

차광처리가 가시오갈피의 광합성 생리 특성에 미치는 영향

이갑연¹, 허성두¹, 김판기², 박유현¹, 김종한¹, 김선희¹

¹임업연구원, ²서울대 기초과학연구원

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

Kab-Yeon Lee¹, Seong-Doo Hur¹, Pan-Gi Kim², Yew-Heon Park¹, Jong-Han Kim¹, Sun Hee Kim¹

¹Korea Forest Research Institute, ²Research Institute of Basic Science, Seoul National University

(*Correspondence : mambo2803@yahoo.co.kr)

1. 서론

약용식물로 널리 알려진 가시오갈피는 해발고 900m내외의 서늘한 지역에서 토양이 비옥하고 습기가 많은 활엽수림에 자생하며, 높은 광도와 기온을 나타내는 입지환경에서는 거의 찾아볼 수 없는 것으로 알려져 있다(박문수 등, 1996). 이러한 생육특성 때문에 인공재배를 하는 경우, 차광막을 사용하여 일정량의 빛을 차단하면 전천광(全天光)을 모두 수광(受光)한 것에 비해서 높은 생장을 나타낸다고 한다(한중수 등, 2001). 이러한 현상은 차광에 의한 광도저하로 파이트코롬을 중심매체로 하는 광형태형성 반응으로 지상부에 대한 광합성산물의 분배가 증가하여 지상부의 생장이 촉진되었거나(T/R을 상승), 광도저하 또는 이에 따른 엽온 저하로 광합성계(광화학계, 탄소고정계)의 활성이 증진된 경우, 그리고 수분이용효율성이 낮아서 전천광 조건에서는 수분스트레스로 기공개도가 저하하여 대사활동이 저하하는 경우 등을 고려할 수 있다(金·佐々木, 1993; 김판기와 이은주 2001a,b). 본 연구에서는 이러한 가능성을 명확히 구명하기 위해서, 3년간 차광처리를 하여 재배한 가시오갈피의 광합성특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 차광처리 시험림 및 생장조사

본 연구는 임업연구원 서부임업시험장 춘천시시험림관리소 구내에 조성된 가시오갈피 차광재배 시험포지에서 실시하였다(홍경락 등, 2000). 차광재배시험지는 노천광을 모두 수광하는 대조구, 50% 차광막을 사용한 50%처리구, 75%차광막을 사용한 75%처리구, 90%차광막을 사용한 90%처리구로 모두 5개의 처리구가 설치되어 있다. 각 차광 시험구에서 평균적 생장을 나타내는 3개체를 세군까지 굴취한 다음, 잎, 엽병, 줄기, 뿌리로 구분하여 시료를 채취하였다. 잎은 채취직후에 개체당의 엽면적, 개엽면적, specific dry mass 등을 조사하였다.

2.2. 엽록소함량 조사

엽록소 함량을 조사하기 위해서 각 차광 시험구에서 평균적 생장을 나타내는 6개체에서 동일한 시기에 전개한 成熟葉 2매씩을 채취하였다. 채취한 시료의 중앙 葉脈을 중심으로 선단부의 좌우에서 1cm² 葉片을 채취하였다. 채취한 절편을 10ml의 DMSO (dimethyl sulfoxide)가 들어있는 vial 병(30ml)에 넣은 후, 60℃로 설정된 항온수조에서 8시간동안 색소를 추출하였다(Hiscox and Israelstam, 1979). 추출한 용액의 흡광도를 UV/VIS spectrophotometer (Unicon 933/942, Kotron)로 측

정한 다음, Arnon(1949)의 방법에 따라서 추출용액에 함유된 엽록소 함량을 산출하였다. 산출된 값을 사용하여 葉面積($g\ m^{-2}$)당 엽록소 a , b , $a+b$ 함량을 구하고, 이를 사용하여 엽록소 a/b 와 $a+b$ 를 산출하였다.

