

人工酸性비에 對한 作物의 營養生長期 耐性 및 被害樣相

金台柱* · 李錫淳** · 金福鎮**

Tolerance of Crops to Simulated Acid Rain at Vegetative Growth Stage

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

ABSTRACT : To compare the tolerance of crops to acid rain of simulated acid rains(SAR) of three pH levels(3.0, 4.5, and 6.0) were applied to rice, corn, soybean, adzuki bean, hot pepper, tomato, sesame, barley, wheat, Chinese cabbage, radish, lettuce, and spinach for 30 days from 20 days after emergence at two-day interval with 10mm at a time. No visual damages were observed. Also, no alteration of ultrastructure was observed although some lightly stained lipid granules were observed in the chloroplasts of sesame, soybean, and adzuki bean at the SAR treatment of pH 3.0. As pH of SAR decreased, chlorophyll content increased in adzuki bean, decreased in rice, tomato, and spinach, and similar in the other crops. Photosynthetic activity of adzuki bean increased, while decreased in Chinese cabbage and barley as pH of SAR decreased, and similar in other crops. Concentration and uptake of N were not affected by SAR treatments in all crops except tomato and barley. When a strong SAR of pH 2.0 was applied, rice, corn, sesame, tomato, barley, and wheat were relatively tolerant, while adzuki bean, hot pepper, soybean, Chinese cabbage, lettuce, radish, and spinach were susceptible in terms of visual damages.

Key word : Photosynthesis, Nitrogen, Ultrastructure, Chlorophyll, Rice, Corn, Soybean, Adzuki bean, Hot pepper, Tomato, Sesame, Barley, Wheat, Chinese cabbage, Radish, Lettuce, Spinach, Simulated acid rain

작물의 잎에 발생하는 산성비의 피해는 일반적으로 pH 2.0~3.4 이하일 때 나타나는데 작물, 품종, 재배환경, 산성비의 pH 등에 따라 피해양상과 피해 정도가 다르다. 산성비가 내리면 잎 표면에 부착한 빗방울의 물이 증발하여 농축되므로 pH가 더욱 낮아져 表皮細胞가 장해를 받고^{5,6)}, 심하면 내부의 葉

肉細胞와 維管束도 피해를 받아 생리적인 교란이 일어나며^{1,4)}, 可視的인 피해는 주로 葉脈사이에 갈색, 황색, 흰색의 괴사반점으로 나타난다^{4,8,9,11,13)}.

인공산성비에 대한 가시적인 피해를 보면 무, 귀리, 밀, 보리, 양파는 내성이 강하고, beet, swiss chard, 콩, 고추, bluegrass 등은 내성이 약하며¹³⁾,

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

** 嶺南大學校 農畜產大學 農學科(Dept. of Agronomy, Col. of Agri. & Animal Sci., Yeungnam Univ., Kyongsan, Kyongbug 712-749, 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로 遂行되었음〉

〈'94. 9. 5 接受〉

材料 및 方法

일반적으로는 針葉樹 > 單子葉 植物 > 雙子葉 木本 植物 > 雙子葉 草本植物 순으로 내성이 적다³⁾.

인공산성비를 앞에 처리하였을 때 시금치, 배추, 상추, 옥수수, 무, 감자, 완두, 콩, 오이 등은 엽록소 함량의 감소가 비교적 컸으나 고추, 토마토, 벼, 감자, 가지, 호박 등은 엽록소의 변화가 적어 작물에 따라 인공산성비의 영향이 다르다^{7,10,16)}.

광합성 능력은 작물과 인공산성비의 pH에 따라서 영향이 다르다. Porter와 Sheridan¹⁶⁾은 알팔파는 pH 3.0 이상의 인공산성비 처리에서 광합성과 호흡에 영향을 미치지 않았지만 pH 2.0에서는 광합성과 호흡이 크게 저하된다고 하였다. 그러나 강남콩에 pH 2.7의 인공산성비를 처리하면 잎의 가시적 피해는 있었지만 개체당 광합성 능력은 감소하지 않았는데 이것은 피해부위에서는 광합성이 저하하지만 건전부위에서는 오히려 광합성이 활발하여 평균적으로는 광합성 능력이 감소하지 않았기 때문이었다¹⁷⁾.

