</sup> · 제선미<sup>2</sup> · 우수영<sup>2</sup> · 변광옥<sup>3</sup> · 강영제<sup>1</sup> · 강병서<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 난대산림연구소, <sup>2</sup>서울시립대학교 환경원예학과,

<sup>3</sup>국립산림과학원 유전자원부

(2006년 3월 28일 접수; 2006년 5월 15일 수락)

## Physiological Differences of *Ilex rotunda* and *Illicium anisatum* under Low Light Intensities

Seog Gu Son<sup>1</sup>, Sun Mi Je<sup>2</sup>, Su Young Woo<sup>2</sup>, Kwang Ok Byun<sup>3</sup>,  
Young Je Kang<sup>1</sup> and Byung Seo Kwang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Warm-temperature Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jeju, 697-050, Korea

<sup>2</sup>University of Seoul, Department of Environmental Horticulture, Seoul, 130-743, Korea

<sup>3</sup>Korea Forest Research Institute, Department of Genetics Forest Resources, Suwon, 441-300, Korea

(Received March 28, 2006; Accepted May 15, 2006)

### ABSTRACT

We examined seedlings of two species (*Ilex rotunda* and *Illicium anisatum*) which have a different level of shade tolerance and raised them under different light regimes (full sunlight and 50% shading). After 12 months, we investigated chlorophyll content (Chl. a, Chl. b and Chl. a+b), photosynthetic systems (photosynthetic rate, light compensation point, dark respiration rate and quantum yield), intercellular CO<sub>2</sub> concentration and water use efficiency to show acclimation reaction to different light conditions. Seedlings grown under full sunlight showed lower chlorophyll content than those in the shading regime. There was a significant difference between the full sunlight and shade treatments in *I. anisatum* (shade tolerance species). *I. rotunda* (intermediate species) showed high photosynthetic rate and water use efficiency over PPF 1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  to full sunlight. Also, *I. anisatum* grown under full sunlight showed lower photosynthetic rate and water use efficiency over a range of all PPF. This result showed that *I. rotunda* has a more flexible reaction system than that of *I. anisatum*.

**Key words** : Chlorophyll contents, Dark respiration rate, Intercellular CO<sub>2</sub> concentration, Quantum yield, Light compensation point, Photosynthetic rate, Shade tolerance, Stomatal conductance

### I. 서 론

내음성은 천이를 일으키게 하는 배후의 중요한 생태학적 개념이다. 수목이 군락을 이루고 있을 때, 하층에 도달하는 빛의 수준은 매우 적다. 또한 군락의 하층에 도달하는 빛은 상부와 비교하였을 때, 광도가 낮아질 뿐만 아니라, 광질도 달라지게 되는데, 그늘진 깊은 곳에서는 far-red가 많다는 특징을 가진다

(Makino *et al.*, 1997). 어떤 수종은 이러한 낮은 광도에서 충분히 광합성을 할 수 있어 그늘진 곳에서도 다른 수종들에 비하여 잘 적응 할 수 있는데, 이러한 수종들을 일컬어 내음성 식물이라고 한다(Oliver and Larson, 1996). 내음성이 약한 수종은 자신이나 다른 수종의 그늘에서 재생산이 가능하고 성장할 수 있는 수종으로 교체 되어져, 산림에 있어 큰 쇠퇴요인이 작용하지 않는다면, 내음성 식물들이 우점하게 된다

(Catovsky and Bazzaz, 2000). 이렇듯, 내음성은 삼림 군락에서 극성상 수종으로 발달하는데 주요 결정요인이 되는데 그 능력은 수종에 따라서 크게 다르다. 내음성 정도의 차이는 입관상에서 빛을 어떻게 이용하느냐가 관건인데, 빛의 효율적인 사용을 위하여 잎의 구조나 생리학적 특징들을 변화시키는 등(Makino *et al.*, 1997; Valladares *et al.*, 2000; Hansen *et al.*, 2002), 잎의 광합성 특징의 순화정도에 의해서 결정되어진다(Terashima and Hikosaka, 1995).

