

# 알루미늄용액 처리가 세 수종의 종자발아와 묘목생장에 미치는 영향<sup>1</sup>

김갑태<sup>2</sup> · 추갑철<sup>3</sup> · 엄태원<sup>4</sup>

## Effects of Aluminum Solution Treatment on Seed Germination and Seedling Growth of Three Tree Species<sup>1</sup>

Gab-Tae Kim<sup>2</sup> · Gab-Cheul Choo<sup>3</sup> · Tae-Won Um<sup>4</sup>

### 요 약

목본식물에 대한 Al 독성에 관한 기초자료를 얻고자, Al 농도별(1.0, 2.5 및 5.0mM) 수용액과 대조구로 지하수를 모래를 채운 화분에 파종한 곰솔, 측백나무 및 쥐똥나무에 1993년 4월 28일부터 6월 16일까지 주 3회씩, 1회 5mm의 강도로 처리하였다. 6월 26일 묘목을 굴취하여 생장관련형질(묘목의 수, 묘고, 지상부, 지하부 및 개체당 건중량)을 측정하여 수종간, 처리간 비교하였다. Al 수용액 처리에 대한 반응은 수종별로 상이하였으며, 쥐똥나무가 세 수종 중에서는 가장 감수성인 것으로 나타났으며, 곰솔이 가장 내성을 지닌 것이라 판단된다.

주요어 : 알루미늄 독성, 곰솔, 측백나무, 쥐똥나무

### ABSTRACT

To examine aluminum toxicity on woody plants, aluminum solution and ground water(pH 6.75) were treated on the seeded pot(48×33×9cm) of *Pinus thunbergiana*, *Thuja orientalis* and *Ligustrum obtusifolium*, filled with sand, three times per week, 5mm per time, from April 28, 1993 to June 16. Aluminum solution were prepared 1.0, 2.5 and 5.0mM aluminum potassium sulfate, diluted with ground water. Growth-related characters(seedling number, seedling height, top, root and total dry weight) were measured and compared among species and treatments. The response of seedling growth-related characters to aluminum solution treatment differed among the species, and the most sensitive species is *Ligustrum obtusifolium*, and the most tolerant species is *Pinus thunbergiana*.

**Key Words** : Aluminum Toxicity, *Pinus thunbergiana*, *Thuja orientalis*, *Ligustrum obtusifolium*

1 접수 7월 15일 Recieved on Jul., 15, 1993

2 상지대학교 농과대학 College of Agriculture, Sangji Univ., Wonju 220-702, Korea

3 진주산업대학교 Chinju Natl. Univ., Chinju, 660-280, Korea

4 상지대학교 대학원 Graduate school, Sangji Univ., Wonju, 220-702, Korea

## 서 론

토양의 산성화는 산성의 모암, 강우량의 과다, 산성의 화학비료의 연용 등으로 여러가지 원인에 의하여 일어날 수 있으나, 그 주된 요인은 선진국의 예에서는 대기오염물질과 산성우에 의하여 토양산도가 높아지는 것이 최근 크게 문제화되고 있다. 이처럼 토양의 산성화는 광범위한 대기오염과 산성우의 확산으로 자연 생태계에 미치는 영향이 심각한 실정이다.

농업토양은 석회나 토지개량제의 시용으로 문제가 덜하나 삼림이나 원야는 산성우에 의한 피해가 클 것으로 보고되었으며, Ulrich 등(1980)과 Vermeulen (1978)은 1966년 이후 중부유럽의 토양산도가 산성우에 의해 현저히 높아졌음을 밝혔고, Ulrich 등(1980), Shortle과 Smith(1988), Raynal 등(1990)은 토양산성화로 인한 토양 내의 Al의 증가가 삼림쇠퇴의 주요한 원인이라고 설명하였다. 우리나라에서도 이미 오래 전부터 대도시와 공단주변에서는 대기오염과 산성우에 의한 산림토양의 산성화가 이미 진행되고 있으며 (이 등, 1988; 김, 1990, 1991), 최근에는 서울시에 위치한 남산의 경우는 토양pH가 4.1까지 산성화되었음이 보고되었다.

토양의 산성화는 표토로부터 주요염기( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ )들을 용탈시키며, 염기포화도를 떨어뜨리고, 토양용액 중에 치환성 Al, Fe 등이 현저히 증가하거나, 각종 이온들의 토양용액 중의 농도가 변화되며, 부식산의 구조와 화학적 성질이 변화됨이 밝혀졌으며, 양료순환체계가 교란된다. Cole과 Stewart(1983)는 토양반응이 산성화함에 따라 Al-phosphate, Fe-phosphate로 인산이 불용태로 변하며, Al, Fe 등을 포함한 중금속의 독성문제가 야기된다고 설명하였다.

