

피음처리에 따른 고려엉겅퀴와 누룩치의 생리반응

이경철¹ · 노희선² · 김종환² · 한상섭^{1*}

¹강원대학교 산림환경과학대학 산림자원조성학과, ²강원도 농업기술원 특화작물시험장

Physiological Responses of *Cirsium setidens* and *Pleurospermum camtschaticum* under Different Shading Treatments

Kyeong-Cheol Lee¹, Hee-sun Noh², Jongh-wan Kim², and Sang-Sup Han^{1*}

¹Department of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²Specialty Crops Experiment Station, Gangwon-do Agricultural Research & Extension Services, Pyeongchang 232-923, Korea

Abstract. This study was conducted to investigate the chlorophyll contents, photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of *Cirsium setidens* and *Pleurospermum camtschaticum* by shading treatment. Two species were grown under non-treated (full sunlight) and three different shading condition (88~93%, 65~75% and 45~55% of full sunlight) for the experiment. Total chlorophyll content, photochemical efficiency (Fv/Fm), specific leaf area (SLA), and net apparent quantum yield were increased with elevating shading level but decreased dark respiration under the low light intensity. Therefore, light absorption and light utilization efficiency were improved under the low light intensity. 45~55% of full sunlight in *C. setidens* and 65~75% of full sunlight in *P. camtschaticum* showed best maximum photosynthetic rate, net apparent quantum yield and photochemical efficiency. On the other hand, non-treated showed lower maximum photosynthetic rate, photochemical efficiency, and chlorophyll content than treated ones. These results suggest that growth of *P. camtschaticum* adapted to 65~75% of full sunlight and *C. setidens* adapted to 45~55% of full sunlight.

Key words : chlorophyll content, photosynthetic rate, photochemical efficiency, shading treatment

서 론

우리나라 산림내에 자생하는 식물중 약 480여종이 식용으로 이용될 수 있다고 하며, 그 중 37종은 현재 전국에서 재배되고 있다(Kim 등, 2010). 특히 자연산 산채류는 일반 식생활에서 부족되기 쉬운 각종 비타민과 무기질이 풍부하고, 섬유소가 많아 변비나 각종 성인병 예방에 도움이 되며, 소비자들의 욕구를 충족시킬 수 있는 청정함과 기능성을 가지고 있어 농가의 고소득 작물로 각광받고 있다(Nam과 Baik, 2005). 그러나 자연산 채취에 의존하던 기존의 공급형태가 자생지 훼손

및 농촌 노동력의 양적, 질적 감소로 인한 채취인력 부족으로 근래에 들어 재배위주로 전환되고 있는 추세이다.

산채의 일종인 누룩치(*Pleurospermum camtschaticum*)와 고려엉겅퀴(*Cirsium setidens*)는 흔히 누리대와 곤드레로 알려져 있으며, 누룩치는 α -amylase의 활성 증가, 단백질 분해능 촉진, 항산화작용 및 항돌연변이원 효과가 확인되어 소화촉진 및 항암기능 향상에 도움이 되고(Chung와 Lee, 1998; Cho 등, 2004), 고려엉겅퀴는 강원도 고산지역에서 자생하는 식물로 이화학적 성상과 항산화 활성, 간보호활성 등의 연구가 보고된 바 있어(Jung 등, 2008; Lee, 2006) 생리활성 효과가 뛰어난 유망 산채들이다.

산림내에서 자생하는 누룩치, 고려엉겅퀴는 임지내

*Corresponding author: sshan@kangwon.ac.kr
Received April 10, 2012; Revised May 8, 2012;
Accepted June 1, 2012

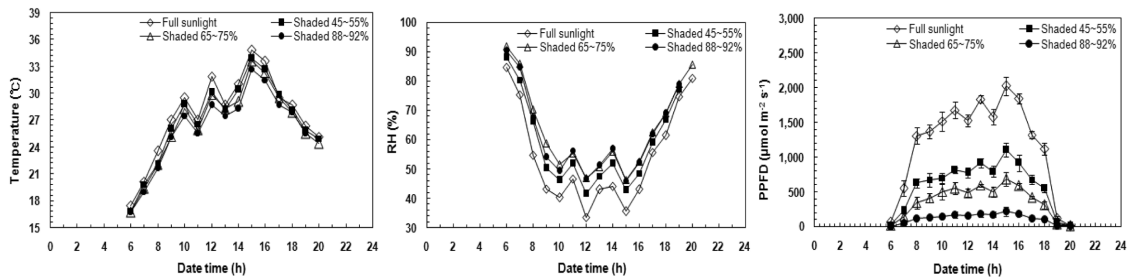


Fig. 1. Diurnal changes of temperature, relative humidity (RH) and light intensity (Photosynthetic photon flux density; PPFD) following shading treatments on 22 July.

