

## 시비처리 방법에 따른 낙엽송 용기묘의 성장 및 생리 특성

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

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림생산기술연구소, <sup>2</sup>한국임업진흥원 개발확산팀, <sup>3</sup>국립산림과학원 산림생태연구과

### Effects of Fertilization Methods on the Growth and Physiological Characteristics of *Larix kaempferi* Seedlings in the Container Nursery System

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

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

<sup>2</sup>Division of Forestry consulting, Korea Forestry Promotion Institute, Seoul 121-904, Korea

<sup>3</sup>Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, 207, Seoul 130-712, Korea

**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 chemical properties of the growth medium, growth performance, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll contents of larch (*Larix kaempferi*) growing under three different fertilization treatments (Constant rate, Three stage rate, and Exponential rate fertilization). Root collar diameter and height of larch were not significantly different among treatments even though the nutrient supply of the exponential treatment was half that of the constant and three stage treatments. Chemical properties of the growth medium showed the same trends as root collar diameter and height. The total biomass and seedling quality index (SQI) were higher at Constant than at other treatments, but both SQI of Constant and Exponential were not significantly different. Photochemical efficiency and chlorophyll contents were lower at Exponential than at other treatments, but not significantly different among treatments. Therefore, Exponential fertilization which is 50% fertilizer of other treatments would maximize seedling growth and minimize nutrient loss.

**Key words :** container seedling, fertilization, growth performances, *Larix kaempferi*, physiological characteristics

## 서 론

건전한 임분의 조성 및 갱신은 지속적인 산림의 생산과 산림생태계 유지를 목표로 하기 위해서 필요하다. 양묘과정에서의 우량묘목 생산은 성공적인 조림과 건전한 임분 조성으로 이어진다(Cho 등, 2011). 우리나라에서 용기묘 조림은 1996년 강원도 고성지역 산불 피해지 복원용 식재부터 시작되었으며, 시설양묘에 의한 묘목생산을 시작한 것은 얼마 되지 않았다(Kim 등,

2008). 시설양묘는 노지양묘보다 조림 시 높은 활착률, 우수한 성장, 연중 조림 가능, 양묘기간 단축, 생력화 가능, 노동력 절감 등의 이점을 가지고 있다(Wilson 등, 2007). 또한 현재 시설양묘 수종 확대 및 기준 마련과 현장에서의 다양한 수종에 대한 용기묘 식재 요구가 증가하고 있는 실정이다(Kwon 등, 2009).

낙엽송(*Larix kaempferi*)은 우리나라 장기수 용재림 조성을 위해 가장 많이 조림 된 수종으로(Kim 등, 2010a) 현재 목재에 대한 긍정적 재평가와 함께 경제림육성단지 조성을 위한 조림에서도 주요 수종으로 선정되어 조림 비율을 지속적으로 증대시키고 있는 실정이다(KFS, 2011). 그러나 낙엽송 노지묘 양묘는 기상

\*Corresponding author: gungdong@hanmail.net  
Received February 2, 2012; Revised March 7, 2012;  
Accepted March 9, 2012

재해와 병해충 특히, 여름철 고온과 높은 강수량에 의해 피해가 점점 증가되고 있어 용기묘 생산으로의 전환이 필요한 시점이다(Kim 등, 2010b).

시설양묘과정에서는 광, 온도, 수분 등의 생육환경 조절과 용기 종류, 상토, 시비기술 등이 중요한 영향을 미친다(Lee 등, 2006; Grossnielke, 2005). 그 중에서 시비는 생육상토에서 양묘되는 용기묘의 특성 상 반드시 실시되어야 한다(Broschat, 1995). 그러나 반복적인 시비는 시설양묘장 주변의 토양 및 계류수의 환경적인 문제를 일으킬 수 있다(Bumgarner 등, 2008). 따라서 현재 일반적으로 시설양묘과정에서 실시되는 일률적인 시비 기술이 아닌 용기묘 생장에 피해가 없는 한도 안에서의 시비량 조절 및 시비기술 함께 양묘장 주변의 오염수 제어 기술 개발이 필요한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 시설양묘과정에서 성장패턴에 따른 친환경적·경제적 시비방법 구명을 위해 고정 배액(Constant rate), 3단계 배액(Three stage rate) 및 증가 배액(Exponential rate) 등의 3가지 시비 처리를 실시하였으며, 시비 처리에 따른 생육상토 특성, 성장 특성 및 엽록소 형광반응, 엽록소 함량 등의 생리적 특성 변화를 조사·분석하였다. 본 연구 결과는 최소 시비량에 대한 최대 성장 효과와 적정 시비방법 적용에 따른 환경오염의 최소화 및 양묘비용 절감과 함께 고품질 우량 용기묘의 대량 수급에 따른 우수한 조림성고가 기대되며, 시설양묘사업기술체계 구축에 기초자료로 사용될 수 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험지 및 시험 수종

