

국내 고추역병균 *Phytophthora capsici* 집단의 교배형 분포 및 변화

송정영 · 유성준¹ · 김홍기*

충남대학교 농업생명과학대학 농생물학과, ¹(주)바이오셀드

Distribution and Alteration of Mating Type of *Phytophthora capsici* Population from Red Pepper in Korea

Jeong Young Song, Sung Joon Yoo¹ and Hong Gi Kim*

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

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

(Received May 28, 2002)

ABSTRACT: Distribution and alteration of mating type of Korean population for *Phytophthora capsici* were monitored from 1995 to 1998. Total 973 isolates collected from 75 pepper fields throughout the country were divided into A1 mating type 573 isolates and A2 mating type 400 isolates. Both mating types were founded in all provinces examined, but the distribution patterns differed between the fields. The single mating type of A1 or A2 isolates was found in some fields, whereas various combinations of both mating types were in all years and provinces surveyed. Ratios of A1 and A2 were varied with years and fields. However, only single mating type either A1 or A2 was detected in some fields. While, in another field located in Gongju, only A2 isolates were detected in 1995 and 1997, but A1 isolates were appeared in 1998. Varied ratios and alterations of A1 and A2 mating type in fields indicate a potential sexual recombination of the fungus, which may cause genetic diversity.

KEYWORDS: Alteration, Mating type, Pepper, *Phytophthora capsici*

고추역병균 *Phytophthora capsici*는 국내는 물론 전세계적으로 다양한 기주작물에 병을 일으켜 경제적으로 큰 피해를 주고 있지만 방제가 매우 어려운 주요 식물 병원균들 중의 하나이다(Erwin and Ribeiro, 1996).

*P. capsici*의 무성생식 기관인 유주자는 병발생 포장에서 물을 통해 폭발적으로 전파하지만, 서로 다른 교배형(mating type)의 배우자가 만나 유성적으로 형성하는 난포자는 유전적 변이의 주요 요인으로 알려져 있다(Galindo and Zentmyer, 1967; Ristaino, 1990; Savage *et al.*, 1968). 또한, 유주자에 비해 세포벽이 두터운 난포자는 토양 또는 이병잔재에서 월동체로 생존하며 1차 전염원으로서의 중요한 역할을 하는 것으로 보고되어 있다.

Ristaino(1990)는 조사를 실시한 개별적인 고추 재배포장에서 A1과 A2 교배형의 *P. capsici*가 모두 발견되고 있어 이들 포장 내에서 유성생식 기관인 난포자의 형성이 가능하며 병원균들간의 유전적인 재조합이 나타날 수 있을 것으로 예상했다. 또한, Kellam and Zentmyer(1986)와 Lamour and Hausbeck(2000)은 자연상태에서 얻어진 *P. capsici*에 이병된 식물체에서 난포자를 발견하였다. 한편, 국내에서 발생하는 고추역병균 *P. capsici* 집단내에는 A1

과 A2 교배형이 모두 존재하는 것으로 보고되어 있지만 포장단위별 교배형 발생 특성은 조사되어 있지 않다(Kim *et al.*, 1988).

*P. capsici*에 대한 방제전략으로는 저항성 고추품종 선발, 화학적, 생물학적 그리고 경종적 방법 등이 시도되고 있다(Hwang and Kim, 1995). 그러나 *P. capsici* 병원균 집단의 지속적인 변이로 인해 효과적인 병방제에 많은 어려움을 주고 있는데 이러한 변이요인들 중 하나가 재배포장 내에 유성생식을 가능하게 하는 A1과 A2 교배형 병원균들의 공존을 들 수 있다. 이미 보고된 바와 같이 *P. capsici*의 인위적 유성생식에서 비롯된 자손균주들 간에는 다양한 기주들에 대한 병원성의 변이가 나타나며, 형태적, 생리적 변이가 발생한다고 알려져 있다(Polach and Webster, 1972; Satour and Butler, 1968). 한편, 국내에 발생하는 고추역병균 *P. capsici*는 방제 약제들에 대한 다양한 저항성을 나타내고 있어 방제가 어려우며, 재배되는 고추 품종들에 대한 병원균들 간에 병원성 차이가 나타나는 것으로 미루어 유전적으로 다양한 균들이 분포할 것으로 예상되고 있다(Kim and Hwang, 1992; Oh and Kim, 1992).

