

## 상이한 피음조건에서 자라는 3개 활엽수의 생리적 반응

김길남<sup>1</sup> · 조민석<sup>2\*</sup> · 이수원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 산림자원학전공, <sup>2</sup>국립산림과학원 산림생산기술연구소

## Physiological Responses of the Three Deciduous Hardwood Seedlings Growing Under Different Shade Treatment Regimes

Gil Nam Kim<sup>1</sup>, Min Seok Cho<sup>2\*</sup>, and Soo Won Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

**Abstract.** This present study was conducted to investigate photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence, chlorophyll contents of *Betula platyphylla* var. *japonica*, *Prunus leveilleana*, *Magnolia sieboldii*, growing under four different light intensity regimes (full sun, and 64~73%, 35~42%, 9~16% of full sun). As result, *Betula platyphylla* var. *japonica* showed outstanding photosynthetic capacity and apparent quantum yield in full sun and showed low shade tolerance. *Prunus leveilleana* showed good photosynthetic capacity and apparent quantum yield in 64~73% or 35~42% of full sun and showed common shade tolerance. However, *Magnolia sieboldii* showed good photosynthetic capacity and apparent quantum yield in 35~42% of full sun, while the lowest in full sun. *Magnolia sieboldii* showed the highest shade tolerance compared to the other species. As the shading level increased, the total chlorophyll contents of all species increased with significant difference.

**Key words :** chlorophyll fluorescence, chlorophyll contents, photosynthetic capacity, shade tolerance

### 서 론

산림은 안정적이고 지속적으로 이용 가능한 이상적인 입체적 구조의 복층림을 조성하기 위해서는 종의 다양성이 유지되는 수평적 구조와 입관이 다층으로 이루어진 수직적 구조로의 유도가 필요하다. 이러한 입체적 구조를 가진 산림을 조성 및 유지·관리하기 위해서는 입분의 광 환경과 입분을 구성하는 수목의 내음성 기작과 생육 단계에 따른 내음성 수준의 변화를 이해하여야 한다.

산림생태계는 입지 내에서 생육하는 산림식물과 토양, 기후 등의 환경인자들이 서로 상호작용을 하면서 역동적인 변화를 보인다. 특히, 광 환경은 수목의 대사 활동에 많은 영향을 미치는 무기환경인자로서 입분 내로 투과되는 광의 양과 질은 수목의 광합성, 호흡작용,

엽록소 함량 등에 매우 큰 영향을 미친다(Kwon 등, 2000; Kim, 1986; Kozlowski 등, 1991). 이 때문에 입지의 특성에 따른 수목과 무기환경과 관련된 생리·생태학적 연구는 산림의 생산성을 향상시키기 위한 종합적인 정보 구축 및 기술 개발을 위해 필요하다.

입지의 생산성 향상을 위한 천연림과 인공림의 갱신 및 무육관리 과정에서 입분 내 광 환경은 중요한 제한인자가 될 수 있다. 그러나 복잡한 입체적 구조를 가진 산림에서 광 환경은 수종, 입령, 입분 밀도, 입분 구조 등에 따라 매우 큰 차이가 나타나며, 이 때문에 입분 내 광 환경이 수목에 미치는 영향을 정확히 파악하기는 어렵다(Kwon 등, 1996; Han과 Kim, 1989; Holmes와 Smith, 1975).

수목이 군락을 이루고 있을 때, 하층에 도달하는 빛의 수준은 매우 적으며 군락의 하층에 도달하는 빛은 상부와 비교하였을 때, 광도가 낮아질 뿐만 아니라, 광질도 달라지게 된다(Makino 등, 1997). 우선 입분의 광 환경을 살펴보면, 입관의 상부는 전천광을 그대로

\*Corresponding author: gungdong@hanmail.net  
Received February 22, 2010; Revised March 2, 2010;  
Accepted March 5, 2010

수광하고 있으나, 임관을 통과하면서 식물의 광합성에 효율적인 적색광과 청색광 영역의 빛이 흡수, 이용된다. 따라서 치수가 생육하는 임상에 도달한 광은 상층목이 수광하는 노천광에 비하여 광도가 현저하게 저하되어 있다(Inada, 1980; Smith, 1995).

임상의 광 환경에서는 내음성 수준이 낮은 수종은 엽록소함량이 감소하고, 빛 흡수율과 광합성의 저하로 생장이 불량하게 된다(Kim 등, 2001; Kim과 Lee, 2001b). 반면 내음성이 높은 수종 또는 중용수는 잎의 두께가 얇아지고, 면적이 넓어지는 형태적 변화가 나타나 수광량이 증대된다(Kwon 등, 1996). 그리고 생장에 필요한 에너지를 생산하는 광합성에서는 암반응을 담당하는 탄소고정계의 효소와 활성이 저하하며, 명반응을 담당하는 광화학계의 색소와 활성이 증가하는 생화학적 변화가 나타나, 광합성에 대한 흡수된 빛의 이용 효율이 증가된다. 이러한 현상은 낮은 광도조건에 적응하여 생존할 수 있는 내음성의 기작이 된다(Terasima와 Hikosaka, 1995). 또한 광도변화에 대한 형태적·생화학적 변화는 광합성 특성을 나타내는 광-광합성곡선에 반영되어, 암호흡속도, 광보상점, 광포화점, 최대광합성 속도, 순양자수율(apparent quantum yield)을 변화시킨다(Kim과 Lee, 2001a; Terashima와 Evans, 1988). 그리고 빛의 이용효율에 영향을 미치는 엽록소 형광반응과 엽록소 a, b의 함량 및 이들의 성분비 변화를 초래한다(Kim과 Lee, 2001b). 따라서 광도저하에 대한 광합성 특성과 광합성색소의 함량변화는 수목의 내음성 수준을 나타내는 하나의 지표가 된다(Woo 등, 1999; Kimmins, 1997).

광도가 수목에 미치는 생리·생태학적 영향을 구명하고자 하는 연구와 수종별 내음성 기작 및 수준에 관한 연구는 지속적으로 이루어졌고, 많은 결과가 보고되고 있지만 숲의 생태환경과 수종 구성이 상이한 우리나라의 산림에 국외의 연구결과를 그대로 적용하기는 곤란하며, 우리나라 수종에 대한 별도의 생리·생태학적 세부 연구는 지속적으로 조사될 필요가 있다(Cho, 2008).

본 연구에서는 서로 상이한 광도에서 자란 자작나무, 개벚나무, 함박꽃나무를 대상으로 광합성 특성, 엽록소 형광반응 및 엽록소 함량변화를 조사하여 광도와 관련된 생리·생태학적 특성, 즉 내음성 지표를 조사하고자 연구를 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시수종 및 피음 처리 방법

#### 1) 공시수종

본 연구를 실시하기 위해 사용된 수종은 북부지방산림청 용문 양묘사업소에서 분양받은 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica*) 1-1묘와, 개벚나무(*Prunus leveilleana*), 함박꽃나무(*Magnolia sieboldii*) 1-0묘의 3수종을 이용하였다.

#### 2) 피음 처리 방법

시험지는 대전광역시 유성구 궁동에 위치한 충남대학교 농업생명과학대학 묘포장으로 2007년 4월에 피음 처리를 위한 포장을 조성한 후, 15cm × 15cm 간격으로 수종별, 처리별로 각각 4개 plot에 15주씩 총 60주의 묘목을 반복 식재하였다. 실험대상 수종을 6월 초까지 무피음 하에서 정상적인 생리 상태를 회복할 때까지 활착시킨 후, 차광률이 서로 다른 검정색 차광막을 이용하여 피음 수준을 전광 처리구(상대투광율; 100%), 약피음 처리구(상대투광율; 64~73%), 보통피음 처리구(상대투광율; 35~42%), 강피음 처리구(상대투광율; 9~16%)의 4단계로 하는 인위적인 피음 처리를 실시하였다. 2007년 처리 1년차의 모든 측정이 끝난 후 10월 초 차광막을 제거하였으며, 2008년 6월 초 다시 차광막을 이용하여 피음 처리를 실시하였다.

시험지의 피음 처리에 따른 주요 환경인자를 알아보기 위하여 휴대용 광량측정기(Li-250, LI-COR Inc., USA)와 온습도계(HM34C, Vaisala, Finland)를 이용하여 7월의 맑은 날과 흐린 날에 피음망 하부에서 2시간 간격으로 매회 20번 이상 반복 측정하였다. 피음망 하부의 광량은 지면과 수평으로 측정하였다(Fig. 1).

