

人工酸性비가 배추와 무의生育에 미치는 影響

李錫淳* · 洪承範* · 金福鎭*

Performance of Chinese Cabbage and Radish Affected by Simulated Acid Rain

Suk Soon Lee*, Seung Beom Hong* and Bok Jin Kim*

Abstract

A green-house experiment was conducted to know the performance of Chinese cabbage and radish applied with simulated acid rain(SAR) on the leaf and/or soil. The pHs of SAR and normal water were 2.7 and 6.0, respectively. The pHs of SAR and normal water applied on leaf/soil were 6.0/6.0, 6.0/2.7, 2.7/6.0, and 2.7/2.7 and they were applied fifteen times at the two- or three-day intervals with 10mm at a time.

Leaf application of SAR caused brown spots in both crops, while no such symptoms were observed in soil application. SAR applied on the leaf or soil increased chlorophyll content significantly in Chinese cabbage, but slightly in radish. Leaf or soil application of SAR did not affect N, P, and K concentrations in both crops. The sulfur content in radish leaf increased by leaf or soil application of SAR, while in the root it increased by soil application only. Yield of Chinese cabbage was not affected by SAR, while both leaf and root yields of radish were significantly reduced by leaf application of SAR compared with soil application.

* 嶺南大學校 自然資源大學 農學科 (Dept. 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해 遂行되었음

緒 論

산성비는 일반적으로 황산 : 질산의 비율이 약 2 : 1로 구성되어 있으므로 작물의 생육에 피해를 주지 않는 pH 범위에서는 질소와 황 등 필수다량원소를 공급하여 작물재배에 유리한 점도 있다¹⁾. 그러나 일반적으로 산성비는 토양을 산성화하고²⁾, 토양의 무기양분의 용해도 변화와 용탈을 조장하는 등 토양환경을 악화시킨다³⁾. 또 직접 잎에 맞을 경우에는 표피세포의 장해⁴⁾, 엽맥사이에 갈색, 백색의 피사반점⁵⁾ 등 가시적 피해 발생, 엽록소 함량과 광합성 능력의 감소, 잎표면 wax층 유실에 의한 수분조절의 이상, 잎으로부터 K, Ca, Mg 등 엽기의 용탈 등 생리적 장애가 발생하며, 때로는 수량도 감소된다.

영년생 작물은 강한 산성비를 맞으면 식물체가 직접 피해를 받을 뿐 아니라 직접적 피해를 줄만큼 pH가 낮지 않더라도 그 영향이 누적되면 토양의 산성화로 인한 피해를 받을 수 있다. 그러나 매년 경작하면서 토양이 산성화되면 석회사용으로 토양을 중화한 후 재배하는 1년생 작물은 토양의 산성화에 의한 피해는 크지 않고, 직접 식물체에 미치는 영향이 더 크다. 그러나 약한 산성비를 여러번 맞을 때 가시적 피해는 경미하지만 생육과 수량은 떨어질 수 있는데 이것이 산성비가 직접 식물체에 미치는 영향인지 혹은 토양 환경의 변화에 의한 간접적인 영향인지는 분명하지 않다.

그래서 본 시험에서는 배추와 무를 공시하여 일반적으로 경미한 피해를 줄 수 있는 pH 2.7의 인공산성비를 잎, 토양, 혹은 잎과 토양에 모두 처리하여 인공산성비의 처리위치가 배추와 무의 가시적 피해, 엽록소 함량, 무기물 함량, 수량에 미치는 영향들을 조사하여, 장차 더 심한 산성비가 올 경우 그 재배대책을 위한 기초자료를 얻고자 본 시험을 실시하였다.

材料 및 方法

공시작물과 품종을 보면 배추는 전승배추, 무는 청

운무이었다. 1994년 8월 5일에 육묘용 포트에 파종한 후 8월 25일 비닐하우스내에서 90cm 끝에 배추는 40cm, 무는 25cm 간격으로 이식하였다.

