

Research Article

Open Access

## 시비 처리에 따른 상록 참나무속 수목의 용기 내 생장 및 생리적 반응

김종진,<sup>1\*</sup> 이승학,<sup>2</sup> 송기선,<sup>3</sup> 전권석,<sup>3</sup> 최진영,<sup>4</sup> 최규성,<sup>4</sup> 이석노,<sup>4</sup> 성환인<sup>5</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 녹지환경계획학과, <sup>2</sup>한국임업진흥원, <sup>3</sup>국립산림과학원 남부산림자원연구소,

<sup>4</sup>건국대학교 대학원 환경과학과 <sup>5</sup>건국대학교 농축대학원 산림조경학과

### Growth and Physiological Responses of Indeciduous *Quercus* L. in Container by Fertilizing Treatment

Jong Jin Kim,<sup>1\*</sup> Seung Hak Lee,<sup>2</sup> Ki Seon Song,<sup>3</sup> Kwon Seok Jeon,<sup>3</sup> Jin Young Choi,<sup>4</sup> Kyu Seong Choi,<sup>4</sup> Seok Noh Lee<sup>4</sup> and Hwan In Sung<sup>5</sup> (<sup>1</sup>Dept. of Environmental Planning, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea, <sup>2</sup>Korea Forestry Promotion Institute, Seoul 121-914, Korea, <sup>3</sup>Southern Forest Resources Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea, <sup>4</sup>Dept. of Environmental Sciences, Graduate School of Konkuk University, Seoul 143-701, Korea, <sup>5</sup>Dept. of Forest and Landscape, Graduate School of Agriculture and Animal Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

Received: 19 August 2014 / Revised: 4 November 2014 / Accepted: 18 December 2014

Copyright © 2014 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### Abstract

**BACKGROUND:** This study was carried out in order to closely examine the influence of fertilization upon growth in container of seedling in indeciduous *Quercus* species (*Q. myrsinaefolia*, *Q. acuta* and *Q. glauca*).

**METHODS AND RESULTS:** Fertilizer level was made by adjusting water soluble compound fertilizer (N:P:K=19:19:19, v/v) to 1000, 2000, 3000 mg · L<sup>-1</sup> level along with non-fertilizing plot. Fertilization increased height, root collar diameter growth, and dry weight in these three species of trees. The more increase in fertilizer level led to the more rise even in growth of these species. H/D ratio and T/R ratio also showed tendency of getting bigger in the more rise in fertilizer level. Photosynthetic rate was shown to get higher in the higher fertilizer level according to fertilization in all the three species. In the analysis of root morphological traits, the total root length was surveyed to

be longer in the more rise in fertilizer concentration. As even a case of root project area, surface area, and root volume is the similar tendency to characteristics in the total root length, a rise depending on fertilization was observed. **CONCLUSION:** In light of the results in this experiment, the fertilizer level is judged to be 2000 mg · L<sup>-1</sup> level that is proper for production of 1-year-old container seedling in indeciduous *Quercus* species with excellent root development and high seedling quality index.

**Key words:** Fertilization level, Indeciduous *Quercus* species, Photosynthetic rate, Root development, Seedling quality index

#### 서론

우리나라에 자생하고 있는 참나무속(*Quercus* L.) 수종은 크게 낙엽 참나무와 상록 참나무로 분류할 수 있다(Lee, 1999; Shin *et al.*, 2006). 낙엽 참나무들은 우리나라에 가장 넓게 분포하고 있는 활엽수종으로 현재에도 상수리나무와 굴 참나무를 중심으로 지속적으로 식재되고 있다. 상록 참나무들

\*교신저자(corresponding author): Jong Jin Kim  
Phone: +82-2-450-3737; Fax: +82-2-444-9877;  
E-mail: jkimm@konkuk.ac.kr

은 난대산림대에 속하는 남해안과 주변 도서지역에 분포하고 있으며 지구온난화에 따른 기후변화로 분포지역이 북상하고 있으며 식재지역도 확대되고 있다. 또한 난대 상록활엽수종들과 함께 상록 참나무들의 생물유전자원, 생태관광자원으로서의 가치가 재평가되고 있으며, 이들 수종의 분포나 생태적 특성에 관한 연구와 함께 훼손된 난대 산림대의 복원에 관한 관심도 증대되고 있다(Oh and Kim, 1996; Park and Oh, 2002; Oh *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2010; Yun *et al.*, 2011).

우리나라에서 참나무속 수종의 식재는 그동안 주로 노지 양묘로 생산된 노지묘를 활용하였으나 근래에 들어서는 시설에서 생산된 용기묘로도 많이 식재되고 있다. 참나무속 수종은 직근성 뿌리를 발달시켜 주근 발달은 뛰어나나 측근 및 세근 발달이 상대적으로 저조한 특성을 갖고 있어, 묘목 식재시 활착률이 저조하며 초기 생장률을 낮게 하는 원인이 되고 있다. 따라서 참나무속 수종의 묘목생산에 있어서 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 노지양묘에서는 생육도중 또는 이식시 단근처리(root pruning)를 통하여 측근과 세근발달 촉진을 도모하고 있다(Harris *et al.*, 1971; Lee *et al.*, 1984; Hipps *et al.*, 1997; Gilman *et al.*, 2002). 시설양묘에서는 용기받침대 위 용기 내에서 생육시키기 때문에 용기 배수구를 빠져나온 뿌리가 공기 중에서 단근(air root pruning)이 되기 때문에 뿌리발달이 양호하게 된다(Yoon and Hong, 2002; Landis, 2005; Gilman *et al.*, 2009).

이처럼 뿌리발달이 양호한 용기묘의 뛰어난 현지 적응성은 잘 알려져 있지만 국내에서 참나무속 수종의 용기묘 생육에 관한 연구(Kwon and Lee, 1994; Kim *et al.*, 2008; Kwon *et al.*, 2009)는 많지 않은 실정이며 특히, 상록 참나무속 수종의 용기묘 관련 연구는 더욱 미미한 실정이다(Song *et al.*, 2011; Sung *et al.*, 2011).

한편, Landis 등(1992; 1995)은 건전한 용기묘를 생산하기 위해 가장 필수적인 요소를 빛, 온도, CO<sub>2</sub>, 수분, 양분, 토양생물 등으로 구분하였다. 이러한 요인 중 양분의 중요성은 일찍부터 강조되어져 왔으며, 용기묘 생산 대상 수종과 규격에 적합한 양분의 조절에 관한 많은 연구가 수행되어 왔다(Hathaway and Whitcomb, 1984; Alexander and Schroeder, 1987; Timmer and Armstrong, 1987). 따라서 어린 묘목의 건전한 생장 및 식재 후 안정적인 활착을 위해 양묘과정에서 수종에 따라 시비 수준을 달리 하여 실시하고 있으며, 그 효과에 관한 연구는 국내외적으로 많이 보고되고 있다(Ingestad, 1979; Phillion and Libby, 1984; Shin *et al.*, 1999; Byun *et al.*, 2007; Kwon *et al.*, 2009; Sung *et al.*, 2011).