먼나무는 제주도와 보길도의 표고 700 m 이하에서 자생하는 상록 활엽교목으로 내한성은 약하지만, 양지와 음지 모두에서 자라는 중용수이다. 내조성이 강해서 해변에서 피해가 없으며 대기오염에 강하여 도심지에서도 식재할 수 있는 특징을 가지고 있다. 붓순나무 역시 제주도가 자생지이며 먼나무와 마찬가지로 표고 700 m 이하의 산지에서 자라는 상록활엽소교목으로 내한성이 약해서 연평균기온이 12°C 이상인 전라도와 경상도 이남에서만 생육이 가능하다. 바위틈이나 다소 습기가 적은 곳에서도 잘 자라고 햇볕이 강한 곳보다는 약간 그늘진 곳에서 잘 자란다. 수피와 열매에 특유의 향기가 있어 향료로도 사용이 되며, 관상적 가치가 높아 남부지방의 정원수로 적합하다(Jo, 1989).

본 연구는 양지와 음지에서 모두 잘 자라는 중용수인 먼나무와 음수인 붓순나무를 대상으로 서로 다른 빛 조건이 주어졌을 때, 반응하는 광합성특성을 알아보기 위해서 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료 및 광도

공시재료는 난대산림연구소에 식재되어 있는 먼나무 3년생 실생묘와 붓순나무 2년생 실생묘를 플라스틱 포트(15 cm×15 cm)에 이식하여 각각의 화분에서 자연 조건(full sunlight)과 비음처리조건에서 1년간 생육시켰다. 비음처리구는 3 m×3 m의 설치구에 차광막을 설치함으로써 빛을 차단하였다. 2005년 6월에 맑은 날 오후 1시에서 2시 사이에 7회에 걸쳐 자연조건인 전광과 비음처리구의 광도를 측정하였는데 전광은 PPFD 1600  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  인데 비하여, 먼나무와 붓순나무 묘목의 비음처리구는 PPFD 700  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 절반 정도의 광도가 차단되는 것으로 측정되었다.

### 2.2. 엽록소 함량

묘목에서 채취한 한 잎을 80% 아세톤 용액에 넣어 추출한 후, spectrophotometer(UV/Visible Diode Array, Walden Precision Apparatus Ltd., UK)를 사용하여 파장 663 nm와 645 nm에서 측정하여 다음의 식으로 환산(Arnon, 1949) 하였다.

$$\text{Chlorophyll a} = 12.7 A_{663} - 2.69 A_{645}$$

$$\text{Chlorophyll b} = 22.9 A_{645} - 4.68 A_{663} \quad (1)$$

$$\text{Total Chlorophyll}(a + b) = 20.29 A_{645} + 8.02 A_{663}$$

### 2.3. 생리적 특성

각 수종의 광합성능력(Net photosynthesis rate;  $A_n$ ), 기공증산속도(stomatal transpiration rate; E), 기공전도도(stomatal conductance;  $g_{\text{H}_2\text{O}}$ ), 엽육 세포내  $\text{CO}_2$ 농도는 Licor-6400 Portable Photosynthesis System (Li-cor Inc., USA)을 이용하여 측정하였다. 이때 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은 500  $\mu\text{mol s}^{-1}$  이며, Chamber 온도는 25°C,  $\text{CO}_2$ 농도는 400  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  습도는 60-70% RH로 조절하였다. 순광합성 능력은 광도를 PPFD 0, 50, 100, 300, 500, 800, 1000, 1500, 2000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 변화를 주어 Light curve를 그려 각 지점의 광합성 특성을 비교하였다.

수분이용효율은 광합성능력/증산량(Ashraf *et al.*, 2002)으로 계산하였다. 수분이용효율의 계산에 사용한 광합성능력과 증산량은 PPFD 1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  광도에서 측정하였다

광합성의 양자수율은 광화학 산물의 수/흡수한 총 양자수(Lincoln and Eduardo, 2000)로서, Light curve의 광포화점에 이르기 전 선형적으로 비례하는 부분의 초기기울기이다. 기울기는 PPFD 100  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  이하에서 광도와 광합성율간의 직선 회귀식을 구하여 산출하였다(Hattenschwiler, 2001; Kim *et al.*, 2001). 이 직선회귀식  $y = a + bx$ 의 x절편은 광보상점( $L_{\text{comp}}$ ), 광도가 0 일 때, 직선 회귀식과 맞닿는 y 절편인 a는 암호흡( $D_{\text{rep}}$ )으로 하였다(Kim *et al.*, 2001; Muraoka *et al.*, 2003).

