

## 시비 처리가 백합나무 용기묘의 생장 및 생리적 특성에 미치는 영향

조민석<sup>1</sup> · 이수원<sup>1</sup> · 박병배<sup>2</sup> · 박관수<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림생산기술연구소, <sup>2</sup>국립산림과학원 산림보전부,  
<sup>3</sup>충남대학교 산림환경자원학과

### The Effects of Fertilization on Growth Performances and Physiological Characteristics of *Liriodendron tulipifera* in a Container Nursery System

Min Seok Cho<sup>1</sup>, Soo Won Lee<sup>1</sup>, Byung Bae Park<sup>2</sup> and Gwan Su Park<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

<sup>2</sup>Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

<sup>3</sup>Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

**요 약:** 시비는 시설양묘과정에서 반드시 실시되어야 하지만, 토양 및 계류수 오염의 문제를 야기할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 시설양묘과정에서 시비량 조절에 따른 친환경적·경제적 시비방법 구명을 위해 Constant rate, Three stage rate 및 Exponential rate 등의 3 가지 시비 처리를 실시하였으며, 시비 처리에 따른 생장 특성 및 광합성, 엽록소 형광반응, 엽록소 함량 등을 조사·분석하였다. 그 결과, 근원경, 간장 및 물질생산량은 Constant 처리에서 가장 우수하였다. 묘목품질지수 또한 같은 경향을 보였지만, 유의적 차이는 나타나지 않았다. Exponential 처리구에서도 50%의 시비량으로 규격묘 생산이 가능했다. 광합성 능력은 세 처리구 모두 우수하였으며, 광화학 효율과 엽록소 함량은 Exponential 처리구에서 유의적으로 가장 낮게 나타났다. Exponential 시비 방법으로 생리 및 생장에 문제없는 규격묘를 생산할 수 있었다. 즉, 최소 비용의 최대 생장 효과와 함께 친환경적 시비 방법이라 할 수 있다.

**Abstract:** Fertilization is essential to seedling production in nursery culture, but excessive fertilization can contaminate surface and ground water around the nursery. The objective of this study was to find optimal fertilization practice of container seedling production for reducing soil and water contamination around the nursery without compromising seedling quality. This study was conducted to investigate growth performance, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll contents of *Liriodendron tulipifera* growing under three different fertilization treatments (Constant rate, Three-stage rate, and Exponential rate fertilization). Root collar diameter, height, and biomass of *L. tulipifera* were the highest at Constant treatment. Like growth performance, seedling quality index (SQI) were higher at Constant than at other treatments, but not significantly different among treatments. *L. tulipifera* showed good photosynthetic capacity at all treatments. Photochemical efficiency and chlorophyll contents were significantly lower at Exponential than at other treatments. Therefore, Exponential fertilization which is 50% fertilizer of other treatments would maximize seedling growth and minimize nutrient loss.

**Key words :** exponential fertilization, *Liriodendron tulipifera*, container seedling, growth performances, seedling quality index, photosynthesis

## 서 론

지속적인 산림의 생산과 산림생태계 유지를 목표로 하기 위해서는 건전한 임분의 조성 및 갱신이 필요하다. 양묘과정에서의 우량묘목 생산은 성공적인 조림과 건전한

임분 조성으로 이어진다. 특히, 시설양묘는 노지양묘보다 조림 시 높은 활착률, 우수한 생장, 연중 조림 가능, 양묘 기간 단축, 생력화 가능, 노동력 절감 등의 이점을 가지고 있다(Wilson *et al.*, 2007). 또한 현재 시설양묘 수종 확대 및 기준 마련과 현장에서의 다양한 수종에 대한 용기묘 식재 요구가 증가하고 있는 실정이다(권기원 등, 2009).

백합나무의 양묘는 바이오 순환림 조성과 함께 활발히

\*Corresponding author  
E-mail: gspark@cnu.ac.kr

이루어지고 있으며, 노지양묘 및 클론 임업에 대한 연구 및 기술개발은 지속적으로 이루어지고 있으나(안찬훈 등, 2010; 유근욱 등, 2007), 백합나무 용기묘에 대한 연구 및 양묘 기술은 부족한 실정이다. 국내에서는 2009년까지 6,116 ha의 바이오 순환림을 조성하였으며, 2010년부터 바이오 순환림 조성을 대폭 확대함에 따라 연차별 조림계획을 수립하여 효과적인 바이오 순환림 조성을 위해 2020년까지 10만ha를 조성할 계획을 추진하고 있다(산림청, 2011). 특히, 바이오 순환림 조성 활엽수종 중 백합나무는 현재까지 46.9% 정도를 차지하고 있으며, 2020년까지 약 60%를 식재할 것으로 추진하고 있어 백합나무묘목의 대량 생산이 필요한 실정이다(유근욱 등, 2009). 즉, 우량 묘목 생산과 조림 성과를 높이기 위한 백합나무 시설양묘기술 개발이 필요하다.

시설양묘과정에서는 광, 온도, 수분 등의 생육환경 조절과 용기 종류, 상토, 시비기술 등이 중요한 영향을 미친다(이수원 등 2006; Grossnielke, 2005). 그 중에서 시비는 생육상태에서 양묘되는 용기묘의 특성 상 반드시 실시되어야 한다(Broschat, 1995). 그러나 반복적인 시비는 시설양묘장 주변의 토양 및 계류수의 환경적인 문제를 일으킬 수 있다(Bumgarner *et al.*, 2008). 따라서 시비량 조절 및 시비기술을 통한 오염수 제어 기술 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 시설양묘과정에서 생장패턴에 따른 친환경적·경제적 시비방법 구명을 위해 Constant rate, Three stage rate 및 Exponential rate 등의 3가지 시비 처리를 실시하였다. Three stage rate 처리는 일률적인 시비보다 시비 효율이 우수한 것으로 알려져 있으며(Landis *et al.*, 1989), Exponential 처리는 다른 시비 기술보다 시비효율이 높고, 조림 시 우수한 생장을 보이는 것으로 보고되고 있다(Timmer, 1997). 특히, 수목의 시비 및 조림과정과 연계된 시비효율 연구에서 Exponential 시비 기술에 대한 연구가 매우 활발히 수행되고 있다(Quoreshi and Timmer 2000; Salifu and Timmer, 2003).

