

## 피음처리에 따른 가시나무 1년생 용기묘의 성장과 생리적 반응

송기선<sup>1</sup> · 성환인<sup>1</sup> · 차영근<sup>1</sup> · 김종진<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 대학원 환경과학과, <sup>2</sup>건국대학교 환경과학과

### Growth and Physiological Responses of 1-Year-Old Containerized Seedlings of *Quercus myrsinaefolia* by Shading Treatment

Ki Sun Song<sup>1</sup>, Hwan In Sung<sup>1</sup>, Young Geun Cha<sup>1</sup>, and Jong Jin Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Science, Graduate School of Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

**Abstract.** This study was carried out to investigate the growth and physiological responses to shading treatment of 1-year-old containerized seedling of *Quercus myrsinaefolia*. Experimental process was conducted in a facility that consisted of compartments under the lighting control with full sunlight and shading (35%, 55% and 75% of full sunlight). Height and root collar diameter growth were high in the seedlings under both 35% and 55% shading. Regardless of shading level, root collar diameter growth lasted for more than 4 weeks compared to height growth. Highest H/D ratio was observed in the seedlings under 35% shading as 4.31, and the lowest ratio was 3.63 under 75% shading. It was found that seedlings under 55% shading showed highest dry mass production, which was followed in seedlings under 35% shading. In case of leaf dry weight ratio (LWR) after shading treatment, the highest value was 0.53 under 55% shading, and followed in seedlings under 35% shading as 0.52. But root dry weight ratio (RWR) was highest as 0.36 under 75% shading (highest level of shading). In terms of shading treatment, it was found that the higher level of shading had a tendency toward the higher content of chlorophyll *a* and the higher total chlorophyll content in the leaves of *Quercus myrsinaefolia*, but there was no significant difference in the content of chlorophyll *b* depending on the level of shading. It was found that high photosynthesis and transpiration rate were more correlated with high level of shading than full sunlight, but the rates of seedlings had a tendency to be higher under 35% and 55% shading than under 75% shading. The results on growth and physiological responses to different shading levels of 1-year-old containerized seedlings of *Quercus myrsinaefolia* could be useful in setting up the optimum light intensity for growth, and in estimating the shade tolerance of the species.

**Key words :** chlorophyll content, dry mass production, H/D ratio, photosynthetic rate

## 서 론

상록성 참나무속 수목인 가시나무는 종가시나무와 함께 현재 우리나라 난대 상록활엽수종의 대표적인 조림수종으로 난대지역 복원 및 인공조림을 위하여 지속적으로 식재되고 있는 수종이다. 현재는 주로 노지묘 형태로 식재되고 있으나 낮은 활착률 등으로 인하여 용기묘로의 조림으로 전환되고 있는 시점이다(Kim 등, 2006; Kim, 2010). Kim(2010)은 난대림 복원과 인공

조림에 사용된 동일 규격의 노지묘라 하더라도 식재 후 개체간의 성장차가 대단히 큰 것으로 보고했으며, 이는 우리나라 상록활엽수림의 유전자 공급원이 빈약한 까닭으로 수형목 선발에 의한 난대수종 전용의 채종원의 설치가 필요한 것으로 제안하였다. 하지만 채종원 완성에 이르기까지 긴 시간이 소요되므로 실현 가능한 대안으로 시설양묘를 통한 충실한 용기묘 대량생산의 필요성을 제시하였다. 이처럼 현재 난대 상록활엽수 조림현장에서 용기묘에 대한 수요가 증대하고 있음에도 불구하고 가시나무를 비롯한 이들 수종의 용기묘 생산에 관한 연구는 미미한 실정이다.

한편 가시나무류를 비롯한 우리나라 난대 상록활엽

\*Corresponding author: jkimm@konkuk.ac.kr  
Received September 4, 2011; Revised November 10, 2011;  
Accepted November 16, 2011

수종은 대부분 천이의 후기 단계 또는 극상 수종에 해당되기 때문에 비교적 내음성이 큰 것으로 알려져 있으나(Shin 등, 2006; Yeo, 2005), 이에 대한 연구 자료는 많지 않은 실정이다. 이 내음성은 유묘단계에서 주변의 타 수종과의 경쟁관계에서 살아남을 수 있게 하기 때문에 수목 성장 측면에서 중요한 의미를 가지고 있다(Choi 등, 1998; Gottschalk, 1994; Jones와 McLeod, 1990; Kim 등, 2008). 이에 따라 내음성이 있는 수종들의 묘목생산과정에서는 어린 유묘단계에서 적절한 피음처리를 통하여 건강한 생육을 추구하고 있다(Choi 등, 2000; Kim 등, 2000).

따라서 본 연구는 이러한 피음처리가 가시나무 용기묘의 성장과 생리적 반응에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였으며, 또한 앞으로 가시나무의 용기묘 생산과정에 적용시켜야 할 기술 구축의 일환으로 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료와 시설

본 실험에 사용된 가시나무(*Quercus myrsinaefolia* Bl.)의 종자는 2009년 10월에 국립산림과학원 남부산림연구소에서 채집·관리된 종자를 사용하였으며, 실험진행은 경남 함안군 여항면 소재 건국대학교 난대시설양묘연구동 피음시설에서 이루어졌다. 이 시설은 상부가 개방되어 신선한 공기와 전광(full sunlight)을 직접 받을 수 있도록 되어 있으며, 피음처리는 4수준으로 실시하였는데 대조구인 전광을 비롯하여 차광망을 이용하여 각각 전광의 35%, 55%, 75%로 구축하였다. 각 피음처리구의 광 수준은 spectroradiometer(LI-1800, LI-COR, USA)로 측정하였는데, 2010년 4월 11일 오전 10시 평균  $1540\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광수준을 기준으로, 35% 피음처리구는  $924\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 55% 피음처리구는  $615\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 75% 피음처리구는  $370\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 평균 광도를 나타내었다. 이 피음시설 바닥은 투수성 부직포를 깔았으며, 그 위에 W120×D100×H18 크기의 플라스틱 용기받침대(모델 KCNR-SI-CB1200, 신일사이언스, 한국)를 배치하였다.

