

## 인공 산성비가 중요 농작물의 생육에 미치는 영향

허 흥 육 · 허 만 규  
부산대학교 생물교육과  
(1997년 6월 2일 접수)

## The Effect of Simulated Acid Rain on the Growth of Important Crops

Hong-Wook Huh and Man-Kyu Huh

Dept. of Biological Education, Pusan National University, Pusan  
(Manuscript received 2 June 1997)

The experiment was performed to elucidate the effect of simulated acid rain on growth of the seven crops (*Daucus carota* var. *sativa* DC., *Fagopyrum esculentum* Moench, *Brassica campestris* subsp. *napus* var. *pekinensis* Makino, *Raphanus sativus* var. *hortensis* for. *acanthiformis* Makino, *Brassica alboglabra* Bailey, *Capsicum annum* L., and *Perilla frutescens* Britton). The pH levels of simulated acid rain ranged pH 3.1, 3.6, 4.1, 4.6, 5.1 and 5.6. The germination with each crop was influenced from simulated acid rain except buckwheat and kale. A general decrease of growth in crops was observed with increasing pH concentrations. The pattern of soluble protein was observed a tendency to decrease from acidic pH gradients. According to acidity, total DNA contents of each crop was showed a definite reduction. In conclusion, plant growth was stimulated decreasingly and the changes of total protein patterns and DNA contents extracted from leaves trended with simulated acid rain was showed seriously.

Key words : Simulated acid rain, Crops, Protein Pattern, Total DNA Content.

### 1. 서 론

20세기에 들어 급속한 공업화는 유해 가스를 배출시켜 산성비(acid rain)라는 재앙의 비를 만들어 지구의 생태계에 물론 인간의 생존까지도 위협하고 있다. 일반적으로 산성비의 원인은 황과 질소의 산화물로 주로 연료의 다량 사용에서 비롯된다(Likens, 1979). 황과 질소화합물이 생기는 원인은 가정 연료, 산업 폐기물, 운송 수단의 배기물 및 세차, 가정 하수와 쓰레기 등 다양하다. pH 5.6이하의 산성비는 1974년 스코틀랜드에서 2.4를 기록한 것을 비롯하여 우리 나라에서도 강산성비가 최근에 자주 강우되고 있다.

산성비가 생태계에 미치는 영향은 토양과 식생에 영양분을 공급한다는 유익한 측면도 있으나(Evans, 1984), 토양 산도를 높이고(Lee and Weber, 1979), 토양 영양분을 세탈시키며(Cronan et al., 1978), 식물체로부터의 영양세탁(Cole and Johnson, 1977) 및 가시적인 피해 유발(Lee et al., 1980), 식물체와 토양 사이의 영양 순환 관계를 교란시키는 유해한 측면도 보고(Cole and Stewart, 1983)되었으며, 식물종간 또는 영양계간에 산성비나 산성 물질에 대한 내성차가 있음이 밝혀지고 있다(Matzner et al., 1986). 보통 대기오염의 영향은 동물보다 식물에서 더욱 민감하게 나타난다고

인식되어 왔다. 산성비는 식물의 생장에도 큰 변화를 주고 식물 군집의 구조도 변화시킬 수 있으며 우리나라에서도 이와 같은 변화가 나타나고 있다. 우리나라에서도 1980년대 이후부터 빗물의 산성도에 대한 많은 조사가 이루어졌는데, 농촌에서는 정상 비가 강우되고 있지만, 대도시에는 이미 산성비가 내리는 경우가 빈번하다. 심지어 중소도시에서도 점차 산성비의 강우가 증가하고 있는 양상을 보인다. 그리고 중국이 공업화가 가속되면서 공업단지에서 많은 양의 대기오염 물질이 배출되고 있으며 이 오염 물질이 기류를 타고 월경하여 한반도로 이동하고 있어 산성비 영향은 더욱 심각해질 것이다.

온도, 습도, 광선, 토양 수분 같은 환경 요인이나 식물의 생육 단계 또, 종간 및 품종간의 개체차로 인한 각 오염 물질에 대한 식물의 감수성과 저항성의 정도가 다르므로 그에 대한 피해 상황도 복잡하다(Kelly and Stickland, 1986). 따라서 수목이나 초본에 대한 그 피해 상황과 연구 결과는 다양하게 보고되고 있다(김재봉 외, 1981, 1985, 1986; 김준호, 1988; 이돈구 외, 1988; 유태철, 1990; 장남기 외, 1990).

본 실험은 우리 주변에서 많이 재배되고 있는 중요 농작물을 재료로 하여 식물이 산성비에 직, 간접으로 노출되었을 경우 산성비가 농작물에 미치는 영향을 조사하

Table 1. The rate of germination according to the simulated acid rain treatments in seven crops (unit:%)

Species	pH treatments						
	Control	5.6	5.1	4.6	4.1	3.6	3.1
<i>D. carota</i>	54.8	66.0	78.0	36.1	42.0	24.1	17.3
<i>B. campestris</i>	31.1	25.3	42.0	60.2	77.3	32.0	22.4
<i>F. esculentum</i>	26.5	56.0	61.5	69.4	82.6	71.0	72.4
<i>R. sativus</i>	35.0	38.0	80.0	63.0	36.0	9.0	10.3
<i>B. alboglabra</i>	24.0	29.0	35.0	50.0	62.0	81.0	74.0
<i>C. annum</i>	62.5	69.0	70.5	66.3	62.0	53.5	40.0
<i>P. frutescens</i>	77.5	74.0	73.5	70.3	67.5	63.0	59.0