병발생 기주는 다르지만 병원균의 형태적 특성과 생활사가 *P. capsici*와 아주 유사한 *P. infestans* 집단은 가지과 작물의 원산지이면서 다양한 종의 기주식물들이 분포하는

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

멕시코에서의 A1 : A2 교배형 발생비는 서로 비슷하게 나타나지만 멕시코를 제외한 세계의 다른 지역에서는 1980년대 초반까지 A1 교배형만 발견되었다(Goodwin *et al.*, 1992). 하지만 그 이후 세계 각지에서 A2 교배형의 발견이 계속 보고되고 있으며 *P. infestans* 집단 내에서 A1 교배형 이외에 A2 교배형을 발견함으로써 새로운 유전자형을 가지는 병원균의 등장을 설명할 수 있었다(Koh *et al.*, 1994). *P. infestans* 집단에서 이러한 새로운 교배형을 갖는 병원균의 출현이유는 타지역으로부터의 새로운 병원균의 이동 및 약제에 의한 교배형 변이 등으로 추정하고 있으며, 교배형 조사는 약제저항성 조사와 더불어 병원균 집단의 유전 특성 분석에 많이 이용되고 있다(Koh *et al.*, 1994; Spielman *et al.*, 1991).

본 연구에서는 1995년부터 1998년까지 국내의 주요 고추재배지역에서 발생하는 고추역병균 *P. capsici* 집단을 분리하여 발생포장내 병원균들의 교배형 특성과 유성생식 가능성을 밝히고자 각 포장단위별 A1과 A2 교배형의 발생분포와 연차적인 교배형 발생 추이를 조사하였다.

재료 및 방법

고추역병 균주(*Phytophthora capsici*)의 수집

공시균주를 분리하기 위하여 1995년부터 1998년까지 강원도, 경기도, 충청남도, 충청북도, 경상남도, 경상북도, 전라남도, 전라북도 등 제주도를 제외한 전국 대단위 고추 집단 재배지역과 일반농가 포장에서 수침상 병반, 시들음 및 부패 증상을 보이는 고추 잎이나 열매, 그리고 줄기와 지체부에 수침상의 병징을 나타내며 시들거나 고사하려는 식물체를 역병에 걸린 것으로 판단하였다. 조사 포장별 크기는 100 m²부터 2000 m² 내외였으며, 동일포장내 고른 면적비를 설정하여 무작위로 이병식물체를 수집했다.

고추역병균을 분리하기 위해 이병부위를 먼저 멸균수로 깨끗이 세척한 후 1% NaOCl로 2분간 표면 살균후 선택배지 위에 올려놓고 25°C 항온배양기에서 분리균을 배양하였다. 선택배지는 Masago *et al.*(1977)의 방법을 변형한

10% CV-8 agar(3,000 g에서 10분간 원심분리된 V-8 juice의 상등액 100 ml, CaCO₃ 1 g, agar 18 g, 증류수 900 ml) 1 l당 benomyl 20 ppm, nystatin 25 ppm, PCNB(75%) 25 ppm, rifampicin 10 ppm, ampicillin 200 ppm, hymexazol 50 ppm을 넣은 것을 이용했다. 선택배지에서 자란 분리균들의 균총 가장자리를 먼저 직경 2 mm 정도의 크기로 떼어 ampicillin이 첨가된 10% CV-8 agar에서 연속 2번 옮기고, 20% CV-8 agar에 이식하여 배양한 후 암상태의 15°C 항온기에 보관하면서 실험에 사용하였다.

