

시비처리에 따른 활엽수 용기묘의 성장 특성 변화

조민석 · 양아람 · 황재홍*

국립산림과학원 산림생산기술연구소

Growth Performances of Container Seedlings of Deciduous Hardwood Species Grown at Three Different Fertilization Treatments

Min Seok Cho, A-Ram Yang and Jaehong Hwang*

Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-829, Korea

요약: 본 연구는 주요 활엽수 조림수종인 느티나무, 참느릅나무, 거제수나무 및 피나무를 대상으로 세 가지 시비처리(0.5 g·L⁻¹, 1.0 g·L⁻¹, 2.0 g·L⁻¹)에 따른 근원경, 간장, 물질생산량, 묘목품질지수 등 성장 특성을 조사·분석하여 시설양묘과정에서 실질적으로 적용 가능한 수종별 적정 시비기술을 구명하고자 수행하였다. 느티나무는 2.0 g·L⁻¹, 거제수나무는 0.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 우수한 성장 및 묘목 품질을 나타냈는데, 시비수준에 따른 두 수종간의 성장 특성이 반대의 경향을 보인 것이다. 또한, 시비처리에 따른 참느릅나무와 피나무의 근원경과 간장 생장은 유의적 차이가 없었다. 그러나 묘목품질지수는 두 수종 모두 0.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 낮았으며, 1.0 g·L⁻¹과 2.0 g·L⁻¹ 시비처리구 간 유의적 차이는 없었다. 따라서 묘목 품질과 함께 경제적, 환경적 측면을 고려했을 때 느티나무는 최소 2.0 g·L⁻¹, 참느릅나무와 피나무는 1.0 g·L⁻¹, 거제수나무는 최대 0.5 g·L⁻¹이 적정 시비 수준으로 판단된다. 수종별 적정 시비 수준(배액, 회수)의 적용으로 우량 묘목 생산 및 이와 연계된 조림성과 향상뿐만 아니라 환경오염 저감, 생산비용 절감 및 양묘 기간 단축 등 경제적 이점이 기대된다.

Abstract: The objective of this study was to find optimal amount of fertilization of container seedling production for *Zelkova serrata*, *Ulmus parvifolia*, *Betula costata* and *Tilia amurensis*. To reach our goal, we measured root collar diameter (RCD), height, biomass and seedling quality index (SQI) of container seedlings of four deciduous hardwood species grown at three different fertilization treatments (0.5 g·L⁻¹, 1.0 g·L⁻¹ and 2.0 g·L⁻¹). *Z. serrata* seedlings grown at 2.0 g·L⁻¹ fertilization and *B. costata* seedlings grown at 0.5 g·L⁻¹ fertilization showed the highest RCD, height, biomass and SQI. The RCD and height of *U. parvifolia* and *T. amurensis* seedlings showed no significant differences by fertilization treatments. Seedlings of two species at 0.5 g·L⁻¹ fertilization showed the lowest SQI, however, SQI at 1.0 and 2.0 g·L⁻¹ fertilization treatments were not significantly different. Based on these results, it is appeared that container seedlings of *Z. serrata* at minimum 2.0 g·L⁻¹ fertilization, *U. parvifolia* and *T. amurensis* at 1.0 g·L⁻¹ fertilization and *B. costata* at maximum 0.5 g·L⁻¹ fertilization were optimal nutrient conditions. Practice of optimal fertilization rate will make us get better quality seedlings and reduction of production costs in the container nursery system as well as good field performances with higher survival rate after planting.

Key words: container seedling, deciduous hardwood species, fertilization, growth performances, nursery

서론

우리나라에서는 연간 약 2만 ha 이상 조림을 실시하고 있으며, 그 중 활엽수 조림이 55% 이상을 차지하고 있다 (KFS, 2013). 최근 국산 활엽수 용재의 이용 수요가 증가함에 따라 활엽수종을 대상으로 양묘 및 이와 연계한 조

림기술 개발 연구가 필요하다. 또한, 빈번히 발생하는 기상이변으로 노지묘의 경우 여름철 집중호우에 의한 침수 피해와 겨울철 월동과정에서의 동해 피해가 묘목 생산현장에서 대량으로 발생하고 있어(Kim et al., 2010), 우량 묘목의 대량 생산과 함께 투입 노동력 감소와 인건비 상승 등에 대응할 수 있는 시설양묘 기술 개발이 필요한 시점이다.

양묘과정에서 고품질 묘목의 생산은 조림 후 초기 높은

*Corresponding author
E-mail: jhwang@forest.go.kr

활착률과 우수한 생장으로 이어지며, 건전한 임분 조성의 시작이라 할 수 있다(Haase et al., 2006; Salifu and Jacobs, 2006). 특히, 시설양묘는 노지양묘보다 조림 시 높은 활착률, 우수한 생장, 연중 조림 가능, 양묘기간 단축, 생력화 가능, 노동력 절감 등의 이점을 가지고 있다(Wilson et al., 2007). 그러나 우리나라에서는 현재 활엽수종 중 상수리나무 등 일부 수종만 제한적으로 용기묘 생산과 조림을 실시하고 있기 때문에 임업현장에서 다양한 활엽수종에 대한 용기묘 식재 요구가 증가하고 있는 실정이다(Kwon et al., 2009).