Table 2. Simple linear regression for correlation between simulated acid rain and germination of seven crops

SV	DF	SS	Variance	Vx/Vy	F*	t	r**
X	1	4.89	4.89	11.59	2.5706 < 3.4040	0.84	
Y1	5	2.11	0.42				
X	1	0.05	0.05	0.04	2.5706 > 0.1934	-0.09	
Y2	5	6.95	1.39				
X	1	4.09	4.09	7.02	2.5706 < 2.6490	-0.76	
Y3	5	2.91	0.58				
X	1	1.74	1.74	1.66	2.5706 > 1.2871	0.50	
Y4	5	5.26	1.05				
X	1	6.54	6.54	70.72	2.5706 < 8.4093	-0.97	
Y5	5	0.46	0.09				
X	1	4.20	4.20	7.50	2.5706 < 2.7392	0.77	
Y6	5	2.80	0.56				
X	1	6.78	6.78	156.25	2.5706 < 12.5001	0.98	
Y7	5	0.22	0.04				

\*: F<sub>(p = 0.05)</sub> value. \*\*: Coefficient.

SV : Source of variation. DF : Degrees of freedom. SS : Sum of squares

X : pH concentration. Y1 : *D. carota*, Y2 : *B. campestris*, Y3 : *F. esculentum*,Y4 : *R. sativus*, Y5 : *B. alboglabra*, Y6 : *C. annum*, Y7 : *P. frutescens*

고자 하였다. 산성비가 수목 등에 미치는 영향 등 주로 목본이나 식물 생태나 군락 등에 대해 연구가 주로 실행된 반면 우리가 직접 생활하는 채소류는 연구가 거의 전무한 상태이다. 따라서 인공산성비를 처리한 메밀을 비롯한 채소류 6종의 발아율, 성장률, 단백질, 그리고 total DNA 함량 변화를 중심으로 한 작물에 대한 산성비의 영향을 조사하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료

우리 나라에서 흔히 재배되고 있는 중요 농작물을 선정하였는데, 당근(*Daucus carota var. sativa DC.*), 메밀(*Fagopyrum esculentum Moench.*), 배추(*Brassica campestris subsp. *napus* var. *pekinensis* Makino*), 무(*Raphanus sativus L.*), 케일(*Brassica alboglabra Bailey*), 고추(*Capsicum annum L.*), 들깨(*Perilla frutescens Britton*)의 채소류 등을 대기오염에 대해 노출되어 있어 환경 영향에 민감하고, 이를 채소류는 일부 균교농업에서 비닐하우스로 재배하고 있지만 이는 겨울철 보온을 위한 것이지 비를 피하도록 재작되지 않은 것 이므로 이들의 생육과정에서 산성비가 강우될 때 비를 피하기 어렵다고 생각되어 이들을 대상으로 하였다.

*campestris subsp. *napus* var. *pekinensis* Makino*), 무(*Raphanus sativus L.*), 케일(*Brassica alboglabra Bailey*), 고추(*Capsicum annum L.*), 들깨(*Perilla frutescens Britton*)의 채소류 등을 대기오염에 대해 노출되어 있어 환경 영향에 민감하고, 이를 채소류는 일부 균교농업에서 비닐하우스로 재배하고 있지만 이는 겨울철 보온을 위한 것이지 비를 피하도록 재작되지 않은 것 이므로 이들의 생육과정에서 산성비가 강우될 때 비를 피하기 어렵다고 생각되어 이들을 대상으로 하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 발아율

인공 산성비 제조는 김 등(1985)의 방법에 따랐다.

Table 3. The growth-rate of crops according to the treatment of simulated acid rain in 4 weeks after sowing

Species Factor	pH treatments						
	Control	5.6	5.1	4.6	4.1	3.6	3.1
<i>D. carota</i>	total(cm)	14.5	18.5	17.0	13.1	8.5	5.4
	root(cm)	2.3	2.5	2.5	2.1	1.8	1.3
	R/T ratio	0.16	0.14	0.15	0.16	0.21	0.24
<i>B. campestris</i>	total(cm)	18.2	19.6	17.0	17.4	16.0	10.5
	root(cm)	6.2	6.6	5.0	4.4	3.0	0.5
	R/T ratio	0.34	0.34	0.29	0.25	0.19	0.14
<i>R. sativus</i>	total(cm)	20.5	19.3	16.6	14.2	13.6	11.2
	root(cm)	3.5	3.2	3.0	1.8	1.6	1.2
	R/T ratio	0.17	0.17	0.18	0.13	0.12	0.11
<i>F. esculentum</i>	total(cm)	42.1	44.0	35.0	24.7	24.2	16.7
	root(cm)	6.8	6.2	4.7	2.6	2.5	1.2
	R/T ratio	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.07
<i>B. alboglabra</i>	total(cm)	7.7	8.0	8.8	10.2	11.2	14.4
	root(cm)	0.7	0.8	1.0	1.2	1.2	1.4
	R/T ratio	0.09	0.10	0.11	0.12	0.11	0.11
<i>C. annuum</i>	total(cm)	57.7	58.2	60.5	59.2	57.1	53.3
	root(cm)	5.3	5.3	5.5	5.4	5.2	4.9
	R/T ratio	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
<i>P. frutescens</i>	total(cm)	49.7	52.3	46.4	42.5	40.2	35.1
	root(cm)	4.6	4.6	4.4	4.1	4.1	3.8
	R/T ratio	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11