본 실험에 사용된 용기는 구(cavity) 용적이 350mL 인 플라스틱 트레이 용기(모델 KK-SI 350, 신일사이언스, 한국)로서 각 용기당 24개의 구를 가지고 있다.

현재 이 용기는 낙엽성 참나무속 조림수종인 상수리나무 용기묘 생산용으로 개발되어 2002년도부터 참나무류 용기묘를 생산하고 있는 용기이며(Kim 등, 2006), 또한 가시나무류 용기묘 생산현장에서도 가장 많이 사용되고 있는 용기이다(Choo, 2009). 공시 생육상토는 시중에서 주문생산(토비테크, 한국)하여 사용하였으며, 생육상토의 조성은 코코피트, 펄라이트, 질석 및 체율라이트이며 그 혼합비는 70 : 15 : 10 : 5(v/v)이다.

### 2. 파종·시비·관수

파종은 2010년 4월 20일 실시되었는데 공시 용기의 구(cavity)당 1립씩 파종하여 각 피음수준별 시설 속의 용기받침대 위에 두었으며, 처리 용기 수는 각 피음수준별로 6개이었다. 시비처리는 발아 후의 각 유묘에서 본잎이 2~3개씩 발생한 6월 3일부터 9월 14일까지 약 14주 동안 수용성 비료인 Multifeed 19(N:P:K, 19:19:19, Haifa Chemical Co., Israel)를 1000ppm으로 조절하여 주 1회 처리하였다. 시비처리 한 날에는 관수를 하지 않았다. 생육기간동안 관수는 Dan 소형 스프링클러(Naan-Dan Co, Israel)를 설치하여 하향 회전살수( $105\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 방식으로 실시하였는데, 파종 후에는 파종상토가 마르지 않을 정도로 관수하였으며 본잎이 나오고 난 뒤부터는 매일 오전 10시에 20분간 실시하였다. 그 후 9월 중순부터 10월 중순 사이에는 2~3일에 한번 관수를 실시하였다.

### 3. 실험결과 조사 및 분석

각 피음수준에서 생육한 묘목의 간장과 근원경생장은 파종 8주 후부터 4주 간격으로 측정하였으며, 건물생산량 측정은 2010년 10월 14일에 실시하였는데 각 피음처리별로 6본을 채집하여 65°C에서 72시간 건조시킨 후 잎, 줄기 및 뿌리를 구분하여 측정하였다. 또한 피음처리 후 측정된 간장, 근원경, 건물생산량 등의 값을 활용하여 H/D율, T/R율, 엽건중비(LWR, Leaf dry weight ratio), 줄기건중비(SWR, Shoot dry weight ratio), 뿌리건중비(RWR, Root dry weight ratio)를 아래 식을 이용하여 산정하였으며, 그리고 묘목품질지수(Quality index, Dickson 등, 1960)를 산출하였다.

$$\circ \text{H/D ratio} = \text{Height(cm)}/\text{Root collar diameter(mm)}$$

$$\circ \text{T/R ratio} = \text{Top(leaf + shoot, g) dry weight}/\text{Root dry weight(g)}$$

$$\circ \text{LWR}(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) = \text{Leaf dry weight}/\text{Total dry weight}$$

◦ SWR( $g \cdot g^{-1}$ ) = Shoot dry weight/Total dry weight

◦ RWR( $g \cdot g^{-1}$ ) = Root dry weight/Total dry weight

$$\text{Quality Index(QI)} = \frac{\text{Total dry weight}}{\frac{\text{Height}}{\text{Root collar diameter}} \left(\frac{H}{D}\right) + \frac{\text{Top dry weight}}{\text{Root dry weight}} \left(\frac{T}{R}\right)}$$

엽록소 함량 측정은 2010년 8월 25일 실시하였는데 이 시기는 더 이상 새로운 잎 발생이 없으며 이미 발생한 잎들도 육안으로 더 이상 신장이 보이지 않는 완전한 성숙단계의 묘목이다. 측정대상 잎은 각 개체의 선단부에서 3~4번째 잎으로 같은 시기에 완전히 발달한 잎을 선정하였다. 엽록소 측정을 위해 0.1g의 잎을 채취하여 시약병에 넣고 DMSO(dimethylsulfoxide) 용액 7mL를 넣어 65°C 항온기에서 6시간 동안 추출하였다(Hiscox and Israelstam, 1979). 항온기에서 꺼낸 즉시 전체 추출액이 10mL가 되도록 약 3mL를 추가하고 UV/visible spectrophotometer(Optizen POP, Mecasys Co., 한국)를 이용하여 optical density를 측정하였다. 엽록소 a, b 및 a + b 함량은 다음의 Arnon(1949) 식을 이용하여 구하였다.

