

고추 역병균의 접종원에 따른 역병 저항성의 유전 양식

소재우* · 한경숙 · 이성찬 · 이종섭

국립원예특작과학원 원예특작환경과

Inheritance of Resistance to *Phytophthora capsici* by Inoculums in Korean Hot Pepper

Jaewoo Soh*, Kyung-Sook Han, Sung-chan Lee and Jung-Sup Lee

Department of Horticultural Environment, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

(Received on July 25, 2012; Revised on October 17, 2012; Accepted on October 31, 2012)

The study aims to identify the pathogenicity of *Phytophthora capsici* isolates in major pepper-producing areas in Korea and the inherit genetic pattern of phytophthora blight resistance by inocula. With five kinds of testing materials including 'Kataguma (Sakata Korea)' peppers, a disease-susceptible material, '#308', a phytophthora blight resistance material, 'CM334', and their F₁ and F₂, respective isolates of *P. capsici* obtained from Icheon, Eumseong, Buan, Imsil and Yeongyang regions together with six kinds of peppers' inoculum including PA-159 (KACC No.40482) received from Korean Agricultural Culture Collection were used for inoculation. The disease-susceptible material '#308', the resistant material 'CM334' and the non-segregating generation of F₁ represented 4.94–5.00, 1.00–1.07, and 1.01–1.08 phytophthora blight incidence respectively in the group comparison by isolate. This result means that the phytophthora blight resistance was clearly distinguished among testing materials in the group comparison by *P. capsici* isolate. Moreover, F₂ segregating generation showed 1.79–2.31 phytophthora blight incidence which turned out to be identical in the group comparison by the six isolates of *P. capsici* isolate and with similarity between both the resistant and susceptible materials. Thus, the result proved that using the six isolates of *P. capsici* tested as inocula was suitable to investigate the phytophthora blight resistance. When it comes to group comparison of F₂ segregation generation, however, isolates were divided with PA-159 isolate being the center: a group consisting of isolates from Icheon, Buan, and Imsil and a group consisting of Yeongyang and Eumseong isolates with higher pathogenicity. The expected segregation ratio of the phytophthora blight resistance in F₂ generation by isolate was analyzed. PA-159 isolate showed 3:1 or 9:3:3:1, indicating that one to two genes were involved. On the other hand, results also proved that there is an interaction of genes since both Eumseong and Yeongyang isolates showed a segregation ratio of 11:5 while the Icheon isolate represented 12:3:1.

Keywords : Epistasis, Inheritance, Pathogenicity test, Phytophthora blight, Segregating generation

서 론

고추는 연간 재배면적이 건고추 42,574 ha, 풋고추 4,814 ha로서 총 생산량 77,110 ton, 총 수입량 113,361 ton에 이르는 국내에서 가장 중요한 채소 작물이다(KOSTAT, 2012).

고추 역병은 바이러스와 함께 노지 재배에서 큰 피해를 주는 중요한 병으로 1922년 미국 New Mexico의 Las Cruces 인근 포장에서 처음 발견되었다(Leonian, 1922). 국내는 1928년 3종의 역병균과 9개의 기주 식물이 발견된 이후(Nakata와 Takimoto, 1928), 1962년 충주 일대에서 발병한 고추 역병이 처음 보고되었다(Park 등, 1972).

고추의 역병균인 *Phytophthora capsici*의 유전변이와 병원성에 대한 차이는 국내외적으로 많이 보고되어 있는데

*Corresponding author

Phone) +82-31-290-6243, Fax) +82-31-290-6259

Email) tipburn@gmail.com

(Glosier 등, 2007; Monroy-Barbosa와 Bosland, 2008; Oelke와 Bosland, 2003; Polach와 Webster, 1972), 유성 생식에 의한 유전 변이에 기인하는 것으로 알려져 있다 (Erwin과 Ribeiro, 1996; Fernandez-Pavia 등, 2004). *P. capsici*의 유성 생식형은 미국의 New-Mexico(Adorada, 1994), Michigan(Lamour와 Hausbeck, 2001), Illinois(Tian과 Babadoost, 2004)와 페루(González 등, 2008), 중국 Shandong, Anhui, Fujian(Sun 등, 2008), 베트남(Truong 등, 2010), 네팔(Cristinzio와 Saccardo, 1984)과 우리나라도 해외와 마찬가지로 *P. capsici* 균의 A₁과 A₂가 혼재되어 있는 것으로 보고되어(Kim 등, 1988; Lee 등, 2010; Song 등, 2002, 2003) 이로 인한 유전변이 및 병원성의 차이가 폭넓게 존재한다고 하였다(Agrios, 2006; Hwang, 2002). 하지만 고추 *P. capsici* 균의 병원성 차이는 인정되지만, 그 분류 체계는 아직 확립되지 않았다(Hwang, 2002; Kim 등, 2010).

