

Effect of Minimum Night Temperature on Growth of Seedlings of *Pinus densiflora* and *Betula platyphylla* in Container Culture during Winter Season¹⁾

Kim, Jong Jin^{1*} · Sung Gak Hong¹ · Jong Kyu Yoon² · Taek Seong Yoon²

¹Dept. of Forest and Environmental Science, Konkuk Univ., Seoul 143-701, Korea

²Chungbu Forest Expt. Station, Forest Res. Inst., Pocheon 487-820, Korea

Abstract

This study was carried out to investigate the effect of minimum night temperature in the PE house on growth of seedlings of *Pinus densiflora* and *Betula platyphylla* in winter season. The experiment was performed with three minimum night temperature regimes, 5~8°C, 10~13°C and 15~18°C. The temperature regimes were maintained for 8 weeks (to April 6) after germination peak, and then were broken by increasing natural temperature. The temperature did not affect the germination rate but delayed the germination by 10 days. Height, root collar diameter growth, and dry weight of two species were reduced by relatively low night temperature. The reduction was more obvious in the dry weight of above the ground measured at 8 weeks after germination. The seedlings grown for 8 weeks at 5~8°C showed the lowest T/R ratio. It was also observed that the height growth response in *Betula platyphylla* seedlings to relatively low temperature was more sensitive than *Pinus densiflora*.

Key words: container culture, minimum night temperature, early growing stage, growth response, T/R ratio

*Corresponding author

¹⁾본 연구는 농림부 · 농림기술관리센터 첨단연구과제(과제번호 295158-5) 연구비지원으로 수행되었음.

서 언

임업 시설양묘는 주로 핀란드, 노르웨이, 스웨덴 등 북유럽국가와 캐나다에서 시작되었다. 이들 고위도 지역에서는 수목의 생육기간이 짧아 양묘기간이 길며 이 기간을 단축하기 위한 것이 임업 시설양묘의 주목적이다(Räsänen, 1982). 상기한 국가들에서는 시설물을 이용한 묘목생산이 일반화되어 있고 캐나다의 경우 시설양묘가 45%를 차지하고 있을 정도이다. 우리나라에서는 1980년대 말에 소개되었지만(Oh 등, 1988) 최근에 동해안 산불 피해지에 식재된 5백만 그루 이상의 소나무 묘목 생산이 본격적인 시설양묘의 시작이라고 할 수 있다.

시설양묘는 노지양묘와는 달리 묘목의 생육환경제어가 가장 중요한 요소 중 하나이다(Edwards와 Huber, 1982). 따라서 건전한 묘목의 생산을 위해서는 용기의 종류, 배양토의 선택, 파종방법 및 시비체계 등 합리적

인 생산체제의 수립과 더불어 수분, 광도, 광주기, 온도조절 등 재배환경 조절이 필수적이기 때문에 이에 대한 많은 연구가 수행되어져 왔다(Arnott와 Macey, 1985; Landis 등, 1992). 우리나라의 경우 위에서 언급했듯이 임업 시설양묘의 역사가 짧아 이에 대한 연구가 많지 않은 실정이다(Kim과 Hong, 1998; Kim 등, 1998; Hong 등, 2000).

시설양묘에서의 토양 및 대기의 환경조건은 다양한 식재지 환경 및 식재시기 요구에 부응할 수 있고 연중 묘목생산이 가능하도록 설계·운영되어진다. 근래에 들어 식재비용의 증대, 산화지 복구조립 등으로 우리나라에서도 식재시기가 다양해지고 있으며 겨울 양묘의 증가가 예상된다. 따라서 본 연구는 겨울철 시설하우스를 가온하기 위해 요구되는 에너지 소비량을 감소하기 위한 연구의 일환으로 소나무와 자작나무를 공시수종으로 겨울철 시설양묘시 묘목 생육에 제한 요인이 되는 야간 최저온도의 범위를 밝히고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구의 공시수종은 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)와 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica* Hara)였으며, 임업연구원 중부임업시험장으로부터 제공 받은 종자를 이용하였다. 소나무 종자는 1g당 평균 98개, 자작나무는 0.1g당 평균 330개이었다. 1998년 1월 20일에 피트모스, 펄라이트 및 질석을 1:1:1(v/v) 비율로 혼합한 배양토를 담은 각각 2.5 cm × 2.5 cm × 12 cm(소나무), 4 cm × 4 cm × 15 cm(자작나무) 크기의 플라스틱 포트에 정선한 소나무는 2립, 자작나무는 10립을 각각 파종하였다. 파종한 포트는 야간 최저온도가 5~8°C, 10~13°C 및 15~18°C로 설정한 2중 피복 PE house에 배치하였으며 시설내 온도조절은 경유 온풍기를 이용하였다. 각 처리별 주간온도는 동일하였으며 일장은 16시간으로, 장일처리시 추가광도는 나트륨등(400W, Lucalox, USA)을 이용 약 30 μmol · m⁻² · s⁻¹ (PAR) 수준을 유지시켰다.