### 2. 광합성 특성

피음 처리에 따른 광합성 차이를 조사하기 위하여 식물별·처리별 성장속도가 비슷하고, 평균적인 생육 상태를 유지하고 있는 당년생 가지의 잎을 대상으로 처리별 총 9회에 걸쳐 연차별, 계절별로 휴대용 광합성 측정장치(Portable photosynthesis system, Li-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 측정하였다. 광도를 임의로 조절할 수 있는 LED light source(LI-6400-02, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 PPFD(Pho-

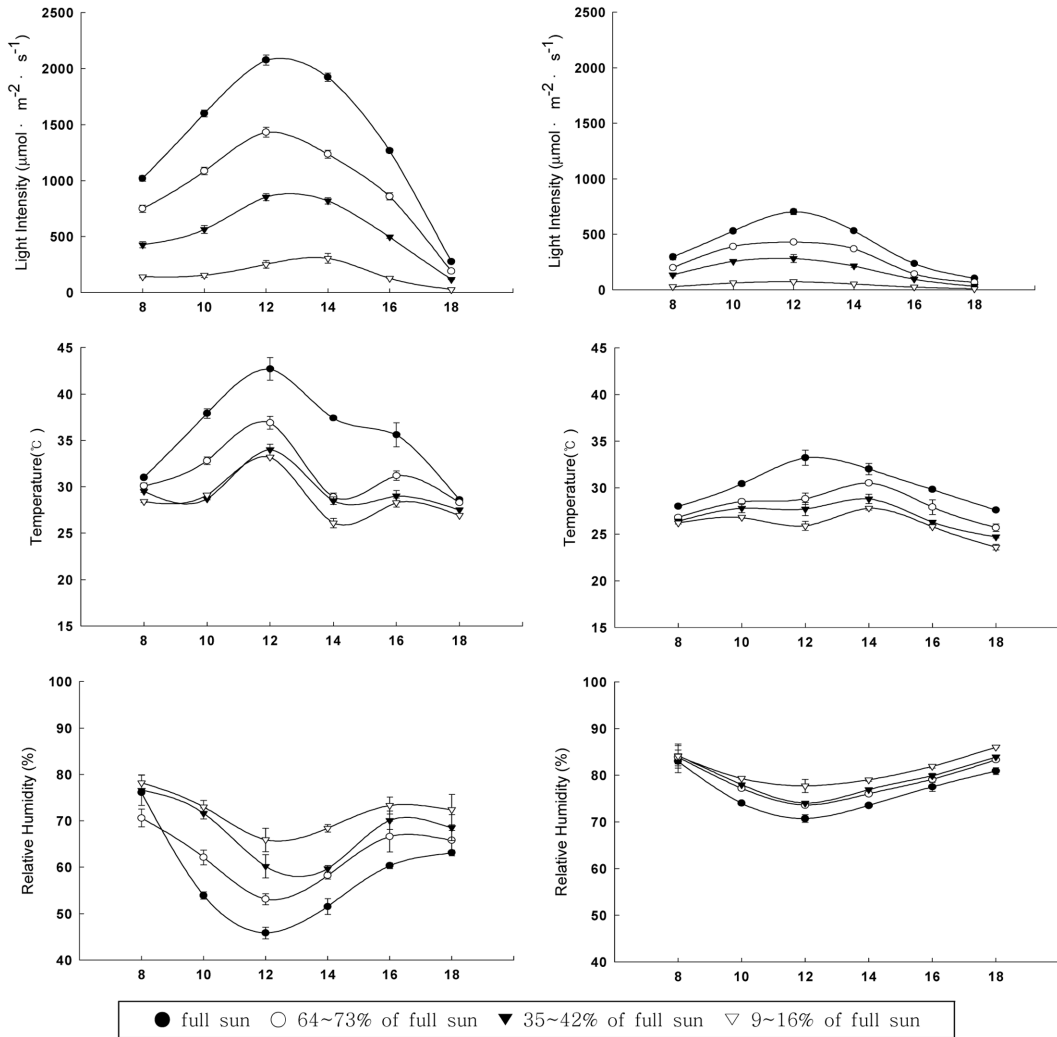


Fig. 1. Diurnal changes of light intensity, air temperature, relative humidity following shading treatments in July (left; sunny days. right; cloudy days).

tosynthetic Photon Flux Density)를 0, 25, 50, 100, 200, 500, 800, 1000, 1500, 2000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 10수준으로 차이를 두어 오전 10시부터 오후 2시까지 광합성 반응을 측정하였다. 광합성 측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ , 온도는  $25^\circ\text{C}$ 로 설정하여 외기의 환경변화로 인한 영향이 없도록 하였다. 또한 광합성 측정기에  $\text{CO}_2$  injector system(LI-6400-01, LI-COR Inc., USA)을 부착하여  $\text{CO}_2$  농도를  $400 \pm 2 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  범위 내에서 안정된 상태를 유지하도록 하였다(Kim 등, 2001; Lim 등, 2006; Choi, 2001). 광도별 광합성 속도를 측정하여 광-

광합성곡선을 작성(Sigmaplot, 2000)하고, 이 곡선에서 순양자수율(apparent quantum yield), 광보상점, 광포화점 및 이때의 광합성 능력(photosynthetic capacity) 등을 산출하였다(Kim과 Lee, 2001a; Barker 등, 1997).

### 3. 엽록소 형광반응 특성

수중별 광도 변화에 따른 엽록소 형광 반응을 조사하기 위하여 연차별, 계절별로 엽록소 형광반응 측정기(Continuous source chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 측정하였다. 형광반응 측정은 광합성 측정과 동일한 잎을 대상으로 sample

상이한 피음조건에서 자라는 3개 활엽수의 생리적 반응

clip으로 광을 차단하여 측정 전 약 20분간 측정 대상 잎을 암 조건에 적응시킨 후 측정하였다. 측정할 때는  $2000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광선을 조사하였다(Choi와 Kim, 1995; Demmig와 Björkman, 1987). 초기 형광반응 ( $F_0$ ), 최대 형광반응( $F_m$ ), 형광반응 최대 변화치 ( $F_v = F_m - F_0$ ) 및 광화학반응 효율( $F_v/F_m$ )의 변수를 측정하여 비교·분석하였다.

4. 엽록소 함량 분석

피음 처리에 따른 엽록소 함량의 변화를 조사하기 위하여 연차별, 계절별로 엽록소 함량을 분석하였다. 엽록소의 추출은 Hiscox와 Israelstam(1978)의 방법에 따라 DMSO(dimethylsulfoxide)를 추출 용매로 이용하여 엽록소를 추출하였다. 추출액을 UV-Visible spectrophotometer(Nicolet Evolution 100, Thermo Electron Co., USA)를 이용하여 663nm( $A_{663}$ )와 645nm ( $A_{645}$ )의 파장에서 흡광도를 측정하여 아래와 같은 식으로 엽록소 a와 b의 함량을 구하였다(Arnon, 1949;

Mackinney, 1941).

$$\text{Chlorophyll a}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh wt.}) = (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645})$$

$$\text{Chlorophyll b}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh wt.}) = (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663})$$

$$\text{Total Chlorophyll}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh wt.}) = (8.02 \times A_{663} + 20.20 \times A_{645})$$

피음 처리에 따른 측정결과를 분석하기 위해서 Duncan의 다중 검정법으로 피음 처리간의 유의성 분석을 실시하였다. 모든 통계분석은 PC SAS Program Version 8.2(SAS, 2000)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 광합성 특성

1) 시기별·수중별 광합성 특성

광도 변화에 따른 연차별, 계절별 세 수종의 광보상

Table 1. Estimated values of photosynthetic parameters in the three deciduous hardwood species under different shading treatment.