따라서 본 연구는 식재가 확대되고 있는 상록 참나무속 수종의 용기 내 생육과정에서 시비처리에 따른 수종별 뿌리 발달 특성을 구명하고자 하였으며, 이를 통하여 수종별 생육환경 조절 기법의 기초자료를 축적하고자 설계되었다.

## 재료 및 방법

### 공시재료

본 연구는 경남 함안군 여항면 소재 건국대학교 난대시설 양묘연구동 비닐온실에서 상록 참나무속 수목인 가시나무(*Quercus myrsinaefolia* BL.), 붉가시나무(*Q. acuta* Thunb.) 및 종가시나무(*Q. glauca* Thunb.)를 대상으로 수행되었다. 사용된 종자는 2010년 10월에 국립산림과학원 남부산림자원연구소에서 전남 완도수목원에서 채집한 종자이다. 채집된 종자는 육안으로 균일하며 건전한 종자를 선별하였으며, 파종 전까지 4°C에서 저장하였다. 사용 용기는 350 ml 플라스틱 트레이 용기(모델 KK-SI 350, 신일사이언스, 한국)이며, 생육상토는 코코피트, 펄라이트, 질석 및 지오라이트가 70:15:10:5 (v/v)로 혼합된 상토(토비테크, 한국)이다.

### 파종 및 시비·관수 처리

공시 수종의 종자는 2011년 4월 20일 상기 생육상토를 담은 공시 용기의 구(cavity)당 1립씩 파종하여 비닐온실 속의 용기받침대 위에 두었다. 시비처리는 발아 후의 각 유묘에서 본잎이 2~3개씩 발생된 6월 3일부터 9월 14일까지 약 14주 동안 수용성 비료인 Multifeed 19(N:P:K, 19:19:19, Haifa Chemical Co., Israel)를 1000, 2000 및 3000 mg · L<sup>-1</sup>으로 조절하여 주 1회 처리하였다. 이 Multifeed 19는 수용성 비료로 N, P, K를 주성분으로 Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B 등의 미량원소가 첨가된 복합비료이다. 본 실험에서 시비처리에 사용된 용기 수는 각 시비처리구 당 용기 6개이었으며, 3 반복으로 실시하였다. 시비 처리량은 대조구 포함 각 농도별 희석액 5 L를 물조리개에 담아 시비 처리구당 6개 용기 유묘의 상부에서부터 실시하였는데, 묘목 1본당 약 35 ml의 희석 양액이 처리되었다. 이를 성분별 농도로 계산하면 1000mg · L<sup>-1</sup> 처리의 경우 주 1회 처리 시 묘목 1본당 N, P, K 각각 6.6 mg이었다. 생육기간동안 관수는 Dan 소형 스프링클러(Naan-Dan Co, Israel)를 설치하여 하향회전살수(105 L · h<sup>-1</sup>) 방식으로 실시하였는데, 파종 후에는 파종상토가 마르지 않을 정도로 관수하였으며 본 잎이 나오고 난 뒤부터는 매일 오전 10시에 20분간 실시하였다. 시비처리 일에는 관수하지 않았으며, 9월 중순부터 10월 중순 사이에는 2~3일에 한번 관수를 실시하였다.

### 실험결과 조사

본 실험에서 비닐온실에서 생육한 묘목의 간장, 근원경을 10월 14일 측정하였으며, 건물생산량은 간장과 근원경 생장을 측정된 후 시료를 채취하여 75°C에서 72시간 건조시킨 다음 측정하였다. 건물생산량은 잎, 줄기 및 뿌리를 구분하여 측정하였다. 시비처리 후 측정된 간장, 근원경, 건물생산량 등의 값을 활용하여 이 처리가 묘목품질지수에 끼친 영향을 분석하고자 H/D(Height/Root collar diameter)율과 T/R(leaf+shoot dry weight/Root dry weight)율을 구했다.

시비수준을 달리하는 조건에서 자라는 묘목들의 광합성

반응측정은 9월 10일 오전 10시부터 12시 사이에 처리구당 각 개체의 상부에 있으며, 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 *et al.*, 2001). 수분이용효율은 광합성률/증산량(Wang, 2001; Lim *et al.*, 2006)으로 계산하였으며, 수분이용효율의 계산에 사용한 광합성률과 증산량은 PPFD 1000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 측정하였다.

시비처리가 용기 내에서 발달하는 뿌리의 영상 및 형태 특성에 어떤 영향을 미치는 가를 분석하고자 하는 조사는 10월 14일에 채집된 묘목을 WinRhizo 프로그램(2008a 버전, Regent Instrument Inc., Canada)을 이용하여 실시되었다. 이 프로그램은 전체 뿌리의 영상 분석(root image analysis)과 함께 전체길이(total root length), 투영단면적(root project area), 표면적(root surface area), 뿌리부피(root volume), 평균직경(root diameter) 등을 측정·분석할 수 있으며, 뿌리가 겹쳐진 상태도 자체 수정하여 분석할 뿐만 아니라 뿌리 직경급별로도 전체길이, 투영단면적, 표면적, 뿌리부피 등을 분석할 수 있다(Arsenault *et al.*, 1995; Bouma 등, 2000; Wang과 Zhang, 2009).

#### 통계 처리

시비수준 처리별 묘목의 생장량, 묘목품질지수 및 광합성 반응에 대한 분석은 SPSS version 18을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 통계적으로 차이가 유의한 경우

Duncan's multiple range test를 실시하여 각 항목 평균값을 비교하였다.

