

차광처리에 따른 쉬나무 용기묘의 생장 및 생리적 특성 변화

최규성¹ · 성환인² · 김종진² · 송기선^{1*}

¹국립백두대간수목원 식물양묘실, ²건국대학교 산림조경학과

Changes in Growth and Physiological Characteristics of *Tetradium daniellii* (Benn.) T. G. Hartley Container Seedlings by Shading Treatment

Kyu Seong Choi¹, Hwan In Sung², Jong Jin Kim², and Ki Seon Song^{1*}

¹Plant Propagation and Reproduction Division, Baekdudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Korea

²Department of Forestry and Landscape Architecture, Konkuk University, Seoul 05029, Korea

Abstract. This study was conducted in order to closely examine about optimum shading for superior seedling production a container seedling of *Tetradium daniellii*, which is being increased the demand for a seedling due to being used for alternative energy, ecological restoration and honey plant. The experiment of investigating the optimum shading on *T. daniellii* was carried out by using plastic container types (350 ml/cavity) for the forestry facility cultivation. The shading level was treated with full sunlight and with 35%, 55%, 75% of the full sunlight. As a result of having surveyed height and root collar diameter growth of a containerized seedling in *T. daniellii*, a case of the shading experiment showed a noticeably high value was indicated in the full sunlight. It was surveyed that the stronger shading level leads to the lower growth value. Root development was most active in full sunlight. Dry matter production, it was investigated to be the highest in full sunlight. It was surveyed to be the similar tendency to the outcome of height and root collar diameter growth. QI, which is index of showing the quality of a seedling, stood at 0.98 in full sunlight, thereby having been investigated to be the highest. As for the chlorophyll content in a seedling, the highest chlorophyll content was indicated in the 75% shading treatment with the relatively highest shading level. The photosynthetic rate and the water use efficiency were surveyed to be the highest in full sunlight with $8.48 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $1.40 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmolm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$, respectively. As a result of surveying the whole experiment, optimum shading level for superior seedling production a container seedling of *T. daniellii* is determined in full sunlight (0%). It is expected that this will be used as a basic data for mass production.

Additional key words : container seedling, dry weight, growth reaction, shading treatment, quality index

서 론

운향과에 속하는 쉬나무(*Tetradium daniellii* (Benn.) T.G. Hartley)는 건조에 대한 내성이 강하며 벼랑이나 경사면과 같은 척박한곳에서도 식재가 가능한 낙엽활엽소교목이다. 원산지는 한국으로 중부(강화도, 경기도, 강원도 원주 부근)와 북부, 울릉도에도 분포중이며, 중국에도 분포하고 있다(Lee, 1980; Ri, 1997). 쉬나무의 잎은 마주나며 7~11개의 작은 잎으로 구성되어 있다. 꽃은 7~8월에 피고 길이 4~5mm로서 흰빛이 돌며 향기가 적고 꽃받침은 짧으며 꽃잎은 길이 3mm이다. 종자는 삭과로 길이 8mm로서 10월에 익으며 모양은 타

원형이고 색깔은 흑색이다(Lee, 1980).

쉬나무 종자는 기름함량이 높아서 바이오디젤(Biodiesel)로 개발될 가능성이 많아 1970년대에 우리나라 석유파동 이후 대체에너지로서 연구(Hong 등, 1987; Lee와 Hong, 1991)되었다. 그리고 암반질개사면 등 제한된 생육환경에 대한 적응성도 높아 생태복원을 위한 연구(Woo 등, 1993; 1995)에도 활용되었다. 또한, 최근에는 쉬나무가 밀원량이 풍부한 것으로 알려져 밀원식물로서의 가치검증에 대한 연구도 진행되었다(Jang, 2008).

이처럼 대체에너지, 생태복원 및 밀원식물용 등 다양한 분야에서 연구되고 있어 향후 묘목 수요가 증가할 것으로 예상되고 있는 쉬나무는 현재 대부분의 묘목은 노지양묘를 통해 생산하고 있다(Korea Forest Service, 2015). 이에 따라 건전한 묘목을 집약적으로 생산할 수 있는 시설양묘를 통한 쉬나

*Corresponding author: kssong@kiam.or.kr

Received January 22, 2020; Revised March 13, 2020;

Accepted March 19, 2020

무의 대량생산이 요구되고 있는 실정이다.

시설양묘는 시설을 통해 생육환경을 조절할 수 있어 노지 양묘의 고질적인 문제들을 해결하는 효과적인 대안이다 (Edwards와 Huber, 1982). 하지만 시설양묘를 통해 생산되는 용기묘는 제공된 환경에서 묘목이 생육되기 때문에 제공되는 생육환경에 따라 묘목이 광조건, 양분의 과부족 등으로 식물의 생장이 저하될 수 있어 우량묘목을 생산하기 위해서는 각 수종별로 생육에 적합한 환경조절이 필요하다(Grossnickle, 2005).

환경조절 중 인위적인 차광처리에 따라 수종별로 묘목의 생장반응이 달라지는 것으로 보고되고 있다. Kim(1986)은 차광처리에 따른 잣나무의 간장생장은 전광의 37%에서 가장 높게 조사되었고, 삼나무 묘목의 경우에는 차광수준이 높아질수록 간장 및 근원경 생장이 작아진다고 보고하였다(Tanimoto, 1975a). 또한 같은 실험조건에서, 소나무 묘목의 경우 초기에는 차광수준에 따른 생장차이가 작았으나 생장후기에는 차광수준이 낮을수록 간장생장이 좋았다고 하였다(Tanimoto, 1975b).

한편, 쉬나무의 연구는 노지에 1년생~4년생 묘목을 식재 간격을 달리하여(10×10cm~70×70cm) 물질생산량을 분석한 연구(Kim, 1989; Lee와 Hong, 1991)와 쉬나무의 생식지와 영양지를 구분하여 물질생산량을 분석한 연구(Hong, 1991), 쉬나무의 종자를 층적처리를 통해 발아율을 향상 시키는 연구(Suh, 2004) 등이 수행되었으나, 용기묘의 대량생산을 위한 차광연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 대체에너지, 생태복원 및 밀원식물용 등으로 이용되어 묘목 수요가 증가되고 있는 쉬나무의 우량한 용기묘 생산을 위하여 적정 차광수준을 구명하고자 하였으며, 이러한 연구를 통해 쉬나무 용기묘의 대량생산체계 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시수종

본 실험의 공시수종은 쉬나무(*Tetradium daniellii* (Benn.) T.G. Hartley)이며, 2017년도에 건국대학교 교내에서 열매를 채집하여 2018년 4월 파종 전까지 건국대학교 산림복원학실 실험실 내의 5°C 저온저장고에 보관하였다. 종자의 정선은 채집

직후 열매를 통째로 펼쳐두고 자연 건조하였다. 건조된 열매를 막대로 두드려 탈종한 후 눈 크기 1.0mm인 체(Model Sie 200-018, Saehan Co., Seoul, Korea)로 쳐서 크고 작은 껍질을 제거하였으며, 종자와 비슷한 크기의 껍질은 풍선법을 이용하여 제거하였다. 공시수종의 종자 품질 기준은 Table 1과 같다(Korea Forest Service, 2015).