환경에 따라 분포하는 곳이 다르며, 이에 따라 경작지나 암내에서 직접 재배 할 경우 적합한 광과 수분조건을 제공하는 것이 생장에 결정적인 요인으로 작용한다(Han 등, 2010). 누룩치는 생육기에 매우 낮은 광조건에서 성장하고, 이식재배시 성묘율이 낮아 재배면적 확대가 어려운 산채로 알려져 있으며(Hong, 1997), 고려영경귀는 30% 차광시 생장에 유리한 것으로 보고된 바 있다(Suh 등, 1996). 그러나 누룩치와 고려영경귀의 환경인자에 따른 생리반응에 관한 체계적인 연구 결과는 미흡한 실정으로 이 연구는 누룩치와 고려영경귀의 피음처리에 따른 광합성 특성과 엽록소 함량 등을 조사하여 효율적이고 안정적인 재배가 가능하도록 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시식물 및 피음처리

실험에 사용된 재료는 강원도 홍천군 내촌면의 재배농가에서 분양받은 3년생 고려영경귀와 누룩치를 2010년 3월초 마사토와 펄라이트(1:1)를 이용한 직경 25cm 포트에 파종하여 강원대학교 구내 온실에서 1년간 생육시킨 것을 사용하였다.

피음처리 조사는 강원대학교 구내 묘포장에 노천광을 모두 수광하는 처리구(이하 전광처리구)와 시중에서 생산하는 35%, 55% 검정색 차광막을 이용하여 45~55%(약피음), 65~75%(중간피음), 88~92%(강피음) 처리구를 각각 설치하고 2011년 4월 9일부터 2011년 7월 23일까지 처리별로 10개체씩 피음처리를 실시하여 광환경 변화에 따른 생리반응을 알아보려고 하였다. 처리구의 주요 환경인자를 알아보기 위하여 2011년 4월 1일부터 7월 31일까지 온도 측정기(HOBO H08-

004-02, ONSET, USA)를 지상으로부터 2m 높이에 각각 설치하였으며, 휴대용 광량측정기(HD 2102.1, Delta OHM, Italy)를 사용하여 7월 22일 피음처리 차광막 하부에서 지면과 수평으로 10반복씩 광량을 측정하였다(Fig. 1).

2. 엽록소 함량 및 엽면적비 분석

피음처리에 따른 엽록소 함량의 변화를 조사하기 위하여 각 처리구 마다 3장의 엽을 채취한 후 엽면 0.1g을 10ml의 DMSO(dimethyl sulfoxide) 용액이 들어있는 20ml 유리병에 넣어 60°C로 설정된 항온기에서 6시간 색소를 추출하였다(Hiscox and Israelstam, 1979). 추출한 용액은 자외선/가시광선 분광광도계(UV/VIS Spectrophotometer, HP 8453, Hewlett-Packard, U.S.A)를 이용하여 663nm와 645nm의 파장에서 흡광도를 측정하고, Arnon(1949)의 방법에 따라서 엽면적당 엽록소 a, b 함량을 구하였고 엽록소 a + b 함량을 산출하였다. 또한 광환경 변화에 따른 잎의 형태적 특성 변화를 알아보기 위해 각 처리구 마다 3장의 엽을 채취하여 엽면적과 건조량을 측정하고 엽면적비(SLA; specific leaf area = leaf area/leaf dry weight)를 산출하였다. 엽면적은 LIA 3.2program(version 0.377e, copy. Kazukiyo Yamato)을 이용하여 측정하였으며, 건조량은 건조기(Dry-oven)에 48시간 동안 80°C로 건조하여 측정하였다.

3. 엽록소 형광반응 분석

엽록소 형광반응은 엽록소 형광반응 측정기(chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 조사하였으며, 광합성 측정과 동일한 잎을 대상으로 측정하였다. 측정 전 sample clip으로 약 20분간

광을 차단하였다. 측정할 때는 $2,000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광선을 조사하였으며(Choi와 Kim, 1995; Demmig and Björkman, 1987; Cho 등, 2008), 초기형광반응(F_0), 최대형광반응(F_m), 형광반응 최대변화치($F_v = F_m - F_0$) 및 광화학반응 효율(F_v/F_m)의 변수를 측정하여 분석하였다.

4. 광합성 반응

피음처리에 따른 광합성 반응을 조사하기 위하여 건전엽을 대상으로 휴대용 광합성 측정장치(Ultra Compact Programmable Photosynthesis System, LCpro+, ADC, UK)를 이용하여 7월 18~25일 사이의 맑은 날 측정을 실시하였다.

측정시 휴대용 광합성 측정장치에 부착된 LED light source를 이용하여 PPF(Photosynthetic Photon Flux Density)를 0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1,000, $1,200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 9단계로 조절하였으며, 온도는 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 를 유지하여 오전 10시부터 오후 2시까지 처리구당 3반복으로 광합성을 측정하였다.

단위 잎표면적당 순광합성속도(net photosynthetic rate; Pn), 기공증산속도(stomatal transpiration rate; E), 기공전도도(stomatal conductance; $g_{\text{H}_2\text{O}}$)는 Caemmerer and Farquhar(1981)의 식으로 자동 계산하였으며, 수분이용효율(water use efficiency; WUE)은 순광합성속도를 기공증산속도로 나눈 값, 즉 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$ 로 나타내고, 대기 속의 CO_2 농도(air CO_2 concentration; C_a)에 대한 엽육세포간극의 CO_2 농도(intercellular CO_2 concentration; C_i)의 비율은 C_i/C_a 로 나타냈다(Sim과 Han, 2003). 측정된 자료를 이용하여 Kume and Ino(1993)식에 의해 광-광합성곡선을 나타냈고 광보상점, 광포화점, 암호흡, 최대광합성량을 구하였다. 광-광합성곡선 중 Kok 효과(Kok, 1948; Sharp et al., 1984)가 비교적 작게 나타나는 PPF 0~ $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 영역에서는 광과 광합성의 관계가 직선적이고, 그 직선 회귀식은 $y = a + bx$ 가 되는데, 여기서 y절편인 a는 호흡속도이고, x절편인 a/b 는 광보상점, 기울기 b는 순양자수율을 나타낸다. 또한 광합성 속도가 증가하다 일정한 값(A_{sat})을 유지하기 시작할 때 x의 값인 $(A_{\text{sat}} - a)/b$ 가 광포화점이다(Kim과 Lee, 2001a; Kwon 등, 2009). 피음처리에 따른 측정결과를 분석하기 위해서 SPSS Statistics

