

## 산성비가 봉선화(*Impatiens balsamina* L.) 및 만수국(*Tagetes patula* L.)의 발아, 성장, 완충능력 및 양료용탈에 미치는 영향

김학윤 · 이인중<sup>1</sup> · 신동현<sup>1</sup> · 김길웅<sup>1</sup> · 조문수<sup>2\*</sup>

경북대학교 농업과학기술연구소

<sup>1</sup>경북대학교 농과대학 농학과

<sup>2</sup>대구대학교 자연자원대학 원예학과

## Effect of Simulated Acid Rain on Germination, Growth, Acid Buffering Capacity and Nutrient Leaching in *Impatiens balsamina* L. and *Tagetes patula* L.

Hak Yoon Kim, In Jung Lee<sup>1</sup>, Dong Hyun Shin<sup>1</sup>, Kil Ung Kim<sup>1</sup> and Moon Soo Cho<sup>2\*</sup>

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

<sup>1</sup>Department of Agronomy, College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Horticulture, Taegu University, Kyongbook 712-714, Korea

### Abstract

This study was conducted to investigate the effect of simulated acid rain (SAR) on germination, growth, acid buffering capacity and nutrient leaching in *Impatiens balsamina* L. and *Tagetes patula* L.. In both species, germination was not inhibited at pH 4.0, but the germination rate decreased at the lower pH of 3.0, showing higher rate in *Impatiens balsamina* L. than *Tagetes patula* L.. As the pH decreases, the growth of radicle was markedly decreased than that of hypocotyl in both species. The plant height, root length, leaf area, total dry weight, relative growth rate and net assimilation rate were inhibited by SAR. The acid buffering capacity in the leaves were increased at pH 4.0, on the other hand, it was shown a tendency to decrease at pH 2.0 in both species. As the pH levels decreased from 5.6 to 2.0, the nutrient leaching from leaves was significantly increased in both species. Based on the results, there are a great difference in the responses to SAR between the two species. In general, *Tagetes patula* L. represented a higher tolerance to SAR than *Impatiens balsamina* L. These results suggested that interspecific variation in the acid buffering capacity and nutrient leaching from leaves may be responsible for the interspecific susceptibility to SAR.

**Key Words** – Germination, growth, *Impatiens balsamina* L., simulated acid rain, *Tagetes patula* L.

### 서 론

산업화 및 도시화의 진행에 따라 다양한 형태의 오염물

질이 대기 중에 방출되고 그로 인한 산성강하물의 확산이 심각한 지구환경문제로 대두되고 있다.

일반적으로 산성비는 토양과 식생에 양료를 공급한다는 유익한 면도 있지만[13], 여러 가지 형태로 식물에 악영향을 미치며 여기에는 지상부 조직의 파손, 생체물질의 용탈, 생리대사 교란 등과 같은 직접적인 영향과, 토양산성화에

\*To whom all correspondence should be addressed

Tel: 053-850-6714, Fax: 053-850-6719

E-mail: mscho@taegu.ac.kr

의한 영양염류의 용탈, 토양미생물의 성장 변화, 다른 스트레스 요인과의 복합작용에 의한 간접적인 영향으로 나올 수 있다[15]. 또한 산성비는 식물 개개뿐만 아니라 토양 및 수계의 산성화로 이어져 생태계 전반에 교란을 일으킬 가능성이 있다.

지금까지 식물에 미치는 산성비의 영향에 대하여 많은 연구가 수행되어 왔으나, 이러한 연구의 대부분은 수목이나 일부 농작물에 대한 성장반응 또는 피해 메커니즘에 대한 연구가 대부분이며[3,21], 재배 특성상 온실 재배가 대부분인 초화류에 대한 연구는 상대적으로 적은 실정이다. 일부 화훼류 식물은 산성비에 노출되었을 경우 잎의 손상과 화색의 변화 등에 의해 상품가치가 현저히 저하될 가능성이 있는 것으로 보고되어 있다[15].

일반적으로 산성비에 대한 식물의 반응은 단자엽 식물보다 쌍자엽 식물이, 목본 식물보다 초본 식물이 산성비에 대한 감수성이 높은 것으로 알려져 있으며[2,4], 이러한 감수성은 식물 종간의 형태적 특성과 생체방어능력의 차이뿐만 아니라[21] 잎 표면에서 산성비의 영향을 감소시킬 수 있는 중화능력 및 잎 조직내의 pH 완충능력 등의 차이에 따라 다양한 것으로 보고되어 있다[16,17]. 산성비에 대한 식물의 중화능력 및 완충능력은 산성비의 가장 큰 문제점 중의 하나인 토양산성화의 지연 또는 조절에도 기여할 가능성이 있는 것으로 보고되어 있다[16].

