

## 광환경조절에 따른 멸종위기식물 섬시호의 생리적 반응

이경철<sup>1</sup> · 왕명현<sup>2</sup> · 송재모<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 산림과학연구소, <sup>2</sup>강원대학교 생명공학부, <sup>3</sup>강원도 자연환경연구사업소

### Physiological Responses of *Bupleurum latissimum* Nakai, Endangered Plants to Changes in Light Environment

Kyeong-Cheol Lee<sup>1</sup>, Myeong-Hyeon Wang<sup>2</sup>, and Jae Mo Song<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Forest Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>3</sup>Nature Environment Research Office of Gangwon Province, Hongcheon 250-884, Korea

**Abstract.** This study was conducted to investigate the physiological responses of *Bupleurum latissimum*, endangered plants by light condition. We investigated photosynthetic parameters, chlorophyll contents and chlorophyll fluorescence under different shading treatments (Shaded 50%, 70%, 90% and non-treated). Results showed that net apparent quantum yield (AQY) and chlorophyll contents were significantly increased with elevating shading level. However, light compensation point (LCP) and dark respiration ( $R_d$ ) were shown the opposite trend. Especially, non-treated exhibited photoinhibition such as reduction of chlorophyll contents and maximum photosynthesis rate ( $P_{n_{max}}$ ) also variation trend of stomatal conductance ( $g_s$ ), and transpiration rate (E) were decreased to prevent water loss. Photosynthetic rate ( $P_{N_{max}}$ ) and photochemical efficiency (Fv/Fm) of 90% treatment showed a drastic reduction in July. This implies that photosynthetic activity will be sharply decreased with a long period of low light intensity. The 50% treatment showed relatively higher photosynthetic activity than other treated. This result suggested that growth and physiology of *B. latissimum* adapted to 50% of full sunlight.

**Additional key words :** chlorophyll content, photosynthetic activity, photochemical efficiency, shading treatment

## 서 론

시호속(*Bupleurum* L.)은 전 세계적으로 약 150종에서 190종이 주로 유럽과 아시아 대륙에 분포하고 있으며, 우리나라에는 시호(*Bupleurum falcatum*), 등대시호(*Bupleurum euphorbioides*), 개시호(*Bupleurum longiradiatum*), 참시호(*Bupleurum falcatum* var. *scorzonerifolium*) 섬시호(*Bupleurum latissimum*) 등 5종이 자생하는 것으로 알려져 있다(Ahn 등, 2008). 이 중 섬시호는 전세계에서 울릉도에만 자생하는 한국특산식물로 환경부 지정 멸종위기식물 2급에 속한다(Kim 등, 2006). 섬시호는 겨울에도 지상부의 근생엽이 살아있어 겨울에 지상부가 고사하는 다른 시호속 식물들과 차이가 있으며, 엽의 형태도 타

시호속 식물과 비교해 잎이 넓고, 엽병의 기부가 전적으로 다른 종과는 쉽게 구별된다(Ahn 등, 2008).

2000년대 이전에 멸종한 것으로 보고된 섬시호는 최근 일부 자생지가 발견되어 보호대책을 마련하기 위한 노력이 진행 중이며(Ahn 등, 2008; Kim 등, 2007), 현재 까지 섬시호에 관해 개체군 생태(Kim 등, 2006), 자생지의 생태학적 특성(Ahn과 Lee, 2007), 수분기작(So 등, 2008a) 및 수리분류학적 연구(So 등, 2008b) 등이 보고되었다. 그러나 섬시호의 환경요인에 따른 생리적 특성에 관한 연구는 미흡한 실정으로 환경변화에 따른 광합성 관련 기작을 규명하는 것은 식물 종의 특성을 파악하고, 최적의 환경을 제시하는 등 적극적인 보존 전략의 수립에 매우 중요한 의미를 지닌다.

이 연구는 섬시호의 광환경 변화에 따른 광합성 관련 생리적 반응을 조사하여 적정 광환경을 제시하고 지속적인 보전 및 복원을 위한 전략을 수립하는 데 기초자료로 활용하고자 하였다.

\*Corresponding author: songjm@korea.kr  
Received May 6, 2013; Revised May 20, 2013;  
Accepted May 29, 2013

## 재료 및 방법

### 1. 공시식물 및 광환경조절

실험에 사용된 재료는 2012년 3월초 강원도 홍천군 자연환경연구원내 묘포장에서 마사토와 상토(1:1)를 이용한 사각형포트(가로 40cm × 세로 40cm × 높이 50cm)에 생육시킨 2년생 섬시호(*B. latissimum*)를 사용하였다. 광환경조절은 묘포장에 자연광을 모두 수광하는 처리구(이하 전광처리구)와 시중에서 생산하는 검정색 차광막을 이용하여 50%, 70% 및 90% 차광처리구 각각 설치하고 2012년 4월 1일부터 2012년 7월 20일까지 처리별로 10 개체씩 차광처리를 실시하여 광환경 변화에 따른 생리반응을 조사하였다.

실험이 진행되는 4월에서 7월까지 온습도 측정기(HOBO H08-004-02, ONSET, USA)를 지상으로부터 2m 높이에 각각 설치하여, 대기 중 온도와 상대습도의 변화를 관찰한 결과 평균기온은 4월 18.5°C에서 5월 19.8°C, 6월 24.0°C, 7월 24.5°C로 5월부터 6월까지 지속적인 증가를 보였으나 상대적으로 6월과 7월의 증가 폭은 적었다. 이와 대조적으로 상대습도는 4월과 5월이 66%로 비슷한 수준을 보였으나, 6월 70.2%에서 7월 83.0%로 13% 이상 크게 증가한 것을 알 수 있었다. 6월에 비해 7월의 온도상승 폭은 적고 상대적으로 습도는 크게 증가한 것은 이 시기 장마로 인한 강우일수가 집중되었기 때문으로 생각된다(Fig. 1).

