

소나무 묘목의 생장 및 영양상태에 미치는 Mn의 영향

이충화[†] · 이승우 · 진현오* · 정진현 · 이천용

임업연구원 임지보전과, 경희대학교 임학과*

적 요: Mn 처리에 대한 소나무 묘목의 생장 및 영양상태의 반응을 수경재배법에 의하여 조사하였다. Mn 처리 농도별(0, 30, 60ppm) 배양액의 pH를 4.0으로 조절한 후, 소나무(*Pinus densiflora*) 2년생 묘목을 배양액에 이식하여 90일 동안 온실에서 생육시켰다. 소나무 묘목의 건물생장은 Mn 처리에 의하여 감소하였으며, 상대생장률(RGR)과 순동화율(NAR) 감소에 대한 Mn의 영향이 인정되었다. 이러한 결과는 배양액의 Mn 농도 증가에 의해 잎의 건물생산효율이 저하되었다는 것을 시사하였다. 식물체내 원소함량에 대한 Mn의 영향을 조사한 결과, 소나무 묘목의 줄기와 뿌리내 Ca 및 Mg 함량은 Mn 60ppm 처리구에서 가장 낮았으며, Mn 농도는 뿌리에 비하여 잎에서 3배 가량 높은 함량을 나타내었다. 또한 무처리구에 비해 Mn 처리구에서 순광합성 속도의 감소가 나타났다. 이상의 결과는 뿌리의 양분 흡수저해 및 뿌리에서 앞으로 이행된 Mn의 과잉축적에 의한 광합성 저해를 반영하는 것으로써, 결과적으로 소나무 묘목의 건물생장량 감소가 이들 결과의 복합적인 영향에 의해 초래되었음을 시사한다.

검색어: Mn 농도, NAR, 소나무, RGR

재료 및 방법

서 론

최근 도시화·산업화의 발달과 함께 산림생태계내 토양산성화는 성장하물의 증가와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Krause *et al.* 1986). 산성강하물이 토양으로 침착·침투하는 초기단계에서는 H⁺와 염기와의 교환반응에 의해 Ca, Mg 등과 같은 식물생육 필수원소가 토양으로부터 용탈되나(吉田과 川畑 1988), 토양산성화가 계속 진행되면, 토양중에 Al, Mn 등과 같은 식물 유해금속을 용출시킨다(Ulrich *et al.* 1980). 토양내에 용출된 Al이나 Mn은 식물의 세균 발생이나 신장생장을 억제하여 식물생육 필수원소나 수분의 흡수를 저해한다(Rengel 1992). 따라서 산성강하물에 의해서 산성화된 토양에 생육하고 있는 수목은 염기용탈로 인한 식물 영양상태의 악화와 Al, Mn 등과 같은 식물 유해금속의 복합적인 영향을 받을 것이 예상되고 있다.

식물에 대한 Mn의 과잉저해에 관한 연구는 농작물에 있어서는 많이 보고되어 있으나(Kohno *et al.* 1984, Nable *et al.* 1988, Macfie and Taylor 1992), 수목의 생장 및 영양상태에 관한 연구는 극히 제한적이다(Hecht-Buchholz *et al.* 1987, 北尾 등 1993, Izuta *et al.* 1995).

본 연구는 국내 산림의 대표적인 침엽수종이고 전역에 분포하고 있는 소나무를 대상으로 Mn 처리가 묘목의 생장 및 영양상태에 미치는 영향을 수경재배법을 통해 구명함으로써, 산성화된 토양에 생육하고 있는 수목의 생장 및 식물체내의 주요 영양원소 변화에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 실시되었다.

