

人工酸性비에 의한 農作物 잎의 組織形態 變化에 關한 研究 - II 벼, 콩, 보리, 무에 관하여 -

李宗植* · 金福鎮** · 鄭求謹*

Histological Perturbations of Crop Leaves after Exposure to Simulated Acid Rain

- II. For rice, soybean, barley, and radish -

Jong-Sik Lee*, Bok-Jin Kim** and Goo-Bok Jung*

Summary

To investigate the alterations of ultrastructure of leaves by acid rain, 10mm of SAR(Simulated Acid Rain, pH 2.0, 2.5, 2.7, 3.0, 6.0) were applied to 4 crops(rice, soybean, barley, and radish) at the two day interval. The symptoms of leaf damage by SAR were observed by naked eyes and SEM(Scanning Electron Microscope). The results are summarized as follow:

Visible leaf injury were more serious in dicots than monocots such as rice and barley with the order of bean, radish, rice, barley.

With the SAR treatment of pH 2.0, histological perturbation of trichome were developed in bean and radish.

And with the SAR treatment of pH 2.5, stomata of all tested crops except rice were deshaped.

*農業科學技術院 (National Agricultural Science & Technology Institute, RDA, Suwon, Korea)

**嶺南大學校 自然資源大學

(College of Agriculture & Animal Science, Yeongnam University, Kyeongsan, Korea)

*** 본 研究는 農村振興廳 特定研究 課題로 逐行되었음.

緒 言

산업이 발달하고 인구가 증가함에 따라 화석연료 연소시 배출되는 아황산가스와 자동차 및 공장에서 배출되는 질소산화물 등이 대기중으로 많이 방출되는데 이들은 대기중에서 복잡한 화학반응을 거쳐 산성물질이 형성되고¹⁾ 이러한 산성물질은 Dry deposition과 Wet deposition의 형태로 강하되는데 전자의 경우는 산성비의 前驅物質인 SO_2 나 NO_x 등이 기체상태로 직접 식물체에 흡수되거나 煙霧質(particulate aerosols)이 중력에 의해 침강되는 것이며, 후자의 경우는 산성 물질들이 강우에 의해 침강되는 것으로 pH 5.6 이하를 산성비라 한다. 이 기준은 비오염지의 대기중 이산화탄소(약 340ppm)가 대기 중의 수증기에 의해 용해될 때 생성되는 탄산의 수소이온 농도를 기준으로 한 것이다.^{2,3,4)} 이러한 산성비가 식생에 미치는 영향은 비의 산성도⁵⁾, 강우시간, 토양조건, 작물의 종류^{6,7)}, 품종, 생육상태^{8,9)} 및 기후 조건 등 여러 요인들에 따라 상이하며, 산성비로 인한 작물의 주된 피해로는 上皮組織 피해로 인한 대기오염물질 및 旱魃에 대한 내성 감소, 잎으로부터의 양분용탈량 증가, 광합성 및 호흡 등 대사작용 교란, 작물의 방어조직 피해에 따른 내병성, 내충성 감소 그리고 토양중 독성물질 용해로 인한 뿌리 및 기타 조직의 독성피해 등이 있으며, 일반적인 피해증상은 약산성의 비를 맞은 경우에는 눈에 보이지 않는 피해를 일으키나 pH 2.0~3.0의 강산성 비를 맞으면 잎 표면에 백색 또는 적갈색의 피해반점이 나타난다.