## 결과 및 고찰

### 간장과 근원경 생장

가시나무, 붉가시나무 및 종가시나무 종자는 4월 20일 파종 후 약 3주가 지나면서부터 발아가 시작되어 5주가 되면서 완료되었다. 6월 3일부터 9월 14일까지 약 14주 동안 시비처리를 받은 가시나무, 붉가시나무 및 종가시나무 묘목의 간장과 근원경생장 결과는 Table 1에 있다. 간장과 근원경은 수중에 관계없이 시비처리에 의해 생장이 증가하였으며, 시비수준이 높아질수록 생장이 증가한 것으로 조사되었다. 시비수준의 증가에 따른 간장과 근원경 생장의 증가 결과는 Kwon 등(2009)이 본 실험의 공시수종과 같은 속에 속하는 상수리나무 묘목을 대상으로 한 연구에서도 동일하게 나타났다. 한편 난대 상록활엽수인 굴거리나무를 대상으로 실시한 시비처리 역시 굴거리나무 묘목의 간장과 근원경 생장을 증가시킨 것으로 보고되었다(Song *et al.*, 2014). 한편, 공시 3수종의 간장과 근원경 비교에서 무시비구에서는 붉가시나무의 간장과 근원경이 큰 것으로 조사되었다. 하지만 시비처리에 의해서는 서로 큰 차이는 없었지만 가시나무의 생장이 상대적으로 큰 것으로 조사되었다. 가장 큰 간장과 근원경은 가시나무 3000  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  시비 수준에서 보인 29.8 cm의 간장과 4.54 mm의 근원경으로 조사되었다. 따라서 시비처리에 따라 무시비구에 비해 간장과 근원경생장 증가의 결과를 통해 볼 때, 공시 수종과 같은 상록 참나무류의 묘목생산과정에는 적정 수준의 시비처리가 반드시 필요할 것으로 사료된다.

Table 1. Effect of fertilizing concentrations on height and root collar diameter growth of *Q. myrsinaefolia*, *Q. acuta* and *Q. glauca* container seedlings

Species	Fertilization ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	Height (cm)	Root collar diameter (mm)
<i>Quercus myrsinaefolia</i>	0	13.8±1.1 <sup>zd</sup>	3.37±0.28 <sup>c</sup>
	1000	19.2±1.3 <sup>c</sup>	3.65±0.34 <sup>bc</sup>
	2000	24.8±1.3 <sup>b</sup>	4.15±0.69 <sup>ab</sup>
	3000	29.8±1.4 <sup>a</sup>	4.54±0.31 <sup>a</sup>
<i>Q. acuta</i>	0	15.3±0.8 <sup>c</sup>	3.43±0.74 <sup>b</sup>
	1000	22.2±1.3 <sup>b</sup>	3.73±0.74 <sup>ab</sup>
	2000	27.4±1.0 <sup>a</sup>	4.16±0.33 <sup>a</sup>
	3000	28.0±1.5 <sup>a</sup>	4.13±0.24 <sup>a</sup>
<i>Q. glauca</i>	0	13.2±1.2 <sup>d</sup>	3.03±0.66 <sup>b</sup>
	1000	19.2±1.9 <sup>c</sup>	3.69±0.34 <sup>a</sup>
	2000	23.6±1.6 <sup>b</sup>	3.83±0.63 <sup>a</sup>
	3000	26.7±2.2 <sup>a</sup>	4.12±0.41 <sup>a</sup>

<sup>z</sup>Mean±SD was measured on Oct. 14, 2011. Different letters in species column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test( $p=0.05$ )

### 건물생산량

건물생산량은 묘목의 근원경과 매우 밀접하게 관련되어 있으며, 묘목의 건물량은 근원경과 함께 조림지 식재 후 생존과 생장에 큰 영향을 미치는 요소이다(Switzer and Nelson, 1963; Ritchie, 1984). 시비처리 묘목의 부위별 및 전체 묘목의 건물생산량을 측정된 결과 무시비구의 묘목이 시비처리구 묘목보다 공시 3 수종 모두 잎, 줄기, 뿌리 및 전체 건물생산량 모두 낮은 것으로 조사되었다(Table 2). 시비처리에 따른 건물생산량을 수종별 또 부위별로 시비수준에 대한 반응은 다른 것으로 조사되었다. 가시나무는 모든 부위 및 전체 건물생산량이  $2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 가장 높았으며, 그 다음으로  $3000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 과  $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  순으로 조사되었다. 붉가시나무와 종가시나무의 경우, 붉가시나무  $2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  시비처리의 뿌리 건물생산량을 제외하고는 잎과 줄기, 뿌리 및 전체 건물생산량이  $3000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  시비처리에서 가장 높았다. 이와 같이 붉가시나무 지하부 뿌리의 건물생산량이 높은 것은 이 시비수준에서 붉가시나무의 근원경이 가장 컸던 것(Table 1)과 연관된 결과로 사료된다.

### H/D율과 T/R율

H/D율은 간장을 근원경으로 나눈 값으로, 생산한 묘목이 다부진(stocky) 유형인지 또는 가늘고 약한(spindly) 유형인지 여부를 평가하여 묘목의 건전도를 나타내는 지수이다(Thompson, 1985; Haase, 2007a). 가시나무, 붉가시나무 및 종가시나무 묘목은 무시비구에 비해 시비처리 후 H/D율이 증가된 것으로 조사되었다(Fig. 1). 또한 시비수준이 높아짐에 따라 H/D율도 함께 증가가 이루어졌다. 한편 본 실험에서 H/D율이 가장 높은 묘목은  $3000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  시비처리의 붉가시나무 묘목으로 6.6을 기록하였으며, 가장 낮은 값은 4.1을 기록한 가시나무의 무시비구이었다(Fig. 1). 또 가시나

무의 시비처리구 전체 묘목의 H/D율을 보면 4.1~6.6, 붉가시나무는 6.1~6.8, 종가시나무는 5.2~6.5의 범위를 보였다. Park 등(2010)이 물푸레나무, 들메나무, 잣나무, 전나무를 대상으로 노지에서 N, P, K 비료 처리 후 측정된 H/D율을 보면 시비처리간에는 유의성이 없었으나, 활엽수가 침엽수에 비해 2~3배 높은 값을 보였다. 공시 3 수종의 H/D율 범위는 물푸레나무의 6.1~6.6과 비슷한 범위였으며, 들메나무 3.3~4.0 보다는 높은 것으로 나타났다. 같은 물푸레나무속의 2 수종간의 H/D율의 차이는 물푸레나무의 지상부 생장이 들메나무보다 현저하게 높았던 점으로 해석된다. 이와 같이 수종별로 보인 H/D율의 차이는 시비처리나 관수처리 등과 같이 생육환경 차이 또는 수종별 생장 반응 차이의 결과로 보인다. Roller(1977)는 black spruce 용기묘의 경우 6.0 이상의 H/D율일 때 바람, 건조 및 서리에 노출되었을 때 심각한 피해를 입는 것으로 보고하였다.