토양은 점토-미사-모래가 각각 10-34-56%인 砂壤土 이었고, 비료는 N-P₂O₅-K₂O-붕사를 각각 25-20-25-1kg/10a 수준으로 사용한 후 로타리질 하여 토양과 고르게 섞이게 하였다. 질소는 전량의 60%를 基肥로 사용하였고, 나머지는 追肥로 20%씩 2회 분시하였으며, 다른 비료는 전량을 기비로 사용하였다.

처리용액은 황산 : 질산의 비율이 2 : 1인 혼합용액을 만든 후 수돗물에 그 혼합용액을 첨가하여 pH가 2.7인 인공산성비 용액과 6.0인 일반비 용액이 되도록 조절하였다. 잎/토양에 처리한 용액의 pH는 6.0/6.0, 6.0/2.7, 2.7/6.0, 2.7/2.7 이었다. 처리방법은 잎/토양에 같은 pH 용액을 처리한 pH 6.0/6.0 처리는 pH 6.0인 용액을, pH 2.7/2.7 처리는 pH 2.7인 인공산성비 용액을 하우스 천정에 부착된 撒水施設을 이용하여 처리하였다. 그러나 잎/토양에 다른 pH 용액을 처리한 pH 6.0/2.7 처리와 2.7/6.0 처리는 잎에 해당 pH의 용액을 처리할 때는 미리 토양에 polyethylene 필름을 피복하여 물이 들어가지 않도록 하였으며, 토양에는 해당되는 pH 용액을 물조리개로 관수하였다. 인공산성비 처리는 배추와 무가 활착한 9월 10일부터 10월 22일까지 43일간에 걸쳐 토양수분 함량에 따라 2-3일 간격으로 15회 처리하였으며, 1회 처리량은 10mm 이었다.

엽록소 함량은 인공산성비를 처음 처리한 30일 후인 10월 10일에 조사하였다. 시료는 인공산성비가 여러번 처리되었고, 외관상으로 노화가 되지 않은 아랫잎 중 같은 엽령, 같은 부위에서 채취하여 Yoshida 등의 방법⁶⁾으로 분석하였다.

수량은 10월 22일에 조사하였으며, 배추는 아랫잎을 제외한 球의 무게와 크기를 조사하였고, 무는 잎과 뿌리의 무게와 크기를 조사하였다.

식물체 분석시료는 수량을 조사한 시료중 일부를 택하였는데 배추는 球와 아랫잎을 함께 섞어서 시료를 채취하였고, 무는 잎과 뿌리를 분리하여 80°C 송풍식 건조기에서 건조하였다. 그리고 Willey mill로 분쇄하여 40mesh체를 통과한 시료를 사용하여 질소는

micro-Kjeldahl 법⁶⁾, 인은 ammonium metavanadate법⁷⁾, 황은 중량법⁷⁾, 칼슘, 칼륨, 마그네슘은 H₂O₂-H₂SO₄ 습식분해법⁷⁾으로 분해하여 원자흡광분광분석기(SpectrAA-20, Varian, Australia)로 측정하였다.

結果 및 考察

1. 可視的 被害

人工酸性비(pH 2.7)를 6회 일에 처리하였을 때 배추와 무 모두 아주 작은 갈색 반점이 나타났고, 8회 처리한 후에는 아랫잎에 피해가 다소 더 진전되었으나 생육에는 지장이 없었다. 그러나 토양에 처리한 것은 전 생육기간에 가시적인 피해는 없었다.

일에 pH 2.7 인공산성비를 처리한 배추는 수확 1주일전 球의 중앙에 있는 잎의 끝이 갈색을 나타냈고, 잎의 전면에 흑갈색 반점이 산재하였으며, 잎이 탈색되기도 하였다. 그러나 무의 잎에는 작은 반점은 발생하였으나 배추에 나타났던 흑색반점, 탈색은 나타나지 않았다.

