

4종 초화류에 대한 pH 수준별 처리가 잎의 완충능력, chlorophyll 함량 및 무기성분 용출에 미치는 영향

김 학 윤

경북대학교 농업과학기술연구소

Effect of Simulated Acid Solution on Acid Buffering Capacity, Chlorophyll Content and Nutrient Leaching in the Leaves of 4 Herb Species

Hak Yoon Kim

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

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of simulated acid solution (SAS) on acid buffering capacity, chlorophyll content and nutrient leaching in 4 herb species (*Petunia hybrida* Vilm., *Gomphrena globosa* L., *Celosia cristata* L., *Salvia officinalis* L.). The acid buffering capacity in the leaves was increased in the treatment of pH 3.0 in *Celosia cristata* L. and *Salvia officinalis* L., whereas it was increased at pH 4.0 in *Petunia hybrida* Vilm. and *Gomphrena globosa* L.. But, the acid buffering capacity of the leaves did not work at pH 2.0 treatment in 4 herb species. With decreasing pH level, the chlorophyll content of *Petunia hybrida* Vilm. and *Gomphrena globosa* L. was markedly decreased than that of *Celosia cristata* L. and *Salvia officinalis* L.. As the pH levels decreased from 5.6 to 2.0, the nutrient leaching from leaves was significantly increased in 4 herb species. In pH 4.0 and 5.6, the concentrations of nutrient leaching from leaves were higher in *Petunia hybrida* Vilm. and *Gomphrena globosa* L. than in *Celosia cristata* L. and *Salvia officinalis* L.. Based on the results, there was a great differences in response to SAS among the 4 herb species. In general, *Celosia cristata* L. and *Salvia officinalis* L. represented a higher tolerance to SAS than *Petunia hybrida* Vilm. and *Gomphrena globosa* L..

Key words – Acid buffering capacity, chlorophyll content, nutrient leaching, pH solution

서 론

산업화 및 공업화로 인하여 대기오염 물질이 광범위한 지역으로 확산되고 그로 인해 세계 여러 곳에서 산성비의

관측이 보고되고 있다.

산성비는 여러 형태로 식물에 악영향을 미친다. 잎의 cuticle층을 손상시켜 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ 등과 같은 생체 유용성분들을 용출시키며[12,21], 엽육세포의 파괴로 비정상적인 생장을 초래하고[4], 각종 생리 대사작용을 교란시켜 chlorosis 및 necrosis를 일으킨다[5]. 또한 산성비는 토양 산성화를 유도하여 토양 영양염류의 용탈, 토양 미생물의

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

생장변화 등 식물 생육환경의 변화를 초래하기도 한다[13].

식물에 따라서 산성비에 대한 반응은 다양하게 나타나며, 단자엽 식물보다 쌍자엽 식물이, 목본 식물보다 초본 식물이 산성비에 대한 감수성이 높은 것으로 알려져 있다 [3,5]. 이러한 감수성 차이는 식물 종간의 형태적 특성과 생체방어능력의 차이뿐만 아니라 [19] 산성비의 영향을 감소시킬 수 있는 식물의 pH 완충능력 및 중화능력의 차이에 의해 다양한 것으로 보고되어 있다[14,15].

식물의 pH 완충능력 및 중화능력은 산성비의 가장 큰 문제점 중의 하나인 토양산성화의 지연 또는 조절에도 기여 할 가능성이 있는 것으로 보고되어 있다[1]. Han과 Lee[6]에 의하면 산성비의 pH는 수목을 흘려내리면서 수목의 완충작용과 중화작용에 의해 변화되는데, 이는 수종에 따라 다양하며 튜립나무의 경우 산성비에 대한 완충능력과 중화능력이 매우 높아 토양산성화를 지연 또는 조절할 가능성이 있는 반면, 리기다소나무의 경우는 완충능력과 중화능력이 매우 낮아 산성비를 중화시킬 능력이 없을 뿐만 아니라 오히려 pH를 감소시키는 것으로 나타나 토양산성화를 가속화시킬 가능성이 있는 것으로 보고되어 있다. 따라서 이러한 식물 종간의 특성을 이해한다면 산성비가 내리는 지역에 적합한 식물을 선발할 수 있을 뿐만 아니라 식물에 의한 토양산성화의 방지도 효과가 있을 것으로 사료된다.

