

고추 역병과 탄저병에 대한 친환경유기농자재의 방제 효과

박세정 · 김가혜 · 김아형 · 이호택 · 권현욱 · 김주형 · 이경희¹ · 김흥태*

충북대학교 식물의학과, ¹충북농업기술원 친환경농업과

Controlling Effect of Agricultural Organic Materials on Phytophthora Blight and Anthracnose in Red Pepper

Se-Jung Park, Ga-hye Kim, A Hyeong Kim, Hotaek Lee, Hyeon-wook Gwon,

Joohyeng Kim, Kyeong Hee Lee¹ and Heung Tae Kim*

Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life Science and Environment,
Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

¹Environment-friendly Research Division, Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Sevice,
Cheonwon Chungbuk 363-883, Korea

(Received on February 6, 2012; Revised on March 15, 2012; Accepted on March 15, 2012)

A total of 20 agricultural organic materials including inorganic compounds, plant oils and plant extracts were used in the study for assessing the control efficacy on pepper diseases. Among inorganic compounds, only copper hydroxide showed inhibitory effect on both *Phytophthora capsici* causing Phytophthora blight and *Colletotrichum acutatum* causing anthracnose. Phosphorous acid inhibited the growth of *P. capsici* on PDA, and Sulfur/quicklime had it on that of *C. acutatum*. Plant essential oil, rosemary oil, and rapeseed oil among plant oils and plant extract of Japanese apricot/ginkgo nut inhibited the mycelial growth of the two pathogens. In the screening using pepper plant seedlings, the control efficacy on Phytophthora blight in 6-leaf stage of seedling was superior to that in 4-leaf stage of seedling. A protective effect on Phytophthora blight was displayed by copper hydroxide, sulfur/quicklime, water soluble calcium, phosphorous acid, plant essential oil, and cloves extract. When *C. acutatum* was inoculated by the non-wound method, copper hydroxide and rapeseed oil showed excellent protective activities with control values of 91.3% and 82.6%, respectively. However, copper hydroxide did not show any activity, when *C. acutatum* was inoculated after wounding pepper fruits. All organic materials never showed the curative effect on Phytophthora blight and anthracnose in pepper seedling assay and fruit assay.

Keywords : Environmentally-friendly agriculture crop protectants, Inorganic organic agricultural products, Plant extract, Plant oil

서 론

친환경농업이 최근 소비자와 생산자 모두에게 관심을 받으면서 친환경농산물의 생산지가 서서히 증가하고 있지만, 병해 방제를 위해서 사용하던 살균제를 대체할 수 있을 정도의 우수한 효과가 입증된 자재가 극히 제한적이며, 공시된 유기농자재의 포장 사용 체계역시 확립되어

있지 않아서 현장의 농민들이 유기농자재를 효과적으로 사용하지 못하고 있는 실정이다. 현재 친환경농업에서 사용할 수 있게 공시되어 있는 농자재를 친환경유기농자재라고 칭하며, 국내에는 총 1,363개의 품목이 공시되어 있다. 이들은 작물병해관리용 자재 170종, 작물충해관리용 자재 312종, 토양개량용 자재 26종, 작물생육용 자재 393종, 토양개량 및 작물생육용 자재 462종이 공시되어 있으며, 작물병해관리용 자재 중에는 무기물이 64종, 오일류가 13종, 식물추출물이 40종, 그리고 미생물과 광물질을 포함하는 기타 자재로 50종이 공시되어 있다. 하지만 공시된 자재의 효과와 작용 특성 등에 관한 연구는

*Corresponding author

Phone) +82-43-262-1556, Fax) +82-43-271-4414

Email) htkim@cbnu.ac.kr

많이 진행되어 있지 못하다.

고추는 국내에서 재배되는 채소작물 중에서 생산액이 가장 높은 중요한 작물이지만, 최근 수입량의 증가와 생산지 면적의 감소, 재배 농민의 고령화 등의 문제로 어려움을 맞고 있을 뿐만 아니라, 재배 작기가 길기 때문에 여러 가지 병에 대한 피해가 큰 작물이기도 하다. 고추의 생산량을 위협하는 중요한 병으로 역병과 탄저병을 들 수 있다. *Phytophthora capsici*에 의해서 발생하는 고추 역병은 정식기인 5월부터 생육후기인 9월까지 전 재배 기간 중에 발생하는 토양 전염성 병이다. 고추 역병의 발생은 생육 기간 중의 강우일수와 밀접하게 관련되어 있는데, 월별 강우일수가 20일 이상이 되었던 2003년도에는 5월부터 8월까지 사이에 고추 주산지인 전북, 경북, 전남 지역에서 평균 발병주율이 69–82%에 달할 정도로 심하게 발생한 적이 있었다(Kim, 2004). 포장에서 발생 정도는 그 해의 강수량이나 강수일수에 의해서 크게 차이가 나고 있지만, 매년 5% 이상되는 발생주율을 보이고 있으며, 고추 총 생산액이 1조 4500억원인 것을 감안하면 매년 고추 역병으로 인한 피해액은 최소한 7백억원에 가까울 것으로 추정하고 있다. 고추 탄저병은 7월 초순과 중순경부터 열매에 발생하기 시작하여 8월과 9월을 지나면서 급격히 발생량이 증가하는데, 고추 열매에 괴저 증상을 보이기 때문에 직접적으로 수량감소와 품질 저하에 영향을 미치는 병이다. 국내의 경우 매년 총 생산액의 10% 이상(약 천억원), 중국의 경우 약 18%의 수량 손실이 보고되었으며, 경우에 따라서는 50–80%까지의 수량이 감소하기도 한다고 보고되었다(Kim과 Park, 1988; Shin 등, 1999). 노지에서 고추를 재배하고자 할 때, 이 두 가지의 병에 대한 방제가 반드시 성공해야만 고추의 안정적인 수급이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 170종이 등록되어 있는 작물병해관리용 유기농자재를 무기물, 오일류, 식물추출물, 그리고 기타 자재의 그룹으로 구분하고, 각각의 그룹에서 10종, 4종, 5종, 1종씩을 선발하여 실험에 사용하였다. 선발한 자재는 실내 검정을 통하여 고추 역병균과 탄저병균의 생장 억제 효과를 조사하였으며, 역병의 경우에는 온실에서 유묘 검정을 통하여, 그리고 탄저병의 경우에는 실내에서 열매 검정을 통하여 선발한 유기농자재의 병 방제 효과를 조사하였다.