즉, 황산( $H_2SO_4$ )과 질산( $HNO_3$ )을 3 : 1로 섞어 pH 5.6, 5.1, 4.6, 4.1, 3.6 그리고 3.1로 인공 산성비를 제조하였다. 대조군은 수도물(pH 6.1)을 사용하였으나 수도물의 pH가 일정하지 않을 때는 pH를 보정하였다. 각 농작물의 총자를 50립씩 색알레에 넣고 그룹별 산성비를 처리하여 항온기에서  $20\pm1^{\circ}\text{C}$ 로 유지하여 매일 발아 정도를 확인하였다. 농작물마다 발아에 필요한 시일의 차이가 있음으로 동일 작물 중 가장 높은 그룹의 발아율이 50% 이상 되었을 때 50립 중 발아율을 산출하였으며 3회 반복실험의 평균치를 구하였다. 발아율의 조사가 이루어진 작물을 vermiculite를 넣은 화분에 이식하고 매주 성장률을 조사하였다. 일반적인 통계처리는 Zar (1984)의 방법에 따랐다.

## 2.2.2 생장량

$20\pm1^{\circ}\text{C}$  조건 하에서 정상 발아시킨 유아를 화분에 이식하고 성장 1주일 후 40개체를 취하여 발아개체와 비교한 개체의 평균 무게종자를 조사하였으며 4주까지의 무게변화를 주단위로 조사하였다. 4주 성장한 식물의 본엽 2~3장을 취하여 단백질 분석자료로 사용하였다.

## 2.2.3 단백질 변화

단백질의 분석은 Laemmli에 의한 방법(1970)을 변형하여 실시하였다. 시료의 추출은 시료에 grinding buffer(50mM Tris-HCl, 0.1M NaCl, 0.1mM EDTA, pH 7.8)를 주입하여 마쇄한 다음 15,000rpm으로 30분간 원심분리시켜 상정액을 취하는 방법으로 2회 실시하였다. 최종의 상정액을 취하여 동량의 sample extraction buffer를 넣고 100°C에서 1~2분간 중탕한 후 소량의 bromophenol blue를 tracking marker로 주입한 다음 젤에 각각 50ul씩 주입하였다. resolving gel은 13% acrylamide를, stacking gel은 4% acrylamide를 사용하였다. 이들은 각각 70V와 100V에서 vertical slab gel apparatus로 전기영동시켰다. 전기영동 후에 젤은 0.1% commassie brilliant blue R250으로 3시간 동안 shaking과 더불어 염색시켰고 다시 동시간 이상으로 destaining solution (30% methanol, 10% acetic acid)으로 탈색시켰다. 탈색된 젤은 570nm에서 농도측정기로 scanning하였다. 전기영동으로 분리된 각 단백질의 band들의 분자량 측정을 위하여 BSA(bovine serum albumin, 68000 dalton), ovalbumin(43,000 dalton), carbonic anhydrase(29,000 dalton), lysozyme(14,300 dalton)과 ribonuclease(13,000 dalton)을 표준단백질로 사용하였다.

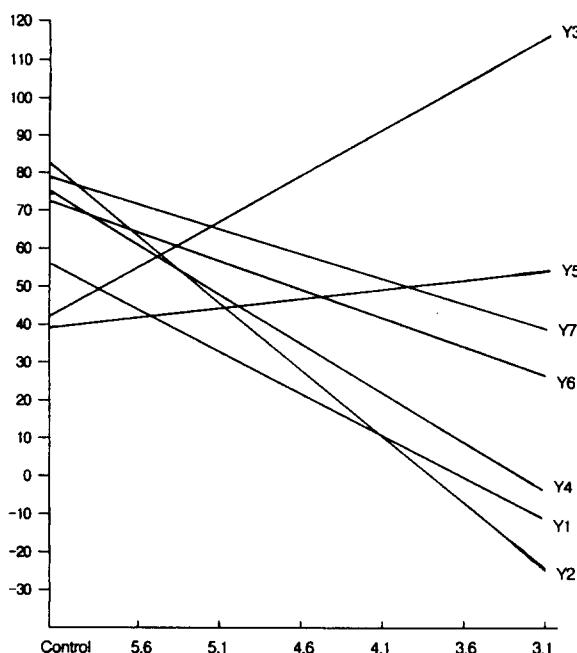


Fig. 1. The regression lines of the rate of germination with each crop.

$Y_1 = 16.5929X - 30.8557$ , *D. carota*;  $Y_2 = -1.6143X - 48.8971$ , *B. campestris*;  $Y_3 = -11.3429X + 110.6629$ , *F. esculentum*;  $Y_4 = 12.5786X - 19.1043$ , *R. sativus*;  $Y_5 = -4.6800X + 90.5680$ , *B. alboglabra*;  $Y_6 = 7.6429X + 25.3857$ , *C. annuum*;  $Y_7 = 5.9643X + 41.8214$ , *P. frutescens*

#### 2.2.4 Total DNA 함량

DNA 함량은 Tsunewaki(1989, 1990)의 방법에 따랐다. 각 농도별로 처리한 그룹의 일 1g(대조군)의 DNA 함량이 약 100ug 되도록 하기 위하여 각 종에 따라 가감을 액체질소를 첨가하여 마쇄하고 추출 buffer(0.1M Tris-HCl, 0.5M NaCl, 500mM EDTA, 100ml mercaptoethanol, pH 8.0) 50ml을 가하였다. 500ul SDS 수용액(10% w/v)을 가하여 섞고 65°C, 30분간 처리한 후 다시 1.4ml 초산칼륨수용액(5M acetic acid, 3M CH<sub>3</sub>COOK, pH 4.8)을 가하여 섞고 10분간 저온 정차시켰다. 16,000rpm으로 10분간 원심분리후 상정액을 tube에 취한 후, 그 양의 2.5배에 해당하는 99.5% 알코올을 가하여 천천히 혼합하였다. 석출물을 피펫으로 취한 후 70% 알코올로 2회 세척한 후 TE buffer(10mM Tris-HCl, 1mM EDTA) 500ul, 60°C에 용해시켰다. 5ug RNase(10mg/ml)를 가해 37°C, 1시간 실온에 두었다. DNA 정량은 Calf thymus DNA stock solution을 이용하는 fluorometer(TKO Hoefer Scientific Ins.)로 측정하였다.

