

人工酸性비의 撒水 및 噴霧가 배추, 무, 콩에 미치는 影響

朴善道* · 李錫淳** · 金福鎭**

Response of Chinese Cabbage, Radish and Soybean Exposed to Sprinkle and Mist of Simulated Acid Rain

Suen Do Park*, Suk Soon Lee** and Bok Jin Kim**

Abstract

A green house experiment was conducted to investigate the growth of Chinese cabbage, radish and soybean and change in the chemical properties of the soil after the 10mm application of the simulated acid rain(SAR) of pH 2.7 in the form of sprinkle and mist. It was applied 30 times for Chinese cabbage and radish and 62 times for soybean at the two-day intervals. The results obtained are summarized as follows:

1. Visual damages caused by SAR were dark-brown or red brown leaf spots in Chinese cabbage, and dark-brown and wrinkled leaf margins in radish and soybean.
2. The degree of visual damages became severer as the number of SAR applications increased and it was severer with mist than with sprinkle of SAR.
3. Chlorophyll content was reduced by SAR, but it was not affected by the form of SAR application(sprinkle or mist) in all crops, although it was slightly lower with mist than with sprinkle of SAR.
4. Fresh weight of Chinese cabbage heads and radish roots and grain yield of soybean were reduced by SAR, and were not affected by the form of SAR application.
5. Contents of K, Ca, and Mg in leaves were reduced, while S content increased by SAR in all crops. The forms of SAR application did not affect contents of mineral nutrients in all crops.
6. SAR decreased soil pH and the contents Ca, Mg, and K of soil, while increased SO₄ content. However, the contents of soil organic matter, N, and P were not affected by SAR. Forms of SAR application did not affect soil chemical properties either.

*慶尙北道 農村振興院 (Kyongpook Provincial Rural Dvelopment Administration, Taegu 702-320, Korea)

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

***本 論文은 農村振興廳 支援 '94 農業特定課題 研究費의 一部에 依하여 遂行되었음.

緒 言

산성비는 대기오염물질이 빗물에 녹아 pH가 5.6보다 낮은 비를 말하는데¹⁾ pH가 크게 낮지 않으면 질소와 황산 등 필수대량원소를 공급하는 유익한 측면도 있다.²⁾ 그러나 일반적으로 산성비를 맞으면 잎에 갈색 반점, 주름, 괴사 등 가시적 피해³⁻⁷⁾의 발생, 잎으로부터 무기양분의 용탈⁸⁾, 엽록소 감소^{3,4,6)}, 광합성 저하⁴⁾, 수량 감소가 일어나며⁴⁻⁷⁾ 토양은 산성화된다.⁶⁾ 이러한 산성비에 의한 피해는 강수량, 강수횟수, 빗물의 pH 및 함유성분, 작물, 품종, 토양, 기상조건 등에 따라 다르다.

산성비는 주로 撒水하는 것처럼 내리지만 경우에 따라서는 안개와 같이 내릴 때도 있는데 같은 양의 산성비가 살수와 안개처럼 올 때 이것이 작물과 토양에 미치는 영향에 관한 연구는 적다. 그래서 본 시험에서는 산성비가 살수 및 분무 처리하여 이들이 배추, 무, 콩의 가시적 피해, 엽록소 함량, 수량, 식물체의 무기양분 함량, 토양의 이화학성의 변화에 대하여 시험한 결과를 보고하는 바이다.

材料 및 方法

본 시험은 1994년 대구광역시에 있는 경북농촌진흥원 비닐하우스에서 실시하였다. 공시작물과 품종을 보면 배추는 서울배추, 무는 일신알타리, 콩은 황금콩이었다. 배추와 무는 8월 20일, 콩은 5월 10일에 3립씩 파종하였고, 3엽기에 포기당 1주만 남기고 솎아 주었다. 재식거리는 60cm 곁에 배추는 40cm, 무는 30cm, 콩은 15cm 간격이었다. 비료는 N-P₂O₅-K₂O를 배추에서는 25-20-24, 무에서는 28-15-24, 콩에서는 4-7-6kg/10a 수준으로 시용하였으며, 기타 재배는 각 작물의 표준재배법에 준하였다. 공시토양은 pH 6.4, 유기물 함량 1.3%, 유효인산 143ppm, 치환성 K, Ca, Mg이 각각 0.21, 5.66, 1.96 me/100 soil 이었고, SO₄가 99ppm인 양토이었다.