시험지는 경기도 포천에 위치한 국립산림과학원 산림생산기술연구소 시설온실(북위 37° 45', 동경 127° 10')로서, 본 연구에서는 국립산림품종관리센터 채종원에서 채취한 낙엽송(*Larix kaempferi*) 종자를 이용하였다. 2009년 4월 중순 35월 용기(240/cell-260seedlings/m<sup>2</sup>, Kukilchem, Korea)에 파종을 하였으며, 양묘 시 생육상토는 피트모스 : 펄라이트 : 질석(1 : 1 : 1, v/v)의 상토를 이용하였다. 시비 처리 전까지 매일 m<sup>2</sup>당 20l 관수를 실시하였으며, 상토의 토양분석에 사용된 모든 방법은 농촌진흥청의 상토 표준분석법(RDA, 2002)에 준하여 실시하였다.

### 2. 시비 처리

시비는 수용성 비료인 MultiFeed 19(N:P:K = 19:19:19, Haifa Chemicals, Israel)를 이용하여 2009년 6월 10일부터 11주 동안, 주 3회씩, 총 33회 실시하였다. 처리별 4개의 용기, 총 140본의 용기묘에 20l의 관수와 병행하여 시비를 실시하였다.

시비 처리는 용기묘의 성장 속도 및 성장패턴에 따라 고정된 시비량을 지속적으로 실시하는 Constant rate, 양묘 기간을 3 시기로 나누어 3 단계로 시비를 실시하는 Three stage rate 및 양묘기간이 지남에 따라 시비량을 점점 증가시키는 Exponential rate 등의 3가지 방법으로 실시하였다(Fig. 1).

Constant 처리는 1회 시비 시 분당 11.8mg, 총 389.4mg의 비료가 투입되었다. Three stage 처리는 각각 초기단계(8회) 3.9mg, 생육단계(17회) 17.4mg,

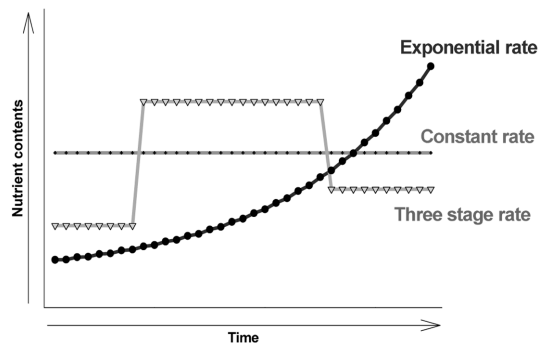


Fig. 1. Change of nutrient contents applied for container seedling of *L. kaempferi* by Constant, Three stage, and Exponential fertilizations for 11 weeks.

Table 1. Fertilizer amounts of container seedling of *L. kaempferi* receiving three types of solution irrigation for 11 weeks.

Fertilization treatments	Fertilizer amounts (mg · seedling <sup>-1</sup> )
Constant	11.8 Total 389.4
Three stage	Establishment stage (8 times) 3.9
	Accelerated growth stage (17 times) 17.4
	Hardening stage (8 times) 7.9 Total 389.4
Exponential	Ni 2.3
	Nf 16.6
	r 0.0642 N <sub>f</sub> = N <sub>i</sub> × (e <sup>rt</sup> - 1) Total 194.9

경화단계(8회) 7.9mg으로 총 389.4mg으로 Constant 처리와 같은 수준이었다. Exponential 처리는  $N_t = N_i \times (e^{rt} - 1) + N_i$  식을(Dumroese 등, 2005) 이용하여 시비량을 계산하였으며, 각각은  $r$ (증가상수) = 0.0642,  $N_i$ (최초양분함량) = 2.3mg,  $N_t$ (최종양분함량) = 16.6,  $t$ (시비회수) = 33,  $e$ (자연로그상수) = 2.71828이다. Exponential 처리의 총 시비량은 194.9mg으로 다른 두 시비 처리에 비해 약 50%의 수준을 나타내고 있다(Table 1).