2. 공시재료 및 시설

2.1 공시용기

공시용기는 임업시설양묘용 플라스틱 15구 용기(SI 350, W44×D27×H14cm, Shinill Science Inc., Gyeonggi, Korea)이며, 용적이 350ml/구이고 생육밀도는 1m²에 126본이다. 이 용기는 활엽수 생산용기로서 세균 발달 촉진과 나선형 뿌리(root spiralling)의 효율적 방지에 주안점을 두어 설계·제작되었다.

2.2 인공토양

생육상토는 ‘중묘사업실시요령’(Korea Forest Service, 2015)에 기준하여 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트가 1:1:1(v:v:v)로 혼합된 시중의 낙엽송 전용 산림양묘상토(Nongkyung Co., Jincheon, Korea)를 사용하였다.

2.3 차광시설

실험은 충청남도 부여군 영림농원에서 실시하였다. 차광수준 조절은 대조구인 전광을 비롯하여 각각 전광의 35%, 55%, 75%를 차단할 수 있는 차광망을 시중에서 구입하여 실시하였다. 이 차광망은 우리나라 농업용으로 널리 사용되고 있으며, 임업시설양묘에도 차광이 필요한 수종의 용기묘 생산에 많이 쓰이고 있다(Kim 등, 2003; Song 등, 2011; Sung, 2011).

3. 파종 및 생육환경 관리

3.1 파종

파종전에 발아를 촉진하기 위해 종자의 왁스층을 제거하고 냉수에 48시간 침지 후 2018년 4월 14일에 파종하였다. 공시수종의 종자 효율을 고려하여 각 구당 100% 이상의 효율이 발현되도록 4립씩 파종하였다. 시험구마다 0.5mm 깊이의 구멍을 내고 종자를 4립씩 넣은 후 흙을 덮어주었다. 파종 1주 후부

Table 1. Quality characteristics of *Tetradium daniellii* seed.

Purity (%)	Germination rate (%)	Utilization value (%)	1000 seeds weight (g)	1 liter weight (g)	seed no./kg	seed no./L
90	65	59	8.88	611	112,613	68,806

터 발아가 시작되었으며, 5월 12일에 본잎이 1~2장 나온 상태의 건전한 유묘를 구당 1본씩 남도록 간인 및 보식하였다.

3.2 관수

관수는 상토가 유실되거나 용기 내에서 종자가 이동하지 않도록 파종 직후 분무기를 이용하여 충분히 관수하고 발아가 완료되기 전까지 상이 마르지 않도록 수시로 분무하였다. 본잎이 나온 후부터는 수동분사기노즐(QG175FJ, Takagi Co., Ltd, Fukuoka, Japan)을 이용해 주 2~3회 관수하였다. 한 달 동안은 어린 유묘가 손상 위험이 있어 미스트 관수하였고, 그 후 일반 관수하였다.

4. 차광처리

차광 실험은 영림농원에 있는 차광시설에서 플라스틱 15구 용기에 파종하여 차광수준별로 각각 12개의 용기를 배치하였다.

각 차광수준의 광 환경은 분광측정기(LI-1800, LI-COR, USA)로 측정하였으며, 2018년 9월 1일 오전 10시 평균 1459 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 을 기준으로, 35% 차광처리구는 884 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 55% 차광처리구는 592 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 75% 차광처리구는 353 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 평균 광도를 나타내었다. 차광시설 바닥에는 펠릿형 플라스틱 용기받침대를 배치하였다.

5. 실험 조사

5.1 간장 및 근원경 조사

쉬나무는 처리구별로 생장이 활발한 시기인 8월에 1차 측정을 실시하고 생장이 끝난 시기인 10월에 2차 측정을 실시하였다. 간장과 근원경은 스틸테이프와 디지털 캘리퍼스를 이용해 측정하였으며, 각 처리구의 가장자리에 위치한 개체를 제외하고 전수 조사하였다.

5.2 뿌리 형태적 특성 조사

차광처리에 따른 용기내 뿌리발달 형태 분석은 8월과 10월에 채집된 묘목을 대상으로 WinRHIZO 프로그램(WinRHIZO Reg 2008a, Regent Instrument Inc., Quebec, Canada)을 이용하여 쉬나무의 뿌리 전체길이(total root length), 투영단면적(total projected root area), 표면적(total root surface area), 부피(total root volume), 평균 직경(average root diameter) 등을 측정·분석하였다.

5.3 건물생산량 및 묘목품질 조사

건물생산량을 측정하기 위해 간장과 근원경을 측정한 후 8

월에 각 처리구 당 5본, 10월에 각 처리구 당 6본씩을 무작위로 채집하였다. 채집한 묘목은 Drying Oven(DS-80-1, Dasol Scientific, Gyeonggi, Korea)에서 75°C로 72시간 완전히 건조 후 잎, 줄기, 뿌리 부분을 구분하여 전자저울(HS220S, Hansung Instrument Co., Ltd, Seoul, Korea)로 계량하였다.

측정된 간장, 근원경, 건물생산량을 활용하여 H/D율, T/R율, 엽건중비(LWR, Leaf dry weight ratio), 줄기건중비(SWR, shoot dry weight ratio), 뿌리건중비(RWR, root dry weight ratio), 묘목품질지수(QI, Quality Index; Dickson 등, 1960)를 아래 식으로 구하였다.

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

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

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

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

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

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

Total dry weight

5.4 엽록소 함량 조사

차광처리에서 생육한 쉬나무 용기묘의 엽록소 함량과 광합성 특성과의 연관성을 분석하기 위해 2018년 9월 1일에 SPAD 값을 엽록소함량 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다. 측정에 사용된 묘목은 완전히 성숙하였으며 더 이상 새로운 잎이 발생되지 않는 묘목을 사용하였다. 대상 잎은 각 개체의 선단부에서 2~3번째 잎을 측정하였다.