인공산성비가 birdsfoot trefoil과 red clover의 생육과 질소흡수에 미치는 영향을 보면 토양 pH가 낮으면 인공산성비의 pH가 낮을수록 N 흡수량과 건물중이 현저히 떨어졌으나, 토양 pH가 높은 토양에서는 인공산성비가 생육에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다²⁾. 그러나 현재 1년생 작물을 재배할 때는 토양이 산성화되면 석회사용으로 토양을 中和시켜 작물의 피해를 줄여 왔고, 또 현재 강수의 pH가 직접 작물에 가시적인 피해를 주거나 생육에 영향을 미칠만큼 심각하지는 않다. 그러나 점점 산성비가 내리는 지역이 확대되고, 또 그 정도도 심하여지므로 앞으로 작물생산분야에서도 산성비에 대한 저항성 작물선발 및 품종개발, 산성비의 피해기구의 구명, 산성비의 피해경감대책에 대한 연구가 적극적으로 수행되어야 한다.

그래서 본 연구에서는 일반작물 및 채소작물의 영양생장기에 인공산성비를 처리하여 장차 강한 산성비가 내릴 경우를 대비하여 산성비에 내성인 작물을 선발함과 아울러 산성비에 대한 피해양상을 구명하여, 산성비의 피해를 줄일 수 있는 재배대책을 수립하는 데 필요한 기초자료를 얻고자 하는데 그 목적이 있다.

본 시험은 1992년 경북 경산의 영남대학교 농축산대학 실험농장에서 실시하였다. 供試作物은 벼, 옥수수, 보리, 밀, 콩, 팥, 참깨, 배추, 무, 상추, 시금치, 고추, 토마토 등 13개 작물이었으며, 벼, 옥수수, 콩, 팥, 고추, 토마토, 참깨 등 7개 작물은 6월 15일에 파종하였고, 밀, 보리, 배추, 무, 상추, 시금치 등 6개 작물은 9월 23일에 파종하였다. 작물재배는 가로×세로×높이가 각각 59×18×10 cm인 plastic pot에 水分含量이 23%인 植壤土를 13kg씩 넣었으며, 施肥量은 각 작물 標準施肥量의 2배량을 토양과 완전히 혼합하였다.

人工酸性비 處理는 出芽 후 20일부터 30일간 처리하였고, 處理量은 2일간격으로 10mm씩 15회 처리하였다. 인공산성비의 pH는 3.0, 4.5, 6.0이었으나 어느 pH 에서나 可視의 被害가 나타나지 않아 시험이 끝난 후 남은 식물체에 다시 pH 2.0의 더 강한 人工酸性비를 2일 간격으로 1회 10mm씩 5회 처리한 후 피해정도는 0~9까지를 기준으로하여 달관조사하였다.

인공산성비를 처리한 작물의 微細構造의 변화를 관찰하기 위하여 pH 3.0으로 조절된 인공산성비를 5회 처리한 후 가시적 피해가 없는 부위의 葉身을 1×1mm되게 잘라내어 실온에서 pH 7.4인 0.1M phosphate buffer를 이용한 5% glutaraldehyde 용액에 2시간 1차 고정하였다. 그리고 시료를 buffer 용액으로 씻은 후 4℃에서 0.1M cacodylate buffer를 이용한 1% OsO₄ 용액에서 2시간 2차 고정하였다. 다시 시료를 buffer 용액으로 씻은 후 35, 70, 95, 100% ethanol의 순으로 각각 15분간 脫水하였다. 그리고 propyleneoxide:Epon 812을 2:1, 1:1, 1:2의 비율로 섞은 혼합액에 순서대로 각각 1일간 침투시킨 후 마지막으로 Epon 812에 시료를 넣고, 60℃에서 5일간 굳혔다. 시료를 Sorval MT 6000 ultra-microtome으로 100~150nm의 두께로 잘라 gold section을 grid에 부착시킨 후 2% uranyl acetate 포화용액에서 50분, lead citrate에 10분간 染色(staining)한 후 Hitachi H-800 投射顯微鏡(transmission electron microscope)으로 구조를 관찰하였다.

葉綠素 含量은 Yoshida 등¹⁹⁾의 방법으로 분석하였으며, 光合成은 온도 30~32℃, 광도 10만~11만 lux 되는 야외에서 Portable Photosynthesis System LI-6200(LI-COR, Inc., P. O. Box 4425, Lincoln, NE 68504, U.S.A.)를 이용하여 측정하였다.

