

초기 묘목크기와 단근강도가 이식 후 졸참나무의 지상부 및 뿌리발달에 미치는 영향

나성준, 김인식, 이도형¹, 이위영*

국립산림과학원 산림유전자원부, ¹영남대학교 산림자원학과

Effect of Initial Seedling Size and Root Pruning Intensity on Above-ground and Root Development in *Quercus serrata* Seedlings after Transplanting

Sung-Joon Na, In-Sik Kim, Do-Hyung Lee¹ and Wi-Young Lee*

Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

¹Department of Forest Resources, Yeungnam University, Gyungnsan 712-749, Korea

Abstract - This study was conducted to determine the optimum intensity of root pruning and the initial seedling size of 1-year-old *Quercus serrata* for producing 2-year-old healthy seedlings. Large (> 26 cm high) and small size (< 24 cm high) seedlings were pruned their root by the length of 5, 10, and 15cm and then transplanted on nursery. Stem height, root-collar diameter(RCD), height to RCD ratio(H/D ratio), shoot dry weight(DW) and root development were measured during first growing season after transplanting. Seedling size and pruning intensity influenced on shoot growth such as height, RCD, H/D ratio and DW after transplanting. In addition, the development of lateral roots such as number, length, DW and diameter were affected by the seedling size. Taproot pruned by 15cm was shown excellent above-ground growth in large seedling group, but pruned by 10 and 15cm showed respectively better shoot growth in small seedling group. Large seedlings increased their above-ground growth, taproot regrowth, and number of lateral roots more than those of the small seedlings. But the length and DW of lateral roots were increased in the small seedlings. In conclusion, in order to produce high quality 2-year-old seedlings, it is important to produce large size of *Q. serrata* seedlings. Also root pruning length of 1-year-old *Q. serrata* was reasonable on 15 cm in taller than 26 cm or 10cm in less than the height.

Key words - Seedling size, Root pruning intensity, Seedling growth, Lateral roots, Root regrowth, Seedling quality

서 언

참나무류는 묘목의 품질이 저조하거나(Clark *et al.*, 2000; Ward *et al.*, 2000), 식재 초기에 성장경쟁이 심한 장소에 이식할 경우(Crow, 1988) 높은 활착율과 생장을 기대하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하고 이식 후 빠른 생장을 도모하기 위해서는 우량 묘목을 생산하는 등 고품질의 묘목생산이 필요하다(Cleary *et al.*, 1978; Duryea, 1985; Mattsson, 1997). 일반적으로 묘목의 품질을 평가하는 인자로는 측정이 간단하고 빠르며, 묘목의 조림 후 성장과 밀접한 관련이 있는 묘고와 근원경 등이 주로 사용되고 있다(Bayley and

Kietzka, 1997; Dey and Parker, 1997; Johnson, 1984; Racey, 1985; Rose *et al.*, 1990). 하지만 Thompson and Schultz (1995)는 노지묘의 품질을 묘고, 근원경, 정아상태, 줄기대 뿌리 비(S/R ratio)에 기초하여 평가하는 것은 이식 후 묘목의 잠재적 생존과 생장을 정확히 예측하는 인자로서 부적절하다고 하였으며, 많은 연구들에서 묘고와 근원경이 모든 경우의 이식 후 묘목 성장과 부합되지는 않는다고 하였다(Davis and Jacobs, 2005; Jacobs *et al.*, 2005).

한편, 조림 및 이식된 묘목의 성공적인 활착 여부는 새로운 뿌리를 빠르게 발달시킬 수 있는 묘목의 능력과 관련된다(Grossnickle, 2005). 이는 새로운 뿌리의 빠른 발달이 수분 스트레스로 인한 이식 충격(Transplant shock) 또는 이식억제(Planting check; 이식 직후 새로운 환경에 적

*교신저자(E-mail) : lwy20@forest.go.kr

응하기 위해 일시적으로 생장이 감소되는 현상)를 완화하는데 도움을 주기 때문이다(Burdett *et al.*, 1984; Nambiar and Sands, 1993). 이처럼 뿌리 구조는 이식 및 조림의 성공을 예견할 수 있는 주요한 인자이자 묘목의 품질평가에 있는 중요한 속성이지만(Kormanik *et al.*, 1988; Dey and Parker, 1997; Rose *et al.*, 1997; Jacobs and Seifert, 2004), 뿌리구조의 파악에는 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 때로는 부정확하기 때문에(Bouma *et al.*, 2000; Costa *et al.*, 2001), 우리나라의 묘목 품질평가에 사용되고 있지 못하는 실정이다. 실제로 종묘사업실시요령(산림청, 2012)에도 졸참나무 1-1묘의 산림사업용 묘목규격은 간장 (< 35 cm)과 근원경 (< 6.0 mm)만을 기준으로 정하고 있다.

단근은 이식의 용이성과 뿌리구조의 분지화를 유도하기 위해 실시되지만(Andersen *et al.*, 2000), 결과적으로 뿌리대 지상부 비의 불균형을 초래하고(Schultz and Thompson, 1990), 줄기의 생장 저하, 엽수와 면적의 감소, 광합성 및 증산량 감소(Geisler and Ferree, 1984; McArtney and Ferree, 1999) 등 다양한 변화를 초래하는 요인이다. 하지만 적절한 단근은 생존과 생장에 영향을 미치지 않거나(Russell, 1973; Geisler and Ferree, 1984; Zaczek *et al.*, 1997), 오히려 뿌리의 발달을 촉진하는 등 이로운 영향(Castle 1983, Simpson, 1992)을 준다는 상반된 연구결과가 있다. 이처럼 이식된 묘목에서 단근의 영향은 명확하지 않으며, 이에 대한 국내연구가 매우 미흡한 실정이다.

