

차광처리가 가시오갈피의 광합성 활성화에 미치는 영향[†]

김판기 · 이갑연¹ · 허성두¹ · 김선희² · 이은주^{3*}

서울대학교 기초과학연구원, ¹임업연구원 서부임업시험장, ²임업연구원 산림환경부, ³서울대학교 생명과학부

적 요: 차광처리에 의한 가시오갈피의 생장촉진현상을 구명하기 위해서, 차광막으로 전천광을 55%, 75%, 90% 차광 처리한 조건과 노지에서 3년간 생장한 개체의 기관별 건물중을 조사하고, 광-광합성곡선과 A-Ci 곡선을 통하여 광합성계의 특성을 조사하였다. 그 결과 75%의 차광조건에서는 지하부에 대한 지상부의 비율이 높아지는 현상이 있었으나, 가장 높은 건물중을 나타내 생장촉진에 효율적임이 확인되었다. 그리고 차광처리에 의해서 엽면적당의 엽록소 a+b 함량과 alb가 감소하고 잎이 얇아지는 반응을 나타냈으며, 개엽 및 개체당의 엽면적이 증가하는 등의 낮은 광도에 대한 적응반응이 확인되었다. 광합성계에서는 차광처리에 의해서 순양자수율(apparent quantum yield)이 높아지고 광보상점이 낮아졌으며, 탄소고정효율(carboxylation efficiency)과 재인산화속도가 상승하였다. 그러나 순양자수율은 차광처리구의 건물중 상승과는 대응되지 않는 결과를 나타내는 반면에 탄소고정효율은 건물중 상승과 대응된 결과를 나타내, 차광처리구의 광합성능력 증가가 탄소고정계의 활성화증가에 기인함이 시사되었다. 광합성에 대한 수분이용효율은 차광처리구가 대조구에 비하여 약간 낮았으나, 모든 차광처리구가 포플러류와 같은 양수에 비해 높은 값을 나타냈다.

검색어: 광합성, 물질생산, 수분이용효율, 순양자수율, 탄소고정효율

서 론

약용식물로 널리 알려진 가시오갈피(*Acanthopanax senticosus* Max.)는 러시아, 중국, 일본, 우리나라 등의 극동아시아에 분포하며, 우리나라에서의 분포는 강원도에서 해발고 600-900m에서 자생하고, 덕유산 부근에서는 해발고 1,000m 이상 되는 지역의 서늘한 지형에서 토양이 비옥하고 습기가 많은 활엽수림에 자생한다(박 등 1996, 허 등 2001). 그리고 해발고가 높은 지역에서도 높은 광도와 기온을 나타내는 입지환경에서는 거의 찾아볼 수 없는 것으로 알려져 있다. 이러한 자생지의 생육특성 때문에 인공 재배시 차광막을 사용하여 일정량의 빛을 차단하면, 기온이 노지(露地)보다 1.9~2.0℃의 낮게 유지되며 전천광(全天光)을 모두 수광(受光)한 것에 비해서 지상부의 생장량이 높아진다(한 등 2001).

차광처리에 의해서 생장이 촉진되는 현상을 광형태형성학적(photomorphogenesis) 측면과 생리생태학적(physiological ecology) 측면으로 구분하여 생각할 수 있다. 우선 광형태형성학적 측면에서는 차광에 의한 낮은 광도로 지상부에 대한 광합성 산물의 배분이 높아져서(金과 佐々木 1994) 지상부의 생장이 상대적으로 촉진되는 경우와 수광면적을 높이기 위한 적응반응으로(김 등 2001, 김과 이 2001b) 개체당의 엽면적이 넓어져서 물질 생산량이 증가한 경우이다.

그리고 생리생태학적 측면에서는 차광처리에 따른 엽은 저하로 광합성계(광화학계, 탄소고정계)의 효소활성이 높아져서 광합성이 증가한 경우와 광합성에 대한 수분이용효율성이 매우 낮아 일종의 높은 전천광 조건에서 수분스트레스로 기공개도가 저하하여 대사활동이 저하하는 경우 등을 생각할 수 있다(김과 주 2001a,b,c).