窒素 含量은 收穫 後 試料를 80℃의 건조기에서 완전히 건조시킨 후 분쇄하여 micro-Kjeldahl법으로 분석하였다.

結果 및 考察

1. 可視의 被害

pH 3.0 및 4.5인 인공산성비와 pH 6.0인 물을 파종 후 20일부터 2일 간격으로 15회 처리하여도 공시된 모든 작물에서 가시적인 피해 증상이 나타나지 않았다. 그러나 인공산성비에 대한 작물의 내성을 비교하기 위하여 일부의 식물체에 pH 2.0의 인공산성비를 2일 간격으로 5회 처리하여 그 피해면적비율을 0~9로 구분하여 달관조사한 결과를 보면 그림 1과 같다. 인공산성비를 봄에 처리한 것은 가시적 피해율이 0.5~7.5로서(그림 1 A) 가시적인 피해율이 0.5~3.5인 가을에 처리한 것(그림 1 B) 보다 피해가 더 컸다. 그리고 작물간에는 봄 처리에서는 벼, 옥수수, 참깨, 토마토 등이 pH 2.0의 인공산성비에 대한 내성이 컸고, 팥, 콩, 고추는 피해가 컸다. 가을 시험에서는 밀과 보리는 인공산성비에 대한 내성이 컸으며, 배추, 상추, 무, 시금치 등은 내성이 비교적 적었다. 그런데 인공산성비에 대한 전체적인 내성이 여름작물보다 엽채류인 가을 작물이 더 컸던 것은 본 시험에서 가을에 재배한 것은 처리시기의 기온이 봄에 재배한 것보다 더 낮아 피해가 적었던 것으로 생각된다. 그러나 대체로 화본과 작물이 인공산성비에 대한 내성이 큰 것은 다른 보고자들의 결과와 일치하였다^{10,13)}. 작물에 가시적 피해를 나타내는 인공산성비의 pH는 일반적으로 2.0~3.4사이인데 그 피해는 작물, 품종, wax 층의 발달, 毛茸의 유무, 작물의 영양상태와 인공산성비의 pH, 구성성분, 처리량 등은 물론 재배환경에 따라 다르고^{1,13,18)}, 피해조사 기준도

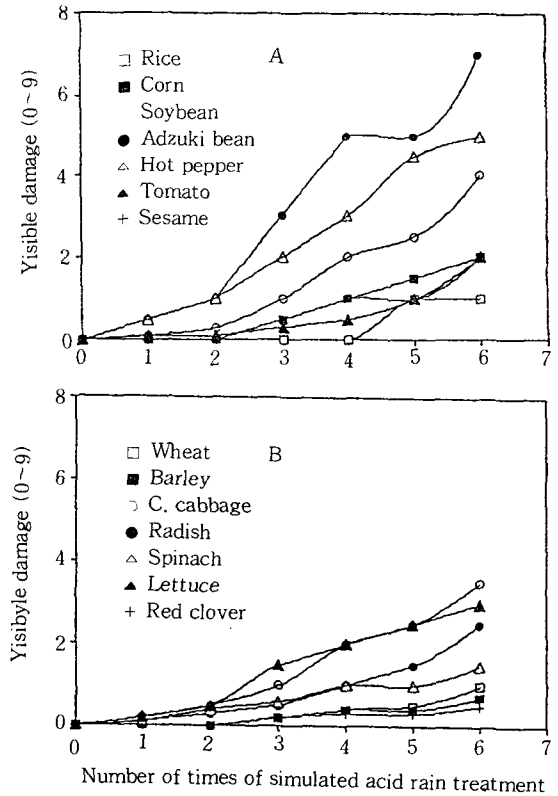


Fig. 1. Relationship between the number of times of pH 2.0 simulated acid rain (SAR) treatment and visible damage, 1992. A: SAR treatment in summer, B: SAR treatment in fall.