또한 산성비의 영향은 풍향과 풍속에 따라 차이는 있으나 수 백 km를 이동하여 주변국가에도 직접 또는 간접으로 영향을 주므로 국제적 차원의 환경문제로 대두되었고, 현재 세계 각국은 산성비 피해에 대하여 공동으로 대처하고 있다.¹⁰⁾ 우리나라에서 도 이미 대도시 및 공업단지 주변에서는 pH 4.5 이하의 산성비가 내리고 있고, 환경에 대한 대중의

인식이 높아짐에 따라 이러한 산성비의 영향과 그 대책수립에 관심을 모으고 있으나 아직은 뚜렷한 대규모 피해지역이 없고, 피해가 우려되는 일부 지역에서도 그 현상이 다른 나라의 경우와 다르기 때문에 이에 대한 정확한 구명이 필요하다. 또한 현재까지 우리나라 육상생태계에서 대기오염 및 산성비로 인한 가시적인 피해가 극히 미미하다 하더라도 pH 5.0 부근에서 벼와 보리 등의 광합성 속도가 저해된다는 Taniyama 등¹¹⁾의 보고처럼 잠재적인 피해의 가능성은 충분하다고 생각된다.

본 연구는 산성비에 의한 작물의 조직피해를 알아보기 위하여 벼, 콩, 보리 및 무 등 4개 작물에 대하여 온실내에서 인공산성비를 처리한 후, 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 각 작물의 잎조직 변화 양상을 관찰하였다.

材料 및 方法

산성비에 의한 작물의 조직피해를 알아보기 위해 벼(품종 : 추청), 콩(황금), 보리(탑골), 무(태양) 등 4개 작물을 공시작물로 하여 온실내에서 pot 재배하여 2일 간격으로 매회 강우량 10mm에 해당하는 인공빗물을 10회 공중 살포하였으며, 인공비는 수도물에 pH 조절액(황산 : 질산 = 2 : 1)을 이용하여 pH 2.0, 2.5, 2.7, 3.0 및 6.0(대조)으로 조절하였다. 산성비에 의한 작물 잎의 가시적 피해율은 달관조사로 하였으며, 잎의 표면조직 관찰은 Hitachi S-570 Scanning Electron Microscope를 사용하였다.

結果 및 考察

1. 인공산성비에 의한 작물 잎의 가시적 피해율

산성비에 의한 각 작물의 가시적 피해는 모든 공시작물에서 pH 2.0의 인공산성비 1회 처리로 피해반점이 형성되어, 콩의 경우 pH 2.0의 산성비 처리

후 24시간내에 갈색반점이 엽맥을 따라 형성되었다는 Yoshishisa의 보고¹²⁾와 같은 결과를 보였으며, 피해율은 처리횟수가 증가할수록 높았다. 각 작물별 피해정도는 pH 2.0의 산성비 처리구를 비교할 때 콩, 무, 벼, 보리의 순으로 외떡잎 식물이 쌍떡잎 식물에 비해 피해가 적어 기존의 Evans⁶⁾의 보고와 일치하였으며, 또한 pH 3.0 이상의 산성비 처리구에서는 10회 처리후에도 모든 공시작물에서 잎의 가시적 피해가 전혀 나타나지 않았거나 피해율이 10

Table 1. Degree of foliar damage¹ on crops treated with SAR(simulated acid rain)

Crops	pH of SAR	Number of treatment				
		1	3	5	7	10
Rice	6.0	0	0	0	0	0
	3.0	0	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.7	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.5	Tr	Tr	1	1	1
	2.0	Tr	1	2	3	4
Soybean	6.0	0	0	0	0	0
	3.0	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.7	Tr	Tr	1	1	1
	2.5	Tr	1	1	1	2
	2.0	1	3	4	5	7
Barley	6.0	0	0	0	0	0
	3.0	0	0	0	0	0
	2.7	0	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.5	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.0	Tr	Tr	1	3	4
Radish	6.0	0	0	0	0	0
	3.0	0	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.7	Tr	Tr	1	1	2
	2.5	Tr	1	2	2	4
	2.0	1	3	4	5	6

¹ : 0(non-symptom), Tr(Trace, < 10%), 1(10-20%), 2(20-30%), 3(30-40%), 4(40-50%), 5(50-60%), 6(60-70%), 7(70-80%), 8(80-90%), 9(> 90%)

% 이하로 큰 피해가 발견되지 않아 작물에 대한 산성비 피해는 pH 3.0 이하라는 기준의 보고를 뒷받침하고 있다.

