

비음처리에 따른 먼나무의 광합성, 엽록소 함량 및 엽 특성

한진규, 손석규^{1*}, 김세현², 김찬수¹, 황석인², 변광옥¹

경희대학교 생태시스템공학, ¹국립산림과학원 난대산림연구소, ²국립산림과학원 산림유전자원부

Photosynthesis, Chlorophyll Contents and Leaf Characteristics of *Ilex rotunda* under Different Shading Treatments

Jin-Gyu Han, Seog-Gu Son^{1*}, Sea-Hyun Kim², Chan-Soo Kim¹, Suk-In Hwang² and Kwang-Ok Byun¹

Ecosystem Engineering, Dep. Life Science, Kyunghee University, Suwon 446-701, Korea

¹Warm-temperature Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jeju 697-050, Korea

²Department of Genetics Forest Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-300, Korea

Abstract - Two-year-old seedlings of *Ilex rotunda* were grown under control (full sunlight) and three different shading condition. Those conditions were full sunlight (PPFD 1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 30% (PPFD 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 50% (PPFD 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and 70% treatment (PPFD 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Total chlorophyll contents were inverse proportion to light intensity. Seedlings under full sunlight showed the highest photosynthetic activity such as photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration and water use efficiency. Photosynthetic activity trend was increased at the higher light intensity than the lower treatment over PPFD 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Especially, seedlings under 70% treatment showed the worst photosynthetic activity at high light intensity. That result was regular for adapted plant in low intensity environment. Leaf area was also inverse proportion to light intensity, while dry weight per leaf area was shown the opposite trend.

Key words - *Ilex rotunda*, Shading treatment, Light intensity, Photosynthetic rate, Intercellular CO₂ concentration, Water use efficiency

서 언

빛 에너지를 이용한 탄소동화작용을 통해 양분을 공급받아 생육하는 모든 식물들에게 광환경 조건은 생존을 위한 에너지의 공급원이면서 동시에 식물의 생리적 특성을 제어하는 광형태형성(photomorphogenesis)에도 많은 영향을 미친다(김 등, 2003). 광환경의 차이에 따라서 발생하는 광형태형성의 차이는 종자의 발아억제, 광합성에서 잎의 빛 에너지 이용효율 및 광합성 생리 등의 변화를 통해 식물의 성장 차이를 발생시키며 식물이 가진 광 민감도에 따라 생육에 저해를 받기도 하며 심한 경우 고사하기도 한다(Gorski, 1975; Boardman, 1977; Noguchi *et al.*, 1996; Makino *et al.*, 1997). 비음처리를 통해 낮은 광도에 순화된 식물의 광합성 특성 및 광합성 기구의 변화에 관한 연구는 이미 많은 수종을 대상으로 진행되고 있으며 이러한 연구

결과들은 각기 다른 광환경하에서 야기되는 광합성 특성 순화 정도의 차이를 밝혀 대상 수종이 광환경의 피해를 받지 않고 건전하게 생육할 수 있는 환경조건을 구명하는데 필수적이다(Rosenqvist *et al.*, 1991; Makino *et al.*, 1997).

먼나무(*Ilex rotunda*)는 제주도와 보길도의 표고 700m 이하에서 자생하는 상록활엽교목으로 최근 환경변화로 식재범위가 넓어질 수종으로 판단되며, 특히 빨간 열매와 깨끗한 엽색 및 수피색과 단정한 수관형으로 가로수, 관상수 및 화분용 또는 분재 소재로 상품성이 뛰어난 나무이다. 양지와 음지에서 모두 자라는 중용수로 내한성은 약하지만 내조성이 강해 해변에서 잘 자라며 대기오염에도 강해 도심지에서도 식재가 가능하여 그 조경적 가치가 한층 높아지고 있는 수종이다(Jo, 1989). 제주도 등 현지에서는 먼나무의 실생모 획득을 위해 차광망설치를 통한 비음재배를 실시하고 있으나 비음도의 적정성이나 비음재배의 효율성이 구체적으로 구명되지 못하고 있는 실정이다(손 등, 2006). 본 연구는 차광망설치를 통한 다양한 광조건에서 생육시킨 먼나

*교신저자(E-mail) : sonsak@foa.gh.kr

무의 광합성, 엽록소 함량 및 잎 특성 등을 조사하여 먼나무 실생묘 생산에 있어 비음재배의 적정조건과 그 효율성 제고를 위한 구체적자료를 제공하고자 실시되었다.

