

용기 종류에 따른 쉬나무 용기묘의 생장 및 묘목품질 특성

성환인¹ · 송기선² · 김종진¹ · 최규성^{1,2*}

¹건국대학교 산림조경학과, ²한국수목원정원관리원

Evaluating the Characteristics of Growth and Seedling Quality of *Tetradium daniellii* (Benn.) T. G. Hartley using Five Different Container Types

Hwan In Sung¹, Ki Seon Song², Jong Jin Kim¹ and Kyu Seong Choi^{1,2*}

¹Department of Forestry and Landscape Architecture, Konkuk University, Seoul 05029, Korea

²Korea Arborea and Gardens Institute, Sejong 30129, Korea

요약: 본 연구는 대체에너지, 생태복원 및 밀원식물용 등으로 이용되어 묘목 수요가 증가되고 있는 쉬나무(*Tetradium daniellii* (Benn.) T. G. Hartley)의 우량한 용기묘 생산을 위한 적정 용기 규격(생육밀도, 용적 등)을 구명하고자 실시하였다. 적정 용기 구명 실험은 쉬나무를 임업시설양묘용 플라스틱 용기 5종(500 ml, 350 ml, 320 ml, 300 ml, 250 ml)을 사용하여 실시하였다. 실험결과, 간장과 근원경 생장은 SI 350 용기에서 현저히 높은 값을 보였으며, 대체적으로 용기 구 용적이 크고 생육밀도가 낮을수록 높은 생장을 나타냈다. 묘목의 뿌리형태특성을 측정된 결과 SI 350 용기에서 뿌리발달이 가장 왕성하게 조사되었다. 건물생산량도 SI 350에서 가장 높았고 전체적으로 간장 및 근원경 생장 결과와 유사한 경향으로 나타났다. 묘목의 품질을 나타내는 지수인 QI(Quality Index)도 SI 350 용기에서 0.97로 가장 높게 조사되었다. 연구결과를 종합하면, 쉬나무 용기묘의 우량한 묘목생산을 위한 적정 용기 종류는 SI 350 용기로 판단된다.

Abstract: There is an increasing demand for *Tetradium daniellii* seedlings due to their uses as alternative energy, for ecological restoration, and as a honey plant. This study was conducted to determine the optimum container for superior seedling production of *T. daniellii*. Experiments were performed using five plastic container types (500, 350, 320, 300, and 250 ml) for forestry facility cultivation. The height and root collar diameter growth of *T. daniellii* seedlings were significantly high in the 350-ml container. High growth appeared primarily in the container with a larger cavity volume and lower growing density. Root development was most active in full sunlight. The maximum dry matter production was observed in the 350-ml container, which was similar to the results of height and root collar diameter growth. QI, an index showing the quality of a seedling, was maximum at 0.97 in the 350-ml container. In conclusion, the 350-ml container is optimum for superior seedling production of *T. daniellii*.

Key words: *Tetradium daniellii*, container seedling, container, dry weight, growth reaction, quality index

서 론

운향과에 속하는 쉬나무(*Tetradium daniellii* (Benn.) T. G. Hartley)는 건조에 대한 내성이 강하며 벼랑이나 경사면과 같은 척박한 곳에서도 식재가 가능한 낙엽활엽소교목이다. 원산지는 한국으로 중부(강화도, 경기도, 강원도 원주 부근)와 북부, 울릉도에도 분포중이며, 중국에도 분


포하고 있다(Lee, 1980; Ri, 1997). 쉬나무의 잎은 마주나며 7~11개의 작은 잎으로 구성되어 있다. 꽃은 7~8월에 피고 길이 4~5 mm로서 흰빛이 돌며 향기가 적고 꽃받침은 짧으며 꽃잎은 길이 3 mm이다. 종자는 삭과로 길이 8 mm로서 10월에 익으며 모양은 타원형이고 색깔은 흑색이다(Lee, 1980).

쉬나무 종자는 기름함량이 높아서 바이오디젤(Biodiesel)로 개발될 가능성이 많아 1970년대에 우리나라 석유 파동 이후 대체에너지로서 연구되었다(Choi et al., 1987; Lee and Hong, 1991). 그리고 암반절개사면 등 제한된 생육환경에 대한 적응성도 높아 생태복원을 위한 연구에도

* Corresponding author

E-mail: cks1987@koagi.or.kr

ORCID

Kyu Seong Choi  https://orcid.org/0000-0002-9975-5117

활용되었다(Woo et al., 1993; 1995). 또한, 최근에는 쉬나무가 밀원량이 풍부한 것으로 알려져 밀원식물로서의 가치 증대에 대한 연구도 진행되었다(Jang, 2008).

이처럼 대체에너지, 생태복원 및 밀원식물용 등 다양한 분야에서 연구되고 있어 향후 묘목 수요가 증가할 것으로 예상되고 있는 쉬나무는 현재 종묘사업 실시요령에서 노지양묘로만 생산하고 있다(Korea Forest Service, 2015). 이에 따라 건전한 묘목을 집약적으로 생산할 수 있는 시설양묘를 통한 쉬나무의 대량생산이 요구되고 있는 실정이다.

시설양묘는 시설을 통해 생육환경을 조절할 수 있어 노지양묘의 고질적인 문제들을 해결하는 효과적인 대안이다(Edwards and 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 용기 종류, 시비 수준, 차광수준 등의 환경조절이 필요하다(Grossnickle, 2005).

특히 용기는 묘목의 형태 및 생리적 특성에 직접적인 영향을 미치기 때문에 수중에 맞게 구 용적 및 생육밀도가 고려된 용기를 사용해야 한다(Landis et al., 1990; Marler and Willis, 1996). 또한 광조건과 적정 양분에 대한 중요성도 강조되어 왔으며, 수중에 따른 최적 환경조건 구명을 위해 많은 연구가 수행되었다(Alexander and Schroeder, 1987; Thompson et al., 1992; Tinus and McDonald, 1979).