인공산성비는 황산 : 질산의 비율이 2 : 1(V/V)인 혼합용액을 수돗물에 첨가하여 pH 2.7이 되도록 조

절하였다. 처리는 pH 2.7인 인공산성비와 pH 6.0인 일반비 10mm를 2일 간격으로 실시하였는데 인공산성비는 천정에 설치된 sprinkler로 공중살포하였으며, 분무는 1Hp 모타의 가슴기로 실시하였다. 처리기간은 배추와 무는 파종 후 20일인 9월 10일부터 30회, 콩은 파종후 25일인 6월 4일부터 62회 처리하였다.

가시적 피해는 갈색 반점이 전체 잎면적에 차지하는 비율에 따라 0-9까지 10 등급으로 구분하였는데 1, 3, 5, 7, 9회 처리후 달관조사하였다. 엽록소 함량은 80% acetone으로 추출한 용액의 흡광도를 측정하여 Vernon법으로 환산하였으며¹⁰⁾, 인공산성비 21회 처리후 측정하였다.

수량과 수량에 관련되는 특성은 수확기에 조사하였는데 배추는 球, 무는 뿌리의 길이, 굵기, 생체중을 측정하였고, 콩은 개체당 莢數, 100립중, 10주당 종실중을 조사하였다.¹¹⁾

식물체의 무기양분 분석은 배추는 잎, 무는 잎과 뿌리, 콩은 지상부를 수확하여 80°C 건조기에서 48시간 건조한 후 Willey mill로 분쇄하여 40mesh를 통과한 시료 0.5g에 분해액 (HClO₄ : H₂SO₄ : H₂O = 18 : 1 : 11) 10ml를 가하여 분해시킨 후 P는 Vanadate법으로 비색정량하였고, K, Ca, Mg은 원자흡광 분석법으로 정량하였다. 질소는 semi-micro Kjeldal 법, 황 함량은 비색정량법으로 분석하였다.¹²⁾ 공시토양은 시험 전후에 분석하였는데 pH는 토양 : 증류수 비율을 1 : 5로 하여 초자전극법으로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 전질소 함량은 semi-micro Kjeldal법으로 정량하였다. 치환성 K, Ca, Mg은 1N NH₄OAc 용액(pH 7)으로 침출하여 원자흡광분석법으로, SO₄ 함량은 비색법으로 정량하였다.¹²⁾

結果 및 考察

1. 可視的인 被害症狀

배추, 무, 콩에 pH 2.7 인공산성비를 처리하였을

때 나타나는 가시적 피해증상을 보면(Photo 1), 배추는 잎에 담갈색, 혹은 적갈색의 斑點이 발생하고, 잎에 윤기가 없었다. 무는 잎이 다소 위축되고, 담갈색의 반점이 생기며, 잎에 윤기가 적고, 잎의 색이 다소 연한 녹색이었다. 콩에서는 잎의 색상은 차이가 없었으나 담갈색과 적갈색의 반점이 생기고 가장자리가 위축되었다. 이와같이 작물에 따라서는 피해증상이 다소 달랐지만 살수처리와 분무처리간에는 피해증상의 차이가 없었다. 인공산성비의 처리횟수에 따라 피해가 진전되는 정도를 보면(Table 1) 배추와 무는 1회처리한 후에는 피해가 나지 않았으나 9회처리까지 처리횟수가 증가할수록 피해가 점점 더 커졌다. 그러나 콩에서는 1회 처리후에도 피해가 나타났으며, 5회처리까지는 피해가 점점 심해졌으나 그 이후에는 피해가 크게 심해지지 않았고,

9회처리후에는 배추와 무보다는 피해정도가 약간 적었다. 인공산성비 처리횟수에 따라 피해가 더 커지는 것은 朴 등^{6,7)}의 결과와 비슷하였으며, 작물간에 피해정도는 다른 연구자들도 보고한 바 있다.^{3,4,12)} 인공산성비의 살수와 분무 처리간에 피해정도는 큰 차이가 없으나 콩과 배추에서는 분무가 살수보다 약간 피해가 더 심했는데 이것은 분무는 잎이 산성비에 노출되는 시간이 더 길기 때문인 것으로 생각된다.

