

피음 및 시비처리에 따른 가시나무 1년생 용기묘의 생장과 묘목품질 특성

성환인¹ · 송기선¹ · 차영근¹ · 김종진^{2*}

¹건국대학교 대학원 환경과학과, ²건국대학교 환경과학과

Characteristics of Growth and Seedling Quality of 1-Year-Old Container Seedlings of *Quercus myrsinaefolia* by Shading and Fertilizing Treatment

Hwan In Sung¹, Ki Sun Song¹, Young Geun Cha¹ and Jong Jin Kim^{2*}

¹Department of Environmental Science, Graduate School of Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

²Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

요 약: 본 연구는 우리나라 난대수종 중의 하나인 가시나무를 1년생 용기묘로 생산하고자 할 때 피음 및 시비처리가 용기묘의 생장과 품질에 미치는 영향을 구명하고자 실시되었다. 피음은 전광 및 전광의 35%, 55%, 75%의 수준으로 조절하였으며, 시비수준은 무시비구와 함께 수용성 복합비료(N:P:K=19:19:19, v/v)를 1000, 2000, 3000 ppm으로 조절하여 실시하였다. 본 실험을 통하여 가장 높은 간장생장은 21.1 cm를 보인 55% 피음의 2000 ppm 시비구로 조사되었으며, 근원경생장에 있어서는 35% 피음의 2000 ppm 시비구에서 3.96 mm로 가장 좋았다. 우수한 간장과 근원경생장을 보인 35%와 55% 피음에서 시비농도와 관계없이 시비구 전체 묘목의 H/D율을 보면 4.27~5.26의 범위를 보였다. 잎의 건물생산량이 가장 높은 처리구는 1.292 g을 기록한 55% 피음의 2000 ppm 시비구이었으며, 줄기와 뿌리는 각각 0.592 g과 0.998 g으로 조사된 35% 피음의 2000 ppm 시비구이었다. 묘목 전체 건물생산량은 35% 피음의 2000 ppm 시비구에서 가장 높은 생산량을 보였으며, 55% 피음의 2000 ppm, 35% 피음의 3000 ppm 시비구 순으로 높게 나타났다. 피음 및 시비처리에 따른 가시나무 LWR의 가장 높은 값은 75% 피음의 3000 ppm 시비구로 조사되었으며, RWR은 피음처리 수준에 관계없이 시비처리한 묘목이 무시비처리 묘목보다 낮았다. 전반적으로 높은 QI는 55% 피음의 시비처리구들이었으며, 가장 높은 QI는 35% 피음의 2000 ppm 시비구로 조사되었다. 본 실험의 결과로 볼 때 생장이 뛰어나며 품질지수가 높은 가시나무 1년생 용기묘 생산에 적합한 피음수준은 35~55% 정도로, 시비수준은 2000 ppm이 적합한 것으로 판단된다.

Abstract: The purpose of this study was to examine potential effects of shading and fertilizing treatment - two basic applicable factors in production of 1-year-old container seedling - on growth and seedling quality of *Quercus myrsinaefolia*, one of evergreen tree species in warm temperate zone of Korean. Every experimental process was conducted in a facility that consisted of compartments under the lighting control with full sunlight and shading (35%, 55% and 75% of full sunlight). Based on fertilizing treatment, this study made an experiment in 4 groups of container seedling: control (non-treated seedlings) and 1000, 2000, 3000 ppm group (3 groups with different concentrations of water-soluble fertilizer (N:P:K=19:19:19, v/v)). Seedlings under 55% shading with 2000 ppm concentration showed the highest height (totaling 21.1 cm), and under 35% shading with 2000 ppm concentration showed the highest root collar diameter growth (totaling 3.96 mm) among others. All three fertilizing groups except control showed H/D ratio ranging from 4.27 to 5.26 regardless of fertilizer concentration under 35% and 55% shading where container seedlings showed a tendency toward excellent growth of height and root collar diameter. Overall, 2000 ppm group under 55% shading showed highest dry mass production of leaves (1,292 g) among others, while 2000 ppm group under 35% shading showed highest dry mass production of shoots and roots (0.592 g and 0.998 g, respectively) among others. Also, it was found that 2000 ppm group under 35% shading showed the highest dry mass production of whole seedling, which was followed by 2000 ppm group under 55% shading and 3000 ppm group under 35% shading, respectively. According to analysis on LWR of *Quercus myrsinaefolia* depending on shading and fertilizing treatment, it was found that 3000 ppm group under

*Corresponding author
E-mail: jjkimm@konkuk.ac.kr

75% shading showed highest LWR level among others, whereas every fertilized group showed lower RWR level than control without fertilizing regardless of shading levels. In general, all fertilized groups under 55% shading had relatively high quality index (QI), and 2000 ppm group under 35% shading had highest QI among others. Based on the findings of this study, it is concluded that shading level ranging from 35 to 55% and fertilizing concentration of 2,000 ppm are suitable for producing 1-year-old container seedlings of *Quercus myrsinaefolia* with excellent growth and high quality index.

Key words : *Quercus myrsinaefolia*, container seedlings, shading and fertilizing treatment, H/D ratio, LWR, SWR, RWR, seedling quality index

서 론

우리나라 난대 상록활엽수종에 속하며, 상록 참나무류 중의 하나인 가시나무(*Quercus myrsinaefolia* Bl.)는 최근 한반도 기후변화 적응 대상식물 300에 선정된 기후온난화 영향에 대한 주요 관찰 식물이다(오병운 등, 2010). 가시나무는 종가시나무와 함께 현재 우리나라 난대 상록활엽수종의 대표적인 조림수종으로 난대지역 복원 및 인공조림을 위하여 지속적으로 식재되고 있다. 김종진(2010)의 보고에 의하면 상록활엽수종의 2010년 조림본수는 1,035,000본이며, 그 중 가시나무류가 588,000본으로 가장 비율이 높은 것으로 조사되었는데 대부분 용기묘로 생산되어 주로 전라남도과 경상남도에 식재되었다. 하지만 아직 가시나무류를 비롯한 상록활엽수 용기묘 생산에 관해서는 생산 및 생육에 관한 기초 연구 뿐만 아니라 생산체계에 관한 연구도 미미한 실정이다. 현재 가시나무류의 용기묘 생산은 주로 제주도, 전라남도, 경상남도 지역에서 생산되고 있으나, 기본적으로 용기 크기 선정에서부터 상토, 차광, 시비 등 생산체계 전반에 걸쳐 지역과 생산자에 따라 그 생산방법이 다르게 적용되고 있다.

일반적으로 우리나라 난대 상록활엽수종은 천이의 후기 단계 또는 극상 수종에 해당되기 때문에 비교적 내음성이 큰 것으로 알려져 있다(여운상, 2005). 가시나무류도 비교적 내음성이 있는 것으로 보고(신현철 등, 2006; 조무연과 최명섭, 1992)되고 있으나 이에 대한 연구 자료는 많지 않은 실정이다. 수목의 성장에서 내음성의 중요성은 생장초기 유묘단계에서 주변의 타 수종과의 경쟁 관계에서 살아남을 수 있게 하기 때문이다. 이러한 이유로 묘목 생산과정에는 특히, 내음성이 있는 수종들의 경우 어린 생육단계에서 적절한 피음 수준을 도입하여 건전한 생육을 도모하고 있다(김선희 등, 2008; 김종진, 2000; 조재형 등, 2000; Gottschalk, 1994; Jones and McLeod, 1990). 그러나 이러한 적정 피음 수준의 구명은 쉽지 않은 과정으로 수종별로 보다 세밀한 실험설계가 요구되고 있다.

그리고 시비처리 또한 어린 묘목의 건전한 성장 및 식재 후 안정적인 활착을 위해 양묘과정에서 수종에 따라 시비수준을 달리 하여 실시하고 있으며, 그 효과에 관한 연구는 많이 보고되고 있다(박병배 등, 2010; 손요환 등,

1998; 신정아 등, 1999; Ingestad, 1979; Phillion and Libby, 1984). 하지만 내음성이 있는 수종의 묘목 생산과정에 도입되는 피음처리 수준과 시비처리 수준의 상호효과 분석에 관한 연구는 많지 않은 실정이다.

