

토양산성화가 봉선화(*Impatiens balsamina* L.) 및 만수국 (*Tagetes patula* L.)의 생장에 미치는 영향

김 학 윤

경북대학교 농업과학기술연구소

Effects of Soil Acidification on Growth of *Impatiens balsamina* L. and *Tagetes patula* L. Plants

Hak Yoon Kim

Institute of Agricultural Science & Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

To investigate the effects of soil acidification on growth of *Impatiens balsamina* L. and *Tagetes patula* L., plants were transplanted to acidified soils with H₂SO₄ solution. The concentrations of soluble Ca, Mg, K, Al and Mn in the acidified soils increased with increment of H⁺ addition to the soil. In both species, the plant height and root length were inhibited by soil acidification, showing much severer inhibition in *Impatiens balsamina* L. than in *Tagetes patula* L.. As the soil pH decreases, the growth of underground parts decreased greatly than that of above ground parts in both species. Total dry weight decreased with increased Al concentration as well as lowered soil pH in both plants. There was a strong positive correlation between relative total dry weight and molar (Ca+Mg+K)/Al ratio of the soil. The results suggest that molar (Ca+Mg+K)/Al ratio of the soil may be useful indicator for assessing the critical load of acid deposition in herb species.

Key words – *Impatiens balsamina* L., molar (Ca+Mg+K)/Al, soil acidification, soil pH, *Tagetes patula* L.

서 론

산업화의 급증과 함께 여러 종류의 오염물질들이 대기 중에 방출되고, 대기권의 기상요인과 상호 반응하여 다양한 형태의 산성강하물로 변해 자연생태계를 교란시키고 있다.

산성강하물은 식물조직 파손, 생체물질 용탈, 생리대사 교란 등 직접적으로 식물에 피해를 줄뿐만 아니라, 토양에

유입되어 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 등과 같은 식물 유용성분을 용탈시키고 Al과 Mn 같은 식물유해 성분을 용출시켜 식물의 생육을 저해하는 것으로 보고되어 있다[14,20].

현재까지 토양산성화 과정에 따른 식물 피해에 관하여 많은 연구가 수행되어져 왔으며, 크게 양이온 결핍설과 Al 독성설이 유력하게 받아들여지고 있다. 양이온 결핍설은 산성비가 토양에 낙화되면 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 등의 양이온이 용탈되어 토양의 완충능이 감소되고 무기영양소 결핍이 일어나 식물 영양상태가 악화된다는 설이고[10], 반면에 Al 독성설은 산성비에 의하여 토양산성화가 진행되면서 여

*To whom all correspondence should be addressed
Tel : 053-950-5707, Fax : 053-958-6880
E-mail hakyoonkim@hanmail.net

러 중금속이 토양으로부터 용출되는데 용출된 중금속 이온 중 특히 수용성 Al^{3+} 의 증가에 의해 식물의 세근 발달이나 신장생장이 억제되어 식물의 양분흡수가 저해된다는 설이다[15]. 토양산성화에 의한 산림쇠퇴의 원인이 Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ 등의 양이온 결핍과 관련이 있음은 독일을 비롯한 유럽 많은 지역의 침엽수와 활엽수에서 밝혀져 있지만, 식물체에서 충분한 영양소가 발견되는 지역에서도 산림쇠퇴 징후가 발견되고 있어 Al 독성설이 받아들여지고 있는 실정이다.

최근 유럽을 중심으로 오염물질의 발생량 규제를 위한 지침으로 산림생태계가 악영향을 받지 않는 산성물질 부하의 허용한계, 즉 한계부하량(critical load)을 추정하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으며[2,17], 수목성장량과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 알려져 있는 토양중의 $(Ca+Mg+K)/Al$ 몰농도비는 산성강하물의 한계부하량 평가에 대단히 중요한 요인으로 보고되고 있다.