Program(Version 19.0)을 이용하여 ANOVA(analysis of variance) 분석을 실시하였으며, 각 처리간의 유의성은 DMRT(duncan's multiple range test) 5% 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 엽록소 함량 및 엽록소형광반응

피음처리에 따른 온도와 습도는 오전 12시경 가장 큰 차이를 보였으며, 전광처리구에 비해 강피음처리구의 온도는 3.23°C 낮았고, 습도는 12.9% 높게 나타났다. 시중에서 판매하는 35%, 55% 차광막을 이용하여 처리구를 설치한 결과 실제 피음수준은 이보다 높게 나타났으며, 35% 차광막은 전광의 45~55%(약피음), 55% 차광막은 전광의 65~75%(중간피음) 피음이 되는 것으로 나타났다. 35% 차광막 2겹을 겹쳐 설치한 처리구는 전광의 88~92%(강피음) 피음되는 광환경이 조성되었다(Fig. 1).

광합성 능력과 비례하는 엽록소 a+b 함량 즉 총 엽록소 함량(Kim 등, 2008)은 누룩치와 고려엉겅퀴 모두 전광처리구에서 가장 낮았고, 피음처리에 따라 증가하는 경향을 보였다. 엽록소 a와 b의 함량 또한 엽록소 a+b 함량과 같은 경향을 보였으며, 약피음처리구와 중간피음처리구는 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 1). 일반적으로 낮은 광도조건에서 순화된 식물이나, 내음성이 강한 식물은 높은 광도의 광환경 조건이 주어지게 되면 낮은 총 엽록소 함량을 나타내고(Hansen et al., 2002; Valladares et al., 2002), 피음처리 수준이 높아질수록 총 엽록소 함량이 높아지는데(Kim과 Lee, 2001b; Jeong과 Kim, 1999) 이와 같은 결과를 보였으며, 특히 전광조건에서 엽록소 함량이 감소한 것은 과도한 빛의 흡수를 줄이기 위한 광보호작용(Kyparissis et al., 2000; Je 등, 2006)으로 생각된다.

일반적으로 빛에너지를 앞에 흡수하는 단계에서 엽록소 a가 주로 결합된 반응중심(core complex)에는 엽록소 b가 거의 없고, 광수확 단백질복합체(light harvesting chl-protein complex; LHC)에는 상대적으로 엽록소 b의 함량이 많기 때문에(Kwon 등, 2003) 약광조건에서 보다 많은 광을 수집하기 위해 LHC 특히 광계 2(photosystem II)의 LHC II가 많이 생성되

Table 1. Change of chlorophyll content in *C. setidens* and *P. camtschaticum* grown under four different shading treatments.

Species	Treatment	Chlorophyll content (mg · g ⁻¹)			Chlorophyll a/b	SLA (cm ² · g ⁻¹)
		a	b	a + b		
<i>C. setidens</i>	Full sunlight	0.99 ± 0.05 ^{a**}	0.44 ± 0.01a	1.48 ± 0.05a	2.23 ± 0.14b	200.6 ± 14.3a
	Shaded 45~55%	1.48 ± 0.09b	0.45 ± 0.05a	1.93 ± 0.14b	3.32 ± 0.20d	201.9 ± 9.5a
	Shaded 65~75%	1.51 ± 0.19b	0.50 ± 0.1a	2.01 ± 0.30b	3.04 ± 0.27c	267.9 ± 15.0b
	Shaded 88~92%	2.30 ± 0.20c	1.17 ± 0.13b	3.47 ± 0.33c	1.98 ± 0.44a	286.3 ± 12.6b
<i>P. camtschaticum</i>	Full sunlight	0.60 ± 0.06a	0.27 ± 0.08a	0.89 ± 0.13a	2.32 ± 0.47a	224.6 ± 9.4a
	Shaded 45~55%	1.25 ± 0.05b	0.36 ± 0.03ab	1.62 ± 0.05b	3.48 ± 0.37b	224.3 ± 13.7a
	Shaded 65~75%	1.29 ± 0.03b	0.39 ± 0.07b	1.67 ± 0.09b	3.40 ± 0.60b	224.3 ± 13.7a
	Shaded 88~92%	2.17 ± 0.10c	0.63 ± 0.14c	2.80 ± 0.23c	3.59 ± 0.73b	268.3 ± 8.1b

*Values are mean ± S.D.

**Means with different letters are significantly different at $P < 0.05$, which are testified with one ANOVA test and Duncan's multiple range test.

