

구상나무 4년생 용기묘의 생육에 미치는 배양토의 영향

정운종* · 김태운** · 타미랏 솔로몬** · 문현식****

*경남도청 회계과 주무관, **경상대학교 산림자원학과 박사과정학생, ***경상대학교 산림자원학과 교수

Effect of Bed Soil on Growth Characteristics of 4-year-old *Abies koreana* Container Seedling

Jeong, Woon-Jong* · Kim, Tae-Woon** · Tamirat Solomon** and Moon, Hyun-Shik****

*Accounting Division, Gyeongsangnam-do Province, Changwon, Korea

**Ph.D. Student, Dept. of Forest Res., Gyeongsang National Univ., Jinju, Korea

***Professor, Dept. of Forest Res. (Insti. Agric. Life Sci.), Gyeongsang National Univ., Jinju, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effects of bed soil on growth characteristics of 4-year-old *Abies koreana* container seedlings, in order to establish a production system for *A. koreana*. The distribution and population of *A. koreana* in South Korea are decreasing due to the effects of climate change. In this study, container seedlings of *A. koreana* grown in bed soil A (Agricultural bed soil) and HA (Horticultural + Agricultural bed soil) were found to have good height, root diameter, and crown width, and the H (Height)/D (Diameter) ratio of the container seedlings was found to be in the range of 2.8 to 3.6. Total dry weight was also highest in bed soil A and HA. T (Top)/R (Root) ratio was in the range of 2.18 to 3.75. Seedling quality index and total biomass were significantly higher in bed soils A and HA, which were treated with the lowest water content of any of the bed soils. In bed soils HA and A, the root development of the container seedlings such as the total length, total surface area, and total project area were found to be excellent. The growth of the above and root, and dry weight by organs of *A. koreana* container seedlings indicated that the best bed soils were A and HA, which had relatively low moisture content.

Key words: Bed Soil, Seedling Quality Index, Root Morphology, *Abies koreana*, Container Seedling

1. 서 론

구상나무 (*Abies koreana*)는 전나무과에 속하는 우리나라 특산수종으로 한라산, 지리산, 덕유산, 가야산의 해발 1,000 m 이상인 곳에 자생하고 있으며, 기후변화의 영향으로 개체군이 줄어들어 2011년 IUCN은 구상나무를 멸종 위기종으로 지정하였다 (IUCN, 2011). 우리나라의 주된 자생지인 한라산과 지리산에서 겨울철의 고온과 수분 스트레스 등으로 급격한 쇠퇴가 관찰되고 있으나, 치수 발생량이 빈약하여 구상나무림 유지뿐만 아니라 전멸을 인위적으로 억제할 수는 없을

것으로 예상되고 있다 (An *et al.*, 2019). 구상나무 유묘와 치수가 한라산에서는 평활하고 토양수분이 습한 곳 (Lee, 2017) 과 제주조릿대를 포함한 하층식생의 피도가 낮은 곳 (Song *et al.*, 2014)에 많이 발생하며, 지리산에서는 미역줄나무와 조릿대의 출현도가 낮은 곳 (Kim *et al.*, 2018)과 토양수분 함량이 많은 곳 (Noh *et al.*, 2018)에서 구상나무의 치수 발생량이 많은 것으로 보고되고 있다. 특히 Noh *et al.* (2018)은 지리산 세석지역은 다른 구상나무 자생지와는 달리 향후 구상나무림으로의 유지가 가능할 것이라고 추측하였는데, 이는 토양수분 함량이 비교적 높기 때문이라고 보고한 바 있다. 한편, An

† **Corresponding author:** hsmoon@gnu.ac.kr (College of Agriculture and Life Science, 501 Jinjudae-ro, Jinju 52828, Korea, Tel. +82-55-772-1855)

ORCID 정운종 0000-0002-5391-3757 타미랏 솔로몬 0000-0001-8513-2405
김태운 0000-0002-5392-742x 문현식 0000-0001-9702-6570

et al. (2019)은 토양수분 과다가 한라산 구상나무의 고사 원인일 수 있다는 상반된 연구결과를 제시하기도 하였다. 이러한 연구결과들은 향후 구상나무 현지 복원 시 귀중한 정보로 활용될 수 있기 때문에 자생지별 치수 발생량과 생육환경 등에 대한 모니터링이 이루어져야 한다. Jeju Special Self-Governing Province World Heritage Office (2019)는 2017년 구상나무 쇠퇴지인 한라산 영실과 선작지왓 일대에 구상나무 묘목 3,000본을 식재하였는데 현재 약 90% 수준의 생존율을 보이고 있으며, 2019년 7월 한라산 사제비동산 일대에 8년생 구상나무 묘목 1천본을 시험식재한 후 생육상황을 모니터링 하고 있다.

