

# 시비처리가 *Eucalyptus pellita*와 *Acacia mangium* 용기묘의 생리 및 생장 특성에 미치는 영향

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

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림생산기술연구소, <sup>2</sup>원광대학교 원예 · 애완동식물학부, <sup>3</sup>충남대학교 산림환경자원학과

## Effect of Different Fertilization on Physiological Characteristics and Growth Performances of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium* in a Container Nursery System

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

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

<sup>2</sup>Division of Horticulture and Pat Animal-Plant Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

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

**Abstract.** The objective of this study was to find optimal nutrient condition of container seedling production of two tropical species for high seedling quality. This study was conducted to investigate photosynthesis, chlorophyll fluorescence, chlorophyll contents, and growth performances of container seedlings of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium* growing under four different fertilization treatments (Con., 0.5 g · l<sup>-1</sup>, 1.0 g · l<sup>-1</sup>, and 2.0 g · l<sup>-1</sup> fertilization). *E. pellita* showed outstanding photosynthetic capacity, photochemical efficiency, and chlorophyll contents at 1.0 g · l<sup>-1</sup> fertilization. Meanwhile, *E. pellita* showed the highest photosynthetic capacity, photochemical efficiency, and chlorophyll contents at 2.0 g · l<sup>-1</sup> fertilization, as fertilization rate were increased, those of *A. mangium* increased. Like physiological characteristics, Both *E. pellita* at 1.0 g · l<sup>-1</sup> fertilization and *A. mangium* at 2.0 g · l<sup>-1</sup> fertilization were higher root collar diameter, height, biomass, and seedling quality index than other treatments. These results showed that *E. pellita* at 1 g · l<sup>-1</sup> fertilization and *A. mangium* at 2.0 g · l<sup>-1</sup> fertilization is optimal nutrient condition, respectively. Moreover, fertilization rate controlling is very important for growth and seedling quality of container seedling.

**Key words :** container seedling, fertilization, growth performances, nursery, photosynthesis

## 서 론

산림자원의 급격한 감소와 기후 변화를 포함한 여러 환경 문제로 인해 해외로부터 목재자원의 안정적인 확보, 도입이 어려운 실정에 있다. 또한 무분별한 벌채, 산림전용, 산불 등에 의해 세계의 임목축적이 20~25% 감소되는 현상(FAO, 2006)과는 반대로 세계 목재 수요가 급증하고 있어 장기적으로 안정적인 목재 자원의 확보를 위한 산업조림에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 교토의정서와 그 후속조치에 따라 탄소배출 제한조치

및 탄소배출권 거래제도와 관련하여 해외조림을 통한 탄소 흡수량 확대는 효율적인 대처 방안이 될 수 있다.

이와 같은 해외조림사업을 성공적으로 추진하기 위해서는 해외조림과 관련된 현재의 실상과 문제점 그리고 장기적인 전망 및 사업추진 방법을 정확히 평가 분석하고, 해외조림이 가능한 국가에 대한 관련 정보수집과 타당성 분석 등을 지속적으로 추진할 필요가 있다. 또한 해외조림사업의 주요 대상지인 열대지방의 주요 조림수종의 양묘 및 조림기술에 관한 연구와 개발이 필요하다고 판단된다(Lee 등, 2010). 단기간에 효율적으로 우량종묘를 대량으로 생산하기 위해서는 열대림 수종별 시설양묘사업기술 개발이 필요한 실정이며, 대부분 열대림 수종은 속성수의 생장 특성을 가지

\*Corresponding author: gspark@cnu.ac.kr  
Received May 2, 2011; Revised June 10, 2011;  
Accepted June 17, 2011

고 있기 때문에 짧은 양묘기간 동안 우수한 형질의 용기묘를 대량으로 생산할 수 있을 것이다. 또한 하층 식생과의 경쟁이 심한 열대 조림지에서 용기묘는 다른 양묘 방법에 의해 생산된 묘목보다 높은 활착율과 생장을 보일 것으로 기대된다.

시설양묘과정에서는 광, 온도, 수분 등의 생육환경 조절과 용기 종류, 상토, 시비기술 등이 중요한 영향을 미친다(Grossnielke, 2005). 이 때문에 열대 수종에 따른 적정 생육환경 및 시설양묘시업기술 구명에 의한 양묘기술보급은 해외조림사업에서 우량묘목의 대량 생산과 공급을 원활하게 이루어지게 할 것으로 판단된다. 그러나 이러한 용기묘와 관련된 연구는 지속적으로 이루어지고 있지만 우리나라 수종과 생육 환경의 특성이 다른 열대림 수종에 이러한 연구결과를 그대로 적용하기는 곤란하며, 열대 수종에 대한 각각의 세부연구가 필요할 것으로 판단된다. 그 중에서 시비는 생육상토에서 양묘되는 용기묘의 특성 상 반드시 실시되어야 한다(Broschat, 1995). 또한 수종별 양분요구도에 따른 적정 시비는 양묘과정에서의 우량 용기묘의 생산뿐만 아니라 조림 과정에서도 우수한 활착과 생장을 보일 것으로 판단된다. 그러나 수종별 양분요구도에 맞지 않는 반복적인 시비는 수목의 생리적 특성에 영향을 미쳐 불량한 묘목 생산과 함께(Lee 등, 2006), 시설양묘장 주변의 토양 및 계류수의 환경적인 문제 일으킬 수 있다(Bumgarner 등, 2008). 따라서 수종별 시비량 조절 및 시비기술을 통한 우량 용기묘의 생산과 함께 과량 시비에 의한 오염수 제어 기술 개발이 필요한 실정이다.

*Eucalyptus pellita*와 *Acacia mangium*은 대표적인 열대 조림 수종으로 펄프재와 목재 등 다목적으로 열대지방에서 이용되며, 빠른 성장, 우수한 목재 품질과 높은 토양 적응력을 가지고 있다(Lee 등, 2006). 또한 현재 활발히 진행되고 있는 산업조림에 가장 이용가치가 높은 열대수종으로서 그 중요성이 인식되고 있다(Suitor 등, 2010).

