

人工酸性비에 의한 벼, 콩, 감자, 고추의被害樣相

李錫淳* · 金玟岡* · 白俊鎬*

Damage of Rice, Soybean, Potato, and Red Pepper as Affected by Simulated Acid Rain

Suk Soon Lee*, Min Kyeong Kim* and Jun Ho Back*

ABSTRACT : In order to investigate the relationships between the responses of four crops (rice, soybeans, potatoes, and red pepper) to acid rain, the simulated acid rain (SAR) of pH 1.8, 2.3, and 2.8 and normal rain of pH 6.0 were applied from 30 days after emergence to harvest at the two-week interval for rice, soybeans and red pepper and at a week interval for potatoes. SAR of pH 1.8 and 2.3 caused brown spots in the leaves of rice, soybeans, and red pepper and the damages were severer as the pH of SAR lowered, while no visual damages were observed in potatoes. The SARs did not affect chlorophyll content of rice and potatoes, while chlorophyll content of soybeans and red pepper decreased as the pH of SAR lowered. Photosynthetic activity was not significantly different among the pHs of SAR in rice, while decreased as pHs of SAR lowered from pH 2.8 to 1.8 in soybeans, potatoes, and red pepper. Yield of rice, soybeans, and potatoes was not affected by the pHs of SAR, but in red pepper the length, diameter, and weight of a fruit, the number of fruits per plant, and total matured fruit yield decreased as the pHs of SAR lowered. In rice and potatoes visual damages caused by SAR did not correlated with other observed traits. However, visual damages were negatively correlated with chlorophyll content and photosynthetic activity of soybeans and photosynthetic activity and yield of red pepper.

Key words : Simulated acid rain, Rice, Soybeans, Potatoes, Red pepper, Visual damages, Chlorophyll content, Photosynthetic activity, Yield.

최근 급격한 산업의 발달로 인하여 석탄, 석유 등 화석 물질의 사용이 급증하고 있으며, 이들이 연소될 때 발생하는 SO₂, NO₂, 그리고 대기오염 물질 중 Cl, F 등이 빗물에 녹으면 빗물의 pH는 5.6보다 낮아지는데 이를 산성비라고 한다^{1,5)}. 따라서 빗물의 pH는 화석 연료의 사용이 많은 공업

지대나 대도시에 가까울수록 낮아지는 경향이며, 현재 빗물의 pH는 심한 경우 3.5~4.5 까지 보고 되고 있다⁶⁾.

산성비가 식물에 미치는 영향은 작물의 종류, 생육 단계, 토양, 기상 조건, 산성비의 pH, 강수량, 강수 횟수 등 여러 가지 요인에 따라 다르며,

이 논문은 農村振興廳 支援 '95 農業特定課題 研究費의 一部로 修行되었음.

* 嶺南大學校 自然資源大學 農學科(College of Natural Resources, Yeungnam University, Kyongsan, Kyongbug, 712-749, Korea)

〈'96. 9. 5 接受〉

식물이 산성비에 의하여 받는 피해도 다양하다^{1,2)}. 또한 산성비의 직접적인 피해는 대체로 pH가 3.0보다 낮을 때 일어나므로 현재의 산성비는 작물에 직접적인 피해가 없으나 산성비가 계속 내리면 토양의 산성화로 인한 피해가 커진다. 한편 1년생 작물을 재배할 때는 토양 pH가 낮으면 석회를 사용하여 pH를 교정해 주므로 산성비의 피해는 나타나지 않는다. 그러나 앞으로 산업화가 진전되어 빗물의 pH가 더욱 낮아지면 1년생 작물에도 직접적인 피해가 예상된다. 최근에는 황산과 질산을 이용하여 현재 내리는 산성비보다 pH가 훨씬 낮은 인공산성비를 만들고, 이를 일정 간격으로 작물에 처리하여 가시적 피해, 광합성, 엽록소 함량, 수량 등에 미치는 영향을 연구한 보고가 많다^{3,4,6)}. 그러나 이들 연구는 인공산성비가 각 작물마다 이들 조사 항목에 미치는 단편적인 연구일 뿐 인공산성비가 여러 가지 작물에 미치는 피해 상호간의 연관성에 관한 정보는 없다.

