Korean J. Environ. Agric.
Vol. 15. No. 2. June 1996

고추의 발아 및 역병 발생에 미치는 인공산성비의 영향

차병진*

Effect of Simulated Acid Rain Treatment on the Germination Rate and the *Phytophthora* Rot of *Capsicum annum*

Byeongjin Cha*

Abstract

Simulated acid rain(SAR) treatment caused a lethal effect on the newly germinated seedlings of *Capsicum annum* cv. Komyung even though the germination rate of the seeds was stimulated by the treatment of SAR. Young germinated seedlings were much more sensitive to SAR than the already-grown seedlings. The typical symptom caused by SAR was white spot or lesion on the leaf and appeared readily and severely at the low pH of SAR. Generally, *Phytophthora* rot was severer in SAR treatments than in control. However, the disease was less severe in lower pH of the SAR treatment than in higher pH. Pathogen inoculation following the SAR treatment increased the disease. The severest *Phytophthora* rot was observed in the SAR treatment of pH 4.0 or 4.5 regardless of the inoculation time.

Key words : simulated acid rain, *Capsicum annum,* Phytophthora rot, germination rate

* 충북대학교 농과대학 농생물학과(Dept. of Agricultural Biology. Chungbuk National University, Cheongju 361－763, Korea)

* 본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구 지원 연구비에 의하여 수행되었음(과제번호 941-0600-004-1)

서 론

정상적인 대기상태에서도 CO_2와 H_2O가 반응하여 만들어진 H_2CO_3때문에 pH 5.6 정도의 약산성 비가 내리지만, 오염된 대기중에 존재하는 SO_x, NO_x 등은 대기 중에서 황산(H_2SO_4) 및 질산(HNO_3)으로 바뀌어 빗물의 pH를 더욱 저하시켜, 우리가 흔히 일컫는 산성비가 내리게 된다[1]. 이러한 산성비는 급성으로 작용할 경우 식물의 생존 자체를 불가능하게 하는데, 다행히 만성으로 작용한다 하여도 식물의 생육을 위협하는 심각한 stress 요인이 되기도 한다[2].

1960년대에 이르러 생태계에 대한 산성비의 위해가 심각하게 제기된 이후로 선진제국의 여러 학자들이 식물체에 미치는 산성비의 영향에 대하여 연구하여 왔는데, 산성비에 대한 식물의 반응은 토양, 식물의 종류, 강우량, 강우횟수, 산성비 중의 N과 S의 비율 등에 따라 일정치 않았다[3,4].

산성비는 경우에 따라서는 식물체에 엽면시비 효과와 토양양분의 공급이라는 긍정적인 면도 있으나, 종합적으로 볼 때 식물체에 막대한 피해를 주는 것으로 의견이 집약되고 있다[5,6,7]. 그 증거로서, 산성비는 잎 표면의 왁스층을 침식하며, 잎에서 calcium을 과다하게 세탈하는 등 식물체에 직접적인 해를 끼치기도 하고[8], 식물체의 외부 요인들에 대한 저항성을 낮추기도 하며[9], 토양의 aluminium을 용출[10,11]시키고 비옥도를 떨어뜨린다[12]는 사실 등을 들 수 있다.

하지만 지금까지의 연구는 주로 수목에 관한 것들[13,14,15]이었으며, 작물에 미치는 영향[16,17]이 일부, 그리고 식물과 균류의 공생체인 균근의 생장을 촉진 또는 억제[18,19]한다는 보고가 약간 있을 뿐이다. 환경오염과 식물의 병 발생에 관한 것[20]이 몇 편 있기는 하지만 이들도 모두 산성비가 아니라 기체 상태 대기오염물질의 영향을 조사한 것들이다.

우리나라도 외국의 경우와 마찬가지로 산성비에 관한 연구들은 대부분 나무에 국한[6,21,22]되어 있으며, 작물에 대한 연구[7,23]는 그리 많지 않다. 더구나, 작물에 대한 연구들도 특정작물의 생육 또는 식물의 형태적 변화[7,24,25]에 관한 것들 뿐, 식물에 발생하는 병과 산성비와의 관계를 조사한 것은 없는 실정이다.

한편, 고추역병은 잎, 줄기 열매를 가리지 않고 침입하여, 이에 감염되면 식물체가 제대로 자라지 못하여 열매를 많이 맺지를 못하거나, 또는 열매를 맺는다 하여도 열매에 나타난 병징으로 인하여 더 이상 이용할 수 없게 된다. 더구나 이 병은 매우 쉽게 번져나가며, 한번 감염이 시작되면 완치하기까지에는 매우 많은 노력이 들기 때문에 고추농사의 성패를 좌우하는 요인이라고까지 일컬어진다.

