

고추 역병에 대한 아인산 (phosphorous acid)의 방제 효과

이용세* · 류연주 · 조정상¹⁾ · 임태현¹⁾ · 장태현¹⁾

대구대학교 생명자원학부, ¹⁾(주)대유 식물영양연구소

(2001년 8월 2일 접수, 2001년 9월 3일 수리)

Effect of Phosphorous Acid on Control of Phytophthora Blight of Red Pepper

Yong-Se Lee*, Yeon-Ju Ryu, Jeong-Sang Cho¹⁾, Tae-Heon Lim¹⁾ and Tae-Hyun Chang¹⁾ (Dept. of Life Resources, Taegu University, Kyongsan, Kyungbuk 712-714, Korea, ¹⁾Research Institute of Plant Nutrient, Daeyu Co. Inc. Kyongsan, Kyungbuk 712-820, Korea)

Abstract : Control effects of phosphorous acid were investigated on Phytophthora blight of red pepper plants in greenhouse and field. *In vitro* test, the mycelial growth of *Phytophthora capsici* was inhibited by the phosphorous acid more than 97% at 1,000 μg and 10,000 μg a.i./mL in the liquid and solid culture, respectively. At concentration of 10 μg a.i./mL of phosphorous acid, in the liquid culture the mycelial growth of *P. capsici* was inhibited 46.2%, however inhibited only 4.9% on the solid culture. Zoosporangial formation was also inhibited 89.1% by phosphorous acid at 100 μg a.i./mL. Phosphorous acid affected more zoosporangial formation of *P. capsici* than its mycelial growth. At the concentrations of 10,000, 1,000 and 100 μg a.i./mL of phosphorous acid, germination of zoosporangia was inhibited 100, 84.3 and 44.2%, respectively. Mycelial growth and zoosporangial formation of *P. capsici* were little affected at the concentration of 10 μg a.i./mL of phosphorous acid. Germination of zoosporangia was also little affected at this concentration, however growth of the germ tubes was inhibited and the abnormal mycelial growth was observed. Phosphorous acid suppressed the incidence of Phytophthora blight of red pepper plants up to 77.0~62.0%, in greenhouse. Phosphorous acid suppressed the incidence of Phytophthora blight of red pepper plants up to 54.0% at the conventional culture in field. Treatments of phosphorous acid increased up to 113% in height, 135% in number of fruit, and 129% in weight of fruit.

Key words ; phosphorous acid, *Phytophthora capsici*, phytophthora blight of red pepper.

서론

*Phytophthora capsici*에 의한 고추 역병 (red pepper blight)은 묘상에서부터 전 생육기간에 걸쳐 발생하는 고추재배에 있어 가장 피해가 심한 병으로서 고추생산에 큰 감수요인이 되고 있다. 고추 역병균 (*P. capsici*)은 토양 속에서 장기간 생존하면서 병을 일으키는 토양전염성병원균이기 때문에 방제에 많은 어려움이 있다¹⁾. 현재 이 병의 방제는 주로 살균제에 의한 화학적 방제, 토양의 위생적 관리 및 연작 회피 등의 경종적 방제법이 주로 쓰이고 있으며, 최근에는 각종 길항균을 이용한 생물학적 방제법이 연구되어 보고되었다^{2,3)}. 화학적 방제의 경우 다른 토양병과 마찬가지로 그 방제효과가 낮고, 저항성 균의 출현 문제, 환경 오염 및 잔류 독성에 대한 소비자의 급속한 인식 변화는 병 방제법의 변환을 요구하고 있다^{4,5)}.

아인산 (phosphorous acid, H_3PO_3)을 이용한 역병방제에 관한 연구는 침투성 살균제인 fosetyl-Al (aluminum tris-O-ethyl phosphonate : Aliette)이 *Phytophthora* spp.에 의한 역병의 방제에 효과가 있음이 알려진 후 수행되어 phosphorous acid가 역병균에 대해 특이적 활성이 있음이 보고되었다^{6,7)}. Coffey와 Joseph은 *Phytophthora* spp.에 대한 phosphorous acid의 활성 실험을 통하여 균사 생육억제 능력과 유주자 형성 및 포자낭 형성 억제능력을 보고하였다¹²⁾. 특히 역병에 대한 특이적 활성을 나타내는 fosetyl-Al의 주요한 활성물질은 가수분해에 의해 생성되는 phosphorous acid임을 보고하였다.

