

## 水原地域 降雨의 成分組成과 作物에 미치는 影響

李宗植 · 金福榮 · 禹基大

### Chemical Composition of Precipitation in Suwon Area and Its Effect on Crop Development

Jong-Sik Lee, Bok-Young Kim and Ki-Dae Woo

#### Abstract

This study was carried out to investigate the possibility of potential injury to crops which were exposed to precipitation. The rainwater were collected from May to September in 1992 and analyzed its chemical composition. The amounts of chlorophyll and cations in plant were measured, and the morphological structure of epidermis was also investigated by SEM. The results are summarized as follows:

1. The pH of precipitation in Suwon was relatively high even with high level of  $\text{SO}_4^{2-}$  and monthly pH at May, June, July, August, and September were 4.65, 5.47, 5.32, 5.44 and 4.80, respectively.
2. The amount of ions in rainwater was in the order of  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{H}^+$  for cations, and  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Cl}^-$  for anions.
3. pH of rain in less than 5mm of precipitation was higher than that in greater than 5mm of precipitation.
4. The amount of chlorophyll was higher in the plant exposed to rain than that in plant intercepted rain during the early portion of growing season, but at the later period, the trend was shown to be reversed.
5. When the sesame plants were exposed to rain at harvesting stage, they contained less amount of CaO, MgO and  $\text{Na}_2\text{O}$  than those with the interception of rain.
6. Scanning electron microphotographs revealed the shrinkage in glandular trichomes in the epidermis of sesame leaves when they were exposed to rain.

\* 농촌진흥청 농업기술연구소(Agricultural Science Institute, RDA, Suwon, Korea)

## 서 론

산업이 발달되고 인구가 증가됨에 따라 화석연료 연소시 배출되는 아황산가스와 자동차 및 공장에서 배출되는 질소산화물 등이 대기중에 많이 방출되는데 이들은 대기중에서 복잡한 光化學反應을 거쳐 산성물질이 형성되고<sup>1, 2</sup>, 이러한 산성물질은 지표상으로 직접 降下되기도 하지만, 강우의 산성도를 증가시켜 산성비로 降下하여 자연 및 생활환경에 심각한 악영향을 초래하게 되는데 산성비란 pH 5.65 이하의 강우를 일컫는 것으로 이 기준은 非汚染地 大氣中の 二酸化炭素가 25°C에서 大氣中 水蒸氣와 평형을 이룰 때  $1.56 \times 10^{-6}$  M의 炭酸을 형성하며, 이 炭酸으로부터 생기는 수소이온 농도가  $2.24 \times 10^{-6}$  M 이고 이것을 pH로 환산한 것이 5.65이다<sup>3, 4, 5</sup>.

산성비로 인한 작물의 주된 피해로는 上皮組織 피해로 인한 대기오염물질 및 雨酸에 대한 耐性的 감소, 잎으로부터의 양분용탈량 증가, 광합성 및 호흡 등 代謝作用 攪亂, 작물의 防禦組織 피해에 따른 耐病性, 耐蟲性 減少 그리고 토양중 독성물질 용해로 인한 뿌리 및 기타 조직의 독성피해 등이 있다.

또한 산성비의 영향은 풍향과 풍속에 따라 차이는 있으나 수 백 km를 이동하여 주변국가에도 직접 또는 간접으로 영향을 주므로 국제적 차원의 환경 문제로 대두되었고, 현재 각국은 산성비 피해에 대하여 공동으로 대처하고 있다<sup>6</sup>.

우리나라에서도 이미 대도시 및 공업단지 주변에서는 pH 5.0 이하의 산성비가 내리고 있고, 환경에 대한 대중의 인식이 높아짐에 따라 이러한 산성비의 영향과 그 대책수립에 관심을 모으고 있으나 아직은 뚜렷한 대규모 피해지역이 없고, 피해가 우려되는 일부지역에서도 그 현상이 다른나라의 경우와 다르기 때문에 이에 대한 정확한 구명이 필요하다. 또한 현재까지 우리나라 陸上生態界에서 대기오염 및 산성비로 인한 可視的인 피해가 극히 微微하다 하더라도 pH 5.0 부근에서 벼와 보리 등의 광합성 속도가 저해된다는 Taniyama 등<sup>7</sup>의 보고처럼 潜在的

인 피해의 가능성은 충분히 있다고 할 것이다.