본 연구는 도시의 녹지조성 사업의 일환으로 꽃길 조성 및 화단 재배용으로 널리 사용되고 있는 봉선화와 만수국을 대상으로 산성비에 대한 종자 발아 및 성장반응의 조사를 통하여 초화류에 대한 피해를 예측함과 동시에 산성비에 대한 완충능력과 양분용탈 정도를 조사하여 이미 산성비가 내리고 있거나 내릴 가능성이 있는 공단 및 대도시의 녹지조성에 적절한 초화류의 선택 및 재배의 기초자료를 얻고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 인공산성비 제조

인공산성비의 제조는 Singh와 Agrawal[18]의 방법에 따라 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 1N HNO<sub>3</sub>를 이용하여 pH가 각각 2.0, 3.0, 4.0인 용액을 만들어 사용하였으며, 대조구는 일반적으로 산성비의 기준인 pH 5.6 용액을 제조하여 사용하였다.

### 발아 및 유식물생육

봉선화(*Impatiens balsamina* L.) 및 만수국(*Tagetes patula* L.) 종자를 2% sodium hypochloride 용액으로 표면 살균한 후 직경 9 cm의 petri dish에 여과지(Whatman No. 2) 2매를 깔고 해당 pH별로 산성용액을 주입하여 종이를 젖게 한 후, 각 처리 당 50립씩 3반복으로 피종하여 27°C의 항온실에 방치하였다. 각 pH 용액은 일정량을 유지하도록 보충하였으며, 피종 1주일 후 각 종자의 발아율과 유식물의 성장을 조사하였다.

### 산성비에 대한 성장반응

봉선화 및 만수국 종자를 발아시킨 후, 500g의 배양상토(N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O = 0.21: 0.41: 0.38)를 넣은 플라스틱 포트에 1개체씩 피종하여 인공기상실에서 3주 동안 생육시켰다. 인공기상실 내의 온도는 낮(7시~19시)이 30°C, 밤(19시~7시)이 20°C였으며, 습도는 주야간 공히 70±5%를 유지하였다. 3주 동안 생육한 건전한 식물체를 선발하여 각 pH 농도별 용액을 자연 강우와 같이 식물체가 완전히 젖을 정도로 3일 간격으로 처리하면서 2주동안 생육시킨 후, 초장, 엽수, 엽면적 및 건물중을 조사하였다. 또한 성장해석을 위하여 산성비 처리기간중의 개체건물생장의 상대성장율(Relative Growth Rate: RGR), 순동화율(Net Assimilation Rate: NAR), 엽건중비(Leaf Dry Weight Ratio: LWR)를 구하였다.

### 산성비에 대한 잎의 완충능력 및 양료용탈

산성비에 의한 잎의 완충능력 및 양료용탈 정도를 조사하기 위하여 3주 동안 생육한 봉선화 및 만수국을 대상으로 중위엽 2g을 채취하여 Craker와 Bernstein[1]의 방법에 따라 각 pH별 산성용액에 침지한 후 시간별(0, 30, 60, 120분)로 용액의 pH 변화를 조사하였다. 또한 두 초종간의 산성비에 의한 양료용탈을 조사하기 위하여 1g의 잎을 채취하여 각 pH별 산성용액에 침지한 후, ICP-spectrometer를 이용하여 시간별(0, 30, 60, 120분)로 용액속에 용출된 P, K, Ca, Mg의 변화량을 조사하였다.

## 결과 및 고찰

종자발아 및 유식물 성장에 미치는 산성비의 효과

여러 수준의 산성비 처리가 봉선화 및 만수국 종자의 발

아와 초기 생육에 미치는 영향을 Table 1에 나타내었다. 산성비 처리에 의해 두 초종 모두 발아가 억제되는 것으로 나타났으며, pH 2.0에서는 공시한 두 초종 모두 발아하지 못하였고, pH 3.0에서는 약 85%의 발아율을 보인 봉선화가 67%의 발아율을 보인 만수국보다 높은 발아율을 나타내었다. 또한 pH 4.0에서는 두 초종 모두 98%이상의 높은 발아율을 나타내어 대조구와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 대부분의 식물종자는 pH 4.0-7.0 사이에서 발아하는 것으로 보고되어 있는데[8], 본 실험에서의 두 초종이 pH 4.0에서 대부분 발아한 것으로 보아 비교적 강산성에서도 발아력이 유지되는 것으로 나타났다.