알루미늄은 여러가지의 식물생리작용에 영향하며, 영향하는 정도나 가시적 변화는 식물의 종, 식물체의 상태 및 환경조건에 따라 매우 다양하다. 이는 세포학적 수준에서 영향하는 알루미늄의 활성형태가  $Al^{+3}$ ,  $Al(OH)^{+2}$ ,  $Al(OH)^{2+}$  등으로 다양하기 때문으로 보인다. Al독성은 에너지의 전환, 세포분열 및 막의 기능에 영향하며, Al은 뿌리나 줄기에서의 Ca, Mg 등의 축적이나 P의 이동을 억제하여 식물체가 Ca, Mg 및 P의 결핍현상을 야기한다(Thornton 등, 1986, 1989; Dewald 등, 1990; Raynal 등, 1990; Schier 등, 1990; Sucoff 등, 1990). Foy 등(1978)은 Al독성은 토양용액의 pH가 5.5 이하에서 일어나며, 생장이 억제되고 잎이 황화되거나 조직의 괴사가 일어나는 한편, 흔히 인산결핍증과 비슷하게 잎이 작아지고 진한 녹색을 띠고 황화되며, 선단부가 고사되며, 뿌리는

측근이 짧아지고 끝이 굵게 변하며 세근이 줄어들음을 설명하였다(McCormick과 Steiner, 1978; Tepper 등, 1989; McQuattie와 Schier, 1990). 경과 전(1990)은 5수종의 포플러류를 기내배양하면서 Al에 대한 내성을 비교하였고, McCormick과 Steiner (1978), Steiner 등(1984)은 여러 종의 목본식물을 대상으로 수용액상태로 Al을 처리하면서 Al에 대한 내성이나 피해양상을 관찰하여 수종간 많은 차이가 있음을 보고하였다. 김(1992)은 개나리삼수를 알루미늄 수용액에 수경재배를 하면서 농도에 따른 성장반응을 보고하였으며, 김 등(1993)은 개나리와 플라타너스를 모래를 채운 화분에 삼복하고 알루미늄수용액을 처리하여 농도에 따른 성장반응을 보고하였으며, Lee (1977)는 Al독성을 유발하는 Al 형태를 알아보고자 옥수수를 대상으로 시험보고하였다.

이에 이 연구는 토양산성화로 우려되는 Al독성에 관한 기초자료를 얻고자, Al농도별 수용액과 지하수를 모래를 담은 화분에 파종한 곰솔, 측백 및 쥐똥나무에 처리하였다. Al농도별 수용액과 지하수의 처리가 끝난 묘목을 굴취하여 성장관련형질(묘목의 수, 묘고, 지상부, 지하부 및 개체당 건중량)을 처리별로 비교·검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 식물재료의 준비

1992년 가을에 채취, 정선된 곰솔, 측백 및 쥐똥나무의 종자를 1993년 4월 16일에 모래를 채운 플라스틱 화분에 각각 20립씩 파종하였다. 파종에 이용된 플라스틱화분(가로, 세로 및 높이; 48cm, 33cm 및 9cm)에 채질한 모래를 채우고 화분당 20립씩의 종자를 파종하고 4월 28일 전까지는 주 3회씩 지하수로 관수를 실시하였다.

### 2. Al용액의 처리 및 측정

알루미늄용액의 처리는 1993년 4월 28일 부터 6월 16일 까지 주 3회 처리 하였다. 처리한 Al용액은 aluminum potassium sulfate를 지하수에 녹여 5.0, 2.5, 1.0mM의 알루미늄 수용액을 만들었으며, 용액의 pH는 3.65, 3.80 및 3.92였다. 대조구로는 지하수(pH 7.5)를 이용하였다.

1993년 6월 16일 까지 알루미늄용액을 처리하고 6월 26일에 묘목을 굴취하여, 묘목수, 묘고, 지상부 및 지하부 건중량을 측정하였다.

## 결과 및 고찰

1993년 6월 26일에 측정된 수종별 묘목수, 묘고, 지상부, 지하부 및 총건중량에 대하여 처리별로 통계처리를 한 결과를 Table 1, 2 및 3에 각각 보였다.