Species	Season	Relative light intensity (%) <sup>1</sup>	Light compensation point ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Light saturation point ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Photosynthetic capacity ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Apparent quantum yield ( $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )	
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	2007	June	A	36.0	1,648	22.8	66.5
			B	49.0	1,344	14.6	51.4
		July	B	36.6	1,188	14.0	56.7
			C	26.7	781	12.5	64.5
	September	D	22.3	711	8.0	40.3	
		A	41.5	1,688	19.0	41.8	
		B	29.5	1,031	14.0	58.0	
		C	31.6	758	12.0	60.1	
	2008	June	D	21.7	719	7.4	40.0
			A	43.7	1,422	17.0	63.3
			B	39.8	1,000	6.6	36.9
			C	32.6	422	5.9	49.6
		July	D	22.2	391	4.3	34.1
			A	27.3	1,102	13.8	59.2
			B	35.8	1,336	11.8	52.9
			C	21.8	1,789	7.7	29.7
September	D	20.5	1,273	5.2	28.5		
	A	27.5	1,398	17.6	65.0		
	B	29.9	617	7.6	49.0		
	C	33.4	734	6.3	38.3		
D	27.4	227	3.8	43.0			

Table 1. Continued.

Species	Season	Relative light intensity (%) <sup>1</sup>	Light compensation point ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Light saturation point ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Photosynthetic capacity ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Apparent quantum yield ( $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )		
<i>Prunus leveilleana</i>	2007	June	A	26.5	984	14.6	63.4	
			July	A	42.2	898	12.0	55.6
				B	10.6	1,594	15.9	47.0
				C	36.4	922	11.0	54.4
	D	5.1		789	10.1	47.4		
	September	A	31.3	1,211	12.1	46.8		
		B	24.9	906	11.3	58.2		
		C	24.7	1,492	15.6	53.7		
		D	19.3	797	10.2	56.0		
	2008	June	A	32.3	602	4.8	32.3	
			B	21.5	523	5.0	39.5	
			C	29.4	391	3.8	31.2	
D			18.3	289	3.4	38.2		
July		A	32.6	953	8.9	43.8		
		B	33.2	1,594	15.7	45.9		
		C	38.3	1,453	10.9	39.7		
		D	29.6	508	6.0	42.2		
September		A	36.3	594	6.3	43.1		
		B	25.4	891	11.1	60.6		
		C	31.1	492	7.0	50.7		
		D	12.5	438	5.0	43.9		
<i>Magnolia sieboldii</i>	2007	June	A	10.3	414	2.7	27.3	
			July	A	17.4	1,703	6.9	30.0
				B	16.8	797	8.1	44.3
				C	14.3	711	9.4	57.4
	D	9.4		867	7.1	41.4		
	September	A	11.5	859	9.2	45.8		
		B	10.7	1,227	11.8	53.6		
		C	18.8	898	9.9	51.0		
		D	8.0	820	9.4	50.2		
	2008	June	A	18.9	234	1.6	24.4	
			B	17.7	328	2.6	21.6	
			C	10.8	195	3.3	36.6	
D			13.1	250	2.6	34.5		
July		A	16.4	234	2.7	28.5		
		B	18.1	688	6.9	42.1		
		C	15.1	891	7.3	48.0		
		D	9.5	719	6.4	33.6		
September		A	16.3	406	5.4	45.6		
		B	11.0	898	12.2	65.6		
		C	10.6	891	10.8	60.3		
		D	6.7	594	8.1	55.8		

<sup>1</sup>Relative light transmittances; A: 100%, B: 64~73% of full sun, C: 35~42% of full sun, D: 9~16% of full sun

점, 광포화점, 광합성 능력 및 순양자수율은 Table 1 과 같다.

세 수종의 생육시기별 광합성 능력은 실험 1년 차 인 2007년에 대부분 9월 > 7월 > 6월 순으로 나타났다.

상이한 피음조건에서 자라는 3개 활엽수의 생리적 반응

피음 처리 2년차인 2008년 시기별 광합성 능력은 자작나무와 개벚나무는 7월 > 9월 > 6월 순으로 2007년과는 다른 경향을 보였으며, 함박꽃나무는 9월 > 7월 > 6월 순으로 2007년과 같은 결과를 보였다. 실험 1년차에서는 이식후유증 등의 스트레스에 의해 초기 생육활동이 떨어지는 것을 알 수 있으며, 시간이 지날수록 여름에 생육활동이 가장 왕성한 것으로 판단된다. 이 결과는 소나무(Kim, 1999)와 상수리나무(Woo와 Lee, 1992)가 여름에 광합성 활동이 가장 높다는 결과와 일치하는 경향을 보인 것이다. 그러나 함박꽃나무는 다른 두 수종과는 달리 가장 늦게 생육활동이 시작하는 것으로 생각되어지며 8-9월 사이에 가장 왕성한 생육활동이 이루어졌다고 판단된다. 또한 내음성 수준에 따라 수종별 생육활동이 가장 활발한 시기가 다른 것을 알 수 있다.

전광 조건에서 생육한 실험대상 수종들 간의 광합성 능력 비교에서는 자작나무, 개벚나무, 함박꽃나무 순으로 자작나무가 가장 우수한 능력을 보였다. 특히 자작나무는 함박꽃나무에 비해 약 2배 이상의 차이를 보이며 높은 광합성 능력을 나타냈다.

순양자수율은 비교적 낮은 광 조건에서 광합성 능력의 지표가 되고 빛 에너지를 화학 에너지로 변화시키는 광화학계(photosystem)의 활성을 나타낸다(Kim 등, 2001). 수종별 순양자수율은 자작나무에서 가장 높았으며 개벚나무, 함박꽃나무 순으로 감소하였다. 이는 수종별 광합성 능력의 결과와 같은 경향으로 높은 광화학계 활성에 의해서 우수한 광합성 능력이 나타나는

것이다.

내음성 수준을 판단 할 수 있는 광보상점은 함박꽃나무가 가장 낮은 값을 보여 자작나무와 개벚나무보다 내음성이 높다고 판단된다. 이는 수종별 광합성 능력과 서로 상반되는 결과로서 내음성이 강한 식물은 낮은 광도에서 광합성에 필요한 광을 확보하기 위하여 양수성 수종과는 생리적으로 다른 특성을 나타내기 때문이다.

2) 광도 변화에 따른 수종별 광합성 특성

자작나무의 경우에 2007년 7월 피음처리에 따른 광포화점 및 광합성 능력은 전광 처리구에서 가장 우수하였으며 피음 수준이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 또한 9월에도 전광 처리구에서는 강피음 처리구보다 약 2배 이상 높은 광포화점 및 광합성 능력을 보이면서 가장 높은 값을 나타냈다. 2008년 7월에 조사된 광포화점 및 광합성 능력 또한 피음 수준이 증가할수록 감소하는 2007년과 같은 경향을 보였다. 피음 처리에 따른 순양자수율은 2007년에는 다소 불규칙한 경향을 보였지만, 2008년에는 광합성 능력과 같이 전광 처리구에서 가장 높은 값을 나타냈다. 그러나 광량이 지나치게 부족한 강피음 처리구는 나머지 세 처리구에 비해 현저히 낮은 광합성 능력을 나타냈으며, 실험의 연차가 지날수록 그 차이가 커지는 것을 볼 수 있다(Fig. 2). 이와 같은 결과를 보면 자작나무가 광선요구도보다 적은 광 환경에서 생장함으로써 광합성 능력을 점점 상실해 가는 것으로 생각된다. 이는

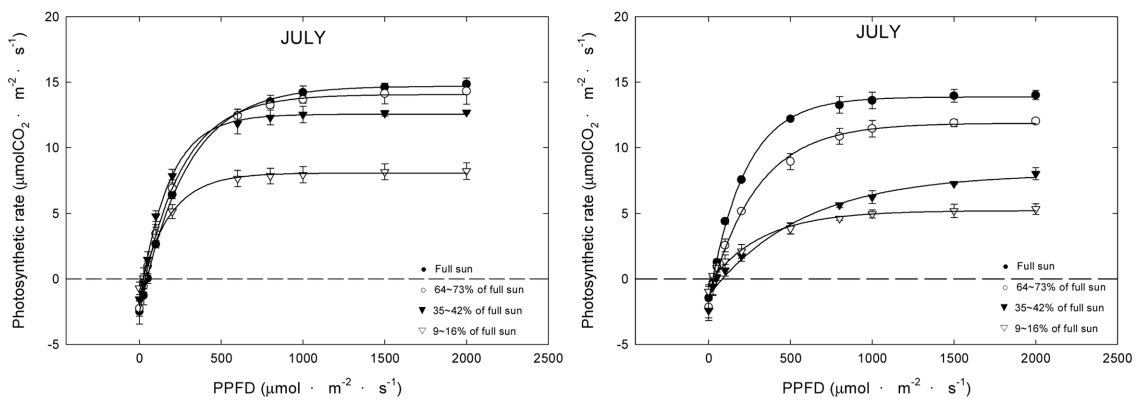


Fig. 2. Effect of shade treatment on the photosynthetic rate of *Betula platyphylla* var. *japonica* seedlings (left; 2007, right; 2008).

