

시비 처리에 따른 상수리나무(*Quercus acutissima*) 용기묘와 노지묘의 광합성 및 성장특성

권기원¹ · 조민석^{2*} · 김길남¹ · 이수원² · 장경환²

¹충남대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원 산림생산기술연구소

Photosynthetic Characteristics and Growth Performances of Containerized Seedling and Bare Root Seedling of *Quercus acutissima* Growing at Different Fertilizing Schemes

Ki Won Kwon¹, Min Seok Cho^{1*}, Gil Nam Kim¹,
Soo Won Lee² and Kyung Hwan Jang²

¹Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University,
Daejeon 305-764, Korea

²Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

요 약: 본 연구에서는 상수리나무 용기묘와 노지묘를 대상으로 시비처리에 따른 광합성 특성, 엽록소 형광반응, 엽록소 함량 및 성장 특성을 조사·분석하였다. 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 시비 처리별 광합성 능력 및 광화학 효율은 1,000배액 시비 처리구에서 가장 높았으며, 엽록소 함량도 1,000배액 시비 처리구에서 가장 많았다. 성장 특성에서는 1,000배액 시비 처리구에서 높은 상대성장률과 물질생산량을 보였으며 엽면적도 같은 경향을 보였다. 모든 시비 처리구에서 전반적으로 용기묘가 노지묘보다 우수한 광합성 능력과 광화학 효율, 엽록소 함량 및 성장을 보였다.

Abstract: This present study was conducted to investigate photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence, chlorophyll contents, and growth performances of containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* growing under different fertilizing schemes. Both of containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* showed good photosynthetic capacity and apparent quantum yield in the seedlings applied with one gram refining fertilizer (each of N, P, and K is 19%) diluted in one liter water. And chlorophyll contents also showed higher in the seedlings applied with the above fertilization scheme. The seedlings also showed good relative growth performances of root collar diameter, seedling height, total biomass, and leaf area in the some treatment scheme. In most of the treatments, containerized seedlings showed better photosynthetic capacity, apparent quantum yield, chlorophyll contents, and growth performances than bare root seedlings.

Key words : *Quercus acutissima*, containerized seedling, bare root seedling, photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence, chlorophyll contents, growth performances

서 론

현재 우리나라에서 조림지에 식재되고 있는 용기묘는 소나무와 상수리나무 용기묘 1-0묘 또는 2-0묘가 대부분이다. 이러한 용기묘가 생산되기 전에는 일반적으로 소나무 묘목의 경우에 1-1 노지묘를 주로 식재 하였다(김종진 등, 2008). 소나무 용기묘는 수년전부터 본격적으로 산지에 식재되어 왔으며, 최근에는 소나무와 함께 상수리나무 등 일부 수종의 용기묘가 산불피해지 복원과 수종갱신,

수하식재, 경관식재 등으로 여러 지역에 조림되고 있다(윤택승 등, 2005). 그러나 용기묘와 노지묘 모두 조림지에 식재된 후 관목 또는 초본류와의 경쟁에서 살아남아야 활착률과 초기성장률을 높일 수 있는데, 아직까지 조림지에 식재된 용기묘와 노지묘의 활착 및 초기성장률에 관한 연구는 대단히 부족한 실정이다.

수목의 성장과 대사활동에 영향을 미치는 무기 환경요인 중 광선과 수분 이외에도 토양내 양료 조성 및 함량 차이는 각 수종이 요구하는 양료 요구도에 따라서 묘목의 성장, 물질생산량의 변화 및 광합성률의 변화 등에 다양한 영향을 미친다(이수원 등, 2006).

*Corresponding author
E-mail: gungdong@hanmail.net

생육환경과 시비처리에 따른 조림 묘목의 생리 및 성장 특성에 관한 깊이있는 연구는 조림 수종의 선택과 함께 조림의 목적에 부합하는 적정규격의 용기묘 또는 노지묘의 선택, 그리고 묘목의 식재 및 식재된 묘목 사후 무육관리 등에도 도움을 줄 수 있는 정보를 제공할 수 있을 것이다. 또한 식재된 묘목이 하층식생과의 경쟁에서 우위를 점할 수 있으며, 조림 시 한번의 풀베기로 추가의 풀베기 작업없이 무육관리를 생략할 수 있는 우수한 조림성과 방안 등을 개발하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 연구는 상수리나무(*Quercus acutissima*) 용기묘와 노지묘를 대상으로 시비처리에 따른 광합성 특성, 엽록소 형광반응, 엽록소 함량 및 성장 특성 변화를 2006년부터 2008년까지 총 3년간 조사·분석하여 조림지 또는 묘포에서 시비량 조절에 따른 용기묘와 노지묘의 생리 및 성장 특성 차이를 비교, 분석하고자 실시되었다. 또한 적정시비를 통해 조림지에서 식재초기에 용기묘의 묘목생장을 촉진시켜 조기에 하층식생과의 경쟁에서 벗어날 수 있도록 하는 조림 기술을 개발하는데 필요한 정보를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험대상 수종 및 시험구 설치

1) 시험대상 수종

본 시험에서는 경기도 포천에 위치한 산림생산기술연구소에서 양묘한 상수리나무(*Quercus acutissima*) 1-0묘 용기묘와 노지묘를 대상으로 실험하였다.

