

국내 고추 역병균의 병원성 분화

이상준 · 박용주¹ · 김흥태² · 김병섭*

강릉원주대학교 식물생명과학과, ¹주)대농종묘 육종연구소, ²충북대학교 식물의학과

The Race Differentiation of *Phytophthora capsici* in Korea

Sang Jun Lee, Yong Ju Park¹, Heung Tae Kim² and Byung-Sup Kim*

Department of Plant Science, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

¹Daenong Seed Breeding Research Institute, Pyeongtaek 450-030, Korea

²Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

(Received on April 22, 2010; Accepted on July 3, 2010)

This study was examined to identify the race differentiation and distribution of mating type on *Phytophthora capsici* population in Korea. One hundred forty three isolates of *P. capsici* were collected from several locations of Korea in 2005-2007. In 2005, 20 isolates of *P. capsici* were collected and surveyed as A1 mating type of 75% and A2 mating type of 25%. In 2006, a total of 91 isolates were collected and separated as A1 mating type of 49.0%, A2 mating type of 42.9% and S type (sterile) of 3.3%. Isolates obtained in 2007 were similar to 2006 results. Totally, ratio of mating type of 153 isolates was confirmed that A1 type was 56.6%, A2 type was 39.2%, and S type was 4.2%. Thirteen pepper cultivars with different pathogenic response to 3 typical isolates having different mating were screened among 50 pepper cultivars and determined as race differential cultivars for investigation. The 11 races of *P. capsici* were found by using 13-race differential cultivars. These results indicated that at least 11 races of *P. capsici* are existed and confirmed race differentiation of *P. capsici* in pepper.

Keywords : Mating type, *Phytophthora capsici*, Phytophthora blight, Race differentiation

*Phytophthora capsici*에 의해 발생하는 고추역병 (Phytophthora blight)은 전 세계적으로 고추에 심각한 피해를 일으키는 병으로서 우리나라에서도 고추생산에 큰 감수요인이 되고 있다. 이 병은 묘상부터 전 생육기간에 걸쳐 발생하며 특히 비가 많이 오는 6월 하순부터 8월 말 까지 뿌리, 줄기, 잎 및 과실에 발생하고 이어짓기를 하는 밭이나 시설재배에서 고추의 작황을 좌우한다. 고추는 농가에 있어 고소득 작물이기 때문에 농가에서 비옥한 경작지에 연작을 하고 있으며 심지어 산간경사지까지 고추재배지역이 확대되고 있다. 이에 따라 토양 병원균의 증가로 고추재배에 큰 타격을 주고 있는 실정이다(Hwang, 2002). 고추역병을 일으키는 병원균은 토양전염성 병원균으로 유성생식을 통하여 난포자를 형성한다.

*P. capsici*의 고추에서 병원성분화에 의한 레이스 (pathogenic race)의 존재 증거가 국내에서 현재까지 알려져 있지 않으나 국외에서 여러 가지 기주식물에서 역병 균주 간에 병원력(virulence)이 다르다는 보고가 있다(Glosier 등, 2008; Oelke와 Bosland, 2003; Polach와 Webster, 1971). Kim 등(2003)은 한국 고추품종에 대하여 세계 여러 지역에서 유래된 *P. capsici* 균주에 병원력의 변이가 나타나지만 한국고추 유전형으로는 이들 *P. capsici* 균주에서 레이스를 유별시키지 못하였다. 그러나 Ham 등(1991)은 한국, 유럽, New Mexico에서 유래된 균주를 사용하여 mtDNA의 RFLP를 분석하였을 때 역병균주에 크나큰 유전적 변이가 있는 것으로 보아서 자연에 존재하는 역병 균주의 병원력에 변이가 있을 것이라고 보고했다. 고추 역병을 방제하기 위해 현재 살균제의 살포, 생물학적 방제, 윤작, 저항성품종을 이용한 재배와 같은 방법이 사용되고 있지만 살균제의 경우 약제에 대한 저항성이 보고되고 있어 문제점을 가지고 있다. 또한 길항미생물을 이

*Corresponding author
Phone) +82-33-640-2353, Fax) +82-33-647-9535
Email) bskim@gwnu.ac.kr