지금까지 산성비가 식물에 미치는 영향에 대해서는 수목이나 일부 농작물에 대한 성장반응 또는 피해 메커니즘에 대한 연구가 대부분이며 [2,4,19], 초화류에 대한 연구는 상대적으로 적은 실정이다. 일부 화훼류는 산성비에 노출되었을 경우 잎의 손상과 화색의 변화 등에 의해 관상가치 및 상품가치가 현저히 저하는 되는 것으로 보고되어 있다[13].

본 연구는 도시의 화단 및 꽃길 조성용으로 많이 이용되고 있는 초화류를 대상으로 산성비에 의한 chlorophyll 함량 변화와 생체 유용성분 용탈 정도를 조사하여 산성비에 의한 각 초종의 피해정도를 조사함과 동시에 각 초종의 pH 완충능력을 조사하여 산성비가 내리거나 내릴 가능성이 있는 도심 또는 공단지역에 식재하였을 경우 관상가치의 유지뿐만 아니라 산성비를 1차 적으로 완충시킬 수 있는 초종을 선발하기 위한 기초 연구로서 수행하였다.

재료 및 방법

공시식물

본 실험의 공시 식물로는 대구광역시 입업시험장에서 도시녹지 및 꽃길 조성용으로 재배되고 있는 페튜니아(*Petunia hybrida* Vilm.), 천일홍(*Gomphrena globosa* L.), 맨드라미(*Celosia cristata* L.), 세르비아(*Salvia officinalis* L.)의 4종의 초화류를 출하 직전의 건전한 식물체를 분양 받아 사용하였다(Fig. 1).

산성용액의 제조

인공산성용액의 제조는 Singh와 Agrawal[16]의 방법에 따라 1N H₂SO₄와 1N HNO₃를 이용하여 pH가 2.0, 3.0, 4.0인 산성용액을 만들어 사용하였으며, 대조구로는 일반적으로 산성비의 기준인 pH 5.6 용액을 제조하여 사용하였다.

Chlorophyll 함량의 변화

산성용액에 의한 식물 잎의 chlorophyll 함량 변화를 조사하기 위하여 4종의 공시 식물을 대상으로 중위엽을 각 1g 씩 채취하여 pH별 산성용액 30 ml에 침지시키고, 시간별(0.5, 1, 3, 6, 12, 24, 48시간)로 꺼낸 후, 99.5% ethanol에 넣고 4℃의 암상태에서 48시간 동안 추출하였다. Chlorophyll 함량 측정은 spectrophotometer (UV-1200, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 각 처리간 4반복 씩 Kundson 등[9]의 방법에 따라 664 nm 및 649 nm에서의 흡광도를 측

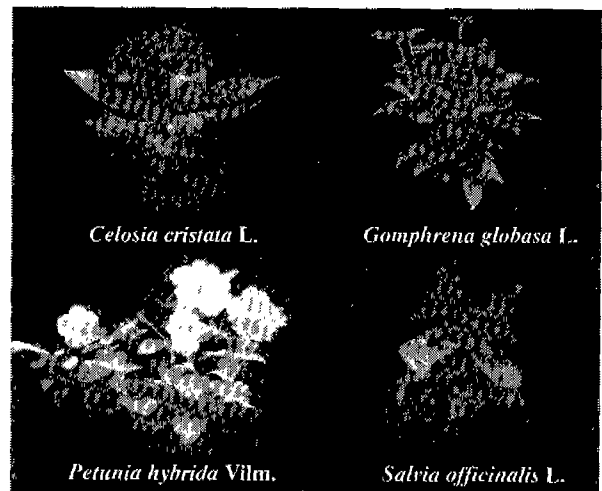


Fig. 1. Four herb species used as materials in this study.