본 연구에서는 시비 처리에 따른 생장 특성 및 광합성, 엽록소 형광반응, 엽록소 함량 등의 생리적 특성 변화를 조사·분석하였으며, 본 연구 결과는 최소 시비량에 대한 최대 생장 효과와 적정 시비방법 적용에 따른 환경오염의 최소화 및 양묘비용 절감과 함께 고품질 우량 용기묘의 대량 수급에 따른 우수한 조림성고가 기대되며, 시설양묘 시업기술체계 구축에 기초자료로 사용될 수 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시수종

시험지는 경기도 포천에 위치한 국립산림과학원 산림생산기술연구소 시설온실(북위 37° 45', 동경 127° 10')로서, 본 연구에서는 국립산림과학원 산림자원육성부에서 2009년 2월 파종한 백합나무(*Liriodendron tulipifera*) 종묘를 이용하였다. 2009년 4월 종묘를 20월 용기(400 mL cell-150seedlings/m<sup>2</sup>, Kukilchem, Korea)에 1개씩 이식하였다. 양묘 시 생육상태는 피트모스:필라이트:질석(1:1:1, v/v)의 상토(Table 1)를 이용하였다. 이식 후, 시비 처리 전 6월 10일까지 매일 m<sup>2</sup>당 20 L 관수를 실시하였다. 상토의 토양분석에 사용된 모든 방법은 농업기술연구소(1988)의 토양분석 방법에 준하여 실시하였다.

### 2. 시비 처리

시비는 2009년 6월 1일부터 총 11주 동안, 주 3회씩 실시하였으며, 수용성 비료인 MultiFeed 19(N:P:K=19:19:19, Haifa Chemicals, Israel)를 이용하여, 처리별 4개의 용기, 총 80본의 용기묘에 20 L의 관수와 병행하여 시비를 실시하였다.

시비 처리는 용기묘의 생장 속도 및 생장패턴에 따라 고정된 시비량을 지속적으로 실시하는 Constant rate, 양묘기간을 3 시기로 나누어 3 단계로 시비를 실시하는 Three stage rate 및 양묘기간이 지남에 따라 시비량을 점점 증가

**Table 1. Chemical properties of the growth medium receiving three types of solution irrigation for 11 weeks.**

Fertilization treatments	Organic matter (%)	pH	Total N (g · kg <sup>-1</sup> )	Available Phosphorus (mg · kg <sup>-1</sup> )
Pretreatment	46.42	5.29	3.68	13.63
Constant	33.46 ± 1.30	4.12 ± 0.04	3.15 ± 0.31	56.07 ± 29.23
Three stage	31.59 ± 0.80	4.13 ± 0.12	2.64 ± 0.09	73.17 ± 7.16
Exponential	28.50 ± 0.92	4.10 ± 0.03	2.69 ± 0.12	79.09 ± 15.84
Ex-Cations (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )				
Fertilization treatments	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
Pretreatment	0.20	1.52	0.85	3.21
Constant	0.18 ± 0.01	1.70 ± 0.08	0.65 ± 0.01	0.12 ± 0.02
Three stage	0.19 ± 0.01	1.69 ± 0.05	0.69 ± 0.04	0.14 ± 0.02
Exponential	0.36 ± 0.02	1.84 ± 0.07	0.84 ± 0.01	0.12 ± 0.00

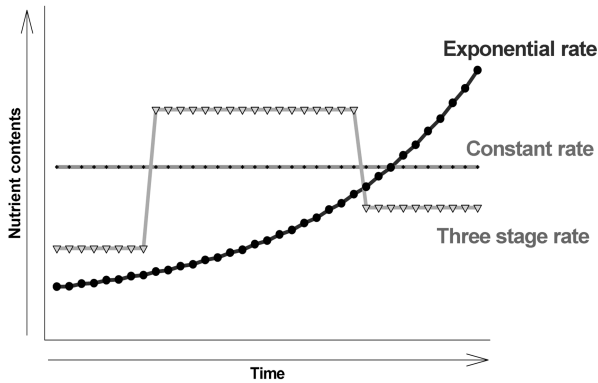


Figure 1. Change of nutrient contents applied for container seedling of *L. tulipifera* by Constant, Three stage, and Exponential fertilizations for 11weeks.

Table 2. Fertilizer amounts of container seedling of *L. tulipifera* receiving three types of solution irrigation for 11 weeks.

Fertilization treatments	Fertilizer amounts (mg · seedling <sup>-1</sup> )
Constant	25.6 Total 845.9
Three stage	Establishment stage 8.5
	Accelerated growth stage 37.7
	Hardening stage 17.1 Total 845.9
Exponential	Ni 6.8
	Nf 74.8
	r 0.0753 N <sub>f</sub> =N <sub>i</sub> × (e <sup>r</sup> -1) Total 422.9

시키는 Exponential rate 등의 3 가지 방법으로 시비를 실시하였다(Figure 1).

Constant 처리는 1회 시비 시 분당 25.6 mg, 총 845.9 mg의 비료가 투입되었다. Three stage 처리는 각각 초기단계(8회) 8.5 mg, 생육단계(17회) 37.7 mg, 경화단계(8회) 17.1 mg으로 총 845.9 mg으로 Constant 처리와 같은 수준이었다. Exponential 처리는  $N_f = N_i \times (e^r - 1)$  식을(Dumroese *et al.*, 2005) 이용하여 시비량을 계산하였으며, 각각은 r (증가상수)=0.0753, N<sub>i</sub>(최초양분함량)=6.8 mg, N<sub>f</sub>(최종양분함량)=74.8, t(시비회수)=33, e(자연로그상수)=2.71828이다. Exponential 처리의 총 시비량은 422.9 mg으로 다른 두 시비 처리에 비해 약 50%의 수준을 나타내고 있다 (Table 2).