본 연구에서는 3년간 차광처리하여 재배한 가시오갈피의 광합성특성과 생장특성을 조사하여, 차광처리에 의한 가시오갈피의 생장촉진 현상을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

차광처리 시험립 및 생장특성 조사

본 연구는 임업연구원 서부임업시험장 춘천시험립관리소(강원도 춘천시 사능동 663-1) 구내에 조성된 가시오갈피 차광재배 시험지에서 실시하였다(홍 등 2000, 허 등 2001). 차광재배 시험지는 노천광을 모두 수광하는 대조구, 차광막으로 55%를 차광 처리한 시험구, 75% 차광한 시험구, 90% 차광한 시험구로 모두 4개의 처리구가 설치되어 있다.

각 차광 시험구에서 평균적 생장을 나타내는 3개체를 세군까지 굴취한 다음, 잎, 엽병, 줄기, 뿌리로 구분하여 시료를 채취하였다. 개체내의 모든 잎은 엽면적계(Li-3100C, Li Cor Inc.)를 사용하여 엽면적을 조사하고, 엽면적당 건물중(specific dry mass)

[†] 본 논문은 2001년도 농림기술개발사업 첨단과제(과제관리번호 201085-3)의 연구비로 수행한 연구의 일부임.

* Corresponding author; Phone: 82-2-880-6673, e-mail: ejlee@plaza.snu.ac.kr

를 조사하기 위해서 송풍식 건조기로 건조시킨 후, 건물중을 조사하였다.

엽록소함량 조사

엽록소함량을 조사하기 위해서 각 시험구에서 평균적 생장을 나타내는 6개체에서 동일한 시기에 전개한 성숙엽 2매씩을 남쪽 수관에서 채취하였다. 채취한 시료의 중앙 엽맥을 중심으로 선단부의 좌우에서 1cm² 엽편을 채취하였다. 채취한 절편을 10ml의 DMSO (dimethyl sulfoxide)가 들어있는 vial병(20ml)에 넣은 후, 60°C로 설정된 항온수조에서 8시간동안 색소를 추출하였다(Hiscox and Israelstam 1979). 추출한 용액의 흡광도를 UV/VIS spectrophotometer (Unicon 933/942, Kotron)로 측정된 다음, Arnon(1949)의 방법에 따라서 추출용액에 함유된 엽록소 함량을 산출하였다. 산출된 값을 사용하여 엽면적(g m⁻²)당 엽록소 a, b 함량을 구하고, 이를 사용하여 엽록소 *alb*와 *atb*를 산출하였다.

광합성 및 수분이용효율 조사

광도변화에 대한 광합성반응과 엽육내 CO₂ 농도 변화에 대한 광합성반응을 수분 스트레스의 영향을 작게 받는 오전 7:00~10:00 사이에 측정하였다. 측정은 LED light source와 CO₂ injector system을 부착한 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li Cor)를 사용하였다. 측정조건은 김 등(2002a)과 동일하며, 엽육내 CO₂ 농도는 Farquhar and Sharkey (1982)의 식을 적용하여 산출하였다. 이들 측정치를 사용한 광-광합성 곡선 및 엽육내 CO₂농도-광합성(A-Ci) 곡선의 작성과 이에 대한 해석은 김과 이(2001 a,b,c), Ro et al.(2001)의 방법을 토대로 하였다. 그리고 휴대용 광합성측정기에 의해서 동시에 측정되는 증산속도(T_s)와 광합성속도(P_n)의 비율(P_n/T_s)을 산출하여 김 등(2002b)과 마찬가지로 광합성에 대한 수분이용효율(water use efficiency)로 하였다.

결 과

기관별 성장량

차광에 의한 가시오갈피의 성장촉진 현상이 광합성산물의 지상부(terrestrial part ; T)와 지하부(root ; R)에 대한 분배에 기인하는지를 검토하기 위해서 기관별 건물중을 조사하고, 이 값을 사용하여 T/R을 산출하였다(Table 1).

