

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

金福鎭* · 朴善道** · 李錫淳*

Crop Performance and Soil Chemical Properties Affected by Amounts of Normal Water after Simulated Acid Rain

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

Abstract

A green-house experiment was conducted to investigate the growth of Chinese cabbage, radish, and soybean and changes in soil chemical properties after application of 5 and 10mm of pH 2.7 simulated acid rain(SAR) followed by 0, 5, and 10mm of pH 6.0 normal water at the three-day intervals 20 times for Chinese cabbage and radish and 42 times for soybean. The results obtained are summarized as follows:

1. Visual damages by SAR were white-yellow leaf spots, dark brown or light green leaf color, and wrinkled leaf margins in all crops. The degree of visual damages was severer at 10mm than at 5mm SAR and it was reduced as the amounts of normal water increased after SAR application.
2. Chlorophyll content was higher at 10mm than at 5mm SAR application and increased as the amounts of normal water increased after SAR application in all crops.
3. Fresh weights of Chinese cabbage heads and radish roots and grain yield of soybean were higher at 10mm than at 5mm SAR, while they increased as the amounts of normal water increased at the same SAR level.
4. Changes in the mineral contents of plants were not consistent, while S content in radish and soybean increased as the amounts of SAR increased.
5. SAR lowered soil pH, while it increased soil N and S contents. Contents of soil organic matter, P, and exchangeable Ca, Mg, and K were not affected by the amounts of SAR.

*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)

**慶尙北道 農村振興院 (Kyongpook Provincial Rural Development Administration, Taegu 702-320, 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.

序 言

산성비는 대기중에 있는 탄산가스, 석탄, 석유 등 화석연료가 연소할 때 발생하는 황과 질소산화물, 그리고 염소, 불소가스 등 대기오염물질이 빗물에 녹아 pH가 5.6 이하로 될 때 발생한다.¹⁾ 산성비의 피해는 작물^{2,3,4)}, 품종⁵⁾, 생육시기³⁾, 산성비의 조성 및 pH, 재배환경 등에 따라 다르며, 피해 양상도 가시적 피해^{2,3,4,8,9)}, 엽록소 감소^{2,3,4,7,8,9)}, 광합성 저하^{2,3)}, 생육 저하 및 수량 감소^{3,4,5,8,9)} 등 다양하다.

그런데 산성비가 올 때는 처음 약 10mm만 산성비가 내리고, 대기중 오염물질이 다 씻겨 내려간 이후에는 정상적인 비가 내린다.¹⁰⁾ 그러나 산성비에 관한 시험을 할 때는 자연 산성비 대신에 초기에 내리는 자연산성비와 비슷한 인공산성비를 만들어 시험하는 것이 보통이다. 이런 경우 초기에는 산성비가 오고 그 후에는 일반비가 내리는 자연상태와는 달리 계속적으로 강한 인공산성비 용액을 처리하게 되므로 자연상태보다 피해가 더 클 것으로 생각되며, 다른 한편으로는 인공산성비 다음에 곧 일반비가 오면 산성비의 피해가 경감될 것으로 생각되나 이에 관한 연구가 없다.

그래서 본 시험에서는 인공산성비를 처리한 후 곧 일반비를 처리하여 일반비가 인공산성비 피해를 경감하는 효과를 구명하기 위하여 수행되었으며, 가시적인 피해양상, 엽록소 함량, 수량 및 수량관련 특성, 식물체와 토양의 무기성분 함량 등을 조사하여 그 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. 과종은 배추와 무 모두 8월 20일, 콩은 5월 10일에 실시하였다. 재식거리는 60cm 끝에 배추는 40cm, 무는 30cm, 콩은 15cm 간격으로 직파하였다. 비료는 N-P₂O₅-K₂O를 배추에서는 25-20-

24, 무에서는 28-15-24, 콩에서는 4-7-6kg/10a 수준으로 사용하였으며, 기타 재배는 각 작물의 표준재배법에 준하였다. 공시토양은 양토로서 화학적 특성은 Table 1과 같다.