#### 3. 결과

##### 3.1 발아율

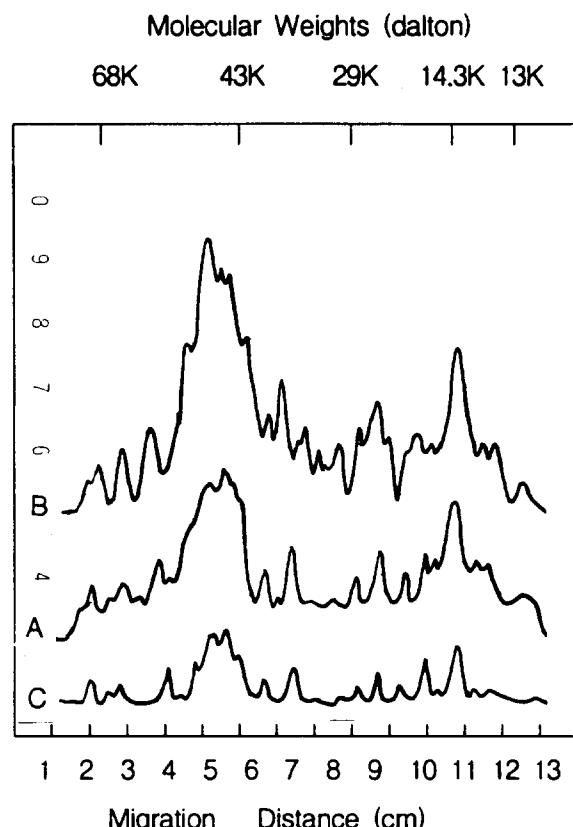


Fig. 2. The protein patterns of *Daucus carota* to simulated acid rain.

A: control, B: 5.6, C: pH 3.1

사알레를 이용하여 파종한 50개체당 그룹별 50% 이상 발아했을 때 발아율을 조사하였다. 배추는 파종 이틀 만에 발아하는 반면, 메밀이나 당근은 4일 이상 소요되는 것도 있음으로 발아 시기는 표시하지 아니하였다. 이들의 %로 환산한 결과는 Table 1과 같다. 당근의 경우는 산성도 5.1에서 가장 높은 발아율을 보인 반면(78.0%), pH 3.1에서는 가장 발아율이 낮았다(17.3%). 배추의 경우는 pH 4.1에서 가장 높은 발아율(60.2%)을 보였으며(77.3%), pH 3.1에서 가장 낮은 발아율(22.4%)을 보였다. 무의 경우는 pH 4.1에서 가장 높은 발아율(82.6%)을 나타내었다. 메밀의 경우도 산성도 4.1에서 가장 높은 발아율(82.2%)을 보였으며 대조군에서 가장 낮은 발아율(26.5%)을 보였다. 따라서 메밀의 경우에는 산성비가 발아촉진을 유발하였다. 케일의 경우는 pH 3.6에서 가장 높은 발아율(81.0%)을 보였다. 메밀과 더불어 산성도가 높을수록 오히려 높은 발아율을 보여 다른 작물과 대조적으로 나타났다. Table 2는 산성비와 발아율과의 회귀검정을 나타낸 것이다. pH 6.1까지 포함했을 때 십자화과에 속하는 배추와 무는 산성도와 발아하는 양의 상관관계가 없지만, 나머지 작물은 상관관계가 있었다. 따라서 산성비가 일부 작물의 발아시기부터 저해를 일으키는 것으로 나타났다.

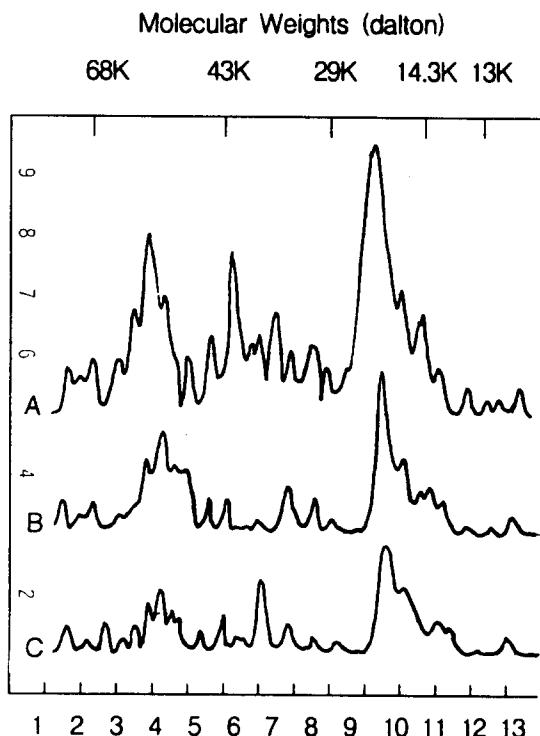


Fig. 3. The protein patterns of *Brassica campestris* to simulated acid rain.  
A: control, B: 5.6, C: pH 3.1

