

作物의 酸性비 耐性 簡易檢定法

李錫淳* · 金台柱** · 金福鎮*

A Simple Test for Evaluating Acid Rain Tolerance in Crops

Suk Soon Lee* · Tae Ju Kim** and Bok Jin Kim*

ABSTRACT : To develop a simple test for evaluation crop tolerance to acid rain disks of recently matured leaves of 12 crops(rice, corn, barley, wheat, soybean, adzuki bean, Chinese cabbage, radish, lettuce, spinach, and tomato) were soaked in simulated acid rain(SAR) solutions for 1, 2, 3, and 4 hours. Changes in pH and electrical conductivity(EC) of leaf soaked solutions and changes in the color of the soaked leaves were observed. The pH and EC of leaf soaked solutions differed depending on the pH of SAR, crops, and soaking time. Among the crops differences in pH of leaf soaked solutions were most stable and significant for 1~4 hour soaking in pH 4.0 SAR solution, but those of EC were for 1~4 hour solaking in pH 5.0 SAR solutions. Color of leaves soaked in pH 2.0 SAR solutions was changed significantly, but not in the pH 3.0 or higher SAR solutions. Visual damages of intact leaves caused by spray of pH 2.0 SAR solution in the greenhouse was positively correlated with pH changes in pH 4.0 SAR solution, but not with EC changes in pH 5.0 SAR solution or color changes of leaves soaked in pH 2.0 solution. The pH of solution was positively correlated with Ca and Mg concentrations of the solutions and EC was positively correlated with K, Ca, and Mg.

Key word : Acid rain tolerance, Simple test, Electrical conductivity, Simulated acid rain, Crop

화석연료를 연소할 때 발생하는 아황산가스, 질산 화합물 등이 빗물에 녹으면 산성비의 원인이 되므로, 산업화가 앞선 북유럽과 북미 등에서는 산성비가 산림, 호수의 어류 등 생태계를 파괴하여 문제가 되고 있다^{2,6,7,10,11}). 그러나 1년생 작물을 재배할 때는 토양은 석회사용등 토양산도를 교정하는 재배방법이 오랫동안 시행되어 왔고, 현재 빗물의 pH는 직접 작물에 영향을 줄 만큼 낮지는 않다. 그러나 최근 우

리나라에서 산성비가 내리는 지역이 점점 확대되고, 그 정도도 심해지고 있으며¹⁰), 실험적으로는 작물에 따라 pH 2.5~3.5의 인공강우에서는 피해가 나타나므로^{1,4,5,6,11,13,15}) 산성비가 작물에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 그리고 산성비의 피해는 작물의 종류, 산성비의 pH, 그리고 강우량, 토양, 기상 등과 같은 환경조건에 따라 피해양상이 다양하고, 또 시험을 수행하는 데는 많은 노력과

* 嶺南大學校 自然資源大學 農學科(Dept. of Agronomy, College of Natural Resources, Yeungnam Univ., Kyongsan, Kyongpug 712-749, Korea)

** 龜尾專門大學 園藝學科(Dept. of Horticultural Science, Kumi College, Kumi, Kyongpug 730-170, Korea)

이 論文은 農村振興廳 支援 '92 農業特定課題 研究費의 一部에 依해 遂行되었음.

〈'94. 11. 8. 接受〉

경비가 소요된다. 그래서 간편한 방법으로 쉽게 산성비에 대한 耐性을 검정할 수 있는 방법의 개발이 요구된다.

산성비가 잎에 떨어지면 Ca, Mg, K 등 양이온을 용출하여 빗방울의 산도를 중화하여 산성의 피해를 줄이므로 중화력이 큰 작물일수록 산성비에 대한 내성이 증가한다¹⁾, 그러나 Craker와 Bernstein³⁾에 의하면 인공산성비 용액에 잎 절편을 침지하면 침지용액의 산성을 중화하기 위하여 잎에서 세포내 물질들을 분비하여 침지용액의 pH가 높아진다. 이 때 염기를 다량 용출시키면 세포가 죽을 것이므로 침지용액의 pH 증가가 큰 것은 산성비에 대한 내성이 적으므로 침지용액의 pH 변화로 산성비에 대한 내성을 검정할 수 있다고 하였다. 또 pH 2.0인 인공산성비 용액에 침지된 잎은 색깔이 갈색으로 변하는 데 그 정도는 산성비에 내성이 약한 작물일수록 많이 변한다고 보고하였다. 또, 산성을 중화하기 위하여 잎에서 양이온이나 음이온을 용출한다면 전기전도도나 염기용출량과 산성비에 대한 내성간에 관계가 있을 듯하나 이에 관한 연구는 없다.

다만 佐藤와 朴¹⁴⁾은 증류수에 저온처리를 한 벼의 葉身을 침지하면 저온저항성이 낮은 품종일수록 K, Ca, Mg, Na 등을 용출하여 전기전도도가 높다고 하였다. 따라서 잎절편 침지용액의 pH와 EC, 침지엽의 색깔변화 등이 산성비에 대한 작물의 내성과 일정한 관계가 있으면 복잡한 시험을 거치지 않고도 산성비에 대한 내성을 검정할 수 있을 것으로 보이나, 알맞은 인공산성비의 농도, 침지시간, 또 잎 침지용액의 pH, EC와 침지된 잎의 색깔변화와 포장에서 실험한 작물의 산성비에 대한 내성과의 관계가 정립되어 있지 않다.