2. 산성비에 의한 모용의 변화

毛茸(Trichome)은 단세포성이거나 다세포성을 따른하고 표피의 부수체를 말하는 것으로 식물체의 모든 부분에 있으며, 생장함에 따라 일시적 또는 영구적으로 존재한다. 그 기능은 첫째, 잎으로부터 염류방출의 통로가 되어 식물체내의 독성 염류축적을 억제하며, 둘째, 열에 의한 mesophyll의 피해를 방지하며, 그리고 셋째, 해충에 대한 방어기작으로서의 역할로 볼수 있는데 그 형태는 작물에 따라 다양하다.¹³⁾

Evans 등^{14,15,16)}은 산성비에 의한 작물의 피해는 대부분 기공 및 모용 주위에 형성되며, 특히 잎 피해의 75%가 모용 주위에 형성된다고 보고하였는데 그림 1은 pH별 각 작물의 모용을 전자현미경을 이용하여 활용한 것으로 대두와 무의 경우, 대조구(pH 6.0)에서 작물체 잎의 모용이 정상적인 것에 반해 pH 2.0의 인공산성비 처리구 작물잎의 모용이 기능을 발휘할 수 없도록 심하게 변형되어 있음을 발견하였으나 벼의 경우는 pH 2.0 처리구에서도 모용의 피해가 발견되지 않았는데 이는 낮은 가시적 피해율과 함께 벼가 산성비에 강한 작물임을 뒷받침하고 있다.

한편, 보리의 경우에는 모용의 분포 밀도가 매우 낮아 피해여부 판단이 어려웠다.

이러한 모용의 피해는 병충해와 같은 2차 피해의 경로가 될 수 있으며, 따라서 산성비에 의한 작물의 병충해에 관한 연구¹⁷⁾도 많이 이루어지고 있다.

3. 산성비에 의한 기공의 피해

기공(Stomata)은 인접한 두개의 표피세포가 특수화되어 그 사이에 공극을 이룬 것을 말하며, 특수화한 두 표피세포를 공변세포라 한다. 기공은 세 가지 유형에 의해 형성되는데 첫째, 부세포와 공변