### 3.2 생장량 변화

파종 4주 후의 식물의 성장 상태는 Table 3에 나타내었다. 당근의 경우 pH가 낮을수록 식물체의 성장속도가 둔하였다. 그 비율은 pH 3.1의 경우에는 대조군에 비해 44.8%로 나타났다. 또, root/total plant의 비는 pH가 낮아짐에 따라 큰 변화는 없었다. 배추의 경우도 당근과 마찬가지로 pH가 낮아짐에 따라 식물체의 길이가 작아지고 있는데, pH 3.1의 경우에는 대조군의 53.8%로 나타났다. 또 전체 길이에 대한 뿌리길이의 비는 pH가 낮아짐에 따라 작아지는 것으로 나타나 산성비가 상대적으로 뿌리의 생장을 더욱 억제하는 것으로 나타났다. 무의 경우도 당근과 마찬가지로 pH가 낮아짐에 따라 식물체의 길이가 작아지고 있는데, pH 3.1의 경우에는 대조군의 58.5%로 나타났다. 또 전체 길이에 대한 뿌리 길이의 비는 pH가 낮아짐에 따라 작아지는 것으로 나타나 산성비가 상대적으로 뿌리의 생장을 더욱 억제하는 것으로 나타났다. 메밀의 경우도 pH가 낮아짐에 따라 식물체의 길이가 작아지고 있는데, pH 3.1의 경우에는 대조군의 50.0%정도로 나타났다. 또 전체 길이에 대한 뿌리 길이의 비는 pH가 낮아짐에 따라 28.7%가 억제되는 것으로 나타났다. 케일의 경우에는 pH가 증가함에 따라 식물체의 길이가 증가하고 있으며, 또 전체 길이에 대한 뿌리 길이의 비는 pH가 낮아짐에 따라 큰 변화를 보이지 않았다. 고추와 들깨의 경우도 유사한 양상을 나타내

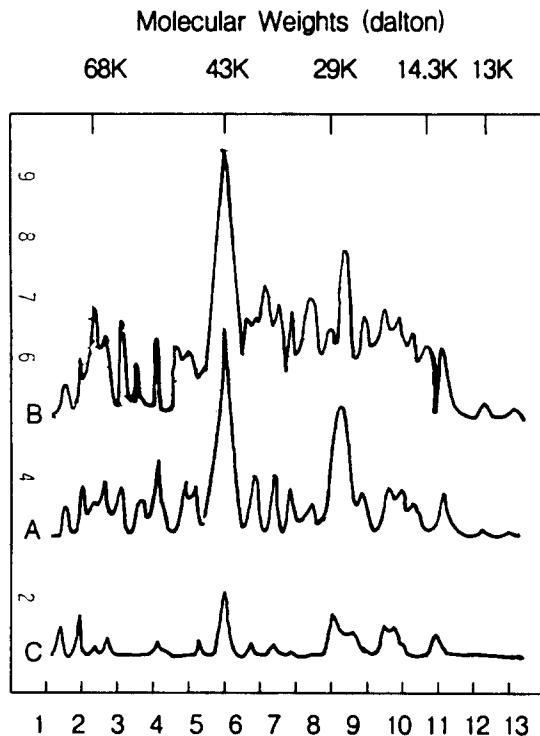


Fig. 4. The protein patterns of *Fagopyrum esculentum* to simulated acid rain.  
A: control, B: 5.6, C: pH 3.1

었다. 케일을 제외하고는 하부의 성장 저해가 상부보다 먼저 발생하고 연이어 상부의 저해가 일어나 중량의 감소를 가져왔다.

### 3.3 단백질 양상

작물에 산성비 처리를 했을 때 단백질 양상은 Fig. 1~7과 같다. pH 농도별 단백질 양상을 농도측정기로 구하였지만 대조군과 pH 5.6, pH 3.1의 세 그룹의 양상만 나타내었다. Fig. 1은 당근의 단백질 양상을 나타낸 것으로 대조군과 밴드의 수와 peak가 가장 높은 pH 5.6, 그리고 밴드의 수와 peak가 가장 낮은 pH 3.1에서의 결과이다. pH 5.6에서 밴드의 수는 25개로 나타난 반면 pH 3.1에서는 29,000~43,000 dalton의 단백질 밴드가 소실되었고, 약 20개의 밴드만 나타났다. 배추의 대조군에서 밴드의 수는 23개로 나타난 반면 pH 5.1에서는 29 kirodalton(Kd)주변의 단백질 양이 현저히 줄어들었다. pH 3.1에서는 68 Kd와 24 Kd의 단백질 밴드가 현저히 낮아졌다(Fig. 2). 메밀에 있어서는 대조군의 26개의 밴드수에 비해 pH 3.1에서 15개로 42.3%(15/26)가 감소했다(Fig. 3). 무는 대조군에서 가장 높은 peak를 이루지만 pH 5.6과 유사하였다(Fig. 5). pH 3.1에서는 29 Kd에서는 감소가 일어나지 않았지만 그 외 단백질은 감소가 발생했다. 케일에 있어서는 밴드의 수는 대조군이나 pH 5.6~pH 3.1에서 큰 변화가 없었다

