

감자역병균(*Phytophthora infestans* De Bary)의 약제저항성 및 교배형

이왕휴* · 소만서 · 최인영
전북대학교 농과대학 농생물학과

Fungicide-Resistance and Mating Type of *Phytophthora infestans* Causing Potato Late Blight

Wang Hyu Lee*, Man Seo So and In Young Choi
College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea

ABSTRACT : Two hundred and forty-seven isolates of *Phytophthora infestans* obtained from infested potato leaves from the spring of 1991 to the fall of 1993 from potato fields in various regions of Korea were tested for their fungicides resistances. A total of 20.9% isolates were not suppressed at 50 ppm of metalaxyl in 1991, but isolates from 1993 were suppressed at 50 ppm of metalaxyl. Ten resistant isolates and 10 susceptible isolates to metalaxyl were selected and tested against oxadixyl, fosetyl-Al, and phosphorous acid. Effectiveness of these chemicals were no better than that of metalaxyl. Dimethomorph suppressed all isolates at 1 µg/ml suggesting that it might be a potential chemical to control *Phytophthora infestans*. Mating types of all isolates from diseased leaves in 1993 turned out to be A₂ type.

Key words : *Phytophthora infestans*, mating type, fungicide-resistance.

감자에 발생하는 역병은 *Phytophthora infestans* De Bary에 의해 일어나는 진균병의 하나로서 그 피해는 줄기와 잎의 고사부터 심하면 괴경부패를 일으킨다(19). 이 병은 감자원산지인 중남미의 토착병해였으나 1840년 이후 구미로 전해져 1843년에는 북미(北美)에서, 1845년에는 유럽에서 대발생하였다(2). 특히, 이 병은 감자 재배 중기부터 발생하며, 서서히 새로운 병반을 만들고, 유주자낭이 전염원이 되어 세대를 계속하면서(polycyclic) 발병되는 복리병(compound-interest disease)으로 방제하지 않으면 대발생의 소지가 많은 병이다(20). 우리나라의 전역에서 발생하는 감자역병을 방제하기 위해서는 무병종서를 사용하거나, 병든 식물체를 제거하는 경종적 방법이 이용되기도 하나 가장 효과적인 방법은 약제를 이용한 방법이다.

역병방제를 위해 세계적으로 사용하고 있는 약제로는 phenylamides계의 침투성 살균제인 metalaxyl, furalaxyl, acylaminooxazolidinone의 oxadixyl과, phosphonate계의 fosetyl-Al, 기타 cymoxanil, 및 ma-

ncozeb 등이 보고 되었으며, 우리나라에서 등록 사용되고 있는 약제로는 metalaxyl 및 그합제, oxydixyl합제, chlorotharonil, mancozeb, dimethomorph, dimethomorph혼합제(21)가 있다.

그러나 세계적으로 많이 사용되고 있는 metalaxyl은 개발한지 수년이 안되었으나 1981년 아일랜드(11)와 네델란드(9)에서 약제 내성 병원균의 증가로 방제 효과가 감소됨이 확인되었다. 또한 여러 나라에서 기타 약제에 대한 저항성 균주의 출현이 보고되었고(7), metalaxyl저항성 균주의 방제대책에 대한 연구가 수행되어 보고된 바 있다(1, 7). 국내에서도 이등(16)과 최 등(4)이 metalaxyl의 저항성 균주를 보고한 바 있다.

본 실험에서는 1991, 1993년에 감자 이병잎에서 분리한 총 247개 균주의 metalaxyl약제에 대한 저항성 정도를 조사하였고, 그중 metalaxyl저항성 균주와 감수성 균주를 구별하여 다른 약제에 대한 저항성여부를 조사하였고, 1993년도 가을감자 이병잎에서 분리한 51개 균주의 교배형을 조사한 바를 보고한다.

*Corresponding author.

재료 및 방법

사용균주. 1991년 전북지역 봄감자 재배지 및 강원도 대관령 감자 재배지의 병든 잎에서 분리한 균주 및 1993년도 역병에 걸린 가을 감자 잎에서 분리한 균주를 공시하였다. 균주 분리방법은 전보(18)에서 보고한 괴경이용법에 준해서 분리하여 rye meal A agar(3)에 이식하여 실험에 공시 하였다. 균주번호는 지역별 분리순서에 따라 명명하였다.