이와 같이 *P. capsici*의 균주에 따라 역병 병원성 차이는 많은 연구가 이루어졌지만 그에 따른 역병 저항성의 유전 특성에 관해서는 보고가 많지 않다. 고추 역병 저항성의 유전 양식은 소수의 주동 유전자에 의해 지배된다고 보고되어 있었지만(Gil Ortega 등, 1992; Smith 등, 1967), 최근 다수의 유전자가 관여하거나(Bnejdi 등, 2010; Ogundiwin 등, 2004; Palloix, 1990; Thabuis 등, 2003) F₃ 이후 세대에서 복잡한 양상을 보인다는 견해가 있다(Barksdale 등, 1984; Monroy-Barbosa와 Bosland, 2008). 그러나 이들 연구는 대표적인 역병 저항성 유전자원 'CM334'와 단일 *P. capsici* 균주를 이용한 실험에서 밝혀진 고추 역병 저항성 유전 양식이다.

따라서 본 연구는 국내의 고추 주산지에서 수집한 6종의 *P. capsici*의 균주를 이용하여 한국 건고추의 우수 교배친과 역병 저항성 유전자원 'CM334' 및 그 후대 집단에 접종하여 균주간 병원성의 차이와 F₂ 분리세대의 유전 분리비를 통하여 역병 저항성에 관한 유효 유전자의 유전 양식을 구명하였다.

재료 및 방법

식물 재료 및 준비. 한국 건고추의 중간 모본으로 원예적 형질이 우수하지만 역병 이병성으로 확인된 '#1308'과 역병 저항성 유전 자원으로 널리 알려진 'CM334'를 이용하여 F₁과 F₂ 세대를 획득하였다. 역병 저항성 수준을 비교하기 위해 국내 역병 저항성 시판 품종으로 알려진 'Kataguruma'(Sakata Korea, Korea)를 함께 공시하여 128공 연결 포트에 처리구당 2반복으로 파종하였다. 본업

4-6매기에 이르러 생육이 양호한 식물체 200주를 처리구당 50공 연결포트에 4반복으로 가식한 후 충분히 관수하였고 식상이 진정된 3일 후 역병을 검정하였다. 검정 묘상은 농촌진흥청 농자재 및 시설 규격에 맞도록 가로 길이가 125 cm에 맞춰 설계하였고, 농업용 양면 부직포를 깔아 토양 수분 조건이 일정 수준으로 유지될 수 있도록 하였다.

공시 균주 및 접종. 농촌진흥청 농생물유전자원센터에서 분양받은 *Phytophthora capsici* PA-159(KACC No. 40482) 균주와 이천시, 음성군, 부안군, 임실군, 영양군에서 수집한 균주를 물한천 배지에서 순수 분리한 총 6종의 균주를 사용하였다. *P. capsici* 균주는 PDA(Potato Dextrose Agar) 배지에 계대 배양을 하면서 실험에 사용하였다. 유주자 생산은 김 등(2010)의 방법을 응용하여 PDA 배지에서 계대 배양된 역병균 균사를 V8J(V8 Juice Agar; V8 Juice 200 ml, CaCO₃ 3 g, Agar 20 g, Distilled Water 800 ml)에 치상한 후 25°C 광 조건하에서 10일 동안 방치하여 유주자낭이 형성되도록 하였다. 유주자낭이 형성된 배지 표면을 긁어낸 후 멸균수를 첨가하여 유주자낭 현탁액을 만들었다. 2겹의 거즈로 여과한 후 4-6°C에서 1시간 냉장 보관후 25°C, 3시간 동안 항온을 유지시켜 유주자가 방출되도록 하였다. 유주자 현탁액의 접종 농도는 혈구계수기(hemocytometer)를 이용하여 1 × 10⁵ spores/ml이 되도록 조정하였다. 접종 방법은 Bosland와 Lindsey(1991)의 방법을 응용하여 고무 튜브가 연결된 dispenser(Labmax, Germany)를 이용하여 주당 5 ml씩 관주 접종하였다. 관주 접종시 식물체 지체부와 연결포트 표도층 부근에 밀착하여 경엽이나 다른 식물체에 닿지 않도록 하였다.