◦ Chlorophyll a ( $mg \cdot g^{-1}$  fresh weight) =  $12.7 \times D_{663} - 2.69 \times D_{645}$

◦ Chlorophyll b ( $mg \cdot g^{-1}$  fresh weight) =  $22.9 \times D_{645} - 4.68 \times D_{663}$

◦ Chlorophyll a + b ( $mg \cdot g^{-1}$  fresh weight)

$$= 20.2 \times D_{645} + 8.02 \times D_{663}$$

광합성 반응 측정은 8월 25일 각 피옴처리 개체의 상부에 있으면서 완전히 발달한 건전한 잎을 선정하여 실시하였다. 측정은 휴대용 광합성측정기(Portable Photosynthesis System, Li-Cor 6400, Li-cor, USA)를 이용하여 red-blue LED light source Li-6400-02B (Li-COR, USA)로 광도 PPFD  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 실시하였다. 광합성측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ , Chamber 온도는 25°C, CO<sub>2</sub> 농도는  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 상대습도는 60~70%로 조절하였다(Kim 등, 2001). 수분이용효율은 광합성률/증산량(Lim 등, 2006; Wang, 2001)으로 계산하였으며, 수분이용효율의 계산에 사용한 광합성률과 증산량은 PPFD  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 측정하였다.

피옴처리별 묘목의 생장량과 엽록소함량 및 광합성 반응에 대한 통계분석은 SPSS version 18을 이용하여 최소유의차(LSD) 및 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 간장 · 근원경생장 및 H/D율

가시나무 종자의 발아는 파종 3주가 지나면서부터 시작되어 5주가 되면서 완료되었는데 파종 8주 후부터 생육단계별로 측정된 가시나무 용기묘의 간장과 근원경생장 결과는 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나와 있다. 파종 8주 후 측정된 간장생장을 보면, 35%와 55% 피옴처리에서 전광에 비해 높은 것으로 조사되었으며 이러한 결과는 생육 마지막 단계까지 이어졌다. 하지만 가장 강한 피옴수준인 75%에서는 전광보다 낮은 생장을 보여 가시나무의 경우 지나치게 낮은 광환경에서는 생육이 저조함을 알 수 있다. 본 실험의 가시나무와 같은 상록활엽수종인 금목서, 까마귀쪽나무, 홍가시나무 및 돈나무를 대상으로 한 실험에서도 전광에 비해

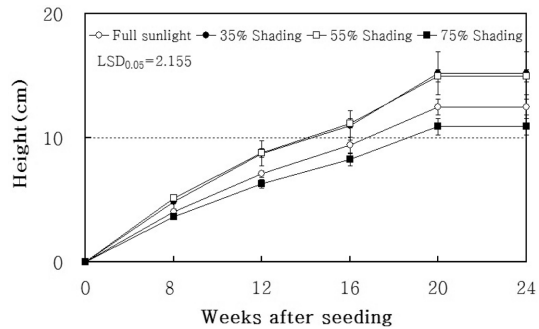


Fig. 1. Effects of shading on height growth of *Quercus myrsinaefolia* seedlings. Bars indicate standard error. LSD<sub>0.05</sub> in figure indicates least significant difference at 95% level and was obtained from the mean measured on 24 weeks after seeding.

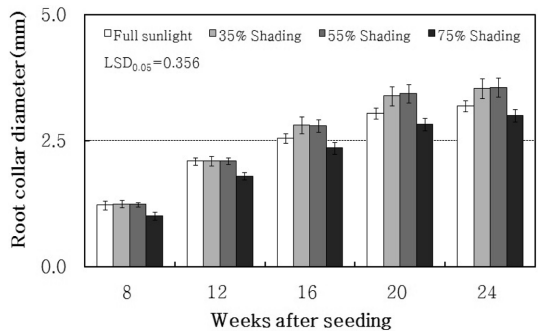


Fig. 2. Effects of shading on root collar diameter growth of *Quercus myrsinaefolia* seedlings. Details described in Fig. 1.

피음처리에 의해 상대적으로 높은 간장생장이 보고되었다(Shin 등, 2011).

근원경생장은 전체 생육과정을 통하여 75% 피음에서 가장 낮은 생장을 보였으며 간장생장과 마찬가지로 35%와 55% 피음에서 높은 생장을 보였다. 한편 가시나무의 간장생장 정지는 피음처리 수준에 관계없이 파종 20주 후인 9월 7일경으로 조사되었으며, 근원경생장은 20주가 지난 후에도 어느 정도 생장이 지속되었다. 한편 같은 참나무속의 수종이면서 고정생장을 하는 상수리나무의 간장생장은 14주 후부터 정지되었으며, 근원경생장은 18주에 이르러서 정지한 것으로 보고되었다(Kim 등, 2006). 이와 같은 생장 양상의 차이는 가시나무가 생육하는 기후대가 상수리나무에 비하여 따뜻한 난대지역인 점이 생장을 보다 지속하게 한 원인으로 판단된다.