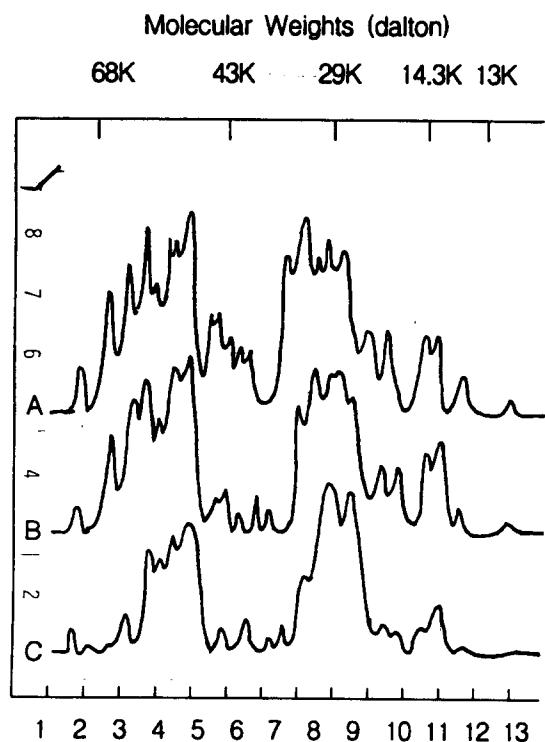


Fig. 5. The protein patterns of *Raphanus sativus* to simulated acid rain.  
A: control, B: 5.6, C: pH 3.1

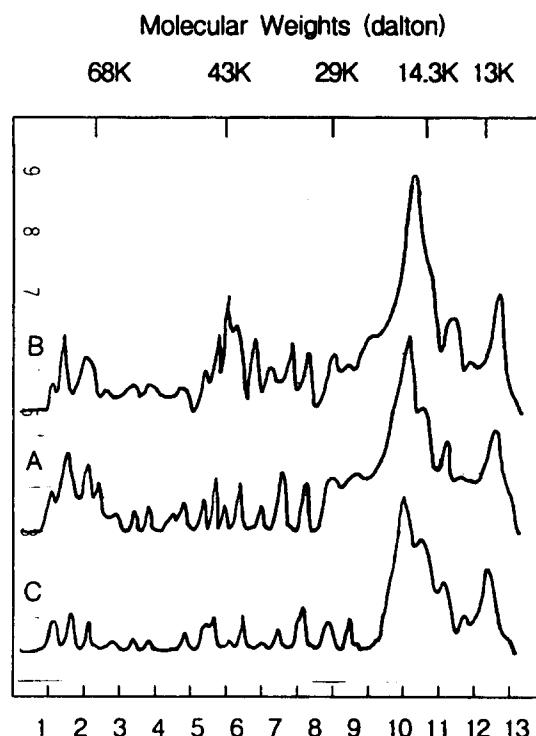


Fig. 6. The analysis of kale by acid rain.  
A: control, B: 5.6, C: pH 3.1

Table 4. Changes of total DNA content (ug) according to the treatment of simulated acid rain in seven crops

Species	pH treatments						
	Control	5.6	5.1	4.6	4.1	3.6	3.1
<i>D. carota</i>	120 (3.1)	118 (3.0)	115 (2.9)	116 (4.0)	113 (1.2)	108 (1.3)	100 (2.0)
<i>B. campestris</i>	122 (3.3)	125 (2.5)	123 (2.1)	120 (1.1)	115 (1.0)	110 (1.3)	101 (2.4)
<i>R. sativus</i>	136 (3.0)	135 (2.1)	130 (0.1)	131 (0.7)	126 (1.7)	120 (1.0)	113 (2.5)
<i>F. esculentum</i>	143 (2.2)	146 (2.8)	146 (4.0)	144 (5.2)	140 (2.3)	136 (1.2)	129 (3.0)
<i>B. alboglabra</i>	92 (3.1)	95 (1.8)	99 (1.6)	97 (1.5)	95 (2.5)	91 (2.5)	84 (1.4)
<i>C. annuum</i>	107 (2.6)	106 (1.5)	106 (1.4)	104 (3.4)	101 (2.6)	89 (1.2)	101 (2.0)
<i>P. frutescens</i>	121 (0.1)	120 (2.2)	117 (2.3)	115 (2.0)	110 (1.7)	104 (1.7)	92 (2.1)

\* ( ) : Standard deviation.

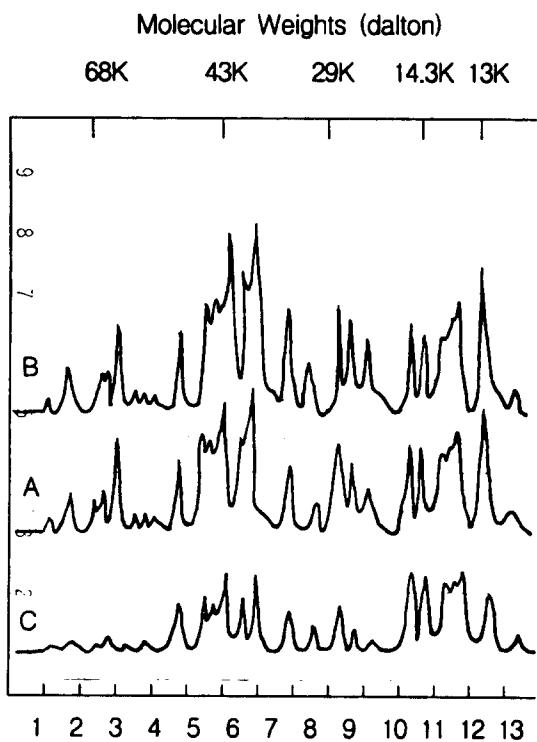


Fig. 7. The protein patterns of *Capsicum annuum* to simulated acid rain.  
A: control, B: 5.6, C: pH 3.1

(Fig. 5). 따라서 캐일은 발아와 더불어 산성비에 대해 큰 영향을 나타내지 않았다. 고추에 있어서는 고분자량 (68 Kd)의 감소가 현저하였으며 그 다음은 중간정도의 분자량에서 약간 감소하였지만, 저분자량에서는 거의 영향을 받지 않았다(Fig. 6). 들깨에 있어서는 pH 5.6에서부터 pH가 낮아질수록 단백질 밴드 peak가 점차 낮아졌다(Fig. 7).