곰솔의 경우, 조사된 항목들에서는 모두 처리간 통계적 유의차가 인정되었다. 묘목수에서는 1.0mM 처리구에서 14.0으로 가장 많았으며, 다음으로 대조구, 2.5mM 처리구였으며, 5.0mM 처리구에서는 4.0으로

발아한 개체수가 가장 적었다. 묘고는 2.5mM 처리구에서 4.67cm로 가장 길었고, 그 다음으로 대조구, 1.0mM 처리구였으며, 5.0mM 처리구에서 2.88로 묘고생장이 지극히 불량하였다. 지상부 건중량에서는 1.0mM 처리구에서 109.1mg으로 가장 컸으며, 다음으로 2.5mM 처리구, 대조구의 순이며, 5.0mM 처리구에서는 50.8mg으로 가장 작은 값이었다. 지하부 건중량에서는 대조구에서 8.8mg으로 가장 높았으며, 다음이 1.0mM 처리구, 2.5mM 처리구 순이며, 5.0mM 처리

Table 1. Mean values of seedling number, height and dry weight of *Pinus thunbergiana* for each treatments.

Treatment	Seedling number	Seedling height(cm)	Seedling dry weight(mg)		
			Top	Root	Total
Control (pH 6.75)	13.0 a	4.60 a	76.8 b	8.8 a	85.7 b
1.0 mM Al sol. (pH 4.00)	14.0 a	4.52 a	109.1 a	7.3 ab	116.4 a
2.5 mM Al sol. (pH 3.79)	12.0 a	4.67 a	102.7 a	6.9 ab	109.6 a
5.0 mM Al sol. (pH 3.64)	4.0 b	2.88 b	50.8 c	2.9 b	53.7 c
F-value	5.02*	6.02**	9.21**	3.21*	8.64**

\* Indicate significances at 5% level

\*\* Indicate significances at 1% level

Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan test

Table 2. Mean values of seedling number, height and dry weight of *Thuja orientalis* for each treatments.

Treatment	Seedling number	Seedling height(cm)	Seedling dry weight(mg)		
			Top	Root	Total
Control (pH 6.75)	16.0 a	3.46 a	60.3 a	12.3 a	72.7 a
1.0 mM Al sol. (pH 4.00)	16.0 a	3.31 a	65.7 a	10.7 ab	76.4 a
2.5 mM Al sol. (pH 3.79)	16.0 a	3.20 a	61.1 a	8.9 b	69.9 a
5.0 mM Al sol. (pH 3.64)	6.0 b	2.25 b	49.3 b	6.2 ab	55.5 b
F-value	4.76*	7.83**	4.35*	2.87*	3.72*

\* Indicate significances at 5% level

\*\* Indicate significances at 1% level

Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan test

Table 3. Mean values of seedling number, height and dry weight of *Ligustrum obtusifolium* for each treatments.

Treatment	Seedling number	Seedling height(cm)	Seedling dry weight(mg)		
			Top	Root	Total
Control (pH 6.75)	9.0 a	5.58 a	87.8 a	18.3	106.2 a
1.0 mM Al sol. (pH 4.00)	2.0 b	2.50 b	42.6 b	13.4	56.0 b
2.5 mM Al sol. (pH 3.79)	2.0 b	2.60 b	38.9 b	12.7	51.7 b
5.0 mM Al sol. (pH 3.64)	—	—	—	—	—
F-value	5.23*	10.70**	5.87*	0.81 <sup>NS</sup>	5.09*

\* Indicate significances at 5% level

\*\* Indicate significances at 1% level

Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan test

— No data available

Table 4. Relative resistance of tree species to aluminum solution treatment.

Tree species	Seedling number	Seedling height	Top dry weight	Root dry weight	Total dry weight
<i>Pinus thunbergiana</i>	T	T	T	I	T
<i>Thuja orientalis</i>	T	T	T	S	T
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	S	S	S	S	S

T: tolerant, I: intermediate, S: susceptible.

구에서는 2.9mg으로 가장 낮았다. 개체당 건중량에서는 1.0mM 처리구에서 116.4mg으로 가장 컸으며, 다음으로 2.5mM 처리구, 대조구의 순이며, 5.0mM 처리구에서는 53.7mg으로 가장 작은 값이었다.