이상과 관련하여 본 연구에서는 *E. pellita*와 *A. mangium* 용기묘를 대상으로 시비 처리에 따른 광합성,

엽록소 형광반응, 엽록소 함량 등의 생리적 특성 및 성장 특성 변화를 조사·분석하여 열대림 두 수종에 대한 시설양묘과정에서의 최적 시비 조건을 구명하고자 연구를 실시하였으며, 본 연구 결과는 해외조림 사업에 필요한 기본적인 양묘기술의 필수적인 정보를 제공해 줄 것으로 기대된다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시수종

본 연구에서는 *Eucalyptus pellita*와 *Acacia mangium*의 열대 두 수종을 이용하였다. 인도네시아 칼리만탄 채종원에서 채취한 종자를 경기도 포천에 위치한 국립 산림과학원 산림생산기술연구소 시설온실(북위 37° 45', 동경 127° 10')에서 4월 15일 파종하여, 용기묘 양묘 과정에서 실험을 실시하였다. 양묘 시 35월 용기(240ml/cell-260seedlings/m<sup>2</sup>, Kukilchem, Korea)를 이용하였으며, 생육상토는 피트모스 : 펄라이트 : 질석(1 : 1 : 1, v/v)의 상토(Table 1)를 이용하였다. 파종 후, 매일 m<sup>2</sup> 당 20l 관수를 실시하였다. 상토의 토양분석에 사용된 모든 방법은 농촌진흥청의 상토 표준분석법(RDA, 2002)에 준하여 실시하였다.

### 2. 시비 처리

시비는 2010년 6월 1일부터 총 13주 동안, 주 2회씩 실시하였으며, 수용성 비료인 MultiFeed 19(N:P:K = 19:19:19, Haifa Chemicals, Israel)를 이용하여, 수종별, 처리별 8tray씩 32tray에 총 1,120본의 용기묘에 20l의 관수와 병행하여 대조구(무시비) 및 0.5g·l<sup>-1</sup>, 1.0g·l<sup>-1</sup>, 2.0g·l<sup>-1</sup> 등의 4 가지 시비 처리를 하였다. 고온 및 햇빛에 의한 피해를 줄이기 위해 8-10시 또는 16-18시 사이에 관수 및 시비를 실시하였다.

### 3. 측정 및 결과 분석

#### 1) 광합성 특성

시비 처리에 따른 광합성 차이를 조사하기 위하여

**Table 1.** Physical and chemical properties of media using container seedling.

| Soil texture (%) |         |             | pH  | EC<br>(dS·m <sup>-1</sup> ) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mg·kg <sup>-1</sup> ) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(mg/kg) | Ex-cations (cmol·kg <sup>-1</sup> ) |                  |                 | C.E.C.<br>(cmol·kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------|---------|-------------|-----|-----------------------------|--|--|-------------------------------------|------------------|-----------------|------------------------------------|
| Peatmoss         | Perlite | Vermiculite |     |                             |  |  | K <sup>+</sup>                      | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>+</sup> |                                    |
| 33.3             | 33.3    | 33.3        | 6.0 | 0.1                         | 0.1  | 123                                      | 4                                   | 10               | 7               | 17                                 |

2009년 8월 초 처리별 성장 속도가 비슷하고, 평균적인 생육상태를 유지하고 있는 묘목의 잎을 대상으로 휴대용 광합성측정장치(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. 광합성측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ , 온도는 25°C로 설정하여 외기의 환경변화로 인한 영향이 없도록 하였다. 또한 광합성측정기에 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(Kim 등, 2001; Lim 등, 2006). 시비 처리별 광합성 속도를 측정하여 광-광합성 곡선을 작성(Sigmaplot, 2000)하고, 이 곡선에서 광합성 능력(photosynthetic capacity)을 산출하였다.

## 2) 엽록소 형광반응 특성

수중별 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 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광선을 조사하였다(Choi와 Kim, 1995; Demmig와 Bjorkman, 1987). 초기 형광반응( $F_0$ ), 최대 형광반응( $F_m$ ), 형광반응 최대 변화치( $F_v = F_m - F_0$ ) 및 광화학 반응 효율( $F_v/F_m$ )의 변수를 측정하여 비교분석하였다.

## 3) 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 663nm( $A_{663}$ )와 645nm( $A_{645}$ )의 파장에서 흡광도를 측정하여 아래와 같

은 식으로 엽록소 a와 b의 함량을 구하였다.(Arnon, 1949; Mackinney, 1941).

$$\text{Chlorophyll a}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh w.t.})$$

$$= (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645})$$

$$\text{Chlorophyll b}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh w.t.})$$

$$= (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663})$$

$$\text{Total Chlorophyll}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh w.t.})$$

$$= (8.02 \times A_{663} + 20.20 \times A_{645})$$

## 4) 성장 특성

수중별 시비 처리에 따른 성장을 조사하기 위하여 6월 초 시비 처리 실시 전과, 그 후로 20일 간격으로 8월 말까지 처리별, 수중별 묘목을 각 24본씩 선정하여 근원경과 간장을 반복 측정하여 성장 및 상대성장량을 분석하였다. 처리 전 근원경과 간장의 측정값에 대한 각각의 단위기간( $\text{day}^{-1}$ ) 당 및 총 양묘기간에 대한 상대성장량을 계산하였다(Hughes와 Freeman, 1967). 또한 양묘 된 묘목의 건전도를 판단할 수 있는 H/D율[SQ; sturdiness quotient = height(cm)/root collar diameter(mm)]을 계산하였다(Bayala 등, 2009). 간장과 근원경 측정 시 전자식캘리퍼스와 스틸레이프를 이용하였다. 2009년 8월 말 모든 실험이 끝난 후 묘목을 처리별 각 10본씩 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 구분하여 건조기에 48시간 동안 70°C로 건조한 후, 각각의 건조량을 측정하였다. 건조량 측정결과에 의해 묘목 각각의 물질생산량, 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R 율을 계산하였다(Šestak 등, 1971). 또한 양묘 된 묘목의 품질지수를 나타내는 Seedling Quality Index (SQI) = Seedling dry weight(g)/(H/D ratio + T/R ratio)를 계산하였다(Deans 등, 1989).