이와 같이 구상나무 현지 복원과 유전자 보전을 위해 자생지에서 채집된 종자를 이용하여 실생묘를 양성하고 이를 산지에 식재하기 위해서는 용기묘 중심의 양묘체계가 무엇보다 중요하다. 용기묘는 생산과정에서 효율성과 경제성이 확인되었을 뿐만 아니라 조림지에서의 높은 활착률과 생존력이 확인되어 (Dumroese, 2013; Jackson et al., 2007; Song et al., 2012), 최근에는 용기묘를 중심으로 하는 시설양묘로 전환되고 있다. 소나무, 편백, 유용 활엽수종 등에 대해서는 용기, 관수, 시비처리 등과 관련된 스마트 양묘 시스템은 구축되어 있으나 (Cho et al., 2012; Cho et al., 2014; Cha et al., 2017), 배양토의 영향에 대해서는 Lee et al. (2006)의 연구를 제외하면 관련 정보가 아주 부족한 실정이다. 특히 배양토가 식물생육에 미치는 영향을 분석한 연구는 대부분 과채류 및 엽채류 (Choi et al., 2010; Byun et al., 2012; Park et al., 2019)를 대상으로 많이 이루어졌는데, 이들 연구를 바탕으로 배양토 배합에 대해서는 보다 다양한 연구가 가능하다. 하지만, 임목에 대해서는 일부 수종에 대해서는 연구가 이루어졌지만 배양토에 대한 연구는 절대적으로 부족하며 생육환경이 열악한 아고산지대에 자생하는 구상나무 용기묘 육성에 대해서는 관련 연구가 전무한 실정이다. 시설양묘 과정에서는 온도, 수분, 광 등의 환경요인과 용기 종류, 관수, 배양토, 시비처리 등이 중요한 인자이다 (Pinto et al., 2012; Aghai et al., 2014). 자생

지에서의 현지복원이 시도되고 있는 구상나무에 대해서는 시설양묘체계를 확립하기 위해 이들 인자들의 영향을 구명하는 연구가 진행되어야 한다.

본 연구는 우리나라의 특산수종이며 멸종위기종인 구상나무의 용기묘 생산체계를 확립하는데 필요한 기본적인 생육환경요인들 중 배양토의 종류 및 처리에 따른 생육반응 특성을 조사하여 적정 배양토처리를 구명하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구의 공시수종은 구상나무이며, 지리산 제석봉 등에서 채종한 구상나무 종자를 국립산림과학원으로부터 2014년에 분양받아 연구에 이용하였다. 2014년 온실에 파종하여 2016년 3월 파종상에서 발아된 묘목을 용기묘에 이식하였다. 발아 후 관찰이된 적 없이 파종상에서 2년을 보낸 2-0묘 중 묘고가 비슷한 384개 개체를 선발하여 6가지 서로 다른 배양토를 이용하여 실험하였다. 본 연구는 경남 거창군의 750~900 m에 위치하는 아고산 전문수목원인 금원산생태수목원 내 온실에서 이루어졌다. 온실은 해발 800 m에 위치하며, 실험기간 동안 온실 내 최소 및 최대온도는 각각 10°C, 28°C였으며, 상대습도는 40~60%였다. 공시용기는 32구인 플라스틱 트레이 용기 (화성산업, 한국)를 사용하였으며, 용기의 규격은 가로 560 mm, 세로 280 mm, 높이 170 mm이며, 컵 규격은 윗면 55 ϕ × 170 (H)이다. 배양토는 원예용 및 수도용 배양토 ((주)참그로, 한국)와 버미큘라이트, 펄라이트를 이용하였다. 원예용 배양토는 코코피트를 주성분으로 하며, 수도용 배양토는 주로 레드클레이, 버미큘라이트, 코코피트가 주성분이며, 버미큘라이트는 통기성과 보수성이 우수하며, 펄라이트는 다른 배양토에 비해 흡수성이 우수한 특성을 가지고 있다. 각 배양토의 배합 (v/v)과 특성은 Table 1과 같다. 배합

Table 1. Mixing and physico-chemical characteristics of bed soil in this study

Bed soil	Bulk density (g/cm ³)	pH	EC (ds/m)
Horticultural bed soil (H)	0.49±0.05	5.96±0.11	1.20±0.13
Agricultural bed soil (A)	0.87±0.04	5.07±0.09	1.00±0.10
H+A (HA)	1.03±0.08	5.46±0.10	1.70±0.11
H+Vermiculite+Perlite (HVP)	0.27±0.03	6.11±0.12	0.85±0.07
A+Vermiculite+Perlite (AVP)	0.61±0.03	5.45±0.08	0.68±0.05
H+A+Vermiculite+Perlite (HAVP)	0.57±0.04	5.66±0.11	0.83±0.05

별 배양토의 이화학적 분석을 위해 용적밀도는 시료를 완전 건조시킨 후 토양의 무게를 전체 부피로 나눈 값으로 하였고, pH와 EC는 건조 상토 20 g에 증류수 50 mL를 넣은 후 1시간 동안 진탕하고 여과지로 여과된 시료를 대상으로 pH meter와 EC meter로 측정하였다. 함수량은 50 mL를 관수한 후 시간 경과에 따른 수분 감소량으로 나타내었다 (Fig. 1).