한편 T/R율은 묘목에서 증산을 담당하는 지상부와 수분 흡수를 담당하는 지하부 뿌리의 균형을 측정하는 수단으로 고안되어 오랫동안 사용되어 온 묘목품질 평가 지수의 하나이다(Haase, 2007a). 하지만 이 T/R율에 의해 묘목품질을 결정하는데 있어서는 여전히 논란의 여지가 있다(Thompson, 1985). 일반적으로 낮은 T/R율을 가진 묘목의 품질이 좋은 것으로 간주하나 이 경우 정상적인 간장생장이 이루어진 묘목인 경우이다. 시비처리 후 T/R율을 조사한 결과 가시나무의 경우는 시비수준이 증가함에 따라 T/R율이 커진 것으로 조사되었으나 유의성은 없는 것으로 나타났다(Fig. 1). 이와 같은 증가 결과는 충분한 양료 조건에서 활발한 광합성 활동을 통해 지하부 생장도 증가하면서 지상부 생장이 활발해져서 시비구에서 상대적으로 높은 T/R율을 보인 것으로 판단된다. 시비처리에 관계없이 가장 낮은 T/R율은 붉가시나무  $2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  시비처리에서 1.6으로 조사되었는데 이러한

Table 2. Effect of fertilizing concentrations on dry weight of *Q. myrsinaefolia*, *Q. acuta* and *Q. glauca* container seedlings

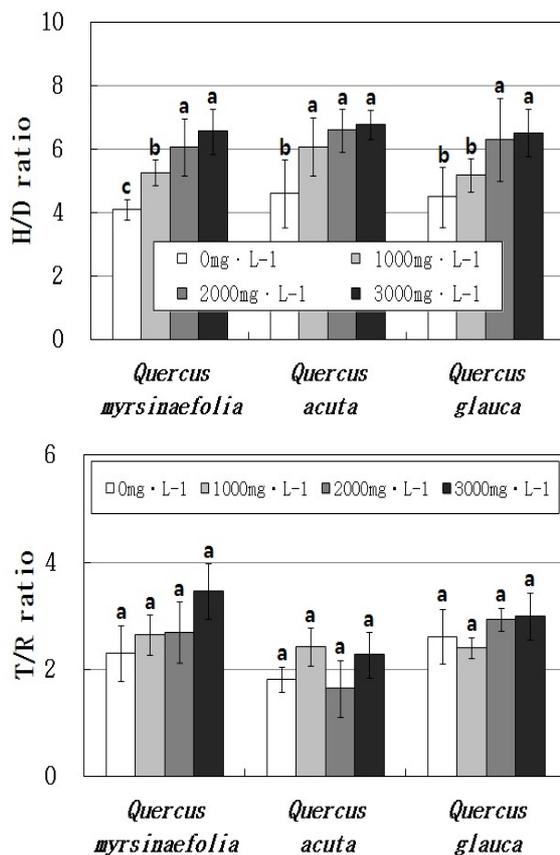
Species	Fertilization ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	Dry weight (g)			
		Leaves	shoot	root	total
<i>Quercus myrsinaefolia</i>	0	0.89±0.18 <sup>ab</sup>	0.35±0.09 <sup>b</sup>	0.58±0.25 <sup>b</sup>	1.81±0.50 <sup>b</sup>
	1000	1.08±0.18 <sup>b</sup>	0.42±0.08 <sup>b</sup>	0.58±0.13 <sup>b</sup>	2.08±0.33 <sup>b</sup>
	2000	2.12±0.73 <sup>a</sup>	0.97±0.31 <sup>a</sup>	1.21±0.46 <sup>a</sup>	4.29±1.24 <sup>a</sup>
	3000	1.98±0.45 <sup>a</sup>	0.86±0.28 <sup>a</sup>	0.97±0.38 <sup>ab</sup>	3.81±0.84 <sup>a</sup>
<i>Q. acuta</i>	0	0.97±0.14 <sup>c</sup>	0.39±0.07 <sup>c</sup>	0.76±0.14 <sup>b</sup>	2.11±0.28 <sup>b</sup>
	1000	1.24±0.31 <sup>bc</sup>	0.61±0.19 <sup>b</sup>	0.78±0.23 <sup>b</sup>	2.64±0.67 <sup>b</sup>
	2000	1.43±0.20 <sup>ab</sup>	0.75±0.19 <sup>b</sup>	1.40±0.35 <sup>a</sup>	3.58±0.36 <sup>a</sup>
	3000	1.62±0.28 <sup>a</sup>	1.07±0.18 <sup>a</sup>	1.21±0.29 <sup>b</sup>	3.89±0.67 <sup>a</sup>
<i>Q. glauca</i>	0	0.99±0.24 <sup>b</sup>	0.38±0.13 <sup>b</sup>	0.56±0.23 <sup>a</sup>	1.94±0.54 <sup>b</sup>
	1000	1.16±0.15 <sup>b</sup>	0.43±0.10 <sup>b</sup>	0.66±0.09 <sup>a</sup>	2.25±0.31 <sup>ab</sup>
	2000	1.39±0.32 <sup>a</sup>	0.62±0.15 <sup>a</sup>	0.69±0.17 <sup>a</sup>	2.70±0.62 <sup>a</sup>
	3000	1.40±0.25 <sup>a</sup>	0.69±0.19 <sup>a</sup>	0.72±0.11 <sup>a</sup>	2.80±0.28 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Mean±SD( $n=6$ ) was measured on Oct. 22, 2011. Different letters in species column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test( $p=0.05$ )

**Table 3. Photosynthetic response of *Q. myrsinaefolia*, *Q. acuta* and *Q. glauca* container seedlings in different fertilizing concentrations**

Species	Fertilization (mg · L <sup>-1</sup> )	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)
<i>Quercus myrsinaefolia</i>	0	3.03±0.71c	0.03±0.01c	229.5±15.6b	0.80±0.23c	3.87±0.52a
	1000	8.85±0.39b	0.12±0.04b	252.3±47.6ab	2.49±0.70b	3.84±1.19a
	2000	10.19±1.02a	0.16±0.04ab	273.3±21.2a	3.12±0.71ab	3.36±0.48a
	3000	10.74±0.55a	0.18±0.02a	285.0±8.3a	3.71±0.23a	2.90±0.11a
<i>Q. acuta</i>	0	2.85±0.81d	0.04±0.01c	260.5±10.2ab	0.86±0.24c	3.32±0.27b
	1000	4.77±0.81c	0.05±0.02c	211.6±33.7c	1.09±0.36c	4.60±0.80a
	2000	7.78±0.64b	0.09±0.01b	238.2±11.6b	1.91±0.06b	4.07±0.031a
	3000	9.67±1.40a	0.14±0.01a	271.3±11.2a	2.96±0.18a	3.25±0.28b
<i>Q. glauca</i>	0	5.75±0.71c	0.06±0.01c	220.8±16.8b	1.34±0.21c	4.34±0.38a
	1000	6.80±2.15b	0.09±0.04b	248.0±24.0ab	1.88±0.80b	3.80±0.56ab
	2000	8.75±0.50a	0.12±0.01a	270.7±5.5a	2.58±0.08a	3.39±0.18b
	3000	9.81±1.72a	0.12±0.04a	242.7±30.6b	2.53±0.69a	3.98±0.48a