그래서 본 시험에서는 인공산성비에 의한 작물간 피해 양상을 비교하기 위하여 산성비에 대한 내성이 다른 4작물을 공시하고, 인공산성비 pH를 4수준으로 처리하여 가시적 피해, 엽록소 함량, 광합성 능력, 수량 등을 검토하고, 또 이들 상호간의 관계를 구명하여 일반적으로 산성비에 대한 내성의 지표로 이용하고 있는 가시적 피해 정도의 효과를 알고자 본 시험을 실시하였다.

재료 및 방법

본 실험은 1995년 경북 경산에 있는 영남대학교 자연자원대학 부속농장에서 수행하였으며, 공시 작물(품종)은 벼(일품벼), 콩(만리콩), 감자(대지), 고추(풍촌) 등 4개 작물이었다.

벼는 4월 18일에 파종한 45일 묘를 5월 31일에 주당 4묘씩 이앙하였고, 콩은 6월 2일에 3립씩 점파하여 출아 후 10일에 포기당 1주만 남기고 솎아주었다. 감자는 8월 9일에 최아를 시작하여 싹이 약 3cm인 종서를 8월 22일에 정식하였고, 고추는 상품화된 35일 플러그 묘를 5월 4일에 정식하였다. 재식거리를 보면 벼는 30×15cm, 콩은 60×

20cm, 감자는 60×25cm, 고추는 60×30cm 이었다.

시비량을 보면 벼는 N-P₂O₅-K₂O를 성분량으로 12-9-9kg/10a, 콩은 4-7-6kg/10a, 감자는 15-15-12kg/10a, 고추는 17.5-4-22kg/10a 수준이었다. 질소는 요소, 인산은 용성인비, 칼리는 염화칼리로 사용하였으며, 벼는 기비:분얼비:수비의 비율이 50:30:20이 되도록 분시하였고, 고추, 콩, 감자는 전량을 기비로 사용하였다.

인공산성비는 황산:질산의 비율이 2:1(V/V)인 혼합액을 수돗물에 첨가하여 pH가 1.8, 2.3, 2.8이 되도록 조절하였고, 대조구인 일반비는 pH가 6.0이 되도록 조절하였다. 인공산성비 처리는 벼와 콩은 출아 후 30일부터, 고추는 정식 후 30일부터 수확기까지 2주 간격으로 처리하였으나, 추작재배하여 생육 기간이 짧고, 산성비에 대한 저항성이 큰 감자는 출아 후 30일부터 수확기까지 1주 간격으로 처리하였다. 처리량은 배부식 분무기를 사용하여 모든 잎이 완전히 젖도록 처리하였다.

가시적 피해는 인공산성비 처리후 잎전체에 갈색 반점의 피해면적비율에 따라 0~9까지 10등급으로 구분하여 매일 달관 조사하였다. 조사 기준은 0은 피해가 없었고, 잎전체에 갈색 반점의 피해면적비율이 1은 10%, 2는 20%, 3은 30%, 4는 40%, 5는 50%, 6은 60%, 7은 70%, 8은 80%, 9는 90%를 기준으로 나타내었다.

엽록소 함량은 인공산성비 3회 처리 후 2일째에 중위엽을 대상으로 Yoshida 등¹⁰⁾의 방법으로 엽록소 함량을 계산하였다.

광합성 능력은 인공산성비 4회 처리 후 환경의 변화가 광합성에 미치는 영향을 줄이기 위하여 4~7일 사이에 맑은 날 오전 10~12시 사이에 Potable Photosynthesis System(LI-6200, LICOR, USA)으로 처리당 2회 측정하여 그 평균을 관측치로 이용하였다.

수량 및 수량구성요소의 조사 방법은 농촌진흥청 농사시험연구조사기준⁸⁾에 준하였는데 벼, 콩, 감자는 성숙기에, 고추는 과실이 성숙되는 대로 1주 간격으로 수확하였다.