한편, H/D율은 묘목의 건전도를 나타내는 지수이며, 노지묘든 용기묘이든지 생산체계와 상관없이 생산된 묘목이 현지에 식재되었을 때 바람, 건조 등 물리적인 피해를 견디는 능력을 평가할 수 있는 좋은 지표이다. 특히, 높은 밀도와 낮은 광 환경에서 생육하여 높은 H/D율을 가지게 되는 가늘고 약한 용기묘의 평가에 중요하게 적용되고 있다(Haase, 2007; Thompson, 1985). 본 실험에서 피음처리 후 가시나무 용기묘의 가장 높은 H/D율은 4.31을 기록한 35% 피음이었으며 가장 낮은 값은 3.63을 기록한 75% 피음이었다(Fig. 3). 이처럼 가시나무의 경우 비교적 높은 간장과 근원경생장을 보인 35%와 55% 피음에서 상대적으로 높

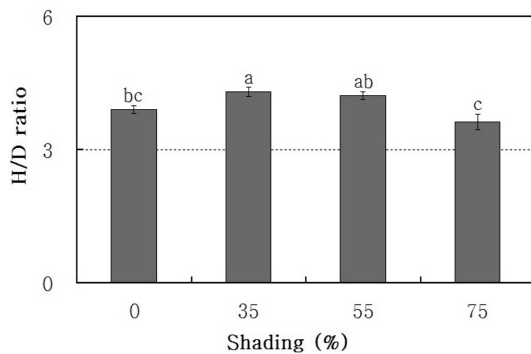


Fig. 3. Effects of shading on H/D ratio of *Quercus myrsinaefolia* seedlings. Bars indicate standard error. Different letters in figure indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ( $p = 0.05$ ).

은 H/D율을 보인 것을 알 수 있다. 이 H/D율에 관한 Park 등(2010)의 보고에서는 활엽수의 H/D율이 침엽수에 비해 2~3배 높았으며, Roller(1976)는 black spruce 용기묘의 H/D율이 6.0 이상일 때는 바람, 건조 및 서리에 큰 피해를 입는 것으로 보고하였다. 한편 Johnson 등(1996)은 노지묘와 용기묘의 H/D율 검토에서, 소나무류의 노지묘는 6.0 이하, 용기묘는 8.0 이하가 바람직하며, 소나무외의 침엽수 경우, 노지묘는 7.0 이하, 용기묘는 크기에 따라 9.0 또는 10.0 이하를 건전한 묘목으로 분류하였다. 또한 본 실험의 가시나무와 같은 활엽수 용기묘에 관한 언급은 없었으나, 활엽수 노지묘의 경우에는 7.0 이하가 바람직하다고 하였다.

## 2. 건물생산량과 T/R율

피음처리 후 가장 높은 건물생산량은 55% 피음처리, 그 다음으로는 35% 피음처리이었는데, 부위별로도 이 두 피음수준에서 가장 높은 것으로 조사되었다(Table 1). 모든 부위별 및 전체 건물생산량이 가장 낮은 묘목은 75% 피음으로 조사되었다. 일반적으로 광의 감소는 줄기와 뿌리의 건물생산량을 감소(Strothmann, 1967; Walters 등, 1993)시킨다고 알려져 있지만, 수중에 따라서는 전체 건물생산량의 증가 또는 부위별로 증가와 감소가 다르게 나타난다고 하였다(Groninger 등, 1996).

난대 활엽수 황칠나무의 피음처리 후 건물생산량은 상대광도 55%까지는 지상부, 지하부 모두 대조구보다 많았다고 하였으며(Kim과 Kim, 1997), *Quercus mongolica* var. *grosserrata* 1년생 묘목의 간장과 근원경은 상대광도가 20%까지 낮아져도 큰 차이가 없었으나 건물생산량은 어느 부위에서나 상대광도가 낮아질수록 적어진다고 하였다(Norio, 1985). 이처럼 광조건에 대한 건물생산량과 지상부, 지하부 등 기관별 분배 비율은 수중에 따라 다른데, 목본식물에 있어 광합성산물 분배의 생리학적 조절은 그들에게 주어진 생태적 조건에 적용된 뿌리와 줄기비율의 균형을 유도하는 과정으로 제안되어져 왔다.

한편 피음처리 후 T/R율을 조사한 결과 75% 피음에서 1.76으로 가장 낮게 나타났고 55%에서 2.41로 가장 높게 나타났으며 35%에서 그 다음으로 높은 2.38로 조사되었다(Table 1). 35%와 55% 피음에서의

**Table 1.** Effects of shading on dry mass production and T/R ratio of *Quercus myrsinaefolia* seedlings.

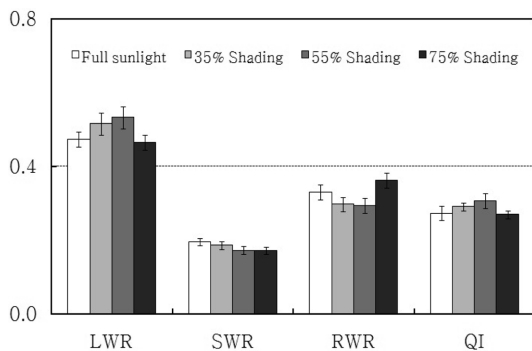
| Shading (%)   | Dry mass production (g)        |                                |                                 |                                | T/R ratio                    |
|---|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|   | Leaves                         | Shoot                          | Root                            | Total                          |                              |
| 0 (1540 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 0.775 $\pm$ 0.042 <sup>b</sup> | 0.320 $\pm$ 0.023 <sup>a</sup> | 0.537 $\pm$ 0.016 <sup>ns</sup> | 1.632 $\pm$ 0.080 <sup>b</sup> | 2.03 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup> |
| 35 (924 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 1.010 $\pm$ 0.061 <sup>a</sup> | 0.363 $\pm$ 0.016 <sup>a</sup> | 0.580 $\pm$ 0.034 <sup>ns</sup> | 1.953 $\pm$ 0.103 <sup>a</sup> | 2.38 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup> |
| 55 (615 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 1.085 $\pm$ 0.059 <sup>a</sup> | 0.353 $\pm$ 0.023 <sup>a</sup> | 0.598 $\pm$ 0.034 <sup>ns</sup> | 2.037 $\pm$ 0.112 <sup>a</sup> | 2.41 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup> |
| 75 (370 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 0.680 $\pm$ 0.053 <sup>b</sup> | 0.250 $\pm$ 0.019 <sup>b</sup> | 0.527 $\pm$ 0.028 <sup>ns</sup> | 1.457 $\pm$ 0.089 <sup>b</sup> | 1.76 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup> |

<sup>Z</sup>Means  $\pm$  Standard error (n = 6) are represented and were measured on Oct. 14, 2010. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test (p = 0.05). ns: not significant.