재료 및 방법

실험에 사용한 병원균. 병든 고추에서 분리한 고추 탄저병균(*Colletotrichum acutatum* JC24)과 고추 역병균

Table 1. The list of agricultural organic materials used in this study

Groups	Experimental number	Agricultural organic materials	Dilution concentration (fold)
Inorganic compounds			
	1	Copper hydroxide	500 ^a
	2	Sulfur/quicklime	50
	3	Cupric sulfate/quicklime	1000
	4	Sodium silicate	1000
	5	Water soluble calcium	1000
	6	Manganese/boron	1000
	7	Sodium bicarbonate	–
	8	Potassium carbonate	–
	9	Potassium permanganate	–
	10	Phosphorous acid	400
Plant oils			
	11	Paraffin oil	150
	12	Plant essential oil	250
	13	Rosemary oil	1000
	14	Rapeseed oil	1000
Plant extracts			
	15	Japanese apricot/ginkgo nut	500
	16	Clove	1000
	17	Curled dock	1000
	18	<i>Curcuma longa</i> rhizoma	500
	19	Stevia	500
Others			
	20	Chitosan	125

^aFigures indicated the dilution concentration recommended for using each organic material in the fields.

(*Phytophthora capsici* JHAW1-2)을 본 실험에 사용하였다.

실험에 사용한 유기농자재. 유기농자재로 등록되어 있는 품목 중에서 무기물 10종, 오일류 4종, 식물추출물 5종, 그리고 키토산 제품 1종 등, 총 20종을 선발하여 실험에 사용하였다(Table 1). 실험에 사용한 유기농자재는 포장에서 사용하는 각 품목의 희석배수(N)를 가지고서 $N \times 5^{-1}$, $N \times 5^0$, $N \times 5^1$, $N \times 5^2$ 의 희석배수로 조정하여 실험에 사용하였다. 단, 중탄산나트륨(Hanwa), 탄산칼륨(Sigma), 과망간산칼륨(Sigma), 규산나트륨(Sigma) 등은 시약용으로 판매하는 화합물을 구입하여 실험에 사용하였으며, 0.1, 0.02, 0.004, 0.0008 M로 농도를 조절하여 사용하였다. 모든 유기농자재는 증류수를 이용하여 농도를 조절하였다.

유기농자재의 병원균에 대한 실내 검정. 실험에 사용한 고추 역병균, 탄저병균 그리고 풋마름병균의 생육에 미치는 유기농자재의 효과를 배지 상에서 병원균에 직접 처리하여 조사하였다. 고추 역병균인 *P. capsici* JHAW 1-2를 20°C의 V8 배지(V8; 200 ml, CaCO₃; 1 g, agar; 17 g,

증류수; 1 l)에서 4일간 배양하여 접종원으로 사용하였다. 새롭게 만든 PDA 배지(potato starch; 4 g, dextrose; 20 g, agar; 15 g, 증류수; 1 l)의 중앙에 4일간 배양한 JHAW 1-2의 균사 선단에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 접종하였다. 역병균에 대한 유기농자재의 균사 생장 억제 정도를 조사하기 위하여 배지 중앙에 접종한 역병균으로부터 양쪽으로 동일한 거리에 직경 6 mm의 filter paper를 올려놓고, 한 쪽의 filter paper에 준비한 유기농자재 용액 20 μ l를 처리하였다. 반대편의 filter paper에는 동량의 살균증류수를 처리하였다. 병원균을 접종한 배지는 20°C에서 5일간 배양한 후, 배지의 중앙에서부터 자란 균층의 직경을 측정하여 유기농자재의 균사 생장 억제 효과를 조사하였다. 고추 탄저병균인 *C. acutatum* JC24의 포자를 얻기 위해서, 병원균을 PDA 배지에 접종한 후, 25°C의 암상태에서 10일간 배양하였다. 배지 상에 형성된 탄저병균의 포자를 살균증류수로 수확하여, agar의 농도를 1%로 조절한 PDA 배지에 병원균 포자의 최종농도가 1×10^4 개/ml가 되도록 첨가하여 고르게 섞은 후, 멸균한 WA 배지(agar; 18 g, 증류수; 1 l) 위에 약 3 ml씩 분주하였다. 여러 가지 농도로 준비한 유기농자재의 용액을 20 μ l씩 처리한 여과지(직경; 6 mm)를, 탄저병균 포자를 혼합한 PDA배지를 증류수로 분주한 배지 위에 올려놓고 25°C에서 2일간 배양한 후, 형성된 저지원의 크기를 조사하였다.