한편, 쉬나무에 대한 연구는 노지에 1년생~4년생 묘목을 식재간격을 달리하여(10×10 cm~70×70 cm) 물질생산량을 분석한 연구(Kim, 1989; Lee and Hong, 1991)와 쉬나무의 생식지와 영양지를 구분하여 물질생산량을 분석한 연구(Hong, 1991), 층적처리를 통해 쉬나무 종자의 발아율을 향상 시키는 연구(Suh, 2004) 등이 수행되었으나, 용기묘의 대량생산을 위한 적정 용기에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 대체에너지, 생태복원 및 밀원식물용으로 이용되어 묘목 수요가 증가되고 있는 쉬나무의 우량한 용기묘 생산을 위하여 다양한 용기를 활용한 재배실험을 실시하고 생장특성을 분석하여 적정 용기를 구명하고자 하였으며, 이러한 연구를 통해 쉬나무 용기묘의 대량생산체제 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시수종

본 실험에 사용된 쉬나무(*Tetradium daniellii* (Benn.) T.G. Hartley)는 2017년도에 건국대학교 교내에서 열매를 채집하여 2018년 4월 파종 전까지 건국대학교 산림복원학실험실 내의 5°C 저온저장고에 보관하였다. 종자의 정선은 채집 직후 열매를 통째로 펼쳐두고 자연 건조하였다. 건조된 열매를 막대로 두드려 탈종한 후 눈 크기 1.0 mm인 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

1) 공시용기

‘종묘사업실시요령’(Korea Forest Service, 2015)에는 시설양묘 사업기준 일람표에 활엽수(1-0) 9개 수종의 적정 생육밀도(140~230본/m²)와 구 용적(280~500 ml)에 맞춘 용기가 제시되어 있다(Table 2).

따라서 본 실험에서는 쉬나무 용기묘 생산에 적합한 용기 탐색을 위하여 현재 국내에서 생산되고 있는 임업시설양묘용 플라스틱 용기중 생육밀도(126~320본/m²)와 구 용적(250~500 ml)의 범위에 있는 용기 5종(Shinill Science Inc., Gyeonggi, Korea)을 공시용기로 사용하였다. 공시용기의 규격과 형태는 Table 3 및 Figure 1과 같다.

2) 인공토양

생육상토는 ‘종묘사업실시요령’(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.

3) 시설

용기실험은 서울시 광진구 소재 건국대학교 내 유리온실에서 실시되었다. 이 시설은 상부와 측면의 창문이 개폐되어 환기가 용이하다. 온실 내에는 W160×D3000×H80 cm 크기의 좌우 이동형 철제 용기받침대 3대가 설치되어 있다.

Table 1. The seed characteristics of *Tetradium daniellii* (Korea Forest Service, 2015).

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

Table 2. The standard container types of broadleaf tree for container nursery (Korea Forest Service, 2015).

Species	Year	Cavity volume (ml/cavity)	Seedling density (no./m ²)
<i>Betula costata</i>	1-0	300~360	200~230
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	1-0	300~500	140~230
<i>Zelkova serrata</i>	1-0	300~360	200~230
<i>Quercus rubra</i>	1-0	280~360	200~230
<i>Betula schmidtii</i>	1-0	300~360	200~230
<i>Liriodendron tulipifera</i>	1-0	300~500	140~230
<i>Quercus acutissima</i>	1-0	280~360	200~230
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	1-0	300~360	200~230
<i>Tilia amurensis</i>	1-0	300~360	200~230

Table 3. The five container types used for this experiment.

Container type	Container size (L×W×H, cm)	Cavity per container (no.)	Cavity volume (ml/cavity)	Seedling density (no./m ²)
KK-SI 500	41.0×25.0×16.0	15	500	146
SI 350	44.0×27.0×14.0	15	350	126
KK-SI 320	41.0×27.5×13.0	24	320	213
KCNR-SI 300	43.8×25.0×14.0	28	300	255
KCNR-SI 250	44.5×28.0×14.0	40	250	320

**Figure 1. The five containers used for this experiment.**

3. 파종 및 생육환경 관리

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 용기 종류에 따라 구별로 4립씩 파종하여 KK-SI 500과 SI 350 용기는 용기별 60립, KK-SI

320 용기는 용기별 96립, KCNR-SI 300 용기는 용기별 112립, KCNR-SI 250 용기는 용기별 160립을 파종하였으며, 용기마다 0.5 mm 깊이의 구멍을 내고 각 용기별 6개씩 3반복하여 총 8,784립을 넣은 후 흙을 덮어주었다. 파종 1주 후부터 발아가 시작되었으며, 5월 12일에 본잎이 1~2장 나온 상태의 건전한 유묘를 구당 1본씩 남도록 간인 및 보식하였다.

2) 관수

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

4. 실험결과 조사

1) 간장 및 근원경 조사

쉬나무는 용기 종류별로 생장이 활발한 시기인 8월에 1차 측정을 실시하고 생장이 끝난 시기인 10월에 2차 측정을 실시하였다. 간장과 근원경은 스틸테이프와 디지털 캘리퍼스를 이용해 측정하였으며, 각 용기별로 120본을 측정하였다. 한편, 용기별 가장자리에 위치한 묘목들은 쉽게 건조해져 생장에 영향을 받을 수 있기 때문에 KK-SI 500과 SI 350 용기는 108본, KK-SI 320과 KCNR-SI 300 용기는 144본, KCNR-SI 250 용기는 180본을 측정 제외하였다.

2) 뿌리 형태적 특성 조사

용기 종류에 따른 용기내 뿌리발달 형태 분석은 8월과 10월에 채집된 묘목 각각 6본을 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.