접종 후 관리. 충분한 토양 수분 조건을 위해 8 cm 이상 담수 조건을 유지하였고, 열풍기, 묘상 전열기, 터널비닐, 보온덮개를 이용하여 온도는 28-32°C가 되도록 관리하였다.

저항성 평가. 역병에 대한 저항성 평가는 *P. capsici*를 접종 후 8일부터 2일 간격으로 조사하면서 14일에 최종 판정하였다. 발병도의 조사 기준은 허 등(1990)의 Five score법을 응용하여 1=병징 없음, 2=지체부에 암갈색 병반은 있으나 건전함, 3=경미하게 시들고 병반 있음, 4=병반과 뿌리 갈변이 발견되고 뚜렷한 위조 증상을 보임, 5=식물체 고사의 순으로 구분하고 half-point로 보정하였다. F₂ 분리세대의 이병률 분리비 검정은 평가 결과에 따라 4가지로 구분하였다. 첫째 2등급 분류는 2.5점 이하를 저항성 R과 그 이상을 이병성 S로 하였다. 둘째 3등급 분류는 2.0점 이하를 저항성 R, 3.5점 이하를 중간성 M, 그 이상은 이병성 S로 하였다. 셋째 4등급 분류는 1.5점

이하의 저항성 R, 2.5점 이하의 중도 저항성 MR, 3.5점 이하의 중도 이병성 MS, 그 이상은 이병성 S로 하였다. 실험 결과의 통계 분석은 SAS(SAS 9.0, SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 처리간 ANOVA 검정과 F₂ 후대 집단 유전 분리비는 Miko(2008)의 정리에 따라 Chi-square 유전 분리비를 검정하였다.

결과 및 고찰

본 시험에서는 6개 *P. capsici* 균주의 균학적 특성을 탐색하였다(Table 1). 기내에서 PA159(KACC No. 40482), 이천 균주, 음성 균주가 균사와 유주자의 생육이 높았다. 국내 분양이 용이한 PA159 균주는 기내 배양의 생육과 활력이 높았다. 그 다음으로 영양 균주, 임실 균주, 부안 균주 순으로 생육이 양호한 것으로 나타났다. 유주자낭 안에서 유주자를 형성하지 않고 직접 발아관을 만들어 기주체대로 직접 침입하는 직접 발아와 달리 유주자낭으로부터 유주자의 형성, 방출, 피낭, 발아 등의 과정을 거치는 간접 발아는 PA159 균주, 이천 균주, 음성 균주에서 높았다. 유주자의 특성을 보면 PA159 균주, 이천 균주, 임실 균주가 유주자의 움직임이 높았고, 유주자의 활동성은 PA159 균주, 부안 균주가 높았다.

P. capsici 균주별 따른 병원성 검정을 위해 '#1308', 'CM334' 및 그 후대 집단 및 시판 품종 'Kataguruma' (Sakata Korea, Korea)에 각각 6개 균주를 접종하였다(Table 2). 공시재료와 *P. capsici* 균주별 접종에서 각 세대별 발병도를 살펴보면, PA159 균주 처리에서 이병성 재료 '#1308'는 4.98, 저항성 재료 'CM334'는 1.01, F₁ 1.01, F₂ 1.92, 'Kataguma' 1.03으로 조사되었고 이천 균주 처리시 이병성 재료 '#1308'는 4.94, 저항성 재료 'CM334' 1.02, F₁