그래서 본 시험에서는 최근 성숙된 잎 절편을 pH가 다른 인공산성비 용액에 일정시간 침지한 후 침지용액의 pH와 전기전도도 및 침지된 잎의 색깔변화를 조사한 후 이들이 포장에서 조사된 인공산성비에 대한 내성과의 관계를 구명하여 작물이 산성비에 대한 내성을 간편하게 비교할 수 있는 산성비 내성간이검정법을 개발하고자 하였다.

材料 및 方法

본 시험은 1992년 경북 경산의 영남대학교 농축산대학 부속농장에서 실시하였다.

공시작물(품종)은 벼(일품벼), 옥수수(Bantam 9), 보리(대진보리), 밀(그루밀), 콩(단엽콩), 팥(충주팥), 배추(올림픽 배추), 무(백경무), 상추(칭치마), 시금치(sunflower), 고추(금탑), 토마토(서광토마토) 등 12개 작물이었다.

파종기는 2월 19일 이었고, 생육초기에는 온도가 낮아 P.E. 필름을 온실의 바닥까지 내려 보온하였다. 최야시킨 종자를 가로×세로×높이가 각각 59×18×10cm인 플라스틱 포트에 파종하여 벼, 콩, 팥, 고추, 밀, 보리, 상추, 시금치 등은 포트 당 6포기를, 그리고 옥수수, 토마토, 참깨, 배추, 무 등은 4포기를 재배하였다. 출아 후 50일간 수돗물을 pH 6.0으로 맞추어 공중에서 살수하여 재배한 작물의 최근 성숙된 잎을 시험에 이용하였다.

토양은 식양토였으며, 포트당 풍건토양 13kg을 사용하였다. 작물이 10a당 N-P₂O₅-K₂O 시비량은 벼 15-9-11kg, 옥수수 30-26-26kg, 콩과 팥 각각 8-14-12kg, 고추는 24-20-23kg, 토마토 26-21-24kg, 밀과 보리 각각 12-9-7kg, 배추 25-20-25kg, 무 30-25-25kg, 상추 30-25-20kg, 시금치 37.5-12-14.5kg이었다.

산성비에 대한 내성간이검정은 잎을 인공산성비 용액에 침지하여 침지용액의 pH와 EC 및 침지된 잎의 색깔변화와 실제 pH 2.0 인공산성비를 처리한 후 발생된 잎의 가시적 피해 정도와 관계를 보고 결정하였다. 침지용 인공산성비 용액은 주사용 증류수(pH 5.6)에 황산:질산을 부피 비로 2:1인 혼합용액을 100배 희석한 것을 pH 3.0, 4.0, 5.0인 인공산성비 용액을 만드는데 이용하였다. 시험은 puncher로 1cm²되는 잎 절편 10개를 50ml의 각 인공산성비 용액과 주사용 증류수에 넣고, 25℃인水槽에서 1, 2, 3, 4시간 진탕한 후 침지용액의 pH와 EC를 조사하였다.

인공산성비에 침지된 잎은 pH 3.0 이상에서는 4시간까지 침지하여도 색깔이 변화하지 않아 pH 2.0인 인공산성비 용액에 잎을 침지시켜, 1, 2, 3, 4시간 진탕한 후 잎의 피해면적비율을 0~9까지 10단

계로 조사하였다.

산성비에 대한 내성간이검정의 효과를 알아보기 위하여 작물간 침지용액의 변화가 가장 현저했던 인공산성비 4.0 침지용액에서 pH 변화, EC 변화가 가장 현저했던 pH 5.0에서 침지용액의 EC 변화 및 pH 2.0 인공산성비 용액에 침지한 잎의 색깔 변화와 온실에서 pH 6.0으로 조절한 수돗물로 재배한 식물체에 pH 2.0인 인공산성비 용액을 2일 간격으로 1회 10mm씩 5회 처리한 후 달관 조사한 피해정도(0~9)와의 관계를 조사하였다.

pH는 pH meter(HM-5S), EC는 conductivity meter(HI3033, Hanna Instruments)로 측정하였으며, K, Ca, Mg, Na 정량은 원자흡광분광분석계(Perkin Elmer 2380)을 이용하였다. 질소는 micro-Kjeldahl법, 황은 중량법으로 분석하였다.