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. 생리적 특성

시비처리에 따른 *E. pellita*의 광합성률은 1.0g $\cdot\text{g}^{-1}$  처리구에서 11.95 $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  가장 높은 광합

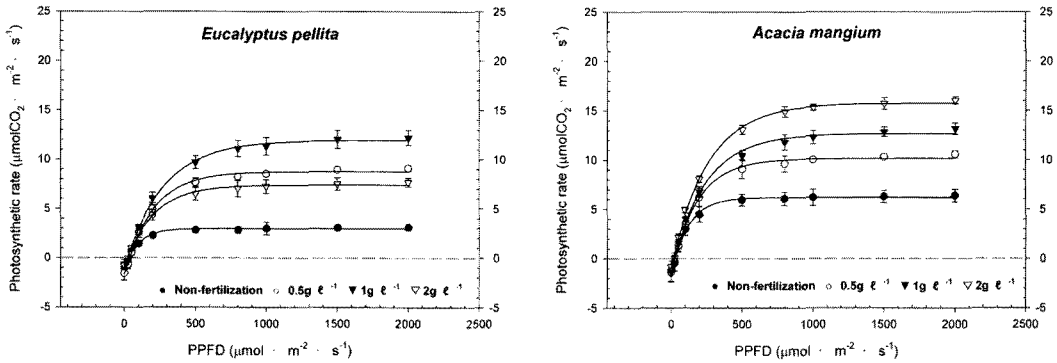


Fig. 1. Effect of fertilization treatment on the photosynthetic rate of container seedling of two tropical species. Vertical bars represent standard deviation (N = 6).

성률을 보였으며 0.5g·l<sup>-1</sup>, 2.0g·l<sup>-1</sup>, 무시비 처리구 순으로 나타났다. *A. mangium*은 2.0g·l<sup>-1</sup> 처리구에서 15.75µmolCO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 가장 높은 값을 보였으며, 시비량이 증가할수록 광합성 능력이 높아지는 경향을 나타냈다(Fig. 1). 그러나 *E. pellita*는 과량 시비에 의해 광합성 능력이 떨어지는 것을 볼 수 있으며, 수중별 적정 시비 수준의 중요성을 보여주는 것이다. 두 수종 모두 시비 처리구들이 무시비 처리구보다 광합성 능력이 약 2~3배 높았으며, 시설양묘에서 시비의 필요성을 알 수 있다. 이는 시비 처리구에서 용기묘과 높은 광합성 능력과 수분이용효율, 낮은 호흡량과 기공진도도를 보인 결과와 유사한 경향을 나타냈다(Luis 등, 2010). 또한, 적정 시비 처리에 의한 우수한 광합성 능력을 지닌 용기묘는 양묘 후 조림과정에서도 우수한 성장과 높은 활착률을 나타낸다(Leiva와 Fernandez-Ales, 1998; Oliet 등, 2009). 이러한 이유는 적정 시비에 의해 뿌리에서 수분흡수능력과 수분이동능력이 증가되기 때문이다(Trubat 등, 2006; Hernandez 등, 2009; Chirino 등, 2008). 이러한 과정에 의해 적정 시비 과정을 통해 생산된 묘목품질이 높은 조림목이 우수한 조림성과를 나타낼 수 있다고 판단된다.

시비 처리에 따른 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치(Fv/Fm)인 광화학 효율에서 *E. pellita*는 1.0g·l<sup>-1</sup> 처리구, *A. mangium*은 2.0g·l<sup>-1</sup> 처리구에서 유의적 차이를 보이면서 가장 높은 값을 보였으며, 처리구별로 광합성 특성과 같은 경향을 보였다(Fig. 2). 광화학효율은 생육환경 스트레스에 대한 중요한 지표로서 (Rascher 등, 2000), 광합성 능력과 밀접한 관련이 있

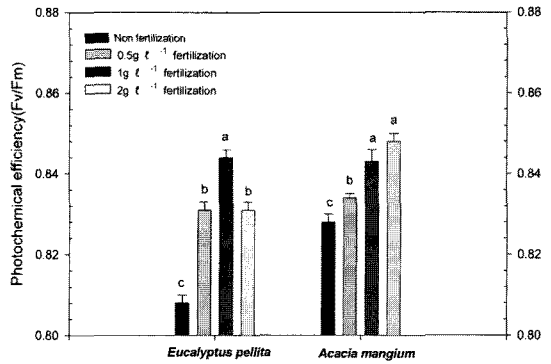


Fig. 2. The photochemical efficiency of container seedling of two tropical species at four different fertilization treatment. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

으며, 서로 비례관계의 경향이 나타난다(Bose 등, 1988). 즉, 광화학 효율이 상대적으로 높은 시비 처리구에서 우수한 광합성 능력을 보인 것이다. 식물의 건전한 잎은 0.83 정도의 광화학 효율이 나타내며 (Krause와 Weis, 1991), 본 연구에서는 무시비 처리구를 제외한 모든 시비 처리구에서 그 이상의 값을 보였으며, 시비를 실시함에 따라 묘목이 건전한 상태에서 스트레스를 받지 않은 것으로 판단된다.

시비 처리에 따른 엽록소 함량은 위 광합성 및 광화학 효율의 결과와 같이 두 수종 모두 무시비 처리구에서 유의적 차이를 보이면서 가장 낮은 값을 보였다. 또한 *E. pellita*는 1.0g·l<sup>-1</sup> 처리구에서 가장 높은 엽록소 함량을 보였으며, *A. mangium*은 시비 수준이 높아질수록 높은 값을 나타내지만 시비 처리구 간 유

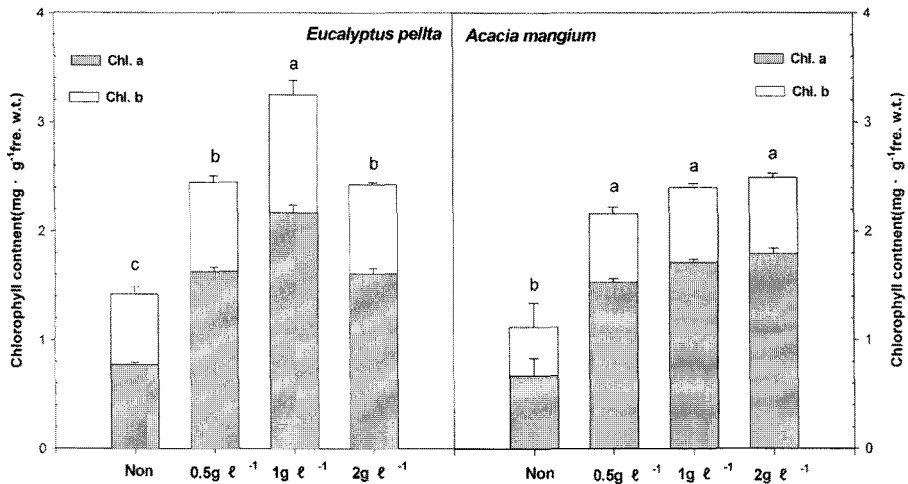


Fig. 3. The chlorophyll contents of container seedling of two tropical species at four different fertilization treatment. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

의적 차이는 보이지 않았다(Fig. 3). 이는 상수리나무 용기묘가 시비 처리구에서 무시비 처리구보다 엽록소 함량이 많았다(Kwon 등, 2009; Hwang 등, 2003)는 결과와 같은 경향으로 시비 처리에 따른 적정 양료 조건이 유지되면서 두 수종의 엽록소 함량이 증가하고 활발한 생육활동 또한 이루어지는 것으로 판단된다. 엽록소 a/b율도 무시비 처리구보다 시비 처리구에서 높은 값을 보였는데 이는 시비 처리구에서 엽록소 b의 증가율 보다는 엽록소 a의 증가율이 높기 때문이라 생각된다.

