

# 人工酸性비 處理量에 따른 배추와 무의生育과 土壤 化學性 변화

李錫淳\* · 金福鎭\* · 洪承範 · 朴善道\*\*

## Chinese Cabbage and Radish Performance and Soil Chemical Properties Affected by Simulated Acid Rain

Suk-Soon Lee\*, Bok-Jin Kim\*, Seung-Beom Hong and Suen-Do Park\*\*

### Abstract

A green house experiment was conducted to investigate the performance of Chinese cabbage and radish and changes in soil chemical properties after application of different amounts of simulated acid rain (SAR). About 10mm of normal water (pH 6.0), 5mm of SAR followed by 5mm of normal water, and 10mm of SAR were applied 24 times at the two-day intervals. The results obtained are summarized as follows :

1. Visible symptoms were dark brown, red brown, or grey brown leaf spots, reduced leaf size, or some times wrinkled leaves in both crops. The visible symptoms started after the third application of SAR. The degree of damages was greater as the amounts and the number of times of SAR application increased.
2. Chlorophyll contents of SAR applied leaves decreased as the amounts of SAR application increased.
3. As the amounts of SAR increased, length, diameter, and fresh weight of Chinese cabbage heads and radish roots decreased.
4. In both crops sulfur content increased, while calcium content decreased as the amounts of SAR increased. Contents of N, P, K, and Mg were not significantly affected by the amounts of SAR.
5. SAR decreased soil pH and exchangeable cations (Ca, Mg, K), while increased soil sulfur content.

---

\* 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 '93 農業特定課題 研究費의 一部에 依하여 遂行되었습.

## 序 論

산성비의 주성분은 황산과 질산인데 이것은 화산 폭발, 번개, 미생물의 활동, 물질순환 등에서 자연적으로 발생하거나 공장, 자동차, 난방기구 등에서 화석연료를 인공적으로 산화시킬 때 발생하는 황산화물과 질소산화물이 대기중의 수증기와 반응하여 생성된다.

자연상태에서는 정상적인 빗물에도 대기중의 탄산가스가 녹아 pH 5.6이 되고, 여기에 자연적이거나 인공적인 대기오염에 의하여 발생한 황산과 질산이 첨가되면 빗물의 pH는 5.6 이하가 되는데 이를 산성비라고 한다.<sup>1)</sup> 최근에 와서 산성비가 문제시되는 것은 산업화가 되면서 공장이나 자동차 등에서 화석연료의 소모가 많아졌을 뿐만 아니라 생활수준향상에 따른 화석연료의 사용증가 때문이다. 그래서 세계적으로는 유럽과 미국의 동부, 캐나다의 동남부 등에서는 pH 3.5~4.5의 산성비가 내리고, 우리나라에서도 공단지역과 대도시를 물론 전국적으로 pH 3.4~4.7 정도의 산성비가 내리고 있으며, 해마다 그 정도가 더 심해지는 경향이다.<sup>2)</sup>

산성비는 직접적으로 식생에 피해를 주거나 토양 및 하천, 호소의 물을 산성화시켜 간접적으로 자연 생태계를 파괴하게 된다.<sup>3)</sup> 농작물에는 조직의 파괴,<sup>4)</sup> 무기양분의 용탈,<sup>5)</sup> 광합성 저하,<sup>6)</sup> 엽록소 함량 감소,<sup>7)</sup> 대사작용의 교란,<sup>4)</sup> 受粉과 受精障害,<sup>8)</sup> 생육억제와 수량감소<sup>9)</sup> 등 피해가 발생하며, 피해정도는 작물, 산성비의 조성 및 pH, 기상환경 등 여러가지 조건에 따라 다르다.

본 연구는 pH 2.7인 인공산성비의 처리량이 배추와 무의 생육과 수량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행되었으며, 가시적인 피해양상, 엽록소 함량, 수량, 식물체와 토양의 무기양분 함량을 조사하여 그 결과를 보고하는 바이다.