서로 다를 수 있으므로 체계적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

인공산성비에 대한 작물의 피해증상을 보면 벼는 잎 선단에 갈색반점이 조금 나타났을 뿐 거의 가시적 피해가 없었고, 옥수수는 잎 가장자리와 내부에 회갈색 반점을 나타냈다. 콩은 잎 가장자리부터 심하게 조직이 괴사되었고, 엽신에는 갈색 반점이 생겼으며, 팥은 잎 가장자리부터 조직이 괴사하고, 잎이 오그러지기도 하였다. 고추와 토마토는 잎에 작은 갈색 반점이 많이 나타났고, 피해가 심한 것은 잎 가장자리가 괴사하였다. 참깨는 피해가 없었고, 보리와 밀은 잎 선단으로부터 상당한 부분이 갈색을 나타내며, 기부로 내려갈수록 갈색 반점이 다소 나타났다. 배추, 무, 시금치는 비교적 큰

피사 반점이 잎에 많이 나타났다. 상추는 잎에 큰 갈색 피사 반점이 생길 뿐만 아니라 일부 잎에서는 잎의 가장자리부터 피사가 심하게 일어났는데 이것은 인공산성비 피해증상은 엽맥사이에 갈색, 황색, 흰색의 피사반점이 나타난다고 보고한 다른 연구자의 결과와 비슷하였다^{8,9,11,13}.

2. 細胞의 微細構造

pH 3.0의 인공산성비 처리에 의한 가시적인 피해증상은 보이지 않았지만 잎 내부의 微細構造를 透視電子顯微鏡(transmission electron microscope, TEM)으로 관찰한 결과를 보면 사진 1과 같다. 벼에서는 엽록체의 미세구조가 변하지 않았다. 그러나 참깨와 pH 2.0의 인공산성비 처리에서 가시적 피해가 크게 나타났던 콩, 팥, 고추 등은 엽록체내에 염색정도가 열린 脂質顆粒(Fg)이 많이 나타났는데 이것은 thylakoid의 구조변화에 따라 지질물질이 구조로부터 이탈되어 형성된 것으로 생각된다. 이와같이 pH 3.0의 인공산성비 처리에서 가시적 피해는 나타나지 않았으나 작물에 따라 세포의 微細構造가 변하여 작물간에 산성비에 대한 내성이 다른 듯 하다.

3. 葉綠素 含量

pH 3.0, 4.5, 6.0의 인공산성비를 작물이 출현한 20일 후에 2일 간격으로 15회 처리하여 조사한 엽록소 함량을 보면 표 1과 같다. 팥과 무는 pH 3.0과 4.5에서 엽록소 함량이 pH 6.0에서보다 증가하였으나, 벼, 토마토, 시금치는 오히려 감소하였고, 옥수수, 콩, 고추, 참깨, 밀, 보리, 배추, 상추 등의 엽록소 함량은 인공산성비의 pH에 영향을 받지 않았다.

金과 金¹⁰에 의하면 pH 3.0 인공산성비를 처리하면 시금치, 상추, 무, 옥수수, 콩 등은 엽록소 함량이 비교적 많이 감소하고, 고추, 토마토, 벼 등은 엽록소가 크게 감소되지 않는다고 하여 본 시험과 경향이 일치하지 않았다. 인공산성비가 잎의 엽록소 함량에 미치는 영향은 작물에 따라 다르¹⁰), 알팔파에서는 pH 3.0 이상의 인공산성비는 엽록소 함량에 영향을 미치지 않았으나¹⁶) bush bean에서는 pH 3.0의 인공산성비를 처리하였을 때 엽록소 함

량이 8% 감소하였으나 pH 4.0에서는 영향이 없었다는 보고도 있다⁷). 이상의 결과들을 종합해 보면 인공산성비가 조직을 파괴하지 않는 pH 3.0이상에서는 잎의 엽록소 함량에 영향을 미치지 않으며, pH 2.5~3.0에서는 시험에 따라 영향이 다른 것 같다. 즉 인공산성비가 조직을 파괴하지 않을 때는 산성비에 포함된 질산과 유황 등이 오히려 비료의 효과를 나타낼 수도 있고, 같은 작물이라도 시험마다 품종이 다르며, 같은 품종이라도 재배조건에 따라 인공산성비가 엽록소 함량에 미치는 영향이 다를 것으로 생각된다. 특히 pot시험을 할 경우는 pot 마다 재배조건이 다르고, 같은 pot 내에서도 개체간 생육이 고르지 않은 경우가 많아 대표가 되는 시료를 채취하기 힘들고, 또 엽록소는 분석과정에서도 변화하기 쉬워 분석방법에 따라서도 결과가 다를 것으로 생각된다.

