농약과학회지 제13권 제4호 (2009)
The Korean Journal of Pesticide Science Vol. 13, No. 4, pp. 283~289

연구보문/방 제

Metalaxyl에 대한 저항성 고추 역병균의 특성

이수민[1] · 신진호[1] · 김선보[1,2] · 김흥태[1]*

[1]충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, [2](주)한국식물환경연구소

(2009년 12월 14일 접수, 2009년 12월 22일 수리)

Characteristics of *Phytophthora capsici* Causing Pepper *Phytophthora* Blight Resistant to Metalaxyl

Soo Min Lee[1], Jin Ho Shin[1], Sun Bo Kim[1,2] and Heung Tae Kim[1]*

[1]Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Chungbuk, Korea, [2]Korea Plants Environmental Research Laboratory, Suwon 441-440, Kyunggi, Korea

Abstract

Isolation frequency of resistant isolates of *Phytophthora capsici* to metalaxyl was reported to be 38.9% through the resistance monitoring for metalaxyl in *P. capsici* causing pepper *Phytophthora* blight. Metalaxyl was very effective to mycelium growth, while not to zoosporangium germination and zoospore release. EC_{50} values of metalaxyl in the inhibition of mycelium growth were 0.204, 0.151, 0.379, and 0.215 μg mL^{-1} against each isolate sensitive to the fungicide as *P. capsici* 06-119, 06-143, P08-7, and P08-31, respectively, whilst those were 5.242, 5.724, 6.621, and 5.377 μg mL^{-1} in *P. capsici* 06-125, 06-155, P08-50, and P08-60. For the field fitness, several factors, which were mycelium growth, zoosporangium germination, zoospore release, virulence to pepper plants, and the zoosporangium and the oospore production, were investigated with 4 sensitive isolates and 4 resistant isolates. Between 2 groups differentiated by the sensitivity of metalaxyl, there was no significance in mycelium growth, zoosporangium germination, zoospore release, and virulence to pepper plants. However, the zoosporangium and the oospore production in each resistant isolate, which were related to survival of *P. capsici* in fields, were superior to those of sensitive isolates. Based on results of this study, it was suggested that the increase of the percentage of resistant isolates to metalaxyl resulted from the high capacities of the zoosporangium and the oospore production.

Key words Red pepper, *Phytophthora capsici*, Metalaxyl resistance, Mycological characteristic

서 론

Metalaxyl은 역병, 노균병과 모잘록병을 방제할 목적으로 1979년 Ciba-Geigy사에서 개발한 예방과 치료 효과뿐만 아니라 침투이행 효과도 있고, 병원균의 ribosomal RNA 합성 효소의 활성을 저해함으로써 단백질 합성을 방해하는 특이적인 작용점을 갖는 살균제로 알려져 있다(TomLin, 2006; Davidse 등, 1983). 이처럼 우수한 침투이행성과 특이적 작용점을 갖는 metalaxyl을 동일한 포장에서 집중하여 사용한다면 살균제에 대한 저항성이 쉽게 나타날 수 있는 위험성이 크다. 실제로 유럽에서는 metalxyl을 사용하고 1년이 지나지 않아 저항성이 나타난 *Phytophthora infestans*가 분리되었다(Davidse 등, 1981; Dowley와 O'Sullivan, 1981). 또한 프랑스의 포도밭에서 metalaxyl에 대해서 저항성을 보이

*연락저자 : Tel. +82-43-261-2556, Fax. +82-43-271-4414
E-mail: htkim@cbnu.ac.kr

는 *Botrytis cinerea*와 *Plasmopara viticola*를 보고하기도 하였다(Leroux와 Clerjeau, 1985). 또한 미국의 워싱턴주에서도 metalaxyl에 저항성인 *P. infestans*가 보고되었다(Deahl 등, 1993). 국내에서는 metalaxyl을 1987년부터 사용하기 시작한 3년 후 1990년에 포장에서 저항성 감자 역병균의 보고되면서(최 등, 1992), 다른 연구자들에 의해서 계속적으로 저항성 감자 역병균의 발생이 보고되었다(김 등, 1993; 이 등, 1994).

국내에서도 Ham 등(1991)과 Oh와 Kim(1992)이 고추 역병균의 metalaxyl에 대한 감수성 정도를 조사한 바가 있는데, 감수성 균주가 전체의 21%, 저항성 균주는 13%를 차지하였다. 그들은 metalaxyl에 EC_{90}값이 20 μg mL^{-1} 이하를 감수성균, 100 μg mL^{-1} 이상을 저항성균으로 결정하였다. 최근에 고추 역병균에서 metalaxyl에 대한 저항성 발생을 조사한 김 등(2007)은 저항성균의 기준을 metalaxyl의 EC_{50}값을 1.0 μg mL^{-1} 이하인 병원균을 감수성균으로 1.0 μg mL^{-1}이상인 병원균을 저항성균으로 판정하여 그 결과 2005년과 2006년에 저항성 균주의 비율은 각 각 29.0%와 21.8%로 나타났다.