용하여 방제하는 방법이 시도되고 있으나 적절한 길항미생물의 선발이 어려우며 길항미생물들이 지속적으로 포장에서 정착하여 탁월한 방제효과를 나타내지 않기 때문에 실용화 되지 않고 있는 실정이다. 따라서 저항성 고추 품종을 이용하여 재배하는 것이 가장 효율적이며 경제적인 역병 방제법이라고 할 수 있다. 국내에서 매년 격발하여 큰 손실을 일으키는 고추 역병을 방지하기 위해 종묘 회사들이 저항성 고추(PR 고추)를 육종하여 시판하고 있다. 그러나 지역에 따라 PR고추에도 병이 발생하여 피해가 많이 발생하며, PR고추품종에서 발생하는 역병이 병원균의 분화에 원인이 있는지 그 지역의 병원균 농도에 따른 품종의 저항성 차이에 의한 것인지에 대한 연구가 필요한 실정이다. 국내에서도 다양한 역병균이 분화되어 존재한다면 병원균의 분화정도 및 병원성에 따라 병원균을 선택하여 이들 병원균들에 대한 수평적 저항성품종을 개발하는 것이 시급하다. 또한 대표균주와 지표식물을 선정하여 객관적인 고추 역병저항성 평가를 할 수 있는 기준을 제시할 수 있는 역병병원균 분화연구가 필요하다. 병원균에 대한 저항성품종의 육종노력의 성패는 병원균 집단에 변이능력에 따라 좌우된다. 병원균의 다양성은 크게 세포 유전적 성질에 달려있다. *P. capsici*에는 2가지 교배형 A1, A2가 존재하므로 교잡으로 유전정보의 교환이 가능하며 체세포 균사간의 균사융합이 일어나 세포질적 유전요인의 교환도 가능하다.

따라서 역병 저항성인 고추 품종을 육성하기 위해서는 역병균의 유전적 변이 현상과 고추와 역병균 간의 상호작용에서 저항성 메커니즘, 고추에서 저항성 발생에 대한 기초적인 지식이 필요하다고 할 수 있다. 본 실험에서는 저항성 품종 육성을 위해 고추 역병균의 분화 즉, 병원성 분화를 구명하고 이를 토대로 고추 역병저항성 품종 육성의 기초자료로 활용코자 본 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료. 고추 유전자원의 역병저항성 검정을 수행하였다. 1차 실험에서는 현재 국내에서 판매되고 있는 고추 역병 저항성 계통인 PR계통 21품종, 미국 뉴멕시코 주립 대학교에서 들여온 외래종 28품종 및 감수성 대조품종으로 시판품종인 '슈퍼마니파'를 사용하여 수행하였다. 고추역병균은 2005년부터 2007년까지 경기도를 포함한 총 7개 지역에서 분리한 균주와 충북대학교에서 분양받은 균주 등 총 143균주를 공시하였다. 각각의 균주들은 한달에 한 번씩 V8 juice agar가 첨가된 100×20 mm Petri dish

에 계대배양을 실시하여 26°C의 incubator에 보존을 하였다. 또한 V8 juice agar 사면배지와 1 ml의 멸균 증류수를 넣은 1.8 ml tube에 장기 보존하여 실험을 수행하였다.

교배형 조사. 각 지역에서 분리한 고추 역병균의 교배형 조사는 A1 교배형(KPC-7)과 A2 교배형(MY-1) 표준균주를 이용하여 조사하였다. V8 juice agar medium에서 7일간 자란 교배형 표준균주의 균총선단부를 7 mm cork borer로 떼어내어 V8 cleared juice agar medium에 각각 치상하였다. 또한 교배형을 판단하고자 하는 균주의 균총선단부를 7 mm cork borer로 떼어내어 각각 A1 교배형과 A2 교배형 표준균주와 대치 배양하여 양 균사가 만나 엇갈리게 되었을 때, 현미경하에서 양 균사가 겹친 부분을 검경하였으며, 난포자의 형성 유무를 조사하여 교배형을 결정하였다. KPC-7균주(A1 교배형)와 대치 배양한 균주에서 난포자가 관찰되면 A2 교배형으로, MY-1(A2 교배형)과 대치 배양한 균주에서 난포자가 관찰되면 A1 교배형으로 결정하였으며, A1교배형과 A2 교배형을 대치 배양한 양쪽 모두에서 난포자가 형성되지 않은 것은 S형(sterile)이라고 결정하였다.