고추 유묘를 이용한 역병 방제 효과 검정. 온실에서 4엽기까지 재배한 고추(품종: 왕대박) 유묘를 실험에 사용하였다. 병원균의 접종원을 준비하기 위하여 20°C의 V8 배지에서 4일간 배양한 역병균의 균층 선단에서 균사 조각을 떼어 내어 oat meal배지(oatmeal; 60 g, agar; 12.5 g, 증류수; 1 l)에 접종하고, 다시 20°C에서 7일간 배양하였다. 배지 표면에 형성된 공중균사를 긁어 상처를 낸 후에, 2일 동안 형광등을 쬐어 주고, 증류수를 부어 형성된 포자낭을 수확하였다. 포자낭 현탁액의 포자낭의 수를 1×10^3 개/ml로 조절 포자낭 현 4°C에 3시간 동안 보관하여, 포자낭으로부터 유주포자를 나출시켰다. 유주포자와 포자낭 현탁액을 고추 유묘를 재배한 포트(직경; 7 cm, 높이; 6.5 cm)에 10 ml씩 부어서 접종하고, 고추 유묘는 온실의 비닐 상자에 넣어 저면관수하면서, 병이 발생하도록 관리하였다. 유기농자재의 처리는 병원균을 접종하기 1일 전(예방효과)과 1일 후(치료효과)에 고추 유묘를 재배한 포트에 10 ml씩 부어서 처리하였다. 병원균을 접종하고 3일 후에 역병 발생 고추의 수를 조사하였다. 또한 동일한 방법에 의해서 6엽기의 고추를 이용하여 유기농자재의 방제효과를 검정하였는데, 병원균을 접종하고 7일 후에 병

이 발생한 고추의 수를 조사하였다. 검정 결과 6엽기의 고추에서 방제 효과가 80% 이상이 되는 유기농 자재의 경우는 병원균의 접종 시기를 유기농자재를 처리하고 1과 7일 후에 각각 접종하면서 약제 효과의 지속성을 비교하였다.

고추 열매를 이용한 탄저병 억제 효과 검정. 유기농 자재는 고추 열매(품종; 왕대박)에 병원균을 접종하기 1일 전과 1일 후에 각각 처리하여 예방효과와 처리효과를 조사하였다. 예방효과를 조사하기 위해서 준비한 여러 농도의 유기농자재를 고추 열매에 분무 처리하고 1일간 건조시킨 다음, 앞에서 준비한 탄저병균 포자 현탁액(포자 농도; 1×10^6 개/ml)을 분무하여 접종하였다. 접종한 열매는 탄저병 발생을 유도하기 위해서, 바닥에 두 겹의 키친타올을 깔고 100 ml의 증류수를 부은 플라스틱 상자(가로; 28 cm, 세로; 22 cm, 높이; 8 cm)에 넣고, 포화습도를 유지하기 위해서 뚜껑을 덮어 25°C에서 7일간 보관하였다. 고추 열매의 표면에서 탄저병의 병반이 나타나는 것을 확인한 후에 상자의 뚜껑을 열고 3일간을 더 보관한 다음에 열매에 형성된 병반의 면적을 육안으로 조사하였다. 치료효과를 조사하기 위해서 유기농자재를 처리하기 1일 전에 준비한 병원균을 고추 열매에 예방효과 조사 시와 동일한 방법으로 분무 접종하고, 포화 습도를 유지하기 위해서 플라스틱 상자에 넣어 25°C에서 하루동안 보관하였다. 하루 동안 습실 처리한 후에 병원균을 접종한 고추에 유기농자재를 분무 처리하고 다시 플라스틱 상자에서 보관하며 발병을 유도하였다. 발병 조사는 예방효과 조사와 동일하게 접종한 열매에 형성된 병반의 면적을 육안으로 조사하였다. 고추 탄저병균이 열매를 침입할 때, 열매에 발생한 상처의 유무는 병원균의 침입과 병 발생에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 실험에 사용한 20종의 유기농자재의 효과를 인위적으로 상처를 낸 고추 열매에서도 조사하였다. 모든 실험은 위에서 서술한 방법과 동일하게 진행하였으나, 병원균을 접종하기 전에 핀을 사용하여 인위적으로 상처를 내고 상처 위에 병원균의 포자현탁액을 10 μ l씩 떨어뜨려 접종하였다.

통계분석. 각 처리 평균값을 비교하기 위하여 Duncan 검정을 실시하였으며, Duncan 검정은 SAS Institute, version 8.02(Statistical Analysis System)를 이용하여 실시하였다.

결과 및 고찰

고추 역병균과 탄저병균에 대한 유기농자재의 생장 억제 효과. 실험한 20종의 유기농자재 중에서 역병의 생장을 억제하는 자재는 6종, 탄저병균의 생장을 억제하는

Table 2. Growth inhibition effect of agricultural organic materials against *Phytophthora capsici* causing Phytophthora blight and *Colletotrichum acutatum* causing anthracnose in red pepper

Group and Exp. No.	Agricultural organic materials	Dilution (fold) ^a	<i>Phytophthora capsici</i>	<i>Colletotrichum acutatum</i>
Inorganic compounds				
1	Copper hydroxide	N×5	++	+
		N×5 ⁰	+	-
		N×5 ¹	-	-
		N×5 ²	-	-
2	Sulfur/quicklime	N×5	-	+++
		N×5 ⁰	-	++
		N×5 ¹	-	+
		N×5 ²	-	-
9	Potassium permanganate	N×5	-	+
		N×5 ⁰	-	-
		N×5 ⁻¹	-	-
		N×5 ⁻²	-	-
10	Phosphorous acid	N×5	+++	-
		N×5 ⁰	++	-
		N×5 ¹	++	-
		N×5 ²	+	-
Plant oils				
12	Plant essential oil	N×5	++	++
		N×5 ⁰	-	-
		N×5 ¹	-	-
		N×5 ²	-	-
13	Rosemary oil	N×5	+	++
		N×5 ⁰	+	-
		N×5 ¹	-	-
		N×5 ²	-	-
14	Rapeseed oil	N×5	+	+
		N×5 ⁰	-	-
		N×5 ¹	-	-
		N×5 ²	-	-
Plant extracts				
15	Japanese apricot/ginkgo nut	N×5	+	++
		N×5 ⁰	-	+
		N×5 ¹	-	-
		N×5 ²	-	-
18	<i>Curcuma longa</i> rhizoma	N×5	-	++
		N×5 ⁰	-	+
		N×5 ¹	-	-
		N×5 ²	-	-

^aN indicates the treated dilution concentration of each materials in the field. But N is 0.02 M in potassium permanganate.