3) 건물생산량 및 묘목품질 조사

건물생산량을 측정하기 위해 간장과 근원경을 측정 후 8월과 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 et al., 1960)를 아래 식으로 구하였다.

- H/D ratio = Height (cm)/Root collar diameter (mm)
- T/R ratio = Top (leaf+shoot) dry weight/Root dry weight

◦ LWR (g·g⁻¹)= Leaf dry weight/Total dry weight

◦ SWR (g·g⁻¹)= Shoot dry weight/Total dry weight

◦ RWR (g·g⁻¹)= Root dry weight/Total dry weight

◦ Quality Index (QI) =

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

5. 실험결과 통계처리

실험결과, 측정된 결과가 통계적으로 유의미한 차이를 보이는지를 검정하기 위한 분석은 SPSS program(version 20, Statistical Package for Social Science, Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 통계적으로 차이가 유의한 경우 Duncan's multiple range test를 실시하여 각 항목 평균값을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 생장 특성

1) 간장 생장, 근원경 생장 및 H/D율

묘목의 생장 특성을 조사하는데 가장 손쉬운 요소는 간장과 근원경으로, 조림지에 식재되는 묘목의 규격을 선정하는 기본요소이다(Thompson, 1985). 쉬나무는 생장속도가 빠른 속성수로서 시기에 따른 용기묘의 생장 및 묘목품질 특성을 분석하기 위해서 생장이 활발하게 이루어지는 8월과 생장이 끝난 시점인 10월에 총 2회에 걸쳐 생장측정을 실시하였다.

용기 종류에 따른 쉬나무 용기묘의 간장과 근원경 생장을 조사한 결과, 1차 측정과 2차 측정 모두 SI 350 용기에서 각각 17.7 cm, 2.79 mm와 19.6 cm, 3.31 mm로 각각 유의적 차이를 보이며 다른 용기 타입보다 현저히 높은 값으로 조사되었다(Table 4). 가장 생장이 저조했던 KCNR-SI 250은 1차 측정 시 간장 12.5 cm, 근원경 2.20 mm, 2차 측정 시 14.8 cm와 2.58 mm로 조사되었다. KK-SI 500를 제외한 나머지 용기에서는 대체적으로 용기의 구 용적이 크고 생육밀도가 낮을수록 높은 생장을 보였다. 다만 구 용적이 크면 클수록 용기묘 생산시 소비되는 상토량이 많기 때문에 KK-SI 500(구 용적 500 ml)보다 가장 묘목 생장 특성이 우수한 SI 350(구 용적 350 ml)용기 활용이 적합하다고 판단된다.

일반적으로 용기묘의 간장과 근원경은 생육밀도가 낮을수록 증가하는 것으로 알려져 있다(Landis et al., 1990).

Table 4. The plant height, root collar diameter and H/D ratio of *T. daniellii* seedlings grown at five different container types in nursery.

Sampling	Container type	Height (cm)	Root-collar diameter (mm)	H/D ratio
Primary measurement	KK-SI 500	15.6±2.2zB	2.61±0.43B	6.1±1.2AB
	SI 350	17.7±3.6A	2.79±0.37A	6.4±1.1A
	KK-SI 320	14.3±3.2C	2.43±0.42C	6.0±1.3AB
	KCNR-SI 300	13.6±2.8C	2.32±0.39CD	6.0±1.3AB
	KCNR-SI 250	12.5±2.3D	2.20±0.33D	5.8±1.2B
Secondary measurement	KK-SI 500	17.8±2.6b	3.10±0.40b	5.8±0.7a
	SI 350	19.6±3.6a	3.31±0.46a	6.0±0.9a
	KK-SI 320	16.8±3.6bc	2.84±0.44c	5.9±1.0a
	KCNR-SI 300	15.9±3.0cd	2.73±0.45cd	5.9±1.1a
	KCNR-SI 250	14.8±2.4d	2.58±0.30d	5.7±0.8a
Sampling	Source	F-value		
		Height	Root-collar diameter	H/D ratio
Primary measurement	Container type	34.85	27.35	2.44
Secondary measurement		26.82	34.63	0.77

^z Mean±SD (n=120). Different capital (primary measurement) and small (secondary measurement) letters in column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test; $p < 0.05$.

소나무 1년생 용기묘를 대상으로 한 용기별 실험결과 265 ml 용적의 용기에서 간장 11 cm로 가장 크게 조사되었으며, 근원경 생장은 98 ml 용적의 용기에서 1.87 mm, 148 ml 용적의 용기에서 1.92 mm로 조사되어 용적과 넓은 생육공간을 가진 용기에서의 생육이 더 좋은 것으로 보고하고 있다(Jun, 2007). 또한, 낙엽송 2년생 용기묘를 대상으로 한 용기실험에서도 간장 및 근원경 생장이 용적이 큰 순서로 좋았는데, 간장의 경우 500 ml 용적의 용기에서 55.9 cm로 가장 높게 조사되었고 근원경 생장도 5.92 mm로 가장 높은 생장을 보였다(Kim et al., 2010).

한편 낙엽활엽수인 자작나무를 대상으로 한 실험에서도 간장 및 근원경의 경우 KK-SI 500 용기와 SI-350 용기를 비교한 결과 SI-350 용기에서 38.6 cm, 3.89 mm로 가장 좋은 생장을 보였으며, KK-SI 500은 29.7 cm, 3.57 mm로 보고되어 본 실험의 쉬나무와 비슷한 경향을 보였다(Lee, 2019). 이러한 결과를 통해 식물을 생육하는데 있어 용기 용적과 생육밀도가 식물의 생장과 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다.

H/D율은 생산된 묘목의 건전도를 나타내는 지수이다(Haase, 2007; Thompson, 1985; Sung, 2011). 일반적으로 H/D율이 높을수록 묘목은 가늘고 약한 형태이며, 낮을수록 묘목은 두껍고 강한 형태를 이루고 있다(Sung, 2011).