발아 후 각 포트별 식물체는 육안으로 건전하고 균일한 유묘 1본만을 남기고 제거하였다. 관수는 주 2~3회 충분한 양을 공급하였으며 유묘 발아 1개월 후부터 하이포넥스[Hyponex Japan (주); N-P-K, 5-10-5]를 질소기준으로 12.5 μg · L⁻¹로 농도를 조절하여 시비하였으며, 2개월 이후부터는 질소기준으로 50 μg · L⁻¹ 농도로 시비하였다. 소나무의 경우 각 포트를 100개씩 담은 6개의 플라스틱 상자를, 자작나무의 경우에는 36개의 포트를 담은 상자 6개씩을 각각의 처리구에 배치하였다. 각 처리별로 약 16주 동안 묘목의 수고생장과 근원경생장 변화를 조사하였으며, 생장 8주 및 16주 후의 지상부와 지하부 건중량을 조사하였다. 각 처리별 처리구의 평균값은 'Anova'로 검정하였다.

결 과

시설내 겨울철 야간최저온도는 파종일 이후 3월까지 는 실험설계대로 최저온도체계(5~8°C, 10~13°C, 15~18°C)가 유지되었으나, 4월 6일 이후에는 자연 야간온도의 상승으로 상기 온도체계가 유지되지 않았다. 따라서 발아 최성기 후 약 8주까지는 각 처리별로 실험계획 온도에서 생육하였으며 4월 6일 이후에는 동일한 온도조건(야간최저온도 15°C 이상)에서 생육하였다. 본

실험이 진행된 시설내 겨울철 주간온도 변화범위는 16~38°C로 관측되었다.

소나무 종자의 발아율은 실험한 온도범위에서는 영향을 받지 않았고 전체적으로 90% 이상이었으며, 자작나무 종자도 처리 온도에 따른 유의성이 나타나지 않은 15~25%의 발아율을 보였다. 그러나 발아기간에서는 Hong 등(2000)이 두 수종을 봄에 파종하여 발아에 약 10일이 소요된다고 보고한 내용보다 10여일이 낮은 것으로 조사되었다.

소나무의 1차엽 발생에서는, 야간 최저온도 15~18°C로 조절된 처리에서 5~8°C의 소나무보다 3~4일 정도 빨랐으며, 5~8°C와 10~13°C의 처리에서는 발생 시기에 큰 차이가 없었다.

소나무의 수고생장은 10~13°C와 15~18°C로 야간온

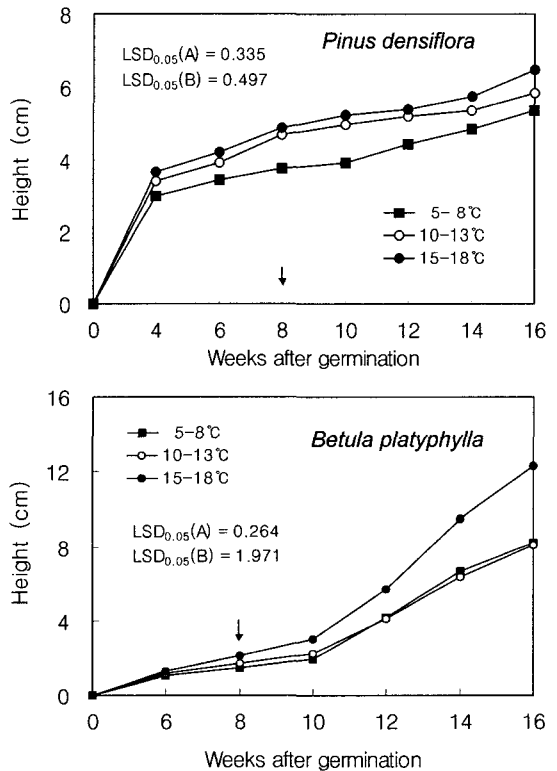


Fig. 1. Effect of minimum night temperature on increase of plant height of *Pinus densiflora* and *Betula platyphylla* seedlings in container culture. ↓ indicates the ending time (April 6) of minimum night temperature treatment. LSD_{0.05} in each figure indicates the least significant difference at 5% level. (A) and (B) mean the values measured at 8 weeks and 16 weeks after germination, respectively.