시설양묘과정에서는 광, 온도, 수분 등의 생육환경 조절과 용기 종류, 상토, 시비기술 등이 중요한 영향을 미친다(Aghai et al., 2014; Grossnickle, 2005). 그 중에서 시비는 생육상태에서 생장하는 용기묘의 특성 상 반드시 실시되어야 한다(Broschat, 1995). 특히, 용기묘 품질은 시비에 따라 변화되는 생리 및 생장 특성, 양분저장능력(nutrient loading) 등에 의해 좌우되며(Landis et al., 1989), 용기묘의 내건성, 내한성, 활착, 생장 및 하층식생과의 경쟁력 향상과 함께 이식 스트레스 저감 효과가 양묘과정 이후 조림지에서 발현되기 때문에 수종별 양분요구도에 맞는 시비기술의 적용은 양묘과정에서의 고품질 용기묘 생산뿐만 아니라 조림 성과 향상을 기대할 수 있다(Cho et al., 2012; Dumroese et al., 2013).

그러나 불필요한 과량 시비는 시설양묘장 주변의 토양 및 계류수의 환경 문제를 일으킬 수 있으며(Bumgarner et al., 2008; Juntunen et al., 2003), 수종별 양분의 과·부족은 수목의 생리적 특성에 영향을 주어 불량한 묘목이 생산될 수 있다(Lee et al., 2006b). 따라서 시설양묘과정에서 용기묘 생장에 피해가 없는 범위 안에서의 수종별 시비량 조절 및 시비기술과 함께 양묘장 주변의 오염수 제어 기술 개발 연구가 필요하다(Park et al., 2012).

이에 본 연구는 주요 활엽수 조림수종인 느티나무(*Zelkova serrata*), 참느릅나무(*Ulmus parvifolia*), 거제수나무(*Betula costata*) 및 피나무(*Tilia amurensis*)를 대상으로 세 시비처리에 따른 용기묘의 근원경, 간장, 부위별 물질생산량, 묘목품질지수 등 생장 특성을 조사·분석하여 시설양묘과정에서 실질적으로 적용 가능한 수종별 적정 시비량을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험지 및 공시수종

시험지는 경기도 포천에 위치한 국립산림과학원 산림생산기술연구소 시설온실(N 37° 45', E 127° 10')이며, 국립산림과학원 산림유전자원부의 느티나무(2009년), 동부지방산림청의 참느릅나무(2010년)와 피나무(2012년) 및 국립산림품종관리센터의 거제수나무(2011년) 종자를 분양 받아 2009년부터 2012년까지 총 4년간 연 1수종씩 각각 실험하였다.

2. 양묘 방법 및 시비처리

양묘 시 용기는 24구 용기(320 mL/cavity, 200 seedlings/m², Kukilchem, Korea), 생육상토는 피트모스:펄라이트:질석(1:1:1, v/v)의 상토(Table 1)를 이용하였다. 느티나무, 참느릅나무, 거제수나무는 실험 당해연도 4월 파종하였으며, 2년 발아 수종인 피나무는 2011년 9월 포지에 직파 후 2012년 5월 용기에 이식하였다. 또한 각 실험연도 4월부터 10월까지 매일 m²당 20 L를 관수하였다.

시비처리는 6월부터 13주 동안 수용성 비료인 MultiFeed19(19N:19P₂O₅:19K₂O, Haifa Chemicals, Israel)를 이용하여, 수종당 시비처리별 20용기씩 60용기에 총 1,440본의 용기묘를 대상으로 0.5 g·L⁻¹(500 ppm), 1.0 g·L⁻¹(1,000 ppm) 및 2.0 g·L⁻¹(2,000 ppm) 배액으로 희석하여 주 1회 관수와 병행하여 실시하였다.

3. 생장 특성 조사

수종별 시비처리에 따른 생장 특성을 조사하기 위하여 처리별 묘목을 40본씩 선정하여 5월 말 시비 전과, 그 후 20일 간격으로 9월까지 총 6회 근원경과 간장을 반복 측정하였으며, 거제수나무는 초기 생육이 느려 다른 수종보다 20일 늦게 측정을 시작하여 총 5회 측정하였다. 또한 용기묘의 생장 특성을 분석하기 위해 근원경과 간장의 첫 번째 측정값에 대한 상대생장량(mm or cm day⁻¹) 및 양묘된 묘목의 건전도를 판단할 수 있는 H/D율[SQ; Sturdiness Quotient = height(cm)/root collar diameter(mm)]을 계산하였다(Bayala et al., 2009; Hughes and Freeman, 1967; Lee et al., 2006a). 근원경과 간장 측정에는 전자식캘리퍼스와 스틸테이프를 각각 이용하였다. 9월 중순 모든 실험이 끝

Table 1. Physical and chemical properties of media.

Composition rate (%)			pH	EC (ds·m ⁻¹)	Total N (g·kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	Exch. Cations (cmol _c kg ⁻¹)			C.E.C. (cmol _c kg ⁻¹)
Peat moss	Perlite	Vermiculite					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
33.3	33.3	33.3	6.2±0.1	0.03±0.00	0.08±0.01	19.5±4.3	0.06±0.00	0.85±0.01	3.71±0.03	16.7±0.4

Values are means of 3 media±SD.

난 후 근원경과 간장을 측정했던 시비처리별 40본의 묘목 중 무작위로 각 10본씩 선정하여 잎, 가지, 뿌리로 구분한 뒤 48시간 동안 65°C에서 건조한 후, 각각의 건조량을 측정하였다. 건조량 측정결과에 의해 용기묘 부위별 물질생산량, 총 물질생산량 및 T/R률(Ratio of aboveground to belowground biomass)을 계산하였다(Dominguez-Lerena et al., 2006; Sestak et al., 1971). 또한, 종합적으로 용기묘의 품질을 최종 판단할 수 있는 묘목품질지수[SQI; Seedling Quality Index = Seedling dry weight(g)/(H/D ratio + T/R ratio)]를 계산하였다(Deans et al., 1989).