교배형 분석

각 지역에서 채집, 분리한 공시균주들의 교배형을 조사하기 위해 A1, A2형의 판별균주들을 10% CV-8 agar 상에서 이들과 각각 대치접종 하였다. 교배형은 균사가 자라 서로 만나는 곳을 현미경 하에서 검경하여 난포자 형성유무를 확인하고 판별균주인 A1형과 대치배양 할 때에는 난포자를 형성하지만 A2 교배형과 대치배양에서는 난포자를 형성하지 않을 경우 이 균주의 교배형을 A2 교배형으로, 그 반대의 경우에는 A1형으로 판별하였다. 또한 동일 포장에서의 연차적인 교배형 발생비율을 조사하기 위해 동일 포장에서 교배형이 혼재했던 경남 창녕과 경북 안동지방의 포장들과 단일 교배형만 조사됐던 충남공주와 충북 청원지방의 40 m²~1000 m²의 중·소규모 포장들을 정해 1995년부터 1998년까지 교배형 발생비율을 조사하였다. 교배형 조사를 위한 A1(CP27)과 A2(TOM1) 교배형 판별균주들은 미국 Florida 대학의 Weingardner 교수와 Legard 교수로부터 분양받아 사용하였다.

결 과

교배형 발생 분포의 특성

국내에 분포하고 있는 고추역병균 *Phytophthora capsici* 집단의 교배형 조사를 실시하고자 75곳의 고추 재배포장으로부터 973개 균주들을 분리하였다(Table 1). 교배형 결정을 위해 표준균주와 대치배양시 서로 다른 교배형들

Table 1. Numbers of pepper fields surveyed and isolates of *Phytophthora capsici* collected from 1995 to 1998

Province	No. of fields surveyed					No. of isolates surveyed				
	1995	1996	1997	1998	Total	1995	1996	1997	1998	Total
Kyonggi	2	— ^a	—	—	2	37	—	—	—	37
Kangwon	1	3	—	—	4	3	90	—	—	93
Chungnam	16	4	5	5	30	163	19	34	70	286
Chungbuk	9	1	1	1	12	65	10	8	12	95
Cheonnam	2	—	—	—	2	18	—	—	—	18
Cheonbuk	4	—	—	—	4	91	—	—	—	91
Kyongnam	4	2	4	1	11	47	74	52	27	200
Kyongbuk	4	2	2	2	10	72	60	16	5	153
Total	42	12	12	9	75	496	253	110	114	973

^aNot surveyed.

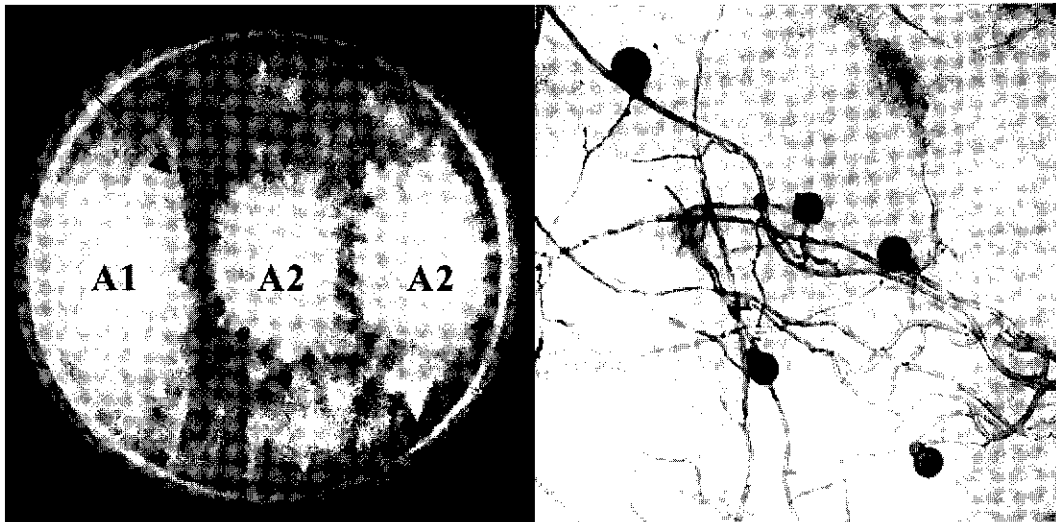


Fig. 1. Mating zone (arrow) contacting mycelia of A1 and A2 mating type isolates on V-8 agar (left), and oospores formed in the mating zone (right).