<sup>2</sup>Mean±SD(*n*=6) was measured on Sept. 10, 2011. Different letters in species column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(*p*=0.05)



**Fig. 1. Effect of fertilizing concentrations on H/D ratio and T/R ratio of *Q. myrsinaefolia*, *Q. acuta* and *Q. glauca* seedlings. Different letters above bar in species indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(*p*=0.05). Bars indicate SD.**

낮은 값은 지상부에 비해 지하부의 건물생산량이 상대적으로 많았던 것(Table 2)에 기인한 것으로 판단된다. 한편 가장 높

은 T/R율은 3.5를 기록한 가시나무 3000 mg · L<sup>-1</sup> 시비처리구 묘목이었다. Haase(2007a, b)에 따르면, 노지묘의 경우 3.0 또는 약간 낮은 값이 건전한 묘목이며, 용기묘는 그 보다 낮은 2.0 또는 약간 낮은 값이 적정하다고 하였다. 우리나라의 경우에도 T/R율이 2.5~3.0 정도의 범위가 건전한 묘목으로 볼 수 있다(Oh, 1982)하여 다른 나라와 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 공시 3 수종의 시비 처리구 전체 묘목의 T/R율은 가시나무가 2.7~3.5, 붉가시나무가 1.6~2.4, 종가시나무가 2.4~3.0의 범위를 보여 이전 보고와 같이 서로 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

#### 광합성 반응

시비처리에 따른 광합성적 반응의 결과를 보면, 적용된 시비처리 수준 아래에서 가시나무, 붉가시나무 및 종가시나무의 광합성률, 기공전도도, 엽육 내 CO<sub>2</sub> 농도, 증산율, 수분이용 효율 등 생리적인 내부 대사활동을 무시비구에 비해 상대적으로 높게 지속시키고 있음을 알 수 있다(Table 3). 시비처리에 의해 광합성률은 3 수종 모두 무시비구에 비해 높아졌는데, 가시나무의 경우 무시비구의 3.03 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>에 비해 1000 mg · L<sup>-1</sup>, 2000 mg · L<sup>-1</sup> 및 3000 mg · L<sup>-1</sup>에서 각각 8.85 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 10.19 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup> 그리고 10.74 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>로 높은 것으로 조사되었다. 붉가시나무의 경우 무시비구의 2.85 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>에 비해 1000 mg · L<sup>-1</sup>, 2000 mg · L<sup>-1</sup> 및 3000 mg · L<sup>-1</sup>에서 각각 4.77 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 7.78 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup> 그리고 9.67 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>로 높은 것으로 조사되었다. 한편 종가시나무도 위 2 수종과 유사한 경향을 보였는데, 무시비구의 5.75 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>에 비해 1000 mg · L<sup>-1</sup>, 2000 mg · L<sup>-1</sup> 및 3000 mg · L<sup>-1</sup>에서 각각 6.80 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 8.75 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup> 그리고 9.81 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>로 높은 것으로 조사되었다.

한편 광합성률은 기공 개폐와 관련성이 높기 때문에 기공

전도도와 광합성률은 정의 상관관계에 있다(Faria *et al.*, 1996; Lim *et al.*, 2006). 따라서 무시비구에서 낮은 광합성률을 보인 개체들이 낮은 기공전도도를 보이는데 이는 광합성에 필요한 CO<sub>2</sub>의 가스교환이 제한을 받기 때문이고 따라서 낮은 광합성률을 보인 것으로 해석된다. 상록 참나무류를 대상으로 한 본 실험에서처럼 시비처리를 통해 서로 다른 환경에서 묘목을 생육시킨 후 각 개체들이 보이는 광합성 반응 결과는 그 수종의 적정 시비수준을 설정하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 뿌리의 영상

시비처리 후 용기 내에서 생육한 가시나무, 붉가시나무 및 종가시나무 1년생 묘목의 뿌리 영상은 용기의 형태적인 특징과 용기 내에서의 고유의 생육형이 나타난 것을 볼 수 있다 (Fig. 2). 이들 공시수종의 뿌리영상에서 참나무속 수종의 뿌리특성인 굵은 직경의 직근이 발달한 것을 볼 수 있으며 특히, 무시비구 묘목에서 세근발달이 적은 것이 특징적으로 나타난 것을 알 수 있다. 또한 용기 하부의 배수구를 통해 빠져나간 직근의 일부가 공기단근(air-pruning)이 되면서 직근 끝 부분이 가늘어지고 주변에 세근들이 발달하는 것을 볼 수 있다. 그리고 용기 내부에 만들어진 용기선과 개구선을 통해