자재는 8종이었다(Table 2). 실험에 사용한 두 가지 병원균 모두의 생육을 억제하는 유기농자재는 수산화동과 식물정유, 로즈마리오일, 채종유와 같은 오일 성분, 그리고 매실/은행 추출물이었다. 아인산은 역병균에 대해서만, 황/생석회와 울금추출물은 탄저병균에 대해서만 효과를 보였다. Kim 등(2007)은 수산화동이 역병균의 균사 성장, 포자낭 발아, 포자낭으로부터 유주포자의 나출 등을 모두 억제한다고 보고하였는데, 본 연구에서도 수산화동은 역병균의 균사생장을 억제하였다. 뿐만 아니라 탄저병균의 생장도 억제하였다. 수산화동은 오래 전부터 채소 재배지에서 잎에 발생하는 세균병의 방제에 사용되어 왔다(Pernezy, 2007). 그러나 수산화동은 세균뿐만 아니라 곰팡이가 일으키는 땅콩의 점무늬병과 감귤류의 *Alternaria* 점무늬병의 방제에서도 효과적이었으며(Smith와 Littrell, 1980; Solel 등, 1997), 본 실험에서 보는 것과 같이 난균문에 속하는 고추 역병균과 식물병원진균인 고추 탄저병에 대해서도 효과가 우수하였다. 아인산은 진균류에 속하는 곰팡이의 균사생장 억제 효과는 매우 낮으며 난균문에 속하는 *Phytophthora*속 병원균의 균사 성장을 억제한다(Fenn과 Coffey, 1984). 아인산의 작용기작은 병원균의 생육을 직접 억제하기 보다는 식물체에서 저항성을 유발하는 간접적인 효과가 크다고 알려져 있었다. 하지만 화학물질 처리를 하여 얻은 *P. capsici*의 돌연변이 균주가 아인산에

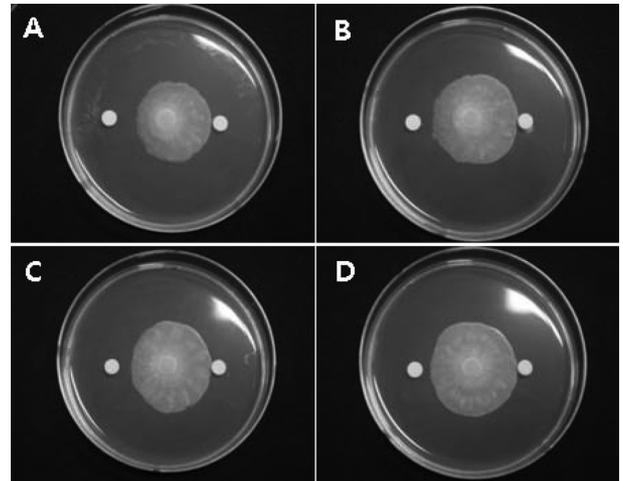


Fig. 1. Mycelial growth inhibition effect of phosphonate on *Phytophthora capsici* causing Phytophthora blight. Phosphonate was applied on left-side filter paper by 20- μ l dropping. Application concentration was adjusted to N×5⁻¹ (A), N×5⁰ (B), N×5¹ (C), and N×5² (D). Here N is the commercialized dilution concentration in the field. On right-side filter paper, sterile distilled water was applied like the application method of phosphonate. *Phytophthora capsici* JHAW 1-2 isolated from infected pepper plant was used for the assessment of controlling activity of each agricultural organic material.

대해서 저항성 반응을 보였을 뿐만 아니라, 식물체에서 저항성을 일으키는 것으로 보고되어 있는 fosetyl-AI에 대해서도 저항성 반응을 보인다는 것이 보고되면서 *Phytophthora*속에 대한 아인산의 작용기작이 식물체에서 저항성을 유기는 간접적인 효과뿐만 아니라 병원균의 생육을 직접 억제하는 효과도 있음이 알려졌다(Bower와 Coffey, 1985; Guest와 Grant, 1991; Jee 등, 2002; Lee 등, 2001; Ouimette와 Coffey, 1989). 하지만 *Phytophthora* 속 에 속하는 병원균의 종에 따라서 아인산에 대한 반응은 매우 다르다. Coffey와 Bower(1984)는 8가지 종의 *Phytophthora* 균주를 선발하여 아인산과의 반응을 조사하였는데, 각 종의 EC₅₀ 값은 5.2에서 224.4 µg/ml로 매우 다양하였다. 감수성 반응을 나타내는 종은 *P. citrophthora* M143, *P. citricola* P1287, *P. cinnamomi* Pc97 등이었으며, 나머지 균주들의 감수성 정도는 떨어졌다. *P. capsici* P1091 과 P1314 균주의 EC₅₀ 값은 각각 18.5와 30.6 µg/ml로 감수성 그룹에 속하는 종에 비해서 감수성이 떨어지는 것으로 나타났다. 본 실험에 사용한 *P. capsici* JHAW1-2는

metalaxyl에 대해서 저항성 반응을 보이는 균주임에도 불구하고 아인산 처리에 의해서 균사생장에 억제되었다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 처리한 아인산의 농도가 낮아지면서 역병균의 균사 생장 억제효과도 감소하고 있었다. 식물 정유, 로즈마리오일, 채종유와 매실/은행 추출물 등은 높은 농도에서 역병균의 균사생장을 억제하는 것으로 나타났다.