2.2 성장특성 분석

배양토에 따른 성장량을 조사하기 위하여 384본 (6배양토 x64본)을 선정하여 2018년 6월 (4년생)에 생존율, 묘고, 근원경 등을 측정하였다. 묘고와 근원경은 전자식캘리퍼스를 이용하였으며, 모든 분석이 끝난 후 배양토별 묘목 중 무작위로 각 20본씩 선정하여 잎, 줄기, 뿌리로 구분한 후 70°C에서 48시간 건조시킨 후 건조량을 측정하였다. 묘고와 근원경을 이용하여 H/D율을 계산하였으며, 건조량을 이용하여 T/R율, 뿌리밀도 (Root density, 묘목품질지수 (Quality Index), 총물질 생산량 (Total biomass) 등을 아래와 같이 계산하였다 (Dominiguez-Lerena et al., 2006; Cho et al., 2012).

- H/D ratio = Height (cm) / Root collar diameter (mm)
- T/R ratio = Ratio of aboveground to belowground biomass
- Root density (g/L) = Root dry weight (g) / Cavity volume (L)
- Quality index (QI) = Total dry weight (g) / (H/D ratio + T/R ratio)
- Total biomass = Total dry weight (g) / Seedling density (no./m²)

배양토별 구상나무 용기묘의 뿌리 발달 정도를 조사하기 위하여 WinRhizo program (version 2016, Regent Instrument Inc. Canada)을 이용하여 전체길이 (total root length), 투영단면적 (root project area), 표면적 (root surface area), 평균직경 (root diameter) 등을 분석하였다.

배양토 배합에 따른 구상나무 용기묘의 성장량, 묘목품질지수 등의 측정치에 대해 SPSS version 18을 이용하여 분산분석 (ANOVA)을 실시하였으며, 통계적으로 차이가 유의한 경우 Duncan's multiple range test를 실시하여 각 항목 평균값을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 묘고 및 근원경 생장

구상나무 4년생 용기묘의 묘고는 배양토 HA가 19.9 cm, A 17.8 cm, AVP 16.2 cm, HAVP 15.2 cm, H 12.9 cm, HVP 10.5 cm로 조사되었으며, 근원경은 배양토 A와 AVP가 각각 5.9, 5.8 mm로 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 수관폭은 배양토 A와 HA가 각각 20.3 cm, 19.6 cm로 다른 배양토 처리 보다 유의적으로 높게 나타났다 (Table 2). 배양토에 따른 구상나무 용기묘의 성장량은 배양토 A, HA가 묘고 및 근원경, 수관폭이 상대적으로 높은 것으로 조사되었으며, 배양토 HVP에서 묘고, 근원경, 수관폭 등 성장량이 가장 낮게 조사되었다. 생존율의 경우 배양토 A가 89.1%로 가장 낮게 조사되었으며 나머지 배양토 처리에서는 큰 차이가 나타나지 않았다.

용기묘의 H/D율은 배양토 HA에서 3.6, 배양토 H, A와

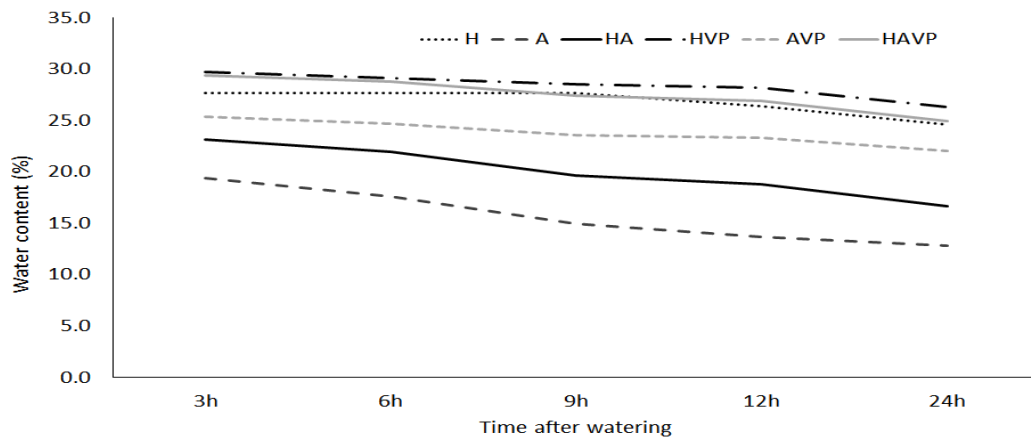


Fig. 1. Changes of water content for bed soil used in this study. H: Horticultural bed soil, A: Agricultural bed soil, HA: H+A, HVP: H+V (Vermiculite)+P (Perlite), AVP: A+V+P, HAVP: H+A+V+P.