5.5 광합성 반응 조사

차광처리에 따른 묘목의 광합성 특성 차이를 조사하기 위하여 2018년 9월 1일 오전 10시부터 오후 12시까지 휴대용 광합성측정기(Portable Photosynthesis System, Li-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 광합성 반응 측정을 실시하였다. 육안으로 처리구별 평균 생육상태의 묘목을 7본씩 선별한 후 완전히 발달하고 건전한 상태의 상단 3번째 잎을 대상으로 한 개체 당 10초 간격, 4반복하여 광합성속도, 기공전도도, 엽육 내 CO₂ 농도, 증산

율, 수분이용효율을 측정하였다. 광도는 red- blue LED light source(Li-6400-02B, LI-COR Inc., USA)를 이용해 PPFD 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 조절하였고, 광합성측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, Chamber온도는 25°C, CO₂ 농도는 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 상대습도는 45~55%로 설정하였다. 수분이용효율(WUE, Water use efficiency)은 PPFD 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 기준에서의 광합성속도(Pn)/증산량(Tr)으로 계산하였다(Wang, 2001; Lim 등, 2006).

6. 통계 처리

실험결과, 측정된 값들의 유의성을 검증하기 위하여 SPSS Version 24(IBM, USA)을 이용해 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 처리별 차이를 검증하기 위해 Tukey's HSD (Honestly Significant Difference) test를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 성장 특성

1.1 간장 성장, 근원경 성장 및 H/D율

차광 종류에 따른 쉬나무 용기묘의 간장과 근원경 성장을 조사한 결과 1차 측정의 경우 간장은 전광에서 18.9cm로 가장 높았고, 근원경은 전광에서 유의적 차이를 보이며 3.26mm로 가장 높게 조사되었다. 2차 측정의 경우에도 간장과 근원경 성장이 전광에서 각각 20.6cm, 3.8mm로 높게 나타났다(Table 2). 1차와 2차 측정 모두 차광수준이 강해질수록 생장이 적어지는 경향을 보였으며, 가장 생장이 저조했던 75% 차광에서

는 간장과 근원경이 각각 1차 측정시 17.2cm와 2.26mm, 2차 측정 시 17.6cm와 3.19mm로 조사되었다.

본 연구에서의 차광처리에 따른 묘목의 성장량 증가는 편백 용기묘를 대상으로 차광처리에 따른 성장특성을 분석한 결과 전광에서 묘목의 성장량이 가장 높고, 차광수준이 높아질수록 묘목의 간장과 근원경의 생장이 저조하였다는 보고와 동일한 결과를 보였다(Kang, 2016).

차광수준에 따른 H/D율은 1차 측정시에는 75% 차광에서 7.6으로 가장 높게 측정되었으며, 55% 차광은 7.3, 35% 차광은 6.4, 전광은 5.8순으로 조사되었다. 이는 고차광에서는 광량의 감소로 인해 뿌리발달이 저조하였기 때문으로 판단된다. 2차 측정 시에는 전체적으로 H/D율이 5.4~5.7의 범위로 감소하였으며, 처리구간 유의적 차이를 보이지 않았다(Table 2).

1.2 뿌리 성장

차광수준에 따른 쉬나무 묘목의 뿌리 영상은 묘목채집 시기 별로 각각 Fig. 1과 같다. 이 영상을 통해 용기의 형태적 특징이 묘목의 뿌리 형태 발달에 어떤 영향을 미치는지 가시적으로 확인할 수 있다.

1차 측정에서 채집한 묘목의 뿌리 영상은 생장이 활발한 시기이지만 뿌리의 발달은 미약하여 영상만으로 용기의 형태를 유추하기 어렵다. 전광에서 뿌리 생육이 가장 좋아 굵은 측근 여러 가닥이 용기 하부까지 발달해있는 반면 55% 차광의 경우 빈약한 뿌리가 지면 부근에만 뻗어있고, 75% 차광의 경우는 포트 상층부까지만 뿌리가 발달되어 있다. 이는 차광수준에 따른 광량 차이에 의한 영향으로 사료된다.

Table 2. Plant height, root collar diameter and H/D₀ ratio of *T. daniellii* seedlings in container by shading treatments.

Sampling	Shading rate (%)	Height (cm)	Root-collar diameter (mm)	H/D ₀ ratio
Primary measurement	0	18.9 ± 2.1 ^z A	3.26 ± 0.27 A	5.8 ± 0.6 C
	35	18.5 ± 1.9 A	2.93 ± 0.27 A	6.4 ± 1.0 BC
	55	18.0 ± 1.7 A	2.48 ± 0.25 B	7.3 ± 0.3 AB
	75	17.2 ± 2.5 A	2.26 ± 0.31 B	7.6 ± 0.8 A
Secondary measurement	0	20.6 ± 1.8 a (8.8%) ^y	3.84 ± 0.27 a (18.0%)	5.4 ± 0.5 a (-7.6%)
	35	20.0 ± 2.6 a (8.0%)	3.47 ± 0.19 b (18.5%)	5.7 ± 0.6 a (-10.8%)
	55	18.4 ± 1.9 a (2.3%)	3.25 ± 0.20 bc (31.2%)	5.7 ± 0.6 a (-22.0%)
	75	17.6 ± 2.2 a (2.4%)	3.19 ± 0.12 c (40.8%)	5.7 ± 0.8 a (-26.0%)

^zMean ± SD (n=6). Different capital (primary measurement) and small (secondary measurement) letters in column indicate significant differences according to Tukey's HSD test ($p \leq 0.05$).

^yGrowth rate of the secondary measurement relative to the primary measurement.