4. 통계분석

시비처리에 따른 측정결과를 비교·분석하기 위해서 Duncan의 다중검정법으로 시비처리구간 유의성 분석을 실시하였으며, 모든 통계분석은 PC SAS program Version 8.2(SAS, 2000)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 근원경 및 간장 생장

시비처리에 따른 느티나무의 근원경과 간장 생장은 모두 2.0 g·L⁻¹ 시비처리구에서 유의적으로 가장 높았으나, 거

제수나무는 시비배액이 가장 낮은 0.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 우수한 생장을 나타냈다. 느티나무와 거제수나무는 시비수준에 따라 근원경과 간장 생장이 반대의 경향을 보인 것이다. 그러나 나머지 참느릅나무와 피나무의 경우 시비처리에 따른 근원경과 간장 생장 모두 유의적 차이를 보이지 않았다(Figure 1). 근원경과 간장의 상대생장량은 참느릅나무 간장을 제외하고 모두 생장 결과와 같은 경향을 보였으며, H/D율은 4수종 모두 시비처리에 따른 유의적 차이가 없었다(Table 2).

시비수준이 증가함에 따라 근원경과 간장 생장은 수종별로 각각 증가 또는 감소하거나 유의적 차이가 없는 결과를 보였다. 본 연구의 거제수나무와 같이 시비 강도가 증가할수록 근원경과 간장 생장이 감소하는 결과는 펜들라자작나무(Juntunen et al., 2003)와 가시나무(Sung et al., 2011) 용기묘에서도 나타났으며, 느티나무와 같이 시비 강도가 증가할수록 우수한 생장을 보이는 반대의 경향은 *Acacia mangium* 용기묘에서 보고되었다(Cho et al., 2011). Park et al.(2013)이 노지묘를 대상으로 수행한 시비연구에서 물푸레나무와 들메나무는 6.9 g·m⁻²보다 13 g·m⁻² 수준의 질소 시비처리구에서 근원경과 간장 생장이 가장 우수하였지만, 잣나무와 전나무의 경우 시비에 따른 생장의 유의적 차이가 없었던 선행연구와 유사한 결과로 해석된다.

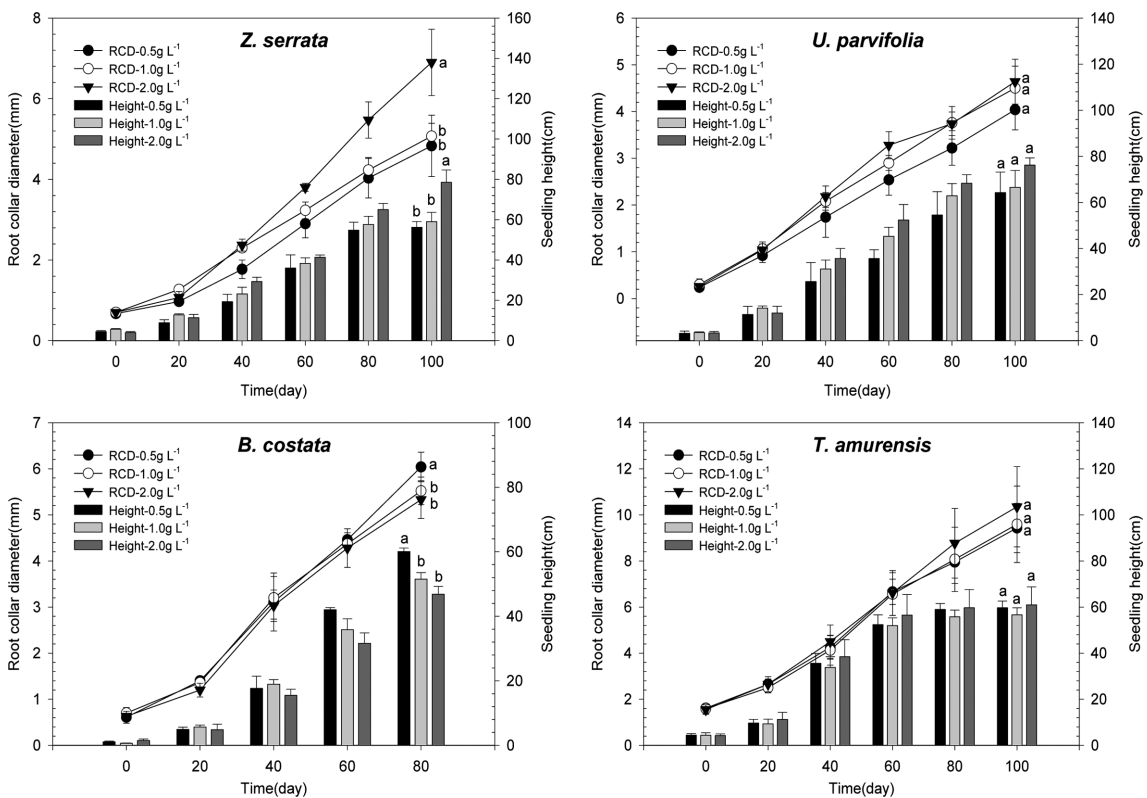


Figure 1. The growth patterns of root collar diameter and height of container seedlings of four species grown at three different fertilizations. Vertical bars represent SD of the mean (n=40). Different letters within a species show statistical differences among fertilization treatments at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

Table 2. The growth of root collar diameter and height and H/D ratio of container seedlings of four species grown at three different fertilizations.