배축과 유근의 길이도 발아율과 비슷한 경향을 보여 pH 4.0에서는 두 초종 공히 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았으나, pH 3.0에서 배축의 길이는 만수국에서 약 30%, 봉선화에서 약 40%의 억제를 나타내었다. 또한 유근의 길이는 만수국에서 약 70%, 봉선화가 약 90%의 감소를 나타내었으며, 배축에 비해 유근의 길이가 더 억제되는 것으로 나타났다. 세포분열에 의해 발달되는 유근은 세포신장에 의해서 이루어지는 배축보다 더 연약한 조직이며[6], 직접 산성용액에 접촉되어 용액의 화학적 성질에 영향을 받게 되기 때문인 것으로 사료된다.

이상의 결과로 볼 때 산성비는 발아에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 두 초종간에도 반응차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 식물 종간의 발아 반응 차이는 수목 종자를 이용한 김[10] 및 초화류를 이용한 이 등[12]의 실험에서도 보고되어 있다. 일반적으로 종자의 발아에는 종자의 구조, 삼투압, 각종 효소의 활성, 물질대사 등이 관여하는 것으로 알려져 있으나 아직 강한 산성이 종자 발아에 미치는 생리생화학적 기작에 대하여는 정확히 밝혀져 있지

않다.

산성비에 대한 생장반응

3주 동안 생육한 건전한 식물체를 대상으로 3일 간격으로 여러 수준의 산성비를 처리한 결과, 두 초종 모두 생장 억제 및 극심한 가시적 피해가 나타났다(Fig. 1). 특히 산성비의 pH가 낮을수록 심하게 나타났으며, 봉선화의 경우 pH 2.0의 산성비 1회 처리부터 잎에 암회색 또는 적갈색의 피사 반점이 생성되었으며, 잎의 가장자리와 줄기 선단부터 시드는 현상을 보였다. pH 3.0 처리에 의해서도 시간의 경과에 따라 암색의 반점이 생성되고 생육저해를 받는 것으로 나타났으며, 이러한 산성비의 피해는 봉선화가 만수국에 비해 심한 것으로 나타났다.

각 pH별로 산성비 처리가 생육에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 두 초종 공히 pH가 낮아짐에 따라 초장 및 근장, 엽면적의 감소를 나타내었다. 초장의 경우 2주간의 pH 2.0 처리에 의해 두 초종 모두 약 50%의 감소를 보였다. 근장 및 엽면적도 산성비의 pH가 낮아짐에 따라 감

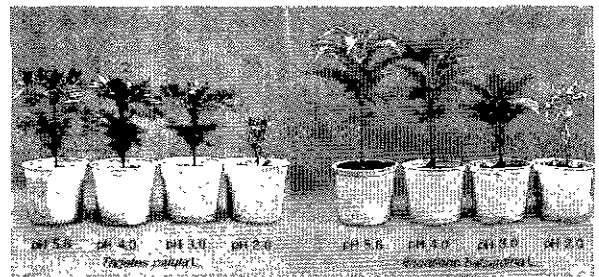


Fig. 1. Effect of simulated acid rain with different levels of pH on the growth of *Impatiens balsamina* L. and *Tagetes patula* L. plants.

Table 1. Effects of simulated acid rain with different pH levels on the germination and seedling growth of *Tagetes patula* L. and *Impatiens balsamina* L.

	<i>Tagetes patula</i> L.				<i>Impatiens balsamina</i> L.			
	Control (pH 5.6)	pH 4.0	pH 3.0	pH 2.0	Control (pH 5.6)	pH 4.0	pH 3.0	pH 2.0
Germination, %	100	100	67	0	100	100	85	0
Hypocotyl, cm	2.72(100%) <sup>1)</sup>	2.56(94%)	1.99(73%)*	-	1.49(100%)	1.41(95%)	0.91(61%)*	-
Radicle, cm	4.52(100%)	4.40(97%)	1.46(32%)*	-	3.78(100%)	3.64(96%)	0.39(10%)*	-

<sup>1)</sup>% of control, \* represents significant difference at p < 0.05.