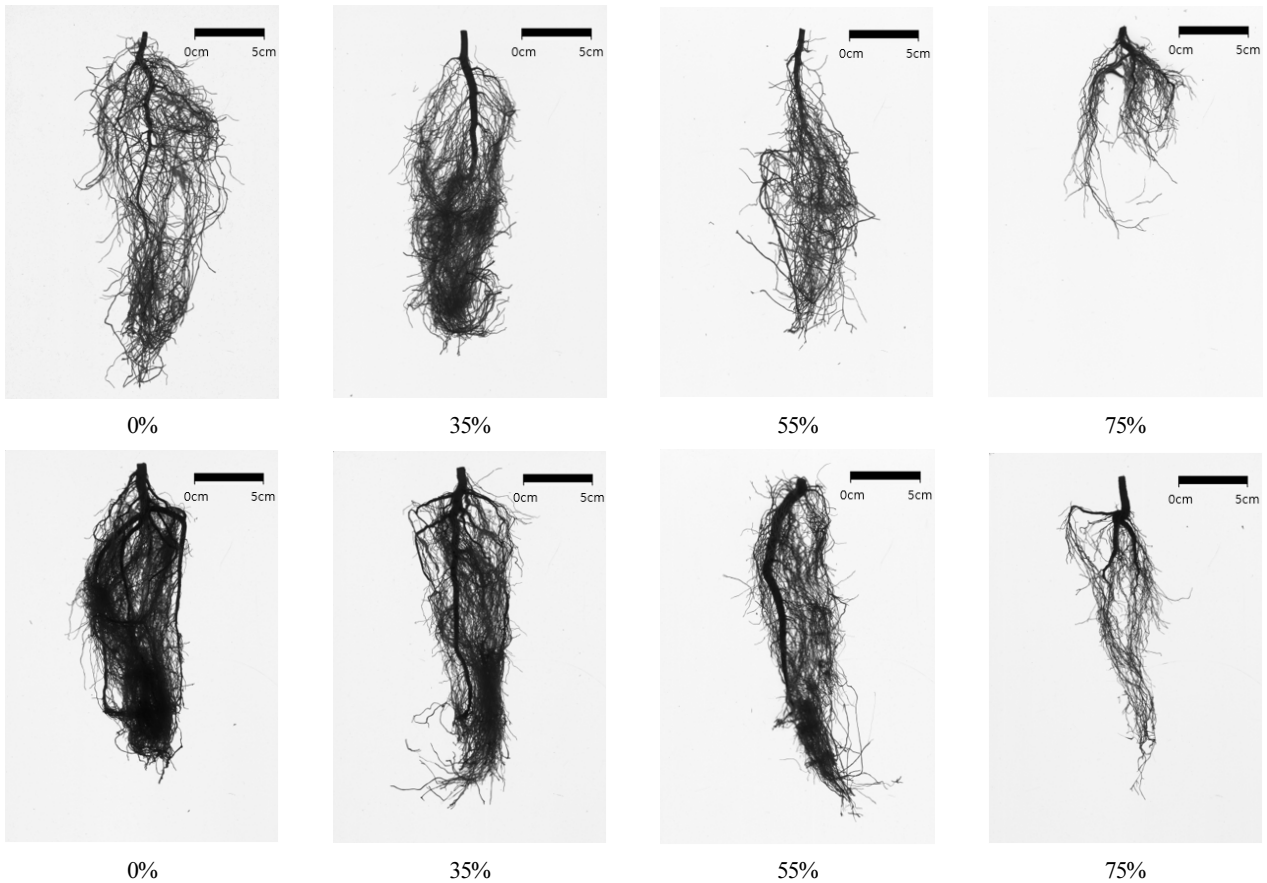


Fig. 1. Effects of shading rate on root images (20 × 25cm) of *T. daniellii* seedling sampled on (top) August 23, 2018, (down) October 23, 2018.

2차 측정에서 채집한 묘목의 뿌리 영상은 1차 측정에 비해 뿌리가 왕성하게 발달하여 전광과 35% 차광처리구에서는 용기묘의 형태를 갖추었다. 뿌리가 가장 잘 발달된 용기는 1차 측정과 동일하게 전광처리구였으며, 차광수준이 높아질수록 뿌리발달이 저조한 것을 확인할 수 있었다.

토양 내에서 생육하는 뿌리의 체계를 묘사하거나 비교할 때에는 뿌리길이와 직경급별 뿌리분포 비율이 매우 중요한 형질로 고려된다(Bouma 등, 2000). 이에 따라 뿌리는 Winrhizo 프로그램(Wang과 Zhang, 2009)을 활용하여 차광수준에 따른 쉬나무 용기묘 뿌리의 형태적 특성을 분석하였으며, 쉬나무 묘목의 채집 시기별 결과는 Table 3과 같다.

1차 측정의 경우 전체뿌리길이는 2418.3cm, 투영단면적은 103.9cm², 뿌리표면적은 326.3cm², 뿌리평균직경은 0.44mm, 뿌리부피는 3.53cm³로 모두 전광에서 가장 높게 조사되었는데, 특히 전체뿌리길이, 투영단면적, 뿌리표면적, 뿌리부피는 유의적 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그 다음은 전체뿌리길이, 투영단면적, 뿌리표면적, 뿌리평균직경, 뿌리부피 모두 35%, 55%, 75%차광 순으로 값이 낮아져 차광률이 높아질수

록 낮아지는 경향을 보였다.

2차 측정의 경우 전체뿌리길이는 4053.5cm, 투영단면적은 145.8cm², 뿌리표면적은 458.2cm², 뿌리평균직경은 0.36mm, 뿌리부피는 4.13cm³로 모두 전광에서 가장 높게 조사되었다. 그 다음은 전체뿌리길이, 투영단면적, 뿌리표면적, 뿌리평균직경, 뿌리부피 모두 35%, 55%, 75%차광 순으로 값이 낮아져 1차와 동일한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

한편, 1차 측정의 전광처리구는 전체뿌리길이, 투영단면적, 뿌리표면적, 뿌리부피가 차광처리구보다 각각 1.61~6.38배, 1.67~7.22배, 1.67~7.19배, 1.75~8.21배 높았고 2차 측정의 전광처리구는 차광처리구보다 각각 1.32~3.68배, 1.37~3.91배, 1.37~3.91배, 1.42~4.17배 높게 조사되었다. 뿌리평균직경의 경우 1차 측정에서는 0.38~0.44mm, 2차 측정에서는 0.32~0.36mm로 조사되었는데 이는 2차 측정에서 세균이 발달하여 전체뿌리길이가 현저하게 길어진 것과 부합되는 것으로 판단된다.

차광처리에 의한 쉬나무 용기묘의 전체뿌리길이, 투영단면적, 뿌리표면적 및 뿌리부피의 증가는 차광처리에 의해 도출

Table 3. Effects of shading rate on root morphological traits of *T. daniellii* container seedlings.