역병의 병원체인 *Phytophthora capsici*는 흙속에 존재하면서 식물체를 감염하는 곰팡이로서, 그 생존과 기주식물로의 침입에 있어서 토양환경의 영향을 받는다. 그러므로, 산성비가 식물체, 또는 식물이 자라고 있는 토양의 성질에 영향을 미치면 그 영향은 결국 역병균의 침입에 대한 식물체의 저항성, 또는 역병균 자체에도 어떠한 영향을 미칠 가능성이 있다. 산성비는 일반적으로 약산성인 경우에는 식물체의 생존에는 큰 영향을 미치지는 않는 수준에서 식물체의 생육을 저해한다고 알려져 있다. 대개, 생육에 지장을 받은 식물체는 식물체의 생육에 부적당한 환경인자 또는 병원체에 대한 저항성을 제대로 발현하지 못하며, 따라서 주변환경의 조그마한 변화나 그다지 병원성이 높지 않은 병원체의 침입에도 쉽게 굴복하여, 병에 걸릴 확률이 상당히 높아지게 되며, 더욱이 일단 병이 발생하면 대규모로 번지기 쉽다.

따라서, 본 연구에서는 고추역병 곰팡이의 기주인 고추(*Capsicum annum*)에 다양한 pH의 산성비를 처리하여 생육에 미치는 영향과 아울러 산성비 처리에 따른 고추 역병의 발생량 변화를 조사하여, 산성비 및 역병의 복합효과가 고추의 생육에 미치는 영향을 알아보았다.

재료 및 방법

1. 식물 및 토양

산성비를 처리할 식물로는 농가에서 많이 재배하고

있는 고명고추(*Capsicum annum* var. Komyung)를 정하였다. 씨앗은 시중의 종묘상에서 구입하였으며, 씨앗을 묘상에 파종한 뒤, 발아한 고추묘가 3-4엽기에 이르렀을 때 재배상에 정식하여 재배하였다. 재배상으로는 가로, 세로, 깊이가 각각 50, 30, 20cm인 폴리에틸렌 화분을 사용하였으며, 재배상 하나 당 고추묘 6개체씩을 심었다. 고추 재배에 사용한 토양은 충북 청주시 소재 충북대학교 연습농장의 흙(사양토+마사토)을 peat moss, vermiculite 등과 2 : 1 : 1(v/v)로 섞어서 조제하였다.

고추묘들은 파종시부터 실험처리 개시 직전까지 수도물로 수분공급을 하였다. 또한, 외부로부터의 영향, 특히 자연 빗물의 영향과 실험처리 이외의 인자에 의한 병해충의 감염을 배제하기 위하여 지붕과 옆면 상단부가 폴리에틸렌 필름으로 가리워지고 옆면 하단부는 진딧물 방충망으로 둘러 쳐져 외부의 영향으로 부터 차단된 비닐하우스 안에서 이 고추묘들을 재배하였다. 인공산성비 처리가 시작된 뒤에는 식물에 대한 수분공급은 언제나 그 처리에 맞는 인공빗물의 처리로 해결하였다. 처리에 관계없이 모든 식물체에 일주일에 한번씩 원예용 비료를 관행에 따라 시비하였다.

재배상의 고추가 8엽기 정도에 이르렀을 때부터 처리를 시작하였는데, 고추 재배상 18개에는 인공산성비만을 처리하였으며, 다른 18개에는 고추 역병균 접종 하루 뒤에 인공산성비를 처리를 시작하였다. 또 다른 18 재배상에는 인공산성비의 처리기간 중에 고추 역병균을 접종하였다.

한편, 고추묘를 재배하는 것과 같은 크기의 재배상에 한 재배상 당 100립씩의 고추씨를 파종한 뒤 여러 pH 수준의 인공산성비를 하루에 한번씩 처리하였으며, 각 재배상마다 싹이 터서 올라오는 개체의 수를 날마다 점검하였다.

2. 인공산성비

자연상태에서 내리는 산성비와 유사한 인공산성비를 조제하기 위하여, 산성비의 대표적인 성분인 황산(H_2SO_4)과 질산(HNO_3)을 2 : 1(v/v)의 비율로 섞은 용액을 수도물에 희석하는 방법[5]으로 pH가 각각 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5인 인공 빗물을 만들었다. 대조구로 사용할 인공 빗물로는 정상적인 자연빗물의 pH와 비슷한 수준을 유지하도록, 위 혼합용액으로 수도물의 pH를 6.0으로 조정한 물을 사용하였다. 보관상태에 따른 인공빗물의 오차를 줄이기 위하여 인공 빗물은 매 처리때마다 조제하여 바로 처리하였으며, 인공 빗물의 pH의 측정에는 휴대용 pH측정기(Hanna Instrument Co., Model HI8314)를 사용하였다.

각 pH의 빗물로 9재배상씩(병원균 처리당 3재배상씩)을 처리하였는데, 인공산성비가 식물체와 접촉하는 시간을 길게하기 위하여 물방울의 지름이 약 0.5mm 정도로 분무되는 반자동식 분무기를 사용하였으며, 각 처리에 맞는 pH의 인공산성비를 공시 식물의 약 50 cm 위에서 식물체에 골고루 뿌려주었다. 빗물은 30일 동안 매일 처리하였는데, 날마다 아침과 저녁에 각 한 번씩 하루 두번 처리하였으며, 처리량은 고추가 자라고 있는 한 재배상 당 매회 1000ml씩 이었다. 인공산성비를 1회 처리하는데 걸리는 시간은 각 재배상 당 약 3분 정도였다.

