

국내 고추역병균 *Phytophthora capsici* 집단의 교배형 분포 특성에 따른 Metalaxyl 감수성

송정영¹ · 유성준¹ · 이윤수² · 김병섭³ · 김홍기*

충남대학교 농생물학과, ¹(주)바이오월드, ²강원대 식물응용과학부
³강릉대 식물응용과학과

Metalaxyl Sensitivity Related with Distribution Feature of Mating Type of *Phytophthora capsici* Population from Red Pepper in Korea

Jeong Young Song¹, Sung Joon Yoo¹, Youn Su Lee², Byung-Sup Kim³ and Hong Gi Kim*

Department of Agricultural Biology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

¹Bioshield Co. Ltd., HTVC KAIST, Daejeon 305-701, Korea

²Division of Applied Plant Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³Department of Applied Plant Sciences, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

(Received June 9, 2003)

ABSTRACT: Metalaxyl sensitivity related with distribution feature of mating type was characterized for *Phytophthora capsici* population, totally 433 isolates of the red-pepper pathogen collected from 75 pepper fields in Korea from 1995 to 1998. At the concentration of metalaxyl 2 µg/ml, inhibition rate of mycelial growth of *P. capsici* isolates was 68.2% in average compared to control, and 28.6% isolates in average were estimated as resistance to the chemical. Isolates of field unit with a single mating type revealed similar level of sensitivity to metalaxyl and showed sensitive or resistant in most field units. However, isolates of field units with both mating types revealed diverse sensitivity level to the chemical and various occurrence ratio of metalaxyl sensitive : resistant in each field unit. Results indicated that different levels of metalaxyl sensitivity of *P. capsici* population in Korea seem to be closely related with occurrence ratio of A1 : A2 mating type of each field.

KEYWORDS: Mating type, Metalaxyl sensitivity, Pepper, *Phytophthora capsici*

전세계적으로 널리 분포하는 고추역병균 *Phytophthora capsici*는 고추를 비롯한 수박, 토마토, 가지, 오이, 참외, 호박 등의 작물 등에서 역병을 일으켜 경제적으로 큰 피해를 주고 있으며, 국내에서는 그 중 고추에서의 피해가 가장 심하다(Erwin and Ribeiro, 1996; Hwang and Kim, 1995; Kim, 1995; 김 등, 1995; 송 등, 1995). 그러나 현재 고추 역병균의 방제에 가장 효과적인 방법으로 알려진 화학적 방제에 있어서도 약제 저항성균의 출현으로 지속적인 병방제 효과를 유지할 수 없는 등 병원균 집단의 지속적인 적응과 변이는 병방제에 많은 어려움을 주고 있다(Hwang and Kim, 1995; Lamour and Hausbeck, 2000; Oh and Kim, 1992).

고추역병의 방제를 위해 사용되는 약제로 1977년 Ciba Geigy사에 의해 개발된 metalaxyl은 식물체내에서 침투이행성으로 작용하며 난균류에 선택적인 탁월한 약효를 나타내는 것으로 알려졌다(Cohen et al., 1986; Urech et al., 1977). 그러나 1981년 감자역병균 *P. infestans*에서 약제 저항성균의 발생이 보고(Davidse et al., 1981)되면서

부터 전세계적으로 *Phytophthora*속의 여러 종들에 있어서 약제내성균의 출현이 큰 문제로 대두되었다(Erwin and Ribeiro, 1996; Lamour and Hausbeck, 2000). 국내에서도 감자역병균 *P. infestans*와 고추역병균 *P. capsici*에 대한 약제저항성 균의 발생이 보고된 바 있다(최 등, 1992; Oh and Kim, 1992).

*P. capsici*의 metalaxyl 감수성과 관련된 연구 중 Mchau와 Coffey(1995)는 0.5 µg/ml이 첨가된 corn meal agar 상의 113균주에 대한 약제 저해효과가 25~100%의 범위로 나타남을 보고했다. 또한, Oh와 Kim(1992)은 국내에서 분리된 *P. capsici*의 ED₅₀ 값이 1.5~150.6 µg/ml이고, ED₉₀ 값이 100 µg/ml인 저항성균이 13%가 존재한다고 밝힌 바 있다.