HVP에서 각각 3.1, 배양토 HAVP에서 2.9, 배양토 AVP에서 2.8로 조사되었다. 배양토 HA의 경우 3.6으로 간장생장이 상대적으로 근원경 생장보다 큰 경향을 보였으나 배양토 HA를 제외한 나머지 배양토에서는 유의성을 보이지 않았다. Johnson et al. (1996)은 소나무 외 침엽수 용기묘의 H/D을 값이 10.0 이하인 묘목을 건전한 묘목으로 분류한 바 있다. 한편 Roller (1976)는 H/D을 6.0 이상인 가문비나무 용기묘가 바람이나 서리 및 건조 등에 노출되면 그 피해가 심각하며, Grossnickle (2012)은 H/D율이 높을수록 식재 후 바람, 건조, 저온 등의 스트레스에 취약하다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 4년생 구상나무 용기묘의 H/D율이 2.8~3.6의 범위에 있는 것으로 나타났다. 구상나무 쇠퇴가 일어나고 있는 자생지에서 현지 내 복원을 위해 구상나무 용기묘를 식재할 경우 식재 후 초기 생육상황 모니터링을 통해 산지식재에 가장 적합한 구상나무 용기묘의 H/D율을 제시할 필요가 있다.

3.2 건물생산량 및 T/R율

배양토 배합에 따른 구상나무 용기묘의 잎, 줄기, 뿌리 및 총 건조량을 분석한 결과 (Table 3), 잎은 배양토 A, 줄기는 배양토 A와 HA, 뿌리는 배양토 A와 HA가 다른 배양토에 비해 유의적으로 높은 건조량을 보였다. 지상부와 지하부 건조량이 가장 높게 나타난 배양토 A와 HA에서 용기묘의 총 건조량도 유의적으로 높게 나타났다. 또한 배양토 A와 HA에서 잎과 줄기의 건조량이 뿌리 건조량보다 높은 생장량을 보였다. 한편 관수 후 수분잔존율이 가장 높았던 배양토 HVP에서는 잎, 줄기, 뿌리의 건물생산량이 가장 낮게 나타났으며, 수분함량이 상대적으로 많음에도 불구하고 지하부의 건조량이 지상부 건조량과 큰 차이가 나타나지 않았다. 식물은 일반적으로 수분함량이 낮아지면 지하부에 광합성 산물이 더 많이

분배되어 지하부가 지상부보다 높은 생장을 보인다는 결과 (Seiler & Johnson, 1988; Kozłowski et al., 1991)와는 조금 다른 경향이였다.

용기묘의 지상부와 지하부 생장의 균형을 평가하는 지표인 T/R율은 배양토 H가 2.18, 배양토 A가 3.04, 배양토 HA가 2.74, 배양토 HVP가 2.45, 배양토 AVP가 2.82, 배양토 HAVP가 3.75로 배양토별로 유의적인 차이가 있었으며 전체 2.18~3.75의 범위였다. 묘목품질 평가 지수의 하나인 T/R율에 대해서는 많은 연구가 이루어졌는데, 외국에서는 2.0 또는 그보다 약간 낮은 값이 적정하고 (Hasse, 2007a, b), 국내에서는 2.0~3.0 정도의 범위가 건전묘로 인식되고 있다. 배양토 HAVP를 제외하면 구상나무 용기묘의 T/R율은 2.18~3.04로 건전한 묘목으로 판단할 수 있다. 하지만 묘목의 T/R율은 용기의 용적이 크고 생육밀도가 높을수록 그리고 관수조건 등에 따라 그 비율이 달라지는 경우 (Jun, 2007)도 있기 때문에 구상나무 용기묘 양묘체계를 확립하기 위해서는 보다 다양한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3.3 묘목품질지수와 물질생산량

구상나무 용기묘의 묘목품질지수 (Quality Index, QI)는 배양토 A와 HA에서 각각 1.15, 1.02로 다른 배양토에 비해 유의적으로 높은 값을 보였으며, 배양토 HVP에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 배양토 A와 HA는 관수 후의 배수성이 가장 좋아 배양토의 수분함량이 상대적으로 낮게 나타난 처리 구이다. 소나무 1년생 용기묘는 관수주기가 짧을수록 묘목 품질지수가 높게 나타났고 (Cha et al., 2017), 열대수종인 *Eucalyptus pellita*와 *Acacia mangium*도 관수주기가 짧을수록 묘목품질지수가 높게 나타났다는 보고 (Lee et al., 2010)와는 상반된 경향이였다. 묘목품질지수는 묘목품질의 평가요소인