2) 시험대상 묘목의 식재방법

불규칙한 입지환경을 지닌 조림지에서의 시비실험보다 정밀한 실험을 위해 2006년 4월에 대형 프라스틱용기(내경 56 cm, 깊이 60 cm)에 Table 1에 제시된 토양분석 자료와 같이 양료가 거의없는 마사토를 균일하게 채운 후 시비처리별로 각각 5개의 용기에 용기별로 용기묘와 노지묘를 각 4주씩 8주를 심어 총 120주를 식재하였다. 마사토로 채워진 용기의 양호한 배수를 위해 마사토에 용기하부까지 수직으로 직경 2 cm의 구멍을 8개씩 뚫어 펄라이트를 구멍에 채웠다.

2. 시비 처리 방법

식재된 묘목이 정상적인 생리 상태를 보이는 5월 초순에 멀티피드 19(N:P:K=19:19:19)를 이용하여 2006년부터

2008년까지 총 3년간 6월부터 8월까지 시비처리를 반복하였다. 시비체계는 주 2회씩 20 L의 관수와 병행하여 무시비, 500배액, 1,000배액의 3가지 시비처리를 적용하였다. 시비처리에 사용한 멀티피드 19는 유효성분인 수용성 인산 19%, 전질소 19%, 수용성 가리 19%와 마그네슘, 칼레이트철 등 칼레이트형의 다양한 미량원소가 첨부된 완전 수용성 비료이다.

3. 측정 및 결과 분석

1) 광합성 특성

시비처리에 따른 광합성 차이를 조사하기 위하여 2006년부터 2008년까지 처리별 성장속도가 비슷하고, 평균적인 생육상태를 유지하고 있는 묘목의 건전엽을 대상으로 연차별로 7월에 휴대용 광합성측정장치(Portable photosynthesis system, LI-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 광합성 특성을 측정하였다. 측정시에는 광도를 임의로 조절할 수 있는 LED light source(LI-6400-02, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 PPF(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 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, 온도는 25로 설정하여 외기의 환경변화로 인한 영향이 없도록 하였다. 또한 광합성측정기에 CO₂ injector system(LI-6400-01, LI-COR Inc., USA)을 부착하여 CO₂ 농도를 400±2 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 범위 내에서 안정된 상태를 유지시켰다(김판기 등, 2001; 임종환 등, 2006; 최정호, 2001). 광도별 광합성 속도를 측정하여 광-광합성곡선을 작성(시그마플롯, 2000)하고, 이 곡선에서 순양자수율(apparent quantum yield), 광보상점, 광포화점 및 이 때의 광합성 능력(photosynthetic capacity) 등을 산출하였다. 순양자수율은 PPF 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_{sat})을 유지하기 시작할 때 x의 값인 (A_{sat} - a)/b가 광포화점이다. 광합성 능력은 광포화점보다 높은 광도에서의 광합성 속도를 평균으로 하는 값으로 하였다(김판기와 이은주, 2001).

2) 엽록소 형광반응 특성

시비처리에 따른 엽록소 형광반응을 조사하기 위하여

Table 1. Chemical properties of soil used in the experiment.

pH	Total nitrogen (%)	Organic matter (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	EX-Cation (cmol kg ⁻¹)			C.E.C. (cmol kg ⁻¹)
				K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
6.27	0.01	0.12	6.72	0.07	2.61	0.23	1.32

2006년부터 2008년까지 연차별로 7월에 엽록소형광반응 측정기(Continuous source chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 처리별 엽록소 형광반응을 측정하였다. 형광반응 측정은 광합성 측정과 동일한 잎을 대상으로 sample clip으로 광을 차단하여 측정 전 약 20 분간 측정 대상 잎을 암흑 조건에 적응시킨 후 측정하였다. 측정할 때는 2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광선을 조사하였다(최용봉과 김종희, 1995; Demmig and Bjorkman, 1987). 초기 형광반응(F_o), 최대 형광반응(F_m), 형광반응 최대 변화치($F_v=F_m-F_o$) 및 광화학반응 효율(F_v/F_m)의 변수를 측정하여 비교 분석하였다.