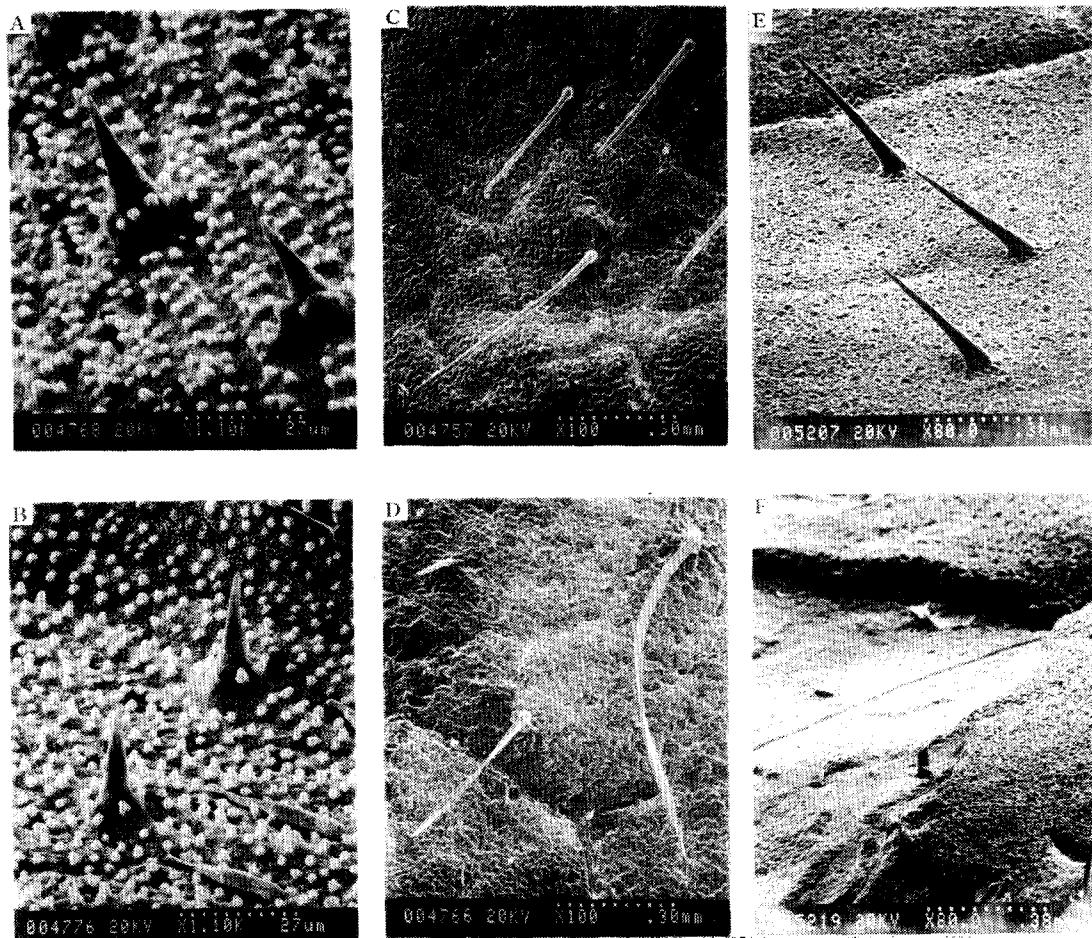


Photo 1. Scanning electron microphotographies of trichome of crop leaves treated with SAR.
A : Rice(pH 6.0, $\times 1,100$), B : Rice(pH 2.0, $\times 1,100$), C : Soybean(pH 6.0, $\times 100$), D : Soybean
(pH 2.0, $\times 100$), E : Radish(pH 6.0, $\times 80$), F : Radish (pH 2.0, $\times 80$)

세포가 같은 세포에서 기원하는 中位形成型(Mesogenous), 둘째, 周邊形成型(Perigenous)은 부세포가 기공세포에 인접한 원표피세포에서 발달하는 것이고, 셋째는 부세포가 두 가지 기원을 가지는 형으로 일부의 부세포는 공변세포와 같은 기원이고 일부는 공변세포와 그 기원이 다른 中位周邊形成型(Meso-perigenous) 등이다. 이러한 기공의 수는 식물의 종류와 광도에 따라 다른데 광도가 약할수록 기공의 수는 감소한다. 그 배열은 網狀脈(Reticulate vena-

tion)을 가진 잎에서는 기공이 불규칙적으로 배열되어 있으나 벼과 식물에 있는 平行脈(Parallel venation)은 잎의 엽선에서 엽기로 향해 종렬로 규칙적으로 배열되어 있다.¹⁸⁾

그림 2는 대조구(pH 6.0)와 pH 2.5의 인공산성비 처리구에 대한 각 공시작물의 기공을 확대 촬영한 것으로 대조구에 비하여 pH 2.5의 산성비처리로 벼의 경우에는 기공에 대한 세포 피해가 없었으나 벼를 제외한 모든 공시작물에서는 공변세포가 피해를

받았음이 발견되었다. 본 결과와 같이 작물간 산성 비 피해 차이가 있었던 것은 각 작물 잎의 표면 특

성이 큰 영향을 미치는 것으로 생각되며, 이에 대해서는 앞으로 더 세밀한 연구가 요구된다.