Sampling	Shading rate (%)	Total root length (cm)	Root project area (cm ²)	Root surface area (cm ²)	Root diameter (mm)	Root volume (cm ³)
Primary measurement	0	2418.3 ± 100.1 ^z A	103.9 ± 6.3 A	326.3 ± 19.8 A	0.44 ± 0.03 A	3.53 ± 0.37 A
	35	1506.2 ± 161.4 B	62.1 ± 7.6 B	194.9 ± 23.8 B	0.42 ± 0.02 A	2.02 ± 0.30 B
	55	1172.0 ± 57.4 C	46.7 ± 5.5 C	146.8 ± 17.4 C	0.40 ± 0.03 A	1.47 ± 0.28 B
	75	377.5 ± 65.9 D	14.4 ± 2.3 D	45.4 ± 7.3 D	0.38 ± 0.02 A	0.43 ± 0.07 C
Secondary measurement	0	4053.5 ± 148.6 a (67.6%) ^y	145.8 ± 9.0 a (40.4%)	458.2 ± 28.4 a (40.4%)	0.36 ± 0.01 a (-17.6%)	4.13 ± 0.38 a (17.2%)
	35	3064.5 ± 282.4 b (103.5%)	106.2 ± 8.1 b (71.2%)	333.7 ± 25.4 b (71.2%)	0.35 ± 0.01 a (-14.8%)	2.91 ± 0.19 b (44.2%)
	55	2333.2 ± 165.5 c (99.1%)	79.6 ± 5.9 c (70.2%)	249.9 ± 18.4 c (70.2%)	0.34 ± 0.01 a (-15.3%)	2.15 ± 0.23 c (45.7%)
	75	1102.7 ± 144.0 d (192.1%)	37.3 ± 4.6 d (158.4%)	117.2 ± 14.5 d (158.4%)	0.34 ± 0.01 a (-11.1%)	0.99 ± 0.12 d (128.4%)

^zMean ± SD (n=6). Different capital (primary measurement) and small (secondary measurement) letters in column indicate significant differences according to Tukey's HSD test (p ≤ 0.05).

^yGrowth rate of the secondary measurement relative to the primary measurement.

된 지하부의 생장과 밀접하게 연결된 것으로 사료된다. 즉, 건강하고 활발한 뿌리생장은 물과 양분의 흡수 능력을 발달시켜 지상부 생장 증가와 묘목의 전체 건물 생산량에도 영향을 주게 되는데, 이러한 건강한 뿌리는 결국 묘목품질 평가의 좋은 지표가 되고 있다(Fox 등, 1990). 따라서 본 뿌리 형태 특성 분석으로 고려하면 전광처리가 가장 효과적인 적용 방안으로 사료된다.

2. 건물생산량 및 T/R율

차광수준에 따른 부위별 및 전체 묘목의 건물생산량을 측정 한 결과, 1차 측정과 2차 측정 모두 전광에서 모든 부위 및 전체 건물생산량이 가장 높았다. 전체적으로 차광수준이 증가함에 따라 건물생산량도 함께 감소하였다. 전체적으로 모든 부위와 전체 건물생산량이 가장 낮은 것은 75% 차광으로 나타났다(Table 4).

Cho 등(2008)은 층층나무, 고로쇠나무, 개벚나무, 박달나무, 물푸레나무를 대상으로 차광실험을 실시한 결과, 층층나무, 개벚나무, 박달나무, 물푸레나무의 경우 차광수준이 높을수록 부위별 및 묘목의 건물생산량이 감소하였지만, 고로쇠나무는 차광에서 건물생산량이 증가한 것으로 보고하여 식물에 따라 최적 생육환경이 다른 것을 알 수 있다.

차광수준에 따른 T/R율 변화를 살펴보면, 1차 측정과 2차 측정에서 75% 차광이 7.70과 2.81로 가장 높게 측정되었으며, 가장 낮은 값은 전광으로 1차 측정시 2.08, 2차 1.35로 조사되었다. 전체적으로 1차 측정보다 2차 측정에서 T/R율이

낮아지는 경향을 보였다.

본 실험의 쉬나무는 차광수준이 증가할수록 T/R율이 높아지는 경향이 나타났는데, 이는 자작나무, 박달나무, 느티나무 등을 대상으로 한 차광실험에서도 차광수준이 증가할수록 T/R율이 높아진다는 선행연구의 경향과 유사한 결과로 조사되었다(Choi 등, 2002).

3. 부위별 건중비 및 묘목품질지수

본 실험에서는 앞서 조사한 각 기관별 건중량을 활용하여 차광수준에 따른 각 기관의 건중비를 구하였다. LWR은 1차 및 2차 측정 모두 75% 차광에서 각각 0.59, 0.48로 가장 높았다. SWR도 LWR과 비슷한 경향을 나타내었는데 RWR의 경우는 전광에서 1차 및 2차 모두 0.33, 0.43으로 가장 높게 조사되었다. 결과적으로 2차 측정에서는 1차 측정에 비해 LWR과 SWR은 감소하였고, RWR은 증가하였다(Table 5).

일반적으로 차광수준이 높아질수록 LWR도 같이 높아지는 것으로 선행연구로 보고되었다(Choi 등, 2002; Cornelissen 등, 1996; Walters 등, 1993). 또한, Cho 등(2008)은 층층나무, 물푸레나무, 개벚나무, 고로쇠나무, 박달나무 등 활엽수 5수종을 대상으로 차광수준을 달리한 실험결과 박달나무의 경우 차광수준이 높아질수록 LWR이 낮아졌으며, 고로쇠나무의 LWR은 고차광 처리구에서 가장 높은 값으로 나타난 것으로 보고하였다. 본 실험의 쉬나무도 고로쇠나무와 같이 가장 고차광인 75% 차광수준에서 LWR이 가장 높게 조사되어 유사한 경향을 보였다.

Table 4. Dry weight (leaves, stem, root and total) and T/R ratio of *T. daniellii* seedlings in container by various shading rate.

Sampling	Shading rate (%)	Dry weights (g)				T/R ratio
		Leaves	Shoot	Root	Total	
Primary measurement	0	1.89 ± 0.09 ^z A	0.94 ± 0.05 A	1.38 ± 0.21 A	4.21 ± 0.22 A	2.08 ± 0.37 C
	35	1.62 ± 0.18 AB	0.81 ± 0.04 AB	0.82 ± 0.04 B	3.24 ± 0.29 B	2.95 ± 0.27 BC
	55	1.30 ± 0.18 B	0.65 ± 0.09 B	0.59 ± 0.06 B	2.55 ± 0.32 C	3.31 ± 0.22 B
	75	0.56 ± 0.15 C	0.28 ± 0.07 C	0.11 ± 0.03 C	0.95 ± 0.25 D	7.70 ± 0.50 A
Secondary measurement	0	2.53 ± 0.17 a (34.2%) ^y	1.27 ± 0.09 a (34.2%)	2.82 ± 0.32 a (103.6%)	6.61 ± 0.57 a (57.0%)	1.35 ± 0.09 b (-35.0%)
	35	1.91 ± 0.03 b (17.3%)	0.95 ± 0.01 b (17.3%)	1.80 ± 0.14 b (119.5%)	4.64 ± 0.12 b (43.1%)	1.59 ± 0.14 b (-46.3%)
	55	1.41 ± 0.03 c (8.1%)	0.78 ± 0.01 c (18.8%)	1.18 ± 0.12 c (100.0%)	3.37 ± 0.15 c (32.1%)	1.86 ± 0.16 b (-43.7%)
	75	0.86 ± 0.07 d (53.6%)	0.45 ± 0.06 d (59.5%)	0.47 ± 0.03 d (324.2%)	1.77 ± 0.13 d (86.7%)	2.81 ± 0.38 a (-63.5%)

^zMean ± SD (n=6). Different capital (primary measurement) and small (secondary measurement) letters in column indicate significant differences according to Tukey's HSD test (p ≤ 0.05).