3) 엽록소 함량 분석

시비처리에 따른 엽록소 함량의 변화를 연차별로 조사하기 위하여 2006년부터 2008년까지 7월에 엽록소 함량을 분석하였다. 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 nm와 645 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 아래와 같은 식으로 엽록소 a 와 b의 함량을 구하였다(Arnon, 1949; Mackinney, 1941).

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fresh wt.)} &= (12.7\times A_{663} - 2.69\times A_{645}) \\ \text{Chlorophyll b (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fresh wt.)} &= (22.9\times A_{645} - 4.68\times A_{663}) \\ \text{Total Chlorophyll (mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fresh wt.)} &= (8.02\times A_{663} + 20.20 \\ &\times A_{645}) \end{aligned}$$

위 식에서 A_{663} , A_{645} 는 각각 663, 645nm에서의 흡광도이다.

4) 성장특성

시비처리별로 용기묘와 노지묘의 성장을 조사하기 위하여 2006년부터 2008년까지 각 처리별로 용기묘와 노지묘의 묘고와 근원경을 반복 측정하였다. 2006년 식재 시

측정한 묘고와 근원경의 측정값을 100으로 하였으며, 2008년까지 각각의 연도별 가을(9월 중순) 측정값을 이에 대한 백분율로 환산하여 상대 성장량을 나타내었다(권기원과 이정호, 1994).

2008년 9월 중순 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 구분하여 건조량을 측정하였다. 건조하기 전에 잎은 Leaf area meter(LI-3100, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 엽면적을 측정하였다. 건조량 및 엽면적 측정 결과에 의해 묘목의 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R율(지상부/지하부), 엽건중량대비 엽면적비율(SLA; specific leaf area = leaf area/leaf dry weight), 총건중량대비 엽면적비율(LAR; leaf area ratio = leaf area/total dry weight), 총건중량대비 엽건중량비율(LWR; leaf weight ratio = leaf dry weight/total dry weight)을 계산하였다(Šestak *et al.*, 1971). 처리에 따른 측정결과를 비교, 분석하기 위해서 Duncan의 다중검정법으로 처리간 차이에 대한 유의성 분석을 실시하였다. 모든 통계분석은 PC SAS Program Version 8.2(SAS, 2000)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 광합성 특성

광합성 능력은 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 무시비구보다 시비구에서 보다 양호한 결과를 보였다. 특히, 시비구 중에서도 1,000배액의 시비구에서 가장 높은 광합성 능력을 보였으며 무시비구는 양료 부족으로, 500배액 시비구는 과량시비에 의한 영향으로 시간이 지나면서 광합성 능력이 떨어졌다.

광보상점은 용기묘와 노지묘 모두 연차별 차이는 있지만, 무시비구가 시비구보다 높았다(Table 2). 그러나 순양자수율은 시비구가 높은 값을 보였는데, 이는 적정 양료 조건에 의해 광화학계 활성이 무시비구보다 시비구에서 높아진 것으로 판단된다.

1,000배액 시비구에서는 용기묘와 노지묘의 광합성 능

Table 2. Estimated values of photosynthetic parameters of *Quercus acutissima* growing under three different fertilizing treatment.

Division	Fertilizing treatment ¹	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 ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)			Apparent quantum yield ($\text{mmol CO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$)		
		2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Containerized seedling	Control	25.7	33.9	61.6	570	1453	320	7.2	6.3	1.2	45.6	25.5	13
	500	41.4	31.9	15.1	914	757	382	11.0	8.5	5.8	61.8	48.7	48.9
	1000	20.9	19.2	29.2	804	1023	1632	10.4	10.0	14.8	55.8	47	45.7
Bare root seedling	Control	27.2	29.3	77.8	484	398	289	6.1	3.5	0.4	45.3	30.3	4.9
	500	50.3	14.0	20.0	984	453	500	7.4	4.3	5.5	48.5	30.6	40.9
	1000	35.5	23.2	54.1	718	632	1148	9.6	7.6	5.5	63.9	49.6	29

Fertilizing treatment¹; control: non-fertilizing treatment, 500: 2 g L⁻¹ treatment, 1000: 1 g L⁻¹ treatment.

력이 각각 10.0~14.8 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 5.5~9.6 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 적정 양료 조건에서 용기묘의 광합성 능력이 노지묘보다 우수하다는 것을 볼 수 있었다. 또한 무시비구와 500배액 시비구에서도 상수리나무 용기묘는 노지묘에 비해 더 높은 광포화점 및 광합성 능력을 보였는데, 이는 부족한 양료 조건이나 과량시비에서도 용기묘는 노지묘보다 양호한 활착을 보이면서 광합성 능력 또한 노지묘보다 우수하다는 것을 보여주는 것이다.