Species	Fertilization treatment (g·L ⁻¹)	Root collar diameter		Height		H/D ratio (cm·mm ⁻¹)
		Growth (mm)	Relative growth rate (mm·day ⁻¹)	Growth (cm)	Relative growth rate (cm·day ⁻¹)	
<i>Z. serrata</i>	0.5	4.8±0.8 ^b	0.042±0.007 ^b	56.2±2.9 ^b	0.517±0.028 ^b	11.8±1.2 ^a
	1.0	5.1±0.3 ^b	0.044±0.004 ^b	59.0±4.6 ^b	0.533±0.049 ^b	11.7±1.3 ^a
	2.0	6.9±0.8 ^a	0.062±0.008 ^a	78.5±6.1 ^a	0.745±0.056 ^a	11.5±1.8 ^a
<i>U. parvifolia</i>	0.5	4.0±0.4 ^a	0.038±0.005 ^a	64.3±8.9 ^a	0.610±0.087 ^b	16.0±2.0 ^a
	1.0	4.5±0.5 ^a	0.042±0.005 ^a	66.6±7.3 ^a	0.631±0.072 ^b	15.0±2.8 ^a
	2.0	4.6±0.5 ^a	0.044±0.004 ^a	76.2±3.1 ^a	0.728±0.036 ^a	16.6±1.9 ^a
<i>B. costata</i>	0.5	6.0±0.3 ^a	0.068±0.005 ^a	60.0±1.1 ^a	0.737±0.013 ^a	10.0±0.6 ^a
	1.0	5.5±0.3 ^b	0.060±0.003 ^b	51.5±2.0 ^b	0.636±0.026 ^b	9.4±0.7 ^a
	2.0	5.3±0.4 ^b	0.059±0.004 ^b	46.8±2.4 ^c	0.567±0.033 ^c	8.9±1.1 ^a
<i>T. amurensis</i>	0.5	9.4±1.1 ^a	0.078±0.011 ^a	59.7±2.9 ^a	0.553±0.032 ^a	6.4±1.0 ^a
	1.0	9.6±1.7 ^a	0.080±0.016 ^a	56.6±3.0 ^a	0.523±0.034 ^a	6.1±1.5 ^a
	2.0	10.4±1.7 ^a	0.088±0.016 ^a	60.9±7.8 ^a	0.567±0.073 ^a	6.0±0.6 ^a

Values are means of 40 seedlings±SD. Values with different letters in the same columns within a species indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

또한, 일반적으로 수목의 성장과 생존율은 시비량이 증가할수록 증가하다 어느 수준 이상의 시비량을 초과하면 감소하는 경향을 보인다(Gilliam et al., 1980; Ingestad, 1979; Kwon et al., 2009). 생장이 감소하는 시비 수준은 수종별 양분요구도에 따라 각기 다르게 나타나며, 이러한 과량시비로 인한 생장에 대한 부정적 영향은 일종의 양분독성(nutrient toxicity)으로 판단된다(Timmer and Armstrong, 1987). 즉, 수종에 따라 양분요구도가 다르기 때문에 상토를 이용하는 시설양묘과정에서는 수종에 맞는 적정 시비 수준(배액, 회수)의 제시가 필요한 것이다(Broschat, 1995; Dumroese et al., 2013; Landis et al., 1989).

묘목의 건전도는 지하부 성장 대비 지상부 성장 비율인 H/D율로 판단할 수 있으며(Deans et al., 1989), 묘목의 내건성 지표로서 H/D율이 높을수록 조림 후 바람, 건조, 저온 등의 스트레스에 취약한 것으로 알려져 있다(Burdett, 1990; Grossnickle, 2012). 또한 수종별 시비량의 과·부족은 지하부와 지상부의 불균형적인 성장을 초래하여, 조림 후 고사율 증가, 성장 감소 등의 부정적인 결과가 나타날 수 있다(Etter, 1971; Phillion and Libby, 1984; van den Driessche, 1988). Johnson et al.(1996)은 용기묘의 경우 H/D율 값이 10 cm·mm⁻¹ 이하일 경우 건전한 묘목으로 분류할 수 있다고 보고하였으며, 국내에서는 종묘사업실시요령 내 산림용 묘목규격표에서 용기묘 합격 기준 적용 H/D율 값을 침엽수의 경우 8~14 cm·mm⁻¹, 활엽수는 9~22 cm·mm⁻¹ 범위로 정하고 있다(KFS, 2014). 본 연구결과에서 4수종 모두 종묘사업실시요령 기준 내에서, 시비처리에 따른 H/D율의 유의적 차이는 없었으며 과량시비에 따른 묘목 지상부 웃자람 현상도 나타나지 않았다. 즉, 묘목

의 지상부와 지하부 성장 균형이 적절하게 이루어진 것이다. 또한 참느릅나무가 가장 높은 H/D율 값을 보였으며, 피나무가 가장 낮았다. 그러나 수종별 성장패턴과 형태학적 특성이 다르기 때문에 대상 수종 간 비교는 큰 의미가 없으며, 수종별 적정 시비배액을 구명하기 위해 H/D율과 같은 한 가지 항목을 가지고 묘목 품질을 평가하는 것보다는 이외 묘목품질지수, 광합성 산물의 배분, 근계발달 등의 성장 특성과 함께 광합성, 엽록소 함량 등의 생리적 특성이 종합적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

2. 물질생산량 및 묘목품질지수

느티나무는 2.0 g·L⁻¹ 시비처리구에서 유의적으로 가장 우수한 총 물질생산량을 보였는데, 나머지 두 시비처리구보다 약 60% 이상 높은 값을 나타냈다. 참느릅나무의 총 물질생산량은 0.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 낮았지만, 1.0과 2.0 g·L⁻¹ 시비처리구 간의 유의적 차이는 없었다. 거제수나무는 근원경과 간장 성장과 같이 시비강도가 높아질수록 총 물질생산량이 감소하는 경향을 보였다. 그러나 피나무는 시비처리에 따른 유의적 차이를 보이지 않았다. 느티나무와 피나무의 T/R률은 시비처리에 따른 차이는 없었으며, 참느릅나무와 거제수나무는 2.0 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 높은 값을 보였다(Table 3).

