



차광처리가 눈개승마 유묘의 생장 및 생리적 특성에 미치는 영향

이경철* · 한상균* · 권영휴***** · 전성렬** · 이창우*** · 서동진*** · 박완근*****†

*국립한국농수산대학 산림학과, **한국산림복지진흥원 수목장림사업팀,
국립생태원 식물관리연구실, *강원대학교 산림자원학과, *****국립한국농수산대학 조경학과

Effects of Shading Treatments on Growth and Physiological Characteristics of *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* (Maxim.) H. Hara Seedling

Kyeong Cheol Lee*, Sang Kyun Han*, Young Hyou Kwon*****, Seong Ryeol Jeon**,
Chang Woo Lee***, Dong Jin Seo*** and Wan Geun Park***†

*Department of Forestry, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea.

**Department Korea Forest Welfare institute, Daejeon 35236, Korea.

***Division of Botanic Research & Management, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

****Division of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea.

*****Department of Landscape Architecture, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea.

ABSTRACT

Background: This study was conducted to investigate the changes in the photosynthetic parameters, chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and growth characteristics of *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* seedlings under different shading treatments.

Methods and Results: The shading treatment was regulated with the shading level (non-shaded, 35%, 55%, and 75% shading). Photosynthetic activities, such as net photosynthetic rate, stomatal conductance, stomatal transpiration rate, and performance index on absorption basis (PI_{ABS}) were the highest under 35% shading (4.36 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹, 54.2 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹, 0.66 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹, and 1.3, respectively), and the lowest under 75% shading. This implies that the decrease in net photosynthetic rate may be due to an inability to regulate water and CO₂ exchanged through the stomata. The chlorophyll *a*, *b*, and *a* + *b* contents were increased with elevating shading level and the chlorophyll *a/b* ratio showed non-significant differences. It was found that the dry weight (leaf, shoot, and whole) was the highest (1.14 g, 0.49 g, and 2.31 g, respectively) under 35% shading and the t/R ratio was the highest under 75% shading.

Conclusions: It is concluded that 75% shading exhibited a strong reduction of photosynthetic activity, and 35% shading showed the best conditions for the early growth and cultivation of *A. dioicus* var. *kamtschaticus*.

Key Words: *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus*, Chlorophyll Content, Chlorophyll Fluorescence, Performance Index, Photosynthetic Activity, Shading Treatment

서 언

눈개승마 [*Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* (Maxim.) H. Hara]는 고산지대에서 자라는 장미과의 다년생 초본으로 민간에서는 삼나물로 불리고, 어린 순을 식용하는데 탄수화물과 무기질 함량이 풍부하여 국거리나 무침 등에 쓰이는 고급

산채이다 (Kim *et al.*, 1998).

눈개승마의 전초에는 사포닌, 살리실알데히드, 스퍼린, 인회분 지질, 비타민 A, 칼슘 등의 다양한 성분과 기능성 물질인 flavonoid 및 polyphenol 등을 함유하고 있어, 유망 산채자원으로 중요성이 부각되고 있는 식물이다 (Kim *et al.*, 2011). 또한, 경사지 토양보전 효과가 우수하여 (Kim and Kim, 2018),

†Corresponding author: (Phone) +82-33-250-8315 (E-mail) wgpark@kangwon.ac.kr

Received 2019 January 21 / 1st Revised 2019 February 7 / 2nd Revised 2019 February 13 / 3rd Revised 2019 February 25 / Accepted 2019 February 25
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

강원도, 울릉도 등 일부 지역에서는 경사지 토양 유실방지 및 농가 소득작물로 보급을 확대하고 있는 산채이기도 하다.

눈개승마에 관한 최근 연구결과들을 살펴보면, 추출물의 항산화 활성 및 항균활성 (Kim *et al.*, 2011), 항산화 및 주름 개선 효과 (Youn *et al.*, 2012), 지상부의 항혈전 활성 (Kim and Sohn, 2014), NaCl 처리에 따른 생육과 생리활성 (Nam *et al.*, 2017) 등 주로 기능성 물질분석이나 항산화 효과에 대한 연구가 보고되고 있으며, 생육환경이나 재배기술에 관한 연구는 정식시기와 시비량이 생육에 미치는 영향 (Kim *et al.*, 1998), 저온습윤 저장기간, 발아온도 및 차광율이 눈개승마 종자의 발아에 미치는 영향 (Song *et al.*, 2015) 등의 연구가 진행되어 있는 실정이다.

고급 산채자원으로 기능성과 토양보전 효과가 뛰어난 눈개승마의 보급을 확대하고, 생산 효율성을 높이기 위해서는 다양한 환경조건에 대한 생육반응, 체계적인 육묘생산을 위한 연구 등이 진행될 필요가 있다. 특히 노지재배와는 달리 시설재배의 경우 생육환경 제어가 매우 중요한 요소이며, 파종, 시비 방법 등 생산체계 개선뿐만 아니라 광, 온도 등 생육환경의 조절을 위한 기초 연구가 필수라 할 수 있다. 따라서 본 연구는 눈개승마를 포장에서 본격적으로 생산하는데 필요한 양질의 이식용 유묘를 생산하는 과정에서 차광처리가 초기 생육에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였으며, 우량 유묘를 효율적이고 안정적으로 공급하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료 및 차광처리

실험에 사용된 재료는 강원도 홍천군 내촌면의 재배농가에서 눈개승마 [*Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* (Maxim.) H. Hara] 1년생 묘를 분양받아 원예용 상토 (horticulture nursery media, Punong, Gyeongju, Korea)를 이용한 높이 15 cm, 직경 10 cm 포트에 이식하여 강원대학교 유리온실에서 1년간 생육시킨 것으로 사용하였다.