2. 엽록소 형광반응 특성

광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치인 광화학 효율(Fv/Fm)은 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 무시비구보다 시비구에서 높았으며, 1,000배액 시비구에서 가장 높은 광화학 효율을 나타냈다(Figure 1). 연차별 광화학 효율은 세가지 시비구 모두 2008년 > 2007년 > 2006년 순으로 식재 1년차에서 가장 낮은 광화학 효율을 보였다. 이는 식재 1년차에는 이식에 따른 스트레스로 인해 묘목의 활착과 생육이 정상적인 모습으로 회복되지 않았기 때문이며, 시비구는 무시비구보다 연차별 차이가 크지 않았는데 이는 식재 1년차에 시비처리에 의해 묘목의 이식 스트레스를 어느 정도 감소시키는 효과를 보인 것으로 판단된다.

세가지 시비구 모두 용기묘가 노지묘보다 높은 광화학 효율을 나타냈으며 특히, 양료가 부족한 무시비구에서 용기묘가 노지묘보다 높은 광화학 효율을 보였는데,

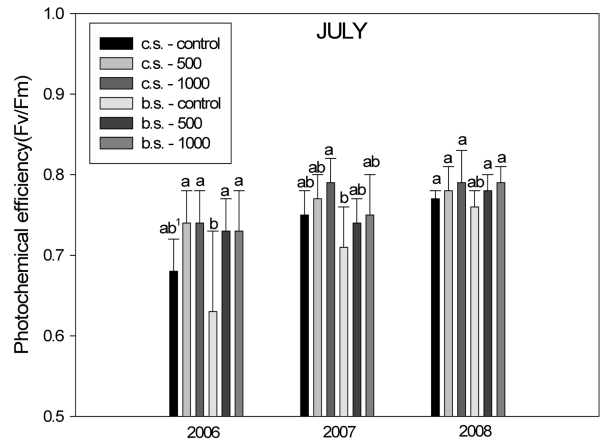


Figure 1. Change of chlorophyll fluorescence in the containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* growing under three different fertilizing treatments (C.S.; containerized seedling, B.S.; bare root seedling).

Different letters of a and b within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

이는 부족한 양료 조건에서 용기묘의 환경적응능력이 노지묘보다 좋은 것으로 판단되는 결과에 기인한다고 볼 수 있다.

3. 엽록소 함량분석

상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 총 엽록소 함량은 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였다. 특히, 시비구 내에서는 1,000배액 시비구에서 무시비구와 유의적 차이

Table 3. Temporal change of chlorophyll contents in the *Quercus acutissima* growing under three different fertilizing treatment.

Season	Division	Fertilizing treatment ¹	Chlorophyll content (mg g ⁻¹ fresh weight)			Chlorophyll a/b
			Chl. a	Chl. b	Total Chl	
2006	Containerized seedling	Control	0.84±0.26 ^{b2}	0.55±0.15 ^b	1.39±0.40 ^b	1.52±0.12 ^b
		500	1.50±0.53 ^{ab}	0.78±0.17 ^{ab}	2.28±0.69 ^{ab}	1.88±0.26 ^b
		1000	2.05±0.34 ^a	1.08±0.40 ^a	3.13±0.73 ^a	1.99±0.36 ^{ab}
	Bare root seedling	Control	0.60±0.17 ^b	0.41±0.07 ^b	1.01±0.18 ^b	1.48±0.50 ^b
		500	1.09±0.37 ^b	0.59±0.23 ^b	1.68±0.58 ^{ab}	1.94±0.53 ^{ab}
		1000	1.00±0.17 ^b	0.59±0.09 ^b	1.58±0.25 ^{ab}	1.70±0.11 ^b
2007	Containerized seedling	Control	1.06±0.16 ^b	0.78±0.12 ^b	1.83±0.28 ^b	1.36±0.02 ^b
		500	1.59±0.22 ^{ab}	0.85±0.08 ^b	2.44±0.29 ^{ab}	1.88±0.12 ^{ab}
		1000	2.15±0.12 ^a	1.10±0.05 ^{ab}	3.24±0.16 ^a	1.96±0.07 ^{ab}
	Bare root seedling	Control	0.87±0.22 ^b	0.66±0.12 ^b	1.53±0.32 ^b	1.32±0.21 ^b
		500	1.48±0.24 ^{ab}	0.74±0.06 ^b	2.23±0.29 ^{ab}	1.99±0.22 ^{ab}
		1000	1.77±0.16 ^{ab}	1.09±0.23 ^{ab}	2.86±0.38 ^{ab}	1.65±0.21 ^{ab}
2008	Containerized seedling	Control	1.20±0.31 ^b	1.18±0.08 ^b	2.38±0.39 ^b	1.01±0.21 ^b
		500	2.09±0.12 ^a	1.34±0.05 ^{ab}	3.43±0.17 ^a	1.57±0.05 ^{ab}
		1000	2.23±0.11 ^a	1.24±0.08 ^b	3.46±0.05 ^a	1.81±0.2 ^{ab1}
	Bare root seedling	Control	1.03±0.27 ^b	1.12±0.12 ^b	2.15±0.35 ^b	0.92±0.21 ^b
		500	1.54±0.10 ^{ab}	1.15±0.25 ^b	2.68±0.25 ^{ab}	1.39±0.33 ^{ab}
		1000	2.02±0.41 ^a	1.15±0.15 ^b	3.17±0.55 ^a	1.76±0.18 ^{ab}