### 3. 측정 및 결과 분석

#### 3.1 생장 특성

시비 처리에 따른 생장을 조사하기 위하여 6월 초 시비 처리 실시 전과, 그 후로 20일 간격으로 9월 중순까지 처리별 묘목을 용기 당 각 5본씩 총 20본을 선정하여 근원경과 간장을 반복 측정하여 생장 및 상대생장량을 분석하였다. 처리 전 근원경과 간장의 측정값에 대한 각각의 단위기간( $\text{day}^{-1}$ ) 당 및 총 양묘기간에 대한 상대생장량을 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 전자식캘리퍼스 및 스틸테이프를 이용하였다. 2009년 9월 중순 모든 실험이 끝난 후 묘목을 처리별 각 10본씩 채취하여 지상부와 지하부로 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 등, 1971). 또한 양묘 된 묘목의 품질지수를 나타내는 Seedling Quality Index (SQI)를 계산하였는데(Deans 등, 1989), 계산식은 다음과 같다.

#### Seedling Quality Index

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

#### 3.2 엽록소 형광반응 특성

시비 처리에 따른 엽록소 형광 반응을 조사하기 위하여 엽록소 형광반응 영상화 장치(Kinetic Imaging Fluorometer, FluorCam, Photon System Instruments, Czech)를 이용하여 측정하였다. 형광반응 측정은 측정 대상 용기묘를 빛이 통하지 않는 암실에서 약 20분간 암 조건에 적응시킨 후 측정하였다. 측정 시 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.

3.3 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 같은 식으로 각각의 엽록소 함량을 구하였다(Arnon, 1949; Mackinney, 1941).

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

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

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

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

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

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

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. 생육상토의 화학적 특성

시비 처리에 따른 생육 상토의 화학적 특성은 약간의 차이는 있지만 대부분 유의적 차이를 보이지 않았다. 특히 질소, 인, 칼륨은 시비 처리에 따른 유의적 차이를 나타나지 않았다. 이는 Exponential 처리구를 제외한 두 처리구에서는 낙엽송 용기묘의 임계농도 이상의 시비를 한 것으로 총 투입되는 시비량과 생육상토 밖으로 용탈되는 양 또한 많았기 때문에 시비 효율이 떨어지는 것으로 판단된다. 그러나 pH의 경우 유의적 차이를 보이면서 Exponential 처리구에서 가장 높게 나타났으며( $P < 0.01$ ), 시비량이 높을수록 생육상토가 산성화 되는 것을 알 수 있었다(Table 2).

**Table 2.** 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	46.4	5.3	3.7	13.6
Constant	32.6 ± 0.1 <sup>az</sup>	4.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	3.1 ± 0.2 <sup>a</sup>	90.1 ± 17.2 <sup>a</sup>
Three stage	33.2 ± 1.5 <sup>a</sup>	4.3 ± 0.0 <sup>a</sup>	3.2 ± 0.0 <sup>a</sup>	67.3 ± 8.4 <sup>a</sup>
Exponential	34.4 ± 0.3 <sup>a</sup>	5.1 ± 0.1 <sup>b</sup>	3.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	80.0 ± 20.8 <sup>a</sup>

Fertilization treatments	Ex-cations (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )			
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
Pretreatment	0.20	1.52	0.85	3.21
Constant	0.29 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.42 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.84 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.03 <sup>a</sup>
Three stage	0.28 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.96 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.86 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.21 ± 0.02 <sup>a</sup>
Exponential	0.37 ± 0.03 <sup>a</sup>	2.21 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.84 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.20 <sup>a</sup>