### 3. 측정 및 결과 분석

#### 1) 성장 특성

시비 처리에 따른 성장을 조사하기 위하여 6월 초 시비 처리 실시 전과, 그 후로 20일 간격으로 8월 말까지 처리 별, 수종별 묘목을 각 16본씩 선정하여 근원경과 간장을 반복 측정하여 성장 및 상대성장량을 분석하였다. 처리 전

근원경과 간장의 측정값에 대한 각각의 단위기간(day<sup>-1</sup>) 당 및 총 양묘기간에 대한 상대성장량을 계산하였다(이철호 등, 2006; Hughes and Freeman, 1967). 또한 양묘 된 묘목의 건전도를 판단할 수 있는 H/D율[SQ; sturdiness quotient=height(cm)/root collar diameter(mm)]을 계산하였다(Bayala *et al.*, 2009). 간장과 근원경 측정 시 전자식캘리퍼스와 스틸테이프를 이용하였다. 2009년 8월 말 모든 실험이 끝난 후 묘목을 처리별 각 10본씩 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 구분하여 건조기에 48시간 동안 65°C로 건조한 후, 각각의 건조량을 측정하였다. 건조량 측정결과에 의해 묘목 각각의 물질생산량, 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R율을 계산하였다(Šestak *et al.*, 1971). 또한 양묘 된 묘목의 품질지수를 나타내는 Seedling Quality Index(SQI)를 계산하였는데(Deans *et al.*, 1989), 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Seedling Quality Index} = \frac{\text{Seedling dry weight(g)}}{\text{H/D ratio} + \text{T/R ratio}}$$

#### 2) 광합성 특성

시비 처리에 따른 광합성 차이를 조사하기 위하여 2009년 8월 초 처리별 성장 속도가 비슷하고, 평균적인 생육상태를 유지하고 있는 묘목의 잎을 대상으로 휴대용 광합성 측정장치(Portable photosynthesis system, Li-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 측정하였다. 측정 시 광도를 임의로 조절할 수 있는 LED light source(LI-6400-02, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 PPFD(Photosynthetic Photon Flux Density)를 0, 25, 50, 100, 200, 500, 800, 1,000, 1,500, 2,000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 10단계로 차이를 두어 오전 10시부터 오후 2시까지 광합성 반응을 측정하였다. 광합성 측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은 500  $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ , 온도는 25°C로 설정하여 외기의 환경변화로 인한 영향이 없도록 하였다. 또한 광합성 측정기에 CO<sub>2</sub> injector system(LI-6400-01, LI-COR Inc., USA)을 부착하여 CO<sub>2</sub> 농도를 400±2  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  범위 내에서 안정된 상태를 유지시켰다(김판기 등, 2001; 임종환 등, 2006). 시비 처리별 광합성 속도를 측정하여 광-광합성곡선을 작성(Sigmaplot, 2000)하고, 이 곡선에서 순양자수율(apparent quantum yield), 광보상점, 광포화점 및 이때의 광합성 능력(photosynthetic capacity) 등을 산출하였다. 순양자수율은 PPFD 0~100  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  영역에서 광과 광합성의 직선회귀식  $y = a + bx$ 의 기울기 b이다(Barker *et al.*, 1997). 직선회귀식의 x절편(-a/b)은 광보상점이며, 광합성 속도가 증가하다가 일정한 값(A<sub>sat</sub>)을 유지하기 시작할 때 x의 값인 (A<sub>sat</sub> - a)/b가 광포화점이다. 광합성 능력은 광포화점보다 높은 광도에서의 광합성 속도를 평균으로 하는 값으로 하

였다(김판기와 이은주, 2001).

3) 엽록소 형광반응 특성

시비 처리에 따른 엽록소 형광 반응을 조사하기 위하여 엽록소 형광반응 측정기(Continuous source chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 측정하였다. 형광반응 측정은 광합성 측정과 동일한 잎을 대상으로 sample clip으로 광을 차단하여 측정 전 약 20분간 측정 대상 잎을 암 조건에 적응시킨 후 측정하였다. 측정할 때는  $2000 \mu\text{molm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광선을 조사하였다(최용봉과 김종희, 1995; Demmig와 Bjorkman, 1987). 초기 형광반응( $F_0$ ), 최대 형광반응( $F_m$ ), 형광반응 최대 변화치( $F_v=F_m-F_0$ ) 및 광화학반응 효율( $F_v/F_m$ )의 변수를 측정하여 비교·분석하였다.

4) 엽록소 함량 분석

시비 처리에 따른 엽록소 함량의 변화를 조사하기 위하여 엽록소의 추출은 Hiscox와 Israelstam(1978)의 방법에 따라 DMSO(dimethylsulfoxide)를 추출 용매로 이용하여 엽록소를 추출하였다. 추출액을 UV-Visible spectrophotometer(Nicolet Evolution 100, Thermo Electron Co., USA)를 이용하여 663 nm( $A_{663}$ )와 645 nm( $A_{645}$ )의 파장에서 흡광도를 측정하여 아래와 같은 식으로 엽록소 a와 b의 함량을 구하였다(Arnon, 1949; Mackinney, 1941).