## III. 결 과

### 3.1. 엽록소 함량

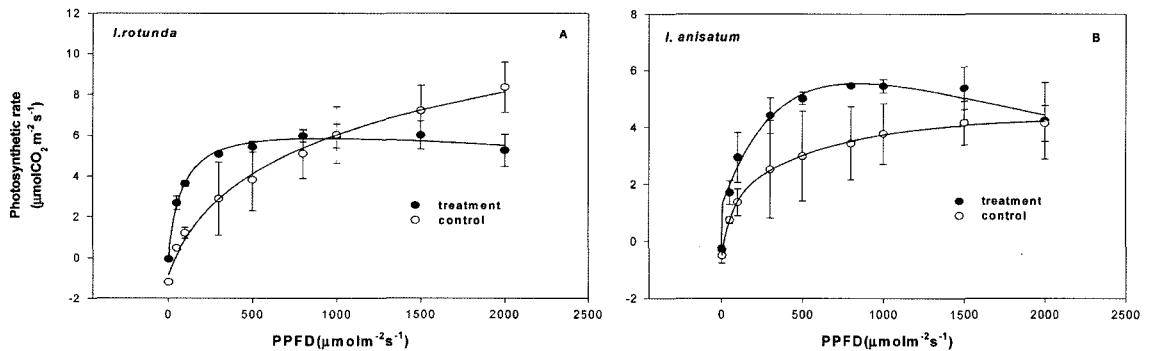
먼나무(*I. rotunda*)는 낮은 광도(비음처리구)에서 높

**Table 1.** Chlorophyll(Chl) contents of *I. rotunda* and *I. anisatum* seedlings grown under high (PPFD 1600  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) and low light intensity (PPFD 700  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Values are means ( $\pm$  SD) of 3 replicates. ANOVA had been followed by T tests (LSD). A different letter indicates significant difference at  $P \leq 0.05$

	I. rotunda		I. anisatum	
	Low (Shading)	High (Full sunlight)	Low (Shading)	High (Full sunlight)
Chl a ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$ )	11.2 a ( $\pm 0.8$ )	7.7 b ( $\pm 1.6$ )	7.1 b ( $\pm 2.3$ )	0.8 c ( $\pm 0.1$ )
Chl b ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$ )	4.1 a ( $\pm 0.3$ )	2.3 b ( $\pm 0.3$ )	2.8b ( $\pm 0.9$ )	0.3 c ( $\pm 0.1$ )
Chl a+b ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$ )	15.3 a ( $\pm 1.2$ )	10.0 b ( $\pm 1.8$ )	9.9b ( $\pm 3.2$ )	1.1 c ( $\pm 0.1$ )
Chl a : b ratio	2.7 ab ( $\pm 0.0$ )	3.3 a ( $\pm 0.5$ )	2.6b ( $\pm 0.1$ )	2.4 b ( $\pm 0.6$ )

은 광도(전광)에 비하여 높은 엽록소 함량(Chlorophyll a, Chlorophyll b, Total Chlorophyll a+b)을 나타냈으며, 붓순나무(*I. anisatum*) 역시 마찬가지로 높은 광

내음성이 강한 붓순나무가 먼나무에 비하여 광도변화에 따른 적응성이 낮다는 것으로 해석될 수 있다.



**Fig. 1.** Light response curve of photosynthesis in leaves of *I. rotunda* (A) and *I. anisatum* (B) seedlings grown under shading treatment (50% of the full sunlight: ●) and full sunlight (○). Measurements were made at a chamber temperature of 25°C, ambient CO<sub>2</sub> pressures 400  $\mu\text{bar}$ , flow rate of 500  $\mu\text{bar}$  and 60-70% RH.

도에 비하여 낮은 광도에서 높은 엽록소 함량(chl. a, chl. b, chl. a+b)을 나타냈다(Table 1). 한편, 높은 광도에서 엽록소 함량이 감소하는 경향은 비슷하게 나타났지만, 높은 광도와 낮은 광도에서의 엽록소 함량의 차이는 먼나무에 비하여 붓순나무에서 더 크게 나타났다. 낮은 광도에 비하여 높은 광도에서의 총 엽록소 함량은 먼나무가 34% 감소하였는데 반하여, 붓순나무의 경우 88%정도로 크게 감소하였다. 엽록소 a와 b도 각각 먼나무에서는 35%, 43%로 감소했으며, 붓순나무에서는 89%, 88%의 감소율이 나타나, 광도의 차이가 엽록소 함량의 차이를 보이게 하는 요인임을 알 수 있다. 또한, 그 수준 차이가 먼나무에 비하여 내음성이 강한 붓순나무가 더 크게 나타났는데, 이는

