

Research Report

Podosphaera xanthii Race 1에 대한 박과 작물의 저항성이지현¹, 장경수¹, 이원정^{1,2}, 최용호¹, 최경자^{1*}¹한국화학연구원 바이오화학연구센터²충북대학교 식물의학과Resistance of Cucurbits to *Podosphaera xanthii* Race 1Ji Hyun Lee¹, Kyoung Soo Jang¹, Won Jeong Lee^{1,2}, Yong Ho Choi¹, and Gyung Ja Choi^{1*}¹Research Center for Biobased Chemistry, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-600, Korea²Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life Science and Environment, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract: This study was conducted to establish an efficient screening method to identify cucurbits resistant to powdery mildew. Powdery mildew fungus was obtained from a single lesion of infected cucumber leaf in 2010 at Daejeon. The fungus was identified as *Podosphaera xanthii* race 1 based on morphological characteristics and resistance responses of four melon differentials. Development of powdery mildew caused by the fungal isolate on 34 commercial cultivars of cucumber was investigated at three plant growth stages in a greenhouse. The degree of resistance of cotyledons of each cultivar to the fungus was not correlated with that of whole plant, but powdery mildew occurrence in the first true leaf was highly correlated with resistance at the level of the whole plant. Based on these results, the first true leaf of cucurbit cultivars can be used for screening of resistance to powdery mildew. In addition, variation of resistance of commercial 12 cucumber and 26 melon cultivars to the powdery mildew fungus due to different growing seasons was tested. In the case of cucumber, the resistance response in some cultivars was influenced by growing season. The resistant cultivars showed higher resistance in the warm season than in the cool season. By contrast, the resistant melon cultivars demonstrated strong resistance in all the tested growing seasons. Interestingly, the tested powdery mildew pathogen, a member of *P. xanthii* race 1, was not pathogenic on seven cultivars of watermelon (*Citrullus lanatus*). To follow up on this, diverse race 1 isolates of *P. xanthii* should be collected and tested.

Additional key words: breeding, cucumber, melon, powdery mildew, resistance screening

서 언

박과 작물은 멜론(*Cucumis melo*), 오이(*Cucumis sativus*), 호박(*Cucurbita* spp.), 박(*Lagenaria* spp., *Luffa* spp., *Cucurbita* spp.) 및 수박(*Citrullus lanatus*) 등이 있으며, 이들에 발생하는 흰가루병(powdery mildew)은 노지보다 온실에서 많이 발생하여 큰 피해를 입히고 있다(Sitterly, 1978; Tetteh et al., 2013). 박과 작물 흰가루병은 잎, 엽병, 그리고 줄기 등에 발

생하며, 흰색 또는 회백색을 띠는 분말 모양의 특징적인 병징을 나타내므로 동정이 쉬운 병이다(McGrath and Thomas, 1996). 흰가루병에 걸리면 1차적으로 광합성이 억제되고 심하면 감염된 부위가 빠르게 노화되고 시들어 고사까지 이른다(Zitter, 1996). 박과 작물에 발생하는 흰가루병은 세 가지의 흰가루병균 *Podosphaera xanthii*(syn. *Sphaerotheca fuliginea*), *Golovinomyces cucurbitacearum*(syn. *Erysiphe cichoracearum*), 그리고 *Golovinomyces rotini*(syn. *E. cichoracearum*)에 의해 생

*Corresponding author: kjchoi@kriict.re.kr

※ Received 20 February 2014; Revised 11 April 2014; Accepted 8 June 2014. 본 연구는 농림수산식품부 생명산업기술개발사업의 채소병리검정지원사업단(과제번호: 609002-5호)와 농림축산식품부·해양수산부·농촌진흥청·산림청 Golden Seed 프로젝트 사업(과제번호: 213002-04-2-SBZ10)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

기며, 온대 기후의 지역에서는 *P. xanthii*가 가장 흔하게 발견되고 있다(Bertrand, 1991; Kenigsbuch and Cohen, 1992; Kooistra, 1968; Vakalounakis and Klironomou, 1995; Vakanoulakis et al., 1994). 흰가루병균(powdery mildew fungi)은 보리 흰가루병균(*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*)이나 밀 흰가루병균(*B. graminis* f. sp. *tritici*)처럼 한 종만 제한적으로 침입하기도 하지만, 많은 경우에 넓은 기주 범위를 가진다(Yarwood, 1978). *P. xanthii* 또한 다양한 박과 작물 종(species)에 흰가루병을 일으킨다고 알려져 있다(Bertrand, 1991).