### 2. 광합성 반응 측정

차광처리에 따른 순광합성속도(net photosynthetic rate;  $P_N$ ), 기공증산속도(stomatal transpiration rate;  $E$ ), 기공전도도(stomatal conductance;  $g_s$ ), 엽육세포내  $CO_2$  농도(Intercellular  $CO_2$  concentration;  $C_i$ )를 조사하기 위해 휴대용 광합성 측정기(Portable Photosynthesis system,

Li-6400, Li-Cor Inc., USA)를 이용하였으며, 5월부터 7월까지 매일 15~20일 사이의 맑은 날 측정하였다.

측정시 휴대용 광합성 측정장치에 부착된 LED light source를 이용하여 PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density)를 0, 50, 100, 200, 400, 800, 1,000, 1,200, 및  $1,400 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 의 9단계로 조절하였으며, 이때 공통된 측정 조건은 챔버로의 유입 공기유량을  $500 \mu mol \cdot s^{-1}$ , 온도를  $20 \pm 2^\circ C$ 로 유지하여 오전 10시부터 정오까지 3 반복으로 광합성을 측정하였다. 수분이용효율(water use efficiency; WUE)과 엽육내  $CO_2$  농도는 PPFD  $1,000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 로 유지하여 조사하였으며, 수분이용효율은 순광합성속도를 기공증산속도로 나눈 값, 즉  $\mu mol CO_2 \cdot mmol H_2O^{-1}$ 로 나타냈다(Sim과 Han, 2003; Sun et al., 2009). 측정된 자료를 이용하여 Kume and Ino(1993)식에 의해 광-광합성곡선( $P_N$ -PPFD)을 나타내어 광보상점(light compensation point), 암호흡(dark respiration), 순양자수율(net apparent quantum yield), 최대광합성량(maximum photosynthesis rate)을 구하였다(Kim과 Lee, 2001; Kwon 등, 2009).

광도를 포화광인  $1,400 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 로 유지한 뒤, 엽육내  $CO_2$  농도 ( $C_i$ ) 변화에 대한 광합성 반응을 측정하여  $P_N$ - $C_i$  곡선을 작성하고  $CO_2$  보상점( $CO_2$  compensation point), 광호흡(photo-respiration rate), 탄소고정효율(carboxylation efficiency)을 구하였다(Farquhar et al., 1980).

### 3. 엽록소 형광반응 및 엽록소 함량

초기형광반응( $F_0$ ), 최대형광반응( $F_m$ ), 형광반응 최대변화치( $F_v = F_m - F_0$ ) 및 광화학반응 효율( $F_v/F_m$ )은 광합성 측정과 동일한 잎을 대상으로 엽록소 형광반응 측정기(chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 조사하였으며, 측정 전 sample clip으로 약 20분간 광을 차단하고, 측정 시  $2,000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 의 광선을 조사하였다(Choi와 Kim, 1995; Demmig and Björkman, 1987; Cho 등, 2008). O-J-I-P 곡선(polyphasic rise of chl a fluorescence transients) 역시 엽록소 형광반응 측정기(OSI 30P)를 이용하여 측정하였으며, 20분간 암적응 시킨 잎에  $1500 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 의 광량을 1초간 조사하고, 50 $\mu s$ (O단계), 2ms(J단계), 30ms(I단계), 300ms(P단계)에서 엽록소 형광밀도를 분석하였다(Oh와 Koh, 2004). 엽록소 함량은 SPAD 측정기(CCM-200, opti-sciences Inc, USA)를 이용하여 조사하였으며, 차광처리에 따른 통계분석은 SPSS Statistics Program(Version 19.0)을 이용하였다.

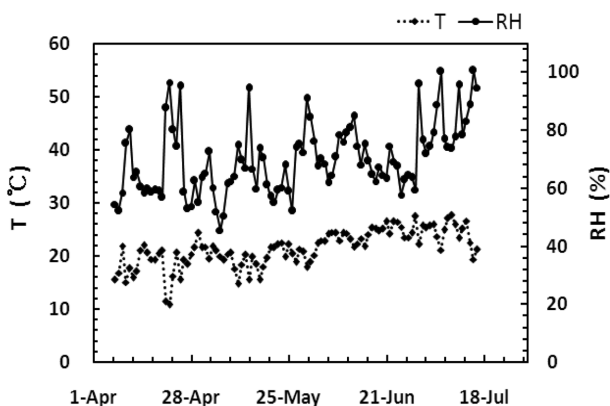


Fig. 1. Changes of temperature (T) and relative humidity (RH) during the experimental period. Data were represented as the daily averages.

