광도 변화에 따른 5개 활엽수종의 엽록소 함량과 생장 특성

조민석¹ · 권기원^{1*} · 김길남¹ · 우수영²

¹충남대학교 산림자원학과, ²서울시립대학교 환경원예학과

(2008년 11월 25일 접수; 2008년 12월 26일 수정; 2008년 12월 30일 수락)

Chlorophyll Contents and Growth Performances of the Five Deciduous Hardwood Species Growing Under Different Shade Treatments

Min Seok Cho¹, Ki Won Kwon^{1*}, Gil Nam Kim¹ and Su Young Woo²

¹Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received November 25, 2008; Revised December 26, 2008; Accepted December 30, 2008)

ABSTRACT

We investigated chlorophyll contents and growth performances of five deciduous hardwood species growing in central temperate zone of Korean forest. *Cornus controversa*, *Fraxinus rhynchophylla*, *Betula schmidtii*, *Prunus levilleana*, and *Acer mono* seedlings were grown under four different light intensity regime (full sunlight, 65~72%, 29~40%, and, 7~12% of the full sunlight) for the experiment. The chlorophyll contents of all of the species were highest in 7~12% of the full sunlight, while lowest under the full sunlight. The relative growth rate of root collar diameter and height were decreased with increasing shading level except for *Acer mono* that showed the highest relative growth rate under 29~40% of the full sunlight. Total biomass and root volumes of the seedlings studied decreased as the light intensity decreased with different shade levels. For *Acer mono*, however, the biomass and root volumes were highest in 29~40% of the full sunlight. The relative growth rate of root comparing to shoot decreased as shading increased, and as a result, the ratio of aboveground to belowground biomass increased. As the shading level increased, specific leaf area (SLA), leaf area ratio (LAR), and leaf weight ratio (LWR) of most species increased.

Key words : *Cornus controversa*, *Fraxinus rhynchophylla*, *Betula schmidtii*, *Prunus levilleana*, *Acer mono*, shading, Chlorophyll contents, Biomass

I. 서 론

임분을 입체적으로 밀폐시켜 임지 생산성을 최대한 높이기 위한 복층림 조성을 위해서는 수종 고유의 내음성 구명과 그 내음성을 강화시키는 비배 및 육림기술의 개발하고 내음성에 따라 양수, 음수, 중용수로 분류되는 수목들을 적절히 혼효시켜 조화와 균형 및 안정을 이룬 산림생태계를 조성하여야 한다. 이 때문에 임지의 특성에 따른 수목과 무기환경과 관련

된 생리 생태학적 연구는 산림의 생산성을 향상시키기 위한 종합적인 정보 구축 및 기술 개발을 위해 필요하다.

광은 수목의 광합성 능력, 기공의 개폐도, 증산량, 세포조직의 특성 그리고 엽록소 함량 등에 영향을 미친다. 특히 광합성과 밀접한 관계를 지닌 엽록소 a, b의 함량 및 이들의 성분비는 광의 영향을 보여주는 지표로 활용되고 있다(Woo *et al.*, 1999). 광, 수분, 온도 등의 무기환경 스트레스뿐만 아니라 대기오염, 산

* Corresponding Author : Ki Won Kwon (kiwon@cnu.ac.kr)

성우, 오존, 병해충, 양료 등의 스트레스와 관련한 엽록소 함량 변화는 수목의 건전도를 평가하는 중요한 척도가 될 수 있다(Bracher and Murtha, 1993; Knudson *et al.*, 1977; Reich, 1983; Woo *et al.*, 2004).

수목의 성장 패턴은 유전적 소질과 생육환경에 따라서 서로 다른 모습을 보인다. 특히 광과 생장의 상호관계에 대한 연구는 각 수종의 내음성이나 광선요구도 등을 밝히기 위해 다양한 접근 방법으로 반복 실시되어오고 있다(Ashton and Berlyn, 1992; Lim *et al.*, 2006; Smith *et al.*, 1993).