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh wt.)} \\ = (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll b (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh wt.)} \\ = (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Chlorophyll (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh wt.)} \\ = (8.02 \times A_{663} + 20.20 \times A_{645}) \end{aligned}$$

시비 처리에 따른 측정결과를 비교, 분석하기 위해서 Duncan의 다중검정법으로 각각의 처리구간의 유의성 분석을 실시하였으며, 모든 통계분석은 PC SAS program Version 8.2(SAS, 2000)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 생장 특성

Figure 2는 시비 처리에 따른 백합나무 용기묘의 근원경과 간장의 생장 및 20일 간격의 기간별 상대생장량을 나타내고 있다. 근원경 생장은 유의적 차이를 보이면서 Constant 처리구에서 가장 높은 값을 보였으며, Three stage, Exponential 처리구 순으로 나타났다( $P < 0.01$ ). 간장 생장도 근원경과 같은 경향을 보였지만 유의적 차이는 보이지 않았다( $P = 0.19$ ). 그러나 세 시비 처리구 모두 백합나무 용기묘(1-0)의 규격인 근원경 4.8 mm, 간장 36 cm(국립산림과학원, 2010) 이상의 생장을 보였으며, 이는 규격

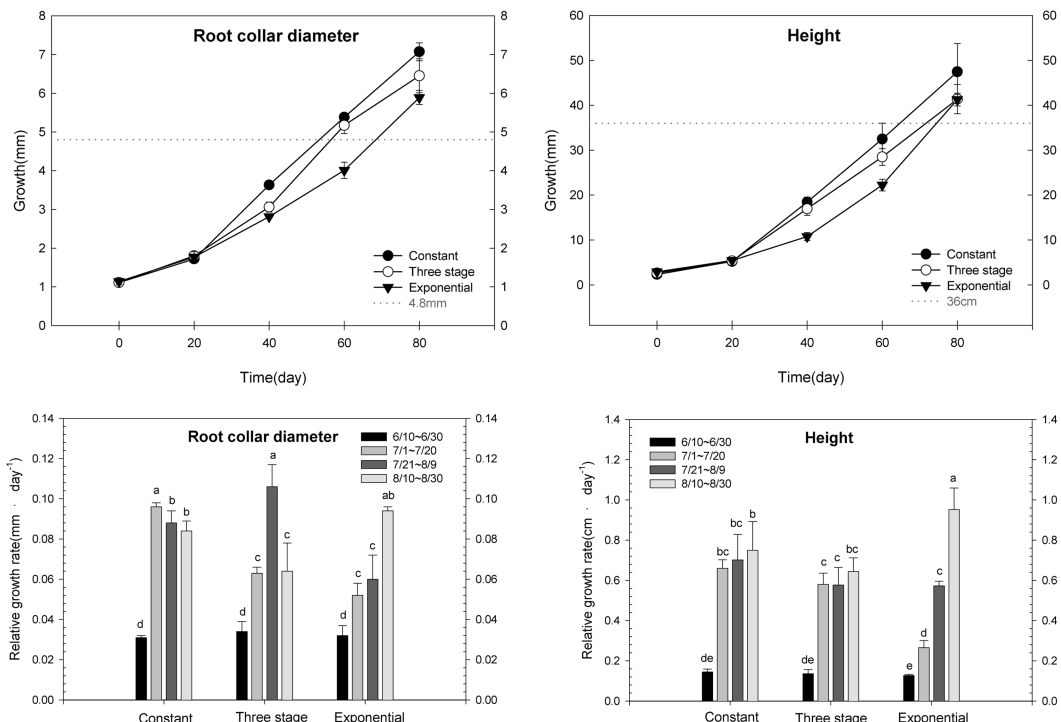


Figure 2. The growth patterns of root collar diameter and height of container seedling of *L. tulipifera* under three different fertilization treatment. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

묘 생산에 문제가 없는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과를 보인 이유는 Constant와 Three stage 처리구는 기간별 상대성장량이 증가하다 감소하거나, 증가폭이 매우 작게 나타나 지속적인 성장을 하지 않지만, Exponential 처리구는 8/10~8/30까지의 20일간 상대성장량에서 볼 수 있듯이, 양묘기간이 지날수록 지속적으로 높은 상대성장량을 보이기 때문이라 판단된다. 즉, 다른 두 처리구에 비해 50%의 시비량으로 최대의 성장 효과를 보인 것이다. 이는 Exponential 시비 방법이 약 40~60%의 시비량으로 일률적인 시비(Conventional fertilization)에 대해 유사한 성장과 물질생산량 및 묘목 품질을 보인 선행의 연구와 같은 경향을 보인 것이다(Close *et al.*, 2005; Dumrose *et al.*, 2005; Qu *et al.*, 2003). 상대성장량의 패턴은 기후에 따라 변하며, 수분, 광선, 양분, 온도 등의 환경 조절에 의해 식물은 다양한 성장 및 물질생산의 변화를 나타낼 수 있다(Lambers and Poorter, 1992). 특히 시비의 양과 방법은 식물의 성장 패턴에 큰 영향을 미치며, 용기묘의 수종별·시기별 양분요구량에 대한 과·부족은 성장 및 묘목 품질의 저하를 초래한다(Hernandez *et al.*, 2009; Juntunen *et al.*, 2003). 본 연구에서도 시비 처리에 따른 성장 패턴 및 시기별 상대성장량에 미치는 영향을 볼 수 있었다.