Table 2. Effects of simulated acid rain with different pH levels on the growth parameters, relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR) and leaf dry weight ratio (LWR) of *Tagetes patula* L. and *Impatiens balsamina* L. plants

Parameters	<i>Tagetes patula</i> L.				<i>Impatiens balsamina</i> L.			
	Control (pH 5.6)	pH			Control (pH 5.6)	pH		
		4.0	3.0	2.0		4.0	3.0	2.0
Plant height, cm	17.8±0.8	16.8±0.9	14.3±0.7*	9.6±0.4*	22.7±1.8	20.4±1.7	15.5±1.2*	11.9±1.0*
Root length, cm	25.4±1.3	25.8±2.1	23.3±1.8	16.2±0.5*	26.5±2.3	23.7±1.9	25.9±2.1	19.8±2.6*
Leaf area, cm <sup>2</sup>	99.0±7.6	88.3±9.2	77.7±5.8*	17.0±1.3*	271.3±16.3	211.3±11.8*	169.0±18.8*	9.0±3.0*
Leaf dry weight, g	0.40±0.03	0.37±0.02	0.34±0.02*	0.10±0.01*	0.94±0.05	0.75±0.02*	0.56±0.05*	0.16±0.02*
Stem dry weight, g	0.16±0.01	0.14±0.01	0.13±0.01*	0.03±0.01*	0.29±0.02	0.27±0.02	0.20±0.02*	0.05±0.01*
Root dry weight, g	0.23±0.01	0.23±0.02	0.22±0.01	0.05±0.01*	0.58±0.02	0.50±0.01*	0.41±0.04*	0.09±0.01*
Total dry weight, g	0.80±0.05	0.74±0.04	0.69±0.04*	0.18±0.03*	1.81±0.09	1.52±0.05*	1.06±0.11*	0.31±0.04*
RGR, gg <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	0.160(100%) <sup>1)</sup>	0.154 (96%)	0.149 (93%)	0.036 (23%)	0.154(100%)	0.139 (91%)	0.117 (76%)	0.006 (4%)
NAR, gg <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	0.283(100%)	0.276 (97%)	0.267 (94%)	0.058 (20%)	0.284(100%)	0.276 (94%)	0.276 (80%)	0.012 (4%)
LWR, %	56.5 (100%)	55.8 (99%)	55.5 (98%)	57.1 (103%)	56.4 (100%)	50.5 (97%)	50.5 (95%)	52.6 (101%)

<sup>1)</sup>% of control, \*represents significant difference at p < 0.05.

소하는 것으로 나타났으며, 특히 만수국에 비해 봉선화에서 큰 감소를 나타내었다. 산성비에 의한 생육억제는 발아 시험 결과(Table 1)와 상이하게 근장보다 초장에서 큰 억제 를 나타내었는데 산성비 처리가 지상부에 직접 접촉했기 때문인 것으로 사료된다. 또한 건물중은 만수국의 경우 pH 3.0 이하의 산성비 처리에 의해 감소를 보인 반면, 봉 선화는 pH 4.0 처리에 의해서 약 16%의 유의한 감소를 나 타내었다. 또한 두 초종 공히 상대성장율(RGR) 및 순동화 율(NAR)은 산성비의 H<sup>+</sup> 부하량이 증가함에 따라 저하하 였으며 이러한 저하는 만수국보다 봉선화에서 두드러지게 나타났다. 그러나 엽건중비(LWR)는 H<sup>+</sup> 부하량이 증가함 에 따른 큰 변화는 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 두 초종에 있어서 건물생산 효율이 산성비에 의해 직접적으로 영향을 받고 있음을 시사하며 봉선화에서 산성비에 의한 피해가 큰 것을 의미한다.