고추 유묘에서 유기농자재의 역병 방제 효과. 유기농 자재들의 효과는 4엽기의 고추 식물체보다 6엽기의 고추 식물체에서 높게 나타났다(Table 3). 이는 실험에 사용한 4엽기의 고추(품종; 왕대박) 유묘가 6엽기의 고추 유묘보다 병원균에 대한 감수성이 높아서, 빠른 시간 내에 많은 병이 발생하였기 때문에 방제효과가 낮아진 것으로 생각 한다. 성숙한 유묘가 어린 유묘보다 역병균에 대해서 저항성을 보이는 결과는 이미 보고되어 있다(Ando 등, 2009; Kus 등, 2002). Kim 등(1989)은 고추 역병균을 토양에 관 주하여 8가지의 고추 품종에 접종하고 병발생을 조사하였는데, 이 때 실험에 사용한 고추는 2엽기와 6엽기 그리

Table 3. Control effect of agricultural organic materials against *Phytophthora* blight caused by *Phytophthora capsici* according to the leaf stage of tested red pepper plants

Groups and Exp. No.	Agricultural organic materials	4-leaf stage pepper		6-leaf stage pepper	
		Protective effect	Curative effect	Protective effect	Curative effect
Inorganic compounds					
1	Copper hydroxide	60 a ^a	0 b	80 a	40 a
2	Sulfur/quicklime	40 b	0 b	80 a	20 b
3	Cupric sulfate/quicklime	0 d	0 b	20 bc	20 b
4	Sodium silicate	0 d	0 b	40 b	20 b
5	Water soluble calcium	0 d	0 b	80 a	0 c
6	Manganese/boron	0 d	0 b	20 bc	20 b
7	Sodium bicarbonate	20 c	0 b	20 bc	0 c
8	Potassium carbonate	40 b	0 b	40 b	20 b
9	Potassium permanganate	0 d	0 b	40 b	0 c
10	Phosphorous acid	60 a	0 b	80 a	20 b
Plant oils					
11	Paraffin oil	0 d	0 b	40 b	40 a
12	Plant essential oil	40 b	0 b	100 a	0 c
13	Rosemary oil	40 b	0 b	40 b	40 a
14	Rapeseed oil	0 d	0 b	20 bc	40 a
Plant extracts					
15	Japanese apricot/ginkgo nut	0 d	0 b	40 b	40 a
16	Clove	60 a	0 b	100 a	20 b
17	Curled dock	0 d	20 a	40 b	40 a
18	<i>Curcuma longa</i> rhizoma	0 d	0 b	20 bc	40 a
19	Stevia	0 d	0 b	0 c	40 a
Others					
20	Chitosan	0 d	0 b	0 c	0 c

^aThe different letters are significantly ($P < 0.01$) different according to Duncan's multiple test.

고 분지기의 유묘를 사용하였다. 그 결과가 진품과 챔피온 등의 품종은 고추의 유묘가 성숙할수록 병 발생이 줄어드는 성체식물 저항성을 나타내었다. 이와 같은 성체식물 저항성은 PI 201234와 PI 201238의 두 가지 고추 라인에 대한 *P. capsici* 87E1과 CBS178.26의 두 균주의 반응에서도 나타났는데, 어린 유묘보다는 성숙한 식물체에서 병원균에 대한 저항성 반응이 뚜렷하게 나타났다(Hwang 등, 1996). 본 실험에 사용한 수산화동, 황/생석회, 아인산, 식물정유, 정향추출물 등의 유기농자재는 4엽기에서 보다 6엽기의 고추 유묘에서 효과가 상승하고 있는데, 이 결과는 본 실험에서 사용한 고추(품종; 왕대박)가 성숙하면서 병원균에 대한 저항성 정도가 증가하여 병 발생이 감소하면서 4엽기의 유묘에서 낮은 효과를 보였던 자재들의 효과가 상승하게 된 것이라고 생각한다. 하지만 치료효과의 경우에는 유묘가 성숙하여도 효과가 나타나지 않는 것은, 실험에 사용한 유기농자재의 치료효과가 매우 낮아서 엽기의 변화에 따른 병 발생량의 감소가 유기농자재의 치료효과에는 영향을 미치지 않았던 것으로 보인다. Table 3에서 보는 것과 같이 감수성이 높은 4엽기의 고추 유묘에서는 역병원균에 대한 치료효과가 전혀 보이지 않았으며, 6엽기의 유묘에서도 50% 이상의 치료효과를 보이는 유기농자재는 전혀 없었다. 이러한 결과는 유기농자재들을 이용하여 고추 역병을 방제하기 위해서 병원균이 고추 식물체를 침입하기 전에 예방적으로 처리하여야 하며, 어린 시기의 고추에서 역병을 방지하기 위해서는 유기농자재를 처리하는 것은 효과적이지 못하기 때문에 정식 후 포장 위생 관리와 배수 관리 등을 철저히 하는 것이 중요하다는 것을 보여주고 있다. 6엽기의 고추 유묘에서 80% 이상의 효과를 보인 6개의 유기농자재(수산화동, 황/생석회, 수용성 칼슘, 아인산, 식물정유, 정향추출물)를 선발하여 병원균을 접종하기 1과 7일 전에 토양에 관주처리하고 병 방제효과를 조사하였다. 실험에 사용한 대부분의 유기농자재는 병원균을 접종하기 1일전에 처리하였을 경우에 그 효과가 가장 우수하였다(Fig. 2). 유기농자재를 처리하고 시간이 지남에 따라서 병 방제 효과는 감소하였다. 다만 수용성 칼슘만이 유기농자재를 처리하고 7일 후에 병원균을 접종하였을 때까지도 60%의 효과를 유지하고 있었다. 아인산과 식물 정유의 경우에는 병원균을 접종하기 1일전에 처리하였을 때 100%의 방제효과가 시간이 경과하면서 급격히 감소하여 7일전 처리에서는 40%의 효과 밖에는 나타내지 못하였다. 아인산을 병원균을 접종하기 7일전에 처리할 경우에는 병원균을 접종하고 3일 후부터 시들음 증상을 보이는 고추를 관찰할 수 있었다. 하지만 병원균을 접종하기 1일 전에 처리한 처리구