*P. capsici*는 무성적으로는 유주자의 수매전반을 통한 병전반을 실시하지만 서로 다른 교배형의 배우자가 만나 유성적으로 형성되는 난포자는 유전적 변이의 주요 요인으로 여겨지며(Lamour and Hausbeck, 2000; Ristiano, 1990; Satour and Butler, 1968), 이들의 유성세대들에 있어서는 형태적인 다양성과 함께 병원성의 변이가 나타나는 것으로 알려졌다(Bowers and Mitchell, 1991; Satour,

*Corresponding author <E-mail: hgkim@cnu.ac.kr>

1968; Savage, 1968). 한편, 국내 고추역병균 *P. capsici* 집단 내의 A1, A2 교배형의 발생분포는 지역별, 포장단위별로 다양하게 나타나며, 동일 포장내에서도 서로 다른 교배형을 갖는 균들이 존재하는 것으로 보고되어 있다 (Song *et al.*, 2002). 이는 동일 포장내에서 유성생식이 발생할 수 있으며, 각 포장단위로 유전적으로 다양한 병원균들이 분포하고 있을 것을 예측하게 해준다.

본 연구는 국내의 주요 고추재배지역에서 발생하는 고추역병균 *Phytophthora capsici* 집단의 metalaxyl에 대한 감수성과 포장단위별 병원균들의 교배형 발생 특성과의 연관성을 조사하여 병원균 집단의 유전적 특성 및 다양성을 분석하고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시 고추역병균(*Phytophthora capsici*)

1995년부터 1998년까지 75곳의 전국 대단위 고추 집단 재배지역과 일반농가 포장의 고추역병 병반으로부터 분리된 후 각각의 교배형이 이미 밝혀진 고추역병균 433균주들을 20% CV-8 agar에서 배양한 후 암상태의 15°C 항온기에 보관하면서 metalaxyl에 대한 약제감수성 조사에 사용하였다(Song *et al.*, 2002).

Metalaxyl에 대한 감수성 조사

433개 고추역병 균주들의 metalaxyl에 대한 감수성을 조사하기 위하여 0, 0.4, 2, 10, 50, 250 $\mu\text{g/ml}$ 의 metalaxyl이 첨가된 20% CV-8 agar 배지를 사용하였다. 공시균주들을 암상태에서 25°C 조건으로 5일간 배양하고 균총의 가장자리로부터 cork borer로 직경 6 mm의 균총원판을 채취하여 각 농도별로 metalaxyl이 첨가된 배지의 중앙에 치상하여 4일간 배양한 후 균총직경을 조사하였다. 모든 실험은 3반복으로 실시하였으며 ED₅₀ 값은 살균제 농도를 자연 log로 환산하여 군사 억제율에 대한 회귀직선으로 구하였다.

생장억제율(%)=

$$\frac{\text{무처리구의 균총직경(mm)} - \text{처리구의 균총직경(mm)} - 6}{\text{무처리구의 균총직경(mm)} - 6} \times 100$$

본 실험에 사용된 metalaxyl 원제(a. i. con. 95.8%)은 (주)한국 삼공으로부터 분양받았다. 약제저항성과 감수성의 기준은 15종의 *Phytophthora* 속 균들에 대한 약제 반응 조사에 있어서 *P. capsici*를 포함한 13종들은 1 $\mu\text{g/ml}$ 이하에서 ED₅₀ 값이 나타난다는 결과(Erwin and Ribeiro, 1996)와 본 실험내용 등을 참고로 무처리구에 비해 2 $\mu\text{g/ml}$ 에서 60% 이상 군사생육 저해를 받는 것을 감수성으로 하였으며, 2 $\mu\text{g/ml}$ 에서 60% 이하와 250 $\mu\text{g/ml}$ 에서 90% 이하의 저해를 받는 것을 저항성이라 결정하였다.