2.2. 광합성 조사

광도변화에 대한 광합성반응과 葉肉內 CO_2 分壓 변화에 대한 광합성반응을 수분 스트레스의 영향을 작게 받는 오전 7:00-10:00사이에 측정하였다. 측정은 LED light source와 CO_2 injector system을 부착한 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li Cor)를 사용하였다. 측정조건은 김판기 등(2001)과 동일하며, 葉肉內 CO_2 分壓은 Farquhar and Sharkey (1982)의 식을 적용하여 산출하였다. 이들 측정치를 사용한 광-광합성곡선 및 葉肉內 CO_2 分壓 광합성 곡선의 작성과 이에 대한 해석은 김판기와 이은주(2001a), Ro *et al.*(2001)의 방법을 토대로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 성장특성

가시오갈피의 성장특성이 광합성산물의 지상부와 지하부에 대한 분배에 기인하는지를 검토하기 위해서 기관별 Biomass와 엽면적 등의 동화기관 특성을 조사한 결과(표-1), 75%피음처리된 시험구는 지상부와 지하부 모두가 다른 시험구에 비하여 높은 건중을 나타내고, 광합성산물이 지상부와 지하부에 분배된 비율을 반영하고 있는 T/R도 다른 시험구에 비하여 높은 값을 나타냈다. 또한 75%피음 처리구는 착엽수와 개체당의 엽면적, 개엽면적 등이 다른 처리구에 비하여 높은 값을 나타내, 수광면적 및 동화기관의 면적이 증가하였음을 알 수 있었다. 그러나 잎의 두께를 반영하고 있는 specific dry mass의 값이 다른 처리구에 비하여 낮은 값을 나타내, 음엽과 유사한 특성(김판기와 이은주, 2001b)을 나타냈다.

표-1. 성장 특성

Plot	terrestrial part ($g\ tree^{-1}$)			root ($g\ tree^{-1}$)	T/R	leaf area (cm^2)		No. of leaf	specific dry mass ($mg\ cm^{-1}$)
	leaf	petiole	stem			tree ⁻¹	leaf ⁻¹		
Control	9.8(±1.9)	1.8(±0.5)	13.8(±4.6)	39.8(±9.9)	0.65(±0.04)	1040(± 94)	27(± 9)	40(±9)	9.3(±1.0)
Shaded 50%	13.9(±2.2)	1.7(±0.4)	17.7(±0.7)	46.8(±4.9)	0.72(±0.11)	2123(±190)	48(±15)	46(±8)	7.7(±4.0)
Shaded 75%	20.5(±0.8)	3.3(±0.1)	46.8(±3.3)	61.9(±5.4)	1.16(±0.17)	5241(±109)	101(±11)	52(±9)	3.9(±0.3)
Shaded 90%	15.1(±1.0)	2.5(±0.5)	20.5(±3.5)	35.7(±6.2)	1.11(±0.28)	3119(± 97)	74(±12)	42(±7)	4.8(±0.5)

()의 ±는 표준편차를 나타냄.

3.2. 엽록소함량

잎의 질소함량 및 광합성 능력과 양 (+)의 상관관계에 있는 엽록소 함량과, 음엽화와 노화의 지표가 되는 엽록소 a/b 를 조사하였다(표-2). 그 결과 75%피음 처리구는 90%피음처리구에 비하여 엽록소 ($a+b$) 함량이 높으나, 다른 두 처리구에 비해서는 현저하게 낮은 값을 나타냈다.

표-2. 엽록소 함량 및 엽록소 a/b

Plot	Chl. a	Chl. b	Chl. $a+b$	Chl. a/b
Control	0.87(±0.06)	0.43(±0.06)	1.30(±0.12)	2.04(±0.16)
Shaded 50%	0.77(±0.02)	0.36(±0.03)	1.13(±0.05)	2.15(±0.10)
Shaded 75%	0.59(±0.05)	0.30(±0.02)	0.88(±0.06)	1.99(±0.07)
Shaded 90%	0.48(±0.03)	0.30(±0.01)	0.78(±0.03)	1.62(±0.13)

그리고 음엽에서 나타나는 엽록소 *a/b*의 저하가 엽록소함량과 동일한 경향으로 나타났다.