식물에 있어서 광합성에 의해 생산되는 물질의 분배 비율인 엽건중비(LWR), 줄기건중비(SWR)와 뿌리건중비(RWR)의 조절은 광, 수분, 양분 등 주어지는 환경조건에 대한 식물의 적응 반응으로 상대생장률을 최대로 하기 위한 전략이다(Gleeson, 1993; Hilbert, 1990; Reynolds and Antonio, 1996). 비내음성 식물은 피음이 강해짐에 따라 그들의 동화산물을 점점 더 적게 잎의 생산에 이용하지만 내음성 수종인 *Cryptotaenia canadensis* var. *japonica*의 경우 피음화되었을 때 잎 생산에 상대적으로 동화산물을 더 사용하였다(Kuroiwa et al., 1964). 하지만 Loach(1970)의 실험에서 내음성 수종인 *Fagus grandifolia*와 *Quercus rubra*의 경우 LWR이 전광에서 보다 전광의 44%와 17%에서 다소 낮았으며, 강한 피음 조건인 전광의 3%에서는 증가하였고, 비내음성 수종인 *Liriodendron tulipifera*과 *Acer rubrum*은 피음이 강해짐에 따라 증가하였다. 이처럼 상대광도 변화에 대한 LWR 반응은 수종에 따라 다르게 나타남을 알 수 있다. Reich et al.(1998)이 내음성 및 비내음성 수종 9종을 대상으로 전광의 25%와 5%하에서 실험한 결과를 보면, 모든 수종에서 상대적으로 낮은 광도에서 SWR은 높고 RWR은 낮다고 하였다. 하지만 Walters et al.(1993)의 보고에 의하면 비내음성 수종의 경우에는 상대적으로 낮은 광도에서 LWR과 SWR은 높고 RWR은 낮았지만, 내음성 수종에서는 오히려 낮은 광도에서 LWR과 SWR은 낮아지고 RWR은 높아졌다고 하였다. 또한 Reynolds and Antonio(1996)는 질소 증가에 따라 RWR은 감소했다고 하였으며, 특히, 중간경쟁 조건에서 이러한 RWR의 감소사례가 강하게 나타났다고 하였다.

한편 어떤 종류의 양묘 시스템에 의해 생산되었는지 그 묘목이 지니고 있는 형태적, 생리적 특성은 조림지에 식재된 후의 높은 생존율과 초기 수고 및 근원경생장과 관련이 깊으며, 이는 결국 성공적인 조림을 이끄는 주요 요소이다. 이러한 묘목의 형태적 특성은 간장과 근원경으로 표현되는 묘목의 규격, 눈의 길이, 각 부위별 건중량, 그리고 T/R율을 비롯한 각종 품질평가지수 등으로 분석될 수

있는데, 묘목의 건전도를 평가하는 지수(SQ, Sturdiness Quotient)인 H/D율은 근원경에 대한 간장의 비율로서 결정된다(Haase, 2007; Thompson, 1985). 또한 묘목의 건중량과 H/D율 및 T/R율은 묘목품질지수 QI(Quality Index; Dickson *et al.*, 1960)를 구성하는 요소들이다. 일반적으로 H/D율과 T/R율이 낮아지면 QI는 높아지는 경향이 있는 것으로 보고되고 있으며, 즉 상대적으로 건전한 묘목으로 인정되고 있다(Bayala *et al.*, 2009). 이처럼 중요한 묘목의 형태적 특성은 묘목의 품질(Haase, 2007; Landis *et al.*, 2010)로 표현될 수 있으며, 생산된 묘목의 품질은 결국 식재 후 나타나는 생존율과 생장 등의 결과에 의해 최종적으로 평가된다(Landis *et al.*, 1995).

따라서 본 연구는 우리나라에서 식재가 확대되고 있는 상록활엽수종 중 참나무속에 속하며, 내음성이 있는 것으로 알려진 가시나무의 조림식재 후 활착률을 높이기 위하여 상대적으로 뿌리발달이 좋은 용기묘로 생산하고자 할 때, 기본적인 적용 요인들 중 피음과 시비처리 수준에 따른 생장반응 특성을 구명하고 이들 결과가 용기묘 품질에 미치는 영향을 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시수종 및 재료와 시설

본 실험의 공시수종은 가시나무(*Quercus myrsinaefolia* Bl.)이며, 종자는 2009년 10월에 국립산림과학원 남부산림연구소에서 채집관리된 것을 사용하였다. 이 종자의 품질은 Table 1과 같다.

실험은 경남 함안군 여항면 소재 건국대학교 난대시설 양묘연구동 중 피음 실험시설을 갖춘 연구동에서 실시되었다. 이 시설은 상부가 개방되어 신선한 공기와 전광(full sunlight)을 직접 받을 수 있게 하였으며, 측면은 1.7 m 높이까지 피복재(polyethylene film)로 둘러 측면으로부터 들어오는 바람이 각 처리구에 미치는 영향을 최소화하고자 하였다.

피음수준 조절은 대조구인 전광시설을 비롯하여 각각 전광의 35%, 55%, 75%를 차단할 수 있는 차광망을 시중에서 구입하여 실시하였으며, 각 피음처리구의 광 수준은 spectroradiometer(LI-1800, LI-COR, USA)로 측정하였다. 2010년 4월 11일 오전 10시 평균 $1540 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광수준을 기준으로, 35% 피음처리구는 $924 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 55% 피음처리구는 $615 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 75% 피음처리구는

$370 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 평균 광도를 나타내었다. 이 피음시설 바닥은 투수성 부직포를 깔았으며, 그 위에 W120×D100×H18 cm 크기의 플라스틱 용기받침대(모델 KCNR-SI-CB1200, 신일사이언스, 한국)를 배치하였다.

본 실험에 사용된 용기는 350 mL 플라스틱 24구 트레이 용기(모델 KK-SI 350, 신일사이언스, 한국)로서 현재 우리나라 참나무속 조림수종인 상수리나무 용기묘 생산용으로 개발되어 2002년도부터 참나무류 묘목을 생산하고 있는 용기이며(김종진 등, 2006; 산림청, 2004), 또한 가시나무류 용기묘 생산현장에서도 가장 많이 사용되고 있는 용기이다(추낙호, 2009). 상수리나무의 경우에는 이 용기로 용기묘 1년생을 생산하고 있으며, 가시나무류는 이 용기에서 1년 또는 2년 동안 양묘 후 식재하고 있다. 공시 생육상토는 시중에서 주문생산(토비테크, 한국)하여 사용하였으며, 생육상토의 조성은 코코피트, 펄라이트, 질석 및 제올라이트이며 그 혼합비는 70:15:10:5(v/v)이다.

2. 파종 및 시비·관수 시험

가시나무 종자는 2010년 4월 20일 생육상토를 담은 용기의 구(cavity)당 1립씩 파종하여 각 피음수준별 시설 속의 용기받침대 위에 두었다. 또한 발아되지 않은 구의 보식을 위하여 플라스틱 파종상자에 파종하여 각 피음처리구에 두었으며, 파종 후 5주까지 발아되지 않은 구는 이 파종상자에서 발아한 유묘를 이식하였다.

시비처리는 발아 후의 각 유묘에서 본잎이 2~3개씩 발생된 6월 3일부터 9월 14일까지 약 14주 동안 현재 우리나라에서 임업시설양묘용으로 주로 사용되고 있는 수용성 비료인 Multifeed 19(N:P:K, 19:19:19, Haifa Chemical Co., Israel)를 1000, 2000 및 3000 ppm으로 조절하여 주 1회 처리하였다. 이 Multifeed 19는 수용성 비료로 N, P, K를 주성분으로 Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B 등의 미량 원소가 첨가된 복합비료이다. 시비처리 한 날에는 관수를 하지 않았으며, 피음수준별 시비처리에 사용된 용기 수는 각 시비처리구 당 6개이었다. 시비 처리는 대조구를 포함하여 모든 처리구에 1개 처리구당 각 농도별 희석액 5 L를 물조리개에 담아 유묘의 상부에 살포하였다. 묘목 1본당 약 35 mL의 희석액이 처리되었으며 이를 성분별 농도로 계산하면 1000 ppm 처리의 경우 주 1회 처리 시 묘목 1본당 N, P, K 성분은 각각 6.6 mg이었다.

