

편백 용기묘의 묘령에 따른 생장 및 양분 흡수 특성

정덕교¹ · 백경원^{2,3} · 김춘식^{2,3*}

¹진주시 산림조합, ²경상국립대학교 환경산림과학부, ³경상국립대학교 농식품바이오융복합연구원

Seedling Age Effects on the Growth and Nutrient Uptake of *Chamaecyparis obtusa* Container Seedlings

Deokgyo Jeong¹, Gyeongwon Baek^{2,3} and Choonsig Kim^{2,3*}

¹National Forestry Cooperative Federation in Jinju, Jinju 52753, Korea

²Division of Environmental and Forest Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea


³Agri-Food Bio-Convergence Institute, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

요약: 편백은 우리나라 남부지역 대표적 조림 수종으로 2-2 용기묘의 조림이 증가하고 있다. 본 연구는 편백 용기묘의 묘령(1-0, 2-0, 2-1, 2-2묘)에 따른 엽면적비, 묘고(H)/근원경(D)비, 지상부 건중량(T)/뿌리 건중량(R)비, 묘목 품질지수, 양분흡수 특성 등을 조사하였다. 묘목의 엽면적비는 1-0묘가 30.48 cm² g⁻¹로 가장 크고 묘령이 증가함에 따라 28.62 cm² g⁻¹에서 23.59 cm² g⁻¹으로 감소하는 경향을 보였다. H/D율은 1-0묘가 4.41로 가장 낮은 값을 보였으며, 2-1묘 7.17, 2-2묘 8.35, 2-0묘 9.05 순이었다. T/R율은 1-0묘가 4.29로 가장 크게 나타났으며, 2-1묘가 2.13으로 가장 낮은 값을 보였다. 묘목 품질지수는 1-0묘 0.10, 2-0묘 0.51, 2-1묘 2.54, 2-2묘 3.06으로 증가하는 경향을 보였다. 편백 용기묘의 잎, 줄기, 가지, 뿌리 등의 탄소 농도는 묘령의 증가와 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 양분흡수 특성 중 시비를 실시하지 않은 2-1묘의 잎 질소 농도는 0.85%로 시비를 실시한 타 묘령의 잎 내 질소 농도 1.25~1.88%에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다. 잎의 질소 농도와는 대조적으로 인, 칼륨, 마그네슘 농도는 시비가 실시되지 않았던 2-1묘에서도 농도의 감소가 나타나지 않아 이들 양분의 무시비에 대한 반응이 질소보다 크지 않았다. 본 연구 결과는 편백 용기묘의 묘령에 따른 생산 기준 설정이나 적정 생육을 위한 양분관리에 활용할 수 있을 것으로 사료된다

Abstract: This study was performed to determine the effects of Four seedling age classes ageon the characteristics of growth and nutrient uptake in *Chamaecyparis obtusa* container seedlings. Seedlings (1-1, 2-0, 2-1, and 2-2 seedlings) of *C. obtusa* grown in containers were harvested to measure specific leaf area, height (H)/root collar diameter (D) ratio, dry mass of aboveground (T)/root dry mass (R) ratio, and seedling quality index of seedlings. The specific leaf area was highest in 1-0 seedlings (30.48 cm² g⁻¹), whereas it decreased (from 28.62 cm² g⁻¹ to 23.59 cm² g⁻¹) with increasing seedling age. The H/D ratio increased with increasing seedling age (from 4.41 in 1-0 seedlings to 8.35 in 2-2 seedlings). The T/R ratio decreased as the seedling age increased (from 4.29 in the 1-0 seedling to 2.13 in the 2-1 seedling). The seedling quality index increased with increasing seedling age (from 0.10 for the 1-0 seedling to 3.06 for the 2-2 seedling). The carbon concentrations of seedling components (leaf, branches, stem, and roots) did not differ significantly with seedling age, whereas the nitrogen concentration of seedling components was the lowest in 2-1 seedlings, as no fertilizer was applied to discourage excessive growth of the seedlings. Phosphorus, potassium, and magnesium concentrations in 2-1 seedling components were not affected by the lack of fertilizer application. These results can be applied to determine the optimum morphological characteristics and nutrient management by seedling age in container- grown *C. obtusa*.

Key words: container seedling, seedling age, seedling growth, seedling nutrient, seeding quality

* Corresponding author
E-mail: ckim@gnu.ac.kr

ORCID
Choonsig Kim  <https://orcid.org/0000-0002-3263-1187>

서론

일반적으로 용기묘는 노지묘보다 이동 시 취급이 용이할 뿐만 아니라, 근계 손상을 최소화하여 활착 후에도 생육이 우수하며, 계절에 관계없이 식재가 가능한 것으로 알려져 있다(Landis et al., 1989; Dumroese, 2003; Jackson et al., 2007; Song et al., 2012; Masaki et al., 2017). 또한 묘목 양성기간이 짧고 잡초 제거 등에 편의성과 함께 노동력이 절감되는 등의 이점이 있어, 용기묘의 조립 수요가 증가하고 있다(Song et al., 2012; Cho et al., 2014).

편백(*Chamaecyparis obtusa* Endl.)은 1904년 일본으로부터 도입된 이후, 전라남도과 경상남도의 대표적 경제작 조림 수종으로 현재 약 52,423 ha 정도가 식재되어 있는 것으로 알려져 있다(Kang et al., 2021b). 용재적 가치가 있을 뿐만 아니라 고유의 향기를 가지는 정유 성분과 항균 물질을 발산하기 때문에 편백 조림지는 숲 치유와 산림휴양 영역에서 가장 선호되는 침엽수 임분이다(Jeong et al., 2017; Kang et al., 2021a). 한편, 편백은 최근 5년(2018년~2022년) 동안 24,407 ha에 55백만본이 식재되어 같은 기간 국내 총 조림면적 68,443 ha의 35.6%로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며(Korea Forest Service, 2023), 활착율 및 생육증진과 풀베기 작업기간 단축을 위해 2-2묘의 식재가 증가하고 있다(Jeong et al., 2017; Kang et al., 2021a).