1.05, F₂ 1.79, 'Kataguma' 1.01을 보였다. 음성 균주 처리에서 이병성 재료 '#1308'는 5.00, 저항성 재료 'CM334'는 1.00, F₁ 1.02, F₂ 1.79, 'Kataguma' 1.00으로 조사되었고 부안 균주 처리에서 이병성 재료 '#1308'는 5.00, 저항성 재료 'CM334'는 1.00, F₁ 1.03, F₂ 1.92, 'Kataguma' 1.02의 발병도를 보였다. 임실 균주 처리에서 이병성 재료 '#1308'의 발병도는 5.00, 저항성 재료 'CM334'는 1.07, F₁ 1.08, F₂ 1.94, 'Kataguma' 1.15였고 영양 균주 처리에서 이병성 재료 '#1308'의 발병도는 5.00, 저항성 재료 'CM334'는 1.02, F₁ 1.02, F₂ 2.11, 'Kataguma' 1.00으로 조사되었다. 각각의 균주별 근내 비교에서 P₁, P₂, F₁의 비분리세대는 균주별 차이를 나타내지 않았으나 F₂ 분리세대는 처리구내 역병 발병도의 경향은 차이를 보였다. 이는 역병 검정을 위하여 어떠한 균주를 사용하더라도 저항성 수준을 구분할 수 있지만 접종 균주간 병원성에 차이를 보이는 것으로 생각된다.

F₂ 분리 세대에 대한 근간 이병률을 비교하면 1.79-2.31의 차이를 보였지만 영양 균주와 음성 균주의 이병률은 각각 2.11과 2.31로 다른 균주보다 유의하게 높은 병원력을 가진 것으로 나타났다. 따라서 F₂ 분리 세대의 역병 이병률 1.92를 보인 PA159 균주를 중심으로 이천 균주, 부안 균주, 임실 균주가 포함한 집단과 이들과 유의한 차이를 보인 영양 균주와 음성 균주로 구분할 수 있었다. *P. capsici*의 균주별 병원성의 차이는 이미 보고된 바 있는데(Bnejdi 등, 2009; Hwang, 1996; Monroy-barbosa와 Bosland, 2008; Oelke와 Bosland, 2003; Polach와 Webster, 1972; Sy 등, 2008), 국내외 보고된 *P. capsici*의 유성생식형(Kim 등, 1988; Lee 등, 2010; Song 등, 2002, 2003)과 이에 따른 유전자 재조합에 의한 병원력의 차이가 유발된다고 하였다(Bowers와 Michell, 1991; Kim 등, 2010).

Table 1. Diverse characteristics of six *Phytophthora capsici* isolates

Organs	Characters	Characteristics by isolates ^a					
		PA159	IC	ES	BA	IS	YY
Mycelia	Growth rate	+++	+++	+++	+	++	++
	Morphology of colony ^b	a	a	a	a	b	b
	Airborne mycelia	+++	+++	++	++	+	++
	Sporulation	+++	+++	++	+++	+++	+++
Zoosporangia	Indirect germination	+++	+++	+++	++	++	++
Zoospores	Speed of aggregation	+++	+++	++	++	+++	++
	Intensity of aggregation	+++	++	++	+++	+	++
	Pattern of aggregation ^c	I	II	II	I	II	III

^aSix isolate of *P. capsici*: IC = Icheon, ES = Eumseong, BA = Buan, IS = Imsil, YY = Youngyang, +++ = high, ++ = intermediate, + = low.

^ba = circular with several rings, b = radiate with fan-like sector.

^cI = dense core, II = empty core, III = weak in core formation.

Table 2. Virulence of six different isolates on five genotypes

Isolate ^w	Genotype ^x	Mean ^y	Mean disease index ^z									
			1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	
PA159	S ^y	4.98e								2	4	194
	R	1.01a	196	3	1							
	F ₁	1.01a	197	3								
	F ₂	1.92bc	98	12	29	8	31	7	1	5	9	
	K	1.03a	192	7			1					
IC	S	4.94e							5	16	179	
	R	1.02a	194	6								
	F ₁	1.05a	192	5				3				
	F ₂	1.79b	104	21	24	13	15	8	3	7	5	
	K	1.01a	197	3								
ES	S	5.00e								2	198	
	R	1.00a	199	1								
	F ₁	1.02a	192	8								
	F ₂	2.31d	77	27	7	21	11	21	4	11	21	
	K	1.00a	200									
BA	S	5.00e									200	
	R	1.00a	200									
	F ₁	1.03a	194	5				1				
	F ₂	1.92bc	102	32	4	18	7	14	3	4	16	
	K	1.02a	198			2						
IS	S	5.00e									200	
	R	1.07a	178	21					1			
	F ₁	1.08a	171	27	2							
	F ₂	1.94bc	106	27	11	14	6	6	2	7	21	
	K	1.15a	164	29	2			4		1		
YY	S	5.00e								2	198	
	R	1.02a	198	1					1			
	F ₁	1.02a	192	7	1							
	F ₂	2.11cd	94	17	11	21	13	13	7	10	14	
	K	1.00a	199	1								

^wSix isolate of *P. capsici*: IC = Icheon, ES = Eumseong, BA = Buan, IS = Imsil, YY = Youngyang.