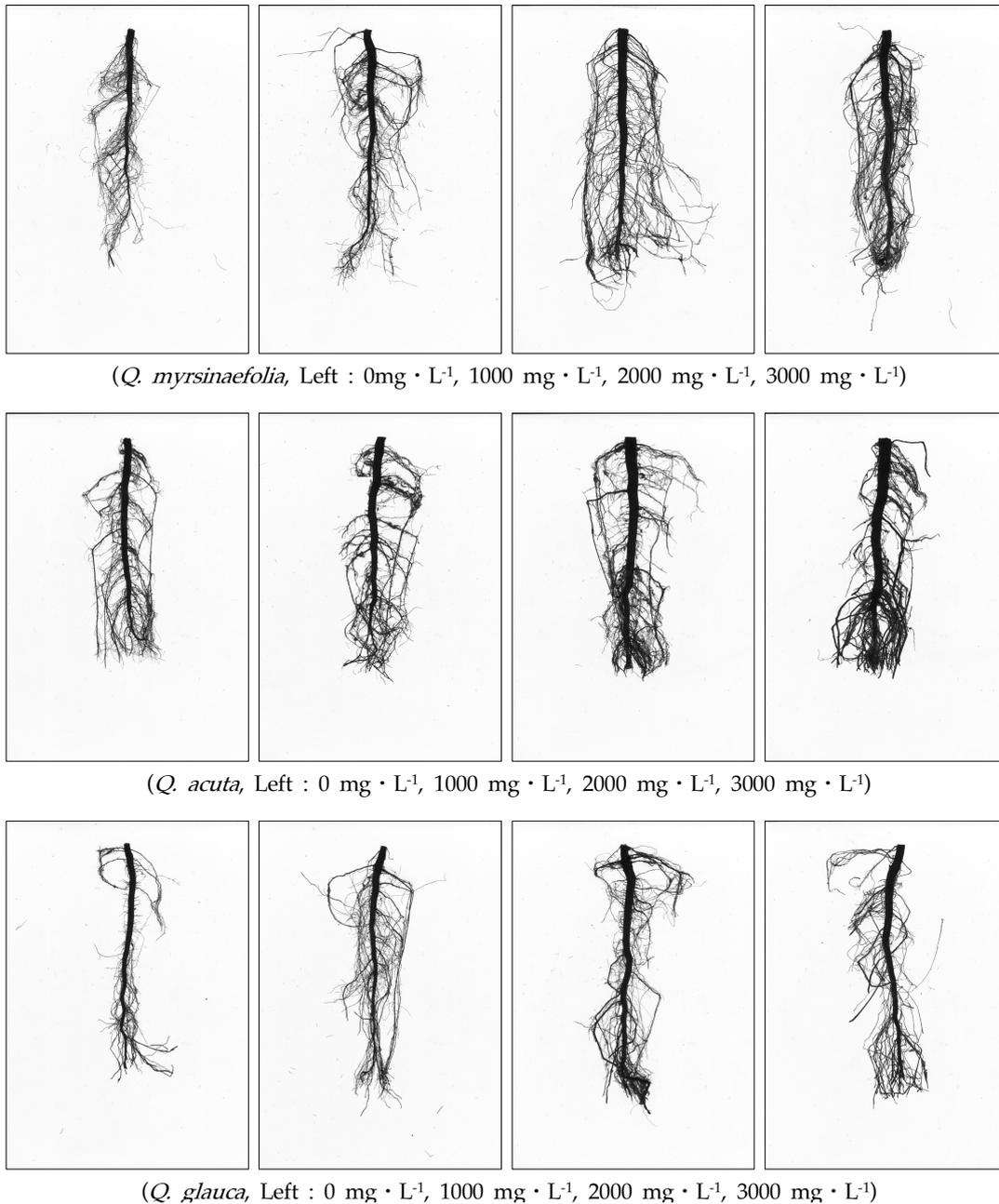


Fig. 2. Root images of *Q. myrsinaefolia*, *Q. acuta* and *Q. glauca* container seedlings by different fertilizing concentrations.

일부 옆으로 굽어져 자라는 나선형 뿌리의 발생이 억제되었음을 알 수 있다. 또한 시비처리 수준별 뿌리 영상을 보면 우선 모든 무시비구에서의 세근의 발달이 시비 처리구에 비해 현저히 적은 것을 알 수 있다.

한편 350 ml 용기 내에서 생육한 공시수종 용기묘 전체 뿌리 생산량을 영상을 통해 보면 아직 전체 용기 용적에 뿌리가 다 채워지지 않은 것을 볼 수 있다. 일반적으로 건전하게 생육한 용기묘의 경우 용기 내에서 자란 뿌리가 생육상토와 견고하게 밀착하여 용기로부터 분리하더라도 분이 깨지지 않을 정도가 된다. 앞에서 언급했듯이 현재 우리나라 상록 참나무류의 용기묘는 같은 용기 내에서 2년을 자란 묘목을 식재하고 있다. 따라서 현재의 뿌리 생육상태에서 1년간의 연속적인 생장이 더 이루어지면 현재의 용기 용적 내에서 충분한 뿌리발달을 통해 충실한 용기묘가 생산될 것으로 사료된다.

특히 영상을 통한 묘목의 뿌리 발달은 2000 mg · L<sup>-1</sup>과 3000 mg · L<sup>-1</sup> 수준의 시비가 적용된 묘목의 세근발달이 뛰어난 것을 볼 수 있다. 따라서 앞으로 상록 참나무류의 용기묘 생산에서 뿌리발달이 뛰어난 묘목생산에는 이러한 조건 정도의 생산체계가 적용되는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

**뿌리 형태 특성 분석**

도양 속에서 생육하는 뿌리체계를 묘사하거나 비교하는데 있어서 뿌리의 길이와 직경 급의 분포 비율은 매우 중요한 형질로 고려될 수 있다(Bouma *et al.*, 2000). WinRhizo 프로그램을 이용한 생장 묘목의 뿌리 형태 특성 분석의 가장 큰 장점은 기존 영상 분석에서 겹쳐지는 부분에 대한 문제점을 해결한 점이다(Wang and Zhang, 2009). 이러한 점을 최대한 고려하여 시비처리 후 가시나무, 붉가시나무 및 종가시나무의 뿌리 형태특성 분석요소별 결과는 Table 4에 있다. 전체적으로 분석 결과를 보면, 수중에 관계없이 모든 분석요소

에서 시비처리구의 값이 무시비구에 비해 높은 것으로 조사되었다. 수종별 무시비구에서의 전체뿌리길이를 보면, 붉가시나무가 1061.9 cm로 가장 길었으며 그 다음으로 가시나무, 종가시나무 순이었다. 이러한 결과는 Table 2에서 볼 수 있듯이 붉가시나무의 무시비구 뿌리 건중량이 같은 무시비구의 다른 2 수중에 비해 높았던 이유에 기인하는 것으로 사료된다. 한편 이 전체뿌리길이는 시비수준이 증가할수록 증가하였는데 가시나무와 종가시나무는 2000 mg · L<sup>-1</sup>에서, 붉가시나무는 1000 mg · L<sup>-1</sup>에서 가장 긴 것으로 조사되었다. 본 실험을 통해 가장 긴 전체뿌리길이는 가시나무 2000 mg · L<sup>-1</sup> 시비수준에서 1363.0 cm이었으며, 그 다음 역시 가시나무로 3000 mg · L<sup>-1</sup> 시비수준에서 1271.8 cm이었다. 이러한 결과로 볼 때 시비가 뿌리생장을 촉진시켰음을 알 수 있다.

한편 투영단면적, 표면적 및 뿌리부피의 경우도 모든 수종의 시비처리구의 값이 무시비구에 비해 높은 것으로 나타났고, 각 수종 내에서 이들 항목이 높게 나타난 시비처리구는 전체뿌리길이의 경우와 유사한 경향을 보였다.