강원대학교 구내 유리온실에서 시중에서 판매하는 차광율 35%, 55%, 75%의 검정색 차광막을 설치하고 무차광 처리구를 포함하여 총 4 수준으로 처리를 하였으며, 4월 1일부터 6월 28일까지 처리별로 20 개체씩 차광처리를 실시하여 광환경 변화에 따른 생장 및 생리반응을 알아보고자 하였다.

실험기간 중 온실 내 기상환경을 알아보기 위해 온습도 측정기 (HOBO H08-004-02, Onset Computer Co., MA, USA)를 지상으로부터 2 m 높이에 설치하였으며, 광량은 광합성 유효광 (photosynthetically active radiation) 범위를 측정할 수 있는 센서가 부착된 휴대용 광량측정기 (HD 2102.1, Delta OHM, Padova, Italy)를 사용하여 6월 20일 오전 6 시

부터 오후 8 시까지 1 시간 간격으로 피음망 하부에서 지면과 수평으로 10 반복씩 조사하였다.

2. 광합성 및 기공반응 측정

차광처리에 따른 광합성과 기공반응을 조사하기 위해 5월 25일과 6월 25일에 건전 잎을 대상으로 휴대용 광합성 측정장치 (portable photosynthesis system, Li-6400, Li-Cor Inc., NE, USA)를 이용하여 순광합성속도 (net photosynthetic rate), 기공증산속도 (stomatal transpiration rate), 기공전도도 (stomatal conductance), 엽육세포 간극 내 CO₂ 농도 (intercellular CO₂ concentration, Ci), 주변 공기의 CO₂ 농도 (ambient CO₂ concentration, Ca)를 측정하였다.

측정시 LED 광원을 이용하여 PPFD (photosynthetic photon flux density)를 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 고정하였으며, 공통된 측정 조건은 챔버로의 유입 공기유량을 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, 온도를 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하고 오전 10 시부터 12 시까지 측정하였다. 측정된 결과를 통해 다음의 식을 이용하여 수분이용 효율 (water use efficiency, WUE) 및 기공제한 (stomatal limitation, L_s)을 산출하였다 (Zheng *et al.*, 2011; Lee, 2018).

$$WUE = P_N / E$$

$$L_s = (1 - C_i / C_a) \times 100\%$$

(WUE; water use efficiency, P_N; net photosynthetic rate, E; stomatal transpiration rate, L_s; stomatal limitation, C_i; intercellular CO₂ concentration, C_a; ambient CO₂ concentration)

3. 엽록소 함량 측정

차광처리에 따른 엽록소 함량의 변화를 조사하기 위하여 광합성 실험이 끝난 이후 각 처리구 마다 3 장의 엽을 채취하여 엽편 0.1 g을 10 ml의 DMSO (dimethyl sulfoxide) 용액이 들어있는 20 ml 유리병에 넣어 65°C로 설정된 항온기에서 6 시간 색소를 추출하였다 (Hiscox and Israelstam, 1979).

추출한 용액은 자외선/가시광선 분광광도계 (UV/ VIS Spectrophotometer, HP 8453, Hewlett Packard, Wilmington, DE, USA)를 이용하여 663 nm, 645 nm의 파장에서 흡광도를 측정하고, Lichtenthaler (1987)의 식에 따라 엽록소 a, b, a + b 함량을 산출하였다.

4. 엽록소 형광반응 측정

엽록소 형광반응을 조사하기 위해 6월 26일에 OJIP 분석 (polyphasic rise of chlorophyll a fluorescence transients)을 실시하였으며, 측정은 엽록소 형광반응 측정기 (chlorophyll fluorometer, OS-5P, Opti-Sciences Inc., Hudson, NH, USA)

를 이용하여 20 분간 암적응 시킨 엽에 $3,500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광량을 1 초간 조사하고, $50 \mu\text{s}$ (O 단계), 2 ms (J 단계), 30 ms (I 단계), 300 ms (P단계)의 엽록소 형광밀도를 조사하였다 (Oh and Koh, 2004).

OJIP 분석 결과를 통해 생물리학적 변수 (biophysical parameters; Φ_{PO} , Ψ_{O} , Φ_{EO} , ABS/RC, DIO/RC, TRo/RC, ETo/RC, PI_{ABS})를 산출하여 제시하였다 (Strasser *et al.*, 2000).

5. 생장특성 조사

차광처리에 따른 생장특성을 알아보기 위해 광합성 실험이 끝난 6월 29일에 시료의 잎, 줄기, 뿌리를 구분하고 잎의 개수, 부위별 건조 중량 등을 측정하였다. 부위별 건조 중량은 건조기 (DS-80-5, Dasol Scientific Co., Ltd., Gyeonggido, Korea)에 48 시간 동안 80°C 로 건조하여 조사하였고, 측정 결과에 따라 T/R률 (지상부 건조중량/지하부 건조중량)과 총건중량 대비 엽건중량비 (leaf weight ratio; $\text{LWR} = \text{leaf dry weight} / \text{total dry weight}$)을 계산하였다.