도를 조절한 처리에서 발아 후 12주까지 큰 차이가 나타나지 않았으나 그 이후부터 생장차이가 나기 시작하여 16주에서는 통계적인 차이가 인정되었다(Fig. 1). 5~8°C로 야간온도를 조절한 처리의 소나무는 다른 두 온도 처리에서보다 발아 4주 이후의 생육이 저조하였으며, 그 이후 차이가 다소 적어졌으나 통계적인 차이

가 인정되었다. 한편, 자작나무의 수고생장은, 8주까지의 생육초기에는 온도차이에 따른 생장차이가 크지 않았으나 10주 이후부터 상대적으로 고온인 15~18°C에서 다른 두 온도 처리구에 비하여 뚜렷하게 빠른 생장을 보였다.

소나무 근원경생장의 경우 8주까지는 15~18°C에서 다소 생장이 좋았으나 처리온도사이에 큰 차이가 없었고, 자작나무에서는 15~18°C에서의 근원경이 1.31 mm로 각각 1.13 mm, 1.07 mm를 기록한 10~13°C, 5~8°C 보다 생장차이가 뚜렷하였다(Fig. 2). 한편 생육 16주 후의 근원경생장은 두 수종 모두 15~18°C에서 생장이 뚜렷하게 높았다.

발아 8주 후의 건물중은 소나무와 자작나무 모두 상대적 고온에서 무거웠다. 이러한 양상은 지하부보다 지상부 건물중에서 뚜렷하였으며 특히 소나무 지상부에서 그 차이가 컸다(Table 1). 소나무의 경우 10~13°C와 5~8°C에서 지하부 건물중에서는 큰 차이가 없었으나 지상부 건물중은 10~13°C에서 약 2배 정도로 높았다. 자작나무는 같은 기간에서의 온도차이에 따른 수고 및 근원경생장 차이가 크지 않았으나(Figs. 1, 2) 건물중에서는 차이가 현저하였다. 한편 16주 후의 소나무의 건물중은 5~8°C와 10~13°C 처리에서는 차이가 없었으나 15~18°C에서는 다른 두 처리에서보다 큰 차이를 보여 지상부와 지하부에서 높은 건물중을 보였다. 자작나무는 수고나 근원경생장에서와 유사하게 건물중에서도 처리간 그 차이가 뚜렷하게 관찰되었다.

생육 8주 후의 T/R율을 보면 5~8°C로 야간온도를 조절한 처리에서의 소나무, 자작나무가 1.36과 1.77로 조사되었고 지하부 생장에 비해 지상부 생장이 적은

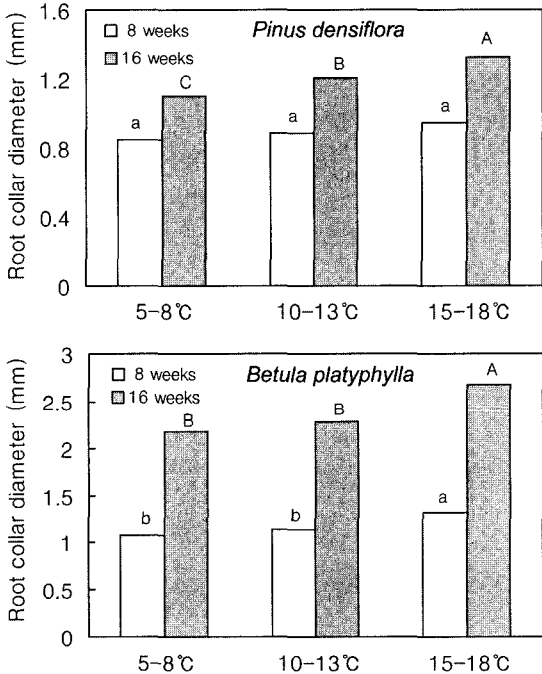


Fig. 2. Effect of minimum night temperature on increase of plant root collar diameter of *Pinus densiflora* and *Betula platyphylla* seedlings in container culture. Different letters above bar indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

Table 1. Effect of minimum night temperature on the changes of dry weight and T/R ratio of *Pinus densiflora* and *Betula platyphylla* seedlings in container culture.