結果 및 考察

1. 잎을 浸漬한 人工酸性비 溶液의 pH 變化

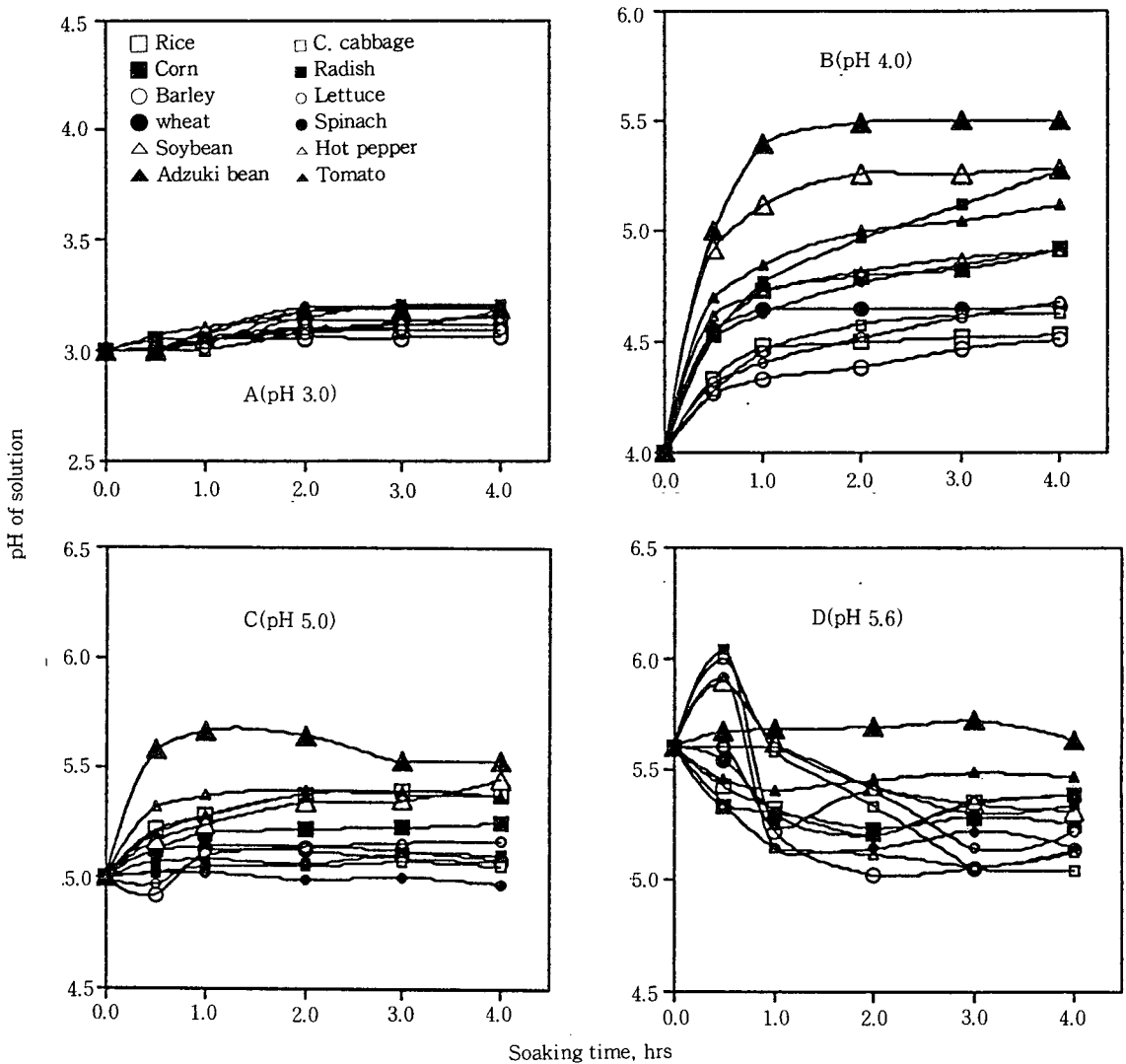


Fig. 1. Changes in pH of simulated acid rain solutions soaked leaf disks of twelve crops.

최근 성숙된 12개 작물의 잎을 pH 3.0, 4.0, 5.0, 5.6인 인공산성비 용액에 침지하여 침지시간에 따른 침지용액의 pH 변화를 보면 그림 1-A, B, C, D와 같다. 인공산성비 pH 3.0에서는 어느 작물이나 침지시간이 경과하여도 침지용액의 pH가 거의 변하지 않았고, 작물간에도 pH의 차이가 없었다(그림 1-A). 인공산성비 pH 4.0에서는 모든 작물이 침지 1시간까지는 용액의 pH가 급격히 증가하였고, 그 후 2시간까지는 서서히 증가하였으며, 침지시간 2~4시간 사이에서는 침지용액의 pH가 크게 변하지 않았다. 그리고 작물간 용액의 pH 차이도 가장 현저하여 pH의 변화폭은 최고 1.5단위까지 변화하였다. 작물간에는 팥, 콩, 무, 토마토는 침지용액의 pH가 많이 변했고, 보리, 벼, 상추, 밀이 가장 적게 변하였으며, 옥수수, 시금치, 고추는 중간이었다(그림 1-B). pH 5.0의 인공산성비 용액에서는 작물간 및 침지시간에 따른 침지용액의 pH의 변화가 적어 pH 변화폭은 0.7단위 이하이었다(그림 1-C). pH가 5.6 용액에서는 작물간 및 침지시간에 따라 pH가 증가하였으나 그 이후에는 오히려 감소하였으며, 거의 pH가 변하지 않았던 팥을 제외하면 다른 작물은 모두 pH가 오히려 감소하였다(그림 1-D).

이상의 결과에서 본 바와 같이 인공산성비 용액에 잎 절편을 침지하여 용액의 pH변화가 안정되고, 작물간 침지용액의 pH의 차이가 커서 작물간 침지용액의 pH 변화를 비교하기에 가장 알맞은 것은 pH 4.0 용액에 1~4시간 침지한 처리이었다. Craker와 Bernstein³⁾도 pH 4.0 용액에서 2~4시간 침지하였을 때 용액의 pH가 많이 변하는 작물은 산성비에 대한 내성이 작다고 하였다.