Table 1. Biomass of plants which were treated under different shading treatments

Plot	Top part (g tree ⁻¹)				Root (g tree ⁻¹)	T+R (g tree ⁻¹)	T/R (g g ⁻¹)
	Leaf	Petiole	Stem	Total			
Control	9.8(±1.9) ^c	1.8(±0.5) ^c	13.8(±4.6) ^b	25.4(±3.1) ^c	39.8(±9.9) ^b	65.2(±18.0) ^c	0.64(±0.04) ^b
Shaded 55%	13.9(±2.2) ^{bc}	1.7(±0.4) ^c	17.7(±0.7) ^b	33.3(±1.8) ^{bc}	46.8(±4.9) ^{ab}	80.1(± 3.1) ^{bc}	0.71(±0.11) ^b
Shaded 75%	20.5(±0.8) ^a	3.3(±0.1) ^a	46.8(±3.3) ^a	70.6(±4.3) ^a	61.9(±5.4) ^a	132.5(± 1.2) ^a	1.14(±0.17) ^a
Shaded 90%	15.1(±1.0) ^b	2.5(±0.5) ^b	20.5(±3.5) ^b	38.1(±3.1) ^b	35.7(±6.2) ^b	73.8(± 3.2) ^{bc}	1.07(±0.28) ^{ab}

() means standard deviation. Differences in letters in vertical columns indicate differences at 5% level for Duncan's multiple range test.

그 결과, 지상부의 건물중은 75% 차광처리된 시험구가 가장 높은 값을 나타냈으며, 다른 3시험구는 75% 차광처리구의 36~54%에 불과한 값을 나타냈다. 이러한 경향은 지하부의 성장에서도 유사하게 나타났으나, 처리구 간의 차이가 지상부에 비해서는 작았다. 한편, 광합성산물이 지상부와 지하부에 분배된 비율을 반영하고 있는 T/R 값은 모든 차광처리구가 대조구에 비하여 높은 값을 나타냈다. 특히 75% 차광처리구는 90% 차광처리구와는 유사한 값을 나타냈으나, 대조구에 비해서는 무려 1.7배 이상의 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 차광처리로 인하여 지상부에 대한 광합성산물의 분배가 증가하였음을 나타내고 있다.

동화기관(잎) 특성

차광처리가 동화기관의 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해서 개체 및 개엽의 면적, 착엽매수, 엽면적 당의 건물중(specific dry mass)를 조사하였다(Table 2).

그 결과, 모든 차광처리구가 대조구에 비하여 개엽의 면적과 개체당의 엽면적, 그리고 착엽매수가 높은 값을 나타냈다. 특히 가장 높은 성장량을 나타내는 75% 차광처리구는 다른 시험구에 비하여 현저하게 높은 값을 나타내, 受光 및 동화 기관의 증가가 있었음을 알 수 있었다. 한편 잎의 두께를 반영하고 있는 엽면적당의 건물중은 75%차광처리구가 대조구나 다른 처리구에 비하여 낮은 값을 나타내, 음엽과 유사한 특성(김과 이 2001b)을 나타냈다.

Table 2. Leaf characteristics under different shading treatments

Plot	Leaf area (cm ²)		No. of leaf	specific dry mass (mg cm ⁻¹)
	Tree ⁻¹	Leaf ⁻¹		
Control	1,040(±94) ^c	27(±9) ^c	40(±9) ^b	9.3(±1.0) ^a
Shaded 55%	2,123(±190) ^{bc}	48(±15) ^{bc}	46(±8) ^{ab}	7.7(±4.0) ^b
Shaded 75%	5,241(±109) ^a	101(±11) ^a	52(±9) ^a	3.9(±0.3) ^c
Shaded 90%	3,119(±97) ^b	74(±12) ^b	42(±7) ^b	4.8(±0.5) ^{bc}

() means standard deviation. Differences in letters in vertical columns indicate differences at 5% level for Duncan's multiple range test.

엽록소함량

잎의 질소함량 및 광합성 능력과 양(+)의 상관관계에 있는 엽록소 a, b 함량(Terashima and Evans 1988, Hikosaka and Terashima 1995)과, 음엽화와 노화의 지표가 되는 엽록소 a/b를 조사하였다(Table 3).

그 결과, 단위 면적당의 엽록소 a+b 함량은 모든 차광처리가 대조구에 비하여 낮은 값을 나타냈으며, 차광율에 따라서는 차광도가 높은 시험구일수록 낮은 값을 나타냈다. 그리고 이러한 경향은 엽록소 a/b에서도 유사하게 나타나, 음엽에서 나타나는 엽록소 a/b의 저하를 확인할 수 있었다.