수종별 양분요구도에 맞는 적정 시비는 토양 내 최적 양분조건을 가져다 주며, 결과적으로 활발한 광합성 활동으로 생장이 증가하게 된다(Cho et al., 2011; Han and Chiba, 2009; Richards et al., 1973). 특히 식물의 생장은 토양 내 양분함량에 많은 영향을 받으며, 토양 양분의 함량과 생장은 비례관계에 있다(Inagaki et al., 2009). 또한 시비는

Table 3. The effect of fertilization on the biomass production and T/R ratio of container seedlings of four species.

Species	Fertilization treatment (g·L ⁻¹)	Dry weight (g)				T/R ratio (g·g ⁻¹)
		Leaf	Stem	Root	Total	
<i>Z. serrata</i>	0.5	0.76±0.43 ^b	1.37±0.12 ^c	0.97±0.33 ^b	3.11±0.57 ^c	2.36±1.01 ^a
	1.0	1.21±0.15 ^b	1.79±0.15 ^b	1.45±0.25 ^b	4.45±0.25 ^b	2.12±0.38 ^a
	2.0	2.31±0.06 ^a	2.61±0.23 ^a	2.18±0.19 ^a	7.10±0.43 ^a	2.26±0.11 ^a
<i>U. parvifolia</i>	0.5	1.51±0.13 ^b	1.73±0.28 ^b	2.29±0.32 ^b	5.53±0.59 ^b	1.42±0.11 ^{ab}
	1.0	1.94±0.35 ^b	2.47±0.32 ^a	3.54±0.59 ^a	7.95±0.58 ^a	1.27±0.23 ^b
	2.0	2.46±0.17 ^a	2.83±0.04 ^a	3.11±0.20 ^a	8.40±0.37 ^a	1.71±0.07 ^a
<i>B. costata</i>	0.5	1.91±0.14 ^a	2.32±0.21 ^a	1.24±0.08 ^a	5.47±0.41 ^a	3.41±0.19 ^{ab}
	1.0	1.89±0.01 ^a	1.75±0.06 ^b	1.14±0.01 ^a	4.78±0.05 ^a	3.18±0.07 ^b
	2.0	1.01±0.16 ^b	1.36±0.26 ^b	0.62±0.04 ^b	2.98±0.45 ^b	3.82±0.43 ^a
<i>T. amurensis</i>	0.5	4.66±0.78 ^a	5.16±0.54 ^a	3.82±0.62 ^a	13.64±0.55 ^a	2.64±0.67 ^a
	1.0	4.36±0.45 ^a	5.09±0.51 ^a	4.21±0.47 ^a	13.66±0.37 ^a	2.28±0.49 ^a
	2.0	5.77±1.24 ^a	5.57±0.75 ^a	5.13±1.05 ^a	16.47±2.43 ^a	2.27±0.52 ^a

Values are means of 10 seedlings±SD. Values with different letters in the same columns within a species indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

토양 내 유기물 함량, 미생물 특성, 효소 활성 등에 영향을 미치며, 이로 인해 성장 특성에 변화를 준다(Compton et al., 2004; Frey et al., 2004; Thirukkumaran and Parkinson, 2002). 본 연구에서도 4수종 모두 근원경과 간장 생장이 높은 시비처리구에서 많은 물질생산량을 보였으며, 선행 연구에서도 시비 배액, 방법, 시기 및 비료 종류에 따라 우수한 근원경과 간장 생장 및 생리적 특성을 보인 시비처리구에서 가장 우수한 물질생산량과 양분이용효율이 나타났다고 보고되고 있다(Cho et al., 2012; Dumroese et al., 2013; Juntunen et al., 2003; Kwon et al., 2009; Luis et al., 2009; Park et al., 2010; Timmer and Miller, 1991; Way et al., 2007).

시설양묘과정에서 이용되는 수용성 비료는 대부분 질소, 인, 칼륨과 함께 미량원소들로 구성되었으며, 이러한 요소들은 식물생장에 영향을 미치는 인자이다(Ingestad and Agren, 1992). 즉, 시비량이 증가함에 따라 식물의 생장에 필요한 양분을 충분히 흡수함으로써 양분결핍이 저하되면서 생장이 증가하는 것이다(Salifu and Jacobs, 2006). 그러나 일반적으로 시비량이 증가할수록 생장도 증가하지만, 수종별 적정수준(임계농도) 이상의 시비를 실시할 경우 과량시비에 따른 피해가 나타날 수 있다(Landis et al., 1989; Park et al., 2013). Teng and Timmer(1995)는 적정 수준 이상의 질소 시비에 따라 토양 산도 증가, 알루미늄 독성 피해 등으로 전나무의 생장이 감소하였음을 보고하였으며, 본 연구 대상 수종 중 참느릅나무와 거제수나무는 시비수준이 높아질수록 다른 두 수종보다 더 민감하여 과량시비 피해가 나타난 것으로 판단된다.