측백나무의 경우, 조사된 항목들에서는 모두 처리간 통계적 유의차가 인정되었다. 묘목수에서는 대조구, 1.0mM 처리구 및 구, 2.5mM 처리구에서 공히 16개체로 같았으며, 5.0mM 처리구에서는 6.0으로 발아한 개체수가 가장 적었다. 묘고는 대조구에서 3.46cm로 가장 길었고, 그 다음으로 1.0mM 처리구, 2.5mM 처리구의 순이었으며, 5.0mM 처리구에서 2.25cm로 묘고생장이 지극히 불량하였다. 지상부 건중량에서는 1.0mM 처리구에서 65.7mg으로 가장 컸으며, 다음으로 2.5mM 처리구, 대조구의 순이며, 5.0mM 처리구에서는 49.3mg으로 가장 작은 값이었다. 지하부 건중량에서는 대조구에서 12.3mg으로 가장 높았으며, 다음이 1.0mM 처리구, 2.5mM 처리구 순이며, 5.0mM 처리구에서는 6.2mg으로 가장 낮았다. 개체당 건중량에서는 1.0mM 처리구에서 76.4mg으로 가장 컸으며, 다음으로 대조구, 2.5mM 처리구의 순이며, 5.0mM 처리구에서는 55.5mg으로 가장 작은 값이었다.

쥐똥나무의 경우, 지하부 건중량을 제외한 항목들에서는 처리간 통계적 유의차가 인정되었다. 묘목수에서는 대조구에서 9.0으로 가장 크게 나타났으며, 1.0mM 처리구 및 구, 2.5mM 처리구에서 공히 2.0개체로 같았으며, 5.0mM 처리구에서는 발아한 개체수가 아예 없었다. 묘고는 대조구에서 5.58cm로 가장 길었고, 그 다음으로 1.0mM 처리구와 2.5mM 처리구에서는 거의 같은 값으로 나타났다. 지상부 건중량에서는 대조구에서 87.8mg으로 가장 컸으며, 다음으로 1.0mM 처리구, 2.5mM 처리구의 순이었다. 지하부 건중량과 개체당 건중량에서도 알루미늄의 농도가 높을수록 급격히 감소하는 경향이 뚜렷하였다.

수종별로 비교하면, 쥐똥나무는 곰솔이나 측백나무보다는 Al독성에 더욱 민감한 것으로 나타났으며, 이는 수종별로 Al독성에 견디는 능력이 상이함을 보인다고 사료된다. 또한 이 실험의 결과를 김(1992)이 개나리삽수를 Al용액에 수경삼목하여 보고한 결과나 김

(1993)이 개나리와 플라타너스를 모래를 채운 화분에 삼목하고 Al용액을 처리한 결과와 비교하면, 이 실험의 결과가 Al독성에 덜 민감한 것으로 나타났다. 그러나 대체로 이 실험에서 얻어진 결과는 다른 수종들에서 Al독성을 관찰 보고한 Foy 등(1978), 정과 전(1990) 및 Sucoff 등(1990)의 결과와 흡사하였다. 특히 세 수종에서 모두 뿌리생장은 Al농도가 증가할수록 불량한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Al독성에 의한 뿌리생장 억제를 밝힌 보고들(Tepper 등, 1989; McQuattie와 Schier, 1990; Schier 등, 1990)과 일치하는 경향이였다.

Al수용액 처리에 대한 반응을 묘목의 수, 묘고생장, 지상부, 지하부 및 개체당 건중량 등의 항목별로 주관적이나 내성(T:tolerant), 중용성(I:intermediate) 및 감수성(S:susceptible)의 3수준으로 나누어 수종별로 상대적인 내성의 크기를 종합적으로 비교하였다(Table 4). 쥐똥나무가 세 수종 중에서는 가장 감수성인 것으로 나타났으며, 곰솔과 측백나무는 비슷하나 곰솔이 조금은 더 내성을 지닌 것이라 판단된다. 이러한 결과는 상록침엽수가 낙엽활엽수보다 내성이 강하다는 Keltjens과 van Leonen(1989), 6종의 수에 대한 내성차이를 밝힌 McCormick과 Steiner(1978), 테다소나무가 주엽나무보다 내성이 강함을 밝힌 Pepper 등(1989)의 결과와 부합된다고 판단된다.

## 인용문헌

1. Cole, C.V. and W. B. J. Stewart. 1983. Impact of acid deposition on P cycling. Environ. Exp. Bot. 23:235-241.
2. Dewald, L. E., Sucoff, E. I., Ohno, T. and C. A. Buschena. 1990. Response of northern red oak (*Quercus rubra*) seedlings to soil solution aluminum. Can. J. For. Res. 20:331-336.
3. Edwards, J. H. and B. D. Horton. 1977. Aluminum-induced calcium deficiency in peach seedlings. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 102:459-461.