3.3. 광화학계의 반응

광도를 서로 달리하면서 측정한 광합성속도를 광-광합성 곡선으로 나타내고(그림-1), 이 곡선을 토대로 하여 미토콘트리아호흡(암호흡), 광보상점, 광포화점, 광합성능력, 순양자수율을 산출하였다(표-3). 그 결과, 피음(50%, 75%, 90%) 처리구는 전천광을 수광한 대조구에 비해서 광보상점이 높은 광도에서 나타났다. 특히 가장 높은 생장을 나타내는 75%피음처리구는 다른 두 피음 처리구에 비해서 광보상점이 높은 값을 나타냈다. 이러한 경향은 광포화점에서도 유사하게 나타났다.

생명유지와 새로운 조직을 구성하기위한 에너지를 획득하는 과정인 암호흡은 대조구가 피음처리에 의하여 현저하게 높은 경향을 나타냈다. 그리고 피음처리구 중에서는 생장이 좋은 75%피음처리구가 가장 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과로 가시오갈피의 정상적인 호흡은 $0.56\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이하일 것으로 판단되고 이를 초월한 호흡은 생리적 장애에 의한 발생임을 알 수 있었다. 한편 빛 에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 반영하고 있는 純量子收率은 피음처리구가 대조구에 비하여 높은 값을 나타내, 피음처리에 의해서 광화학계의 반응이 상승됨을 알 수 있었다. 그러나 가장 높은 생장량을 나타낸 75%피음처리구가 피음처리구 중에서는 가장 낮은 순양자수율을 나타내는 점으로 보아, 광화학계 반응의 상승이 생장에 직접으로 관여했다고 간주하기는 어렵다. 반면에 탄소고정계의 능력을 반영하고 있는 광포화점에서의 광합성속도, 즉 광합성능력은 생장과 일치하여 차광에 의한 가시오갈피의 생장촉진 반응은 탄소고정계의 활성과 밀접한 관계에 있는 것으로 추측된다.

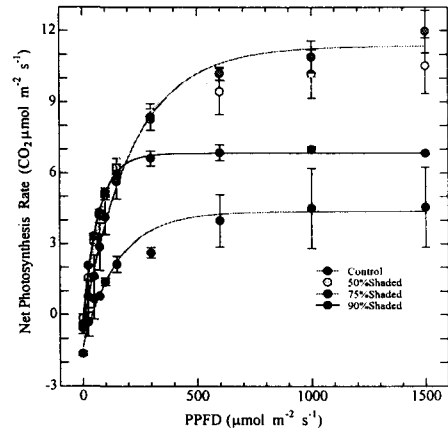


그림-1. 각 차광처리구의 광도변화에 대한 광합성 반응.

표-3. A-Ci 곡선에서 산출한 CO₂보상점, 광호흡, 최대광합성속도, 탄소고정효율

Plot	CO ₂ compensation point ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	photo respiration 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)	2.79(± 0.13)	16.50(± 0.10)	40.36(± 4.54)
Shaded 55%	47.66(± 6.00)	2.00(± 0.28)	17.90(± 0.30)	41.95(± 0.56)
Shaded 75%	64.73(± 0.88)	2.94(± 0.15)	20.65(± 0.35)	45.49(± 2.99)
Shaded 90%	49.90(± 6.80)	1.55(± 0.22)	13.80(± 0.10)	30.97(± 0.18)

3.4. 탄소고정계의 반응

광합성측정기의 leaf chamber에 도입되는 공기의 CO₂농도를 조절하면서 측정한 광합성 값으로 A-Ci curve(그림-2)를 작성하고, 이를 토대로 CO₂보상점, 광호흡속도, 최대 광합성속도, 탄소고정효율을 산출하였다(표-4). 그 결과 75%피음처리구는 CO₂ 보상점이 대조구와는 비슷한 값을 나타냈으나, 다른 두 피음처리구에 비해서는 현저하게 높은 값을 나타냈다.