4. 光合成 能力

인공산성비의 pH가 작물의 광합성 능력에 미치는 영향을 보면 표 2와 같다. 인공산성비 pH 3.0에서 팥은 광합성 능력이 pH 6.0에서보다 높았으나,

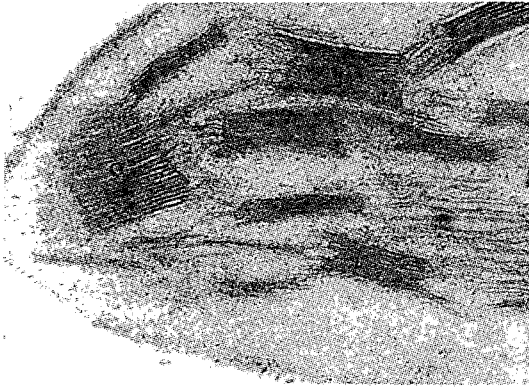
Table 1. Chlorophyll content of leaves treated with simulated acid rain(SAR) 15 times at the two-day intervals (Unit: mg /g fr. wt.)

Crop	pH of SAR		
	pH 3.0 ^{1/}	pH 4.5	pH 6.0
Rice	2.26 b ^{2/}	2.79 a	2.43 ab
Corn	3.14 ns	2.98	3.74
Soybean	2.15 ns	1.92	2.00
Adzuki bean	2.01 a	2.00 a	1.59 b
Hot pepper	1.67 ns	1.39	1.77
Tomato	1.28 b	1.43 b	1.60 a
Sesame	1.57 ns	1.40	1.60
Wheat	2.65 ns	2.80	2.63
Barley	2.00 ns	1.88	2.16
C. cabbage	0.97 ns	1.13	0.97
Radish	0.99 ab	1.04 a	0.95 b
Spinach	1.15 b	1.85 a	1.79 a
Lettuce	1.20 ns	1.25	1.17

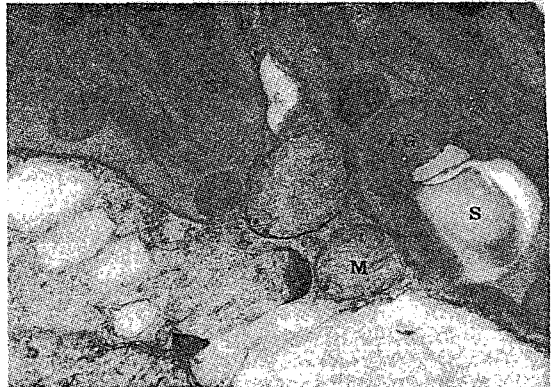
1 / : pH of simulated acid rain.

2 / : Means within a row for a given crop followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT).

Rice



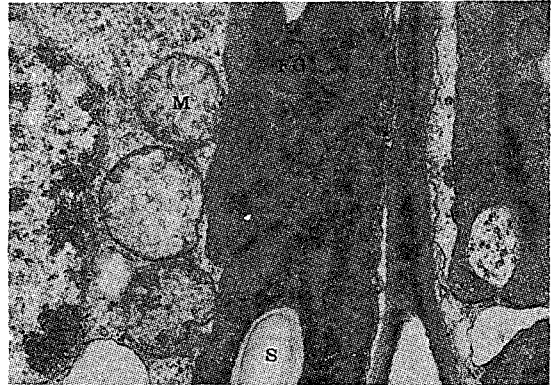
Hot pepper



Corn



Sesame



Adzuki bean



Soybean

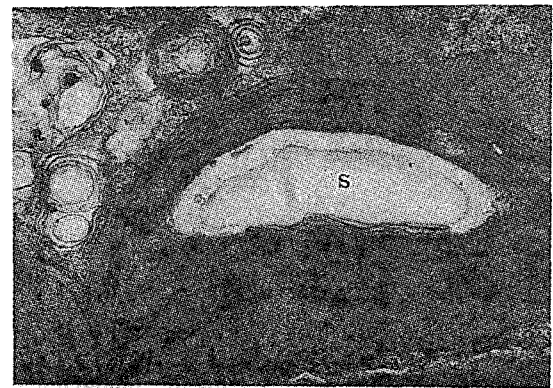


Photo 1. Ultrastructure of leaves treated with simulated acid rain of pH 3.0 (rice $\times 40,000$, corn, adzuki bean, hot pepper, sesame, soybean $\times 20,000$)

G:Grana; M:Mitochondria; S:Starch; FG:Fat Granule

Table 2. Photosynthetic activity of leaves treated with simulated acid rain (SAR) 15 times at the two-day intervals (Unit:CO₂ mg / g fr. wt.)