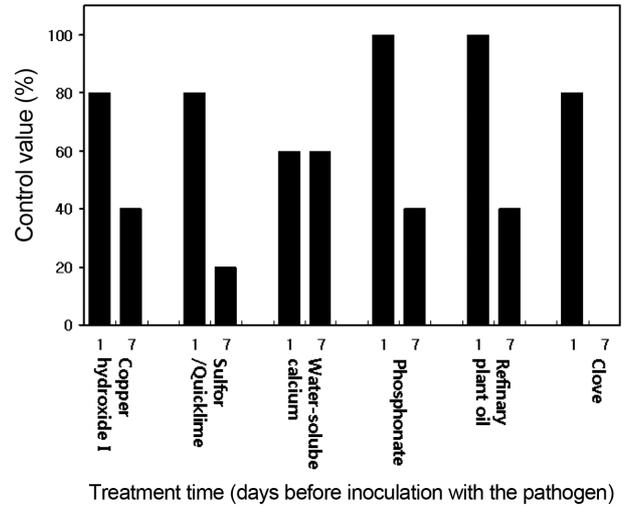


Fig. 2. Perspective effect of several agricultural organic materials on Phytophthora blight caused by *Phytophthora capsici*. Each agricultural organic material was treated by commercialized dilution concentration of the field one day and 7 days before inoculation.

에서는 병원균을 접종하고 7일 후까지도 전혀 병이 발생하지 않았다. 이 결과는 토양에 처리한 유기농자재의 효과가 오래 지속되지 못함을 보여주는 결과라고 생각한다. Chang 등(2000)도 온실 실험에서 고추 유묘에 1,760 µg/ml의 아인산을 경엽처리하였을 때, 아인산 처리 4일 후에 94.0%이었던 방제효과가 7일 후에는 29.0%로 급감하였다. 본 실험에서는 아인산을 고추 재배 포트에 토양관주하였기 때문에 Chang 등(2000)의 실험과 처리 방법이 다르기는 하였지만, 아인산의 효과 감소 경향은 비슷하였다. 결국 아인산은 지상부에 경엽처리를 하거나, 토양에 관주처리를 할 경우 모두 처리하고 7일 후에는 효과가 크게 감소함을 알 수 있었다. 이처럼 유기농자재의 처리 적기는 병 발생 직전이 가장 효과적인데, 병 발생 직전의 시기를 결정하기가 어렵기 때문에 병 발생 시기가 되면 주기적인 예방 처리가 필요함을 보여주는 결과라고 생각한다.

고추 열매에서 탄저병 방제 효과. 고추 열매에 병원균을 무상처 접종하며 유기농자재의 탄저병에 대한 방제효과를 조사한 결과, 수산화동을 비롯한 9종의 유기농자재가 50% 이상의 예방효과를 보였다(Table 4). 탄저병에 대한 예방효과가 70% 이상인 자재는 수산화동과 채종유이였으며, 황/생석회만이 70% 이상의 치료효과를 보였다. 예방과 치료효과가 모두 50% 이상인 자재로는 황/생석회가 있었다. 탄저병균을 상처 접종하였을 때에도 유기농자재의 탄저병에 대한 방제효과는 무상처접종과 동일하게 예방효과가 치료효과보다 높았다. 무상처 접종에서 예방효과가 우수하였던 수산화동은 병원균을 상처 접종하였

Table 4. Control effect of agricultural organic materials against red pepper anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum* according to inoculation methods with the pathogen

Groups and Exp. No.	Agricultural organic materials	Protective effect		Curative effect	
		Non-wound	Wound	Non-wound	Wound
Inorganic compounds					
1	Copper hydroxide	91.3 a ^a	0.0 h	40.1 bc	3.6 c
2	Sulfur/quicklime	56.5 cde	79.9 a	75.6 a	25.6 ab
3	Cupric sulfate/quicklime	65.2 bc	47.8 cd	27.5 cdef	0.0 c
4	Sodium silicate	2.5 i	3.5 h	38.5 bcd	0.0 c
5	Water soluble calcium	47.8 cdefg	18.2 g	18.8 fg	0.0 c
6	Manganese/boron	36.1 efg	36.6 def	16.7 fg	0.0 c
7	Sodium bicarbonate	30.4 gh	37.0 def	22.0 efg	0.0 c
8	Potassium carbonate	42.5 defg	28.0 efg	27.5 cdef	0.0 c
9	Potassium permanganate	50.0 cdefg	38.3 de	44.0 b	0.0 c
10	Phosphorous acid	0.0 i	3.9 h	12.5 g	0.0 c
Plant oils					
11	Paraffin oil	43.5 defg	43.5 d	19.0 fg	0.0 c
12	Plant essential oil	50.0 cdefg	27.3 efg	33.3 bced	0.0 c
13	Rosemary oil	35.0 fgh	48.6 cd	26.7 def	0.0 c
14	Rapeseed oil	82.6 ab	78.1 a	28.6 cdef	8.3
Plant extracts					
15	Japanese apricot/ginkgo nut	15.0 hi	19.3 g	21.6 efg	0.0 c
16	Clove	43.5 defg	23.2 fg	38.1 bcd	0.0 c
17	Curlled dock	65.2 bc	66.6 ab	21.1 efg	0.0 c
18	<i>Curcuma longa</i> rhizoma	8.7 i	0.0 h	40.7 bc	0.0 c
19	Stevia	52.2 cdef	58.6 bc	26.0 def	19.5 b
Others					
20	Chitosan	60.9 cd	42.3 de	21.4 efg	29.8 a