H/D율의 1차 측정결과, 간장생장이 활발한 것으로 나타난 SI 350이 6.4로 가장 높았으며 간장생장이 저조한 KCNR-SI 250에서는 5.8로 가장 낮았다. 2차 측정결과는 5.7~6.0의 범위를 보였으나 통계적으로 용기 간 차이는 없었다(Table 4). 본 실험에서 모든 용기의 H/D율은 1차 측정보다 2차 측정 시에 감소한 것으로 조사되었는데, 이를 통해 초기에 근원경 보다 간장이 더 활발히 생장했음을 알 수 있다.

본 실험의 결과인 쉬나무 용기묘의 5.7-6.4의 범위는 다른 수종인 산벚나무 용기묘의 7.9~8.3 범위보다 낮게 조사되었고, 자작나무 용기묘의 8.5~12.5 범위보다도 낮게 조사되었는데 이러한 H/D율의 차이는 수종간 지상부 생장의 차이 때문으로 판단된다(Lee, 2015; Lee, 2019). 한편, H/D율 측정값과 관련하여 활엽수의 경우에는 7.0 이하를 건전한 묘목으로 분류하여 본 실험에 사용된 쉬나무 용기묘의 경우는 전부 건전한 묘목으로 판단된다(Johnson et al., 1996).

2) 뿌리 생장

뿌리는 묘목의 품질을 평가하는데 중요한 지표이며, 원활한 뿌리생장은 묘목의 수분과 양분의 흡수를 증가시켜 지상부의 생장을 촉진시키고 묘목의 전체건물생산량에도 영향을 끼치게 된다(Fox et al., 1990).

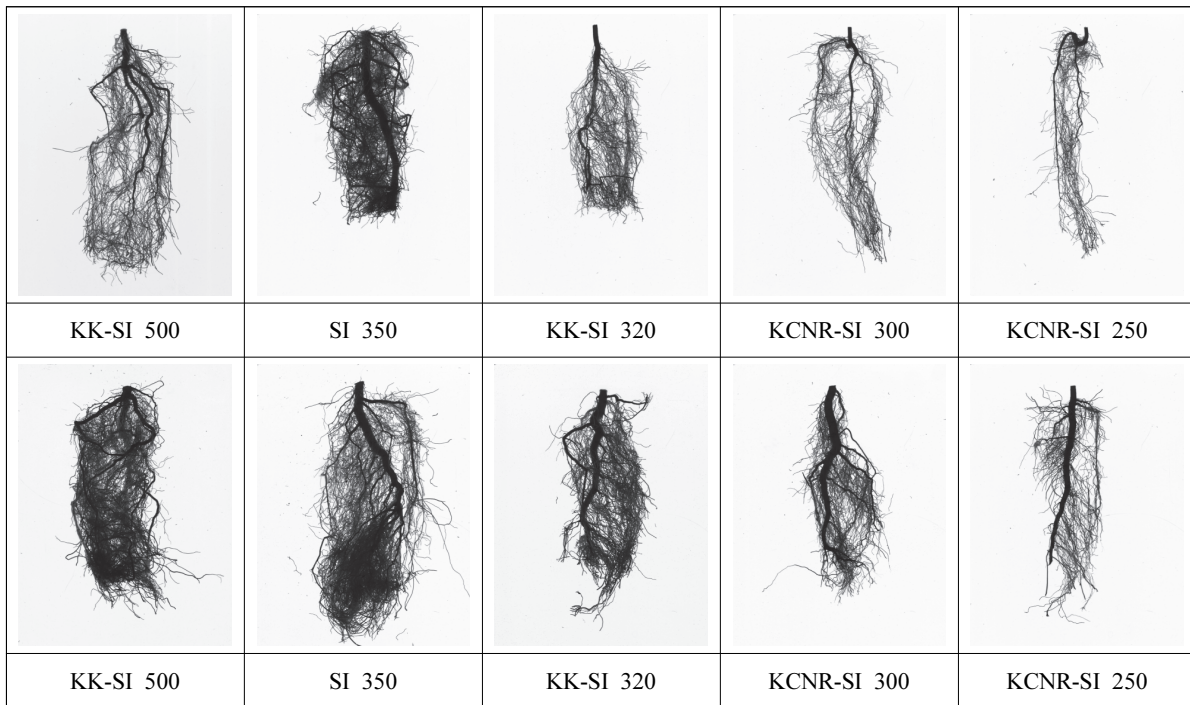


Figure 2. The effects of container types on shading rate on root images (20×25 cm) of *T. daniellii* grown at five different container types in nursery.

5종의 용기에서 생육한 쉬나무 묘목의 뿌리 영상은 묘목채집 시기별로 각각 Figure 2와 같다. 이 영상을 통해 용기의 형태적 특징이 묘목의 뿌리 형태 발달에 어떤 영향을 미치는지 가시적으로 확인할 수 있다.

1차 측정에서 채집한 묘목의 뿌리 발달 상태를 보여준다. 생장이 활발한 시기이지만 뿌리의 발달은 미약하여 영상만으로 용기의 형태를 유추하기 어렵다. SI 350은 뿌리 생육이 가장 좋아 굵은 측근 여러 가닥이 용기 하부까지 발달해있는 반면 KCNR-SI 250은 빈약한 뿌리가 지면 부근에만 뻗어있었다. 이는 용기 형태의 영향보다는 용기 용적에 의한 수분 및 양분 보유량 차이와 생육 밀도에 의한 지상부 경쟁의 영향으로 사료된다.

2차 측정에서 채집한 묘목의 뿌리 영상으로서 1차측정에 비해 뿌리가 왕성하게 발달하여 용기묘의 형태를 갖추었다. 뿌리가 가장 잘 발달된 용기는 1차측정과 동일하게 SI 350이었다.