Crop	pH of SAR		
	pH 3.0 ^{1/}	pH 4.5	pH 6.0
Rice	11.6 ns ^{2/}	—	10.9
Corn	27.7 ns	20.9	25.4
Soybean	15.3 ns	13.3	14.6
Adzuki bean	11.8 a	—	7.5 b
Hot pepper	14.9 ns	—	18.2
Tomato	15.1 ns	—	15.3
Sesame	18.7 ns	18.3	18.6
Wheat	13.3 ns	10.9	13.6
Barley	10.7 c	13.4	12.0 b
C. cabbage	7.6 b	10.6	8.5 b
Radish	10.8 ns	10.7	13.0
Spinach	13.2 ns	10.6	9.9
Lettuce	10.5 a	7.3	9.6 a

1 /; pH of simulated acid rain.

2 /; Means within a row for a given crop by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

배추와 보리는 오히려 감소하였고, 벼, 옥수수, 콩, 고추, 참깨, 밀, 무, 상추, 시금치 등은 영향이 없었다.

인공산성비가 광합성 능력에 미치는 영향을 고찰해 보면 pH 2.0에서는 광합성 능력이 감소하였

지만 pH 2.6 이상에서는 광합성 능력이 떨어지지 않았는데^{14,16)} 이것은 비록 잎 조직이 인공산성비의 피해를 다소 받더라도 주위의 건전부위에서는 오히려 광합성이 더 활발하여 보상해 주므로 평균적으로는 광합성 능력이 감소하지 않기 때문이다.¹⁷⁾ 그러나 본 시험에서 팔에서는 광합성능력이 증가하고 대두에서도 증가하는 경향을 보인 것은 생육 초기에 근류균이 형성되기전 인공산성비에 의한 질소공급의 효과가 있었기 때문으로 생각된다.

5. 窒素 吸收

인공산성비를 2일 간격으로 10mm씩 15회 처리한 후 지상부의 질소 함량과 흡수량을 보면 표 3과 같다. 토마토는 pH 3.0 인공산성비 처리가 pH 6.0 처리에 비하여 질소 함량이 높았고, 질소 흡수량도 많았다. 그러나 보리는 pH 6.0 처리에 비하여 질소 함량이 낮았으나 질소 흡수량에는 차이가 없었고, 다른 작물은 pH 3.0과 6.0 인공산성비 처리간에 질소함량과 흡수량의 차이가 없어 인공산성비를 처리하였을 때 잎의 질소 함량이 증가한다는 보고¹⁵⁾와 다소 다른 경향이였다. 이것은 본 시험에서 황산:질산의 비율을 2:1로 하고, 1회에 10mm 씩 15회 처리하였을 때 pH 3.0과 4.5 인공산성비 처리에서 10a 당 각각 2.6kg과 1.4kg의 질소를 사용한 결

Table 3. Nitrogen concentration and uptake of crops treated with simulated acid rain 15 times at the two-day intervals

Crop	N concentration(%)			N uptake(g / pot)		
	pH 3.0 ^{1/}	pH 4.5	pH 6.0	pH 3.0	pH 4.5	pH 6.0
Rice	1.71ns ^{2/}	1.74	1.66	1.54 ns	1.83	1.66
Corn	1.57 ab	1.43 b	1.66 a	1.84 ns	3.37	3.88
Soybean	3.38 ns	3.29	3.21	3.04 ns	2.88	2.67
Adzuki bean	3.38 ns	3.38	3.50	2.50 ns	3.03	2.55
Hot pepper	3.62 ns	3.34	3.33	3.14 ns	2.18	2.43
Tomato	2.65 a	2.45 a	2.02 b	4.87 a	4.38 ab	3.74 b
Sesame	1.86 ns	2.10	1.74	1.89 ab	2.48 a	1.64 b
Wheat	3.07 ns	2.82	2.99	2.45 a	1.82 b	2.73 a
Barley	2.98 c	3.24 b	3.50 a	2.74 ns	3.18	2.87
C. cabbage	3.53 ns	3.31	3.24	4.13 ns	3.36	3.06
Radish	3.77 ns	4.02	3.96	2.73 ns	3.27	2.67
Spinach	6.92 ns	5.91	5.81	2.93 ns	2.06	1.67
Lettuce	4.44 a	4.13 b	4.51 a	1.30 ns	1.22	1.05

1 /; pH of simulated acid rain.