정하여 함량을 조사하였다.

산성용액에 대한 잎의 완충능력

산성용액에 대한 잎의 pH 완충능력을 조사하기 위하여 4종의 초화류를 대상으로 증위엽을 각각 2 g 씩 채취하여 Craker와 Bemstein[2]의 방법에 따라 각 pH별 산성용액에 침지한 후, 시간별(0.5, 1, 3, 6, 12, 24, 48시간)로 침지용액의 pH 변화를 각 처리간 4반복으로 조사하였다.

산성용액에 의한 잎의 양료용탈

산성용액에 의한 4종의 초화류 잎의 양료용탈 정도를 조사하기 위하여 증위엽을 2 g 씩 채취하여 각 pH별 산성용액 30 ml에 침지한 후, 48시간 후에 용액내에 용출된 P, K, Ca, Mg의 생체유용성분을 ICP-spectrometer (ICPQ-1000, Shimadue)를 이용하여 조사하였다. 각 처리간 4반복으로 실험을 실시하였다.

결과 및 고찰

맨드라미, 천일홍, 페튜니아, 세르비아 등은 화단뿐만 아니라 꽃길 조성 등의 도시조경에 많이 이용되고 있는 초화류이다(Fig. 1). 본 실험에서 공시 4초종의 산성용액 처리에 의한 pH 완충능력 조사 결과를 Fig. 2에 나타내었다. pH 5.6 및 4.0 처리에 의해 4초종 모두 급격한 pH의 증가를 보이다가 시간의 경과에 따라 차츰 감소하여 두 처리 모두 일정한 pH대로 안정화되는 것으로 나타났다. 특히 48시간 처리에서 볼 때, 맨드라미와 세르비아는 각각 pH 5.4 및 5.5 전후로, 천일홍 및 페튜니아는 pH 4.8 및 4.7 전후로 나타나 초종간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 각 초종의 엽조직내 고유 산도 및 산도유지기작이 상이하기 때문인 것으로 사료된다. 식물체는 생화학적 산화환원반응을 통하여 조직내의 산도를 조절하는 기능을 가지며[17], 이러한 특성이 유전적 형질임이 밝혀져 있다[15]. 또한 pH 4.0 처리에서뿐만 아니라 pH 3.0 처리에서도 pH 상승효과가 나타났는데, 48시간 처리에 의해 맨드라미와 세르비아에서 각각 pH 4.3 및 4.2의 높은 상승효과를 나타낸 것에 반하여, 천일홍과 페튜니아에서는 각각 pH 3.2 및 3.4로 비교적 낮은 상승 효과를 나타내어 초종에 따라 pH 완충능력의 차이가 있는 것으로 나타났다. pH 상승효과는 세포

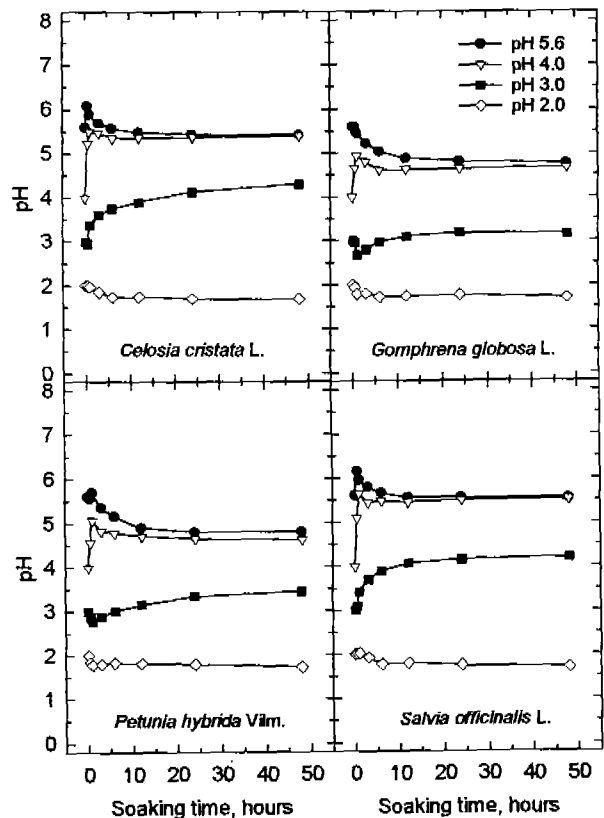


Fig. 2. The pH changes of soaking solution initiated at different pH levels after containing the detached leaves of 4 herb species.