사용약제 및 약제 저항성(군사생장 억제효과). 공시약제인 metalaxyl은 일본 Ciba-Geigy사, oxadixyl은 일본 SDS Biotech, fosetyl-Al은 일본 Nippon Soda사에서 분양받아 공시하였고, 인산염은 일본 Wako Co.에서 구입, dimethomorph($C_{21}H_{22}ClNO_4$)는 한국 삼공으로부터 분양 받았다. 각 지역에서 분리한 균주를 V-8juice에 미리 접종하여 4일간 배양한 뒤 직경 5 mm의 cork borer로 생장한 균총선단부를 원판상으로 찍어 미리 살균제를 첨가한 한천평판법(12)을 이용하였다. 즉 metalaxyl원제(a.i. 94.5%)를 DMSO 1 ml에 희석하여 이 용액을 멸균하여 50°C로 식힌 10% 비어과 V-8juice agar배지상에 농도별(0, 10, 50, 100 ppm)로 첨가하여 petri-dish(ϕ 9 cm)에 부어 약제평판배지를 만들었다. 접종 후 20°C에서 배양하면서 군사생장정도를 10일째 조사하였고 ED₅₀은 무처리 생육을 100으로 하여 생육이 50% 저지된 농도로 하였다.

또한 다른 약제로 oxadixyl, fosetyl-Al, phosphorous acid(H_3PO_4), dimethomorph를 각 농도별로 첨가하여 생육정도를 조사하였다. 인산의 경우 pH의 영향을 줄이기 위해 10 N KOH를 이용 pH 6.2로 만들어 실험에 사용하였다(10).

교배형 결정 및 발병율. 1993년 가을감자를 재배하는 지역을 중심으로 전북 김제, 전남 나주와 해남, 경남 밀양과 창원 및 남제주군 대정읍에서 51개 균주를 분리하여 전보(18)와 같은 방법으로 교배시켜 반응여부에 따라 교배형을 결정하였고, 발병율도 전보(18)와 같은 방법으로 조사하였다.

결 과

Metalaxyl저항성 균주의 비율. 1991년 분리한 균주는 196균주로서, metalaxyl 50 ppm 첨가배지에서 50%이상 군사생장이 저지되지 않는, 즉 저항성을 나타낸 균주는 41개 균주였다(Table 1). 본 조사에서 지역별 뚜렷한 차이를 보였는데, 감자연작 재배단지인 김제군 용지면 일대에서 분리한 균주중 7.7%가

Table 1. Metalaxyl resistant of *Phytophthora infestans* isolated from late blighted potato leaves grown in spring, 1991

District	Metalaxyl response		Resistant isolate ratio (%)
	resistant	sensitive ^a	
Chonbuk			
Kimjegun	4	48	7.7
Irishi	0	15	0.0
Chonjushi	0	7	0.0
Wanjugun	6	40	13.0
Chinangun	15	8	65.2
Changsugun	0	19	0.0
Mujugun	10	9	52.6
Kangwondo			
Hoongsong	6	9	40.0
Total	41	155	20.9

^aThe number of isolates with less than 50% of hyphal growth at metalaxyl 50 ppm.

저항성을 나타냈고, 완주군 삼례읍에서는 13%, 진안군에서 분리한 균주는 65.2%, 무주군 설천면 52.6%, 강원도 대관령 분리균주는 40%가 metalaxyl저항성을 나타냈다.

1993년도 가을재배 감자의 역병에 걸린 잎에서 분리한 51개 균주의 metalaxyl첨가배지에서 군사생장을 조사한 바, Table 2처럼 50 ppm이상에서는 미약한 생장을 보여 감수성으로 판단하였다.

1991년도 분리균주 중 metalaxyl저항성 균주와 감수성 균주로 판단한 균주를 다음 시험에 공시하기 위하여 10균주씩 선발한 결과는 Table 3과 같이 저항성 균주는 50 ppm, 100 ppm에서 무첨가구와 큰차이를 보이지 않았으며, 감수성 균주는 50 ppm첨가로 현저한 생육저해가 나타났다.

기타약제에 대한 저항성 정도. Oxadixyl에 대한 군사억제 정도를 시험한 바, metalaxyl저항성 균주(1~10)나 감수성 균주(11~20) 모두 100 ppm첨가구에서 약제를 첨가하지 않은 무처리구보다 약간 생장이 억제 되었으나 큰차이가 없어 저항성을 나타냈다(Table 3).

Fosetyl-Al에 대한 군사억제 정도를 시험한 바 metalaxyl저항성 균주나 감수성 균주 모두 대조구와 큰차이가 없이 생장하는 경향을 보였다(Table 3).

