농약과학회지 제12권 제3호 (2008)
The Korean Journal of Pesticide Science Vol. 12, No. 3, pp. 270~276

연구보문/방 제

국내 고추 역병균의 metalaxyl 저항성 변화 및 metalaxyl 저항성과 고추에 대한 병원성과의 상관 관계

연초롱 · 이수민 · 김선보 · 민지영 · 김흥태*
충북대학교 농업생명환경대학 응용생명환경학부 식물의학전공

(2008년 8월 18일 접수, 2008년 8월 28일 수리)

The Change of Resistance of *Phytophthora infestans* to Metalaxyl and the Relationship with the Pathogenicity on Pepper Plants

Cholong Yeon, Soo Min Lee, Sun Bo Kim, Gi Young Min and Heung Tae Kim*

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

Abstract

Through the agar dilution method on V-8 juice agar, sensitivity of *Phytophthora capsici* causing pepper Phytophthora blight to metalaxyl was investigated by using isolates obtained from infected pepper plants during 3 years from 2005 to 2007. By the lapse of time, EC_{50} value to metalaxyl was decreased, showing 1.45, 0.83, and 0.32 μg mL^{-1} in 2005, 2006, and 2007. None of 2007 isolates was found to be resistant to metalaxyl. Compared the sensitivity of *P. capsici* isolates to metalaxyl with those to mandipropamid and dimethomorph, there is not a cross resistance response between metalaxyl and mandipropamid/dimethomorph. The resistance to metalaxyl in pepper Phytophthora blight pathogen was not related with the mycelial growth on V-8 agar medium and the pathogenicity on pepper plants.

Key words Cross resistance, Metalaxyl, Pathogenicity, *Phytophthora capsici*

서 론

고추 역병균(*Phytophthora capsici*)은 토양에서 서식하는 병원균으로 토양과 토양의 관개수를 통해서 전반되는 것이 일반적인 방법으로 알려져 있다. 그러나 실제 포장에서는 토양을 통한 전반뿐만 아니라 빗물이나 관계수가 토양에서 튀면서 고추의 지상부로도 병원균이 전반되는 것을 쉽게 발견할 수 있다. 이처럼 역병균은 전반의 양식이 매우 다양할 뿐만 아니라 또한 병원균 자체가 포장에서 완전세대와 불완전세대의 생활사를 모두 가지고 있기 때문에 실질적인 방제가 어렵다고 알려져 있다. 역병이 포장에서 발생할 때에는 초기에 특정한 지역을 중심으로 병이 발생하기 시작하여 관개수로 전반되기 전반되어 가기 때문에, 고추밭에서는 이랑을 타고서 역병이 급속도로 전반되는 특징을 보인다. 이러한 역병의 방제로서는 적절한 경종 방법, 재배 작물의 윤작, 저항성 품종 및 접목묘의 사용, 적절한 살균제의 사용 등을 들 수 있지만, 일반 포장에서 농민들이 가장 쉽게 사용하는 방제 방법이 살균제를 사용하는 화학적 방제 방법이다(김 등, 2007).

Phenylamide계통의 살균제에 속하며 침투이행효과를 보이는 metalaxyl은 1977년에 처음 사용하게 되면서 역병균에 의한 식물병의 방제에 우수한 효과를 나타내기 시작하였다(Schwinn과 Staub, 1995). Metalaxyl은 역병뿐만이 아니라 여러 작물에 큰 피해를 주는 노균병의 방제에도 효과적이어서 널리 사용하였다. 하지만 metalaxyl의 집중적 사용은 단

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

기간 내에에 저항성 식물병원균이 출현하게 되는 동기가 되기도 하였다. 실제로 유럽에서는 metalxyl을 포장에 사용하고 1년이 지나지 않아 저항성인 *Phytophthora infestans*가 분리되었다(Davidse 등, 1981; Dowley와 O'Sullivan, 1981). 미국에서도 1991년에 워싱턴주에서 metalaxyl에 대한 저항성 병원균 출현에 대한 보고가 있었다(Deahl 등, 1993). 국내의 감자 포장에서도 metalaxyl에 대하여 저항성인 *P. infestans*가 분리되었다(장 등, 2003; Zhang 등, 2005). 전세계적에서도 metalaxyl에 대해서 저항성인 *P. infestans*의 출현이 계속적으로 보고되고 있다(Pappas, 1985; Valskyte, 2002; Jmour와 Hamada, 2006; Runno와 Koppel, 2006; Zhu 등, 2008). Metalaxyl에 대한 저항성균은 phenylamide계의 살균제를 처리하지 않은 포장에서도 분리되기도 하는데, 이는 저항성 병원균이 주변의 포장으로 이동하여 포장의 우점종이 될 수 있음을 보여준다(Goodwin 등, 1998; Jmour와 Hamada, 2006).