^xS = '#1308', susceptible, R = 'CMM334', resistant; F₁ = '#1308' × 'CM334'; F₂ = self-pollinated F₁, K = 'Kataguruma' (Sakata Korea, Korea).

^yMeans with the different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple test.

^zNumber of diseased plants.

고추 재배지에서 수집한 *P. capsici* 균주에 따라 같은 고추 품종에서 저항성 수준이 상이하다는 보고(Glosier 등, 2007)와 동일하게 국내 고추 주산지에서 수집한 균주들 간의 유의한 병원력이 확인되었다. 그러나 각 균주별 저항성 재료와 이병성 재료 간의 병원력이 유의하게 구분되며 F₂ 분리세대에서 연속 분포 경향을 잘 나타낼 뿐만 아니라 각 처리별 역병 저항성 시판 품종의 저항성 수준

이 일정하게 나타나 국내 고추 주산지에서 수집한 *P. capsici* 균주들 모두 내병성 검정을 위한 시험 균주로 가능한 것으로 생각된다.

P. capsici 균주별 접종 시험의 F₂ 세대 역병 저항성의 유전 분리비를 검정하였다(Table 3). PA159 균주는 3:1 또는 9:3:3:1의 분리비를 보여 소수의 유전자가 관여하는 것으로 나타나 선발이 용이할 것으로 판단된다. 반면

Table 3. Segregation of phytophthora blight resistance in F₂ population

Isolate ^a	Chi-square value										
	3:1	9:7	15:1	3:13	11:5	9:6:1	12:3:1	9:3:4	7:6:3	9:3:3:1	3:6:3:4
PA159	0.24*	24.18	139.97	393.53	2.10	17.96	3.23	32.67	55.25	0.57*	183.93
IC	3.84	48.78	55.49	508.73	13.97	32.62	0.57*	36.40	77.01	7.50	253.53
ES	8.64	7.73	262.85	293.10	0.74*	50.65	60.73	10.35	12.82	48.04	152.11
BA	0.96	38.45	84.67	460.87	7.97	31.88	9.84	20.42	52.03	26.60	307.62
IS	1.71	42.06	74.26	476.56	9.78	65.33	28.27	20.35	70.00	49.74	301.88
YY	1.31	18.90	168.98	365.30	0.70*	38.64	35.01	10.43	25.18	31.73	179.46

^aSix isolate of *P. capsici*: IC = Icheon, ES = Eumseong, BA = Buan, IS = Imsil, YY = Youngyang.

*Significant at 5% by Chi-square test.

이천 균주는 12:3:1, 음성과 영양 균주는 11:5를 보여 대립유전자간 상호작용과 3:1의 PA159 균주와 비교하여 선발압의 차이가 있을 것으로 생각된다. 부안 균주와 임실 균주는 비록 각 균주내 병원력은 구분할 수 있었지만 (Table 2) F₂ 세대의 유효한 분리 특성을 찾을 수 없었다 (Table 3). 따라서 F₂ 분리 세대의 역병 저항성 수준으로 살펴 보면 균주별로 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