국내에서 수행된 편백 용기묘 연구로는 시비효과나 적정 생육을 위한 용기형의 크기 결정 등이 실시된 바 있다(Cho et al., 2014; Jae et al., 2015). 예를 들면, Jae et al. (2015)은 편백 1-0 용기묘의 생장은 시비처리에 따른 생장 반응이 뚜렷하였고, 용기용적은 근원경의 생장과 밀접한 관련이 있었으며, Cho et al. (2014)은 편백 2-0 용기묘는

20구 용기(400ml/구)에서 근원경, 간장, 생체량이 우수하였다고 보고하였다. 또한, 편백 2-0 용기묘는 2.0g L⁻¹ 시비 수준에서 생육이 양호하고 내건성이 증진되었다(Park et al., 2019, Kang et al., 2021a). 그러나 국내에서 수행된 용기묘에 관한 연구는 1-0묘이나 2-0묘 위주로 연구가 수행되었으며, 편백 2-1묘나 2-2묘 등의 생장 및 양분 흡수관련 정보는 매우 미흡한 편이다. 본 연구는 우리나라 남부지역 주요 조림 수종인 편백용기묘를 대상으로 근원경, 간장, 건물량, 묘목품질지수 등의 생장 특성과 양분흡수 반응이 묘령에 따라 어떠한 변화를 보이는지를 조사할 목적으로 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 경상남도 진주시 집현면 신당리의 유리온실에서 생육한 편백 1-0묘에서 2-2묘 등 4개의 묘령을 대상으로 하였다(Figure 1). 편백 묘목의 종자는 경상남도 산림환경연구원으로부터 매년 11월에 확보하여 정선한 후 1~2°C 저온저장고에 보관하였다. 편백 종자 중 2-2묘는 2018년 3월, 2-1묘는 2019년 3월, 2-0묘는 2020년 3월, 1-0묘는 2021년 3월 플라스틱 트레이의 상토(피트모스:질석:펄라이트=1:1:1)에 파종하였다(Figure 1). 파종 3개월 후인 6월 발아한 편백 묘목을 28구의 PVC 용기(W43.8 × D25 × H14 cm, 용적: 300ml/구)에 이식하고 각각 1년과 2년 동안 유리온실에서 생육하였다. 2-2묘와 2-1묘는 2020년과 2021년 3월에 28구에서 생육하고 있던 2-0 편백 용기묘를 6구의 PVC 용기(W45 × D30 × H16.8cm, 1,300ml/구)로 이식하고 1년 또는 2년 동안 온실에서 생육하였다(Figure 1). 온실은 상부와 측면에 환기창이 설치되었으며, 좌우 이동이 가능

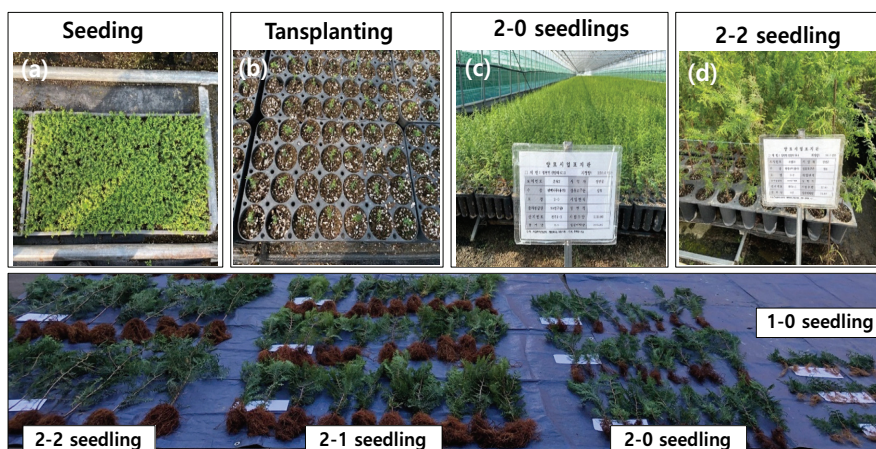


Figure 1. Production process of 2-2 *C. obtusa* container seedlings (a: germination of seeds; b: transplanting of seedling in 28 cavities after 3 months; c: 2-0 seedlings in 28 cavities; d: 2-2 seedlings grown for 2 years in 6 cavities).

한 설치대(W160 × D3,000 × H80cm) 위에서 용기묘는 생육하였다. 관수는 스프링클러를 이용하여 매일 오전 10시 경에 15~20분간 충분히 살수하였다. 생육과정 동안 양분 관리는 복합비료(N-P-K+Mg+B, 22-10-8+1+0.1)를 살포기를 이용하여 1-0묘, 2-0묘, 2-2묘에 대해서는 시비하였으며, 2-1묘는 과도한 웃자람을 방지하기 위해 시비하지 않았다.

묘령에 따른 생육특성을 조사하기 위해 2021년 11월 2일 각 묘령별 30분씩 임의로 굴취하였다. 굴취된 묘목은 비닐주머니에 밀봉 후 실험실로 운반하고 뿌리에 부착된 상토를 수돗물을 이용하여 세척하였다. 세척이 끝난 묘목은 간장과 근원경을 디지털 캘리퍼스와 스틸 줄자를 이용하여 측정하고 H/D율을 계산하였다. 측정이 끝난 묘목은 묘령에 따라 잎, 가지, 줄기, 뿌리로 분리하였으며, 65°C의 Drying Oven에서 일주일 이상 건조하고 묘목 각 부위의 무게를 측정하였다. 잎은 건조 전 잎면적을 잎면적 측정기(CI-202 area meter CID, Inc. USA)를 이용하여 측정하였다. 묘목의 생장 특성은 부위별 건중량을 이용하여 T/R율, 엽 건중량비, 줄기 건중량비, 뿌리 건중량비를 계산하였으며(Cho et al., 2014), 묘목의 재적은 식 1에 의해 계산하였다.

$$\frac{1}{3}\pi h(r^2 + rR + R^2) \quad (1)$$

(r: 초두부 반지름, R: 근원경 반지름, h: 간장)

묘목품질지수는 측정된 간장, 근원경, 건물생산량 등의 측정값을 활용하여 계산하였다(Cho et al., 2014).