Species	Minimum temperature (°C)	8 weeks after germination			16 weeks after germination		
		Dry weight (g)		T/R	Dry weight (g)		T/R
		Top	Root		Top	Root	
<i>Pinus densiflora</i>	5~8	0.057c*	0.042b	1.36b	0.130b	0.075b	1.74a
	10~13	0.109b	0.044b	2.46a	0.135b	0.078b	1.73a
	15~18	0.144a	0.060a	2.39a	0.202a	0.099a	2.05a
<i>Betula platyphylla</i>	5~8	0.025c	0.014b	1.77b	0.249b	0.131b	1.94a
	10~13	0.035b	0.017b	2.09a	0.291b	0.138b	2.12a
	15~18	0.051a	0.023a	2.20a	0.434a	0.221a	2.00a

*Different letters in each column within each species indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

것으로 나타났다. 10~13°C와 15~18°C에서도 소나무는 각각 2.46과 2.39를, 자작나무는 2.09와 2.20을 나타내었다. 16주 후의 T/R율은 10~13°C와 5~8°C에서의 소나무가 1.73과 1.74로 서로 비슷하여 야간 온도처리에 대해 지상부 생장이 지하부 성장보다 더 영향을 받은 것으로 판단되었다. 자작나무는 수고, 근원경생장, 건중량에서의 차이와는 달리 1.94~2.12의 비슷한 결과를 나타내었다.

고 찰

겨울철 시설양묘시 정상적인 묘목생육을 위하여는 식물생육에 적합하도록 환경이 조절되어야 하며 이중 온도는 생육에 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 온도는 식물대사과정에 영향을 주어 생장에 많은 영향을 미친다. 묘목의 생육에 필요한 최상의 온도는 수종, 생태형, 성장단계에 따라 다르고 생육 최저(minimum), 최고(maximum) 및 적정(optimum)온도로 설명되고 있다(Landis 등, 1992). 한편 대부분의 온대지방의 침엽수 묘목들은 10°C 이하의 저온 조건에서는 거의 생장을 하지 못하며, 15°C까지는 느린 속도의 생장을 보이다가 적정온도 범위인 18~30°C에서 지속적이며 빠른 생장을 한다(Landis 등, 1992).

이와 같은 온도와 성장과의 관계를 고려하여, 겨울철 양묘시 정상적인 생육이 이루어질 수 있는 최저온도를 구명하고자 실시한 본 실험에서 설정된 야간 최저온도 5~8°C, 10~13°C 및 15~18°C에서의 묘목생장을 보면 온도가 상대적으로 낮아짐에 따라 저조하였다. 비록 처음에 설계된 온도체계가 발아 후 8주까지만 유지되었고 그 후로는 자연온도의 상승으로 설정 온도가 유지되지는 않았지만 발아 후 초기 8주 동안의 낮은 온도처리 결과가 두 수종의 생장에 큰 영향을 끼친 것으로 나타났다(특히, 8주 동안의 지상부 건중량). 임업시설양묘의 경우 양묘 시작시기가 식재시기 또는 목적에 따라 다양하게 요구되고 있는 현실을 고려할 때, 본 실험에서의 시작시기에 따른 야간 온도체계 유지는 본 실험 목적에 큰 무리는 없었다고 사료된다.

대부분의 수목종자의 발아 최적온도는 22~24°C로 알려져 있지만(Barnett, 1979; McLemore, 1966), 본 실험의 경우 처리온도에 따른 공시종자의 발아율 차이는 관찰되지 않았으며 발아기간이 길어지는 특징을 보

였다. 자작나무의 경우 15~25%로 발아율이 낮았는데 종자의 충실율에 따른 결과라고 판단되었다.

본 실험에서 상대적으로 낮은 온도에서의 저조한 생장은 두 수종 모두에서 관찰되었지만, 성장 양상은 수종에 따라 다소 달랐다(Figs. 1, 2, Table 1). 특히, 상대적으로 낮은 온도에 보다 민감하게 반응한 자작나무의 수고생장의 결과는 근원경생장, 건중량에 그 영향이 이어진 것으로 사료되어 겨울철 양묘시 설정해야 하는 최저 온도범위의 중요성을 보여주고 있다. 미국의 자작나무 시설양묘시 생육초기 단계의 적정온도를 주·야간 공히 21~27°C로 보고되고 있는데, 소나무류의 주간 20~28°C, 야간 15~25°C의 경우보다 야간의 온도를 5°C 이상 더 높게 설정하고 있다(Landis 등, 1992).

위와 같은 결과는 시설양묘시 야간 최저온도의 설정은 양묘 수종에 따라 다르게 해야 하는 것을 의미하고 있다. 비록 침·활엽수 각각 한 수종을 대상으로 한 본 실험의 결과이지만 우리나라에서 겨울철 시설양묘시 유지해야되는 야간 최저온도가 최소한 15°C 이상은 되어야만 묘목의 정상적인 생육이 가능하리라는 것을 보여주고 있다. 묘목비 산정에 크게 영향을 주고 있는 에너지 비용, 특히 겨울철 양묘시 투입되는 에너지 비용을 고려할 때, 생육에 필요한 야간의 최저온도에 관한 보다 많은 연구자료 구축작업은 우리나라 임업 양묘산업에 있어 중요한 자료로 사료된다.