시험구 크기는 벼는 5.25×1.5m, 고추는 4.8×

4m, 폭은 2.4×3m, 감자는 2.4×3m이었으며, 시험구 배치는 작물별 난괴법 4반복이었다.

결과 및 고찰

1. 잎의 가시적 피해

인공산성비를 처리하여 수확 직전까지 발생한 가시적 피해 정도는 표 1과 같다. 벼, 콩, 고추는 pH 1.8에서 피해 정도가 2.8~3.0, 또 pH 2.3에서는 1.7~2.5 등급의 가시적 피해가 나타났으나, pH 2.8과 6.0에서는 가시적 피해가 없었다. 감자에서는 pH 1.8까지도 인공산성비 농도에 관계없이 가시적 피해는 전혀 나타나지 않아 작물에 따라 인공산성비의 피해가 달랐다.

피해 증상은 벼에서는 잎 선단으로부터 상당한 부분이 갈색 반점을 나타냈고, 인공산성비의 pH 농도가 낮을수록 피해 정도가 더 심해지는 경향이 있었다. 콩, 고추에서는 잎에 작은 갈색 반점이 많이 나타났고, 피해가 심한 것은 잎의 가장자리가 괴사하였다. 이것은 인공산성비 피해 증상은 엽맥 사이에 갈색, 황색, 흰색의 괴사 반점이 나타난다고 보고한 다른 연구자의 결과와 비슷하였다^{2,4,5)}.

2. 잎의 엽록소 함량

인공산성비를 3회 처리한 후 중위엽을 대상으로 그 다음 날 조사한 잎의 엽록소 함량을 보면 표 2와 같다. 벼와 감자에서는 인공산성비 pH간에 엽록소 함량은 차이가 없었다. 그러나 콩과 고추

Table 1. Visual damage in the leaves of rice, soybeans, potatoes and red pepper affected by simulated acid rain (SAR)

pH of SAR	Visual damage(0~9) ^{1/}			
	Rice	Soybeans	Potatoes	Red pepper
1.8	3.0	3.0	0.0	2.8
2.3	2.5	1.3	0.0	1.7
2.8	0.0	0.0	0.0	0.0
6.0	0.0	0.0	0.0	0.0

^{1/} : 0: No visual damage, 1: 10% brown color, 2: 20% brown color, 3: 30% brown color etc.

Table 2. Total chlorophyll content in the leaves of rice, soybeans, potatoes and red pepper affected by simulated acid rain(SAR)

pH of SAR	Total chlorophyll content(mg /g Fr. Wt.)			
	Rice	Soybeans	Potatoes	Red pepper
1.8	3.93ns	3.34c ^{1/}	1.68ns	2.19b
2.3	3.57	3.53b	1.74	2.24b
2.8	3.72	3.54b	1.77	2.28b
6.0	3.96	3.71a	1.75	2.43a

^{1/} : Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

에서는 대체로 인공산성비의 pH가 낮을수록 엽록소 함량이 감소하는 경향이었는데 콩에서는 pH 6.0>2.8=2.3>1.8 순으로 엽록소 함량이 감소하였고, 고추에서는 인공산성비 처리간에는 차이가 없었으나, 대조구인 pH 6.0보다는 엽록소 함량이 낮았다. 김과 김³⁾은 벼, 콩, 고추에 인공산성비 pH 2.7을 처리하였을 때 엽록소 함량이 현저히 감소하였다고 보고하여 본 시험에서 콩과 고추는 경향이 일치하였으나 벼는 경향이 일치하지 않았지만, pH 3.0 인공산성비를 처리하면 벼는 엽록소 함량이 크게 감소하지 않는다는 다른 연구자의 결과와는 일치하였다⁶⁾.