지금까지 산성강하물에 의한 토양산성화가 식물에 미치는 영향에 대하여 많은 연구가 수행되어 왔으나, 이러한 연구의 대부분은 수목이나 일부 농작물을 대상으로 성장반응 또는 피해 메커니즘에 대한 연구가 대부분이며[4,7,19], 초본류에 대한 연구는 거의 이루어져 있지 않은 실정이다. 일반적으로 산성비에 대한 식물의 반응은 목본 식물보다 초본 식물이 산성비에 대한 감수성이 높은 것으로 알려져 있어[6,9], 초본식물에 대한 토양산성화의 연구가 절실히 요구되고 있다.

본 연구는 토양산성화가 초화류에 미치는 영향을 조사하기 위하여 도시의 녹지조성 사업의 일환으로 꽃길조성 및 화단재배용으로 널리 사용되고 있는 봉선화와 만수국을 대상으로 토양산성화에 대하여 어떠한 성장반응을 나타내며, 또한 건물생산량에 관여하는 토양요인을 조사하고, 유럽에서 개발된 한계부하량 추정변수인 $(Ca+Mg+K)/Al$ 몰농도비가 초화류에 있어서도 적용 가능한지를 조사하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

공시토양 및 토양산성화 유도

경북대학교 부설농장 소재의 토양을 대상으로 유기물 층을 제거한 후, 0~10 cm 깊이에서 채취한 토양을 standard testing sieve (aperture: 2 mm)로 석력 및 식물 뿌리를 제

거하고, 실내에서 2주간 음건시킨 후 공시토양으로 사용하였다.

토양산성화를 유도하기 위하여 Lee 등[13]의 방법에 따라 공시토양 1,000 ml에 0, 0.3, 0.6, 0.9 및 1.2 N의 황산용액 100 ml를 첨가하고 혼합하여 산성토양을 만들었다. 이때 각 처리구의 토양 1,000 ml에 첨가된 H^+ 의 양은 각각 0, 30, 60, 90, 120 meq 이다.

공시식물 및 산성토양에서의 식물생육

봉선화(*Impatiens balsamina* L.) 및 만수국(*Tagetes patula* L.) 종자를 2% sodium hypochloride 용액으로 표면 살균하여 발아시킨 후, 500g의 배양상토(N: P_2O_5 : K_2O = 0.21: 0.41: 0.38)를 넣은 플라스틱 포트에 1개체씩 파종하여 인공기상실에서 3주 동안 생육시켰다. 인공기상실 내의 온도는 낮(7시~19시)이 30℃, 밤(19시~7시)이 20℃였으며, 습도는 주야간 공히 70±5%를 유지하였다.

3주 동안 생육한 두 종류의 건전한 식물체를 선발하여, 1,000 ml의 각 수준별 황산용액을 처리한 산성토양이 담긴 플라스틱 포트에 1개체씩 이식하여, 3주간 인공기상실내에서 생육시켰다. 생육기간 중 하루에 한번 일정량의 증류수(deionized water)를 관수해 주었다.

토양산성화에 의한 두 종류의 성장반응을 조사하기 위하여 봉선화 및 만수국을 대상으로 각 처리 당 10 개체씩 선발하여 초장, 근장, 엽면적을 조사하고 각 식물 기관별(잎, 줄기, 뿌리)로 분해하여 70℃에서 3일간 건조시킨 후 건물중을 측정하였다.

토양 pH 및 수용성 무기원소 성분 조사

토양 pH 측정은 Kim 등[12]의 방법에 따라 음건토양 10 g에 증류수를 1 : 5로 혼합하여 30분간 진탕한 후, 여과지(Whatman No. 44)로 여과시켜, pH 측정기(Fisher 230 A)로 측정하였다. 또한 토양내의 Ca, Mg, K와 같은 양분성분과 Al, Mn 같은 유해금속의 농도를 측정하기 위하여 음건 세토 10 g을 100 ml용 삼각플라스크에 넣고 증류수 50 ml를 첨가하여 25℃로 설정된 왕복진탕기(120회/1분)로 1시간 진탕하여 여과지(Tokyo Co., No, 5B)를 통과시키고, 그 여액을 이용하여 ICP-Spectrometer(ICPQ-1000, Shimadue)로 분석하였다. Ca, Mg, K 성분은 증류수로 10배 희석하여 분석하였으며, Al 및 Mn 성분은 희석 없이 분석하였다.