Table 1. Summary of chlorophyll fluorescence parameters from OJIP test.

Parameters	Description
V_j	Relative variable fluorescence at time (2ms)
Φ_{PO} (= TRo/ABS)	Probability that an absorbed photon leads to reduction further than Q_{A}^{-}
Φ_{EO} (= ETo/ABS)	Probability that an absorbed photon leads to electron transport further than Q_{A}^{-}
Ψ_{O} (= ETo/TRo)	probability that an absorbed photon leads to reduction of Q_{A}^{-}
ABS/RC	Absorption flux per reaction center
TRo/RC	Trapping of electrons per reaction center
ETo/RC	Electron flux per reaction center beyond Q_{A}^{-}
DIO/RC	Energy dissipation flux per reaction center
PI_{ABS}	Performance index on absorption basis.

본 실험의 시험구배치는 완전임의배치 6 반복으로 하였으며, SPSS Statistics program 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원분산분석 (One-way ANOVA)을 실시하였다. 각 처리간의 유의성은 DMRT (Duncan's Multiple Range Test) 5% 수준에서 실시하였다 ($p < 0.05$).

결과 및 고찰

1. 광합성 및 기공반응

차광처리 기간의 월 평균기온과 상대습도 변화를 살펴보면, 4 월과 5 월은 각각 18.5°C , 19.7°C 로 나타났으나, 6 월의 경우 23.8°C 를 나타내어 평균기온이 비교적 큰 폭으로 증가된 것을 알 수 있었다 (Fig 1). 또한 오전 7 시부터 오후 7 시 까지 처리구별 평균 광도는 무차광 처리구에서 $1,285.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 35% 차광 처리구는 $720.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 55% 차광 처리구는 $472.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 75% 차광 처리구는 $170.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 조사되어 실제 차광막 내부의 광합성 유효광량 (Photosynthetically active radiation)은 판매 규격에 비해 8.2 - 11.8% 더 차광이 되는 것으로 나타났다 (Fig 1).

차광처리에 따른 눈개승마 [*Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* (Maxim.) H. Hara]의 순광합성속도 (net photosynthetic rate)의 변화는 전반적으로 5 월에 비해 6 월에 다소 감소된 경향을 보

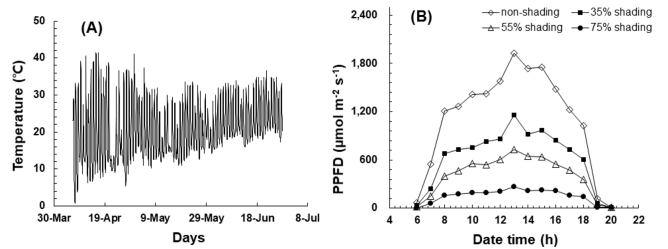


Figure 1. Changes of temperature during the experimental period (A) and light intensity (PPFD) on 20 June (B).

Table 2. The photosynthetic parameters of *A. dioicus* var. *kamtschaticus* grown under four different shading treatments.

Month	Treatment	Net photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Stomatal Transpiration rate ($\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Intercellular CO_2 concentration ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$)
May	non-shading	3.65 ± 0.59^b	51.30 ± 4.30^a	0.70 ± 0.09^a	296.50 ± 18.60^a
	35% shading	4.36 ± 0.11^a	54.20 ± 4.20^a	0.66 ± 0.09^a	257.50 ± 8.20^b
	55% shading	2.75 ± 0.14^c	24.60 ± 2.30^b	0.30 ± 0.04^b	210.00 ± 7.40^c
	75% shading	0.67 ± 0.04^d	10.30 ± 0.70^c	0.14 ± 0.02^c	288.00 ± 7.20^a
June	non-shading	2.71 ± 0.76^a	33.90 ± 2.50^a	0.50 ± 0.01^a	286.80 ± 27.70^a
	35% shading	2.97 ± 0.20^a	32.20 ± 2.80^a	0.42 ± 0.01^b	238.90 ± 6.80^b
	55% shading	1.50 ± 0.24^b	13.00 ± 1.10^b	0.17 ± 0.01^c	207.90 ± 15.30^c
	75% shading	0.41 ± 0.09^c	7.70 ± 0.10^c	0.11 ± 0.01^d	306.80 ± 18.80^a

Each value is expressed as the means \pm SD ($n = 6$). *Different letters indicate values significantly different by DMRT (Duncan's Multiple Range Test) at 5% level ($p < 0.05$).

였으며, 차광수준별로는 5 월과 6 월 모두 35% 차광 처리구 > 무차광 처리구 > 55% 차광 처리구 > 75% 차광 처리구 순으로 나타났다. 특히 5 월의 35% 차광 처리구의 경우 가장 높은 $4.36 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 을 나타내어 5 월의 75% 차광 처리구에 비해 약 6.5 배 높은 경향을 보였다.