## 결과 및 고찰

광환경은 식물의 광합성과 생장에 관여하는 중요한 요

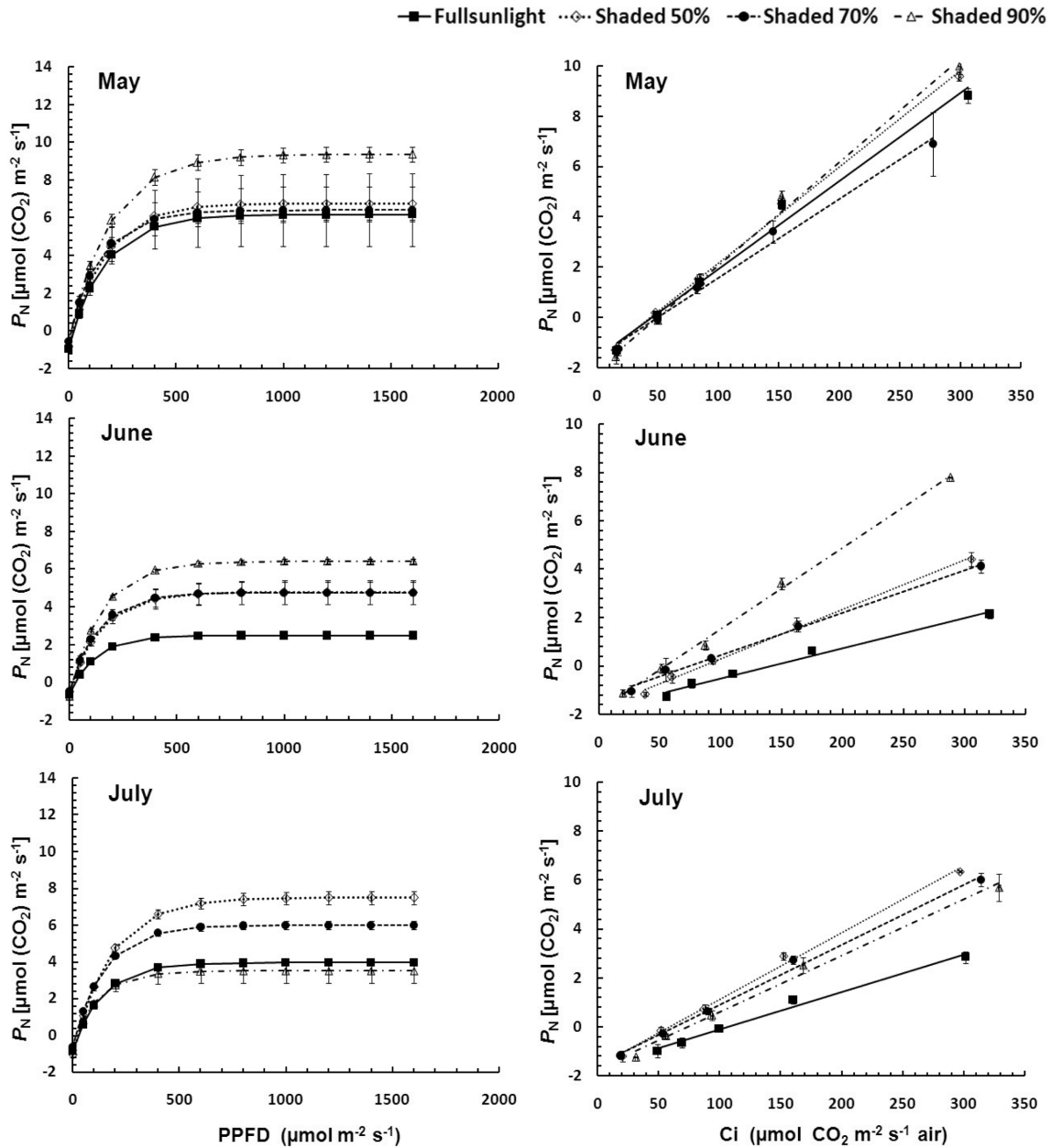


Fig. 2.  $P_N$ -PPFD curves and  $P_N$ - $C_i$  curves of *B. latissimum* grown under four different shading treatments during the experimental periods.

인므로, 약광조건에서 성장하는 식물은 낮은 광도에서도 광합성을 수행하기 위해 호흡률을 감소시켜 광보상점을 낮추고, 빛의 흡수를 효율적으로 수행하기 위해 엽면적 및 엽록소 함량을 증가시킨다. 반대로 강한 광조건에서는 에너지의 공급과 소비에 불균형이 야기되어 광저해 현상이 나타난다. 광환경 차이에 따른 섬시호의  $P_n$ -PPFD 및  $P_n$ - $C_i$  곡선을 Fig. 2에 나타냈으며, 광보상점, 암호흡, 최대광합성 속도, 순양자수를,  $CO_2$ 보상점, 광호흡, 탄소고정효율을 산출하였다(Table 1).

차광수준이 높아짐에 따라 전반적으로 광보상점이 감

소되었으며,  $CO_2$  보상점 역시 6월과 7월에 광보상점과 비슷한 경향을 나타내었다. 특히 5월의  $CO_2$  보상점은 차광처리와 무차광처리가  $45\sim 50\mu mol(CO_2) \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 로 비교적 차이가 적었으나 6월 이후 무차광처리의  $CO_2$  보상점이 크게 높아진 것을 알 수 있었다(Table 1).

생명유지와 물질의 합성에 필요한 에너지 공급에 기여하는 암호흡(Werf et al., 1988) 역시 차광수준이 높아짐에 따라 감소하여 암호흡의 감소가 광보상점의 감소를 가져왔음을 알 수 있었다. 광호흡은 광계 1에 전자수용체를 공급하여 과다하게 공급되는 전자를 소비하도록 하

**Table 1.** The Photosynthetic parameters of *B. latissimum* grown under four different shading treatments during the experimental periods.