본 연구에서도 두 수종 모두 적정 시비 조건에서 높은 엽록소 함량과 광화합 효율에 의해 활발한 광합성 활동이 이루어졌다. 즉, 양분 조건에 따라 광합성 기구가 유동적으로 변하는 것을 알 수 있다.

## 2. 성장 특성

Fig. 4는 시비 처리에 따른 *E. pellita* 용기묘의 근원경과 간장의 성장 및 20일 간격의 기간별 상대생장률(성장속도)을 나타내고 있다.

근원경과 간장 성장 모두  $1.0g \cdot l^{-1}$  처리구에서 가장 우수한 성장을 보였으며  $0.5g \cdot l^{-1} > 2.0g \cdot l^{-1} >$  무시비 처리구 순으로 나타났다( $P < 0.01$ ). *Eucalyptus* 속 수종이 시비 처리구에서 생장이 우수하다는 결과(Goncalves 등, 2008)와 유사한 경향을 보였다. 그러나 시비 수준이 가장 높은  $2.0g \cdot l^{-1}$  처리구에서 생장이 가장 우수

하지는 않았다. 이는 무조건 적인 과량 시비는 수종별로 성장 저해를 보일 수 있으며(Kwon 등, 2009), 양묘 과정에서도 환경오염의 문제를 일으킬 수 있다(Bumgarner 등, 2008)는 것을 보여주고 있다. 세 시비 처리구는 6월 중순과 8월 초 상대생장률이 높은 것을 볼 수 있으며, *E. pellita*는 2차 성장 패턴을 보이는 것으로 판단된다. 특히, 적정 시비 처리인  $1.0g \cdot l^{-1}$  처리구는 시기별로 다른 시비 처리구보다 성장 속도의 증가는 높으면서 상대적으로 감소는 낮았기 때문에 근원경과 간장 생장이 다른 처리구보다 우수한 것으로 판단된다. 식물의 상대성장량 패턴은 기후에 따라 변하며, 수분, 광선, 양분, 온도 등의 환경 조절에 의해 다양한 성장 및 물질생산의 변화를 나타낼 수 있다(Lambers와 Poorter, 1992). 특히 토양 내 양분 함량에 많은 영향을 받으며, 토양 양분의 함량과 상대성장량은 비례관계에 있다(Inagaki 등, 2009). 또한 시비는 토양 내 유기물 함량, 미생물 특성, 효소 활성 등에 영향을 미치며, 이로 인해 성장 특성에 변화를 주는 것이다(Compton 등, 2004; Frey 등, 2004; Thirukkumaran 등, 2002). 즉, 양분 조건이 불량하면 상대성장량의 증가 속도는 낮으며, 반면 감소는 급격하게 이루어진다. 그러나 양분이 적정 수준이면 상대성장량의 증가 속도는 높고, 감소는 천천히 이루어지며 우수한 성장을 보이는 것이다.

*A. mangium*의 근원경과 간장 생장은 시비 수준이

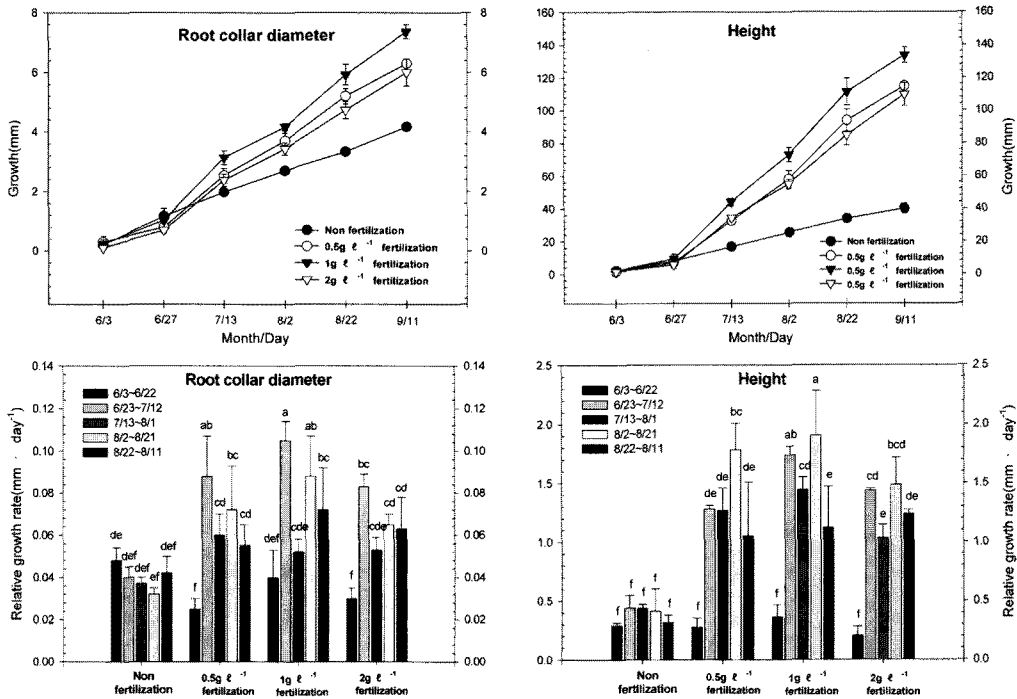


Fig. 4. The growth patterns of root collar diameter and height of container seedling of *E. pellita* at four different fertilization treatment. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