기공전도도 (stomatal conductance)는 기공개폐의 척도이며, 기공전도도의 감소는 증산속도의 조절을 통해 광합성 능력에 영향을 미치게 된다 (Andrew and Wiliam, 1998). 차광처리에 따른 눈개승마의 기공전도도와 기공증산속도 (stomatal transpiration rate) 역시 6 월에 비해 5 월에 더 높은 경향을 나타냈으며, 차광수준별로는 무차광 처리구와 35% 차광 처리구에서 비교적 높은 경향을 보인 반면, 55% 차광 처리구와 75% 차광 처리구는 유의적으로 낮은 값을 보였다. 특히 75% 차광 처리구에서 상대적으로 낮은 순광합성속도, 기공증산 및 기공전도도를 나타냈는데 이는 정상적인 생장에 필요한 광도보다 크게 낮은 광 환경에서 생장함으로 광합성 기능이 저하되었기 때문으로 생각된다 (Lee et al., 2012c; Song et al., 2016).

내음성이 강한 병풍삼 (Lee et al., 2012a)의 경우 무차광 처리시 비교적 낮은 기공전도도 및 광합성 활성을 보였는데 눈개승마는 양지성 식물의 특성이 강하여 이와 다른 경향을 보여주고 있으며, 수리취 (Lee et al., 2012c), 갯기름나물 (Song et al., 2016) 등과 유사한 경향을 나타냈다 (Table 2).

엽육세포 간극 내 CO_2 농도 (intercellular CO_2 concentration)를 살펴보면, 순광합성속도가 가장 높은 35% 차광 처리구에서 무차광 처리구와 75% 차광 처리구에 비해 비교적 낮은 값을 보였는데 이는 35% 차광 처리구에서 광합성 활성이 높게 유지되어 엽육 내 CO_2 의 소비가 원활히 이루어졌기 때문으로 생각된다. 75% 차광 처리구의 엽육세포 간극 내 CO_2 농도가 유의적으로 높은 것은 매우 부족한 광환경에서 생육하게 되어 광합성 기능의 저하가 일어났고 엽육세포 간극 내 CO_2 를 효율적으로 활용하지 못한 결과로 볼 수 있다 (Lee et al., 2012b; Song et al., 2016). 55% 차광 처리구의 경우 순광합성속도와 엽육세포내 CO_2 농도 모두 비교적 낮은 경향을 보이는데 이는 기공전도도의 급격한 저하로 인해 가스교환이 원활히 이루어지지 못하면서 광합성 속도의 감소로까지 이어진 것으로 생각된다.

이러한 결과는 55% 차광 처리구의 기공제한 (stomatal limitation, L_s)이 가장 높은 경향과도 일치하며 (Fig. 2), 엽육세포 간극 내의 CO_2 농도는 대기에서 엽육세포로의 CO_2 확산 저항에 의해 결정되고, 확산저항은 미기후 조건 및 식물의 수분상태에 따라 기공전도도에 의해 조절되는 것으로 알려져 있다 (Franck and Vaast, 2009).

수분이용효율 (water use efficiency; WUE)의 경우 55% 차광 처리구까지 지속적으로 증가하는 경향을 보였는데, 이는

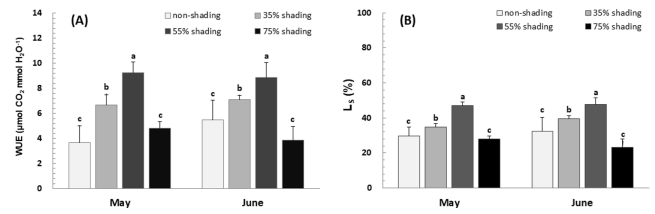


Fig. 2. Changes of water use efficiency (A) and stomatal limitation (B) of *A. dioicus* var. *kamtschaticus* grown under four different shading treatments (on PPFD $1,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Each value is expressed as the means \pm SD (n = 6). *Means with difference letters are significantly different by DMRT (Duncan's Multiple Range Test) at 5% level ($p < 0.05$).

기공반응의 감소로 인한 광합성 효율을 유지하기 위한 노력으로 볼 수 있다.

일반적으로 낮은 광도 조건하에서 순화된 식물일 경우 수광량을 높이기 위해 잎 내 질소를 엽록소 단백질에 투자하여 틸라코이드 (thylakoid)내의 집광 반응에 치중함으로써 전자전달계 단백질이나 루비스코 (rubisco) 효소의 질소 배분은 상대적으로 줄어들게 되어 전반적인 광합성 기능의 저하를 가져오지만 다른 한편으로는 양자수율은 높이고 호흡에 의한 에너지 손실은 줄이면서 효율적으로 환경에 적응하려는 생존 전략을 보인다 (Ellsworth and Reich, 1992; Kim and Lee, 2001). 눈개승마의 경우에도 75% 차광 처리시 기공전도도와 광합성속도는 가장 낮은 경향을 보였고, 엽육세포 간극 내 CO_2 농도는 높게 유지되고 있어 효율적으로 CO_2 를 소비하지 못하고 있는 것으로 나타나 광합성 기능의 저하를 생각할 수 있다 (Fig. 2).

2. 엽록소 함량

차광처리에 따른 눈개승마의 엽록소 a, b 및 총 엽록소 함량 (a + b)은 차광 수준이 높아질수록 유의적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 총 엽록소 함량의 경우 75% 차광 처리구가 무차광 처리구에 비해 5 월에는 약 2.7 배, 6 월에는 약 3.3 배 높은 값을 보였다 (Table 3). 이러한 경향은 광량이 부족한 환경에서 광 수용능력을 지속하고자 엽록소 함량을 높게 유지할 필요가 있기 때문이며, 수리취 (Lee et al., 2012c), 산마늘, 곰취 및 곤달비 (Kim et al., 2015) 등 다른 산채류의 연구결과와도 같은 경향을 나타냈다.