Parameters	May (Shade level %)				June (Shade level %)				July (Shade level %)			
	0	50	70	90	0	50	70	90	0	50	70	90
LCP	22.6c (2.5)	18.1b (1.5)	11.7a (0.5)	11.7a (1.8)	25.3b (2.9)	13.8a (2.4)	12.5a (1.5)	15.3a (3.0)	25.2c (2.9)	21.8bc (2.4)	13.9a (1.7)	17.4ab (2.3)
CC	44.7a (2.1)	43.9a (0.7)	49.9b (0.4)	49.5b (0.9)	140.6d (5.1)	85.4c (2.9)	74.0b (4.9)	53.2a (1.9)	106.4c (1.0)	58.4a (1.2)	62.6a (1.1)	74.2b (5.3)
R <sub>d</sub>	0.96c (0.0)	0.83b (0.1)	0.58a (0.0)	0.61a (0.1)	0.65ab (0.1)	0.50a (0.1)	0.50a (0.1)	0.74b (0.2)	0.88b (0.1)	1.07b (0.2)	0.63a (0.1)	0.61a (0.1)
R <sub>p</sub>	1.56a (0.1)	1.68a (0.1)	1.57a (0.1)	2.04b (0.3)	1.76b (0.1)	1.77b (0.3)	1.31a (0.3)	1.86b (0.2)	1.62ns (0.1)	1.59 (0.1)	1.54 (0.2)	1.70 (0.1)
AQY	42.9a (6.1)	45.8ab (4.1)	49.4ab (1.5)	52.1b (3.3)	25.9a (1.7)	36.4b (0.4)	39.6b (1.8)	48.2c (2.8)	35.0a (1.9)	48.7b (4.0)	45.4b (1.7)	35.2a (2.0)
CE	34.9ab (1.5)	38.3bc (2.3)	31.5a (1.9)	41.3c (5.0)	12.5a (0.5)	20.7b (3.0)	17.6ab (2.7)	35.0c (4.0)	15.3a (0.6)	27.3c (1.5)	24.6b (2.5)	23.0b (2.8)
P <sub>Nmax</sub>	6.2a (0.4)	6.8a (0.9)	6.4a (1.9)	9.4b (0.4)	2.5a (0.1)	4.8b (0.6)	4.7b (0.6)	6.4c (0.1)	3.9a (0.1)	7.5c (0.4)	6.0b (0.2)	3.5a (0.6)
SPAD	9.5a (2.3)	11.8ab (3.3)	13.8b (2.4)	27.2c (1.6)	5.5a (1.3)	9.7b (2.0)	15.0c (2.9)	31.0d (3.2)	4.3a (0.7)	9.3a (1.2)	24.4b (3.0)	38.5c (13.1)

Each value is expressed as the mean  $\pm$  SD (n = 3). Mean separation within column by DMRT at 5% level. ns is non-significant. Light compensation point; LCP [ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], CO<sub>2</sub> compensation point; CC [ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], dark respiration; R<sub>d</sub> [ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], photo-respiration rate; R<sub>p</sub> [ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], net apparent quantum yield; AQY [ $\text{mmol}(\text{CO}_2) \text{mol}^{-1}$ ], carboxylation efficiency; CE [ $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ], maximum photosynthesis rate; P<sub>Nmax</sub> [ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ].

는 역할이 알려져 있으며(Kwon 등, 2003), 70% 및 90% 차광처리구가 5월보다 6월에 다소 감소한 것에 비해 무차광처리구와 50% 차광처리구는 다소 증가한 경향을 나타내어 과도한 빛 에너지를 소산시키기 위한 방어적 역할을 수행하고자 광호흡이 증가된 것으로 생각된다.

약광조건에서 광화학계의 활성을 반영하는 순양자수율의 경우 낮은 광도에서 효율적으로 광합성을 수행하기 위해 무차광처리구에 비해 차광처리구가 다소 높아진 것을 알 수 있었다. 또한 탄소고정효율(carboxylation efficiency)은 엽육내의 CO<sub>2</sub> 분압이 낮은 영역에서 CO<sub>2</sub> 고정계 효소인 rubisco의 활성 또는 함량을 반영하는 것으로(Kim과 Lee, 2001), 무차광처리구의 탄소고정효율이 5월에서 6월, 7월로 이어짐에 따라 크게 감소되었고, 90% 차광처리구 역시 감소되는 경향을 보인데 비해 50% 차광처리구의 경우 점진적으로 증가하여 차광처리가 계속됨에 따라 rubisco의 활성이 증가되는 것을 알 수 있었다(Table 1).

최대광합성속도는 무차광처리구가 5월 이후 크게 감소되는 경향을 나타냈고, 90% 차광처리구는 5월과 6월에 비교적 높은 값을 보이다가 7월에 3.5 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 크게 감소하였으며, 이 시기 50% 차광처리구가 7.5 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 엽록소 함량은 전반적으로 차광수준에 따라 높아지는 경향을 보였으며, 차광처리가 지속됨에 따라 무차광과 50% 차광처리구는 점진적인 감소를 보였고, 70% 및 90% 차광처리구는 5월에 비해 7월이 각각 77%와 42%까지 증가하였

다(Table 1).

전반적으로 차광수준이 높아짐에 따라 낮은 광도에서 광합성을 수행하기 위해 암호흡의 저하로 인한 광보상점이 감소가 나타났으며, 광합성의 효율을 높이기 위해 순양자수율과 엽록소 함량의 증가가 나타났다. 특히 무차광처리구에서는 강한 광에 의한 광합성 기구의 손상을 막기 위해 최대광합성속도와 엽록소 함량이 감소하고, 광호흡이 증가되는 경향을 보였다. 90% 차광처리구는 광선요구도보다 매우 적은 광 환경이 지속되어 광합성 능력이 점차 저하되는 경향을 나타냈으며, 7월에는 무차광처리구보다도 낮은 최대광합성속도를 나타냈다(Table 1).

식물은 기공을 통해 대기-엽 사이의 CO<sub>2</sub> 및 수분을 교환하며, 환경 변화에 따라 복잡한 생리적 메커니즘을 통한 기공개폐 작용을 수행하여 기공전도도를 조절한다.

엽의 기공전도도는 증산에 영향을 미치는 확산저항을 조절하는 중요한 요소로, 대기의 습도와 CO<sub>2</sub> 분압, 엽의 온도, 식물의 생리적 상태에 따라 민감하게 변화하며, (Collatz et al., 1991; Kwon 등, 2003), 특히 기공의 열림은 광과 낮은 CO<sub>2</sub>에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다.