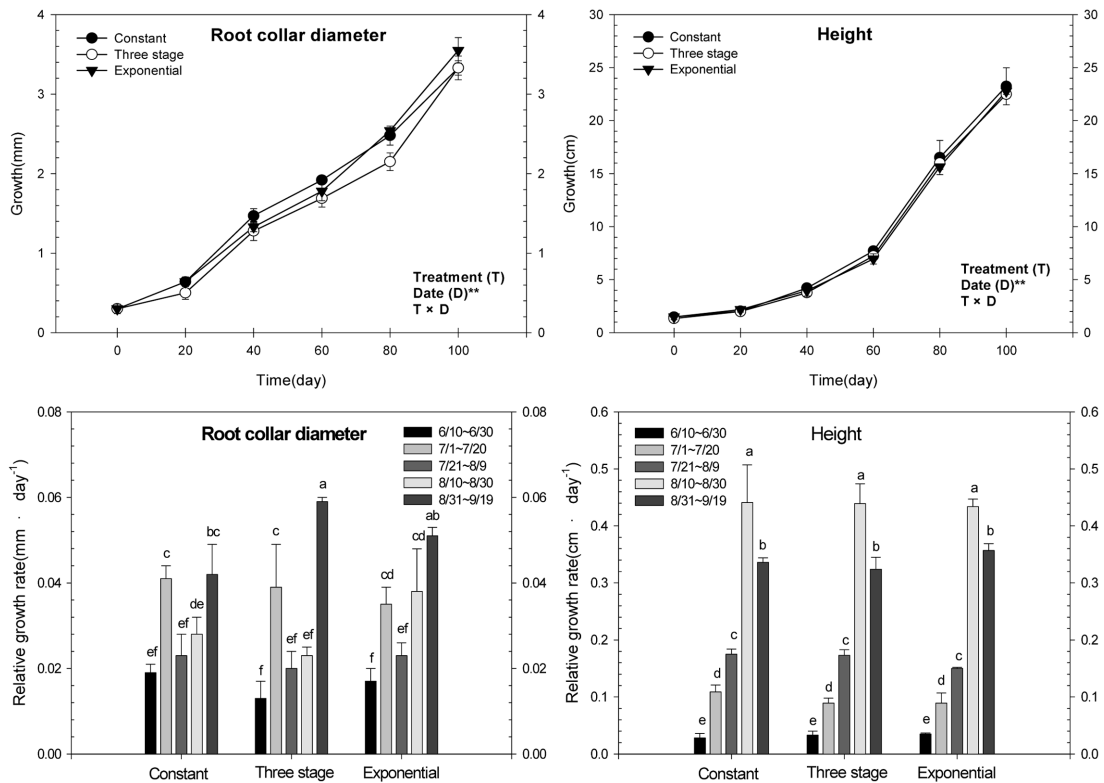
Values are means of 20 replicates ± SD.

<sup>a</sup>Values with different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

**2. 생장 특성**

Fig. 2는 시비 처리에 따른 낙엽송 용기묘의 근원경과 간장의 생장 및 20일 간격의 기간별 상대생장량을

나타내고 있다. 근원경과 간장 생장 모두 생장 패턴 (측정 시기에) 따른 유의적 차이는 나타났지만( $P < 0.01$ ), 시비 처리에 따른 근원경( $P = 0.16$ )과 간장( $P =$



**Fig. 2.** The growth patterns of root collar diameter and height of container seedling of *L. kaempferi* under three different fertilization treatment. Vertical bars represent SD of the mean (n = 20). Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test: \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ .

시비처리 방법에 따른 낙엽송 용기묘의 생장 및 생리 특성

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

Fertilization treatment	Root collar diameter		Height		H/D ratio (cm/mm)
	Growth (mm)	RGR <sup>z</sup> (mmday <sup>-1</sup> )	Growth (cm)	RGR (cmday <sup>-1</sup> )	
Constant	3.33 ± 0.15 <sup>ay</sup>	0.031 ± 0.002 <sup>a</sup>	23.24 ± 1.75 <sup>a</sup>	0.218 ± 0.019 <sup>a</sup>	7.09 ± 0.36 <sup>a</sup>
Three stage	3.33 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.031 ± 0.001 <sup>a</sup>	22.48 ± 0.33 <sup>a</sup>	0.211 ± 0.003 <sup>a</sup>	6.79 ± 0.33 <sup>a</sup>
Exponential	3.55 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.033 ± 0.002 <sup>a</sup>	22.78 ± 0.29 <sup>a</sup>	0.213 ± 0.004 <sup>a</sup>	6.49 ± 0.34 <sup>a</sup>

Values are means of 20 replicates ± SD.

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

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

0.68)의 차이는 보이지 않았으며, 세 처리 모두 같은 규격의 묘목을 생산하였다. 총 양묘기간에 따른 일일 상대생장량(mm, cm · day<sup>-1</sup>)은 근원경( $P=0.55$ )과 간장( $P=0.77$ ) 모두 유의적 차이를 보이지 않았으며, 양묘된 묘목의 건전도를 판단할 수 있는 H/D율은 시비 처리에 따른 유의적 차이는 없지만( $P=0.18$ ), Exponential 처리구에서 가장 낮은 값을 보였다(Table 3).