결과 및 고찰

국내 고추역병균 *P. capsici* 집단의 Metalaxyl 감수성

0, 0.4, 2, 10, 50, 250 $\mu\text{g/ml}$ 의 metalaxyl 약제 처리 농도별로 433개 공시균주들의 군사생육 억제율을 조사한 결과 2 $\mu\text{g/ml}$ 처리구에서 군사생육 저해율이 17~100% 범위로 조사되어 변이폭이 가장 넓게 나타났다(data not shown). Metalaxyl 2 $\mu\text{g/ml}$ 농도에서의 조사년도별 공시균주들의 평균 군사생장 저해율은 1995년 69.6%, 1996년 72.4%, 1997년 63.2%, 1998년 67.6%였으며 연평균 저해율은 68.2%로 나타났다(Table 1).

*P. capsici*를 포함하여 전세계적으로 분포하는 15종의 *Phytophthora* 속 균들의 metalaxyl 약제에 대한 군사생육 반응을 조사한 결과 대부분 1 $\mu\text{g/ml}$ 이하에서 ED₅₀ 값이 나타났으며(Erwin and Ribeiro, 1996), 1997년 미국 North Carolina에서 발생한 고추역병균 *P. capsici*의 metalaxyl 감수성 균들은 모두 ED₅₀ 값이 1.1 $\mu\text{g/ml}$ 미만이며 평균 0.27 $\mu\text{g/ml}$ 를 나타낸 것으로 알려져 있다(Para and Ristaino, 2001). 한편, Oh and Kim(1992)은 국내에 분포하는 고추역병균 *P. capsici*에 대한 metalaxyl 감수성 조사결과 ED₉₀이 20 $\mu\text{g/ml}$ 이하인 감수성균이 전체 공시균주의 21%였으며, ED₉₀이 100 $\mu\text{g/ml}$ 이상인 저항성균이 13%로 나타났음을 이미 보고한 바 있다.

따라서 기존에 보고된 약제조사 결과와 본 실험에 있어서 나타난 2 $\mu\text{g/ml}$ 농도에서의 평균 군사생장 저해율을 고려해 2 $\mu\text{g/ml}$ 의 metalaxyl 처리배지에서 군사생장 저해율이 60% 이하인 균주들을 저항성으로 정한 결과 433균주 중 121균주가 저항성으로 나타났으며 전체 조사균주의 27.9%를 차지했다(Table 1). 연평균 약제저항성균의 발생율은 28.6%였으며, 이러한 저항성균들은 모두 250 $\mu\text{g/ml}$ 에서도 90% 이하의 군사생육억제율을 보였고 ED₅₀ 값은 2 $\mu\text{g/ml}$ 이상을 나타냈다(data not shown).

Table 1. Metalaxyl sensitivity of *Phytophthora capsici* isolates from pepper cultivation area in Korea between 1995 and 1998

Year	Number of			Inhibition rate ^b
	Isolate	Field	Metalaxyl sensitive : resistant ^a (%)	
1995	202	42	139 (68.8) : 63 (31.2)	69.6
1996	80	15	64 (80.0) : 16 (20.0)	72.4
1997	54	9	30 (55.6) : 24 (44.4)	63.2
1998	97	9	79 (81.4) : 18 (18.6)	67.6
Total	433	75	312 (72.1) : 121 (27.9)	68.2

^aMetalaxyl sensitivity was estimated on colony diameter on metalaxyl-amended medium relative to the growth of control. Isolates were classified as sensitive if they were inhibited more than 60% of the control at 2 $\mu\text{g/ml}$ or as resistant if they were inhibited less than 60% of the control at 2 $\mu\text{g/ml}$ and 90% at 250 $\mu\text{g/ml}$.

^bAverage of inhibition rate of mycelial growth on 2 $\mu\text{g/ml}$ of metalaxyl-amended medium relative to the growth of control.