병 저항성 품종 육성을 위한 저항성 검정을 위해서는 실험에 사용하는 병원균의 race 규명이 중요한데, 오이에서는 다양한 physiological race들이 보고되어 있으나 정립되어 있지 않아 육종에 이용하기 어렵다. 따라서 박과 작물의 흰가루병에서 *P. xanthii*의 race는 주로 멜론 품종을 이용하여 race를 결정하고 있다(Kuzuya et al., 2006). 프랑스에서 8개의 다른 멜론 품종('Vedrantais', 'PMR 45', 'WMR 29', 'Edisto 47', 'PI 414723', 'PMR 5', 'PI 124112' 및 'MR-1')의 반응을 토대로 7개의 레이스가 구별되었다(Bardin et al., 1999). 그리고 일본과 Czech Republic에서 추가적인 race가 보고되었다(Hosoya et al., 1999, 2000; Kristková et al., 2004). 그리고 최근 McCreight(2006)는 32개의 멜론 품종을 이용하여 28개의 race를 보고하였다. 이들 방법에 따른 race 판별은 보고는 되어 있으나, 이용하기에 너무 복잡하여 일반적으로 미국 식물병리학회에서 발간하는 'Compendium of Cucurbit Disease'에 실린 방법에 따라 4개('Topmark', 'PMR 45', 'PMR 6', 'MR-1')의 멜론 품종을 이용하여 race 1, 2, 3으로 구분하는 방법을 널리 사용하고 있다(McGrath and Thomas, 1996).

박과 작물의 흰가루병 방제를 위해서는 살균제 처리와 저항성 품종의 재배 방법을 주로 사용하고 있다(Cohen and Cohen, 1986; Khadar and Abdou, 1972; Sitterly, 1978). 예방적으로 살균제를 처리하는 것이 일반적이나(Perchepied et al., 2005), 최근에 특이적인 작용점을 가지는 살균제가 많이 개발되어 널리 사용되고 있는데, 이는 약제 저항성 흰가루병균의 발달을 촉진하는 위험성을 가지고 있다(McGrath, 2001a). 일부 살균제의 경우에는 이미 저항성이 생겨 큰 방제 효과를 기대하기 어려운 상황이다(Grigoriu and Georgopoulos, 1984; Hollomon and Wheeler, 2002; Katan, 1982). 따라서 농가에서는 경제적이고 환경친화적 방제 방법인 저항성 품종의 재배를 선호하고 있다.

*P. xanthii*에 대한 저항성 품종 육종과 유전에 관한 많은

연구가 진행되어 왔다(Bardin et al., 1997). 오이에서는 일찍부터 흰가루병 저항성 품종 'Puerto Rico 37'(Smith, 1948)과 'SC-50'(Barnes and Epps, 1956) 등이 개발되었다. 그리고 멜론의 경우에도 단일 우성 저항성 유전자를 가지는 'PMR 45' 품종과 여러 우성, 열성 그리고 미동 유전자의 다양한 조합을 가진 품종들이 개발되었다(Kenigsbuch and Cohen, 1992). 더 나아가 다양한 박과 작물에서 흰가루병 저항성 유전자나 저항성 메커니즘에 관한 연구가 진행되고 있다(Cohen et al., 1993; Zijlstra et al., 1995). 한편 환경적 그리고 경제적 요구로 상업적인 저항성 품종의 필요성이 강조되어 흰가루병 저항성 품종을 개발하기 위한 연구들이 진행되고 있으나, 결과를 신뢰할 수 있고 최소의 개체수로 효율적으로 저항성 개체를 선발하는 것은 내병성 육종에서 여전히 어려운 부분이다(Cohen and Eyal, 1995). 이를 위해서는 흰가루병균 *P. xanthii*의 저항성 특성에 대한 이해와 신속하면서도 안정적인 흰가루병 저항성 검정 방법의 확립이 반드시 필요하다.