접종. 고추 종자는 농우바이오 상토(초록이)를 채운 50공 plastic tray에 파종하여 온실에서 육묘하였다. 고추가 본엽이 7~8엽이 되었을 때 뿌리를 흐르는 물에 깨끗이 씻어 35 ml의 증류수가 첨가된 Palcon tube에 침지하였다. V8 juice agar medium에서 일주일 동안 배양시킨 표준균주의 agar disc를 직경 7.0 mm의 cork borer를 이용하여 떼어낸 후 agar disc 5조각을 Palcon tube에 직접 접종하였다(Bosland와 Lindsey, 1991). 그 후 공시 50품종 중 표준균주(KPC-7, KPC-1, MY-1)에 대해 모두 저항성을 나타내거나 서로 다른 병원성 반응을 나타내는 13품종을 선발하여 표준균주 외 서로 다른 교배형을 가지는 8개의 균주를 추가하여 총 11개의 공시균주에 대해 Bosland와 Lindsey(1991)의 방법을 이용하여 재접종을 실시하였다.

저항성 평가. 각각 품종들의 저항성 정도를 확인하기 위하여 총 10일 동안 2~3일 간격으로 0~5의 기준을 두고 저항성 정도를 표기하였다. 그 기준은 다음과 같다: 0=증상 없음/건강한 식물체; 1=잎의 황화 그리고 줄기 괴사 없음; 2=약간의 줄기 괴사증상; 3=중간정도의 줄기 괴사 증상 및 약간의 시들음 증상; 4=심각한 줄기 괴사 그리고 심각한 시들음 증상; 5=식물체 고사. 각각의 품종들은 다음과 같이 저항성 정도가 기록되었으며 0은 저항성으로 -로 표기하였고, 1, 2는 중도저항성으로 +로 표기하였으며 3, 4는 감수성으로 ++로 표기하였다. 5는 심각한 감수성으로 +++로 표기하였다.

결과 및 고찰

교배형 조사. 2005년 충북, 경북, 전남에서 분리한 20 균주는 75%인 15균주가 A1 교배 형이고 5균주인 25%가 A2 교배 형으로 나타났다(Table 1). 2006년에는 경기, 충북, 충남, 경북에서 총 91균주를 분리하였는데 A1 교배 형이 49%이고 A2 교배 형이 42.9%로 나타났으며 교배가 되지 않는 S형(sterile type)이 3균주(3.3%) 분리되었다(Table 1). 2007년에는 경기, 충북, 충남, 전북, 전남, 경남, 경북의 7개 지역에서 총 32균주를 분리하여 조사한 결과 2006년과 비슷한 경향으로 나타났다(Table 1). 전체 143균주의 교배 형은 A1 56.6%, A2 39.2%, S형 4.2%로 조사되어 A1 교배 형과 A2 교배 형이 비슷한 경향인 것으로 확인되었다(Table 1). Polach와 Webster(1972)는 상이한 기주식물에서의 병원성을 토대로 *P. capsici*를 14개 병원계통(strain)으로 분류하였으나 고추 품종에 따른 병원성의 분화는 발견하지 못하였다. 이들의 연구에서 A1과 A2 교배 형을 교배하여 얻은 391 단일난포자 후대에서 병원성과 교배 형간에 재조합이 일어남을 확인하였다. Browsers 등(1991)은 *P. capsici* 균주간에 교배에서 유래된 난포자 후대는 고추 식물에 병을 일으키는 병원력에 차이가 있음을 논증하였다. 본 실험을 통해서도 Table 1에 자세히 기록되지 않았으나 같은 지역에서 다

Table 1. The distribution of mating type of *Phytophthora capsici* at seven locations in Korea (2005-2007)

Year	Location	Isolate	Mating type		
			A1	A2	S ^a
2005	Chungbuk	4	1	3	0
	Kyungbuk	15	13	2	0
	Junnam	1	1	0	0
	Subtotal (%)	20	15(75.0)	5(25.0)	0(0)
2006	Kyunggi	12	6	5	1
	Chungbuk	39	16	23	0
	Chungnam	29	17	10	2
	Kyungbuk	11	10	1	0
	Subtotal (%)	91	49(53.8)	39(42.9)	3(3.3)
2007	Kyunggi	4	2	2	0
	Chungbuk	1	0	1	0
	Chungnam	1	1	0	0
	Junbuk	7	3	3	1
	Junnam	3	2	0	1
	Kyungnam	2	1	1	0
	Kyungbuk	14	8	5	1
	Subtotal (%)	32	17(53.1)	12(37.5)	3(9.4)
Total (%)	143	81(56.6)	56(39.2)	6(4.2)	

^aS=sterile type.