Table 2. Growth characteristics by bed soil of 4-year-old container seedlings of *A. koreana*

Bed soil ^z	Height (cm)	Root collar diameter (mm)	Width of crown (cm)	Survival ratio (%)	H/D ratio
H	12.9±0.2 ^y e ^x	4.3±0.4b	11.3±0.8c	100.0	3.00±0.31b
A	17.8±0.7b	5.9±0.3a	20.3±1.9a	89.1	3.02±0.37b
HA	19.9±1.6a	5.5±0.5a	19.6±3.5a	98.4	3.62±0.33a
HVP	10.5±1.0f	3.5±0.5c	8.6±1.4d	100.0	3.00±0.24b
AVP	16.2±0.4c	5.8±0.4a	15.9±2.0b	100.0	2.79±0.21b
HAVP	15.2±0.4d	5.3±0.4a	13.4±1.7c	98.4	2.87±0.24b

^zRefer to Table 1

^yMean±SD are represented.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

H/D율과 T/R율을 고려하고 묘목 전체 건물생산량을 주요 요소로 구한 값이기 때문에 그 값이 높을수록 건전한 묘목으로 평가받는다 (Bayala et al., 2009). 하지만 H/D, T/R, QI 외에 광합성, 엽록소 형광 반응 등의 생리적 특성 결과를 포함시킨 평가지표의 필요성이 주장되기도 하였다 (Cout-Picon et al., 2004; Davis & Jacobs, 2005). 4년생 구상나무 용기묘의 총 물질생산량 (Total biomass)은 배양토 A와 HA에서 유의적으로 높게 나타났으며, 배양토 HVP와 H에서 낮게 나타났다. 총 물질생산량은 단위 면적 당 묘목 생산본수를 의미하는 것이기 때문에 묘목의 성장 및 품질이 우수하여도 생산본수가 낮으면 효율적 양묘라고 할 수 없다. H/D, T/R율과 다르게 총 물질생산량은 배양토 A와 HA에서 높게 나타나 구상나무 용기묘의 생산성을 높이기 위해서는 상대적으로 배수가 잘 되는 배양토에서의 양묘가 필요할 것으로 판단된다.

3.4 뿌리의 형태적 특성

뿌리의 형태적 특성은 토양 속에서 생육하는 뿌리체계를

묘사하거나 비교하는데 있어서 매우 중요한 고려 요소이다 (Bouma et al., 2000). 구상나무 용기묘 뿌리의 형태적 특성을 WinRhizo 프로그램을 이용하여 분석한 결과 (Table 4), 전체 뿌리길이, 표면적, 투영단면적은 배양토 HA에서 유의적으로 높은 값을 보였으며, 평균직경은 배양토 A와 HVP가 유의적인 차이는 없지만 상대적으로 높게 나타났다. 전체적으로 배양토 HA와 A가 뿌리의 전체길이, 뿌리표면적, 투영단면적 등 뿌리발달이 우수한 것으로 나타났으며, 배양토 HVP가 가장 낮은 뿌리발달 양상을 보였다. 또한 뿌리의 발달 정도를 알 수 있는 지표인 뿌리밀도 ($g \cdot L^{-1}$)도 배양토 HA와 A에서 각각 5.82, 5.67 g/L 로 다른 배양토보다 유의적으로 높은 값을 보였다. 배양토 HA와 A는 총 생체량 및 뿌리 성장에서도 상대적으로 우수한 것으로 나타났는데, 산지에 이식하고자 하는 용기묘는 뿌리발달이 우수할수록 높은 생존율과 우수한 성장을 기대할 수 있다 (Dumroese et al., 2013). 토양 수분환경은 식물생장에 많은 영향을 미치며, 적절한 수분환경은 묘목의 왕성한 뿌리발달을 통해 우수한 성장량을 가져오는 것

Table 3. Dry weight by bed soil of 4-year-old container seedlings of *A. koreana*

Bed soil ^z	Dry weight (g)				T/R ratio
	Leaves	Shoot	Root	Seedling	
H	1.4±0.2 ^y c ^x	1.0±0.1c	1.1±0.1c	3.5±0.4c	2.18±0.17e
A	2.8±0.3a	2.3±0.3a	1.7±0.4a	6.9±0.5a	3.04±0.12b
HA	2.3±0.2b	2.3±0.4a	1.7±0.6a	6.3±0.8a	2.74±0.12c
HVP	0.8±0.2d	0.6±0.1d	0.6±0.1d	2.0±0.5d	2.45±0.14d
AVP	2.2±0.3b	1.8±0.2b	1.4±0.2b	5.4±0.5b	2.82±0.11c
HAVP	2.3±0.2b	1.6±0.3b	1.1±0.2c	4.9±0.7b	3.75±0.15a