이상의 결과로 볼 때 두 초종은 산성비에 의해 직접적인 생육억제의 피해를 받고 있으며, 두 초종간에 감수성의 차 이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 감수성의 차이는 4 개 수종을 대상으로 산성비의 영향을 조사한 한과 이[5]의 실험과 11개 수종간의 반응차를 조사한 Lee와 Weber[11] 의 실험에서도 보고되어 있으며, 식물의 구조적 특성뿐만 아니라 산성비에 대한 완충능력 및 생체 방어능력 등의 복합적인 요인에 의한 것으로 사료된다.

pH 완충효과

산성비에 대한 식물의 완충능력은 잎 표면에 축적되어 있는 침적물의 량과 침적물에 함유된 이온의 농도에 따라 좌우된다. 이러한 완충효과는 식물자체 뿐만아니라 산성비 에 의한 가장 큰 문제점 중의 하나인 토양산성화에도 영향 을 미칠 수 있다. 여러 수준의 산성비에 대한 두 초종의 완 충능력을 조사한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. pH 5.6에서 는 침적 시간의 경과에 따라 다소 변동이 있었으나 큰 차

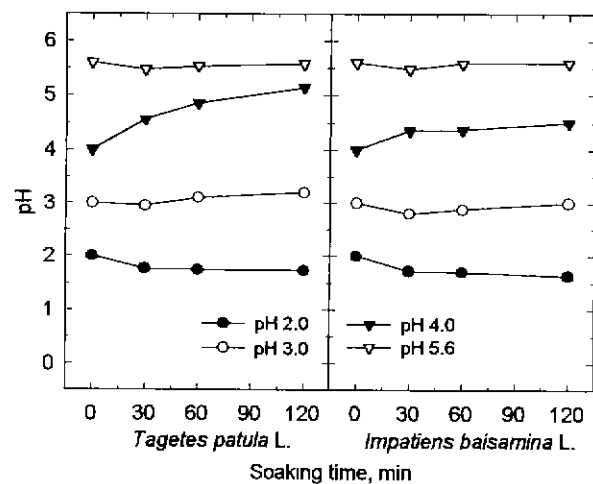


Fig. 2. The pH changes of soaking solution with different pH levels which contained detached leaves of *Tagetes patula* L. and *Impatiens balsamina* L.

이는 나타나지 않았다. 그러나 pH 4.0 처리에 의해 두 초종 모두 상승한 것으로 나타났으며, 특히 만수국의 경우 급격한 상승을 보여 120분 처리시 pH 5.1 이상으로 상승하여 일정한 pH 대로 변해 가는 것으로 나타났다. 이것은 세포 및 세포질 유출시 식물체 내의 생리적 안정을 위해 존재하고 있는 pH 완충물질이 기공 및 엽병의 상처를 통하여 유출되어 pH의 변화를 가져온 것으로 사료된다[9]. 또한 pH 4.0 처리에서 두 초종간의 완충능력에 큰 차이를 보였는데, 두 초종간의 조직내 산도 및 산도 유지기작이 상이하기 때문인 것으로 사료된다. 식물체는 생화학적 산화환원반응을 통하여 조직내의 산도를 조절하는 기능을 가지며[19], 이러한 특성이 유전적 형질임을 밝힌 보고가 있다[17]. 산성비에 대한 완충능력의 차이는 수목에 있어서도 다양한 것으로 보고되어 있다[16]. 또한 pH 2.0에서는 시간의 경과에 따라 pH가 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 결과는 완충능력이 우수한 수종이라 할지라도 강산성비에 장기간 노출되면 엽내의 이온이 고갈되어 완충능력이 떨어진다고 보고한 Tukey[20]의 결과와 유사한 경향을 나타내었으며, 엽조직내의 완충능력이 감소하여 원형질 분리나 막구조의 파괴 등에 의한 세포질 용출에 기인한 것으로 사료된다[7]. 이상의 결과로 볼 때 만수국이 봉선화보다 산성비에 대한 완충능력이 다소 높은 것으로 나타났다.

양료용탈

일반적으로 빗물에는  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^{+}$  등의 양이온과  $SO_4^{-2}$ ,  $NO_3^{-2}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $HCO_3^{-}$  등의 음이온이 함유되어 있어 식물의 양분 공급원이 되기도 한다[13]. 그러나 산성비의 높은  $H^{+}$  농도에 기인하여 잎의 wax 층이 붕괴되고 기공 주변의 조직이 파괴되어  $K^{+}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  등의 이온이 용탈되는 것으로 보고되어 있으며, 이러한 용탈은 잎의 형태적 특성, 대기의 습도와 온도, 강우의 pH 등에 따라서 달라지는 것으로 보고되어 있다[13]. 본 실험에서 산성용액 처리에 의한 용액내의 양료 함량은 산성비의 pH값이 낮아질수록 높아지는 것으로 나타났으며, 초종에 따라 서로 상이하게 나타났다(Fig. 3). 이러한 결과는 Mollitor와 Raynal[14]이 산성비 자체의 pH보다 수목을 통과한 산성비에서  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^{+}$ 의 함유량이 더 많았음을 관찰한 결과와 Wood와 Bormann[22]이 pinto bean과 sugar maple의 잎에 산성비를 살포한 결과, 산성비의 pH 값이 낮아짐에 따