섬시호의 기공전도도와 기공증산속도는 전반적으로 광합성속도와 비슷한 경향을 보였으며, 차광에 따른 광환경 변화로 90% 차광처리구는 지속적으로 감소하고, 50% 차광처리구는 6월 이후 크게 증가하여 7월의 기공전도도 및 기공증산속도가 50% > 70% > 무차광 > 90% 차광처리구순으로 나타났다. 90% 차광처리구의 경우 광이

부족한 환경에서 계속 생육하여 기공전도도와 기공증산 속도가 점진적으로 저하되었고, 광합성 속도의 감소를 가져온 것으로 보인다. 무차광처리시 강한 광에 의한 수분손실을 줄이기 위해 기공전도도를 감소시켰으며, 기공 증산속도 역시 감소되었으나, 50% 차광처리구의 경우 광합성에 효율적인 광환경이 제공되어 기공전도도와 기공증산속도가 증가하였고, 광합성 활성 역시 높아진 것을 알 수 있었다(Fig. 3).

수분이용효율은 광합성 동화산물에 대한 수분손실률로

서 수분부족 상태에서 광합성과 기공전도도의 변화는 수분내 일어날 수 있기 때문에 순간적인 기공전도도의 감소는 일시적 수분이용효율의 증가를 가져올 수 있으며, 수분 이용이 제한될 때 즉각적인 수분이용효율의 변화를 통해 건조에 대항한다고 한다(Heschel et al., 2002; Lim 등, 2006). 5월과 6월의 수분이용효율은 무차광처리구가 차광처리구에 비해 비교적 높은 값을 나타냈으나, 5월은 편차가 커 통계적인 유의성은 인정되지 않았다. 또한 7월의 경우 비교적 불규칙한 경향을 보였는데, 50% 차광

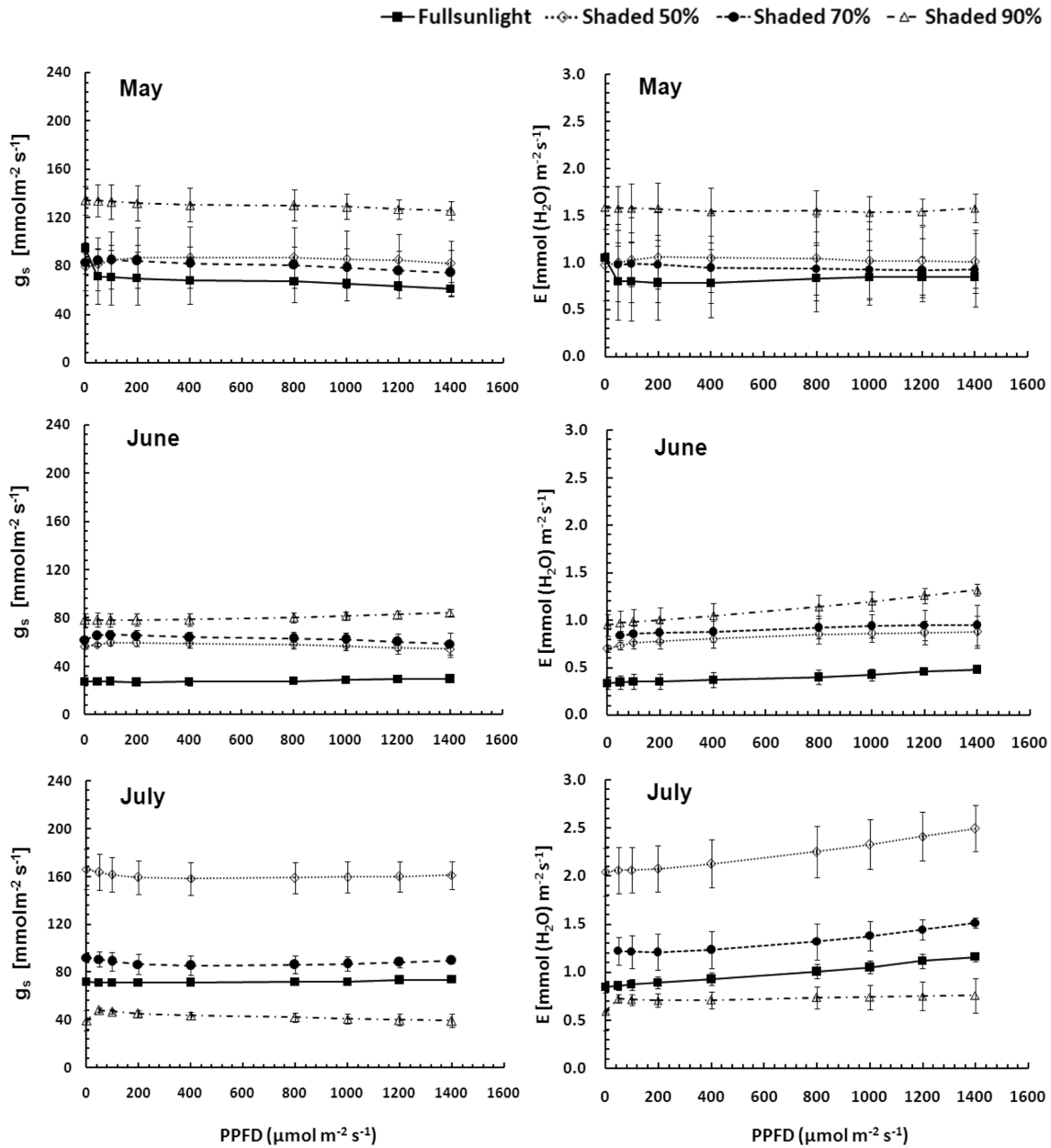
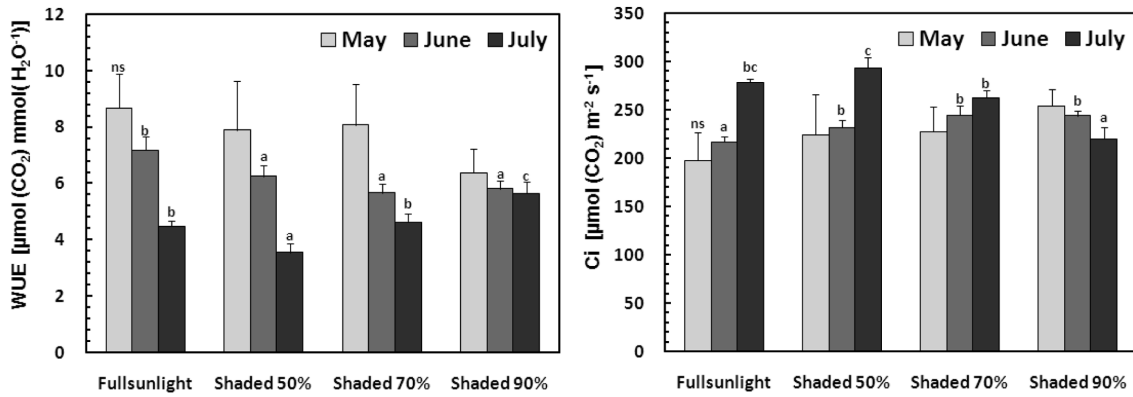