3. 고추 역병균

고추묘에 접종한 역병균(*Phytophthora capsici*)은 전년도에 역병이 자연발생한 충북 청원군 및 진천군의 고추밭에서 채집한 고추로부터 분리하여 충북대학교 농생물학과 식물병리실험실에서 보관하여 온 것을 사용하였다. 접종원은 고추에 접종하기 약 1주일 전에 호박에 칼로 상처를 내고 보관균주를 접종하여 습실처리를 하여, 호박의 표면에 충분한 양의 유주자낭이 만들어지면 표면을 살균수로 씻어내어 현탁액을 만들었으며, hematocytometer로 유주자낭의 수를 관찰하여서 그 밀도가 약 10^6/ml이 되도록 살균수를 첨가하여 조절하였다.

한 재배상 당 현탁액 100ml씩을 각 고추묘의 뿌리 주변 흙에 섞어 주는 방법으로 유주자낭을 접종하였는데, 고추재배상 중 18개에는 인공산성비 처리 개시 바로 전날 접종하였으며, 또 다른 18개의 재배상에는

인공산성비 처리 개시 후 15일째 오전 11시경에 현탁액을 접종하였다. 접종한 재배상은 표면의 흙이 마르지 않도록 유지하였다.

4. 식물의 가시피해 및 토양의 pH 조사

인공산성비 처리를 시작한 직후부터 처리가 끝날 때까지 병원체 또는 해충에 의한 것을 제외하고 식물체의 잎과 줄기에 나타나는 비정상적인 피해증상의 종류와 정도를 하루에 한번씩 육안으로 조사하였다.

5. 역병발생률 조사

역병균을 접종한 직후부터 하루에 한번씩 고추묘에 나타나는 역병증상을 관찰하였는데, 주로 고추묘의 땅가 부분 줄기와 아랫잎을 중심으로 변색이 나타나는지 여부와 시드는 현상을 조사하였다. 증상이 나타나기 시작하는 고추묘는 무작위로 몇그루 선발하여 역병균의 재분리를 시도하여, 그 증상이 역병균에 의한 것임을 확인하였다.

한편, 역병을 접종한 각각의 식물체에 대하여 병의 발생정도를 평가하였는데, 수침상의 병반을 나타낸 것은 1, 잎이 시들기 시작하는 것을 2, 그리고 식물체 전체가 완전히 시들이 있거나 또는 죽으면 3으로 하였다. 이 수치를 합한 것을 해당 처리구의 이병지수로 삼았다.

결 과

1. 고추씨의 발아율

흙에 파종을 한 고추씨는 초기에는 처리한 인공산성비의 pH가 낮을수록 더 빨리 발아하는 현상을 보였으나, 대체로 각 pH 수준간에 유의차를 찾을 수 없었다(Table 1). 다만 8일째에는 pH 2.5, 3.0, 3.5 처리구에서 다른 처리구에 비하여 통계적으로 높은 발아율을 보였으나, 9일째와 10일째에는 아무런 차이도 찾을 수 없었다. 오히려, 11일째에는 이들 처리구에서의 발아율이 나머지 처리구에서 보다 낮았다. 한편, 발아한 뒤 살아남는 개체의 수는 오히려 pH가 낮을수록 적어서(Table 2), 파종 11일 뒤에는 pH 3.0

Table 1. *In vivo* germination rate(%) of *Capsicum annum* cv. Komyung seed at different pH of simulated acid rain (SAR).

pH of SAR	days after seeding[z] 7	8	9	10	11
6.0(control)	17.8[a]	27.3[a]	53.7[a]	62.3[a]	76.7[ab]
2.5	25.3[a]	38.7[b]	64.3[a]	64.7[a]	64.7[b]
3.0	26.7[a]	37.3[b]	61.3[a]	63.3[a]	64.3[b]
3.5	23.3[a]	37.3[b]	62.7[a]	68.7[a]	73.7[a]
4.0	15.3[b]	25.7[a]	58.7[a]	64.7[a]	83.7[a]
4.5	18.6[a]	26.0[a]	57.3[a]	63.3[a]	77.3[ab]

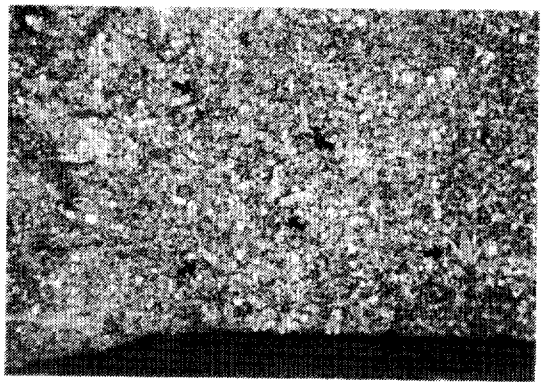
[z] : Percentages followed by the same letter in the column do not differ significantly by Duncan's Multiple Range Test at P=0.01