이와 같은 결과를 보인 이유는 Constant와 Three stage 처리구는 기간별 상대생장량이 증가하다 감소하거나, 증가폭이 매우 작게 나타나 지속적인 성장을 하지 않지만, Exponential 처리구는 8월 10일~9월 19일까지의 40일간 근원경 상대생장량에서 볼 수 있듯이, 양묘기간이 지날수록 지속적으로 높은 상대생장량을 보이기 때문이라 판단된다. 즉, 다른 두 처리구에 비해 50%의 시비량으로 최대의 생장 효과를 보인 것이다. 이는 본 연구 대상 수종과 같은 잎갈나무속(*Larix*) 용기묘에서 Conventional(일률적 시비)과 Exponential 시비가 유사한 뿌리 생장과 양분이용효율을 보인 선행 연구(Qu 등, 2003)와 같은 경향을 보였으며, Cho 등 (2011)의 백합나무 용기묘 근원경과 간장 생장이

Constant와 Exponential 처리구에서 유사했던 결과와 같은 경향을 나타냈다.

상대생장량의 패턴은 기후에 따라 변하며, 수분, 광선, 양분, 온도 등의 환경 조절에 의해 식물은 다양한 생장 및 물질생산의 변화를 나타낼 수 있다(Lambers와 Poorter, 1992). 특히 시비의 양과 방법은 식물의 생장 패턴에 큰 영향을 미치며, 용기묘의 수종별 · 시기별 양분요구량에 대한 과 · 부족은 생장 및 묘목 품질의 저하를 초래한다(Hernandez 등, 2009; Juntunen 등, 2003). 또한 시비는 토양 내 유기물 함량, 미생물 특성, 효소 활성 등에 영향을 미치며, 이로 인해 생장 특성에 변화를 주는 것이다(Compton 등, 2004; Frey 등, 2004; Thirukkumaran 등, 2002). 즉, 양분 조건이 적정하지 않으면 상대생장량의 증가 속도는 낮으며, 반면 감소는 급격하게 이루어진다. 그러나 양분이 적정 수준이면 상대생장량의 증가 속도는 높고, 감소는 천천히 이루어지며 우수한 생장을 보이는 것이다. 본 연구에서도 시비 처리에 따른 생장 패턴 및 시기별 상대생장량에 미치는 영향을 볼 수 있었다.

시비 처리에 따른 총 물질생산량과 지상부 물질생산

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

Fertilization treatment	Dry weight (g)			T/R ratio (g · g <sup>-1</sup> )
	Needle + Stem	Root	Seedling	
Constant	1.02 ± 0.08 <sup>az</sup> (88) <sup>y</sup>	0.20 ± 0.03 <sup>a</sup> (16)	1.22 ± 0.11 <sup>a</sup> (100)	5.29 ± 0.61 <sup>a</sup>
Three stage	0.83 ± 0.05 <sup>b</sup> (84)	0.15 ± 0.01 <sup>a</sup> (16)	0.98 ± 0.04 <sup>b</sup> (100)	5.48 ± 0.65 <sup>a</sup>
Exponential	0.87 ± 0.02 <sup>b</sup> (82)	0.19 ± 0.01 <sup>a</sup> (18)	1.06 ± 0.02 <sup>b</sup> (100)	4.49 ± 0.40 <sup>a</sup>

Values are means of 10 replicates ± SD.

<sup>z</sup>Values with 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.

량은 유의적 차이를 보이면서 Constant 처리구가 가장 높은 물질생산량을 보였다( $P < 0.05$ ). 그러나 지하부 물질생산량은 유의적 차이를 나타내지 않았다( $P = 0.08$ ). T/R율은 유의적 차이를 보이지 않았지만 Exponential 처리구에서 가장 높게 나타났으며( $P = 0.15$ ), 물질생산량과는 반대, H/D율은 같은 경향을 보였다(Table 4). Exponential 처리구가 다른 두 처리구에 비해 지상부 생장보다 지하부 생장에 광합성 산물이 더 많이 분배된 것이다. 광합성 산물의 배분 및 근계 발달은 조립 성과에 큰 영향을 미치며(Lloret 등, 1999; Tsakalidimi 등, 2005), 지상부의 물질생산량과 T/R율이 높은 묘목은 조립 시 수분 스트레스 저항 능력을 떨어뜨려(Leiva와 Fernandez-Ales, 1998; Aranda 등, 2002), 불량한 조립 성과를 보일 수 있다.