재료 및 방법

공시재료 및 비음처리

제주도에 위치한 난대산림연구소에 식재되어 있는 2년생 먼나무 묘목을 공시재료로 하여 각 처리구에서 1년간 생육시켰다. 비음처리는 시중에서 판매중인 3가지 종류의 차광망을 이용하여 무처리(전광)와 차광도 30%, 50%, 70% 3가지 비음처리를 실시하였다. 각 처리구 내의 광도는 제 등(2006)의 방법에 따라 7반복으로 측정하였으며 전광처리구(대조구)에서는 PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) $1600\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 30% 비음 처리구에서는 $400\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 50% 비음 처리구에서는 $250\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 70% 비음 처리구에서는 $100\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 평균광도를 나타냈다.

엽록소 함량

채취한 먼나무 잎을 DMSO를 이용하여 추출하였으며 spectrophotometer(UV-Visible, Agilent 8453, Agilent Technologies, USA)를 이용하여 665nm와 648nm의 파장에서 흡광도를 측정하고, Arnon(1949)의 수식에 대입하여 엽록소 a와 b 그리고 총 엽록소 함량을 구하였다(Barnes *et al.*, 1992).

광합성 측정

각 처리에 따른 광합성 생리 특성을 알아보기 위해 Li-6400 portable photosynthesis system(Li-cor Inc., USA)을 이용하여 광합성능력, 기공증산속도, 엽육 세포내 CO_2 농도를 측정하였다. 광합성 능력은 광도변화를 이용한 광-광합성곡선을 그려 처리간 비교를 하였으며 측정시 chamber 내 조건은 CO_2 농도 $400\mu\text{mol mol}^{-1}$, 온도 25°C , 습도 60~70%로 유지한 상태에서 PPFD 0, 50, 100, 300, 500, 800, 1000, 1500, 2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 광도 변화를 주어 측정하였다. 수분이용 효율은 광합성능력/증산량으로 계산하였다(Ashraf *et al.*, 2002).

엽특성 조사

비음 처리에 따른 수광조건의 차이가 먼나무 잎에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 처리별로 20개의 잎을 채취하여 특성조사를 실시하였다. 엽 길이, 엽 폭, 엽 두께, 엽 면적, 생중량, 건중량 및 단위면적당 건중량을 디지털 캘리퍼(Mitutoyo, Japan), Li-3000A 엽면적 측정기(Li-cor Inc., USA) 및 디지털 밸런스(92SM-202A, Precisa, Swiss)로 측정하였다.

자료분석

수집된 자료는 SAS(The SAS system ver. 8.2) 프로그램을 이용하여 기본 통계량을 구하고 각 처리간 측정 결과의 유의성 검정을 실시하였다.

결 과

엽록소 a, b 및 총 엽록소 함량 모두 비음처리구에서 생육한 묘목이 대조구에서 생육한 묘목보다 높은 값을 나타냈다(Table 1). 가장 낮은 광도의 70% 비음처리구에서 엽록소 a, b 모두 가장 높은 값을 보였으며 엽록소 a에서 30% 비음처리구가 50% 비음처리구보다 낮은 엽록소 함량을 보였으나 엽록소 b와 총 엽록소 함량에서는 두 처리구간의 통계적인 차이는 나타나지 않았

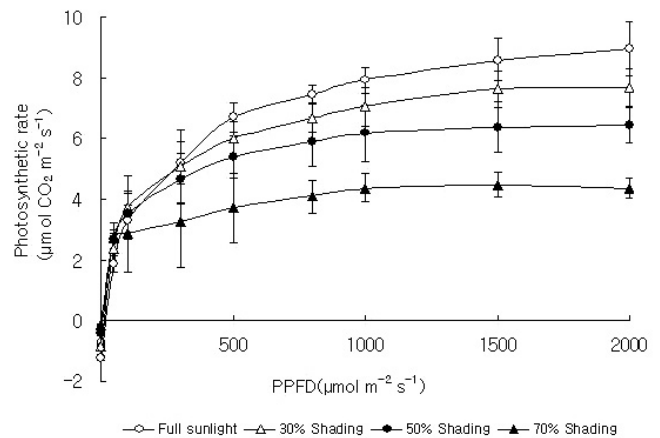


Fig. 1. Leaf photosynthetic rate of *Ilex rotunda* seedlings grown under different shading condition.