결과 및 고찰

공시 토양을 대상으로 황산용액 첨가에 의한 토양 pH 및 무기성분 변화를 Table 1에 나타내었다. 무처리의 경우 토양 pH는 5.71이었으며, 황산용액의 첨가량이 증가할수록 토양 pH는 낮아져, 60 meqH⁺ 첨가에 의해 pH 4.54로, 120 meqH⁺ 첨가에 의해 pH 3.82로 낮아졌다. 그러나 황산용액 첨가에 의해 토양내 양분성분인 수용성 Ca, Mg 및 K의 농도는 H⁺ 부하량이 증가함에 따라 높아지는 것으로 나타났다. 특히 Ca 농도는 120 meqH⁺ 첨가에 의해 925.9 μg g⁻¹으로 나타나 무처리에 비하여 약 9.3배의 증가를 나타내어 Mg 및 K에 비하여 높은 증가를 보였다. 또한 토양내 유해금속 성분인 Al 및 Mn의 농도도 토양내의 H⁺ 부하량이 증가함에 따라 높아지는 것으로 나타났으며 Al 농도의 경우 120 meqH⁺ 첨가에 의해 246.2 μg g⁻¹으로 나타나 Mn보다 용출 정도가 높은 것으로 나타났다.

토양 pH 변화에 따른 수용성 Al 및 Mn의 농도 변화를

Fig. 1에 나타내었다. 토양 pH가 낮아질수록 Al 및 Mn 농도 모두 증가하는 것으로 나타났으며, Al 농도의 경우 pH 4.5까지는 완만한 증가를 보이다가 pH 4.1에서부터 급격히 증가하는 것으로 나타났다. Mn의 농도도 pH 4.1에서부터 증가하는 것으로 나타났으나 그 증가량은 Al에 비하여 크지 않았다. 토양산성화에 의한 Al의 급격한 증가는 Chang과 Lee[3]에 의해서 보고되어 있는데, 토양산성화 과정에서 용출되는 무기 이온 중 식물에 각종 유해작용을 하는 Al³⁺은 토양의 pH 변화와 밀접한 관계가 있으며 pH 4.7 이하에서 주로 생성되고 pH가 낮아질수록 그 양은 증가하는 것으로 보고하였다.

토양산성화가 봉선화 및 만수국의 생육에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 두 초종 모두 처리 시간이 경과함에 따라 극심한 성장 억제를 나타내었으며, 그 피해 정도는 토양 pH가 낮을수록 심하게 나타났다. 봉선화의 경우 토양 pH 3.82 (120 meqH⁺) 범위에서 처리 2일째부터 잎의 가장자리와 줄기 선단부터 시드는 현상을 보이기 시작하였다.

Table 1. Changes of soil pH and concentrations of water soluble elements after soil acidification with H₂SO₄ solution.

Soil treatment	Soil pH	Soluble element concentration, μg g ⁻¹				
		Ca	Mg	K	Al	Mn
Control	5.71±0.1	99.6±2.7	19.4±11.3	69.5±2.2	4.4±0.1	2.5±0.1
30 meqH ⁺	5.03±0.1	301.4±4.4	51.7±13.2	165.5±7.3	15.2±0.2	4.7±0.1
60 meqH ⁺	4.54±0.1	490.5±11.5	65.3±10.1	236.9±15.8	37.6±0.1	10.6±0.6
90 meqH ⁺	4.09±0.1	873.7±19.5	73.5±19.9	318.3±9.8	83.6±0.5	25.0±1.9
120 meqH ⁺	3.82±0.1	925.9±24.7	85.4±22.5	340.4±11.7	246.2±7.9	85.5±2.7

Table 2. Effects of soil acidification on growth of *Impatiens balsamina* L. and *Tagetes patula* L. plants.