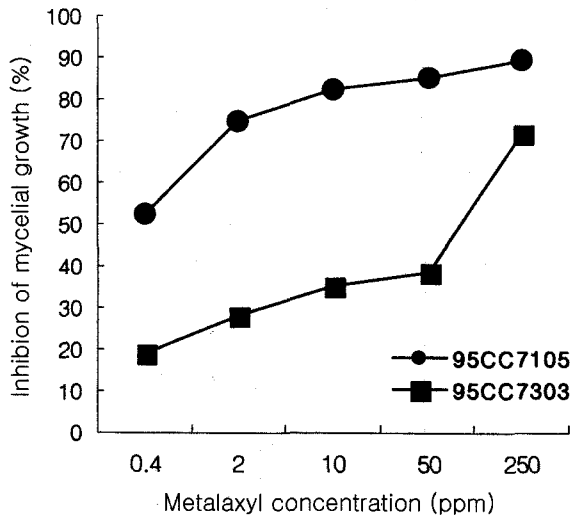


Fig. 1. Metalaxyl sensitivity of *Phytophthora capsici* isolates, metalaxyl resistant (95CC7303) and sensitive (95CC7105) in a field.

Table 2. Metalaxyl-sensitive and -resistant isolate of *Phytophthora capsici* in a field

Isolate	Mating type	Metalaxyl		
		Inhibition rate of 2 $\mu\text{g/ml}$ (%)	ED ₅₀ ^a	Sensitivity
95CC7105	A1	75.2	0.05	Sensitive
95CC7303	A2	28.3	68.2	Resistant

^aEffective dose.

한편, 동일한 포장에서 분리된 약제감수성 균주인 95CC7105(A1형)와 저항성 균주인 95CC7303(A2형)의 metalaxy 반응을 비교하였다(Fig. 1). 2 $\mu\text{g/ml}$ 농도에서 균사생육 저해율이 각각 75.2%, 28.3%였으며, ED₅₀ 값은 각각 0.05, 68.2 $\mu\text{g/ml}$ 로 저항성균이 1,300배 이상 높게 나타나 동일포장내에 약제감수성의 차이가 큰 저항성균과 감수성균이 공존함을 알 수 있었다(Table 2).

따라서 이들과 같이 교배형이 서로 다르며 약제에 대한 감수성의 차이가 큰 병원균들이 동일한 병발생 포장내에서 만난다면 유성생식의 발생으로 인한 난포자의 형성으로 1차전염원 밀도의 증가와 더불어 이들로부터 비롯된 자손균주들은 유전적으로 약제에 대한 다양한 특성을 나타낼 것이다. 한편, *Phytophthora* 속균들은 인위적인 metalaxyl 처리에 의해 교배형 전환과 병원성 변이 그리고 ribosomal DNA의 IGS(intergenic spacer) 영역에서의 변이 등이 유발될 수 있는 것으로 알려져 있는데(Chang and Ko, 1990, 1992; Song, 2000) 실제 병발생 포장에서 이러한 유전적인 변이가 발생한다면 병원균 집단의 유전적인 다양성은 증가할 것이다. 따라서 포장단위별 균주들의 metalaxyl 약제에 대한 반응특성과 교배형 발생상황과의 관련성 조사는 병원균 집단의 유전적인 특성 분석에

있어 매우 필요할 것으로 여겨진다.

병발생 포장단위별 교배형 발생분포와 약제감수성

국내 고추역병균 *P. capsici* 집단의 포장단위별 A1, A2 교배형의 발생분포 특성과 관련된 각 균주들 간의 약제 반응을 비교하기 위해 2 $\mu\text{g/ml}$ 의 약제가 처리된 배지에서 생육시킨 후 균사생육 저해율 변이정도를 조사하였다. A1형 또는 A2형 교배형만 출현한 8개 포장들의 포장단위별 평균치를 기준으로 조사한 저해율의 변이폭은 $\pm 10\%$ 로 좁았으며, 저해율의 최소값과 최대값의 차이는 6.6~13.4%로 나타나 각 포장별로 포장내 균주들간의 약제에 대한 감수성이 서로 비슷했다(Table 3). 또한, 조사된 8포장 중 6포장에서 포장 단위별로 약제 감수성이나 저항성 중의 단일 특성이었으며, 각각 9단계로 저해율을 나누어 그 분포양상을 조사한 결과 60~80%의 저해율 범위에서 가장 많았고, 개별적인 포장단위별로는 각기 1~3곳의 좁은 영역에서만 병원균들의 저해율 분포를 나타냈다(Table 4).