본 연구에서는 서로 상이한 광도에서 자란 층층나무, 물푸레나무, 박달나무, 개벚나무 및 고로쇠나무를 대상으로 엽록소 함량의 변화와 성장 특성 등을 조사하여 광도와 관련된 생리학적 특성을 밝히고자 연구를 실시하였다. 본 연구 결과는 인공림 및 천연림의 갱신과 무육관리 등 조림기술 발전에 정보를 제공해줄 것으로 기대된다. 또한 수종별 적정 생육 광도를 밝힘으로써 임지뿐 아니라 도심에서의 숲 조성, 가로수 식재 등에 도시의 광 환경에 맞는 적정 수종의 개발 및 관리 정보를 제공하는 것이 또 다른 목적이다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상 수종

본 연구를 실시하기 위해 사용된 수종은 북부지방산림청 용문 양묘사업소와 동부지방산림청 연곡 양묘사업소에서 분양받은 층층나무(*Cornus controversa* Hemsl.) 1-0묘와 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* Hance), 개벚나무(*Prunus levilleana* Koehne), 고로쇠나무(*Acer mono* Maxim.) 1-1묘 및 박달나무(*Betula schmidtii* Regel) 1-1-1묘의 5수종이다.

2.2. 피음처리 방법

시험포지는 대전광역시에 위치한 충남대학교 농업생명과학대학 묘포장으로 2006년 4월에 피음처리를 위한 포장을 조성한 후, 0.15×0.15m 간격으로 수종별, 처리별로 각각 4개 소지역에 12~15주씩 총 48~60주의 묘목을 반복 식재하였다. 실험대상 수종을 6월 초까지 무 피음 하에서 정상적인 생리 상태를 회복할 때까지 활착시킨 후, 차광율이 서로 다른 검정색 차광막을 이용하여 피음 수준을 전광 처리구(상대 투광율;

Fig. 1. Diurnal changes of light intensity, air temperature(—), and relative humidity(---) following shading treatments in July (left; sunny days. right; cloudy days).

100%), 약피음 처리구(상대 투광율; 65~72%), 보통피음 처리구(상대 투광율; 29~40%), 강피음 처리구(상대 투광율; 7~12%)의 4단계로 하는 인위적인 피음 처리를 실시하였다. 2006년 처리 1년차의 모든 측정이 끝난 후 10월 초 차광막을 제거하였으며, 2007년 6월 초 다시 차광막을 이용해 피음 처리를 실시하였다.

시험지의 피음 처리에 따른 환경요인의 변화를 알아보기 위하여 휴대용 광량측정기(LI-250, LI-COR Inc., USA)와 온습도계(HM34C, Vaisala, Finland)를 이용하여 6월, 7월, 9월의 구름이 없는 맑은 날과 구름이 덮인 흐린 날에 피음광 하부의 환경조건을 2시간 간격으로 매회 40번 이상 반복 측정하였다(Fig. 1).

2.3. 엽록소 함량

실험 대상 수종에서 채취한 잎의 엽록소 추출은 Hiscox와 Israelstam(1978)의 방법에 따라 dimethylsulfoxide(DMSO)를 추출 용매로 이용하여 엽록소를 추출하였다. 추출액은 UV-Vis 분광광도계(Nicolet Evolution 100, Thermo Electron Co., USA)를 이용하여 663nm와 645nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 다음의 식으로 엽록소 a와 b의 함량을 구하였다(Arnon, 1949; Mackinney, 1941).

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fresh wt.)} &= (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645}) \\ \text{Chlorophyll b (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fresh wt.)} &= (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663}) \\ \text{Total Chlorophyll (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fresh wt.)} &= (8.02 \times A_{663} + 20.20 \times A_{645}) \end{aligned} \quad (1)$$

2.4. 생장 특성

수종별로 피음 처리 수준에 따른 생장을 조사하기 위하여 피음 처리 실시 전 2006년 6월 초, 실시 후 7월 말, 9월 초 및 2007년 6월 초, 7월 말, 9월 초의 6회에 걸쳐 각각 처리별수종별로 묘목을 각 10본씩 선정하여 묘고와 근원경을 측정하였다.

2007년 9월 중순 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 각각 구분하여 건조량을 측정하였다. 건조하기 전에 잎은 엽면적 측정기(LI-3100, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 측정하였으며, 뿌리 용적은 물을 이용하여 측정하여 mL를 cm³로 변환하여 분석하였다. 건조량 및 엽면적 측정 결과에 의해 묘목 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R율(지상부/지하

부), 엽면적비(SLA; specific leaf area=leaf area/leaf dry weight), 엽면적율(LAR; leaf area ratio=leaf area/total dry weight), 엽건중비(LWR; leaf weight ratio=leaf dry weight/total dry weight)를 계산하였다(Šestak *et al.*, 1971).