Fig. 3. Stomatal transpiration rate ( $E$ ) and Stomatal conductance ( $g_s$ ) of *B. latissimum* grown under four different shading treatments during the experimental periods. Each value is expressed as the mean  $\pm$  SD ( $n = 3$ ).

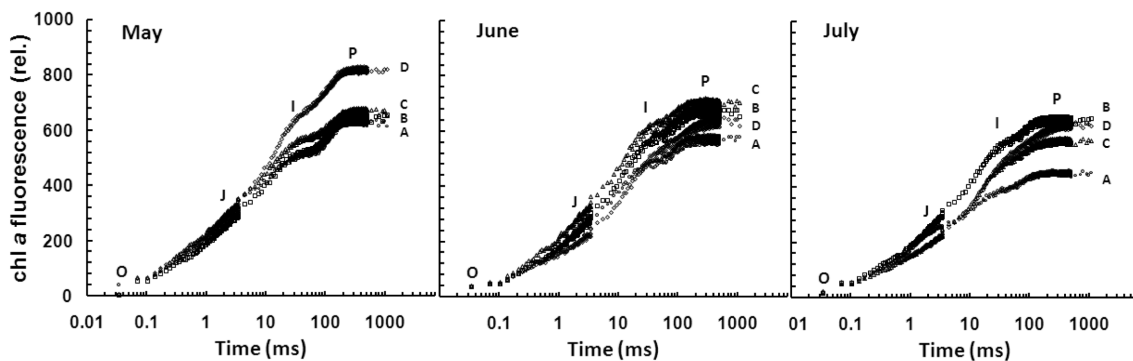


**Fig. 4.** Changes of water use efficiency (WUE) and intercellular  $\text{CO}_2$  concentration ( $\text{Ci}$ ) of *B. latissimum* grown under four different shading treatments during the experimental periods (PPFD  $1,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Values in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ). Each value is expressed as the mean  $\pm$  SD ( $n = 3$ ).

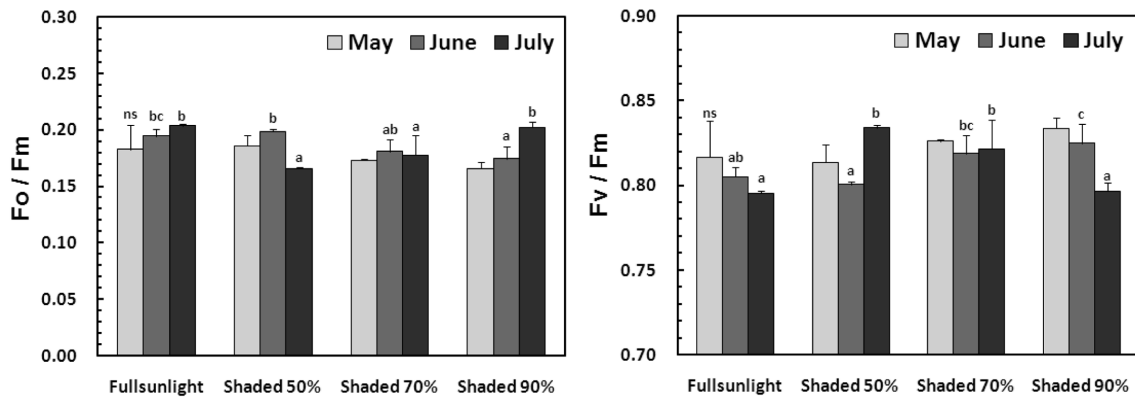
처리구가 다른 처리구에 비해 증산속도가 크게 증가하여 수분이용효율이 저하된 것으로 생각되며, 90% 차광처리구의 경우 수분 및  $\text{CO}_2$  교환의 불균형으로 광합성의 감소에 비해 기공증산속도의 감소폭이 더 크게 나타나 수분이용효율이 높아진 것으로 생각된다(Fig. 4).

대기 중의  $\text{CO}_2$  농도는 상대적으로 일정한 수준을 유지하지만 엽육세포내의  $\text{CO}_2$  농도는 대기에서 엽육세포로의  $\text{CO}_2$  확산 저항에 의해 결정되고, 확산저항은 미기후 조건 및 식물의 수분상태에 따라 기공전도도에 의해 조절된다고 한다(Franck and Vaast, 2009). 섬시호의  $\text{Ci}$  값은 5월에는 유의적인 차이가 없었으며, 전반적으로 기공전도도와 비슷한 경향을 보여 기공전도도에 의해 엽육세포내의  $\text{CO}_2$  농도가 조절되는 것을 알 수 있었다(Fig. 4). 특히 7월에 50% 차광처리구에서  $\text{Ci}$ 가 가장 높게 나타났고, 무차광처리구도 이와 비슷한 농도를 보였으나, 최대광합성속도(Table 1)는 크게 차이가 나므로 보아 무차광처리구에서 엽육세포내의  $\text{CO}_2$ 를 효율적으로 광합성에 활용하지 못하는 것을 알 수 있었다.