및 세포질 유출시 식물체 내의 생리적 안정을 위해 존재하고 있는 pH 완충물질이 기공 및 엽병의 상처를 통하여 유출되어 pH의 변화를 가져온 것으로 사료된다[8]. pH 완충능력의 차이는 수목간에서도 다양한 것으로 보고되어 있으며, 7종의 수목을 대상으로 pH 상승효과를 조사한 결과 pH 3.0의 산성용액 48시간 처리에 의해 소나무, 잣나무 등 침엽수 계통의 잎에서는 pH 3.4 전후의 낮은 상승효과를 나타낸 반면, 아카시아 및 은행잎의 경우 pH 5.0 이상의 높은 증가를 나타낸 것으로 보고되어 있다[20]. 한편 pH 2.0 처리에서는 4초종 모두 시간의 경과에 따라 pH가 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 결과는 완충능력이 우수한 수종이라도 강산성비에 장기간 노출되면 엽내의 이온이 고갈되어 완충능력이 떨어진다고 보고한 Tukey[18]의 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 이상의 결과로 볼 때 초종에 따라 pH 완충능력의 차이가 있으며, 천일홍과 페튜니아에 비하여 맨드라미와 세르비아가 pH 완충효과가 높은 것으

로 나타났다.

식물 잎의 chlorophyll 함량은 오존 등의 대기오염 물질이나, 자외선, 건조 등의 환경스트레스에 의해 민감하게 변하기 때문에 chlorophyll 함량의 변화는 식물의 생리적 손상 정도를 파악하는 기준으로 이용되고 있다[11]. 일반적으로 산성비가 chlorophyll 함량을 감소시키는 것으로 보고되어 있으나, 산성비의 pH, 작물의 종류, 생육시기 등에 따라서 증가하는 경우도 있어 그 경향이 일정치 않다[11]. 본 실험에서 pH별 산성용액 처리에 의한 chlorophyll 함량 변화를 조사한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 초종에 따라서 고유 chlorophyll 함량이 다소 차이가 있는 것으로 나타났으며, 대조구인 pH 5.6 처리를 제외한 모든 처리에서 시간이 경과함에 따라 chlorophyll 함량이 감소하는 경향을 나타내었다. pH 4.0 처리의 경우 4초종 모두 감소하는 경향은 나타났으나 대조구에 비하여 큰 변화는 나타나지 않았으며, pH 3.0의 48시간 처리에서 맨드라미와 세르비아는 대조구에 비해 약 6% 정도의 chlorophyll 함량 감소를 나

타내었으나, 천일홍 및 페튜니아에서는 각각 11% 및 13% 정도의 큰 감소를 나타내었다. 이러한 초종간의 차이는 pH 2.0 처리에서 더 크게 나타났는데, 48시간 처리에 의해 맨드라미에서 11%, 세르비아에서 10% 전후의 chlorophyll 함량 감소를 보인 것에 비하여 천일홍과 페튜니아에서는 각각 21% 및 20%의 감소를 나타내었다. 따라서 산성용액에 의한 chlorophyll 함량 감소는 맨드라미와 세르비아에 비하여 천일홍과 페튜니아에서 심한 것으로 나타났다. Chlorophyll은 광에너지를 화학에너지로 전환시키는 광합성의 중심 물질로서, chlorophyll 함량 감소는 산성용액에 의해 생리적 장애 및 물질생산 저하의 영향을 받고 있음을 의미한다. 산성용액에 의한 chlorophyll 함량 변화는 수목을 대상으로 수행한 Woo 등[20]의 실험에서도 보고되어 있으며, 상수리나무 및 벚나무 잎의 경우 pH 2.0의 산성용액 48시간 처리에 의해 약 6% 전후의 chlorophyll 함량의 감소를 나타내었으며, pH 3.0 이상의 산성용액에 의해서는 큰 영향을 받지 않는 것으로 보고하였다. 따라서 본 실험과 Woo 등[20]의 실험을 비교해볼 때, 목본류보다 초화류 잎의 chlorophyll이 산성용액에 의해 크게 감소하는 경향이 있는 것으로 추측된다.