## 材料 및 方法

본 시험은 1993년 대구광역시에 있는 경북농촌진

흥원 비닐하우스에서 실시하였다. 공시작물과 품종을 보면 배추는 서울배추, 무는 일신알타리이었다. 파종은 배추와 무 모두 8월 25일에 하였으며, 재식거리는 60cm 골에 배추는 40cm, 무는 30cm 간격으로 직파하였다. 비료는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 배추에서는 25-20-24, 무에서는 28-15-24kg/10a 수준으로 사용하였으며, 기타 재배는 각 작물의 표준재배법에 준하였다. 공시토양은 양토로서 화학적 특성은 표 1과 같다.

Table 1. Chemical properties of soil used.

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

인공산성비는 황산 : 질산의 비율이 2 : 1(V/V)인 혼합용액을 수돗물에 첨가하여 pH 2.7이 되도록 조절하였다. 처리는 pH 6.0인 일반비 10mm 처리, pH 2.7인 인공산성비 5mm 처리 후 pH 6.0인 일반비 5mm 처리, pH 2.7인 인공산성비를 10mm 처리하였으며, 처리기간은 9월 10일부터 27일까지 2일 간격으로 24회 처리하였다.

가시적 피해는 갈색반점이 전체 잎면적에 차지하는 비율에 따라 0~9까지 10등급으로 구분하였는데 1, 3, 5, 7, 9회 처리후에 달관조사하였다. 엽록소 함량은 80% acetone으로 추출한 용액의 흡광도를 측정하여 Vernon법으로 환산하였으며,<sup>10)</sup> 인공산성비 2, 7, 17회 처리후에 측정하였다.

수량과 수량관련특성은 수확기에 조사하였는데 배추는 球高, 球徑, 生體重, 무는 根長, 生體重을 측정하였다.<sup>11)</sup>

식물체의 무기양분 분석은 식물체를 80°C 건조기에서 48시간 건조한 후 Willey mill로 분쇄하여 40 mesh에 통과한 시료 0.5g에 분해액(HClO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O = 18 : 1 : 11) 10ml를 가하여 분해시킨 후 P는 Vanadate법으로 비색정량하였고, K, Ca, Mg은 원자흡광분석법으로 정량하였다. 질소는 semi-micro Kieldal법, 황은 비색정량법으로 분석하였다.<sup>12)</sup>

공시토양은 시험 전후에 분석하였는데 pH는 토양: 증류수 비율을 1:5로 하여 초자전극법으로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 전질소는 semi-micro Keldal법으로 정량하였다. 치환성 K, Ca, Mg은 1N-NH<sub>4</sub>OAc 용액(pH 7)으로 침출하여 원자흡광분석법으로, SO<sub>4</sub>는 비색법으로 정량하였다.<sup>12)</sup>

**結果 및 考察**

**1. 可視的 被害症狀**

인공산성비(pH 2.7)에 의한 가시적 피해증상은 배추와 무에서 모두 잎에 작은 담갈색 혹은 적갈색 반점이 나타났고, 잎이 윤기가 없으며, 잎이 다소 작아졌다. 또 때로는 잎 전체가 조글조글해지며 희갈색 반점을 띄기도 한다. 이러한 인공산성비의 피

**Table 2. Changes in visible symptoms of Chinese cabbage and radish affected by the number of times and amounts of pH 2.7 simulated acid rain (SAR) application.**

Crop	No. of times SAR applied	Amounts of SAR(mm)		
		0 <sup>1)</sup>	5 <sup>2)</sup>	10 <sup>3)</sup>
Chinese cabbage	1	0	0	0
	3	0	0.2	0.4
	5	0	0.3	0.6
	7	0	0.7	1.1
	9	0	1.1	1.6
Radish	1	0	0	0
	3	0	0.3	0.5
	5	0	0.5	0.9
	7	0	0.8	1.2
	9	0	1.3	1.8

<sup>1)</sup> ; 10mm of pH 6.0 normal water.  
<sup>2)</sup> ; 5mm of pH 2.7 SAR followed by 5mm of pH 6.0 normal water.  
<sup>3)</sup> ; 10mm of pH 2.7 SAR.