간의 균사가 만나는 대부분의 영역에서 띠가 관찰되었다 (Fig. 1). 또한, 그 영역을 현미경 관찰시 난포자가 검정되었으며 이로써 난포자 생성여부를 쉽게 판단할 수 있었다. 한편, A2 교배형 균주들에 비해 A1 교배형 균주들의 균층은 공통적으로 기중균사가 많이 발달했다.

1995년부터 1998년까지 수집된 전체 973개 공시균주들의 A1 : A2 교배형 발생 비율은 573 : 400으로 조사됐다 (Table 2). 연도별 발생에 있어서는 1995년과 1997년은 A1 : A2 교배형의 수가 각각 345 : 151와 78 : 32로 A1 교배형의 발생률이 높았으나, 1996년과 1998년은 101 : 152와 49 : 65로 A2 교배형의 발생률이 높게 나타났다. 또한, 조사를 실시한 전지역에서 A1과 A2 교배형을 나타내는 병원균들이 모두 발견되었으며 지역별, 연도별로 그 발생 비율이 다양했다.

전체 수집균주들의 포장별 교배형 발생 특성 조사결과 조사된 전체 75개 포장 중 A1형만이 발생한 포장이 27곳,

A2형만이 조사된 포장이 10곳, A1과 A2 교배형이 동시에 발생한 곳이 38곳으로 조사되었다 (Table 3). 한편, A1형만의 *P. capsici*가 조사되었던 포장수는 A2 교배형만 나타났던 포장에 비해 1995년과 1996년에는 각각 19 : 5, 3 : 0으로 매우 우세하게 나타났지만 1997년과 1998년에는 3 : 2, 2 : 3으로 거의 1 : 1의 비율로 발생하였다. 또한 A1형과 A2 교배형이 모두 나타난 포장에 있어서 포장내 A1형 또는 A2 교배형이 우세하게 출현한 포장들간의 비가 11 : 7로 A1 교배형 우세포장의 수가 많았던 1995년을 제외한 1996년에서 1998년까지는 각각 A1 또는 A2 교배형 우세포장들간의 발생비율이 1 : 1로 나타났다.

동일 포장에서의 연차별 교배형 발생 추이

동일 포장내 발생하는 고추역병균들에 대한 A1과 A2 교배형의 발생빈도 추이 조사를 실시하였다. 먼저, 1995년 한 포장 내에서도 A1과 A2 교배형 균주가 모두 발생했던 경남 창령지역과 경북 안동지역의 각기 한 포장씩을 선정하고 1996년과 1997년에도 그 포장에서 병원균을 분리하여 포장별 교배형 발생빈도를 조사하였다 (Table 4). 그 결과 경남 창령지역의 A1 : A2 교배형 발생비는 1995년에는 23 : 8로 A1 교배형의 발생수가 우세하게 조사됐

Table 2. Mating type distribution of *Phytophthora capsici* isolates collected from 1995 to 1998

Province	No. of isolates to mating type									
	1995		1996		1997		1998		Total	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Kyonggi	14	23	- ^a	-	-	-	-	-	14	23
Kangwon	1	2	22	68	-	-	-	-	23	70
Chungnam	124	39	11	8	32	2	28	42	195	91
Chungbuk	43	22	10	0	7	1	0	12	60	35
Cheonnam	11	7	-	-	-	-	-	-	11	7
Cheonbuk	76	15	-	-	-	-	-	-	76	15
Kyongnam	32	15	23	51	32	20	18	9	105	95
Kyongbuk	44	28	35	25	7	9	3	2	89	64
Total	345	151	101	152	78	32	49	65	573	400

^aNot surveyed.

Table 3. Classification of pepper fields according to mating type dominance of *Phytophthora capsici*

Mating type	No. of fields				
	1995	1996	1997	1998	Total
A1 only	19	3	3	2	27
A2 only	5	0	2	3	10
A1 dominance	11	6	2	2	21
A2 dominance	7	6	2	2	17
Total	42	15	9	9	75

Table 4. Changes of mating type distribution of *Phytophthora capsici* in some pepper fields from 1995 to 1998

Field location	No. of isolates according to mating type							
	1995		1996		1997		1998	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Changnyung	23	8	31	69	10	12	- ^a	-
Andong	34	8	35	25	7	9	-	-
Cheongwon	13	0	19	0	6	0	-	-
Gongju	0	17	-	-	0	19	2	20

^aNot surveyed.