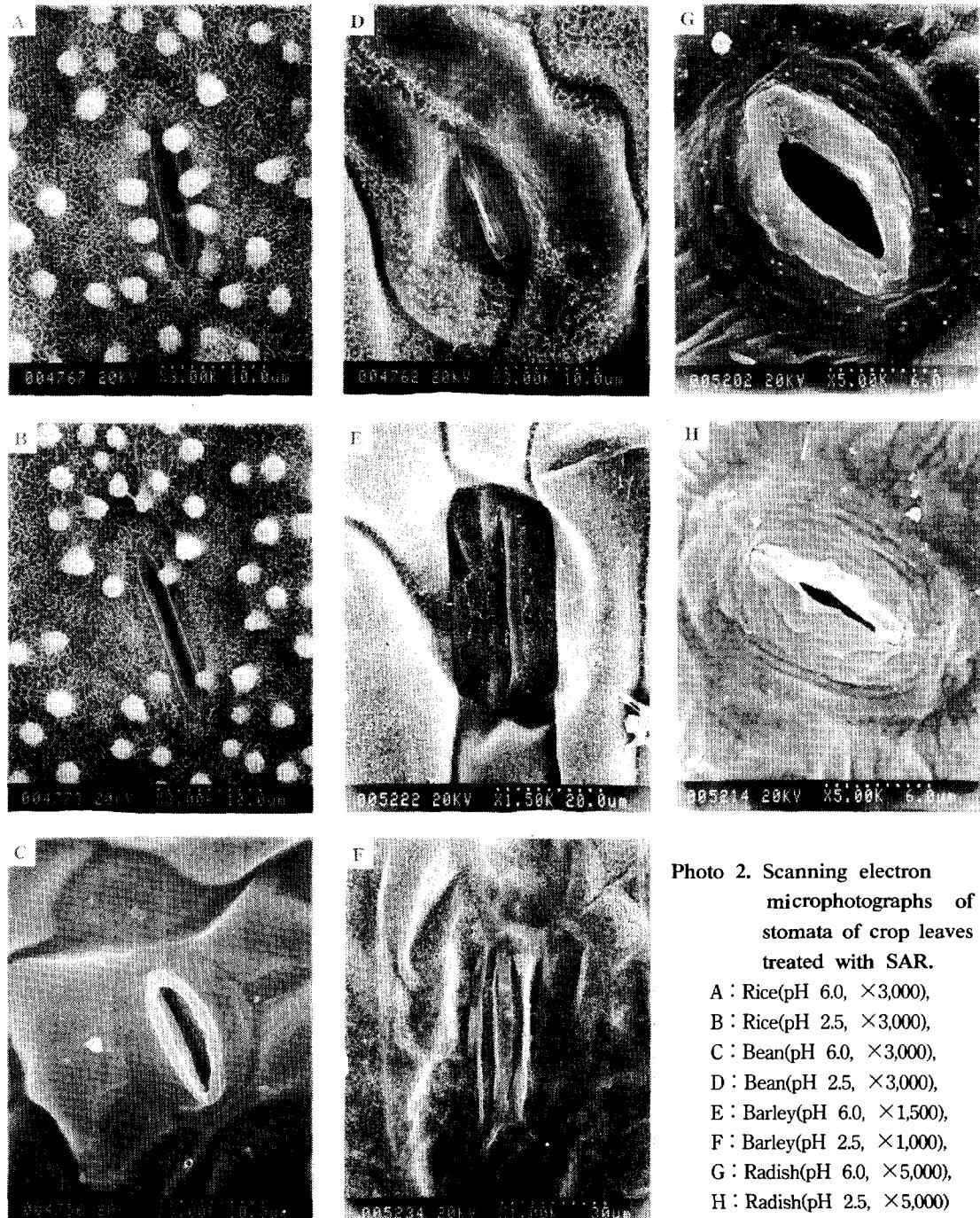


Photo 2. Scanning electron microphotographs of stomata of crop leaves treated with SAR.