양묘과정에서의 적정 시비는 우수한 묘목 품질을 나타내며, 동시에 조림과정에서도 높은 물질생산량을 보인다

(Mackensen et al., 1996). Reddel et al.(1999)의 *Gmelina arborea*와 *Acacia mangium* 연구에서도 적정 시비 처리구에서 생산된 묘목이 양묘과정과 조림과정 모두에서 높은 물질생산량을 보인 것으로 나타났다. 또한 광합성 산물의 배분 및 근계 발달은 조림 성과에 큰 영향을 미치며(Lloret et al., 1999; Tsakalidimi et al., 2005), 지상부 물질생산량과 T/R를 높은 묘목은 조림 후 수분 스트레스에 대한 저항 능력이 떨어져서(Aranda et al., 2002) 불량한 조림 성과를 보일 수 있다. 그러나 본 연구에서는 T/R률이 4수종 모두 모든 시비처리구에서 3.0 g·g⁻¹ 전후의 값을 나타냈기 때문에 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

적정 시비 처리에 의해 우수한 광합성 능력을 지닌 용기묘는 조림 이후 과정에서도 우수한 성장과 높은 활착률

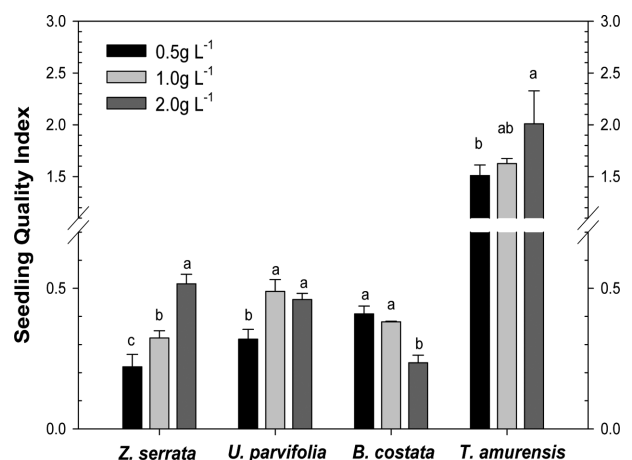


Figure 2. The effect of fertilization on seedling quality index (SQI) of container seedlings of four species. Vertical bars represent SD of the mean (n=10). Different letters within a species show statistical differences among fertilization treatments at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

을 나타낸다(Leiva and Fernandez-Ales, 1998; Oliet et al., 2009). 이러한 이유는 적정 시비로 인해 뿌리에서 수분흡수능력과 수분이동능력이 증가되기 때문이다(Trubat et al., 2006; Hernandez et al., 2009; Chirino et al., 2008). 이러한 적정 시비 과정을 통해 생산되어 높은 묘목품질을 가진 조림목이 우수한 조림성과를 나타낼 수 있다고 판단된다.

시비처리에 따른 느티나무와 피나무의 묘목품질지수는 유의적 차이를 보이면서 2.0 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 우수하였다. 참느릅나무는 0.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 낮은 값을 보였으며, 다른 두 시비처리구에는 유의적 차이는 없었다. 반면, 거제수나무는 2.0 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 낮은 묘목품질을 나타냈으며, 0.5와 1.0 g·L⁻¹ 시비처리구간의 차이는 없었다(Figure 2). 묘목품질지수 결과는 대부분 근원경, 간장 및 물질생산량 결과와 유사한 경향을 보였다. 그러나 피나무와 같이 시비처리에 따라 근원경, 간장 및 물질생산량 등은 유의적 차이가 없어도 묘목품질에서는 차이가 나타날 수 있으며(Cho et al., 2012), 생리적 특성과 함께 절대적인 성장량 뿐만 아니라 지상부와 지하부의 균형적 생장이 이루어졌을 때 묘목품질이 높아지는 것으로 판단된다. 즉, 양묘과정에서는 낮은 H/D율과 T/R를 및 높은 물질생산량일 때 건전하게 생산된 묘목으로 평가받는 것이다(Bayala et al., 2009).

생육상토를 이용하여 용기묘를 생산하는 시설양묘과정에서 시비처리에 따른 양분 조건 변화는 묘목의 품질 및 생산성 향상과 매우 밀접한 관계가 있으며, 조림 성과와도 연계되어 매우 큰 영향을 미친다. 즉, 수종별 시비 조건의 구명을 통한 적정 시비 수준(배액, 회수)의 적용은 우량 묘목 생산으로 우수한 조림 성과를 거둘 수 있으며, 침출수의 비료 성분 최소화에 따라 양묘장 주변 환경오염 저감 효과와 함께 생산비용 절감, 양묘기간 단축 등의 경제적 측면에서도 이점을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 주요 활엽수 조림수종인 느티나무, 참느릅나무, 거제수나무 및 피나무를 대상으로 세 가지 시비처리에 따른 근원경, 간장, 물질생산량, 묘목품질지수 등 성장 특성을 조사·분석하여 시설양묘과정에서 실질적으로 적용 가능한 수종별 적정 시비기술을 구명하고자 수행하였다.

느티나무는 2.0 g·L⁻¹, 거제수나무는 0.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 우수한 성장 및 묘목품질을 나타냈는데, 시비수준에 따라 성장 특성이 반대의 경향을 보인 것이다. 또한, 시비처리에 따른 참느릅나무와 피나무의 근원경과 간장 생장은 유의적 차이가 없었다. 그러나 묘목품질지수는 두 수종 모두 0.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 가장 낮았으며,

1.0 g·L⁻¹과 2.0 g·L⁻¹ 시비처리구 간 유의적 차이는 없었다.

본 연구 결과를 종합해 보면 수종별 양분요구도에 따라 적정 시비 수준이 달라지는 것을 알 수 있었다. 따라서 묘목 품질과 함께 경제적, 환경적 측면을 고려했을 때 느티나무는 최소 2.0 g·L⁻¹, 참느릅나무와 피나무는 1.0 g·L⁻¹, 거제수나무는 최대 0.5 g·L⁻¹이 적정 시비 수준으로 판단된다. 수종별 적정 시비 수준(배액, 회수)의 적용으로 우량 묘목 생산 및 이와 연계된 조림성과 향상뿐만 아니라 환경오염 저감, 생산비용 절감 및 양묘 기간 단축 등 경제적 이점이 기대된다.