광도변화에 대한 광합성 반응

광도를 서로 달리하면서 측정된 광합성속도를 광-광합성 곡선으로 나타내고(Fig. 1), 이 곡선을 토대로 하여 미토콘드리아 호흡(암호흡), 광보상점, 광포화점, 광합성능력, 순양자수율을 산출하였다(Table 4).

Table 3. Chlorophyll contents and ratios under different shading treatments

Plot	Chl. a (g m ⁻²)	Chl. b (g m ⁻²)	Chl. a+b (g m ⁻²)	Chl. a/b
Control	0.87(±0.06) ^a	0.43(±0.06) ^a	1.30(±0.12) ^a	2.04(±0.16) ^a
Shaded 55%	0.72(±0.02) ^{ab}	0.36(±0.03) ^{ab}	1.08(±0.05) ^{ab}	2.01(±0.10) ^{ab}
Shaded 75%	0.59(±0.05) ^b	0.30(±0.02) ^b	0.88(±0.06) ^b	1.99(±0.07) ^{ab}
Shaded 90%	0.48(±0.03) ^b	0.30(±0.01) ^b	0.78(±0.03) ^b	1.62(±0.13) ^b

() means standard deviation. Differences in letters in vertical columns indicate differences at 5% level for Duncan's multiple range test.

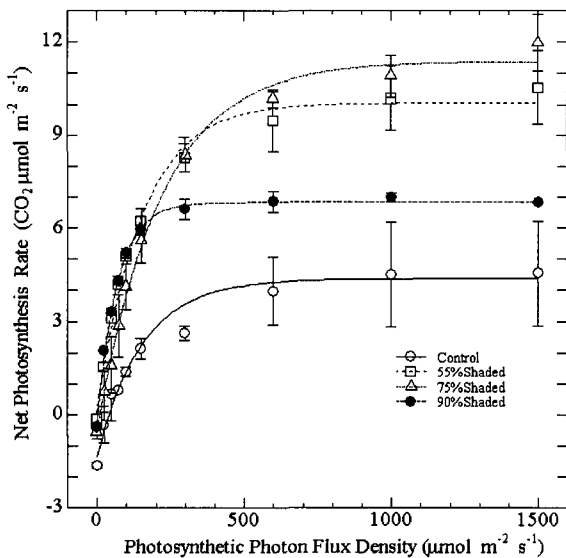


Fig. 1. Light response curves of *A. senticosus* under different shading treatments.

광보상점은 모든 차광처리가 대조구에 비해서 낮은 광도에서 나타났으며, 차광처리구 내에서는 차광율이 높을수록 낮은 값을 나타냈다. 광포화점은 개체간에 편차가 컸으나, 75%와 55% 차광처리가 다른 두 시험구에 비하여 높은 값을 나타냈다. 생명유지와 새로운 조직을 구성하기 위한 에너지를 획득하는 과정인 암호흡은 차광처리가 대조구에 비하여 낮은 값을 나타냈으며, 차광처리구 중에서는 생장이 좋은 75% 차광처리가 통계적 유의성은 없었으나, 가장 높은 값을 나타냈다.

한편 광합성에서 빛 에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 반영하고 있는 순양자수율(Farquhar and Sharkey 1982)은 모든 차광처리가 대조구에 비하여 높은 값을 나타내, 차광처리에 의해서 광화학계의 반응이 상승됨을 알 수 있었다. 그러나 75% 차광처리구는 가장 높은 건물중을 나타냈음에도 불구하고 다른 두 차광처리구에 비하여 현저하게 낮은 값을 나타냈다. 따라서 순양자수율의 상승이 차광에 의한 생장촉진의 직접적인 원인으로 간주하기는 어려웠다. 반면, 광포화점보다 높은 광도에서의 광합성속도는 광합성능력과 탄소고정계의 활성을 반영하는 것으로 알려져 있는데(김과 이 2001a,c), 이들 값은 각 시험구의 생장량과 동일한 순서를 나타냈다.