### 3.2. 광화학계의 변화

광도에 따른 광합성율의 변화는 먼나무의 경우 PPFD 1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 를 기점으로 달라지는데, PPFD 1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  이하일 때는 처리구인 낮은 광도에서 더 높은 광합성율을 나타냈지만, PPFD 1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  이상일 때 처리구가 자연조건인 전광일 때에 비하여 낮은 광합성율을 나타냈다(Fig. 1A). 즉, 초기에는 비음처리구에서의 광합성율이 높게 나타나지만, 일정 이상의 광도가 되면 광도 증가에 따른 자연조건에서의 광합성율 증가정도에 비해, 비음처리구에서는 큰 변화가 나타나지 않음을 알 수 있다. 붓순나무의 경우, 초기의 낮은 광도에서 비음처리구가 자연조건에 비하여 높은 광합성율을 나타내는 것은 비

숫하지만, 먼나무와 달리 모든 광도조건에서 비음처리구가 자연조건에 비하여 높은 광합성율을 나타내었다. 또한, 자연조건에서의 광합성율은 광도가 증가함에 따라 조금씩 증가하는 경향을 나타내는 것에 비하여, 비음 처리구에서는 일정 광도 약  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  이상의 광도에서 차츰 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 1B). 따라서 엽록소 함량과 마찬가지로 내음성 정도가 다른 두 수종의 광화학적 변화도 다르게 나타남을 알 수 있었다.

광보상점( $L_{\text{comp}}$ )과 암호흡( $D_{\text{res}}$ ) 그리고, 탄소고정계의 활성정도를 나타내는 순양자수율( $\Phi$ )을 살펴보면, 순양자수율을 제외하고 두 수종 모두 비음 처리구에 비하여 자연조건에서의 값이 모두 높게 나타났다(Table 1). 낮은 광도조건에 비해 높은 광도조건일 때 먼나무의 광보상점과 암호흡은 각각 88%, 78%정도 증가하였고, 순양자수율은 42%정도 감소하였다. 붓순나무의 경우 광보상점과 암호흡은 높은 광도일 때 낮은 광도에 비하여 각각 79%, 71%정도 증가하였으며, 순양자수율은 37%정도 감소하였다. 또한, 먼나무와 붓순나무는 낮은 광도에서는 광보상점( $L_{\text{comp}}$ )과 암호흡( $D_{\text{res}}$ ) 그리고 순양자수율( $\Phi$ )이 큰 차이 없이 비슷한 값을 나타내지만, 높은 광도에서 먼나무가 붓순나무에 비해 광보상점( $L_{\text{comp}}$ )과 암호흡( $D_{\text{res}}$ )이 전반적으로 높은 값을 나타내었다.

### 3.3. 엽록 세포내 $\text{CO}_2$ 농도

광도변화에 따른 엽록 세포내  $\text{CO}_2$  농도는 먼나무의 경우 비음처리구가 자연조건에 비하여 높은 농도 값을 나타냈다. 이와 반대로 붓순나무의 경우 비음처리구에서 자연조건에 비하여 낮은 엽록 세포내  $\text{CO}_2$  농도를 나타냈으며, 광도가 증가함에 따라 엽록 세포내  $\text{CO}_2$  농도가 증가하는 경향을 보였다. 내음성 정도가 서로 다른 두 수종이 광도에 따라 다른 적응 정도를 보이고 있음을 알 수 있다.

### 3.4. 수분이용효율

광도에 따른 수분이용효율은 두 수종 모두 광합성율과 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 3). 먼나무의 경우 수분이용효율이 광합성과 마찬가지로 PPFD  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 를 기점으로  $1000 \text{ PPFD}$  이하에서는 비음처리구에서 높은 수분이용효율을 나타냈지만, PPFD  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  이상의 광도에서는 자연조건에서의

수분이용효율이 비음 처리구에 비하여 높게 나타났다. 붓순나무의 경우 모든 광도에서 비음처리구에서의 수분이용효율이 자연조건에 비하여 높게 나타났으며, 비음 처리구의 경우 초기에 급격하게 수분이용효율이 증가하였지만, 점차 광도가 증가함에 따라 차츰 감소하는 경향을 나타내었다.