3. 잎의 광합성 능력

인공산성비를 4회 처리한 후 중위엽을 대상으로 조사한 광합성 능력을 비교해 보면 표 3과 같다. 벼에서는 인공산성비 처리간에 광합성 능력

Table 3. Photosynthetic activity of rice, soybeans, potatoes and red pepper affected by simulated acid rain (SAR)

pH of SAR	Photosynthetic activity (mg CO ₂ /dm ² /hr)			
	Rice	Soybeans	Potatoes	Red pepper
1.8	12.9ns	12.6c ^{1/}	11.6b	17.5b
2.3	13.9	14.9b	13.0ab	17.0b
2.8	14.5	19.2a	14.3a	21.1a
6.0	14.2	20.8a	14.4a	21.2a

^{1/} : The same as in Table 2.

Table 4. Yield and yield component of red pepper and yield of rice, soybeans, and potatoes affected by simulated acid rain(SAR)

pH of SAR	Rice	Soybeans	Potatoes	Red pepper				
	Yield in brown rice (kg/10a)	Grain yield (kg/10a)	Tuber yield (kg/10a)	Fruit length (cm)	Fruit diameter (mm)	No. of fruits /plant	Fruit dry Wt. (g/fruit) (kg/10a)	
1.8	670ns	265ns	1,885ns	10.3b ¹⁾	15.5b	42.1b	1.90b	437c
2.3	680	261	1,990	10.5a	15.9ab	43.5b	1.91b	458bc
2.8	668	261	1,926	10.7a	16.3a	45.4b	2.03a	494b
6.0	708	268	2,128	10.8a	16.5a	53.1a	2.07a	591a

¹⁾ : The same as in Table 2.

은 차이가 없었다. 한편 콩, 감자, 고추에서는 pH 2.8과 6.0에서 pH 1.8과 2.3에서보다 광합성 능력이 높았고, 인공산성비 pH 2.8이하에서는 pH가 낮을수록 광합성 능력이 떨어지는 경향이였다. 이것은 인공산성비 pH 2.0에서는 광합성 능력이 감소하였으나 pH 2.6 이상에서는 광합성 능력이 떨어지지 않았다는 다른 연구자들의 보고와 본 시험의 결과는 비슷하였다^{7,9)}.

4. 수량 및 수량구성요소

인공산성비를 처리하였을 때 벼, 콩, 감자의 수량과 고추의 수량 및 수량구성요소는 표 4와 같다. 벼, 콩, 감자는 인공산성비 pH간에 차이가 없었다. 고추는 果長과 果徑은 인공산성비 pH 2.8과 6.0간에는 차이가 없었으나 pH 1.8과 2.3 처리 보다는 과실이 길고, 굵은 경향이였다. 개체당 과실수는 대조구인 pH 6.0에서 53.1개로 pH 1.8, 2.3, 2.8보다 7.7~11.0개 많았다. 1개 乾果重은 인공산성비의 pH 2.8과 6.0에서 pH 1.8과 2.3보다 높았고, 10a당 乾果重은 인공산성비 pH가 낮을수록 감소하였다. 이 등⁶⁾이 인공산성비 처리 농도 pH 2.7에서는 벼와 콩의 수량은 영향을 받지 않았지만, 고추는 주당 과실수와 과중의 감소로 수량이 감소한다고 보고하여 본 시험과 일치하는 경향이였다.

5. 인공산성비의 영향을 받은 여러 가지 특성 상호간의 관계

인공산성비를 처리하였을 때 벼, 콩, 감자, 고추의 가시적 피해와 특성 상호간의 관계를 보면 표

5와 같다. 벼와 감자는 가시적 피해와 특성들간에 상관성이 없었다. 콩은 가시적 피해와 엽록소 함량, 광합성 능력과는 부의 상관성이 있었지만 수량과는 상관성이 없었고, 고추는 가시적 피해와 광합성 능력, 수량과는 부의 상관성이 있었지만 엽록소 함량과는 상관성이 없었다.

이상을 종합해 보면 산성비의 피해나 내성은 작물과 조사 형질에 따라 그 결과가 달라 비교하기 어렵다. 그러나 일반적으로 간단하게 산성비의 피해를 알 수 있는 가시적 피해를 조사하면 내성이 큰 작물은 가시적 피해가 적을 뿐 아니라 다른 특성에 미치는 영향이 적고, 한편 내성이 약한 작물은 가시적 피해와 다른 특성과는 부의 상관성이 있으므로 가시적 피해를 작물간 산성비에 대한 상대적인 내성을 비교할 수 있는 지표로 삼을 수 있을 것으로 생각된다. 다만 가시적 피해를 조사하는데는 객관성이 적어 훈련이 필요하고, 또 시간이 갈수록 피해가 회복되어 조사시기에 따라 그 결과가 달라지므로 체계적인 조사 방법이 요구된다.