Parameters	<i>Impatiens balsamina</i> L.					<i>Tagetes patula</i> L.				
	Soil treatment (meqH ⁺)					Soil treatment (meqH ⁺)				
	No treatment	30	60	90	120	No treatment	30	60	90	120
Plant height, cm	31.7±2.43	32.1±3.17	28.3±2.28	22.8±1.87	15.0±1.83	22.7±1.99	23.1±3.07	22.5±1.94	19.8±1.02	16.7±0.98
Root length, cm	27.8±2.13	29.2±3.01	20.1±1.87	15.3±1.05	12.2±1.77	28.5±2.27	27.7±2.69	27.0±2.30	20.7±1.09	15.5±1.34
Leaf area, cm ²	543.2±11.9	558.3±27.3	479.5±35.6	283.7±32.7	91.2±12.3	294.0±24.8	305.0±27.7	279.3±14.5	246.7±25.6	205.7±18.1
Leaf dry weight, g	1.69±0.03	1.71±0.07	1.40±0.17	1.10±0.10	0.28±0.09	0.98±0.02	1.08±0.06	1.02±0.06	0.90±0.02	0.73±0.06
Root dry weight, g	0.95±0.03	0.93±0.04	0.59±0.02	0.32±0.01	0.18±0.01	0.76±0.15	0.73±0.08	0.67±0.04	0.41±0.01	0.28±0.03
Stem dry weight, g	1.20±0.07	1.18±0.04	0.87±0.07	0.45±0.05	0.29±0.02	0.53±0.05	0.51±0.02	0.52±0.05	0.39±0.02	0.31±0.01
Total dry weight, g	3.84±0.13	3.82±0.16	2.86±0.27	1.87±0.16	0.75±0.13	2.27±0.22	2.32±0.17	2.21±0.16	1.70±0.05	1.32±0.10

*represents significant difference at p<0.05.

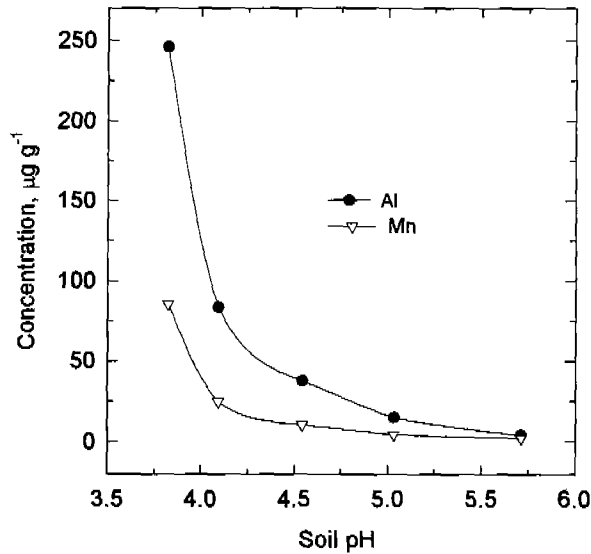


Fig. 1. The relationship between soil pH and concentration of soluble Al and Mn.

두 초종 공히 토양 pH가 낮아짐에 따라 초장 및 근장, 엽면적의 감소를 나타내었다. 초장의 경우 토양 pH 4.09 (90 meqH⁻¹) 범위에서 봉선화는 28%, 만수국은 약 13%의 감소를 나타내었으며, 근장의 경우 봉선화에서 45%, 만수국에서 약 27%의 감소를 나타내었다. 따라서 토양산성화에 의한 생육 억제에는 만수국에 비해 봉선화에서 큰 것으로 나타났으며, 두 초종 모두 지상부 생육에 비하여 지하부 생육이 크게 억제되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 각 부위별 개체건물중 조사에서도 유사한 경향을 나타내었으며, 이들 두 초종이 토양산성화에 의해 직접적인 생육억제의 피해를 받고 있으며, 초종간의 반응 차이가 있는 것을 의미한다.