본 연구는 자연상태의 강우조건에서 작물의 潜在的인 피해여부를 파악하기 위하여 1992년 5월부터 9월까지 水原地域에 내린 降雨의 화학적조성과 降雨遮斷區와 降雨無遮斷區間 작물의 엽록소 및 양이온함량 차이와 전자현미경(SEM)을 이용한 작물의 잎표면조직 변화를 조사하여 그 결과를 보고하는 바이다.

## 재료 및 방법

1992년 5월부터 9월까지 수행된 본 연구에서는 총 27회의 降雨이 수집되었으며, 매회 강우량 5mm 단위로 분리 채수되었다. 供試作物은 참깨(안산개)로 5월 15일에 파종하였으며, 처리는 降雨遮斷區와 降雨無遮斷區를 두었는데 전자는 통풍이 원활한 상태를 유지하며 지상 150 cm에 비닐로 비가림을 하였으며, 후자는 피해경감제로 1% 石灰乳를 처리한 石灰乳撒布區와 처리하지 않은 無撒布區로 구분하여 실시하였다.

降雨 분석방법은 pH는 Orion 811 pH meter, EC는 YSI Model 33 S-C-T meter 그리고 양이온중 Ca, Mg, K, Na는 IL 251 A.A Spectrophotometer를 이용하였다. 또한  $\text{NH}_4^+$ 는 차아염소산 이온의 共存下에서 페놀과 반응하여 생성되는 청색의 인도페놀을 640 nm에서 측정하는 인도페놀법<sup>8</sup>,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $\text{BaCl}_2$ 에 의한 比濁法,  $\text{NO}_3^-$ 는 1N-HCl로 hydroxide와 carbonate를 隱蔽시키고 흡광도를 측정하는 자외선 흡광광도법<sup>9</sup>,  $\text{Cl}^-$ 은 치오시안산 제2수은법을 사용하였으며, 강우로 인한 작물의 不可視的 被害를 알아보기 위해 실시된 잎 표면조직 관찰은 Hitachi S-570 Scanning Electron Microscope를 사용하였다. 한편, 식물체의 엽록소 분석은 0.5 g의 생체시료를 25ml의 에탄올과 함께 24 시간 暗所에 방치한 후, 그 중 2ml를 取해 8ml의 아세톤을 加한 뒤 그 액을 BECKMAN Model 26 Spectrophotometer을 이용하여 663 및 645 nm에서 측정하였다.

Table 1. Monthly variation of ion concentrations in rainwater of Suwon area (unit :  $\mu\text{eq}/\ell$ )

Month	pH	Cation							Anion			
		$\text{NH}_4^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{H}^+$	$\Sigma +$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\Sigma -$
May	4.65 (n=6)*	144.8	83.9	14.0	9.5	25.4	22.4	300.0	49.0	186.0	35.7	271.1
Jun.	5.47 (n=4)	194.3	75.5	13.5	13.2	29.5	3.4	329.4	56.1	298.3	33.3	387.7
Jul.	5.32 (n=6)	176.1	111.5	21.0	35.5	52.0	4.8	400.9	94.6	357.6	50.2	502.4
Aug.	5.44 (n=5)	69.7	15.1	2.7	5.7	11.0	3.6	107.8	25.5	60.0	9.2	94.7
Sep.	4.81 (n=6)	60.4	25.8	5.8	5.2	16.8	15.6	129.6	26.5	87.4	15.0	128.9
Ave.	4.97 (n=27)	126.4	63.1	11.6	14.1	27.3	10.7	253.2	50.8	195.6	29.0	275.4

\* : number of sample

Table 2. Chemical composition of rainwater with the amount of rainfall in Suwon area

(unit:  $\mu\text{eq}/\ell$ )