묘목의 각 부위별 탄소 및 질소 농도는 묘령별 10분을 하나의 시료로 하여 잎, 가지, 줄기, 뿌리로 분리한 후 혼합하여 곱게 분쇄하고 40메쉬 체를 통과한 시료를 대상으로 원소 분석기(Thermo Scientific, Flash 2000, Italy)로 측정

하였다. 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 분쇄된 식물체 시료 0.5 g을 470°C 전기로에서 4시간 이상 회화한 후 염산과 질산으로 용액을 추출 후(Kalra and Maynard, 1991), ICP(Perkin Elmer Optima 5300, USA)를 이용하여 측정하였다.

상토의 화학적 특성은 2021년 11월 묘목 굴취 후 묘령별 10개의 상토를 혼합한 시료를 대상으로 pH는 이온전극(Model-735, ISTEK, Korea)을 이용하여 1:5(상토:증류수) 혼합액으로부터 측정하였고, 전기전도도는 EC 측정기(Orion 3 Star-Conductivity, Singapore)를 이용하였다. 유기탄소 및 전질소 농도는 상토를 음건 후 0.420 mm 체를 이용하여 조제한 시료를 대용량 원소분석기(Vario Macro cube, Germany)로 분석하였다. 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 농도는 2.5 g의 건조 상토를 암모늄 아세테이트 용액 55 mL에 첨가하여 16시간 동안 진공 추출하고(Kalra and Maynard, 1991) 추출한 용액을 ICP(Perkin Elmer Optima 8000, USA)를 이용하여 분석하였다.

수집된 자료는 SAS의 일반 선형모형에 의해(SAS Institute, 2003) $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였고, 묘령간 유의적인 차이가 있을 경우 Tukey방법에 의해 평균간 차이를 조사하였다. 묘목 부위별 양분 흡수 특성은 묘령을 독립변수로 하여 회귀 관계를 분석하였다.

결 과

1. 상토 특성

용기묘 상토의 pH는 묘령에 따라 유의적인 차이가 있었으며, 1-0묘와 2-2묘의 상토는 pH 5.57과 pH 5.68로 2-0묘와 2-1묘의 pH 7.00과 pH 7.29에 비해 낮은 값을 보였다(Table 1). 전기전도도는 2-1묘나 2-2묘가 높은 값을 보였으나 묘령에 따른 유의적인 차이는 없었다. 탄소나 질소농도도 묘령에 따라 차이가 없었으며, C/N비는 1-0 묘목의 상토가 40.06으로 2-0묘~2-2묘의 상토 30.34~31.35에 비

Table 1. Chemical properties of growth medium (bed soil) of *Chamaecyparis obtusa* seedlings.

Treatment	Bed soil pH	EC (uS cm ⁻¹)	Organic C (%)	Total N (%)	C/N ratio	Avail. P	Exchangeable (mg kg ⁻¹)		
							K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1-0 seedling	5.57 (0.17)b	1,811 (97)a	18.1 (1.3)a	0.45 (0.01)a	40 (3.4)a	19 (0.32)a	157 (1.1)a	7,788 (650)ab	1,734 (92)ab
2-0 seedling	7.00 (0.34)a	1,740 (76)a	16.4 (1.0)a	0.54 (0.04)a	30 (1.6)a	30 (4.37)a	177 (22.3)a	10,183 (1,383)a	2,015 (226)a
2-1 seedling	7.29 (0.08)a	2,464 (202)a	12.4 (1.7)a	0.40 (0.06)a	31 (0.7)ab	21 (3.29)a	228 (34.4)a	4,204 (547)b	822 (121)c
2-2 seedling	5.68 (0.21)b	2,446 (653)a	14.8 (1.4)a	0.48 (0.05)a	30 (0.5)b	25 (1.13)a	256 (27.1)a	6,260 (1,094)ab	1,175 (175)bc

Values in parenthesis are standard error (n=3). Different letters among treatments indicate a significant difference at $P < 0.05$.

Table 2. Growth characteristics of *Chamaecyparis obtusa* seedlings by seedling ages.

Treatment	Root collar diameter (mm)	Height (cm)	Volume (cm ³)	Seedling dry weight (g)				
				Leaf	Branches	Stem	Root	Total
1-0 seedling	1.55 (0.03)d	6.90 (0.35)d	0.11 (0.01)d	0.77 (0.04)d	0 (0)c	0.06 (0.01)d	0.17 (0.01)b	1.00 (0.05)d
2-0 seedling	3.83 (0.16)c	33.82 (1.52)c	2.29 (0.22)c	4.61 (0.40)c	0.03 (0.01)c	1.25 (0.14)c	1.18 (0.09)b	7.07 (0.61)c
2-1 seedling	6.48 (0.14)b	46.23 (1.05)b	6.70 (0.35)b	10.92 (0.48)b	0.47 (0.06)b	3.60 (0.19)b	7.86 (0.73)a	22.86 (1.27)b
2-2 seedling	8.14 (0.19)a	66.99 (1.77)a	15.13 (0.73)a	16.77 (0.71)a	1.35 (0.14)a	8.00 (0.32)a	8.54 (0.67)a	34.65 (1.47)a

Parenthesis values represent one standard error (n=30). Different letters among treatments indicate a significant difference at $P<0.05$.

해 높은 값을 보였다. 인과 칼륨농도는 상토 간 유의적인 차이가 없었으나 칼슘과 마그네슘 농도는 2-0묘의 상토가 2-1묘의 상토에 비해 유의적으로 높게 나타났다.

2. 묘목 성장특성 및 부위별 건중량

편백 묘목의 근원경, 간장, 재적, 부위별 건중량은 묘령에 따라 유의적인 차이가 있었다. 묘목의 형태적 특성과 건중량은 1-0묘가 가장 작고, 2-0묘, 2-1묘, 2-2묘 순으로 크게 나타났으나(Table 2), 뿌리 건중량은 1-1묘와 2-0묘, 2-1묘와 2-2묘 사이에 차이가 크지 않았다.