O-J-I-P 곡선은 과도한 광, 온도 등 스트레스에 대한 민감도를 알 수 있는 지표이며(Thach et al., 2007), 비파괴적인 방법으로 식물의 상태나 광합성 효율 등을 알 수 있다. 광계 2의 반응중심(P680)에서 방출된 전자는 페오피틴(pheophytin)에 수용된 후 초기 전자수용체인  $\text{Q}_A$ (first quinone electron acceptor)를 환원시키게 되며('J'단계), J-I구간은  $\text{Q}_A$ 의 환원과 재산화간의 불균형을 반영하고  $\text{Q}_A$ 에서  $\text{Q}_B$ (second quinone electron acceptor)로 전자가 전달되어  $\text{Q}_A$ 가 재산화 되면 'I'단계 유도된다. 이후 전자를 받은  $\text{Q}_B$ 는 스트로마로부터 두 개의  $\text{H}^+$ 를 취하여 완전히 환원된 후 plastoquinone pool(PQ pool)로 이동하며, PQ pool과  $\text{Q}_A$ 가 최대로 환원된 상태가 P 단계이다(Jiang et al., 2006; Oh 등, 2009; Lee 등, 2012; Taiz and Zeiger, 2006). 5월의 경우 강피음처리구의 J-I-P가 비교적 높은 경향을 보였으나 이후 감소되었고, 50% 차광처리구는 점진적으로 높아지는 경향을 보였다. 무차광처리구는 5월에서 7월까지 J-I-P단계가 가장 낮은 경향을 보였으며, 특히 7월에는 J-I 구간에서 가장



**Fig. 5.** Changes of OJIP fluorescence curve of *B. latissimum* grown under four different shading treatments during the experimental periods. Plotted on a logarithmic time scale. A is Full sunlight, B : shaded 50%, C : shaded 70%, D : shaded 90%.



**Fig. 6.** Changes of chlorophyll fluorescence of *B. latissimum* grown under four different shading treatments during the experimental periods. Values in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ). Each value is expressed as the mean  $\pm$  SD ( $n = 3$ ).

낮은 변화를 보여 강한 광에 의해  $Q_A$ 가 환원 상태로 되어 여기에너지의 전달이 불활성화 되는 것을 알 수 있었다(Fig. 5).

Fo/Fm은 상태변화 지수(state change index)로 광합성 기구의 생리적 상태를 나타내고, Fv/Fm는 광화학반응에서 양자수율의 최대치로 광계 2(photosystem II)의 광합성 반응을 본질적이면서도 민감하게 나타낸다. Fo/Fm와 Fv/Fm는 환경스트레스에 따른 생리적 상태 및 광화학반응 효율을 나타내는 중요한 지표로 사용되며, 일반적으로 스트레스에 따라 Fo/Fm는 증가되고, Fv/Fm는 감소되는 경향을 보인다(Percival and Fraser, 2001; Borkowska, 2002; Lavorel and Etienne, 1977). 섬시호의 경우 차광처리가 지속됨에 따라 무차광처리구와 90% 차광처리구의 Fo/Fm는 증가하고, Fv/Fm는 감소하는 경향을 보였으며, 50% 차광처리구의 Fv/Fm은 7월에 크게 증가하여 광화학반응 효율이 높아진 것을 알 수 있었다(Fig. 6).

## 적 요

차광처리에 의한 광환경 변화가 섬시호의 생리적 반응에 미치는 영향을 조사하기 위해, 차광막을 이용하여 무차광처리구(0%), 50%, 70% 및 90% 차광처리구를 설치하고 광합성 관련 인자, 수분이용효율, 엽육세포내  $CO_2$  농도, 엽록소 형광반응 등을 조사하였다.

차광수준이 높아짐에 따라 낮은 광도에서 광합성을 수행하기 위해 암호흡의 저하로 인한 광보상점이 감소가 나타났으며, 광합성의 효율을 높이기 위해 순양자 수율과 엽록소 함량의 증가가 나타났다. 무차광처리구에서는 강한 광에 의한 수분손실을 막기 위해 기공전도도와 기공증산속도가 감소되었고, 엽육내의  $CO_2$ 를 효율적으로

광합성에 활용하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 최대 광합성속도가 감소하는 광저해현상이 나타났으며, 여기에너지의 전자전달이 원활하지 못하여 광으로 인한 피해가 예상된다. 90% 차광처리구 역시 점진적으로 광합성속도가 감소하여 7월에 가장 낮은 최대광합성속도를 보였는데, 이는 광선요구도보다 매우 적은 광 환경에서 계속 성장함으로써 광합성 능력이 저하되는 것으로 생각할 수 있으며, 50% 차광처리구의 경우 광합성에 효율적인 광환경이 제공되어 기공전도도와 기공증산속도가 증가하였고, 광화학반응 효율이 증가하는 등 광합성 활성이 높아진 것을 알 수 있어 생육에 보다 유리한 광 조건임을 알 수 있었다.

**추가 주제어 :** 광합성 활성, 광화학반응 효율, 엽록소 함량, 피음처리

## Literature Cited

- Ahn, J.K., H.C. Lee, C.H. Kim, D.O. Lim, and B.Y. Sun. 2008. Phylogeny and conservation of the genus *Bupleurum* in northeast asia with special reference to *B. latissimum*, endemic to ulleung island in Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 22:18-34 (in Korean).
- Ahn, Y.H. and S.J. Lee. 2007. Ecological characteristics and distribution of *Bupleurum latissimum* in ulleung Island. *Journal of the Environmental Sciences* 16:751-761 (in Korean).
- Borkowska, B. 2002. Growth and photosynthetic activity of micropropagated strawberry plants inoculated with endomycorrhizal fungi (AMF) and growing under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum.* 24:365-370.
- Cho, M.S., K.W. Kwon, G.N. Kim, and S.Y. Woo. 2008. Chlorophyll contents and growth performances of the five deciduous hardwood species growing under different shade