그러나 A1과 A2 교배형이 혼재하여 발생하는 8개 포장들의 각 포장내 균사생육 저해율 변이폭은 $\pm 39.0\%$ 로 넓었고, 최소값과 최대값의 범위도 30~72.9%로 나타나 단일교배형 포장들에 비해 그 변이폭이 컸다(Table 3). 또한, 조사균주들은 40~80%의 저해율 범위에 많이 분포하였으며, 조사된 모든 포장에서 저항성균이 발생하였고, 포장단위별 저항성균과 감수성균의 발생비율은 단일 교배형 발

Table 3. Metalaxyl sensitivity of *Phytophthora capsici* on 2 $\mu\text{g/ml}$ of metalaxyl-amended media with occurrence ratio of mating type in each field

Mating type ^a	Field	Inhibition rate (%) of mycelial growth	
		Mean (Variation) ^b	Range (Distance) ^c
A1	1	64.3 (- 2.9~+ 4.4)	61.4~68.7 (7.3)
	2	62.4 (- 9.7~+ 6.4)	52.7~68.8 (16.1)
	3	94.5 (- 3.3~+ 5.5)	91.2~100 (8.8)
	4	26.3 (- 9.8~+ 2.0)	16.5~28.3 (11.8)
A2	1	76.1 (- 3.9~+ 2.7)	72.2~78.8 (6.6)
	2	65.2 (- 9.0~+10.0)	56.2~75.2 (19.0)
	3	73.5 (- 8.7~+ 5.3)	64.2~78.8 (14.6)
	4	82.3 (- 8.0~+ 5.4)	74.3~87.7 (13.4)
A1/A2	1	46.2 (-22.8~+21.3)	23.4~67.5 (44.1)
	2	52.4 (-18.8~+25.5)	33.6~78.7 (45.1)
	3	56.2 (-33.9~+39.0)	22.3~95.2 (72.9)
	4	64.3 (-12.2~+28.1)	52.1~92.4 (40.3)
	5	51.2 (-19.7~+36.4)	32.5~87.6 (55.1)
	6	58.5 (-16.1~+18.1)	42.4~76.6 (34.2)
	7	63.6 (-18.4~+12.7)	45.2~76.3 (31.1)
	8	64.8 (-21.5~+23.4)	43.3~88.2 (44.9)

^aA1, A2; occurrence of only A1 or A2 mating type, A1/A2; occurrence of both A1 and A2 mating type in a field.

^bThis means distance of inhibition rate calculated on standard by mean value of inhibition rate of mycelial growth for each field isolates.

^cDistance of between maxim and minimum.

Table 4. Distribution of metalaxyl sensitivity of *Phytophthora capsici* isolates with occurrence ratio of mating type in each field

Mating type ^a	Field	Number of isolates with the range of inhibition rate of mycelial growth									Total
		0~20 ^b	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100	
A1	1						5				5
	2					3	4				7
	3									8	8
	4	2	8								10
A2	1								6		6
	2					2	2	1			5
	3						2	8			10
	4							5	7		12
A1/A2	1			5	2	7	3	1			18
	2				1	1		2	3	4	11
	3		1	3	2	2	3	4	2	2	19
	4					3	2	4		1	10
	5			4	5	3	7	3	1		23
	6				5	2	5	3			15
	7				2	7	6	5			20
	8				2	3	12	3	2		22
Total	16	2	9	12	19	33	51	45	15	15	201

^aA1, A2; occurrence of only A1 or A2 mating type, A1/A2; occurrence of both A1 and A2 mating type in a field.

^bInhibition rate (%) of mycelial growth on 2 µg/ml of metalaxyl-amended media of *P. capsici*.

생포자들에 비해 다양했다. 그리고 포장단위별로 4~8개 저해율의 범위에서 비교적 고른 분포를 나타내 단일 교배형 발생포자들에 비해 병원균들의 약제에 대한 반응 변이 폭이 더 넓은 것을 알 수 있었다(Table 4).