## IV. 고 찰

### 4.1. 광합성 기구의 순화

각 수종마다 광도에 대해서 다른 생리적 특성을 나타낸다(Hikosaka and Terashima, 1996). 낮은 광도에서 빛을 더욱 효율적으로 이용하기 위해 순화된 내음성 수종은 음수의 특성을 가지며, 광합성기구나 형태적인 발달이 적은 양의 광양자로 최대의 효율을 낼 수 있는 음수의 특성을 지니고 있다(Terashima and Hikosaka, 1995). 먼나무는 중용수로서 낮은 광도에서나 높은 광도에서나 특별히 저해를 받지 않고 잘 생장하는 수종이다. 이에 반해 붓순나무는 낮은 광도에서 더 잘 적응하는 특징을 가진다.

### 4.2. 순화된 광합성계의 광도변화에 따른 반응

엽록소 함량은, 두 수종 모두 자연조건 즉 높은 광도조건에서 비음처리를 한 것에 비하여 낮은 엽록소 함량(a, b, a+b)을 나타냈다(Table 1). 높은 광도일 때는 굳이 엽록소 함량을 늘여 광합성에 유효한 빛을 더 많이 받기 위한 노력을 하지 않아도 되기 때문에, 일반적으로 낮은 광도조건에서는 높은 광도조건에 비하여 엽록소 함량이 낮게 나타난다(Hansen *et al.*, 2002). 한편, 두 수종간에 서로 다른 광도에서의 잎내 엽록소 함량들의 차이는 먼나무에서 보다 붓순나무에서 더 크게 나타나, 광도변화에 따른 적응력에 있어서 먼나무가 붓순나무에 비하여 유연성이 높음을 알 수 있다.

광도에 따른 광합성율의 변화를 보면 비음처리구에서 생육된 붓순나무는 모든 광도에서 높은 광합성율을 나타낸 것과 달리(Fig. B), 먼나무의 경우 PPFD  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 를 기점으로 비음처리구와 자연조건 사이에 광합성율의 변화양상이 달라졌다. PPFD  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  이하에서 비음처리구가 자연조건인 대조구에 비하여 높은 광합성효율을 나타낸 것에 비해, PPFD  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  이상의 고광의 조건에서 비

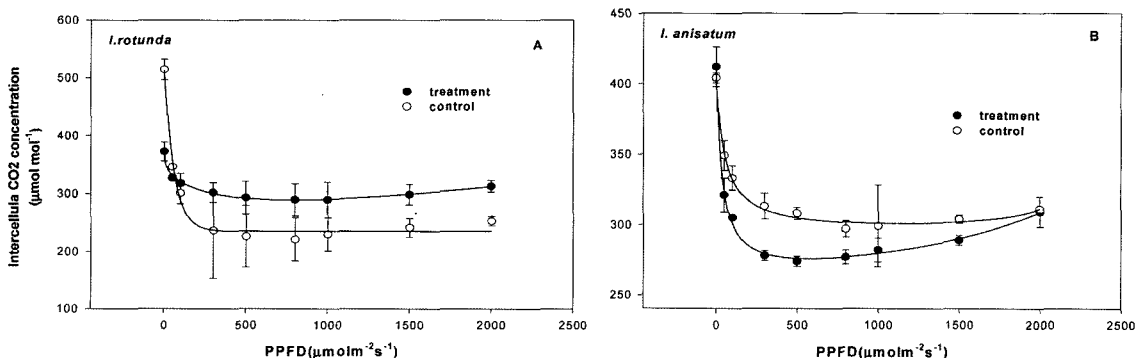
**Table 2.** Light compensation point ( $L_{comp}$ ), dark respiration ( $D_{res}$ ) and apparent quantum yield( $\Phi$ ) calculated from the light response curves to photosynthesis in Figure 1. Values are means ( $\pm$ SD) of 3 replicates. ANOVA had been followed by T tests (LSD). A different letter indicates significant difference at  $P \leq 0.05$

	<i>I. rotunda</i>		<i>I. anisatum</i>	
	Low (Shading)	High (Full sunlight)	Low (Shading)	High (Full sunlight)
$L_{comp}$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	5.3c ( $\pm 1.7$ )	44.2a ( $\pm 2.2$ )	5.3c ( $\pm 4.5$ )	26.1b ( $\pm 2.4$ )
$D_{res}$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	0.23a ( $\pm 0.1$ )	1.06c ( $\pm 0.1$ )	0.15a ( $\pm 0.1$ )	0.52b ( $\pm 0.1$ )
$\Phi$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ )	0.0423a ( $\pm 0.0$ )	0.0240b ( $\pm 0.0$ )	0.0322ab ( $\pm 0.0$ )	0.0201b ( $\pm 0.0$ )