fertilizing treatment¹; control: non-fertilizing treatment, 500: 2 g L⁻¹ treatment, 1000: 1 g L⁻¹ treatment.

²Different letters of a and b within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

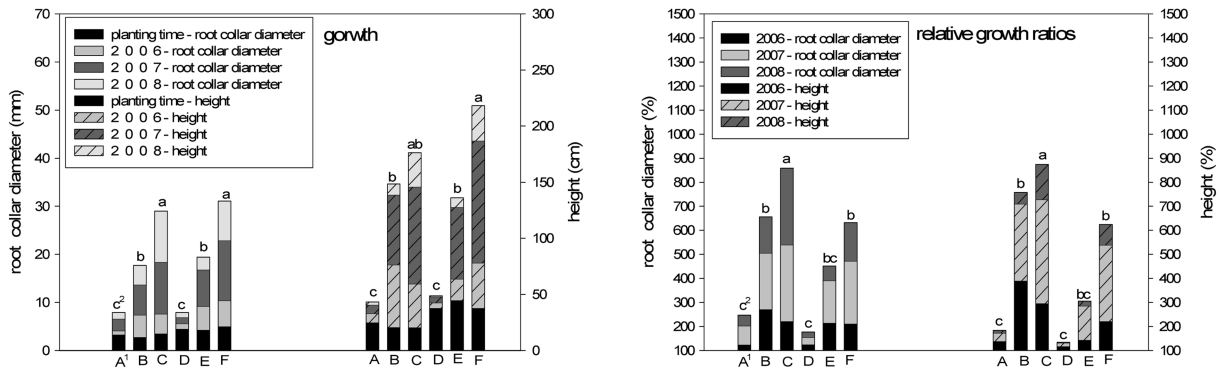


Figure 2. The growth performances of root collar diameter and height of containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* growing under three different fertilizing treatment.

¹A: containerized seedling - non-fertilizing, B: containerized seedling - 500(2 g L⁻¹), C: containerized seedling - 1000(1 g L⁻¹), D: bare root seedling - non-fertilizing, E: bare root seedling - 500(2 g L⁻¹), F: bare root seedling - 1000(1 g L⁻¹)

²Different letters of a, b and c within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

를 보이며, 가장 많은 총 엽록소 함량을 보였으며, 엽록소 a와 b 각각의 함량도 같은 경향을 나타냈다(Table 3). 이는 상수리나무에서 무시비구보다 시비구에서 총 엽록소 함량이 많았다(황정옥 등, 2003)는 결과와 같은 경향으로 시비 처리에 따른 적정 양료 조건이 유지되면서 상수리나무의 엽록소 함량이 증가하고 활발한 생육활동 또한 이루어지는 것으로 생각된다. 엽록소 a/b율도 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였는데 이는 시비구에서 엽록소 b의 증가율 보다는 엽록소 a의 증가율이 높기 때문이라 생각된다.

세가지 시비구 모두 용기묘의 총 엽록소 함량이 노지묘보다 높았으며, 엽록소 a, b의 함량 및 엽록소 a/b율도 같은 경향을 보였다. 이는 같은 양료 조건에서 용기묘의 생리적인 상태가 노지묘에 비해 양호한 모습을 유지하는 것으로 생각될 수 있으며 양료 조건이 비교적 좋지 않은 환경에서도 용기묘는 노지묘보다 상대적으로 광합성 활동이 활발하고, 스트레스를 덜 받으며, 엽록소 함량이 많아지는 양호한 생리상태를 유지하면서 보다 정상적인 생육활동을 유지해 나갈 것으로 판단된다. 이상의 결과에서 용기묘가 노지묘보다 생리적 특성이 우수하다는 것을 알 수 있었는데 이는 조림지에서 용기묘가 노지묘에 비해 식재초기에 활착률이 높고, 묘고생장이 좋다(김종진 등, 2006)는 연구결과와 같은 경향으로 용기묘는 빠른 활착으로 인해 정상적인 생육활동을 노지묘보다 먼저 시작하기 때문에 생리적 특성이 우수하게 나타난 것으로 생각된다.