2. 잎을 浸漬한 人工酸性비 溶液의 EC 變化

최근 성숙된 12개 작물의 잎을 pH 3.0, 4.0, 5.0, 5.6인 인공산성비 용액에 침지하여 인공산성비의 pH 별 침지시간에 따른 침지용액의 EC 변화를 보면 그림 2-A, B, C, D와 같다. pH 3.0 용액은 EC가 213 μ siemens로 다른 pH 용액에서 보다 현저히 높았으며, 작물과 침지시간에 따라 경향이 일정하지 않았다(그림 2-A). 그러나 잎을 넣기전 pH 4.0 인공산성비 용액의 EC는 8.0 μ siemens, pH 5.0는 1.5 μ siemens, pH 5.6인 주사용 증류수는 0 μ siemens이

었는데, 잎을 침지한 후에는 어느 인공산성비 침지용액에서나 처음 0.5시간까지는 침지용액의 EC가 급격히 증가하였으나, 그 후에는 약간 증가하였거나 변하지 않았다(그림 2-B, C, D). 작물간 침지용액의 EC 차이는 pH 4.0 용액에서 최고 19.3 μ siemens, pH 5.0에서 27.0 μ siemens, 주사용 증류수에서 25.3 μ siemens로 작물간 차이는 pH 5.0과 5.6에서 가장 현저하였다. 그런데 EC의 증가양상은 침지용 인공산성비의 pH에 따라 다소 달랐는데 pH 5.0 용액에서는 무, 시금치, 토마토, 고추 등이 가장 많이 증가하였고, 보리, 배추, 팥, 옥수수, 밀, 콩, 상추가 중간이었으며, 벼는 거의 증가되지 않았다. 주사용 증류수(pH 5.6)에서는 무, 고추 등이 EC가 가장 많이 증가하였고, 그 외에는 토마토, 시금치, 배추, 보리, 상추, 팥, 밀, 옥수수, 콩, 벼의 순으로 증가하였다.

이상의 결과에서 보면 인공산성비 용액에 잎 절편을 침지하여 용액의 EC 변화가 안정되고, 작물간 침지용액의 EC의 차이가 커서 작물간 EC 변화를 비교하기에 가장 알맞은 것은 pH 5.0 침지용액에 1~4시간 침지한 처리이었다. 그러나 침지용액의 pH에 따라 작물의 EC 변화의 경향이 달랐는데 대체로 시금치, 고추, 토마토 등의 침지용액은 EC가 많이 변하였고, 벼, 콩 등의 침지용액의 EC가 크게 변하지 않았다. 이것은 작물의 표피나 세포막의 구성성분이 다르고, 침지용액의 pH에 따라 세포막의 투과성이 달라져 세포에서 용출되는 물질의 종류와 양이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

3. 人工酸性비에 浸漬된 잎의 색깔 變化

pH 2.0, 3.0, 4.0 인공산성비 용액에 잎 절편을 침지하였을 때 pH 3.0과 4.0 용액에서는 침지 후 4시간까지 엽색이 변하지 않았다(성적생략). 그러나 pH 2.0 용액에서는 침지시간이 경과함에 따라 잎의 가장자리로부터 갈색의 피해 무늬가 발생하였고, 피해증상은 점점 잎의 중앙부위로 진행하여 피해범위가 넓어졌다. 잎이 가장자리로부터 변색되기 시작한 것은 잎을 둥근 모양으로 잘라냈기 때문에 인공산성비 용액에 직접 접촉하여 wax 층으로 덮여 있는 잎 표면보다 빨리 피해를 받은 것으로 생각된다.