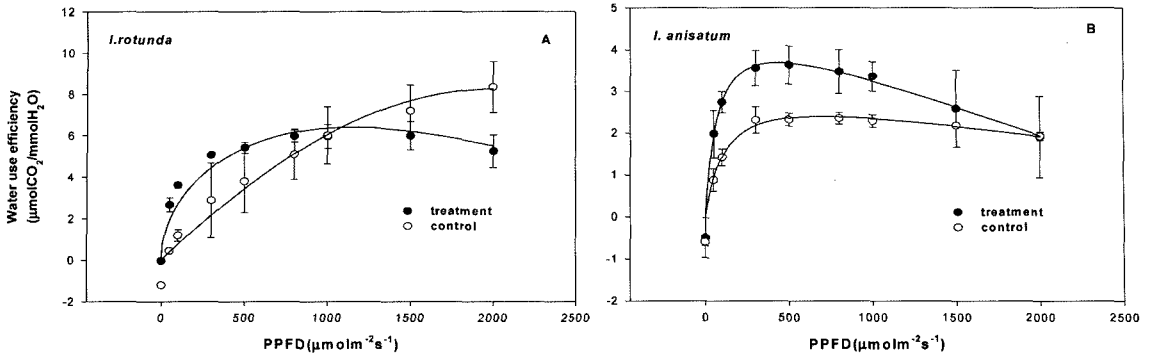
음처리구에서 생육된 먼나무는 더 이상의 변화가 없었다. 이에 반하여 자연조건에서 자란 먼나무의 광합성율은 계속적으로 증가하는 것을 볼 수 있었다(Fig. 1A). 잎에서 이루어지는 광합성 작용은 식물이 자라는 빛의 정도에 따라 크게 영향을 받는다. 일반적으로 높은 광도에서 자란 식물들은 빛의 세기가 강한 곳에서 높은 광합성율을 나타내고 낮은 광도에서 자란 식물들은 상대적으로 낮은 빛의 세기에서 높은 광합성 효율을 나타낸다(Makino *et al.*, 1997). 먼나무는 중용수로서 광도변화에 따라 광합성계가 적극적으로 반응하는 적응성을 보였다. 이에 반해 내음성이 강한 붓순나무는 기존의 적은 양의 빛을 이용하여 물질대사를 하던 광합성 기구에 광화학계가 수용할 수 있는 빛을 초과하여 포획되어지는 높은 광도에 의해 광억제 작용이 일어나 자연조건(full sunlight)에서 비음처리구에 비하여 낮은 광합성율을 나타내는 것으로 해석된다(Valladares and Percy, 1997; Kitao *et al.*, 2000). 암호흡과 광보상점 같은 광합성 특성은 낮은 광 수준

에서 식물의 내성을 결정짓는 중요한 역할을 한다(Walters and Reich, 1999). 잎관의 하부에서 빛을 이용하는 광합성 순화는 엽면적당 최대 탄소를 얻는 것이 중요하기(Terashima and Hikosaka, 1995) 때문에, 일반적으로 음엽들은 양엽에 비하여 낮은 광보상점과 높은 양자수율을 가진다. 이러한 특징은 그늘진 조건에서 분포하는 수종들이 생존을 위하여 자신들을 순화시키는 적응력 강화의 반응으로 볼 수 있다((Muraoka *et al.*, 2003).

Valladares *et al.*(2002)는 자연조건(full sunlight)하에서 내음성 수종인 Beech 유묘가 중용수인 Oak에 비하여 광저해 현상이 두드러지며, 낮은 광합성율과 낮은 순양자수율을 보였다고 보고하였다. 먼나무와 붓순나무를 자연조건(full sunlight)과 비음처리를 했을 때, 두 수종 모두 자연조건이 비음처리구에 비하여 광보상점( $L_{comp}$ )과 암호흡( $D_{res}$ )이 높았고, 순양자수율( $\Phi$ )은 비음 처리구가 더 높게 나타나(Table 2) 낮은 광도에서 수목의 일반적인 광합성 특징을 보였다. 한편,



**Fig. 2.** Light response curve of intercellular CO<sub>2</sub> concentration in leaves of *I. rotunda* (A) and *I. anisatum* (B) seedlings grown under shading treatment (50% of the full sunlight: ●) and full sunlight(○). Measurements were made at a chamber temperature of 25°C, ambient CO<sub>2</sub> pressures 400 μbar, flow rate of 500 μbar and 60-70% RH.