엽육내 CO₂ 농도 변화에 광합성 반응

광합성측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 CO₂ 농도를 조절하면서 광합성속도를 측정하여 엽육내 CO₂ 농도와 광합성속도와의 관계(A-Ci curve)를 나타내고(Fig. 2), 이를 토대로 CO₂ 보상점, 광호흡속도, 최대 광합성속도, 탄소고정효율을 산출하였다(Table 5).

차광처리구의 CO₂ 보상점은 대조구에 비하여 낮은 값을 나타냈으며, 차광처리구 중에서는 75% 차광처리가 다른 두 시험

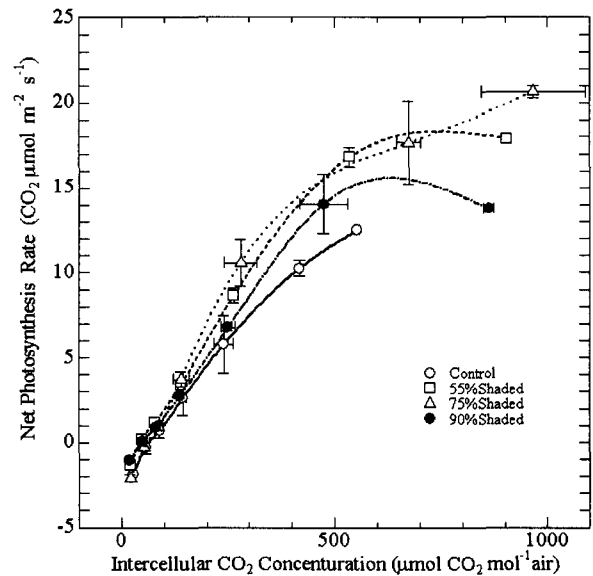


Fig. 2. A-Ci curves of *A. senticosus* under different shading treatments.

Table 4. Light response characteristics of *A. senticosus* under different shading treatments calculated from Fig. 1

Plot	Light compensation point ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Light saturation point ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Dark respiration rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Photosynthetic capacity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Apparent quantum yield (mmol mol^{-1})
Control	50.8(± 3.0) ^a	278.7(± 16.1) ^b	1.63(± 0.08) ^a	3.77(± 0.63) ^c	33.2(± 4.7) ^c
Shaded 55%	42.8(± 1.7) ^a	338.6(± 21.7) ^a	0.28(± 0.07) ^b	10.35(± 1.12) ^a	54.2(± 0.7) ^a
Shaded 75%	12.8(± 8.5) ^b	381.0(± 39.1) ^a	0.56(± 0.24) ^b	11.43(± 0.96) ^a	46.0(± 6.3) ^b
Shaded 90%	11.7(± 0.2) ^b	251.6(± 10.4) ^b	0.41(± 0.04) ^b	6.91(± 0.12) ^b	53.9(± 1.4) ^a

() means standard deviation. Differences in letters in vertical columns indicate differences at 5% level for Duncan's multiple range test.

Table 5. Several photosynthetic characteristics of *A. senticosus* under different shading treatments calculated from Fig. 2

Plot	CO ₂ compensation point ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Photorespiration rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Maximum photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Carboxylation efficiency (mmol mol^{-1})
Control	70.26(± 11.11) ^a	2.79(± 0.23) ^a	16.50(± 0.10) ^b	40.36(± 4.54) ^{bc}
Shaded 55%	47.66(± 6.00) ^c	2.20(± 0.38) ^b	17.90(± 0.30) ^b	41.95(± 0.56) ^b
Shaded 75%	54.73(± 0.88) ^b	2.74(± 0.25) ^a	20.65(± 0.35) ^a	45.49(± 2.99) ^a
Shaded 90%	49.90(± 6.80) ^{bc}	2.55(± 0.32) ^a	13.80(± 0.10) ^c	39.97(± 0.18) ^c

() means standard deviation. Differences in letters in vertical columns indicate differences at 5% level for Duncan's multiple range test.

구에 비하여 약간 높은 값을 나타냈다. 이러한 경향은 광호흡에서도 유사하게 나타났다. 한편, 엽육내 CO₂ 농도가 높은 영역에서의 광합성속도(maximum photosynthesis rate)는 탄소고정계의 재인산화속도에 의해서 좌우되는데, 이때의 광합성속도는 75% 차광처리구가 다른 시험구에 비해서 높은 값을 나타냈다. 그리고 RuBP (rubisco)의 함량과 활성을 나타내는 탄소고정효율에서도 75% 차광처리구가 다른 시험구에 비해서 현저하게 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 성장량과 대응되는 결과로서, 차광처리에 의한 성장촉진효과가 탄소고정계의 효소(RuBP)활성에 기인하고 있음을 나타내고 있다.