^yGrowth rate of the secondary measurement relative to the primary measurement.

Table 5. Effects of shading rate on LWR, SWR and RWR of *T. daniellii* container seedlings.

Sampling	Shading rate (%)	LWR	SWR	RWR	QI
Primary measurement	0	0.45 ± 0.02 ^z C	0.22 ± 0.01 C	0.33 ± 0.04 A	0.54 ± 0.05 A
	35	0.50 ± 0.01 B	0.25 ± 0.01 B	0.25 ± 0.02 B	0.35 ± 0.02 B
	55	0.51 ± 0.01 B	0.26 ± 0.01 B	0.23 ± 0.01 B	0.24 ± 0.03 C
	75	0.59 ± 0.01 A	0.29 ± 0.01 A	0.12 ± 0.01 C	0.06 ± 0.02 D
Secondary measurement	0	0.38 ± 0.01 c (-14.5%) ^y	0.19 ± 0.01 b (-14.5%)	0.43 ± 0.02 a (29.8%)	0.98 ± 0.09 a (44.9%)
	35	0.41 ± 0.01 bc (-17.9%)	0.20 ± 0.01 b (-17.9%)	0.39 ± 0.02 ab (52.7%)	0.64 ± 0.03 b (45.3%)
	55	0.42 ± 0.01 b (-18.1%)	0.23 ± 0.01 a (-9.9%)	0.35 ± 0.02 b (50.6%)	0.42 ± 0.03 c (42.9%)
	75	0.48 ± 0.01 a (-17.8%)	0.25 ± 0.02 a (-14.8%)	0.26 ± 0.03 c (129.1%)	0.21 ± 0.01 d (71.4%)

^zMean ± SD (n=6). Different capital (primary measurement) and small (secondary measurement) letters in column indicate significant differences according to Tukey's HSD test (p ≤ 0.05).

^yGrowth rate of the secondary measurement relative to the primary measurement.

차광수준에 따른 QI는 전광 2차 측정에서 0.98로 가장 높게 조사되었고 75%차광에서 1차 측정된 결과 0.06으로 가장 낮게 조사되었다. 차광수준이 높아짐에 따라 QI는 낮아지는 결과를 보였다(Table 5).

가시나무 용기묘를 대상으로 차광수준을 달리하여 실험한 결과 QI가 가장 큰 처리구는 35% 차광수준에서 0.45로 보고하였다(Sung, 2011). 한편, Song(2013)은 굴거리나무 용기묘를 실험한 결과 전광에서 0.56으로 QI가 가장 높게 조사되었다.

4. 엽록소 함량

엽록소는 녹색식물의 잎속에 들어있는 화합물로 태양에너지를 흡수하여 광합성을 통해 식물생장에 필요한 탄수화물을 생산한다. 잎의 엽록소 함량은 묘목의 생리적 상태, 식물체에 흡수된 질소량, 광조건 등에 따라 다양하게 나타난다(Diekmann과 Fischbeck, 2005; Kwon 등, 1996).

SPAD를 이용하여 엽록소 함량을 조사한 결과, 75% 차광수준에서 31.03으로 가장 높았으며, 본 실험에서 차광수준을

다르게 생육된 쉬나무의 경우 차광률이 올라갈수록 높은 엽록소 함량을 보였다(Fig. 2).

이러한 결과는 75% 차광의 높은 차광수준으로 인해 식물에 유입되는 광량이 줄어들어 나타난 결과로 식물이 광합성 효율을 증대시키기 위한 생리적 반응으로 사료되며, 병풍쌈, 산마늘, 곰취, 곤달비도 동일한 경향을 보이는 것으로 나타났다(Evans, 1994; Fitter와 Hay, 1987; Hansen 등, 2002; Kwon 등, 2009; Lee 등, 2012; Viji 등, 1997).

한편, 상록활엽수 4수종(홍가시나무, 금목서, 까마귀쪽나무 및 돈나무)의 전광, 35%, 55%, 75%, 95% 차광수준에 대한 엽록소 함량에 대한 연구결과, 홍가시나무와 금목서는 95% 차광에서 가장 낮은 엽록소 함량이 조사되었지만, 까마귀쪽나무와 돈나무는 전광에서 가장 낮은 함량으로 조사되고 차광이 높아질수록 엽록소 함량이 높아졌다. 이러한 차이는 광환경에 대한 반응이 수종에 따라 서로 다르기 때문으로 판단된다(Choi 등, 2012).

또한, 부족한 광조건에 처한 식물은 광합성 효율을 높이기 위하여 엽록소 함량 증가뿐만 아니라 잎의 크기 확장, 광 포획점 감소, 책상조직과 큐티클 층의 감소와 같은 특징도 나타난다(Weaver와 Clements, 1938).

5. 광합성 반응

각 차광처리 수준에 따른 광합성속도, 기공전도도, 엽육 내 CO₂ 농도 및 증산률, 수분이용효율을 조사한 결과, 광합성속도, 수분이용효율은 전광에서 각각 8.48 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 1.40 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmolm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 로 가장 높은 것으로 조사되었으며 75% 차광에서 가장 낮게 조사되었다. 다른 광합성 특성은 차광별로 차이가 유의하지 않았다(Table 6).

본 실험에서 각 차광처리 내 간장 및 근원경 생장은 차광수준이 높아질수록 낮게 조사되었으며, 건물생산량의 경우도 같은 추세를 보였다. 이것은 전광에서 광합성능력이 높기 때문에 식물의 성장 또한 높아진 것으로 판단되며, 이에 따라 QI

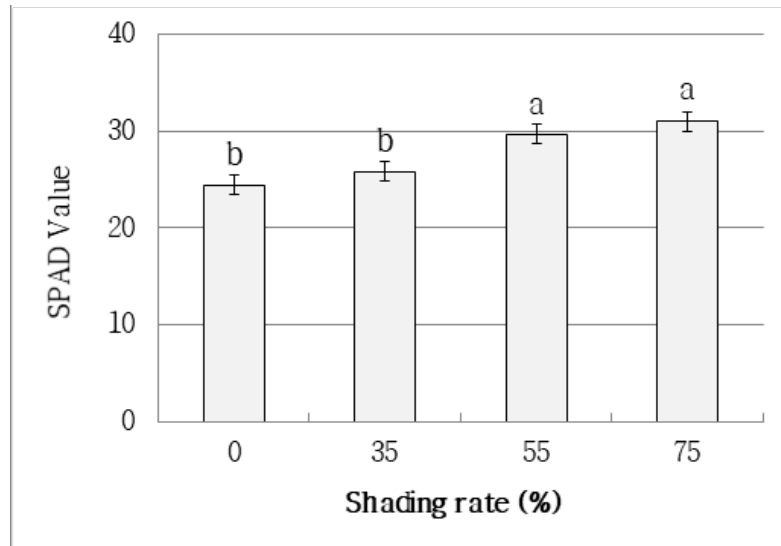


Fig. 2. Effects of shading rate on SPAD of *Tetradium daniellii* container seedlings sampled on September 1, 2018. Different letters above bar indicate significant differences according to Tukey's HSD test ($p \leq 0.05$). Bars indicate SD.