양묘 된 묘목의 건전도를 판단할 수 있는 H/D율은 시비 처리에 따른 유의적 차이는 없지만( $P=0.32$ ), Exponential 처리구에서 가장 높은 값을 보였다(Table 3). Exponential 처리구가 다른 두 처리구에 비해 직경 성장보다 간장 생

장에 광합성 산물이 더 많이 분배된 것이다. 시비 처리에 따른 잎, 줄기, 뿌리 및 총 물질생산량은 유의적 차이를 보이면서 Constant 처리구가 가장 높은 물질생산량을 보였다( $P<0.05$ ). 그러나 다른 두 처리구에 비해 약 1 g 정도 높은 수준을 나타낸 것이다. 반면, T/R율은 유의적 차이를 보이면서 Exponential 처리구에서 가장 높게 나타났으며( $P<0.01$ ), 물질생산량과는 반대, H/D율은 같은 경향을 보인 것이다(Table 4). 광합성 산물의 배분 및 근계 발달은 조림 성과에 큰 영향을 미치며(Lloret *et al.*, 1999; Tsakalidimi *et al.*, 2005), 지상부의 물질생산량과 T/R율이 높은 묘목은 조림 시 수분 스트레스 저항 능력을 떨어뜨려(Leiva and Fernandez-Ales 1998; Aranda *et al.*, 2002), 불량한 조림 성과를 보일 수 있다. 그러나 본 연구에서 시비 처리에 따른 뿌리의 물질생산량과 배분이 차이는 보이지만, 양적으로 1 g 미만의 차이로서 조림 성과에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

양묘하여 생산된 묘목이 낮은 H/D율과 T/R율 및 높은 품질지수(SQI)일 때 건전하게 생산된 묘목으로 평가받는다(Bayala *et al.*, 2009). 그러나 위의 세 가지 평가기준으로는 단정적으로 묘목의 질적, 양적 평가를 하기에는 부족하다(Cout-Picon *et al.*, 2004; Mattsson, 1996). 즉, 성장 및 형태학적 특성 결과와 함께 광합성, 엽록소 형광 반응 등의 생리적 특성 결과를 연계한 평가 지표 모델을 만들 필요가 있다(Davis and Jacobs, 2005; Gazal *et al.*, 2004).

**Table 3. Root collar diameter, height and H/D ratio of container seedling of *L. tulipifera* under three different fertilization treatment.**

Fertilization treatment	Root collar diameter		Height		H/D ratio (cm/mm)
	Growth(mm)	RGR <sup>1</sup> (mm · day <sup>-1</sup> )	Growth(cm)	RGR (cm · day <sup>-1</sup> )	
Constant	7.07 ± 0.23 <sup>a2</sup>	0.075 ± 0.003 <sup>a</sup>	47.46 ± 6.33 <sup>a</sup>	0.564 ± 0.080 <sup>a</sup>	6.7 ± 0.7 <sup>a</sup>
Three stage	6.45 ± 0.44 <sup>ab</sup>	0.067 ± 0.005 <sup>b</sup>	41.36 ± 3.25 <sup>a</sup>	0.484 ± 0.039 <sup>a</sup>	6.4 ± 0.1 <sup>a</sup>
Exponential	5.89 ± 0.18 <sup>b</sup>	0.059 ± 0.002 <sup>b</sup>	41.27 ± 1.42 <sup>a</sup>	0.480 ± 0.017 <sup>a</sup>	7.0 ± 0.2 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>RGR; Relative growth rate

<sup>2</sup>Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

**Table 4. Effect of fertilization treatment on the biomass production, biomass distribution, and T/R ratio of container seedling of *L. tulipifera*.**

Fertilization treatment	Dry weight(g)				T/R ratio (g · g <sup>-1</sup> )
	Leave	Shoot	Root	Seedling	
Constant	3.26 ± 0.35 <sup>a1</sup> (30) <sup>2</sup>	3.79 ± 0.27 <sup>a</sup> (35)	3.74 ± 0.29 <sup>a</sup> (35)	10.79 ± 0.04 <sup>a</sup> (100)	1.90 ± 0.21 <sup>a</sup>
Three stage	2.48 ± 0.28 <sup>b</sup> (26)	3.18 ± 0.41 <sup>a</sup> (33)	3.89 ± 0.27 <sup>a</sup> (41)	9.54 ± 0.53 <sup>b</sup> (100)	1.46 ± 0.06 <sup>b</sup>
Exponential	3.11 ± 0.14 <sup>a</sup> (33)	3.12 ± 0.039 <sup>a</sup> (34)	3.09 ± 0.20 <sup>b</sup> (33)	9.33 ± 0.44 <sup>b</sup> (100)	2.02 ± 0.13 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

<sup>2</sup>The numbers in parenthesis indicate the percentages of dry weight of each part to total dry weight of seedlings.

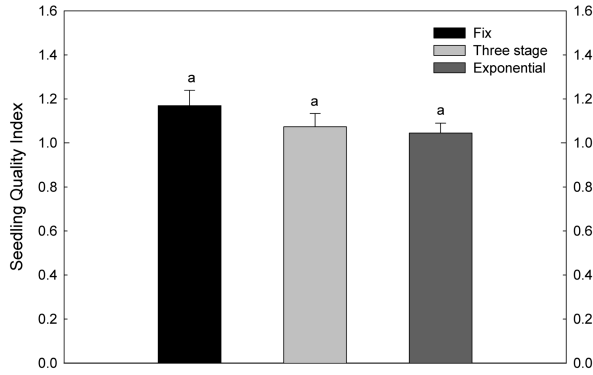


Figure 3. Effect of fertilization treatment on the seedling quality index (SQI) of container seedling of *L. tulipifera*. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

묘목의 품질지수를 나타내는 Seedling Quality Index (SQI)는 Exponential 처리구에서 가장 낮게 나타났지만, 유의적 차이를 보이지 않았다( $P=0.14$ ). 이는 광합성 활동에 따른 근원경과 간장 성장 및 물질생산에서는 시비 처리에 따른 차이를 보였지만, 산물의 배분 과정이 적절히 이루어졌으며, 용기묘 내 양분 함량과 양분이용효율이 높기 때문에 Exponential 처리구의 묘목 품질이 저하되지 않은 것으로 판단된다(Figure 3). 다른 시비 방법보다 Exponential 처리구는 높은 양분저장능력(Nutrient Loading)을 가지고 있어(Timmer, 1997; Xu and Timmer, 1999), 용기묘 조립 후, 우수한 성장 및 높은 활착률을 나타내며(Salifu and Timmer, 2003; Trubat *et al.*, 2008; Way *et al.*, 2007), 조립시 하층식생과의 경쟁에서도 우위를 점할 수 있다(Imo and Timmer, 1999; Luis *et al.*, 2009). 즉, 양묘 과정뿐만 아니라 조립 후에도 경쟁력을 갖춘 묘목을 생산할 수 있는 것이다.