Table 2. Percentages of alive seedlings of *Capsicum annum* cv. Komyung treated with different pH of simulated acid rain(SAR) in *in vivo* germination test.

pH of SAR	days after seeding[z] 7	8	9	10	11
6.0(control)	17.8[a]	27.3[a]	53.7[a]	62.3[a]	76.7[a]
2.5	25.3[a]	18.7[a]	34.3[b]	0.7[b]	0[b]
3.0	26.7[a]	18.3[a]	30.7[b]	2.0[b]	1.3[b]
3.5	23.3[a]	20.3[a]	28.7[b]	15.3[c]	22.7[c]
4.0	15.3[b]	25.7[a]	58.7[a]	62.7[d]	80.3[a]
4.5	18.6[a]	26.0[a]	57.3[a]	63.3[a]	77.3[a]

[z] : Percentages followed by the same letter in the column do not differ significantly by Duncan's Multiple Range Test at P=0.01

A



B

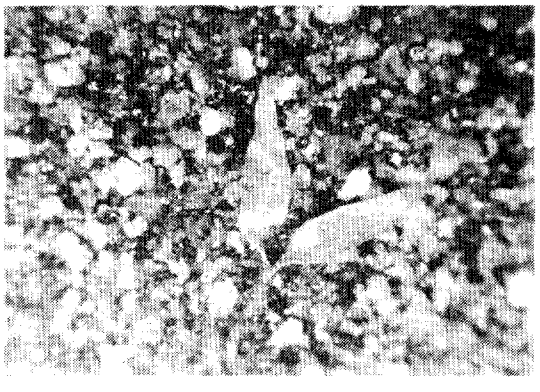
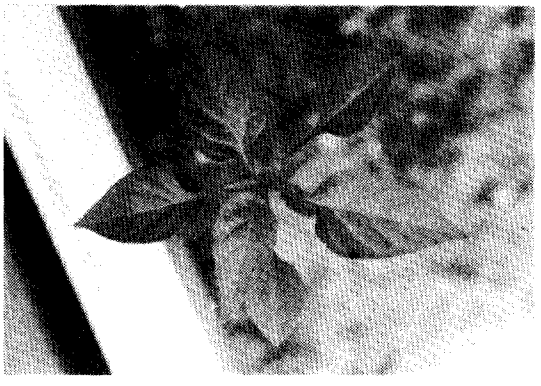


Fig. 1. Dead seedlings(arrows on A) of red pepper treated with SAR of pH 2.5 and close-up of the seedling(B).

A



B

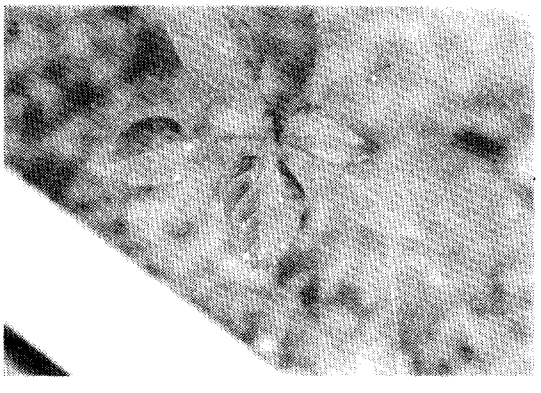


Fig. 2. External symptoms on red pepper seedlings caused by simulated acid rain (SAR). A : tap water(control), B : SAR (pH2.5).

처리구와 2.5 처리구에서는 살아남은 것이 거의 없었다. 처리한 인공산성비의 피해를 받은 싹들은 모두 잎 조직이 물에 젖은 듯한 증상을 보이며 흰색 내지 연한 누런색으로 변하여 제대로 자라지를 못하고, 묘 자체가 넘어져 죽었다(Fig. 1.) 결과적으로, 빗물의 pH가 고추씨의 발아에는 어떤 특별한 영향을 미치지는 않는 것으로 보이지만, 낮은 pH는 약간의 발아억제 효과가 있음을 알 수 있으며, 씨앗이 발아한 직후에 인공산성비를 처리하면 빗물의 pH가 낮을수록 살아남는 개체의 수는 시간이 흐름에 따라 오히려 줄어들었다.

2. 고추모에 나타나는 가시적 피해 및 토양 pH

'고추씨의 발아율'에서 이미 밝혔듯이 어린 싹은 인공산성비의 피해를 받으면 조직이 물에 젖은 듯한 증상을 보였다. 그러나, 이미 10cm 넘게 자란 고추모에 인공산성비를 처리하였을 때는 잎이 물에 젖은 듯한 증상 대신 흰점무늬가 고추모의 잎에 나타났다(Fig. 2) 처리한 인공산성비의 pH가 낮을수록 한 잎당 흰점무늬의 수 및 점무늬가 나타난 잎의 수가 많았으며, 피해정도도 심하였다(Table 3). 또, 처리 개시 이후

Table 3. Occurrence of simulated acid rain (SAR)-related leaf spot on *Capsicum annum* cv. Komyung seedlings.

pH of SAR[1]	Percentage of spotted leaf[2]	Frequency of the leaf spot[3]	ISS[4](day)
6.0(control)	0	−	na[5]
2.5	64	−	9
3.0	49	+++	12
3.5	21	++	18
4.0	5	+	20
4.5	0	−	na

[1] : H_2SO_4 : HNO_3=2 : 1

[2] : examined after 20 days of continuous treatment of SAR

[3] : +++(high), ++(medium), +(low), −(none)

[4] : interval between the beginning of SAR treatment and appearance of the symptom

[5] : not applicable.