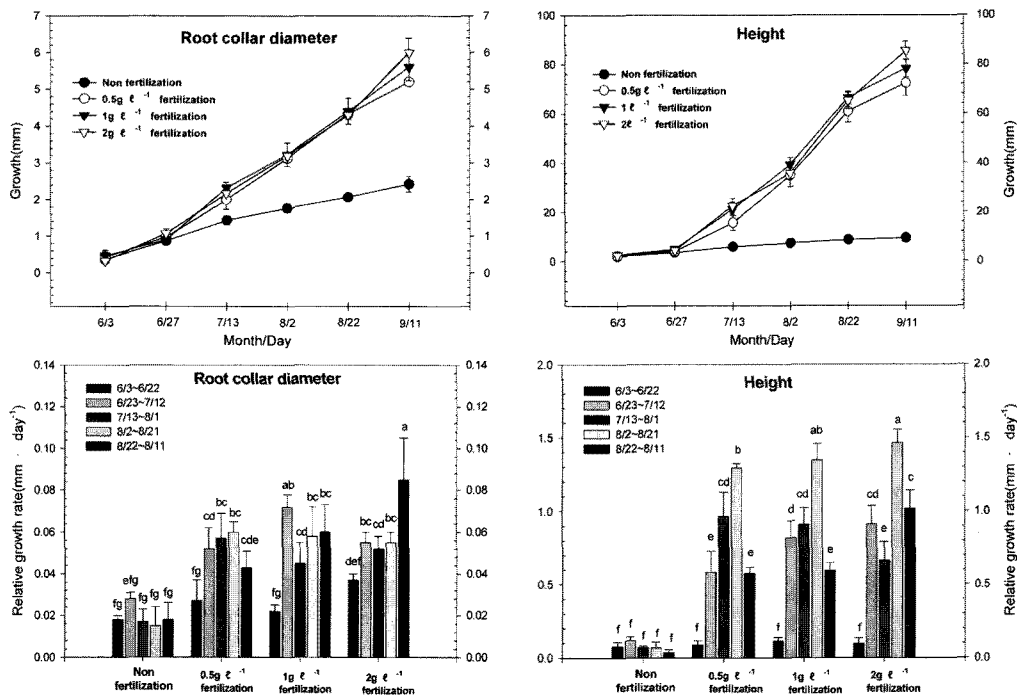


Fig. 5. The growth patterns of root collar diameter and height of container seedling of *A. mangium* at four different fertilization treatment. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

높을수록 생장이 높아지는 경향을 보였지만( $P < 0.001$ ), 근원경 생장은  $1.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 과  $2.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  시비 처리구간의 유의적 차이는 나타나지 않았다( $P = 0.08$ ). 또한 시비 수준이 증가할수록 지속적인 상대성장량을 보였다(Fig. 5). 이는 *A. mangium*의 질소와 인 시비에서 높은 생장을 보인 결과와 같은 경향을 나타낸 것이다(Inagaki 등, 2009). *Acacia* 속 같은 콩과 식물은 뿌리 흡을 유지하기 위해서 다른 식물보다 인 요구량이 더 높으며(Vitousek 등, 2002), 질소 요구량 또한 다른 식물보다 높다(Houlton 등, 2008). 이 때문에 시비 수준이 높을수록 *A. mangium*의 생장이 우수하였으며, *E. pellita*보다 양분 요구량이 높은 것으로 판단된다. 그러나 *A. mangium*의  $1.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 과  $2.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  시비 처리구간 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 시설양묘과정에서 환경적, 경제적인 요인들을 생각할 때 무조건적으로 시비량을 증가하는 것 보다는 건전 묘목을 생산할 수 있는 수준의 시비가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 시비는 수종별 성장 속도가 다르기 때문에 조립 목적과 벌기령에 맞는 양묘과정 및 조립지에서의 시비 기술이 필요하며(Smethurst, 2010), 위 열대림 두 수종은 빠른 성장과 짧은 벌기령을 목적으로 하기 때문에 적정 수준의 시비가 반드시 묘목 생산의 시작인 양묘과정에서부터 이루어져야 할 것으로 판단된다.

양묘 된 묘목의 건진도를 판단할 수 있는 H/D율은 두 수종 모두 시비 처리구들이 무시비 처리구보다 약 2~3배 높은 값을 보였으며, 시비 처리구 간의 유의적 차이는 보이지 않았다(Table 2). 성장 속도가 빠른 열대림 수종에서 양분이 충분한 시비 처리구들은 양묘과정에서 지상부의 생장이 활발히 이루어졌기 때문이라

판단되며, 우리나라 수종과는 다른 현상을 나타냈다.

시비 처리에 따른 잎, 줄기, 뿌리 및 총 물질생산량은 유의적 차이( $P < 0.001$ )를 보이면서 *E. pellita*는  $1.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  시비 처리구, *A. mangium*은  $2.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  시비 처리구에서 가장 높은 값을 보였으며, T/R율도 같은 경향을 나타냈다(Table 3). 충분한 양분 조건에서 활발한 광합성 활동을 통해 지하부에 비해 지상부의 생장이 더 활발해지면서 시비 처리구에서 상대적으로 높은 T/R율을 보인 것이다. 양묘과정에서의 시비는 우수한 물질생산 능력을 나타내며 이 후, 조립과정에서도 높은 물질생산량을 보인다(Mackensen 등, 1996). Reddel 등(1999)의 *Gmelina arborea*과 *Acacia mangium*의 시비 처리에 따른 연구에서도 시비 처리구가 양묘과정과 조립과정에서 모두 높은 물질생산량을 보이면서 같은 경향을 나타냈다. 또한 광합성 산물의 배분 및 근계 발달은 조립 성과에 큰 영향을 미치며(Lloret 등, 1999; Tsakalimi 등, 2005), 상부의 물질생산량과 T/R율이 높은 묘목은 조립 시 수분 스트레스 저항 능력을 떨어뜨려(Aranda 등, 2002), 불량한 조립 성과를 보일 수 있다. 그러나 본 연구에서는 T/R율이 높았지만 대상 수종이 열대 속성수로서 용기 내 뿌리가 꼭 차있으며, 근계 발달에 의한 뿌리 분(plug)이 형성이 잘 발달되어 있기 때문에 문제가 없는 것으로 조립 성과에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 물질생산량과 각각의 배분비율은 생육환경 요인에 따라 수종별로 다르게 나타나며(Cho, 2008), 본 연구에서도 시비에 의한 양분 조건에 따른 물질배분이 수종별로 어떻게 이루어지는지를 알 수 있었다.