엽육내 CO₂농도가 높아져 탄소고정계의 재인산화속도에 의해서 광합성이 좌우되는 최대광합성속도는 75%처리구가 다른 시험구에 비해서 높은 값을 나타냈다. 그리고 RuBP의 함량과 활성을 나타내는 탄소고정효율이 75%처리구가 다른 시험구에 비해서 유의하게 높은 값을 나타냈다. 이러

한 결과는 성장량과 동일한 경향으로서, 피음처리에 의한 성장촉진효과가 탄소고정계의 효소(RuBP)활성에 기인하고 있음을 간접적으로 증명하고 있다. 즉, 75% 피음처리에 의한 엽온 저하가 RuBP의 효소를 활성화시키고 있음을 의미한다. 이상의 결과를 직접적으로 증명하기 위해서는 엽온변화에 대한 광합성의 반응을 광화학계와 탄소고정계의 반응으로 구분하여 연구할 필요성이 있다.

Acknowledgments

본 연구는 농림기술개발연구과제 - 첨단기술을 이용한 자생오갈피, 오미자류의 유전자원수집 동정 및 우량품종개발(첨단기술개발사업 과제관리번호 201085-3)의 일부연구임.

인용문헌

- Arnon D. 1949: Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24,1-15.
- Farquhar, G. D. and T. D. Sharkey. 1982: Stomatal conductance and photosynthesis. Ann. Rev. Plant Physiology 11,39-552.
- Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam. 1979: A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany 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.
- 金坂基, 佐々木恵彦. 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|大會講演要旨集 358p.
- 김판기, 이은주. 2001a: 광합성의 생리생태(1) -광도와 엽육내 CO₂분압 변화에 대한 광합성 반응. 한국농림기상학회지 3,26-133.
- 김판기, 이은주. 2001b: 광합성의 생리생태(2) -환경변화에 대한 광합성의 적응반응. 한국농림기상학회지 3,171-176.
- 김판기, 이용섭, 정동준, 우수영, 성주한, 이은주. 2001: 광도가 내음성이 서로 다른 3수종의 광합성 생리에 미치는 영향. 한국임학회지 90,476-487.
- 박문수, 김영진, 박호기, 김선, 김규성, 장영선. 1996: 덕유산 가시오갈피 자생지의 생육환경. 한국작물학회지 41,710-717.
- 한종수, 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.

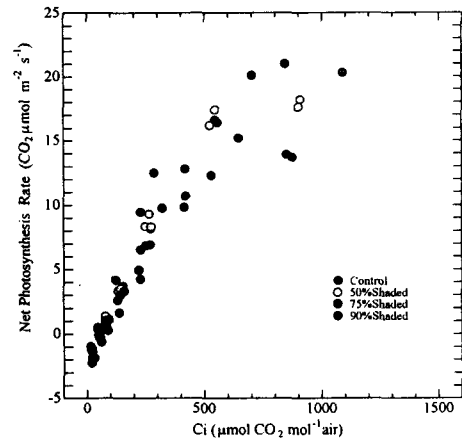


그림-2. 엽육내 CO₂농도(Ci) 변화에 대한 광합성(A) 반응

표-4 광-광합성곡선에서 산출한 광보상점, 광포화점, 광합성능력, 순양자수율

Plot	light compensation point (μmol m ⁻² s ⁻¹)	light saturation point (μmol m ⁻² s ⁻¹)	dark respiration rate (μmol m ⁻² s ⁻¹)	photosynthetic capacity (μmol m ⁻² s ⁻¹)	apparent quantum yield (mmol mol ⁻¹)
Control	50.0(±3.0)	278.7(±16.1)	1.63(±0.08)	3.77(±0.63)	33.2(±4.7)
Shaded 50%	2.8(±1.7)	338.6(±21.7)	0.28(±0.07)	10.35(±1.12)	54.2(±0.7)
Shaded 75%	12.8(±8.5)	381.0(±39.1)	0.56(±0.24)	11.43(±0.96)	46.0(±6.3)
Shaded 90%	3.8(±0.2)	251.6(±10.4)	0.41(±0.04)	6.91(±0.12)	53.9(±1.4)