여러 지역에서 계속적으로 metalaxyl에 저항성 식물병원균들이 보고되고 있지만, 아직도 포장에서 난균류의 식물병원균을 방제하기 위해서 metalaxyl이 사용되고 있다. 또 난균류를 방제하기 위하여 새로 개발한 여러 살균제가 포장에서 사용되면서 metalaxyl의 사용이 줄어들어, 포장에서 저항성균의 비율이 감소하기도 하였다(Dowley와 O'Sullivan, 1985; Valskyte, 2002). 장 등(2003)은 강원 지역의 감자 포장에서 2001년과 2002년에 분리한 감자 역병균들을, 10 μg mL^{-1}의 metalaxyl을 첨가한 배지와 무처리구에서의 생육과 비교하여 40% 이상 생육할 경우를 저항성균, 40% 미만은 중도저항성균, 전혀 생육이 되지 않는 경우를 감수성균으로 분류하였다. 중도저항성균의 비율이 2001년과 2002년에 87.8%와 80.1%로 과거와 다르게 증가하였고, 포장에서 효과가 없었던 metalaxyl의 효과가 우수하게 나타나는 것을 보아, metalaxyl의 제한적 사용으로 감수성균 비율이 상승하였다고 보고하였다.

이처럼 metalaxyl에 대한 저항성 발현의 보고가 계속되고, 또한 metalaxyl의 사용 여부에 따라서 저항성균의 비율이 변화한다면, 포장에서 역병균의 metalaxyl에 대한 계속적인 저항성 검정과 저항성균의 포장 적응력을 조사함으로써, 포장에서 저항성균의 밀도 변화를 예측할 수 있어야 하고, 그 결과가 고추 역병균의 방제에 이용될 수 있어야 한다. 따라서 본 실험에서는 2008년도 병든 고추에서 분리한 고추 역병균의 저항성 발현 정도를 조사하고, 2006년과 2008년에 채집한 고추 역병균 중에서 저항성균과 감수성균을 선발하여 균사생장, 유주포자낭 발아, 유주포자 나출, 유주포자낭 형성과 난포자 형성과 같은 균학적인 특성과 온실에서 고추 유묘에 대한 병원성을 검정하여 포장 적응력을 조사하였다.

재료 및 방법

병원균 분리

2008년에 전국의 주요 고추 재배지역에서 역병균에 감염되어 전형적인 시들음 증상을 보이는 고추를 채집하였다. 채집한 고추의 지제부를 잘라 1% sodium hypochloride 용액에서 1분간 표면 살균하고, 70% ethanol에서 다시 30초간 살균하였다. 살균한 고추의 병든 지제부 조직을 멸균수로 세척한 후, 개선된 Jee 등(1997)의 배지(Pimaricin; 10 mg, Rifampicin; 10 mg, Ampicillin; 100 mg, Hymexazol; 25 mg, PCNB; 50 mg, Corn meal agar; 17 g L^{-1})에 치상하여 20℃에서 4일간 배양하고, 자라난 균총의 선단을 새로운 V-8 juice 배지(V-8 juice 200 mL; agar 17 g; $CaCO_3$ 1 g; 증류수 800 mL)에 접종하여 순수분리하였다. 2006년과 2008년에 분리한 고추 역병균의 감수성과 저항성균에서 각각 4균주씩을 선발하여 실험에 사용하였다.

고추 역병균의 metalaxyl에 대한 균사 생장 억제 효과

2008년에 분리한 95개의 고추 역병균의 metalaxyl(a.i. 25%, WP)에 대한 감수성과 저항성 반응을 검정하였다. 살균제는 멸균 증류수에 용해시켜 V-8 juice agar에 최종농도가 100, 20, 4, 0.8, 0.16, 0.032 μg mL^{-1}가 되도록 희석하였다. 배지에서 세균의 오염을 방지하기 위하여 300 μg mL^{-1}의 streptomycin을 첨가하였다. 병원균을 20℃의 V-8 juice agar에서 5일간 배양한 후, 균사 선단 부위에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 metalaxyl을 농도별로 첨가한 새로운 V-8 juice agar에 접종하였다. 각각의 병원균을 이식한 metalaxyl 첨가 배지는 20℃에서 4일간 배양한 후에 균총의 직경을 측정하였으며, metalaxyl첨가하지 않은 배지 상에서의 균총의 직경과 비교하여 균사생장억제율(%)을 계산하였다.

$$\text{균사생장억제율(\%)} = \left(1 - \frac{\text{metalaxyl 첨가 배지에서의 균총의 직경}}{\text{무처리 배지에서의 균총의 직경}}\right) \times 100$$