Table 6. Effects of shading rate on photosynthetic response and water use efficiency of *T. daniellii* container seedlings.

Shading rate (%)	Photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Conductance to H ₂ O ($\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Intercellular CO ₂ Concentration ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Water use efficiency ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmolm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$)
0	8.48 \pm 0.98 ^a	0.41 \pm 0.08 a	352.3 \pm 9.6 a	6.19 \pm 0.78 a	1.40 \pm 0.28 a
35	6.36 \pm 0.79 b	0.41 \pm 0.12 a	359.5 \pm 10.8 a	6.11 \pm 1.21 a	1.08 \pm 0.28 ab
55	5.30 \pm 0.54 c	0.41 \pm 0.18 a	363.4 \pm 14.0 a	5.72 \pm 1.05 a	0.97 \pm 0.27 bc
75	4.48 \pm 0.90 c	0.31 \pm 0.09 a	357.6 \pm 13.9 a	6.34 \pm 0.44 a	0.70 \pm 0.11 c

^aMean \pm SD (n=10) and measured on September 1, 2018. Different letters above bar indicate significant differences according to Tukey's HSD test ($p \leq 0.05$).

도 전광에서 가장 높게 조사되었다.

이와 같이 식물의 수중에 따라 광조건이 변화하면서 광합성 속도와 이와 관련된 엽록소 함량도 변하는 것으로 보고되었다 (Choi 등, 1998; Kim 등, 2001; Yoo와 Kim, 1997). 또한 광합성 속도는 기공 개폐와도 연관성이 높기 때문에 광합성속도와 기공전도도는 정의 상관관계에 있다(Faria 등, 1996; Lim 등, 2006). 75% 차광과 같은 강한 차광 조건 역시 본 실험에서 낮은 기공전도도를 보였으며 가장 높게 나타난 전광 더 낮은 광합성속도를 보였다.

한편 내음성이 서로 다른 자작나무, 개벚나무, 함박꽃나무를 대상으로 차광수준을 달리하여 광합성속도를 조사한 결과, 자작나무는 전광에서 가장 높게 조사되었으며, 개벚나무는 고차광(전광의 9~16%)을 제외하고는 비슷했고, 함박꽃나무는 전광의 35~42%에서 광합성속도가 가장 높은 것으로 나타났다(Kim 등, 2010).

적 요

본 연구는 대체에너지, 생태복원 및 밀원식물용 등으로 이 용되어 묘목 수요가 증가되고 있는 쉬나무의 우량한 용기묘 생산을 위한 적정 차광수준을 구명하고자 실시하였다. 공시 용기는 임업시설양묘용 플라스틱 용기(350ml/구)를 사용하였다. 차광수준은 전광과 전광의 35%, 55%, 75%로 처리하였다. 실험결과, 간장과 근원경 생장은 전광에서 현저히 높은 값을 보였으며, 차광수준이 강해질수록 낮은 생장값으로 조사되었다. 묘목의 뿌리형태특성을 측정한 결과 전광에서 뿌리 발달이 가장 왕성하게 조사되었다. 건물생산량도 전광에서 가장 높았고 전체적으로 간장 및 근원경 생장 결과와 유사한 경향으로 나타났다. 묘목의 품질을 나타내는 지수인 QI (Quality Index)도 차광실험의 경우 전광에서 0.98로 가장 높게 조사되었다. 묘목의 엽록소 함량은 상대적으로 차광수준이 가장 높은 75% 차광처리에서 가장 높은 엽록소 함량을 보였으며, 광합성속도 및 수분이용효율은 전광에서 각각 $8.48\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $1.40\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmolm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 가장 높은 것으로 조사되었다. 연구결과를 종합하면, 쉬나무 용기묘의 우량한 묘목생산을 위한 적정 차광수준은 전광(0%)으로 판단되며, 쉬나무 용기묘의 대량생산을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

추가 주제어: 건중량, 묘목품질지수, 생장반응, 시설양묘, 차광처리

Literature Cited

- Bouma, T.J., K.L. Nielsen, and B. Koutstal. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. *Plant and Soil* 218:185-196.
- Cho, M.S., K.W. Kwon, G.N. Kim, and S.Y. Woo. 2008. Chlorophyll Contents and Growth Performances of the Five Deciduous Hardwood Species Growing Under Different Shade Treatments. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 10:149-157 (in Korean).
- Choi, J.H., K.W. Kwon, and J.C. Chung. 2002. Effect of artificial shade treatment on the growth and biomass production of several deciduous tree species. *Journal of Korean Forest Energy* 21:65-75 (in Korean).
- Choi, J.I., J.H. Seon, K.Y. Pack, and T.J. Kim. 1998. Photosynthesis and stomatal conductance of eight foliage plant species as affected by photosynthetic photon flux density and temperature. *Horticultural Science & Technology* 39:197-202 (in Korean).
- Choi, S.M., H.C. Shin, K.S. Lee, E.G. Bae, K.O. Choi, and K.Y. Huh. 2012. Effects of shading rates on growth characteristics and photosynthesis in four broad-leaved evergreen trees. *Journal of Korean Society for People, Plants and Environment* 15:99-106 (in Korean).
- 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. *Journal of Ecology* 84:755-765.
- Diekmann, F and G. Fischbeck. 2005. Differences in wheat cultivar response to nitrogen supply. II : Differences in N-Metabolism-Related traits. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191:362-376.
- Edwards, I.K and R.F. Huber. 1982. Contrasting approaches to containerized seedling production. In: J.B. Scarratt, C. Glerum, and C.A. Plexman (eds.). *Proceedings of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium*. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre, Ontario, Canada. p. 123-127.
- Evans, J.R. 1994. Developmental constraints on photosynthesis: effects of light and nutrition. In : *Photosynthesis and the environment*. Baker, N.R. (ed.). Kluwer Academic Press, Dordrecht. p. 281-304.
- 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* 16:115-124.
- Fitter, A.H. and R.K.M. Hay. 1987. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, San Diego. p. 423.
- Fox, J.E.D., I.K. Surata, and S. Suriamidhardja. 1990. Nursery potting mixture for *Santalum album* L. in Timor. *Mulga Research Centre Journal* 10:38-44.
- Grossnickle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming

- planting stress. *New Forests* 30:273-294.
- Hansen, U., B. Fiedler, and B. Rank. 2002. Variation of pigment composition and antioxidative systems along the canopy light gradient in a mixed beech/oak forest : A comparative study on deciduous tree species differing in shade tolerance. *Trees* 16:354-364.
- Hong, S.G. 1991. Biomass studies of reproductive and vegetative twigs of *Evodia daniellii*. *Forest Bioenergy* 11: 11-17 (in Korean).
- Hong, S.G., K.H. Choi, and S.K. Lee. 1987. Studies on development of fuel substitute for diesel engine with seed oil of *Evodia daniellii* – on the emphasis of fuel properties and heat consumption rates - *Forest Bioenergy* 7:40-48 (in Korean).
- Jang, J.W. 2008. A study on honey plants in korea : the kind of honey plants in korea and around a former scanning electron microscope form structure of the pollen. PhD Thesis. Daegu University. p. 134 (in Korean).
- Kang, D.B. 2016. Effects of shading and fertilization treatment on the growth characteristics of *Chamaecyparis obtusa* seedlings. MS Thesis. Yeungnam University. p. 66 (in Korean).
- Kim, D.E. 1989. Biomass productivity of *Evodia daniellii* seedlings. MS Thesis. Konkuk University. p. 23 (in Korean).
- Kim, G.N., M.S. Cho, and S.W. Lee. 2010. Physiological responses of the three deciduous hardwood seedlings growing under different shade treatment regimes. *Journal of Bio-Environment Control* 19:36-48 (in Korean).
- Kim, P.G., Y.S. Yi, 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. *Journal of Korean Forestry Society* 90:476-487 (in Korean).
- Kim, S.J., C.W. Nam, H.S. Lee, D.L. Yoo, and S.Y. Ryu. 2003. Growth response and flower coloration of cut *Iris* as influenced by different shading levels and planting dates in highlands. *Horticultural Science & Technology* 21:336-340 (in Korean).
- Kim, Y.C. 1986. Effect of inorganic environmental fFactors on the growth of *Pinus koraiensis* seedlings (I) - The influence of shading on the growth of seedlings grown on the seed bed -. *Journal of Korean Forestry Society* 73:43-54 (in Korean).
- Korea Forest Service. 2015. Plant nursery management manual. Korea Forest Service. p. 770 (in Korean).
- Kwon, K.W., G.N. Kim, and M.S. Cho. 2009. Physiological responses of the three wild vegetables under different shading treatment. *Journal of Korean Forest Society* 98:106-114 (in Korean).
- 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).
- Lee, K.C., H.B. Lee, W.G. Park, and S.S. Han. 2012. Physiological Response and Growth Performance of *Parasenecio firmus* under Different Shading Treatments. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 14:79-88 (in Korean).
- Lee, T.B. 1980. Illustrated flora of korea. Hayngmunsa. p. 990 (in Korean).
- Lee, Y.H., and S.G. Hong. 1991. Biomass studies of *Evodia daniellii*. *Forest Bioenergy* 11:1-10 (in Korean).
- 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* 95:705-710 (in Korean).
- Ri, C.U. 1997. The structure of an isolated *Evodia daniellii* community. *J. of Life Science*. 7:24-29 (in Korean).
- Song, K.S. 2013. Annual growth, physiological characteristics and production of *Daphniphyllum macropodum* container seedling. PhD Thesis. Konkuk University. p. 127 (in Korean).
- Song, K.S., H.I. Sung, Y.G. Cha, J.J. Kim. 2011. Growth and physiological responses of 1-year-old containerized seedlings of *Quercus myrsinaefolia* by shading treatment. *Journal of Bio-Environment Control*. 20:373-381 (in Korean).
- Suh, H.M. 2004. Studies on seed treatments of pelletized seeds for direct seeding. PhD Thesis. Konkuk University. p. 85 (in Korean).
- Sung, H.I. 2011. Effects of shading and fertilizing treatment on qualities of 1-year-old container seedlings of *Quercus myrsinaefolia*. PhD Thesis. Konkuk University. p. 113 (in Korean).
- Tanimoto, T. 1975a. Effects of artificial shading on the growth of forest trees. (I). Differences in growth of *Cryptomeria japonica* seedlings in shade during a growing season. *Journal of the Japan Forest Society* 57:407-411.
- Tanimoto, T. 1975b. Effects of artificial shading on the growth of forest trees. (II). Differences in growth of *Pinus densiflora* seedlings during a growing season under shading. *Journal of the Japan Forest Society* 58:155-160.
- Viji, M.M., M. Thangaraj, and M. Jayapragasam. 1997. Effect of low light on photosynthetic pigments, photochemical efficiency and hill reaction in rice(*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 178:193-196.
- Walters, M.B., P.B. Kruger, and P.B. Reich. 1993. Growth, biomass distribution and CO₂ exchange of northern hardwood seedlings in high and low light. : relationships with successional status and shade tolerance. *Oecologia*. 94:7-16.
- Wang, M.B., and Q. Zhang. 2009. Issues in using the WinRHIZO system to determine physical characteristics of plant fine roots. *Acta Ecologica Sinica*. 29:136-138.
- Wang, R.Z. 2001. Photosynthetic, transpiration and water use efficiency of vegetative and reproductive shoots of grassland species from north-eastern China. *Photosynthetica*. 39:136-138.
- Weaver, J.E., and F.E. Clements. 1938. *Plant Ecology*. 2nd

- Edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York. p. 601.
- Woo, B.M., G.S. Jeon, H.T. Choi, and D.H. Jeong. 1995. Studies on rehabilitation progress of vegetation on landslide scars. *Korean Forest Society* 84:31-40 (in Korean).
- Woo, B.M., T.H. Kwon, and N.C. Kim. 1993. Studies on vegetation succession on the slope of the forest road and development of slope revegetation methods. *Journal of Korean Forest Society* 82:381-395 (in Korean).
- Yoo, Y.K., and K.S. Kim. 1997. Effects of shading on the growth in *Hibiscus syriacus* L. *Horticultural Science & Technology* 38:520-526 (in Korean).