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[12]. 그러나 산성비의 높은 H^+ 농도에 기인하여 잎의 wax 층이 붕괴되고 기공주변의 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 pH 농도별 산성용액 처리에 의한 4초종의 엽내 무기성분 용탈 정도를 조사한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 무기성분의 용탈 정도는 4초종간에 차이를 보였으나, 산성용액의 pH가 낮아질수록 증가하는 것으로 나타났으며, 용출 정도는 $P > K > Mg > Ca$ 순으로 나타나 산성용액에 의해 P의 용출이 여타 원소보다 높은 것으로 나타났다. 또한 무기성분의 용탈 정도는 4초종 공히 pH 4.0 처리가 대조구인 pH 5.6 처리에 비하여 약간 증가하는 것으로 나타내었으나, pH 3.0 및 2.0 처리에서는 초종에 따라 차이는 있으나 급격히 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 pH 3.0 이하에서는 H^+ 의 높은 농도로 인하여 엽조직의 손상과 양료

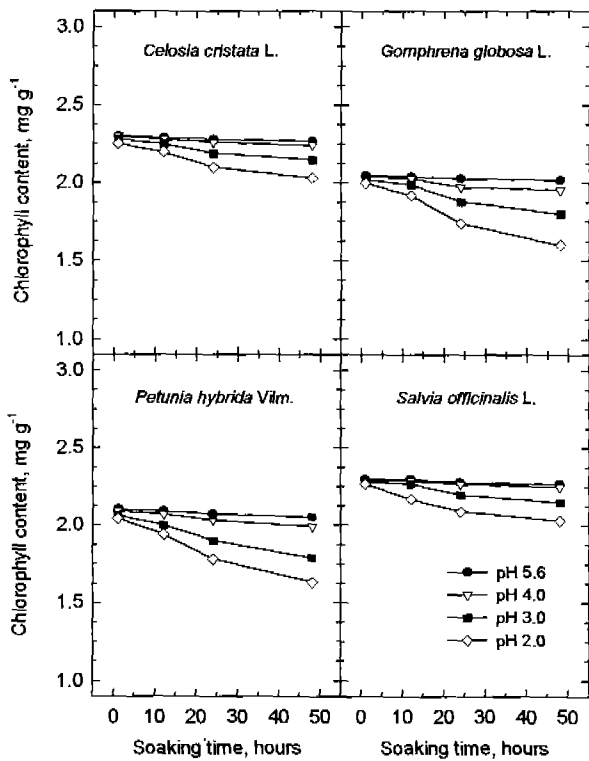


Fig. 3. Effect of different levels of acid solution on the chlorophyll content of 4 herb species.