이에 본 연구는 노지에서 양묘된 졸참나무 1-0묘를 대상으로 이식 시 묘목크기와 단근길이에 따른 지상부와 뿌리의 생장특성으로 조사 분석하여, 성공적인 활착과 우수

한 초기생장을 보장할 수 있는 양질의 묘목을 생산하기 위한 묘목크기별 적정 단근길이를 규명하는 것이 목적이다.

재료 및 방법

시험재료 및 단근처리 방법

본 연구에 사용된 묘목은 채종원산 종자를 포지에 파종하여 양묘한 1-0묘를 이용하였다. 양묘 결과, 묘고는 11.0~51.0 cm로 아주 다양하게 나타났으며, 평균 묘고는 24.6 cm 이었다. 따라서 본 연구에서 묘목의 크기 구분은 묘고 25 cm를 기준으로 초기 묘고가 큰 묘목군(Large size group)과 작은 묘목군(Small size group)으로 구분하였으며, 두 묘목 크기간의 명확한 구분을 위해 묘고 24~25 cm 사이의 묘목은 자료수집에서 제외하였다. 크기 구분된 묘목은 이식 시 잔존 주근 길이에 따른 생장특성을 알아보기 위해, 고도의 강도(5 cm), 중간 강도(10 cm) 및 낮은 강도(15 cm)로 각각 단근하여 64본/m²의 밀도로 포지에 이식하였다.

한편, 이식에 사용된 묘목은 건조의 피해를 최소화하기 위해 굴취 후 곧바로 이식을 실시하였으며, 이식에 사용된 묘목에서는 측정할 수 없는 줄기 건중량, 전체 주근 길이 및 단근강도별 잔존 주근 건중량 등을 동일한 양묘과정을 거친 여분의 묘목을 사용하여 조사하였다(Table 1). 묘고가 26 cm 이상되는 큰 묘목(Large size)의 줄기 건중량은 1.1 g 이었고, 전체 주근의 길이는 24.8 cm 이었다. 묘고가 24 cm 이하인 작은 묘목(Small size)의 줄기 건중량은 0.9 g이었으며, 주근 전체 길이는 25.5 cm로 나타났다. 단근되지 않는 주근의 무게는 묘고가 큰 묘목과 작은 묘목이

Table 1. Shoot dry weight(DW), taproot length, taproot DW and T/R ratio by seedling sizes and/or root pruning intensities in one year old seedlings of *Quercus serrate*

Size division	Shoot DW (g)	Taproot length(cm)		Taproot DW (g)	% Remained DW	T/R ratio
Large	1.1 ± 0.6	24.8 ± 7.6	Original (Unimpaired)	3.9 ± 1.8	-	0.29 ± 0.08
			15cm	3.0 ± 1.1	79.7 ± 11.2	0.36 ± 0.08
			10cm	2.0 ± 0.7	55.2 ± 9.7	0.52 ± 0.12
			5cm	1.0 ± 0.4	26.1 ± 6.0	1.12 ± 0.26
Small	0.9 ± 0.4	25.5 ± 6.6	Original (Unimpaired)	4.1 ± 1.8	-	0.22 ± 0.07
			15cm	3.0 ± 1.0	76.2 ± 11.2	0.29 ± 0.08
			10cm	2.0 ± 0.6	51.7 ± 9.5	0.42 ± 0.11
			5cm	1.0 ± 0.3	24.8 ± 5.5	0.89 ± 0.24

각각 3.9 g과 4.1 g으로 두 묘목 크기 간에 다소 차이가 나타났지만, 각 강도별로 단근된 주근의 무게는 두 묘목 크기 간에는 차이가 나타나지 않았다. 한편, 전체 건중량 중 각각의 길이로 단근된 주근의 잔존율은 큰 묘목이 작은 묘목보다 모든 단근 강도에서 다소 높게 나타났으며, 지상부 대 지하부 비(T/R율)는 모든 단근 강도에서 큰 묘목이 작은 묘목보다 다소 높게 나타났다. 또한 단근의 강도가 높을수록 T/R율이 증가하는 경향은 두 묘목 크기군 모두에서 동일하게 나타났다.

생장량 조사 및 분석

이식된 묘목에 대해서는 이식 직후 묘고를 측정하여 이식 후 묘고와 비교하여 각 처리별 묘고 증가량(Increment)을 산출하는 자료로 사용하였으며, 1년간의 생육기간이 지난 이듬해 봄에 이식된 묘목을 뿌리의 손상없이 굴취하여 지상부 및 지하부 생장 특성을 조사하였다. 지상부 생장 특성은 최종 묘고와 묘고 증가량, 최종 근원경, 묘고 대 근원경 비(Bayala *et al.*, 2009), 최종 줄기 건중량을 조사하였으며, 지하부 생장 특성은 새롭게 발달한 측근의 수, 평균 길이 및 전체 길이, 평균 건중량 및 전체 건중량, 측근의 직경을 조사하였다.