4. Foy, C. D., R. L. Chaney and M. C. White. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29:511-566.
5. Goransson, A. and T. D. Eldhuset. 1987. Effects of aluminum on growth and nutrient uptake of *Betula pendula* seedlings. *Physiol. Plant.* 69:193-199.
6. 정경호, 전영우. 1990. 器內에서 培養된 5樹種의 *Populus*類에 對한 Aluminum 耐性比較. *한입지* 79(1):26-32.
7. 김갑태, 추갑철, 진운학. 1993. 알루미늄용액 처리가 개나리와 플라타너스삽수의 생장에 미치는 영향(2). *응용생태연구* 7(1): 인쇄중.
8. 김갑태. 1992. 알루미늄용액 처리가 개나리삽수의 생장에 미치는 영향. *응용생태연구* 6(1):9-11.
9. 김준호. 1990. 환경오염에 대처하는 자연생태계 보존전략. pages 93-118, 쾌적한 환경창조를 위한 생태계의 보존. "제 18회 세계환경의 날" 기념 심포지움, 1990. 6. 4., 국립환경연구원, 서울, 189pp.
10. Kelly, J. M., M. Schaedle, F. C. Thornton and J. D. Joslin. 1990. Sensitivity of tree seedlings to aluminum; 2. Red oak, Sugar maple, and European beech. *J. Environ. Qual.* 19(2):172-179.
11. Keltjens, W. G. and E. Van Loenen. 1989. Effects of aluminum and mineral nutrition on growth and chemical composition of hydroponical grown seedlings of five different forest tree species. *Plant and Soil* 119:39-50.
12. Lee, Y. S. 1977. Aluminum toxicity on corn seedlings. *J. Korean Soc. Soil Sci.* 10(2): 75-78.
13. McCormick, P. H. and K. C. Steiner. 1978. Variation in aluminum tolerance among six genera of trees. *For. Sci.* 24:565-568.
14. McQuattie, C. J. and G. A. Schier. 1990. Response of Red spruce seedlings to aluminum toxicity in nutrient solution: alteration in root anatomy. *Can. J. For. Res.* 20:1714-1719.
15. Rayanal, D. J., Joslin, J. D., Thornton, F. C., Schaedle, M. and G. H. Henderson. 1990. Sensitivity of tree seedlings to aluminum; 3. Red spruce and Loblolly pine. *J. Environ. Qual.* 19(2):180-187.
16. Schier, G. A. 1985. Response of red spruce and balsam fir seedlings to aluminum toxicity in nutrient solutions. *Can. J. For. Res.* 15: 29-33.
17. Shortle, W. C. and K. T. Smith. 1988. Aluminum-induced calcium deficiency syndrome in declining Red spruce. *Science* 240:1017-1018.
18. Schier, G. A., McQuattie, C. J. and K. F. Jensen. 1990. Effect of ozone and aluminum on Pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings: Growth and nutrient relations. *Can. J. For. Res.* 20:1714-1719.
19. Steiner, K. C., J. R. Barbour and P. H. McCormick. 1984. Response of *Populus* hybrids to aluminum toxicity. *For. Sci.* 30:404-410.
20. Sucoff, E., F. C. Thornton and J. D. Joslin. 1990. Sensitivity of tree seedlings to aluminum; 1. Honeylocust. *J. Environ. Qual.* 19(2):163-171.
21. Tepper, H. B., Yang, C. S. and M. Schaedle. 1989. Effect of aluminum on growth of root tips of honey locust and loblolly pine. *Environ. Experi. Bot.* 29(2):165-173.
22. Thornton, F. C., Schaedle, M. and D. J. Raynal. 1986. Effect of aluminum on the growth of sugar maple in solution culture. *Can. J. For. Res.* 16:892-896.
23. Thornton, F. C., Schaedle, M. and D. J. Raynal. 1989. Tolerance of Red oak and American and European beech seedlings to aluminum. *J. Environ. Qual.* 18: 541-545.
24. Ulrich, B., R. Mayer and P. K. Khanna. 1980. Chemical change due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. *Soil Sci.* 130:193-200.
25. Vermeulen, A. J. 1978. Acid precipitation in the Netherlands. *Environ. Sci. Tech.* 12: 1016-1021.