가시피해인 흰점무늬가 처음 나타나기까지 걸린 시간도 인공산성비의 pH가 낮을수록 짧았다. 앞에 나타난 흰점무늬 이외의 가시 피해는 없었다.

3. 고추의 역병발생

고추에 역병곰팡이를 접종한 직후부터 인공산성비를 처리하였을 때에는, 처리구에서는 접종 11일 뒤부터 병징이 나타나기 시작한 반면, 대조구에서는 접종 20일 뒤에 병징이 처음 나타나서, 대조구보다 인공산성비 처리구가 아흐레 빨랐다(Fig. 3). 대조구는 병이 발생한 후에 인공산성비 처리구에 비하여 이병지수 또한 낮은 편이었다. 하지만, 병징이 처음 나타나기까지 걸린 시간은 대조구를 빼고서는 모두 비슷하였다. 발병 초기의 양상을 기준으로 하면 모든 처리구를 두 군으로 나눌 수 있는데, 한군은 pH 3.0 처리구와 대조구로서 병발생이 적었으며, 다른 한군은 나머지 pH 처리구로서 병발생이 많았다. 하지만, 시간이 지남에 따라서 각 군 내에서도 발생이 적은 것과 많은 것은 뚜렷이 구분이 되었으며, 그 격차는 점점 더 커졌다.

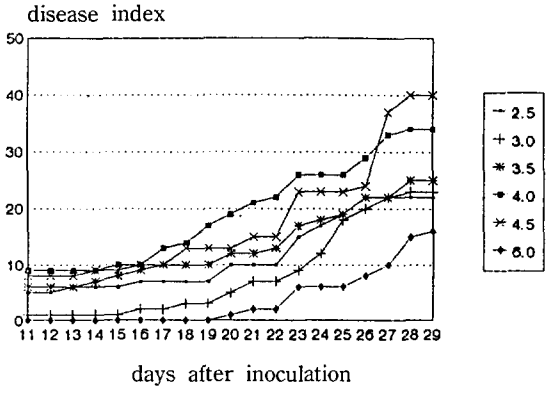


Fig. 3. Variations in disease index of *Phytophthora* rot in pepper plants inoculated with the pathogen at the beginning of simulated acid rain treatment period.

접종 후 29일째까지 이병지수가 가장 높은 것은 pH 4.5 처리구였으며, 그 다음으로 pH 4.0, 3.5, 3.0, 2.5, 그리고 대조구의 순이었다(Fig. 4A). 각 처리구의 이병지수치는 세군으로 나눌 수 있었는데, 지수가 높은 1군에는 pH 4.5와 4.0 처리구가, 중간 정도의 2군에는 3.5, 3.0, 2.5가, 그리고 비교적 낮은 3군에는 대조구가 속하였다. 하지만, pH 2.5에서의 이병주는 12주로 대조구의 14주 보다도 적었다.

한편, 고추에 15일 동안 각 pH의 인공산성비를 처리한 다음에 역병곰팡이를 접종하였을 때에도 전체적으로는 앞에서와 비슷한 경향을 볼 수 있었지만 세부사항들은 앞의 결과와는 차이나는 것들이 많았다. 우선, 병징이 처음 나타나기까지의 시간이 매우 단축되어 pH 3.5 처리구에서는 접종 3일만에 병징이 나타난 것도 있었다. 여기서는 첫 병징이 나타나는 시간이 처리구별로 차이가 났으며, 특히, pH 2.5 처리구는 대조구와 같은 날에 병징이 처음 나타났다. 모든 처리구가 대조구와 다르게 나타난 것은 접종 13일째 부터였으나, 18일이 지나고서야 처리구들 사이에 발병도의 차이가 확실히 드러났다. 이러한 경향은 실험 종반까지 지속되었는데, 다만 pH 4.0 처리구에서 접종 20일 이후 발병도가 급속히 증가하는 현상을 볼 수 있었다.

Fig. 4. *Phytophthora* rot in red pepper plants treated with simulated acid rain(SAR). The pathogen was inoculated at the beginning(A) or in the middle(B) of SAR treatment. C : not inoculated control.

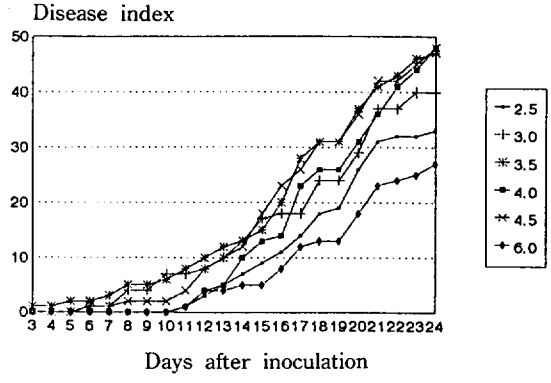


Fig. 5. Variations in disease index of *Phytophthora* rot in red pepper inoculated with the pathogen in the middle of simulated acid rain treatment period.