고추 역병균의 생육 단계에 미치는 metalaxyl의 영향

선발한 감수성과 저항성 균주들을 대상으로 metalaxyl이 고추 역병균의 균사 생장, 유주포자낭 발아 미 유주포자 나출에 미치는 영향을 조사하였다. 선발한 고추 역병균을 20℃에서 V-8 juice agar 배지에 각각 5일간씩 배양한 후, 균총 선단에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 metalaxyl의 최종 농도를 100, 20, 4, 0.8, 0.16, 0.032 μg mL^{-1}로 조절한 새로운 V-8 juice agar에 이식하였다. 동일한 조건에서 4일간 배양한 후, 균총 직경을 측정하여 metalaxyl의 균사 생장 억제 효과를 조사하였다. 역병균의 유주포자낭 직접 발아와 유주포자의 나출에 미치는 metalaxyl의 효과를 조사하기 위하여 oatmeal agar 배지에서 유주포자낭을 형성시켰다. V-8 juice agar 배지에서 5일간 배양한 병원균의 균사 조각을 oatmeal agar 배지에 이식하여 20℃에서 5일간 배양하였다. 배지 상에서의 병원균의 균사를 긁어서 제거하고 20℃의 광 상태에서 2일간 배양한 후, 형성된 유주포자낭을 멸균 증류수를 이용하여 수확하였다. 수확한 현탁액에서의 유주포자낭의 농도를 $1x10^5$ 개 mL^{-1}로 조정하여 실험에 사용하였다. Metalaxyl은 유주포자낭 현탁액의 최종농도가 100, 20, 4, 0.8, 0.16, 0.032 μg mL^{-1}가 되도록 처리하고, 멸균한 슬라이드 그라스에 50 μL씩 점적하였다. 유주포자낭의 직접 발아는 유주포자낭 현탁액을 25℃에서 4시간 배양하고, 유주포자낭으로부터 유주포자의 나출율을 조사하기 위해서는 4℃에서 2시간 보관하였다. 현미경 하에서 100개씩의 유주포자낭을 관찰하여 유주포자낭의 발아율과 유주포자의 나출율을 구하였으며, 모든 실험은 3반복으로 실시하였다.

Metalaxyl 감수성 및 저항성 균주의 균학적 특성 조사

Metalaxyl의 효과 검정을 위해서 선발하였던 감수성과 저항성 균주의 균사생장, 유주포자낭 발아, 유주포자 나출, 유주포자낭 형성과 난포자 형성 그리고 온실에서 고추 유묘에 대한 병원성을 검정하였다.

각 균주는 V-8 juice agar 배지에 이식하여 20℃와 25℃에서 4일간 배양하였다. 병원균의 균사 생장은 균총의 직경을 측정하여 비교하였다. 유주포자의 나출율은 앞에서 설명한 방법과 같이 oatmeal agar 배지에서 수확한 유주포자낭의 현탁액($1x10^5$ 개 mL^{-1})을 슬라이드 그라스에 50 μL씩 점적하고, 4℃에서 3시간 배양한 후, 현미경에서 100개 포자를 검경하였다. 유주포자가 나출된 유주포자낭의 수를 조사하여 유주포자의 나출율을 구하였다. 유주포자낭의 발아율을 조사하기 위해서 유주포자낭을 25℃에서 4시간 배양한 후, 발아한 유주포자낭의 수를 현미경으로 검경하여 조사하였다. 유주포자낭의 형성 능력을 비교하기 위해서 oatmeal agar 배지에 병원균을 이식하고 20℃에서 5일간 배양하였다. 배지 상에 형성된 균사를 긁어 제거한 후, 근자외선을 2일간 조사하여 각 배지에서 형성된 전체 유주포자낭의 수를 조사한 다음, 배지 cm^2당의 수로 계산하여 비교하였다. 난포자 형성량 조사는 선발 균주를 각각의 표준 교배형과 V-8 juice agar 배지상에 20℃에서 4일간 대치 배양한 후, 수확하고 배지 cm^2당 형성된 난포자 수를 계산하여 균주간의 난포자 형성능력을 비교하였다.

고추 품종에 대한 병원균의 병원력 조사

고추 역병에 대하여 감수성 품종인 참마니와 저항성 품종 수비역, 강력 야무진, 독야청청, 신세계, PR금고추, PR 갈무리를 선발하여 각 병원균의 병원력을 온실에서 고추 유묘를 사용하여 조사하였다. Oatmeal agar 배지에서 수확한 유주포자낭 농도를 $1x10^4$ 개 mL^{-1}로 조정하여 접종원으로 사용하였다. 선발한 7종의 고추 품종은 50공 트레이(가로; 5 cm, 세로; 5 cm, 높이; 5 cm)에서 5~6엽기까지 재배하여 온실에서의 병원력 검정에 사용하였다. 각 균주의 접종원을 고추 유묘 한 주당 5 mL씩 토양에 관주 접종하였다. 접종한 고추 유묘는 저면관수를 통하여 항상 과습 상태를 유지하며 발병을 유도하였고, 접종한 지 21일 후에 발병율을 조사하였다.