소나무 묘목의 육성

본 연구에서는 소나무 묘목의 수경재배에 일반적으로 이용되는 배양액을 사용하였으며(Akama 1989), 각 조성물질의 농도는 Table 1과 같다. 배양액중 Mn 농도는 0(대조구), 30 및 60ppm이 되도록 MnCl₂를 첨가하여 조절하였다. 소나무 2년생 묘목을 약 3.5L의 배양액을 채운 pot(1/5,000a)에 각각 6개체씩 이식하였다. 배양액의 pH는 HCl 또는 NaOH 용액으로 pH 4.0(±0.2)으로 조절하였으며, 매일 1회 설정 범위 내에 들도록 재조정하였다. 한편, 증발이나 증산 및 흡수에 따른 배양액의 감소를 방지하기 위하여 pH조정 전후에 증류수(deionized water)로 초기의 액량까지 보급하였으며, 일주일에 2회 전량을 교환하였다.

Table 1. Concentrations of nutrient culture solution

Element	Concentration(mg · L ⁻¹)
N	28.50
P	7.70
K	29.40
Ca	40.10
Mg	12.20
B	0.50
Zn	0.05
Cu	0.02
Mo	0.05
Fe	1.00

[†] Author for correspondence; Phone: 82-2-961-2557, e-mail: hwa21@foa.go.kr

1999년 4월 22일부터 약 2주간 Mn을 첨가하지 않은 배양액에서 전체 소나무 묘목을 생육시켜 수경재배 환경에 대한 적응 기간을 두었으며, 이후 각 Mn 처리 농도별 배양액 pot로 옮겨 90일간 온실에서 생육시켰다.

생장해석 및 식물체내의 성분분석

각 처리별 묘목은 90일간 배양액에서 생육시킨 후, 각 처리구 당 6개체의 묘목을 임의로 선정하여 각 기관별(잎, 줄기+가지, 뿌리)로 생중량을 측정하고 60°C에서 5일간 열풍 건조하여 건중량을 측정하였다. 시험시작 및 종료시의 건중량을 이용하여 90일간의 개체건물생장의 상대생장율(relative growth rate: RGR), 순동화율(net assimilation rate: NAR) 및 엽건중비(leaf dry weight ratio: LWR)를 산출하였다(Hunt, 1978).

건중량을 측정한 각 처리구의 묘목은 식물 기관별로 분쇄하여, 분해기(Hach Co, Digesdahl Co, 23130-20)에서 황산(H₂SO₄)을 440°C로 가열하여 황산을 비등시킨 후 30%의 과산화수소(H₂O₂)를 첨가하여 가열분해하였다. 이후 원자흡광도계(Shimadzu Co, AA-670)를 이용하여 식물체내 Ca, Mg, K, Al 및 Mn 함량을 분석하였다.

순광합성속도 측정

육성종료시 각 처리구의 소나무 묘목의 순광합성속도를 산소전극장치(Hasatech Co, LD2, CBI-D)로 측정하였다(Delieu and Walker, 1981). 온도제어기기(Tokyo Rigaku Co, Cool Ace CA-111)로 물을 순환시켜 chamber내의 온도를 20±0.5°C로 제어하였으며 광원은 테크노라이트(Keno Co, Tokyo)를 사용하였다. 순광합성속도측정시 chamber내 최상부의 광합성유효방사속밀도를 650 μE · m⁻² · s⁻¹로 제어하였다.

결과 및 고찰

육성종료시 소나무 묘목의 건중량은 60ppm 처리구 개체가 Mn 0ppm 처리구의 개체에 비하여 모든 기관의 건중량 감소(P<0.05)를 나타냈으며, 30ppm 처리구 개체에서는 건중량의 감소 경향이 관찰되었으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다(Table 2).

소나무 묘목의 상대생장율(RGR)과 순동화율(NAR)에 있어서

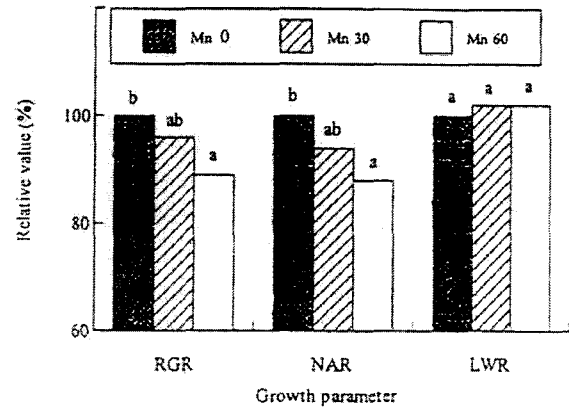


Fig. 1. Effects of Mn on relative growth rate(RGR), net assimilation rate(NAR) and leaf weight ratio(LWR) of *P. densiflora* seedlings grown for 90 days. Bars followed by the different letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test(P<0.05).