Metalaxyl에 대한 저항성 발현은 *P. infestans*뿐만 아니라 많은 난균문에 속하는 *Plasmopara viticola*, *Pseudoperonospora cubensis*, *Peronospora tabacina*, *Bremia lactucae*, *Pythium* spp. 등에서도 보고되어 있다(Morton과 Urech, 1988). 하지만 난균문에 의한 식물병 방제에 우수한 효과를 보이던 metalaxyl에 대해서 저항성을 보이는 병원균이 보고되고, 새로운 난균문 방제용 살균제의 개발로 포장에서의 metalaxyl의 사용이 제한을 받게 되면서, 포장에서 metalaxyl 저항성균의 분리 빈도가 감소하였다는 보고도 있다(Dowley와 O'Sullivan, 1985; Valskyte, 2002).

국내에서 고추 역병은 여전히 고추 생산량에 큰 피해를 주는 병해이기 때문에 고추 역병을 방제하기 위해서 많은 살균제가 사용되고 있다. 본 실험에서는 2005년부터 2007년까지 3년간 채집한 고추 역병균(*P. capsici*)을 가지고서 metalaxyl에 대한 저항성 정도를 조사하였으며, 현재 역병 방제용으로 사용되는 다른 살균제와의 교차저항성 여부, 그리고 metalaxyl 저항성과 고추에 대한 병원균의 병원성간에 상관관계가 있는지의 여부를 조사하였다.

재료 및 방법

발병 고추의 채집과 병원균의 분리 및 배양

Metalaxy에 대한 고추 역병균의 저항성 모니터링을 실시하기 위하여 2005년부터 2007년까지 전국적인 고추 재배 지역을 중심으로 역병의 병징을 보이는 고추를 채집하고, 총 188개의 병원균을 분리하였다. 채집한 병든 고추의 지제부를 잘라서 흐르는 물에서 30분간 세척하고 건조시킨 후, 1%의 NaClO를 이용하여 표면 살균하였다. 표면 살균한 병든 고추의 조직은 Jee 등의 배지(pimaricin; 10 mg, rifampicin; 10 mg, ampicillin; 100 mg, hymexazol; 25 mg, PCNB; 50 mg, corn meal agar; 1 L)에 올려 20°C에서 배양하고, 자라난 균총의 선단을 새로운 V-8배지(V-8 juice; 200 mL, $CaCO_3$; 3 g, distilled water; 1 L)로 이식하여 순수분리하였다.

배양기상에서 metalaxyl에 대한 저항성 검정

분리한 고추 역병균의 균주를 20°C의 V-8배지에서 5일간 배양한 후, 균사 선단에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어, metalaxyl이 농도별로 첨가된 V-8배지에 접종하고 20°C에서 5일간 배양하였다. Metalaxyl(a.i. 25%, WP)의 최종 농도는 100, 20.0, 4.0, 0.8, 0.16, 0.032 μg mL^{-1}가 되도록 PDA에 첨가하였다. Metalaxyl을 농도별로 처리한 배지에서 역병균의 균총을 측정하여 살균제를 처리하지 않은 배지에서의 균총 길이와 비교함으로써 살균제의 균사 생장 억제율을 구하였다.

$$\text{균사생장 억제율}(\%) = \left(1 - \frac{\text{살균제 배지에서의 균총의 직경}}{\text{살균제 무처리 배지에서의 균총의 직경}}\right) \times 100$$

고추 역병균의 포장시험에서 대조 살균제로 사용되고 있는 Dimethomorph와 최근에 신젠타에서 개발된 mandipropamid를 선발하여 metalaxyl과의 교차 저항성을 조사하였다. 20°C의 V-8배지에서 5일간 배양한 역병균의 균사 선단에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 살균제를 첨가한 PDA배지에 접종하였다. 이 때 사용한 dimethomorph(a.i. 25%, WP)의 PDA배지에서 최종 농도는 4.0, 0.8, 0.16, 0.032 μg mL^{-1}가 되도록 조정하였으며, mandipropamid(a.i. 21.8%, SC)의 최종농도는 0.16 μg mL^{-1}에서부터 1/5씩 희석하여 0.000128 μg mL^{-1}까지 되도록 조정하였다. 두 살균제의 *P. capsici*에 대한 균사생장 억제율은 위에서와 같은 계산식에서 구하였다.

