

## 강원지역 감자 역병균 *Phytophthora infestans*의 교배형 및 약제저항성 변화

박경훈\* · 류경열 · 윤종철 · 정규식<sup>1</sup> · 김점순<sup>2</sup> · 권민<sup>2</sup> · 김병섭<sup>3</sup> · 차병진<sup>4</sup>

국립농업과학원 유해생물과, <sup>1</sup>국립종자원 재배시험과, <sup>2</sup>국립식량과학원 고령지농업연구센터,

<sup>3</sup>강릉원주대학교 식물생명과학과, <sup>4</sup>충북대학교 식물의학과

### Changes of Mating Type Distribution and Fungicide-resistance of *Phytophthora infestans* Collected from Gangwon Province

Kyeong-Hun Park\*, Kyoung-Yul Ryu, Jeong-Chul Yun, Kyu-Sik Jeong<sup>1</sup>, Jeom-Soon Kim<sup>2</sup>,  
Min Kwon<sup>2</sup>, Byung-Sup Kim<sup>3</sup> and Byeongjin Cha<sup>4</sup>

Microbial Safety Division, NAAS-RDA, Suwon 441-707, Korea

<sup>1</sup>Variety Testing Division, Korea Seed & Variety Service, Suwon 443-400, Korea

<sup>2</sup>Highland Agriculture Research Center, NICS-RDA, Pyeongchang 232-955, Korea

<sup>3</sup>Department of Plant Science, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

<sup>4</sup>Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

(Received on August 5, 2010; Accepted on August 12, 2010)

Potato late blight caused by *Phytophthora infestans* was the most constrain disease at potato cultivation areas. The mating type distribution and fungicides response of *P. infestans* were investigated to elucidate the changes of pathogen from Gangwon province. On the fungal isolates in 2006, 58.7% were A1 mating type and 41.3% were A2 mating type. In 2007, A1 mating type isolates increased to 93.3% and A2 mating type isolates were collected from Jinbu areas as much as 6.7%. About 234 isolates analysed for metalaxyl response, the results was resistance 73.7%, intermediate 18.8% and sensitive 7.5% in 2006. And it was resistance 59.4%, intermediate 4.0% and sensitive 36.6% in 2007. It meant that mating type distribution and fungicide response were very different over the collection sites. Minimal inhibition concentration (MIC) of dimethomorph examined with 126 isolates in 2006 and 106 isolates in 2007. MIC over 1.0 µg/ml was 56.3% in 2006 and it was 3.8% in 2007. The average EC<sub>50</sub> value of *P. infestans* was 0.37 µg/ml in 2006, but it decreased to 0.12 µg/ml in 2007. Fungicides response and pathogenesis of *P. infestans* should be monitored continuously to enhance the chemical efficacy at potato fields.

**Keywords :** Dimethomorph, Mating type, Metalaxyl, *Phytophthora infestans*

감자 역병은 *Phytophthora infestans*에 의해 발생하는 감자의 주요 병으로 전 세계적으로 감자 역병에 의한 경제적 피해가 약 25억 달러에 이르고 있다(IPC, 2004).

감자 역병은 저온 다습한 환경에서 초기 방제시기를 놓칠 경우 일단 발병되면 1주일 내외로 포장 전체로 확산되어 방제가 어렵게 된다. 감자 역병균은 자웅이주성 균으로 교배형 A1과 A2가 만나 난포자를 형성하며 토양,

작물 잔재물 등에서 오랫동안 생존이 가능하며 방제가 어렵다. Metalaxyl은 phenylamide계의 살균제로 RNA 합성 억제 작용기작을 가지고 있으며 역병, 노균병 등 곰팡이에게 선택적 방제 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 이 약제는 경엽처리에 의한 침투 이행성이 높으며 보호 및 치료효과를 가지고 있어 세계적으로 널리 사용하였다(Bruck 등, 1980). 그러나, 계속된 약제 사용으로 인해 1980년대 네덜란드, 스위스 등 유럽 감자 재배 포장에서 저항성 감자 역병균이 출현하였고, 이후 아일랜드와 이스라엘 등에서도 metalaxyl에 대한 저항성 균주의 출현이 보고되었다(Cohen과 Reuveni, 1983; Dowley 등, 1981). 국내에