Table 5. Correlation coefficients between visual damages and other traits of rice, soybeans, potatoes, or red pepper affected by simulated acid rain

	Rice	Soy-beans	Pota-toes	Red pepper
Chlorophyll content	-0.091	-0.613*	0	-0.355
Photosynthetic activity	-0.298**	-0.917**	0	-0.867
Yield	-0.181**	-0.007	0	-0.751

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

적 요

인공산성비를 처리하였을 때 작물이 입는 피해 양상 상호간의 관계를 알아보기 위하여 벼(일품벼), 콩(만리콩), 감자(대지), 고추(풍촌)에 pH 1.8, 2.3, 2.8인 인공산성비와 pH 6.0인 인공비를 출아 또는 정식 후 30일 부터 수확기까지 2주 간격(감자는 1주 간격)으로 처리하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 인공산성비에 의한 잎의 가시적 피해는 벼, 콩, 고추는 pH 1.8과 2.3 처리에서는 갈색 반점으로 나타났고, pH가 낮을수록 피해가 더 심했다. 감자는 어느 pH의 인공산성비 처리에서도 가시적 피해가 없었다.
2. 엽록소 함량은 벼와 감자에서는 인공산성비 처리간에 차이가 없었지만 고추와 콩에서는 인공산성비 pH가 낮을수록 잎의 엽록소 함량이 감소하였다.
3. 광합성 능력은 벼에서는 인공산성비 pH간에 차이가 없었다. 그러나 콩, 감자, 고추는 pH 2.8과 6.0에서는 차이가 없었으나 pH 2.8이하에서는 pH가 낮을수록 광합성 능력이 감소하였다.
4. 벼, 콩, 감자의 수량은 인공산성비 pH간에 차이가 없었으나 고추에서는 인공산성비의 pH가 낮을수록 果長, 果徑, 1果重, 株當 果實數, 果實 收量은 감소하였다.
5. 산성비에 대한 내성이 큰 벼와 감자에서는 가시적 피해가 다른 조사형질과는 상관이 없었다. 한편 내성이 약한 콩과 고추에서 가시적 피해는 콩의 엽록소 함량과 광합성 능력, 고추의 광합성 능력과 수량간에 부의 상관이 있었다.

LITERATURE CITED

1. Cowling 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.
2. 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.
3. Kim B.Y and K.S Kim. 1988. Effect of simulated acid rain on crops. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 21(2):161-167.
4. Kim G.T. 1987. Effects of simulated acid rain on growth and physiological characteristics of *Ginkgo biloba* L. seedlings and on chemical properties of the tested soil. II. Leaf surface area, visual leaf injury, leaf chlorophyll content and photosynthetic ability of the leaf tissue. Jour. Korean For. Soc. 76(3):230-240.
5. Kratky B.A, E.T Fukunaga, J.W Hylin and R.T Nakano. 1974. Volcanic air pollution: Deleterious effect on tomatoes. J. Environ. Qual. 3(2):138-140.
6. Lee S.S, Kim T.J and Kim B.J. 1994. Tolerance of rice, soybean, and hot pepper to simulated acid rain at different growth stages. Korean J. Crop Sci. 39(6):548-555.
7. McColl J.G and D.S Bash. 1978. Precipitation and throughfall chemistry in the San Francisco Bay Area. J. Environ. Qual. 7(3):352-357.
8. 農村振興廳. 1995. 農事試驗研究調查基準(改訂 3版).
9. 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.
10. Yoshida S, D.A Forno, J.H Cock and K.A Gomez. 1972. Laboratory manual for physiological studies of rice(2nd ed.). IRRI, Los Banos, Philippines.