역병균의 병원성 검정

V-8 배지에서 5일간 배양한 *P. capsici*의 균사 선단에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 oat meal 배지에 접종하여, 20°C에서 1주일간 배양한 후, 자란 역병균의 균사 표면을 긁어서 20°C의 광조건의 배양기에서 48h 동안 배양하였다. 배지 표면에서 형성된 유주포자낭을 멸균수를 이용하여 수확하여, 유주포자낭의 농도를 1×10^4 개 mL^{-1}로 조절하고, 온실에서 5엽기까지 재배한 고추 역병 저항성 품종인 탄탄대목과 감수성 품종인 참마니를 재배한 각각의 폿트에 5 mL씩

Table 1. Pathogenicity index of *Phytophthora capsici* causing Phytophthora blight on pepper cultivar, Chammani[a] and Tantandaemok[b]

Pathogenicity index	Investigating standard
0	No pathogenicity on Chammani and Tantandaemok
1	Showing 10% of disease incidence on Chammani only
2	Showing 11-50% of disease incidence on Chammani only
3	Showing 51-90% of disease incidence on Chammani only
4	Showing more than 90% of disease incidence on Chammani only
5	Showing less than 20% disease incidence on Tantandaemok as well as more than 90% of disease incidence on Chammani
6	Showing more than 20% disease incidence on Tantandaemok as well as more than 90% of disease incidence on Chammani

[a]; Susceptible pepper cultivar against *P. capsici*
[b]; Resistance pepper cultivar against *P. capsici*

토양 관주하여 접종하였다. 각 반복당 고추 유묘는 10주씩 선발하여 사용하였다. 접종한 고추 유묘는 온실에서 저면관수를 통하여 항상 과습 상태를 유지하였고, 접종 후 16일까지 발병 정도를 조사하였다. 병원성의 정도는 역병 저항성 품종인 탄탄대목과 감수성 품종인 참마니에 대한 발병 정도를 조사하여 Table 1의 기준에 따라서 병원성 지수로서 조사하였다.

결 과

Metalaxyl에 대한 고추 역병균의 감수성

2005년부터 2006년에 채집한 균주 중에서 metalaxyl에 대하여 감수성인 균주와 저항성인 균주를 각각 3 균주씩 선발하였다. 2007년에 분리한 역병균 균주 역시 metalaxyl에 대한 감수성 정도를 가지고서 6개의 균주를 선발하였다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 2005년과 2006년에 채집한 균주는 metalaxyl에 대해서 감수성과 저항성의 반응이 뚜렷하게 나타났다(Fig. 1). 2005년에 채집한 역병균 중에서 감수성 그룹에 속하는 P-HaJB 균주는 다른 감수성 균주에 비해서 감수성 정도가 떨어졌는데, 4.0 μg mL^{-1}의 metalaxyl 배지에서 병원균의 균사생장이 무처리구에 비하여 79.5% 억제되었다. 하지만 4.0 μg mL^{-1}의 metalaxyl 배지에서 2005년과 2006년의 감수성 그룹에 속하는 나머지 균주의 균사생장은 90.4-96.7%