Table 1. Chlorophyll contents of *Ilex rotunda* seedlings grown under different shading condition

Treatment	Chlorophyll a (mg/g)	Chlorophyll b (mg/g)	Chlorophyll a/b ratio	Total chlorophyll (mg/g)
Full sunlight	2.58 ± 0.13 d*	1.45 ± 0.08 c	1.78 ± 0.16 b	4.04 ± 0.11 c
30% Shading	3.06 ± 0.19 c	1.72 ± 0.06 b	1.78 ± 0.17 b	4.79 ± 0.14 b
50% Shading	3.47 ± 0.08 b	1.69 ± 0.09 b	2.05 ± 0.07 a	5.17 ± 0.18 b
70% Shading	4.49 ± 0.33 a	2.25 ± 0.12 a	2.00 ± 0.12 ab	6.76 ± 0.41 a

*Duncan's multiple range test significant difference at $P < 0.05$.

다. 엽록소 a/b 비율은 무처리구와 30% 비음처리구가 유사한 경향을, 50%와 70% 비음처리구가 서로 유사한 경향을 나타냈으며 50%와 70% 비음처리구가 높은 값을 나타냈다.

비음처리에 따른 먼나무의 광합성능력 차이를 알아보기 위한 광도-광합성곡선에서는 각 처리구간 광합성능력의 차이가 뚜렷하게 나타났는데, 무처리구에서 생육시킨 묘목이 전체적으로 가장 높은 광합성능력을 보였으며 차광 효과가 커질수록 광합성능력이 낮아지는 경향을 보여 70% 차광처리구에서 생육시킨 묘목이 가장 낮은 광합성 능력을 나타냈다(Fig. 1). 70% 비음처리구에서 생육시킨 묘목은 PPFD $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이하의 낮은 광도 조건에서는 다른 처리구와 비교해 유사하거나 근소하게 높은 광합성능력을 보였으나 PPFD $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상의 광도 조건에서는 다른 처리구와 비교해 광합성능력의 증가가 거의 나타나지 않았다. 묘목들은 70% 비음처리구를 제외한 나머지 처리구 PPFD $300\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도조건까지 유사한 값의 광합성능력을 보이다가 PPFD $300\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상의 광도조건에서 점차 광합성 능력의 차이를 보이기 시작해 50%, 30%, 무처리구 순으로 완만한 증가세와 함께 낮은 값의 광합성능력을 나타냈다. 비음처리의 강도에 따라 광 포화점에서 각 처리구간 광합성능력의 차이가 나타났지만 무처리구와 30% 비음처리구가 전광에 가까운 PPFD $1500\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상의 높은 광도조건에서도 광합성 능력이 완만하게 증가하는 경향을 보인다면 50%와 70% 비음처리구에서는 PPFD $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상의 광도조건에서 광합성 능력의 증가를 나타내지 않아 낮은 광환경에서 생육한 먼나무의 경우 높은 광도조건하에서 원활하게 적응하지 못하는 것으로 보인다.

광도변화에 따른 엽육내 CO_2 농도의 변화는 초기의 낮은 광도조건하에서 급격하게 감소하는 경향을 보이다가 각 처리구 별로 일정 광도 이상의 조건(PPFD $300\sim 500\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 이후에는 광도의 증가에 관계없이 일정한 엽육내 CO_2 농도를 유지

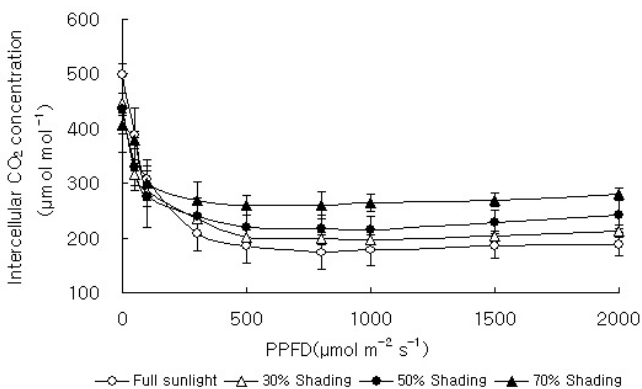


Fig. 2. Effects of various light intensity (PPFD) on intercellular CO_2 concentration in leaves of *Ilex rotunda* seedlings grown under different shading condition.