또 달관조사한 피해정도를 경시적으로 보면 배추가 다른 작물보다 더 빨리 그리고 가장 심하게 잎이 변색

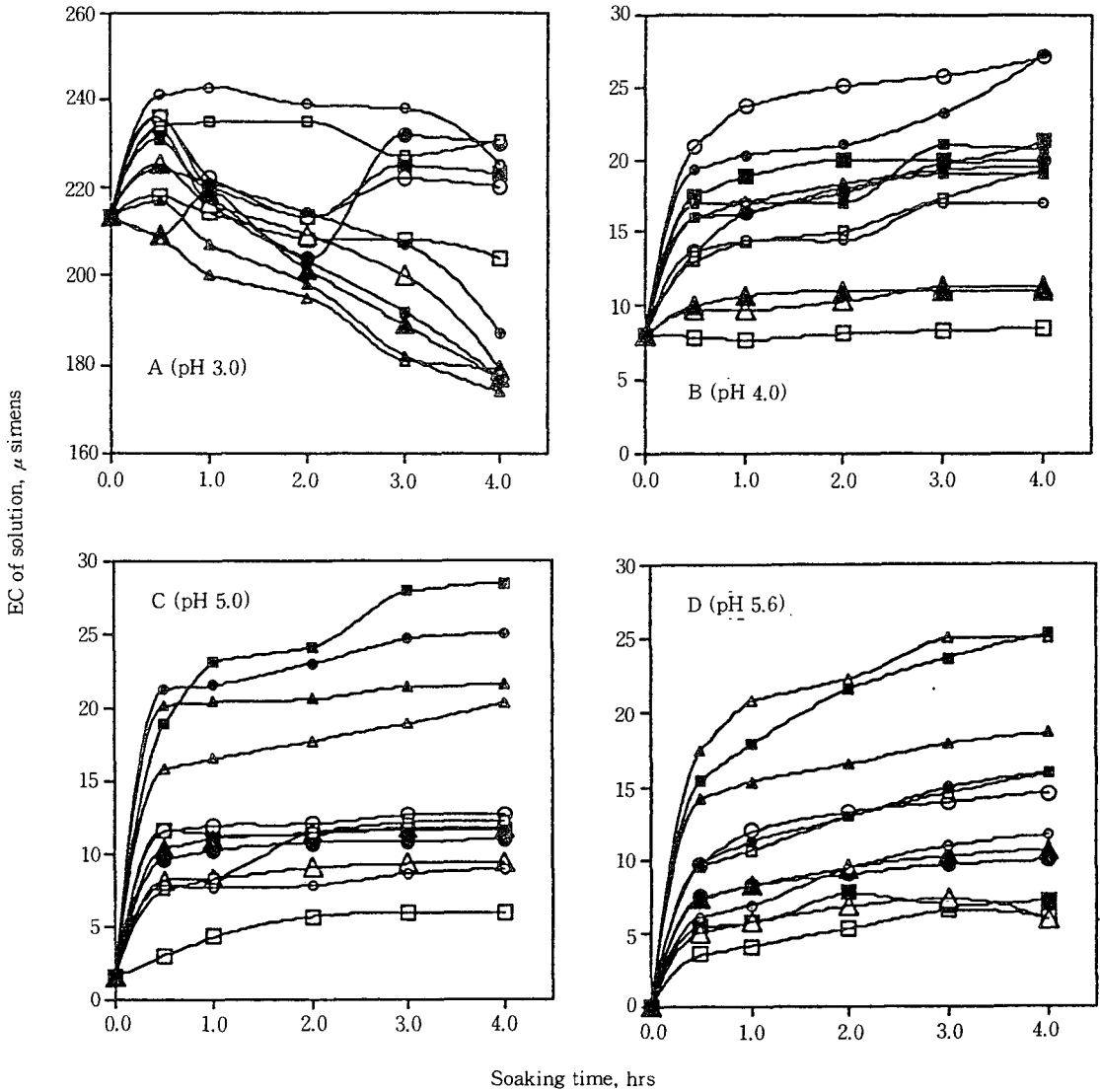


Fig. 2. Changes in EC of simulated acid rain solutions soaked leaf disks of twelve crops. Symbols are the same as in Fig. 1.

되었고, 벼, 옥수수, 보리, 밀 등은 4시간까지 침지 하여도 색깔이 크게 변하지 않았으며, 다른 작물은 그 중간이었다(그림 3).

4. 잎을 浸漬한 人工酸性비 溶液의 pH, EC 變化와 잎의 無機成分 溶出과의 關係

pH 4.0인 침지용 人工산성비 용액에 人工산성비에 대한 내성이 다른 벼, 옥수수, 콩, 팥, 고추, 배

추, 무, 상추 등 8개 작물의 잎 절편을 3시간 침지한 후 용액의 pH와 잎에서 용출된 K, Ca, Mg, Na 함량의 관계를 보면 그림 4와 같다. 용액의 pH는 K 및 Na 함량과는 상관이 없었으나 Ca 및 Mg 함량과는 정의 상관이 있었으며, 다른 연구자들도 침지 용액의 pH변화는 Ca, Mg, K 등 잎에서 용출된 물질이 人工산성비의 수소 이온을 중화하기 때문이라고 보고하였다¹⁾.

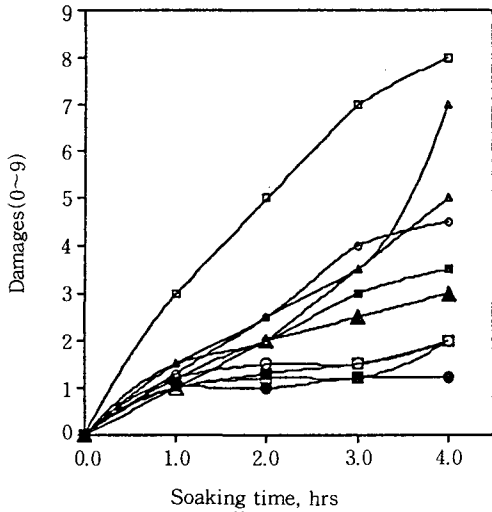


Fig. 3. Changes in visible damages of leaf disks soaked in pH 2.0 simulated acid rain solution. Symbols are the same as in Fig. 1.

pH 5.0인 침지용 인공산성비 용액에 내성이 다른 벼, 옥수수, 콩, 팥, 고추, 배추, 무, 상추 등 8개 작물의 잎 절편을 3시간 침지한 후 용액의 EC와 잎에서 용출된 K, Ca, Mg 및 Na 함량과의 관계를 보면 그림 5와 같다. pH 5.0인 침지용액에서 EC는 잎에서 용출된 Na 함량과는 상관이 없었으나, K, Ca 및 Mg 함량과는 모두 정의 상관이 있었다.

이와 같은 결과는 佐藤와 朴¹⁴⁾이 증류수에 저온처리된 한 벼의 엽신을 침지하여 그 침지액의 EC를 측정된 결과 저온저항성이 낮은 품종일수록 EC가 많이 증가하였고, 이들의 EC와 무기성분 함량과는 모두 정의 상관이 있어 본 실험과 같은 경향이었다. 즉 침지용 인공산성비 용액의 EC 증가는 Ca, Mg, K 등의 용출된 양이온들에 기인된 것으로 보인다.