2. 잎의 葉綠素 含量

인공산성비를 배추와 무는 21회, 콩은 48회 처리한 후 조사한 엽록소 함량을 보면(Table 2) 어느 작물에서나 인공산성비 (pH 2.7)를 처리한 것이 자연비(pH 6.0)을 처리한 것보다 엽록소 함량이 낮았으나 살수와 분무간에는 차이가 없었다. 인공산성비가 엽록소 함량에 미치는 영향은 pH와 작물에 따라 다른데 pH 2.7-3.0 범위에서 인공산성비 처리가 엽록소 함량을 감소하게 보되지만^{3,4,5)} 증가하거나³⁾ 차이가 없는 경우⁴⁾도 있다.

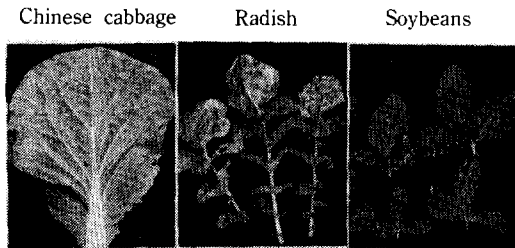


Photo. 1. Visual damages of Chinese cabbage, radish, and soybeanm sprinkle with pH 2.7 simulated acid rain.

3. 收量 및 收量關聯特性

수량과 수량과 관련되는 특성을 보면(Table 3) 인공산성비 처리는 자연비 처리에 비하여 배추 球의 높이와 생체중, 무 뿌리의 직경과 생체중, 콩의 개

Table 1. Degree of visual damages of Chinese cabbage, radish, and soybean affected by the number of times of pH 2.7 simulated acid rain sprinkle and mist.

No. of times SAR applied	Chinese cabbage		Radish		Soybeans	
	Sprinkle	Mist	Sprinkle	Mist	Sprinkle	Mist
1	0 ¹⁾	0	0	0	0.2	0.5
3	0.3	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8
5	0.5	0.7	0.8	1.3	1	1.3
7	1	1.3	1	1.4	1	1.3
9	2	2.2	2	2	1	1.5

¹⁾ : Degree of visual damages(0-9).

Table 2. Chlorophyll content of Chinese cabbage, radish, and soybeans with sprinkle and mist of pH 2.7 simulated acid rain.

pH of Water	Type of SAR	Chlorophyll (mg/g Fr. Wt.) ²⁾		
		Chinese cabbage	Radish	Soybean
2.7	Sprinkle	1.63 b ¹⁾	1.79 b	1.43 b
	Mist	1.51 b	1.62 b	1.38 b
6.0	Sprinkle	1.78 a	1.93 a	1.78 a
	Mist	1.88 a	2.02 a	1.89 a

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.

²⁾: Total chlorophyll was measured after 21 times applications of pH 2.7 SAR and pH 6.0 normal water for Chinese cabbage radish and after 48 times applications for soybean.

체당 莢數와 종실중이 낮았으나 배추 球의 직경, 무 뿌리의 길이, 콩의 100립중은 차이가 없었다. 살수와 분무간에는 pH 6.0 자연비를 살수한 것이 분무한 것보다 배추 球의 생체중이 다소 무거웠을 뿐 다른 모든 특성은 차이가 없었다.

인공산성비에 의한 수량감소는 배추^{5,6,7)}, 무^{5,6,7)}, 콩²⁾ 등에서 보고된 바 있으나 실제 작물 포장에 내리는 비의 pH는 시험에 이용되는 pH(2.7-3.0)보다

높고, 그 강우 횟수도 적으므로 그 피해가 시험결과보다는 적을 것이다. 그러나 빗물은 점점 더 산성화되고 있으므로 산성비에 대한 재배대책이 계속 해서 연구되어야 할 것으로 보인다.

4. 植物體 無機養分 含量

수확기 식물체의 무기양분 함량을 보면(Table 4) pH 2.7 인공산성비 처리에서는 pH 6.0인 자연비를 처리한 것에 비하여 배추, 무, 콩에서 모두 전질소, 인산, 칼리, 석회, 고토 함량은 감소되었으나 황 함량은 증가되었으며, 다른 연구자들도 비슷한 경향을 보고하였다.^{5,6,7,12)} 그러나 살수와 분무간에는 모든 무기양분의 함량은 일정한 경향이 없었다.