\*Corresponding author

Phone) +82-31-290-0446, Fax) +82-31-290-0407

Email) blueour@korea.kr

서는 1991년과 1993년에 metalaxyl 저항성 균주의 발생을 확인하였고(최 등, 1991; 고 등, 1993), 2000년 이후 국내에서 저항성 균의 밀도 감소를 보고한 바 있다(Kim 등, 2000; 류 등, 2004; Zhang 등, 2005). Dimethomorph는 시나믹산의 유도체로서, 작물의 뿌리로부터 흡수 이행되고, 엽면에서 잔류 기간이 길어서 독일을 비롯한 영국, 프랑스, 이탈리아 등 전세계 약 50개 국에서 *Peronosporaceae*와 감자 역병균을 포함한 *Phytophthora* 속에 속하는 병원균에 뛰어난 방제효과를 가진 약제로 알려져 있다(Albert 등, 1988; Cohen 등, 1995).

강원도 고랭지 씨감자 재배지는 감자 역병 방제를 위하여 파종 후 30일 부터 5~7일 간격으로 약제 방제하며 여름철 서늘하고 습한 기후가 계속되거나 6월말에서 7월 중순까지 장마가 계속될 경우 약제 살포 횟수는 많이 늘어난다. 본 연구는 감자 역병균의 효과적인 방제를 위한 정보를 제공하기 위하여 강원지역을 중심으로 채집한 감자 역병균의 교배형 변화와 약제 반응을 조사하였고, 그 결과는 신품종 육종 및 방제전략 수립에 기여할 것으로 생각된다.

## 재료 및 방법

**병원균 분리.** 강원도 감자 재배 포장에서 전형적인 수침상 병반과 흰색의 균사가 보이는 병든 잎을 수집하여 병원균 분리에 사용하였다. 병든 잎의 조직을 2×2 cm 정도로 잘라낸 다음 수침상 병반이 보이도록 멸균한 페트리접시에 두고, 감자(품종:수미) 괴경을 화염 소독하고 두께 1 cm 내외의 절편을 만들어 병든잎 조직(2×2 cm) 위에 올려 두었다. 그 후 20°C 항온기에서 4~7일 동안 배양하며, 감자절편 위에 형성된 흰색의 균사 선단을 선택 배지(PARP; pimaricin 10 ppm, ampicillin 100 ppm, rifampicin 10 ppm, PCNB 50 ppm)에 옮겨 1주일 동안 배양하였다. 선택배지 위에서 자라나는 흰색의 균사 선단을 7 mm cork borer를 이용하여 10% V8 배지와 Rye A 배지에 옮긴 다음 광학현미경으로 균학적인 특징을 확인하였다. 분리된 균주는 20°C 암상태에서 10% V8 agar, Rye A agar, 10% V8+oatmeal agar 등을 이용하여 계대 보관하면서 교배형 조사 및 억제반응성 변화를 조사하는데 사용하였다.

**교배형 분포 조사.** 감자재배 지역에서 분리한 교배형을 조사하기 위하여 KA-2균주(A1)와 BC-2 균주(A2)를 강릉대학교에서 분양받아 대조 균주로 사용하였다. 10% V8 Agar에서 7~10일 동안 키운 지역별 분리균주와 교배형 대조 균주의 균총 선단부를 7 mm cork borer로 떼어

10% 맑은 V8 배지 위에서 올려놓은 다음 20°C에서 1주일 동안 대치 배양하였다. 분리 균주와 대조 균주의 균사가 만나는 부위를 중심으로 광학현미경으로 검경하여 난포자의 형성 유무에 따라 교배형을 확인하였다. 분리한 균주가 교배형 A1형과 대치 배양하였을 때 난포자가 형성된 경우는 A2, 교배형 A1형과 대치 배양하였을 때 난포자가 형성된 경우는 A2형으로 결정하였다.