토양 내에서 생육하는 뿌리의 체계를 묘사하거나 비교할 때에는 뿌리길이나 직경급별 뿌리분포 비율이 매우 중요한 형질로 고려된다(Bouma et al., 2000). 이에 따라 뿌리는 Winrhizo 프로그램(Wang and Zhang, 2009)을 활용하여 용기 종류에 따른 쉬나무 용기묘 뿌리의 형태적 특성을 분석하였으며, 쉬나무 묘목의 채집 시기별 결과는 Table 5와 같다.

1차 측정에서 용기별 전체뿌리길이는 SI 350이 3415.0

cm로 가장 길었으며, 그 다음은 KK-SI 500 2714.2 cm, KK-SI 320 2057.2 cm, KCNR-SI 300 1403.2 cm, KCNR-SI 250 671.5 cm 순으로 나타났다. 투영단면적과 표면적, 뿌리 부피 역시 비슷한 순으로 나타났다. 뿌리평균직경은 0.35~0.40 mm 사이의 값으로 나타나 용기 간 차이가 없었다.

2차 측정에서도 전체뿌리길이는 SI 350에서 4548.1 cm로 가장 길었고, KK-SI 500 3318.5 cm, KK-SI 320 2674.5 cm, KCNR-SI 300 1958.4 cm, KCNR-SI 250 1080.4 cm 순으로 나타났다. 투영단면적과 표면적, 뿌리부피 또한 전체뿌리길이나 유사한 경향을 보였다. 2차 측정에서 뿌리평균직경은 1차 측정보다 증가하여 0.40~0.43 mm 사이의 값을 나타냈다(Table 5). 전체뿌리길이나 투영단면적, 표면적, 뿌리부피의 증가는 앞서 도출된 간장, 근원경, 건물생산량 등의 증가와 유사한 결과를 보였는데, 여러 방면에서 월등히 높은 생장을 보인 SI 350 용기(구 용적 350 ml, 생육밀도 126 no./m²)를 제외하면 구 용적이 크고 생육밀도가 낮을수록 큰 값을 나타냈다.

이러한 결과를 통해 용기 종류에 따른 쉬나무 용기묘의 뿌리발달은 간장, 근원경, 건물생산량 등의 성장과 밀접한 연관이 있음을 알 수 있다. 즉, 뿌리생장이 활발하면 물과 양분을 흡수하는 능력이 발달하여 지상부 성장과 묘목 전체 및 기관별 건물생산량이 증가하기 때문에 뿌리발달은 묘목품질을 평가할 수 있는 좋은 지표이다(Fox et al., 1990).

Table 5. The root morphological traits of *T. daniellii* seedlings grown at five different container types in nursery.

Sampling	Container type	Total root length(cm)	Root projet area(cm ²)	Root surface area(cm ²)	Root diameter (mm)	Root volume (cm ³)
Primary measurement	KK-SI 500	2714.2±115.9 ^Z B	103.4±5.3B	324.8±16.6B	0.38±0.02AB	3.13±0.39B
	SI 350	3415.0±163.8A	128.1±7.2A	402.3±22.7A	0.40±0.04A	3.87±0.47A
	KK-SI 320	2057.2±102.4C	72.7±4.1C	228.3±12.8C	0.35±0.01AB	2.03±0.13C
	KCNR-SI 300	1403.2±108.2D	49.5±2.0D	155.5±6.4D	0.35±0.02B	1.37±0.06D
	KCNR-SI 250	671.5±104.0E	23.3±3.9E	73.1±12.1E	0.35±0.02B	0.63±0.12E
Secondary measurement	KK-SI 500	3318.5±297.5b	132.6±17.6b	416.4±55.4b	0.40±0.02a	4.18±0.76b
	SI 350	4548.1±259.2a	194.2±8.8a	610.0±27.6a	0.43±0.03a	6.56±0.72a
	KK-SI 320	2674.5±384.3c	106.3±14.1c	333.9±44.4c	0.40±0.02a	3.33±0.47bc
	KCNR-SI 300	1958.4±42.4d	81.5±2.0d	256.1±6.4d	0.42±0.01a	2.67±0.13c
	KCNR-SI 250	1080.4±30.3e	41.2±4.7e	129.4±14.9e	0.41±0.04a	1.27±0.26d
Sampling	Source	F-value				
		Total root length	Root projet area	Root surface area	Root diameter	Root volume
Primary measurement	Container type	236.50	224.55	224.77	2.86	64.46
Secondary measurement		85.39	80.32	80.28	0.69	41.32

^Z Mean±SD (n=6). Different capital (primary measurement) and small (secondary measurement) letters in column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

2. 건물생산량 및 T/R율

묘목의 건물생산량은 조림 후 묘목의 생존과 생장에 영향을 미치는 중요한 지표의 하나이다(Bayala et al., 2009; Ritchie, 1984).

용기 종류에 따른 부위별 및 전체 묘목의 건물생산량을 측정한 결과 1차 측정과 2차 측정 모두 SI 350에서 모든 부위 및 전체 건물생산량이 유의적으로 가장 높았다. 전반적으로는 용기에 따른 구 용적이 작고 생육밀도가 증가함에 따라 잎, 줄기, 뿌리 및 전체의 건물생산량이 감소하는 경향을 보이며, KCNR-SI 250이 모든 부위에서 가장 낮은 것으로 조사되었다(Table 6). 이는 상대적으로 높은 밀도에서 생육된 쉬나무에 충분한 광량이 유입되지 못하여 광합성 저하로 인해 잎, 줄기, 뿌리에 분배되는 동화산물이 지속적으로 감소하였기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

1차 측정과 2차 측정을 비교해 보면, 잎과 줄기의 경우 상대적으로 생육밀도가 높은 KK-SI 320, KCNR-SI 300, KCNR-SI 250에서 건물생산량의 증가가 현저히 높게 나타났다. 하지만, 뿌리의 경우에는 건물생산량이 2~4배까지 증가하고 상대적으로 생육밀도가 낮은 KK-SI 500과 SI 350에서도 높게 나타났는데 이는 생육밀도 보다는 용기의 용적의 영향을 받았기 때문으로 사료된다.