인공산성비는 황산 : 질산의 비율이 2 : 1(V/V)인 혼합용액을 수돗물에 첨가하여 pH 2.7이 되도록 조절하였다. 처리는 pH 2.7인 인공산성비를 5 및 10mm 처리한 후 pH 6.0인 일반비를 각각 0, 5, 10mm씩 앞에 살수처리하였다. 그리고, 처리마다 토양수분을 같게 하기 위하여 pH 6.0인 일반비를 토양에 가하여 처리마다 토양에 처리된 물량이 모두 20mm가 되도록 조절하였다. 처리기간은 배추와 무의 경우 파종 후 20일인 9월 10일부터 3일 간격으로 20회, 콩은 파종 후 25일인 6월 4일부터 3일 간격으로 42회 처리하였다.

가시적 피해는 갈색반점이 전체 잎면적에 차지하는 비율에 따라 0-9까지 10 등급으로 구분하였는데 각 작물마다 6회 처리후 달관조사하였다. 엽록소 함량은 인공산성비를 배추와 무는 13회, 콩은 45회 처리후 측정하였으며, 80% acetone으로 추출한 용액의 흡광도를 측정하여 Vernon법으로 환산하였다.¹¹⁾

수량과 수량에 관련되는 특성은 수확기에 조사하였는데 배추는 球의 높이, 굵기, 생체중, 무는 뿌리의 길이, 굵기, 생체중, 그리고 콩은 개체당 莢數, 100립중, 10주당 종실중을 측정하였다.¹²⁾

식물체의 무기양분 분석을 하기 위하여 배추는 잎, 무는 잎과 뿌리, 콩은 지상부를 수확하여 80°C 건조기에서 48시간 건조한 후 Willey mill로 분쇄하여 40mesh에 통과한 시료 0.5g에 분해액 (HClO₄ : H₂SO₄ : H₂O = 18 : 1 : 11) 10ml를 가하여 분해시킨 후 P는 Vanadate법으로 비색정량하였고, K, Ca, Mg은 원자흡광분석법으로 정량하였다. 질소는 semi-micro Kjeldal법, 황은 비색정량법으로 분석하였다.¹³⁾

공시토양은 시험 전후에 분석하였는데 pH는 토양 : 증류수 비율을 1 : 5로 하여 초자전극법으로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancas-

Table 1. Chemical properties of soil before experiment.

pH (1 : 5)	OM (%)	Av. P ₂ O ₅ (ppm)	Exch. cation(c mol/kg)			SO ₄ (ppm)
			K	Ca	Mg	
6.4	1.3	143	0.21	5.66	1.96	99

ter법, 전질소는 semi-micro Kjeldal법으로 정량하였다. 치환성 K, Ca, Mg은 1N-NH₄OAc 용액(pH 7)으로 침출하여 원자흡광분석법으로, SO₄는 비색법으로 정량하였다.¹³⁾

結果 및 考察

1. 可視的 被害症狀

인공산성비(pH 2.7) 살포후 일반비(pH 6.0)를 살포하는 처리를 3일 간격으로 5회 처리한 후 달관조사한 가지적 피해증상을 보면 배추, 무, 콩 모두 증상이 유사하였다. 잎이 담갈색 혹은 연록색으로 변하고, 엽맥간에 황백색의 반점이 잎 전체에 발생하였고, 잎의 선단이 약간 오무러지며, 심하면 잎이 기형이 되었다.

인공산성비(pH 2.7) 살포후 일반비(pH 6.0)를 살

포한 배추, 무, 콩 잎의 가지적 피해는 Table 2와 같이 3개 작물 모두 인공산성비 3회 처리 때부터 나타났다. 피해정도는 인공산성비 5mm 처리보다 10mm 처리에서 더 심한 편이었고, 또 인공산성비 처리횟수가 증가할수록, 인공산성비 처리후 일반비의 처리량이 많을수록 피해가 감소하였다.