는 Mn 0ppm 처리구 개체에 비하여 60ppm 처리구 개체의 RGR 및 NAR이 유의적으로 감소(P<0.05) 하였다(Fig. 1). 이는 배양액의 Mn 농도 증가에 의한 잎의 건물생산효율이 저하되었다는 것을 반영하고 있다. 그러나 엽건중비(LWR)는 Mn 처리 농도별로 유의적인 차이가 없어 Mn 처리에 따른 엽량 변화의 영향은 관찰되지 않았다.

육성종료시 Mn 처리 농도별 소나무 묘목의 체내 원소 함량을 비교한 결과(Table 3), Mn 0ppm과 30ppm 처리구 개체에 비하여 60ppm 처리구 개체의 줄기와 뿌리에서 Ca 함량이 낮게 나타났다. 또한 Mg 함량도 60ppm 처리구 개체의 줄기에서 가장 낮았다. 한편, 30ppm과 60ppm 처리구 개체의 엽내 Al 함량은 0ppm 처리구 개체에 비하여 높게 나타났다. 또한, Mn 함량에 있어서는 0ppm 처리구 개체에 비하여 30과 60ppm 처리구 개체의 모든 기관에서 높게 나타났다. 그러나, 모든 기관의 K 함량에 있어서는 Mn 처리의 영향이 인정되지 않았다.

육성종료시 Mn 처리 농도별 소나무 묘목의 순광합성속도를 비교한 결과(Table 4), Mn 30 및 60ppm 처리구 개체의 순광합성속도는 Mn 0ppm 처리구에 비하여 유의적으로 저하(P<0.05)하였다. 이 결과는 Mn을 처리한 소나무 묘목의 잎에 다량으로 축적

Table 2. Effects of Mn on dry weights of *P. densiflora* seedlings grown for 90 days in the nutrient culture solution. Each value is the mean of 6 seedlings and the standard deviation is shown in parentheses

Mn concentration (ppm)	Needle (g)	Stem + Trunk	Root	Whole-plant
0	4.54(1.21) b	1.51(0.40) b	1.11(0.42) b	7.16(1.87) b
30	4.36(1.18) ab	1.27(0.36) a	1.03(0.28) ab	6.66(1.76) ab
60	3.86(0.97) a	1.22(0.43) a	0.88(0.29) a	5.95(1.57) a

Values followed by the different letters within a column for each plant organ are significantly different according to the Duncan's new multiple range test (P<0.05).

Table 3. Effects of Mn on the cation concentration in needle, trunk and root of *P. densiflora* seedlings grown for 90 days in the nutrient culture solution. Each value is the mean of 6 seedlings and the standard deviation is shown in parentheses

Plant organ	Mn concentration (ppm)	Ca (mg · g ⁻¹)	Mg (mg · g ⁻¹)	K (mg · g ⁻¹)	Al (mg · g ⁻¹)	Mn (mg · g ⁻¹)
Needle	0	2.79(0.58) a	1.06(0.18) a	10.55(1.22) a	0.39(0.20) a	0.47(0.18) a
	30	3.29(0.74) b	0.95(0.19) a	10.43(1.22) a	0.76(0.48) b	1.50(0.26) b
	60	2.87(0.79) ab	0.98(0.28) a	10.13(1.15) a	0.47(0.13) b	2.44(0.78) c
Stem + Trunk	0	1.68(0.31) b	0.85(0.22) b	5.66(1.14) a	0.45(0.31) a	0.09(0.02) a
	30	1.64(0.21) b	0.80(0.12) b	5.75(0.82) a	0.60(0.40) a	0.58(0.10) b
	60	1.28(0.15) a	0.64(0.08) a	6.33(0.83) a	0.69(0.47) a	0.77(0.07) c
Root	0	1.78(0.43) b	0.62(0.21) a	5.28(1.12) a	3.43(2.40) a	0.08(0.05) a
	30	1.66(0.51) b	0.58(0.17) a	5.02(1.02) a	3.58(2.54) a	0.51(0.20) b
	60	1.24(0.39) a	0.59(0.19) a	5.25(1.25) a	2.56(2.45) a	0.79(0.24) c

Values followed by the different letters within a column for each plant organ are significantly different according to the Duncan's new multiple range test (P<0.05).