3. 엽면적비 및 건중량비와 묘목품질지수

묘목의 엽면적비는 1-0묘가 30.48 cm² g⁻¹로 가장 크고 묘령이 증가함에 따라 28.62 cm² g⁻¹에서 23.59 cm² g⁻¹으로 감소하는 경향을 보였다. 엽면적비와는 대조적으로 H/D율은 1-0묘가 4.41로 가장 낮게 나타났으며 2-1묘 7.17, 2-2묘 8.35, 2-0묘 9.05 순이었다. H/D율과 유사하게 T/R율도 1-0묘가 4.29로 가장 크게 나타났으며 시비가 실시되지 않았던 2-1묘가 2.13으로 가장 낮은 값을 보였다(Figure 2).

엽건조 중량비는 1-0묘가 0.773으로 가장 크게 나타났으며 묘령의 증가와 함께 감소하여 2-2묘는 0.487로 나타났다. 줄기건조 중량비도 엽건조 중량비와 유사한 경향을 보여 1-0묘가 0.840으로 높고 2-2묘는 0.757로 감소하는 경향을 보였으나, 시비가 실시되지 않은 2-1묘는 0.670으로 줄기건조 중량비가 타 묘령에 비해 가장 낮았다. 묘목품질지수는 뿌리 건조 중량비와 유사하게 1-0묘 0.10, 2-0묘 0.51, 2-1묘 2.54, 2-2묘 3.06로 증가하는 경향을 보였다.

4. 탄소 및 양분 흡수 특성

편백 묘목의 탄소 농도는 잎을 제외하고 묘령 간 차이가 없었다(Figure 3). 그러나 잎의 경우 2-2묘가 46.98%로 가

장 높은 값을 보였으며, 1-0묘는 46.14%로 가장 낮게 나타났다. 탄소 농도와는 달리 묘목의 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 농도는 묘령 간 뚜렷한 차이를 보이고 있었다. 그러나 질소 농도의 경우 가지를 제외하고 1-0묘가 줄기, 잎, 뿌리 모두에서 가장 높게 나타났으며, 2-0묘, 2-1묘, 2-2묘는 뚜렷한 경향은 없었다. 시비하지 않은 2-1묘의 줄기나 잎의 질소 농도는 0.34%와 0.85%로 타 묘령의 줄기 0.53~1.08%, 잎 1.25~1.88%에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다. 그러나 질소를 제외한 인, 칼륨, 마그네슘 농도는 시비가 실시되지 않은 2-1묘에서도 농도 감소가 나타나지 않았다. 줄기의 인, 포타슘, 마그네슘 농도는 1-0묘가 타 묘령에 비해 높은 반면, 칼슘 농도는 2-2묘가 유의적으로 높은 값을 보였다(Figure 3).

편백 묘목의 부위별 탄소 및 양분 흡수량은 묘령과 2차 다항식의 관계를 보였으며, 뿌리의 탄소 및 인 흡수량을 제외하고 결정계수는 $R^2=0.92$ 이상으로 높게 나타났다(Figure 4). 부위별 양분량은 마그네슘을 제외하고 모든 묘령에서 잎이 가장 많은 저장량을 보였으며, 뿌리, 줄기, 가지 순이었다(Figure 4).

고찰

1. 상토 특성

상토의 화학적 특성 중 pH, C/N비, Ca²⁺, Mg²⁺은 묘령에 따라 차이가 있었으나 전기전도도, 유기탄소, 전질소, 인, 칼륨 등은 차이가 없었다. 상토의 물리·화학적 특성은 묘목의 생육에 끼치는 영향이 크며, 본 연구에서 상토의 pH는 1년생과 4년생의 경우 pH 5.57과 5.68로 2년생과 3년생 상토 pH 7.00과 7.29와 상당한 차이를 보이고 있다. 일반적으로 상토의 pH가 시비로부터 반응이 크고 용기 용적은 영향이 크지 않음을 고려할 때 4년생의 낮은 pH는 묘목