Table 2. The resistance assay against *Phytophthora* blight on 50 pepper cultivars

Cultivar	Isolate		
	A1 type (KPC-7)	A2 type (MY-1)	Sterile (KPC-1)
Super manitta	+++ ^a	+++	++
PR Galmuri	+	++	+
PR Keumdong	+	++	++
PR Kiripbaksu	++	++	+
PR Datta	-	-	+
PR Daechon	+	+	+
PR Manitta	-	-	+
PR Muhanjilju	++	+	++
PR Bobae	-	+	++
PR Sangseang	-	+	-
PR Ildeunggongsin	-	++	+
PR Chambut	+	++	+
PR Power	++	+	++
PR Palgwang	+	+	+
Kangreukjosanggun	++	++	-
Dokyacungung	++	+	++
Mansahyungdong	+	-	-
Bulsajo	-	-	+
Yeokganghongjanggun	-	-	-
Tantandaemok	-	-	-
Taesan	-	+	+
Hanpanseung	+	+	++
NuMex 6-4	-	+	-
NuMex Big Jim	+	+	-
NuMex Espanola improved	+	-	-
NuMex Joe E. Parker	-	-	-
SCM334	-	-	-
Jalapeno Early	+	+	++
Jalapeno M	++	+++	++
NuMex Pinata	+	+	+
NuMex Centennial	-	+	+
NuMex Twilight	-	+	-
Aji Limon	-	-	-
Anaheim	-	+	+
Cascabella	-	-	-
Chainese Giant	-	+	+
Guajillo	+	+	-
Mulato	-	-	+
Negro	+	+	-
NuMex Suave Orange	++	++	++
Omni Color	-	-	-
Orage Habanero	+	+	+
Ornamental Pepper (U.S.A)	+	++	+
Ornamental Pepper (K.N.U)	-	+	+
Pobalno	+	+	-
Puya	+	+	+
Serrano	+	+	-
Sapinish Piquillo	-	+	+
Sweet Banana	+	+	+
Tabasco	+	+	+

^a-: resistant, +: moderately resistant, ++: susceptible, +++: very susceptible.

양한 교배형이 존재하는 것을 확인하였으며 같은 지역에서 분리된 균주임에도 서로 다른 교배형을 나타내 난포자 형성에 의해 후대세대에서 분화가 일어날 가능성이 있는 균주들을 확인하였다.

고추 역병균의 병원성 분화. 국내육성 고추 품종, 국외 도입종, 농진청으로부터 분양받은 50품종에 대한 병원성 차이를 조사하였다. KPC-7(A1 교배형), MY-1(A2 교배형), KPC-1(Sterile) 검정 표준균주에 대한 병원성은 다양한 양상을 나타내었다(Table 2). 검정 표준균주에 대하여 다양한 반응을 나타낸 13개 품종의 고추를 선발하였으며, 13개의 품종에 서로 다른 병원성 반응을 나타내는 고추 역병균의 균주는 11개가 있는 것을 확인할 수 있었다(Table 3). Oelke 등(2003)은 고추 역병균에 저항성인 고추품종을 육종하는 것이 어려운 이유로 뿌리역병(phytophthora root rot)과 잎마름역병(foliar blight)을 일으키는 병원균의 생리적 분화형이 존재하기 때문이라고 했고 뿌리역병을 일으키는 9개의 race와 잎마름을 일으키는 4개의 race가 존재함을 보고했다. 최근에 Glosier 등(2008)은 11개의 판별기주를 이용하여 14개의 병원균 race가 존재함을 보고하였다. 본 실험에서도 이상의 결과를 통해 국내에 최소한 11개의 race가 존재하는 것으로 해석할 수 있으며 고추 역병균의 병원성이 분화한 것을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통하여 국내에서도 다양한 역병균이 분화되어 존재함을 확인하였다. 따라서 병원균의 분화정도 및 병원성에 따라 병원균을 선택하여 이들 병원균들에 대한 수평적 저항성품종을 개발하는 것이 시급하다. 또한 대표균주와 지표식물을 선정하여 객관적인 고추역병 저항성 평가를 할 수 있는 기준을 제시할 수 있는 역병

병원균 분화연구가 이 후에 수행되어야 할 것이다.