References

- Aghai, M.M., Pinto, J.R., and Davis, A.S. 2014. Container volume and growing density influence western larch (*Larix occidentalis* Nutt.) seedling development during nursery culture and establishment. *New Forests* 45: 199-213.
- Aranda, I., Gil, L., and Pardos, J.A. 2002. Physiological responses of *Fagus sylvatica* L. seedlings under *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pyrenaica* Will. Overstories. *Forest Ecology and Management* 162: 153-164.
- Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Ouedraogo, 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: 309-322.
- Broschat, T.K. 1995. Nitrate, phosphate, and potassium leaching from container-grown plants fertilized by several methods. *Hortscience* 30: 74-77.
- Bumgarner, M.L., Salifu, K.F., and Jacobs, D.F. 2008. Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: Nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. *Hortscience* 43: 2179-2185.
- Burdett, A.N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 415-427.
- Chirino, E., Vilagrosa, A., Hernandez, E.I., Matos, A., and Vallejo, V.R. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management* 256: 779-785.
- Cho, M.S., Lee, S.W., Bae, J.H., and Park, G.S. 2011. Effect of different fertilization on physiological characteristics and growth performances of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium* in a container nursery system. *Journal of Bio-Environment Control* 20(2): 123-133 (in Korean with English abstract).
- Cho, M.S., Lee, S.W., and Park, B.B. 2012. Effects of fertilization methods on the growth and physiological characteristics of *Larix kaempferi* seedlings in the container nursery system. *Journal of Bio-Environment Control* 21(1): 57-65 (in Korean with English abstract).

- Compton, J., Watrud, L.S., Porteus, L.A., and DeGroot, S. 2004. Response of soil microbial biomass and community composition to chronic nitrogen additions at Harvard forest. *Forest Ecology and Management* 196: 143-158.
- Deans, J.D., Mason, W.L., Cannell, M.G.R., Sharpe, A.L., and Sheppard, L.J. 1989. Growing regimes for bare-root stock of sitka spruce, douglas fir and scots pine. 1. Morphology at the end of the nursery phase. *Forestry* 62: 53-60.
- Dominguez-Lerena, S., Sierra, N.H., Manzano, I.C., Bueno, L.O., Rubira, J.L.P., and Mexal, J.G. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management* 221: 63-71.
- Dumroese, R.K., Sung, S.S., Pinto, J.R., Davis, A.S., and Scott, D.A. 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.
- Etter, H.M. 1971. Nitrogen and phosphorus requirements during the early growth of white spruce seedlings. *Canadian Journal of Plant Sciences* 51: 61-63.
- Frey, S.D., Knorr, M., Parrent, J.L., and Simpson, R.T. 2004. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests. *Forest Ecology and Management* 196: 159-171.
- Gilliam, C.H., Still, S.M., Moor, S., and Watson, M.E. 1980. Effects of three nitrogen levels on container-grown *Acer rubrum*. *HortScience* 15: 641-642.
- Grossnickle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 30: 273-294.
- Grossnickle, S.C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests* 43: 711-738.
- Haase, D.L., Rose, R., and Trobaugh, J. 2006. Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests* 31: 1-24.
- Han, Q. and Chiba, Y. 2009. Leaf photosynthetic responses and related nitrogen changes associated with crown reclosure after thinning in a young *Chamaecyparis obtusa* stand. *Journal of Forest Research* 14: 349-357.
- Hernandez, E.I., Vilagrosa, A., Luis, V.C., Llorca, M., Chirino, E., and Vallejo, V.R. 2009. Root hydraulic conductance, gas exchange and leaf water potential in seedlings of *Pistacia lentiscus* L. and *Quercus suber* L. grown under different fertilization and light regimes. *Environmental and Experimental Botany* 67: 269-276.
- Hughes, A.P. and Freeman, P.R. 1967. Growth analysis using frequent small harvests. *Journal of Applied Ecology* 4: 553-560.
- Inagaki, M., Inagaki, Y., Kamo, K., and Titin, J. 2009. Fine-root production in response to nutrient application at three forest plantations in Sabah, Malaysia: higher nitrogen and phosphorus demand by *Acacia mangium*. *Journal of Forest Research* 14: 178-182.
- Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirement of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia Plantarum* 45: 373-380.
- Ingestad, T. and Agren, G.I. 1992. Theories and methods on plant nutrition and growth. *Physiologia Plantarum* 84: 177-184.
- Johnson, F., Parterson, J., Leeder, G., Mansfield, C., Pinto, F., and Watson, S. 1996. Artificial regeneration of Ontario's forests: species and stock selection manual. Ontario Forest Research Institute. pp. 52.
- Juntunen, M.L., Hammar, T., and Rikala, R. 2003. Nitrogen and phosphorus leaching and uptake by container birch seedlings (*Betula pendula* Roth) grown in three different fertilizations. *New Forests* 25: 133-147.
- Kim, J.J., Kwon, K.W., Kim, P.G., Yoon, T.S., Lee, K.J., Chung, Y.S., and Son, K.S. 2010. Characteristics of meteorological disasters in Korean nursery industry. *Journal of Climate Research* 5(1): 42-53 (in Korean with English abstract).
- KFS (Korea Forest Service). 2013. Actual results of afforestation in 2012. KFS. pp. 638 (in Korean).
- KFS (Korea Forest Service). 2014. The guidelines for seed and nursery practices. pp. 100 (in Korean).
- Kwon, K.W., Cho, M.S., Kim, G.N., Lee, S.W., and Jang, K.H. 2009. Photosynthetic characteristics and growth performances of containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* growing at different fertilizing schemes. *Journal of Korean Forest Society* 98(3): 331-338 (in Korean with English abstract).
- Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E., and Barnett, J.P. 1989. Seedling nutrition and irrigation. The container tree nursery manual Vol. 4. USDA Forest Service. Agriculture Handbook. Washington. pp. 674.
- Lee, C.H., Shin, C.H., Kim, K.S., and Choi, M.S. 2006a. Effects of light intensity on photosynthesis and growth in seedling of *Kalopanax pictus* Nakai. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 14(4): 244-249 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.K., Lee, D.K., Woo, S.Y., Park, P.S., Jang, Y.H., and Abraham, E.R.G. 2006b. Effect of *Acacia* plantations on net photosynthesis, tree species composition, soil enzyme activities, and microclimate on Mt. Makiling. *Photosynthetica* 44: 299-308.
- Leiva, M.J. and Fernandez-Ales, R. 1998. Variability in seedling water status during drought within a *Quercus Ilex* subsp. *ballota* population, and its relation to seedling morphology. *Forest Ecology and Management* 111: 147-156.
- Lloret, F., Casanovas, C., and Penuelas, J. 1999. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Functional Ecology* 13: 210-216.
- Luis, W.C., Puertolas, J., Climent, J., Peters, J., Gonzalez-