- A : Rice(pH 6.0, $\times 3,000$),
- B : Rice(pH 2.5, $\times 3,000$),
- C : Bean(pH 6.0, $\times 3,000$),
- D : Bean(pH 2.5, $\times 3,000$),
- E : Barley(pH 6.0, $\times 1,500$),
- F : Barley(pH 2.5, $\times 1,000$),
- G : Radish(pH 6.0, $\times 5,000$),
- H : Radish(pH 2.5, $\times 5,000$)

摘要

산성비에 의한 작물의 조직피해를 알아보기 위하여 벼, 콩, 보리, 무 등 4개 작물에 pH 2.0, 2.5, 2.7, 3.0 및 6.0(대조구)의 인공산성비를 10mm씩 2일 간격으로 10회 처리한 후 잎의 피해율과 모용(Trichome) 및 기공의 변화를 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 산성비 처리에 의한 작물별 가시적 피해는 콩 > 무 > 벼 > 보리의 순으로 외떡잎 식물인 벼와 보리가 쌍떡잎 식물보다 적게 나타났다.
2. pH 2.0의 인공산성비를 처리한 작물의 잎 표면을 주사전자현미경(SEM)으로 살펴본 결과, 콩과 무는 잎의 모용이 변형되었으나 벼 잎에서는 변화가 없었다.
3. pH 2.5 인공산성비 처리로 벼를 제외한 콩, 보리 및 무의 기공에 피해가 나타났다.

引用文獻

1. Volker A. M. (1988). The challenge of acid rain, *Scientific American*, **259**(2) : 14-22.
2. Bill F. (1986). Environmental Ecology-The impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function-, p.82.
3. Gene E. L., Richard F. W., James N. G. and Thomas J. B. (1979). Acid rain, *Scientific American*, **241**(4) : 39-47.
4. Schindler D. W. (1988). Effect of acid rain on freshwater ecosystems, *Science*, **239** : 149-157.
5. Feret P.P., Diebel K.E., and T.L. Sharik. (1990). Effect of simulated acid rain on reproductive attributes of red spruce, *Environmental and Experimental Botany*, **30**(3) : 309.
6. Evans L.S. (1982). Biological effects of acidity in precipitation on vegetation : A Review, *Environmental and Experimental Botany*, **22**(2) : 155-169.
7. 이성희. (1990). 산성우 피해작물의 생리 및 형태에 관한 연구, 전남대 석사학위논문.
8. Evans L.S., Gmur N.F., and D. Mancini. (1982). Effect of simulated acidic rain on yields of *Raphanus sativus*, *Lactuca sativa*, *Triticum aestivum* and *Medicago sativa*, *Environmental and Experimental Botany*, **22**(4) : 445-453.
9. Rinallo C. (1992). Effects of acidity of simulated rain on the fruiting of 'Summerred' apple trees, *J. Environ. Qual.*, **21** : 61-68.
10. 정용승, 김태군. (1991). 한국 서해안에서 관측된 산성비 발원지 추적연구, *한국대기보전학회지*, **7**(3) : 203-207.
11. Taniyama T. and Saito H. (1981). Effects of acid rain on apparent photosynthesis and grain yield of wheat, barley and rice plant, *Rept. Environmental Sci. Mie. Univ.*, **6** : 87-101.
12. Yoshishisa Kohno. (1989). Effect of simulated acid rain on the growth of soybean, *Water, Air, and Soil Pollution*, **43** : 11-19.
13. Katherine E. (1977). Anatomy of seed plants, John Wiley and Sons, p. 94-97.
14. Evans L.S., Gmur N. F. , and Costa F. D. (1977). Leaf surface and histological perturbation of leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus annuus* after exposure to simulated acid rain, *Amer. J. Bot.*, **64**(7) : 903-913.
15. Evans L.S., Gmur N.F., and Costa F.D. (1978). Foliar response of six clones of hybrid poplar, *Phytopathology*, **68** : 847-856.
16. Evans L.S., Gmur N.F., and Kelsch J.J. (1977). Perturbations of upper leaf surface structure by simulated acid rain, *Environmental and Experimental Botany*, **17** : 145-149.
17. Shriner D.S. (1978). Effects of simulated acidic rain on host-parasite interactions in plant diseases. *Phytopathology*, **68** : 213-218.
18. 金宇甲, 朴弘惠, 鄭炳甲. (1993). 植物形態解剖學, 아카데미서적, p.37-48.