생육기간동안 관수는 Dan 소형 스프링클러(Naan-Dan Co, Israel)를 설치하여 하향회전살수($105 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$) 방식으로

Table 1. Seed quality of *Quercus myrsinaefolia* used for this experiment.

Purity rate (%)	Germination rate (%)	Utilization value (%)	1000 seeds weight (g)	1 liter weight (g)	Seed no. /Kg	Seed no. /L
96.3	81.4	78.4	1306.1	712.7	787.1	550.8

실시하였는데, 파종 후에는 파종상토가 마르지 않을 정도로 관수하였으며 본잎이 나오기 난 뒤부터는 매일 오전 10시에 20분간 실시하였다. 여름철 고온시기에는 수시로 2~3분 정도의 짧은 관수처리를 실시하여 시설 내 최고온도가 생육에 지장을 주는 35°C 이상으로 상승하는 것을 억제시켰다. 그 후 9월 중순부터 10월 중순 사이에는 2~3일에 한번 관수를 실시하였다.

3. 실험결과 조사

현재 용기묘의 규격은 수종과 식재 입지조건에 따른 적정한 수준의 묘목 특성을 근거로 결정하고 있는데, 주로 간장과 근원경을 기초로 하고 있다. 용기묘는 간장과 근원경, 그리고 제한된 용적에서의 뿌리 발달상태 등이 가장 중요한 요소이며, 용기묘의 크기는 식재할 입지에서의 제한 요인들을 반드시 극복할 수 있는 크기가 되어야 한다. 간장과 근원경성장 성장조사는 파종 후 약 6개월 후인 2011년 10월 14일에 실시하였으며, 측정 후 잎, 줄기, 뿌리를 구분하여 65°C에서 72시간 건조시킨 건물생산량을 측정하였다.

또한 피옴 및 시비처리 후 측정된 간장, 근원경, 건물생산량 등의 값을 활용하여 이 처리가 묘목품질지수에 끼친 영향을 분석하고자 H/D율, T/R율, 엽건중비(LWR, Leaf dry weight ratio), 줄기건중비(SWR, Shoot dry weight ratio), 뿌리건중비(RWR, Root dry weight ratio)를 아래 식을 이용하여 산정하였으며, 묘목품질지수(Quality index, Dickson *et al.*, 1960)를 구했다.

- H/D ratio = Top(leaf+shoot, g) dry weight/Root dry weight(g)
- T/R ratio = Height(cm)/Root collar diameter(mm)
- LWR(g·g⁻¹) = Leaf dry weight/Total dry weight
- SWR(g·g⁻¹) = Shoot dry weight/Total dry weight
- RWR(g·g⁻¹) = Root dry weight/Total dry weight

$$\bullet \text{Quality Index} = \frac{\text{Total dry weight}}{(\text{QI})} = \frac{\text{Height}}{\text{Root collar diameter}} (\text{H/D}) + \frac{\text{Top dry weight}}{\text{Root dry weight}} (\text{T/R})$$

피옴 및 시비수준 처리별 묘목의 성장량과 묘목품질지수에 대한 분석은 SPSS version 18을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 통계적으로 차이가 유의한 경우 Duncan's multiple range test를 실시하여 각 항목 평균값을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 간장과 근원경성장

전광을 비롯하여 모든 피옴처리구에서 시비처리에 의

Table 2. Effects of shading rates and fertilizing concentrations on height and root collar diameter growth of *Quercus myrsinaefolia* seedlings.

Shading (%)	Fertilization (ppm)	Height (cm)	Root collar diameter (mm)
0	0	8.1±0.2 ^f	2.83±0.09 ^e
	1000	12.5±0.6 ^{cd}	3.19±0.11 ^{cd}
	2000	15.1±0.6 ^{bc}	3.56±0.18 ^{ab}
	3000	15.5±0.4 ^{bc}	3.75±0.14 ^a
35	0	7.8±0.5 ^f	2.69±0.11 ^{ef}
	1000	15.2±1.7 ^{bc}	3.54±0.20 ^{ab}
	2000	17.6±1.2 ^b	3.96±0.24 ^a
	3000	19.4±0.9 ^a	3.73±0.19 ^a
55	0	9.1±0.3 ^{ef}	2.98±0.11 ^{de}
	1000	15.0±0.5 ^{bc}	3.56±0.19 ^{ab}
	2000	21.1±1.9 ^a	3.88±0.14 ^a
	3000	19.1±0.6 ^a	3.79±0.21 ^a
75	0	8.5±0.9 ^{ef}	2.51±0.14 ^f
	1000	10.9±0.7 ^{de}	3.00±0.13 ^{de}
	2000	14.4±0.8 ^{bc}	3.01±0.12 ^{de}
	3000	19.8±0.5 ^a	3.40±0.11 ^{bc}

Source	F	
	Height (cm)	Root collar diameter (mm)
Shading	11.153*	10.535*
Fertilization	102.545*	28.520*
Shading×Fertilization	3.796*	-

²Means±SE are represented and were measured on Oct. 14, 2010. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test (p=0.05). *p<0.01.

해 간장과 근원경생장이 증가하였다(Table 2). 전광에서는 시비수준이 높아질수록 간장과 근원경생장이 증가하여 가장 높은 시비수준인 3000 ppm에서 각각 15.5 cm와 3.75 mm를 보였다. 35% 피옴에서도 전광과 같이 시비수준이 높을수록 간장생장이 높았는데 3000 ppm에서 간장 19.4 cm로 가장 높았으며, 근원경생장은 2000 ppm에서 3.96 mm로 가장 높았다. 55% 피옴에서는 2000 ppm 시비에서 간장과 근원경생장이 가장 높았는데 각각 21.1 cm, 3.88 mm로 조사되었다. 그 다음으로 3000 ppm, 1000 ppm, 전광 순이었다. 75% 피옴에서는 간장, 근원경 모두 시비수준이 높아질수록 높았으며 3000 ppm에서 간장은 19.8 cm, 근원경 3.40 mm를 기록하였다.

이처럼 가시나무의 경우 피옴처리 및 시비처리 수준에 따라 간장과 근원경성장 정도가 달랐는데, 가장 높은 간장생장을 보인 처리구는 55% 피옴 내 2000 ppm으로 21.1 cm로 나타났고, 근원경생장이 가장 높은 처리구는 35% 피옴 내 2000 ppm에서 3.96 mm로 나타났다(Table 2). 실험 전체적으로 가장 낮은 간장생장을 보인 처리구는 35% 피옴 내 무시비구의 7.8 cm, 근원경생장은 75% 피옴

내 무시비구의 2.51 mm로 조사되었다.

본 실험에서와 같이 인위적인 피옴에 따른 광도 감소에 의하여 묘목의 성장반응은 수종에 따라 달라지는 것으로 보고되고 있다. 침엽수종의 경우, 일찍이 현신규(1937)는 피옴에 따른 소나무와 편백 유묘의 성장을 관측하여 수목의 내음성 정도를 판단하였으며, 김영채(1986)는 피옴에 의한 잣나무의 간장생장은 상대광도 37%에서 가장 높았고, 삼나무(Tanimoto, 1975) 묘목의 경우에는 피옴에 의한 상대광도가 낮아질수록 간장 및 근원경생장이 작아진다고 보고하였다. 한편, 내음성이 있으며 유묘기 생장이 느린 구상나무(조혜경 등, 2001)의 경우, 상대광도 10%에서도 전광에 비해 간장생장이 높은 것으로 보고되었으며, 근원경생장의 경우 이 연구에서는 상대광도가 낮아짐에 따라 감소하였다.