지금까지의 연구들은 병리 검정을 위한 병원력 차이의 구분에 주목하였지만 집종 균주에 따라 내병성 선발을 위한 검정을 위한 후대 집단의 유전 양식과 그 유전 반응에 대한 연구는 미흡하였다. F₂ 분리세대의 역병 저항성 분리를 보면 우성 상위성(dominant epistasis)을 보인 이천 균주는 우열성 비대립 유전자의 작용을 억제하는 유전 양식을 보였고, 영양 균주와 음성 균주는 11:5의 분리비를 보여 *P. capsici* 균주에 따라 F₂ 세대에서 역병 저항성에 관여하는 유전자간의 반응이 달라지는 것을 확인하였다. 특히 병원성이 강한 것으로 나타난 음성과 영양 균주는 11:5로 나타나 역병 저항성에 관여하는 유효 인자가 2개의 주동 유전자에 의해 지배될 때 반드시 한 쌍의 우성 동형 유전자 혹은 두 쌍의 우성 대립 유전자가 존재할 때 우성 표현형인 저항성으로 표현되고, 그렇지 않으면 열성 표현형인 이병성으로 나타났다. 즉 이천 균주, 영양 균주, 음성 균주는 유전자간 상호작용이 존재하여 국내 고추 주산지의 *P. capsici* 균주간 저항성 유전 양식에서 상위성이 작용하는 것으로 나타났다.

*P. capsici*의 race에 대한 분류 체계가 아직 확립되지 않아 이로 인해 *P. capsici* 균주별 병원력 수준과 고추 역병 저항성 품종 육성을 위한 검정에서 어떠한 균주를 사용해야 하는지 정립되지 않았다. 공식적인 race 분류체계가 없는 상황에서 국내에도 *P. capsici*의 균주 간에 다른 병원력의 차이가 보고되어 저항성 품종 육성을 위해 사용될 균주에 대한 의문이 있었다. 따라서 *P. capsici* 균의 국

제적 race 분류 체계가 확립되어야 하겠지만 그 이전까지 고추 역병 저항성 품종 육성에서 역병 내병성 육종 방안에 대한 모색이 필요하다. 아울러 분자표지에 의한 선발도 적극 활용해야 하지만 내병성에 대한 표현형 검정이 반드시 필요하기 때문에 이에 대한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 국내 노지 고추의 생산 환경이 산지에 따라 형성되어 있고 본 연구에서 확인된 국내 주산지의 고추 *P. capsici* 균주에 따라 상이한 병원력을 나타내고 있기 때문에 고추 주산지별 지역 균주들을 선발하여 내병성 품종 검정을 위한 시험 균주로 활용할 수 있을 것이다.

또한 'CM334'와 교잡 세대의 역병 저항성 분리를 분석함으로써 집종 균주에 따라 고추의 역병 저항성에 상위성이 작용하는 것을 확인하였다. 따라서 partitioning method를 통하여 우성 표현형으로 나타나는 유효 유전자의 지배가를 구명하고 F₃ 이후 세대의 후대 검정을 통하여 AA^bb형과 aaBB형간의 지배가 차이를 구명하는 연구가 추가적으로 필요할 것이다.

요 약

본 연구는 국내 고추 주산지의 *P. capsici*의 균주에 대한 병원성과 균주별 역병 저항성 유전 양식을 구명하고자 수행하였다. 이병성 재료 '#308'과 역병 저항성 재료 'CM334' 및 이들의 F₁, F₂ 그리고 'Kataguma'(Sakata Korea) 고추 총 5종의 공시 재료에 이천, 음성, 부안, 임실, 영양 지역에서 수집한 *P. capsici* 각각의 균주와 국립농업유전자원센터에서 분양받은 PA-159(KACC No. 40482)를 포함하여 총 6종의 고추 *P. capsici* 균주를 사용하여 집종하였다. 집종 농도는 1 × 10⁵ spores/ml로 관주 집종하였고 이들의 기내 특성, 이병률, F₂ 후대 집단의 역병 저항성 분리 기대비를 분석하였다. 이병성 재료 '#308'과 저항성 'CM334', F₁의 비분리세대는 균주별 군내 비교에

서는 각각 고추 역병의 발병도는 4.94–5.00, 1.00–1.07, 1.01–1.08을 보여 *P. capsici* 균주별 근내 비교에서 공시 재료간 역병 저항성 차이는 명확히 구분할 수 있다. 또한 F₂ 분리세대의 역병 발병도의 경향은 1.79–2.31을 보여 *P. capsici* 근내 비교의 차이가 없고 저항성과 이병성 재료 간에 유의한 차이를 보여 본 연구에서 사용된 6종의 *P. capsici* 균주 모두 역병 저항성 검정을 위한 균주로 활용 가능한 것으로 나타났다. 하지만 F₂ 분리세대의 균주별 근간 비교에서 PA-159 균주를 중심으로 이천 균주, 부안 균주, 임실 균주가 포함된 집단과 이보다 높은 병원성을 지닌 영양 균주와 음성 균주로 구분되었다. 각 균주별 F₂ 세대의 역병 저항성에 대한 분리 기대비를 분석하였는데, PA-159 균주는 3:1 또는 9:3:3:1의 분리비를 보여 1–2개의 유전자가 관여하는 것으로 나타났다. 반면 음성 균주와 영양 균주는 11:5, 이천 균주는 12:3:1의 분리비를 보여 유전자간 상호작용이 있는 것으로 나타났다.