조사된 자료의 분석은 SAS 프로그램(SAS Institute Ins., 1999)의 PROC GLM과 PROC VARCOMP를 이용하여 분석하였다. 묘목크기별 단근강도에 따른 생장 차이는 Duncan의 다중검정을 통해 비교하였고, 묘목 크기간의 생장 차이는 t-test를 통해 검정하였으며, t-test 결과는 본문의 서술에서만 나타내었다.

결 과

묘목크기와 단근의 영향

묘목크기와 단근처리에 따른 이식 후 생장량의 차이를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 분산분석 결과 최종 근원경을 제외한 지상부 생장과 측근의 발달은 묘목 크기와 단근 강도에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이식 후 최종 묘고에서 묘목 크기는 전체 분산성분 중에 24.0%로 나타났으며, 단근은 11.7%로 나타났다. 수고 대 지상부 비(H/D ratio)는 전체 분산성분 중에 17.2%가 묘목 크기에 따른 차이에서, 13.8%는 단근에 따른 차이에서 기인하는 것으로 나타났다. 최종 줄기 건중량에서 단근은 전체 분산성분 중에 15.7%로 나타났으며, 묘목 크기는 9.3%로 나타났다. 측근의 발달은 대체적으로 묘목 크기에 따른 분산성분이 단근보다 더 높게 나타났는데, 측근의 수와 길이는 전체 분산 중에 각각 10.8%와 40.3%, 측근의 무게와 직경은 각각 22.3%와 22.8%로 나타났다. 지상부 대 지하부 비는 묘목크기가 전체 분산 중에 22.9%로 나타났고, 단근은 19.9%로 나타났으며, 묘목품질지수는 단근에 대해서만 20.3%의 분산성분이 나타났다.

지상부 생장

이식 전 묘목의 크기와 잔존 주근길이에 따른 지상부 생장 특성을 Table 3에 나타내었다. 초기 묘고가 큰 묘목군(Large size)에서 15 cm의 길이로 단근된 묘목의 묘고 증가량과 최종 묘고는 각각 58.6 cm와 90.5 cm로 나타나, 10 cm 및 5 cm로 단근된 묘목보다 우수한 묘고 성장량을

Table 2. ANOVA and variance component by seedling size and root pruning of *Quercus serrsate* after one growing season

	Above-ground				Lateral roots				T/R ratio	SQI
	Height	RCD	H/D ratio	Shoot DW	Number	Length	Weight	Diameter		
Seedling size	11350.4*** (24.0)	8.9 (3.4)	98.8*** (17.2)	381.9** (9.3)	35.2*** (10.8)	2769.8*** (40.3)	92.9*** (22.3)	73.9*** (22.8)	6.0*** (22.9)	5.4 (0.0)
Root pruning	5652.0*** (11.7)	4.0 (0.7)	73.2*** (13.8)	692.4*** (15.7)	2.3 (1.0)	110.2 (1.7)	6.6 (2.3)	9.1* (4.3)	2.7*** (19.8)	40.0*** (20.3)
Interaction	750.9 (2.3)	2.2 (0.2)	2.5 (0.0)	65.1 (1.6)	0.2 (0.0)	39.8 (0.5)	2.7 (0.6)	2.4 (1.0)	0.2 (1.6)	0.8 (0.0)

RCD : Root-collar diameter, H/D ratio : Height(cm) to diameter(mm), DW : Dry weight, SQI : Seedling quality index, () : Variance components(%).

*, **, *** indicated significant at P < 0.01, 0.001 and 0.0001, respectively.

Table 3. Height growth, root-collar diameter(RCD), shoot dry weight(DW), height to diameter ratio(H/D ratio) by different seedling size and root pruning intensities of *Quercus serrate* at the time of transplanting

Seedling size	Root pruning	Height (cm)			Final RCD (mm)	Final shoot DW (g)	H/D ratio (cm/mm)
		Initial	Increment	Final			
Large size	15 cm	31.9 ± 0.7 a ^z	58.6 ± 1.9 a	90.5 ± 1.9 a	7.7 ± 0.2 a	15.6 ± 0.8 a	11.8 ± 0.3 a
	10 cm	32.6 ± 1.0 a	48.5 ± 2.4 b	81.1 ± 2.5 b	7.5 ± 0.2 ab	11.4 ± 0.8 b	10.9 ± 0.3 b
	5 cm	28.9 ± 0.5 b	42.5 ± 3.1 b	71.4 ± 3.3 c	7.1 ± 0.2 b	9.7 ± 1.1 b	10.0 ± 0.3 c
	Mean	31.4 ± 0.5	51.4 ± 1.5	82.9 ± 1.5	7.5 ± 0.1	12.8 ± 0.5	11.1 ± 0.2
Small size	15 cm	18.7 ± 0.4 ns	53.2 ± 2.1 a	71.9 ± 2.1 a	7.1 ± 0.2 ns	11.9 ± 0.9 a	10.4 ± 0.3 a
	10 cm	19.2 ± 0.4	53.6 ± 2.5 a	72.8 ± 2.4 a	7.3 ± 0.2	10.8 ± 0.7 a	10.0 ± 0.3 a
	5 cm	18.7 ± 0.4	41.9 ± 1.9 b	60.6 ± 2.0 b	7.0 ± 0.2	7.0 ± 0.5 b	8.7 ± 0.2 b
	Mean	18.9 ± 0.3	49.2 ± 1.3	68.0 ± 1.3	7.1 ± 0.1	9.8 ± 0.5	9.7 ± 0.2
Pr > t ^y		< 0.0001	0.2289	< 0.0001	0.0113	< 0.0001	< 0.0001

^zDifferent letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

^yT-test result between large and small size.