피음 처리 수준에 따른 측정결과를 분석하기 위해서 Duncan의 다중 검정법으로 피음 처리간의 유의성 분석을 실시하였다. 모든 통계분석은 PC SAS Program Version 8.2(SAS, 2000)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 엽록소 함량 변화 분석

조사 대상 수종 대부분의 총 엽록소 함량은 6월 < 9월 < 7월 순으로 증가되었다. 이는 총 엽록소 함량이 계절별로 봄 < 가을 < 여름 순으로 변화한다는 연구 보고(Demarez *et al.*, 1999; Choi *et al.*, 2006)와 같은 경향을 나타낸 것이다. 그러나 박달나무와 개벚나무 2년 차 총 엽록소 함량은 6월 < 7월 < 9월 순으로 계절이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한 엽록소 a/b율은 계절이 지남에 따라 각 피음 처리 수준별로 엽록소 b의 함량이 a의 함량보다 상대적으로 크게 증가하는 현상을 보여 전체적으로 엽록소 a/b율의 값은 6월보다 7월, 9월에 낮은 값을 보였다(Choi and Lee, 1995). 낮은 광도 조건에서는 내음성을 가지고 있는 음수성 식물이 양수성 식물보다 총 엽록소 함량이 많지만, 본 실험 대상 수종들은 내음성 수준과는 상관없이 총 엽록소 함량이 전광 처리구를 제외한 피음 처리구들에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

피음 처리에 따른 대부분의 조사 대상 수종에서 강 피음 처리구가 가장 많은 총 엽록소 함량을, 전광 처리구가 가장 적은 총 엽록소 함량을 나타냈으며, 피음 수준이 강해질수록 유의적 차이를 보이면서 총 엽록소 함량이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 이는 일반적으로 피음 처리 수준이 높아질수록 총 엽록소 함량이 높아진다는 연구보고(Kim and Lee, 2001; Jeong and Kim, 1999)와 같은 경향을 나타낸 것이다. 그러나 물푸레나무는 2006년 7월 보통피음 처리구에서, 박달나무는 2007년 9월 약피음 처리구에서, 개벚나무는 2006년 9월 보통피음 처리구에서 가장 많은 총 엽록소 함량을 보였으며, 고로쇠나무는 2007년 7월 보통피음 처리구에서 가장 낮은 총 엽록소 함량을 나

Fig. 2. Changes of chlorophyll contents in the seedlings of five deciduous hardwood species under different shading treatment. 1. Relative light intensity; A: full sun light, B: 65~72% of the full sun light, C: 29~40% of the full sun light, D: 7~12% of the full sun light, 2. Different superscript letters of a, b, and c within a column indicate statistical differences at the 5% level by Duncan's multiple range test.

타냈다. 피음 처리 수준에 따른 엽록소 a와 b 각각의 함량 변화는 총 엽록소 함량의 변화와 같은 경향이였다. 그러나 피음 수준이 높아지면서 엽록소 b의 함량 증가가 엽록소 a의 함량에 비해 상대적으로 더 크게 증가했다. 이 때문에 피음 강도가 강해지면서 엽록소 a/b율이 감소하는 경향을 나타냈다(Devlin, 1975). 위의 결과를 종합해 볼 때 광도 변화에 따라 총 엽록소 함량이나 엽록소 a와 b의 함량 및 비율이 달라진다는 것을 알 수 있으며(Woo *et al.*, 1999), 본 실험에서도 피음 처리 수준이 높아질수록 엽록소 함량이 증가되며, 특히 엽록소 b의 함량이 더 높아진 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상이 일어나는 이유는 광량이 부족한 광 환경에서 수목이 적응하면서 정상적으로 광합성을 지속하기 위해 광 에너지를 가능한 많이 확보하는 방법으로 엽록소 함량을 높게 유지할 필요가 있기 때문이다(Ashton and Berlyn, 1992).

3.2. 생장 특성 분석

3.2.1. 근원경과 묘고 생장

수종별 피음 처리에 따른 묘목의 묘고 생장과 근원

경 생장에 대한 결과는 Fig. 3과 같다. 묘목의 근원경 및 묘고에 대한 피음 수준별 1년, 2년 차 상대생장률은 식재시의 묘고 및 근원경 대비 생장률로 환산하여 분석하였다.

조사 대상 수종 대부분의 근원경 상대생장률은 1년, 2년 차 모두 피음 수준이 높아질수록 상대생장률이 유의적 차이를 보이면서 낮아지는 경향을 나타냈다. 그러나 고로쇠나무의 근원경 1년 차는 약피음 처리구에서, 2년 차는 보통피음 처리구에서 가장 높은 상대생장률을 보였다. 묘고의 상대생장률은 1년 차는 수종에 따라 불규칙한 경향을 보였으며, 2년 차에는 고로쇠나무를 제외한 수종은 피음 수준이 높아질수록 상대생장률이 낮아지면서 근원경 생장과 같은 경향을 보였다. 이는 수종에 따라 생장패턴이 고정생장 또는 자유생장 등 각기 다른 생장 특성을 보이기 때문으로(Kramer and Kozlowski, 1979) 피음 처리 초기 보다는 피음 처리 기간이 길어질수록 광 환경에 따른 영향이 점점 더 크게 나타나는 것으로 생각된다.