묘목의 품질지수를 나타내는 Seedling Quality Index(SQI)는 Three stage 처리구에서 가장 낮게 나타났지만, Constant와 Exponential 두 시비 처리구는 같은 수준의 우수한 묘목품질지수를 보였다(Fig. 3). Exponential 처리구는 근원경과 간장 생장 및 물질생산에서 시비 처리에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 광합성 산물의 배분 과정이 적절히 이루어졌으며, 용기묘 내 양분 함량과 양분이용효율이 높았기 때문에 묘목 품질이 저하되지 않은 것으로 판단된다. 이에 따라 다른 시비 방법보다 Exponential 처리구는 높은 양분저장능력(Nutrient Loading)을 가지고 있어(Timmer, 1997; Xu와 Timmer, 1999), 용기묘 조립 후, 우수한 생장 및 높은 활착률을 나타내며(Salifu와

Timmer, 2003; Trubat 등, 2008; Way 등, 2007), 조립지 하층식생과의 경쟁에서도 우위를 점할 수 있다(Imo와 Timmer, 1999; Luis 등, 2009). 즉, 양묘 과정뿐만 아니라 조립 후에도 경쟁력을 갖춘 묘목을 생산할 수 있는 것이다.

### 3. 생리적 특성

시비 처리에 따른 낙엽송 용기묘의 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치( $F_v/F_m$ )인 광화학 효율( $P = 0.38$ )은 Constant 처리구에서 가장 높은 값을 보였지만, 처리별 유의적 차이는 나타나지 않았다(Fig. 4). 광화학효율은 생육환경 스트레스에 대한 중요한 지표로서(Rascher 등, 2000), 광합성 능력과 밀접한 관계에 있으며(Bose 등, 1988), 서로 비례관계 경향을 나타낸다. 식물의 건전한 잎은 0.83 정도의 광화학 효율이 나타나지만(Krause와 Weis, 1991), 본 연구에서는 세 시비 처리 모두 광화학 효율이 건전 잎 수준에는 못 미쳤다. 이는 발아 후 약 4개월 지나 낙엽송 용기묘가 시비 외도 광, 온도, 수분 등의 생육환경 스트레스에 대한 저항력이 낮기 때문이라 판단된다.

시비 처리에 따른 총 엽록소 함량은 광화학 효율 결과와 같이 Exponential 처리구에서 낮은 값을 보였지만 유의적 차이는 나타나지 않았다(Table 4). 식물의 광합성 능력과 질소함량은 매우 밀접한 관계를 가지고 있다(Kim과 Lee, 2001). 이는 잎에 함유된 전 질소의 70% 이상이 광합성과 관련된 단백질로 구성되어 있기 때문이다(Hikosaka와 Terashima, 1995). 즉, 시

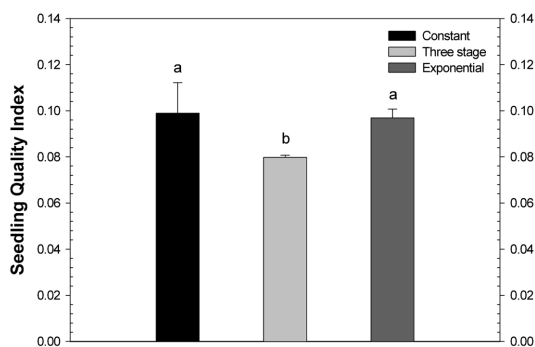


Fig. 3. Effect of fertilization treatment on the seedling quality index (SQI) of container seedling of *L. kaempferi*. Vertical bars represent SD of the mean (n = 20). Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

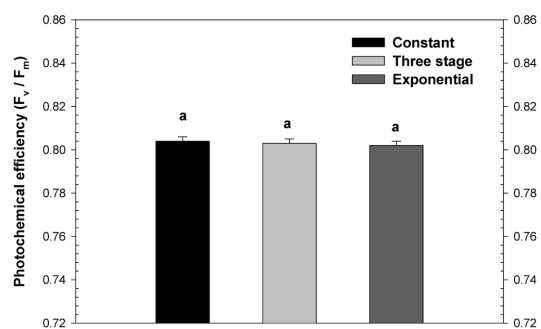


Fig. 4. The photochemical efficiency of container seedling of *L. kaempferi* under three different fertilization treatment. Vertical bars represent SD of the mean (n = 9). Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

## 시비처리 방법에 따른 낙엽송 용기묘의 생장 및 생리 특성

**Table 4.** The chlorophyll contents of container seedling of *L. kaempferi* under three different fertilization treatment.