접종 후 24 일째까지 가장 높은 이병지수를 보인 것은 pH 4.5, 4.0, 3.5로서 서로가 거의 비슷한 수치를 보였다. 그 다음은 pH 3.0, 2.5, 그리고 대조구의 순으로, 서로간에 조금씩 차이가 났다(Fig. 4B, 5).

고 찰

토양에 씨앗을 뿌린 뒤 인공산성비를 처리하였을 때 씨앗의 발아는 초기에는 빗물의 pH와 무관하였으나 전체적으로 본다면 빗물의 낮은 pH가 종자의 발아를 다소 억제하였다. 이러한 현상은 petridish에서 행한 실내실험에서의 발아율 조사[26]와는 다른 결과이지만, 산성비가 특정 식물 씨앗의 발아를 억제한다는 보고[27]와는 상응하는 것으로, 좀 더 자세히 관찰할 필요가 있다. 인공산성비가 씨앗의 발아를 억제하는 것과 아울러, 씨앗의 발아에 걸리는 시간은 단축하여 주는 반면, 땅속에서 발아한 씨앗의 초기 생장을 방해하여 새싹이 땅위로 올라오기 전에 죽게하는 것도 원인중의 하나일 것이다. 실제로 이 실험에서 산성비처리가 발아 이후에 미친 영향을 보면, 인공산성비의 pH가 낮을수록 살아남는 싹의 수는 적었으므로, 이제 막 발아한 어린싹에게는 인공산성비가 치명적이라는 사실을 알 수 있다. 어느 정도 자란 식물들과는 달리, 인공산성비에 노출된 어린 모가 떡잎이나 배축에 수침상 병반을 나타내며 죽은 것은 아마도 어린 모들은 매우 연약한 상태이므로 성체에 비하여 산에 견디는 힘이 적기 때문일 것으로 생각한다.

종자 발아시험에서 볼 수 있듯이 이미 자란 식물체보다는 어린 식물체가 더 심한 피해를 받는 현상은 식물체의 생육단계에 따라 왁스층 또는 큐티클층의

발달 및 조직의 경화 등으로 인하여 산성비에 반응하는 정도가 달라질 수 있다는 것을 뜻하는 것이다[7]. 따라서, 식물의 형태학적인 특성인 산성비에 의한 피해발생을 좌우하는 중요한 요인일 것으로 생각하며, 앞으로 더 연구하여야 할 분야이다.

고추에 나타나는 가시적 피해를 관찰하기 위하여 입자가 비교적 굵게 나오는 분무기로 인공산성비를 뿌려주었는데, 소요시간은 한 처리구당 한회에 5분 안팎으로, 고추모의 땅윗부분이 인공산성비에 접촉된 시간이 비교적 짧았음에도 불구하고 잎에 뚜렷한 가시피해가 나타났다. 인공산성비의 pH가 낮을수록 잎표면의 가시피해는 더 빨리 나타났으며, 더 심하였다. 물론, 같은 양을 처리한다고 할지라도 빗물방울의 크기를 더 작게한다든지 또는 식물체에 접촉하는 시간을 늘려준다든지 하여 처리방법을 달리한다면 이 실험에서와는 다른 결과를 얻을 가능성도 충분히 있다. 실제로 자연상태에서 식물체가 인공산성비에 접하는 시간은 본 실험에서의 접촉시간보다는 길것이므로, 만약에 자연상태에서도 이 정도의 산성비가 내린다면 식물체는 더 큰 피해를 입을 것이다. 비교적 청정지역에 속하는 지역에도 pH4.0 이하의 산성비가 내리는 경우가 드물지 않다는 사실은 이제 우리나라의 어느 곳이든 산성비에 의한 식물체의 피해를 염려하여야 할 때에 이르렀다는 것을 말하여 주는 것이다.

산성비가 내리면 토양의 pH가 낮아진다는 것은 이미 여러차례 증명된 바 있는 사실이다[6, 21, 22]. 이 실험에서도 산성비 처리개시 15일 뒤에는 토양의 pH가 상당히 낮아졌었다. 그러나, 토양의 pH가 낮아지는 속도는 그 이후 매우 완만하여 처리개시 30일 뒤에는 15일 뒤와 비교하여 별다른 차이를 찾을 수 없었는데, 이것은 아마도 토양 자체가 지니고 있는 완충능력 때문일 것이다. 완충능력이 큰 토양이라면 산성비에 의한 토양 pH의 변화를 최소화할 수 있을 것이고, 그 결과 식물의 생육을 안정시킬 수 있을 것이다. 비교적 높은 pH의 산성비가 내릴 때는 토양의 완충작용으로 인하여 작물의 피해가 심하지 않지만, 낮은 pH의 산성비가 내린다면 토양 pH가 급격히 하강하여 작물의 생육에도 많은 지장이 생길 수도 있을 것이다. 토양의 완충능력은 토양자체의 물리, 화학적인 성질에 따라 많은 차이가 있을 수 있으므로, 여러 종류의 토양을 대상으로 pH의 완충효과를 조사한다면 산성비에 의한 토양 산성화를 줄여서 작물의 피해를 줄일 수 있는 방법도 알아낼 수 있을 것이다.