실험 2년 차인 2007년 가을에 조사 된 근원경과 묘고의 총 상대생장률에서 층층나무, 물푸레나무, 박달

Fig. 3. The growth performances of seedling root collar diameter and height of five deciduous hardwood species under different shading treatment. 1. Relative light intensity; A: full sun light, B: 65~72% of the full sun light, C: 29~40% of the full sun light, D: 7~12% of the full sun light, 2. Different superscript letters of a, b, and c within a column indicate statistical differences at the 5% level by Duncan's multiple range test.

나무는 전광 처리구에서 가장 우수한 생장을 나타냈다. 그러나 개벚나무의 근원경 상대생장률은 전광 처리구에서, 묘고 상대생장률은 약피음 처리구에서 가장 높은 생장률을 나타냈다. 고로쇠나무의 근원경과 묘고의 상대생장률은 보통피음 처리구에서 가장 높은 생장률을 보였으며, 전광 처리구에서 가장 낮은 상대생장률을 보였다. 이는 내음성이 강한 음수성 식물일수록 강한 광도에서 광 스트레스에 의해 낮은 생장을 나타낸다는 기존의 연구결과와 일치하는 것이다(Kobe *et al.*, 1995). 본 실험결과를 기준으로 판단하면 전광대비 약 30% 수준의 피음 처리가 고로쇠나무에는 알맞은 생육환경이라 생각된다.

위 결과에서 피음 처리구에서 층층나무, 물푸레나무, 박달나무, 및 개벚나무는 묘고의 상대생장률이 근원경의 상대생장률 보다 높은 값을 보였다. 이는 부족한 광 환경 하에서 수광경쟁에서 유리한 위치를 차지하기 위해 일부 수목의 광합성 산물은 직경 생장보다는 수고 생장에 많이 배분되어 묘고 생장량에 미치는 영향이 근원경 생장량에 비해 상대적으로 크기 때문이다(Kozłowski *et al.*, 1991). 그러나 위의 네 수종과는 달리 내음성이 강한 고로쇠나무는 근원경 상대생장률이 높은 상반되는 결과를 나타냈다. 이상과 같이 묘고 또는 근원경 생장에 미치는 피음 처리의 영향이 수종별로 상이한 것을 알 수 있으며, 이는 내음성 수준에 따른 수종별 적정 광도 조건에서 가장 활발한 광합성 활동을 함으로써 가장 좋은 묘고와 근원경 생장을 보이는 것으로, 내음성과 밀접한 관련이 있는 것으로 판

단된다(Kim, 2000; Cho *et al.*, 2007).

3.2.2. 물질생산량 및 T/R율의 변화

층층나무와 물푸레나무의 총 물질생산량은 전광 처리구에서 가장 높은 물질생산량을 나타냈다. 또한 처리 간의 차이가 명확히 나타나면서 피음 처리 수준이 높아질수록 유의적 차이를 보이면서 물질생산량이 낮아지는 경향을 보였다. 잎, 가지, 뿌리 각각의 물질생산량도 유의적 차이를 보이면서 총 물질생산량과 같은 결과를 보였다. 박달나무와 개벚나무 또한 앞의 두 수종과 같은 경향이 나타났지만 박달나무는 전광 처리구와 약피음 처리구에서, 개벚나무는 약피음 처리구와 보통피음 처리구에서 총 물질생산량 및 각 부위별 물질생산량이 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 고로쇠나무는 보통피음 처리구에서 총 물질생산량이 109.87g으로 통계적으로 유의적 차이를 보이면서 가장 높게 나타났으며, 약피음 처리구, 전광 처리구, 강피음 처리구 순으로 감소하였다(Fig. 4). 이는 내음성 수준으로 알려진 황칠나무(Kim and Kim, 1997)와 눈썹백나무(Hong *et al.*, 2000)의 총 물질생산량이 상대광도 50~55%에서 가장 높았다는 결과와 유사한 경향을 나타낸 것이다. 잎, 가지, 뿌리의 물질생산량도 강피음 처리구를 제외한 나머지 처리구에서 유의적 차이는 보이지 않지만 총 물질생산량과 같은 경향을 나타냈다. 대부분의 수종에서 피음 처리 수준에 따른 광량 감소와 함께 총 물질생산량이 감소하였으며, 강피음 처리구에서 생육한 모든 실험 대상 수종은 나머지 세 처

Fig. 4. Effect of light intensity on the biomass production and biomass distribution of five deciduous hardwood species under different shading treatment. 1. Different letters of a, b, and c on the a columns indicate statistical differences at the 5% level by Duncan's multiple range test.