활엽수의 경우, 내음성이 있는 수종으로 알려진 황칠나무(신현철, 2006; 조무연과 최명섭, 1992)의 간장생장은 25%의 상대광도에서, 근원경생장은 55%에서 가장 높았으며(김세현과 김영중, 1997), 역시 내음성이 있는 수종인 층층나무와 말채나무의 유묘를 대상으로 한 연구(김종진, 2000)에서 이들 수종의 간장과 근원경생장은 피옴에 의하여 상대광도가 50%로 낮아진 포지에서 가장 높은 성장을 보였으나 상대광도 30%에서는 두 수종 모두 전광보다 낮은 성장을 보인 것으로 조사되었다. 이러한 결과들을 보면 내음성이 있는 수종뿐만 아니라 양수의 유묘 경우에도 적당한 피옴조건에서 간장생장이 자연상태의 전광에서보다 양호한 것을 알 수 있으며, 또한 지상부와 뿌리가 균형 있게 성장하는 것을 볼 수 있다. 따라서 적정 피옴조건은 수종에 따라서도 다를 수 있다.

한편 노지묘와 용기묘 생산과정에서의 시비처리는 묘목의 성장 증가를 가져오지만 그 정도는 수종에 따라 다르며, 특히 비료의 종류 및 농도에 큰 영향을 받는다(권기원 등, 2009; 박병배 등, 2010; Hathaway and Whitcomb, 1984; Proe and Millard, 1994). 이처럼 시비처리에서 각 양분 원소의 농도는 중요한 요소인데, 저농도에서는 성장 감소를 가져오지만 고농도에서는 염류 축적에 따른 피해가 나타나기도 한다. Jones(1983)는 시비처리 계획 수립에 있어서 각 개 양분 원소의 절대 농도보다 전체 원소들의 혼합에 따른 균형의 중요성을 강조하였는데, 한 원소의 과잉은 다른 원소들의 흡수와 이용에 영향을 주며, 이 균형은 토양 내 pH에 큰 영향을 주기 때문이라고 설명하였다.

수종에 따라 차이는 있지만 용기묘 생산과정에서 적정 질소 시비농도를 결정하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. Scarratt(1986)는 jack pine 용기묘 생산과정에서 100 ppm 정도가 충분한 지상부 성장을 유도하면서도 낮은 T/R율을 보이는 적당한 농도라 하였다. Black spruce 용기묘를 대상으로 0~500 ppm 농도의 질소 효과 시험에서도 간

장과 근원경생장 그리고 건물생산량이 가장 높은 농도는 100 ppm으로 조사되었다(Phillion and Libby, 1984). 권기원 등(2009)이 상수리나무 용기묘를 대상으로 액비형 멀티피드 19(N:P:K=19:19:19)를 500배액과 1000배액의 농도로 처리한 결과 간장과 근원경의 성장치가 대조구에 비해 500배액에서는 약 3배 이상, 1000배액에서는 4배 이상 높은 것으로 조사되었다. 물질생산량도 같은 경향으로 높은 것으로 조사되었다.

한편 본 실험의 가시나무와 같은 상록활엽수, 금목서, 까마귀쪽나무, 홍가시나무 및 돈나무를 대상으로 전광과 각각 전광의 35%, 50%, 75%, 95%로 피옴처리한 후 간장생장을 조사한 결과 수종별로 최적 피옴효과를 보인 수준은 달랐지만, 전광에 비해 피옴처리구에서 상대적으로 높은 성장을 보인 본 실험과 유사한 경향이었다(신현철 등, 2011). 수종별로 보면, 금목서는 95%, 까마귀쪽나무는 75%, 홍가시나무와 돈나무는 50% 피옴에서 가장 높은 성장을 보였을 뿐만 아니라 엽장과 엽폭의 증가와 같은 형태적인 변화도 유도하였는데, 이러한 변화는 상대적으로 빠른 간장생장을 통해 수광경쟁에서 앞서듯이 잎의 크기(길이와 넓이)를 크게 하여 유리한 경쟁 환경을 도모했던 것으로 분석하고 있다. 따라서 본 실험에서 전광에 비해 피옴 및 시비처리에 따른 간장과 근원경생장 증가의 결과를 통해 볼 때, 내음성이 있는 수종으로 알려진 가시나무의 묘목생산과정에는 적절한 피옴이 필요할 것으로 사료되며 또한 적정 수준의 시비처리 역시 생장에 중요한 요소임을 알 수 있다.

2. 건물생산량

건물생산량은 묘목의 근원경과 매우 밀접하게 관련되어 있으며, 묘목의 건물량은 근원경과 함께 조립식 식재 후 생존과 성장에 큰 영향을 미치는 요소이다(Switzer and Nelson, 1963). 본 실험에서도 피옴 및 시비처리 후 간장과 근원경 측정과 함께 처리 후의 지상부와 지하부의 건물생산량의 측정을 통해 균형적인 묘목성장 여부를 분석하고자 하였다. 이에 따라 부위별 및 전체 묘목의 건물생산량을 측정된 결과 전광을 비롯한 모든 수준의 피옴처리에서 무시비구 묘목이 시비처리구 묘목보다 잎, 줄기, 뿌리 및 전체 건물생산량 모두 낮은 것으로 조사되었다(Table 3).

전광 및 피옴처리구에서 시비처리에 따른 건물생산량을 부위별로 보면, 전광에서 잎과 전체 건물생산량은 2000 ppm에서 가장 높았으나 줄기와 뿌리는 3000 ppm에서 높았다. 35% 피옴에서는 2000 ppm에서 모든 부위 및 전체 건물생산량이 가장 높았다. 특히, 뿌리의 건물생산량이 0.99 g으로 3000 ppm의 0.66 g, 1000 ppm의 0.58 g, 전광의 0.36 g 보다 현저하게 높은 것으로 조사되었다. 3000 ppm에서의 부위별 및 전체 건물생산량은 1000 ppm보다 높았으나 그 차이가 크지 않았다. 55% 피옴의 경우

Table 3. Effects of shading rates and fertilizing concentrations on dry mass production of *Quercus myrsinaefolia* seedlings.

Shading (%)	Fertilization (ppm)	Dry mass production(g)			
		Leaves	Shoot	Root	Total
0	0	0.36±0.03 ^d	0.17±0.01 ^f	0.48±0.08 ^{cd}	1.02±0.12 ^f
	1000	0.78±0.11 ^{bc}	0.32±0.03 ^{cd}	0.55±0.08 ^{bcd}	1.66±0.21 ^{de}
	2000	1.03±0.05 ^{ab}	0.34±0.03 ^{cd}	0.56±0.08 ^{bcd}	1.94±0.17 ^{cd}
	3000	0.85±0.08 ^{bc}	0.44±0.04 ^{bc}	0.60±0.05 ^{bcd}	1.90±0.11 ^{cd}
35	0	0.38±0.02 ^d	0.16±0.02 ^f	0.36±0.05 ^d	0.90±0.09 ^f
	1000	1.01±0.14 ^{ab}	0.36±0.06 ^{cd}	0.58±0.09 ^{bcd}	1.96±0.27 ^{cd}
	2000	1.23±0.09 ^a	0.59±0.07 ^a	0.99±0.11 ^a	2.82±0.26 ^a
	3000	1.13±0.15 ^{ab}	0.49±0.06 ^{ab}	0.66±0.11 ^{bc}	2.29±0.30 ^{bc}
55	0	0.46±0.03 ^d	0.21±0.02 ^{ef}	0.41±0.03 ^{cd}	1.09±0.07 ^f
	1000	1.09±0.13 ^{ab}	0.35±0.04 ^{cd}	0.60±0.10 ^{bcd}	2.06±0.27 ^{cd}
	2000	1.29±0.10 ^a	0.55±0.06 ^a	0.75±0.09 ^{ab}	2.60±0.21 ^{ab}
	3000	1.02±0.11 ^{ab}	0.42±0.03 ^{bc}	0.79±0.10 ^{ab}	2.24±0.19 ^{bc}
75	0	0.35±0.05 ^d	0.15±0.02 ^f	0.33±0.06 ^d	0.84±0.13 ^f
	1000	0.68±0.05 ^c	0.25±0.02 ^{de}	0.54±0.04 ^{bcd}	1.48±0.08 ^{ef}
	2000	0.64±0.08 ^c	0.30±0.03 ^{cd}	0.42±0.06 ^{cd}	1.37±0.16 ^{ef}
	3000	1.09±0.09 ^{ab}	0.42±0.02 ^{bc}	0.44±0.04 ^{cd}	1.97±0.13 ^{cd}
Source		F			
		Leaves	Shoot	Root	Total
Shading		8.103*	6.621*	5.855*	9.011*
Fertilization		41.661*	35.774*	9.164*	33.916*
Shading×Fertilization		2.539**	2.311**	2.338**	2.080**

²Means±SE are represented and were measured on Oct. 14, 2010. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05). *p<0.01, **p<0.05.