Lamour와 Hausbeck(2000)은 교배형이 공존하는 포장에서 수집된 *P. capsici*의 난포자 분석을 통해 실제로 포장내에서 유성생식이 일어나며 유성세대 자손균주들이 metalaxyl 약제에 대해 다양한 감수성을 갖고 있음을 밝힌 바 있다. 또한 이러한 교배형이 혼재하는 포장들에 있어서는 DNA 분석에 있어서도 단일 교배형만 발생했던 포장단위의 균주들 사이에서보다 유전적 다양성이 더 크게 나타나는 것으로 알려져 있다(Song, 2000). 조사한 바와같이 단일포장내 고추역병균주들 간의 metalaxyl 약제에 대한 반응 변이폭은 단일 교배형만 출현했던 포장균주들에 비해 A1과 A2 교배형의 균주들이 모두 출현했던 포장단위별 균주들간의 반응 비교에서 더 크게 나타난다. 이러한 포장단위의 균주들간 metalaxyl 약제에 대한 반응의 차이는 포장내 A1과 A2 교배형이 모두 존재하는 포장들에 있어서 유성생식을 통한 유전적 다양성이 더 크게 나타날 수 있음을 의미한다.

국내에서는 고추가 재배되고 있는 거의 전지역에서 고추역병균 *P. capsici* 집단이 존재하지만 주로 수매전반과 병발생 포장의 소규모 등 지형적으로 국한되는 병전반 특성때문에 병원균 집단의 유·무성생식과 자연적인 변이를 통한 유전적 변이가 발생하며 유지되는 최소 단위가 각 단일포장임을 알 수 있다. 이미 보고된 바와같이 국내 고추역병균 집단은 병발생 포장 단위별로 교배형 발생 분포 양

상이 매우 다양하게 나타난다(Song, 2000). 이는 국내 고추역병균 *P. capsici* 집단이 개별포장을 단위로 metalaxyl 등의 방제약제와 기주 및 기타 환경에 대한 적응과 더불어 포장내 유·무성생식을 통해 유전적으로 다양한 병원균군을 이룰 수 있다는 것을 말해 준다.

본 연구에서 밝힌 것처럼 국내에 분포하는 고추역병균 집단이 교배형 발생 특성에 따라 포장단위별로 약제에 대한 다양한 반응 특성이 나타나는 것은 현재까지 주요 방제 약제로 사용된 metalaxyl이 포장내 병원균들의 유·무성생식과 더불어 새로운 유전적 특성을 갖는 집단들을 형성하게 했음을 알 수 있다. 따라서 국내 고추역병균 *P. capsici* 집단에 대한 포장단위의 교배형 발생 특성과 관련된 방제약제에 대한 반응 분석 결과는 보다 근본적인 병방제 대책의 수립과 효과적이고 정확한 병방제를 위한 기초자료로 활용될 것이다.

적 요

1995년부터 1998년까지 75곳의 국내 고추포장들로부터 수집된 433개의 고추역병균 *Phytophthora capsici* 집단의 교배형 분포 특성에 따른 metalaxyl 감수성을 분석하였다. Metalaxyl 2 µg/ml 농도에서 *P. capsici* 집단의 평균 균사생장 저해율은 68.2%였으며, 저항성균의 발생율은 평균 28.6%였다. 포장단위별로 metalaxyl에 대한 반응을 조사한 결과 A1형 또는 A2형 단일 교배형만 출현한 포장들의 균주들은 서로 비슷한 수준의 감수성을 나타냈으며, 대부분 포장단위별로 약제 감수성이나 저항성 중의 하나로 구

분됐다. 그러나 교배형이 혼재하여 분포하는 각 포장단위별 균주들간의 약제에 대한 반응은 단일교배형 포장균주들에 비해 매우 다양했으며, 포장별로 저항성균의 발생비율도 다양했다. 이러한 결과들은 국내에 분포하는 고추역병균 *P. capsici* 집단의 metalaxyl 약제에 대한 다양한 감수성이 각 포장단위별 A1 : A2 교배형 발생비와 매우 밀접한 관계가 있다는 것을 의미한다.