나타내었다. 10 cm로 단근된 묘목의 묘고 증가량과 최종 묘고는 각각 48.5 cm와 81.1 cm로 나타났으며, 5 cm로 단근된 묘목의 묘고 증가량은 42.5 cm, 최종 묘고는 71.4 cm로 나타났다. 초기 묘고가 큰 묘목군에서 최종 근원경 증가량은 15 cm로 단근된 묘목이 7.7 mm로 나타나, 5 cm로 단근된 묘목의 7.1 mm 보다 우수하였으며, 최종 줄기 건조량 역시 15 cm로 단근된 묘목(15.6 g)이 가장 우수하게 나타났다. 묘고와 근원경 비는 15 cm로 단근된 묘목이 11.8로 나타났으며, 10 cm와 5 cm로 단근된 묘목은 각각 10.9와 10.0으로 나타나, 단근 강도별 차이가 나타났다.

초기 묘고가 작은 묘목군(Small size)에서 묘고 증가량은 15 cm로 단근된 묘목과 10 cm로 단근된 묘목이 각각 53.2 cm와 53.6 cm로 나타나, 두 단근 강도 간에 통계적 유의차가 나타나지 않았으며, 최종 묘고 역시 15 cm 및 10 cm로 단근된 묘목이 각각 71.9 cm와 72.8 cm로 차이가 없었다. 하지만 5 cm로 단근된 묘목은 묘고 증가량과 최종 묘고가 각각 41.9 cm와 60.6 cm로 15 cm 및 10 cm로 단근된 묘목보다 저조한 묘고 성장량을 나타내었다. 최종 근원경은 단근 강도간 차이가 나타나지 않았으며, 최종 줄기 건조량은 15 cm 및 10 cm로 단근된 묘목이 각각 11.9 g과 10.8 g으로 나타나, 5 cm로 단근된 묘목의 7.0 g보다 우수하였다. 묘고 대 근원경 비는 15 cm와 10 cm로 단근된 묘목이 서로 유사하게, 5 cm로 단근된 묘목이 다소 낮게 나타났다.

초기 묘고가 큰 묘목군과 작은 묘목군 간의 지상부 생장

량을 비교해 보면, 큰 묘목군의 묘고 증가량은 51.4 cm로 작은 묘목군의 49.2 cm와 차이가 없었다. 하지만 최종 묘고는 큰 묘목군이 82.9 cm로 작은 묘목군의 68.0 cm 보다 우수하게 나타났다($P < 0.0001$). 최종 근원경은 큰 묘목군(7.5 mm)이 작은 묘목군(7.1 mm) 보다 다소 크게 나타났으며($P = 0.0113$), 최종 건조량 역시 큰 묘목이 12.8 g으로 작은 묘목의 9.8 g 보다 크게 나타났다($P < 0.0001$). 묘고 대 근원경 비는 초기 묘고가 큰 묘목군이 11.1로 나타났으며, 초기 묘고가 작은 묘목군이 9.7로 나타나 두 묘목 크기군 간의 차이가 나타났다($P < 0.0001$).

지하부 생장

이식 시 묘목 크기와 단근 강도에 따른 주근의 건조량 및 직경과 측근의 발달 특성은 Table 4와 같다. 초기 묘고가 큰 묘목군(Large size)에서 15 cm로 단근된 묘목의 주근 건조량과 직경은 각각 13.9 g과 9.8 mm로 10 cm 및 5 cm로 단근된 묘목보다 우수한 것으로 나타났다. 10 cm로 단근된 묘목의 주근 건조량은 7.4 g으로 5 cm로 단근된 묘목의 3.8 g보다 컸지만, 직경은 차이가 나타나지 않았다. 한편, 단근된 주근에서 새롭게 발달한 측근은 수는 단근 강도 간에 차이가 나타나지 않았으며, 측근의 평균 길이와 전체 길이 발달은 10 cm로 단근된 묘목(평균: 13.8 cm, 전체: 52.2 cm)이 가장 우수하게 나타났다. 하지만 측근의 평균 및 전체 건조량과 측근의 직경은 단근 강도간 차이가 나타

Table 4. Final growth of taproot and newly developed lateral roots(LR) by difference seedling size and root pruning intensities of *Quercus serrate* at the time of transplanting