결과 및 고찰

Metalaxyl에 대한 저항성 검정

2008년에 분리한 95개 고추 역병균 전체 균주의 저항성 검정을 실시하였다. 분리한 전체 균주의 EC_{50}값의 범위는 0.008부터 110.330 μg mL^{-1}이었으며, 전체 평균 EC_{50}값은 2.891 μg mL^{-1}이었다. 연 등(2008)은 2005년부터 2007년까지 채집한 고추 역병균을 가지고서 metalaxyl에 대한 저항성 검정을 한 결과, 각 연도의 평균 EC_{50}값이 9.344, 5.724, 0.998 μg mL^{-1}이었다고 보고하였다. 2007년에 분리한 병원균의 집단에서 평균 EC_{50}값이 0.998 μg mL^{-1}로 급격히 감소한 이유는 병원균을 채집한 지역이 특정한 지역으로 한정되었기 때문이었다. 전국에서 채집한 역병균을 사용하여 얻은 2008년의 결과에서 보면 평균 EC_{50}값이 2.891 μg mL^{-1}로 2005년 이후 계속하여 감소하고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 김 등(2007)은 1.0 μg mL^{-1}의 EC_{50}값을 기준으로 29.0%이었던 2005년의 저항성 균주의 비율이 2006년에는 21.8%로 감소하였다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 전체 균주의 평균 EC_{50}값은 2006년과 비교하여 감소하였지만, 저항성

균주의 비율은 38.9%로 증가하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 1). EC_{50}값의 균주 분포는 EC_{50}값이 0.1~0.5 μg mL^{-1}에서 31개로 가장 많은 균주가 분리되었고, EC_{50}값이 0.5 μg mL^{-1} 이상이 되면서 분리되는 균주의 수는 감소하기 시작하였다. EC_{50}값이 4.0~5.0 μg mL^{-1} 균주는 전혀 분리되지 않았다가 다시 5.0 μg mL^{-1} 이상이 되면서 병원균이 분리되기 시작하였고, 10.0 μg mL^{-1} 이상이 되는 균주도 3균주가 분리되었다. 저항성 기준이 되는 EC_{50}값이 1.0 μg mL^{-1} 이상이 되는 균주 수는 총 37균주(38.9%)가 분리되었다. 이처럼 저항성 균주 집단이 계속 증가하고 있는 이유를 규명하기 위해서, 감수성 균주와 저항성 균주를 선발하여, 역병균의 생육 과정에 미치는 metalaxyl의 효과를 검정하고, 포장에서의 적응력을 조사하고자 하였다.

감수성과 저항성 역병균의 각 생육 단계에 미치는 metalaxyl의 효과

Metalaxyl에 대하여 감수성과 저항성 역병균을 4균주씩 선발하여 각 생육 단계에 미치는 metalaxyl의 효과를 분석한 결과, metalaxyl이 감수성 균주 *P. capsici* 06-119, 06-143, P08-7, P08-31의 균사 생장을 50% 억제하는 농도(EC_{50})는 각각 0.204, 0.151, 0.379, 0.215 μg mL^{-1}이었지만, 저항성 균주 *P. capsici* 06-125, 06-155, P08-50, P08-60은 5.242, 5.724, 6.621, 5.377 μg mL^{-1}이었다(Fig. 3). 그러나 metalaxyl은 유주포자낭의 직접 발아나 유주포자가 유주포자낭으로부

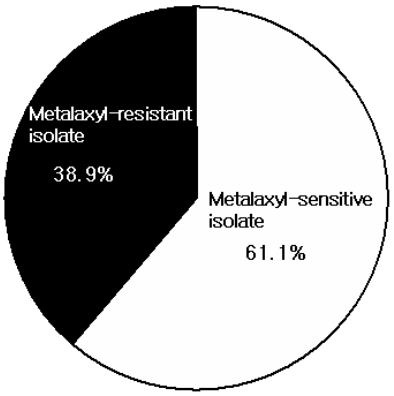

Fig. 1. Isolation percentage of *Phytophthora capsici* isolates sensitive and resistant to metalaxyl collected from infected pepper plants in 2008. Resistant isolates to metalaxyl were determined with a criterion of 1.0 μg mL^{-1} as EC_{50} value.

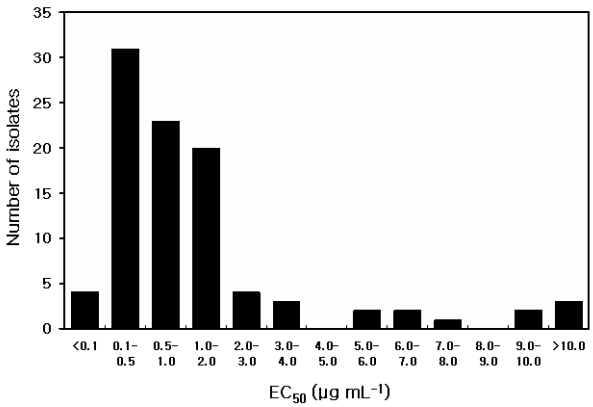

Fig. 2. Distribution of EC_{50} of metalaxyl in isolates of *Phytophthora capsici* causing pepper *Phytophthora* blight.