아인산을 이용한 역병 방제는 fosetyl-Al의 H_3PO_3 가 역병균의 인산대사작용을 저해하는 것에 착안하여 식물체에 직접 아인산을 살포해주는 방법이다. 국내에서 Jee 등은 아인산이 수경재배와 온실실험에서 토마토 역병에 대해¹³⁾, 장 등은 고추 및 토마토의 역병과 오이 노균병 방제에 효과가 있음을 보고하였다¹⁴⁾.

본 실험은 식물체의 병 방어 시스템의 자극과 특이적 구조에

*연락처:

Tel: +82-53-850-6763 Fax: +82-53-850-6769

E-mail: ysllee@taegu.ac.kr

의한 병원균에 대한 직접적인 억제 작용 기작을 가지고 있는 아인산을 주 원재료 하여 (주) 대유 식물영양연구소에서 개발한 아인산제제 (P₂O₅ 22%, K₂O 14%, B₂O₃ 0.07%, Mo 0.0005%, Pyroligneous liquor 7%)의 적용에 따른 고추역병에 대한 방제 효과를 *in vitro*와 *in vivo*에서 검증하였다.

재료 및 방법

식물재료

고추 품종은 거성을 사용하였다. 50공의 플러그용기에 파종하여 온실에서 6~8엽기까지 육묘하였다. 온실의 주간 온도는 25~30℃, 야간에는 18~20℃를 유지하였다.

고추 역병균 (*Phytophthora capsici*)

역병균의 배양은 V-8 주스 한천배지(200 mL V-8 juice, 2.0 g CaCO₃, 20 g Agar, 800 mL D.W.)에 하였으며, 유주자낭의 형성은 V-8 주스 한천배지에 균총 (직경 5 mm)을 접종하여 7일간 암상태의 27℃ 항온기에서 배양 후 유리병으로 배지표면의 기중균사를 제거하고 60 W의 cool white 형광등 하에서 하였다.

In vitro 시험

공시제제의 고추역병균 균사생장억제 효과를 V-8 주스 액체 배지와 고체배지에서 조사하였다.

액체배지(V-8 juice 100 mL, CaCO₃ 2.0 g, D.W., 900 mL)에 공시제제를 농도별로 첨가한 다음, V-8 한천배지에 5일간 전배양한 고추역병균의 균총 (5 mm)을 접종하여 27℃에서 120 rpm으로 7일간 진탕배양 하였다. 아인산의 처리 농도는 10,000 µg a.i./mL, 1,000 µg a.i./mL, 100 µg a.i./mL 및 10 µg a.i./mL이었다. 7일 배양 후 고속냉장 원심분리기에서 12,000×g로 원심분리하여 역병균의 균사체만을 취하여 60℃에서 48시간 건조시킨 후 무게를 측정하여 균사생장정도를 조사하였다.

고체배지는 액체배지에 20 g의 agar를 첨가하여 만들었으며 공시제제는 앞의 농도와 동일하게 첨가하였다. 고추역병균을 접종하여 27℃ 항온기에서 7일 배양 후 균총의 직경을 측정하였다.

아인산의 유주자낭형성 억제효과를 조사하기 위해 고체배지에서 균사생장억제효과를 조사한 다음, 기중균사를 멸균 유리병으로 제거한 후 27℃에서 2일간 형광등을 조사하여 유주자낭을 형성시켰다. 유주자낭의 형성 정도를 비교하기 위해 멸균 증류수로 유주자낭을 수확하여 혈구계산판을 이용하여 계수하였으며, 한 표본당 9번 반복하여 평균치를 산출하였다.

아인산의 유주자낭 발아 억제효과는 역병균의 유주자낭을 수확하여 아인산이 첨가된 1/10농도의 V-8 주스 배지 9 mL에 1 mL의 유주자낭 현탁액(10⁶ zoosporangia/mL)을 접종 후 27℃에서 60 rpm으로 12시간 진탕 배양 후 광학현미경하(×100)에서 발아

정도를 조사하였다. 처리별 3반복을 하였으며, 표본당 30시야씩 관찰하여 평균치를 산출하였다.