	Taproot	No. of LR	Length of LR(cm)		DW of LR(g)		Diameter of LR(mm)		
			DW(g)	Diameter (mm)	Average	Overall		Average	Overall
Large size	15 cm	13.9 ± 0.6 a ^z	9.8 ± 0.2 a	3.4 ± 0.2 ns	11.8 ± 0.4 b	40.3 ± 2.4 b	1.3 ± 0.1 ns	4.3 ± 0.4 ns	3.1 ± 0.1 ns
	10 cm	7.4 ± 0.4 b	8.9 ± 0.2 b	3.8 ± 0.2	13.8 ± 0.5 a	52.2 ± 3.7 a	1.3 ± 0.1	4.9 ± 0.5	3.0 ± 0.1
	5 cm	3.8 ± 0.4 c	8.5 ± 0.3 b	3.7 ± 0.3	13.5 ± 0.4 a	49.0 ± 4.5 ab	1.1 ± 0.1	3.9 ± 0.4	2.8 ± 0.1
	Mean	9.3 ± 0.5	9.2 ± 0.1	3.6 ± 0.1	12.9 ± 0.3	46.3 ± 2.0	1.2 ± 0.1	4.4 ± 0.3	3.0 ± 0.1
Small size	15 cm	12.5 ± 0.7 a	9.5 ± 0.3 a	2.8 ± 0.2 ns	18.8 ± 0.9 ns	52.3 ± 4.2 ns	2.7 ± 0.3 a	7.0 ± 0.7 ab	4.5 ± 0.3 a
	10 cm	8.1 ± 0.5 b	9.0 ± 0.3 a	3.0 ± 0.2	20.8 ± 0.9	61.4 ± 4.5	2.5 ± 0.2 ab	7.4 ± 0.7 a	4.0 ± 0.2 ab
	5 cm	3.1 ± 0.2 c	7.8 ± 0.2 b	3.0 ± 0.2	18.2 ± 0.8	52.5 ± 3.2	1.9 ± 0.2 b	5.2 ± 0.5 b	3.6 ± 0.1 b
	Mean	7.6 ± 0.4	8.7 ± 0.1	2.9 ± 0.1	19.2 ± 0.5	55.3 ± 2.3	2.3 ± 0.1	6.5 ± 0.4	4.0 ± 0.1
Pr > t ^y	0.0068	0.0328	< 0.0001	< 0.0001	0.0049	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

DW : Dry weight.

^zDifferent letters within the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

^yT-test result between large and small size.

나지 않았다.

초기 묘고가 작은 묘목군(Small size)에서 단근 강도별 주근의 건조량은 15 cm로 단근된 묘목이 12.5 g으로 가장 컸으며, 다음으로 10 cm로 단근된 묘목이 8.1 g, 5 cm로 단근된 묘목이 3.1 g 순으로 나타났다. 주근의 직경은 15 cm와 10 cm로 단근된 묘목이 각각 9.5 mm와 9.0 mm로 나타나, 15 cm로 단근된 묘목이 다소 크게 나타났지만, 통계적 유의차는 없었다. 하지만 5 cm로 단근된 묘목은 7.8 mm로 나타나, 15 cm 및 10 cm로 단근된 묘목보다 작게 나타났다. 측근의 수는 단근 강도간 차이가 없었으며, 측근의 평균 및 전체 길이 발달 역시 단근 강도간 차이가 나타나지 않았다. 15 cm로 단근된 묘목에서 측근의 평균 및 전체 건조량은 각각 2.7 g과 7.0 g으로 나타나, 10 cm로 단근된 묘목 2.5 g과 7.4 g과 큰 차이를 나타내지 않았다. 하지만 5 cm로 단근된 묘목은 1.9 g의 평균 건조량과 5.2 g의 전체 건조량을 나타내, 15 cm 및 10 cm로 단근된 묘목보다 저조한 측근 건조량을 나타내었다. 측근의 직경은 15 cm로 단근된 묘목이 4.5 mm로 나타나, 5 cm로 단근된 묘목의 3.6 mm보다 우수하게 나타났다.

묘목 크기간의 뿌리 발달 특성을 살펴보면, 초기 묘고가 큰 묘목군의 주근 건조량은 9.3 g으로 작은 묘목군의 7.6 g보다 크게 나타났으며($P = 0.0068$), 주근의 직경 역시 초기 묘고가 큰 묘목군(9.2 mm)이 작은 묘목군(8.7 mm)보

다 우수하게 나타났다($P = 0.0328$). 새롭게 발달한 측근의 수는 초기 묘고가 큰 묘목군이 3.7개로 작은 묘목군의 2.9개보다 많이 발달한 것으로 나타났다($P < 0.0001$). 하지만 측근의 평균 길이 및 건조량은 초기 묘고가 작은 묘목군이 초기 묘고가 큰 묘목군보다 우수하게 나타났다($P < 0.0001$). 또한 측근의 건조량 발달과 직경 역시 초기 묘고가 작은 묘목군이 큰 묘목군보다 크게 나타났다($P < 0.0001$).

고 찰

지상부 생장

이식 시 초기 묘목의 크기는 최종 묘목의 지상부 및 뿌리 발달에 다양한 변화를 일으키는 주된 요인으로(Table 2), 이식 후 최종 묘고는 이식 당시 묘고가 큰 묘목이 작은 묘목보다 22% 이상 우수한 것으로 나타났으며, 최종 근원경과 줄기 건조량도 초기 묘고가 큰 묘목군이 작은 묘목군보다 우수하게 나타났다(Table 3). 이는 루브라 참나무의 조림 시 8 mm 이상의 근원경과 50 cm 이상의 큰 묘목을 가진 묘목이 작은 묘목보다 우수한 생장을 보였다는 연구결과(Johnson, 1992; Pope, 1993)와 일치하였으며, 다양한 활엽수 수종에서도 동일한 결과가 나타났다(Kormanik, 1986; Dierauf and Garner, 1996; McNabb and Vanderschaaf, 2005).