높은 T/R율은 피옴치리에 의해 지하부 성장도 증가하면서 지상부 생장이 활발해져서 상대적으로 높은 T/R율을 보인 것으로 판단된다. 내음성 수종의 T/R율 연구에서, 중간 정도의 피옴(50~55%)에서 증가하는 지상부 물질생산에 의해 상대적으로 높은 T/R율(Hong 등, 2000; Kim과 Kim, 1997) 보고는 본 실험과 유사한 결과로 사료된다.

**3. Leaf dry weight ratio (LWR), Shoot dry weight ratio (SWR), Root dry weight ratio (RWR) 및 Quality index (QI)**

전체 건물생산량 중 잎에 대한 분배비율을 의미하는 LWR의 경우, 피옴치리 후 가장 높은 값은 55% 피옴의 0.53, 다음은 35%의 0.52로 조사되었다(Fig. 4). 이와 같은 결과는 이 두 피옴조건이 전광과 75% 피옴보다 전체 건물생산량도 높았지만 잎의 건물생산이 상대적으로 높은 비율로 진행된 결과로 판단되며, 일반적으로 피옴에 의해 광도가 낮아질수록 LWR은 높아진다는 보고(Cornelissen 등, 1996; Walters 등, 1993)



**Fig. 4.** Effects of shading on LWR, SWR, RWR and QI of *Quercus myrsinaefolia* seedlings. Bars indicate standard error.

와도 부합되는 결과였다.

SWR 경우는 피옴치리에 따른 차이는 크지 않은 것으로 조사되었다. 피옴치리 후 RWR의 변화를 보면 피옴수준이 가장 높은 75%에서 0.36으로 가장 높은 것으로 조사되었는데 전체 건물생산량은 다른 처리구보다 낮았으나 지상부 건물생산량에 비해 상대적으로 뿌리 건물생산량 비율이 높았기 때문으로 판단된다. 이와 같은 변화는 생육 조건이 상대적으로 열악해진 환경에 대한 반응으로 볼 수 있다. 많은 생물들이 그들이 살아가는 환경조건에 따라 그들의 성장 반응을 조절해가고 있는데, 식물의 경우에도 생리적 혹은 형태적인 유연성으로 그러한 조건에 반응하고 있다 (Schlichting, 1986). RWR 조절 역시 변화하는 환경 조건에서 최대의 성장을 추구하기 위한 수단으로 인식된다(Gleeson, 1993; Reynolds와 Thornley, 1982).

일반적으로 QI는 묘목이 정상적인 성장을 하였을 경우 높을수록 건전한 묘목으로 평가받는데, 묘목품질 평가요소인 H/D율과 T/R율을 고려하고 묘목 전체 건물생산량을 주요 요소로 구한 값이기 때문이다 (Thompson, 1985). 피옴치리 후 가장 높은 QI는 55% 피옴의 0.31, 그 다음으로는 35%의 0.29이었다 (Fig. 4). 이와 같은 결과는 55%와 35% 피옴에서 자란 묘목의 성장과 건물생산량이 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다.

**4. 엽록소 함량과 광합성 반응**

피옴치리 후 가시나무의 엽록소 함량조사에서 피옴이 강해질수록 엽록소 a 함량과 총 엽록소(a + b) 함량은 높아지는 경향을 보였다(Table 2). 하지만 엽록소 b의 경우에는 피옴치리에 따른 차이가 나타나지 않았다. 한편 엽록소 a/b율은 35% 피옴에서는 전광보다 다소 낮은 값을 보여 피옴치리에 의해 엽록소 a의 증

**Table 2.** Chlorophyll contents of *Quercus myrsinaefolia* seedlings grown under different shading rates.

| Shading (%)  | Chlorophyll a (mg · g <sup>-1</sup> ) | Chlorophyll b (mg · g <sup>-1</sup> ) | Chlorophyll a/b ratio    | Total chlorophyll (mg · g <sup>-1</sup> ) |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---|
| 0 (1540 μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ) | 0.60 ± 0.09 <sup>b</sup>              | 0.39 ± 0.07 <sup>ns</sup>             | 1.59 ± 0.21 <sup>b</sup> | 0.99 ± 0.11 <sup>b</sup>                  |
| 35 (924 μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ) | 0.64 ± 0.05 <sup>b</sup>              | 0.46 ± 0.05 <sup>ns</sup>             | 1.43 ± 0.09 <sup>b</sup> | 1.10 ± 0.10 <sup>b</sup>                  |
| 55 (615 μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ) | 0.80 ± 0.05 <sup>ab</sup>             | 0.37 ± 0.02 <sup>ns</sup>             | 2.18 ± 0.05 <sup>a</sup> | 1.16 ± 0.06 <sup>ab</sup>                 |
| 75 (370 μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ) | 0.87 ± 0.06 <sup>a</sup>              | 0.38 ± 0.04 <sup>ns</sup>             | 2.30 ± 0.14 <sup>a</sup> | 1.25 ± 0.09 <sup>a</sup>                  |

<sup>z</sup>Mean ± Standard error (n = 5) are represented and were measured on Aug. 25, 2010. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test (p = 0.05). ns: not significant.