Table 4. Effects of Mn on net photosynthetic rate of red pine seedlings grown for 90 days in the nutrient culture solution

Mn concentration (ppm)	Net photosynthetic rate (O ₂ nmol · g ⁻¹ · s ⁻¹)
0	36.15(8.77) b
30	29.99(6.33) a
60	28.50(5.76) a

Values followed by different letters within a column are significantly different according to the Duncan's new multiple range test (P<0.05).

된 Mn이 순광합성속도를 억제시켜 최종적으로 건물생장을 감소시켰다고 생각된다.

일반적으로 식물을 Mn 농도가 높은 토양이나 수경액에 육성시키면, 식물체내에 흡수된 Mn은 빠른 속도로 지상부로 이동하여 잎과 가지 등에 축적된다(Izuta *et al.* 1995). 이러한 지상부의 Mn의 과잉축적은 광합성 저해 등을 유발하여(北尾 등 1993), 결과적으로는 건물생장을 감소시키는 것으로 보고되고 있다(Nable *et al.* 1988, Macfie and Taylor 1992). 본 연구에서도 배양액의 Mn 농도가 증가함에 따라서 소나무 묘목의 엽내 Mn 함량이 유의적으로 증가(P<0.05)하였다(Table 3). 한편 Hecht-Buchholz 등(1987)은 고농도의 Mn 수경액에서 수목을 육성시켰을 때 식물체내 Ca와 Mg 함량이 감소하였음을 보고한 바 있다. 본 연구에서도 체내 원소함량에 대한 Mn의 영향을 조사한 결과(Table 3), 60ppm의 Mn을 처리한 소나무 묘목의 줄기 및 뿌리의 Ca 및 Mg 함량이 감소하였다. 또한, 수체내 Mn 함량은 뿌리에 비하여 잎에 3배 가량 높게 나타났다. 이상과 같은 결과를 통해 뿌리의 양분 흡수저해 및 뿌리로부터 잎으로 이행된 Mn의 과잉축적에 의한 광합성 저해(Table 4)가 최종적으로 소나무 묘목의 건물생장의 감소를 초래하였을 것으로 판단된다.

결론

소나무 묘목의 건물량은 Mn처리에 의하여 감소하였으며, 이는 배양액의 Mn 농도 증가에 의한 잎의 건물생산효율이 저하되었다는 것을 시사하고 있다. 현재, 우리나라에 생육하고 있는 수목의 생장에 대한 토양산성화, 식물필수영양원소 및 식물유해금속의 영향에 대해서 거의 밝혀지지 않고 있다. 비록 본 연구결과는 수경재배법에 의하여 얻어진 결과이지만, 장래 우리나라에서 실제로 발생할 수 있는 산성강하물에 의한 수목피해 예측 및 산성화된 토양의 임지에서도 이와 유사한 현상이 발생할 수 있음을 시사하고 있다. 또한 Al 및 Mn에 대한 감수성이 수종과 품종간에 차이가 있는 것으로 인정되고 있기 때문에(Schaedle *et al.* 1989), 금후 산림생태계내 산성강하물의 영향을 정확히 평가하기 위해서 주요 수종의 생장, 영양상태 및 생리기능 등에 대한 토양산성화 및 Al 또는 Mn 등의 영향을 면밀히 조사할 필요가 있다.