4. 성장특성

상수리나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치는 시비의 영향이 크게 반영되면서 무시비구에 비해 500배액 시비구는 약 3배 이상, 1,000배액 시비구는 약

4배 이상 높은 값을 보였으며, 상대성장량 또한 유의적 차이를 보이면서 유사한 경향을 보였다. 이는 상수리나무에서 무시비구보다 시비구에서 근원경과 묘고의 생장이 우수한 결과(변재경 등, 2007)를 보인 선행연구와 같은 경향이다. 또한 1,000배액 시비구에서 용기묘 묘고의 상대성장량이 다른 두 시비구보다 높게 나타났는데 이는 용기묘는 식재초기에 충분한 양의 적정 시비를 통해 묘고 성장을 크게 촉진시킬 수 있다는 점을 이용하여 하층식생과의 경합에서 일찍 벗어날 수 있도록 하는 조림기술 개발 가능성을 고려해 볼 필요가 있다.

본 실험에서 무시비구와 시비구 모두 용기묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치는 노지묘보다 작았다(Figure 2). 이는 식재 당시 용기묘의 근원경과 묘고의 규격이 노지묘보다 작았기 때문이라 생각된다. 그러나 상대성장량에서는 세 시비구 모두 용기묘의 상대성장량이 높은 값을 보였는데, 이는 용기묘가 노지묘보다 조기에 활착하여 정상적인 생리상태를 일찍 회복함으로써 성장 또한 상대적으로 양호한 모습을 보이면서 근원경과 묘고의 상대성장량도 높은 값을 보인 것으로 생각된다. 이는 찰피나무의 유묘 생장에서 노지묘보다 용기묘의 근원경 및 묘고의 생장이 좋았으며, 특히 시비 1,000배액 시비구에서는 그 차이가 가장 크게 나타났다는 선행연구와 같은 결과로 해석된다(윤택승 등, 2005).

3년 동안의 연구결과 시비처리에 의해 식재 2년차 여름까지 수고가 약 120 cm 이상 자랐는데 이는 조림지에서 하층식생이 가장 무성한 여름에 풀베기작업을 실시한 후 묘목을 식재하고 바로 적정량의 시비처리를 하면 더 이상의 풀베기작업 등 하층식생 관리를 하지 않아도 식재된 묘목의 생육에 있어 하층식생에 의한 피해가 크게 문제되지 않을 수 있다는 가능성을 보여주는 결과이다.

상수리나무 잎, 줄기, 뿌리 각각의 물질생산량과 총 물

Table 4. Effect of the biomass production and biomass distribution of *Quercus acutissima* grown under three different fertilizing treatment.

Division	Fertilizing treatment ¹	Dry weight(g)				T/R Ratio
		Leave	Soot	Root	Total	
Containerized seedling	Control	7.60±2.98 ^{c2}	16.47±1.80 ^c	52.07±21.00 ^c	76.13±20.22 ^c	0.53±0.28 ^c
	500	45.23±23.54 ^b	151.83±40.45 ^b	109.10±89.59 ^{bc}	306.17±152.30 ^{bc}	2.31±0.94 ^b
	1000	126.57±85.69 ^a	557.60±251.42 ^a	416.10±189.38 ^a	1100.27±517.97 ^a	1.66±0.27 ^b
Bare root seedling	Control	10.30±1.01 ^c	18.37±7.91 ^c	45.60±15.40 ^c	74.27±18.12 ^c	0.67±0.22 ^c
	500	55.63±6.74 ^b	172.93±40.17 ^b	63.00±3.38 ^c	291.57±44.98 ^{bc}	3.61±0.49 ^a
	1000	62.57±33.38 ^b	342.60±178.34 ^{bc}	225.10±116.15 ^b	630.27±285.11 ^b	1.88±0.34 ^b

fertilizing treatment¹; control: non-fertilizing treatment, 500: 2 g L⁻¹ treatment, 1000: 1 g L⁻¹ treatment.

²Different letters of a, b and c within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

Table 5. Effect of the leaf area, specific leaf area(SLA), leaf area ratio(LAR) and leaf weight ratio(LWR) in *Quercus acutissima* grown under three different fertilizing treatment.