일반적으로 산성토양에 있어서 식물의 성장감소 원인은 토양 pH 저하 및 토양내 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 등의 유용 성분 용탈에 의한 영양상태 악화와 Al 및 Mn과 같은 유해 금속 흡수에 의한 피해로 생각할 수 있다[10,15]. 본 실험에서 토양산성화에 의한 두 초종의 생육저하에 관여하는 토양요인을 검토하기 위하여 토양의 pH 및 Al 농도 변화와 개체건물중량과의 상관관계를 분석하였다. 두 초종 모두 토양 pH가 낮아질수록 개체건물중량이 감소하는 것으로 나타났으며(Fig. 2), 특히 봉선화의 경우 높은 상관관계(r=0.85)가 있는 것으로 나타났다. 또한 토양 수용성 Al 농도와 두 초종의 개체건물중량과의 상관관계를 조사한 결과(Fig. 3), 두 초종 모두 Al 농도가 높아질수록 개체건물중량

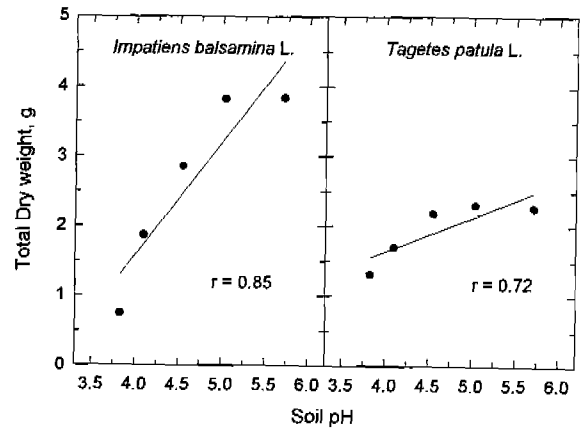


Fig. 2. The relationship between soil pH and total dry weight of *Impatiens balsamina L.* and *Tagetes patula L.*

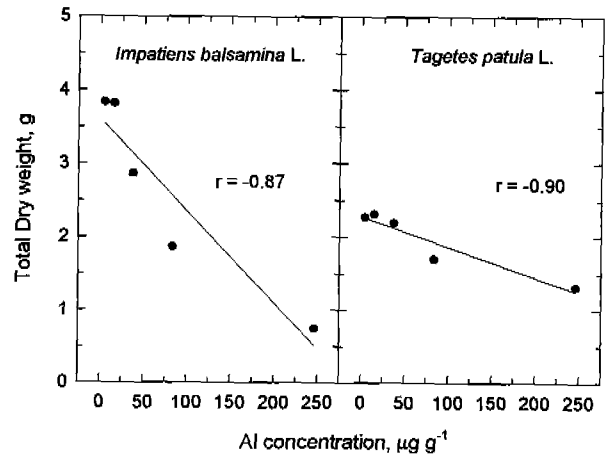


Fig. 3. The relationship between Al concentration and total dry weight of *Impatiens balsamina L.* and *Tagetes patula L.*

이 감소하는 것으로 나타났으며, 두 초종 모두 높은 상관관계(r=-0.87 및 r=-0.90)가 인정되었다. 이 결과는 함박꽃나무를 대상으로 다양한 Al 농도 하에서 유묘의 성장을 조사한 실험에서 Al의 농도가 높을수록 함박꽃나무의 생장이 크게 억제되었다는 보고와 유사한 결과를 나타내었다[11]. 토양내의 Al 성분의 증가는 식물체내의 Ca 등과 같은 식물 필수 영양원소의 흡수를 저해 할뿐만 아니라 뿌리의 발육을 저해를 초래하는 것으로 보고되어 있다[1,8,11]. 본 실험에서 생육조사 결과(Table 2) 두 초종 모두 지상부에 비하여 지하부 생육이 크게 억제된 것도 토양산성화에 의한

Al 성분의 증가와 관련이 있을 것으로 추측된다.