수분이용효율

광도에 따른 광합성속도 변화를 측정된 결과를 활용하여, 광합성에 대한 수분이용효율을 증산속도에 대한 광합성의 비율로 산출하였다(Fig. 3).

각 시험구의 수분이용효율은 광도가 낮은 영역에서 낮은 값을 나타냈는데, 특히 대조구는 다른 3시험구보다 낮은 값을 나타냈다. 광도가 점차 증가하면서 수분이용효율도 증가하였는데, 55% 차광 처리구는 다른 세 시험구에 비하여 낮은 값을 나타내며 증가속도도 완만하였다. 광포화점보다 높은 광도에서는 모든 시험구가 일정한 수분이용효율을 나타내거나 매우 완만하게 저하하는 경향을 나타냈는데, 55% 차광처리구는 다른 세 시험구에 비하여 낮은 값을 나타냈다. 그러나 각 시험구간의 차이는 편

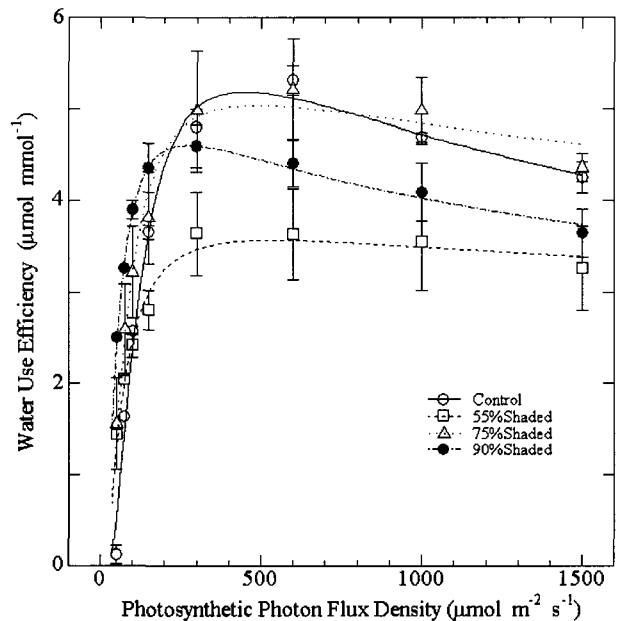


Fig. 3. Water use efficiency curves of *A. senticosus* under different shading treatments.

차가 매우 커서 통계적 유의성($p < 0.05$)은 없었으며, 모든 시험구의 수분이용효율은 양수인 이태리포플러나(김 등 2001), 현사시나무(김 등 2002b)보다 높은 값을 나타냈다.

고 찰

차광에 대한 적응반응

식물군락에서는 상부 임관의 엽층에 의하여 광합성에 유효한 400~700nm의 빛(Photosynthetic Active Radiation; PAR)이 선택적으로 흡수·차단된다(Smith 1995, 佐々木 1979, 森川 등 1983). 따라서 임관 하부의 임관에서 생육하는 식물은 PAR이 적은 광환경에 처하게 된다. 이러한 적은 빛을 광합성에 효율적으로 이용할 수 있는 기작을 가진 잎이 전개되고, 신초방향으로 배분되는 광합성산물의 양이 증가되어 지상부의 성장을 촉진시키는(金과 佐々木 1994) 등의 파이토크롬을 광수용체(photoreceptor)로 하는 각종 광형태형성반응이 일어난다.