인공산성비에 의한 가지적인 피해는 pH 3-4에서 나타나므로^{2,3,4)} 본 시험과 경향이 비슷하며, 인공산성비 처리후 일반비로 씻으면 그 피해를 줄일 수 있었다. 사실 자연상태에서는 처음 5-10mm만 산성비가 내리고, 그 후에는 일반비가 내리므로 초기에 내리는 산성비의 피해는 다음에 내리는 일반비에 의하여 피해가 감소될 것으로 생각된다. 인공산성비만 처리하고 일반비로 씻지 않은 처리에서 피해가 더 컸던 것은 비가 내리는 동안의 피해뿐 아니라 비가 끝난후 물이 증발하면 잎에 붙어 있던 물방울의 물이 증발하여 pH가 점점 낮아지기 때문으로

Table 2. Degree of visual damages(0-9) of leaves of three crops applied with pH 2.7 simulated acid rain(SAR) followed by pH 6.0 normal water.

Rain water(mm) ¹⁾		Chinese cabbage				Radish				Soybean			
pH 2.7	pH 6.0	1 ²⁾	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
5	0	0	0.5	0.8	1.0	0	0.5	0.7	1.0	0	0.3	0.5	0.8
5	5	0	0.3	0.6	1.0	0	0.3	0.5	1.0	0	0.2	0.3	0.8
5	10	0	0.3	0.6	1.0	0	0.3	0.3	1.0	0	0.2	0.3	0.8
10	0	0	0.8	1.0	1.3	0	0.5	1.0	1.3	0	0.8	1.0	1.0
10	5	0	0.4	1.0	1.3	0	0.5	1.0	1.0	0	0.5	0.8	1.0
10	10	0	0.2	1.0	1.0	0	0.3	1.0	1.0	0	0.5	0.7	1.0

¹⁾: In addition to the leaf application of pH 2.7 SAR and/or pH 6.0 normal water, 5, 10, or 15mm of pH 6.0 normal water was applied on soil to get a total of 20mm.

²⁾: Number of times SAR(pH 2.7) and normal water(pH 6.0) applied.

생각된다.

2. 葉綠素 含量

인공산성비(pH 2.7) 살포 후 일반비(pH 6.0)를 살포한 배추, 무, 콩 잎의 엽록소 함량을 보면 Table 3과 같다. 엽록소 함량은 3작물에서 모두 인공산성비 10mm 처리에서 5mm 처리보다 높았고, 인공산성비 처리후 일반비 처리량이 많을수록 엽록소 함량이 증가하는 경향이였다. 추 등¹⁾은 배추와 무에 pH 2.7 인공산성비를 처리하였을 때 배추는 엽록소가 현저히 증가하였고, 무에서는 유의차는 없었지만 수치상으로는 증가 경향을 보여 본 시험과 비슷한 결과를 보였다. 한편 추 등²⁾, 박 등³⁾은 pH 2.7인 인공산성비를 처리함에 따라 배추와 무에서 모두 엽록소 함량이 현저히 감소하였고, 추 등³⁾은 콩에서 8월 2일에 조사한 것은 차이가 없었지만 9월 5일에 조사한 것은 pH 2.7 인공산성비를 처리한 것이 엽록소 함량이 현저히 적다고 하여 본 시험과 반대되

Table 3. Total chlorophyll contents of leaves of three crops applied with pH 2.7 simulated acid rain(SAR) followed by pH 6.0 normal water.

Rain water(mm) ¹⁾		Chlorophyll (mg/g Fr. Wt.)		
pH 2.7	pH 6.0	Chinese cabbage	Radish	Soybean
5	0	1.67 b ²⁾	1.69 b	1.52 b
5	5	1.82 b	1.75 b	1.67 b
5	10	2.13 a	1.98 ab	1.93 ab
10	0	1.89 b	1.88 b	1.94 b
10	5	2.24 a	2.18 a	2.16 a
10	10	2.29 a	2.24 a	2.30 a

¹⁾: The same as in Table 2.

²⁾: Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's New Multiple Range test (DNMRT)

는 경향을 보고하였다. 이와같이 시험에 따라 인공산성비가 엽록소 함량에 미치는 영향이 다른 것은 같은 작물이라도 품종, 조사시기, 재배환경, 조사방법 등이 다르기 때문이라고 생각된다.