5. 試驗後 土壤의 化學性

시험후 토양의 화학성을 보면(Table 5) 모든 작물에서 토양 pH, 치환성 칼슘, 고토, 칼리는 pH 6.0의 자연비에 비하여 pH 2.7에서 낮은 경향이었으나 황 함량은 증가하였고, 토양 유기물, 질소, 인산 함량은 일정한 경향이 없었다. 그러나 같은 pH일 때 살수와 분무간에는 모든 성분이 일정한 경향이 없었으며, 박 등^{6,7)}도 비슷한 결과를 보고하였다.

Table 3. Yield and yield related characteristics of Chinese cabbage, radish, and soybean affected by sprinkle and mist of pH 2.7 simulated acid rain.

pH of water	Type of applica.	Chinese cabbage (head)			Radish (root)			Soybean		
		Height (cm)	Diam. (cm)	Fresh Wt. (g/head)	Length (cm)	Diam. (cm)	Fresh Wt. (g/root)	Pod No. /Plant	100-seed Wt.(g)	Grain yield (g/10 pls.)
2.7	Sprinkle	32.4 b ¹⁾	23.9 ns	2730 c	16.9 ns	6.3 b	680 b	42.3 b	22.9 ns	217 b
	Mist	31.6 b	23.5	2680 c	16.2	6.2 b	670 b	42.1 b	23.2	210 b
6.0	Sprinkle	34.2 ab	23.7	2890 b	17.1	6.6 a	717 a	46.1 a	24.0	234 a
	Mist	35.9 a	24.9	3010 a	17.8	6.8 a	735 a	45.7 a	23.4	246 a

¹⁾: The same as in Table 2.

Table 4. Content of mineral nutrients of Chinese cabbage, radish and soybean affected by sprinkle and mist of pH 2.7 simulated acid rain.

Crop	pH of water	Form of SAR	T-N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
Chinese cabbage	2.7	Sprinkle	2.16	0.43	5.91	2.83	0.40	0.47
		Mist	2.09	0.48	5.25	2.93	0.43	0.44
	6.0	Sprinkle	2.27	0.60	9.11	3.40	0.52	0.36
		Mist	2.36	0.58	7.76	3.53	0.50	0.32
Radish	2.7	Sprinkle	1.98	0.48	7.20	3.02	0.53	0.35
		Mist	2.19	0.44	6.32	2.85	0.59	0.45
	6.0	Sprinkle	2.16	0.59	8.03	3.99	0.76	0.63
		Mist	2.25	0.56	8.03	4.24	0.82	0.35
Soybeans	2.7	Sprinkle	2.12	0.58	5.28	3.07	0.47	0.27
		Mist	2.08	0.51	6.01	3.32	0.56	0.57
	6.0	Sprinkle	2.27	0.59	6.86	3.66	0.70	0.19
		Mist	2.14	0.57	6.85	4.20	0.74	0.11

Table 5. Chemical properties of top soil after harvesting Chinese cabbage, radish and soybean affected by sprinkle and mist of pH 2.7 simulated acid rain.

Crop	pH of water	Type of SAR	pH (1 : 5)	OM (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	SO ₄ (ppm)	Exch. cation(c mol/kg)		
								Ca	Mg	K
Chinese cabbage	2.7	Sprinkle	5.8	1.5	0.35	123	132	4.62	1.92	0.21
		Mist	5.9	1.3	0.27	120	127	4.12	1.78	0.38
	6.0	Sprinkle	6.0	1.4	0.39	146	101	5.68	2.36	0.25
		Mist	6.3	1.4	0.38	152	114	5.67	2.32	0.45
Radish	2.7	Sprinkle	6.0	1.7	0.47	141	132	4.68	1.98	0.36
		Mist	5.8	1.3	0.27	153	114	3.96	1.97	0.27
	6.0	Sprinkle	6.4	1.6	0.50	152	100	5.86	2.27	0.41
		Mist	6.2	1.4	0.36	142	98	4.78	2.02	0.38
Soybeans	2.7	Sprinkle	5.9	1.3	0.39	142	124	6.21	1.94	0.32
		Mist	5.9	1.5	0.37	136	121	4.21	1.97	0.42
	6.0	Sprinkle	6.3	1.5	0.41	156	106	6.72	2.07	0.51
		Mist	6.2	1.6	0.50	157	111	5.36	2.42	0.68