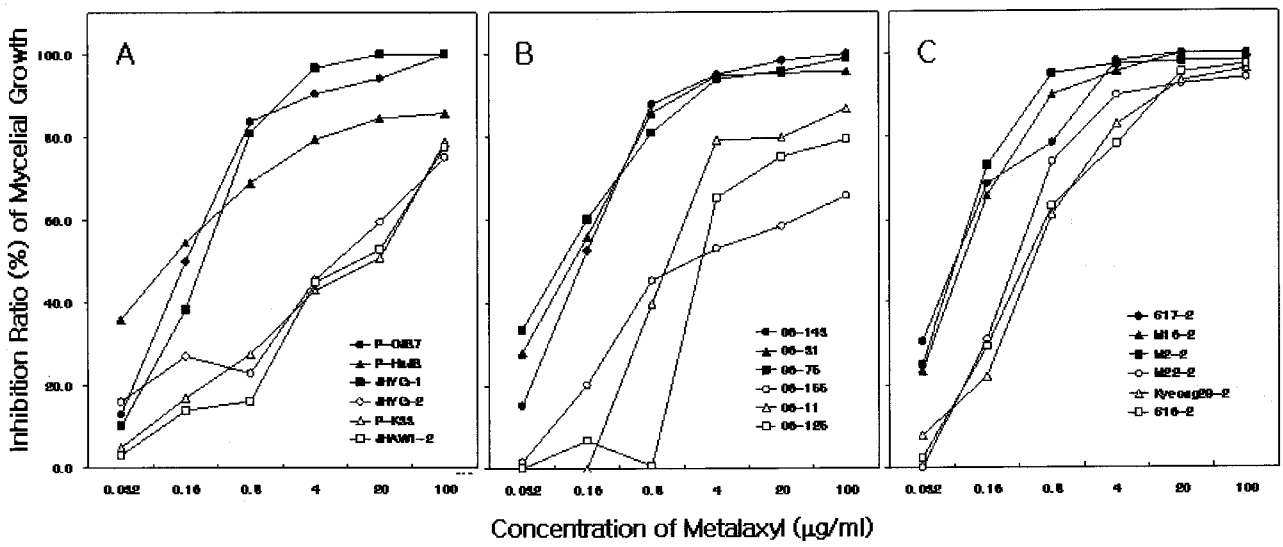

Fig. 1. Effect of metalaxyl on the mycelial growth of *Phytophthora capsici* causing pepper *Phytophthora* blight. Sensitive and resistant isolates used in the experiment were selected among the isolates obtained from infected pepper plant in 2005 (A), 2006 (B) and 2007 (C), respectively. For investigating the activity of metalaxyl against mycelial growth of *P. capsici*, their mycelial disks cut off from the margin of colony, which was incubated on V-8 juice agar for 4 days, were placed on V-8 juice agar amended with metalaxyl at the indicated concentrations. The colony diameter was measured after incubating at 20°C for 5 days.

Table 2. EC50 value of *Phytophthora capsici* causing pepper Phytophthora blight isolated in Korea during 3 years from 2005 to 2007 against metalaxyl

Year	minimum EC_{50}	Average EC_{50}	Maximum EC_{50}	Resistance factor[a]
2005	0.022[b]	1.454	9.344	424.7
2006	0.001	0.830	5.724	5724.0
2007	0.011	0.323	0.998	90.7

[a]; Resistance factor = Maximum value of EC_{50}/Minimum value of EC_{50}.
[b]; The unit of figures is μg mL^{-1}.

가 억제되었다. 저항성 균주의 경우 4.0 μg mL^{-1}의 metalaxyl이 첨가된 V-8 배지에서 균사 생장 억제 효과는, 2005년 균주의 경우 42.9-45.5%이었으며, 2006년 균주의 경우는 53.1-79.2%로 저항성의 정도가 다소 감소하는 현상을 볼 수 있었다. 하지만 2007년에 채집한 균주들은, 2005년과 2006년에 채집한 균주들이 metalaxyl에 대한 반응을 가지고서 저항성 그룹과 감수성 그룹으로 쉽게 분류할 수 있었던 것에 비해서, 대부분의 균주가 감수성 그룹에 속하는 것을 알 수 있었다.

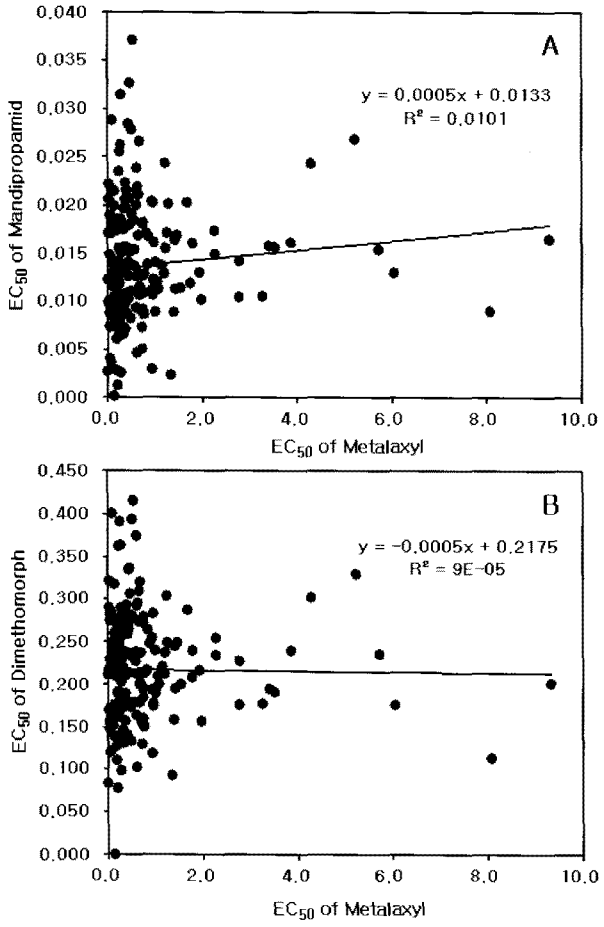

Fig. 2. Correlation between metalaxyl and mandipropamid (A), and dimethomorph (B), respectively.