는 2000 ppm 처리에서 잎, 줄기 및 전체 건물생산량이 높았으나, 뿌리는 3000 ppm에서 가장 높았다. 이 55% 피음에서 전체 건물생산량을 보면, 2000 ppm의 2.60 g이 가장 높았고 3000 ppm의 2.24 g, 1000 ppm의 2.06 g 그리고 전광의 1.09 g 순으로 조사되었다. 75% 피음에서는 3000 ppm 시비처리에 의해 잎, 줄기 및 전체 건물생산량이 가장 높았으며 뿌리는 1000 ppm에서 가장 높았다.

전체적으로 볼 때 잎의 건물생산량이 가장 높은 처리구는 1.29 g인 55% 피음 내 2000 ppm이었으며, 줄기와 뿌리 그리고 전체 건물생산량은 각각 0.59 g, 0.99 g 및 2.82 g으로 조사된 35% 피음 내 2000 ppm이었다(Table 3). 한편 잎, 줄기, 뿌리 및 전체 건물생산량이 가장 낮았던 처리구는 각각 0.35 g, 0.15 g, 0.33 g 및 0.84 g으로 조사된 75% 피음 내 무시비구이었다. 무시비구 묘목의 경우 55% 피음에서 잎, 줄기 및 전체 건물생산량이 가장 높았으며, 뿌리 건물생산량은 전광에서 0.48 g으로 가장 높았다. 일반적으로 광의 감소는 줄기와 뿌리의 건물생산량 축적을 감소(Strothmann, 1967)시킨다고 알려져 있지만, 본 실험의 결과에서 각 피음처리의 무시비구(피음효과만을 보기 위함)를 보면 뿌리의 경우는 전광에 비해 피음처리에 의해 감소가 되고 줄기의 경우에는 55% 피음에서 가장 높은 생

산량을 보였으며, 잎의 경우에는 75% 피음은 전광에 비해 낮았으나 35%와 55% 피음에서는 높은 것으로 조사되어 부위별로 반응이 다를 수 있다.

조민석 등(2008)이 층층나무, 물푸레나무, 개벚나무, 고로쇠나무, 박달나무 등 활엽수 5수종을 대상으로 전광을 포함 4수준의 피음처리 결과, 고로쇠나무를 제외하고는 피음이 강해질수록 부위별 및 전체 건물생산량은 감소한 것으로 보고하였고, 고로쇠나무는 보통 피음처리에서 건물생산량이 가장 높은 것으로 보고하였다. 또한 광량의 감소로 잎과 가지의 비율이 뿌리에 비해 증가하는 경향을 보였으며 피음처리의 영향은 묘목 부위별로 다르게 작용하는 것으로 보고하였다.

한편 피음 및 시비처리에 따른 가시나무 1년생 묘목의 전체 및 각 부위별 건물생산량은 유의성(p<0.01)이 있는 것으로 조사되었으며, 피음×시비처리 상호효과 역시 묘목 전체 및 각 부위별 건물생산량에서 유의성(p<0.05)이 있는 것으로 조사되었다(Table 3).

3. 묘목품질지수

1) H/D율과 T/R율

H/D율은 간장을 근원경으로 나눈 값으로, 생산한 묘목

이 다부진(stocky) 유형인지 또는 가늘고 약한(spindly) 유형인지 여부를 평가하여 묘목의 건전도를 나타내는 지수이다. 이 H/D율은 노지묘와 용기묘 등 모든 종류의 묘목이 바람, 건조 등 물리적인 피해를 견디는 능력을 평가할 수 있는 좋은 지표지만, 경우에 따라서 높은 밀도와 낮은 광 조건에서 생육하여 높은 H/D율을 가지게 되는 가늘고 약한 용기묘의 평가에 중요하게 적용되고 있다(Haase, 2007; Thompson, 1985). 본 실험에서 가시나무 용기묘를 대상으로 피음 및 시비처리 후 이 H/D율의 변화를 조사한 결과, H/D율이 가장 높은 묘목은 75% 피음 내 3000 ppm 시비처리의 묘목으로 5.86이었으며, 가장 낮은 값은 전광의 무시비구로 2.90이었다(Table 4). 본 실험에서 비교적 높은 간장과 근원경생장을 보인 35%와 55% 피음에서 시비수준과 관계없이 시비처리구 전체 묘목의 H/D율을 보면 4.27~5.26의 범위를 보였다. 박병배 등(2010)이 물푸레나무, 들메나무, 잣나무, 전나무를 대상으로 노지에서 N, P, K 비료 처리 후 측정된 H/D율을 보면 시비처리간에는 유의성이 없었으나, 활엽수가 침엽수에 비해 2~3배 높은 값을 보였다. 본 실험에서 얻은 가시나무의 4.27~5.26의 범위는 물푸레나무의 6.1~6.6 보다는 낮고, 들메나무 3.3~4.0 보다는 높은 것으로 나타났다. 같은 물푸레나무속의 두 수종간의 H/D율의 차이는 물푸레나무의 지상부 생장이 들메나무보다 현저하게 높았던 점으로 해석된다. 이와 같이 수종별로 보인 H/D율의 차이는 시비처리나 관수처리 등과 같이 생육환경 차이 또는 수종별 성장 반응 차이의 결과로 보인다. Roller(1976)는 black spruce 용기묘의 경우 6.0 이상의 H/D율일 때 바람, 건조 및 서리에 노출되었을 때 심각한 피해를 입는 것으로 보고하였다. 한편 Johnson *et al.*(1996)이 정리한 노지묘와 용기묘의 H/D율을 보면, 소나무류의 노지묘는 6.0 이하, 용기묘는 8.0 이하가 바람직하며, 소나무외의 침엽수 경우, 노지묘는 7.0 이하, 용기묘는 크기에 따라 9.0 또는 10.0 이하가 건전한 묘목으로 분류하였다. 활엽수 노지묘의 경우에는 7.0 이하가 바람직한 것으로 보고하였다.

한편 T/R율은 묘목에서 증산을 담당하는 지상부와 수분흡수를 담당하는 지하부 뿌리의 균형을 측정하는 수단으로 고안되어 오랫동안 사용되어 온 묘목품질 평가 지수의 하나이다(Haase, 2007). 하지만 이 T/R율에 의해 묘목 품질을 결정하는데 있어서는 여전히 논란의 여지가 있다(Thompson, 1985). 일반적으로 낮은 T/R율을 가진 묘목의 품질이 좋은 것으로 간주하나 이 경우 정상적인 간장생장이 이루어진 묘목인 경우이다. 이에 따라 Lopushinsky and Beebe(1976)는 어느 하나의 간장 크기 급 묘목 안에서 낮은 T/R율을 가진 묘목이 식재 후 생존율이 더 높았다 하였다. 따라서 이 T/R율은 묘목의 크기에 따라 변하기 때문에 만일 어떤 처리 영향에 따라 실제로 적절한 T/R율을

찾으려고 할 때 이 묘목의 크기는 크게 중요하지 않을 수도 있다 하였다(Thompson, 1985). 따라서 T/R율로 묘목의 품질을 평가할 경우 우선적으로 간장 크기별로 묘목 급수를 분류한 다음 T/R율과 비교하여 논하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