본 연구는 박과 작물 흰가루병의 효율적인 저항성 검정 방법을 확립하기 위하여 *P. xanthii* race 1에 대한 박과 작물의 저항성 특성을 조사하였다. 2010년에 대전의 오이 비닐 하우스로부터 채집한 흰가루병균을 동정하고 race를 결정하였다. 그리고 이 균주를 이용하여 시판 중인 오이 34개 품종의 생육 시기에 따른 저항성 차이를 조사하였고, 그리고 선발된 12개 오이 품종과 멜론 27개 품종의 재배 시기에 따른 흰가루병에 대한 저항성 변이를 확인하였다. 그리고 이 흰가루병균의 7개 수박 품종에 대한 병원성을 조사하였다.

재료 및 방법

흰가루병균의 분리 및 동정

대전 지역의 온실에서 흰가루병이 발생한 잎을 채집하여 잎에 형성된 단일 병반으로부터 흰가루병균의 포자를 분리하고 이들을 2엽기의 오이 유묘('백미백다다기', 동부팜한농)에 접종하여 흰가루병균을 증식하였다. 분리한 흰가루병균은 광학현미경 하에서 분생포자 100개의 크기, 색, 모양 등의 형태학적인 관찰(Shin and La, 1993; Vakalounakis et al., 1994)과 분자생물학적인 방법으로 동정하였다. 분자생물학적 동정을 위해 ribosomal DNA(rDNA)의 ITS(internal transcribed spacer) 영역의 염기서열을 2개의 primer ITS1(5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3')과 ITS4(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')를 사용하여 PCR로 증폭시켰다.

PCR은 95°C에서 5분간 initial denaturation을 실시한 후에 denaturation 95°C/30초, annealing 52°C/30초, extension 72°C/50초로 35 cycle을 수행하고 마지막으로 final extension을 72°C에서 10분간 처리하였다. 증폭된 산물을 agarose gel-electrophoresis를 통해 밴드를 확인 후 확인된 밴드를 Expin gel kit(GeneAll BioTechnology, Korea)로 정제하였고, pLUG-Prime[®] TA-cloning vector kit(iNtRON BioTechnology, Korea)를 사용하여 클로닝한 후 M13 Forward Primer(5'-GTTTTC CCAGTCACGAC-3')를 이용하여 DNA Engine Tetrad 2 peltier thermal cycler(Bio-Rad, USA)로 PCR 반응을 수행하고 ABI Prism 3730xl Analyzer 96 capillary type(Applied Biosystems, USA)을 사용하여 염기서열 분석결과를 얻었다. 그리고 이 염기서열을 BLAST search에 의해 GenBank에 등록된 ITS 영역의 염기서열과 비교하였다.

분리한 흰가루병균은 한 달에 한 번씩 2엽기 오이 유묘(‘백미백다다기’)에 접종하고 온실(20 ± 5°C)에서 11-12엽기까지 재배하는 방법으로 흰가루병균을 증식하면서 이를 실험에 사용하였다.

식물체 준비 및 발병

분리한 흰가루병균의 race를 결정하기 위하여, 플라스틱 포트(직경 5cm, 토양 90mL)에 원예용상토 5호(부농사)를 넣고 판별 품종 ‘Topmark’, ‘PMR 45’, ‘PMR 6’ 및 ‘MR-1’의 종자를 포트 당 1립씩 파종하였다(McGrath and Thomas, 1996). 그리고 온실(20 ± 5°C)에서 2주 동안 재배한 후에 멜론 유묘를 새로운 포트(직경 9cm, 토양 400mL)에 원예용상토 5호(부농사)를 넣고 이식하고 재배하였다. 그리고 준비한 이병 식물체를 실험하고자 하는 식물 주변에 배치하고 재배하여 흰가루병균이 공기전염 하여 접종되도록 하였다. 그리고 흰가루병 발생을 촉진하기 위하여 병조사할 때까지 잎에 물이 묻지 않도록 토양에만 수분을 공급하면서 재배하였다(Agrios, 2005).