2007년에 채집한 모든 균주에서 metalaxyl에 저항성을 보이는 균주는 발견할 수 없었다. 2007년 균주 중에서 감수성이 높은 균주의 4.0 μg mL^{-1} metalaxyl 배지에서의 균사생장 억제 효과는 95.6-98.0%이었으며, 감수성이 낮은 균주의 균사 생장 억제효과는 78.0-89.9%로 나타났다. 이처럼 2005년부터 2007년 3년 동안 조사한 metalaxyl에 대한 고추 역병균의 저항성 정도는 점점 감소하고 있었는데, 채집한 전체 균주의 평균 EC_{50} 값을 비교하여 보면 2005년부터 2007년까지 매년 1.45, 0.83, 0.32 μg mL^{-1}로 그 값이 감소하고 있었다(Table 2).

Metalaxyl 저항성 균주의 교차 저항성

Metalaxyl에 대해서 저항성인 균주들이 mandipropamid와 dimethomorph에 대해서 교차 저항성을 보이는 지의 여부를 조사하였다(Fig. 2). Metalaxyl과 mandipropamid, 그리고 metalaxyl과 dimethomorph에 대한 상관관계를 구하여 얻은 r^2값을 보면 mandipropamid는 0.0101, dimethomorph는 9 x e-5으로 매우 낮아, metalaxyl이 다른 기작을 가지고 있는 mandipropamid와 dimethomorph와는 전혀 교차 저항성의 관계가 없음을 보여주었다.

역병균의 Metalaxyl 저항성과 기주에 대한 병원성 및 균사생장 속도와의 상관관계

Metalaxyl에 대한 저항성이 병원균의 균사 생장과 고추에 대한 병원균의 병원성과 관련이 있는 지의 여부를 조사하기 위하여, 실험에 사용한 균주의 균사 생장 속도와 metalaxyl에 대한 저항성과 관련성을 조사하였으며, 151개의 균주를 선발하여 고추에 대한 병원성을 조사하였다. 병원균의 metalaxyl에 대한 저항성은 병원균의 균사 생장과 기주식물인 고추에 대한 병원성과는 상관관계가 전혀 없었다(Fig. 3과 4).

고 찰

2007년에 채집한 고추 역병균은 2005년과 2006년에 비하

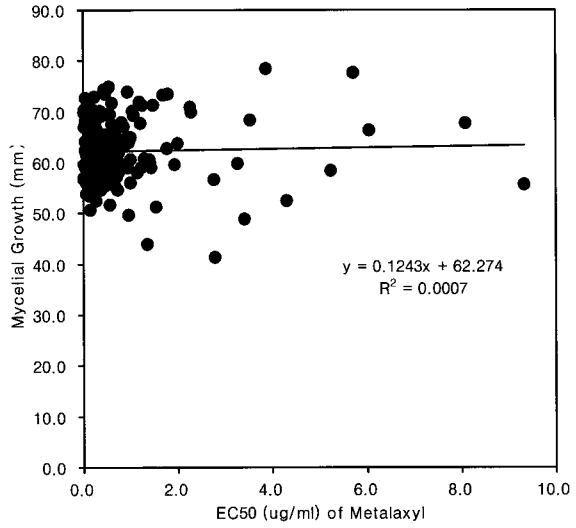

Fig. 3. Relationship between the resistance of *Phytophthora capsici* to metalaxyl and its mycelial growth rate. Colony diameter of *P. capsici* on V-8 juice agar was measured after incubation at 20°C for 5 days.

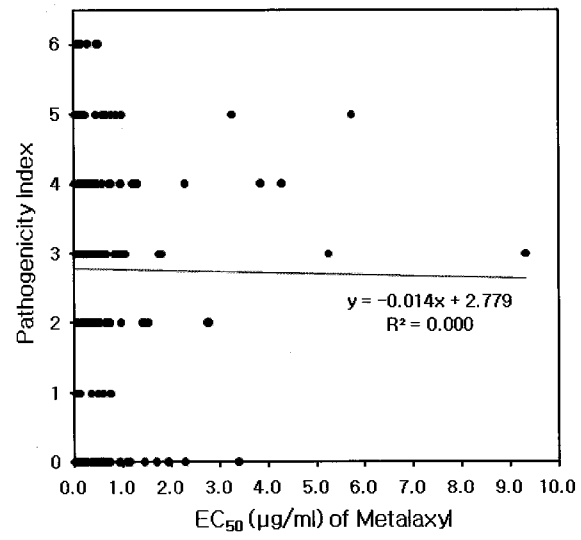

Fig. 4. Relationship between the resistance of *Phytophthora capsici* to metalaxyl and its pathogenicity to pepper plant.