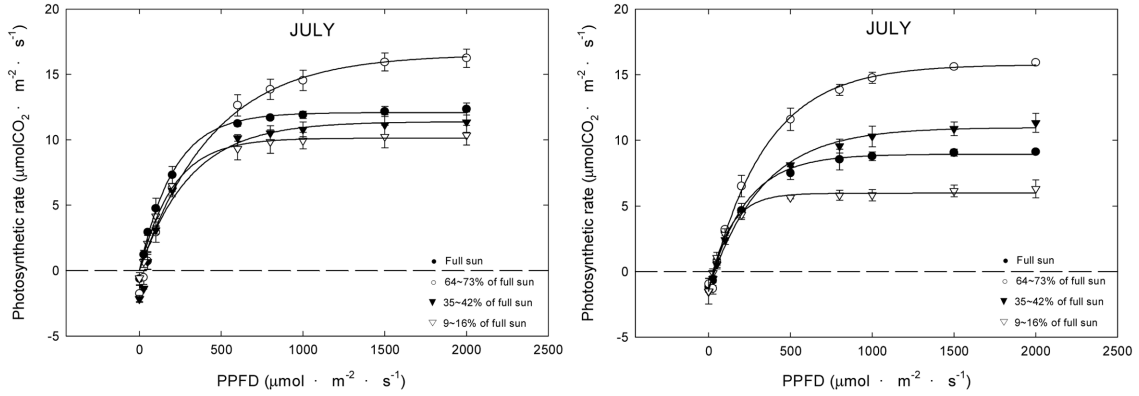


Fig. 3. Effect of shade treatment on the photosynthetic rate of *Prunus levilleana* seedlings (left; 2007, right; 2008).

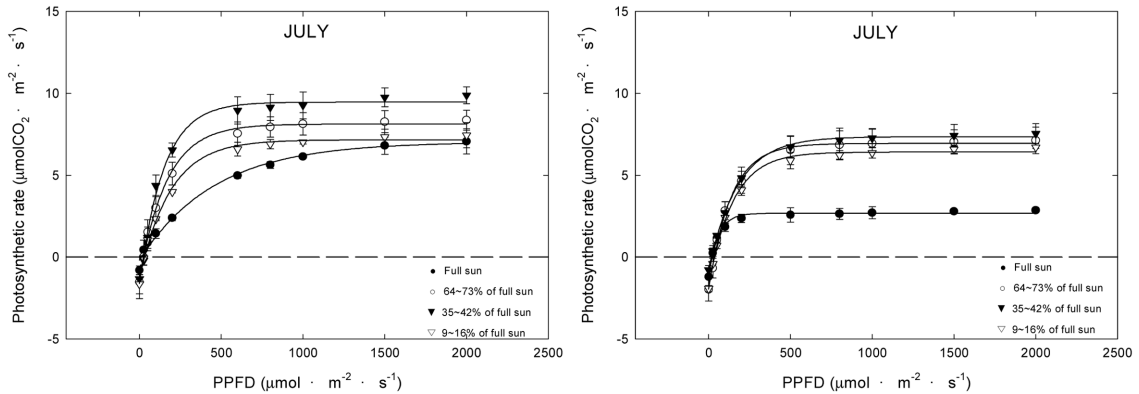


Fig. 4. Effect of shade treatment on the photosynthetic rate of *Magnolia sieboldii* seedlings (left; 2007, right; 2008).

대표적인 양수인 이태리포플러(Kim 등, 2001), 자작나무(Choi, 2001), 박달나무(Cho, 2008), 펜둘라자작나무(Laisk 등, 2005)의 광합성 능력이 생육 광도의 저하로 낮아지는 결과와 유사한 경향을 보인 것으로 실험 대상 수종 중 자작나무가 양수의 광합성 특성을 가장 가깝게 보여주는 것이다.

개벚나무는 2007년은 약피음 또는 보통피음 처리구에서 광포화점과 광합성 능력이 가장 우수하였으며, 2008년에는 약피음 처리구에서 가장 우수한 경향을 나타냈다(Fig. 3). 개벚나무 역시 자작나무와 같이 강피음 처리구에서 가장 낮은 광합성 능력을 보여 부족환광 환경에서는 수목의 생장이 원활하지 못하다는 것을 알 수 있었다. 또한 산벚나무의 광합성 능력이 전광 처리구와 전광대비 30% 처리구에서 큰 차이가 없으며, 상대적으로 전광대비 8% 처리구에서 광합성 능력이

떨어지는 결과(Choi 등, 2006)와 유사한 경향을 보였다. 순양자수율에서 2007년 7월은 전광 처리구, 9월은 약피음 처리구에서 가장 높았으며, 2008년은 약피음 처리구에서 가장 높은 순양자수율을 보였다. 이상의 결과에서 개벚나무는 양수의 특성뿐만 아니라 어느 정도의 내음성을 지닌 음수의 특성을 같이 가지고 있는 것으로 판단된다.

피음 처리에 따른 함박꽃나무의 광합성 특성을 살펴 보면 2007년과 2008년 7월 보통피음 처리구에서 광포화점 및 광합성 능력이 가장 우수하였으며, 순양자수율도 같은 경향이였다(Fig. 4). 함박꽃나무는 다른 두 수종과 달리 전광 처리구에서 가장 낮은 광합성 능력을 보였다. 이는 함박꽃나무가 음수성이 강하기 때문에 강한 광도에서는 광저해(photoinhibition) 현상이 나타나 광합성 능력을 떨어뜨리는 결과를 나타낸 것이다

(Lee 등, 2006; Einhorn 등, 2004). 이런 이유로 함박꽃나무는 보통피음 처리구에서 광합성 능력이 가장 높았다고 판단되며, 실험 대상 수종 중 음수의 광합성 특성을 가장 강하게 보여주고 있다. 그러나 강피음 처리구에서 성장한 개체들에서는 광합성 능력이 약피음 처리구와 보통피음 처리구보다 낮았는데 이와 같은 결과는 함박꽃나무와 같은 음수도 광량이 지나치게 부족한 환경에서는 광합성 기능이 저하될 수 밖에 없다는 사실을 보여주고 있다(Lu 등, 2003).

## 2. 엽록소 형광 반응 특성

생육 시기별 조사 대상 수종의 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치인 광화학효율은 실험 1년차인 2007년 대부분 9월 > 7월 > 6월 순으로 나타났다. 그러나 피음 처리 2년차인 2008년 시기별 광화학효율은 대부분 7월 > 9월 > 6월 순으로 2007년과는 다른 경향을 보였다. 대부분의 수목이 계절이 지남에 따라 엽록소 b의 함량이 증가하게 되며, 이에 따라 광화학효율도 증가되는데 본 연구에서는 실험 1년차에만 이러한 경향을 보였으며, 광합성 특성의 계절적 변화와 유사한 경향을 나타냈다.

수종별 광화학효율은 자작나무가 가장 높은 값을 보였으며, 개벚나무, 함박꽃나무 순으로 감소되었다. 수종별 광화학효율의 결과는 광합성 능력에서와 같은 결과를 보였는데 이는 광화학효율이 광 스트레스에 대한 중요한 지표로서(Rascher 등, 2000), 광합성 능력과 밀접한 관계에 있으며(Bose 등, 1988), 서로 비례 관

계 경향이 나타난다. 즉, 광합성 능력이 우수한 자작나무는 다른 두 수종에 비해 상대적으로 높은 광화학효율을 보인 것이다. 이는 수종별 내음성 수준 판단과 연관이 있는 것으로 전광 조건에서 내음성을 지닌 음수는 양수에 비해 광화학효율이 낮다(Kitao 등, 2003)는 결과와 같은 경향이다. 또한 실제 임분에서도 양수성이 강한 물푸레나무는 전광 조건에서, 음수성이 강한 너도밤나무는 숲틈 또는 피음 지역에서 광화학 효율이 높다(Einhorn 등, 2004)는 결과와도 같은 경향을 보인 것이다.