가보다 엽록소 b의 함량이 더 증가했음을 알 수 있다. 55% 및 75% 피음에서는 a/b율이 상승하였는데 이는 피음처리에 따른 함량 변화가 거의 없었던 엽록소 b 보다는 엽록소 a의 증가율이 더 높았기 때문으로 사료된다. 이와 같은 결과는 피음 강도가 강해지면서 엽록소 b의 함량 증가가 엽록소 a의 함량에 비해 상대적으로 더 크게 증가했기 때문에 엽록소 a/b율이 감소했다는 보고(Kwon 등, 1996)와는 다른 내용으로 수종별로 변화하는 광 환경에 대한 반응이 다른 서로 이유로 사료된다. 한편 중성수로 알려진 난대 상록활엽수인 먼나무의 피음처리(전광, 30, 50, 70% 피음)는 엽록소 a, 엽록소 b 및 총 엽록소 함량을 증가시켰으며, 엽록소 a/b율은 30% 피음에서는 전광과 유사하였으나 50%와 70%에서는 증가시켰는데 이는 낮은 광도조건에서 생육된 먼나무 잎의 광합성 기구가 수광율을 높이기 위하여 낮은 광환경에 순화된 결과로 분석하였다(Han 등, 2008).

본 실험에서 전광에 비해 피음처리구(35, 55, 75% 피음)에서 보인 높은 엽록소 함량(엽록소 a와 총 엽록소 함량)은 궁극적으로 광합성률의 증가를 통해 개개 묘목의 성장과 건물생산량을 좋게 한 것(Fig. 1, 2)으로 사료된다. 하지만 이러한 효과는 35%와 55% 피음처리구에서만 나타났으며 75% 피음에서는 오히려

전광보다 낮게 나타났는데 이러한 이유는 비록 75%의 강한 피음에 의해 엽록소 함량은 증가하였으나 낮은 광도에서 기공개폐도, 증산을 같은 광합성 반응에 영향을 주는 생리적인 요인에 의해 광합성률의 저하로 연결되면서 생장에 영향을 준 것으로 보인다.

한편, 적용된 피음수준에서 가시나무의 광합성률, 기공전도도, 엽육 내 CO<sub>2</sub> 농도, 증산을, 수분이용효율 등 생리적인 내부 대사활동은 전광에 비해 상대적으로 높은 것으로 조사되었다(Table 3). 피음처리에 의한 광합성률은 전광에 비해 높아졌는데, 전광의 2.92 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>에 비해 35% 및 55% 피음에서는 각각 7.69 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>과 7.67 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup> 정도로 높은 것으로 조사되었다. 75% 피음에서는 전광에 비해 낮은 5.56 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>으로 조사되었으나 35%와 55% 피음에서 보다는 낮은 값을 나타냈다. 광도가 상대적으로 낮아지는 수준에서 광합성률의 변화와 이와 관련된 엽록소 함량의 변화는 수준에 따라 다른 것으로 잘 알려져 있다(Kim 등, 2001).

또한 광합성률은 기공 개폐와 관련성이 높기 때문에 기공전도도와 광합성률은 정의 상관관계에 있다(Lim 등, 2006; Faria 등, 1996). 따라서 전광에서 낮은 광합성률을 보인 개체들이 낮은 기공전도도를 보이는데 이는 광합성에 필요한 CO<sub>2</sub>의 가스교환이 제한을 받기

**Table 3.** Photosynthetic response and water use efficiency of *Quercus myrsinaefolia* seedlings under different shading rates.

| Shading (%) | Photosynthetic rate (μmolCO <sub>2</sub> · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ) | Conductance to H <sub>2</sub> O (molH <sub>2</sub> O · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ) | Intercellular CO <sub>2</sub> concentration (μmolCO <sub>2</sub> · mol <sup>-1</sup> ) | Transpiration rate (mmolH <sub>2</sub> O · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ) | Water use efficiency (μmolCO <sub>2</sub> · mmol <sup>-1</sup> · H <sub>2</sub> O) |
|-------------|--|--|--|--|--|
| 0           | 2.92 ± 0.97 <sup>z</sup>   | 0.07 ± 0.02  | 311.20 ± 14.51   | 1.63 ± 0.57  | 1.85 ± 0.34  |
| 35          | 7.69 ± 0.68  | 0.18 ± 0.01  | 312.33 ± 2.08  | 3.85 ± 0.24  | 1.99 ± 0.06  |
| 55          | 7.67 ± 0.20  | 0.16 ± 0.02  | 303.53 ± 11.24   | 3.44 ± 0.35  | 2.28 ± 0.26  |
| 75          | 5.56 ± 0.34  | 0.11 ± 0.01  | 299.87 ± 5.54  | 2.53 ± 0.20  | 2.21 ± 0.06  |

<sup>z</sup>Mean ± Standard error (n = 3) are represented and were measured on Aug. 25, 2010.