여 metalaxyl에 대한 저항성 정도가 감소하는 현상을 나타내었다. 특히 각 연도에 채집한 역병균 전체의 평균 EC_{50}값을 비교하면 2005년과 2006년에 1.454와 0.830 μg mL^{-1}이었던 것이 2007년 균주의 평균 EC_{50}값은 0.323 μg mL^{-1}로 감소하였다. 이처럼 기간에 따른 metalaxyl에 대한 저항성 정도의 변화는 여러 논문에서 보고하고 있다. 1977년부터 서유럽을 중심으로 난균문의 식물병원균을 방제하기 위해서 사용되어 온 metalaxyl은 역병균의 RNA polymerase의 활성을 억제하는 특이적인 작용기작을 가지고 있기 때문에 저항성 병원균의 출현이 매우 용이한 살균제로 알려져 있다(Davidse 등, 1983). 실제 metalaxyl은 포장에서 사용한 직후부터 저항성 병원균의 출현이 보고되기 시작하여, 지금까지도 계속되고 있다(Davidse 등, 1981; Dowley와 O'Sullivan, 1981; Pappas, 1985; Valskyte, 2002; Jmour와 Hamada, 2006; Runno와 Koppel, 2006; Zhu 등, 2006). 아일랜드에서 metalaxyl은 1976년부터 1978년까지 감자 역병을 방제하는 효과가 우수한 살균제로 알려져 있었는데, 1980년 이후 사용이 확대되면서 저항성 병원균이 출현하고 1981년 이후부터는 metalaxyl의 사용이 크게 감소하였다(Dowley와 O'Sullivan, 1981; Dowley와 O'Sullivan, 1985). Dowley와 O'Sullivan은 metalaxyl의 사용이 제한된 1981년부터 1983년까지 3년 동안 metalaxyl에 대한 감자 역병균의 저항성 정도가 어떻게 변화하는 지를 조사한 결과, 본 실험의 결과와 같이 저항성 병원균의 밀도가 감소한다고 보고하였다. 그들은 감자 잎의 절편을 사용하여 저항성을 조사하였는데, 100 μg mL^{-1}의 metalaxyl을 처리한 잎의 절편에서 괴저 증상을 나타내며 포자를 형성하는 균주를 저항성균으로, 무처리구에서는 뚜렷한 괴저 증상과 포자가 형성되지만, metalaxyl 처리구에서는 경미한 괴저 증상만이 나타나는 균주를 감수성균으로 정의하고 저항성 발현 정도를 조사하였다. 그 결과 1981년 조사한 감자 역병균의 75%가 저항성균으로 판명되었지만, 기간이 경과하면서 1982년에는 21%로 1983년에는 6%로 급격히 감소하였다. Valskyte(2002)도 1990년부터 1998년까지 8년간 리투아니아의 감자 재배지에서 채집한 역병균 중에서 1990년에 저항성균의 분리빈도가 48.6%에서 1998년에는 6.4%로 감소하였다고 보고하면서, 그 이유를 metalaxyl을 포함한 살균제의 저항성 발현을 억제하는 방제 체계를 수립하였기 때문으로 분석하였다. 김 등(2007)은 고추 역병균(*P. capsici*)의 metalaxyl에 대한 저항성 기준을 EC_{50}값이 1.0 μg mL^{-1} 이상인 균주를 저항성 균주, 미만인 균주를 감수성 균주로 정의하고 그 비율을 조사한 결과, 2005년에는 29.0%가, 2006년에는 21.8%가 저항성균으로 판명되었으나, 2007년에는 저항성을 보이는 균주를 전혀 분리하지 못하였다. 이러한 결과는 국내의 고추 밭에서 분리한 역병균의 metalaxyl에 대한 저항성 정도가 점점 감소하고 있는 것을 보여주고 있는데, 이는 최근에 난균류에 속하는 식물병원균을 방제할 수 있는 새로운 살균제가 많이 개발되어 포장에서 처리하는 살균제의 종류가 다양해지면서 metalaxyl 사용량이 줄어들어, 저항성 정도가 급격히 감소한 것으로 생각한다. 국내에서도 *Phytophthora*의 metalaxyl에 대한 저항성 감소의 보고가 있었다. 장 등(2003)은 1990년 초반 감자 포장에서 역병에 대한 방제효과가 저조