Amount of rainfall	pH	Cation							Anion			
		$\text{NH}_4^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{H}^+$	$\Sigma +$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\Sigma -$
< 5mm	5.22	107.7	51.9	9.0	14.6	22.1	6.1	211.4	42.5	152.5	35.6	230.6
5-10	4.79	96.3	23.1	6.4	12.9	18.0	16.2	172.9	37.0	99.3	33.1	169.4
10-15	4.99	55.5	6.7	2.9	5.5	18.6	10.2	99.4	20.7	57.3	16.9	94.9
15-20	4.87	60.0	5.5	2.2	4.8	17.3	13.5	103.3	23.0	56.9	16.8	96.7
20-25	4.81	62.6	5.0	1.7	4.2	13.6	15.5	102.6	19.0	55.3	14.7	89.0

## 결과 및 고찰

### 1. 강우의 화학적 조성

표 1은 조사기간중 수원지역에 내린 강우의 월별 화학적 조성 변화를 나타낸 것으로 월별 pH 변화를 보면 5월에 4.65를 나타낸 후 6월, 7월, 8월에 각각 5.47, 5.32, 5.44로 일정한 값을 보이다가 9월 이후 4.81로 다시 낮아지는 경향을 보였으며, 각 이온의 구성을 보면 양이온의 경우,  $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{H}^+$ 의 順이었으며, 음이온의 경우는  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$  順으로 나타났다. 이는 양이온의 경우,  $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ = \text{H}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 의 順으로 보고한 송 등<sup>10)</sup>의 결과와

상이함을 보였는데 그 이유는 지역과 採水時期가 다름에 따른 결과로 생각된다. 또한 수원지역 강우의 평균 pH는 작물의 生育沮害 및 可視的 被害限界를 pH 4.0과 3.2 사이로 본 William<sup>11)</sup>등의 결과보다 높은 4.97을 나타내었는데 이는 195.6 $\mu\text{eq}/\ell$ 의 높은  $\text{SO}_4^{2-}$  함량에 비해 높은 수치로  $\text{NH}_4^+$ 와 같은 염기가 다량 함유되어 있기 때문으로 생각되며, 이러한 것은 中國降雨의 특성과 類似한 것이다<sup>12, 13)</sup>.

표 2는 조사기간중 水原地域에 내린 강우의 화학적 조성을 강우량 5mm 단위로 나타낸 것으로 初期降雨(5mm 이하)의 평균 pH가 5.22로 그 이후 강우의 pH값 4.79-4.99에 비해 높았는데 그 이유는 大氣中 浮遊粉塵들이 빗물에 의해 씻겨 내려오기

Table 3. Correlation coefficients between the ions of rainwater in Suwon area

	EC	NH <sub>4</sub>	Ca	Mg	K	Na	H	Σ +	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl
NH <sub>4</sub>	0.958***										
Ca	0.942***	0.852***									
Mg	0.962***	0.873***	0.988***								
K	0.907***	0.806***	0.937***	0.961***							
Na	0.938***	0.856***	0.935***	0.972***	0.956***						
H	-0.122 <sup>ns</sup>	-0.140 <sup>ns</sup>	-0.185 <sup>ns</sup>	-0.130 <sup>ns</sup>	-0.153 <sup>ns</sup>	-0.138 <sup>ns</sup>					
Σ +	0.986***	0.935***	0.974***	0.988***	0.943***	0.962***	-0.112 <sup>ns</sup>				
NO <sub>3</sub>	0.956***	0.870***	0.958***	0.980***	0.982***	0.960***	-0.117 <sup>ns</sup>	0.975***			
SO <sub>4</sub>	0.975***	0.910***	0.966***	0.982***	0.968***	0.959***	-0.177 <sup>ns</sup>	0.987***	0.985***		
Cl	0.925***	0.848***	0.966***	0.968***	0.918***	0.958***	-0.212 <sup>ns</sup>	0.957***	0.928***	0.943***	
Σ -	0.973***	0.900***	0.973***	0.988***	0.973***	0.966***	-0.173 <sup>ns</sup>	0.989***	0.989***	0.999***	0.954***

Table 4. Correlation coefficients between the ions of rainwater(10-15mm) in Suwon area