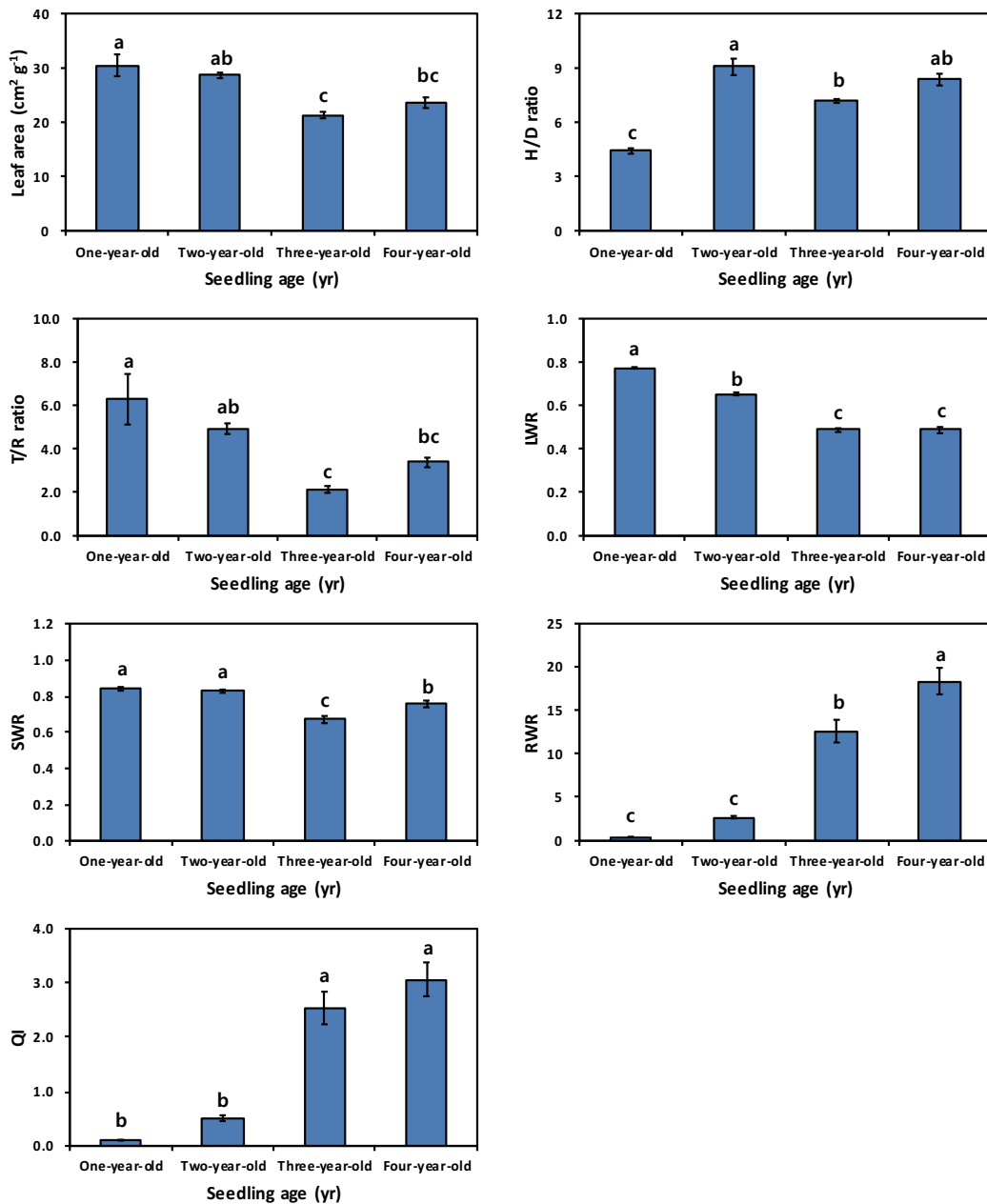


Figure 2. Specific leaf area, H/D ratio, T/R ratio, LWR (Leaf dry weight ratio), SWR (Shoot dry weight ratio), RWR (Root dry weight ratio), and QI (Quality Index) of *Chamaecyparis obtusa* seedlings by seedling ages. Vertical bars represent one standard error (n=30). Different letters among treatments indicate a significant difference at $P < 0.05$.

의 형태적 특성이 가장 큰 2-2묘가 생육과정 동안 양이온의 흡수가 많아 묘목의 뿌리로부터 방출되는 수소이온의 방출이 크기 때문일 수 있다(Jacobs and Timmer, 2005; Jae et al., 2015). 용기묘 발아 전 초기 상토의 pH는 5.3 정도로 알려져 있으며(Cho et al., 2014), 본 연구에서 조사된 1년 생 용기묘의 상토 pH와 큰 차이는 없었다. 상토의 전기전도도는 1,800 uS cm⁻¹에서 2,464 uS cm⁻¹까지 분포하고 있으나, 묘령에 따른 유의적인 차이는 없었다. 일반적으로

침엽수 용기묘목의 경우 뿌리 손상을 초래할 수 있는 상토의 전기전도도는 2,500 uS cm⁻¹로 알려져 있으며(Jacobs and Timmer, 2005), 본 연구의 상토 전기전도도는 피해수준보다 약간 낮거나 피해수준에 근접해 있다.

Cho et al.(2014)은 편백 용기묘 양생 시 상토의 전질소는 0.37%, 유효 인 13.6 mg kg⁻¹ 정도라고 보고하고 있으며, 본 연구의 상토 내 전질소나 유효 인 함량과 큰 차이는 없었다. 그러나 교환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량