In vivo 시험

온실실험에서는 경작지 이병토양으로 포트를 채운 후 건전 고추묘를 포트당 5주씩 2000년 5월 1일 정식하였다. 포트 처리는 아인산의 4가지 농도 (250, 500, 750, 1,000 µg a.i./mL)와 대조약제로 사용한 메타실동 수화제 (Metalaxyl), 그리고 무처리로 구별하여 각각 10일 간격으로 경엽처리하였다. 메타실동은 관행사용농도로 1,000배 희석 (250 µg a.i./mL)을 사용하였다.

포장시험은 대구대학교 부속농장에서 실시하였으며 최근 3년 동안 고추역병을 실험하여 고추역병균에 이병된 포장을 사용하였다. 아인산의 농도를 500 µg a.i./mL로 하여 10일 간격으로 경엽처리하여 주면서 역병발생과 생육조사를 동시에 실시하였다. 포장에서의 제식거리는 30 cm×30 cm으로 하였으며, 시험구는 난괴법 3반복으로 구당 30주씩 하였으며, 2000년 5월 8일 정식하였다.

결과 및 고찰

*In vitro*에서 역병균에 대한 아인산제제의 활성

아인산제제의 고추역병균 (*Phytophthora capsici*)에 대한 활성을 *in vitro*에서 균사생장, 유주자낭 형성 및 발아에 미치는 영향을 조사하여 검증하였다. 아인산을 첨가한 V-8 juice broth와 V-8 juice agar에 고추역병균의 균총을 접종하여 7일간 배양한 후 조사한 균사생장 정도는 표 1과 같다. 10,000 및 1,000 µg a.i./mL 농도에서는 배지에 관계없이 97% 이상 생장이 억제되었으나, 10 µg a.i./mL 농도의 경우 액체배지에서는 무처리구에 비하여 46.2%, 고체배지에서는 4.9% 생장이 억제되어 액체배지에서의 억제효과가 큰 것으로 나타났다.

아인산이 100, 10 µg a.i./mL 첨가된 배양기에서 균사생장억제 정도를 조사한 후, 유주자낭을 형성시킨 다음 petri dish당 10 mL의 멸균 증류수로 유주자낭을 수확하여 광학현미경하에서 조사한

Table 1. Inhibitory effect of phosphorous acid on the mycelial growth of *Phytophthora capsici* in the V-8 juice broth and on the agar medium

| Concentration (µg a.i./mL) | V-8 juice broth | | V-8 juice agar | |
|-------------------------------|-----------------|------|----------------|------|
| | weight(g) | % | diameter(mm) | % |
| 10,000 | 0.00 ± 0.00 | 100 | 1.00 ± 0.00 | 98.7 |
| 1,000 | 0.01 ± 0.00 | 97.4 | 2.33 ± 1.03 | 97.0 |
| 100 | 0.12 ± 0.03 | 69.2 | 46.17 ± 6.46 | 41.4 |
| 10 | 0.21 ± 0.05 | 46.2 | 75.00 ± 5.22 | 4.9 |
| Control | 0.39 ± 0.06 | - | 78.83 ± 2.86 | - |

Values are averages of 3 replications.

Table 2. Inhibitory effect of phosphorous acid on the formation of Zoosporangia of *Phytophthora capsici* on V-8 juice agar medium

| Concentration (μg a.i./mL) | Number of zoosporangia (10^5 /mL) | Inhibitory effect (%) |
|--|--------------------------------------|-----------------------|
| 10,000 | 0.0 \pm 0.0 | 100 |
| 1,000 | 0.0 \pm 0.0 | 100 |
| 100 | 2.3 \pm 0.9 | 89.1 |
| 10 | 20.3 \pm 4.1 | 3.8 |
| Control | 21.1 \pm 4.3 | - |

Values are averages of 3 replications.

Table 3. Inhibitory effect of phosphorous acid on the germination of Zoosporangia of *Phytophthora capsici* in V-8 juice broth medium

| Concentration (μg a.i./mL) | Zoosporangial germination (%) | Inhibitory effect (%) |
|--|-------------------------------|-----------------------|
| 10,000 | 0.0 \pm 0.0 | 100 |
| 1,000 | 15.3 \pm 5.5 | 84.3 |
| 100 | 54.3 \pm 9.7 | 44.2 |
| 10 | 90.9 \pm 1.8 | 6.6 |
| Control | 97.3 \pm 5.3 | - |

Values are averages of 3 replications.