2. 葉綠素 含量

인공산성비를 13회 처리한 후(처리 시작 후 30일) 조사한 엽록소 함량을 보면(표 1) 배추는 잎이나 토양 중 어느 한 곳, 혹은 잎과 토양 모두에 pH 2.7 인공산성비 용액을 처리한 것이 잎과 토양 모두에 pH 6.0 인 용액을 처리한 것보다 잎의 엽록소 함량이 높았다. 무에서도 엽록소 함량은 배추와 같은 경향이었으나 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

인공산성비 처리가 잎의 엽록소 함량에 미치는 영향은 용액의 pH, 작물, 생육시기 등에 따라 다른데 엽록소 함량이 감소하는 것이 보통이지만⁸⁾ 영향이 없거나 오히려 증가하는 경우가 있어⁹⁾ 그 경향이 일정하지 않다. 따라서 본 시험에서와 같이 인공산성비 피해가 현저하지 않을 때는 질소를 공급하므로 오히려 엽록소 함량이 증가할 수도 있을 것으로 생각된다.

Table 1. Chlorophyll content in the leaf of Chinese cabbage and radish affected by simulated acid rain (SAR) applied on the leaf and/or soil.

pH of SAR (Leaf/Soil)	Chlorophyll(mg/g Fr. Wt.)	
	Chinese cabbage	Radish
6.0/6.0	1.38 b*	1.86 ns
6.0/2.7	1.51 ab	1.97
2.7/6.0	1.56 a	1.91
2.7/2.7	1.55 ab	1.95

* 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).

3. 無機養分 含量

수확기에 조사한 배추 지상부의 무기양분 함량을 보면(표 2) 조사된 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 황 등은 인공산성비의 처리 위치간에 차이가 없었으며, 마그네슘은 차이가 있었으나 일정한 경향이 없었다.

무의 잎과 뿌리의 무기양분 함량을 보면(표 3) 잎의 칼슘함량은 뿌리보다 약 6배 정도 높았고 질소, 칼륨, 마그네슘 등은 잎의 함량이 뿌리보다 다소 높았으나 황 함량은 뿌리에서 잎보다 더 높았다.

Table 2. Concentration of minerals in the leaves of Chinese cabbage at harvest affected by simulated acid rain (SAR) treated on the leaf and/or soil.

pH or SAR N (Leaf/Soil)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
6.0/6.0	4.20 ns	0.25 ns	1.25 ns	0.17 ns	0.032 b*	0.22 ns
6.0/2.7	4.65	0.26	1.25	0.14	0.025 c	0.21
2.7/6.0	4.18	0.30	1.21	0.15	0.020 d	0.21
2.7/2.7	4.32	0.28	1.32	0.15	0.035 a	0.23

* Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

Table 3. Concentration of minerals in leaves and roots of radish at harvest affected by simulated acid rain(SAR) applied on the leaves and/or soil.

Plant part	pH of SAR (Leaf/Soil)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
Leaf	6.0/6.0	4.47 ns	0.22 ns	1.04 ns	0.26 b*	0.032 ns	0.19 b
	6.0/2.7	4.44	0.22	0.95	0.29 ab	0.032	0.24 ab
	2.7/6.0	4.68	0.23	1.03	0.32 a	0.030	0.24 ab
	2.7/2.7	4.82	0.26	1.11	0.26 b	0.025	0.31 a
Root	6.0/6.0	3.48 ns	0.23 ns	0.98 ns	0.05 ns	0.025 b	0.36 b
	6.0/2.7	3.33	0.21	0.87	0.05	0.032 a	0.49 a
	2.7/6.0	3.44	0.20	0.75	0.05	0.017 d	0.36 b
	2.7/2.7	3.32	0.22	0.87	0.05	0.020 c	0.49 a

* Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMR.

무잎의 황 함량은 잎과 토양에 모두 pH 6.0인 물을 처리한 것(pH 6.0/6.0), 잎이나 토양에 pH 2.7 인공산성비를 처리한 것(pH 2.7/6.0 혹은 6.0/2.7), 잎과 토양에 모두 pH 2.7 인공산성비를 처리한 것(pH 2.7/2.7)의 순으로 황 함량이 높아 잎이나 토양으로 공급된 황이 비슷한 정도로 잎의 황 함량에 기여하였다. 그러나 토양에 인공산성비 pH 2.7을 처리한 것(pH 6.0/2.7 혹은 2.7/2.7)은 잎과 뿌리의 황 함량이 모두 높았으나, 잎에만 인공산성비를 처리한 것(pH 2.7/6.0)은 잎의 황 함량은 높으나 뿌리의 황 함량은 높지 않았다. 이것은 뿌리에 흡수된 황은 잎으로 잘 이행되고 잎으로도 황이 흡수되지만, 잎에서 흡수된 황은 뿌리로 이행되지 않음을 나타낸다.