**Metalaxyl 반응 조사.** 감자 역병균에 대한 억제반응 조사는 in vitro 실험을 통해 수행하였고, 본 실험에 사용된 살균제는 metalaxyl 원제(98%)로 한국화학연구소로부터 분양 받아 사용하였다. 각 지역에서 분리한 균주는 metalaxyl이 함유된 배지는 원제를 dimethyl sulfoxide (DMSO)에 용해시켜 0, 5, 10, 100 µg/ml 억제농도로 조절한 10% V8 배지를 제조하여 실험에 사용하였다. 병원균의 접종은 10% V8 배지에서 10일동안 배양한 균사 절편(직경 7 mm)을 분리하여 억제 배지의 중앙에 올려놓았다. 병원균을 접종한 억제배지는 20°C 항온기에서 7일간 배양한 후 대조구의 상대적인 균사 생육 정도에 따라 metalaxyl의 경우 5 µl/ml과 100 µl/ml 농도에서 무처리대비 40% 이상의 균사생장 했을 경우는 저항성, 5 µl/ml 농도에서 무처리대비 40% 이상의 균사생장 했을 경우 중도저항성, 5 µl/ml 농도에서 무처리대비 40% 이하의 균사생장 했을 경우는 감수성으로 구분하였다.

**Dimethomorph 반응 조사.** Dimethomorph의 억제 반응을 조사하기 위하여, 지역에서 수집한 균주는 10% V8 배지에 접종하여 20°C에서 10일간 배양한 것을 사용하였다. 본시험에 사용한 dimethomorph 원제(97%)는 한국화학연구원으로부터 분양 받았으며, 억제처리 농도는 10% V8배지에 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0 µg/ml로 조절하였다. 병원균은 균총 가장자리의 균사 절편(직경 7 mm)을 분리하여 억제 배지의 중앙에 올려놓았다. 배지는 20°C에서 1주일간 배양한 후 균총의 직경을 측정하였으며, 약제를 처리하지 않은 10% V8배지 상에서 균총의 직경과 비교하여 균사 생장 억제율을 계산하였다. 또한, 역병균의 균사생장을 완전히 억제하는 농도(MIC, minimal inhibitory concentration)와 50% 균사생장 억제농도(EC<sub>50</sub>, effective concentration 50%)를 구하여 각 균주들의 dimethomorph 반응정도를 조사하였다.

## 결 과

**교배형 변화.** 각 지역에서 분리한 감자 역병균의 교배형을 조사한 결과, 2006년에 분리한 155 균주 중 A1형 58.7%, A2형 41.3%로 나타났다(Table 1). 강릉 왕산과 평

창진부 등 대부분 지역에서 A2형 균주를 확인할 수 있었으며, 왕산지역에서 분리한 균주는 A1형 13%, A2형 87%로 A2 발생 비율이 월등히 높았다. 반면, 대관령에서 분리한 균주는 A2형이 확인되지 않았다. 2007년에 분리된 105개 균주 중 A1형은 93.3%, A2형은 7균주 6.7%로 A2의 발생 비율이 매우 낮았다. 특히, 진부지역을 제외하고 교배형 A2의 발생을 확인할 수 없었으며, 진부지역에서는 A1 교배형이 85.7%, A2 교배형이 14.3%로 확인되었다.

**Table 1.** Frequency of A1 and A2 mating type isolates of *Phytophthora infestans* collected from Gangwon province in 2006 and 2007

Year	Location	No. of isolates	Mating type	
			A1(%)	A2(%)
2006	Gangneung Sacheon	8	6(75)	2(25)
	Gangneung Wangsan	52	7(13)	45(87)
	Hongcheon Naemyeon	12	3(25)	9(75)
	Pyeongchang Daegwallyeong	55	55(100)	-
	Pyeongchang Jinbu	28	20(71)	8(29)
	Subtotal	155	91(58.7)	64(41.3)
2007	Gangneung Wangsan	21	21(100)	-
	Heongsung Doonae	3	3(100)	-
	Hongcheon Naemyeon	5	5(100)	-
	Pyeongchang Daegwallyeong	12	12(100)	-
	Pyeongchang Jinbu	49	42(85.7)	7(14.3)
	Yanggu Haeanmyeon	15	15(100)	-
Subtotal	105	98(93.3)	7(6.7)	
Total	260	189(72.6)	71(27.3)	