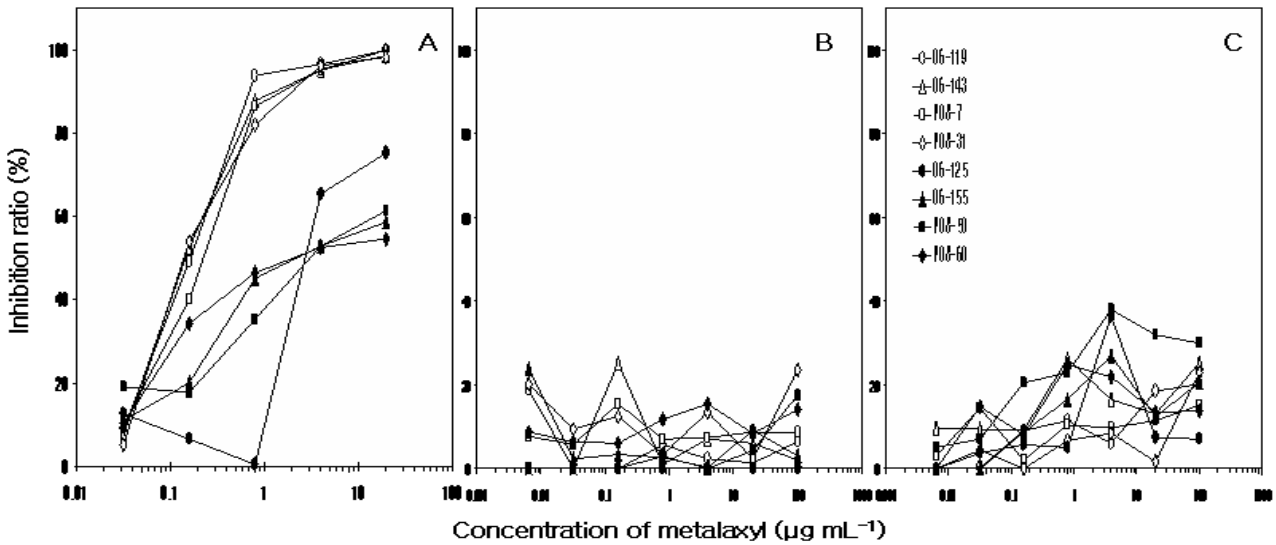

Fig. 3. Effects of metalaxyl on mycelium growth (A), zoosporangium germination (B) and zoospore release from zoosporangium (C) of *Phytophthora capsici* isolates sensitive and resistant to the fungicide.

터 나출되는 것은 크게 억제하지 못하였을 뿐만 아니라, 감수성 균주와 저항성 균주간에 차이도 없어(Fig. 3B, 3C), 이는 metalaxyl이 *P. infestans*의 유주포자낭 발아와 유주포자의 나출에 효과가 없었다는 최 등(1992)의 보고와 동일하다. Ham 등(1991)은 metalaxyl의 저농도 처리구에서는 유주포자낭의 발아와 유주포자의 나출이 억제되지 않았지만, 100 μg mL^{-1}의 고농도로 처리하면 저항성 균주와 감수성 균주 간에 유주포자의 발아를 억제하는데 차이가 있다고 보고하였다. 하지만 본 연구 결과와 같이 metalaxyl에 대한 저항성 유무와는 관계없이 metalaxyl은 역병균의 균사 생장만을 억제하는 것으로 나타났다. 또한 metalaxyl은 *P. capsici*의 유주포자낭의 발아를 억제하지 못할 뿐만 아니라 발아한 유주포자낭의 길이도 억제하지 못하였다(Fig. 4).

Metalaxyl 감수성균과 저항성균의 포장 적응력

각각 4균주씩의 감수성균과 저항성균을 가지고서 포장 적응력을 실험한 결과에서 저항성과 감수성 균주 간에 20℃와 25에서 균사 생장과 유주포자낭의 발아, 유주포자의 나출 능력에는 차이가 없었다(Fig. 5). 또한 감수성 균주인 *P. capsici* 06-119와 06-143, 그리고 저항성 균주인 *P. capsici* 06-125와 06-155의 병원력을 고추 역병 감수성 품종과 저항성 품종에서 비교하였지만, metalaxyl 감수성 균주와 저항성 균주간의 병원력에 차이가 없었다(Fig. 6). 그러나 metalaxyl에 대한 반응에 따른 그룹 간에 유주포자낭의 형성에는 통계적인 유의차는 적었지만, 저항성 균주가 감수성 균주보다 더 많은 유주포자낭을 형성하고 있었다(Fig. 7A). 난포자의 형성은 감수성 균주인 *P. capsici* 06-119, 06-143, P08-7, P08-31의