자작나무의 형광 반응 특성에서 광화학효율은 2007년, 2008년 모두 전광 처리구에서 가장 높았으며, 피음 수준이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 2007년 9월 전광 처리구에서 광화학효율이 0.84로 강피음 처리구 0.78에 비해 유의적 차이를 보이며 높은 값을 나타냈으며 다른 처리구들에서는 유의적인 차이가 없었다(Fig. 5). 이는 양수인 자작나무가 전광 처리구에서, 신갈나무 및 고로쇠나무는 전광대비 5~10% 처리구에서 가장 높은 광화학효율을 나타냈다(Kitao 등, 2000)는 결과와 일치하는 것이다.

개벚나무의 형광 반응 특성은 실험 1, 2차년 모두 약피음 처리구에서 가장 우수하였으며, 자작나무와 같이 강피음 처리구에서 가장 낮은 값을 나타냈다(Fig. 6). 특히, 7월에는 유의적인 차이를 보이며 약피음 처리구에서 가장 우수한 광화학효율을 보였다.

함박꽃나무의 형광 반응 특성은 2007년, 2008년 모두 보통피음 처리구에서 가장 높게 나타났으며, 약피음

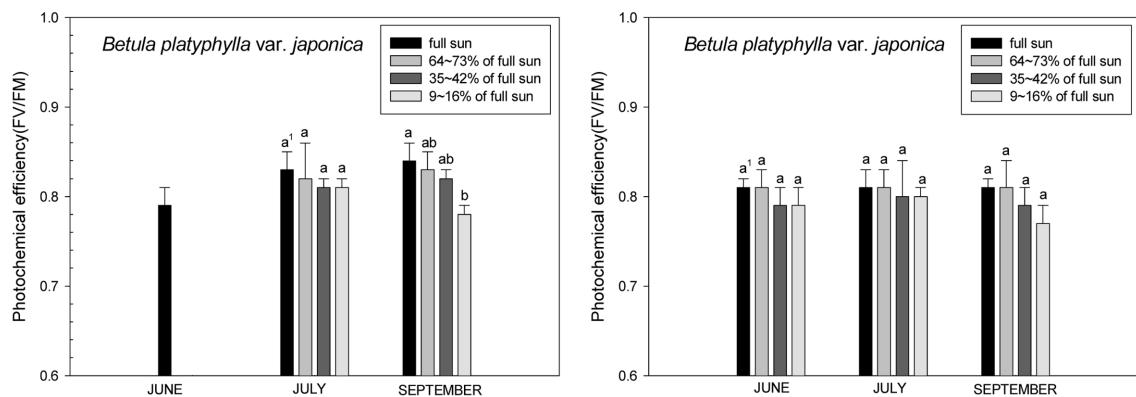


Fig. 5. Changes of Chlorophyll fluorescence in the *Betula platyphylla* var. *japonica* under different shading treatment (left; 2007, right; 2008). <sup>1</sup>Different letters of a and b on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.



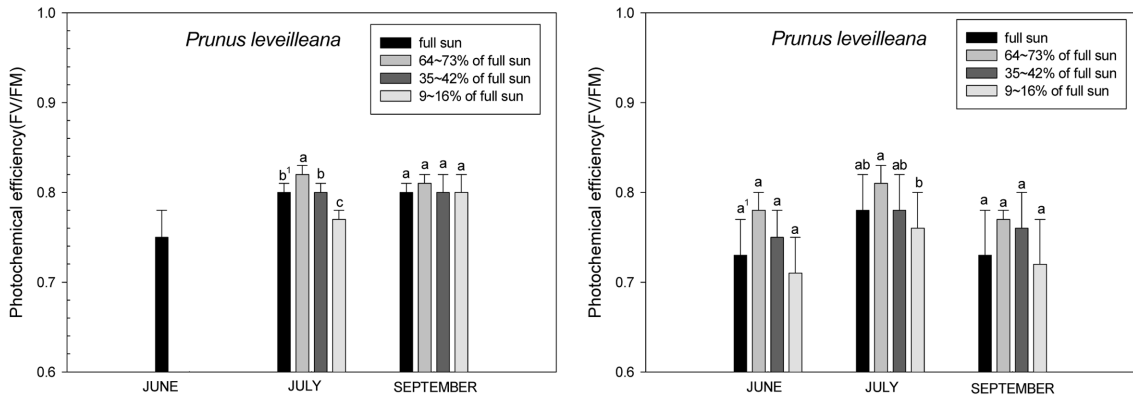


Fig. 6. Changes of Chlorophyll fluorescence in the *Prunus levilleana* under different shading treatment (left; 2007, right; 2008). <sup>1</sup>Different letters of a, b and c on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

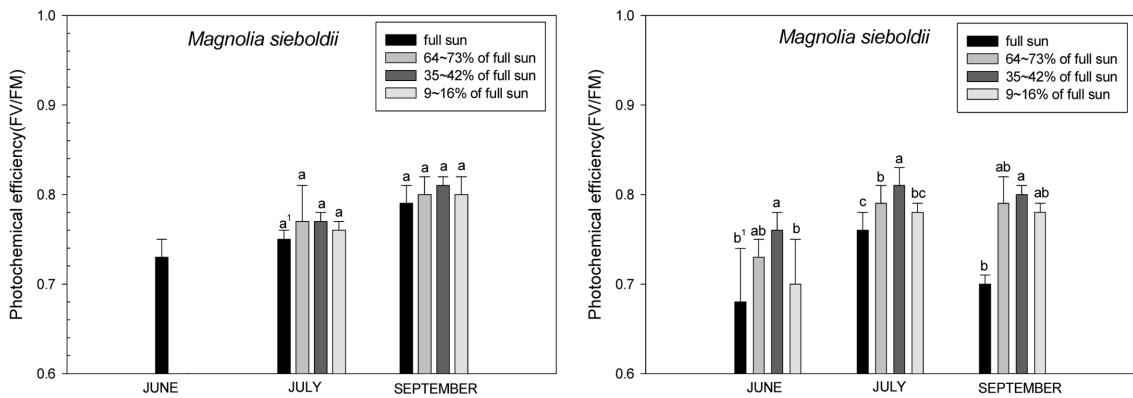


Fig. 7. Changes of Chlorophyll fluorescence in the *Magnolia sieboldii* under different shading treatment (left; 2007, right; 2008). <sup>1</sup>Different letters of a, b and c on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

처리구, 강피음 처리구, 전광 처리구 순으로 광화효율이 낮아지는 경향을 나타냈다(Fig. 7). 특히 함박꽃나무는 다른 두 수종과는 달리 전광 처리구에서 가장 낮은 광화효율을 보였는데 이는 함박꽃나무가 음수성이 강한 수종으로 전광 처리구에서 지나치게 강한 광도로 인해 광 저해(photoinhibition) 현상을 일으킨 것으로 판단된다.

위의 결과를 종합해 볼 때 피음 처리에 대한 수종별 광화효율이 높은 처리구는 상대적으로 우수한 광합성 능력을 나타냈다. 이는 광화효율이 광합성 특성에 영향을 주는 여러 요인 중 하나로서, 피음 처리에 따른 수종별 엽록소 형광 반응 특성과 그에 따른 광합성 특성을 보여주는 것이다.

### 3. 엽록소 함량 분석

실험대상 수종들의 계절에 따른 총 엽록소 함량은 대부분 9월 > 7월 > 6월 순으로 계절이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 총 엽록소 함량이 계절별로 여름 > 가을 > 봄 순으로 변화한다는 기존 연구 보고(Demarez 등, 1999; Choi 등, 2006)와는 조금 다른 경향을 보였다. 또한 엽록소 a/b율은 계절이 지남에 따라 각 피음 처리 수준별로 엽록소 b의 함량이 a의 함량보다 상대적으로 크게 증가하는 현상을 보여 전체적으로 엽록소 a/b율의 값은 6월보다 7월, 9월에 낮은 값을 보였다(Choe와 Lee, 1995).