때문이고 따라서 낮은 광합성률을 보인 것으로 해석된다. 75%와 같은 강한 피음 조건 역시 본 실험에서 낮은 기공전도도를 보였는데, 이 피음처리에서 엽록소 함량이 가장 높았음에도 불구하고 35%와 55%의 피음에서 보다 낮은 광합성률을 보인 이유로 해석된다. 한편 중성수인 상록활엽수 먼나무는 피음(50%와 70%)이 강해질수록 엽록소 함량이 증가하였으나 광합성률은 감소하였으며, 이러한 현상은 낮은 광 환경에 순화된 식물들이 수광량을 높이기 위해 잎 내 질소를 엽록소 단백질에 투자하여 집광반응에 치중함으로써 반대로 CO<sub>2</sub> 고정효소인 루비스코 효소에 대한 질소 배분이 줄어들어 광합성 능력이 줄어든 것으로 설명하고 있다(Kim과 Lee, 2001; Han 등, 2008). 가시나무를 대상으로 한 본 실험에서처럼 피음처리를 통해 광 조건이 다른 환경에서 묘목을 생육시킨 후 각 개체들이 보이는 광합성 반응 결과는 그 수준의 적정 생육광도를 설정하는데 유용하게 사용될 수 있으며, 또한 내음성 정도를 추정하는데도 필요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 적 요

본 연구는 피음처리에 따른 1년생 가시나무 용기묘의 성장과 생리적 반응을 탐구하고자 수행되었는데, 피음처리는 전광 및 전광의 35%, 55%, 75%의 수준으로 실시하였다. 가시나무의 간장과 근원경생장은 35%와 55% 피음처리에서 높은 것으로 조사되었으며, 피음처리와 상관없이 근원경생장이 간장생장 보다 4주 정도 더 길게 지속되었다. 피음처리 후 가장 높은 H/D율은 4.31을 기록한 35% 피음이었으며 가장 낮은 값은 3.63을 기록한 75% 피음이었다. 또한 피음처리 후 가장 높은 건물생산량은 55% 피음, 그 다음으로는 35% 피음이었는데, 부위별로도 이 두 피음수준에서 가장 높은 것으로 조사되었다. T/R율은 75% 피음에서 1.76으로 가장 낮게 나타났고 55%에서 2.41로 가장 높게 나타났으며 35%에서는 2.38로 조사되었다. Leaf dry weight ratio(LWR)의 경우, 피음처리 후 가장 높은 값은 55% 피음의 0.53, 다음은 35%의 0.52이었으며, root dry weight ratio(RWR)은 피음수준이 가장 높은 75%에서 0.36으로 가장 높은 것으로 조사되었다. 피음이 강해질수록 엽록소 a 함량과 총 엽록소

(a + b) 함량은 높아지는 경향을 보였지만 엽록소 b의 경우에는 피음처리에 따른 차이가 나타나지 않았다. 그리고 광합성률과 증산율은 전광에 비해 피음이 높을수록 증가하였으나, 가장 높은 피음인 75%보다는 35% 및 55% 피음에서 더 높았다. 본 실험에서 피음처리에 따른 광 조건이 다른 환경에서 생육한 묘목들이 보이는 성장과 광합성 반응 결과는 적정 생육광도를 설정하는데 유용하게 사용될 수 있으며, 또한 내음성 정도를 추정하는 자료로도 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

**주제어** : 엽록소 함량, 건물생산량, H/D율, 광합성률

## 사 사

본 연구는 산림청 ‘임업기술개발사업(과제번호: S120910L080000)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## 인 용 문 헌

1. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Betula vulgaris*. Plant Physiology 24:1-15.
2. Choi, J.H., S.G. Hong, and J.J. Kim. 1998. Growth and critical light intensity at cotyledon stage of *Cornus controversa* Hemsl. seedling. Jour. Korean For. Soc. 87(3):493-500(in Korean).
3. Choi, J.H., S.G. Hong, and J.J. Kim. 2000. Effects of shading on growth of 1-year-old *Cornus controversa* Hemsl. seedlings. J. Kor. For. En. 19(1):20-29(in Korean).
4. Choo, N.H. 2009. Production technology of container seedlings of warm-temperate reforestation species. 5th Tech. Seminar of Korean Society of Container Nursery Research. Seoul. Korea. pp. 9-17(in Korean).
5. Cornelissen, J.H.C., P.C. Diez, and R. Hunt. 1996. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. J. of Ecology 84:755-765.
6. Dickson, A., A.L. Leaf, and J.F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. Forestry Chronicle 36:10-13.
7. Faria, T., J.I. Garcia-Plazaola, A. Abadia, S. Cerasoli, J.S. Pereira, and M.M. Chaves. 1996. Diurnal changes in photoprotective mechanism in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. Tree Physiology 16: 115-123.
8. Gottschalk, K.W. 1994. Shade, leaf growth and crown development of *Quercus rubra*, *Quercus velutina*, *Prunus serotina* and *Acer rubrum* seedlings. Tree Physiol-