	NH <sub>4</sub>	Ca	Mg	K	Na	H	Σ +	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl
Ca	0.725*									
Mg	0.647 <sup>ns</sup>	0.870**								
K	0.788*	0.958***	0.851**							
Na	0.838**	0.691 <sup>ns</sup>	0.634 <sup>ns</sup>	0.835**						
H	0.378 <sup>ns</sup>	0.742*	0.404 <sup>ns</sup>	0.690 <sup>ns</sup>	0.302 <sup>ns</sup>					
Σ +	0.950***	0.888**	0.752*	0.931***	0.853**	0.612 <sup>ns</sup>				
NO <sub>3</sub>	0.796*	0.905**	0.691 <sup>ns</sup>	0.922**	0.730*	0.821*	0.930***			
SO <sub>4</sub>	0.906**	0.530 <sup>ns</sup>	0.492 <sup>ns</sup>	0.569 <sup>ns</sup>	0.665 <sup>ns</sup>	0.141 <sup>ns</sup>	0.782 <sup>ns</sup>	0.522 <sup>ns</sup>		
Cl	-0.274 <sup>ns</sup>	0.123 <sup>ns</sup>	0.348 <sup>ns</sup>	0.129 <sup>ns</sup>	-0.195 <sup>ns</sup>	0.115 <sup>ns</sup>	-0.130 <sup>ns</sup>	-0.095 <sup>ns</sup>	-0.245 <sup>ns</sup>	
Σ -	0.952***	0.760*	0.695 <sup>ns</sup>	0.797*	0.750*	0.418 <sup>ns</sup>	0.925**	0.747*	0.937***	-0.050 <sup>ns</sup>

때문으로 생각된다. 한편 강우량 10mm 이후의 降雨은 그 성분 조성이 유사하며, 양이온의 총량 99.4-103.3 μeq/l와 음이온의 총량 89.0-96.7 μeq/l로 각 이온들 합이 변화폭 또한 작아 대기중의 浮遊粉塵들은 10mm 이내의 降雨에 의하여 거의 제거됨을 示唆하였다.

강우중 각 이온간의 相關係數를 나타낸 표 3의 결과를 보면 수소이온 농도와 음이온과의 상관관계에서 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와의 相關係數가 낮았는데, 이는 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>나 HNO<sub>3</sub>의 형태가 아닌 황산염 또는 질산염 형태의 대기오염물질이 빗물에 혼입되어 강우의 pH에 영향을 미친 것으로 추정되며, 또한 수소이온을 제외한 모든 이온들 간의 상관관계가 높음은 빗물속 이온들의 근원이 먼지와 같은 단일물질임을

나타내는 결과라고 생각된다.

표 4는 대기중 浮遊粉塵들이 빗물에 의해 씻겨 내려갔다고 생각되는 10mm 이후 강우에서의 각 이온들 간의 相關係數를 나타낸 것으로 수소 이온과 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>이 0.821로 가장 상관관계가 높은 것으로 나타났는데 이러한 결과는 조사시기가 燒房用燃料 사용이 적은 5월에서 9월이었으며, 조사지역이 자동차 통행량이 많은 도시지역이었던 때문으로 생각된다.

강우 성분중 이온들의 균형을 알아보기 위해 그림 1에서 양이온 합(Σ +)과 음이온 합(Σ -)을 비교한 결과, 이온 간의 비가 1.42로 음이온이 양이온에 비해 많이 함유되어 있었는데 이는 '91년 강 등<sup>(4)</sup>이 보고한 양이온과 음이온의 當量比는 지역간에 상이하다는 결과와 같이 빗물 속의 여러 입자들에 의해

이온들이 선택적으로 흡착되었기 때문으로 생각된다.