해를 보면 배추와 무 모두 3회 이상 처리했을 때부터 피해가 나타나기 시작하여 처리횟수가 증가할수록 또 처리량이 많을수록 그 정도가 다소 더 심하였다(표 2). 이와 같은 피해는 *李 등*<sup>13)</sup>도 배추와 무에서 같은 경향을 보고하였고, 작물에 따라서는 pH 3~4의 산성비에 의하여 피해가 나는 것이 일반적이다.

**2. 葉綠素 含量**

잎의 엽록소 함량은 배추와 무에서 모두 pH 6.0인 일반비를 처리한 것에 비하여 pH 2.7의 인공산성비 처리량이 많을수록 감소하였는데 특히 처리횟수가 많을수록 그 영향이 현저하였다(표 3). 그러나 *金 등*<sup>7)</sup>은 배추와 무에서 pH 3.0의 인공산성비를 처리하여도 엽록소 함량은 감소하지 않았으며, 또 *李 등*<sup>13)</sup>은 pH 2.7 인공산성비를 잎이나 토양에 처리하면 무에서는 차이가 없었으나 배추에서는 엽록소 함량이 일반비를 처리한 것보다 엽록소 함량이 오히려 증가하는 경향이어서 본 시험과 유사하였다.

**Table 3. Total chlorophyll contents of Chinese cabbage and radish affected by the number of times and amounts of pH 2.7 simulated acid rain (SAR) application.**

(Unit : mg/g Fr. Wt.)

Crop	SAR (mm)	No. of times SAR applied		
		2	7	17
Chinese cabbage	0 <sup>1)</sup>	0.90 a(100)	1.06 a(100)	1.21 a(100)
	5 <sup>2)</sup>	0.70 b(78.0)	0.81 b(84.0)	0.92 b(76.0)
	10 <sup>3)</sup>	0.65 b(72.0)	0.74 b(70.0)	0.83 c(74.6)
Radish	0 <sup>1)</sup>	1.85 a(100)	2.14 a(100)	2.55 a(100)
	5 <sup>2)</sup>	1.67 b(90.0)	1.89 b(88.3)	2.11 b(82.7)
	10 <sup>3)</sup>	1.52 b(82.0)	1.74 b(81.3)	2.03 c(79.6)

<sup>1),2),3)</sup> : The same as in Table 1.  
<sup>4)</sup> : Means within a column for a given crop are not significantly different at the 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

이는 같은 산성비이라도 작물에 따라서 엽록소 함량에 미치는 영향이 다르고, 같은 작물, 같은 산성비이라도 환경에 따라서도 그 영향이 다르기 때문인 것으로 생각된다.<sup>14)</sup>

인공산성비의 처리횟수가 증가할수록 무 잎의 엽록소 함량은 무처리에 비하여 엽록소 함량이 떨어졌으나 배추에서는 차이가 없었다. 이것은 무 잎은 옆으로 퍼져 있어 같은 잎이 여러 번 인공산성비의 처리를 받아 엽록소 함량이 감소되었지만 배추는 잎이 옆으로 퍼져 있었던 7회처리까지는 무와같은 경향이었으나 17회 처리에서는 이미 결구된 상태에서 바깥에 있는 잎은 인공산성비를 계속 받지만 내부의 잎은 영향을 받지 않고, 또 외부의 잎보다 인공산성비를 받지 않는 잎의 비율이 컸기 때문으로 생각된다.

**3. 수량(배추의 球 및 무의 뿌리)**

수확기에 조사한 배추의 球와 무의 뿌리의 특성을 보면 pH 2.7의 인공산성비 처리량이 많을수록 배추 球高, 球徑, 생체중과 무의 根長, 根徑, 생체중이 모두 감소하였다(표 4). <sup>13)</sup>은 pH 2.7 인공산성비는 배추의 球高, 球徑, 생체중을 감소시키는 경향이 나 통계적인 유의차가 없었지만 무는 根長, 根徑, 생체중이 현저히 감소하여 본 시험과 비슷한 결과를 보였다.