2 /; Means within a row for a given crop followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

과가 되지만 시비량은 pot 시험이므로 표준시비량의 1.4배를 사용하였고, 재배기간이 출아 후 약 50일로 길지 않아 질소가 결핍된 조건이 아니므로 인공산성비에 의하여 첨가된 질소가 식물체내의 질소함량의 증가에 크게 영향을 미치지 않았는 듯하다.

摘 要

작물의 영양생장기에 처리된 산성비에 대한 내성과 피해양상을 알기 위하여 벼, 옥수수, 콩, 팥, 고추, 토마토, 참깨, 밀, 보리, 배추, 무, 상추, 시금치 등 13개 작물을 파종 후 20일에 인공산성비(pH 3.0, 4.5, 6.0)를 10mm씩 2일 간격으로 15회 처리한 후 작물의 형태적 및 생리적 변화를 조사분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. pH가 3.0 이상일 때 인공산성비 처리에 의한 가시적 피해는 없었다.
2. 전자현미경상 조직의 피해는 없었으나 참깨, 콩, 팥의 엽록체내에 염색정도가 열은 지질과립이 나타났다.
3. 엽신의 엽록소 함량은 팥에서는 증가하였으나, 벼, 토마토, 시금치에서는 감소되었고, 다른 작물은 인공산성비 처리 간에 차이가 없었다.
4. 광합성은 팥에서 증가되었고, 배추와 보리에서는 감소하였으나 다른 작물은 인공산성비의 영향이 없었다.
5. pH 2.0의 인공산성비를 처리하였을 때 가시적 피해가 적은 작물은 벼, 옥수수, 참깨, 토마토, 밀, 보리 등이었으며, 피해가 큰 작물은 팥, 고추, 콩, 배추, 상추, 무, 시금치 등 이었다.

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. Chang, F.H. and M. Alexander. 1983. Effects of simulated acid precipitation on

growth and nodulation of leguminous plants. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 30:379-387.

3. Evans, L.S. 1982. Biological effects of acidity in precipitation on vegetation ; A review. *Environ. Exp. Bot.* 22:155-169.
4. Evans, L.S. and T.M. Curry. 1979. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. *Amer. J. Bot.* 66(8) :953-962.
5. Evans, L.S., T.M. Curry, and K.F. Lewin. 1981. Responses of *Phaseolus vulgaris* L. to simulated acidic rain. *New Phytol.* 88:403-420.
6. Ferenbaugh, R.W. 1976. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (*Fabaceae*). *Amer. J. Bot.* 63(3):283-288.
7. Hindawi, T.J., J.A. Rea, and W.L. Griffis. 1980. Response of bush bean exposed to acid mist. *Amer. J. Bot.* 67(2):168-172.
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. Killham, K., M.K. Firestone, and J.G. McColl. 1983. Acid rain and soil microbial activity : Effects and their mechanisms. *J. Environ. Qual.* 12:133-137.
10. 김복영, 김규식. 1988. 농작물에 대한 인공산성비의 영향. *한토비지* 21(2):161-167.
11. Kratky, B.A., E.T. Fukunaga, J.W. Hylin, and R.T. Nakano. 1974. Volcanic air pollution: Deleterious effects on tomatoes. *J. Environ. Qual.* 3(2):138-140.
12. Lee, J.J., G.E. Neely, S.C. Perrigean, and L.C. Grothaus. 1981. Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. *Environ. Exp. Bot.* 21:171-185.
13. Leece, D.R. 1978. Foliar absorption in *Prunus domestica* L. I. Nature and develop-

- ment of the surface wax barrier. *Austral. J. Plant Physiol.* 5:749-766.
14. McColl, J.G. and D.S. Bash. 1978. Precipitation and throughfall chemistry in the San Fransisco Bay Area. *J. Environ. Qual.* 7(3):352-357.
 15. 오종환. 1986. 인공강우가 수목의 성장과 토양에 미치는 영향. 경희대학교 대학원 석사 학위논문.
 16. Porter, J.R. and R.P. Sheridan. 1981. Inhibition of nitrogen fixation in alfalfa by arsenate, heavy metals, fluoride, and simulated acid rain. *Plant Physiol.* 68:143-148.
 17. Trites, L.F. and R.G.S. Bidwell. 1987. Effects of acidic precipitation on bean plants. *Can. J. Bot.* 65:1121-1126.