최근 산성 강하물에 의해 피해가 심각한 유럽 및 미국 동지에서 오염물질의 발생량을 규제하기 위한 산성물질 부하의 허용한계, 즉 한계부하량 (Critical load)을 추정하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 수목생장량과 토양용액 중의 (Ca+Mg+K)/Al 몰농도비가 밀접한 상관관계가 있다는 것이 독일가문비(*Picea abies*) 및 소나무(*Pinus spp.*)의 연구를 통하여 보고되어 있다[5,16,17]. 본 실험에서 초화류에 있어서도 산성 강하물에 의한 한계부하량 (Ca+Mg+K)/Al 몰농도비가 적용되는지를 조사하였다(Fig. 4). 두 초화류의 개체건물량의 상대치{relative total dry weight (%)=개체건물중/대조구의 개체건물중×100}와 토양내의 수용성 원소로부터 산출한 (Ca+Mg+K)/Al 몰비와의 관계를 분석한 결과, 두 초종 모두 (Ca+Mg+K)/Al 몰비가 높아질수록 개체건물량의 상대치가 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 봉선화의 경우 높은 상관 관계 ($r=0.91$)가 인정되는 것으로 나타났다. 즉 토양산성화에 의한 두 초종의 성장감소 정도는 토양의 Al 농도뿐만 아니라 Ca, Mg 및 K와의 양분 균형도에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 이들 초종에 대한 토양산성화의 영향을 평가 할 때는 토양중의 Al 농도뿐만 아니라 Ca, Mg, K와 같은 필수 영양원소의 농도도 함께 고려할 필요가 있는 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 두 초종에 대한 토양산성

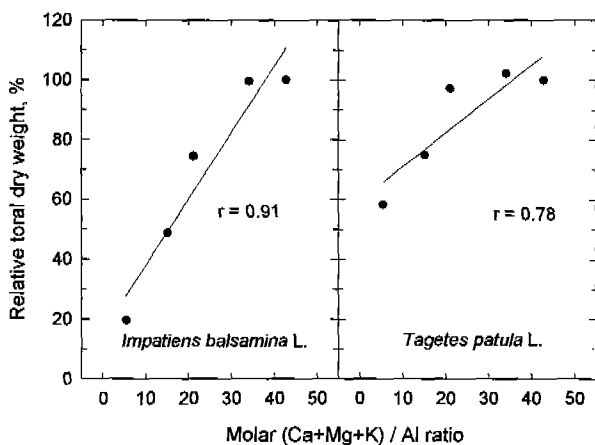


Fig. 4. The relationship between molar (Ca+Mg+K)/Al ratio and relative total dry weight of *Impatiens balsamina* L. and *Tagetes patula* L..

화의 영향은 pH의 저하뿐만 아니라 Al의 용출에 의하여도 생육 억제의 영향을 받는 것으로 나타났으며, (Ca+Mg+K)/Al 몰비는 초본류에 있어서도 산성강하물의 피해 예측을 위한 한계부하량의 평가에 적용 가능하리라 생각된다.

현재, 미국과 유럽에서는 산성강하물의 한계부하량을 추정하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 우리나라의 경우 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다. 1980년 이후 우리나라에서도 전국적으로 산성비가 보고되어 있으며[12], 그에 따른 토양산성화가 염려되고 있는 현실을 감안할 때, 산성강하물의 한계부하량 평가를 위하여 주요 식물에 대한 토양산성화 및 토양 무기성분 변화에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

요 약

봉선화 및 만수국을 황산용액을 첨가하여 산성화시킨 토양에 3주간 생육시킨 후, 생육 및 건물생산량에 관여하는 토양요인을 조사하였다. 토양 pH가 낮아짐에 따라 수용성 Ca, Mg, K, Al 및 Mn의 농도가 증가하였다. 토양산성화에 의한 생육 억제는 만수국에 비해 봉선화에서 큰 것으로 나타났다. 두 초종 모두 지상부에 비하여 지하부 생육이 크게 억제되었다. 토양 pH가 낮아질수록 그리고 Al 농도가 높아질수록 개체건물중량이 감소하는 것으로 나타났다. 두 초종 모두 (Ca+Mg+K)/Al 몰비가 높아질수록 개체건물량의 상대치가 증가하는 것으로 나타나, 토양산성화에 의한 두 초종의 성장감소는 토양 pH와 Al 농도뿐만 아니라 Ca, Mg 및 K의 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 (Ca+Mg+K)/Al 몰비는 초본류에 있어서도 한계부하량의 평가에 적용 가능한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Abrahamsen, G. 1984. Effects of acidic deposition on forest soil and vegetation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 305, 369-382.
2. Brodin, Y. W. and J. C. I. Kuylenstierna. 1992. Acidification and critical loads in Nordic countries. *AMBIO* 21, 369-382.
3. Chang, K. S. and S. W. Lee. 1995. Sensitivity and self-purification function of forest ecosystem to acid pre-