^aThe different letters are significantly ($P<0.01$) different according to Duncan's multiple test.

을 경우에는 전혀 효과가 나타나지 않았다. 이는 고추 열매에 인위적으로 유발한 상처에 처리한 수산화동이 식물체 세포에 독성을 나타내어 병원균의 침입을 더 용이하게 만들어주었을 것으로 생각한다. 황/생석회는 병원균을 무상처 접종하였을 때 56.5%와 75.6%의 예방과 치료효과를 보였을 뿐만 아니라, 상처접종의 예방 처리에서도 79.9%의 좋은 효과를 나타내었다. 하지만 상처 접종하였을 경우, 무상처 접종 시에 75.6%이었던 치료효과는 25.6%로 크게 감소하였다. 이러한 결과는 역병의 경우와 유사하게 유기농자재는 병원균이 고추 식물체를 침입한 후에 치료적으로 처리하는 것보다는 병원균 침입 전에 예방적으로 처리할 경우의 효과가 더 우수함을 보여주는 결과이다.

지구상에서 두 번째로 양이 많은 화합물인 규소가 함유된 규산염은 영양분의 불균등의 문제를 해소하는 역할을 할 뿐만 아니라, 일부 작물에서는 금속 이온의 약해를 경감시키고, 내염성의 증가, 식물 생장의 촉진, 세포벽의

리그닌화를 통한 강도 증가 등의 효과를 가져오는 것으로 알려져 있다(Deliopoulos 등, 2010). 이처럼 다양한 기능을 지닌 규산은 식물병에 대한 방제효과도 보고되어 있는데, 토양에 1.7 mM의 현탁액을 관주하여 처리하였을 때, 밀 흰가루병을 약 80%까지 방제하였다(Guével 등, 2007). Lee 등(2004)은 고추 수경 재배시 영양액에 1.7 mM의 규산을 공급하였을 때 고추 역병에 대한 예방효과가 우수하였으며, 전자현미경 관찰을 통해서 규산을 처리한 고추의 뿌리 세포에서 규산의 입자가 가득 찬 액포를 관찰하였으며, 표피의 세포벽에도 두꺼운 규산 입자층이 형성되어 있었다고 보고하였다. 결국 규산 처리는 식물체에서 병원균에 대한 방어 기작을 작동시키고, 처리한 식물체 표피세포의 세포벽 강도를 강화시켜 식물병을 방제한다(Deliopoulos 등, 2010). 하지만 본 실험에서는 탄저병에 대한 방제효과를 조사하기 위해서 규산 용액을 고추 열매에 직접 분무처리하고 1일 후에 병원균을 접종하는 검정법을 사용하였기 때문에, 규산의 기작이 정상적으로

가동되지 못하여 방제효과가 저조하였던 것으로 추정한다. 또한 역병의 경우는 토양에 관주 처리하였음에도 불구하고, 수경재배에서 역병에 대한 방제효과가 우수하게 나타났던 것과는 대조적으로 효과가 나타나지 않았는데, 그 이유는 본 실험에 사용한 규산이 식물체 내부로 원활하게 흡수되지 못하였기 때문이라고 생각한다. 따라서 규산에 대한 역병과 탄저병의 방제효과는 본 실험에서 사용한 것보다 식물체 내부로 흡수가 용이한 제품의 사용과 더불어 고추 탄저병에 대한 효과 검정이 열매에서 뿐만 아니라 열매가 식물체에 달려 있는 상태로 실험이 이루어져야 할 것으로 생각한다.

살균제의 대용품으로 유기농재배에서 사용되는 무기화합물은 중탄산염, 인산염, 규산염, 염화물, 아인산염에 속하는 34종의 화합물이었으며, 이들은 35종의 작물에서 49종의 식물병에 대한 효과가 있었다(Deliopoulos 등, 2010). 하지만 본 논문의 결과에서와 동일하게 Deliopoulos 등 (2010)도 기존의 살균제의 병방제 효과와 비교하여 무기물의 효과는 낮기 때문에 살균제의 사용을 완전히 대체할 수는 없고 살균제의 전체 사용량을 감소시킬 가능성이 있기 때문에, 특정 식물병의 병방제 프로그램에 포함하여 사용하는 것이 타당하다고 보고하였다. 특히 수산화동과 황/생석회는 고추에 주요한 병인 역병과 탄저병에 효과가 입증되었기 때문에, 추후 계속적인 실험을 통하여 포장에서 효과 검정과 사용 방법에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다.