T/R율은 묘목의 수분흡수를 담당하는 뿌리(Root) 무게에 대한 증산을 담당하는 지상부(Top) 무게로서 지상부와

지하부의 균형을 측정하는 수단이다(Haase, 2007). 일반적으로는 간장생장이 정상적으로 이루어진 경우 T/R율이 낮을수록 품질이 좋은 묘목으로 간주한다(Sung, 2011).

측정 시기에 따른 T/R율 변화를 살펴보면, 1차 측정 시보다 2차 측정에서 T/R율이 전체적으로 현저하게 낮아졌으며, 용기에 따른 유의적 차이는 보이지 않았다(Table 6). 이러한 결과는 생장 초기에 지상부 생장을 활발히 하여 1차 측정에서 높은 T/R율을 보였다가, 수분과 온도 조건이 불량한 여름 동안에 양분과 수분이용효율을 높이기 위해 지하부를 발달시켜 2차 측정에서는 T/R율이 감소된 것으로 판단된다(Kozłowski et al., 1991).

3. 부위별 건중비 및 묘목품질지수

본 실험에서 용기 종류가 다른 환경에서 생육된 쉬나무 용기묘의 간장, 근원경 및 건물생산량 등의 측정값을 이용하여 LWR(Leaf dry weight ratio), SWR(Shoot dry weight ratio), RWR(Root weight ratio) 및 묘목품질지수 QI(Quality index)를 구하여 용기용적 및 생육밀도가 묘목의 품질에 어떤 영향을 미치는지 비교·분석하는데 사용하였다.

식물은 광합성 기작의 결과로 얻어지는 산물들을 각 부위별로 분배하는데, 부위별 물질의 분배 비율은 LWR, SWR, RWR을 이용하여 나타낸다(Hilbert, 1990). 묘목의 상태가 건전하다면 묘목이 부위별로 적절한 물질을 분배

Table 6. The dry weight (leaves, stem, root and seedling) and T/R ratio of *T. daniellii* seedlings grown at five different container types in nursery.

Sampling	Container type	Dry weights (g)				T/R ratio
		Leaves	Shoot	Root	Seedling	
Primary measurement	KK-SI 500	1.80±0.03 ² B	0.90±0.01B	1.27±0.05B	3.97±0.09B	2.13±0.05A
	SI 350	2.17±0.16A	1.08±0.08A	1.52±0.12A	4.71±0.41A	2.19±0.08A
	KK-SI 320	0.90±0.10C	0.50±0.05C	0.63±0.07C	2.03±0.22C	2.22±0.02A
	KCNR-SI 300	0.74±0.07CD	0.35±0.01D	0.49±0.04D	1.75±0.03C	2.23±0.05A
	KCNR-SI 250	0.60±0.08D	0.25±0.03E	0.39±0.09D	1.24±0.20D	2.23±0.24A
Secondary measurement	KK-SI 500	2.06±0.11b	1.03±0.06a	2.64±0.10b	5.73±0.27b	1.17±0.02a
	SI 350	2.61±0.09a	1.11±0.06a	3.20±0.31a	6.92±0.36a	1.17±0.11a
	KK-SI 350	1.69±0.02c	0.92±0.05b	2.19±0.02c	4.80±0.08c	1.19±0.02a
	KCNR-SI 300	1.51±0.03c	0.72±0.01c	1.88±0.10d	4.11±0.14d	1.19±0.04a
	KCNR-SI 250	1.21±0.18d	0.60±0.09d	1.47±0.08e	3.28±0.35e	1.23±0.12a
F-value						
Sampling	Source	Dry weights				T/R ratio
		Leaves	Shoot	Root	Seedling	
Primary measurement	Container type	172.22	251.39	133.90	171.47	0.59
Secondary measurement		82.02	38.97	56.32	85.82	0.32

² Mean±SD (n=6). Different capital (primary measurement) and small (secondary measurement) letters in column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

Table 7. The effects of container types on LWR, SWR and RWR of *T. daniellii* grown at five different container types in nursery.

Sampling	Container type	LWR	SWR	RWR	QI
Primary measurement	KK-SI 500	0.45±0.01zAB	0.23±0.01BC	0.32±0.01A	0.48±0.01B
	SI 350	0.46±0.01AB	0.23±0.01B	0.32±0.01A	0.55±0.04A
	KK-SI 320	0.44±0.01AB	0.25±0.01A	0.31±0.01AB	0.25±0.03C
	KCNR-SI 300	0.42±0.05B	0.20±0.01D	0.28±0.03B	0.21±0.01C
	KCNR-SI 250	0.48±0.02A	0.21±0.01CD	0.31±0.02A	0.15±0.03D
Secondary measurement	KK-SI 500	0.36±0.01ab	0.18±0.01ab	0.46±0.01a	0.82±0.04b
	SI 350	0.38±0.01a	0.16±0.01c	0.46±0.01a	0.97±0.06a
	KK-SI 320	0.35±0.01b	0.19±0.01a	0.46±0.01a	0.68±0.01c
	KCNR-SI 300	0.37±0.01ab	0.18±0.01bc	0.46±0.01a	0.58±0.02d
	KCNR-SI 250	0.37±0.02ab	0.18±0.01ab	0.45±0.02a	0.47±0.04e
F-value					
Sampling	Source	LWR	SWR	RWR	QI
Primary measurement	Container type	2.62	12.35	2.99	138.31
Secondary measurement		2.62	7.67	0.40	79.57

^z Mean±SD (n=6). Different capital (primary measurement) and small (secondary measurement) letters in column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

한다고 보고되었다(Quoreshi and Timmer, 2000).