본 시험에서 인공산성비 처리량이 많을 때 엽록소 함량이 많았던 것은 인공산성비에 포함된 질산이 뿌리로 흡수되어 엽록소 함량이 증가된 것으로 생각되며, 한편 같은 양의 인공산성비를 처리할 때 인공산성비에 의하여 엽록소가 감소하지만 일반비로 씻으면 그 피해를 줄일 수 있었다.

3. 收量 및 收量關聯特性

인공산성비(pH 2.7) 살포후 일반비(pH 6.0)를 살포하는 처리를 배추와 무는 20회, 콩은 42회 처리한 후 수확기에 조사한 수량 및 수량과 관련된 특성을 보면 Table 4와 같다. 배추에서는 인공산성비 10 mm 처리한 것이 5mm 처리한 것보다 球의 높이, 직경, 생체중이 높은 경향이였으며, 같은 양의 인공산성비가 처리되었을 때는 일반비의 처리량이 많을수록 球의 높이, 직경, 생체중이 높았다.

무에서는 뿌리의 길이는 인공산성비와 일반비 처리량의 영향을 받지 않았고, 뿌리의 직경은 인공산성비 처리량간에는 차이가 없었으나 인공산성비 처리후 일반비를 처리한 것이 인공산성비만 처리한 것보다 뿌리의 직경이 더 컸다. 뿌리의 생체중은 배추에서와 같이 인공산성비의 처리량이 많은 것이, 또 같은 양의 인공산성비를 처리하였을 때는 일반비의 처리량이 많을수록 생체중이 더 높았다.

콩에서 100립중은 인공산성비나 일반비의 처리량간에 차이가 없었으나 개체당 莢數와 종실수량은 인공산성비의 처리량이 많을수록, 같은 인공산성비 처리량에서는 일반비의 처리량이 많을수록 더 높았다.

추 등⁴⁾과 박 등⁵⁾은 배추와 무에 pH 2.7의 인공산성비를 처리하였을 때 배추의 球와 무 뿌리 수량이 감소되거나 차이가 없어 본 시험과 상반되는 결과를 보였다. 또 추 등³⁾은 고추는 pH 2.7 인공산성

Table 4. Yield and yield related traits of Chinese cabbage, radish, and soybean applied with pH 2.7 simulated acid rain (SAR) followed by pH 6.0 normal water.

Rain water ¹⁾ (mm)		Chinese cabbage (head)			Radish (root)			Soybeans		
pH 2.7	pH 6.0	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.)
5	0	30.6 c ²⁾	22.0 b	2,670 c	16.5 ns	6.5 ab	828 c	39.4 a	22.9 ns	233 c
5	5	31.6 bc	23.1 ab	2,780 ab	16.8	6.7 a	868 ac	40.9 a	23.1	239 bc
5	10	32.6 ab	22.0 b	2,890 a	16.3	6.9 a	887 ab	43.2 ab	21.8	251 ab
10	0	33.5 ab	24.8 a	2,710 b	16.8	6.1 b	867 ac	43.2 ab	23.1	245 ac
10	5	34.8 a	23.2 ab	2,790 ab	16.3	6.6 a	889 ab	45.6 b	22.4	252 ab
10	10	34.5 ab	23.8 ab	2,910 a	15.8	6.7 a	907 a	42.7 ab	23.7	257 a

^{1),2)} : The same as in Table 3.

Table 5. Mineral contents of three crops applied with pH 2.7 simulated acid rain (SAR) followed by pH 6.0 normal water at harvest time.