으나, 1996년에는 31 : 69, 1997년에는 10 : 12의 비율로 나타났다. 또한, 경북 안동지역 동일한 포장의 교배형 발생비율에서도 마찬가지로 1995년 34 : 8로 A1 교배형이 월등히 발생수가 많았으나 1996년 35 : 25, 1997년에는 7 : 9로 나타나 교배형이 혼재하며 발생한 포장의 경우 어느 특정 교배형으로 지속적인 발생은 나타나지 않았다. 또한 최종적으로 조사된 1997년은 두 포장 모두 A1 교배형이 매우 우세하게 발생했던 1995년에 비해 A1 : A2 교배형의 발생비율이 대략 1 : 1로 조사되었다.

A1 교배형만 조사됐던 충북 청원과 A2 교배형만 나타났던 충남 공주 지역의 각각 1개 포장에서의 1995년부터 1998년도 사이의 교배형 변화를 조사한 결과 최초 A1형만 조사된 청원포장에서는 A1 교배형만이 나타나 변화가 없었으나 A2 교배형만 조사되었던 공주 포장에서는 1998년에 두 균주의 A1 교배형이 새롭게 발견되었다.

고찰

국내에서 발생하는 고추역병균 *P. capsici* 집단에 대해 1995년부터 1998년까지의 연도별 교배형 발생비율 추이를 조사한 결과 A1 또는 A2 교배형 중 어느 특정 교배형의 병원균들이 우점하여 발생하지 않았다. 또한, 조사연도별 교배형 발생비율의 차이는 있었지만 4년 동안 수집된 973 균주 전체의 A1 : A2 교배형 발생비는 거의 1 : 1였으며, 지역별로는 A1과 A2 교배형이 모두 발견되어졌고 다양한 교배형 발생비가 나타났다. 이러한 경향은 A1 교배형이 절대적으로 우점하는 다른 나라와는 달리 멕시코에서는 A1 : A2 교배형 발생비율이 거의 동등하게 나타나며 유전적으로도 다양했던 *P. infestans* 집단의 경우(Goodwin *et al.*, 1992)와 비슷해 국내 고추역병균 *P. capsici* 집단 내에서도 이들과 유사한 유전적인 다양성이 존재할 것으로 추정된다.

국내 고추재배는 지형적인 특성상 소규모로 많은 지역에서 이루어지고 있으며 거의 전지역의 고추재배포장에서 *P. capsici*에 의해 역병이 발생되고 있다. *P. capsici*는 주로 최초 병발생 포장에서 제한된 지역 내에서의 수매전반이나 이병된 유묘를 통해 타지역으로의 병원균 전반이 이루어진다. 이러한 병전반 특성 때문에 *P. capsici*는 동일 포장에서의 지속적인 방제약제 처리와 다양한 고추 품종

에 적용되어 우연하게 발생하는 돌연변이주가 다른 재배 지역 또는 포장으로의 전반은 매우 드물 것으로 판단된다. 따라서 국내에 분포하는 *P. capsici* 병원균 집단의 유전적 특성은 각각의 포장내 균주들의 특성에 좌우될 것이고, 고추역병 발생 포장별 *P. capsici*에 대한 교배형 조사는 효과적인 병방제를 위한 유전적 특성 분석의 기초자료로 매우 중요하게 활용될 것이다.

분리포장별 *P. capsici*의 교배형 조사결과 A1형 아니면 A2 교배형이 출현하는 포장과 두 가지 모두 출현하는 포장이 나타났으며, 전국적으로는 분리포장별로 A1 교배형이 우점하거나 A2 교배형이 우점하는 등 교배형 발생비율이 다양한 양상으로 나타나고 있었다. 이러한 각 포장들간의 교배형 특성은 포장단위로 소군락을 이루는 국내 고추역병균 *P. capsici* 집단이 각기 유·무성 생식을 통해 유전적으로 다양한 특성을 지니고 있을 것으로 예상하게 해 준다. 특히 A1형과 A2 교배형이 모두 존재하는 포장내 균주들은 유성생식에 기인하여 단일 교배형만 출현하는 포장에서보다 유전적으로 다양한 특성을 지닐 것으로 여겨진다(Song, 2000).