Fertilization treatment	Chlorophyll content (mg · g <sup>-1</sup> fresh weight)			Chl. a/b
	Chl. a	Chl. b	Total Chl.	
Constant	1.31 ± 0.08 <sup>az</sup>	0.46 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.76 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.87 ± 0.13 <sup>a</sup>
Three stage	1.26 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.70 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.92 ± 0.06 <sup>a</sup>
Exponential	1.23 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.65 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.90 ± 0.13 <sup>a</sup>

Values are means of 9 replicates ± SD.

<sup>a</sup>Values with different letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

비에 따른 양분 과·부족은 시설양묘과정에서 광합성 능력의 저해를 가져올 수 있으며 특히, 광합성 활동과 가장 밀접한 엽록체 생성에 큰 영향을 미치는 것이다.

엽록소 형광 반응 및 엽록소 함량 특성을 보면, 시설양묘과정에서 시비가 명반응 과정에서 광 확보 능력에 영향을 미치는 것을 알 수 있다(Kwon 등, 2009). 시비는 광합성 활동 및 생육 활동과 연계하여 양묘과정에서의 묘목의 생산 및 품질에 큰 영향을 미치는 것이다. 그러나 Exponential 처리구는 광합성 기구의 활동이 다른 두 처리구에 비해 크게 저하되지 않았으며, 이는 생장 특성 결과와 같은 경향을 보인 것이다. 즉, Exponential 처리구는 시설양묘과정에서 약 50%의 시비량으로 낙엽송 규격묘를 생산할 수 있으며, 그 생리적 특성 또한 크게 떨어지지 않은 것이다. 또한, 적정 시비 처리에 의한 우수한 광합성 능력을 지닌 용기묘는 양묘 후 조립과정에서도 우수한 생장과 높은 활착률을 나타낸다(Leiva와 Fernandez-Ales, 1998; Oliet 등, 2009). 이러한 이유는 적정 시비에 의해 뿌리에서의 수분흡수능력과 수분이동능력이 증가되기 때문이다(Chirino 등, 2008). 이러한 과정에 의해 Exponential 처리구에서 생산된 용기묘는 환경오염을 최소화하며, 묘목품질 면에서도 문제가 없는 조립 묘목을 생산할 수 있는 것으로 조립과정에서도 우수한 조립성과를 나타낼 수 있다고 판단된다.

### 적 요

본 연구에서는 시비 처리에 따른 생육상토의 화학적 특성, 생장 특성 및 생리적 특성 변화를 조사·분석하여 최소 시비량에 대한 최대 생장 효과와 적정 시비 방법 적용에 따른 환경오염의 최소화를 목적으로 연구를 실시하였다.

시비 처리에 따른 생육 상토의 화학적 특성은 유의적 차이를 보이지 않았다. 그러나 pH의 경우 유의적 차이를 보였는데 시비량이 적은 Exponential 처리구에서 산성도는 가장 낮고, 시비량이 높은 Constant와 Three stage 처리에서 산성도가 높아, 시비에 따른 산성도가 진행되었음을 짐작할 수 있다. 시비 처리에 따른 근원경과 간장 생장은 유의적 차이를 보이지 않았으며, 세 시비 처리구 모두에서 낙엽송 용기묘 규격 이상의 우수한 생장을 나타냈다. H/D율과 T/R율은 Exponential 처리구에서 가장 낮은 값을 보였으며, 반면 물질생산량과 묘목품질지수는 Constant 처리구가 높은 값을 나타냈다. 시비 처리에 따른 광화학 효율과 엽록소 함량은 Constant 처리구에서 높았지만, 세 처리구 모두 유의적 차이는 보이지 않았다.

본 연구 결과를 종합해 보면, 시비량을 생장에 따라 조절함으로써 시비량을 줄이면서 동시에 비슷한 생장 및 생리적 반응을 보임을 알 수 있었다. Exponential 처리구는 50% 시비량으로 생장, 묘목품질지수 및 생리적 특성에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 규격묘 생산이 가능했다. 이는 낙엽송 용기묘 100만본 생산 시 비료량을 약 200kg 이상 줄일 수 있는 것으로, 시설양묘과정에서 다른 시비 방법에 비해 경제적인 효과를 얻을 수 있음과 동시에 양묘장 토양 및 계류수의 오염을 줄이면서 비슷한 생장을 유지할 수 있다. 즉, Exponential 시비 방법은 생산 비용을 줄이면서 비슷한 생장 효과 얻어 경제적이며 친환경적 시비방법이라 판단된다.