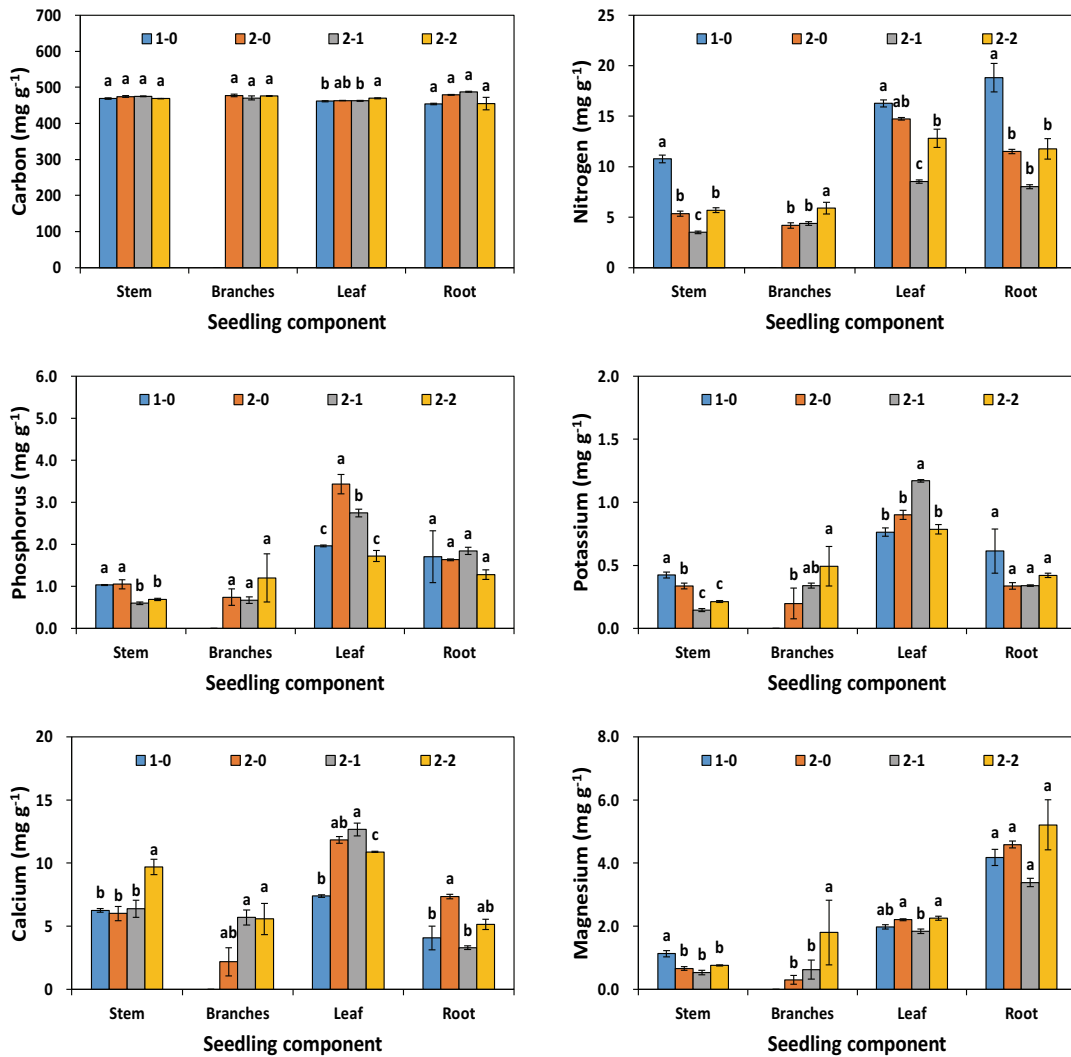


Figure 3. Nutrient concentration of seedling components of *Chamaecyparis obtusa* by seedling ages (n=3). Vertical bars are standard error. Different letters among treatments indicate a significant difference at P<0.05.

은 타 연구에서 보고된(Cho et al., 2014) 교환성 양이온 함량에 비해 매우 높은 편으로 이는 이 지역 지하수에 함유된 칼슘이온의 농도(칼슘 600 mg L⁻¹; 마그네슘 115 mg L⁻¹; 미발표 자료)가 매우 높게 나타나기 때문으로 사료된다.

2. 묘령에 따른 근원경, 간장, 재적 및 부위별 건중량

편백 용기묘의 묘령에 따른 근원경, 간장, 재적, 잎, 줄기, 총 묘목 건중량에 유의적인 차이가 발생한 것은 묘령이 증가함으로써 엽량 증가와 함께 광합성이 활발하기 때문이기도 하지만, 2-0 용기묘는 28구에서 생육된 반면에 2-1 용기묘는 6구에서 생육되어 용기 용적의 차가 원인으로 사료된다. 예를 들면, 용기 용적이 클수록 묘목의 생장이 양호한 것은 생육 공간이 크고, 광, 온도, 수분, 양분 등과의 경쟁에 있어서 상대적으로 작은 용기 용적에 비해

양호한 환경조건을 가지기 때문으로 알려져 있다(Jeong et al., 2010). 2-1묘와 2-2묘의 뿌리 건중량에 유의적인 차이가 나타나지 않은 것은 시비가 실시되지 않았던 2-1묘의 낮은 양분유효도로 인하여 뿌리 생육이 활발하였기 때문으로 사료되며 타 연구결과에서도 무시비구의 경우 뿌리에 광합성 산물의 분배가 크게 나타난다는 결과와 일치한다(Gough et al., 2004; Kim et al., 2009; Jeong et al., 2010). 본 연구에서 조사된 28구에서 생육한 2-0묘는 근원경 3.83 mm, 간장 33.8 cm로 타 연구에서 조사된 편백 2-0묘의 근원경 3.9 mm, 간장 41.4 cm(Cho et al., 2014)에 비해 약간 낮게 나타났다.