단근 강도별 지상부 성장에서는 단근의 강도가 강해질수록 지상부의 생장은 저조한 것으로 나타났으며(Table 3), 이러한 결과는 단근이 지상부의 성장 저하를 초래한다는 다양한 선행연구와 일치한다(Larson, 1975; Geisler and Ferree, 1984; Humphries, 1958; McArtney and Ferree, 1999; Andersen *et al.*, 2000; Farmer and Pezeshki, 2004). 하지만 단근 강도별 성장 반응에서 초기 묘고가 큰 묘목과 작은 묘목은 다소 상이한 결과를 나타내었는데, 묘고가 큰 묘목군은 15 cm 단근 처리구가 가장 우수한 지상부 성장을 나타내었지만, 작은 묘목은 15 cm 단근 처리구와 10 cm 단근 처리구가 서로 유사한 지상부 성장을 나타내었다(Table 3). 이는 큰 묘목이 작은 묘목보다 더 많은 수분흡수가 요구되기 때문에(Rose and Haase, 2005) 나타난 결과라 생각된다. 이식된 졸참나무 1-0묘가 충분한 수분흡수를 통한 우수한 지상부 성장과 이식 작업의 효율성 등을 감안할 때, 이식 당시 묘고가 26 cm 이상의 묘목은 15 cm 이상의 주근이 잔존하여야 하며, 초기 묘고가 24 cm 이하의 묘목은 10 cm 이상의 주근이 잔존되어야 하는 것으로 판단된다.

지하부 성장 및 묘목의 품질평가

이식 후 주근의 재생산과 새로운 측근의 발달은 단근의 영향보다는 초기 묘목 크기의 차이에서 기인된 것으로 나타났다(Table 2). 이식 전 단근된 주근의 건중량은 큰 묘목과 작은 묘목이 동일하였지만(Table 1), 최종 건중량은 초기 묘고가 큰 묘목이 작은 묘목보다 우수하게 나타났다. 또한 주근의 직경도 크게 나타났으며, 새롭게 발생한 측근의 수 역시 큰 묘목이 작은 묘목보다 많았다(Table 3). 참나무류에 있어 지상부 및 뿌리의 재생산은 비구성 탄수화물(Non-structural Carbohydrate; NSC)에 의해 좌우되는데(Richardson, 1956), Lusk and Piper(2007)는 묘목의 수고가 클수록 NSC의 함량이 많아지며, 높은 비축율을 보인다고 하였다. 따라서 본 연구에서도 초기 묘고가 큰 묘목이 작은 묘목보다 우수한 지상부 성장을 비롯한 뿌리 재생산량이 더 많았을 것으로 판단된다. 하지만 측근의 길이, 무게 및 직경의 발달은 묘고가 작은 묘목이 큰 묘목보다 우수하였는데, 이는 단근으로 인한 뿌리 손실량이 더 많고(Table 1), 저조한 주근의 재생산량과 측근수(Table 4)를 나타내는 작은 묘목이 생육에 필요한 수분과 양분의 흡수를 위해 더 왕성한 측근의 길이 발달을 한 결과이며, 뿌리대 줄기 비의 불균형을 극복하기 위한 노력으로 간주된다

(Farmer and Pezeshki, 2004). 이러한 결과는 단근 강도에 따른 측근의 발달에서도 나타나는데, 이식 시 5cm의 주근만이 잔존된 묘목이 그 이상의 주근이 잔존된 묘목에 비해 비록 주근의 재생산량은 저조하였지만, 측근의 수 발생을 비롯한 측근의 발달은 유사하게 나타났다(Table 4). 이는 이식 후 측근의 왕성한 발달을 위해서는 단근의 길이를 조절해야 한다는 것을 의미이며, 본 연구결과 10cm의 길이가 적절한 것으로 판단된다.

주측근(First-order lateral root; FOLR)은 뿌리 구조의 뼈대를 제공하고, 2차근 혹은 더 많은 측근의 새로운 분화를 위한 공간을 제공하며, 수분과 양분의 흡수 활동(Thompson and Schultz, 1995; Glass, 2002)을 하는 등 임목의 성장에 큰 역할을 한다. Ruehle and Kormanik(1986)는 루브라 참나무 묘목의 품질 평가를 위해 주근에서 분화한 1 mm 이상의 주측근의 수를 이용하고자 제안하였으며, 이후 다양한 연구들에서 주측근이 묘목의 조림 성적과 높은 정의 상관관계가 보고되어 있다(Thompson and Schultz, 1995; Dey and Parker, 1997; Ponder, 2000; Ward *et al.*, 2000). 따라서 주측근의 수를 측정하는 것은 조림된 묘목의 경쟁력을 평가할 수 있는 가장 좋은 인자로 평가되고 있다(Dey and Parker, 1997; Kormanik *et al.*, 1988). 하지만 주측근의 수가 이식된 묘목의 생존 및 성장과 묘목의 품질을 평가하는 최적의 요인이 아니라는 지적이 있다. 왜냐하면, 주측근의 수를 측정하는 것은 각 측근의 직경과 길이 등 전체적인 뿌리 구조의 정확한 특징을 알 수 없다는 결점이 있기 때문이다(Jacobs *et al.*, 2005). 본 연구에서도 이식 당시 묘고가 큰 묘목은 작은 묘목보다 주측근의 수는 많았지만, 측근의 길이와 건중량, 직경은 작아서로 상반된 결과를 보였다(Table 4). 따라서 주측근의 수만을 단일 변수 사용하여 참나무류의 성장을 예측하는 것보다는 지상부의 형태적 속성 뿐만 아니라 측근의 발달 등 다양한 인자들을 복합적으로 고려하는 것이 필요하다고 생각된다. 이러한 고려 인자들의 결합은 단일 인자를 사용한 것보다 더 나은 성장 예측을 제공할 수 있을 것이다(Thompson and Schultz, 1995; Dey and Parker, 1997).