**Table 4. Yield related characteristics of Chinese cabbage and radish affected by simulated acid rain (SAR) at harvest time.**

Amounts of SAR (mm)	Chinese cabbage (head)			Radish (root)		
	Height (cm)	Diameter (cm)	Fresh Wt. (g/plant)	Length (cm)	Diameter (cm)	Fresh Wt. (g/plant)
0 <sup>1)</sup>	46.6 a <sup>4)</sup>	24.0 a	2,610 a	13.7 a	4.8 ns	348 a
5 <sup>2)</sup>	39.4 b	19.7 b	2,520 b	13.8 b	4.4	328 b
10 <sup>3)</sup>	38.4 c	19.1 c	2,460 c	13.1 c	4.3	301 c

<sup>1),2),3),4)</sup> : The same as in Table 1.

**4. 식물체의 무기양분 함량**

수확기에 배추의 잎과 무의 전식물체(잎+뿌리)에 함유된 무기양분 함량을 보면(표 5) 배추와 무에서 모두 같은 경향이였다. 황 함량은 인공산성비의 처리량이 많을수록 증가하였으나 칼슘 함량은 감소하는 경향이였다. 그리고 질소 함량도 약간 증가하는 경향이나 인산, 칼리, 마그네슘 등은 일정한 경향이 없었다. 한편 <sup>13)</sup>은 배추와 무에서 대부분의 무기양분 함량은 인공산성비 처리와 관계가 없었으나 무에서는 토양에 처리된 인공산성은 잎과 뿌리의 황 함량을 증가시켰으나 잎에 처리된 인공 산성비는 잎의 황함량은 증가시키지만 뿌리의 황 함량은 증가시키지 않는다고 하여 본 시험과 비슷한 결과를 보였다.

**Table 5. Mineral composition of Chinese cabbage and radish affected by pH 2.7 simulated acid rain (SAR) at harvest time.**

Crop	SAR (mm)	T-N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
Chinese cabbage	0 <sup>1)</sup>	2.78	0.41	5.93	1.36	0.77	0.42
	5 <sup>2)</sup>	2.76	0.41	6.37	1.17	0.75	0.49
	10 <sup>3)</sup>	2.96	0.40	5.56	1.29	0.55	0.52
Radish	0 <sup>1)</sup>	2.75	0.41	6.69	1.31	0.26	0.17
	5 <sup>2)</sup>	2.87	0.38	6.65	0.87	0.27	0.18
	10 <sup>3)</sup>	2.96	0.44	6.86	0.66	0.26	0.20

<sup>1),2),3)</sup> : The same as in Table 1.

**5. 시험후 토양의 화학성**

시험 후 토양의 화학성의 변화를 보면(표 6) 모든 특성이 배추나 무를 재배한 토양에서 그 경향이 비슷하였다. 토양 pH, 유효인산, 치환성 칼슘과 칼리 함량은 인공산성비의 처리량이 많을수록 감소하였고, 반면 황 함량은 증가하였다. 이것은 인공산성비에 의하여 토양이 산성화되고, 따라서 유효인산의 함량이 낮아지며, 염기 중 특히 칼슘의 용탈이 심

하게 나타나는 것으로 생각된다. 그러나 질소와 유기물 함량은 차이가 없거나 일정한 경향이 없었다. 인공산성비에는 질소와 황이 들어 있지만 토양중 질소함량이 높지 않은 것은 작물에 많이 이용되었거나 질산태로 토양에서 쉽게 이동하기 때문으로 생각된다.

Table 6. Chemical composition of top soil after harvesting Chinese cabbage and radish applied with pH 2.7 simulated acid rain (SAR).

Crop	SAR (mm)	pH (1:5)	OM (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	Exch. cation (c mol/kg)		
							Ca	Mg	K
Chinese cabbage	0 <sup>1)</sup>	6.3	1.8	24.4	265	113	4.68	1.32	0.32
	5 <sup>2)</sup>	5.7	1.7	19.1	237	151	4.50	1.19	0.26
	10 <sup>3)</sup>	5.5	1.7	24.3	228	170	4.07	1.96	0.25
Radish	0 <sup>1)</sup>	6.0	1.9	13.7	276	89	7.77	0.74	0.28
	5 <sup>2)</sup>	5.7	1.8	15.3	253	194	4.01	0.49	0.26
	10 <sup>3)</sup>	5.5	1.9	14.6	239	222	4.11	1.55	0.17

<sup>1)2)3)</sup> : The same as in Table 1.