하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 무처리구는 초기 낮은 광도조건에서 다른 처리구들과 비교해 높은 엽육내 CO_2 농도를 보이나 PPFD $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상의 광도에서 급격하게 CO_2 농도가 감소하기 시작하여 이후 높은 광도조건하에서는 다른 처리구들에 비해 낮은 CO_2 농도를 유지하는 것으로 나타났다. 50%와 30% 비음처리구는 초기의 낮은 광도조건하에서 무처리구와 같은 급격한 CO_2 농도의 감소는 나타나지 않으나 높은 광도조건하에서도 무처리구와 유사한 경향의 엽육내 CO_2 농도를 유지하여 일정한 광합성을 유지하고 있음을 알 수 있다. 70% 비음처리구에서는 대부분의 광도조건에서 다른 처리구들에 비해 높은 엽육내 CO_2 농도를 유지하여 다른 처리구들에 비해 광합성이 원활하게 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.

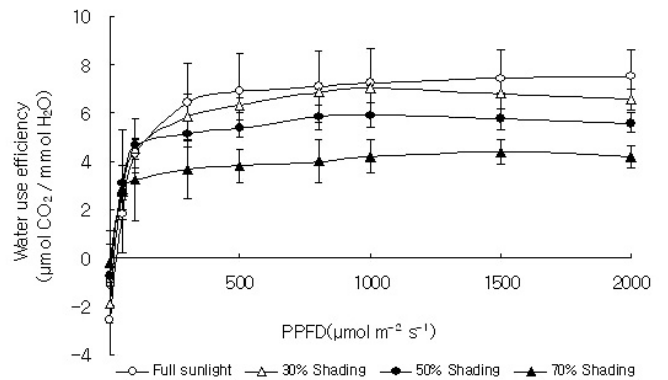


Fig. 3. Effects of various light intensity (PPFD) on water use efficiency in leaves of *Ilex rotunda* seedlings grown under different shading condition.

광도변화에 따른 묘목들의 수분이용효율의 변화는 광-광합성곡선의 처리구간 경향과 유사한 모습을 보였다(Fig. 3). 무처리구와 30% 비음처리구에서 생육시킨 묘목이 유사한 경향을 나타냈으며 50% 비음처리구에서는 PPFD $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이후의 광도조건에서 수분이용효율의 증가 없이 일정한 수분이용효율을 유지하였다. 30% 비음처리구와 50% 비음처리구에서는 PPFD $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상의 광도조건에서 수분이용효율이 완만하게 감소하는 경향을 나타냈다. 70% 비음처리구에서는 PPFD $50\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도조건까지는 다른 처리구와 유사한 수분이용효율을 보였으나 이후의 광도조건에서는 거의 증가를 보이지 않아 가장 낮은 수분이용효율을 나타냈다. 이러한 현상은 엽육내 CO_2 농도 결과와 마찬가지로 낮은 광도조건에 순화된 광합성 기구가 높은 광도조건에 적응하지 못해 나타나는 결과로 보인다.

다른 광도조건하에서 생육한 먼나무의 잎 형태 및 생육특성 차이는 Table 2와 같다.

잎의 길이는 70%와 50% 비음처리, 30% 비음처리, 무처리구 순으로 크게 나타나 차광강도가 강할수록 잎이 길어지는 경향을

Table 2. Leaf configuration and dry weight of *Ilex rotunda* seedlings grown under different solar radiations

Treatment	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf thickness (mm)	Leaf Area (cm ²)	Dry Weight (g)	Dry weight per leaf area (mg/cm ²)
Full sunlight	5.67 ± 0.53c*	2.58 ± 0.19a	0.25 ± 0.02ab	9.81 ± 1.32b	0.08 ± 0.01a	8.63 ± 1.39a
30% Shading	6.12 ± 0.62b	2.60 ± 0.18a	0.25 ± 0.03a	11.3 ± 1.87a	0.07 ± 0.02bc	5.87 ± 1.90b
50% Shading	6.63 ± 0.47a	2.65 ± 0.16a	0.23 ± 0.03b	11.9 ± 1.42a	0.07 ± 0.01b	5.94 ± 0.86b
70% Shading	6.68 ± 0.94a	2.54 ± 0.23a	0.21 ± 0.02c	11.0 ± 2.38a	0.06 ± 0.01bc	5.17 ± 1.04b

*Duncan's multiple range test significant difference at P<0.05.