인용문헌

- 吉田 稔, 川畑洋子. 1988. 酸性雨の土壤による中和機構. 日本土壤肥料學雜誌 59: 413-415.
- 北尾光俊, 田淵隆一, 藤村好子, 小池孝良. 1993. マンガン過剰がシラカンバ苗木の成長に及ぼす影響. 日林學會北海道論集 41: 214-216.
- Akama, A. 1989. Changes of some nutrient in Japanese red pine(*Pinus densiflora*) seedlings in the early stage of a grown season. J. Jpn. For. Soc. 71: 10-14.
- Delieu, T. and D. A. Walker. 1981. Polarographic measurement of photosynthetic oxygen evolution by leaf disks. New Phytol. 89: 165-178.
- Hecht-Buchholz, C., C. A. Jorns and P. Keil. 1987. Effect of excess

- aluminum and manganese on Norway spruce seedlings as related to magnesium nutrition. *J. Plant Nutr.* 10: 1103-1110.
- Hunt, R. 1978. *Plant Growth Analysis*. Edward Arnold Publishers Ltd., pp. 8-22.
- Izuta, T., K. Noguchi, M. Aoki and T. Totsuka. 1995. Effects of excess manganese on growth, water content and nutrient status of Japanese cedar seedlings. *Environmental Sciences* 3: 209-220.
- Kohno, Y., C. D. Foy, A. L. Fleming and D. T. Krizek. 1984. Effect of Mn concentration on the growth and distribution of Mn and Fe in two bush bean cultivars grown in solution culture. *J. Plant Nutr.* 7: 547-566.
- Krause, G. H. M., U. Arndt, G. J. Brandt, J. Bucher, G. Kenk and E. Matzner. 1986. Forest decline in Europe: Development and possible causes. *Water, Air and Soil Pollution* 31: 647-668.
- Macfie, S. M. and G. J. Taylor. 1992. The effects of excess manganese on photosynthetic rate and concentration of chlorophyll in *Triticum aestivum* growth in solution culture. *Physiol. Plant.* 85: 467-475.
- Nable, R. O., R. L. Houtz and G. M. Cheniae. 1988. Early inhibition of photosynthesis during development of Mn toxicity in tobacco. *Plant Physiol.* 86: 1136-1142.
- Rengel, Z. 1992. Role of calcium in aluminium toxicity. *New Phytol.* 121: 499-513.
- Schaedle, M., F. C. Thornton, D. J. Raynal and H. B. Tepper. 1989. Response of tree seedlings to aluminum. *Tree Physiology* 5: 337-356.
- Ulrich, B., R. Mayer and P. K. Khanna. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a Loess-derived soil in Central Europe. *Soil Sci.* 130: 193-199.

(2002년 9월 10일 접수 ; 2002년 9월 30일 채택)

Effects of Mn on the Growth and Nutrient Status of *Pinus densiflora* Seedlings in Nutrient Culture Solution

Lee, Choong Hwa[†], Seung Woo Lee, Hyun-O Jin*, Jin-Heon Jeong and Chun-Yong Lee
Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea
*Department of Forestry, Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea**

ABSTRACT : The effects of Mn on growth and nutrient status of *Pinus densiflora* seedlings grown in a nutrient culture solution were investigated. Mn concentrations was added as manganese chloride at 0, 30 and 60ppm to the nutrient culture solution. The 2-year-old seedlings were transplanted into the solution maintained at pH 4.0, and grown for 90 days in a greenhouse. The Mn treatment induced a significant reduction in the dry weight growth of the seedlings. The relative growth rate(RGR) and net assimilation rate(NAR) of the seedlings decreased with increasing Mn concentrations in the nutrient culture solutions. For the nutrient status of the seedlings, Ca and Mg content in trunk and root was least in 60ppm Mn treatment, and Mn content in needle was about 3 times more than in root. Also the net photosynthetic rate of the seedlings was significantly lower both in 30ppm and 60ppm Mn treatment compared to them in 0ppm. This result suggests that the reductions in the RGR and NAR of the seedlings may be resulted from the inhibition of net photosynthesis by the mixed effect of lower nutrient uptake of roots and excess accumulation of Mn in needle.

Key words : Mn concentration, NAR, *Pinus densiflora*, RGR