피음 처리에 따른 실험대상 수종의 총 엽록소 함량은 전광 처리구가 0.92~2.42mg · g<sup>-1</sup>, 약피음 처리구가

상이한 피음조건에서 자라는 3개 활엽수의 생리적 반응

1.24~2.94mg · g<sup>-1</sup>, 보통피음 처리구 1.65~3.78mg · g<sup>-1</sup>, 다(Table 2).  
 강피음 처리구 2.24~4.31mg · g<sup>-1</sup>으로 강피음 처리구가 피음 처리에 따른 대부분의 조사 대상 수종에서 강  
 전광 처리구보다 약 2mg · g<sup>-1</sup> 정도 많은 함량을 보였 피음 처리구가 가장 많은 총 엽록소 함량을 보였고,

**Table 2.** Seasonal changes of chlorophyll contents in the seedlings of the three deciduous hardwood under different shading treatment.

Species	Season	Relative light intensity (%) <sup>1</sup>	Chlorophyll content (mg/g f. w.)			Chlorophyll a/b	
			Chl. a	Chl. b	Total Chl.		
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	2007	June	A	2.21 ± 0.13	0.77 ± 0.06	2.98 ± 0.18	2.86 ± 0.11
			B	1.43 ± 0.39 <sup>a2</sup>	0.46 ± 0.12 <sup>a</sup>	1.89 ± 0.51 <sup>a</sup>	3.07 ± 0.09 <sup>a</sup>
		July	B	1.71 ± 0.32 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.10 <sup>a</sup>	2.25 ± 0.41 <sup>a</sup>	3.15 ± 0.11 <sup>a</sup>
			C	1.73 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.03 <sup>a</sup>	2.31 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.99 ± 0.09 <sup>a</sup>
	September	D	1.83 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.11 <sup>a</sup>	2.46 ± 0.26 <sup>a</sup>	2.95 ± 0.29 <sup>a</sup>	
		A	1.52 ± 0.30 <sup>b</sup>	0.51 ± 0.07 <sup>c</sup>	2.04 ± 0.37 <sup>b</sup>	2.94 ± 0.17 <sup>a</sup>	
		B	2.13 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.81 ± 0.04 <sup>b</sup>	2.94 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.63 ± 0.01 <sup>ab</sup>	
		C	2.21 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.91 ± 0.12 <sup>ab</sup>	3.13 ± 0.23 <sup>a</sup>	2.44 ± 0.24 <sup>bc</sup>	
	2008	June	D	2.29 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.05 ± 0.14 <sup>a</sup>	3.33 ± 0.25 <sup>a</sup>	2.20 ± 0.20 <sup>c</sup>
			A	1.77 ± 0.39 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.12 <sup>c</sup>	2.30 ± 0.52 <sup>b</sup>	3.35 ± 0.06 <sup>a</sup>
			B	1.97 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>bc</sup>	2.60 ± 0.04 <sup>b</sup>	3.10 ± 0.07 <sup>b</sup>
			C	2.06 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.69 ± 0.04 <sup>b</sup>	2.75 ± 0.08 <sup>b</sup>	2.97 ± 0.10 <sup>b</sup>
July		D	2.38 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.48 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.18 ± 0.15 <sup>c</sup>	
		A	1.60 ± 0.07 <sup>d</sup>	0.50 ± 0.06 <sup>c</sup>	2.10 ± 0.13 <sup>c</sup>	3.20 ± 0.24 <sup>a</sup>	
		B	2.08 ± 0.09 <sup>c</sup>	0.72 ± 0.06 <sup>bc</sup>	2.80 ± 0.15 <sup>b</sup>	2.88 ± 0.15 <sup>ab</sup>	
		C	2.24 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.12 <sup>b</sup>	3.13 ± 0.23 <sup>b</sup>	2.52 ± 0.21 <sup>b</sup>	
September	D	2.47 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.20 <sup>a</sup>	3.91 ± 0.22 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.23 <sup>c</sup>		
	A	1.82 ± 0.22 <sup>c</sup>	0.60 ± 0.10 <sup>c</sup>	2.42 ± 0.33 <sup>b</sup>	3.05 ± 0.16 <sup>a</sup>		
	B	2.13 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.79 ± 0.05 <sup>bc</sup>	2.92 ± 0.11 <sup>b</sup>	2.71 ± 0.09 <sup>a</sup>		
	C	2.40 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.38 ± 0.44 <sup>a</sup>	3.78 ± 0.49 <sup>a</sup>	1.84 ± 0.48 <sup>b</sup>		
<i>Prunus leveilleana</i>	2007	D	2.39 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.12 ± 0.04 <sup>ab</sup>	3.51 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.14 ± 0.06 <sup>b</sup>	
		June	A	1.53 ± 0.21	0.45 ± 0.05	1.98 ± 0.27	3.36 ± 0.08
			B	1.43 ± 0.25 <sup>b</sup>	0.46 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.88 ± 0.28 <sup>b</sup>	3.14 ± 0.59 <sup>a</sup>
		July	B	1.75 ± 0.14 <sup>ab</sup>	0.55 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.19 <sup>ab</sup>	3.17 ± 0.08 <sup>a</sup>
	C		1.80 ± 0.24 <sup>ab</sup>	0.60 ± 0.13 <sup>a</sup>	2.40 ± 0.38 <sup>ab</sup>	3.03 ± 0.24 <sup>a</sup>	
	September	D	2.00 ± 0.38 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.38 <sup>a</sup>	2.83 ± 0.76 <sup>a</sup>	2.59 ± 0.59 <sup>a</sup>	
		A	1.35 ± 0.27 <sup>b</sup>	0.50 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.85 ± 0.40 <sup>b</sup>	2.73 ± 0.24 <sup>a</sup>	
		B	1.65 ± 0.51 <sup>ab</sup>	0.73 ± 0.24 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.74 <sup>ab</sup>	2.29 ± 0.34 <sup>a</sup>	
		C	1.67 ± 0.19 <sup>ab</sup>	0.62 ± 0.11 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.29 <sup>ab</sup>	2.70 ± 0.16 <sup>a</sup>	
	2008	June	D	2.05 ± 0.32 <sup>a</sup>	0.92 ± 0.36 <sup>a</sup>	2.97 ± 0.68 <sup>a</sup>	2.35 ± 0.46 <sup>a</sup>
			A	1.63 ± 0.31 <sup>c</sup>	0.42 ± 0.11 <sup>c</sup>	2.05 ± 0.42 <sup>c</sup>	3.94 ± 0.32 <sup>a</sup>
			B	1.96 ± 0.28 <sup>bc</sup>	0.56 ± 0.19 <sup>bc</sup>	2.52 ± 0.47 <sup>bc</sup>	3.63 ± 0.61 <sup>ab</sup>
C			2.16 ± 0.15 <sup>ab</sup>	0.70 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.86 ± 0.25 <sup>b</sup>	3.11 ± 0.26 <sup>b</sup>	
July		D	2.44 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.29 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.74 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.89 ± 0.12 <sup>c</sup>	
		A	1.12 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.38 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.49 ± 0.12 <sup>c</sup>	2.99 ± 0.09 <sup>ab</sup>	
		B	1.26 ± 0.10 <sup>b</sup>	0.35 ± 0.11 <sup>c</sup>	1.61 ± 0.21 <sup>c</sup>	3.85 ± 1.19 <sup>a</sup>	
		C	2.33 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.25 <sup>b</sup>	3.31 ± 0.39 <sup>b</sup>	2.45 ± 0.45 <sup>bc</sup>	
September	D	2.48 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.84 ± 0.14 <sup>a</sup>	4.31 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.35 ± 0.10 <sup>c</sup>		
	A	1.55 ± 0.55 <sup>b</sup>	0.56 ± 0.22 <sup>b</sup>	2.11 ± 0.77 <sup>c</sup>	2.77 ± 0.10 <sup>a</sup>		
	B	1.96 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.74 ± 0.09 <sup>b</sup>	2.70 ± 0.16 <sup>bc</sup>	2.67 ± 0.20 <sup>a</sup>		
	C	2.15 ± 0.24 <sup>ab</sup>	1.01 ± 0.34 <sup>b</sup>	3.15 ± 0.59 <sup>ab</sup>	2.24 ± 0.44 <sup>a</sup>		
D	2.43 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.61 ± 0.31 <sup>a</sup>	4.04 ± 0.34 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.28 <sup>b</sup>			

Table 2. Continued.