결과는 표 2와 같다. 균총 직경이 약 46 mm 성장하여 무치리구에 비해 약 41.4% 균사생장이 억제되었던 100 μg a.i./mL 농도에서는 유주자낭이 100% 억제되었으며, 약 4.9% 균사생장이 억제되었던 10 μg a.i./mL 농도에서는 무치리구에 비해 3.9% 억제되어 EC_{50} 값은 14 μg a.i./mL이었다.

아인산제제가 유주자낭 발아에 미치는 영향을 조사한 결과 10,000 μg a.i./mL의 농도에서는 유주자낭의 발아가 100% 억제되었으며, 1,000 및 100 μg a.i./mL 에서는 각각 84.3%, 44.2% 억제되었다(표 3). 균사생장 억제효과와 유주자낭형성 억제효과가 미약하였던 10 μg a.i./mL 농도에서는 무치리구와 유사한 90.9% 발아율을 보였다. 그러나 발아 후 정상적인 발아관의 신장에 따른 균사생장이 극히 저조하였으며, 비정상적인 형태를 보였다(그림 1). EC_{50} 값은 110 μg a.i./mL로 균사생장억제 및 유주자낭 형성 억제 보다 높았다. 이러한 결과는 Matheron과 Porchas의 보고와 유사하였다¹⁵⁾.

Fenn과 Coffey는 *in vitro*에서 H_3PO_3 가 *Phytophthora* spp.에 대한 균사생장억제효과가 있음을 보고하였으며^{11,16)}, Bompeix와 Saindrenan은 *Phytophthora* spp. 중 *P. capsici*, *P. infestans* 및 *P. megasperma*는 다른 species보다 H_3PO_3 에 대한 감수성이 낮은 것

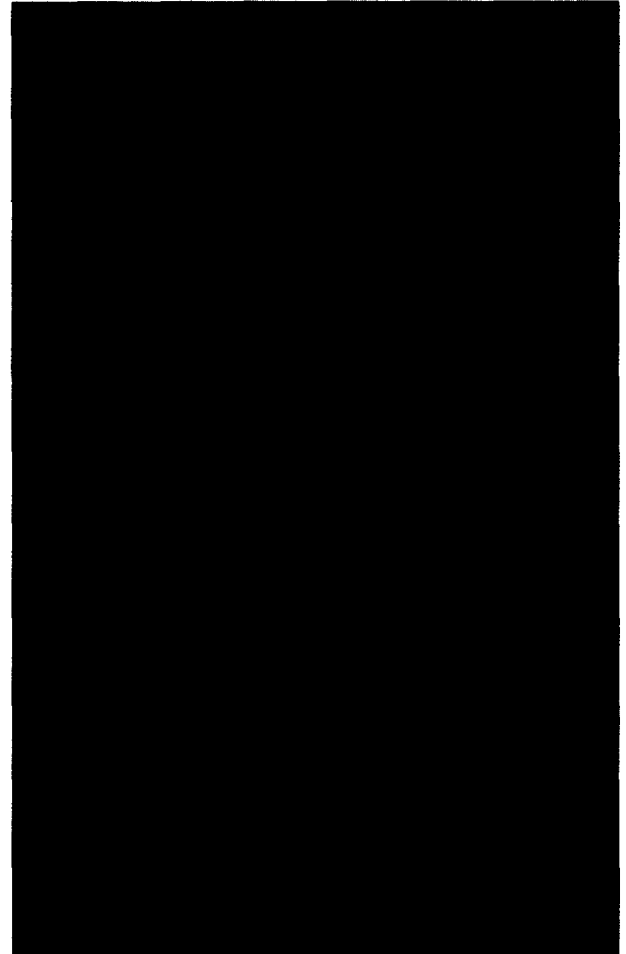


Fig. 1. Inhibitory effect of phosphorous acid on the germination of zoosporangia of *Phytophthora capsici*.

A; control, B; 100 μg a.i./mL phosphorous acid/mL medium.

으로 보고하였다⁹⁾. Coffey와 Joseph은 H_3PO_3 에 의해 *P. citricola*와 *P. cinnamomi*의 균사생장, 포자형성과 유주자 유출 및 난포자 형성 등이 저해된다고 보고하였으며¹⁶⁾, Coffey와 Bower도 H_3PO_3 가 *Phytophthora* spp.에 대한 균사생장억제효과가 있으며¹⁰⁾, 고추 역병균인 *P. capsici*에 대한 EC_{50} 값은 34.7 μg a.i./mL이라 보고하였다. 본 실험에서는 균사생장억제에 대한 EC_{50} 값은 액체 배지에서 12.0 μg a.i./mL, 고체 배지에서 약 120 μg a.i./mL 였다. 균사생장억제효과가 액체배지보다 고체배지에서 낮은 것은 H_3PO_3 이 고체배지에서는 산화되어 H_3PO_4 로 될 가능성이 높거나 아인산의 흡수 이용율이 낮기 때문으로 사료되며 이러한 결과는 Darakis와 Skoudridakis의 보고와 유사하였다¹⁷⁾.