본 실험에서 피음 및 시비처리 후 T/R율을 조사한 결과, 전광 내의 무시비구에서 1.27로 가장 낮게 나타났으며, 75% 피음 내의 3000 ppm에서 3.48로 가장 높게 나타났다(Table 4). 전광을 비롯하여 모든 피음처리의 경우 시비구가 무시비구보다 높게 나타났는데 이는 충분한 양료 조건에서 활발한 광합성 활동을 통해 지하부 생장도 증가하면서 지상부 생장이 활발해져서 시비구에서 상대적으로 높은 T/R율을 보인 것으로 판단된다. 특히, 55% 피음의 2000 ppm의 시비처리에서 상대적으로 높은 2.59의 T/R율을 보인 것은 다른 피음 및 시비수준에 비해 높은 지하부 생장과 함께 지상부 생장도 처리 효과를 받았음을 의미한다. 내음성 수종의 T/R율 변화에 관한 연구를 보면 중간 정도의 피음(50~55%)에서 증가하는 지상부 물질생산에 의해 상대적으로 높은 T/R율의 보고(김세현과 김영중, 1997; 홍성각 등, 2000)는 본 실험과 유사한 결과로 보여진다.

한편 Haase(2007)에 따르면, 노지묘의 경우 3.0 또는 약간 낮은 값이 건전한 묘목이며, 용기묘는 그 보다 낮은 2.0 또는 약간 낮은 값이 적정하다고 하였다. 우리나라의 경우에도 T/R율이 2.5~3.0 정도의 범위가 건전한 묘목으로 볼 수 있다(오민영, 1982)하여 다른 나라와 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 이러한 T/R율을 본 실험과 비교해 보면, 비교적 뛰어난 간장과 근원경생장 그리고 높은 건물 생산량을 보인 35%와 55% 피음에서의 T/R율을 보면, 시비수준과 관계없이 각각 1.87~2.43, 2.01~2.59 범위의 값으로 조사되어 35~55% 정도의 피음이 가시나무 1년생 용기묘 생산 시의 적정 피음수준으로 판단된다.

2) LWR, SWR, RWR 및 QI

피음 및 시비처리 후 측정된 가시나무 1년생 용기묘의 간장, 근원경, 건중량 등의 값을 활용하여 이 처리가 가시나무 묘목품질지수에 어떤 영향을 미쳤는가를 분석하고자 LWR(Leaf dry weight ratio), SWR(Shoot dry weight ratio), RWR(Root dry weight ratio) 및 QI(Quality index)를 처리별로 구하였다. 전체 건물 생산량 중 잎에 대한 분배 비율을 의미하는 LWR의 경우, 가장 높은 값은 75% 피음의 3000 ppm 시비구로 0.554로 조사되었다(Figure 1). 이는 강한 피음에 의해 뿌리의 건물생산량을 포함하여 전체 건물생산량이 상대적으로 낮은 반면 잎의 건물생산은 어느 정도 진행된 결과로 판단된다. 즉, Table 3에서 보면, 각 피음처리구(35%, 55%, 75%)의 3000 ppm 시비처리의 잎

Table 4. Effects of shading rates and fertilizing concentrations on H/D ratio and T/R ratio of *Quercus myrsinaefolia* seedlings.

Shading (%)	Fertilization (ppm)	H/D ratio (cm·mm ⁻¹)	T/R ratio
0	0	2.90±0.19f	1.27±0.18f
	1000	3.92±0.12de	2.06±0.14cd
	2000	4.29±0.26cd	2.67±0.27b
	3000	4.16±0.17de	2.32±0.38bc
35	0	2.90±0.19f	1.61±0.13de
	1000	4.27±0.35cd	2.43±0.28bc
	2000	4.46±0.27cd	1.87±0.15de
	3000	5.26±0.36ab	2.57±0.19b
55	0	3.05±0.11f	1.65±0.07de
	1000	4.26±0.21cd	2.57±0.25b
	2000	5.44±0.40ab	2.59±0.33b
	3000	5.09±0.26bc	2.01±0.31cd
75	0	3.42±0.41ef	1.65±0.23de
	1000	3.63±0.18ef	1.77±0.12de
	2000	4.82±0.37bcd	2.32±0.22bc
	3000	5.86±0.25a	3.48±0.21a

Source	F	
	H/D(cm·mm ⁻¹)	T/R
Shading	4.828*	-
Fertilization	43.673*	15.209*
Shading×Fertilization	2.519**	4.086*

^zMeans±SE are represented and were measured on Oct. 14, 2010. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05). *p<0.01, **p<0.05.

건물생산량은 유사하나 75% 피옴의 뿌리 및 전체 건물생산량은 35%와 55%에 비하여 현저히 낮음을 알 수 있다. 이에 따라 묘목의 H/D율과 T/R율도 높은 것으로 조사되었다(Table 4).

피옴수준과 이 LWR의 관계는 수종에 따른 차이가 많이 보고(Loach, 1970)되고 있지만, 일반적으로 피옴이 강해질수록(광도가 낮아질수록) LWR은 높아지는 것으로 알려져 있다(Cornelissen *et al.*, 1996; Walters *et al.*, 1993). 조민석 등(2008)이 층층나무, 물푸레나무, 개벚나무, 고로쇠나무, 박달나무 등 활엽수 5수종을 대상으로 전광을 포함 4수준의 피옴처리 결과 박달나무를 제외하고는 피옴이 강해질수록 이 LWR은 높아졌으며, 박달나무는 반대의 경향을 보인 것으로 보고하였다. 고로쇠나무의 경우는 강피옴구에서는 전광에 비해 높았으나 다른 피옴처리에서는 다소 낮아지는 경향을 보인 것으로 조사되었다. 한편 본 실험에서 가장 낮은 LWR 값은 전광의 무시비구에서 조사되었는데 이는 전체적인 묘목의 생장이 저조했던 결과로 사료된다.

본 실험에서 피옴처리에 따른 SWR 차이는 크지 않은 것으로 조사되었으나, Reich *et al.*(1998)이 양수, 중성수 및 음수를 대상으로 수행한 결과에 따르면, SWR은 시험수종 모두에서 높은 광도보다 낮은 광도에서 더 높은 것으로 조사되었다. 이는 낮은 광도 조건에서 상대적으로 많은 양의 건물생산량이 줄기로의 분배가 이루어졌음을 의미하며, 같은 실험에서 RWR의 경우는 시험수종 모두 오히려 높은 광도에서 더 높은 값이 관찰되었다.

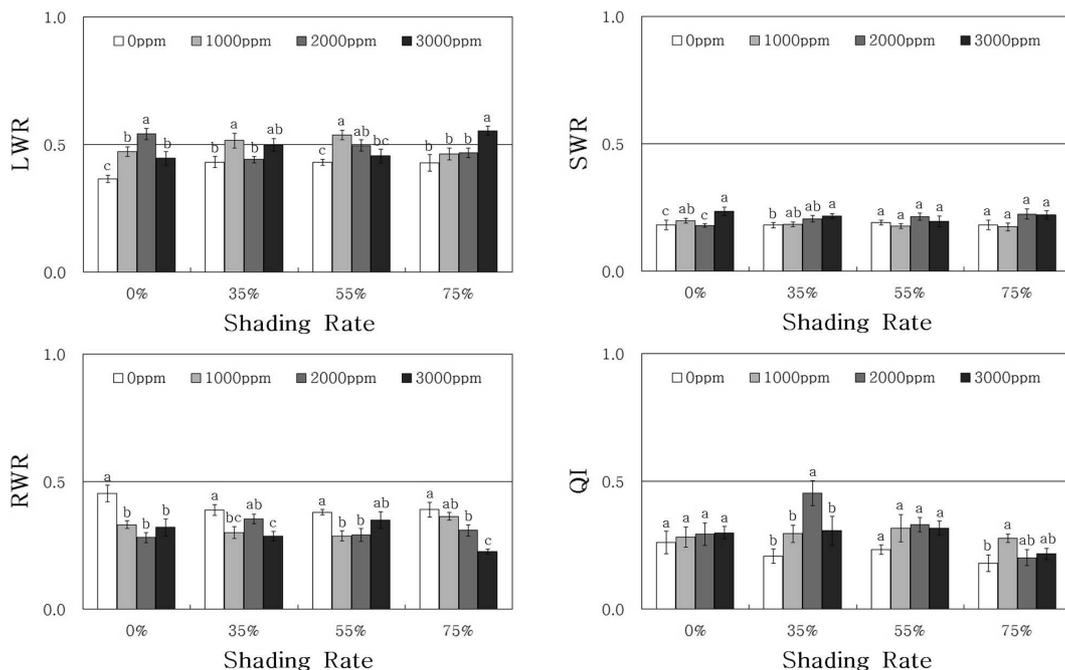


Fig. 1. Effects of shading rates with various fertilizing concentrations on LWR, SWR, RWR and QI of *Quercus myrsinaefolia* seedlings. Different letters above bar indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05). Bars indicate SE.