고 피옴처리시 엽록소 a의 증가보다 엽록소 b의 증가가 더 크게 나타나 엽록소a/b의 값은 감소하게 된다고 한다(Kim과 Lee, 2001b). 그러나 고려엉겅퀴의 경우 약피옴처리구에서 강피옴처리구까지 엽록소 a/b의 함량이 점진적으로 감소하여 엽록소 a의 증가보다 엽록소 b의 함량증가가 더 큰 것을 확인할 수 있었으나, 누룩치의 경우는 다소 불규칙적이며, 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Table 1).

엽면중량에 대한 엽면적비율을 나타내는 엽면적비 SLA는 고려엉겅퀴와 누룩치 모두 피옴처리 수준에 따라 증가하여 광이 부족한 환경에서 수광량을 높이기 위해 엽면적의 증가가 일어났으며, 엽의 두께는 얇아지는 것을 알 수 있었다(Table 1).

광화학반응 효율(Fv/Fm)은 엽록체 틸라코이드막에서

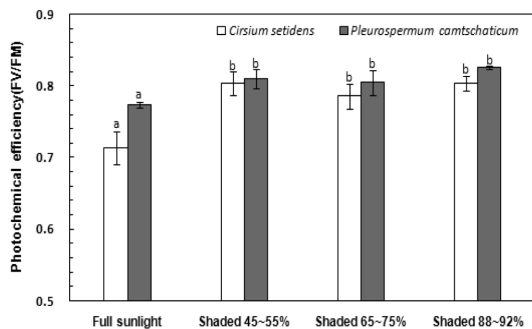


Fig. 2. Change of chlorophyll fluorescence in *C. setidens* and *P. camtschaticum* grown under four different shading treatments. A different letter indicates significant difference at $P < 0.05$, which are testified with one ANOVA test and Duncan's multiple range test.

방출되는 엽록소 형광값으로 광 스트레스에 대한 중요한 지표로서(Rascher et al., 2000) 식물의 광이용 효율과 직결되는 대사능력 정도를 간접적으로 보여주며, 광계 2(photosystem II)의 광합성 반응을 본질적이면 서도 민감하게 나타낸다(Lavorel and Etienne, 1977). 전광조건에서 내음성을 지닌 음지성 식물은 양지성 식물에 비해 광화학반응 효율이 낮다고 하며(Kitao et al., 2003), 엽록소 형광반응을 통해 알아본 광화학반응 효율의 변화는 고려엉겅퀴와 누룩치 모두 전광처리구에서 가장 낮은 값을 보였고, 약피옴처리구에서 강피옴처리구까지 유의적인 차이가 없었다(Fig. 2).

2. 광합성 반응

광-광합성곡선(Fig. 3)을 통해 광보상점, 광포화점, 최대광합성 속도, 그리고 순양자수율을 산출하였다 (Table 2). 약광조건에서 성장한 식물은 전광조건에 성장한 식물보다 광-광합성곡선의 초기기율기 즉 순양자수율이 높고, 광포화점이 낮으며, 높은 광도영역에서의 광합성속도가 낮다. 특히 순양자수율은 약광조건에서 광합성 능력을 나타내며, 광화학계의 활성을 반영하는 값(Evans, 1987)으로 순양자수율이 높은 것은 엽내 질소를 엽록소 생성에 적극 투자하여 낮은 광도에서 효율적으로 광합성을 하기 위한 것을 의미한다(Kim과 Lee, 2001b). 고려엉겅퀴와 누룩치 역시 전광처리구에서 광포화점이 가장 높았으며, 암호흡의 감소에 따라 광보상점 역시 감소됨을 알 수 있었다.

고려엉겅퀴는 강피옴처리구에서 최대광합성 속도와 순양자수율 모두 가장 낮았으며, 전광처리구<중간피옴

피음치리에 따른 고려엉겅퀴와 누룩치의 생리반응

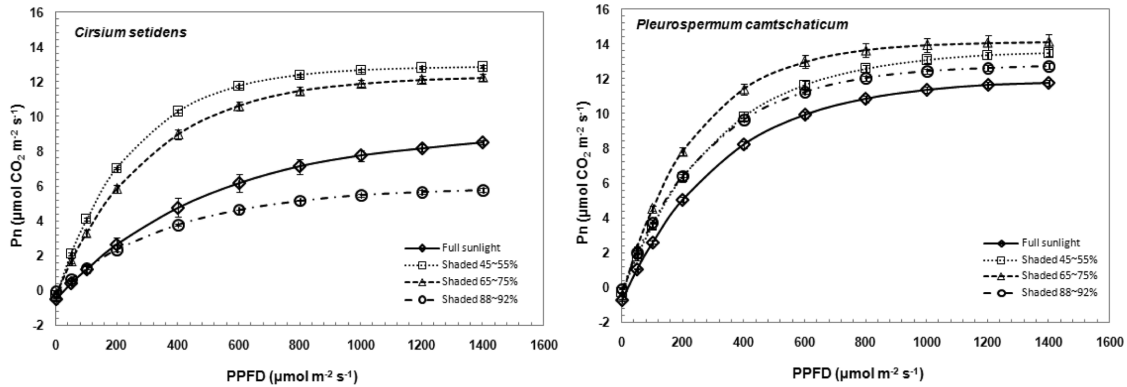


Fig. 3. Light response curves of *C. setidens* and *P. camtschaticum* grown under four different shading treatments.