리구와 큰 차이를 보이면서 가장 낮은 생산량을 나타냈다. 이는 수종별 내음성 수준에 상관없이 지나치게 낮은 광도 하에서는 생육활동이 저해될 수밖에 없다는 것을 보여주고 있는 것이다(Hiroki and Ichino, 1998; Renuka *et al.*, 2007). 또한 광량의 감소로 각 부위별 물질생산량은 감소하지만 묘목에서 잎과 가지의 비율은 증가하는 반면, 뿌리의 비율은 감소하는 결과를 보여 피음 처리의 영향이 묘목의 부위별로 다르게 작용한다는 것을 보여주고 있다(Kim *et al.*, 2003).

피음 처리에 따른 뿌리의 용적은 층층나무, 물푸레나무, 박달나무 및 개벚나무는 전광 처리구에서 가장

높게 나타났으며, 반면 고로쇠나무는 보통피음 처리구에서 가장 높은 뿌리 용적량을 보였다(Fig. 5). 피음 처리에 따른 뿌리의 용적은 본 실험에서도 실험 대상 수종별로 차이를 나타냈으며, 생장이 가장 우수한 처리구에서 가장 높은 뿌리 용적량을 보였다.

피음 처리에 따른 T/R율은 대부분의 전광 처리구에서 최소치를 나타냈으며, 피음 수준이 높아질수록 점차 증가하였다. 이는 피음 처리에 따른 잣나무의 T/R율 변화(Kim, 1987)와 같은 경향을 나타낸 것이다. 그러나 고로쇠나무의 경우 보통피음 처리구에서 T/R율이 가장 낮았으며, 약피음 처리구, 전광 처리구, 강피

Fig. 5. Effect of light intensity on the root volume of five deciduous hardwood species under different shading treatment.

Fig. 6. Effect of light intensity on the T/R ratio of five deciduous hardwood species under different shading treatment.

Table 1. Effect of shading treatment on the leaf area, specific leaf area (SLA), leaf area ratio (LAR) and leaf weight ratio (LWR) of five deciduous hardwood species under different shading treatment

Species	Relative light intensity (%) ¹	Leaf area (cm ²)	SLA(cm ² ·g ⁻¹)	LAR (cm ² ·g ⁻¹)	LWR (g·g ⁻¹)
<i>Cornus controversa</i>	A	7758.91 ± 611.0 ^{a2}	148.76 ± 6.2 ^d	27.95 ± 3.4 ^c	0.19 ± 0.02 ^b
	B	6645.71 ± 1750.3 ^a	240.41 ± 14.5 ^b	62.44 ± 16.1 ^b	0.26 ± 0.05 ^a
	C	2699.96 ± 925.6 ^b	203.42 ± 38.1 ^c	38.91 ± 10.3 ^c	0.19 ± 0.03 ^b
	D	3835.71 ± 1597.0 ^b	296.52 ± 12.9 ^a	81.37 ± 12.9 ^a	0.27 ± 0.04 ^a
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	A	2938.66 ± 720.9 ^a	106.92 ± 12.4 ^b	16.26 ± 2.6 ^b	0.15 ± 0.03 ^b
	B	3105.18 ± 859.6 ^a	116.57 ± 12.2 ^b	21.27 ± 2.7 ^b	0.18 ± 0.02 ^b
	C	2356.78 ± 1043.9 ^a	127.61 ± 15.5 ^b	21.66 ± 4.9 ^b	0.17 ± 0.02 ^b
	D	2101.54 ± 934.8 ^a	169.22 ± 25.5 ^a	36.70 ± 9.5 ^a	0.21 ± 0.03 ^a
<i>Betula schmidtii</i>	A	7528.93 ± 2110.4 ^a	201.63 ± 17.8 ^c	48.38 ± 4.4 ^a	0.24 ± 0.00 ^a
	B	4678.08 ± 1847.5 ^{ab}	188.71 ± 9.7 ^c	32.07 ± 9.7 ^a	0.17 ± 0.04 ^a
	C	4847.15 ± 1606.9 ^{ab}	287.83 ± 34.4 ^b	51.79 ± 13.2 ^a	0.18 ± 0.04 ^a
	D	1958.66 ± 978.1 ^b	368.86 ± 50.7 ^a	44.26 ± 10.9 ^a	0.12 ± 0.03 ^b
<i>Prunus leveilleana</i>	A	4089.39 ± 887.9 ^a	179.60 ± 19.6 ^a	21.55 ± 3.5 ^b	0.12 ± 0.03 ^b
	B	2072.25 ± 628.0 ^b	134.47 ± 10.8 ^b	17.49 ± 3.2 ^b	0.13 ± 0.03 ^b
	C	2120.13 ± 944.5 ^b	136.96 ± 28.8 ^b	21.50 ± 8.7 ^b	0.16 ± 0.04 ^{ab}
	D	1460.38 ± 449.2 ^b	169.81 ± 20.5 ^{ab}	30.92 ± 6.1 ^a	0.18 ± 0.02 ^a
<i>Acer mono</i>	A	2132.03 ± 296.6 ^a	161.47 ± 7.0 ^{ab}	23.92 ± 4.6 ^{ab}	0.15 ± 0.02 ^{ab}
	B	2077.22 ± 247.6 ^a	152.55 ± 6.9 ^b	21.10 ± 2.5 ^b	0.14 ± 0.01 ^{ab}
	C	2333.79 ± 211.9 ^a	172.01 ± 11.2 ^{ab}	21.31 ± 2.23 ^b	0.12 ± 0.02 ^b
	D	1389.30 ± 289.0 ^b	179.48 ± 17.8 ^a	28.72 ± 4.7 ^a	0.16 ± 0.01 ^a