Ristaino(1990)는 미국 North Carolina의 고추와 박과 작물에서 분리된 *P. capsici*에 있어서 조사된 14개 포장 중 A1과 A2 교배형이 모두 나타난 포장이 두 곳이 존재했으며 이들 포장에서 병원균들 간의 난포자 형성과 유전적 재조합이 일어날 수 있음을 보고했다. Lamour and Hausbeck(2000)의 연구결과에서는 *P. capsici*가 조사된 14개 포장모두에서 A1과 A2 교배형이 모두 발생하였으며, 이들 중 8개 개별포장에서 A1형과 A2 교배형의 발생비율이 1 : 1로 나타났다. 또한, 이병열배로부터 분리된 난포자를 받아서 교배형을 조사한 결과 A1 : A2 교배형의 비율이 1 : 1로 나타났으며, 이들 자손균주들의 A1형과 A2 교배형 별로 나타난 metalaxyl 저항성균과 감수성균의 비율도 각각 1 : 1로 조사됐다. 따라서 본 연구에서와 같은 포장단위별 교배형 발생비율 조사는 동일 포장내 병원균 집단의 유성생식 가능성과 이듬해 발병하는 병원균의 유전적 특성을 예측할 수 있게 해 줄 것이다.

최초 단일 교배형만이 나타났던 포장에 있어서 지속적인 관찰을 실시한 결과 최초 A1형만 조사됐던 포장과는 달리 A2형만 발생했던 포장의 경우에는 A1 교배형 균주의 발생이 관찰되어졌다. 이는 어느 포장에서 최초 A1 또는 A2 교배형만을 나타내는 *P. capsici*가 조사되었다 할 지라도 추후 다른 교배형의 발생이 예견된다 할 수 있다. 이러한 단일포장 내에서 새로운 교배형을 나타내는 병원균의 출현은 조사당시 발견되지 않았거나 외부로부터 도입되었을 가능성과 *P. infestans*에 관한 연구에서 이미 나타난 metalaxyl에 의한 교배형의 변화(Chang and Ko, 1990), 혹은 selfing에 의한 난포자로부터 비롯된 모균주와 다른 교배형을 나타내는 자손균주들의 출현으로 추측할 수 있다(Ko, 1994). 따라서 이러한 결과를 기초로 좀

더 다양한 유전분석용 마커를 이용해 병원균 집단에 대한 유전분석을 실시한다면 유성생식 여부는 물론 새로운 유전자형을 갖는 병원균들의 출현을 예상할 수 있을 것이다. 한편, A2형의 경우 단독배양후 장기간 보존시 드물기는 하지만 배지 상에서 난포자의 형성이 관찰되었는데 이는 *Phytophthora*속 균들의 전형적인 자웅이주 종들에게서도 이미 발견이 보고된 바 있다(Kellam *et al.*, 1986; Polach and Webster, 1972; Savage *et al.*, 1968). 이는 배수체의 염색체를 가지고 있는 *P. capsici*의 유전특성상 병원균 집단의 또다른 변이요인으로 작용할 수 있을 것이다.

따라서 국내 고추 재배지역에서 고르게 분포하는 *P. capsici* 집단은 포장별로 교배형 특성이 다르게 나타나는 것으로 미루어 유전적 특성이 포장 단위별로 다양할 것으로 판단되며, 효과적인 방제를 위해서는 각 고추역병 발생 포장별로 좀 더 세심한 교배형 발생추이의 관찰을 필요로 할 것이다.