5. 잎을 浸漬한 人工酸性비 溶液의 pH, EC 變化와 溫室에서 pH 2.0 人工酸性비에 의한 可視的 被害와 關係

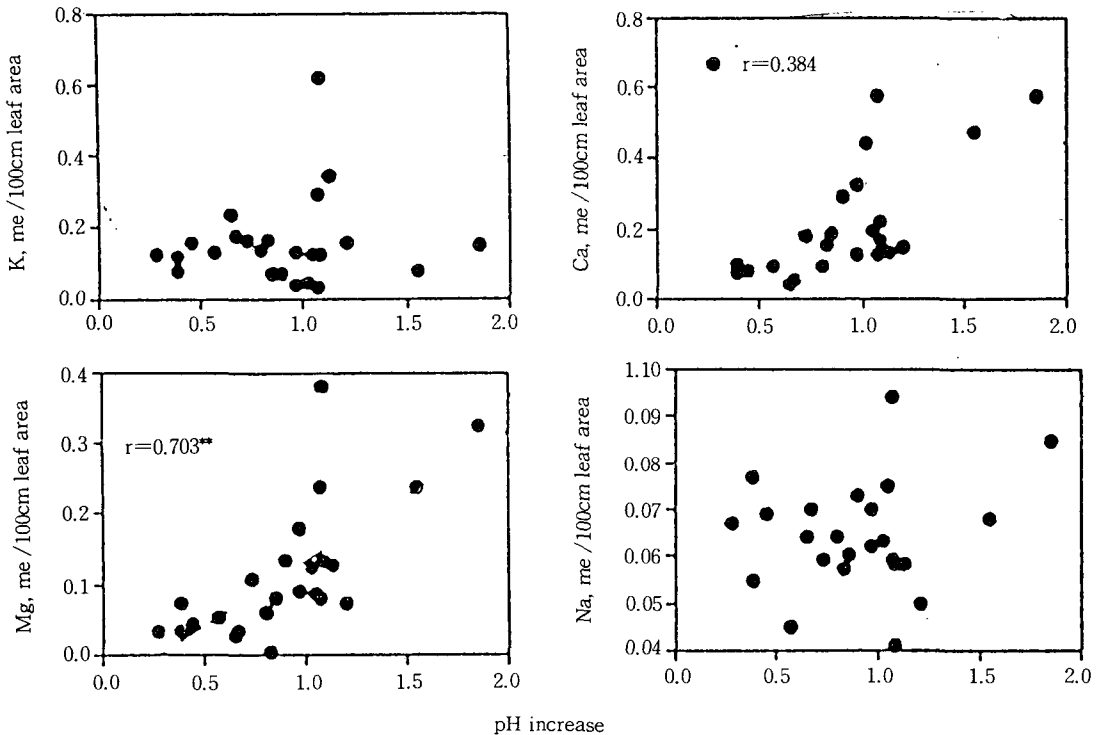


Fig. 4. Relationship between pH increase and cation leakage of leaf disks in pH 4.0 simulated acid rain solution.

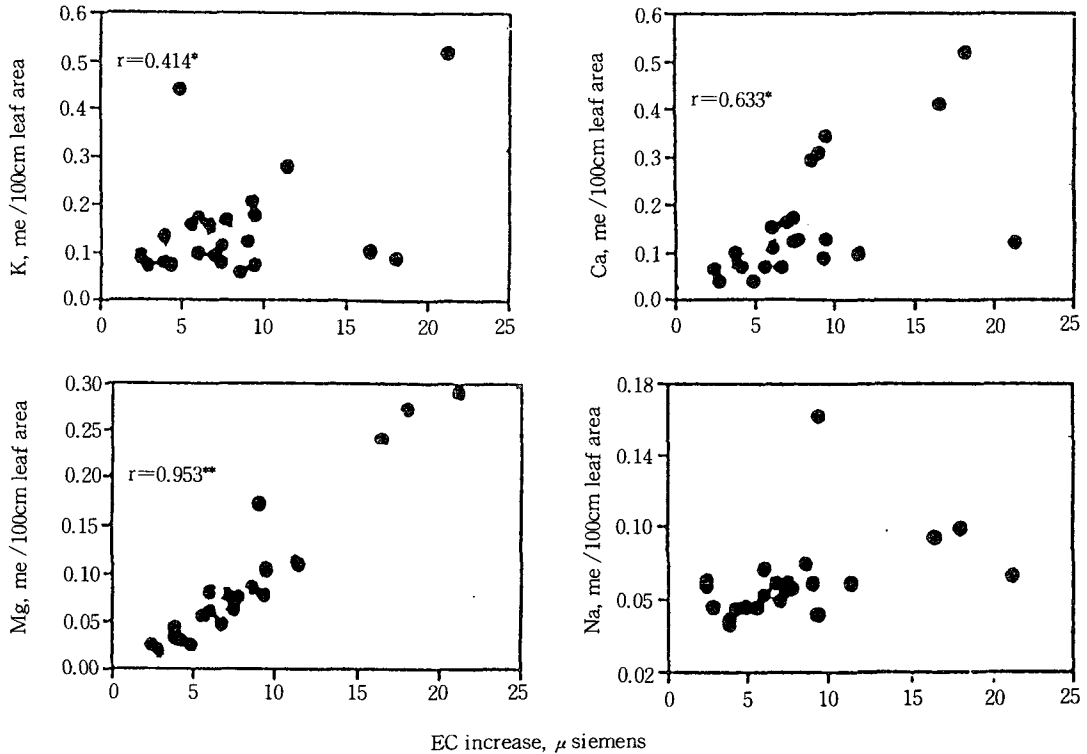


Fig. 5. Relationship between EC increase and cation leakage of leaf disks in pH 5.0 simulated acid rain solution.