^zRefer to Table 1

^yMean±SD are represented.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

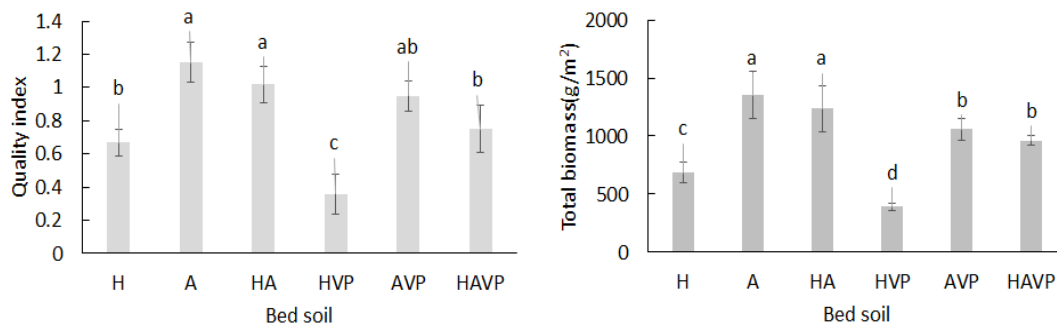


Fig. 2. Quality index and total biomass by bed soil of 4-year-old container seedlings of *A. koreana*.

Table 4. Root morphological characteristics by bed soil of 4-year-old container seedling of *A. koreana*

Bed soil ^z	Total root length (cm)	Total surface area (cm ²)	Total project area (cm ²)	Average diameter (mm)	Root density (g/L)
H	1,471±178.3 ^y c ^x	243.6±24.2d	77.5±10.9c	0.53±0.03a	3.49±0.26c
A	1,624±188.1b	317.2±20.6b	101.3±12.8b	0.62±0.04a	5.67±0.36a
HA	2,315±285.6a	410.6±58.6a	130.7±18.2a	0.56±0.05a	5.82±0.41a
HVP	1,030±169.3d	151.6±22.5e	48.3± 7.2e	0.62±0.07a	2.04±0.28d
AVP	1,715±202.1b	286.7±28.1c	91.3±12.1bc	0.53±0.03a	4.21±0.39b
HAVP	1,088±118.7d	189.5±24.3e	60.3±7.7d	0.55±0.03a	3.45±0.25c

^zRefer to Table 1

^yMean±SD are represented.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

으로 보고되고 있다 (Downes et al., 1999; Semchenko et al., 2007). Cha et al. (2017)은 관수수준에 따른 소나무 용기묘 뿌리특성에서 관수기간이 짧을수록 뿌리발달이 양호하다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 관수 후 배수가 잘 되어 수분 함량이 상대적으로 낮은 배양토 HA와 A에서 전체적인 뿌리 발달이 가장 양호한 것으로 나타났다. 15% 전후의 수분 함량이 수분스트레스가 나타날 정도는 아니라 하더라도 상대적으로 수분함량이 낮은 배양토에서 구상나무 용기묘의 뿌리발달이 가장 좋게 나타난 것은 특이할만하다. 수분환경이 열악한 아고산대에 자생하는 구상나무의 특성일 수도 있겠으나 수분 환경에 따른 뿌리발달 상황을 확인하기 위해서는 다른 관수 처리 조건 하에서의 구상나무 용기묘의 뿌리상황을 모니터링 할 필요가 있다. 또한 구상나무는 외생균근을 형성해서 수분 스트레스에 대한 내성을 가지는데 뿌리의 흠을 털어버리면 뿌리의 기능이 약화되기 때문에 나근묘로 이식했을 때 높은 활착률을 기대할 수 없다는 단점이 있다. 향후 용기묘 양묘 시 외생균근을 접종하는 방안에 대해서도 연구가 이루어져야 할 것이다.

4. 결 론

우리나라 특산수종이며 멸종위기종이지만 자생지에서 개체수가 급격하게 감소하고 있고 현지 내 복원이 시도되고 있는 구상나무의 용기묘 생산체계를 확립하기 위하여 배양토 처리에 따른 구상나무 4년생 용기묘의 생육특성을 분석하여 적정 배양토처리를 구명하기 위해 수행된 연구결과는 다음과 같다.