한편, 역병균은 습한 환경에서 많이 발생하는 병원체로서 역병발생은 강우량과 매우 깊은 관련이 있다. 자연상태에서의 역병발생과 산성비의 피해는 이 실험에서 행한 두가지 경우를 모두 가정할 수 있다. 즉, 역병균의 침입을 받은 식물체가 산성비의 영향을 받는 경우와, 산성비의 영향을 받고 있는 고추에 역병균이 침입하는 경우이다. 이 실험에서는 두 경우 모두 대조구보다는 인공산성비 처리구에서 역병이 훨씬 더 빨리 나타났다. 처리구의 pH별로 살펴보면, pH가 낮은 처리구보다는 오히려 높은 처리구에서 병의 발생이 더 빠르고 더 심했었는데, 이는 아마도 낮은 pH는 식물체에 나쁜 영향을 주는 동시에 병원균의 생육이나 활동에도 지장을 주는 반면, 높은 pH는 식물체에는 나쁜 영향을 끼치지만 병원체에 대해서는 별다른 영향을 미치지 않기 때문이 아닌가 생각한다. 이 실험의 결과 pH 3.5~4.5에서 병의 발생이 가장 심하였는데, 실제 우리나라에 내리고 있는 산성빗물의 대부분이 이 범위안에 들어있다는 사실을 감안할 때, 이는 매우 걱정스러운 것이다. 하지만, 아직까지 포장에서의 역병발생율과 산성비 강하량과의 관계에 대해서는 조사된 것이 없으므로 결론을 유도할 수 있는 단계는 아니며, 따라서, 포장에서의 역병발생율과 그 지역에 내리는 빗물의 pH와의 관계에 대하여 좀 더 자세하게 연구하여야 할 필요가 있다고 생각한다.

처리한 인공산성비의 pH에 따라 뿌리 대 줄기의 비율이 낮아진다는 사실이 보고된 바 있는데[27], 이는 우선 인공산성비가 토양의 pH를 낮추어 뿌리의 발육을 저해하였기 때문으로 해석할 수 있다. 산성비에 의하여 뿌리의 생육이 저해되는 것은 산성비에 의한 토양의 pH변화 및 그에 따른 미생물상의 변화, 또는 토양내 알루미늄이온의 가용화 등 몇가지 원인이 알려져 있다[6, 19, 21, 22]. 역병은 토양에 존재하는 병원체이므로 이러한 뿌리의 생육 저해는 역병 등 여러가지 토양병

의 발생과 곧바로 연결될 수도 있을 것이다. 또한, 뿌리의 생육불량이 지속되면 결국 지상부의 생육불량으로 이어져 지상부 병에 대한 저항성도 약해질 수 있다. 한편, 비록 유의차는 나타나지 않았지만, 처리구에서 인공산성비의 pH가 낮을수록 뿌리 대 잎 줄기 비율이 오히려 증가하는 현상을 보인 것은, 아마도, 낮은 pH의 인공산성비는 땅아랫부분의 뿌리 발육을 저해한 것 못지 않게 땅윗부분의 생장, 특히 잎의 생장에도 영향을 미쳤기 때문인 것으로 여겨지는데, 빗물의 pH가 낮을수록 잎에 더 심한 피해를 일으킨 사실이 이를 뒷받침하고 있다.

식물병이라는 것은 기주식물과 병원체, 그리고 환경요인들과의 상호반응에 의한 결과이다. 산성비 역시 식물환경의 한 요인으로서 병의 발생에 어떤 방법으로든 영향을 미칠 것이라고는 추측되어 왔다. 이번 실험에서는 이러한 추측이 사실로 드러났으나 다만 현 수준에서 산성비가 병의 발생량을 증가시킨다는 정도만이 증명되었을 뿐, 그 정확한 원인과 과정에 대하여서는 밝혀진 바가 없다. 따라서, 산성비가 식물체에 직접적인 피해를 일으키는 기작과 아울러 병원체가 식물체에 병을 일으키는 데 있어서 직접, 간접으로 미치는 영향의 자세한 내용을 알아내는 것이 앞으로의 과제이다.

요 약

인공산성비의 pH가 낮아질수록 고추씨의 발아에 걸리는 시간은 단축되었으며 발아율은 향상되었으나 어린 싹에게는 매우 치명적인 영향을 미쳤다. 어린 고추모는 이미 자란 식물체에 비하여 산성비에 훨신 더 민감하게 작용하였다. 산성비의 전형적인 가시피해증상은 잎에 나타나는 흰색 반점이었으며, 빗물의 pH가 낮을수록 더 빨리 더 심하게 나타났다. 고추의 역병은 일반적으로 인공산성비 처리구에서 대조구보다 빨리 발병하였으나, 인공산성비의 pH가 아주 낮을 때는 다른 처리구에 비하여 오히려 병의 발생이 줄어들었다. 인공산성비 처리중에 역병을 접종하였을 때는 처리전에 접종하였을 때보다 병이 더 빨리, 더 심하게 나타났다. 역병의 발생이 가장 심했던 것은 역병의 접종시기와는 관계없이 pH 4.0 또는 4.5인 빗물을 처리하였을 때였다.