- precipitation. *J. Kor. For. Soc.* **84(10)**, 103-113.
4. Craker, L. E. and D. Bernstein. 1984. Buffering of acid rain by leaf tissue of selected crop plants. *Environ. Pollut.* **36**, 375-381.
 5. Cronan, C. S. and D. F. Grigal. 1995. Use of calcium/aluminum ratio as indicate of stress in forest ecosystem. *J. Environ. Qual.* **24**, 209-226.
 6. Evans, L. S. and T. M. Curry. 1979. Differential response of plant foliage to simulated acid rain. *Amer. J. Bot.* **66**, 953-962.
 7. Fan, H. B. and Y. H. Wang. 2000. Effects of simulated acid rain on germination, foliar damage, chlorophyll contents and seedling growth of five hardwood species growing in China. *Forest Eco. Manage.* **126**, 321-329.
 8. Goranson, A. and T. D. Eldhuset. 1991. Effects of aluminum ratio on growth and nutrient uptake of small *Picea abies* and *Pinus sylvestris* plant. *Tree* **5**, 136-142.
 9. Haines, B., M. Stefani and F. Hendrix. 1980. Acid rain: threshold of leaf damage in eight plant species from a southern Appalachian forest succession. *Water, Air and Soil Pollut.* **114**, 403-407.
 10. Hauhs, N. L. and R. F. Wright. 1986. Regional pattern of acid deposition and forest decline along a cross section throught Europe. *Water, Air and Soil Pollut.* **31**, 463-474.
 11. Kim, G. T. 1992. Effects of artificial acid rain on seed germination, radicle growth and seedling growth of several woody species. *J. Kor. For. Soc.* **81**, 30-39.
 12. Kim, J. H., B. S. Ihm and J. W. Kim. 1999. Comparison of soil ion, plant nutrient contents and growth in *Quercus mongolica* forests in Seoul and its vicinity. *Kor. J. Ecol.* **22(1)**, 13-19.
 13. Lee, C. H., J. H. Yoo, Y. K. Kim, J. K. Byun, C. S. Kim, S. W. Lee and B. S. Lee. 1999. Growth of *Pinus densiflora* seedlings in artificially acidified soils. *FPI. J. For. Sci.* **61**, 90-96.
 14. Luxmoore, R. J., T. Gizzard and R. H. Strand. 1981. Nutrient translocation in the outer canopy and understory of an eastern deciduous forest. *For. Sic.* **27**, 505-518.
 15. Marschner, B., K. Stahr and M. Renger. 1989. Potential hazards of lime application in a damage pine forest ecosystem in Berlin, Germany. *Water, Air and Soil Pollut.* **31**, 273-282.
 16. Regel, Z. 1992. Role of calcium in aluminum toxicity. *New Phytol.* **121**, 449-513.
 17. Sverdrup, H., P. Warfringe and B. Nihlgard. 1994. Assessment of soil acidification on forest growth in Sweden. *Water, Air and Soil Pollut.* **78**, 1-36.
 18. Tomlinson, G. A. 1990. Nutrient disturbances in forest trees and the nature of the forest decline in Quebec and Germany. *Water, Air and Soil Pollut.* **54**, 61-74.
 19. Velikova, V., I. Yordanov and A. Edreva. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants; Protective role of exogenous polyamine. *Plant sci.* **151**, 59-66.
 20. Wood T. and F. H. Bormann. 1974. The effects of artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis*. *Environ. Pollut.* **7**, 259-269.

(Received January 29, 2001; Accepted March 21, 2001)