References

- Adorada, D. L. 1994. Genetic variation within a population of *Phytophthora capsici* from southern New Mexico based on RAPD analysis. Master's Thesis. New Mexico State Univ., Las Cruces, NM, USA. pp. 92.
- Agrios, G. N. 2006. Plant Pathology. Academic Press Inc. New York. pp. 414–427.
- Barksdale, T. H., Papavizas, G. S. and Johnston, S. A. 1984. Resistance to foliar blight and crown rot of pepper caused by *Phytophthora capsici*. *Plant Dis.* 68: 506–509.
- Bowers, J. H. and Mitchell, D. J. 1991. Relationship between inoculum level of *Phytophthora capsici* and mortality of pepper. *Phytopathology* 81: 178–184.
- Bnejdi, F., Saadoun, M., Allagui, M. B. and Gazzah, M. E. 2009. Epistasis and heritability of resistance to *Phytophthora nicotianae* in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Euphytica* 167: 39–44.
- Bnejdi, F., Saadoun, M., Allagui, M. B., Hanbury, C. and Gazzah, M. E. 2010. Relationship between epistasis and aggressiveness in resistance of pepper (*Capsicum annuum* L.) to *Phytophthora nicotianae*. *Euphytica* 33: 279–284.
- Bosland, P. W. and Lindsey, D. L. 1991. A seedling screen for *Phytophthora* root rot of pepper, *Capsicum annuum*. *Plant Dis.* 75: 1048–1050.
- Cristinzio, G. and Saccardo, F. 1984. Resistance in a mutant of pepper to six isolates of *Phytophthora capsici*. *Capsicum Newsletter* 3: 31–32.
- Erwin, D. C. and Ribeiro, O. K. 1996. *Phytophthora* Diseases Worldwide. APS Press, St. Paul. Minnesota USA. pp. 562.
- Fernandez-Pavia, S., Biles, C. L., Waugh, M., Onsurez-Waugh, K., Rodriguez-Alvarado, G. and Lidell, C. M. 2004. Characterization of southern New Mexico *Phytophthora capsici* Leon. isolates from pepper (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Mex. Fitopatol.* 22: 82–89.
- Gil Ortega, R., Palazón Español, C. and Cuartero Zueco, J. 1992. Genetic relationships among four pepper genotypes resistant to *Phytophthora capsici*. *Plant Breeding* 108: 118–125.
- Glosier, B. R., Ogundiwin, E. A., Sidhu, G. S., Sisch, D. R. and Prince, J. P. 2007. A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica* 162: 23–30.
- González, H. O., Caballero, L. A., Tapia, W. A., Donahoo, R. and Lamour, K. 2008. Survival and spread of *Phytophthora capsici* in Coastal Peru. *Phytopathology* 98: 688–694.
- Hur, J. M., Lee, Y. S., Kim, B. S. and Cho, C. H. 1990. Evaluation and inheritance of resistance to *Phytophthora* blight in pepper. *Korean J. Plant Pathol.* 6: 447–451.
- Hwang, B. K. 1996. Control strategies of *Phytophthora* blight using resistance in pepper plants. *J. Kor. Capsicum Res. Coop.* 4: 9–40.
- Hwang, B. K. 2002. Studies of resistance of pepper to *Phytophthora* Blight and its control. *Res. Plant Dis.* 8: 131–145.
- Kim, J. S., Do, T. H., Cho, E. K. and Lee, M. W. 1988. Mating types of *Phytophthora capsici* Leonian from red-pepper (*Capsicum annuum* L.) in Korea. *Korean J. Mycol.* 16: 60–63.
- Kim, B. S., Kwon, T. R., Hwang, J. E., Lee, J. M., Park, D. G., Ahn, J. H. and Kim, H. Y. 2010. Resistance to *Phytophthora* Blight of commercial pepper cultivars in Korea. *Res. Plant Dis.* 16: 141–147.
- KOSTAT (Statistics Korea). 2012. Available from: <http://kostat.go.kr>
- Lamour, K. H. and Hausbeck, M. K. 2001. Investigating the spatiotemporal genetic structure of *Phytophthora capsici* in Michigan. *Phytopathology* 91: 973–980.
- Lee, S. J., Park, Y. J., Kim, H. T. and Kim, B. S. 2010. The recent differentiation of *Phytophthora capsici* in Korea. *Res. Plant Dis.* 16: 153–157.
- Leonian, L. H. 1922. Stem and fruit blight of peppers caused by *Phytophthora capsici* sp. *Phytopathology* 12: 401–408.
- Miko, I. 2008. Epistasis: Gene interaction and phenotype effects. *Nature Education* 1.
- Monroy-Barbosa, A. and Bosland, P. W. 2008. Genetic analysis of *Phytophthora* root rot race-specific resistance in Chile pepper. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 1336: 825–829.
- Nakata, K. and Takimoto, K. 1928. List of crop diseases in Chosen. *Chosen Govern. Gen. Agri. Exp. Station* 15: 3.
- Oelke, L. M. and Bosland, P. W. 2003. Differentiation of race specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 128: 213–218.
- Ogundiwin, E. A., Berke, M., Massoudi, T. F., Black, L. L., Huestis, G., Choi, D., Lee, S. and Prince, J. P. 2004. Construction of 2 intraspecific linkage maps and identification