Species	Season	Relative light intensity (%) <sup>1</sup>	Chlorophyll content (mg/g f. w.)			Chlorophyll a/b		
			Chl. a	Chl. b	Total Chl.			
<i>Magnolia sieboldi</i>	2007	June	A	1.20 ± 0.22	0.37 ± 0.06	1.57 ± 0.28	3.22 ± 0.16	
			July	A	1.11 ± 0.31 <sup>b</sup>	0.32 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.44 ± 0.37 <sup>b</sup>	3.54 ± 0.77 <sup>a</sup>
				B	1.39 ± 0.15 <sup>ab</sup>	0.43 ± 0.05 <sup>ab</sup>	1.82 ± 0.18 <sup>ab</sup>	3.23 ± 0.34 <sup>a</sup>
	C	1.28 ± 0.36 <sup>ab</sup>		0.39 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.66 ± 0.42 <sup>b</sup>	3.27 ± 0.41 <sup>a</sup>		
	September	D	1.72 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.07 <sup>ab</sup>	2.26 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.24 ± 0.56 <sup>a</sup>		
		A	1.28 ± 0.25 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.32 <sup>a</sup>	3.22 ± 0.03 <sup>a</sup>		
		B	1.86 ± 0.25 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.50 ± 0.36 <sup>a</sup>	2.91 ± 0.24 <sup>a</sup>		
	2008	June	C	1.41 ± 0.19 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.87 ± 0.30 <sup>a</sup>	3.14 ± 0.30 <sup>a</sup>	
			D	1.87 ± 0.49 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.25 <sup>a</sup>	2.50 ± 0.74 <sup>a</sup>	3.03 ± 0.43 <sup>a</sup>	
			A	1.39 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.37 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.76 ± 0.11 <sup>c</sup>	3.79 ± 0.13 <sup>a</sup>	
	July	B	1.65 ± 0.19 <sup>bc</sup>	0.46 ± 0.09 <sup>bc</sup>	2.11 ± 0.28 <sup>bc</sup>	3.58 ± 0.25 <sup>ab</sup>		
		C	1.75 ± 0.25 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.27 ± 0.34 <sup>b</sup>	3.35 ± 0.16 <sup>b</sup>		
		D	2.31 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.85 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.16 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.71 ± 0.04 <sup>c</sup>		
	September	A	0.68 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.92 ± 0.04 <sup>c</sup>	2.84 ± 0.21 <sup>a</sup>		
		B	0.93 ± 0.20 <sup>bc</sup>	0.31 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.25 <sup>bc</sup>	3.03 ± 0.06 <sup>a</sup>		
		C	1.24 ± 0.27 <sup>b</sup>	0.41 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.65 ± 0.36 <sup>b</sup>	3.01 ± 0.02 <sup>a</sup>		
September	D	1.97 ± 0.33 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.19 <sup>a</sup>	2.67 ± 0.52 <sup>a</sup>	2.87 ± 0.29 <sup>a</sup>			
	A	0.96 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.35 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.31 ± 0.08 <sup>b</sup>	2.73 ± 0.26 <sup>a</sup>			
	B	1.30 ± 0.33 <sup>ab</sup>	0.43 ± 0.11 <sup>ab</sup>	1.73 ± 0.44 <sup>ab</sup>	3.02 ± 0.11 <sup>a</sup>			
September	C	1.71 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.31 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.83 ± 0.20 <sup>a</sup>			
	D	1.66 ± 0.45 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.22 <sup>ab</sup>	2.24 ± 0.66 <sup>a</sup>	2.92 ± 0.38 <sup>a</sup>			

<sup>1</sup>Relative light transmittances; A: 100%, B: 64~73% of full sun, C: 35~42% of full sun, D: 9~16% of full sun

<sup>2</sup>Different letters of a, b, and c within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test

전광 처리구가 가장 적은 총 엽록소 함량을 나타냈으며, 피음 수준이 강해질수록 유의적 차이를 보이면서 총 엽록소 함량은 증가하는 경향을 보였다. 이는 일반적으로 피음 처리 수준이 높아질수록 총 엽록소 함량이 높아진다는 연구 보고(Son 등, 2006; Jeong과 Kim, 1999)와 같은 경향을 나타낸 것이다. 그러나 자작나무와 함박꽃나무는 2008년 9월 보통피음 처리구에서 가장 높은 총 엽록소 함량을 보였다. 엽록소 a와 b 각각의 함량 변화도 총 엽록소 함량과 같은 경향이였다.

피음 수준이 높아지면서 엽록소 b의 함량 증가가 엽록소 a의 함량에 비해 상대적으로 더 크게 증가했다. 이 때문에 피음 강도가 강해지면서 엽록소 a/b율이 감소하는 경향을 나타냈다(Kwon 등, 1996).

위의 결과를 종합해 볼 때 광도 변화에 따라 총 엽록소 함량이나 엽록소 a와 b의 함량 및 비율이 달라진다는 것을 알 수 있으며(Woo 등, 1999), 본 실험에서도 피음 처리 수준이 높아질수록 엽록소 함량이 증가되며, 특히 엽록소 b의 함량이 더 높아진 것을 확

인할 수 있었다. 이와 같은 현상이 일어나는 이유는 광량이 부족한 광 환경에서 수목이 적응하면서 정상적으로 광합성을 지속하기위해 광 에너지를 가능한 많이 확보하는 방법으로 엽록소 함량을 높게 유지할 필요가 있기 때문이다(Ashton과 Berlyn, 1992).

## 적 요

본 연구에서는 자작나무, 개벚나무, 함박꽃나무를 대상으로 피음수준을 전광 처리구(상대투광율; 100%), 약피음 처리구(상대투광율; 64~73%), 보통피음 처리구(상대투광율; 35~42%), 강피음 처리구(상대투광율; 9~16%)로 달리하여 이들의 내음성 및 광 요구도에 관한 광합성 특성과 엽록소 형광 반응, 엽록소 함량을 조사·분석하였다.

세 수종의 생육시기별 광합성 능력은 7월과 9월에 가장 높은 값을 나타냈으며, 자작나무와 개벚나무에 비해 함박꽃나무의 광합성 능력이 매우 낮았다. 순양자수

을 또한 광합성 능력과 같은 경향을 나타냈다. 수목의 내음성 수준을 판단할 수 있는 광보상점은 함박꽃나무가 자작나무와 개벚나무에 비해 강한 내음성을 나타냈다. 피음 처리별 광합성 능력에서는 자작나무는 전광 처리구에서 가장 우수하였으며, 개벚나무는 시기별 차이는 있지만 강피음 처리구를 제외한 나머지 세 처리구에서 비슷한 광합성 능력을 보였다. 함박꽃나무는 보통피음 처리구에서 가장 좋은 광합성 능력을 나타냈다.

피음 처리별 엽록소 형광 반응 특성에서 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치인 광화학효율( $F_v/F_m$ )은 자작나무의 경우 전광 처리구에서 가장 우수하였으며 피음 수준이 증가할수록 감소하였다. 개벚나무는 약피음 처리구에서 가장 우수한 광화학효율을 보였으며, 함박꽃나무는 보통피음 처리구에서 가장 양호한 광화학효율을 나타냈다. 특히 함박꽃나무는 다른 두 수종과는 달리 전광 처리구에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 이 결과는 세 수종의 피음 수준별 광합성 능력과 같은 결과를 보였다.

실험대상 수종들의 총 엽록소 함량은 세 수종 모두 피음 수준이 증가할수록 높아지는 경향을 보였다. 특히 전광 처리구에 비해서 강피음 처리구에서 총 엽록소 함량이 유의적 차이를 보이면서 가장 높게 나타났다. 엽록소 a와 b 각각의 함량 변화도 총 엽록소 함량과 같은 경향이였다. 피음 수준이 높아지면서 엽록소 b의 함량 증가가 엽록소 a의 함량에 비해 상대적으로 더 크게 증가하였는데 이 때문에 피음 강도가 강해지면서 엽록소 a/b율이 감소하는 경향을 나타냈다.