양묘 된 묘목의 품질지수를 나타내는 Seedling

**Table 2.** Root collar diameter, height and H/D ratio of two tropical species under different fertilization treatment.

| Species                   | Fertilization treatment ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | Root collar diameter      |  | Height         |   | H/D ratio ( $\text{cm}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) |
|---------------------------|--|---------------------------|--|----------------|---|--|
|                           |  | Growth (mm)               | RGR <sup>2</sup> ( $\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ ) | Growth (cm)    | RGR ( $\text{cm}\cdot\text{day}^{-1}$ ) |  |
| <i>Eucalyptus pellita</i> | Con.   | 4.17 ± 0.12c <sup>y</sup> | 0.040 ± 0.001c                                       | 40.17 ± 3.01c  | 0.380 ± 0.029c                          | 9.6 ± 0.8b                                   |
|                           | 0.5  | 0.63 ± 0.10b              | 0.060 ± 0.001b                                       | 114.83 ± 2.47b | 1.133 ± 0.026b                          | 18.2 ± 0.6a                                  |
|                           | 1.0  | 7.37 ± 0.23a              | 0.071 ± 0.004a                                       | 133.67 ± 4.75a | 1.316 ± 0.039a                          | 18.1 ± 0.3a                                  |
|                           | 2.0  | 6.00 ± 0.46b              | 0.059 ± 0.005b                                       | 109.70 ± 7.02b | 1.081 ± 0.065b                          | 18.4 ± 2.4a                                  |
| <i>Acacia mangium</i>     | Con.   | 2.43 ± 0.21c              | 0.021 ± 0.002c                                       | 9.43 ± 0.12c   | 0.074 ± 0.001c                          | 3.8 ± 0.1b                                   |
|                           | 0.5  | 5.20 ± 0.00b              | 0.048 ± 0.002b                                       | 72.33 ± 5.20b  | 0.701 ± 0.050b                          | 13.9 ± 1.0a                                  |
|                           | 1.0  | 5.60 ± 0.36ab             | 0.051 ± 0.003ab                                      | 78.27 ± 3.61b  | 0.757 ± 0.042b                          | 14.0 ± 0.6a                                  |
|                           | 2.0  | 6.00 ± 0.40a              | 0.057 ± 0.004a                                       | 85.50 ± 3.77a  | 0.831 ± 0.038a                          | 14.3 ± 0.7a                                  |

<sup>2</sup>RGR; Relative growth rate.

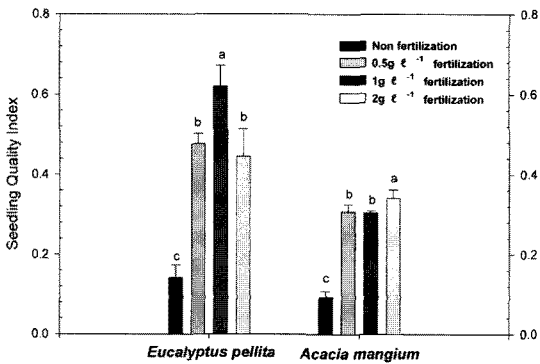
<sup>y</sup>Different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

**Table 3.** Effect of fertilization treatment on the biomass production, biomass distribution and T/R ratio of container seedling of two tropical species.

| Species                   | Fertilization treatment ( $g \cdot l^{-1}$ ) | Dry weight (g)                          |                           |                          |                   | T/R ratio ( $g \cdot g^{-1}$ ) |
|---------------------------|--|---|---------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------|
|                           |  | Leaves                                  | Shoot                     | Root                     | Seedling          |                                |
| <i>Eucalyptus pellita</i> | Con.   | $0.81 \pm 0.23c^z$<br>(46) <sup>y</sup> | $0.45 \pm 0.12c$<br>(26)  | $0.49 \pm 0.08c$<br>(28) | $1.76 \pm 0.41c$  | $2.58 \pm 0.45c$               |
|                           | 0.5  | $4.61 \pm 0.29b$<br>(40)                | $5.32 \pm 0.17b$<br>(46)  | $1.64 \pm 0.05b$<br>(14) | $11.57 \pm 0.28b$ | $6.05 \pm 0.05a$               |
|                           | 1.0  | $5.89 \pm 0.69a$<br>(39)                | $7.09 \pm 0.43a$<br>(47)  | $2.10 \pm 0.12a$<br>(14) | $15.07 \pm 1.17a$ | $6.18 \pm 0.18a$               |
|                           | 2.0  | $4.31 \pm 0.18b$<br>(41)                | $4.51 \pm 0.61b$<br>(43)  | $1.65 \pm 0.07b$<br>(16) | $10.47 \pm 0.80b$ | $5.37 \pm 0.54b$               |
| <i>Acacia mangium</i>     | Con.   | $0.21 \pm 0.07b$<br>(42)                | $0.08 \pm 0.03c$<br>(17)  | $0.20 \pm 0.03b$<br>(41) | $0.49 \pm 0.12c$  | $1.48 \pm 0.38b$               |
|                           | 0.5  | $2.26 \pm 0.09a$<br>(40)                | $2.22 \pm 0.23b$<br>(40)  | $1.09 \pm 0.14a$<br>(20) | $5.57 \pm 0.29b$  | $4.17 \pm 0.70a$               |
|                           | 1.0  | $2.06 \pm 0.20a$<br>(36)                | $2.59 \pm 0.36ab$<br>(46) | $1.02 \pm 0.03a$<br>(18) | $5.67 \pm 0.28b$  | $4.58 \pm 0.33a$               |
|                           | 2.0  | $2.28 \pm 0.65a$<br>(35)                | $3.05 \pm 0.52a$<br>(47)  | $1.14 \pm 0.11a$<br>(18) | $6.47 \pm 0.10a$  | $4.71 \pm 0.55a$               |

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

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



**Fig. 6.** Effect of fertilization treatment on the seedling quality index (SQI) of container seedling of two tropical species. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

Quality Index(SQI)는 유의적 차이( $P < 0.001$ )를 보이면서 *E. pellita*는  $1.0g \cdot l^{-1}$  시비 처리구, *A. mangium*은  $2.0g \cdot l^{-1}$  시비 처리구에서 가장 높았다(Fig. 6). 위 생리 및 성장 특성의 결과와 같은 경향을 보인 것으로 적정 시비 처리 수준에서 우수한 광합성 활동에 의해 우수한 성장과 물질생산량을 나타냈으며, 이로 인해 건전 묘목이 생산된 것이다. 양묘하여 생산된 묘목이 낮은 H/D율과 T/R율 및 높은 물질생산량일 때