2. 생리적 특성

Figure 4는 시비 처리에 따른 광-광합성 곡선 그래프이며, 이 그래프를 이용하여 Table 5에서는 광보상점, 광포화점, 광합성 능력 및 순양자수율을 나타내고 있다. 백합나무 용기묘의 광합성률은 Constant > Three stage > Exponential 순으로 나타났지만, 처리 간 큰 차이는 보이지 않았다. 세 처리구 모두 비슷한 수준의 광합성 능력을 나타낸 것이다. 시비 기술은 다양한 시설양묘과정에서 다

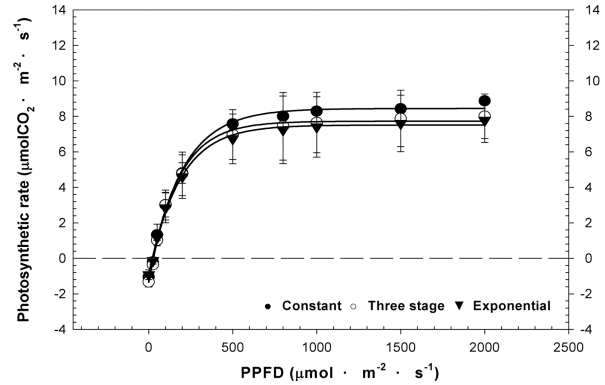


Figure 4. Effect of fertilization treatment on the photosynthetic rate of container seedling of *L. tulipifera*.

양한 생리적 변화를 가져오며, 고품질 용기묘를 생산하기 위해서는 광합성 활동이 우수하게 나타날 수 있는 시비 기술의 개발이 필요하다(Oliet *et al.*, 2009). 광합성 능력은 양묘 된 묘목의 평가에 자주 이용되는 지표로서, 광합성 활동이 활발한 묘목일수록 묘목 품질이 우수해지며, 조립 후 높은 활착과 우수한 성장을 보인다. 이러한 이유는 활발한 광합성 활동은 근계 발달 및 뿌리 활착을 우수하게 하며, 이로 인해 조립 후 뿌리와 줄기의 수분 공급이 원활하게 이루어 질 수 있기 때문이다(Burdett *et al.*, 1983). 또한 무조건적인 과량 시비는 수종별 생리적 스트레스를 보여 양묘과정에서의 성장과 묘목 품질 및 조립 후 불량한 성장과 활착을 보일 수 있기 때문에 수종별 적정 시비량에 맞는 시비 방법의 연구가 필요할 것으로 판단된다(Luis *et al.*, 2010). Exponential 처리구 또한 다른 두 처리구에 비해 50%의 시비량으로 상대적으로 활발한 광합성 활동, 이에 따른 우수한 조립 성과를 기대할 수 있을 것이다.

시비 처리에 따른 백합나무 용기묘의 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치( $F_v/F_m$ )인 광화학 효율은 유의적 차이를 보이면서 Constant 처리구에서 가장 높은 값을 보였으며, 처리구별로 광합성 특성과 같은 경향을 보였다(Figure 5). 이는 광화학효율이 생육환경 스트레스에 대한 중요한 지표로서(Rascher *et al.*, 2000), 광합성 능력과 밀접한 관계에 있으며(Bose *et al.*, 1988), 서로 비례관계 경향을 나타낸다. 즉, 광합성 능력이 상대적으로 높은 Constant 처리구에서 우수한 광화학효율을 보인 것이다.

Table 5. Estimated values of photosynthetic parameters of container seedling of *L. tulipifera* under three different fertilization treatment.

Fertilization treatment	Light compensation point ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Light saturation point ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Photosynthetic capacity ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Apparent quantum yield ( $\text{mmolCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )
Constant	25.4	960.3	8.4	47.5
Three stage	22.7	882.8	7.7	46.9
Exponential	21.9	867.2	7.5	41.9

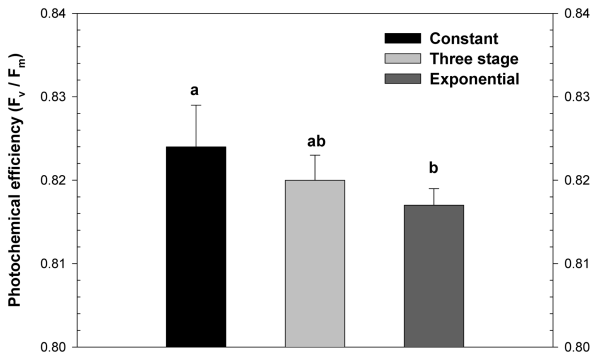


Figure 5. The photochemical efficiency of container seedling of *L. tulipifera* under three different fertilization treatment. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

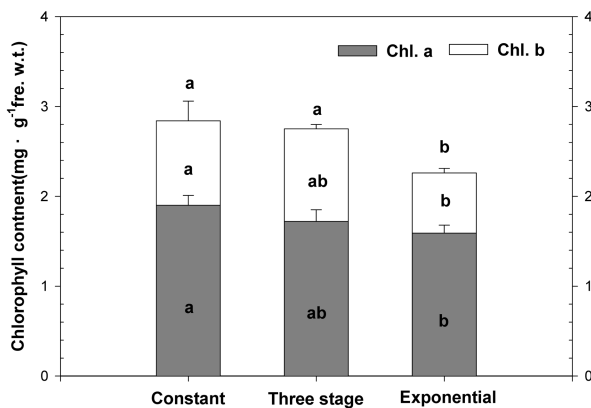


Figure 6. The chlorophyll contents of container seedling of *L. tulipifera* under three different fertilization treatment. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

식물의 건전한 잎은 0.83 정도의 광화학 효율이 나타나지만(Krause and Weis, 1991), 본 연구에서는 세 시비 처리 모두 광화학 효율이 건전 잎 수준에는 못 미쳤다. 이는 발아 후 약 5개월인 백합나무 용기묘가 시비 외 광, 온도, 수분 등의 생육환경 스트레스에 대한 저항력이 낮기 때문이라 판단된다.