또한 차광 처리구의 월별 총 엽록소 함량 변화는 5 월에 비해 6 월의 총 엽록소 함량이 다소 증가된 경향을 보였으나, 무차광 처리구에서는 모두 감소된 경향을 보였다. 이러한 경향은 식물이 고온과 강한 광 환경에 지속적으로 노출되면 광합성 산물의 소모가 커지고 생육감소를 초래할 수 있기 때문에 (Kim et al., 2017) 강광 조건에서 빛의 흡수를 줄이기 위

Table 3. Change of chlorophyll contents in *A. dioicus* var. *kamtschaticus* grown under four different shading treatments.

Month	Treatment	Chlorophyll content (mg·g ⁻¹)			Chlorophyll a/b
		a	b	a + b	
May	non-shading	0.90±0.02 ^d	0.41±0.05 ^c	1.30±0.06 ^d	2.24±0.29 ^b
	35% shading	1.41±0.17 ^c	0.58±0.06 ^b	1.99±0.12 ^c	2.46±0.59 ^b
	55% shading	1.92±0.16 ^b	0.75±0.04 ^a	2.67±0.15 ^b	2.58±0.28 ^{ab}
	75% shading	2.63±0.04 ^a	0.82±0.13 ^a	3.45±0.11 ^a	3.26±0.56 ^a
June	non-shading	0.8±0.02 ^d	0.34±0.09 ^c	1.14±0.10 ^d	2.45±0.61 ^{ns}
	35% shading	1.66±0.05 ^c	0.46±0.08 ^c	2.12±0.07 ^c	3.71±0.73
	55% shading	2.10±0.01 ^b	0.68±0.12 ^b	2.77±0.12 ^b	3.20±0.67
	75% shading	2.86±0.04 ^a	0.91±0.13 ^a	3.77±0.15 ^a	3.17±0.47

Each value is expressed as the means ± SD (n = 5). *Different letters indicate values significantly different by (Duncan's Multiple Range Test) at 5% level (p < 0.05). ns; Non-significant.

Table 4. Change of chlorophyll fluorescence parameters in *A. dioicus* var. *kamtschaticus* grown under four different shading treatments.

Treatment	Φ _{PO}	Φ _{EO}	Ψ _O	ABS/RC	Dl _o /RC	TR _o /RC	ET _o /RC
non-shading	0.81±0.01 ^c	0.18±0.02 ^b	0.22±0.02 ^b	1.04±0.02 ^b	0.20±0.01 ^{ns}	0.84±0.01 ^b	0.19±0.01 ^b
35% shading	0.82±0.01 ^d	0.22±0.01 ^a	0.27±0.01 ^a	1.29±0.04 ^a	0.23±0.01	1.06±0.04 ^a	0.28±0.01 ^a
55% shading	0.79±0.01 ^b	0.17±0.03 ^b	0.22±0.04 ^b	1.02±0.05 ^b	0.21±0.01	0.81±0.04 ^b	0.18±0.03 ^b
75% shading	0.77±0.01 ^a	0.13±0.01 ^c	0.17±0.01 ^c	0.90±0.11 ^c	0.21±0.03	0.69±0.09 ^c	0.12±0.02 ^c

Each value is expressed as the means ± SD (n = 6). * Different letters indicate values significantly different by DMRT (Duncan's Multiple Range Test) at 5% level (p < 0.05). ns; Non-significant.

한 광보호작용 (Kyparissis *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2012a)으로 설명하기도 하며, 한편에서는 차광 처리시 무차광 처리에 비해 잎의 노화 진행을 늦추게 되어 상대적으로 높은 엽록소 함량을 유지할 수 있다고 설명하기도 한다 (Lee and Won, 2007). 이와 같이 무차광 처리에 따른 점진적인 엽록소 함량의 감소는 보다 장기간의 관찰을 통한 추가적인 실험을 통해 검토할 필요가 있다고 여겨진다 (Table 3).

일반적으로 낮은 광 조건에서는 보다 많은 광을 수집하기 위한 적응으로 반응중심에 주로 결합되어 있는 엽록소 a보다 광수확 단백질복합체 (light-harvesting chl-protein complex)를 구성하는 엽록소 b의 증가가 더 크며, 엽록소 a/b가 감소한다 (Lee *et al.*, 2012c; Kim *et al.*, 2015). 이러한 경향은 수리취 (Lee *et al.*, 2012c), 고려엉겅퀴 (Lee *et al.*, 2012b) 등 초본류뿐만 아니라 음나무 (Lee *et al.*, 2006) 등 목본에서도 관찰할 수 있다. 그러나 일부 식물의 경우 뚜렷한 경향의 차이가 없거나 (Kim *et al.*, 2015; Song and Kim, 2017), 왜우산풀 (Lee *et al.*, 2012b), 곤달비 (Kim *et al.*, 2015) 등은 오히려 차광 조건에서 다소 증가하는 경향을 보이는데 눈개승마의 경우에도 5 월의 75% 차광 처리구에서 유의적으로 증가한 경향을 보였다 (Table 3). 이러한 차이는 수종간의 광 환경에 대한 반응이 서로 다르기 때문으로 생각된다 (Song and Kim, 2017).