**Metalaxyl 반응.** 강원도 대관령면을 포함한 여러 지역에서 2006년부터 2007년까지 분리한 균주들의 metalaxyl에 대한 저항성 반응을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 2006년에 분리한 133균주에서 저항성 균주가 73.7%, 중도 저항성 균주가 18.8%, 감수성 균주가 7.5%로 나타났다. 지역별로 감자 역병균의 metalaxyl 약제반응은, 대관령지역에서는 저항성 77%, 중도저항성 15%, 감수성 8%로 확인되었으며 진부지역에서 저항성 52%, 중도저항성 48%로 감수성 균은 발견되지 않았다. 한편, 평안지인 강릉지역은 감수성이 50%로 대관령, 진부, 왕산과 같은 고랭지 지역보다 감수성 균이 많이 분리되었으며, 왕산지역에서는 대부분이 저항성균으로 확인되었다. 2007년에 분리한 101균주 중에서 저항성 59.4%, 중도저항성 4%, 감수성 36.6%로 확인되었으며, 대관령지역에서는 저항성 83.3%, 중도저항성 16.7%로 나타났으며, 감수성균은 확인되지 않았다.

**Dimethomorph 반응.** 2006년에 분리한 126균주와 2007년에 분리한 106균주의 dimethomorph 약제반응을 조사한 결과는 Fig. 1과 같았다. MIC 값은 0.6미만, 0.6~1.0, 1 µg/ml 이상인 그룹으로 나눌 수 있었다. 2006년에 분리한 126개 균주 중에서 0.6~1.0 µg/ml 범위에 속하는 균주는 53개로 42.1%를, 1.0 µg/ml 이상인 균주는 56.3%를 차지하고 있었으나, 2007년에 분리한 106개 균주 중에서 0.6~1.0 µg/ml에 속하는 균주가 18.9%, 1.0 µg/ml 이상인 균주는 3.8%로 확인되었다. 분리한 균주들에서 EC<sub>50</sub> 값을 구한 결과(Fig. 2), 2007년에 조사한 균주들의 평균값이 0.12 µg/ml로 2006년 평균값 0.37 µg/ml 보다 감소하였다.

**Table 2.** Metalaxyl responses of *Phytophthora infestans* collected from Gangwon province in 2006 and 2007

Year	Location	No. of isolates	Metalaxyl response <sup>a</sup>		
			R	I	S
2006	Gangneung Sacheon	8	2(25)	2(25)	4(50)
	Gangneung Wangsan	43	40(93)	1(2)	2(5)
	Pyeongchang Daegwallyeong	53	41(77)	8(15)	4(8)
	Pyeongchang Jinbu	29	15(52)	14(48)	-
	Subtotal	133	98(73.7)	25(18.8)	10(7.5)
2007	Gangneung Wangsan	20	15(75)	1(5)	4(20)
	Hongcheon Naemyeon	5	3(60)	-	2(40)
	Pyeongchang Daegwallyeong	12	10(83.3)	2(16.7)	-
	Pyeongchang Jinbu	49	22(44.9)	1(2)	26(53.1)
	Yanggu Haeanmyeon	15	10(66.6)	-	5(33.7)
Subtotal	101	60(59.4)	4(4)	37(36.6)	
Total	234	158(67.5)	29(12.4)	47(20.1)	

<sup>a</sup> R, I and S denote resistant, intermediate, and sensitive to metalaxyl, respectively.