시비처리에 따른 RWR의 변화를 보면 전광을 비롯하여 피음처리 수준에 관계없이 시비처리 후 무시비구 보다 낮은 것을 알 수 있다(Figure 1). 이와 같은 변화는 생육조건이 상대적으로 비옥해진 환경에 대한 반응으로 볼 수 있다. 많은 생물들이 그들이 살아가는 환경조건에 따라 그들의 생장 반응을 조절해가고 있는데, 식물의 경우에도 생리적 혹은 형태적인 유연성으로 그러한 조건에 반응하고 있다(Schlichting, 1986). RWR 조절 역시 변화하는 환경조건에서 최대의 생장을 추구하기 위한 수단으로 인식되고 있다(Gleeson, 1993; Hilbert, 1990). Reynolds and Antonio (1996)에 따르면, 본 시비처리 실험에서와 같이 대부분의 시험에서 질소시비에 따라 RWR은 감소하는 것으로 보고되고 있다.

일반적으로 QI는 묘목이 정상적인 생장을 하였을 경우 높을수록 건전한 묘목으로 평가받는데, 묘목품질 평가요소인 H/D율과 T/R율을 고려하고 묘목 전체 건물생산량을 주요 요소로 구한 값이기 때문이다(Thompson, 1985). 본 피음 및 시비처리 후 생장 결과를 분석한 결과 전반적으로 높은 QI는 55% 피음의 시비처리구에서 0.32~0.33으로 조사되었으며, QI가 가장 큰 처리구는 35% 피음의 2000 ppm 시비구에서 0.45로 조사되었다(Figure 1). 박병배 등 (2010)이 물푸레나무, 들메나무, 잣나무, 전나무를 대상으로 N, P, K 시비에 따른 QI 변화에 대한 보고에 의하면 물푸레나무와 들메나무의 QI는 질소 처리구에서 각각 4.9와 5.7로 가장 높았으며, 무시비구에서는 각각 3.8, 4.6로, 칼륨 처리구에서 각각 3.0, 5.4로 질소처리에 비해 낮게 나타났다. 잣나무 역시 질소 처리구에서 가장 높았으나 전나무의 QI는 모든 비료주기 처리구에서 대조구보다 감소하였다고 하였다. 전나무의 경우는 대조구의 생장과 건물생산량이 오히려 시비처리구 보다 높았기 때문인데, 이식 스트레스나 시비시기가 적합하지 않았던 점을 원인으로 분석하고 있다. 그리고 이 실험에서의 QI 수치가 본 실험에서 보다 약 10배 이상 크게 나타난 것은 본 실험이 가시나무 파종 1년생을 대상으로 한 것에 비해 위 4 수종은 1~3년생을 이식하여 2~4년차의 묘목 전체 건물생산량을 분자로 해서 구했기 때문으로 해석된다. 이처럼, 광 조건과 시비처리에 대한 QI 반응은 수중에 따라 또 시비 종류에 따라 다른 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 내음성이 있는 것으로 알려진 가시나무를 1년생 용기묘로 생산하고자 할 때 적용시켜야 하는 피음 및 시비처리가 이 용기묘의 품질에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다. 일반적으로 가시나무를 비롯한 난대 활엽수종들이 비교적 내음성이 있는 것으로 알려진 사실이

본 피음처리 실험을 통해서도 확인이 된 점은 학문적으로도 가치있는 수확으로 판단된다. 특히, 피음 및 시비처리가 지상부 생장뿐만 아니라 지하부 생장에도 영향을 미쳐 결국 전체 묘목의 균형있는 생장에 영향을 미치는 결과의 확인은 의미가 있다고 판단된다. 앞으로 가시나무의 용기묘 생산 시 이러한 처리가 가시나무의 초기 생장의 중요한 요소임이 확인된 것으로도 볼 수 있을 것이다.

간장 및 근원경생장, 건물생산량, 묘목품질 특성 분석 등의 실험 결과를 정리해 볼 때 가시나무의 생육은 35~55% 범위의 피음이 건전한 생장을 위한 적정 범위로 사료된다. 특히 이 피음 범위 내에서 적절한 시비계획이 함께 적용된다면 가시나무 묘목 생산체계 수립에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 물론 비료 종류에 따라 그 농도가 달라질 수 있겠지만 본 실험에서 사용된 시설양묘용 비료를 예로 든다면 2000 ppm 정도가 적절할 것으로 보인다.

앞으로 보다 정밀한 피음 및 시비체계가 구명되어 생산 현장에 적용이 되면 더욱 좋겠지만 현재 조림용 용기묘 생산을 담당하고 있는 생산자들의 입장과 과거의 경험을 고려하면 지나치게 복잡한 시스템의 제시는 오히려 현장의 혼란과 기피로 인한 부작용이 초래되는 점도 우려하지 않을 수 없다. 하지만 연구자 입장에서 보다 세밀한 접근계획에 따라 가시나무 용기묘 생산에 필수적인 요소들 즉, 대기요인(atmospheric factors)와 토양요인(edaphic factors)으로 구분되어진 ‘번식 환경(propagation environment)’(Landis et al., 1995)에 대한 기초 자료들을 지속적으로 축적해 나가야 할 것이다.

결론적으로 본 실험의 결과를 종합해 볼 때, 가시나무를 비롯한 난대 활엽수종의 용기묘로의 생산이 확대되고 있는 시점에 적절한 피음 및 시비 조건의 제시는 생장균형이 양호한 가시나무 묘목을 생산할 수 있는 기본 자료로서의 의미가 있다고 판단된다. 피음 및 시비 조건에 따른 가시나무의 생장반응 차이와 이러한 결과가 묘목품질에도 영향을 미치고 있다는 점의 확인은 유사한 난대 활엽수종 묘목 생산에도 적용이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘임업기술개발사업(과제번호: S120910L080000)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

인용문헌

1. 권기원, 조민석, 김길남, 이수원, 장경환. 2009. 시비 처리에 따른 상수리나무(*Quercus acutissima*) 용기묘와 노지묘의 광합성과 생장특성. 한국임학회지 78(3): 331-338.
2. 김선희, 성주한, 김영걸, 김판기. 2008. 광환경 변화에 대