요 약

본 연구는 고추 역병균의 교배형 분포와 병원성 분화를 구명하기 위하여 수행하였다. 2005년부터 2007년까지 고추 역병에 감염된 식물로부터 총 143균주를 분리하였고 분리된 균주의 교배형을 조사하였다. 2005년 분리된 20균주 중 A1 교배형이 75%, A2 교배형이 25%인 것으로 조사되었다. 2006년 분리된 총 91균주 중 A1 교배형이 49.0%이고 A2 교배형이 42.9%로 나타났으며 교배가 되지 않는 S형(sterile type)이 3.3%로 분리되었다. 2007년 분리된 균주는 2006년과 비슷한 양상을 나타내었다. 전체 143균주의 교배형은 A1 56.6%, A2 39.2%, S형 4.2%로 조사되었다. 50종 고추에 교배형이 다른 대표적인 3 균주를 접종하여 병원성 반응이 다른 13개의 고추를 선발하여 고추 역병균 병원성 분화 조사를 위한 판별품종 균을 만들었다. 고추역병 판별품종균을 이용하여 병원성 여부를 조사한 결과 11종의 서로 다른 병원성 반응을 나타내는 것으로 조사되었다. 이를 통해 국내에 최소 11개의 고추 역병균 레이스가 존재한다는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 농림수산식품부 농림기술개발사업 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: 201003013020020010300) 및 농림수산식품기술기획평가원(IPET) 고추분자마커사업단 지원에 의하여 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

Table 3. The series of race differentiation of *Phytophthora capsici* on pepper

Race	Isolate	Pepper line ^a												
		SCM	Yeu	Kan	Tae	Dok	Man	Tan	Gal	San	Han	Jal	Sup	Cal
1	KPC-8	R ^b	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
2	KPC-2	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	S	S
3	KPC-3	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	S	S	S
4	KPC-4	R	R	R	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S
5	KPC-1	R	R	S	R	S	R	R	R	R	S	S	S	S
6	KPC-5	R	R	R	S	S	S	R	R	R	S	S	R	S
7	KPC-9	R	R	R	S	S	R	R	S	S	S	R	S	S
8	KPC-10	R	R	R	R	S	R	R	S	S	S	S	S	S
9	KPC-6	R	R	R	R	S	S	S	S	R	S	S	S	S
10	KPC-7	R	R	S	R	S	R	R	S	S	S	S	S	S
11	MY-1	R	S	R	S	S	S	R	S	S	S	S	S	S

^a SCM=SCM334; Yeu=Yeukkanghongganggun; Kan=Kangreukjosanggun; Tae=Taesan; Dok=Dokyacungcung; Man=Mansahyungdong; Tan=Tantantaemok; Gal=PR Gamuri; San=PR Sangseang; Han=Hanpanseung; Jal=Jalapeno Early; Sup=Supermanitta; Cal=California Wonder.

^b R=resistant, S=susceptible.

참고문헌

- Bosland, P. W. and Lindesy, D. L. 1991. A seedling screen for *Phytophthora* root rot of pepper, *Capsicum annuum*. *Plant Dis.* 75: 1048-1050.
- Glosier, B. R., Ebenezer, A. O., Gurmel, S. S., David, R. S. and James, P. P. 2008. A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica* 162: 23-30.
- Ham, J. H., Kim, Y. J. and Hwang, B. K. 1991. Induction of resistance to metalaxyl of *Phytophthora capsici* by chemical mutagenesis. *Kor. J. Plant Pathol.* 7: 133-139.
- Hwang, B. K. 2002. Studies of resistance of pepper to *Phytophthora* blight and its control. *Res. Plant Dis.* 8: 131-145.
- Kim, B. S. and Kim, J. H. 2003. Evaluation and selection of breeding lines of pepper developed by incorporation of resistance to *Phytophthora capsici* into local cultivars of Gyeongbuk province. *Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ.* 21: 11-16.
- Kim, E. S. and Hwang, B. K. 1992. Virulence to Korean pepper cultivars of isolates of *Phytophthora capsici* from different geographic area. *Plant Dis.* 76: 486-489.
- Oelke, L. M. and Bosland, P. W. 2003. Differentiation of race specific resistance to phytophthora root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128: 213-218.
- Ortega, G., Palazon, C. and Zueco, J. C. 1991. Genetics of resistance to *Phytophthora capsici* the pepper line 'SCM-334'. *Plant Breed.* 107: 50-55.
- Polach, F. J. and Webster, R. K. 1971. Identification of strains and inheritance of pathogenicity in *Phytophthora capsici*. *Phytopathology* 62: 20-26.