- treatments. Kor. J. Agr. For. Meteorol. 10:149-157 (in Korean).
- Choi, Y.B. and J.H. Kim. 1995. Change in needle chlorophyll fluorescence of *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* treated with artificial acid rain. J. Kor. For. Soc. 84:97-102 (in Korean).
- Collatz, G.J., J.T. Ball, C. Grivet, and J.A. Berry. 1991. Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration: a model that includes a laminar boundary layer. Agricultural and Forest Meteorology 54:107-136.
- Demmig, B. and O. Björkman. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants. Planta. 171:171-184.
- Farquhar, G.D., S. Caemmerer, and J.A. Berry. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species. Planta. 149:78-90.
- Franck, N. and P. Vaast. 2009. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. Trees. 23:761-769.
- Heschel, M.S., K. Donohue, N. Hausmann, and J. Schmitt. 2002. Population differentiation and natural selection for water-use efficiency in *impatiens capensis* (*Balsaminaceae*). Int. J. Plant Sci. 163:907-912.
- Jiang, C.D., G.M. Jiang, X. Wang, L.H. Li, D.K. Biswas, and Y.G. Li. 2006. Increased photosynthetic activities and thermostability of photosystem II with leaf development of elm seedlings (*Ulmus pumila*) probed by the fast fluorescence rise OJIP. Environmental and Experimental Botany. 58:261-268.
- Kim, M.Y., S.K. So, H.R. Park, E.K. Seo, H.J. Kwon, and H.K. Song. 2006. Ecology of *Bupleurum latissimum* population. J. Korean Env. Res. and Reveg. Tech. 9:78-85 (in Korean).
- Kim, H.J., H.J. Cho, E.Y. Kim, M.Y. Kim, and H.B. Park. 2007. Mass propagation by *in vitro* culture of *Bupleurum latissimum* Nakai. Korean J. Plant Res. 20:367-374 (in Korean).
- Kim, P.G. and E.J. Lee. 2001. Ecophysiology of photosynthesis 1: effects of light intensity and intercellular CO<sub>2</sub> pressure on photosynthesis. Kor. J. Agr. For. Meteorol. 3:126-133 (in Korean).
- Kume, A. and Y. Ino. 1993. Comparison of ecophysiological response to heavy snow in two varieties of *Acuba japonica* with different areas of distribution. Ecological Research 8:111-121.
- Kwon, K.W., G.N. Kim, and M.S. Cho. 2009. Physiology responses of the three wild vegetable under different shading treatment. J. Kor. For. Soc. 98:106-114 (in Korean).
- Kwon, Y.M., S.C. Ko, J.C. Kim, B.Y. Moon, M.C. Park, H.B. Park, I.H. Park, Y.S. Lee, I.H. Lee, J.S. Lee, J.B. Lee, C.H. Lee, B.U. Jeon, S.H. Jo, and J.B. Hong. 2003. Plant Physiology. Academybook. Seoul. Korea. p. 429 (in Korean).
- Lavorel, J. and A.L. Etienne. 1977. In vivo chlorophyll fluorescence, pp. 203-268. In: J. Barber (ed.). Primary processes of photosynthesis. Elsevier Scientific. New York. USA.
- Lee, K.C., H.S. Noh, J.W. Kim, and S.S. Han. 2012. Physiological responses of *Cirsium setidens* and *Pleurospermum camtschaticum* under different shading treatments. Journal of Bio-Environment Control. 21:153-161.
- 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. J. Kor. For. Soc. 95:705-710 (in Korean).
- Oh, S.J. and S.C. Koh. 2004. Chlorophyll fluorescence and antioxidative enzyme activity of crinum leaves exposed to natural environmental stress in winter. Korean J. Environ. Biol. 22:233-241 (in Korean).
- Oh, S.J., K.L. Zhin, and S.C. Koh. 2009. Characterization of Chl a fluorescence of hydrophytes under cadmium stress. Journal of the Environmental Sciences 18:1361-1368 (in Korean).
- Percival, G.C. and G.A. Fraser. 2001. Measurement of the salinity and freezing tolerance of *Crataegus* genotypes using chlorophyll fluorescence. Journal of Arboriculture. 27:233-245.
- Sim, J.S. and S.S. Han. 2003. Ecophysiological characteristics of deciduous oak species(III) photosynthetic responses of leaves to change of light intensity. J. Kor. For. Soc. 92:208-214 (in Korean).
- So, S.K., K.S. Han, M.Y. Kim, H.R. Park, E.K. Seo, Y.P. Kim, and T.H. Kim. 2008a. Pollination mechanism of *Bupleurum latissimum* (Apiaceae). Korean J. Pl. Taxon. 38:43-50 (in Korean).
- So, S.K., H.R. Park, E.K. Seo, K.S. Han, M.Y. Kim, and K.R. Park. 2008b. Numerical taxonomic analyses of *Bupleurum latissimum* (Apiaceae) 38:31-42 (in Korean).
- Sun, C.X., H. Qi, J.J. Hao, L. Miao, J. Wang, Y. Wang, M. Liu, and L.J. Chen. 2009. Single leaves photosynthetic characteristics of two insect-resistant transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties in response to light. Photosynthetica. 47:399-408.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology. 4th ed. Sinauer Associates. Sunderland. USA. p.142-147.
- Thach, L.B., A. Shapcott, S. Schmidt, and C. Critchley. 2007. The OJIP fast fluorescence rise characterizes *Graptophyllum* species and their stress responses. Photosynthesis Research 94:423-436.
- Werf, A., A. Kooijman, R. Welschen, and H. Lambers. 1988. Respiratory energy costs for the maintenance of biomass, for growth and for ion uptake in roots of *Carex diandra* and *Carex acutiformis*. Physiologia Plantarum. 72:483-491.