Phosphorous acid에 대한 군사억제 정도를 시험 하였으나, 2균주를 제외하고는 oxadixyl이나 fosetyl-Al과 비슷한 경향을 보였는데 BUG(9), MUJ(1) 균주는 100 ppm첨가로 현저하게 군사생장이 억제되었

다(Table 3).

Dimethomorph에 대한 시험결과 Table 3처럼 1 ppm에서도 metalaxyl저항성, 감수성 균주 모두 거의 성장하지 않아 감자역병균 성장 저해효과가 월등히 좋았다.

교배형 결정 및 역병 발생율. 1993년도 가을 감자에서 발생한 역병균의 교배형은 51균주 모두 A₂형이었으며 역병 발생율이 높은 포장도 있었다(Table 4).

고 찰

1991년 봄재배 감자 역병 이병잎에서 분리한 역병균은 metalaxyl첨가 한천배지(*in vitro*) 시험에서 저항성 균주(50 ppm이상)가 20.9%였으며(Table 1), 93년도 가을재배 감자에서 분리한 균주는 1991년산 봄재배 분리균주와는 달리 저항성 균주가 없었다(Table 2). 역병 방제약으로 사용중인 metalaxyl은 난균류(Oomycetes)의 방제 약제로 개발되었으나, 1981년 네델란드(9)를 비롯한 여러 나라(6, 14)에서 저

항성 균주의 출현이 보고된 바 있고, 국내에서도 이미 이 등(16), 최 등(4), 김 등(15)에 의해서 저항성균의 출현이 이미 보고된 바 있다. Metalaxyl저항성 균주의 출현으로 여러 나라에서 저항성 균주의 방제대책으로 다른 약제(6, 15, 17)를 사용한 방제가 시작되

Table 2. Metalaxyl resistant of *Phytophthora infestans* isolated from late blighted potato leaves grown in fall, 1993

District	No. isoalte	Metalaxyl response		Resistant/ isolate ratio (%)
		resistant	sensitive ^a	
Chonbuk	17	0	17	0.0
Chonnam	6	0	6	0.0
Kyoungnam	21	0	21	0.0
Cheju	4	0	4	0.0
Total	51	0	51	0.0

^aThe number of isolates with less than 50% of hyphal growth at metalaxyl 50 ppm.

Table 3. Comparisons of mycelial growth of metalaxyl-sensitive and -resistant isolates of *Phytophthora infestans* on 10% V-8 medium amended with chemicals

Isoalte origin	ED ₅₀ (µg/ml) ^a				
	Metalaxyl	Oxadixyl	Fosetyl-Al	Phosphorous acid	Dimethomorph
Sensitive isoalte	<20	100<	100<	100<	1<
BON(9) Kimjae	<50	100<	100<	100<	1<
BUG(10) Chinan	<50	100<	100<	100<	1<
IMS(3) Kimjae	<20	100<	100<	100<	1<
MAR(7) Chinan	<50	100<	100<	100<	1<
MUJ(16) Muju	<50	100<	100<	100<	1<
MUJ(19) Muju	<20	100<	100<	100<	1<
MUJ(23) Muju	<20	100<	100<	100<	1<
MYO(3) Kimjae	<50	100<	100<	100<	1<
Resistant isolate					
BUG(9) Chinan	100<	100<	100<	100<	1<
IMS(2) Kimjae	100<	100<	100<	100<	1<
MUG(1) Muju	100<	100<	100<	100<	1<
MUG(11) Muju	100<	100<	100<	100<	1<
MUJ(15) Muju	100<	100<	100<	100<	1<
MUJ(18) Muju	100<	100<	100<	100<	1<
SAM(14) Wanju	<20	100<	100<	100<	1<
SEO(8) Seosan	<20	100<	100<	100<	1<
SOY(4) Wanju	100<	100<	100<	100<	1<
SOY(6) Wanju	100<	100<	100<	100<	1<
TAE(8) Hongseong	100<	100<	100<	100<	1<
YON(4) Kimjae	100<	100<	100<	100<	1<

^aA culture agar (φ 0.5 cm) of each isolate was placed on 10% medium containing each of different concentration of the chemical. Mycelial growth of the fungus was examined on 10 day-after incubation at 20°C.