3. 묘령에 따른 엽면적비 및 품질지수

편백 용기묘의 엽면적비는 묘령이 증가함에 따라 감소

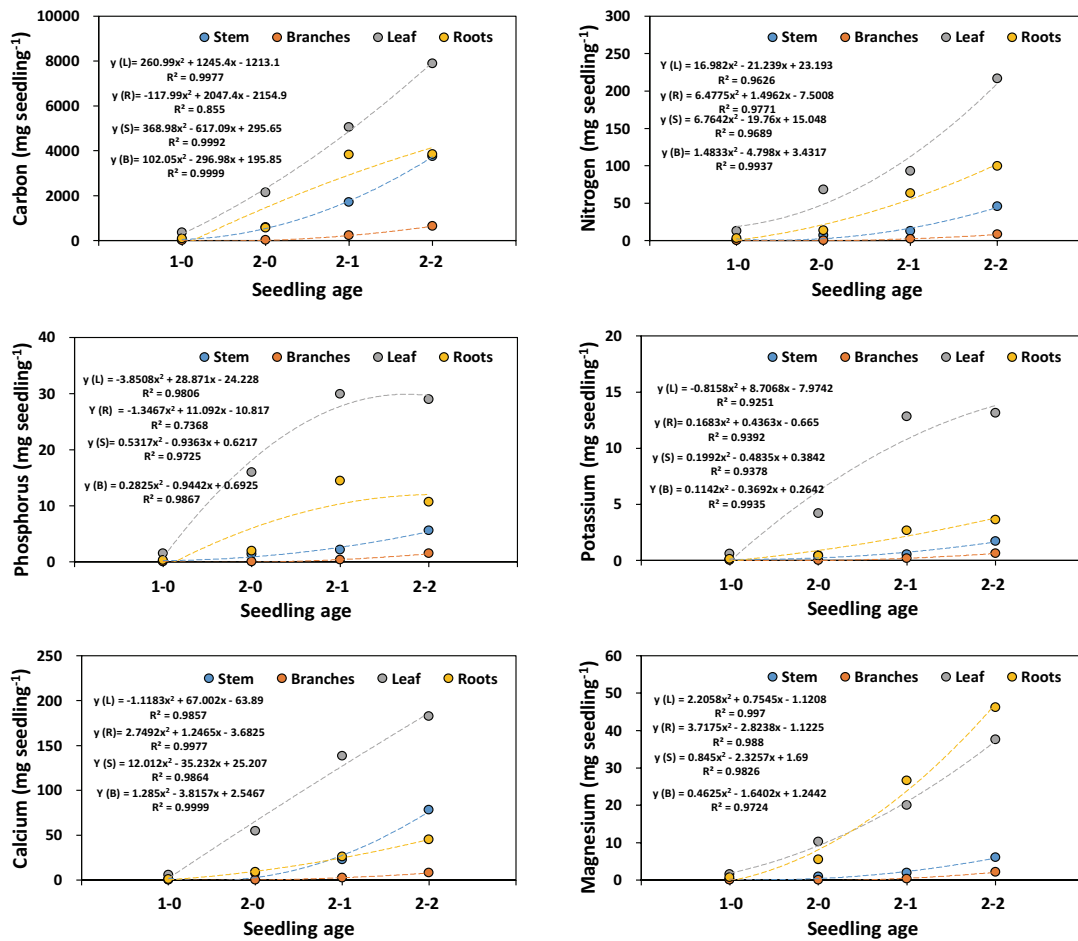


Figure 4. Relationships of nutrient uptake of seedling components of *Chamaecyparis obtusa* by seedling ages (n=3). Vertical bars are standard error. Different letters among treatments indicate a significant difference at $P < 0.05$.

하는 경향을 보였으며, 이는 묘령이 증가함에 따라 시비량이 증가하고 그 결과 엽면적 당 엽중량이 감소하였기 때문으로 사료된다. T/R율은 1-0 용기묘가 4.29로 가장 크게 나타났으며 시비가 실시되지 않았던 2-1묘는 2.13으로 가장 작은 값을 보였는데, 이는 무시비구의 경우 상토의 양분유효도가 낮아 광합성 산물의 분배가 줄기로부터 뿌리로 증가하였기 때문으로 알려져 있다(Jeong et al., 2010; Jae et al., 2015). 유사한 결과로 줄기 건조 중량비의 경우도 엽 건조 중량비와 유사한 경향을 보여 1-0묘가 0.840으로 높고 2-2묘는 0.757로 감소하는 경향을 보였으나, 시비를 실시하지 않았던 2-1묘는 0.670으로 줄기 건조 중량비가 타 묘령에 비해 가장 낮게 나타났다. 묘목 식재 후 활착 및 성장에 밀접한 관련이 있는 묘목품질지수는 뿌리 건조 중량비와 유사하게 묘령이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 타 연구에서도 묘목품질지수는 용기용적이 크고 생육밀도가 낮을수록 높아지는 경향이 보고된 바 있다(Cho et al., 2014).

4. 묘목의 양분 흡수

묘령에 따른 묘목 부위별 탄소 농도 중 잎은 탄소 농도의 변동이 크게 나타난 반면 가지, 뿌리, 줄기 등의 목질부는 묘령에 영향을 받지 않았다. 일반적으로 잎의 탄소 농도는 질소 농도와 부의 상관성을 보이기 때문에(Jae et al., 2015), 1-0묘의 낮은 탄소 농도는 1-0묘에서 질소 농도가 가장 높게 나타났기 때문으로 사료된다. 그러나 2-1묘의 탄소 농도는 낮은 질소 농도에도 불구하고 탄소 농도도 낮게 나타나 1-0묘와는 다른 결과를 보였다. 이는 2-1묘의 경우 시비가 실시되지 않아 양분의 재흡수 등과 같은 요인에 의해 영향을 받고 있기 때문으로 사료된다. 일반적으로 식물의 탄소 농도는 유전적, 환경적 요인에 의해 변화하는 특성을 보이는 것을 알려져 있다(Bert and Danjon, 2006; Zhang et al., 2009).

편백 묘목의 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 농도는 묘령간 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 1-0묘 줄기의 질소, 인, 칼륨, 마그네슘 농도가 타 묘령에 비해 가장 크게 나타난

것은 건중량이 작아 양분의 희석 효과가 크지 않았기 때문으로 사료된다. 1-0묘와는 대조적으로 세포벽의 주요 구성 성분인 칼슘은 2-2묘가 타 묘령에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다(Figure 2). 잎 질소농도는 2-1묘가 0.85%로 타 묘령의 잎 질소농도 1.25~1.88%에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다. 이는 2-1묘의 경우 묘목의 웃자람을 조절하기 위해 시비가 실시되지 않아 상토 내 질소유효도 감소에 따른 질소 흡수율이 낮게 나타났기 때문으로 사료된다(Kim et al., 2009; Jeong et al., 2010). 잎의 질소농도와는 대조적으로 인, 칼륨, 마그네슘 농도는 시비가 실시되지 않았던 2-1묘에서도 농도의 감소가 나타나지 않아 이들 양분의 무시비에 대한 반응이 질소보다 크지 않았다. 본 연구에서 조사된 편백 용기묘의 양분농도는 Landis et al. (2005)가 보고한 용기묘의 침엽 내 적정 양분 수준인 질소 1.3~3.5%, 인 0.2~0.6%, 칼륨 0.7~2.5%, 칼슘 0.3~1.0%, 마그네슘 0.1~3.0%와 비교할 때 질소의 경우 무시비구인 2-1묘를 제외하고 적정 수준범위에 포함되었으나 칼슘함량은 적정 수준보다 높게 나타났다. 편백 묘목의 부위별 탄소 및 양분 흡수량은 질소가 가장 많은 양이 저장되어 있었으며, 칼슘, 마그네슘, 인, 칼륨 순이었다. 묘목 부위별로는 잎에 질소가 가장 많은 양이 저장되어 있었고 칼륨 저장량이 가장 적었다. 본 연구에서 나타난 편백 용기묘의 칼륨 저장량이 낮은 것은 질소질 비료의 수준이 높을 경우 양분의 길항작용으로 묘목의 칼륨 농도가 낮게 나타난다는 결과로 해석된 바 있다(Davey, 2005).