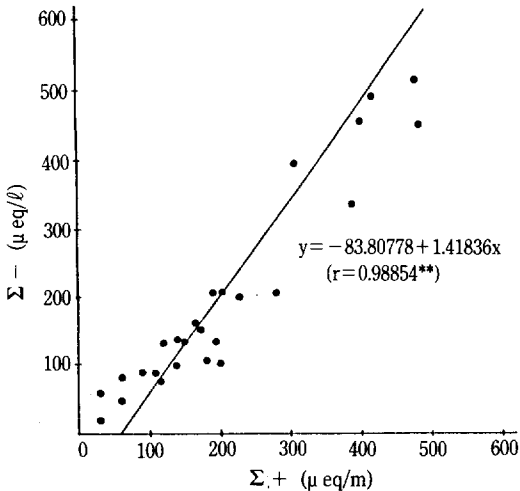


Fig. 1. Ratio of total and cation concentrations

2. 강우가 작물에 미치는 영향

菜蔬類의 葉被害는 pH 3.0 -3.5 범위에서 발생했으나 비와 보리의 광합성속도가 pH5.0 부근에서沮害받는다는 Taniyama 등<sup>7)</sup>의 보고처럼 강우로 인한 작물의 不可視的인 피해 여부를 알아보기 위해 참깨를 圃場條件에서 재배하면서 각 처리간의 엽록소 함량차이를 나타낸 표 5의 결과를 보면 6월에는 강우차단구의 1.68 mg/g F.W에 비해 降雨 無遮斷區와 1% 石灰乳處理區에서 각각 1.71, 1.80 mg/g F.W로 높았으나 7월의 경우에는 반대로 降雨 遮斷區에서 3.00 mg/g F.W으로 다른 처리구에 비해 엽록소함량

Table 5. The amount of chlorophyll in sesame plant with treatment (unit: mg/g F.W)

Treatment	Jun.	Jul.
Interception of rain	1.68 (100.0)*	3.00 (100.0)
Non-interception of rain	1.71 (101.8)	2.41 (80.3)
1% Ca(OH) <sub>2</sub>	1.80 (107.1)	2.58 (86.0)

\* : index

Table 6. The amount of chlorophyll in tomato plant with treatment (pot)

(unit: mg/g F.W)

Treatment	3 times	5 times	10 times
Interception of rain	1.87(100.0)*	2.55(100.0)	2.15(100.0)
Non-interception of rain	2.01(107.5)	2.56(100.4)	2.00( 93.0)
1% Ca(OH) <sub>2</sub>	1.94(103.7)	2.65(103.9)	2.15(100.0)

\* : index

Chemical composition of rainwater: pH-4.65, NH<sub>4</sub>-73.6, Ca-25.7, Mg-5.8, K-7.6, Na-15.6, SO<sub>4</sub>-70.3, NO<sub>3</sub>-58.7, Cl-15.6

이 높았는데 이는 '79년 Irving<sup>15)</sup>이 보고한 人工酸性雨 處理 圃場에서 初期 광합성율이 증가했다는 결과와 같은 경향이다. 또한 降雨遮斷區와 1% 石灰乳處理區間에는 2.41과 2.58mg/g F.W로 石灰乳處理로 降雨에 의한 엽록소 피해가 약간 輕減됨을 보였다.

표 6은 溫室內에서 토마토를 재배하면서 각 처리별 엽록소함량 차이를 나타낸 것으로 실험에 사용된 빛물은 자연강우를 모은 것으로 pH는 4.65였으며, 참깨의 경우는 降雨를 맞은 후에 石灰乳를 撒布한 결과였음에 반하여 토마토의 경우는 빛물을 撒布하기전에 石灰乳를 처리하였다.

처리별 엽록소 함량 변화는 참깨의 경우와 마찬가지로 5회 처리시까지 降雨 遮斷區 2.55에 비해 降雨 無遮斷區가 2.56 mg/g F.W로 높은 함량을 보였으나 10회 처리에서는 降雨 遮斷區가 2.15mg/g F.

Table 7. The amount of cations in sesame plant with treatment at harvesting stage (unit: %)

Treatment	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO
Interception of rain	1.54(100.0)*	2.22(100.0)	0.38(100.0)
Non-interception of rain	1.46( 94.8)	2.39(107.7)	0.32( 84.2)
1% Ca(OH) <sub>2</sub>	1.59(103.2)	2.54(114.4)	0.39(102.6)