Table 4. Occurrence of the late blight and mating types of *Phytophthora infestans* isolated from potato leaves growth in fall, 1993

District	No. isoalte	Mating type		Rate of occurrence (%)
		A ₁	A ₂	
Chonbuk	17	0	17	0.2~50
Chonnam	9	0	9	0~50
Kyoungnam	21	0	21	2~80
Cheju	4	0	4	1
Total	51	0	51	0~80

었다. 본 실험에서 1991년산 봄감자의 metalaxyl 저항성 균주의 출현은 metalaxyl의 연용에 의한 것인지는 추후 조사가 되어야 할 것이다. Cohen과 Samouch(7)에 의해서 보고된 oxadixyl감수성 균주와 저항성 균주의 유주자낭을 9:1로 접종한 뒤 약제를 살포하여 저항성 균주의 비율을 측정할 때 oxadixyl단계 처리구는 100% 저항성 균주로 출현되었다. 이것은 저항성 균주의 적응력이 감수성 균주보다 높기 때문이다. 따라서 1991년산 전체균주의 20.9%가 저항성임을 고려할 때 하루빨리 저항성 균주의 방제 대책이 수립되어야 할 것이다.

본 실험에서 metalaxyl저항성 균주나 감수성 균주 각각 10균주를 oxadixyl에 대한 생육 억제 여부를 시험한 바, 모든 균주가 효과가 거의 없었는데(Table 3), 이것은 oxadixyl의 효과가 metalaxyl보다 효과가 적다는 보고(5)와 일치되는 경향이었다. 따라서 oxadixyl단계의 사용은 고려되어야 할 것이며, 또한 oxadixyl저항성 균주의 경우 단계보다는 혼합제로 처리하면 농약처리작물에서의 저항성 균주의 분포를 줄일 수 있다는 보고(7)가 있으며, 본 실험에서는 oxadixyl과 합제로 이용한 mancozeb나 cymoxanil을 이용하지 않았기 때문에 여기에 대한 연구도 수행되어야 할 것으로 생각된다.

Fosetyl-Al은 phosphonate계로서 토양이나 식물체에 처리하면 H₂PO₃와 CO₂로 쉽게 분해되는데(5), 본 약제 첨가 시험에서 metalaxyl저항성 균주나 감수성 균주에 대해 균사신장을 억제하지 못해 이 약제의 경우도 혼합제의 개발이 필요하다고 생각되며(Table 3). 인산염은 2균주(Table 3)에 대해 균사생장을 억제하였으나 작물체에 살포했을 때의 반응을 조사하지 못했으므로 여기에 관한 연구도 수행되어야 할 것이다.

Dimethomorph는 metalaxyl저항성 균주나 감수성

균주 모두 1 ppm처리로 거의 완벽한 생장저해를 나타내(Table 3) 이미 보고된 결과(1)와 일치하는 경향이며 metalaxyl저항성 균주가 출현한 김제지역, 완주 삼례, 진안 부귀 및 무주 설천과 같은 지역에 살포를 권장하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

이 약제 역시 계속 사용하면 저항성 균주가 출현될 것이므로 기타 약제와 교호살포가 요구된다. 가을재배 감자역병균의 교배형은 1991년도 봄재배 및 강원도 고냉지 재배감자 역병균과 마찬가지로 A₂형(Table 4)이었는데 이것은 이미 보고(18)한 1991년도와 1992년도의 봄재배감자와 대관령재배 감자에서 분리한 균주의 대부분이 A₂였다는 보고와 일치되는 경향이며, 가을감자의 교배형에 대한 최초의 보고이기 때문에 계속적인 조사가 요구된다.

요 약

1991년도 봄재배 감자 및 1993년도 가을재배 감자의 역병이병일에서 분리한 247균주에 대해 metalaxyl 및 기타 약제에 대한 저항성 여부를 조사하고자, 10, 50, 100 ppm농도로 V-8 배지에 첨가하여 생육 정도를 조사하였고, 1991년도 분리균주는 20.9%가 50 ppm이상 첨가에서도 뚜렷한 생육저해효과가 없어 저항성균주로 조사되었고, 1993년도 가을감자에서 분리한 역병균은 metalaxyl에 대해 감수성이었다. Metalaxyl에 대한 저항성 균주와 감수성 균주를 각각 10균주씩 선발하여 oxadixyl, fosetyl-Al 및 phosphorous acid에 조사한 바, metalaxyl보다 우수한 효과를 나타내지 못하였다. 그러나 dimethomorph에 대한 생육여부를 조사한 바 전균주가 1 ppm에서 미약한 신장을 보여 새로운 방제약제로 유망시된다. 또한 1993년 가을재배감자에서 분리한 균주에 대한 교배형조사 결과 전 균주가 A₂형이었다.