**Fig. 3.** Light response curve of water use efficiency in leaves of *I. rotunda* (A) and *I. anisatum* (B) seedlings grown under shading treatment (50% of the full sunlight: ●) and full sunlight (○). Measurements were made at a chamber temperature of 25°C, ambient CO<sub>2</sub> pressures 400 µbar, flow rate of 500 µbar and 60-70% RH.

같은 광도에서 먼나무와 붓순나무 두 수종간의 차이가 있었는데 비음 처리구에서는 광보상점과 암호흡, 양자수율의 차이가 거의 없었던 것에 비하여 자연조건(full sunlight)일 때, 먼나무가 붓순나무에 비하여 광보상점과 암호흡이 높은 값을 나타냈다. 내음성 수종과 내음성이 약한 수종을 비슷한 성장조건에 놔두면 종종 내음성 수종이 내음성이 약한 수종에 비하여 낮은 광보상점을 가질 수 있는데(Lusk, 2002), 이것은 내음성 수종의 낮은 광도에서 순화된 광합성 특징에서 그 원인을 찾을 수 있다. Fig. 2에서 보면 중용수인 먼나무가 자연조건일 때 탄소고정이 활발히 일어나는 것에 비해 붓순나무는 엽육 세포내 CO<sub>2</sub> 농도가 비음 처리구에서 더 낮게 나타나 비음 처리구에서 더 활발한 광합성작용이 일어나고 있음을 뒷받침 한다.

한편, 수분이용효율은 광합성율과 마찬가지로(Fig. 1) 먼나무의 경우 PPFD 1000 µmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>를 기점으로 그 이상의 광도에서는 자연조건에서 자란 먼나무가 높게 나타났으며, 그 이하에서는 비음 처리구에서 자란 것이 높게 나타났다(Fig. 3A). 그리고 붓순나무는 비음처리구에서 자란 것이 모든 광도에서 자연조건(full sunlight)에 비해 높은 수분이용효율을 보임으로서(Fig. 3B), 먼나무가 붓순나무에 비하여 광도변화에 따른 광합성 기구의 변화가 유동적으로 작용하고 있다는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과들을 종합해 보면, 중용수의 특징을 가지고 있는 먼나무와 내음성이 강한 음수인 붓순나무에 광도변화를 주었을 때, 순화된 그들의 반응구조들로 인하여 서로 다른 반응을 나타내는 것을 알 수 있었다. 즉 먼나무는 광도 변화에 따라 생존에 더 유리한

방향으로 광합성 기구를 유동적으로 작용하는 것을 볼 수 있었다. 반면, 내음성이 강한 붓순나무는 순화된 광합성 기구 체계로 인하여 광도변화에 민감하게 반응하지 않고, 기존의 생리적 특징들이 유지되었음을 알 수 있었다. Hikosaka and Terashima(1996)에서 양수는 매우 낮은 광에서의 적절한 광합성 성분의 기관조절 능력이 부족하다는 생리적 특징을 볼 수 있는데, 어떤 특정한 분포지에서 순화된(특히, 빛 이용의 조절 능력에 있어서) 식물의 경우 환경의 변화에 대한 감수성이 낮게 나타남을 의미하는 것으로 본 실험결과와 붓순나무 반응도 이와 비슷하였다.

## 적 요

내음성정도가 서로 다른 두 수종 먼나무와 붓순나무를 대상으로 높은 광도조건인 자연상태와 낮은 광도조건인 비음 처리구로 나누어, 두 수종간의 적응 반응을 비교하였다. 두 수종의 묘목을 처리구에서 각각 1년간 비음처리하였을 때, 엽록소합량과 광합성계, 엽육 세포내 CO<sub>2</sub>농도, 수분이용효율의 특성을 조사하였다. 엽록소 함량은 두 수종모두 자연조건(full sunlight)일 때, 비음처리구에 비하여 낮은 엽록소 함량들(Chl a, Chl b, Chl a+b)을 나타냈으며, 붓순나무에서 특히 자연조건과 비음 처리구간의 엽록소 함량의 차이가 크게 나타났다. 한편, 중용수인 먼나무는 PPFD 1000 µmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> 이상 일 때, 자연조건(full sunlight)에서 높은 광합성율과 높은 수분이용효율을 보였지만, PPFD 1000 µmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> 이하에서는 비음처리구에서 자연조건에 비해 더 높은 광합성율과, 수분이용효율을