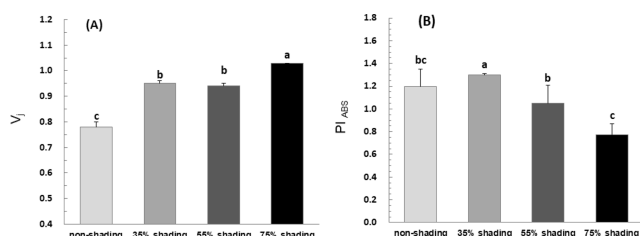


Fig. 3. Changes of relative variable fluorescence (A) and performance index (B) of *A. dioicus* var. *kamtschaticus* grown under four different shading treatments. Each value is expressed as the means ± SD (n = 6). *Means with difference letters are significantly different by DMRT (Duncan's Multiple Range Test) at 5% level (p < 0.05).

3. 엽록소 형광 반응

빛 에너지를 화학적 에너지로 전환시키는 광합성 과정이 다양한 스트레스에 노출되면 광화학반응으로 흡수되는 에너지와 전자전달 반응에 사용되는 에너지 사이에 불균형이 유도되고 엽록소 형광분석은 이러한 에너지의 불균형에서 비롯된 광합성 기구의 기능과 전체 광합성 상태를 정량적으로 보여준다 (Hopkins and Hüner, 2008).

광계 II의 에너지 흐름을 살펴보면, 흡수된 빛에너지 (ABS)는 에너지 전이과정 (energy transfer) 및 전하 안정화 과정을

통해 초기 전자수용체인 Q_A 를 환원시키며 (TRo), 전자전달 과정에서 흡수된 빛 에너지의 일부는 열로 소산되고 (DIo), 나머지는 전자전달 반응과정에 이용되면서 (ETo) 최종적으로 NADP+를 NADPH로 환원시킨다 (Strasser *et al.*, 2000; Lee and Lee, 2017). 엽록소 형광분석 방법 중 OJIP 테스트는 광계 II에서의 에너지 흐름의 변화와 전자수용체의 환원 등 다양한 정보를 제공하여, 온도변화, 토양수분, 광 조건 등 환경스트레스에 따른 식물의 생리적 반응을 연구하는데 많이 사용되고 있다 (Oh and Koh, 2004; Hong *et al.*, 2016; Lee and Lee, 2017).

Table 4에서 Φ_{PO} , Ψ_O , 그리고 Φ_{EO} 는 광화학반응의 각 단계에 대한 에너지전이 비율 및 형광수율을 의미하는 것으로 (Strasser *et al.*, 2000), Φ_{PO} 는 초기광화학반응에서 최대양자수율을 의미하며, Φ_{EO} 및 Ψ_O 는 Q_A^- 이후 전자전달을 보여준다.

눈개승마의 경우 35% 차광 처리구에서 전반적으로 가장 높은 값을 보였으며, 이와 반대로 75% 차광 처리구에서 Φ_{PO} , Ψ_O , Φ_{EO} 모두 크게 감소한 경향을 나타내어 광이 매우 부족한 환경에서 효율적인 에너지 전달이 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 또한 반응중심당 에너지 흐름의 변화를 나타내는 ABS/RC, TRo/RC, DIo/RC 그리고 ETo/RC를 살펴보면, DIo/RC를 제외하고 75% 차광 처리구에서 유의적으로 가장 낮은 경향을 보였는데, 이는 불활성상태의 반응중심이 많아지고, 반응중심당 흡수되는 빛에너지 양과 광계 II에서 포획되는 에너지, 그리고 전자전달로 보내어지는 에너지 모두 감소하고 있음을 보여주고 있다 (Falqueto *et al.*, 2010). DIo/RC는 열로 버려지는 비광화학적 에너지의 소실을 의미하는데 눈개승마의 경우 유의적인 차이를 보이지는 않았다.

Fig. 3에서 나타난 V_i 는 75% 차광 처리구에서 유의적으로 높게 나타났는데 이는 Q_A^- 이후 전자전달이 저해됨을 의미하며, 산소발생복합체 (oxygen-evolving complex)의 비활성화와의 관계가 있다 (Wang *et al.*, 2012). PI_{ABS} 는 흡수된 빛에너지를 이용해 전자 운반자들 (electron carriers)이 환원되는 전반적인 과정에서 에너지 보존효율을 의미하며 (Holland *et al.*, 2013), 광계 II의 최대양자수율 (Φ_{PO})보다 더욱 민감한 환경스트레스 지표로 알려져 있다 (Strasser *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2012; Lee and Lee, 2017).

눈개승마의 경우 35% 차광 처리구에서 가장 낮은 값을 보인 75% 차광 처리구에 비해 약 1.7 배 높은 값을 보여 35% 처리가 에너지 보존효율을 높이는 데 기여함을 알 수 있다 (Table 4, Fig. 3).