The values represent the averages ± SD of 10 independent measurements.

¹Relative light intensity; A: full sun light, B: 65~72% of the full sun light, C: 29~40% of the full sun light, D: 7~12% of the full sun light

²Different superscript letters of a, b, and c within a column indicate statistical differences at the 5% level by Duncan's multiple range test.

을 처리구 순으로 낮은 T/R율을 보였다(Fig. 6). 위의 결과에서 전체적으로 피음 처리 수준이 높아질수록 뿌리의 상대적인 생장비율이 감소하면서 전광 처리구에 비해 피음 처리구에서 높은 T/R율을 보였는데, 이는 낮은 광도에서 생장한 묘목에서는 부족한 광도를 극복하기 위해 뿌리로 분배되는 광합성 산물의 비율이 상대적으로 낮기 때문이라고 알려져 있다(Kim, 2000; Loach, 1970). 또한 광도가 감소된 조건에서는 지상부의 수광경쟁이 강화되면서 순물질생산량의 대부분을 줄기의 묘고 생장에 이용하게 되므로 T/R율은 증가하게 되는 것이다.

3.2.3. 엽면적비(SLA), 엽면적율(LAR), 엽건중비(LWR)의 변화

일반적으로 피음 처리에 의해 광량이 감소할수록 SLA는 증가한다(Klinka *et al.*, 1992; Poorter,

1999; Reich *et al.*, 1998). 본 연구에서도 실험 대상 대부분의 수종이 피음 처리에 따른 엽면적비인 SLA는 강피음 처리구가 유의적 차이를 보이면서 전광 처리구 보다 약 50~150cm²·g⁻¹의 높은 값을 보였다. 그러나 개벚나무는 전광 처리구에서, 고로쇠나무는 강피음 처리구에서 가장 높은 SLA 값을 보여 피음에 따른 영향이 수종간 차이를 나타내고 있었다.

LAR과 LWR은 대부분의 조사 대상 수종에서 광환경의 변화에 따른 피음 수준이 높아질수록 증가하는 경향을 보였다. 그러나 박달나무의 경우에 LAR이 보통피음 처리구에서 가장 높았으며, LWR은 피음 수준이 높아질수록 낮아지는 다른 수종과 반대의 경향을 보였다. 고로쇠나무의 LWR은 강피음 처리구에서 가장 높은 값을 나타냈지만, 강피음 처리구를 제외한 나머지 처리구에서는 피음 수준이 높아질수록 낮아지는 반대의 경향을 보였다(Table 1).

적 요

본 연구에서는 층층나무, 물푸레나무, 박달나무, 개벚나무, 고로쇠나무 5개 활엽수종을 대상으로 피음 처리를 통해 4가지 수준으로 광도 조건을 달리하여 이들의 내음성 및 광 요구도에 관련된 엽록소 함량 및 생장 특성으로 구분 조사하여 광도의 영향을 분석하였다.