적 요

1995년부터 1998년 사이 국내에 분포하는 고추역병균 *Phytophthora capsici* 집단에 대해 A1과 A2 교배형의 발생 분포 및 변화를 조사하였다. 전국의 75개 고추포장들로부터 분리된 973개 *P. capsici* 균주들의 A1 : A2 교배형 발생비는 573 : 400으로 나타났다. A1과 A2 교배형의 *P. capsici* 균주들은 조사를 실시한 모든 지방에서 발견되었다. 조사 포장별로는 A1 또는 A2 교배형의 병원균들만이 분리된 포장들과 A1과 A2 교배형의 병원균들이 동시에 발생하는 포장들이 관찰되었으며, 각 단일 포장내 *P. capsici* 균주들의 A1 : A2 교배형 발생비율은 해마다 다양하게 나타났다. 한편, 동일 포장에서의 연차적인 교배형 발생비 추이를 조사한 결과 1995년과 1997년에 A2 교배형의 *P. capsici*만이 발생했던 공주포장에서는 1998년에 A1 교배형의 균주가 새롭게 발견되었다. 따라서 국내 고추 역병균 *P. capsici* 집단은 병발생 포장단위별로 다양한 A1 : A2 교배형 균주들의 발생비가 나타나고 있어 단일포장 내에서 유성생식이 이루어질 가능성이 높으며, 포장단위별 균주들 간에는 유전적 차이가 다양하게 존재할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단 자유공모과제 연구비 지원에 의하여 수행되었기에 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

Ann, P. J. and Ko, W. H. 1990. Growth and colony morphology of progenies of zoospores and selfed oospores of *Phytophthora parasitica*. *Mycologia* **82**: 693-697.

- Chang, T. T. and Ko, W. H. 1990. Effect of matalaxyl on mating type of *Phytophthora infestans*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* **56**: 194-198.
- Erwin, D. C. and Ribeiro, O. K. 1996. *Phytophthora, Diseases Worldwide*. APS Press, St. Paul. 562 pp.
- Galindo, A. J. and Zentmyer, G. A. 1967. Genetic and cytological studies of *Phytophthora* strains pathogenic to pepper plants. *Phytopathology* **57**: 1300-1304.
- Goodwin, S. B., Spielman, L. J., Matuszak, J. M., Bergeron, S. N. and Fry, W. E. 1992. Clonal diversity and genetic differentiation of *Phytophthora infestans* populations in Northern and Central Mexico. *Phytopathology* **82**: 955-961.
- Hwang, B. K. and Kim, C. H. 1995. *Phytophthora* blight of pepper and its control in Korea. *Plant Dis.* **79**: 221-227.
- Kellam, M. K. and Zentmyer, G. A. 1986. Comparisons of single oospore isolates *Phytophthora* species from naturally infected cocoa pods in Brazil. *Mycologia* **78**: 351-358.
- Kim, E. S. and Hwang, B. K. 1992. Virulence to Korean pepper cultivars of isolates of *Phytophthora capsici*. *Plant Dis.* **76**: 486-489.
- Kim, J. S., Do, T. H., Cho, E. K. and Lee, M. W. 1988. Mating type of *Phytophthora capsici* Leonian from red-pepper (*Capsicum annum* L.) in Korea. *Kor. J. Mycol.* **2**: 60-63.
- Ko, W. H. 1994. An alternative possible origin of the mating type of *Phytophthora infestans* outside Mexico. *Phytopathology* **84**: 1224-1227.
- Koh, Y. J., Goodwin, S. B., Dyer, A. T., Cohen, B. A., Ogoshi, A., Sato, N. and Fry, W. E. 1994. Migrations and displacements of *Phytophthora infestans* populations in east Asian countries. *Phytopathology* **84**: 922-927.
- 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.
- Masago, H., Yoshikawa, M., Fukada, M. and Nakanishi, N. 1977. Selective inhibition of *Pythium* spp. on media for direct isolation of *Phytophthora* spp. from soils and plants. *Phytopathology* **67**: 425-428.
- 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.
- Polach, F. J. and Webster, R. K. 1972. Identification of strains and inheritance of pathogenicity in *Phytophthora capsici*. *Phytopathology* **62**: 20-26.
- Ristaino, J. B. 1990. Intraspecific variation among isolates of *Phytophthora capsici* from pepper and cucurbit fields 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., Brennenman, 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. 127 p.
- Spielman, L. J., Drenth, A., Davidse, L. C., Sujkowski, L. J., Gu, W. K., Tooley, P. W. and Fry, W. E. 1991. A second worldwide migration and population displacement of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathol.* **40**: 422-430.