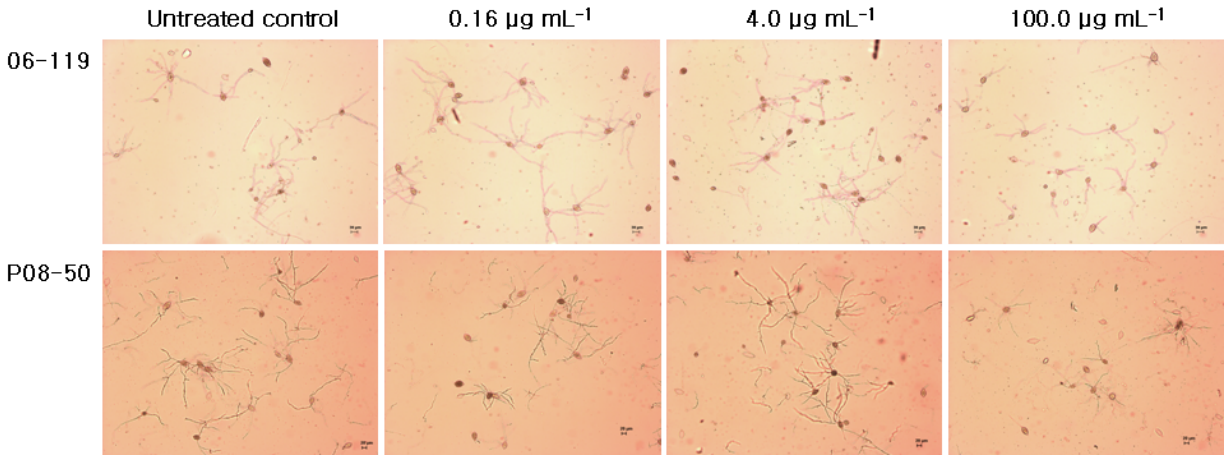

Fig. 4. Effect of metalaxyl on the elongation of germ tube of *Phytophthora capsici* 06-119 sensitive to metalaxyl and *P. capsici* resistant to the fungicide.

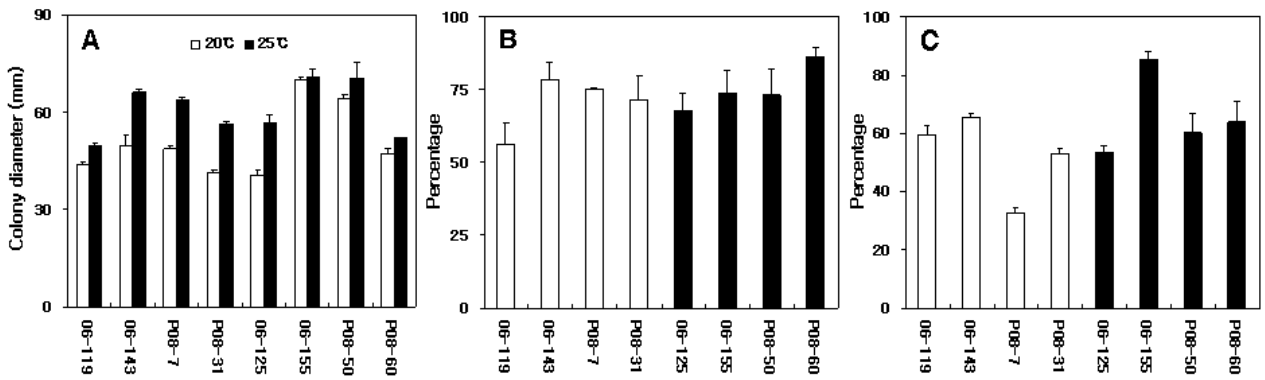

Fig. 5. Mycelial growth (A), zoosporangium germination(B) and zoospore release from zoosporangium (C) of *Phytophthora capsici* isolates sensitive to metalaxyl (06-119, 06-143, P08-7 and P08-31) and resistant to the fungicide (06-125, 06-155, P08-50 and P08-60). Mycelium growth was investigated by measuring colony diameter of each isolate after incubation on V-8 juice agar medium at 20℃ and 25℃ for 4 days. For zoosporangium germination, germinating zoosporangia were measured under a microscope after incubation for 4 hrs at 25℃. To investigate zoospore release from zoosporangium, zoosporangia from which zoospores released out were measured after incubation for 3 hrs at 4℃.

경우 cm^2당 60, 8, 91, 60개의 난포자를 형성하였지만, 저항성 균주인 *P. capsici* 06-125, 06-155, P08-50, P08-60은 151, 340, 401, 272개의 난포자를 형성하여 감수성 균주에 비해서 배지 상에서의 난포자 형성 능력이 높은 것으로 나타났다(Fig. 7B). 포장에서 metalaxyl 저항성 고추 역병균의 분리 비율은 계속적으로 비슷한 수준이 유지되거나 상승하고 있는 추세이다. 이와 같은 저항성 균주의 비율이 상승하는 원인을 역병균의 포장에 대한 적응력을 가지고서 비교하고 규명하고자 다양한 능력을 실험하여 보았다. 본 실험의 결과에서 보는 것처럼 저항성 균주는 감수성 균주와 비교하여 식물체를 침입하는데 중요한 요인이 될 수 있는 균사 생장, 유주포자낭의 발아, 유주포자의 나출율 등과, 고추의 역병 감수성과 저항성 품종에 대한 병원력에는 차이가 없었다. 다만 포장에서의 생존력에 영향을 미치는 유주포자낭의 형성과 난포자의 형성 능력이 저항성 균주가 감수성 균주보다 약간 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 생존과 개체군의 증식에 영향을 줄 수 있는 유주포자낭과 난포자 형성 능력의 차이가 포장에서 metalaxyl 저항성 고추 역병균의 비율을 높이는 원인이 되었을 것으로 생각한다. 따라서 고추 역병균의 효과적인 방제를 위해서 지역별 metalaxyl에 대한 저항성 검정이 계속되어야 한다.