要 約

인공산성비가 배추, 무, 콩의 생육과 토양의 화학성에 미치는 영향을 구명코저 인공산성비(pH 2.7)와 자연비(pH 6.0)를 10mm씩 2일 간격으로 撒水와 噴霧 처리하였다. 배추와 무는 30회, 콩은 62회 처리하였으며, 가시적 피해증상과 피해율, 엽록소 함량, 수량 및 수량관련특성, 식물체 무기양분 함량, 시험 후 토양의 화학성 등을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 인공산성비에 의한 가시적 피해증상은 배추는 담갈색 혹은 적갈색 반점이 생기고, 잎은 윤기가 없었다. 무는 잎 가장자리가 다소 위축되고, 담갈색의 반점이 생기며, 잎에 윤기가 없었다. 콩은 담갈색과 적갈색의 반점이 생기면서 잎의 가장자리가 위축되었다.
2. 인공산성비에 의한 피해정도는 3작물 모두 인공산성비 처리횟수가 증가할수록, 撒水보다 噴霧에서 다소 더 컸다.
3. 엽록소 함량은 인공산성비에 의하여 감소되었으나 인공산성비의 살수와 분무간에는 차이가 없었다.
4. 인공산성비 처리는 3작물의 수량을 모두 감소시켰으나 인공산성비를 처리할 때 살수와 분무간에는 차이가 없었다.
5. 수확기 배추, 무, 콩의 식물체 칼리, 석회, 고토 함량은 감소하였으나 황 함량은 증가되었고, 인공산성비를 처리할 때 살수와 분무간에는 차이가 없었다.
6. 시험후 토양의 화학성은 인공산성비 처리로 토양 pH, 석회, 고토, 칼리 함량은 감소시켰으나 황 함량은 증가하였고, 유기물, 전질소, 인산 함량은 차이가 없었다. 인공산성비를 처리할 때 살수와 분무간 토양의 화학성은 차이가 없었다.

參考文獻

1. Galloway, J. N., Likens, G. E. and Edgerton, E. S. (1976). Acid precipitation in the northeastern United States: pH and acidity. *Science* **194** : 722-724.
2. Evans, L. S., Lewin, K. F. and Patti, M. J. (1984). Effects of simulated acidic rain on yields of field-grown soybeans. *New Phytol.* **96** : 207-213.
3. 金台柱, 李錫淳, 金福鎮. (1994). 人工酸性비에 對한 作物의 營養生長期 耐性 및 被害樣相. 韓作誌 **39**(6) : 548-555.
4. 李錫淳, 金台柱, 金福鎮. (1994). 벼, 콩, 고추의 生育時期別 人工酸性비에 對한 耐性. 韓作誌 **39**(6) : 548-555.
5. 李錫淳, 洪承範, 金福鎮. (1996). 人工酸性비가 배추와 무의 生育에 미치는 影響. 韓環農誌 **15**(2) : 217-222.
6. 李錫淳, 金福鎮, 朴善道. (1996). 人工酸性비 處理量에 따른 배추와 무의 生育과 土壤化學性. 韓環農誌(투고중).
7. 金福鎮, 朴善道, 李錫淳. (1996). 人工酸性비 後 一般비 處理量에 따른 作物生育과 土壤의 化學性. 韓環農誌. **15**(3) : 341-347.
8. Evans, L. S., Curry, T. M. and Lewin, K. F. (1981). Responses of plant *Phaseolus vulgaris* L. to simulated acid rain. *New Phytol.* **88** : 403-420.
9. Vernon, L. P. (1960). Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Anal. Chem.* **32** : 1140-1150.
10. 農村振興廳. (1983). 農事試驗研究調查基準(改訂 1版).
11. 農村振興廳. (1988). 土壤化學分析法.
12. 김복영, 김규식. 1988. 농작물에 대한 인공 산성비의 영향. 한토비지. **21**(2) : 161-167