Literature cited

1. Arnott, J.T. and D.E. Macey. 1984. Effect of supplemental light intensity on white spruce, engelmann spruce, and mountain hemlock seedlings grown under an extended photoperiod. *Can. J. For. Res.* 15:295-300.
2. Barnett, J.P. 1979. Germination temperatures for container culture of southern pines. *Southern J. of Applied Forestry* 3:13-14.
3. Edwards, I.K. and R.F. Huber. 1982. Contrasting approaches to containerized seedling production. p. 123-127. In: J.B. Scarratt, C. Glerum, C.A. Plexman (eds.). *Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium*. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre, Ontario.
4. Hong, H.P., M.B. Lee, J.G. Yoon, J.J. Lee, T.S. Yoon, W.K. Kim, S.G. Hong, J.J. Kim, J.H. Lee, J.S. Lee, S.J. Chung, and K.S. Kim. 2000. Development of seedlings mass production method by containerized

소나무, 자작나무의 겨울철 시설양묘시 생장초기 야간최저온도

- seedling production system. Research Report to Ministry of Agriculture and Forestry (in Korean). 400p.
- Kim, J.J. and S.G. Hong. 1998. Effects of UV-B radiation and water stress on hardening phase growth of container-grown *Betula platyphylla* seedlings. J. Korean For. Soc. 87:601-610.
 - Kim, J.J., S.G. Hong, and H.P. Hong. 1998. Studies on the optimum photoperiod and light intensity during extended photoperiod of containerized seedlings of *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis* and *Betula platyphylla*. FRI. J. For. Sci. 58:135-145.
 - Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett. 1992. The container tree nursery manual. vol. 3. Atmospheric environment. USDA Forest Service Agric. Handbook 674, Washington, DC. p. 7-121.
 - McLemore, B.F. 1966. Temperature effects on dormancy and germination of loblolly pine seed. Forest Sci. 12:284-289.
 - Oh, J.S., M.B. Lee, and S.G. Hong. 1988. Studies on containerized tree seedling nurseries and the methods of growing trees in containers. Res. Rep. For. Res. Inst. (in Korean). 36:1-9.
 - Rasanen, P.K. 1982. Containerized forest tree seedling production and development prospects in Finland and Scandinavia. p. 9-17. In: J.B. Scarratt, C. Glerum, C.A. Plexman (eds.). Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre, Ontario.
 - Tinus, R.W. 1982. Environmental control of seedling physiology. p. 75-82. In: J.B. Scarratt, C. Glerum, C.A. Plexman (eds.). Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre, Ontario.

소나무, 자작나무의 겨울철 시설양묘시 생장초기 야간최저온도

김종진^{1*} · 홍삼각¹ · 윤종규² · 윤택승²

¹건국대학교 산림환경과학과, ²임업연구원 중부임업시험장

적 요

겨울철 소나무와 자작나무의 시설양묘시 생육에 필요한 야간 최저온도를 구명하고자 최저온도가 각각 5~8°C, 10~13°C 및 15~18°C로 설정된 2중 피복 PE house에서 실시하였다. 설정된 온도체계는 발아 최성기 후 약 8주(4월 6일) 정도까지 유지되었으며 그 후에는 자연 온도의 상승으로 야간 온도체계를 유지할 수 없었다. 온도 처리에 따른 발아율의 차이는 없었으나 발아속도는 10여일 늦어졌다. 두 수종 모두 온도가 낮아짐에 따라 수고생장, 근원경생장 및 건중량이 감소하였다. 특히 발아 8주 후의 지상부 건중량에서 그 영향이 크게 나타난 것으로 조사되었으며, 이러한 결과는 5~8°C에서의 가장 낮은 T/R율을 유도하였다. 한편 상대적으로 낮은 온도처리에 대한 수고생장 반응은 자작나무가 보다 민감한 것으로 관찰되었다. 일반적으로 겨울철 임업 시설양묘시 설정되는 생육 최저온도의 범위는 수종에 따라 다르지만, 본 실험의 결과를 고려할 때 15°C 이상은 설정되어야만 우리나라에서 겨울철 시설양묘시 정상적인 묘목의 생육이 가능하리라 판단된다.

주제어 : 임업시설양묘, 야간최저온도, 생장초기단계, 생장반응, T/R율