참고문헌

- 김병수, 김광용, 김상기, 성진근. 1995. 고추, 수지맞는 기술과 유통 전략. 농민신문사. 331pp.
- 송정영, 유성준, 김홍기, 유승현. 1995. *Phytophthora capsici*에 의한 토마토 열매 썩음병(가칭)의 발생. 한국식물병리학회 초록집 11: 386.
- 최경자, 김병섭, 정영륜, 조광연. 1992. 감자재배포장에서 metalaxyl 저항성 감자역병균(*P. infestans*)의 발생 한식병지 8: 34-40.
- Bowers, J. H. and Mitchell, D. J. 1991. Relationship between inoculum level of *Phytophthora capsici* and mortality of pepper. *Phytopathology* 81: 178-184.
- Chang, T. T. and Ko, W. H. 1990. Effect of metalaxyl on mating type of *Phytophthora infestans* and *Phytophthora parasitica*. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 56: 194-198.
- ____ and _____. 1992. Variation in growth rate and colony morphology of *Phytophthora parasitica* induced by metalaxyl. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 58: 72-77.
- Cohen, Y. and Coffy, M. D. 1986. Systemic fungicides and control of oomycetes. *Annu. Rev. Phytopathology* 24: 311-348.
- Davidse, L. C., Looigen, D., Turkensteen, L. J. and Van der Wal, D. 1981. Occurrence of metalaxyl-resistant strains of *Phytophthora infestans* in Dutch potato field. *Neth. J. Pl. Path.* 87: 65-68.
- Erwin, D. C. and Ribeiro, O. K. 1996. *Phytophthora Diseases Worldwide*. The American Phytopathological Society, APS Press, St. Paul. 562 pp.
- Hwang, B. K. and Kim, C. H. 1995. *Phytophthora* blight of pepper and its control in Korea. *Plant Dis.* 79: 221-227.
- Kim, B. S. 1995. Fruit and vine rot of watermelon caused by *Phytophthora capsici*. *Korean J. Plant Pathol.* 11: 98-99.
- Lamour, K. H. and Hausbeck, M. K. 2000. Mefenoxam insensitivity and the sexual stage of *Phytophthora capsici* in Michigan cucurbit fields. *Phytopathology* 90: 396-400.
- Mchau, G. R. A. and Coffey, M. D. 1995. Evidence for the existence of two subpopulations in *Phytophthora capsici* and a redescription of the species. *Mycological Research* 99: 89-102.
- Oh, J. S. and Kim, C. H. 1992. Varying sensitivity to metalaxyl of Korean isolates of *Phytophthora capsici* from red pepper field. *Korean J. Plant Pathol.* 8: 29-33.
- Para, G. and Ristaino, J. B. 2001. Resistance to metafenoxam and metalaxyl among field isolates of *Phytophthora capsici* causing *Phytophthora* blight of bell pepper. *Plant Dis.* 85: 1069-1075.
- Ristaino, J. B. 1990. Intraspecific variation among isolates of *Phytophthora capsici* from pepper and cucurbit fields in North in North Carolina. *Phytopathology* 80: 1253-1259.
- Satur, M. M. and Butler, E. E. 1968. Comparative morphological and physiological studies of progenies from intraspecific matings of *Phytophthora capsici*. *Phytopathology* 58: 183-192.
- Savage, E. J., Clayton, C. W., Hunter, J. H., Brenneman, J. A., Lavola, C. and Gallegly, M. E. 1968. Homothallism, heterothallism, and interspecific hybridization in the genus *Phytophthora*. *Phytopathology* 58: 1004-1021.
- Song, J. Y. 2000. Analysis of genetic diversity and variation factors in *Phytophthora capsici* population causing red pepper blight. Ph. D. Thesis. Chungnam National University. 127pp.
- ____, Yoo, S. J. and Kim, H. G. 2002. Distribution and alteration of mating type of *Phytophthora capsici* population from red pepper in Korea. *The Korean Journal of Mycology* 30: 152-156.
- Urech, P. A. Schwinn, F. J. and Staub, T. 1977. CGA 48988, a novel fungicide for the control of late blight, downy mildews and related soil-borne diseases. *Proc. 9th Br. Crop Prot. Conf.* 2: 623-631.