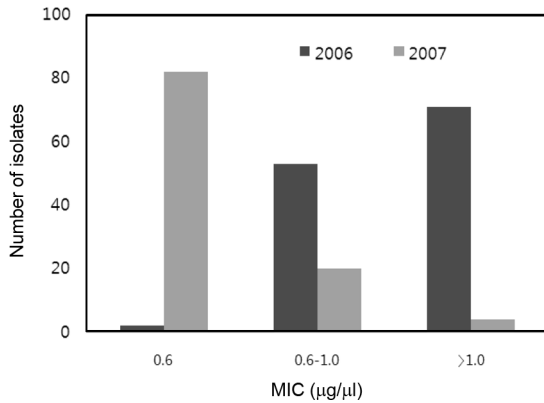


Fig. 1. MIC of dimethomorph against the mycelial growth of *Phytophthora infestans* isolated from Gangwon province in 2006 and 2007.

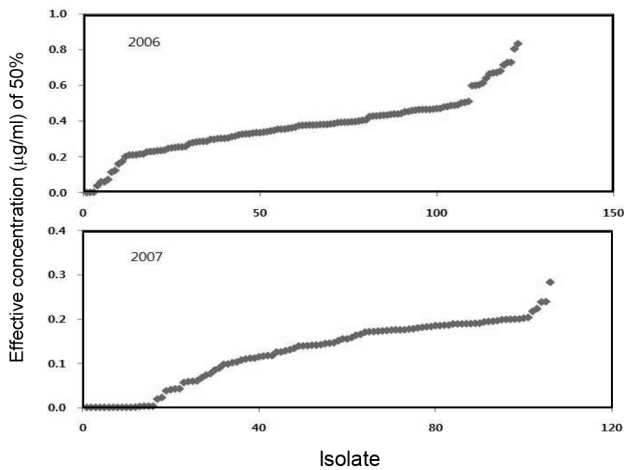


Fig. 2. EC<sub>50</sub> value of *Phytophthora infestans* isolated from Gangwon area in 2006 and 2007.

## 고찰

감자 역병균은 교배형 A1과 A2가 함께 존재하는 경우에만 교배가 되는 자웅이주형 병원균으로, 1980년대 후반까지 멕시코에만 A1형과 A2형 함께 존재하는 것으로 알려져 다른 지역에서보다 병원균의 유전자 다양성이 큰 것으로 확인되었다(Fry 등, 1992). 스위스 감자 포장에서 Hohl과 Iselin(1984)이 A2 교배형을 발견한 이후, 전 세계적으로 A2 교배형의 발생이 보고되었으며(Spielman 등, 1991), 아시아에서는 Mosa 등(1989)이 일본에서 A2 교배형의 발생을 확인하였다. 국내에서는 전북지방을 중심으로 감자 역병균의 포장감염율과 교배형 등을 조사하여 metalaxyl에 저항성을 갖는 A2 교배형이 91년 균주에서 99%와 92년 균주에서 100%로 높게 분리되었음을 보고하였다(Lee 등, 1994). 그러나, 2000년 이후의 연구에서

강원 지역에서 분리 수집한 감자 역병균의 교배형은 A2에서 A1으로 대체되고 있다고 하였으며(Kim 등, 2000), Zhang 등(2005)은 강원지역 감자 포장에서 수집한 균주 중 황계 지역에서 분리한 균에서만 A2형이 발생하였고 나머지 지역에서는 모두 A1형이 발생하였다고 보고하였다. 이런 사실은 1990년 이후 우리나라에 metalaxyl에 저항성을 갖는 교배형 A2 균주의 발생이 2000년 이후 줄어들기 시작했다는 것을 의미하며, 이것은 metalaxyl 사용 감소와 신품종의 육성, 다양한 약제의 사용 등으로 인하여 저항성 균주가 감소 되었을 것으로 생각된다. 그러나, 본 연구결과 2006년 대관령 지역에서 분리한 균주를 제외하고는 모든 지역에서 교배형 A2형이 확인되었으며, 2007년에는 진부지역에서 분리한 균주에서만 A2형이 확인되었다. 이것은 2000년 이후에 교배형 이 A2에서 A1으로 대체되고 있다는 연구 결과(Kim 등, 2003; Zhang 등, 2003)와는 다른 결과이다. 강원도 대관령과 진부 지역에서 metalaxyl 저항성 균주가 다른 지역보다 많이 발생하는 것을 확인하였는데, 그 이유는 이들 지역은 주로 씨감자를 생산하는 지역으로 다른 지역보다 약제 살포량과 횟수도 많고, 일부 농가에서 아직까지 metalaxyl을 사용하고 있기 때문으로 판단된다. 2007년 교배형 조사에서 진부지역을 제외한 다른지역에서 A2 교배형이 확인되지 않았는데, 감자 재배기간 동안의 기상상태가 양호하여 병 발생도 적었고, 약제 살포 횟수가 적었기 때문으로 생각된다.