고추역병 발생억제 효과

온실에서 이병토양으로 pot를 채운 후 건전 고추묘를 5주씩 정식 한 다음 250, 500, 1,000 및 1,500 μg a.i./mL의 4가지 농도로 아인산제제를 희석하여 10일 간격으로 경엽처리한 후 10일 후에

Table 4. Effects of phosphorous acid on incidence of Phytophthora blight of red pepper plants grown in pots in the greenhouse

| Treatment (μg a.i./mL) | Disease incidence (%) ^a | Inhibition rate (%) ^b |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Check | 86.7 \pm 18.2 b ^d | - |
| 250 | 33.3 \pm 17.1 a | 62.0 |
| 500 | 20.0 \pm 14.9 a | 77.0 |
| 1,000 | 26.7 \pm 13.5 a | 69.0 |
| 1,500 | 26.7 \pm 13.5 a | 69.0 |
| Metalaxyl ^f | 13.3 \pm 8.2 a | 85.0 |

- ^a Disease incidence (%) = Total number of diseased plant/Total number of planting \times 100.
- ^b Inhibition rate (%) = (1-rate of diseased plants with treatment/rate of diseased plants with untreated) \times 100.
- ^c 150 μg a.i./mL.
- ^d Means separation is by Duncan' multiple range test (P<0.05).

Table 5. Inhibitory effect of phosphorous acid on the incidence of Phytophthora blight of red pepper plants in the field

| Treatment | Disease incidence (%) ^a | Inhibition rate (%) ^b |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Control | 88.9 \pm 11.1 a ^c | 0.0 |
| Phosphorous acid (500 μg a.i./mL) | 40.7 \pm 9.4 b | 54.2 |
| Metalaxyl (150 μg a.i./mL) | 14.8 \pm 8.3 c | 83.4 |

- ^a Disease incidence(%) = Total number of diseased plant/Total number of planting \times 100.
- ^b Inhibition rate(%) = (1-rate of diseased plants with treatment/rate of diseased plants with untreated) \times 100.
- ^c Means separation is by Duncan' multiple range test(P<0.05).

조사한 역병발생율은 표 4와 같다. 무처리구에서 86.7% 역병이 발생하였으며, 1,500 및 1,000 μg a.i./mL 처리구에서 69.0%, 500 μg a.i./mL 처리구에서 77.0%, 250 μg a.i./mL 처리구에서 62.0%의 방제가를 보였다. 아인산제제의 처리농도간에는 방제가에 통계적 유의차는 없었으며, 85.0%의 방제가를 보인 메타실동수화제 보다는 방제가가 낮았다. 이러한 결과는 장 등이 보고한 아인산제제의 고추역병에 대한 예방효과와 유사하였다¹⁴⁾.

최근 3년간 고추 역병시험용 포장으로 사용한 대구대학교 자연자원대학 부속농장 포장에서 고추를 관행재배하면서 아인산제제를 10일 간격으로 4회 경엽살포 한 후 조사한 역병발생율은 표 5에서 볼 수 있다. 아인산 처리구에서는 40.7%의 이병율을 보여 88.9%의 이병율을 보인 무처리구에 비하여 54.2%의 방제가를 나

Table 6. Effect of phosphorous acid on the growth of red pepper plants grown in pots in the greenhouse

| Treatment (mg a.i./mL) | Height of plant (cm) ^a | Growth enhancement (%) |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Control | 34.2 \pm 2.5 a ^c | 100.0 |
| 250 | 34.9 \pm 2.6 a | 102.0 |
| 500 | 35.2 \pm 4.4 a | 102.9 |
| 1,000 | 35.3 \pm 3.5 a | 103.2 |
| 1,500 | 35.9 \pm 2.2 a | 105.0 |
| Metalaxyl ^p | 34.3 \pm 4.0 a | 100.3 |

- ^a Values are the mean of 15 plants.
- ^b 150 μg a.i./mL.
- ^c Means separation is by Duncan' multiple range test(P<0.05).