결론

우리나라 남부지역 대표적 조림 수종인 편백을 대상으로 용기묘의 묘령(1-0묘, 2-0묘, 2-1묘, 2-2묘)에 따른 생장 특성을 조사한 결과 묘목의 엽면적비는 묘령이 증가함에 따라 감소하였으나, H/D율은 묘령이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. T/R율은 1-0묘가 4.29로 가장 크게 나타났으며, 2-1묘는 2.13으로 가장 낮은 값을 보여 무시비 시 지상부와 지하부로의 광합성 산물의 할당이 변화하는 경향을 보였다. 묘목품질지수는 묘령의 증가와 함께 증가하여 2-0묘 보다는 2-2묘의 묘목품질지수가 약 6배 정도 향상되었다. 묘목 부위별 탄소 및 양분 농도는 묘령에 따라 유의적인 차이가 있어 시비 후 양분흡수 증가나 묘목 부위별 건중량의 증가에 따른 양분 희석효과 등이 발생한 것으로 사료되었다. 묘목의 양분 흡수는 묘령을 독립변수로 2차 다항 관계를 보여 묘목의 양분흡수 특성에 기반을 둔 시비 방법 등의 개발도 필요한 것으로 나타났다. 한편, 무시비한 2-1묘의 잎 내 질소 농도는 타 묘령에 비해 유의

적으로 감소하였으나, 인, 칼륨, 마그네슘은 무시비에 대한 반응이 나타나지 않아 상토로 부터 이들 양분의 충분한 공급이 발생하고 있는 것으로 추정되었다. 본 연구 결과에 따르면 묘령에 따른 묘목 품질 향상을 위해서는 매년 시비 보다는 묘목의 생장특성 및 상토의 양분 농도 등을 고려하여 시비량이나 시비시기를 조절하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 제1저자의 학위 논문중 일부가 포함되어 있습니다. 실험을 도와주신 경상국립대학교 산림토양연구실 학생들에게 감사함을 전합니다.

References

- Bert, D. and Danjon, F. 2006. Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.). *Forest Ecology and Management* 222(1-3): 279-295.
- Cho, M.S., Yang, A.R. and Hwang, J. 2014. Container types influence *Chamaecyparis obtusa* seedling growth during nursery culture. *Journal of Korean Society of Forest Science* 103(4): 556-563.
- Davey, C.B. 2005. Hardwood seedling nutrition. USDA Forest Service, Proceeding RMRS-P-35: 17-20.
- Dumroese, R.K. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. USDA Forest Service, Proceeding RMRS-P-28: 31-36.
- Gough, C.M., Seiler, J.R. and Maier, C.A. 2004. Short-term effects of fertilization on loblolly pine (*Pinus taeda* L.) physiology. *Plant, Cell and Environment* 27(7): 876-886.
- Jackson, D.P., Dumroese, R.K., Barnett, J.P. and Patterson, W.B. 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.
- Jacobs, D.F. and Timmer, V.R. 2005. Fertilizer-induced changes in rhizosphere electrical conductivity: relation to forest tree seedling root system growth and function. *New Forests* 30(2): 147-166.
- Jae, D.Y., Seo, H., Cho, H.S., Ahn, H.C. and Kim, C. 2015. Growth of containerized *Chamaecyparis obtusa* seedlings as affected by fertilizer and container volume. *Journal of Korean Society of Forest Science* 104(1): 26-34.
- Jeong, J., Park, J.H., Kim, J.K., Lim, J.T., Lee, S.R. and

- Kim, C. 2010. Effects of container volumes and fertilization on red (*Pinus densiflora*) and black pine (*Pinus thunbergii*) seedlings growth. *Forest Science and Technology* 6(2): 80-86.
- Jeong, J., Jo, C.G., Baek, G.W., Park, J.H., Ma, H.S., Yoo, B.O. and Kim, C. 2017. Soil and the foliage nutrient status following soil amendment applications in a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) plantation. *Journal of Sustainable Forestry* 36(3): 289-303.
- Kalra, Y.P. and Maynard, D.G. 1991. *Methods Manual for Forest Soil and Plant Analysis*. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Information Report NOR-X-319E. pp.116.
- Kang, D.B., Sung, J.W. and Lee, D.H. 2021a. Effects of shading and fertilizer treatments on the growth characteristics of *Chamaecyparis obtusa* (S. et Z.) Endlicher seedlings. *Forest Science and Technology* 17(3): 125-134.
- Kang, J., Ko, C., Lee, S.J., Yim, J.S., Moon, G.H. and Lee, S.H. 2021b. Relationship of H/D and crown ratio and tree growth for *Chamaecyparis obtusa* and *Cryptomeria japonica* in Korea. *Forest Science and Technology* 17(3): 101-109.
- Kim, C., Jeong, J., Moon, T.S., Park, J.H., Lim, J.T., Kim, J.I. and Goo, G.H. 2009. Growth, carbon and nitrogen status of container grown black pine (*Pinus thunbergii*) seedlings at various levels of fertilization. *Journal of Korean Forest Society* 98(5): 558-562.
- Korea Forest Service. 2023. *Statistical Yearbook of Forestry*. No. 52. pp.438.
- Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1989. *Seedling Nutrition and Irrigation*. Vol. 4. The container tree nursery manual. *Agricultural Handbook* 674. US Department of Agriculture, Forest Service, pp.119.
- Landis, D.L., Haase, D.L. and Dumroese, R.K. 2005. Plant nutrient testing and analysis in forest and conservation nurseries. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-35*: 76-83.
- Masaki, T., Oguro, M., Yamashita, N., Otan, T. and Utsugi, H. 2017. Reforestation following harvesting of conifer plantations in Japan: current issues from silvicultural and ecological perspectives. *Reforesta* 3: 125-142.
- Park, J.H., Kim, J.H. and Lee, D.H. 2019. Drought resistance characteristics of 2-years old *Chamaecyparis obtusa* container seedlings according to fertilization treatment. *Journal of Agriculture and Life Science* 53(2): 97-107.
- SAS Institute Inc. 2003. *SAS/STAT Statistical Software*. Version 9.1. SAS publishing Cary, NC.
- Song, K.S., Cha, Y.G., Choi, J.Y. and Kim, J.J. 2012. Comparison of growth characteristics of 1- and 2-year-old bare root and container seedling of *Chamaecyparis obtusa*. *Journal of Korean Society of Forest Science* 101(2): 317-323.
- Zhang, Q., Wang, C., Wang, X. and Quan, X. 2009. Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species. *Forest Ecology and Management* 258(5): 722-727.