인공산성비를 잎에 처리한 경우에도 배추와 무에서 모두 잎의 K, Ca, Mg의 함량이 낮아지지 않아 산성비는 잎의 무기양분을 용탈한다는 다른 보고와 결과가 달랐다. 이것은 정밀한 시험에서는 잎으로부터 흘러내리는 비에 용탈된 양을 검출할 수 있지만³⁾ 본 시험에서와 같이 잎의 무기양분 함량을 분석할 때는 차이가 나지 않을 수 있고, 더우기 배추는 결구 후에는 바깥잎만 비에 적셔지고, 안에 있는 잎은 그 영향이 없기 때문에 산성비에 의한 무기양분의 용탈은 크지 않았을

것으로 보인다.

4. 收量

배추와 무 모두 남부지방에 알맞은 시기인 8월 25일에 20일 모를 이식하여 10월 22일에 수확하였다. 평년의 포장에서 보다 수확기가 빨랐던 것은 1994년은 기온이 높았고, 또 대발생하였던 파밤나방을 방제하기 위하여 온실의 옆은 모기장을 둘러쳤으며, 자연강우를 막기 위하여 위는 투명 P.E. 필름으로 덮어 생장이 빨랐기 때문으로 보인다.

배추의 수량과 관련된 특성을 보면, 球生體重, 球高, 球徑 모두 pH 2.7 인공산성비를 잎이나 토양에 처리한 것이 pH 6.0을 처리한 것보다 낮은 경향을 보였지만 통계적으로는 유의차가 없었다(표 4).

한편 무는 pH 2.7 인공산성비를 잎이나 토양에 처리한 것(pH 6.0/2.7, 2.7/6.0, 2.7/2.7)은 pH 6.0을 처리한 것(pH 6.0/6.0)보다 잎과 뿌리의 생체중, 뿌리의 길이와 직경이 모두 적은 경향이였다(표 5). 그리고 pH 2.7인 공산성비를 잎에 처리한 것(pH 2.7/6.0, 2.7/2.7)이 토양에 처리한 것(pH 6.0/2.7)보다 뿌리의 생육을 더 현저하게 억제시켰다. 이것은 인공산성비에 의하여

Table 4. Fresh weight, height, and diameter of head of Chinese cabbage at harvest time affected by simulated acid rain (SAR) applied on the leaf and/or soil.

pH of SAR (Leaf/Soil)	Fresh Wt. (g/plant)	Height (cm)	Diameter (cm)
6.0/6.0	3,296 ns	31.5 ns	17.1 ns
6.0/2.7	2,967	30.7	16.4
2.7/6.0	3,127	30.9	16.6
2.7/2.7	3,097	30.6	16.3

Table 5. Fresh and dry weight and root size of radish at harvest time affected by simulated acid rain(SAR) applied on the leaf and/or soil.

pH of SAR (Leaf/Soil)	Fresh Wt.(g/plant)			Root(cm)	
	Leaf	Root	Total	Length	Diameter
6.0/6.0	572 a*	1,999 a	2,571 a	24.7 a	11.6 a
6.0/2.7	523 ab	1,843 ab	2,366 b	22.5 ab	11.1 ab
2.7/6.0	488 b	1,611 c	2,099 c	21.4 b	10.6 b
2.7/2.7	527 ab	1,713 bc	2,240 b	22.6 ab	10.5 b

* Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMR.

엽록소 함량은 다소 증가하더라도 가시적 피해와 잎과 뿌리의 건물중이 감소하는 것으로 보아 잎에 처리된 인공산성비에 의하여 일차적으로 잎의 생육이 억제되고, 따라서 뿌리로 이동되는 양분이 감소하여 뿌리의 생육이 억제되는 것으로 생각된다.