나타냈다. 이에 반해 붓순나무는 모든 광도에서 비음처리를 하지 않은 묘목이 비음처리를 한 묘목에 비해 낮은 광합성율과 수분이용효율을 나타냈다. 먼나무가 탄력적으로 광도변화에 따라 유동성 있는 반응을 보이는 것에 비해 내음성이 강한 붓순나무는 광환경 변화에 따른 민감성이 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- Amon, D. I., 1949: Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol-oxidase in *Betula vulgaris*. *Plant Physiology* **24**, 1-15.
- Ashraf, M., M. Arfan, M. Shahbaz, M. Ahmad, and A. Jamil, 2002: Gas exchange characteristics and water relations in some elite skra cultivars under water deficit. *Photosynthetica* **40**(4), 615-620.
- Catovsky, S., and F. Bazzaz, 2000: The role of resource interaction and seedling regeneration in maintaining a positive feedback in hemlock stands. *Journal of Ecology* **88**, 100-112.
- Hansen, U., B. Fiedler, and B. Rank, 2002: Variation of pigment composition and antioxidative systems along the canopy light gradient in a mixed beech/oak forest: a comparative study on deciduous tree species differing in shade tolerance. *Tree* **16**, 354-364.
- Hattenschwiler, S., 2001: Tree seedling growth in natural deep shade: functional traits related to interspecific variation in response to elevated CO<sub>2</sub>. *Oecologia* **129**, 31-42.
- Hikosaka, K., and I. Terashima, 1996: Nitrogen partitioning among photosynthetic components and its consequence in sun and shade plants. *Functional Ecology* **10**, 335-343.
- Jo, M. H., 1989: Coloured woody plants of Korea. Academybook, 152-300
- Kim, P. G., Y. S. Yi, D. J. Chung, S. Y. Woo, J. H. Sung, and E. J. Lee, 2001: Effects of light intensity of photosynthetic activity of shade tolerant and intolerant tree species. *Journal of Korean Forest Society* **90**(4), 476-487.
- Kitao, M., T. T. Lei, T. Koike, H. Tobita, and Y. Maruyama, 2000: Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes. *Plant, Cell and Environment* **23**, 81-89.
- Lincoln, T., and Z. Eduardo, 2000: *Plant Physiology* (3rd ed). Sinauer Associates Inc., 112-115.
- Lusk, C. H., 2002: Leaf area accumulation helps juvenile evergreen trees tolerate shade in a temperate rainforest. *Oecologia* **132**, 188-196.
- Makino, A., T. Sato, H. Nakano, and T. Mae., 1997: Leaf photosynthesis, plant growth and nitrogen allocation in rice under different irradiances. *Planta* **203**, 390-398.
- Muraoka, H., H. Koizumi, and R. W. Pearcy, 2003: Leaf display and photosynthesis of tree seedlings in a cool-temperate deciduous broad leaf forest understory. *Oecologia* **135**, 500-509.
- Oliver, C. D., and B. C. Larson, 1996: *Forest Stand Dynamics*. John Wiley & Sons Inc., 22pp.
- Terashima, I., and Hikosaka, K. 1995: Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis. *Plant, Cell and Environment* **18**, 1111-1128.
- Valladares, F., S. J. Wright, E. Lasso, K. Kitajima, and R. W. Pearcy, 2000: Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. *Ecology* **81**, 1925-1936.
- Valladares, F., and R. W. Pearcy, 1997: Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant, Cell and Environment* **20**, 25-36.
- Valladares, F., J. M. Chico, I. Aranda, L. Balaguer, P. Dizengremel, E. Manrique, and E. Dreyer, 2002: The greater seedling high-light tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity. *Tree* **16**, 395-403.
- Walters, M. B., and P. B. Reich, 1999: Low-light carbon balance and shade tolerance in the seedlings of woody plants: Do winter deciduous and broad-leaved evergreen species differ? *New Phytologist* **143**, 143-154.