건전하게 생산된 묘목으로 평가받는다(Bayala 등, 2009). 우리나라 수종은 보통 1~3 수준의 묘목품질지수를 보이지만 본 연구 실험대상 수종이 열대 속성수로서 지상부 생장이 매우 높게 나타났기 때문에 높은 H/D율과 T/R율에 의해 품질지수가 전체적으로 낮은 값을 보였다. 그러나 속성수인 열대 수종의 성장 특성을 그대로 적용하는 것은 맞지 않으며 또한, 물질생산량이 1년생 묘목으로서 상대적으로 높은 값을 보이기 때문에 조립과정에서 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

시비 처리에 따른 양분 조건은 생육환경조절에 의한 시설양묘과정에서 매우 큰 영향을 미치며, 묘목의 품질 향상에 밀접한 관계가 있다. 또한 조립성과와도 연계되어 영향을 미친다. 적정 시비 조건의 구멍으로 시비량 조절은 건전한 묘목의 생산과 동시에 양묘과정에서의 환경적 측면과 함께, 비용 측면에서도 이점이 있어 경제적으로도 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구에서는 *E. pellita*와 *A. mangium* 용기묘를 대상으로 시비 처리에 따른 광합성, 엽록소 형광반응, 엽록소 함량 등의 생리적 특성 및 성장 특성 변화를



조사·분석하여 열대림 두 수종에 대한 시설양묘과정에서의 최적 시비 조건을 구명하고자 연구를 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

시비처리에 따른 *E. pellita*의 광합성 능력, 광화학 효율 및 엽록소 함량은  $1g \cdot l^{-1}$  처리구에서 가장 우수하였으며,  $2g \cdot l^{-1}$ 에서는 과량 시비로 인한 생육저하 현상으로 오히려 감소하는 경향을 나타냈다. *A. mangium*은  $2g \cdot l^{-1}$  처리구에서 가장 우수한 광합성 능력, 광화학 효율 및 엽록소 함량을 보이면서 시비 수준이 높을수록 우수한 능력을 나타냈다. 두 수종 모두 적정 시비 조건에서 높은 엽록소 함량과 광화학 효율에 의해 활발한 광합성 활동이 이루어졌다. 즉, 양분 조건에 따라 광합성 기구가 유동적으로 변하는 것을 알 수 있다.

근원경과 간장 성장 및 물질생산량 또한 *E. pellita*는  $1g \cdot l^{-1}$ , *A. mangium*은  $2g \cdot l^{-1}$  처리구에서 가장 우수하였으며, 생리적 특성과 같은 경향을 보였다. H/D율과 T/R율은 시비 처리구가 무시비 처리구보다 높은 값을 보였지만, 시비 처리 간 유의적 차이는 나타나지 않았다. 묘목품질지수는 두 수종 모두 위 결과와 같이 수종별로 적정 시비 처리구에서 가장 높았으며, 적정 시비 처리에 의해 생산된 묘목 우수한 형질을 나타낸 것이다.

본 연구 결과를 종합해 보면, 열대 수종인 *E. pellita*와 *A. mangium*의 용기묘 양묘 시 시비 처리에 따른 양분 조건에 의한 생리 및 성장 특성의 변화를 볼 수 있었다. 양분 부족은 광합성 기구의 활동 감소에 의한 성장 저하가 초래되어 불량한 묘목이 생산되는 과정을 볼 수 있다. 즉, 양묘과정에서 수종별 양분 요구도에 맞는 생육환경조절은 시설양묘사업에 의한 건전한 묘목을 대량 생산함과 동시에 조림과정에서도 높은 활착과 성장으로 우수한 조림성과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 일률적인 시비를 실시하는 것이 아니라, 기간별 상대성장량을 조사하여 수종별 생장패턴에 따라 기간별로 양분 요구량에 맞는 집중, 효율적인 시비를 실시할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 따라 양묘과정에서의 환경적 측면과 함께, 비용 측면에서 이점이 있어 경제적으로도 묘목 생산비를 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어** : 광합성, 성장, 시비 용기묘, 양묘, 특성