시비 처리에 따른 총 엽록소 함량은 광합성 능력 및 광화학 효율 결과와 같이 Exponential 처리구에서 유의적 차이를 보이면서 가장 낮은 값을 보였다(Figure 6). 그러나 시비량의 감소는 상대적으로 엽록소 b의 감소를 가져왔으며, 이에 따라 엽록소 a/b율은 Exponential 처리구에서 가장 높게 나타나며, 총 엽록소 함량과는 반대의 경향을 보였다.

엽록소 형광 반응 및 엽록소 함량 특성을 보면, 시설양묘과정에서 시비가 명반응 과정에서 광 확보 능력에 영향을 미치는 것을 알 수 있다(권기원 등, 2009). 시비가 광합성 활동 및 생육 활동과 연계하여 양묘과정에서의 묘목의 생산 및 품질에 큰 영향을 미치는 것이다. 그러나

Exponential 처리구는 생리적 특성이 다른 두 처리구에 비해 크게 저하되지 않았으며, 이는 성장 특성 결과와 같은 경향을 보인 것이다. 즉, Exponential 처리구는 시설양묘 과정에서 약 50%의 시비량으로 백합나무 규격묘를 생산할 수 있으며, 그 생리적 특성 또한 크게 떨어지지 않은 것이다.

## 결론

본 연구에서는 시비 처리에 따른 성장 특성 및 광합성, 엽록소 형광반응, 엽록소 함량 등의 생리적 특성 변화를 조사·분석하여 최소 시비량에 대한 최대 성장 효과와 적정 시비 방법 적용에 따른 환경오염의 최소화를 목적으로 연구를 실시하였다.

시비 처리에 따른 근원경 생장은 Constant 처리구에서 가장 높은 값을 보였으며, Three stage, Exponential 처리구 순으로 나타났다. 간장 성장도 근원경과 같은 경향을 보였다. 그러나 세 시비 처리구 모두 백합나무 용기묘(1-0)의 규격 이상의 성장을 나타냈다. H/D율과 T/R율은 Exponential 처리구에서 가장 높은 값을 보였으며, 반면 물질생산량과 묘목품질지수는 Constant 처리구가 가장 높은 값을 나타냈다. 시비 처리에 따른 광합성 능력은 Constant 처리구에서 가장 우수하였지만, 세 처리구 모두 비슷한 수준을 보였다. 광화학 효율과 엽록소 함량 또한 광합성 능력과 같은 경향으로 Exponential 처리구에서 가장 낮은 값을 나타냈다.

본 연구 결과를 종합해 보면, 백합나무 용기묘 양묘 시 시비 처리에 따른 양분 조건에 의한 생리 및 성장 특성의 변화를 볼 수 있었다. Exponential 처리구는 50% 총 시비량으로 성장, 묘목품질지수 및 생리적 특성에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 규격묘 생산이 가능했다. 이는 백합나무 용기묘 10만본 생산 시 비료량을 약 100 kg 이상 줄일 수 있는 것으로, 시설양묘과정에서 다른 시비 방법에 비해 경제적인 효과를 얻을 수 있음과 동시에 양묘장 토양 및 계류수의 오염을 줄이면서 비슷한 성장을 유지할 수 있는 것이다. 즉, Exponential 시비 방법은 최소 비용의 최대 성장 효과와 함께 환경 친화적인 시비방법이라 판단된다. 또한 Exponential 시비 방법은 높은 양분 저장 능력으로 다른 시비 방법보다 양묘 후, 용기묘 조립 시 높은 활착률 및 성장에 따른 우수한 조립 성과가 기대된다.

## 인용문헌

1. 국립산림과학원. 2010. 2009년도 연구사업 보고서 -산림자원육성분과-. 국립산림과학원. pp. 173-204.
2. 권기원, 조민석, 김길남, 이수원, 장경환. 2009. 시비 처