구상나무 4년생 용기묘의 생장량은 배양토 A, HA가 묘고 및 근원경, 수관폭이 상대적으로 높게 나타났으며, 생존율은

배양토 A가 89.1%로 가장 낮은 것으로 조사되었다. 구상나무 용기묘의 H/D율이 2.8~3.6의 범위에 있는 것으로 나타났는데, 구상나무 쇠퇴가 일어나고 있는 자생지에서 구상나무 용기묘를 식재하기 위해서라도 산지식재에 가장 적합한 구상나무 용기묘의 H/D율을 제시할 필요가 있다. 묘목의 근원경과 매우 밀접하게 관련되어 있을 뿐만 아니라 식재 후 생존과 생장에 큰 영향을 미치는 요소인 건물생산량은 지상부와 지하부 건중량이 가장 높게 나타난 배양토 A와 HA에서 구상나무 용기묘의 총 건중량도 유의적으로 높게 나타났다. 또한 배양토 A와 HA에서 잎과 줄기의 건중량이 뿌리 건중량보다 높은 생장량을 보였다. 용기묘의 지상부와 지하부 생장의 균형을 평가하는 지표인 T/R율은 전체적으로 2.18~3.75의 범위에 있는 것으로 나타났다. 구상나무 용기묘의 묘목품질지수는 배양토 A와 HA에서 각각 1.15, 1.02로 다른 배양토에 비해 유의적으로 높은 값을 보였으며, 배양토 HVP에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 총 물질생산량도 배양토 A와 HA에서 유의적으로 높은 값을 보여 구상나무 용기묘의 생산성을 높이기 위해서는 상대적으로 배수가 잘 되는 배양토에서의 양묘가 필요할 것으로 판단된다. 뿌리의 형태적 특성은 토양 속에서 생육하는 뿌리체계를 묘사하거나 비교하는데 있어서 매우 중요한 고려 요소인데, 전체적으로 배양토 HA와 A가 뿌리의 전체길이, 뿌리표면적, 투영단면적 등 뿌리발달이 우수한 것으로 나타났으며, 배양토 HVP가 전체적으로 가장 낮은 뿌리발달 양상을 보였다.

구상나무 4년생 용기묘는 지상부, 건중량, 뿌리생장 등이 관수 후 배수가 잘 되어 수분함량이 상대적으로 낮은 배양토 HA와 A에서 전체적으로 양호한 것으로 나타났다. 향후 효율적인 구상나무 용기묘 양성을 위해서는 관수처리에 따른 생육특성을 파악하고, 아고산지대에서의 수분스트레스를 의

생균근과의 공생에 의지하는 구상나무의 생태적 특성을 고려하여 용기묘 양묘 시 외생균근을 접종하는 방안에 대한 연구도 이루어져야 할 것이다.

REFERENCES

- Agahi MM, Pinto JR, Davis AS. 2014. Container volume and growing density influence western larch (*Larix occidentalis* Nutt.) seedling development during nursery culture and establishment. *New Forests* 45: 199-213.
- Ahn US, Kim DS, Yun YS, Ko SH, Kim KS, Cho IS. 2019. The inference about the cause of death of Korean Fir in Mt. Halla through the analysis of spatial dying pattern - Proposing the possibility of excess soil moisture by climate change-. *Kor J Agr For Meteo* 21: 1-28. (in Korean with English abstract)
- Bayala J, Dianda M, Wilson J, Ouedraogo SJ, Sanon K. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. *New Forests* 38: 309-322.
- Bouma TJ, Nielsen KL, Koutstaal B. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length diameter. *Plant Soil* 218: 185-196.
- Byun, HJ, Kim YS, Kang HM, Kim IS. 2012. Physico-chemical characteristics of used plug media and its effect on growth response of Tomato and Cucumber seedlings. *J Bio-Environ Cont* 21 (3): 207-212. (in Korean with English abstract)
- Cha YG, Choi KS, Song KS, Sung HI, Kim JJ. 2017. Growth characteristics of one-year-old container seedlings of *Pinus densiflora* by irrigation level. *Prot Horti Pl Fac* 26 (3): 167-174. (in Korean with English abstract)
- Cho MS, Lee SW, Hwang J, Kim JW. 2012. Growth performance and photosynthesis of two deciduous hardwood species under different irrigation period treatments in a container nursery system. *Kor J Agr For Meteo* 14: 28-38. (in Korean with English abstract)
- Cho MS, Lee SW, Hwang J, Kim SK. 2012. Growth performances of container seedlings of deciduous hardwood plantation species grown at different container types. *J Korean For Soc* 101: 324-332. (in Korean with English abstract)
- Cho MS, Yang AR, Hwang J. 2014. Container types influence *Chamaecyparis obtusa* seedling growth during nursery culture. *J Kor For Soc* 103: 556-563. (in Korean with English abstract)
- Choi JM, Park JY, Yoon MK. 2010. Impact of physico-chemical properties of root substrated on growth of 'Seolhyang' strawberry daughter plants occurred through bag culture of mother plants. *Kor J Hort Sci Technol* 28 (6): 964-972. (in Korean with English abstract)
- Court-Picon M, Gadbin-Henry C, Guibai F, Rpx M. 2004. Dendrometry and morphology of *Pinus pinea* L. in lower province (France): adaptability and variability of provenances. *For Ecol Manage* 194: 319-333.
- Davis AC, Jacobs DF. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests* 30: 295-311.
- Downes G, Beadle C, Worledge D. 1999. Daily stem growth pattern in irrigated *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in relation to climate. *Trees* 14: 102-111.
- Dominiguez-Lerena S, Sierra NH, Manzano IC, Bueno LO, Rubira JLP, Mexal JG. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *For Ecol Manage* 221: 63-71.
- Dumroese RK. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. *USDA Forest Service, Proceeding RMRS-P-28*: 31-36.
- Dumroese RK, Sung SS, Pinto JR, Davis AS, Scott DA. 2013. Morphology, gas exchange, and chlorophyll content of longleaf pine seedlings in response to rooting volume, copper root pruning, and nitrogen supply in a container nursery. *New Forests* 344: 881-897.
- Grossnickle SC. 2012. Why seedling survive: influence of plant attributes. *New Forest* 43: 711-738.
- Hasse D. 2007a. Morphological and physiological evaluation of seedling quality. *USDA Forest Service Proceeding RMRS* 50: 3-8.
- Hasse D. 2007b. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. *Tree Planter's Notes* 52 (1): 24-30.
- IUCN. 2011. 2011 IUCN Red list of threatened species.
- Jackson DP, Dumroese RK, Barnett JP, Patterson WB. 2007. Container longleaf pine seedling morphology in response to varying rates of nitrogen fertilization in