\* : index

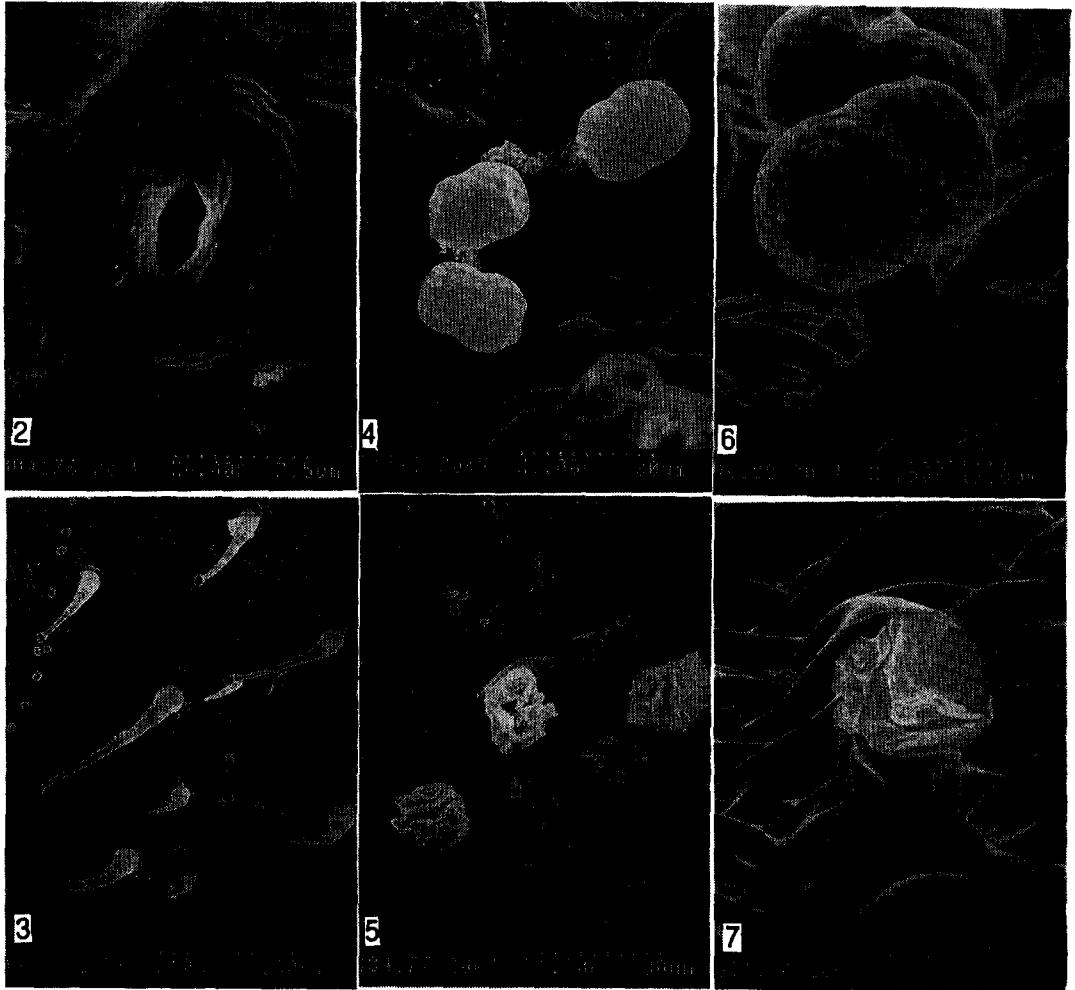


Fig. 2.-7. Scanning electron microphotographs of epidermal features of sesame leaves. -2. Stomata  $\times 4,000$  3. Surface of epidermal cells  $\times 100$  4. Glandular trichomes  $\times 1,000$  (interception of rain) 5. Deformed glandular trichomes  $\times 1,000$  (non-interception of rain) 6. A normal glandular trichome  $\times 2,500$  (interception of rain) 7. Shrinkage in glandular trichome  $\times 2,500$  (non-interception of rain)

W로 降雨 無遮斷區 2.00 mg/g F.W보다 높아지는 傾向을 나타냈다. 또한 1% 石灰乳 處理區의 염록소 함량이 10회 처리시까지 降雨 遮斷區와 같은 함량을 보여 앞의 참깨의 경우보다 좋은 효과를 나타냈는데 이는 圃場條件과 溫室條件이란 환경과 작물의 차이도 있었겠지만 石灰乳 처리 시기가 상이했던 결과

라고 생각된다. 따라서 石灰乳 처리는 降雨 以前에 撒布함이 효과적이라고 생각된다.

표 7은 收穫期의 참깨 작물체중 양이온 함량을 나타낸 것으로 人工酸性雨를 이용한<sup>16, 17)</sup> 결과들 같이 처리별 뚜렷한 함량차이는 보이지 않았으나  $K_2O$ 를 제외한  $CaO$  및  $MgO$ 는 강우차단구에서 1.54

및 0.38%를 보인 반면, 降雨 無遮斷區에서는 각각 1.46 및 0.32%로 낮은 함량을 나타내 빗물에 의한 溶脫을 示唆하였다.