보였으며 잎의 폭은 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 잎 면적은 비음 처리에 따른 차이는 나타나지 않았으나 처리구와 무처리구간에는 처리구가 더 넓은 잎 면적을 갖는 것으로 나타났다. 잎 두께는 30% 비음 처리구가 가장 큰 값을 보였으며 차광강도가 높을수록 두께가 얇아지는 경향을 나타냈다. 잎의 건중량에서는 처리간에 뚜렷한 경향이 나타나지 않았으나 무처리가 가장 큰 값을 보였고 엽육 조직의 건전한 생장을 나타내는 단위면적당 건중량은 무처리구가 비음처리구에 비해 큰 값을 보여 무처리구에서 비음처리구와 비교해 건전한 잎의 생육이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며 비음처리구간에는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

고찰

생육하고 있는 광환경의 조건에 의해 식물들은 효율적인 광흡수를 위한 광합성 특성의 순화를 일으키며 이러한 광형태형성에 따라 잎의 총엽록소 함량이나 엽록소 a, b의 비율도 달라지며 일반적으로 낮은 광환경하에서 생육된 식물의 잎은 높은 광환경하에서 생육한 식물에 비해 수광율과 빛의 이용효율을 높이기 위해 엽록소 함량이 높은 특성을 나타낸다(Evans, 1994; Logan *et al.*, 1998; Gibson *et al.*, 2001). 본 연구 결과에서 먼나무의 총 엽록소 함량은 무처리구로부터 비음처리 강도가 높아질수록 증가하여 70% 비음처리구는 무처리에 비해 1.6배 많은 엽록소 함량을 나타냈는데 이는 낮은 광도조건에서 생육된 먼나무 잎의 광합성 기구가 수광율을 높이기 위해 광환경에 순화된 결과로 볼 수 있다.

광도변화에 따른 묘목들의 광합성 능력에 대한 변화는 무처리구와 30% 비음처리구에서 처리간 광합성 능력의 차이는 나타나지만 높은 광환경하에서도 광합성 능력이 완만하게 증가하는 경향을 보이고 있으나 상대적으로 낮은 광환경하에서 성장한 50% 처리구에서와 70% 처리구에서는 광 포화점 이후 높은 광도조건에서 더 이상의 광합성 능력의 증가를 보이지 않았다. 이러한 결과는 낮은 광환경하에 순화된 식물들이 수광량을 높이기 위해 잎 내 질소를 엽록소단백질에 투자하여 틸라코이드(thylakoid)내의 집광 반응에 치중함으로써 전자전달계 단백질

이나 CO₂ 고정의 촉매역할을 하는 효소인 루비스코(rubisco)에 대한 질소의 배분이 줄어들어 높은 광도 조건하에서도 광합성 능력의 한계를 나타내는 것으로 볼 수 있다(김과 이, 2001). 비음처리의 강도가 가장 높을 때(70% 비음처리구) 광조건을 높일 경우 엽육내 CO₂ 농도에 대한 값이 높아지고 수분이용효율이 낮아지는 결과도 낮은 광도조건하에 순화된 광합성 기구가 높은 광도조건하에서 효율적인 광합성을 하기위한 광화학계 단백질의 부족하여 나타나는 결과로 볼 수 있다.

광도조건에 따른 잎의 생장은 일반적으로 낮은 광도조건에서 성장한 잎이 넓은 면적을 가지는 반면 높은 광도조건에서 성장한 잎은 두꺼운 잎을 가진다(Salisbury and Ross, 1992). 이러한 잎의 형태적 특성 또한 수광율을 높이기 위한 잎 내 질소의 배분과 관련되어 나타나는 결과로 본 실험에서도 비음처리구의 잎이 무처리에 비해 잎의 길이와 면적에서 큰 값을 나타냈다. Marini와 Barden(1982)은 잎의 단위면적당 건중량은 투광율 및 광합성 기능과 관련이 커서 이 값이 클수록 광합성 능력이 증가한다고 하였는데 본 연구 결과에서도 가장 높은 광합성 능력을 나타낸 무처리에서 가장 높은 단위면적당 건중량을 값을 나타냈다.

이러한 광합성 특성 결과들을 종합하여 볼 때 조정수로서 먼나무 자원의 이용을 위한 건전한 유묘 생장을 위한 광환경 조건은 PPFD 1600~400 μmol m⁻² s⁻¹ 범위로 전광에 가까울수록 충실한 유묘 생산이 가능할 것으로 사료된다.