식물 생육시기에 따른 오이 34개 품종의 저항성 차이를 조사하기 위하여 종자회사에서 흰가루병(powdery mildew) 저항성으로 공시한 5개 품종(‘네박자’, ‘미인백다다기’, ‘싱싱백다다기’, ‘아시아스트라이크’, ‘하늘백다다기’)과 저항성으로 공시하지 않은 일반 품종 29개 품종(‘계대백과’, ‘구월반백’, ‘글로리삼척’, ‘낙동청장’, ‘노다지백다다기’, ‘녹야청청’, ‘대전’, ‘러스보이’, ‘맛사지맛짱’, ‘미니사엽’, ‘백미백다다기’, ‘백침맛짱’, ‘신세대’, ‘신정품’, ‘아시아노각’, ‘은천백다다기’, ‘아시아청장’, ‘오대백다다기’, ‘오복자’, ‘월하

삼척’, ‘웰빙맛짱’, ‘은미에스’, ‘정선삼척’, ‘중복삼척’, ‘청록맛짱’, ‘청화흑진주’, ‘한성백다다기’, ‘호동청장’, ‘흑룡삼척’)의 종자를 시중에서 구입하여 앞에서와 같은 방법으로 식물체를 준비하고 흰가루병균을 접종하여 실험하였다.

그리고 재배 시기에 따른 흰가루병 저항성 변화를 조사하고자 종자회사에서 흰가루병에 대한 저항성을 공시한 오이 6개 품종(‘드레곤삼척’, ‘네박자’, ‘미인백다다기’, ‘싱싱백다다기’, ‘아시아스트라이크’, ‘하늘백다다기’)과 저항성을 공시하지 않았으나 본 연구에서 *P. xanthii* race 1에 대해 띄웠 혹은 본엽에서 저항성을 보인 6개 오이 품종(‘중복삼척’, ‘흑룡삼척’, ‘러스보이’, ‘구월반백’, ‘정선삼척’ 및 ‘청화흑진주’) 총 12개 오이 품종을 실험에 사용하였다. 이들 오이 품종들은 4개의 재배 시기에 즉, 2010년 11월 5일, 2011년 1월 20일, 2011년 3월 10일 및 2011년 5월 24일에 각각 앞에서와 같은 방법으로 파종하고 흰가루병이 발생하도록 재배하였다.

또 재배 시기에 따른 멜론의 흰가루병 저항성 변화를 조사하고자 종자회사에서 흰가루병 저항성으로 공시한 10개 품종(‘얼스해피’, ‘베타리치’, ‘E. 울트라’, ‘문수’, ‘세지오케이’, ‘얼스킹’, ‘JJ원탑’, ‘레드퀸’, ‘얼스VIP’, ‘썸머쿨’)과 일반 품종 16개(‘얼스골드킹’, ‘레이소루’, ‘슈퍼세지’, ‘아시아백금’, ‘아시아성하’, ‘아시아파파야’, ‘아시아황금’, ‘아시아조춘만추’, ‘얼룩파파야’, ‘얼스마운트하계’, ‘얼스엘리제’, ‘얼스엘리트’, ‘얼스탑원’, ‘얼스파티’, ‘입춘대길’, ‘장춘FR 파파이야’) 총 26개 품종을 3개의 재배 시기에 즉, 2010년 11월 19일, 2011년 2월 11일 및 2011년 4월 7일에 앞에서와 같은 방법으로 각 품종의 종자를 파종하고 흰가루병 발생을 유도하도록 재배하였다.

분리한 *P. xanthii* race 1 균주의 수박에 대한 병원성을 조사하고자 7개 수박 품종(‘서태자꿀’, ‘설강102’, ‘슈퍼골드’, ‘꼬꼬마’, ‘낙동꿀’, ‘웰빙’, ‘지존꿀’)을 구입하여 앞에서와 동일한 방법으로 포트에 파종하고 흰가루병이 발생하도록 관리하였다.

흰가루병 발생 조사(병조사) 시기를 결정하기 위하여 모든 실험에는 오이(‘백미백다다기’)를 대조구로 포함하여 실험하였다. 또한 다른 race의 흰가루병균 오염 여부를 확인하기 위하여 모든 실험에는 race 판별 품종 4개(‘Topmark’, ‘PMR 45’, ‘PMR 6’ 및 ‘MR-1’)를 포함하여 실험하였다.

흰가루병 발생 조사

병조사는 파종하고 24-46일 후에 대조구인 오이(‘백미백다다기’)에서 흰가루병이 충분히 발생하면 충분히 전개된 본

엽 및 떡잎을 대상으로 각각의 잎에 발생한 흰가루병 병반 면적율(%)을 달관조사하는 방법으로 하였다. 그리고 각 식물체의 발병도(disease severity, %)는 조사한 잎들의 병반면적율을 평균하여 계산하였으며, 각 식물체들의 발병도의 평균값을 각 품종의 평균 발병도로 나타내었다. 평균 발병도가 10% 이하인 경우에는 저항성, 11-35%는 중도저항성, 36% 이상은 감수성으로 판정하였다.

$$\text{발병도}(\%) = (\sum \text{조사한 잎의 병반면적율} / \text{조사한 잎 수})$$

재배 시기에 따른 오이와 멜론 품종들의 흰가루병 저항성 차이를 제외한 모든 실험은 8개체씩 2회 실시하였다.