Table 2. Light compensation point (L_{comp}), light saturation point (L_{satp}), dark respiration (D_{resp}), maximum photosynthesis rate (Pn_{max}), net apparent quantum yield (Φ) of *C. setidens* and *P. camtschaticum* grown under four different shading treatments.

Species	Treatment	L_{comp} ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	L_{satp} ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	D_{resp} ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Pn_{max} ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Φ ($\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)
<i>C. setidens</i>	Full sunlight	30.1 ± 3.0 ^{b**}	611.9 ± 118.2c	0.51 ± 0.06c	9.7 ± 0.2b	17.0 ± 3.1b
	Shaded 45~55%	5.5 ± 1.8a	308.4 ± 3.0a	0.24 ± 0.08b	13.2 ± 0.1d	43.7 ± 0.6d
	Shaded 65~75%	5.0 ± 2.4a	365.2 ± 11.1ab	0.17 ± 0.08b	12.6 ± 0.1c	35.0 ± 1.0c
	Shaded 88~92%	3.1 ± 2.5a	454.8 ± 36.8b	0.04 ± 0.04a	6.0 ± 0.2a	13.3 ± 0.6a
<i>P. camtschaticum</i>	Full sunlight	20.8 ± 1.2d	405.7 ± 5.4d	0.69 ± 0.06d	12.7 ± 0.2a	33.0 ± 1.0a
	Shaded 45~55%	6.1 ± 0.1b	376.9 ± 18.9c	0.23 ± 0.01b	13.9 ± 0.2b	37.7 ± 2.1b
	Shaded 65~75%	7.4 ± 0.5c	302.0 ± 4.2a	0.37 ± 0.03c	14.6 ± 0.4c	49.7 ± 1.5c
	Shaded 88~92%	0.5 ± 0.4a	343.2 ± 2.6b	0.02 ± 0.01a	12.9 ± 0.2a	37.7 ± 0.6b

*Values are mean ± S.D.

**Means with different letters are significantly different at $P < 0.05$, which are testified with one ANOVA test and Duncan's multiple range test.

처리구<약피음처리구 순으로 높게 나타났다. 누룩치는 전광처리구에서 가장 낮은 최대광합성 속도와 순양자수율을 나타냈고, 중간피음처리구에서 가장 높은 최대 광합성속도와 순양자수율을 나타냈으나 고려엉겅퀴에 비해 처리구간의 차이가 크지 않았다.

고려엉겅퀴가 강피음처리구에서 엽록소함량과 광화학반응효율이 비교적 높게 유지되는데 비해(Table 1, Fig. 2) 가장 낮은 최대광합성속도와 순양자수율을 보이는 것은 강피음으로 인한 낮은 광환경에서 계속 성장하여 광합성 능력을 점차 상실한 것으로 생각되며, 함박꽃나무와 같은 음수도 광량이 지나치게 부족한 환경에서는 광합성 기능이 저하된다고 보고한 Kim 등 (2010)의 연구와 유사한 결과를 보였다.

누룩치와 고려엉겅퀴에서 전광처리구가 피음처리구

에 비해 비교적 낮은 최대광합성 속도를 보이는 것은 강광으로 인해 과도한 들뜬 에너지가 광계 2의 불활성화를 초래하여 광합성 활성을 억제하는 광저해현상(photoinhibition)으로 생각할 수 있다(Choi 등, 1995; Kim과 Lee, 2001b, Kwon 등, 2003; Je 등, 2006).

식물의 CO₂와 수분의 교환은 90% 이상 기공에서 일어나며, 대기로의 수분확산 속도크기를 의미하는 기공전도도(stomatal conductance; gH₂O)를 측정하여 기공개폐의 정도를 알 수 있다. 기공전도도는 광도, 수증기압포차, 이산화탄소 농도, 기온 그리고 상대습도 등과 같은 여러 가지 환경인자들의 영향을 받으며(Sim과 Han, 2003), 기공전도도의 감소에 따라 기공증산속도(Stomatal transpiration rate; E)가 감소되고 광합성 능력에 영향을 미치게 된다.