- nursery and subsequent growth after outplanting. USDA Forest Service, Proceeding RMRS- P-50: 114-119.
- Jeju Special Self-Governing Province World Heritage Office. 2019. Research report 19.
- Jun BY. 2007. Study on growth characteristics of *Pinus densiflora* container seedlings by container types. Master's thesis. Konkuk University. (in Korean with English abstract)
- Kayama M, Makoto K, Nomura N, Sasa K, Koike T. 2009. Growth characteristics of Sakhalin spruce (*Picea glehnii*) planted on the northern Japanese hillsides exposed to strong winds. *Trees* 23: 145-157.
- Kim JD, Park GE, Lim JH, Yun CW. 2018. The change of seedling emergence of *Abies korean* and altitudinal species composition in the subalpine area of Mt. Jiri over short-term (2015-2017). *Korean J Environ Ecol* 32 (3): 313-322. (in Korean with English abstract)
- Kozlowski TT, Kramer PJ, Pallardy SG. 1991. *The Physiology of Woody Plants*. AP. New York. p.811.
- Lee, JW. 2017 A study on the occurrence of seedlings and saplings of Korean fir (*Abies koreana* E.H. Wilson) on Mt. Hallasan National Park. Master's thesis. Kookmin University. (in Korean with English abstract)
- Lee SW, Cho MS, Kim GN. 2010. Effect of different irrigation period on photosynthesis and growth performances of containerized seedling of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium*. *Jour Korean For Soc* 99 (3): 414-422. (in Korean with English abstract)
- Noh I, Chung JM, Kim TW, Tamirat S, Moon HS. 1998. The ecological characteristics by slope of an *Abies koreana* forests in Seseok of Jirisan National Park. *Kor J Cli Chan* 9: 293-302. (in Korean with English abstract)
- Park IS, Kim DY, Yoon HS, Choi, JM. 2019. Influence of volumetric water content in a peat-perlite medium on mother plant growth and daughter plant occurrence during 'Seolhyang' strawberry propagation. *Hort Sci Technol* 37 (4): 499-508. (in Korean with English abstract)
- Pinto JR, Marshall JD, Dumroese RK, Davis AS, Cobos DR. 2012. Photosynthetic response, carbon isotopic composition, survival, and growth of three stock types under water stress enhanced by vegetative competition. *Can J For Res* 42: 333-344.
- Roller KJ. 1976. Field performance of container-grown Norway and Black spruce seedlings. Department of Environment. Canadian Forestry Service. Information Report. M-X-64: 17.
- Seiler JR, Johnson JD. 1988. Physiological and morphological response of three half-sib families of loblolly pine to water-stress conditioning. *For Sci* 34 (2): 487-495.
- Semchenko M, Hutchings MJ, John EA. 2007. Challenging the tragedy of the commons in root competition: confounding effects of neighbor presence and substrate volume. *J Ecol* 95: 252-260.
- Song KM, Kang YJ, Hyeon HJ. 2014. Vegetation structure at the slope direction and characteristic of seedlings of *Abies korean* in Hallasan Mountain. *J Environ Sci Int* 23 (1): 39-46. (in Korean with English abstract)
- Song KS, Cha YG, Choi JY, Kim JJ. 2012. Comparison of growth characteristics of 1- and 2-year-old bare root and container seedlings of *Chamaecyparis obtusa*. *Jour Korean Soc For* 101: 317-323. (in Korean with English abstract)