4. 생육특성

차광처리에 따른 엽수, 부위별 건중량, T/R율, 엽중비 (LWR)를 Table 5에 나타냈다. 눈개승마는 35% 차광 처리구에서 잎의 개수, 잎과 줄기 등 지상부 건중량, 총 건중량이 각각 13.3 개, 1.63 g, 2.31 g로 가장 높은 경향을 보여 상대적으로 우수한 성장을 나타냈다. 이와 반대로 75% 차광 처리구의 경우 잎의 수 8.67개, 지상부 건중량 1.11g 및 지하부 건중량 0.44 g로 나타나 35% 차광 처리구에 비해 총 건중량이 1.5 배 낮았으며, 전체적으로 가장 저조한 성장을 보였다. 특히 차광수준이 높아짐에 따라 지하부의 건중량은 점진적으로 감소하는 반면 T/R율은 증가하는 경향을 보였는데, 이는 부족한 광 조건을 극복하기 위해 뿌리로 분배시켜광합성 산물의 비율을 상대적으로 낮추게 되어 (Song *et al.*, 2014) 나타나는 결과로 판단되며, 눈개승마의 경우 무차광 처리구에 비해 75% 차광 처리구에서 약 1.5 배 높은 T/R율을 나타냈다 (Table 5).

엽중비 (LWR)은 잎의 생산에 투입된 건물량을 나타내는 것으로, Loach (1970)는 차광수준과 LWR의 관계는 수중에 따라 많은 차이가 난다고 보고한 바 있으나, 일반적으로는 차광에 따라 높아진다고 알려져 있다 (Song *et al.*, 2014). 눈개승마의 경우 무차광 처리구에 비해 차광처리시 전반적으로 엽중비가 증가하였으나 차광수준에 따라서는 뚜렷한 경향의 차이를 보이지 않았다 (Table 5)

위의 결과를 통해 눈개승마 유묘는 35% 차광막을 이용한 차광 처리시 순광합성속도, 기공증산 및 기공전도도, 광계의 에너지 전달 효율 등 전반적인 생리활성이 높으며, 지상부와 뿌리가 우수한 성장을 하는 것으로 나타났고, 반면에 75% 이상의 75% 처리시 성장에 필요한 최소한의 광도보다 매우 부족한 광 환경에서 생육함으로 광합성 기능과 생장이 크게 저하되는 것으로 나타났다. 이를 통해 눈개승마의 건전한 유묘

Table 5. The growth characteristics of *A. dioicus* var. *kamtschaticus* grown under four different shading treatments.

Treatment	Leaves no.	Dry mass production (g)				T/R ratio (g·g ⁻¹)	LWR (g·g ⁻¹)
		Leaves	Shoot	Root	Total		
non-shading	9.67±0.58 ^b	0.87±0.05 ^b	0.44±0.05 ^b	0.77±0.04 ^a	2.08±0.13 ^b	1.70±0.06 ^b	0.42±0.01 ^c
35% shading	13.33±0.58 ^a	1.14±0.04 ^a	0.49±0.01 ^a	0.68±0.01 ^b	2.31±0.06 ^a	2.42±0.04 ^a	0.49±0.01 ^a
55% shading	11.67±1.53 ^a	1.06±0.08 ^a	0.46±0.01 ^{ab}	0.61±0.04 ^c	2.13±0.13 ^{ab}	2.48±0.08 ^a	0.50±0.01 ^a
75% shading	8.67±0.58 ^b	0.73±0.04 ^c	0.38±0.01 ^c	0.44±0.03 ^d	1.56±0.05 ^c	2.55±0.15 ^a	0.47±0.02 ^b

Each value is expressed as the means ± SD (n = 5). *Different letters indicate values significantly different by (Duncan's Multiple Range Test) at 5% level (p < 0.05).