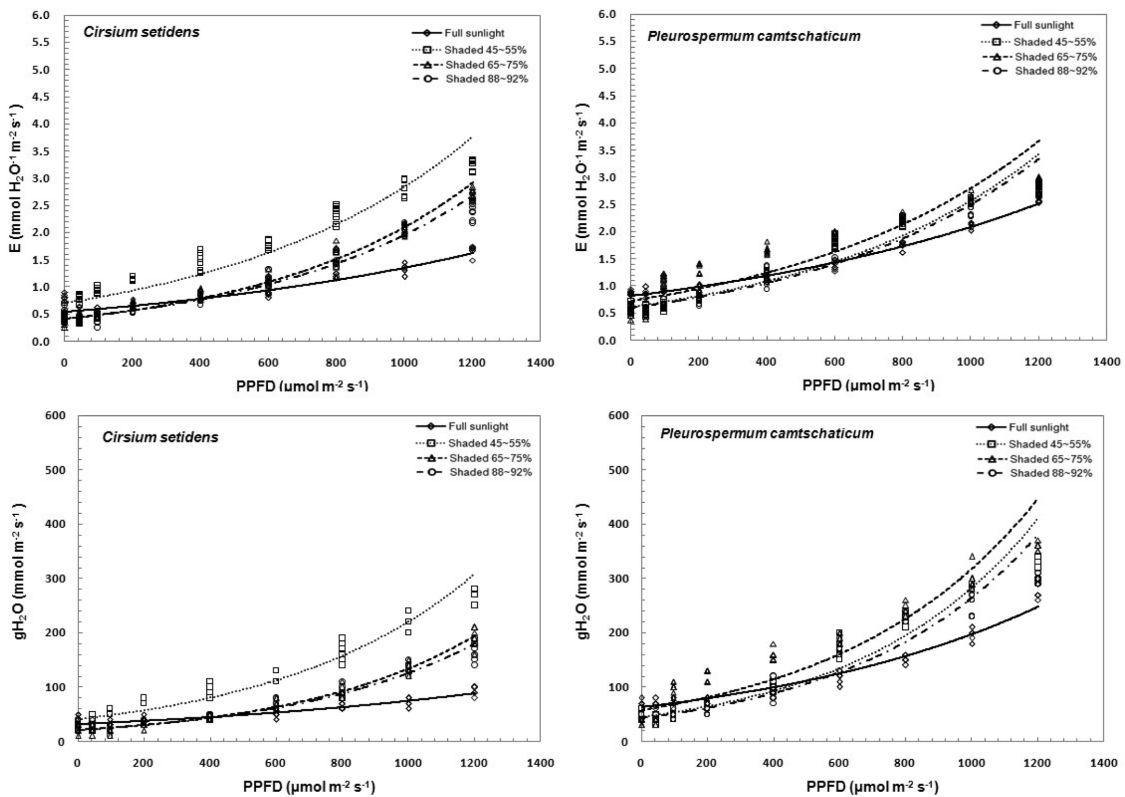


Fig. 4. Stomatal transpiration rate (E) and Stomatal conductance (g_{H_2O}) of *C. setidens* and *P. camtschaticum* grown under four different shading treatments.

고려엉겅퀴와 누룩치 모두 최대광합성 속도의 크기와 유사한 경향을 나타냈으며, 전광처리구에서 가장 낮은 기공증산속도와 기공전도도를 보였다. 또한 고려엉겅퀴의 약피음처리구와 누룩치의 중간피음처리구는 가장 높은 기공증산속도 및 기공전도도를 나타냈다(Fig. 4).

고려엉겅퀴와 누룩치 모두 최대광합성 속도와 기공전도도 및 기공증산속도가 비슷한 경향을 나타내어 기공개폐 반응과 광합성속도 간에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으며(Andrew and Wiliam, 1998), 전광처리구에서는 강한 광으로 기공닫힘을 야기하였고, 광합성에 제한인자로 작용함을 알 수 있었다.

같은 대기의 CO_2 농도에서 $Ci Ca^{-1}$ 농도가 높다는 의미는 엽육세포간극의 CO_2 농도가 높다는 의미로 즉 엽육세포간극의 CO_2 이용효율이 낮다는 의미이다(Sim and Han, 2003). 고려엉겅퀴와 누룩치 모두 초기에 광합성속도가 증가함에 따라 $Ci Ca^{-1}$ 농도가 급격히 감소되었다가 이후 비슷한 농도를 계속 유지하였다(Fig.

5). 그러나 고려엉겅퀴는 강피음처리구에서 비교적 높은 $Ci Ca^{-1}$ 농도를 유지하였고, 전광처리구에서 가장 낮은 $Ci Ca^{-1}$ 농도를 보였는데, 이는 고려엉겅퀴가 강피음처리구에서 충분한 광을 공급받지 못한 상태가 지속되어 광합성 능력이 저하되었고 엽육내 CO_2 를 효율적으로 소비하지 못하고 있는 것을 의미한다. 또한 전광처리구의 경우 엽육내 $Ci Ca^{-1}$ 농도는 낮게 유지되고 있으나 기공전도도와 기공증산속도 역시 가장 낮은 것으로 보아(Fig. 4) 강한 광조건에서 기공닫힘으로 인해 엽육내 CO_2 농도가 낮아져 광합성 속도의 감소를 가져온 것으로 생각된다(Hernandez et al., 1995; Takemura et al., 2000; Sung 등, 2009).

누룩치의 경우 약피음처리구가 초기 낮은 광도조건에서 다른 처리구들과 비교해 낮은 $Ci Ca^{-1}$ 농도를 나타냈지만 광합성속도가 증가할수록 처리구간의 $Ci Ca^{-1}$ 농도에 유의적인 차이를 보이지 않았다(Fig. 5).