위의 결과를 종합해 볼 때 세 수종의 적정 생육 광도는 자작나무는 전광 처리구(상대투광율; 100%), 개벚나무는 약피음 처리구(상대투광율; 64~73%), 함박꽃나무는 보통피음 처리구(상대투광율; 35~42%)가 적합하다고 판단된다. 그러나 수목의 생육에 있어서 광도뿐만 아니라 온도, 습도, 토양환경, 경쟁식생 등 여러 가지 다양한 환경인자가 관여하기 때문에 광도 변화와 연계한 보다 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주제어 : 광합성, 광화학효율, 내음성, 엽록소, 피음 처리

## 인 용 문 헌

1. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiol. 24(1):1-15.

2. Ashton, P.M.S. and G.P. Berlyn. 1992. Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. New Phytol. 121(4):587-596 (in Korea).

3. Barker, M.G., M.C. Press, and N.D. Brown. 1997. Photosynthetic characteristics of dipterocarp seedlings in three tropical rain forest light environments: a basis for niche partitioning. Oecologia 112:453-463 (in Korea).

4. Bose, S., S.K. Hurbert, and D.C. Fork. 1988. Fluorescence characteristics of photoinhibition and recovery in a sun and a shade species of the red algal genus *Porphyra*. Plant Physiol. 86:946-950.

5. Cho, M.S. 2008. Effects of light intensity on physiological characteristics and growth performances of deciduous hardwood species distributed in the central temperate zone of Korean forest. Chungnam national university Master's dissertation 81pp (in Korea).

6. Choe, H.S. and H.J. Lee. 1995. Seasonal changes of chlorophyll contents and photosynthetic rates in four species of maple trees in Korea. Journal of Ecology and Field Biology 18(1):137-146.

7. Choi, J.H. 2001. Effects of artificial shade treatment on the growth performances, water relations, and photosynthesis of several tree species. Chungnam national university Doctor's dissertation 152pp.

8. Choi, J.H., K.W. Kwon, and J.C. Chung. 2006. Changes in chlorophyll contents and photosynthetic characteristics of hardwood species according to artificial shade treatment. J. Korean For. Soc. 95(5):614-620.

9. Choi, Y.B. and J.H. Kim. 1995. Change in needle chlorophyll fluorescence of *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* treated with artificial acid rain. Jour. Korean For. Soc. 84(1):97-102.

10. Demarez, V., J.P. Gastellu-etchegorry, E. Mougin, G. Marty, and C. Proisy. 1999. Seasonal variation of leaf chlorophyll content of a temperate forest. Inversion of the PROSPECT model. Int. J. Remote Sensing 20(5): 879-894.

11. Demmig, B. and O. Bjrkman. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of  $O_2$  evolution in leaves of higher plants. Planta 171:171-184.

12. Einhorn, K.S., E. Rosenqvist, and J.W. Leverenz. 2004. Photoinhibition in seedlings of *Fraxinus* and *Fagus* under natural light conditions: Implications for forest regeneration?. Oecologia 140(2):241-251.

13. 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. Jour. Korean For. Soc. 78(2):151-159.

14. Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57:1332-1334.

15. Holmes, M.G. and H. Smith. 1975. The function of

- phytochrome in plants growing in the natural environment. *Nature* 254:512-514.
16. Inada, K. 1980. Spectral absorption property of pigments in living leaves and its contribution to photosynthesis. *Jan. J. Crop science* 49:286-294.
  17. Jeong, H.H. and K.S. Kim. 1999. Effects of shading on the Growth of *Hedera rhombea* Bean and *Pachysandra terminalis* Sieb. et Zucc. *Kor. J. Hort. Sci. & Tech.* 17(1):29-32.
  18. Kim, P.G. and E.J. Lee. 2001a. Ecophysiology of photosynthesis 1: Effect of light intensity and intercellular CO<sub>2</sub> pressure on photosynthesis. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3(2):126-133.
  19. Kim, P.G. and E.J. Lee. 2001b. Ecophysiology of photosynthesis 2: Adaptation of the photosynthetic apparatus to changing environment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3(3):171-176.
  20. Kim, P.G., Y.S. Yi, D.J. Chung, S.Y. Woo, J.H. Sung, and E.J. Lee. 2001. Effect of light intensity on photosynthetic activity of shade tolerant and intolerant tree species. *Jour. Korean For. Soc.* 90(4):476-487.
  21. Kim, Y.C. 1986. Effect of inorganic environmental factors on the growth of *Pinus koraiensis* seedlings(1) - The influence of shading in the growth of seedlings grown on the seed bed -. *Jour. Korean For. Soc.* 73:43-54.
  22. Kim, Y.H. 1999. Growth characteristics and crown architecture of *Pinus densiflora* S. et Z. at an early stage of regeneration in canopy gap. Seoul national university Doctor's dissertation 100pp.
  23. Kimmins, J.P. 1997. *Forest ecology* (2nd ed.). prentice hall. New Jersey 596pp.
  24. Kitao, M., H. Utsugi, S. kuramoto, R. Tabuchi, K. Fujimoto, and S. Lihpai. 2003. Light-dependent photosynthetic characteristics indicated by chlorophyll fluorescence in five mangrove species native to Pohnpei Island, Micronesia. *Physiol. Plantarum* 117:376-382.
  25. 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.
  26. Kozlowski, T.T., P.J. Kramer, and S.G. Pallardy. 1991. *The Physiology of Woody Plants*. A.P. New York. pp. 811.
  27. Kwon, K.W., J.H. Choi, and J.C. Chung. 2000. Studies on the shade tolerance light requirement and water relations of economic tree species (2). *Jour. Korean For. Soc.* 89(2):198-207.
  28. Kwon, K.W., S.A. Kim, and D.K. Lee. 1996. Effect of light intensity on chlorophyll contents in the leaves of several species of conifers and hardwoods subjected to artificial shading treatment. *The institute of environmental science and technology chungnam national university* 14:42-49.
  29. Laisk, A., H. Eichelmann, V. Oja, B. Rasulov, E. Padu, L. Bichele, H. Pettai, and O. Kull. 2005. Adjustment of leaf photosynthesis to shade in a natural canopy: rate parameters. *Plant, Cell and Environment* 28:375-388.
  30. Lee, C.H., C.H. Shin, K.S. Kim, and M.S. Choi. 2006. Effects of light intensity on photosynthesis and growth in seedling of *Kalopanax pictus* Nakai. *Korean Journal of Madicinal Crop Science* 14(4):244-249.
  31. Lim, J.H., S.Y. Woo, M.J. Kwon, J.H. Chun, and J.H. Shin. 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining korean Fir in Mt. Halla Jour. *Korean For. Soc.* 95(6):705-710.
  32. Lu, Q., X. Wen, C. Lu, Q. Zhang, and T. Kuang. 2003. Photoinhibition and photoprotection in senescent leaves of field-grown wheat plants. *Plant Physiol. and Biochem.* 41:749-754.
  33. Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solution. *J. Biol. Chem.* 140:315-322.
  34. 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.
  35. Rascher, U., M. Liebig, and U. Ltge. 2000. Evaluation of instant light-response curves of chlorophyll fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. *Plant, Cell and Environment.* 23:1397-1405.
  36. SAS institute Inc. 2000. *SAS/STAT TM Guide for Personal Computer*. Version 8 Edition. SAS Institute Inc., N. C. 1026pp.
  37. Sigmaplot. 2000. *philsience*. 136pp.
  38. Smith, H. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. *Annu. Rev. Plant Physiol. Pnat Mol. Biol.* 46:289-315.
  39. Son, S.G., S.M. Je, S.Y. Woo, K.O. Byun, Y.J. Kang, and B.S. Kwang. 2006. Physiological differences of *Ilex rotunda* and *Illicium anisatum* under low light intensities. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(2):61-67.
  40. Terashima, I. and J.R. Evans. 1988. Effects of light and nitrogen nutrition on the organization of the photosynthetic apparatus in spinach. *Plant and Cell Physiology* 29(1):143-155.
  41. Terashima, I. and K. Hikosaka. 1995. Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis. *Plant, Cell and Environment* 18(10):1111-1128.
  42. Woo, S.Y. and D.K. Lee. 1992. Effects of different light intensities and nutrition conditions on photosynthesis and ribulose-Diphosphate carboxylase activity of *Quercus acutissima* carr. seedlings. *Jour. Korean For. Soc.* 81(1):11-20.
  43. Woo, S.Y., D.S. Lee, and O.K. Kwon. 1999. Shading effects on growth and chlorophyll contents of abies holophylla. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 1(2):97-102.