- 한 네 참나무 수종의 광합성 반응. 한국농림기상학회지 10(4): 141-148.
3. 김세현, 김영중. 1997. 피복과 피음처리가 황칠나무 묘목의 생육에 미치는 영향. 임목육종연구보고 33: 112-118.
 4. 김영채. 1986. 무기적 환경요인이 잣나무 유묘의 생육에 미치는 영향에 관한 연구(I) - 파종상에 있어서의 피음처리 영향-. 한국임학회지 73: 43-54.
 5. 김종진. 2000. 층층나무와 말채나무 양묘 시 적정 차광률에 관한 연구. 한국임학회지 89(5): 591-597.
 6. 김종진. 2010. 난대수종의 용기묘 생산방안. 한국양묘협회지 38: 27-38.
 7. 박병배, 변재경, 김우성, 성주환. 2010. 묘포에서 질소, 인, 칼륨 비료주기 가 물푸레나무, 들메나무, 잣나무, 전나무의 성장 및 양분에 미치는 영향. 한국임학회지 99(1): 85-95.
 8. 산림청. 2004. 2004 사업계획. 자원조성·자원관리·종묘분야. 산림청 산림자원과. pp. 364.
 9. 손요환, 김진수, 황재홍, 박정수. 1998. 은행나무 묘목에 대한 시비가 성장 및 엽내 양분과 유용 추출물 농도에 미치는 영향. 한국임학회지 87(1): 98-105.
 10. 신정아, 손요환, 홍성각, 김영걸. 1999. 질소와 인 시비가 소나무, 일본잎갈나무, 자작나무 묘목의 양분이용효율에 미치는 영향. 한국환경농학회지 18(4): 304-309.
 11. 신현철, 박남창, 황재홍. 2006. 한국의 난대수종. 국립산림과학원. pp. 218.
 12. 신현철, 최수민, 이광수, 김대현, 배은지, 정성우. 2011. 상록활엽수 4수종에 대하여 차광률을 달리 재배했을 때의 형태적·생리적 변화에 미치는 영향. 2011 산림과학공동학술대회 자료집. pp. 84-88.
 13. 여운상. 2005. 전라남도 완도에서 붉가시나무의 천연갱신양상 및 전략. 서울대학교 대학원 박사학위논문. pp. 106.
 14. 오민영. 1982. 견교육성과 단근. 산림지 10월호. pp. 5-17.
 15. 오병운, 조동광, 고성철, 최병희, 백원기, 정규영, 이유미, 장창기. 2010. 한반도 기후변화 적응 대상식물 300. 산림청 국립수목원. pp. 492.
 16. 조무연, 최명섭. 1992. 한국수목도감. 4판. 산림청 임업연구원. pp. 562.
 17. 조민석, 권기원, 김길남, 우수영. 2008. 광도 변화에 따른 5개 활엽수종의 엽록소 함량과 성장 특성. 한국농림기상학회지 10(4): 149-157.
 18. 조재형, 홍성각, 김종진. 2000. 피음이 층층나무 1년생 유묘의 성장에 미치는 영향. 임산에너지 19(1): 20-29.
 19. 조혜경, 홍성각, 김종진. 2001. 상대광도 차이에 따른 구상나무 유묘의 성장과 물질생산에 관한 연구. J. Kor. For. En. 20(2): 58-68.
 20. 추낙호. 2009. 난대 조림수종의 용기묘 생산기술. 한국시설양묘연구회 제 5차 기술세미나 자료집. pp. 9-17.
 21. 현신규. 1937. 일광 조사도 및 토양 내 함수도를 달리 했을 때 소나무 및 편백의 종자발아 및 유식물발육도 비교. 구주제국대학 농학부학회지 7(4): 373-407.
 22. 홍성각, 김종진, 임형탁. 2000. 도시형 삼림육장 목초본식물의 내음성 연구. 한국임학회지 89(5): 585-590.
 23. Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J. Quedraogo, S.J. and Sanon, K. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. New Forests 38: 309-322.
 24. Cornelissen, J.H.C., Diez, P.C. and Hunt, R. 1996. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. Journal of Ecology 84: 755-765.
 25. Dickson, A., Leaf, A.L. and Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. Forestry Chronicle 36: 10-13.
 26. Gleeson, S.K. 1993. Optimization of tissue nitrogen and root-shoot allocation. Annals of Botany 71: 23-31.
 27. Gottschalk, K.W. 1994. Shade, leaf growth and crown development of *Quercus rubra*, *Quercus velutina*, *Prunus serotina* and *Acer rubrum* seedlings. Tree physiology 14: 735-749.
 28. Haase, D. 2007. Understanding forest seedling quality : measurements and interpretation. Tree Planter's Notes 52(1): 24-30.
 29. Hathaway, R.D. and Whitcomb, C.E. 1984. Nutrition and performance of container-grown Japanese black pine seedlings. Journal Environmental Horticulture 2(1): 9-12.
 30. Hilbert, D.W. 1990. Optimization of plant root:shoot ratios and internal nitrogen concentration. Annals of Botany 66: 91-99.
 31. Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirement of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seedlings. Physiologia Plantarum 45: 373-380.
 32. Johnson, F., Paterson, J., Leeder, G., Mansfield, C., Pinto, F. and Watson, S. 1996. Artificial regeneration of Ontario's forest: species and stock selection manual. Forest Research Information Paper No. 131. Ontario. pp. 51.
 33. Jones, J.B. Jr. 1983. A guide for the hydroponic and soil-less culture grower. Timber Press, OR. pp. 124.
 34. Jones, R.H. and McLeod, K.W. 1990. Growth and photosynthetic responses to a range of light environments in Chinese tallow tree and Carolina ash seedlings. Forest Science 36: 851-862.
 35. Kuroiwa, S., Horoi., T., Takada, K. and Monsi, M. 1964. Distribution ratio of net photosynthate to photosynthetic and non photosynthetic systems in shade plants. Botanical Magazine Tokyo 77: 37-42.
 36. Landis, T.D., Dumroese, R.K. and Haase, D.L. 2010. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 7. Seedling Processing, Storage, and Outplanting. Agriculture Handbook 674. USDA Forest Service, Washington DC. pp. 199.
 37. Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1995. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 1. Nursery Planning, Development and Management. Agriculture handbook 674. USDA Forest Service, Washington DC. pp. 188.
 38. Loach, K. 1970. Shade tolerance in tree seedlings. II. Growth

- analysis of plants raised under artificial shade. *New Phytologist* 69: 273-286.
39. Lopushinsky, W. and Beebe, T. 1976. Relationship of shoot-root ratio to survival and growth of outplanted Douglas-fir and ponderosa pine seedlings. USDA Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Research Note PNW-274. pp. 7.
40. Phillion, B.J. and Libby, M. 1984. Growth of potted black spruce seedlings at a range of fertilizer levels. *The Plant Propagator* 30(2): 10-11.
41. Proe, M.F. and Millard, P. 1994. Relationship between nutrient supply, nitrogen partitioning and growth in young Sitka spruce (*Picea sitchensis*). *Tree Physiology* 14: 75-88.
42. Reich, P.B., Tjoelker, M.G., Walters, M.B. Vanderklein, D.W. and Buschena, C. 1998. Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low light. *Functional Ecology* 12: 327-338.
43. Reynolds, H.L. and Antonio, C.D. 1996. The ecological significance of plasticity in root weight ratio in response to nitrogen : Opinion. *Plant and Soil* 185: 75-97.
44. Roller, K.J. 1976. Field performance of container-grown Norway and black spruce seedlings. *Can. For. Serv. Dept. Environ. Inf. Rep. M-X-64*. pp. 17.
45. Scarratt, J.B. 1986. An evaluation of some commercial soluble fertilizers for culture of jack pine container stock. *Inf. Rep. O-X-377*. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre. pp. 21.
46. Schlichting, C.D. 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 667-693.
47. Strothmann, R.O. 1967. The influence of light and moisture on the growth of red pine seedlings in Minnesota. *Forest Science* 13: 182-191.
48. Switzer, G.L. and Nelson, L.E. 1963. Effects of nursery fertility and density on seedling characteristics yield, and field performance of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Soil Science Society of America Proceedings* 27: 461-464.
49. Tanimoto, T. 1975. Effects of artificial shading on the growth of forest trees. (I). Differences in growth of *Cryptomeria japonica* seedlings in shade during a growing season. *Journal Japan Forest Society* 57: 407-411.
50. Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation - what you can tell by looking. pp. 59-71. In: Durvea, M.L. (ed.). *Proceedings, Evaluation seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Forest Research Lab., Oregon State Univ., Corvallis.
51. Walters, M.B., Kruger, P.B. and Reich, P.B. 1993. Growth, biomass distribution and CO₂ exchange of northern hardwood seedlings in high and low light. : relationships with successional status and shade tolerance. *Oecologia* 94: 7-16.

(2011년 7월 4일 접수; 2011년 8월 8일 채택)