#### 3.4 Total DNA 함량

잎 1g당 약 100~150ug의 total DNA함량을 보였다 (Table 4). 고추와 들깨의 경우는 pH 3.6과 3.1에서 84~95ug이었으며 캐일의 경우는 대조군부터 100ug 이하였다. 단백질 양상과 감소되는 과정은 유사하지만 그 기준이 되는 농도는 약간의 차이가 있었다. 단백질 양상 대부분 작물은 pH처리시 약간 상승하다가 감소하지만 DNA함량에 있어서는 캐일을 제외하고는 pH 5.

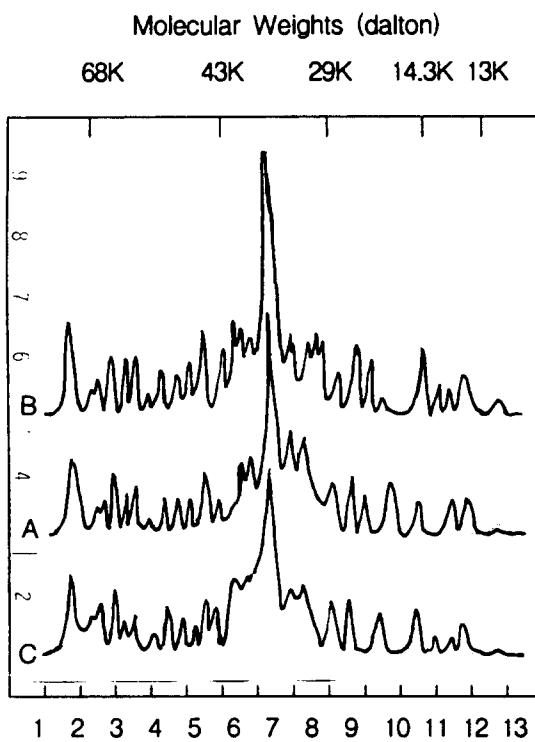


Fig. 8. The protein patterns of *Perilla frutescens* by acid rain.  
A: control, B: 5.6, C: pH 3.1

6처리시부터 감소가 있었다. 또한 산성도 증가에 따른 단백질 양상에서의 급격한 감소와는 달리 DNA함량에서는 감소의 폭이 크지 않았다.

#### 4. 고 칠

대기오염을 판정하는 방법의 하나로 초기의 선택류에 이어 최근 수목 등 각종 생물을 이용하는 연구가 진행되고 있다. 대기오염의 2차 지표로 작용되는 식물체의 잎 중에 수용성 질소 화합물, 황화합물은 대기 오염도와 상관관계가 있음이 지적되었다(Akio, 1980). 소나무의 경우, 황화합물 축적 속도는 빠른 반면 황화합물 축적량은 오히려 적으며, 저농도일 때는 빨리 축적된다.

지상부와 지하부의 성장에는 측정한 전조 중량비로 산출한 결과(Table 3) 하부가 먼저 영향을 받고 지상부가 뒤이어 영향을 받는 것을 알 수 있다. 이는 다음과 같은 결과로 해석된다. 즉, 식물은 일반적으로 환경이 불

Table 5. Depth distribution of pH after application of simulated acid

Depth	pH treatments						
	Control	5.6	5.1	4.6	4.1	3.6	3.1
10cm	6.4	6.4	6.0	6.1	5.7	5.1	4.8
20cm	6.2	6.3	5.9	5.8	5.4	4.7	4.6

리할수록 지하부에 많은 에너지를 할애하며, 일년생 식물은 대개 지하부보다는 지상부에 더 많은 에너지를 할애하는 것으로 사료된다(Berendse, 1981). 따라서 지하부와 지상부의 비율은 종의 생육 특성뿐만 아니라 환경 조건에 따라서도 달라진다. 본 연구에서 특정 농도의 산성비를 강우했을 때 토양도 같은 농도의 산성도를 유지하는지의 여부를 조사한 결과 뚜렷한 차이가 없었다(Table 5). 또한 토양 깊이에 따라서도 큰 차이가 없었음으로 토양세탈이 심하게 이루어져 심토가 표토로 대체되거나, 경사지일 경우 고지대의 토양이 침식 및 운반되어 새로운 표토로 대체 되지 않는 한 지상에 강우되는 산성도가 그대로 작물과 토양에 직접 영향을 주게 된다. 더욱이 작물의 경우는 보통 전답에서 생육됨으로 대개 평지일 경우가 많으므로 보다 직접적인 영향을 받는다.

발아율에 있어서 메밀이나 케일에 있어서는 pH 4.1이나 pH 3.6 등에서 발아가 상승하는 경향이 있어 이는 산성비가 오히려 휴면타파를 일으키는 한 요인으로 작용할 수 있다. 메밀의 경우는 종피가 대단히 두껍고 조직이 치밀하여 수분 침투가 느린 것이 한 요인일 것이다. 또, 본 실험은 토양에서 발아율을 조사한 것이 아니라 샤알레에 종자를 침적한 상태로 볼 수 있으므로 어느 정도 오차는 감안해야 할 것으로 사료된다.