참고문헌

1. Johnson, N.M., Reynolds, R.C., and Likens, G.E. (1972) : Atmospheric sulfur : Its effect on the chemical weathering of New England, Science **177,** 514－515.
2. Kohno, Y.(1989) : Effect of simulated acid rain on the growth of soybean, Water, Air, and Soil Pollution **43,** 11－19.
3. Irving, P.M.(1983) : Acidic precipitation effects on crops : A review and analysis of research, J. Environ. Qual. **12,** 442－453.
4. 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.
5. 최호진(1990) : 인공산성비가 콩, 들깨의 초기생장 및 토양 특성에 미치는 영향, 고려대 석사논문 36pp.
6. Johnson, D.W.(1982) : The effects of acid rain on forest nutrient status, Water Resource Res. **18,** 449－461.
7. 이종식, 김복영(1994) : 산성비가 식생에 미치는 영향, 한국환경농학회지 13, 346－358.
8. Fairfax, J.A. and Lepp, N.W.(1975) : Effect of simulated 'acid rain' on cation loss from leaves, Nature 255, 324－325.
9. Puckett, L.J.(1982) : Acid rain, air pollution, and tree growth in southeastern New York, J. Environ. Qual. 11, 376－381.
10. 匿名(1990) : 酸性雨 : 土壤, 植生への 影響, 公害研究對策センタ 日本 198pp.
11. 유태철(1990) : 인공산성 빗물의 산도에 따른 토양

과 식물로부터 이은 세탈량의 변화, 서울대학교 석사논문 65pp.

12. Zoettl, H.W. and Huettl, R.F.(1986) : Nutrient supply and forest decline in Sourwest-Germany, Water, Air, and Soil Pollution **31,** 449－462.
13. Lee, J.J. and Weber, D.E.(1982) : Effects of sulfuric acid rain on major cation and sulfate concentration of water percolating through two model hardwood forests, J. Environ, Qual, **11,** 57－64.
14. McColl, J.G. and Firestone, M.K.(1987) : Cumulative effects of simulated acid rain on soil chemical and microbial characterisitics and conifer seedling growth, Soil Sci, Soc. Am. J. **51,** 794－800.
15. McDonald, N.W., Hart, Jr.J.B., and Nguyen, P.V. (1986) : Simulated acid rain effects on Jack pine seedling establishment and nutrition, Soil Sci, Soc, Am. J. **50,** 219－255.
16. 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.
17. Johnston, J.W. Shriner, D.S., Klarer, C.I., and Lodge, D.M.(1982) : Effefct of rain pH on senescence, growth, and yield of bush bean, Environ, Exp. Bot. **22,** 329－337.
18. Reich, P.B., Schoettle, A.W., Stroo, H.F., Troiano, J., and Amundson, R.G.(1985) : Effects of O_3, SO_2, and acidic rain on mycorrhizal infection in nothern red oak seedlings, Can, J. Bot, **63,** 2049－2055.
19. 차병진(1990) 대기오염물질 오존이 외생균근에 미치는 영향, 환경과학기술 **1,** 55－65.
20. Merrill, W. and Davis, D.D.(1990) : Interactions between gaseous air pollutants and foliar pathogens of trees-A critical assessment, Proc. IUFRO 19th World Congress pp.164－168.
21. 김갑태(1987) : 인공산성우가 은행나무(*Ginkgo biloba* L.) 유묘의 생장, 생리적 특성 및 토양의 화학적 성질에 미치는 영향, 한국임학회지, **76,** 99－108.
22. 정용문(1987) : 인공산성우가 잣나무 유묘의 생장, 엽내 함유성분 및 토양의 화학적 성질에 미치는 영향, 한국임학회지 **76,** 33－40.
23. 김복용, 김규식(1988) : 농작물에 대한 인공산성비의 영향, 한국토양비료학회지 **21,** 161－167.
24. 김정숙, 이재석(1994) : 인공산성비 처리가 색비름 유식물의 생장, 색소 및 엽표면 형태에 미치는 영향, 한국환경농학회지 **13,** 175－182.
25. 이종식, 김복영, 우기대(1994) : 수원지역 강우의 성분조성과 작물에 미치는 영향, 한국환경농학회지 **13,** 31－38.
26. 차병진, 이재춘(1994) : 여러수준의 인공산성비가 고추씨의 발아 및 모의 생육에 미치는 영향, 충북대 농업과학연구 **11,** 31－40.
27. 이재석, 김정숙(1994) : 산성비가 몇가지 화초류 종자의 발아에 미치는 영향, 한국환경농학회지 **13,** 168－174.