적 요

본 연구는 졸참나무의 건전한 1-1 조림용 묘목을 생산하기 위해 초기 묘고가 다른 묘목에서 적절한 단근의 강도를

구명하기 위해 실시하였다. 이를 위해 1-0 노지묘의 크기를 구분하여 단근(5, 10, 15 cm)을 실시하였다. 1년의 생육기간이 지난 시점에서 묘고를 비롯한 지상부 성장량과 주근 및 측근의 발달 특성을 비교 분석하였다. 지상부의 생장은 초기 묘목 크기와 단근에 의해 다양한 차이가 나타났으며, 측근의 발달은 묘목 크기에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 초기 묘고가 큰 묘목군에서는 15 cm로 단근된 묘목이 가장 우수한 지상부 성장량을 나타내었으며, 초기 묘고가 작은 묘목군에서는 15 cm와 10 cm로 단근된 묘목이 우수한 성장량을 나타내었다. 묘목 크기에 따른 생장은 초기 묘고가 큰 묘목이 작은 묘목보다 우수한 지상부 성장을 나타내었으며, 주근의 재생산량과 새롭게 발달된 측근의 수도 많았다. 하지만 측근의 길이 및 무게 생장은 작은 묘목이 더 많았다. 결론적으로 본 연구결과를 종합해 보면, 고품질의 묘목을 생산하기 위해서는 묘고가 큰 1-0묘를 생산하는 것이 다양한 장점을 가지며, 초기 묘고가 26 cm 이상의 큰 묘목은 15 cm로 단근하고, 초기 묘고가 24 cm 이하의 묘목은 10 cm로 단근하는 것이 가장 이상적인 단근 길이라고 판단된다.

인용문헌

- Anderson, L., H.N. Rasmussen and P.E. Brander. 2000. Regrowth and dry matter allocation in *Quercus robur*(L.) seedlings root pruned prior to transplanting. *New For.* 19:205-214.
- Bayala, J., M. Dianda, J. Wilson, S.J. Quedraogo and K. Sanon. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso West Africa. *New Forest* 38:309-322.
- Bayley, A.D. and J.W. Kietzka. 1997. Stock quality and field performance of *Pinus patula* seedlings produced under two nursery growing regimes during seven different nursery production periods. *New Forest* 13:341-356.
- Bouma, T.J., K.L. Nielson and B. Koutstaal. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. *Plant Soil* 218:185-196.
- Burdett, A.N., L.J. Herring and C.F. Thompson. 1984. Early growth of planted spruce. *Can. J. For. Res.* 14:644-651.
- Castle, W.S. 1983. Antitranspirant and root and canopy pruning effects on mechanically transplanted eight-year old 'Murcott' citrus trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:981-985.
- Costa, C., L.M. Dwyer, C. Hamal, D.F. Muamba, X.L. Wang, L. Nantais and D.L. Smith. 2001. Root contrast enhancement for measurement with optical scanner-based image analysis. *Can. J. Bot.* 79:23-29.
- Clark, S.L., S.E. Schlarbaum and P.P. Kormanik. 2000. Visual grading and quality of 1-0 northern red oak seedlings. *South J. Appl. For.* 21:93-97.
- Cleary, B.D., R.D. Greaves and P.W. Owston. 1978. Seedlings. In Cleary B.D., R.D. Greaves and R.K. Hermann (eds.), *Regenerating Oregon's Forests*, Oregon State Univ. Extension Service, Corvallis, OR (USA). pp. 63-68.
- Crow, T.R. 1988. Reproductive mode and mechanisms for self replacement of northern red oak (*Quercus rubra*)—a review. *For. Sci.* 34:19-40.
- Davis, A.S. and D.F. Jacobs. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forest* 30:295-311.
- Dey, D.C. and W.C. Parker. 1997. Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings underplanted in a central Ontario shelterwood. *New Forest* 14:145-156.
- Dierauf, T.A. and J.W. Garner. 1996. Effect of initial root collar diameter on survival and growth of yellow-poplar seedlings over 17 years. *Tree Planters' Notes* 47:30-33.
- Duryea, M.L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. In Duryea, M.L. (ed.), *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests*. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR (USA). pp. 1-6.
- Farmer, J.W. and S.R. Pezeshki. 2004. Effects of periodic flooding and root pruning on *Quercus nuttallii* seedlings. *Wetlands Ecol. Manage.* 12:205-214
- Geisler, D. and D.C. Ferree. 1984. The influence of root pruning on water relations, net photosynthesis and growth of young 'Golden Delicious' apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 827-831.
- Glass, A.D.M. 2002. Nutrient absorption by plant roots: regulation of uptake to match plant demand. In Waisel Y., A. Eshel and U. Kafkafi (eds.), *Plant Roots: The Hidden Half*, 3rd ed., Marcel Dekker Inc., New York (USA). pp. 571-586.
- Grossnickle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forest* 30:273-294.
- Humphries, E.C. 1958. Effect of removal of a part of the root system on the subsequent growth of the root and shoot. *Ann. Bot.* 22:251-257.
- Jacobs, D.F. and J.R. Seifert. 2004. Re-evaluating the significance of the first-order lateral root grading criterion for hard-