시비처리에 의한 이들 3 수종의 1년생 용기묘의 전체뿌리 길이, 투영단면적, 표면적 및 뿌리부피의 증가는 시비처리에 의해 도출된 생장의 증가(Table 1, 2)와 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 *et al.*, 1990). 따라서 용기묘 생산에서 중요하게 다루어지는 용기 내 뿌리 발달 문제에 있어서 이러한 시비처리의 긍정적인 효과는 상록 침엽수류 용기묘 생산에 적극적으로 적용이 필요한 처리로 판단된다. 본 뿌리 형태 특성 분석으로 고려하면 2000~3000 mg · L<sup>-1</sup> 시비수준이 가장 효과적인 적용 방안으로 사료된다.

**Table 4. Root morphological traits of *Q. myrsinaefolia*, *Q. acuta* and *Q. glauca* container seedlings by different fertilizing concentrations**

Species	Fertilization (mg · L <sup>-1</sup> )	Total root length (cm)	Root project area (cm <sup>2</sup> )	Root surface area (cm <sup>2</sup> )	Root diameter (mm)	Root volume (cm <sup>3</sup> )
<i>Quercus myrsinaefolia</i>	0	873.7±122.8b	21.5±3.1b	67.4±9.1b	0.26±0.06a	0.42±0.09b
	1000	963.0±179.6ab	26.2±4.2b	82.3±12.7b	0.28±0.04a	0.57±0.08b
	2000	1363.0±181.3a	41.9±5.8a	131.5±17.1a	0.31±0.07a	1.05±0.12a
	3000	1271.8±186.5a	38.6±4.0a	121.3±15.2a	0.31±0.05a	0.94±0.14a
<i>Q. acuta</i>	0	1061.9±106.8a	28.1±4.7b	88.4±12.3b	0.27±0.02b	0.59±0.10b
	1000	1092.8±147.5a	26.6±3.6b	83.5±8.8b	0.25±0.04b	0.52±0.10b
	2000	1059.1±140.1a	31.5±3.3ab	99.1±9.9ab	0.31±0.03ab	0.77±0.12b
	3000	1061.4±71.7a	38.2±2.6a	119.9±7.6a	0.37±0.03a	1.11±0.13a
<i>Q. glauca</i>	0	793.7±116.2b	23.0±3.2a	72.1±8.0a	0.29±0.03b	0.53±0.10b
	1000	924.1±155.6ab	25.6±1.6a	80.5±7.3a	0.29±0.05b	0.57±0.08ab
	2000	1046.0±71.5a	29.2±1.7a	91.6±11.6a	0.28±0.03b	0.64±0.08ab
	3000	851.6±133.9ab	28.0±5.3a	88.1±12.2a	0.34±0.05a	0.74±0.09a

<sup>a</sup>Mean±SD(*n*=6) was measured on Oct. 14, 2011. Different letters in species column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(*p*=0.05)

## 요 약

본 연구는 시비처리가 상록 참나무류(가시나무, 붉가시나무 및 증가시나무) 유묘의 용기 내 생장에 미치는 영향을 구명하고자 실시되었으며, 시비수준은 무시비구와 함께 수용성 복합비료(N:P:K=19:19:19, v/v)를 1000, 2000, 3000 mg · L<sup>-1</sup> 수준으로 조절하여 시비하였다. 시비처리는 이들 3 수종의 간장과 근원경 생장 그리고 건물생산량을 증가시켰으며, 시비 수준이 증가할수록 이들 생장도 증가하였다. H/D율과 T/R율도 3 수종 모두 시비수준이 증가할수록 커지는 경향을 보였다. 광합성률은 3 수종 모두 시비처리에 의해 또 시비 수준이 높아질수록 높아진 것으로 나타났다. 뿌리 형태 특성 분석에서, 전체 뿌리길이의 경우 시비농도가 증가할수록 긴 것으로 조사되었다. 투영단면적, 표면적 및 뿌리부피의 경우도 전체 뿌리길이의 특성과 유사한 경향으로 시비처리에 따른 증가가 관찰되었다. 이상과 같은 결과로 볼 때 뿌리발달이 뛰어나며 묘목품질지수가 높은 상록 참나무류의 1년생 용기묘 생산에 적합한 시비수준은 2000 mg · L<sup>-1</sup> 정도인 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

This paper was supported by Konkuk University in 2011.

## References

- Alexander, A., Schroeder, M., 1987. Modern trends in foliar fertilization, *J. Plant Nutrition* 10, 1391-1399.
- Arsenault, J.L., Poulcur, S., Messier, C., Guay, R., 1995. WinRHIZO, a root-measuring system with a unique overlap correction method, *HortScience* 30, 906.
- Bouma, T.J., Nielsen, K.L., Koutstaal, B., 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter, *Plant and Soil* 218, 185-196.
- Byun, J.K., Kim, Y.S., Yi, M.J., Son, Y.H., Kim, C.S., Jeong, J.H., Lee, C.Y., Jeong, Y.H., 2007. Growth response of *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, *Betula platyphylla* var. *japonica* and *Quercus acutissima* seedlings at various levels of fertilization, *J. Korean For. Soc.* 96, 693-698.
- Faria, T., Garcia-Plazaola, J.I., Abadia, A., Cerasoli, S., Pereira, J.S. and Chaves, M.M., 1996. Diurnal changes in photoprotective mechanism in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer, *Tree Physiology* 16, 115-123.
- Fox, J.E.D., Surata, I.K., Suriamidhardja, S. 1990. Nursery potting mixture for *Santalum album* L. in Timor. *Mulga Research Centre Journal* 10, 38-44.
- Gilman, E.F., Harchick, C., Wiese, C., 2009. Pruning roots affects tree quality in container grown oaks, *J. Environ. Hort.* 27, 7-11.
- Gilman, E.F., Stodola, A., Marshall, M.D., 2002. Root pruning but not irrigation in the nursery affects Live Oak root balls and digging survival, *J. Environ. Hort.* 20, 122-126.
- Haase, D.L., 2007. Morphological and physiological evaluation of seedling quality, in: Riley, L.E., Dumroese R.K., Landes, T.D. (Eds), *Proceedings of the conference "Forest and Conservation Nursery Associations- 2006"*, RMRS-P-50, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA, pp. 3-8.
- Haase, D.L., 2008. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation, *Tree Planter's Notes* 52, 24-30.
- Harris, R.W., Davis, W.B., Stice, N.W., Long, D., 1971. Root pruning improves nursery tree quality, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96, 105-108.
- Hathaway, R.D., Whitcomb, C.E., 1984. Nutrition and performance of container-grown Japanese black pine seedlings, *J. Environ. Hort.* 2, 9-12.
- Hipps, N.A., Higgs, K.H., Collard, L.G., 1997. Effects of root wrenching and irrigation rate on the growth and water relations of *Castanea sativa* and *Quercus robur* seedlings in the nursery and after outplanting, *Can. J. For. Res.* 27, 180-188.
- Ingestad, T., 1979. Mineral nutrient requirement of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seedlings, *Physiol. Plant* 45, 373-380.
- Kim, P.G., Yi, Y.S., Chung, D.J., Woo, S.Y., Sung, J.H., Lee, E.J., 2001. Effects of light intensity on photosynthetic activity of shade tolerant and intolerant tree species, *J. Korean For. Soc.* 90, 476-487.
- Kim, S.H., Saung, J.H., Kim, Y.K., Kim, P.K., 2008. Photosynthetic responses of four oak species to changes in light environment, *Kor. J. Agric. Meteorol.* 10, 141-148.
- Kwon, K.W., Lee, J.H., 1994. Growth performances and physiological responses of *Quercus* spp. and *Fraxinus rhynchophylla* subjected to different soil moisture regimes and nutrition levels, *J. Korean For. Soc.* 83, 164-174.
- Kwon, K.W., Cho, M.S., Kim, K.N., Lee, S.W., Jang, K.H., 2009. Photosynthetic characteristics and growth performances of containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* growing at different fertilizing schemes, *J. Korean For. Soc.* 98, 331-338.
- Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E., Barnett, J.P.,