총 엽록소 함량의 계절적 변화는 전광 처리구에서 계절별로 6월 < 9월 < 7월 순으로 증가되어 총 엽록소 함량 차이를 보였다. 엽록소 a/b율은 계절이 지남에 따라 각 피음 처리 수준별로 엽록소 b의 함량이 a의 함량보다 상대적으로 크게 증가하는 현상을 보여 전체적으로 엽록소 a/b율의 값은 6월보다 7월, 9월에 낮은 값을 보였다. 피음 처리에 따른 총 엽록소 함량은 강피음 처리구에서 가장 많았으며, 피음 수준이 높아질수록 유의적 차이를 보이면서 증가하는 경향을 보였다. 조사 대상 수종의 엽록소 a와 b의 함량은 피음 처리 수준이 높아질수록 각각 증가하였다. 그러나 피음 수준이 높아지면서 엽록소 b의 함량 증가가 엽록소 a의 함량에 비해 상대적으로 더 컸다. 이 때문에 피음 강도가 강해지면서 엽록소 a/b율이 감소하는 경향이 나타났다.

층층나무, 물푸레나무, 박달나무 및 개벚나무 근원경과 묘고의 상대생장률은 피음 수준이 높아질수록 상대생장률이 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 고로쇠나무는 보통피음 처리구에서 가장 높은 상대생장률을 나타냈다. 고로쇠나무를 제외한 모든 실험대상 수종은 피음 처리 수준에 따른 광량 감소와 함께 총 물질생산량이 감소하였다. 그러나 고로쇠나무는 보통피음 처리구에서 가장 높은 물질생산량을 나타냈다. 광량의 감소로 잎과 가지의 비율이 뿌리에 비해 증가하는 경향을 보였으며, 피음 처리의 영향이 묘목 부위별로 다르게 작용함을 보였다. 피음 처리에 따른 뿌리의 용적은 물질생산량과 같은 경향을 나타냈다. 피음 처리에 따른 대부분의 조사 대상 수종에서 피음 수준이 높아질수록 뿌리의 상대적인 생장비율이 감소하면서 T/R율이 증가하는 경향을 보였다. 피음 수준이 높아질수록 엽면적비(SLA), 엽면적율(LAR) 및 엽건중비(LWR)가 증가하는 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 산림청 산림과학기술개발사업

(S10107L0201004)의 지원으로 수행된 연구결과와 일부임을 밝힙니다.

REFERENCES

- Amon, D. I., 1949: Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiology* **24**(1), 1-15.
- Ashton, P. M. S., and G. P. Berlyn, 1992: Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. *New Phytologist* **121**(4), 587-596.
- Bracher, G. A., and P. A. Murtha, 1993: Relationship of the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b and Douglas-fir seedling nutrient status. *Canadian Journal of Forest Research* **23**, 1655-1662.
- Cho, M. S., K. W. Kwon, and J. H. Choi, 2007: Photosynthetic responses and growth performances in the three deciduous hardwood species under different shade treatments. *Journal of Korean Forest Society* **96**(4), 462-468.
- Choi, H. S., and H. J. Lee, 1995: Seasonal changes of chlorophyll contents and photosynthetic rates in four species of maple trees in Korea. *Korean Journal of Ecology* **18**(1), 137-146.
- Choi, J. H., K. W. Kwon, and J. C. Chung, 2006: Changes in chlorophyll contents and photosynthetic characteristics of hardwood species according to artificial shade treatment. *Journal of Korean Forest Society* **95**(5), 614-620.
- Demarez, V., J. P. Gastellu-etchegorry, E. Mougin, G. Marty, and C. Proisy, 1999: Seasonal variation of leaf chlorophyll content of a temperate forest. Inversion of the PROSPECT model. *International Journal of Remote Sensing* **20**(5), 879-894.
- Devlin, R., 1975: *Plant Physiology*(3rd Ed.). D. Van Nostrand, 600pp.
- Hiscox, J. D., and G. F. Israelstam, 1978: A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* **57**(12), 1332-1334.
- Hiroki, S., and K. Ichino, 1998: Comparison of growth habits under various light conditions between two climax species, *Castanopsis sieboldii* and *Castanopsis cuspidata*, with special reference to their shade tolerance. *Ecological Research* **13**(1), 65-72.
- Hong, S. G., J. J. Kim, and H. T. Im, 2000: Studies on the shade tolerance of the woody and herbaceous plants for urban forest aromatic bath. *Journal of Korean Forest Society* **89**(5), 585-590.
- Jeong, H. H., and K. S. Kim, 1999: Effects of shading on the growth of *Hedera rhombea* Bean and *Pachysandra terminalis* Sieb. et Zucc. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **17**(1), 29-32.
- Kim, J. J., 2000: Studies on optimum shading for seedling cultivation of *Cornus controversa* and *C. walteri*.