Table 7. Effect of Phosphorous acid on the growth of red pepper plants grown in field

| Treatment | Height of plants (cm) | Total number of fruit/plant | Fresh weight of total fruit (g/plant) |
|---|-----------------------------|--------------------------------|---|
| Phosphorous acid (500 μg a.i./mL) | 70.2 \pm 1.3 a | 30.2 \pm 1.9 a | 264.2 \pm 30.7 a |
| Metalaxyl (150 μg a.i./mL) | 60.9 \pm 3.4 b | 30.6 \pm 2.0 a | 174.5 \pm 37.0 c |
| Control | 64.7 \pm 9.3 b | 24.4 \pm 1.1 b | 220.7 \pm 26.1 b |

- ^c Means separation is by Duncan' multiple range test(P<0.05).

타냈다. 메타실은 83.4%의 방제가를 보여 아인산제제보다 방제가가 높았다. 동일한 농도의 온실 실험에서는 77.0%의 방제가를 보인 결과에 비해 포장에서 아인산제제의 방제가는 다소 낮은 경향을 보였다. 이는 포장에서 관행재배법에 따라 재배한 것으로 온실에 비해 강수량등의 환경적인 요인이 크게 작용한 것으로 추정된다.

고추생육에 미치는 영향

온실에서 수도 육묘용 상토로 시판되는 건전 토양에 고추묘를 정식 후 10일 간격으로 아인산을 250, 500, 1,000, 1,500 μg a.i./mL 농도로 각각 처리한 후 조사한 고추묘의 초장은 표 6과 같다. 달관조사에 의한 결과 아인산처리에 의해 비해증상은 나타나지 않았으며, 초장을 조사한 결과 통계적으로 처리간 유의차는 없었다. 그러나 생육지수로 나타낼 때 무처리구에 비하여 아인산 처리구가 2.0~5.0% 생육이 증진된 것으로 나타났다.

고추를 관행재배방식에 의해 재배하면서 아인산을 10일 간격으로 4회 처리한 다음 10일 후에 조사한 초장, 열매 수 및 무게는 표 7에서 볼 수 있다. 아인산 처리에 의해 고추의 생육이 증진되어 초장은 무처리구에 비해 108.5%, 한주 당 고추열매 수는

123.8%, 고추 무게는 119.7%의 생육지수를 나타¹⁴⁾냈다. 이러한 결과는 장 등이 보고한 결과와 유사하였으며, Foerster 등이 보고한 토마토와 고추의 수경 재배에서 아인산이 첨가된 배양액을 사용할 경우 아인산이 첨가되지 않은 배양액에서보다 생육이 증진된다는 결과와 유사하였다¹⁸⁾.