**주제어** : 낙엽송, 생리적 특성, 생장 특성, 시비, 용기묘

### 인 용 문 헌

1. Aranda, I., L. Gil, and J.A. Pardos. 2002. Physiologi-

- cal 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. Ouèdraogo, 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. *Hort. Sci.* 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. *Hort. Sci.* 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., S.W. Lee, B.B. Park, and G.S. Park. 2011. The Effects of Fertilization on Growth Performances and Physiological Characteristics of *Liriodendron tulipifera* in a Container Nursery System. *J. Korean For. Soc.* 100(2):305-313.
  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 (77 K) and photon yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171:171-184.
  13. Dumroese, R.K., D.S. Page-Dumroese, K.F. Salifu, and D.F. Jacobs. 2005. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. *Can. J. For. Res.* 35(12):2961-2967.
  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. Grossnickle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 30:273-294.
  16. 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.
  17. Hikosaka, K. and I. Terashima. 1995. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C3 plants to sun and shade with respect to nitrogen uses. *Plant, Cell Environ.* 18:605-618.
  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. Hughes, A.P. and P.R. Freeman. 1967. Growth analysis using frequent small harvests. *J. App. Ecol.* 4:553-560.
  20. Imo, M. and V.R. Timmer. 1999. Vector competition analysis of black spruce seedling responses to nutrient loading and vegetation control. *Can. J. For. Res.* 29(4): 474-486.
  21. Juntunen, M.-L., T. Hammar, and R. Rikala. 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.
  22. Korea Forest Service (KFS). 2011. The plan of primary task in 2011. KFS. p. 456.
  23. Kim, J.J., K.H. Son, and T.S. Yoon. 2008. Optimum management for overwintering of *Pinus densiflora* container seedlings. *J. Korean For. Soc.* 97(1):53-60.
  24. Kim, J.J., K.J. Lee, K.S. Song, Y.G. Cha, Y.S. Chung, J.H. Lee, and T.S. Yoon. 2010a. Exploration of optimum container for production of *Larix leptolepis* container seedlings. *J. Korean For. Soc.* 99(4):638-644.
  25. Kim, P.G. and E.J. Lee. 2001. Ecophysiology of photosynthesis 1 : Effects of light intensity and intercellular CO<sub>2</sub> pressure on photosynthesis. *Korean J. Agr. For. Mete.* 3(2):126-133.
  26. Kim, P.G., K.W. Kwon, T.S. Yoon, K.J. Lee, Y.S. Chung, K.S. Song, Y.G. Cha, and J.J. Kim. 2010b. Damages of seedlings by meteorological disasters in nursery. *Korean J. Clim. Res.* 5(2):148-163.
  27. Krause, G.H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis; The basics. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42:313-349.



28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
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., J. Puertolas, J. Climent, J. Peters, A.M. Gonzalez-Rodriguez, D. Morales, and M.S. Jimenez. 2009. Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. *Euro. J. For. Res.* 128(3):221-229.
34. Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solution. *J. Biol. Chem.* 140: 315-322.
35. Oliet, 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.
36. Qu, L.Y., A.M. Qureshi, and T. Koike. 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.
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. Rural Development Administration (RDA). 2002. Standard analysis of media. Rural Development Administration. p. 191.
39. Salifu, K.F. and V.R. Timmer. 2003. Optimizing nitrogen loading in *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Can. J. For. Res.* 33(7):1287-1294.
40. SAS Institute Inc. 2000. SAS/STAT™ Guide for Personal Computer. Version 8 Edition. SAS Institute Inc., N.C. p. 1026.
41. Šestak, Z., J. Catsk, and P. G. Jarvis. 1971. Plant Photosynthetic Production Manual of Methods. The Hague. Hertogenbosch. p. 818.
42. Timmer, V.R. 1997. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New Forests* 13:279-295.
43. 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.
44. Trubat, R., J. Cortina, and A. Vilagrosa. 2008. Short-term nitrogen deprivation increases field performance in nursery seedlings of Mediterranean woody species. *J. Arid Environ.* 72(6):879-890.
45. Tsakalidimi, 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.
46. Way, D., S. Seegobin, and R. Sage. 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.
47. Wilson, E.D., K.C. Vitols, and A. Park. 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.