하였던 metalaxyl이 2001년과 2002년의 포장 실험에서 우수한 효과를 보인 이유를 1990년 초반과 비교하여 실험한 2년간에 저항성균의 분리빈도가 감소하였기 때문이라고 설명하였다. 하지만 2001년부터 2004년까지 4년 동안 강원도 지역에서 metalaxyl에 대한 감자 역병균의 저항성 정도를 모니터링한 결과, 2001년에 저항성균의 분리 비율이 17%이었던 것이 2004년에는 84.2%로 증가한 것을 보면, 난균류에 의한 다양한 식물병을 방제하기 위하여 포장에서 아직까지도 metalaxyl이 많이 사용되고 있으며, 그로 인하여 저항성균의 발현이 반복되고 있음을 알 수 있다(Zhang 등, 2005). 따라서 고추 역병의 경우도 계속적인 모니터링을 통하여 저항성균의 발현을 억제하여야 할 것으로 생각한다.

많은 연구에서 *P. infestans*의 metalaxyl에 대한 저항성과 기주에 대한 병원성을 조사한 포장 적응력 간에는 상관 관계가 있다고 보고하고 있다(Cohen과 Coffey, 1986; Day와 Shattock, 1997; Kato 등, 1997; Fontem 등, 2005). Fontem 등(2005)은 허클베리, 감자, 토마토 등에서 채집한 *P. infestans* 균주의 metalaxyl에 대한 저항성과 중도저항성, 감수성에 속하는 균주들을, 분리한 기주와 연도별로 각각 1균주씩을 선발하여 병원성 실험을 실시한 결과, metalaxyl에 대해서 저항성인 균주가 감수성인 균주에 비하여 병원성이 강하였다고 보고하였다. Mukalazi 등(2001)도 토마토와 감자에서 분리한 *P. infestans*의 병원성은 metalaxyl에 대한 감수성, 난포자의 형성 능력, 그리고 분리한 지역들과 관련이 있다고 보고하였다. 하지만 본 실험에 사용한 151개 균주의 고추에 대한 병원성을 조사하여 metalaxyl 저항성과를 비교한 결과 전혀 상관관계가 없었다. 또한 포장 적응력을 알아보는 요인 중의 하나인 균사 생장 속도 역시 metalaxyl 저항성과는 상관관계가 없는 것으로 나타났다(Fig. 4). *Phytophthora*의 기주에 대한 병원성과 metalaxyl 저항성간에 상관관계가 있는 지의 여부는 연구 그룹 간의 결과가 다르게 나타나고 있으나, 본 연구 결과 고추 역병균인 *P. capsici*의 경우는 병원균의 병원성과 metalaxyl에 대한 저항성과는 전혀 관계가 없었다. 결국 metalaxyl에 대한 저항성 발현과는 별개로 포장에는 다양한 병원성을 지닌 병원균의 집단이 생존하며, 이들을 방제하기 위한 또 다른 전략이 필요할 것으로 생각한다. Fig. 2에서 보는 것과 같이 metalaxyl에 대해서 저항성인 *P. capsici*는 병원균에 대한 살균 기작이 다른 mandipropamid나 dimethomorph에 대해서는 교차 저항성을 보이지 않기 때문에, 이러한 그룹의 살균제를 사용함으로써 방제가 가능하다고 생각한다. 그러나 몇몇 연구자들(Mukalazi 등, 2001; Fraser 등, 1999)에 의해서 metalaxyl을 사용하지 않았던 포장에서 metalaxyl에 대해서 저항성이 강한 *P. infestans*가 분리되었다는 보고가 있기 때문에 포장에서 metalaxyl에 대한 저항성 모니터링이 지속적으로 실시되어야 할 것으로 생각한다.

감사의 글

이 논문은 농촌진흥청 바이오그린연구사업의 연구비에 의해서 수행된 것으로 연구비의 지원에 감사드립니다.

인 / 용 / 문 / 헌

Cohen, Y. and M. D. Coffey (1986) Systemic fungicides and the contorl of oomycetes. Annu. Rev. Phytopathol. 24:311~338.

Davidse, L. C., A. E. Hofman 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. (1981) Occurrence of metalaxyl-resistant strains of potato blight in Dutch potato fields. Neth. J. Plant Pathol. 87:65~68.