要 約

인공산성비의 처리량이 배추와 무의 생육과 토양의 화학성에 미치는 영향을 구명코저 서울배추와 일신알타리무에 일반비(pH 6.0) 10mm, 인공산성비(pH 2.7) 5mm 처리 후 일반비 5mm, 그리고 인공산성비 10mm를 2일간격으로 24회 처리한 후 가시적 피해, 엽록소 함량, 식물체중 무기양분 함량, 수량, 시험 후 토양의 화학성 등을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 가시적 피해는 배추와 무에서 모두 잎에 담갈색, 적갈색, 혹은 회갈색 반점이 발생하고, 잎이 다소 작아지며, 윤기가 없고, 때로는 쪼글쪼글해진다. 인공산성비를 3회 이상 처리했을 때부터 피해가 나타나기 시작하여 처리횟수가 증가할수록 또 처리량이 많을수록 그 정도가 더 심하였다.

- 잎의 엽록소 함량은 배추와 무에서 모두 인공산성비 처리량이 많을수록 감소하였다.
- 인공산성비 처리량이 많을수록 배추는 球高, 球徑, 생체중이 감소하였고, 무도 根長, 根徑, 생체중이 감소하였다.
- 식물체중 무기양분 함량은 배추와 무에서 모두 황 함량은 증가하고, 석회 함량은 감소하였으며, 질소, 인산, 칼리, 마그네슘 함량은 뚜렷한 경향이 없었다.
- 인공산성비 처리는 토양 pH와 치환성 양이온(Ca, K) 함량은 감소시키고, 황 함량은 증가시키며, 질소와 인산 함량은 일정한 경향이 없었다.

參考文獻

- Cowling, E. B. and Dochinger, L. S. (1978). The changing chemicstry of precipitation and its effects on vegetation and materials, Amer. Inst. Chem. Eng., **74**(175) : 134~142.
- 金良均, 姜寅求, 李敏熙, 羅振祖, 韓義正, 辛燦基, 韓振錫, 柳承道, 金正洙, 權寧宣 (1989). 大氣汚染物質의 長距離移動과 산성비 降下에 關한 研究(I), 國立環境研究報, 11 : 185~269.
- Ulrich, B., Mayer, R., and Khanna, P. K. (1980). Chemical changes due to acid precipitation in a loss-derived soil in central Europe, Soil Sci., **130**(4) : 193~199.
- Evans, L. S. and Curry, T. M. (1979). Differential responses of plant foliage to simulated acid rain Amer. J. Bot., **66** : 953~962.
- Cole, D. W. and Johnson, D. W. (1977). Stmospheric sulfate additions and cation leaching in a Douglas fir ecosystem. Water Research., **13**92 : 313~317.
- Takemoto, B. K., Bytherodwicz, A., and Olszyk, D. M. (1988). Depression of photosynthesis, growth, and yield in field-grown green

- pepper (*Capsicum annum* L.) exposed to acidic fog and ambient ozone, *Plant Physiol*, **88** : 477~482.
7. 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.
  8. Nakada, M., Fukuda, K., Takeshita, S. and Wada, Y. (1980). Effects of inorganic components in acid rain on tube elongation of *Camellia* pollen. *Environ. Pollt., (Ser. A)* **21** : 51~57.
  9. 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.
  10. Vernon, L. P. (1960). Spectrophotometric de-termination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Anal. Chem.*, **32** : 1140~1150.
  11. 農村振興廳 (1983). 農事試驗研究調查基準 (改訂 1版).
  12. 農村振興廳 (1988). 土壤化學分析法.
  13. 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.
  14. 김복영, 김규식 (1988). 농작물에 대한 인공산성비의 영향, 한토비지, **21**(2) : 161~167.
  15. 朴善道, 李錫淳, 金福鎮 (1996). 人工酸性비의 撤水 및 噴霧가 배추, 무, 콩에 미치는 影響, 韓環農誌, **15**(3) : 335~340.
  16. 金福鎮, 朴善道, 李錫淳 (1996). 人工酸性비 一般비 後 處理量에 따른 作物生育과 土壤의 化學性, 韓環農誌, **15**(3) : 341~347.