본 연구에서도 가시오갈피는 차광처리에 의해서 단위면적 당의 엽록소함량과 무게는 감소하였으나(Table 3), 엽면적이 증가하여(Table 2) 수광 면적이 넓어지고, 개체 당의 엽록소함량이 증가하였다. 그리고 집광성단백질복합체(light harvesting compound)를 구성하는 엽록소 *b*가 *a*에 비하여 상대적으로 증가하여 엽록소 *a/b*가 낮아지는 등의 낮은 광도에 대한 적응반응이 시사된다. 또한 광-광합성 곡선(Fig. 1)에서 광보상점이 낮아지고, 광화학계의 활성을 반영하고 있는 순양자수율(김과 이 2001a)이 증가하는데 이것도 낮은 광도에 대한 적응반응이라 간주된다(김과 이 2001b). 이러한 가시오갈피의 적응반응은 김 등(2001)이 광도저하가 양수인 이태리포플러와 내음수 또는 중용수인 음나무, 졸참나무에 미치는 영향을 조사한 결과에서 내음성 수준이 높은 음나무와 유사한 반응으로 이를 고려하면 가시오갈피도 내음 수준이 매우 높다할 수 있다.

차광에 의한 생장촉진반응

낮은 광도에서는 지상부의 생장이 촉진되는 광형태형성반응이 일어나는데, 낮은 광도에 대한 적응력이 낮은 양수는 생육기간이 길어지면 광합성산물의 절대적인 양이 부족하여 지상부의 성장속도가 저하한다(金과 佐々木 1994). 더욱 장기화되면 생장이 급격하게 저하되어 노지에서 생장한 개체에 비하여 누적 생장량이 낮아지는 현상을 나타낸다. 반면 내음성 수종은 양수에 비하여 낮은 광도에 대한 적응력이 높아 엽면적을 넓히고 집광성 단백질복합체의 양을 증가시키며, 식물의 빛 흡수율 낮은 과장대의 빛 이용효율을 높이는 등의 적응력을 나타내므로(김 등 2001, 김과 이 2001b), 지상부의 생장촉진효과가 양수보다는 장기간 나타날리라 생각된다. 그러나 이러한 지상부(T)의 생장촉진효과는 지하부(R)에 분배될 광합성산물이 지상부의 분배됨으로서 나타나는 현상일 뿐이므로 개체의 건물중 증대는 기대할 수 없다.

본 연구에서는 차광처리구에서 T/R 값이 상승되어, 지상부에 대한 광합성산물의 분배가 증가되었음이 시사되었으나(Table 1), T/R 값의 상승뿐만 아니라 개체(지상부, 지하부)의 건물중도 함께 증가되어, 차광처리에 의해서 생장이 촉진되었음이 실증되었다. 차광에 의한 생장촉진효과는 우선 동화기관인 잎의 양적 증

대(Table 2)를 통한 수광면적의 증대를 하나의 요인으로 생각할 수 있고, 또 하나는 광합성의 광화학계와 탄소고정계의 활성 증가(Fig. 1, Fig. 2, Table 4, Table 5)에 기인하는 광합성능력의 증대를 요인으로 생각할 수 있다. 그러나 차광에 의한 순양자수율이 향상은 생장량과의 관계가 일치하지 않고, 탄소고정효율과 일치한다는 점을 고려하면, 차광처리가 광합성의 암반응에 영향을 미쳐서 물질생산량의 증대가 있었다고 생각된다. 그리고 광합성의 암반응이 온도 의존성이 높다는 점을 고려하면, 차광에 의한 엽온저하(한 등 2001)가 RuBP와 재인산화에 관여하는 효소의 활성을 증대시킨 것으로 사료된다(우와 이 1992).

인용문헌

- Arnon, D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Betula vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1-15.
- Farquhar, G.D. and T.D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 11: 539-552.
- Hikosaka, K. and I. Terashima. 1995. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use. *Plant Cell Environ.* 18: 605-618.
- 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.
- Ro, H.-M., P.-G. Kim, I.-B. Lee, M.-S. Yiem and S.-Y. Woo. 2001. Photosynthetic characteristics and growth responses of dwarf apple saplings after 3 years of exposure to elevated atmospheric carbon dioxide concentration and temperature. *Trees* 15: 195-203.
- Smith, H. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46: 289-315.
- Terashima, I. and Jr. Evans. 1988. Effects of light and nitrogen nutrition on the organization of the photosynthetic apparatus in spinach. *Plant Cell Physiol.* 29: 143-155.
- 金坂基, 佐々木惠彦. 1994. 光質の違いが光合成産物の轉流方向にあたる影響. *日本林學會105回 大會講演要旨集* 358p.
- 森川 靖, 佐々木惠彦, 淺川澄彦. 1983. 林床の光の性質と稚樹の成長. *森林立地* 25: 1-7.
- 佐々木惠彦. 1979. マレーシアの熱帯降雨林におけるフタバガキ科樹種の成長習性と環境. *森林立地* 21: 8-18.
- 김판기, 이은주. 2001a. 광합성의 생리생태(1) -광도와 엽육내 CO₂분압 변화에 대한 광합성 반응. *한국농림기상학회지* 3: 126-133.
- 김판기, 이은주. 2001b. 광합성의 생리생태(2) -환경변화에 대한 광합성의 적응반응. *한국농림기상학회지* 3: 171-176.
- 김판기, 이은주. 2001c. 광합성의 생리생태(3) -CO₂농도와 온도 상승에 대한 광합성 반응. *한국농림기상학회지* 3: 238-243.