Division	Fertilizing treatment ¹	Leaf area (cm ²)	SLA (cm ² · g ⁻¹)	LAR (cm ² · g ⁻¹)	LWR (g · g ⁻¹)
Containerized seedling	Control	398.06±250.23 ^{c2}	55.25±28.53 ^c	4.90±1.84 ^c	0.10±0.04 ^b
	500	6439.05±1234.74 ^b	167.50±80.39 ^a	25.01±13.82 ^a	0.15±0.02 ^b
	1000	12970.46±8862.73 ^a	102.10±7.53 ^b	11.20±2.57 ^b	0.11±0.03 ^b
Bare root seedling	Control	378.46±139.08 ^c	36.28±11.65 ^c	4.97±0.78 ^c	0.14±0.03 ^b
	500	4745.31±2958.57 ^{bc}	88.09±59.91 ^c	17.69±14.05 ^{ab}	0.19±0.03 ^a
	1000	6760.33±4653.47 ^b	103.37±17.11 ^b	12.21±9.50 ^b	0.11±0.07 ^b

fertilizing treatment¹; control: non-fertilizing treatment, 500: 2 g L⁻¹ treatment, 1000: 1 g L⁻¹ treatment.

²Different letters of a, b and c within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

질생산량은 용기묘와 노지묘 모두 1,000배액 시비구 > 500 배액 시비구 > 무시비구 순으로 많았으며, 특히 1,000배액 시비구는 총 물질생산량에서 무시비구보다 용기묘는 약 15배 이상, 노지묘는 약 8배 이상 현저히 높은 값을 보였다(Table 4). T/R율도 시비구가 무시비구보다 높았는데 이는 충분한 양료 조건에서 활발한 광합성 활동을 통해 지하부에 비해 지상부의 생장이 더 활발해지면서 시비구에서 상대적으로 높은 T/R율을 보인것으로 판단되며, 세 시비구 모두 용기묘의 뿌리 발달이 노지묘에 비해 양호하여 용기묘의 T/R율이 노지묘보다 낮았다.

용기묘와 노지묘의 총 물질생산량은 세 시비구 모두 용기묘가 노지묘에 비해 높은 값을 보였다. 특히 1,000배액 시비구에서는 용기묘가 노지묘보다 약 500 g 이상 많은 물질생산량을 나타냈다. 그러나 지나치게 양료가 부족한 무시비구와 과량의 양료상태를 유지한 500배액 시비구에서는 용기묘와 노지묘의 총 물질생산량이 큰 차이를 보이지 않았다. 1,000배액 시비구에서 노지묘의 근원경과 묘고의 실제생장치가 용기묘보다 높았지만, 그 차이는 크지 않았으며, 용기묘의 엽면적과 측지 및 뿌리 발달에 있어 노지묘보다 우수하여 총 물질생산량은 용기묘가 높은 값을 보인 것으로 생각된다.

상수리나무 엽면적은 용기묘와 노지묘 모두 시비구에서 무시비구보다 높은 값을 보였으며 특히, 1,000배액 시

비구에서 가장 넓은 엽면적을 보였다. SLA와 LAR 또한 시비구에서 높은 값을 나타냈는데, 이는 시비구에서는 활발한 생육 활동을 위해 지상부 특히, 광합성과 가장 밀접하게 연관이 있는 잎의 생장이 좋았기 때문이라 판단된다. LWR은 처리별로 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 5).

용기묘와 노지묘의 엽면적은 세 시비구 모두 용기묘가 노지묘보다 넓었지만, SLA와 LAR은 1,000배액 시비구를 제외한 두 시비구에서만 용기묘가 노지묘에 비해 높았으며, 1,000배액 시비구에서는 차이가 없었다.

결론

본 연구에서는 상수리나무 용기묘와 노지묘를 대상으로 시비 처리에 따른 광합성 특성, 엽록소 형광반응 특성, 엽록소 함량분석 및 생장특성 등의 차이에 대해 조사·분석하였다.

연도별로 조사된 광합성 능력에서는 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 무시비구보다 시비구에서 양호한 결과를 보였으며 특히 시비구에서도 1,000배액 시비구에서 가장 높은 광합성 능력을 보였다. 이는 묘목 조립 시 시비 처리를 할 경우 각 수목의 양분 요구량에 맞는 적정 시비가 필요할 것으로 생각된다. 세 시비구 모두 용기묘가 노

지묘보다 높은 광합성 능력을 보였다. 무시비구에서도 상수리나무 용기묘가 노지묘에 비해 더 높은 광합성 능력을 보인 것은 부족한 양료 조건에서도 용기묘가 보다 조기에 활착되어 광합성 능력이 노지묘보다 우수하다는 것을 보여주는 것이다.

광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치인 광화학 효율(Fv/Fm)은 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였으며, 1,000배액 시비구에서 가장 높은 광화학 효율을 나타냈다. 시비 처리별 광화학 효율에서 세 시비구 모두 용기묘가 노지묘보다 높은 광화학 효율을 나타냈다. 이는 광합성 특성과 같은 경향을 나타낸 것으로 광화학계 활성이 높아질수록 광합성 활동이 활발해지는 것으로 생각된다.