감자 역병의 교배형 변화 및 약제 저항성에 관한 이전 연구(이 등, 1994)에서 metalaxyl 저항성 균주와 감수성 균주 모두 dimethomorph를 1 ppm으로 처리했을 때 균사생장이 완전히 억제되었다. 2003년과 2004년에 수집한 역병균을 대상으로 dimethomorph의 MIC를 조사한 결과, 분리한 균주의 80% 정도가 0.5  $\mu\text{g}/\text{ml}$  이하였으며, 20% 정도가 0.5~1.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$  사이로 약제 저항성 균을 확인할 수 없었다(Zhang 등, 2005). 이번 조사 결과, 2006년 분리한 균주의 MIC가 1.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$  이상 56.3%, 0.5~1.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$  사이가 42.1%였으며, 2007년 MIC가 0.5~1.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$  사이가 18.9%, 0.6  $\mu\text{g}/\text{ml}$  이하가 77.3%로 dimethomorph에 대한 약제 반응정도가 감소하고 있는 것으로 확인되었다. 이번 조사를 통해 metalaxyl의 경우 저항성균의 발생을 확인할 수 있었으나 dimethomorph의 경우 포장에서 250 ppm으로 사용하는 것을 감안해 보면 아직까지는 저항성균의 출현을 확인할 수 없었다. 그러나, 포장에서 지속적인 사용과 권장기준을 초과하는 무분별한 약제사용이 계속된다면 저항성균의 발생을 초래할 수 있을 것이다. 또한, 감자재배 포장에서 metalaxyl에 저항성을 가지고 있는 병원

균과 A2 교배형의 발생이 지역적으로 차이가 있는 것으로 확인되고 있으므로, 지속적으로 감자 역병균의 생태적 생리적 특징을 조사하고, 약제저항성 여부를 파악하는 것이 필요하다.

## 요 약

강원지역의 감자포장에서 2006년과 2007년에 역병균을 분리하여, 교배형, metalaxyl과 dimethomorph 반응을 조사하였다. 각 지역에서 분리한 역병균의 교배형을 조사한 결과, 2006년 분리된 조사 균주는 155 균주 중 A1형이 58.7%, A2형이 41.3%로 확인 되었으며, 2007년 분리된 균주에서 A2 교배형은 6.7%로 발생 비율이 매우 낮았다. metalaxyl에 대한 반응성은 2006년 133균주에서 저항성 균주가 73.75%, 중도저항성 균주가 18.8%, 감수성 균주가 7.5%로 나타났으며, 2007년 조사한 101 균주 중에서 저항성이 56.4%, 중도저항성 균이 4%, 감수성 균이 36.6%로 분리되었다. 강원도의 대부분 지역에서 A2 교배형 발생과 metalaxyl에 저항성을 갖는 균주를 확인할 수 있었는데, 이러한 결과는 병원균이 지속적으로 기주 및 환경 요인에 따라 변화되고 있음을 의미한다. Dimethomorph 약제 반응 조사결과 MIC 값은 0.6미만, 0.6~1.0, 1.0이상인 세 개의 그룹으로 분류 되었으며, 2006년에는 1.0 µg/m 이상인 균주는 56.3%이었으나 2007년에는 1.0 µg/m 이상인 균주가 4%였다. EC<sub>50</sub> 값은 2007년에 조사한 균주들의 평균값이 0.12 µg/m로 2006년 평균값 0.37 µg/m 보다 감소하였다. 감자 역병균들의 MIC 값과 EC<sub>50</sub> 값을 고려한 결과, 2007년에 조사한 병원균의 약제 반응정도가 2006년에 분리한 균주보다 감소하는 것으로 확인되었다.