산성비에 대한 생장량과 단백질의 변화양상은 들깨의 경우에서도 관찰된다. 들깨에서는 가시적인 반점의 피해가 기계 못지 않은 정확도를 가지고 있고, 효소에서의 변화도 보고된 바 있다(허외, 1996). 작물이 산성비에 대한 유익한 지표 식물의 정보 제공자로 인식될 수 있음을 시사한다.

단백질의 변화는 동물(민물새우)에 있어서도 밴드의 수와 peak의 높이에서 변화가 있다는 보고(허와 허, 1994)와 본 연구에서 산성도가 증가할수록 밴드의 수와 peak의 높이가 감소하므로 아마 리보소ーム의 기능 저해 또는 세포수 전체의 감소와도 관련이 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 DNA함량 측정은 오차가 크게 나타났다. 이는 기기적 오차와 실험적 오차가 병합된 것으로 사료되며, 특히 반복하는 기간이 길면 잎액 등의 무게가 많아져 DNA함량이 적게 나타나는 오차를 보였다. 이런 편차에도 불구하고 동일 작물에 있어서 산성도 처리 그룹간의 차이는 비교 가능하였다. 또한, 산성도가 증가함에 따라 DNA함량 감소보다는 단백질 감소가, 단백질 감소보다는 생장양의 변화가 크게 나타났다. 앞으로 세포당 DNA정량을 실시하는 등 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 1996년도 부산대학교 기성회 학술연구조성비 지원에 의하여 부산대학교 기초과학연구소에서 수행되었습니다(과제번호: RIBS-PNU-96-406). 또한 DNA추출을 위해 일본 경도대학 농림생물학과의 유전학Lab.과 DNA함량측정을 위해 류태형 교수님의 Lab.과 이춘환 교수님 Lab.의 도움에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- 김재봉, 배정오, 고강석, 김정규, 1981, 지표생물을 이용한 서울주변 환경오염 조사 연구보, 국립환경연구소보, 3, 227~238.
- 김재봉, 배정오, 고강석, 김정규, 1986, 대기오염이 식물체에 미치는 영향에 관한 실험적 연구(III), 국립환경연구보, 8, 31~349.
- 김재봉, 배정오, 고강석, 김정규, 박재주, 지준성, 1985, 대기오염이 식물체에 미치는 영향에 관한 실험적 연구(I), 국립환경연구보, 7, 353~370.
- 김준호, 1988, 산성비의 실태와 인간생활에 미치는 영향, 자연보존, 59, 19~23.
- 유태철, 1990, 인공산성 빗물의 산도에 따른 토양과 식물로부터 이온 세탈량의 변화, 서울대학교 대학원 석사학위 청구논문.
- 이돈구, 김갑태, 1988, 인공산성우가 몇 수종의 종자발아와 묘목생장에 미치는 영향, 서울대학교 농학보, 11, 별책.
- 장남기, 이윤상, 신은영, 1990, 서울지역의 대기오염이 강수와 생물에 미치는 영향, 한국생태학회지, 131~142.
- 허만규, 허홍욱, 1994, 인공산성비가 민물새우의 형태 및 단백질합성에 미치는 영향, 환경문제연구보, 12, 81~86.
- 허만규, 서강태, 허홍욱, 1996, 인공산성비가 들깨의 생장 및 효소에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 5, 171~178.
- Akio, F., 1980, The effect of So<sub>2</sub> on net photosynthesis in sunflower leaf, Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud., 11, 1~8.
- Berendse, F., 1981, Competition between plant populations with different rooting depths, II Pot experiments, Ecology, 45, 334~341.
- Cole, D.W. and D.W. Johnson, 1977, Atmospheric sulfate additions and cation leaching in a douglas-fir ecosystem, Water Resource Research, 13, 313~317.
- Cole, C.V. and J.W.B. Stewart, 1983, Impact of acid deposition on P cycling, Environ. Exp. Bot. 23, 235~241.
- Cronan, C.S., R.C. Reynolds, and G.E. Lang, 1978, Forest floor leaching: Contributions from mineral, organic and carbonic acids in New Hampshire subalpine forests, Science, 200, 309~311.
- Evans, L.S., 1984, Botanical aspects of acidic precipitation, Bot. Rev., 50, 449~490.
- Kelly, J.M. and R.C. Stickland, 1986, Throughfall and plant nutrient concentration response to simulated acid rain treatment, Water, Air, and Soil Pollution, 29, 21~231.
- Laemmli, U.K., 1970, Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T<sub>4</sub>, Nature, London.

## 인공 산성비가 중요 농작물의 생육에 미치는 영향

- Lee, J.J. and D.E. Weber, 1979, The effect of simulated acid rain on seedling emergence and growth of eleven woody species, *Forest Sci.*, 25, 393~398.
- Lee, J.J., G.E. Neely, and S.C. Perrigan, 1980, Sulfuric acid rain effects on crop yield and foliar injury, *Environ. Res. Lab.*, EPA-600/3-80-016, 20pp.
- Likens, G.E., 1979, Acid rain, *Scientific American*, 241, 39~47.
- Matzner, E., D. Murach, and H. Fortann, 1986, Soil acidity and its relationship to root growth in declining forest stands in Germany, *Water, Air, and Soil Pollution*, 31, 273~282.
- Tsunewaki, K., 1989, Plasmon diversity in *Tritium* and *Aeglops* and its implication in wheat evolution, *Genome*, 31, 143~154.
- Tsunewaki, K., T. Terachi, Y.G. Liu, and N. Mori, 1990, Wheat evolution revealed by the nuclear and organellar DNA analyses, *J. Genet. Mol. Biol.*, 1, 8~96.
- Zar, J.H., 1984, *Biostatistical Analysis*, Second Edition, Prentice-Hall Inc., 306~326pp.