Fig. 2-7은 강우로 인한 작물체의 不可視의 被害 與否를 알아보기 위해 참깨 잎의 表面組織을 電子顯微鏡(SEM)을 이용하여 관찰한 것으로 처리에 따른 氣孔의 차이는 발견 할 수 없었으나(Fig.2) 잎의 피해가 毛茸(trichome)과 작은 葉脈 周圍에 나타났다는 Ellen 등<sup>18)</sup>의 결과와 같이 trichome 형태의 차이는 관찰되었다.

Trichome의 기능은 크게 첫째, 잎으로부터 鹽類 放出의 통로가 되어 식물체 내의 독성염류 축적을 억제하며, 둘째, 열에 의한 mesophyll의 피해를 방지하며, 그리고 셋째, 害蟲에 대한 防禦組織으로서의 역할로 볼 수 있는데<sup>19)</sup> 그 형태는 작물에 따라 다양하다.

본 조사에서는 긴 형태의 毛茸(non-glandular trichome)은 처리별 변화가 없었으나(Fig.3) 가용성 물질의 흡수가 용이한 부위인 葉脈 사이에 존재하는<sup>20)</sup> 크기가 작은 腺毛(glandular trichome)을 확대한 결과, 降雨遮斷區의 건전한 형태에 비하여 降雨 無遮斷區와 1% 石灰乳 處理區에서 그 형태가 많이 收縮됨을 나타내었는데, 이는 오존에 의한 작물의 피해증상과 유사하였으며<sup>21)</sup>, 石灰乳處理로 인한 trichome의 피해 감감효과는 볼 수 없었다(Fig.4-7). 이러한 결과로 볼 때 pH 4.0 이상에서는 콩의 수량에 영향을 주지 않았다는 Johnston의 보고<sup>22)</sup>처럼 자연강우에 의한 잎의 不可視의 피해가 작물의 수량에 미치는 영향은 극히 적은 것으로 생각되나 병원균이나 해충 등의 침입이 용이해짐에 따른 간접적인 피해가 예상된다. 그러나 작물에 대한 산성비의 영향은 작물의 종류, 재배조건 및 품종 등에 따라 상이하다는 보고처럼 앞으로 이에 관하여 다양한 연구가 요구되며 본 연구에서 나타난 잎 표면 세포의 변형이 빗물의 산성도 외에 강우의 물리적인 힘이나 잎의 수분균형 등 다른 요인에 의한 결과인지에 대하여서 현재 구명중에 있다.

## 요 약

自然狀態의 降雨條件에서 작물의 潛在的인 被害 與否를 파악하기 위하여 1992년 5월부터 9월까지 水原地域에 내린 강우의 化學적조성과 降雨 遮斷區와 降雨 無遮斷區間 작물의 엽록소 및 양이온함량 차이와 전자현미경(SEM)을 이용한 작물의 잎표면 조직 변화를 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수원지역의 降雨은  $SO_4$  함량에 비해 pH가 높으며, 월별 pH 변화는 5월에 4.65를 나타낸 이후 6, 7, 8월에는 각각 5.47, 5.32, 5.44로 일정한 경향을 보이다 9월에 4.80으로 다시 낮아졌다.

2. 降雨中 이온의 함량은 양이온의 경우  $NH_4^+ > Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > H^+$  順이었으며, 음이온의 경우는  $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$  順이었다.

3. 강우량별 pH의 차이는 初期降雨(5mm 이하)가 그 이후의 降雨에 비해 pH가 높았다.

4. 참깨잎의 엽록소함량은 初期에는 降雨遮斷區에 비해 降雨無遮斷區와 石灰乳處理區에서 약간 높게 나타났으나 後期에는 반대의 경향을 보였으며, 降雨을 맞은 두 처리구간에는 石灰乳處理區에서 약간 회복되는 경향이었다.

5. 收穫期의 참깨 식물체중의 처리별 양이온함량은 降雨 無遮斷區가 다른 처리구에 비해  $K_2O$ 를 제외한  $CaO$  및  $MgO$ 의 함량이 낮았다.