온실에서 재배한 작물에 pH 2.0 인공산성비를 처리한 후 나타난 가시적인 피해 정도와 잎 절편을 침지용 인공산성비 용액(pH 4.0)에 침지하였을 때 침지용액의 pH와 유의성 있는 정의 상관관계가 있었으나, EC 및 잎 절편의 색깔 변화와는 상관관계가 없었다(그림 6). Craker와 Bernstein³⁾은 잎을 pH 4.0 산성용액에 침지하였을 때 산성을 중화하기 위하여 잎에서 세포내의 염기성 물질이 용출되어 용액의 pH를 증가시킨다고 하였다.

그런데 산성에 내성이 약한 작물은 다량의 물질을 분비하여 용액의 pH를 현저히 증가시키므로 세포가 장애를 받지만 내성이 강한 작물은 분비하는 염류가 적어 용액의 pH가 크게 변하지 않으므로 잎을 산성비 용액에 침지하여 pH 변화를 측정하여 산성비에 대한 내성을 간단히 검정할 수 있다고 시사하였던바 본 시험과 비슷한 결과이었다. 그래서 잎을 pH 4.0 용액에 침지하여 그 용액의 pH 변화를 측정하면 완전하지는 않을지라도 간단하게 작물

의 산성비에 대한 내성 정도를 비교할 수도 있을 것이다. 한편 산성비가 식물의 잎에 내렸을 때 물이 증발하면 빗물의 pH는 급격히 낮아지지만 식물 세포내의 염기를 방출하여 빗물의 pH를 증가시키므로 중화력이 큰 식물이 오히려 산성비에 대한 내성이 더 크다고 보고하여¹⁾, Craker와 Bernstein³⁾과는 잎의 산도 중화력이 식물에 미치는 영향에 관한 해석이 서로 달랐다. 이것은 잎 위에 적은 양의 산성비 용액이 있을 때는 중화력이 큰 작물이 피해를 입지 않지만 침지용액과 같이 많은 양의 물에 소량의 잎을 침지하였을 경우 잎은 용액의 산성을 중화하기 위하여 염기를 계속 용출하여 잎이 장애를 받을 것이므로 중화력이 큰 작물은 염기를 과도하게 잃어 오히려 산성비에 대한 내성이 낮을 것으로 생각된다.

앞에서 용출되는 무기염류는 pH 증가보다는 EC의 증가와 더욱 밀접한 관계가 있으며, 잎에서 염기가 용출되어 침지용액의 pH와 EC를 증가한

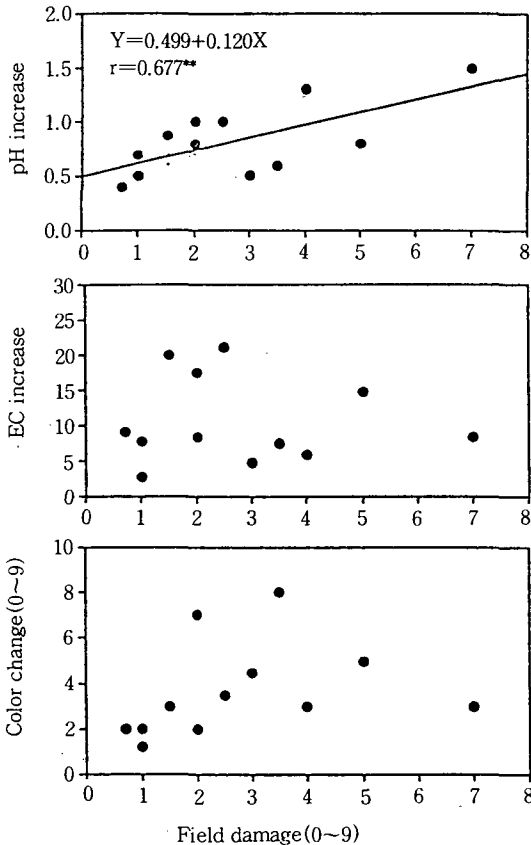


Fig. 6. Relationship between field damage and increase in pH and EC of solution and color change of leaf disks. pH increase in pH 4.0 solution, EC increase in pH 5.0 solution, color change in pH 2.0 solution.

다면 인공산성비 처리에 의한 가시적인 피해를 침지용액의 pH보다 오히려 EC와 더욱 밀접한 관계가 있어야 한다.

그러나 본 시험에서 인공산성비의 피해와 침지용액의 EC와는 관계가 없었던 것은 작물에 대한 산성비의 피해가작이 pH에는 크게 영향을 미치지 않지만 EC에는 영향을 미치는 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 등 음이온의 영향은 적고, 주로 수소이온에 의한 것이기 때문으로 보인다.⁹⁾

pH 2.0 산성비 처리에 의한 가시적인 피해정도와 pH 2.0 인공산성비 용액에 침지한 잎 절편의 변색정도간에 상관성이 없었던 것은 작물이 자라는 상태에서 산성비를 처리하면 잎이 서 있는 각도, 잎

wax 층의 발달, 毛茸의 유무 등에 따라 산성비가 잎에 접촉하는 정도가 다르지만 용액에 침지할 경우에는 전 표면적에 산성비가 접촉되고, 잎 표면에만 산성용액의 영향을 받는 것이 아니라 잎 주위의 상처 부위에서 피해가 먼저 발생하므로 산성비가 잎에 미치는 영향은 자라고 있는 상태에서 산성비를 처리한 것과 다를 것으로 생각된다.