- 김판기, 이용섭, 정동준, 우수영, 성주환, 이은주. 2001. 광도가 내음성이 서로 다른 3수종의 광합성 생리에 미치는 영향. 한국임학회지 90: 476-487.
- 김판기, 김선희, 이상모, 조주형, 이은주 2002a. 김포 수도권 매립지에 식재된 현사시나무의 환경 적응 반응(1) -광합성반응을 중심으로. 한국임학회지 91: 79-87.
- 김판기, 김선희, 이상모, 이철호, 이은주 2002b. 김포 수도권 매립지에 식재된 현사시나무의 환경 적응 반응(2) -수분생리를 중심으로. 한국임학회지 91: 279-286.
- 박문수, 김영진, 박호기, 김선, 김규성, 장영선. 1996. 덕유산 가시오갈피 자생지의 생육환경. 한국작물학회지 41: 710-717.
- 우수영, 이돈구. 1992. 광도와 양묘조건을 달리했을 때 상수리나무 묘목의 광합성과 Ribulose-Diphosphate Carboxylase의 활성에 미치는 영향. 한국임학회지 81: 11-20.
- 허성두, 박유현, 이갑연, 유세걸. 2001. 오갈피와 가시오갈피의 자생지 생장 및 엽특성. 한국농림기상학회 2001 학술발표논문집 89-92.
- 한중수, 김승경, 김세원, 김영진. 2001. 차광처리 및 수확방법이 가시오갈피 생육에 미치는 영향. 한국약용작물학회지 9 :1-7.
- 홍경락, 조경진, 박유현, 허성두, 홍용표, 강범용. 2000. 국내 가시오갈피 군락의 유전변이 분석. 한국임학회지 89: 645-654.

(2003년 11월 15일 접수; 2003년 12월 1일 채택)

Effects of Shading Treatment on Photosynthetic Activity of *Acanthopanax senticosus*

Kim, Pan-Gi, Kab-Yeon Lee¹, Seong-Doo Hur¹, Sun Hee Kim² and Eun Ju Lee³

Research Institute of Basic Science, Seoul National University

¹*Sobu Forest Experiment Station, Korea Forest Research Institute*

²*Dept. Forest Environment, Korea Forest Research Institute*

³*School of Biological Sciences, Seoul National University*

ABSTRACT : This study was conducted to investigate the effects of shading treatment on photosynthetic activity of *Acanthopanax senticosus*. We investigated plant growth, light response curve and A-Ci curve to photosynthesis of *A. senticosus* at 55%, 75%, and 90% shading treatments. As results, the ratio of above-ground/under-ground biomass was increased at 75% shaded condition and showed highest dry biomass. Under shaded conditions, plants had lower chlorophyll a+b content and a/b ratio and also showed thinner leaf. But shaded plants showed higher leaf area and higher total leaf area per a plant. This apparently indicates adapted responses to shaded treatment. Effects of shading treatments on photosynthetic activity were higher in apparent quantum yield, carboxylation efficiency, re-phosphorylation but lower in light compensation point. These results suggested that higher photosynthesis rates in shaded treatments were due to activated carboxylation efficiency. Shading treatments had lower water use efficiency than controls but still higher than other tree species.

Key words : Apparent quantum yield, Carboxylation efficiency, Growth, Photosynthesis, Water use efficiency