Day, J. P. and R. C. Shattoch (1997) Aggressiveness and other factors relating to displacement of populations of *Phytophthora infestans* in England and Wales. European. J. Plant Pathol. 103:379~391.

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.

Fontem, D. A., O. M. Olanya, G. R. Tsopmbeng and M. A. P. Owona (2005) Pathogenicity and metalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates obtained from garden huckleberry, potato and tomato in Cameroon. Crop Protect. 24:449~456.

Fraser, D. E., P. B. Shoemaker and J. B. Ristaino (1999) Characterization of isolates of *Phytophthora infestans* from tomato and potato in North California from 1993 to 1995. Plant Dis. 83:633~638

Goodwin, S. B., C. D. Smart, R. W. Sandrock, K. L. Deahl, Z. K. Punja and W. E. Fry (1998) Genetic change within populations of *Phytophthora infestans* in the United States

and Canada during 1994 to 1996: Role of migration and recombination. Phytopathology 88:939~949.

Jmour, W. and W. Hamada (2006) First report of A2 mating type of *Phytophthora infestans* in Tunisia using molecular markers and some observations on its metalaxyl resistance. Tunisian J. Plant Prot. 1:85~90.

Kato, M., E. S. Mizubuti, S. B. Goodwin and W. E. Fry (1997) Sensitivity to protectant fungicides and pathogenic fitness of clonal lineages of *Phytophthora infestans* in the United States. Phytopathology 87:973~978.

Morton, H. V. and P. A. Urech (1988) History of the development of resistance to phenylamide fungicides. pp. 59~60 in: Fungicide resistance in North America. C. E. Delp, ed. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN.

Mukalazi, J., E. Adipala, T. Sengooba, J. J. Hakiza, M. Olanja and H. M. Kidanemariam (2001) Metalaxyl resistance, mating type and pathogenicity of *Phytophthora infestans* in Uganda. Crop Protect. 20:379~388.

Pappas, A. C. (1985) Metalaxyl resistance in *Phytophthora infestans* on greenhouse tomatoes in Greece. Plant Pathol. 34:293~296.

Runno, E. and M. Koppel (2006) The question of metalaxyl resistance on late blight fungus in Estonia. Agronomy Research 4:341~344.

Schwinn, F. and T. Staub (1995) Oomycetes fungicide. pp. 323~346 in: Modern selective fungicides, properties, applications, mechanisms of action. H. Lyr, ed. Gustav Fischer Verlag, New York.

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.

Zhang, X., K. Ryu, J. Kim, J. Cheon and B. Kim (2005) Changes in the sensitivity to metalaxyl, dimethomorph and ethaboxam of *Phytophthora infestans* in Korea. Plant Pathol. J. 21:33~38.

Zhu, G., F. Huang, L. Feng, B. Qin, Y. Yang, Y. Chen and X. Lu (2008) Sensitivities of *Phytophthora infestans* to metlaxyl, cymoxanil, and dimethomorph. Agricultural Sci in China 7:831~840.

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

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

국내 고추 역병균의 metalaxyl 저항성 변화 및 metalaxyl 저항성과 고추에 대한 병원성과의 상관 관계

연초롱 · 이수민 · 김선보 · 민지영 · 김흥태*

충북대학교 농업생명환경대학 응용생명환경학부 식물의학전공

요 약 전국 고추재배 포장에서 2005년부터 2007년까지 3년간 분리한 151개의 고추 역병균을 가지고 연도별 metalaxyl에 대한 감수성 정도를 조사하였다. 그 결과 *Phytophthora capsici*에 대한 metalaxyl의 평균 EC_{50}값은 역병균을 채집한 3년 동안 2005, 2006, 2007년의 균주들이 1.454, 0.830, 0.323 μg mL^{-1}로 그 값이 감소하고 있었으며, 2007년에 채집한 균주에서는 저항성 병원균을 전혀 분리하지 못하였다. Metalaxyl에 저항성인 고추 역병균이 mandipropamid와 dimethomorph에 대해서 교차 저항성을 보이는 지를 조사한 결과, metalaxyl과 다른 두 약제 mandipropamid와 dimethomorph의 사이에는 전혀 상관관계가 없었다. 또한 metalaxyl에 대한 저항성은, 역병균의 균사 생장 속도와 고추에 대한 병원성과도 상관관계가 없었다.

색인어 *Phytophthora infestans*, metalaxyl, 교차저항성, 병원성