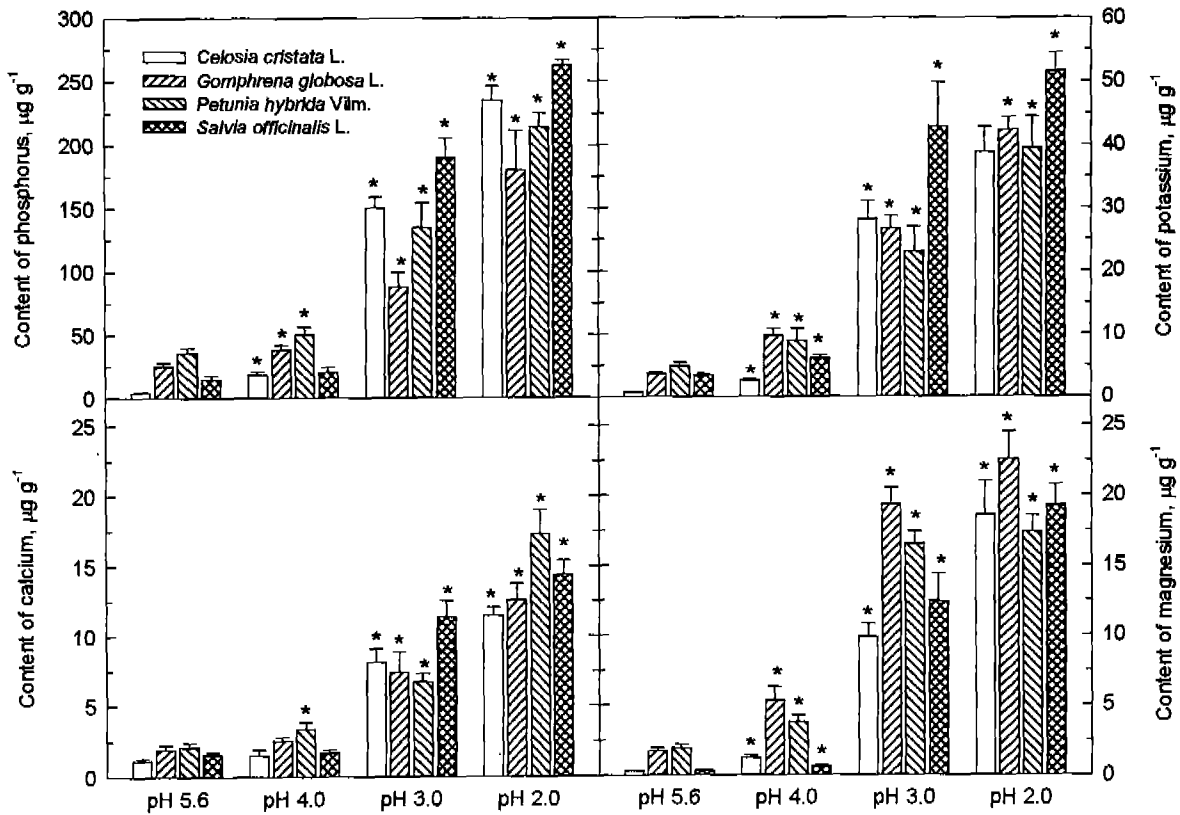


Fig. 4. Changes of leached nutrient contents in soaking solution initiated at different pH levels after containing the detached leaves of 4 herb species. Each column is the mean of 4 plants and the vertical bars represent the standard error for the mean. Statistically significant differences between the means are indicated by * ($P < 0.05$).

의 극심한 용출을 가져왔다는 Wood와 Bormann[21]의 보고와 일치하는 것으로 나타났다. 또한 pH 5.6 및 4.0 처리에서 P, K, Ca, Mg의 용탈 정도를 조사한 결과 천일홍과 페튜니아가 맨드라미와 세르비아보다 높게 나타났으나, 비교적 강산성을 나타내는 pH 3.0 및 2.0 처리에서는 이러한 경향은 나타나지 않았다. 또한 pH 3.0의 경우 P, K, Ca의 용탈 정도는 천일홍과 페튜니아가 맨드라미와 세르비아보다 높은 것으로 나타났으나, Mg의 용탈 정도는 맨드라미와 세르비아에서 높게 나타났다.

본 실험의 결과를 종합해 볼 때, 맨드라미 및 세르비아의 경우는 pH 4.0 이상의 산성비라면 심각한 chlorophyll 함량 감소나 생체유용성분의 용출 등의 생리적 장애 없이 생장이 가능할 것으로 사료되며, 또한 천일홍이나 페튜니아보다 높은 pH 완충능력이 있어 토양산성화의 지연 또는 조절에도 기여 할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 이러한 산성용액에 대한 식물의 반응 차이를 이용한다면 산성비의

발생이 빈번한 도심이나 공단지역의 녹지 조성 및 화단재배 용으로 pH 완충능력이 높은 식물 종을 식재 할 경우 산성비에 의한 관상가치의 저하 방지뿐만 아니라 토양산성화 방지에도 도움이 될 것으로 사료된다.