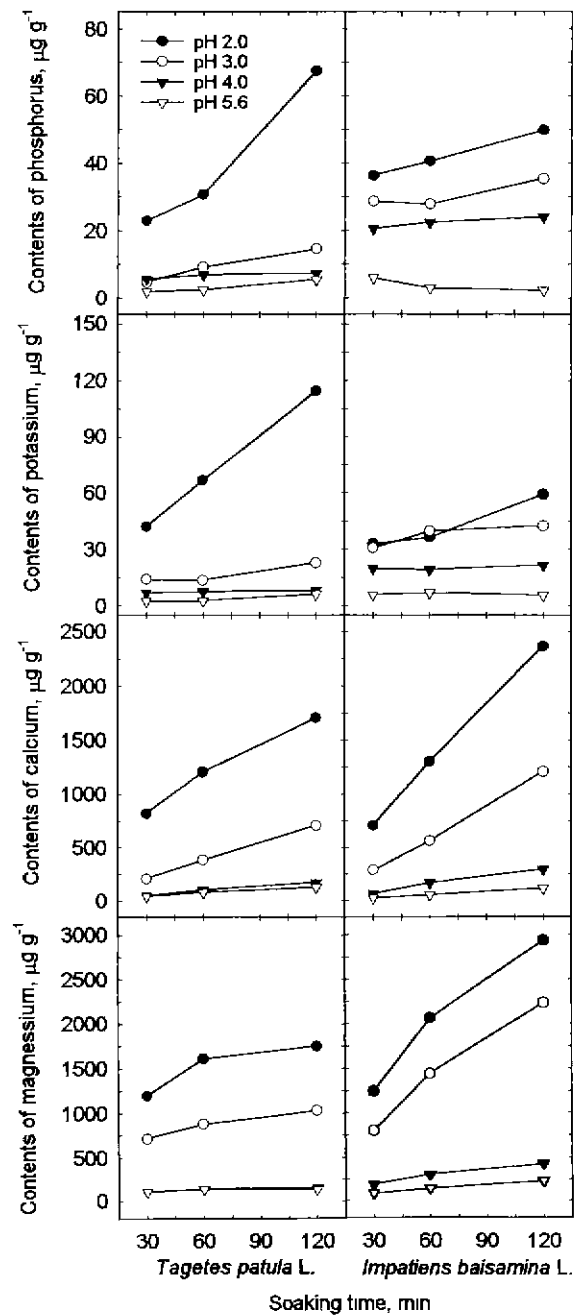


Fig. 3. Changes of leached nutrient contents in soaking solution with different pH levels which contained detached leaves of *Tagetes patula* L. and *Impatiens balsamina* L.

라 잎으로부터  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^{+}$  등의 양이온 용출량이 증가하였다는 보고와 비슷한 경향을 나타내었다. 또한 본 실험에서 pH 2.0 처리를 제외한 나머지 처리구에서 만수국

에 비해 봉선화에서 양료용탈이 높은 것으로 나타났으며, 두 초종간의 완충능력 차이(Fig. 2)를 보인 pH 4.0 처리부터 양료용탈의 차이가 증가하는 것으로 나타났다.  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^{+}$  등의 양이온 용탈은 pH 3.0에서부터 급격한 증가를 보였는데, 이는 생육조사(Table 2)에서도 pH 3.0에서부터 생장이 감소한 결과와 관련이 있을 것으로 추측되며, 이러한 결과는 pH 3.0 이하에서는  $H^{+}$ 의 높은 농도로 인하여 엽조직의 손상과 양료의 극심한 용출을 가져왔다는 Wood와 Bormann[22]의 보고와 일치하는 것으로 나타났다.