수분이용효율은 광합성 동화산물에 대한 수분손실률

피옴치리에 따른 고려엉겅퀴와 누룩치의 생리반응

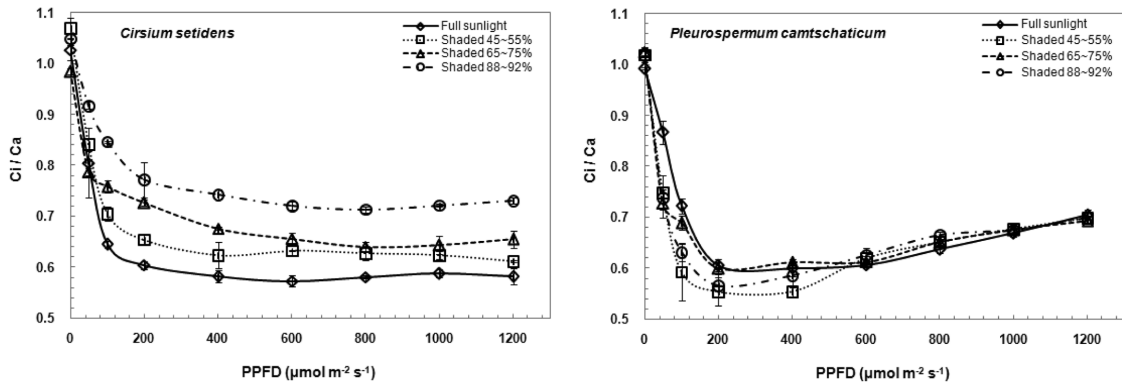


Fig. 5. Intercellular (Ci)/atmospheric CO₂ concentration (Ca) of *Cirsium setidens* and *Pleurospermum camtschaticum* grown under four different shading treatments.

로서 기공전도도 감소에 따라 증산량이 감소되고 일시적으로 수분이용효율이 증가될 수 있으며, 따라서 낮은 기공전도도는 높은 수분이용효율과 연결된다고 알려져 있다(Lim et al., 2006). Je 등(2006)이 보고한 바에 따르면 내음성이 강한 죽절초의 경우 차광수준에 따라 수분이용효율이 감소한다고 하였으며, 고려엉겅퀴 역시 전광처리구에서 가장 높은 수분이용효율을 보였고, 강피옴치리구에서 가장 낮은 수분이용효율을 나타냈다. 그러나 누룩치의 경우 강피옴치리구에서 수분이용효율이 다소 낮을 뿐 다른처리구에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다(Fig. 6).

적 요

피옴치리에 의한 고려엉겅퀴와 누룩치의 광합성 및 생장특성을 조사하기 위하여, 차광막을 이용하여 전광처리구(0%), 약피옴치리구(45~55%), 중간피옴치리구(65~75%), 강피옴치리구(88~92%) 설치하고 엽록소함량, 엽록소 형광반응, 광합성 반응 등을 조사하였다.

고려엉겅퀴와 누룩치 모두 피옴치리 수준에 따라 엽록소 함량과 엽록소형광반응, 순양자효율 등이 증가하여 빛의 흡수와 광합성 반응에 대한 효율을 높이는 내음성 적응 반응을 나타냈으며, 엽면적 SLA 역시 증가하여 부족한 광환경에서 수광량을 늘리기 위해 엽면적은 늘어나고, 엽두께는 얇아지는 형태적인 변화가 나타났다. 특히 전광처리구에서 총 엽록소 함량, 엽록소형광반응, 순양자효율, 기공전도도 및 기공증산속도가 비교적 낮았으며, 이는 강한 광으로 광저해 현상이 일

어나 광합성 능력이 저하되는 것으로 볼 수 있다.

고려엉겅퀴의 강피옴 처리구는 엽록소 함량도 높으며, 엽면적이 늘어나고 엽두께는 얇아져 광을 수집하기 위한 형태적인 변화도 나타나고 있으나 광선요구도보다 적은 광 환경에서 계속 성장함으로써 엽육내 CO₂를 효율적으로 소비하지 못하고, 수분이용효율 역시 감소되어 광합성 능력을 점점 상실해 가는 것으로 생각된다. 또한 고려엉겅퀴는 약광처리구(전광의 45~55%)에서 최대광합성속도와 순양자효율이 가장 높고, 기공개폐 반응과 광화학반응 효율이 비교적 높았으며, 누룩치는 처리구간의 차이는 크지 않지만, 중간피옴치리구에서 최대광합성속도, 순양자수율, 기공개폐반응 및 광화학효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 적절한 피옴치리를 통해 건전한 생육을 유도하기 위해서는 고려엉겅퀴의 경우 전광을 약 45~55% 차단하고, 누룩치는 약 65~75% 차단시킨 광환경이 효과적이라 생각된다.

주제어 : 광합성속도, 광화학효율, 엽록소함량, 피옴치리

사 사

본 연구는 농촌진흥청 특화작목연구개발과제(과제번호: C1008514-01-01)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사합니다.