상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 함량도 광합성 특성 및 엽록소 형광반응과 같이 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 나타냈으며, 1,000배액 시비구에서 가장 많은 엽록소 함량을 보였다. 또한 세 시비구 모두 용기묘가 노지묘보다 많은 엽록소 함량을 나타냈다. 이상의 결과를 보면 광합성 특성과 엽록소 형광반응 및 엽록소 함량은 서로 정의 관계에 있는 것으로 생각된다.

상수리나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고의 상대 성장량 및 물질생산량은 무시비구보다 시비구에서 현저히 높은 값을 보였으며, 세 시비구 모두 용기묘의 근원경과 묘고의 상대 성장량 및 물질생산량이 노지묘에 비해 높은 값을 나타내었다. 이는 조림지에 묘목 식재 시 적정 시비처리는 용기묘와 노지묘 모두 초기 활착률과 생장뿐만 아니라 하층식생과의 수광경쟁에서 유리한 조건을 가질 수 있다는 결과를 보여주는 것으로 판단된다. 또한 식재과정에서 적정수준의 시비를 하고 식재된 용기묘는 노지묘에 비해 조기에 활착하여 왕성한 성장을 함으로써 경쟁식생의 피압에서 일찍 벗어날 수 있기 때문에 식재 이후의 풀베기 작업을 줄이거나 생략 할 수도 있는 가능성을 본 실험결과를 통해 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농림기술개발연구과제 용기묘 조림체계 시업기술개발(106098-03-3-HD120)에 의해 수행된 연구임을 밝힙니다.

인용문헌

1. 권기원, 이정호. 1994. 수분 및 양료 처리에 따른 참나무류와 물푸레나무의 성장 및 생리반응. 한국임학회지 83(2): 164-174.
2. 김종진, 송국현, 윤택승. 2008. 소나무 용기묘의 적정 월

- 동 관리. 한국임학회지 97(1): 53-60.
3. 김종진, 윤택승, 조혜경, 송국현, 김동원, 최근석, 박성용, 김지연. 2006. 소나무·상수리나무 용기묘와 노지묘의 생육 비교분석 및 효율적 조림방안 연구. 산림청. pp. 13-37.
4. 김관기, 이용섭, 정동준, 우수영, 성주환, 이은주. 2001. 광도가 내음성이 서로 다른 3수종의 광합성 생리에 미치는 영향. 한국임학회지 90(4): 476-487.
5. 김관기와 이은주. 2001. 광합성의 생리상태(1) - 광도와 엽육내 CO₂분압 변화에 대한 광합성 반응 -. 한국농림기상학회지 3(2): 126-133.
6. 변재경, 김용석, 이명종, 손요환, 김춘식, 정진현, 이천용, 정용호. 2007. 시비수준에 따른 소나무, 낙엽송, 자작나무, 상수리나무 묘목의 성장변화. 한국임학회지 96(6): 693-698.
7. 시그마 플롯. 2000. 필사이언스. pp. 136.
8. 윤택승, 임지영, 김종진. 2005. 용기의 형태와 용적에 따른 참나무 유묘의 성장. 생물환경조절학회지 14(4): 239-244.
9. 이수원, 최정호, 유세걸, 김석권, 배종향, 한석교. 2006. 상토 조성이 활엽수 용기묘의 성장특성에 미치는 영향. 한국생물환경조절학회지 15(3): 244-249.
10. 임종환, 우수영, 권미정, 천정화, 신준환. 2006. 한라산 구상나무 건전개체와 쇠약개체의 온도변화에 따른 광합성능력과 수분이용효율. 한국임학회지 95(6): 705-710.
11. 최용봉과 김종희. 1995. 인공산성우의 처리에 따른 소나무와 곰솔 침엽의 엽록소 형광변화. 한국임학회지 84(1): 97-102.
12. 최정호. 2001. 인공피음이 주요수종의 생장 및 수분특성과 광합성에 미치는 영향. 충남대학교 대학원 박사학위논문 pp. 152.
13. 황정옥, 손요환, 이명종, 변재경, 정진현, 이천용. 2003. 비료의 성분 및 종류와 묘목과의 관계 연구. I. 생체량, SLA 및 엽록소 함량에 미치는 영향. 산림바이오에너지 22: 44-53.
14. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24(1): 1-15.
15. 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: 453-463.
16. Demmig, B. and Björkman, O. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. Planta 171: 171-184.
17. 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.
18. Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solution. Journal of Biological Chemistry 140: 315-322.
19. SAS institute Inc. 2000. SAS/STAT TM Guide for Personal Computer. Version 9 Edition. SAS Institute Inc., N.

C. pp1026.

20. Šestak, Z., Catský, J. and Jarvis, P.G. 1971. Plant Photosynthetic Production Manual of Methods. The Hague.

Hertogenbosch. pp. 818.

(2009년 4월 17일 접수; 2009년 6월 8일 채택)