이상의 실험 결과를 종합해보면 산성비는 식물에 가지 피해 및 생육억제를 나타내며, 그 정도는 식물 종에 따라 다양한 것으로 나타났는데, 이러한 현상은 식물의 pH에 대한 완충능력이나 엽내의 양료용탈 정도의 차이와 관련이 있을 것으로 추측된다. 따라서 더 많은 초화류를 대상으로 산성비에 대한 피해 정도를 조사하고 알맞는 초종을 선발하여, 이미 산성비가 내리고 있거나 내릴 가능성이 있는 공단지역 및 대도시의 녹지조성에 이용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

## 요 약

인공산성비가 봉선화와 만수국의 발아, 성장, pH 완충능력, 양료용탈에 미치는 영향을 조사하였다. 두 초종 모두 pH 4.0에서 대부분 발아하였으며, pH 3.0에서는 봉선화가 만수국보다 높은 발아율을 나타내었다. 산성비에 의해 두 초종 공히 배측의 길이에 비해 유근의 길이가 더 억제되는 것으로 나타났다. pH가 낮아짐에 따라 초장, 근장, 엽면적이 감소하였으며, 만수국에 비해 봉선화에서 큰 감소를 나타내었다. RGR 및 NAR은 산성비의  $H^{+}$  부하량이 증가함에 따라 저하하였다. 완충효과는 pH 4.0 처리에 의해 만수국에서 급격한 상승을 보였으며, pH 2.0에서는 두 초종 모두 시간의 경과에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 산성비 처리에 의한 용탈 양료의 함량은 pH가 낮을수록 높아지는 것으로 나타났으며, 봉선화에서 심한 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. Craker, L. E. and D. Bernstein. 1984. Buffering of acid rain by leaf tissue of selected crop plants. *Environ. Pollut.* **36**, 375-381.

2. Evans, L. S. and T. M. Curry. 1979. Differential response of plant foliage to simulated acid rain. *Amer. J. Bot.* **66**, 953-962.

3. 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.

4. 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.

5. Han, S. H. and K. J. Lee. 1997. Buffering capacity of four tree species against soil acidification by acid rain and variations in nutrient leaching from tree crowns. *J. Kor. For. Soc.* **86**, 342-351.

6. Harber, A. H. and H. J. Luipold. 1966. Separation of mechanisms initiating cell division and cell expansion in lettuce seed germination. *Plant Physiol.* **35**, 168-173.

7. Heath, R. E. 1980. Initial events in injury to plants by air pollutants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **31**, 395-431.

8. Justice, O. L. and M. H. Reece. 1954. A review of literature and investigation on the effect of hydrogen-ion concentration on the germination of seeds. *Proc. of the AOAC* **1**, 144-149.

9. Kim, G. T. 1989. A study on selection of  $SO_2$  resistant tree species. *J. Kor. For. Soc.* **78**, 209-217.

10. 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.

11. Lee, J. J. and D. E. Weber. 1982. Effects of sulfuric acid rain on major cation and sulfate concentrations of water percolating through two model hardwood forests. *J. Environ. Qual.* **11**, 57-64.

12. Lee, J. S. and J. S. Kim. 1994. Effects of simulated acid rain on seed germination of several floricultural crops. *Kor. J. Environ. Agric.* **13**, 168-174.

13. 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.

14. Mollitor, A. V. and D. J. Raynal. 1982. Acid precipitation and ionic movements in Adirondack forest soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **46**, 137-141.

15. Nouchi, I. 1991. Acid rain and plant damage. *J. Agr. Met.* **47**, 165-175.

16. Pylypec, B. and R. E. Redmann. 1984. Acid-buffering capacity of foliage from boreal forest species. *Can. J. Bot.* **62**, 2650-2653.
17. Scholz, F. and S. Reck. 1977. Effects of acids on forest trees as measured by titration *in Vitro*, inheritance of buffering capacity in *Picea abies*. *Water, Air and Soil Pollut.* **8**, 41-45.
18. Singh, A. and M. Agrawal. 1996. Response of two cultivars of *Triticum aestivum* L. to simulated acid rain. *Environ. Pollut.* **91**, 161-167.
19. Smith, F. A. and J. A. Ravan. 1979. Intercellular pH and its regulation. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **30**, 289-311.
20. Tukey, H. B. 1970. The leaching of substances from plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **21**, 305-324.
21. 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.
22. Wood T. and F. H. Bormann. 1974. The effects of artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis*. *Environ. Pollut.* **7**, 259-269.