6. 가시적인 피해는 발견할 수 없었으나 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용한 참깨잎의 組織을 관찰한 결과 降雨 無遮斷區와 石灰乳處理區에서 trichome의 變形을 발견하였다.

## 참 고 문 헌

1. Volker A. Mohnen (1988) : The challenge of acid rain, Scientific American 259(2), 14-22.
2. 内嶋善兵衛 (1990) : 地球環境の危機 - 大機の變化と酸性雨 -, 岩波書店, 204-213.
3. Bill F. (1986) : Environmental Ecology - The

- Impacts of Pollution and Other Stress on Ecosystem Structure and Function, 82.
4. Gene E. L., Richard F. W., James N. G. and Thomas J. B. (1979) : Acid rain, *Scientific American* 241 (4), 39-47.
  5. Schindler D. W. (1988) : Effect of acid rain on freshwater ecosystems, *Science* 239, 149-157.
  6. 정용승, 김태군 (1991) : 한국 서해안에서 관측된 산성비 발원지 추적연구, *한국대기보전학회지* **7(3)**, 203-207.
  7. Taniyama T. and Saito H. (1981) : Effects of acid rain on apparent photosynthesis and grain yield of wheat, barley and rice plant, *Rept. Environmental Sci. Mie Univ.* **6**, 87-101.
  8. 환경처 (1991) : 수질오염공정시험방법, 184.
  9. APHA, AWWA, WPCF (1985) : Methods for the Examination of Water and Wastewater (16th edition), 392.
  10. 송기형, 박용남, 정용승, 박국태(1992) : 충청북도 농촌지역의 강수의 산성도에 관한 기초 연구, *한국대기보전학회지* **8(1)**, 38-44.
  11. Johnston J. W., Shriner D. S., Klarer C. I. and Lodge D. M. (1982) : Effect of rain pH on senescence, growth, and yield of bush bean, *Environmental and Experimental Botany* **22(3)**, 329-337.
  12. Wang W. and Shi Q. (1991) : Analysis of the formation of air pollution and acid rain in China, *Emerging issues in Asia, Korea Air Pollution Research Association* **2**, 49-57.
  13. James N. G., Zhao D., Xiong J. and Gene E. L. (1987) : Acid rain : China, United States, and a remote area, *Science* **236**, 1559-1562.
  14. 강인구, 한의정, 장성기, 신찬기, 유승도, 장남익, 홍율기, 박일수, 한진석, 박태술, 김정수, 이재인, 최수연(1991) : 대기오염과 산성비에 의한 피해 조사 및 평가에 관한 연구( I -3), *국립환경연구원보* **13**, 167-191.
  15. Irving P. : Response of field-grown soybeans to acid precipitation alone and combination with sulfur dioxide, Ph. D. Dissertation, Univ. of Wisconsin, Milwaukee.
  16. David P. T. and David T. T. (1989) : Foliar leaching and root uptake of Ca, Mg, and K in relation to acid fog effect on Douglas-Fir, *Water, Air, and Soil Pollution* **49**, 205-214.
  17. Elena P., Roberto U., Francesco P. and Emilia B. (1989) : Elemental leaching from Quercus Ilex L. in response to simulated acidic fog, *Water, Air, and Soil Pollution* **47**, 35-46.
  18. Ellen T. P. and Tukey H. B. (1983) : Developmental and anatomical change in leaves of Yellow Birch and Red Kidney Bean exposed to simulated acid precipitation, *J. Amer. Hort. Sci.* **108(6)**, 890-898.
  19. Katherine E. (1977) : Anatomy of seed plants, John Wiley and Sons, 94-97.
  20. Lance S. E. (1982) : Biological effects of acidity in precipitation on vegetation, *Environmental and Experimental Botany* **22(2)**, 155-169.
  21. Agrawal S. B., Agrawal M. and Lee E. H. (1991) : Changes in snap-bean leaf epidermal structures due to Ozone, *Emerging issues in Asia, Korea Air Pollution Research Association* **1**, 277-281.
  22. Johnston J. W., Shriner D. S., Klarer C. I. and Lodge D. M. (1982) : Effect of rain pH on senescence, growth, and yield of bush bean, *Environmental and Experimental Botany* **22(3)**, 329-337.