1차 측정에서 LWR은 KCNR-SI 250에서 0.48로 가장 높았고, KCNR-SI 300에서 0.42로 가장 낮게 조사되었다. SWR은 KK-SI 320에서 0.25로 가장 높게 조사되었고, KCNR-SI 300에서 0.20으로 가장 낮게 조사되었다. RWR은 KK-SI 500과 SI 350에서 0.32로 가장 높게 조사되었고, KCNR-SI 300에서 0.28로 가장 낮게 조사되었다(Table 7). 전체적으로 LWR이 제일 높게 측정되었으며 그 다음은 RWR이었고 SWR이 제일 낮은 값으로 조사되었다.

2차 측정에서는 1차 측정보다 LWR이 감소하여 SI 350에서 0.38, KCNR-SI 300과 KCNR-SI 250에서 0.37, KK-SI 500에서 0.36, 그리고 KK-SI 320에서 0.35로 조사되었다. SWR도 감소하여 KK-SI 320에서 0.19, KK-SI 500과 KCNR-SI 300, KCNR-SI 250에서 0.18, 그리고 SI 350에서 0.16으로 LWR보다 낮은 값을 보였다. RWR은 증가하여 KK-SI 500과 SI 350, KK-SI 320와 KCNR-SI 300에서 0.46, 그리고 KCNR-SI 250에서 0.45으로 나타났다(Table 7).

결과적으로 2차 측정에서는 1차 측정에 비해 LWR과 SWR이 줄어들고 RWR이 증가한 것으로 보아 1차 측정이 후 뿌리발달이 촉진된 것으로 보인다. 다만 1차 측정과 2차 측정결과를 통계적으로 분석한 결과 LWR과 RWR 측정값은 구 용적과 생육밀도의 차이에 따른 유의적 차이가 없었으며, SWR 측정값은 통계적으로 유의적 차이는 있었으나 일정한 경향을 보이지 않았다.

QI(Quality Index)는 H/D율과 T/R율을 고려해 구한 묘목 품질지수이기 때문에 묘목이 정상적으로 성장하였다는 가정 하에 높을수록 건전한 묘목으로 평가받는다(Bayala et al., 2009; Mattsson, 1996; Thompson, 1985). 용기 종류에 따른 QI는 Table 7과 같다. SI 350에서 0.97로 가장 높은 값을 보였고, KCNR-250에서 0.47로 가장 낮은 값을 나타냈다.

용기의 구 용적이 크고 생육밀도가 낮을수록 묘목품질 지수가 높은 경향을 보였으나 이는 무조건적으로 묘목품질이 우수함을 나타내지는 않는다(Cho et al., 2012). 지상부와 지하부의 생장이 균형적이고, 생리 및 형태적 생장이 좋은 상태에서 낮은 H/D율과 낮은 T/R율을 보여야 건전한 묘목으로 평가받을 수 있다(Bayala et al., 2009).

결론

본 연구는 다양한 분야에서 묘목 수요가 증가되고 있는 쉬나무의 효율적인 용기묘 생산을 위하여 5종류의 용기에 따른 성장특성을 조사하여 적정 용기규격을 구명하고자 수행하였다. 용기에 따른 간장과 근원경 생장을 조사한 결과 SI 350 용기에서 간장 및 근원경의 생장이 좋았으며,

대체적으로 용기 구 용적이 크고 생육밀도가 낮을수록 높은 생장을 나타냈다. 그 이유는 본 실험의 쉬나무는 잎이 7~11개의 소엽을 지닌 복엽으로 구성된 활엽수이기 때문에 초기 지상부 생육에서 잎이 차지하는 부분이 상당히 넓어 큰 구 용적과 작은 생육밀도에서 높은 생장 값을 보이는 것으로 판단되었다. 용기 종류에 따른 쉬나무 용기묘의 H/D율은 간장생장이 활발한 SI 350이 6.4로 가장 높았으나 생육기간이 길어지면서 용기별 차이는 사라졌다. 생육기간이 길어지면서 초기에는 간장생장이 높았으나 점차 근원경 생장이 더 높아지면서 전체적으로 H/D율이 감소하여 용기별 차이가 줄어든 것으로 보인다. 쉬나무 묘목의 뿌리 형태 특성을 분석한 결과 용기에서는 전체뿌리길이 SI 350 용기에서 4548.1 cm로 현저히 높은 값을 보였다. 이는 처리구별로 각각 뿌리의 건물생산량이 높았기 때문에 전체 뿌리의 길이도 같이 증가한 것으로 판단된다. 연구결과를 종합하여 정리하면, 쉬나무의 적정 용기규격은 구 용적 350 ml, 생육밀도 126 no./m²인 플라스틱 트레이 용기(SI 350)이며, 가장 품질이 우수한 쉬나무 용기묘 대량생산이 가능할 것으로 판단된다. 본 실험의 결과가 쉬나무 전용 용기개발의 기초자료로 활용되어 앞으로 증가할 것으로 예상되는 쉬나무 수요를 충족시킬 수 있는 대량생산 기술이 정립되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원)의 ‘산림융복합 전문인력 양성사업(FTIS2021331D10-2123-AA01)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Alexander, A. and Schroeder, M. 1987. Modern trends in foliar fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 9(16): 1391-1399.
- Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Quedraogo, S.J. and Sanon, K. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. *New Forests* 38(3): 309-322.
- Bouma, T.J., Nielsen, K.L. and Koutstal, B. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. *Plant and Soil* 218(1): 185-196.
- Cho, M.S., Lee, S.W., Hwang, J.G. and Kim, S.K. 2012. Growth Performances of Container Seedlings of Deciduous Hardwood Plantation Species Grown at Different Container Types. *Journal of Korean Forestry Society* 101(2): 324-332.