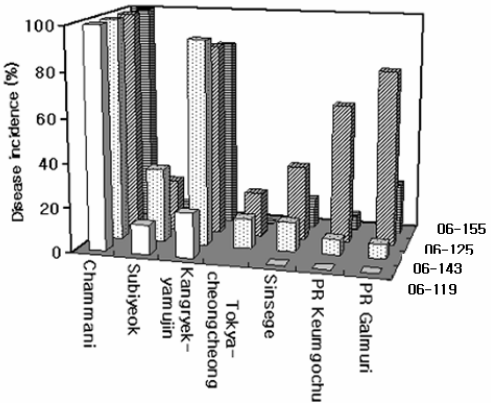

Fig. 6. Virulence of *Phytophthora capsici* isolates sensitive to metalaxyl (06-119 and 06-143) and resistant to the fungicide (06-125 and 06-155) for a pepper cultivar sensitive to *Phytophthora* blight as Chammani, and 5 cultivars resistant to *Phytophthora* blight as Subiyeok, Kangryek-yamujin, Tokyacheongcheong, Sinsege, PR keumgochu and PR Galmuri.

감사의 글

이 논문은 농촌진흥청의 바이오그린연구사업의 연구비에 의해서 수행된 결과로, 연구비의 지원에 감사드립니다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

ADavidse, L. C., C. Gerritsma and G. C. M. Velthuis (1983) Specific interference of metalaxyl with endogenous RNA polymerase activity in isolated nuclei from *Phytophthora megasperma* f. sp. *medicaginis*. Exp. Mycol. 7:344~361.

Davidse, L. C., D. Looijei, L. J. Turkensteen and Van Der Wal.

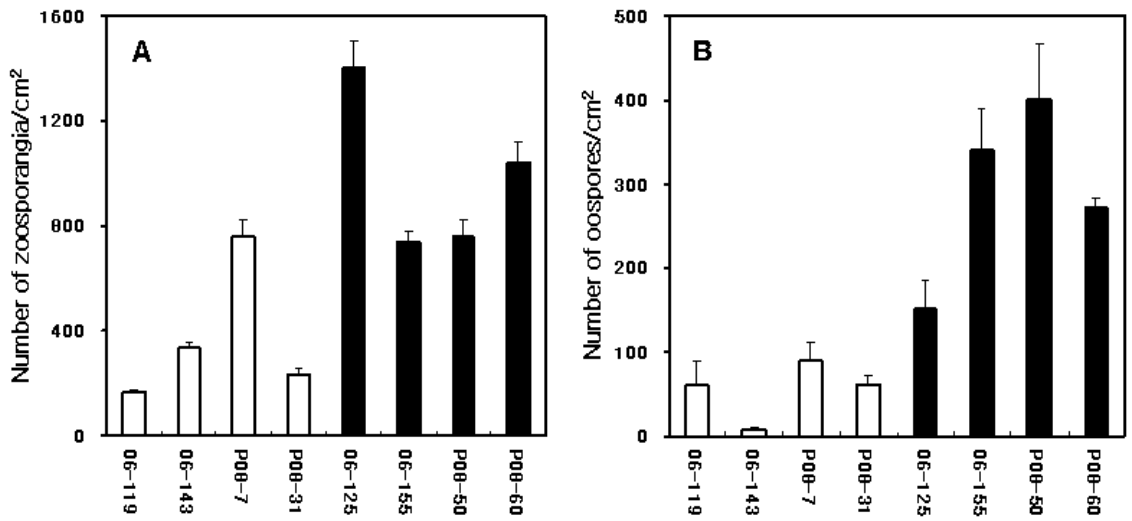

Fig. 7. Production of zoosporangia (A) and oospores (B) of *Phytophthora capsici* isolates sensitive to metalaxyl (06-119, 06-143, P08-7 and P08-31) and resistant to the fungicide (06-125, 06-155, P08-50 and P08-60). The number of zoosporangia per cm^2 was counted after incubation on oatmeal agar medium at 25℃ for 3 days following removing mycelia on the medium. The number of oospores per cm^2 was measured after incubation on V-8 juice agar medium at 20℃ for 4 days.

(1981) Occurrence of metalaxyl-resistant strains of potato blight in Dutch potato fields. Neth. J. Plant Pathol. 87:65~68.