1992. *The Container Tree Nursery Manual, Vol. 3, Atmospheric Environment*, Agriculture Handbook 674. ISBN 0-16-035885-X. USDA Forest Service, Washington DC. pp. 2-138.
- Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1995. *The Container Tree Nursery Manual. Vol. 1. Nursery Planning, Development and Management*, Agriculture handbook 674. ISBN 0-16-045552-9. USDA Forest Service, Washington DC. pp. 102-113.
- Lee, B.S., Yoon, J.K., Lee, M.B., Jeong, Y.H., Park, S.K., Oh, M.Y., Noh, K.H., Kim, D.K., 1984. Findings on proper root pruning methods and its optimum implementing times of the major silvicultural species, *For. Rep. For. Res. Inst. Korea* 31, 31-45.
- Lee, C.B., 1999. *Dendrology*, pp. 148-158, fifth ed. Hyangmoonsa, Korea.
- Lim, J.H., Woo, S.Y., Kwon, M.J., Chun, J.H., Shin, J.H., 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean fir in Mt. Halla, *J. Korean For. Soc.* 95, 705-710.
- Oh, K.K., Choi, S.H., Na, K.T., Kim, S.H., 2004. Monitoring for the restoration of evergreen broad-leaved forest in warm temperate region (II), *Kor. J. Env. Eco.* 17, 316-323.
- Oh, K.K., Kim, Y.S., 1996. Restoration model of evergreen broad-leaved forests in warm temperate region (I) - vegetational structure -, *Kor. J. Env. Eco.* 10, 87-102.
- Oh, M.Y., 1982. Production of sound seedlings and root pruning, *Sanlim* 10, 5-17.
- Park, B.B., Byun, J.K., Kim, W.S., Sung, J.H., 2010. Growth and tissue nutrient responses of *Fraxinus rhynchophylla*, *Fraxinus mandshurica*, *Pinus koraiensis*, and *Abies holophylla* seedlings fertilized with nitrogen, phosphorus, and potassium at nursery culture, *J. Korean For. Soc.* 99, 85-95.
- Park, J.C., Yang, K.C., Jang, D.H., 2010. The movement of evergreen broad-leaved forest zone in the warm temperate region due to climate change in South Korea, *J. Climate Research* 5, 29-41.
- Park, S.G., Oh, K.K., 2002. Conservation status and restoration of the evergreen broad-leaved forests in the warm temperate region, Korea (I) - distribution of the evergreen broad-leaved forests and category of degraded levels -, *Kor. J. Env. Eco.* 16, 309-320.
- Phillion, B.J., Libby, M., 1984. Growth of potted black spruce seedlings at a range of fertilizer levels, *The Plant Propagator* 30, 10-11.
- Ritchie, G.A. 1984. Assessing seedling quality, in: Duryea, M.L., Landis, T.D. (Eds), *Forest Nursery Manual 1 : Production of Bareroot Seedlings*, Martinus Nijhoff Publishers, Netherlands, pp. 243-259.
- Shin, H.C., Park, N.C., Hwang, J.H., 2006. *Warm Temperate Tree Species in Korea*, Korea Forest Research Institute, Korea. pp. 26-37.
- Shin, J.A., Son, Y.H., Hong, S.G., Kim, Y.K., 1999. Effect of N and P fertilization on nutrition use efficiency of *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, and *Betula platyphylla* var. *japonica* seedlings, *Korean J. Environ. Agric.* 18, 304-309.
- Song, K.S., Jeon, K.S., Choi, K.S., Choi, J.Y., Sung, H.I., Kim, J.J., 2014. Growth characteristics of *Daphniphyllum macropodum* seedlings of warm-temperate landscape tree by shading and fertilization treatment: Research on seedling production of *D. macropodum* by container nursery for meteorological disasters, *J. Climate Research* 9, 65-76.
- Song, K.S., Sung, H.I., Cha, Y.G., Kim, J.J., 2011. Growth and physiological responses of 1-year-old containerized seedlings of *Quercus myrsinaefolia* by shading treatment, *J. of Bio-Environment Control* 20, 373-381.
- Sung, H.I., Song, K.S., Cha, Y.G., Kim, J.J., 2011. Characteristics of growth and seedling quality of 1-year-old container seedlings of *Quercus myrsinaefolia* by shading and fertilizing treatment, *J. Korean For. Soc.* 100, 598-608.
- Switzer, G.L., Nelson, L.E., 1963. Effects of nursery fertility and density on seedling characteristics yield, and field performance of loblolly pine (*Pinus taeda* L.), *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27, 461-464.
- Timmer, V.R., Armstrong, G., 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings : comparative plant analyses, *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 51, 1082-1086.
- Wang, R.Z., 2001. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of vegetative and reproductive shoots of grassland species from north-eastern China, *Photosynthetica* 39, 569-573.
- Wang, M.B., Zhang, Q., 2009. Issues in using the WinRHIZO system to determine physical characteristics of plant fine roots, *Acta Ecologica Sinica* 29, 136-138.
- Yoon, T.S., Hong, S.G., 2002. Studies on production of high-quality *Cornus controversa* container seedlings, *J. Kor. For. En.* 21, 28-33.
- Yun, J.H., Kim, J.H., Oh, K.H., Lee, B.Y., 2011. Distributional change and climate condition of warm- temperate evergreen broad-leaved tree in Korea, *Kor. J. Env. Eco.* 25, 47-56.