생산을 위해서는 35% 수준의 적정 차광처리가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Andrew JJ and William JD.** (1998). The coupled response of stomatal conductance to photosynthesis and transpiration. *Journal of Experiment Botany*. 49:399-406.
- Ellsworth DS and Reich PB.** (1992). Leaf mass per area, nitrogen content and photosynthetic carbon gain in *Acer saccharum* seedlings in contrasting forest light environments. *Functional Ecology*. 6:423-435.
- Falqueto AR, Silva FS, Cassol D, Magalhães Júnior AM, Oliveira AC and Bacarin MA.** (2010). Chlorophyll fluorescence in rice: Probing of senescence driven changes of PSII activity on rice varieties differing in grain yield capacity. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 22:35-41.
- Franck N and Vaast P.** (2009). Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. *Trees*. 23:761-769.
- Hiscox JD and Israelstam GF.** (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*. 57:1332-1334.
- Holland V, Koller S and Brüggemann W.** (2013). Insight into the photosynthetic apparatus in evergreen and deciduous European oaks during autumn senescence using OJIP fluorescence transient analysis. *Plant Biology*. 16:801-808.
- Hopkins WG and Hüner NPA.** (2008). Introduction to plant physiology. (4nd ed.). John Wiley and Sons. New York. NY, USA. p.223-230.
- Kang HG, Kim TS, Park SH, Kim TW and Yoo SY.** (2016). Photochemical index analysis on different shading level of garden plants. *Korean Journal of Environmental Biology*. 34:264-271.
- Kim GN, Han SH, Jang GH and Cho MS.** (2015). Physiological responses of the three wild vegetables under different light environment of forest-floor cultivations. *Journal of Agriculture and Life Science*. 49:19-27.
- Kim HK and Kim JS.** (2018). Effect of cover crop *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* on reducing soil erosion. *Journal of Korean Forest Society*. 107:50-58.
- Kim MH, Song BM and Choi EY.** (2017). Determination of growth, yield and carbohydrate content of *Allium hookeri* grown under shading treatment. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 25:397-403.
- Kim MS and Sohn HY.** (2014). Anti-thrombosis activity of the aerial part of *Aruncus dioicus* var *kamtschaticus*. *Journal of Life Science*. 24:515-521.
- Kim MS, Kim KH, Jo JE, Choi JJ, Kim YJ, Kim JH, Jang SA and Yook HS.** (2011). Antioxidative and antimicrobial activities of *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* Hara extracts. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 40:47-55.
- Kim PG and Lee EJ.** (2001). Ecophysiology of photosynthesis. Part 1. Effects of light intensity and intercellular CO₂ pressure on photosynthesis. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 3:126-133.
- Kim SK, Lee SC, Lee SP and Choi BS.** (1998). Effects of planting date and fertilization amounts on growth and yield of *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* HARA. *Korean Journal of Plant Resources*. 11:142-145.
- Kyparissis A, Drilias P and Manetas Y.** (2000). Seasonal fluctuations in photoprotective(xanthophylls cycle) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight mediterranean plant species belonging to two different growth forms. *Australian Journal of Plant Physiology*. 27:265-272.
- Lee CH, Shin CH, Kim KS and Choi MS.** (2006). Effects of light intensity on photosynthesis and growth in seedling of *Kalopanax pictus* Nakai. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 14:244-249.
- Lee CY and Won JY.** (2007). Effects of shading treatments on photosynthetic rate and growth in *Codonopsis lanceolata* Trautv. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 15:152-156.
- Lee KC and Lee HB.** (2017). Drought stress influences photosynthesis and water relations of *Synurus deltoides*. *Journal of Korean Forest Society*. 3:288-299.
- Lee KC, Lee HB, Park WG and Han SS.** (2012a). Physiological response and growth performance of *Parasenecio firmus* under different shading treatments. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 14:79-88.
- Lee KC, Noh HS, Kim JW and Han SS.** (2012b). Physiological responses of *Cirsium setidens* and *Pleurospermum kamtschaticum* under different shading treatments. *Journal of Bio-Environment Control*. 21:153-161.
- Lee KC, Noh HS, Kim JW, Ahn SY and Han SS.** (2012c). Changes of characteristics related to photosynthesis in *Synurus deltoides* under different shading treatments. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 20:320-330.
- Lee KC.** (2018). Change of photosynthesis performance and water relation parameters in seedling of Korean *Dendropanax* subjected to drought stress. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 26:181-187.
- Lichtenthaler HK.** (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymology*. 148:350-382.
- Loach K.** (1970). Shade tolerance in tree seedlings. Part I. Growth analysis of plants raised under artificial shade. *New Phytologist*. 69:273-286.
- Nam HH, Lee JH and Choo BK.** (2017). Effect of NaCl treatment on growth and physiological activity of *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* (Maxim.) H. Hara. *Korean Journal of Organic Agriculture*. 25:789-804.
- Oh SJ and Koh SC.** (2004). Chlorophyll fluorescence and antioxidative enzyme activity of *Crinum* leaves exposed to natural environmental stress in winter. *Korean Journal of Environmental Biology*. 22:233-241.
- Song KS and Kim JJ.** (2017). Growth and physiological response in container of *Daphniphyllum macropodum* by shading level. *Journal of Korean Forestry Society*. 106:33-39.
- Song KS, Jeon KS, Choi KS, Kim CH, Park YB and Kim JJ.** (2015). Effects of storage duration with low temperature and wet condition, germination temperature and shading rate on germination of *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* Seeds.

- Korean Journal of Medicinal Crop Science. 23:370-378.
- Song KS, Jeon KS, Choi KS, Kim CH, Park YB and Kim JJ.** (2016). Characteristics of growth and photosynthesis of *Peucedanum japonicum* by shading and leaf mold treatment in forest farming. Journal of Korean Forest Society. 105:78-85.
- Song KS, Jeon KS, Yoon JH, Kim CH, Park YB and Kim JJ.** (2014). Characteristics of growth and root development of *Peucedanum japonicum* seedling by shading rate and container size. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 22:384-390.
- Strasser RJ, Srivastava A and Tsimilli-Michael M.** (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In Yunus M, Pathre U and Mohanty P. (eds.). Probing Photosynthesis: Mechanism, regulation and adaptation. Taylor and Francis. New York. NY, USA. p.445-483.
- Wang ZX, Chen L, Ai J, Qin HY, Liu YX, Xu PL, Jiao ZQ, Zhao Y and Zhang QT.** (2012). Photosynthesis and activity of photosystem II in response to drought stress in amur grape(*Vitis amurensis* Rupr.). Photosynthetica. 50:189-196.
- Youn JS, Shin SY, Wu Y, Hwang JY, Cho JH, Ha YG, Kim JK, Park MJ, Lee SH, Kim TH and Kim TW.** (2012). Antioxidant and anti-wrinkling effects of *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* extract. Korean Journal of Food Preservation. 19:393-399.
- Zheng W, Wang P, Zhang HX and Zhou D.** (2011). Photosynthetic characteristics of the cotyledon and first true leaf of castor(*Ricinus communis* L.). Australian Journal of Corp Science. 5:702-708.