요 약

초화류 4종(맨드라미, 페튜니아, 천일홍, 세르비아)을 대상으로 산성용액 처리에 의한 pH 완충능력, chlorophyll 함량 변화 및 무기성분의 용탈 정도를 조사하였다. 맨드라미와 세르비아의 경우 pH 3.0 처리에서 높은 pH 완충능력을 나타내었으며, 천일홍과 페튜니아의 경우 pH 4.0 처리에서 완충능력이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 pH 2.0 처리에서는 4초종 모두 pH 상승효과는 나타나지 않았다. Chlorophyll 함량은 4초종 모두 산성용액 처리시간이 경과함에 따라 감소하였으며, pH 3.0의 48시간 처리에서

맨드라미와 세르비아는 약 6%의 감소를 나타내었으나, 천일홍 및 페튜니아에서는 각각 11% 및 13% 정도의 큰 감소를 나타내었다. 엽내 무기성분 용탈은 4초종 모두 산성용액의 pH가 낮아질수록 증가하는 것으로 나타났으며, 용출 정도는 P>K>Mg>Ca 순으로 나타났고, pH 5.6 및 4.0 처리의 경우 천일홍과 페튜니아가 맨드라미와 세르비아보다 용출량이 많은 것으로 나타났다. 이상의 결과로 볼 때, 맨드라미와 세르비아가 천일홍과 페튜니아보다 산성용액에 대한 내성이 높은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Byun, J. K., W. K. Lee, J. T. Kim, T. H. Kim and T. O. Kim. 1994. Damage characteristics of forest soils by simulated acid rain treatment. *Res. Rep. For. Res. Inst.* **49**, 121-139.
2. Craker, L. E. and D. Bernstein. 1984. Buffering of acid rain by leaf tissue of selected crop plants. *Environ. Pollut.* **36**, 375-381.
3. Evans, L. S. and T. M. Curry. 1979. Differential response of plant foliage to simulated acid rain. *Amer. J. Bot.* **66**, 953-962.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Kim, G. T. 1988. A study on selection of SO₂ resistant tree species. I. Leaf disk experiment. *J. Kor. For. Soc.* **77**, 223-228.
8. Kim, G. T. 1989. A study on selection of SO₂ resistant tree species. II. Artificial acid rain and acid mist treatment. *J. Kor. For. Soc.* **78**, 209-217.
9. Knudson, L. L., T. W. Tibbittsand and G. E. Edwards. 1977. Measurement of ozone injury by determination of chlorophyll concentration. *Plant Physiol.* **60**, 606-608.
10. 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.
11. Lee, S. S., S. B. Hong and B. J. Kim. 1996. Performance of chinese cabbage and radish affected by simulated acid rain. *Kor. J. Environ. Agric.* **15**, 217-222.
12. 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.
13. Nouchi, I. 1991. Acid rain and plant damage. *J. Agr. Met.* **47**, 165-175.
14. Pylypec, B. and R. E. Redmann. 1984. Acid-buffering capacity of foliage from boreal forest species. *Can. J. Bot.* **62**, 2650-2653.
15. 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.
16. Singh, A. and M. Agrawal. 1996. Response of two cultivars of *Triticum aestivum* L. to simulated acid rain. *Environ. Pollut.* **91**, 161-167.
17. Smith, F. A. and J. A. Ravan. 1979. Intercellular pH and its regulation. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **30**, 289-311.
18. Tukey, H. B.. 1970. The leaching of substances from plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **21**, 305-324.
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. Woo, J. H., I. S. Ahn and Y. G. Park. 1988. Changes in chlorophyll contents of leaves and pH of the extracted solutions from the leaves of 7 tree species by pH levels. *J. Kor. For. Soc.* **87**, 145-152.
21. 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)