같은 pH 2.7의 인공산성비를 전 생육기간에 처리하여도 벼와 콩은 수량이 감소되지 않았지만 고추는 과실수와 과실중이 감소하여 수량이 현저히 감소되었다.⁸⁾ 또 Lee 등¹⁰⁾은 무, beet, 당근, broccoli 등은 인공산성비 처리에서 수량이 감소되었지만 딸기, 고추, 밀, 보리, 귀리, 양파 등은 수량에 영향을 미치지 않았고, 같은 작물이라도 콩^{11,12)}과 옥수수³⁾에서는 품종에 따라

서도 산성비가 수량에 미치는 영향이 다르다. 이와같은 경향은 시험마다 산성비의 pH 및 조성, 처리회수, 처리량이 다르고, 또 산성비의 영향은 작물, 토양, 기상조건 등 여러가지 재배요인에 따라 반응이 다르기 때문으로 보인다.

要 約

인공산성비(pH 2.7)를 2-3일 간격으로 15회에 걸쳐 1회에 10mm씩 배추와 무의 잎, 토양, 잎과 토양에 처리하여 인공산성비의 처리위치가 가시적 피해증상, 잎의 엽록소 함량, 무기물의 함량, 그리고 수량에 미치는 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 인공산성비를 잎에 처리할 때 배추와 무는 갈색 반점이 다소 발생하였으나 토양에 처리할 때는 피해증상이 없었다. 특히 배추는 결구가 되었을 때는 구의 잎 끝이 갈변하고, 잎에 흑갈색 반점이 발생하였으며, 심하면 잎 전체가 탈색되었다.
2. 인공산성비 처리는 배추 잎의 엽록소 함량을 증가시켰으나 무에서는 차이가 없었다.
3. 배추와 무 모두 N, P, K 함량과 배추의 황 함량은 인공산성비 처리위치간에 차이가 없었다. 그러나 무 잎중 황 함량은 잎이나 토양에 인공산성비를 처리한 것이 황 함량이 높았으며, 뿌리중 황 함량은 토양에 인공산성비를 처리한 것이 잎에 인공산성비를 처리한 것이나 인공산성비를 처리하지 않은 것보다 높았다.
4. 배추의 수량은 인공산성비의 영향을 받지 않았다. 그러나 무는 인공산성비에 의하여 수량이 감소하였는데 특히 잎에 인공산성비를 처리한 것은 뿌리의 수량을 현저히 감소시켰다.

參考文獻

1. Evans, L. S., Gmur, N. F., and Mancini, D.(1982).

- Effects of simulated acid rain on yields of *Raphanus sativus*, *Lactuca sativa*, *Triticum aestivum*, and *Medicago sativa*. Environ. Exp. Bot. **22** : 445-453.
2. Adaros, G., Weigel, H. J., and Jaeger, H. J. (1988). Effects of sulphur dioxide and acid rain alone or in combination on growth and yield of broad bean plants. New Phytol. **108** : 67-74.
 3. Banwart, W. L., Porter, P. M., Hassett, J. J., and Walker, W. M. (1987). Simulated acid rain effects on yield response of two corn cultivars. Agron. J. **79** : 497-501.
 4. Ferenbaugh, R. W. (1976). Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). Amer. J. Bot. **63**(3) : 283-288.
 5. Evans, L. S., and Curry, T. M. (1979). Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. Amer. J. Bot. **66**(8) : 953-962.
 6. Yoshida, S., Forno, D. A., Cock, J. H., and Gomez, K. A. (1972). Laboratory manual for physiological studies of rice (2nd ed.). IRRI, Los Banos, Philippines.
 7. 農村振興廳 農業技術研究所. (1988). 土壤化學分析法.
 8. 李錫淳, 金台柱, 金福鎮. (1994). 벼, 콩, 고추의生育時期別 人工酸性비에 대한 耐性. 韓作誌 **39**(6) : 548-555.
 9. 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) : 556-563.
 10. Lee, J. J., Neely, G. E., Perrigean, 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. 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.
 12. Healgle, A. S., Philbeck, R. B., Brewer, P. F., and Ferrell, R. E. (1983). Response of soybeans to simulated acid rain in the field. J. Environ. Qual. **12** : 538-543.