Crop	Rain water(mm) ¹⁾		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO
	pH 2.7	pH 6.0	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Chinese cabbage	5	0	2.36	0.45	6.53	2.56	0.53	0.31
	5	5	2.11	0.51	8.52	3.00	0.59	0.47
	5	10	2.20	0.57	8.03	3.01	0.61	0.38
	10	0	2.64	0.56	6.85	3.12	0.64	0.31
	10	5	1.98	0.50	6.12	3.29	0.64	0.17
	10	10	2.66	0.51	5.93	3.22	0.63	0.05
Radish	5	0	2.75	0.57	5.31	2.87	0.48	0.13
	5	5	2.52	0.55	5.46	2.84	0.41	0.15
	5	10	2.56	0.54	5.32	2.62	0.45	0.18
	10	0	2.24	0.62	5.50	2.89	0.45	0.22
	10	5	2.18	0.60	5.63	2.95	0.46	0.29
	10	10	1.90	0.64	5.89	2.66	0.59	0.31
Soybean	5	0	1.54	0.13	5.31	0.67	0.44	0.29
	5	5	1.58	0.13	5.46	0.62	0.53	0.15
	5	10	1.43	0.12	5.32	0.66	0.46	0.19
	10	0	1.65	0.16	5.50	0.71	0.48	0.45
	10	5	1.23	0.12	5.62	0.60	0.42	0.27
	10	10	1.41	0.16	5.89	0.72	0.44	0.32

^{1), 2)} : The same as in Table 3

비에 의하여 수량이 감소하나 콩과 벼는 수량이 감소하지 않는다고 하여 본 시험과 결과가 달랐다. 이것은 본 시험에서는 인공산성비의 피해가 크지 않았고, 인공산성비에 함유된 질산에 의하여 엽록소 함량이 증가하고, 광합성이 활발하여 생육이 촉진되었기 때문으로 보인다.

4. 植物體 中 無機養分 含量

인공산성비(pH 2.7) 살포후 일반비(pH 6.0)를 살포하는 처리를 17회 실시한후 조사한 배추, 무, 콩의 식물체중 무기양분 함량은 Table 5와 같다. 인공산성비 5mm 처리보다 10mm 처리에서 배추의 경우 질소, 인산, 칼리, 칼슘, 마그네슘 함량이, 무의 경우는 인산, 칼리, 마그네슘, 황 함량이, 그리고 콩의

경우는 질소, 인산, 칼리, 칼슘, 마그네슘, 황 함량 등이 높아 대부분의 무기양분 함량이 높았다. 이는 인공산성비 처리량 증가에 따른 엽중 엽록소 함량 증가에 의한 광합성이 활발하여 생육이 촉진된 것에 기인된 것으로 사료되며, 특히 무기양분중 황은 무와 콩에서 인공산성비 5mm 처리보다 10mm 처리에서 그 함량이 훨씬 높았는데 이는 李 등⁴⁾, 李 등⁵⁾, 朴 등¹³⁾의 보고와 비슷한 경향이었다.

인공산성비 살포후 일반비의 살포량에 따른 식물체중 무기양분 함량에는 일정한 경향이 없었는데 이는 식물체에 의한 무기양분들의 흡수가 주로 뿌리를 통해서 이루어지기 때문인 것으로 판단된다.

5. 試驗後 土壤의 化學性

Table 6. Chemical properties of soil after experiment applied with pH 2.7 simulated acid rain (SAR) followed by pH 6.0 normal water.

Crop	Rain water(mm) ¹⁾		pH (1 : 5)	OM (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	SO ₄ (ppm)	Exch. cation(c mol/kg)		
	pH 2.7	pH 6.0						Ca	Mg	K
Chinese cabbage	5	0	6.1	1.4	0.25	123	99	5.68	2.12	0.29
	5	5	6.0	1.3	0.36	142	101	5.32	2.36	0.31
	5	10	6.1	1.2	0.27	158	121	5.74	1.97	0.24
	10	0	5.9	1.5	0.92	112	141	4.78	2.14	0.27
	10	5	6.0	1.2	0.72	141	139	4.90	2.58	0.21
	10	10	5.9	1.3	0.68	136	144	5.37	2.11	0.12
Radish	5	0	6.0	1.0	0.08	128	91	4.71	1.98	0.23
	5	5	6.2	1.2	0.09	157	87	5.07	2.02	0.27
	5	10	6.0	1.3	1.00	146	110	6.00	2.16	0.19
	10	0	5.9	1.4	1.12	127	148	5.33	2.17	0.24
	10	5	5.9	1.3	0.09	163	129	5.98	1.97	0.19
	10	10	5.8	1.2	0.10	152	136	6.11	1.86	0.17
Soybeans	5	0	6.0	1.3	0.07	147	98	5.47	1.89	0.21
	5	5	5.9	1.1	0.08	123	127	5.98	2.06	0.25
	5	10	6.0	1.3	0.09	119	109	6.11	2.12	0.31
	10	0	6.0	1.4	0.09	151	127	5.37	1.98	0.17
	10	5	5.9	1.3	0.09	132	139	5.12	2.14	0.13
	10	10	5.8	1.5	0.09	153	138	4.97	1.90	0.11

^{1),2)} : The same as in Table 3.