## 인용문헌

1. Aranda, I., L. Gil, and J.A. Pardos. 2002. Physiological responses of *Fagus sylvatica* L. seedlings under *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pyrenaica* Will. Overstories. For. Ecol. Manag. 162:153-164.
2. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol-oxidase in *Beat vulgaris*. Plant Physiol. 24(1):1-15.
3. Bayala, J., M. Dianda, J. Wilson, S.J. Ouédraogo, and K. Sanon. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. New Forests 38(3):309-322.
4. Bose, S., S.K. Herbert, and D.C. Fork. 1988. Fluorescence characteristics of photoinhibition and recovery in a sun and a shade species of the red algal genus *Porphyra*. Plant Physiol. 86(3):946-950.
5. Broschat, T.K. 1995. Nitrate, phosphate, and potassium leaching from container-grown plants fertilized by several methods. Hortscience 30(1):74-77.
6. Bumgarner, M.L., K.F. Salifu, and D.F. Jacobs. 2008. Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings : Nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. Hortscience 43(7):2179-2185.
7. Chirino, E., A. Vilagrosa, E.I. Hernandez, A. Matos, and V.R. Vallejo. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. For. Ecol. Manag. 256:779-785.
8. Cho, M.S. 2008. Effects of light intensity on physiological characteristics and growth performances of deciduous hardwood species distributed in the central temperate zone of Korean forest. Chungnam national university Master's dissertation. p. 81.
9. Choi, Y.B. and J.H. Kim. 1995. Change in needle chlorophyll fluorescence of *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* treated with artificial acid rain. J. Korean For. Soc. 84(1):97-102.
10. Compton, J., L.S. Watrud, L.A. Porteus, and S. DeGroot. 2004. Response of soil microbial biomass and community composition to chronic nitrogen additions at Harvard forest. For. Ecol. Manag. 196:143-158.
11. Deans, J.D., W.L. Mason, M.G.R. Cannell, A.L. Sharpe, and L.J. Sheppard. 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.
12. Demmig, B. and O. Bjorkman. 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* 171:171-184.
13. FAO. 2006. Global forest resources assessment 2005. Rome. Food and Agriculture Organization of United Nations.
  14. Frey, S.D., M. Knorr, J.L. Parrent, and R.T. Simpson. 2004. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests. *For. Ecol. Manag.* 196:159-171.
  15. Goncalves, J.L.M., J.L. Stape, J.-P. Laclau, and R.J. Bouillet. 2008. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing *eucalypt* plantations : the Brazilian experience. *Southern Forests* 70:105-118.
  16. Grossnickle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 30:273-294.
  17. Hernandez, E.I., A. Vilagrosa, V.C. Luis, M. Llorca, E. Chirino, and V.R. Vallejo. 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. *Environ. Exp. Bot.* 67:269-276.
  18. Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57: 1332-1334.
  19. Houlton, B.Z., Y.P. Wang, P.M. Vitousek, and C.B. Field. 2008. A unifying framework for dinitrogen fixation in the terrestrial biosphere. *Nature* 454:327-330.
  20. Hughes, A.P. and P.R. Freeman. 1967. Growth analysis using frequent small harvests. *J. App. Ecol.* 4:553-560.
  21. Hwang, J.O., Y.H. Son, M.J. Yi, J.K. Byoun, J.H. Jung, and C.Y. Lee. 2003. Studies on relationship between composition and type of fertilizer and seedling (I. Influence on biomass, specific leaf area and chlorophyll content). *J. Korea For. En.* 22(2):44-53.
  22. Inagaki, M., Y. Inagaki, K. Kamo, and J. Titin. 2009. Fine-root production in response to nutrient application at three forest plantations in Sabah, Malaysia: higher nitrogen and phosphorus demand by *Acacia mangium*. *J. For. Res.* 14:178-182.
  23. Kim, P.G., Y.S. Yi, D.J. Chung, S.Y. Woo, J.H. Sung, and E.J. Lee. 2001. Effect of light intensity on photosynthetic activity of shade tolerant and intolerant tree species. *J. Korean For. Soc.* 90(4):476-487.
  24. Krause, G.H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis; The basics. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42:313-349.
  25. Kwon, K.W., M.S. Cho, G.N. Kim, S.W. Lee, and K.H. Jang. 2009. Photosynthetic characteristics and growth performances of containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* growing at different fertilizing schemes. *J. Korean For. Soc.* 98(3):331-338.
  26. Lambers, H. and H. Poorter. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.* 23:187-261.
  27. Lee, S.W., J.H. Choi, S.K. Yoo, S.K. Kim, J.H. Bae, and H.S. Kyo. 2006. Effect of raw material properties on growth characteristics of broad-leaved container seedlings. *J. Bio-Environ. Control* 15(3):244-249.
  28. Lee, S.W., M.S. Cho, and G.N. Kim. 2010. Effect of different irrigation period on photosynthesis and growth performances of containerized seedling of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium*. *J. Korean For. Soc.* 99(3):414-422.
  29. Lee Y.K., D.K. Lee, S.Y. Woo, P.S. Park, Y.H. Jang, and E.R.G. Abraham. 2006. Effect of *Acacia* plantations on net photosynthesis, tree species composition, soil enzyme activities, and microclimate on Mt. Makiling. *Photosynthetica* 44(2):299-308.
  30. Leiva, M.J. and R. Fernandez-Ales. 1998. Variability in seedling water status during drought within a *Quercus Ilex* subsp. *ballota* population, and its relation to seedling morphology. *For. Ecol. Manag.* 111:147-156.
  31. Lim, J.H., S.Y. Woo, M.J. Kwon, J.H. Chun, and J.H. Shin. 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean Fir in Mt. Halla. *J. Korean For. Soc.* 95(6):705-710.
  32. Lloret, F., C. Casanovas, and J. Penuelas. 1999. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Funct. Ecol.* 13(2):210-216.
  33. Luis, V.C., M. Llorca, E. Chirino, E.I. Hernandez, and A. Vilagrosa. 2010. Differences in morphology, gas exchange and root hydraulic conductance before planting in *Pinus canariensis* seedlings growing under different fertilization and light regimes. *Trees* 24:1143-1150.
  34. Mackensen, J., D. Holscher, R. Klinge, and H. Folster. 1996. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. *For. Ecol. Manag.* 86: 121-128.
  35. Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solution. *J. Biol. Chem.* 140: 315-322.
  36. Olliet, J., R. Planelles, F. Artero, R. Valverde, D. Jacobs, and M.L. Segura. 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.
  37. Rascher, U., M. Liebig, and U. Lüttge. 2000. Evaluation of instant light-response curves of chlorophyll fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. *Plant, Cell Environ.* 23(12):1397-1405.
  38. Reddel, P., M.J. Webb, D. Poa, and D. Aihuna. 1999. Incorporation of slow-release fertilisers into nursery

- media. *New Forests* 18(3):277-287.
39. Rural Development Administration (RDA). 2002. Standard analysis of media, Rural Development Administration. p. 191.
40. SAS Institute Inc. 2000. SAS/STAT TM Guide for Personal Computer. Version 8 Edition. SAS Institute Inc., N.C. p. 1026.
41. Sigmaplot. 2000. philsience. p. 136.
42. Smethurst, P.J. 2010. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. *Plant Soil* 335:83-100.
43. Sutor, S., B.M. Potts, P.H. Brown, A.J. Gracie, K.D. Rix, and P.L. Gore. 2010. The impact of flower density and irrigation on capsule and seed set in *Eucalyptus globulus* seed orchards. *New Forests* 39(1):117-127.
44. Šestak, Z., J. Catsk, and P. G. Jarvis. 1971. *Plant Photosynthetic Production Manual of Methods*. The Hague. Hertogenbosch. p. 818.
45. Thirukkumaran, C.M. and D. Parkinson. 2002. Microbial activity, nutrient dynamics and litter decomposition in a Canadian Rocky Mountain pine forest as affected by N and P fertilizers. *For. Ecol. Manag.* 159:187-201.
46. Trubat, R., J. Cortina, and A. Vilagrosa. 2006. Short-term nitrogen deprivation increases field performance in nursery seedlings of Mediterranean woody species. *J. Arid Environ.* 72(6):879-890.
47. Tsakalimi, M., T. Zagas, T. Tsitsoni, and P. Ganatsas. 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.
48. Vitousek, P.M., K. Cassman, C. Cleveland, T. Crews, C.B. Field, N.B. Grimm, R.W. Howarth, R. Marino, L. Martinelli, and E.B. Rastetter. 2002. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. *Biogeochemistry* 57-58:1-45.