요 약

아인산 (phosphorous acid, H_3PO_3) 고추역병균 (*Phytophthora capsici*)에 대한 생물활성을 *in vitro*와 *in vivo*에서 검정하였다. 아인산이 1,000 및 10,000 μg a.i./mL 농도로 첨가되었을 경우 액체배지와 고체배지에서 무처리구에 비하여 97%이상 균사 생장이 억제되었으나, 10 μg a.i./mL 농도의 경우 액체배지에서는 무처리구에 비하여 46.2%, 고체배지에서는 4.9% 생장이 억제되었다. 액체배지에서 균사생장에 대한 EC_{50} 은 12.0 μg a.i./mL 였다. 아인산의 100 μg a.i./mL 농도에서 유주자낭의 형성은 무처리구에 비하여 89.1% 억제되었다. 아인산이 10,000 및 1,000 μg a.i./mL 농도로 첨가되었을 경우에 고추역병균의 유주자낭 발아율은 각각 0% 및 15.3% 발아하여 97.3% 발아한 무처리구에 비하여 100%와 84.3% 발아가 억제되었으며, 100 μg a.i./mL 농도에서는 54.3%가 발아하여 44.2% 발아가 억제되었다. 10 μg a.i./mL 농도에서는 90.9% 발아하여 6.6% 발아가 억제되었으나, 유주자낭은 발아하여도 정상적인 발아관의 신장에 이은 균사생장이 이루어지지 않고 균사신장이 극히 저조하거나, 비정상적인 형태를 나타내었다. 온실에서 아인산제제의 고추역병발생억제 효과를 검정한 결과 아인산제제는 77.0~62.0%의 방제가를 보였다. 고추를 포장에서 관행 재배하면서 아인산제제의 효과를 검정한 결과 무처리구와 비교하였을때 54% 역병발생이 억제되어 아인산의 병발생억제효과가 있는 것으로 나타났다. 아인산이 고추 생육에 미치는 영향을 조사한 결과 무처리구에 비해 초장은 108.5%, 한 주당 고추 열매 수는 123.8%, 무게는 119.7% 생육이 증진되었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 · 한국과학재단 지정 대구대학교 지역협력연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- Hwang, B. K. and Kim, C. H. (1995) Phytophthora blight of pepper and its control in Korea, *Plant Dis.* 79, 221-227.
- Hwang, B. K. and Kim, E. S. (1992) Protection of pepper plants against phytophthora blight by an avirulent isolate of *Phytophthora capsici*, *Korean J. Plant Pathol.* 8, 1-7.
- Park, K. S., Hagiwara, H. and Kim, C. H. (1993) Isolation of an antibiotic substance from *Pseudomonas cepacia* antagonistic to *Phytophthora capsici*, *Korean J. Plant Pathol.* 9, 1-6.
- Mao, W., Lewis, J. A., Lumsden, R. D. and Hebbard, K. P. (1998) Biocontrol of selected soilborne diseases of tomato and pepper plants, *Crop Protection.* 17, 535-542.
- Ristaino, J. B., Parra, G. and Campbell, C. L. (1997) Suppression of Phytophthora blight in bell pepper by a no-till wheat cover crop, *Phytopathology.* 87, 242-249.
- Ristaino, J. B. and Johnston, S. A. (1999) Ecologically based approaches to management of Phytophthora blight on bell pepper, *Plant Dis.* 83, 1080-1089.
- Staub, T. (1991) Fungicide resistance : practical experience with antiresistance strategies and the role of integrated use, *Ann. Rev. Phytopathol.* 29, 421-442.
- van Lenteren, J. C. (2000) A greenhouse without pesticides: fact or fantasy?, *Crop Protection.* 19, 375-384.
- Bompeix, G. and Saindrenan, P. (1984) *In vitro* antifungal activity of fosetyl Al and phosphorous acid on *Phytophthora* species, *Fruits.* 39, 777-786.
- Coffey, M. D. and Bower, L. A. (1984) *In vitro* variability among isolates of eight *Phytophthora* species in response to phosphorous acid, *Phytopathology.* 74, 738-742.
- Fenn, M. E. and Coffey, M. D. (1984) Studies on the *in vitro* and *in vivo* antifungal activity of fosetyl-Al and phosphorous acid, *Phytopathology.* 74, 606-611.
- Coffey, M. D. and Joseph, M. C. (1985) Effects of phosphorous acid and fosetyl-Al on the cycle of *Phytophthora cinnamomi* and *P. citricola*, *Phytopathology.* 75, 1042-1046.
- Jee, H. J., Park, H., Choi, W. D. and Choi, Y. C. (1999) Effect phosphorous acid on control of tomato late blight caused by *Phytophthora infestans*, *Korean J. Plant Pathol. Conference (Abstract) October, 1999.*
- Chang, T. H., Lim, T. H., Kim, I. Y., Choi, G. J., Kim, J. C., Kim, H. T., Lee, Y. S. and Cho, K. Y. (2000) Effect of phosphorous acid on control of phytophthora blight of red-pepper and tomato, and downy mildew of cucumber in the greenhouse, *The Korean J. of Pesticide Sci.* 4, 64-70.
- Matheron, M. E. and Porchas, M. (2000) Impact of azoxystrobin, dimethomorph, fluazinam, fosetyl-Al, and metalaxyl on growth, sporulation, and zoospore cyst germination of three *Phytophthora* spp., *Plant Dis.* 84,

- 454-458.
16. Fenn, M. E. and Coffey, M. D. (1985) Further evidence for the direct mode of action of fosetyl-Al and phosphorous acid, *Phytopathology* 75, 1064-1068.
 17. Darakis, G. A. and Skoudridakis, V. A. (1997) Phosphonate transport in *Phytophthora capsici*, *Plant Pathol.* 46, 762-772.
 18. Forster, H., Adaskaveg, J. E. and Kim, D. H. (1998) Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture, *Plant Dis.* 82, 1165-1170.