- Choi, K.H., Hong, S.G., Lee, Y.H., Lee, S.K. and Shin, S.G. 1987. Studies on Development of Fuel Substitute for Diesel Engine with Seed Oil of *Evodia daniellii*. *Journal of Korea Forestry Energy* 7(1): 28-36.
- Dickson, A., Leaf, A.L. and Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36(1): 10-13.
- Edwards, I.K. and Huber, R.F. 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. pp. 123-127.
- Fox, J.E.D., Surata, I.K. and Suriamidhardja, S. 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(2): 273-294.
- Haase, D. 2007. Morphological and physiological evaluation of seedling quality. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-50*. pp. 3-8.
- Hilbert, D.W. 1990. Optimization of plant root: shoot ratios and internal nitrogen concentration. *Annals of Botany* 66(1): 91-99.
- Hong, S.G. 1991. Biomass studies of reproductive and vegetative twigs of *Evodia daniellii*. *Forest Bioenergy* 11: 11-17.
- 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). (Dissertation). Daegu. Department of Natural Resources, Daegu University.
- Johnson, F., Paterson, J., Leeder, G., Pinto, F. and Watson, S. 1996. Artificial regeneration of Ontario's forest: species and stock selection manual. *Forest Research Information Paper No. 131*. Ontario Ministry of Natural Resources, Ontario Forest Research Institute, Toronto, Canada. pp. 52.
- Jun, B.Y. 2007. Study on growth characteristics of *Pinus densiflora* container seedlings by container types. (Dissertation). Graduate School of Agriculture and Animal Science, Konkuk University.
- Korea Forest Service. 2015. Plant nursery management manual. Korea Forest Service. pp. 77.
- Kim, D.E. 1989. Biomass productivity of *Evodia daniellii* seedlings. (Dissertation). Graduate School of Agriculture and Animal Science, Konkuk University.
- Kim, J.J., Lee, K.J., Song, K.S., Cha, Y.G., Chung, Y.S., Lee, J.H. and Yoon, T.S. 2010. Exploration of optimum container for production of *Larix leptolepis* container seedlings. *Journal of Korean Society of Forest Science* 99(4): 638-644.
- Kozłowski, T.T., Kramer, P.J. and Pallardy, S.G. 1991. *The Physiology of Woody Plants*. Academic Press Incorporated. Toronto, Canada. pp. 657.
- Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1990. *The Container Tree Nursery Manual Vol. 2. Containers and Growing Media*, Agriculture Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC, U.S.A. pp. 88.
- Lee, H.N. 2019. Growth Characteristics of One-year-old Container Seedlings of *Betula platyphylla* var. *japonica* by Container Types. (Dissertation). Graduate School of Agriculture and Animal Science, Konkuk University.
- Lee, J.H. 2015. A study on connection nursery system of *Prunus sargentii* and *Zelkova serrata*. (Dissertation). Graduate School of Agriculture and Animal Science, Konkuk University.
- Lee, T.B. 1980. *Illustrated flora of Korea*. Hayngmunsa. pp. 990.
- Lee, Y.H. and Hong, S.G. 1991. Biomass studies of *Evodia daniellii*. *Forest Bioenergy* 11: 1-10.
- Marler, T.E. and Wilis, D. 1996. Chemical or air root-pruning containers improve carambola, longan and mango seedling root morphology and initial root growth after transplanting. *Journal Environmental Horticulture* 14: 47-49.
- Mattsson, A. 1996. Prediction field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13: 223-248.
- Quoreshi, A.M. and Timmer, V.R. 2000. Early outplanting performance of nutrient-loaded containerized black spruce seedlings inoculated with *laccaria bicolor* : a bioassay study. *Canadian Journal of Forest Research* 30(5): 744-752.
- Ri, C.U. 1997. The structure of an isolated *Evodia daniellii* community. *Journal of Life Science* 7: 24-29.
- Ritchie, G.A. 1984. Root growth potential, principles, procedures, and predictive ability. In: Duryea, M.L. *Proceedings, Evaluating seedling quality, principles, proceedings, and predictive abilities of major tests*. Forest Research Laboratory. Oregon State University, Corvallis. pp. 243-259.
- Suh, H.M. 2004. Studies on seed treatments of pelletized seeds for direct seeding. (Dissertation). Graduate School of Agriculture and Animal Science, Konkuk University.
- Sung, H.I. 2011. Effects of shading and fertilizing treatment on qualities of 1-year-old container seedlings of *Quercus myrsinaefolia*. (Dissertation). Graduate School of Agriculture and Animal Science, Konkuk University.

- Tinus, R.W. and McDonald, S.E. 1979. How to grow tree seedlings in containers in green houses. Vol. 60 of Generaltechnical report RM, Rocky Mountain Forest and RangeExperiment Station, USDA Forest Service. Washington, DC, U.S.A. pp. 256.
- 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.). Forest Research Lab., Oregon State University Corvallis. pp. 59-71.
- Thompson, W.A., Kriedemann, P.E. and Craig, I.E. 1992. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rain forest tree. I. Growth, leaf anatomy and nutrient content. Australian Journal Plant Physiology 19: 19-42.
- Woo, B.M., Jeon, G.S., Choi, H.T. and Jeong, D.H. 1995. Studies on rehabilitation progress of vegetation on landslide scars. Korean Forest Society 84: 31-40.
- Woo, B.M., Kwon, T.H. and Kim, N.C. 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.
- Wang, M.B. and Zhang, Q. 2009. Issues in using the WinRHIZO system to determine physical characteristics of plant fine roots. Acta Ecologica Sinica 29: 136-138.

Manuscript Received : January 26, 2022

First Revision : May 14, 2022

Second Revision : August 13, 2022

Third Revision : September 14, 2022

Accepted : September 15, 2022