산성비의 피해는 가시적 피해는 물론 생장억제, 수량감소 등 여러가지 판단기준에 따라 그 정도가 다를 수 있고, 작물의 종류와 형태, 생육시기, 기상, 토양 등에 따라 서로 결과가 다르므로 앞으로 산성비에 대한 작물의 내성을 평가하는 방법에 연구가 더욱 계속되어야 할 것으로 보인다.

摘 要

벼, 옥수수, 보리, 밀, 콩, 팥, 배추, 무, 상추, 시금치, 고추, 토마토 등 12개 작물의 최근 성숙엽의 절편을 pH 3.0, 4.0, 5.0, 5.6의 인공산성비 용액에 1, 2, 3, 4시간 침지하여 침지용액의 pH 및 EC 변화와 침지 잎 절편의 변색정도를 조사하였다. 또 이 결과와 인공산성비에 대한 내성과의 상관관계와 침지용액의 pH 및 EC 변화와 잎에서 용출된 양이온과의 상관관계를 요약하면 다음과 같다.

1. 잎 침지용액의 pH가 안정되고, 작물간 차이가 현저한 것은 pH 4.0 인공산성비 용액에 1~4시간 침지하였을 때이며, 침지용액의 pH는 용액의 Ca 및 Mg 함량과 정의 상관성이 있었으나 K 및 Na 함량과는 상관성이 없었다.
2. 잎 침지용액의 EC가 안정되고, 작물간 차이가 현저한 것은 pH 5.0인공산성비 용액에 1~4시간 침지하였을 때이며, 침지용액의 EC는 용액의 K, Ca, Mg 함량과 정의 상관성이 있었으나 Na 함량과는 상관성이 없었다.
3. 침지용 인공산성비의 pH가 3.0 이상일 때는 침지 후 4시간까지 엽색이 변하지 않았으며, pH 2.0에서는 작물과 침지시간에 따라 엽색이 변하는 정도가 달랐다.
4. 포장에서 인공산성비에 의한 잎 피해정도와 잎 절편 침지용액의 pH와는 정의 상관성이 있었으

나 EC 및 잎 절편의 색깔 변화와는 상관이 없었다.

引用文獻

1. Adams, C. M. and T. C. Hutchinson. 1984. A comparison of the ability of leaf surfaces of three species to neutralize acidic rain drops. *New Phytol.* 97:463-478.
2. Cowing, E. B. and L. S. Dochinger. 1978. The changing chemistry of precipitation and its effects on vegetation and materials. *Amer. Inst. Chem. Eng.* 74(175):134-142.
3. Craker, L. E. and D. Bernstein. 1984. Buffering of acid rain by leaf tissue of selected crop plants. *Environ. Pollut. (Ser. A)* 36:375-381.
4. Evans, L. S. and T. M. Curry. 1979. Differential responses of plant foliages to simulated acid rain. *Amer. J. Bot.* 66(8):953-962.
5. Evans, L. S., N. F. Gumur, and F. Da Costa, 1977. Leaf surface and historical perturbations of leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus annuus* after exposure to simulated acid rain. *Amer. J. Bot.* 64(7):903-913.
6. Galloway, J. N., G. E. Likens, and E. S. Edgerton. 1976. Acid precipitation in the northeastern United States: pH and acidity. *Science* 194:722-1124.
7. Hilman, B. 1981. Acid precipitation. *Amer. Chem. Soc.* 15(10):1119-1124.
8. Hoffman, W. A., S. E. Lindbeg, and R. R. Turner. 1980. Precipitation acidity: The role of forest canopy in acid exchange. *J. Environ Qual.* 9:95-100.
9. Jacobson, J. S., J. J. Troiano, L. I. Heller, and L. Osmeloski. 1987. Effects of fertilizer on the growth of radish plants exposed to simulated acidic rain containing different sulfate of nitrate ratios. *Environ. Pollut.* 44:71-79.
10. 金良均, 姜寅求, 李敏熙, 羅振均, 李錫祚, 韓義正, 辛燦基, 韓振錫, 柳承道, 金正洙, 權寧宣. 1989. 大氣汚染物質의 長距離移動과 산성비 降下에 關한 研究(I). *국립환경 연구원보* 11:185-269.
11. Kratky, B. A., E. T. Fukunga, J. W. Hylin, and R. T. Nakano. 1974. Volcanic air pollution: Deleterious effects on tomatoes. *J. Environ. Qual.* 3(2):138-140.
12. Leece, D. R. 1978. Foliar absorption in *Prunus domestica* L. I. Nature and development of the surface wax barrier. *Austral. J. Plant Physiol.* 5:749-766.
13. Pararozzi, E. T. and H. B. Tukey, Jr. 1983. Developmental and anatomical changes in leaves of yellow birch and red kidney bean exposed to simulated acid precipitation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(6):890-898.
14. 佐藤 庚, 朴慶培. 1982. 水稻幼植物의 低溫障害에 關する 研究. 第4報. 葉身水抽出液의 電導度와 無機成分含量에 及ぼす 低溫處理의 影響および 品種間差異. *日作記* 51(2):215-220.
15. Troiano, J., L. Heller, and J. S. Jacobson. 1982. Effect of added water and acidity of simulated rain on growth of field-grown radish. *Environ. Pollut.* 29:1-11.