인 용 문 헌

1. Andrew, J.J. and J.D. William. 1998. The coupled

- response of stomatal conductance to photosynthesis and transpiration. *J. Exp. Bot.* 49:399-406.
2. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *J. Plant Physiol.* 24:1-15.
 3. Caemmerer, S. and G.D. Farquhar. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta.* 153:376-387.
 4. 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).
 5. Cho, S.D., D.H. Choi, and K.H. Kim. 2004. A study on quality characteristics of *Pleurospermum kamschaticum* as a functional food resource. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nut.* 33:1212-1217 (in Korean).
 6. 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).
 7. Chung, M.S. and M.S. Lee. 1998. Analysis of volatile flavor component of *Pleurospermum kamschaticum*. *Kor. J. Food Cook. Sci.* 14:541-547 (in Korean).
 8. Demmig, B. and O. Björkman. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77 K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta.* 171:171-184.
 9. Evans, J.R. 1987. The dependence of quantum yield on wavelength and growth irradiance. *Aust. J. Plant Physiol.* 14:69-79.
 10. Han, S.S., K.C. Lee, and S.R. Jeon. 2010. Studies on the agroforestry methods of wild edible greens(IV) water relations parameters of three *Ligularia* species leaves obtained from P-V curves. *J. Kor. For. Soc.* 99:131-135 (in Korean).
 11. 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. *Trees.* 16:354-364.
 12. Hernandez, J.A., E. Olmos, F.J. Corpas, F. Sevilla, and L.A. del Rio. 1995. Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plant. *Plant Sci.* 105:151-167.
 13. Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam, 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57:1332-1334.
 14. Hong, D.K. 1997. Studies on the cultivation of *Pleurospermum kamschaticum* Hoff. to high land area. M. Sc. thesis. Univ. Kangwon. Chun-Cheon. Korea. p. 51 (in Korean).
 15. Je, S.M., S.G. Son, S.Y. Woo, K.O. Byun, and C.S. Kim. 2006. Photosynthesis and chlorophyll contents of *Chloranthus glaber* under different shading treatments. *Kor. J. Agr. For. Meteorol.* 8:54-60 (in Korean).
 16. 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. Technol.* 17:29-32 (in Korean).
 17. Jung, M.J., S.I. Heo, and M.H. Wang. 2008. Rat lens aldose reductase inhibitory of *Taraxacum mongolicum* and two *Crisium* species. *J. Kor. Soc. App. Bio. Chem.* 51:302-306 (in Korean).
 18. Kim, G.N., M.S. Cho, and S.W. Lee. 2010. Physiological responses of the three deciduous hardwood seedlings growing under different shade treatment regimes. *J. Bio-Env. Con.* 19:36-48 (in Korean).
 19. Kim, K.D., E.H. Lee, W.B. Kim, J.G. Lee, D.L. Yoo, Y.S. Kwon, J.N. Lee, S.W. Jang, and S.C. Hong. 2010. Year-round production of fresh leaves of narrowhead goldenray '*Ligularia stenocephala*' by using stored rootstocks in sequential highland-lowland cultivation. *J. Bio-Env. Con.* 19:324-332 (in Korean).
 20. Kim, S.H., J.H. Saung, Y.K. Kim, and P.G. Kim. 2008. Photosynthetic responses of four oak species to changes in light environment. *Kor. J. Agr. For. Meteorol.* 10: 141-148 (in Korean).
 21. Kim, P.G. and E.J. Lee. 2001a. Ecophysiology of photosynthesis 1: effects of light intensity and intercellular CO₂ pressure on photosynthesis. *Kor. J. Agr. For. Meteorol.* 3:126-133 (in Korean).
 22. Kim, P.G. and E.J. Lee. 2001b. Ecophysiology of photosynthesis 2: adaptation of the photosynthetic apparatus to changing environment. *Kor. J. Agr. For. Meteorol.* 3:171-176 (in Korean).
 23. 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. *Physiologia Plantarum* 117:376-382.
 24. Kok, B. 1948. A critical consideration of the quantum yield of chlorella photosynthesis. *Enzymologia Hague.* 13:1-56.
 25. Kume, A. and Y. Ino. 1993. Comparison of ecophysiological response to heavy snow in two varieties of *Acuba japonica* with different areas of distribution. *Ecol. Res.* 8:111-121.
 26. Kyparissis, A., P. Drilias, and Y. Manetas. 2000. Seasonal fluctuations in photoprotective (xanthophylls cycle) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight Mediterranean plant species belonging to two different growth forms. *Aust. J. Plant Physiol.* 27:265-272.
 27. 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).
 28. 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).
29. 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.
30. Lee, S.H., Y.S. Jin, S.I. Heo, T.H. Shin, J.H. Sa, D.S. Choi, and M.H. Wang. 2006. Composition analysis and antioxidative activity from different organs of *Cirsium setidens* Nakai. Kor. J. Food Sci. Tech. 38:571-576 (in Korean).
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. J. Kor. For. Soc. 95:705-710 (in Korean).
32. Nam, Y.K. and J.A. Baik. 2005. Status of research and possibility of development about endemic wild vegetables in Korea. Korean Society for People, Plant, and Environment. 8:1-10 (in Korean).
33. Rascher, U., M. Liebig, and U. Lüttge. 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.
34. Sharp, R.E., M.A. Matthews, and J.S. Boyer. 1984. Kok effect and the quantum yield of photosynthesis. J. Plant Physiol. 75:95-101.
35. 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).
36. Suh, J.T., S.Y. Ryu, W.B. Kim, K.S. Choi, and B.H. Kim. 1996. Improvement of germination rate by low temperature and development of effective shading cultivation of *Cirsium setidens* under rain shelter in highland. Kor. J. Plant Res. 9:151-156 (in Korean).
37. Sung, J.H., M.J. Sun, S.H. Kim, and Y.K. Kim. 2009. Effect of calcium chloride (CaCl₂) on the characteristics of photosynthetic apparatus, stomatal conductance, and fluorescence image of the leaves of *Cornus kousa*. Kor. J. Agr. For. Meteorol. 11:143-150 (in Korean).
38. Takemura, T., N. Hangata, K. Sugihara, S. Baba, I. Karube, and Z. Dubinsky. 2000. Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove, *Bru-guiera gymnorrhiza*. Aquatic Botany. 68:15-28.
39. 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. Trees. 16:395-403.