적요

4가지 다른 광도조건인 비음처리구에서 2년간 생육한 먼나무 묘목의 총 엽록소 함량은 비음처리 강도가 높아질수록 총 엽록소 함량도 큰 값을 나타냈다. 광합성 특성을 알아보기 위해 조사된 광합성 능력, 엽육내 CO₂ 농도, 수분이용효율 모두 무처리에서 가장 높은 광합성 효율을 나타냈으며 비음처리별 비교에서도 광도가 낮아질수록 낮은 광합성 효율을 나타냈다. 특히, 가장 낮은 광도조건인 70% 차광처리구는 높은 광도조건에서 가장 낮은 광합성 효율을 나타냈는데 이는 낮은 광도조건에 순화된 광합성 기구가 높은 광도 조건에 적응하지 못한 결과로 사료된다. 잎의

형태적 특성에서는 광도조건이 낮을수록 큰 엽면적을 나타냈으며 단위면적당 건중량은 무처리에서 가장 큰 값을 나타냈다.

인용문헌

- Amon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol-oxidase in *Betula vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
- Ashraf, M., M. Arfan, M. Shahbaz, M. Ahmad and A. Jamil. 2002. Gas exchange characteristics and water relations in some elite skra cultivates under water deficit. *Photosynthetica* 40(4): 615-620.
- Barnes, J. D., L. Balaguer, E. Manrique, S. Elvira and A. W. Davison. 1992. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophyll a and b in lichen and higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 32(2): 88-100.
- Boardman, N. K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Ann. Rev. Plant Physiology* 28: 355-377.
- Evans, J. R. 1994. Developmental constrains on photosynthesis: effects of light and nutrition, In : Baker N. R. ed. *Photosynthesis and the environment*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, pp. 281-304.
- Gibson, K. D., A. J. Fischer and T. C. Foin. 2001. Shading and the growth and photosynthetic responses of *Ammannia conninnea*. *Weed research* 41: 59-67.
- Gorski, T. 1975. Germination of seeds in the shadow of plants. *Physiology Plantum* 34: 342-346.
- Jo, M. H. 1989. Coloured woody plants of Korea. *Academybook* 152-300.
- Logan, B. A., B. Demming-Adams and W. W. Adams. 1998. Antioxidants and xanthophylls cycle-dependent energy dissipation in *Cucurbita pepo* L. and *Vinca major* L. upon a sudden increase in growth PPFD in the field. *J. of Experiment Botany* 49: 1881-1888.
- Makino, A., T. Sato, H. Nakano and T. Mae. 1997. Leaf photosynthesis, plant growth and nitrogen allocation in rice under different irradiances. *Planta* 203: 390-398.
- Marini, R. P. and J. A. Barden. 1982. Light penetration on overcast and clear days, and specific leaf weight in apple trees as affected by summer of dormant pruning. *J. of the American Society for Horticulture Science* 107: 39-43.
- Noguchi, K., K. Sonoike and I. Terashima. 1996. Acclimation of respiratory properties of leaves of *Spinacia oleracea* L., a sun species and of *Alocasia macrorrhiza* (L.) G. Don., a shade species, to changes in growth irradiance. *Plant Cell Physiology* 37: 377-384.
- Rosenqvist, E., G. Wingsle and E. Ögren. 1991. Photoinhibition of photosynthesis in intact willow leaves in response to moderate changes in light and temperature. *Physiologia Plantarum* 83: 390-396.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1992. *Plant physiology*, 4th ed. Wadsworth Publishing Company. Belmont. USA. pp. 257.
- 김판기, 이갑연, 허성두, 김선희, 이은주. 2003. 차광처리가 가시오갈피 광합성 활성에 미치는 영향. *한국생태학회지* 26(6): 321-326.
- 김판기, 이은주. 2001. 광합성의 생리생태(2)-환경변화에 대한 광합성의 적응반응. *한국농림기상학회지* 3(3): 171-176.
- 제선미, 손석규, 우수영, 변광옥, 김찬수. 2006. 다른 광도에서 생육한 죽절초의 광합성 기구, 엽록소 함량차이. *한국농림기상학회지* 8(2): 54-60.
- 손석규, 강병서, 김찬수, 이성기, 정영교, 강영제, 변광옥, 황석인, 정진현. 2006. 제주유망수종 신품종 육성. *국립산림과학원보고서*. pp. 117.

(접수일 2008. 5. 6 ; 수락일 2008. 7. 4)