인공산성비(pH 2.7) 살포후 일반비(pH 6.0)를 살포한 처리를 3일 간격으로 수확기까지 처리한 후 이들이 토양의 화학적 특성에 미치는 영향을 보면 Table 6과 같다. 인공산성비 10mm 처리한 것이 5mm 처리한 것보다 토양 pH는 다소 낮아졌으나 질소 및 황 함량은 높았다. 이것은 인공산성비 중에 함유된 질산과 황산의 영향으로 생각되며, 다른 성분은 일정한 경향이 없었는데 李 등⁸⁾, 李 등⁹⁾, 朴 등¹⁰⁾도 비슷한 결과를 보고하였다. .

要 約

인공산성비 다음에 처리된 일반비가 배추, 무, 콩의 생육 및 토양 화학성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 인공산성비(pH 2.7)를 5mm, 10mm를 살포한 후 일반비를 각각 0, 5, 10mm 씩 살포하는 처리를 3일 간격으로 배추와 무는 20회, 콩은 42회 실시하여 작물의 가시적 피해증상, 엽록소 함량, 수량 및 수량과 관련된 특성, 식물체 및 토양의 무기양분 함량 등을 분석 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 배추, 무, 콩의 가시적 피해정도는 인공산성비 처리량이 많을수록 심한 편이었고, 일반비의 처리량이 많을수록 감소되었다. 피해증상은 잎이 담갈색, 연록색으로 변하고, 황백색의 괴사반점이 생기면서 잎 가장자리가 위축되었다.
2. 엽록소 함량은 배추, 무, 콩 모두 인공산성비 5mm보다 10mm 처리에서 높았고, 인공산성비 처리 후 일반비 처리량이 많을수록 높았다.
3. 배추, 무, 콩 등의 수량은 인공산성비 처리량이 많을수록, 또 인공산성비 살포후 일반비 처리량이 많을수록 증가되었다.
4. 식물체중 무기양분 함량은 일반비 처리량에 따른 일정한 경향이 없었으나, 무와 콩의 황 함량은 인공산성비의 처리량이 많을수록 높았다.
5. 시험 후 토양의 화학성은 배추, 무, 콩 모두 토양 pH는 다소 감소하였고, 질소와 황 함량은 증가되었으며, 유기물, 인산, 치환성 칼슘, 마그

네슘 및 칼리 함량 등은 일정한 경향이 없었다.

參考文獻

1. Cowling, E. B. and Dochinger, L. S. 1978. The changing chemistry of precepitation and its effects on vegetation and materials. *Amer. Inst. Chem. Eng.* **74**(175) : 134-142.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
7. 김복영, 김규식. (1988). 농작물에 대한 인공산성비의 영향. 한토비지 **21**(2) : 161-167.
8. 李錫淳, 朴善道, 金福鎮. (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. **15**(4) 게재예정.
9. 朴善道, 李錫淳, 金福鎮. (1996). 人工酸性비의 撒水 및 噴霧가 배추, 무, 콩에 미치는 影響. 韓環農誌. **15**(3) : 335-340.
10. Lee, J. J., Neely, G. E., Perrigan, S. C., and Grothaus, L. C. (1981). Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. *Environ. Exp. Bot.* **21** : 171-185.
11. Vernon, L. P. (1960). Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Anal. Chem.* **32** : 1140-1150.
12. 農村振興廳. (1983). 農事試驗研究調查基準(改訂 1版).
13. 農村振興廳. (1988). 土壤化學分析法.