- of resistance QTLs for *Phytophthora capsici* root rot and foliar blight diseases of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Genome* 48: 698–711.
- Palloix, A., Daubeze, A. M., Phaly, T. and Pochard, E. 1990. Breeding transgressive lines of pepper resistance to *Phytophthora capsici* in a recurrent selection system. *Euphytica* 51: 141–150.
- Park, J. S., Jung, H. S. and Choi, S. Y. 1972. The past control of vegetables. Bumin Press. pp. 213.
- Polach, F. J. and Webster, R. K. 1972. Identification of strains and inheritance of pathogenicity in *Phytophthora capsici*. *Phytopathology* 62: 20–26.
- Smith, P. G., Kimble, K. A., Grogan, R. G. and Millett, A. H. 1967. Inheritance of resistance in peppers to phytophthora root rot. *Phytopathology* 57: 377–379.
- Song, J. Y., Yoo, S. J. and Kim, H. K. 2002. Distribution and alteration of mating type of *Phytophthora capsici* population from Red Pepper in Korea. *Mycobiology* 30: 152–156.
- Song, J. Y., Yoo, S. J., Lee, Y. S., Kim, B. S. and Kim, H. K. 2003. Metalaxyl sensitivity related with distribution feature of mating type of *Phytophthora capsici* population from red pepper in Korea. *Mycobiology* 31: 98–102.
- Sun, W. X., Jia, Y. J., O'Neill, N. R., Feng, B. Z. H. and Zhang, X. G. 2008. Genetic diversity in *Phytophthora capsici* from eastern China. *Can. J. Plant Pathol.* 30: 414–424.
- Sy, O., Steniner, R. and Bosland, P. W. 2008. Recombinant inbred line differential identifies race-specific resistance to *Phytophthora* root rot in *Capsicum annuum*. *Phytopathology* 98: 867–870.
- Thabuis, A., Palloix, A., Pflieger, S., Daubéze, A. M., Caranta, C. and Lefebvre, V. 2003. Comparative mapping of *Phytophthora* resistance loci in pepper germplasm: evidence for conserved resistance loci across *Solanaceae* and for a large genetic diversity. *Theor. Appl. Genet.* 106: 1473–1485.
- Tian, D. and Babadoost, M. 2004. Host range of *Phytophthora capsici* from pumpkin and pathogenicity of isolates. *Plant Dis.* 88: 485–489.
- Truong, N. V., Liew, E. C. and Burgess, L. W. 2010. Characterisation of *Phytophthora capsici* isolates from black pepper in Vietnam. *Fungal Biol.* 114: 160–170.