## 참고문헌

- Albert, G., Curtze, J. and Drandarevski, C. A. 1998. Dimethomorph (CME-151), a novel curative fungicide. *Brighon Crop protection conference pests and diseases* pp.17-24.
- Bruck, R. I., Fry, W. E. and Apple, A. E. 1980. Effect of metalaxyl, anacylalanine fungicide, on developmental stages of *Phytophthora infestans*. *Phytophthology* 70: 597-601.
- 최경자, 김병섭, 정영륜, 조광연. 1992. 감자 재배포장에서 Metalaxy 저항성인 감자역병균(*Phytophthora infestans*)의 발생. *한국식물병리학회지* 8: 34-40.
- Cohen, Y. and Reuveni, M. 1983. Occurrence of metalaxyl resistant isolates of *Phytophthora infestans* in potato fields in Israel. *Phytopathology* 73: 25-927.
- Cohen, Y., Balder, A. and Cohen, B. H. 1995. Dimethomorph activity against Oomycete fungal plant pathogens. *Phytopathology* 85: 1500-1506.
- Dowley, L. J. and O'Sullivan, E. 1981. Metalaxyl resistant strains of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in Ireland. *Potato Research* 34: 417-421.
- Fry, W. E., Goodwin, S. D., Matuszak, J. M. and Spielman, L. J. 1992. Population genetics and intercontinental migration of *Phytophthora infestans*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 30: 107-129.
- Hohl, H. R. and Iselin, K. 1984. Strains of *Phytophthora infestans* with the A2 mating type behaviour. *Trans. British Mycol. Soc.* 83: 529-530.
- International Potato Center. 2004. Annual report. Late blight new development. pp. 9-13.
- Kim, B. S., Choi, J. H., Chun, W. H., Ryu, K. Y., Hahm, Y. I. and Lee, Y. S. 2000. Mating type and metalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolated from Kangwon area in Korea. *The Korean Journal of Pesticide Science* 4: 59-63.
- Kim, B. S., Zhang, X. Z., Chung, E. K., Kim, D. S., Chun, S. J. and Choi, W. B. 2003. Sensitivity of *Phytophthora infestans* Isolates to Fungicides Metalaxyl and Ethaboxam in Korea. *Plant Pathol. J.* 19: 143-147.
- 고영진, 정희정, Fry, W. E. 1994. 우리나라 감자역병균 A2 교배형 및 metalaxyl 저항성균의 빈도 및 분포의 변화. *한국식물병리학회지* 10: 92-98.
- 이왕휴, 소만서, 최인영. 1994. 감자역병균(*Phytophthora infestans* De Bary)의 약제저항성 및 교배형. *한국식물병리학회지* 10: 192-196.
- Mosa, A. A., Kato, M., Sato, N., Kobayashi, K. and Ogoshi, A. 1989. Occurrence of the A2 mating type of *Phytophthora infestans* on potato in Japan. *Ann. Phyto. Soc. Japan* 55: 615-620.
- 류경열, 김중태, 천정옥, 김병섭, 유승헌. 2004. 감자 역병균의 집단변동에 관한 연구. *고령지 농업연구소 시험연구보고서*.
- Spielman, L. J., Drenth, A., Davids, I. C., Sujkowski, L. J., Gu, W., Tooley, P. W. and Fry, W. E. 1991. A second world wide migration and population displacement of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathol.* 40: 422-430.
- Zhang, X.-Z., Ryu, K.-Y., Kim, J.-S., Cheon, J.-U. and Kim, B.-S. 2005. Changes in the Sensitivity to Metalaxyl, Dimethomorph and Ethaboxam of *Phytophthora infestans* in Korea. *Plant Pathol. J.* 21: 33-38.