- 리에 따른 상수리나무(*Quercus acutissima*) 용기묘와 노지묘의 광합성 및 생장 특성. 한국임학회지 98(3): 331-338.
3. 김판기, 이용섭, 정동준, 우수영, 성주한, 이은주. 2001. 광도가 내음성이 서로 다른 3수종의 광합성 생리에 미치는 영향. 한국임학회지 90(4): 476-487.
  4. 김판기, 이은주. 2001. 광합성의 생리상태(1) -광도와 엽육내 CO<sub>2</sub>분압 변화에 대한 광합성 반응-. 한국농림기상학회지 3(2): 126-133.
  5. 농업기술연구소. 1988. 토양분석법: 토양, 식물체 토양미생물. 농정진흥청 농업기술연구소. pp. 450.
  6. 산림청. 2011. 2011년도 주요업무 세부추진계획. 산림청. pp. 456.
  7. 시그마 플롯. 2000. 필사이언스. pp. 136.
  8. 안찬훈, 이재선, 김용욱, 문홍규. 2010. 생물반응기 내 침지시간에 따른 백합나무 체세포배 발아 및 생화학적 변화. 한국임학회지 99(3): 423-431.
  9. 유근욱, 송정호, 최형순, 권해연, 권용락. 2007. 백합나무 양묘방법에 따른 묘목품질 비교. 한국임학회지 96(3): 307-316.
  10. 유근욱, 권해연, 최형순, 김인식, 조도현. 2009. 백합나무의 인공교배 방법에 따른 교배 효율성 비교. 한국임학회지 98(6): 696-702.
  11. 이수원, 최정호, 유세걸, 김석권, 배종향, 한석교. 2006. 상토 조성이 활엽수 용기묘의 생장특성에 미치는 영향. 한국생물환경조절학회지 15(3): 244-249.
  12. 이철호, 신창호, 김규식, 최명석. 2006. 광강도에 따른 음나무 유묘의 생장 및 광합성 특성. 한국약용작물학회지 14(4): 244-249.
  13. 임종환, 우수영, 권미정, 천정화, 신준환. 2006. 한라산 구상나무 건전개체와 쇠약개체의 온도변화에 따른 광합성 능력과 수분이용 효율. 한국임학회지 95(6): 705-710.
  14. 최용봉, 김중희. 1995. 인공산성우의 처리에 따른 소나무와 곰솔 침엽의 엽록소 형광변화. 한국임학회지 84(1): 97-102.
  15. 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.
  16. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24(1): 1-15.
  17. Barker, M.G., Press, M.C. and Brown, N.D. 1997. Photosynthetic characteristics of dipterocarp seedlings in three tropical rain forest light environments: a basis for niche partitioning. Oecologia 112(4): 453-463.
  18. Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Ouédraogo, 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.
  19. Bose, S., Herbert, S.K. and Fork, D.C. 1988. Fluorescence characteristics of photoinhibition and recovery in a sun and a shade species of the red algal genus *Porphyra*. Plant Physiology 86(3): 946-950.
  20. Broschat, T.K. 1995. Nitrate, phosphate, and potassium leaching from container-grown plants fertilized by several methods. Hortscience 30(1): 74-77.
  21. 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(7): 2179-2185.
  22. Burdett, A.N., Simpson, W.R. and Thompson, C.F. 1983. Root development and plantation establishment success. Plant and Soil 71: 103-110.
  23. Close, D.C., Bail, I., Hunter, S. and Beadle, C.L. 2005. Effects of exponential nutrient-loading on morphological and nitrogen characteristics and on after-planting performance of *Eucalyptus globulus* seedlings. Forest Ecology and Management 205: 397-403.
  24. Court-Picon, M., Gadbin-Henry, C., Guibal, F. and Roux, M. 2004. Dendrometry and morphology of *Pinus pinea* L. in lower province (France): adaptability and variability of provenances. Forest Ecology and Management 194: 319-333.
  25. Davis, A.S. and Jacobs, D.F. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to out-planting performance. New Forests 30: 295-311.
  26. 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.
  27. Demmig, B. and Björkman, O. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants. Planta 171(2): 171-184.
  28. Dumroese, R.K., Page-Dumroese, D.S., Salifu, K.F. and Jacobs, D.F. 2005. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. Canadian Journal of Forest Research 35(12): 2961-2967.
  29. Gazal, R.M., Blanche, C.A. and Carandang, W.M. 2004. Root growth potential and seedling morphological attributes of narra (*Pterocarpus indicus* Willd.) transplants. Forest Ecology and Management 195: 259-266.
  30. Grossnickle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. New Forest 30: 273-294.
  31. 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(1): 269-276.
  32. Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany 57: 1332-1334.



33. Hughes, A.P. and Freeman, P.R. 1967. Growth analysis using frequent small harvests. *Journal of Applied Ecology* 4: 553-560.
34. Imo, M. and Timmer, V.R. 1999. Vector competition analysis of black spruce seedling responses to nutrient loading and vegetation control. *Canadian Journal of Forest Research* 29(4): 474-486.
35. 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(2): 133-147.
36. Krause, G.H. and Weis, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis; The basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42: 313-349.
37. Lambers, H. and Poorter, H. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research* 23: 187-261.
38. Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1989. The container tree nursery manual. Vol. 4. USDA Forest Service, Agriculture Handbook. pp. 674.
39. 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.
40. 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(2): 210-216.
41. Luis, V.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(3): 221-229.
42. Luis, V.C., Llorca, M., Chirino, E., Hernandez, E.I. and Vilagrosa, A. 2010. Differences in morphology, gas exchange and root hydraulic conductance before planting in *Pinus canariensis* seedlings growing under different fertilization and light regimes. *Trees* 24(6): 1143-1150.
43. Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solution. *Journal of Biological Chemistry* 140: 315-322.
44. Mattsson, A. 1996. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13: 227-252.
45. 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(3): 313-331.
46. Qu, L.Y., Quoreshi, A.M. and Koike, T. 2003. Root growth characteristics, biomass and nutrient dynamics of seedlings of two larch species raised under different fertilization regimes. *Plant and Soil* 255 : 293-302.
47. 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.
48. Rascher, U., Liebig, M. and Lüttge, U. 2000. Evaluation of instant light-response curves of chlorophyll fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. *Plant, Cell and Environment* 23(12): 1397-1405.
49. Salifu, K.F. and Timmer, V.R. 2003. Optimizing nitrogen loading in *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Canadian Journal of Forest Research* 33(7): 1287-1294.
50. SAS Institute Inc. 2000. SAS/STAT TM Guide for Personal Computer. Version 8 Edition. SAS Institute Inc., N. C. 1026pp.
51. Šestak, Z., Catsk, J. and Jarvis, P.G. 1971. Plant Photosynthetic Production Manual of Methods. The Hague. Hertogenbosch. pp. 818.
52. Timmer, V.R. 1997. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New Forests* 13: 279-295.
53. 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(6): 879-890.
54. Tsakalimi, M., Zagas, T., Tsitsoni, 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.
55. Way, D., Seegobin, S. and Sage, R. 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(3): 307-312.
56. 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(2): 163-176.
57. Xu, X. and Timmer, V.R. 1999. Growth and nitrogen nutrition of Chinese fir seedlings exposed to nutrient loading and fertilization. *Plant and Soil* 216: 83-91.