- wood seedlings. *In Proc*, 14th Central Hardwood Forest Conference. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-316, MN (USA). pp. 382-388.
- Jacobs, D.F., K.F. Salifu and J.R. Seifert. 2005. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forest* 30:235-251.
- Johnson, P.S. 1992. Underplanting northern red oak in Missouri without herbicides. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-152, MN (USA).
- Johnson, P.S., S.L. Novinger and W.G. Mares. 1984. Root, shoot, and leaf area growth potentials of northern red oak planting stock. *For. Sci.* 30:1017-1026.
- Kormanik, P.P. 1986. Lateral root morphology as an expression of sweetgum seedling quality. *For. Sci.* 32:595-604.
- Kormanik, P.P., J.R. Rühle and H.D. Muse. 1988. Frequency distribution of seedlings by first order lateral roots: a phenotypic or genotypic expression. *In Proc*. 31st Northeastern Forest Tree Improvement Conference University Park, University Park, PA (USA). pp. 181-187.
- Larson, M.M. 1975. Pruning northern red oak seedlings: effects on root regeneration and early growth. *Can. J. For. Res.* 5:381-386.
- Lusk, C.H. and F.I. Piper. 2007. Seedling size influences relationships of shade tolerance with carbohydrate-storage patterns in a temperate rainforest. *Funct. Ecol.* 21:78-86.
- Mattsson, A. 1997. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forest* 13:227-252.
- McArtney, S.J. and D.C. Ferree. 1999. Root and cane pruning affect vegetative development, fruiting and dry-matter accumulation of grapevines. *Hort. Sci.* 34:617-621.
- McNabb, K. and C. Vanderschaaf. 2005. Growth of graded 3 years after root and shoot pruning. *New Forest* 29:313-320.
- Nambiar, E.K.S. and R. Sands. 1993. Competition for water and nutrients in forests. *Can. J. For. Res.* 23:1955-1968.
- Ponder, F. Jr. 2000. Survival and growth of planted hardwoods in harvested openings with first-order lateral root differences, root dipping, and tree shelters. *North. J. Appl. For.* 17:45-50.
- Pope, P.E. 1993. A historical perspective of planting and seeding oak. Progress, problems and status. *In* Loftis D.L. and C.E. McGee (eds.), *Proc. Oak Regeneration: Serious problems, practical recommendations*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. SE-84, NC (USA). pp. 224-240.
- Racey, G.D. 1985. A comparison of plating stock characterization with root area index, volume, and dry weight. *For. Chron.* 61:64-70.
- Richardson, S.D. 1956. On the role of the acorn in root growth of American oak seedlings. *Mededelingen van de Landbouwhogeschool, Wageningen.* 56:1-18.
- Rose, R. and D.L. Haase. 2005. Root and shoot allometry of bare-root and container Douglas-fir seedlings. *New Forest* 30:215-233.
- Rose, R., D.L. Haase, F. Kroiher and T. Sabin. 1997. Root volume and growth of ponderosa pine and Douglass-fir seedlings: a summary of eight growing seasons. *Western J. Appl. For.* 12:69-73.
- Rose, R., W.C. Carlson and P. Morgan. 1990. The target seedling concept. *In* Rose, R., S.J. Cambell and T.D. Landis (eds.), *Proc. Combined meeting of the Western Forest Nursery Associations*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RM-200, CO (USA). pp. 1-8.
- Rühle J.L. and P.P. Kormanik. 1986. Lateral root morphology: a potential indicator of seedling quality in northern red oak. USDA For. Ser., Southeastern Forest Exp. Sta., Research Note p. 6.
- Russell, T.E. 1973. Survival and growth of bar-slit planted northern red oak studied in Tennessee. *Tree Planters' Notes* 24:6-9.
- SAS Institute Inc., 1999. *Statistical Analysis system's User's Guide Basics*, Version, 8.2 (ed.). SAS Institute Inc., Cary, NC (USA).
- Schultz, R.C. and J.R. Thompson. 1990. Nursery practices that improve hardwood seedling root morphology. *Tree Planters' Notes* 41:21-32.
- Simpson, D.G. 1992. Root pruning of bareroot white spruce planting stock does not affect growth or survival after six years. *Tree Planters' Notes* 43:4-6.
- Thompson, J.R. and R.C. Schultz. 1995. Root system morphology of *Quercus rubra* L. planting stock and 3-year field performance in Iowa. *New Forest* 9:225-236.
- Ward, J.S., M.P.N. Gent and G.R. Stephens. 2000. Effects of planting stock quality and browse protection-type on height growth of northern red oak and eastern white pine. *For. Ecol. Manage.* 127:205-216.
- Zaczek, J.J., K.C. Steiner and T.W. Bowersox. 1997. Northern red oak planting stock: 6-year results. *New Forest* 13:177-191.
- 산림청. 2012. 종묘사업실시요령. 예규611호 p. 29.

(Received 14 March 2013 ; Revised 26 July 2013 ; Accepted 2 August 2013)