- Rodriguez, A.M., Morales, D., and Jimenez, M.S. 2009. Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. *European Journal of Forest Research* 128: 221-229.
- Mackensen, J., Holscher, D., Klinge, R., and Folster, H. 1996. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 86: 121-128.
- Oliet, J., Planelles, R., Artero, F., Valverde, R., Jacobs, D., and Segura, M.L. 2009. Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. *New Forests* 37: 313-331.
- Park, B.B., Byun, J.K., Kim, W.S., and 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 a nursery culture. *Journal of Korean Forest Society* 95(1): 85-95 (in Korean with English abstract).
- Park, B.B., Byun, J.K., Sung, J.H., and Cho, M.S. 2013. Study of optimal fertilization with vector analysis in hardwood and softwood seedlings. *Journal of Agriculture and Life Science* 47(5): 95-107 (in Korean with English abstract).
- Park, B.B., Cho, M.S., Lee, S.W., Yanai, R.D., and Lee, D.K. 2012. Minimizing nutrient leaching and improving nutrient use efficiency of *Liriodendron tulipifera* and *Larix leptolepis* in a container nursery system. *New Forests* 43: 57-68.
- Phillion, B.J. and Libby, M. 1984. Growth of potted black spruce seedlings at a range of fertilizer levels. *The Plant Propagator* 30: 10-11.
- Reddell, P., Webb, M.J., Poa, D., and Aihuna, D. 1999. Incorporation of slow-release fertilisers into nursery media. *New Forests* 18: 277-287.
- Richards, N.A., Leaf, A.L., and Bickelhaupt, D.H. 1973. Growth and nutrient uptake of coniferous seedlings: comparison among 10 species at various seedbed densities. *Plant and Soil* 38: 125-143.
- Salifu, K.F. and Jacobs, D.F. 2006. Characterizing fertility targets and multi-element interactions in nursery culture of *Quercus rubra* seedlings. *Annals of Forest Science* 63: 231-237.
- SAS Institute Inc. 2000. SAS/STAT TM guide for personal computer. Version 8 edition. SAS Institute Inc., N.C. pp. 1026.
- Sestak, Z., Catsk, J., and Jarvis, P.G. 1971. Plant photosynthetic production manual of methods. The Hague. Herto-genbosch. pp. 818.
- Sung, H.I., Song, K.S., Cha, Y.G., and Kim, J.J. 2011. Characteristics of growth and seedling quality of 1-year-old container seedlings of *Quercus myrsinaefolia* by shading and fertilizing treatment. *Journal of Korean Forest Society* 100(4): 598-608 (in Korean with English abstract).
- Teng, Y. and Timmer, V.R. 1995. Rhizosphere phosphorus depletion induced by heavy nitrogen fertilization in forest nursery soils. *Soil Science Society of America Journal* 59: 227-233.
- Thirukkumaran, C.M. and Parkinson, D. 2002. Microbial activity, nutrient dynamics and litter decomposition in a Canadian Rocky Mountain pine forest as affected by N and P fertilizers. *Forest Ecology and Management* 159: 187-201.
- Timmer, V.R. and Miller, B.D. 1991. Effects of contrasting fertilization and moisture regimes on biomass, nutrients, and water relations of container grown red pine seedlings. *New Forests* 5: 335-348.
- Timmer, V.R. and Armstrong, G. 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analyses. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1082-1086.
- Trubat, R., Cortina, J., and Vilagrosa, A. 2008. Short-term nitrogen deprivation increases field performance in nursery seedlings of Mediterranean woody species. *Journal of Arid Environments* 72: 879-890.
- Tsakalidimi, M., Zagas, T., Tsitoni, T., and Ganatsas, P. 2005. Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oak species raised in different container types. *Plant and Soil* 278: 85-93.
- van den Driessche, R. 1988. Nursery growth of conifer seedlings using fertilizers of different solubilities and application time, and their forest growth. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 172-180.
- Way, D.A., Seegobin, S.D., and Sage, R.F. 2007. The effect of carbon and nutrient loading during nursery culture on the growth of black spruce seedlings: a six-year field study. *New Forests* 34: 307-312.
- Wilson, E.D., Vitols, K.C., and Park, A. 2007. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada. *New Forests* 34: 163-176.