요 약

친환경유기농자재로 등록되어 있는 농자재 중에서 무기염류, 오일류, 식물추출물, 그리고 키토산 등 총 20종을 선별하여 고추 역병과 탄저병에 대한 방제 효과를 조사하였다. 무기물류 중에서 수산화동은 배지상에서 역병균과 탄저병균의 생육을 모두 억제하였고, 아인산은 역병균의 생육만을, 그리고 황/생석회는 탄저병균의 생육만을 억제하였다. 식물정유, 로즈마리오일, 채종유, 그리고 매실/은행 추출물 역시 두 종류 식물병원균의 생장을 억제하였다. 고추 유묘를 이용한 역병 방제효과 검정에서는 4엽기의 유묘보다는 6엽기의 유묘에서 유기농자재의 효과가 효과가 우수하였다. 특히 수산화동, 황/생석회, 수용성칼슘, 아인산, 식물정유, 정향추출물 등이 80% 이상의 예방 효과를 보였다. 하지만 실험에 사용한 모든 유기농자재는 역병에 대해서 치료효과를 보이지 않았다. 열매를 이용한 탄저병에 대한 효과 검정에서도 대부분의 유기농자재는 치료 효과보다는 예방 효과가 우수하였다. 병원균을 무상

처 접종하였을 때, 50% 이상의 효과를 보였던 수산화동, 황/생석회, 황산동/생석회, 과망간산칼륨, 식물정유, 채종유, 소리쟁이 추출물, 스테비아 추출물, 키토산 등은 병원균을 상처 접종할 경우 그 효과가 감소하여, 황/생석회, 채종유, 소리쟁이 추출물, 스테비아추출물 등에서만 79.9, 78.1, 66.6, 58.6%의 예방효과가 나타났다. 실험에 사용한 20종의 자재 중에서 수산화동에서만 병원균을 무상처 접종하였을 때, 75.6%의 치료효과를 보였다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of Research & Development Project (Project No. PJ007881) on Area-based Development in Agriculture of Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ando, K., Hammar, S. and Grument, R. 2009. Age-related resistance of diverse cucurbit fruits to infection by *Phytophthora capsici*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 134: 176–182.
- Bower, L. A. and Coffey, M. D. 1985. Development of laboratory tolerance to phosphorous acid, fosetyl-Al and metalaxyl in *Phytophthora capsici*. *Can. J. Plant Pathol.* 7: 1–6.
- 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. *Korean J. Pestic. Sci.* 4: 64–70.
- 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.
- Deliopoulos, T., Kettlewell, P. S. and Hare, M. C. 2010. Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. *Crop Prot.* 29: 1059–1075.
- 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.
- Guest, D. I. and Gran, B. R. 1991. The complex action of phosphonates as antifungal agents. *Biol. Rev.* 66: 159–187.
- Guével, M.-H., Menzies, J. G. and Belanger, R. R. 2007. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. *Eur. J. Plant Pathol.* 119: 429–436.
- Hwang, B. K., Kim, Y. J. and Kim, C. H. 1996. Differential interactions of *Phytophthora capsici* isolates with pepper genotypes at various plant growth stages. *Eur. J. Pl. Pathol.* 102: 311–316.
- Jee, H.-J., Cho, W.-D. and Kim, C.-H. 2002. Effect of potassium

- phosphonate on the control of *Phytophthora* root rot of lettuce in hydroponics. *Plant Pathology J.* 18: 142–146.
- Kim, C. H. and Park, K. S. 1988. A predictive model of disease progression of red-pepper anthracnose. *Korean J. Plant Pathol.* 4: 325–331.
- Kim, C.-H. 2004. Review of disease incidence of major crops in 2003. *Res. Plant Dis.* 10: 1–7. (In Korean)
- Kim, Y. J., Hwang, B. K. and Park, K. W. 1989. Expression of age-related resistance in pepper plants infected with *Phytophthora capsici*. *Plant Dis.* 73: 745–747.
- Kus, J. V., Zaton, K., Sarkar, R. and Cameron, R. K. 2002. Age-related resistance in *Arabidopsis* is a developmentally regulated defense response to *Pseudomonas syringae*. *Plant Cell* 14: 479–490.
- Lee, J. S., Seo, S. T., Wang, T. C., Jang, H. I., Pae, D. H. and Engle, L. M. 2004. Effect of potassium silicate amendments in hydroponic nutrient solution on the suppressing of *Phytophthora* blight (*Phytophthora capsici*) in pepper. *Plant Pathology J.* 20: 277–282.
- Lee, Y.-S., Ryu, Y.-J., Cho, J.-S., Lim, T.-H. and Chang, T.-H. 2001. Effect of phosphorous acid on control of phytophthora blight of red pepper. *Korean J. Environ. Agricul.* 20: 180–185.
- Ouimette, D. G. and Coffey, M. D. 1989. Comparative antifungal activity of four phosphonate compounds against isolates of nine *Phytophthora* species. *Phytopathology* 79: 761–767.
- Pernezny, K., Nagata, R., Havranek, N. and Sanchez, J. 2007. Comparison of two culture media for determination of the copper resistance of *Xanthomonas* strains and their usefulness for prediction of control with copper bactericides. *Crop Prot.* 26: 1–7.
- Shin, H. J., Chen, Z. J., Hwang, J. M. and Lee, S. G. 1999. Comparison of pepper anthracnose pathogen from Korea and China. *Plant Pathology J.* 15: 323–329.
- Smith, D. H. and Littrell, R. H. 1980. Management of peanut foliar diseases with fungicides. *Plant Dis.* 64: 356–361.
- Solel, Z., Oren, Y. and Kimchi, M. 1997. Control of *Alternaria* brown spot of *Minneola tangelo* with fungicides. *Crop Prot.* 16: 659–664.