감사의 말씀

이 논문의 일부는 1993년도 교육부지원 학술진흥재단의 지방대학 육성중점연구과제 학술연구조성비에 의해 연구된 결과이며, 귀중한 시약과 균주를 분양해 준 북해도대학 生越 明교수와 한국 삼공(주)에 감사를 드린다.

참고문헌

1. Albert, G., Curtze, J. and Drandarevski, CH. A. 1988. Dimethomorph (CME-151), a novel curative

- fungicide. *Brighton Crop protection conference pests and diseases*: 17-24.
2. Bourke, P. M. A. 1964. Emergence of potato blight. 1843-1846. *Nature* 203: 805-805.
 3. Caten, C. E. and Jinks, J. L. 1969. Spontaneous variability of single isolates of *Phytophthora infestans* in cultural variation. *Can. J. Botany*, 46: 329-348.
 4. 최경자, 김병섭, 정영륜, 조광연. 1992. 감자역병 포장에서 메타락실 저항성인 감자역병균의 발생. *한식병지*. 8: 34-40.
 5. Cohen, Y. and Coffey, M. D. 1986. Systemic fungicides and the control of oomycetes. *Ann. Rev. Phytopathol.* 24: 311-338.
 6. Cohen, Y. and Reuveni, M. 1983. Occurrence of metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in potato fields in Israel. *Phytopathology* 73: 925-927.
 7. Cohen, Y. and Samoucha, Y. 1990. Competition between oxadixyl-sensitive and -resistant field isolates of *Phytophthora infestans* or fungicide-treated potato crops. *Crop Protection*. 9: 15-20.
 8. Davidse, L. C., Henken, J., Van Dalen, A., Jespers, A. B. K. and Mantel, B. C. 1989. Nine years of practical experience with phenylamide resistance in *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Neth. J. Pl. Path.* 95. Supplement 1: 197-213.
 9. Davidse, L. C., Looijen, D., Turkensteen, L. J. and Van Der Wal, D. 1981. Occurrence of metalaxyl-resistant strain of *Phytophthora infestans* in Dutch potato fields. *Neth. J. Pl. Pathol.* 87: 65-68.
 10. Dolan, T. E. and Coffey, M. D. 1988. Correlative *in vitro* and *in vivo* behavior of mutant strains of *Phytophthora palmivora* expressing different resistance to phosphorous acid and fosetyl-Na. *Phytopathology* 78: 974-978.
 11. Dowley, L. J. and O'Sullivan, E. 1981. Metalaxyl-resistant strains of *Phytophthora infestans*(Mont.) de Bary in Ireland. *Potato Res.* 24: 417-421.
 12. 深見順一, 上杉康彦, 石塚皓造, 富澤長次郎. 1981. 農藥實驗法(2. 殺菌劑編), 38-60. ソフトサイエンス社.
 13. 深見順一, 上杉康彦, 石塚皓造. 1983. 藥劑抵抗性 - 新い農藥開發と綜合防除の指針-p. 412. ソフトサイエンス社.
 14. Homes, S. J. I. and Channon, A. G. 1984. Studies on metalaxyl-resistant *Phytophthora infestans* in potato crops in south-west Scotland. *Pl. Pathol.* 33: 347-354.
 15. 김병섭, 정영륜, 조광연. 1993. Metalaxyl 저항성 및 감수성 감자역병균의 적응력비교 및 Dimethomorph와 Chlorothalonil에 의한 방제. *한식병지*. 9: 31-35.
 16. 이왕휴, 소만서, 소인영. 1991. 감자역병균의 A₂형 출현 및 메타락실 저항성. *한식병소식지*. 2(2): 44.
 17. Samoucha, Y. and Cohen, Y. 1988. Synergistic interactions of cymoxanil mixtures in the control of metalaxyl-resistant *Phytophthora infestans* on potato. *Phytopathology*. 78: 636-640.
 18. 소만서, 이왕휴. 1993. 감자역병균의 A₂교배형의 발생. *한식병지*. 9: 275-279.
 19. Stevenson, W. R. 1993. Management of early blight and late blight in potato health management (ED. by Rowe. R.C.). APS. 141-147.
 20. 都丸敬一, 生越明, 奥田誠一, 脇本哲, 羽柴輝良, 平野和彌, 加藤筆, 奥八郎. 1992. 新植物病理學. p. 281. 朝倉書店.
 21. 농약공업협회. 1993. 농약사용지침서. p. 576.