- ogy 14:735-749.
9. Gleeson, S.K. 1993. Optimization of tissue nitrogen and root-shoot allocation. *Ann. Bot.* 71:23-31.
  10. Groninger, J.W., J.R. Seiler, J.A. Peterson, and R.E. Kreh. 1996. Growth and photosynthesis responses of four Virginia Piedmont tree species to shade. *Tree Physiology* 16:773-778.
  11. Haase, D. 2007. Understanding forest seedling quality : Measurements and interpretation. *Tree Planter's Notes* 52(1):24-30.
  12. Han, J.G., S.G. Son, S.H. Kim, C.S. Kim, S.I. Hwang, and K.O. Byun. 2008. Photosynthesis, chlorophyll contents and leaf characteristics of *Ilex rotunda* under different shading treatments. *Korean J. Plant Res.* 21(4):299-303(in Korean).
  13. 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.
  14. 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. *Jour. Korean For. Soc.* 89(5):585-590(in Korean).
  15. Johnson, F., J. Paterson, G. Leeder, C. Mansfield, F. Pinto, and S. Watson. 1996. Artificial regeneration of Ontario's forest: species and stock selection manual. Forest Research Information Paper No. 131. Ontario. p. 51.
  16. Jones, R.H. and K.W. McLeod. 1990. Growth and photosynthetic responses to a range of light environments in Chinese tallow tree and Carolina ash seedlings. *For. Sci.* 36:851-862.
  17. Kim, C.Y. 2010. Cultivating the seedlings in greenhouse for evergreen broad-leaved target species and artificial regeneration in warm-temperate forests. PhD Diss., Chonnam National Univ. p. 117(in Korean).
  18. Kim, J.J. 2000. Studies on optimum shading for seedling cultivation of *Cornus controversa* and *C. walteri*. *Jour. Korean For. Soc.* 89(5):591-597(in Korean).
  19. Kim, J.J. 2010. Production plan of container seedling of warm-temperate tree species. *J. of Korean Tree Nursery Assoc.* 38:27-38(in Korean).
  20. Kim, J.J., T.S. Yoon, H.K. Cho, and K.H. Song. 2006. Studies on efficient reforestation plan and comparative analysis of growth of bare root and container seedlings of *Pinus densiflora* and *Quercus acutissima*. Korea Forest Service. p. 89-112(in Korean).
  21. Kim, P.G. and E.J. Lee. 2001. Ecophysiology of photosynthesis 2: adaptation of the photosynthetic apparatus to changing environment. *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology* 3(3):171-176(in Korean).
  22. Kim, P.G., Y.S. Lee, D.J. Chung, S.Y. Woo, J.H. Sung, and E.J. Lee. 2001. Effects of light intensity on photosynthetic activity of shade tolerant and intolerant tree species. *Jour. Korean For. Soc.* 90(4):476-487(in Korean).
  23. Kim, S.H., J.H. Sung, Y.K. Kim, and P.G. Kim. 2008. Photosynthetic responses of four oak species to changes in light environment. *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology* 10(4):141-148(in Korean).
  24. Kim, S.H. and Y.J. Kim. 1997. Effects of mulching and shading treatment on growth of *Dendropanax morbifera* seedlings. *Res. Rep. For. Gen. Res. Inst. Korea.* 33:112-118(in Korean).
  25. Kim, Y.H., J.S. Kim, and B.S. So. 2006. Analyzing Performance of reforestation by container seedling and direct seeding of warm-temperate tree species. *Western Regional Forest Service, KFS.* p. 3-21(in Korean).
  26. Kwon, K.W., S.A. Kim, and D.K. Lee. 1996. Effect of light intensity on chlorophyll contents in the leaves of several species of conifers and hardwoods subjected to artificial shading treatment. *Research Reports of Environmental Science and Technology* 14:42-49(in Korean).
  27. Lim, J.H., S.Y. Woo, M.J. Kwon, J.H. Chun, J.H. Shin. 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korea fir in Mt. Halla. *Jour. Korean For. Soc.* 95(6):705-710(in Korean).
  28. Norio, M. 1985. Effect of shading on the growth of *Quercus mongolica* var. *grosserrata* seedlings. *J. Jpn. For. Soc.* 96:369-370.
  29. Park, B.B., J.K. Byun, W.S. Kim, and J.H. Sung. 2010. Growth and tissue nutrient responses of *Fraxinus rhynchophylla*, *Fraxinus mandshurica*, *Pinus koraiensis*, and *Abies holophylla* seedlings fertilized with nitrogen, phosphorus, and potassium at a nursery culture. *Jour. Korean For. Soc.* 99(1):85-95(in Korean).
  30. Reynolds, J.F. and J.H.M. Thornley. 1982. A shoot : root partitioning model. *Ann. Bot.* 49:585-597.
  31. Roller, K.J. 1976. Field performance of container-grown Norway and black spruce seedlings. *Can. For. Serv. Dept. Environ. Inf. Rep. M-X-64.* p. 17.
  32. Schlichting, C.D. 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 17:667-693.
  33. Shin, H.C., N.C. Park, and J.H. Hwang. 2006. Warm-temperate tree species in Korea. *KFRI, Korea.* pp. 26-37(in Korean).
  34. Shin, H.C., S.M. Choi, K.S. Lee, D.H. Kim, E.J. Bae, S.W. Chung. 2011. Impact on morphological and physiological changes of 4 species of evergreen broad-leaved when growing different light shading conditions. *Proceedings of 2011 Annual Meeting of Korean Forest Society.* Gyeongju, Korea. pp. 84-88(in Korean).
  35. Strothmann, R.O. 1967. The influence of light and moisture on the growth of red pine seedlings in Minnesota. *For. Sci.* 13:182-191.
  36. Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation - what you can tell by looking. In : *Proceedings, Evaluation seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests.* Durvea, M.L. (ed.).



피음처리에 따른 가시나무 1년생 용기묘의 생장과 생리적 반응

- Forest Research Lab., Oregon State Univ., Corvallis. pp. 59-71.
37. Walters, M.B., P.B. Kruger, and P.B. Reich. 1993. Growth, biomass distribution and CO<sub>2</sub> exchange of northern hardwood seedlings in high and low light. : relationships with successional status and shade tolerance. *Oecologia* 94:7-16.
38. Wang, R.Z. 2001. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of vegetative and reproductive shoots of grassland species from north-eastern China. *Photosynthetica* 39(4):569-573.
39. Yeo, W.S. 2005. Natural regeneration patterns and strategies of *Quercus acuta* in Wando, Korea. PhD. Diss., Seoul National Univ. p. 106(in Korean).