- Journal of Korean Forest Society* **89**(5), 591-597.
- Kim, P. G., and E. J. Lee, 2001: Ecophysiology of photosynthesis 2; Adaptation of the photosynthetic apparatus to changing environment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**(3), 171-176.
- Kim, P. G., K. Y. Lee, S. D. Hur, S. H. Kim, and E. J. Lee, 2003: Effects of shading treatment on photosynthetic activity of *Acanthopanax senticosus*. *Korean Journal of Ecology* **26**(6), 321-326.
- Kim, S. H., and Y. J. Kim, 1997: Influence of mulching and shading on the growth of *Dendropanax morbifera* Lev. seedlings. *Research Report of the Forest Genetic Research Institute* **33**, 112-118.
- Kim, Y. C., 1987: Effect of inorganic environmental factors on the growth of *Pinus koraiensis* seedlings III The influence of shading pretreatment and root cutting on the weight growth and T/R Ratio, *Journal of Korean Forest Society* **76**(3), 218-229.
- Klinka, K., Q. Wang, G. J. Kayahara, R. E. Carter, and B. A. Blackwall, 1992: Light-growth response relationships in Pacific silver fir (*Abies amabilis*) and subalpine fir (*Abies lasiocarpa*). *Canadian Journal of Botany* **70**(10), 1919-1930.
- Knudson, L. L., T. W. Tibbitts, and G. E. Edwards, 1977: Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. *Plant Physiology* **60**(4), 606-608.
- Kobe, R. K., S. W. Pacala, J. A. Silander(Jr.), and C. D. Canham, 1995: Juvenile tree survivorship as a component of shade tolerance. *Ecological Applications* **5**(2), 517-532.
- Kozlowski, T. T., P. J. Kramer, and S. G. Pallardy, 1991: *The Physiology of Woody Plants*. A.P., 811pp.
- Kramer, P. J., and T. T. Kozlowski, 1979: *Physiology of Woody Plants*. A.P., 811pp.
- 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. *Journal of Korean Forest Society* **95**(6), 705-710.
- Loach, K., 1970: Shade tolerance in tree seedlings II. Growth analysis of plants raised under artificial shade. *New Phytologist* **69**(2), 273-286.
- Mackinnay, G., 1941: Absorption of light by chlorophyll solution. *Journal of Biological Chemistry* **140**(2), 315-322.
- Poorter, L., 1999: Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. *Functional Ecology* **13**(3), 396-410.
- Reich, P. B., 1983: Effects of low concentrations of O₃ on net photosynthesis, dark respiration and chlorophyll contents on aging hybrid poplar leaves. *Plant Physiology* **73**(2), 291-296.
- Reich, P. B., M. G. Tjoelker, M. B. Walters, D. W. Vanderklein, and C. Buschena, 1998: Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low light. *Functional Ecology* **12**(3), 327-338.
- Renuka, C., J. P. Thomas, and P. Rugmini, 2007: Effects of light on the growth and production of edible shoots of rattan. *Journal of Tropical Forest Science* **19**(3), 164-167.
- SAS institute Inc, 2000: *SAS/STAT TM Guide for Personal Computer*. Version 8 Edition. SAS Institute Inc., 1026pp.
- Šestak, Z., J. Ěatský, and P. G. Jarvis, 1971: *Plant Photosynthetic Production Manual of Methods*. The Hague, 818pp.
- Smith, M., Y. Wu, and O. Green, 1993: Effect of light and water-stress on photosynthesis and biomass production in *Boltonia decurrens*(Asteraceae), a threatened species. *American Journal of Botany* **80**(8), 859-864.
- Woo, S. Y., D. S. Lee, and O. K. Kwon, 1999: Shading effects on growth and chlorophyll contents of *Abies holophylla*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **1**(2), 97-102.
- Woo, S. Y., S. H. Lee, K. W. Kwon, and J. C. Lee, 2004: Chlorophyll contents and *Glutathione Reductase* activity of *Ailanthus altissima*, *Liriodendron tulipifera* and *Platanus occidentalis* seedlings to the ozone exposure. *Journal of Korean Forest Society* **93**(7), 423-427.