Deahl, K. L., D. A. Inglis and S. P. DeMuth (1993) Testing for resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans* isolates from north-western Washington. Am. Potato J. 70:779~795.

Dowley, L. J. and E. O'Sullivan (1981) Metalaxyl resistant strains of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in Ireland. Potato Res. 24:417~421.

Dowley, L. J. and E. O'Sullivan (1985) Monitoring metalaxyl resistance in populations of *Phytophthora infestans*. Potato Res. 28:531~534.

Ham, J. H., B. K. Hwang, Y. J. Kim and C. H. Kim (1991) Differential sensitivity to metalaxyl of isolates of *Phytophthora capsici* from different geographic areas. Korean J. Plant Pathol. 7:212~220.

Jee, H-J., W-D. Cho, and W-G. Kim (1997) *Phytophthora* diseases of apple in Korea: I. occurrence of a destructive collar rot caused by *P. cactorum*. Korean J. Plant Pathol. 13:139~144

Lerouxa, P. and M. Clerjeau (1985) Resistance of *Botrytis cinerea* Pers. and *Plasmopara viticola* (Berk. & Curt.) Berl. and de Toni to fungicides in French vineyards. Crop Prot. 4:137~160.

Oh, J. S. and C. H. Kim (1992) Varying sensitivity to metalaxyl of Korean isolates of *Phytophthora capsici* from red pepper fields. Korean J. Plant Pathol. 8:29~33.

TomLin, C. D. S. (2006) Metalaxyl. p678~679. in The pesticide manual. Page Bros., Norwich. pp1349.

Valskyte, A. (2002) Resistance of the potato blight causal agent *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary population to metalaxyl in Lithuania. Biologija Nr. 1:22-24.

김병섭, 정영륜, 조광연. (1993) Metalaxyl 저항성 및 감수성 감자 역병균(*Phytophthora infestans*)의 적응력 비교 및 Dimethomorph와 Chlorothalonil에 의한 방제. 학국식물병리학회지 9:31~35.

김선보, 이수민, 민지영, 김홍태 (2007) 2005년과 2006년에 채집한 고추 역병균(*Phytophthora capsici*)의 Metalaxyl에 대한 약제 반응. 농약과학회지 11:305-312.

연초롱, 이수민, 김선보, 민지영, 김홍태. (2008) 국내 고추 역병균의 metalaxyl 저항성 변화 및 Metalaxyl 저항성과 고추에 대한 병원성과의 상관 관계. 농약과학회지 12:270~276.

이왕휴, 소만서, 최인영. (1994) 감자 역병균(*Phytophthora infestans* Bary)의 약제 저항성 및 교배형. 학국식물병리학회지 10:192~196.

장현철, 정은경, 이윤수, 김병섭. (2003) 강원지역 포장에서 분리한 감자 역병균(*Phytophthora infestans*)의 metalaxy에 대한 감수성 변화. 한국농약과학회지 7(1):25~31

최경자, 김병섭, 정영륜, 조광연 (1992) 감자 재배 포장에서 metalaxyl 저항성인 감자 역병균(*Phytophthora infestans*)의 발생. 한국식물병리학회지 8:34~40.

Metalaxyl에 대한 저항성 고추 역병균의 특성

이수민[1] · 신진호[1] · 김선보[1,2] · 김흥태[1]*

[1]충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, [2](주)한국식물환경연구소

요 약 고추 재배지에서 시들음 증상을 보이는 고추에서 2008년에 총 95개의 역병균(*Phytophthora capsici*)을 분리하여 metalaxyl에 대한 저항성 검정을 실시한 결과, 저항성 균주의 분리 비율이 38.9%에 달하였다. 감수성 균주와 저항성 균주를 모두 4균주씩 선발하여 metalaxyl의 효과를 비교한 결과, 유주포자낭의 발아와 유주포자의 나출에 영향이 거의 없으나 균사생장 억제 효과는 뚜렷한 차이가 있었다. 감수성 균주 *P. capsici* 06-119, 06-143, P08-7, P08-31에서 metalaxyl의 균사생장 억제에 대한 EC_{50}값은 0.204, 0.151, 0.379, 0.215 μg mL^{-1}인데 비하여 저항성 균주 *P. capsici* 06-125, 06-155, P08-50, P08-60의 EC_{50}값은 5.242, 5.724, 6.621, 5.377 μg mL^{-1}으로 나타났다. 각 균주의 기주 식물을 침입하는 중요한 요인이 되는 균사생장, 유주포자낭 발아, 유주포자의 나출, 그리고 고추 품종에 대한 병원력을 조사하였지만, 두 그룹 간의 차이는 발견할 수 없었다. 그러나 저항성 균주의 경우가 포장에서의 생존력에 관여하는 유주포자낭과 난포자의 형성량이 감수성 균주보다 높게 나타났는데, 이러한 이유가 포장에서 저항성 균주의 비율이 증가하는 원인 중 하나로 생각한다.

색인어 고추, *Phytophthora capsici*, metalaxyl 저항성, 균학적 특성 비교