결과 및 고찰

흰가루병균 동정 및 Race 검정

대전의 비닐하우스에서 흰색 분말 모양의 전형적인 흰가루병의 병징을 보이는 오이 잎을 채집하여 단일 병반으로부터 흰가루병균 포자를 분리하였다. 흰가루병균의 동정을 위해 광학현미경 하($\times 300$)에서 관찰한 결과, Vakalounakis et al.(1994)이 보고한 *P. xanthii*와 동일하게 무색 타원형이고 포자의 크기가 $34(24-39) \times 23(14-24)\mu\text{m}$ 이고 장경/단경의 비율이 1.48이었다. 그리고 ITS 영역의 염기서열(563bp)의 상동성을 BLAST를 통해 분석한 결과에서도 *P. xanthii* (accession no. AB774158)와 100% 일치하였다. 따라서 우리가 분리한 오이 흰가루병균은 *P. xanthii*(syn. *P. fuliginea*, *P. fusca*)임을 알 수 있었다.

박과 작물의 흰가루병균은 *P. xanthii*(syn. *S. fuliginea*), *G. cucurbitacearum*(syn. *E. cichoracearum*), 그리고 *G. rotini* (syn. *E. cichoracearum*)이 주요 병원균으로 보고되었다 (Vakalounakis and Klironomou, 1995, 2001). 미국에서는 주

로 *P. xanthii*에 의해 그리고 프랑스는 모두에 의해, 지중해 연안의 Crete는 *P. xanthii*에 의해 그리고 이스라엘은 *P. xanthii*에 의해서만 발생하고 있다(Bertrand et al., 1989; Cohen and Eyal, 1995; Thomas et al., 1984; Vakalounakis et al., 1994). 그리고 일본과 우리나라는 *P. xanthii*에 의해 주로 흰가루병이 발생한다고 보고되었다(Hosoya et al., 1999, 2000; Shin, 1994).

McGrath and Thomas(1996)의 방법에 따라 분리한 흰가루병균의 race를 규명하기 위하여 'Topmark', 'PMR 45', 'PMR 6' 및 'MR-1'를 사용하여 분리한 *P. xanthii*의 race를 조사한 결과, 'PMR 45'와 'PMR 6'은 모든 생육 시기에서 저항성 반응을 나타냈고, 'Topmark'는 떡잎뿐만 아니라 본엽에서도 높은 감수성을 보였다(Table 1). 이와 달리 'MR-1'은 떡잎에는 흰가루병이 발생하였으나, 4엽기와 6엽기의 본엽들에서는 흰가루병 병반이 형성되지 않았다(Table 1). 떡잎에서 나타나는 흰가루병에 대한 저항성 반응은 포장에서의 저항성과 반드시 일치하지 않는다는 Kooistra(1968)에 따라 본엽에서 저항성을 나타낸 'MR-1'은 이 흰가루병균에 대하여 저항성으로 판단되었다(Table 1). 멜론 품종을 이용한 흰가루병균의 race 분화에 대한 다양한 의견이 존재하나(Bardin et al., 1999; Hosoya et al., 1999, 2000; Kristková et al., 2004; McCreight, 2006), 많은 연구자들은 'PMR45'를 이용하여 race 1과 2를 구분하고 있다(del Pino et al., 2002; Hosoya et al., 1999; Jagger et al., 1938; Pitrat et al., 1998; Thomas et al., 1984). 그러므로 본 연구에 사용된 대전에서 분리한 박과 작물 흰가루병균은 McGrath and Thomas(1996)의 race 판별기준에 따라 race 1이라는 것을 알 수 있었다.

*P. xanthii*의 여러 race 중 race 1은 미국 동부지역에서 가장 흔하게 존재하는 주요한 흰가루병균으로 보고되었다 (McGrath and Thomas, 1996). 그리고 일본에서도 race 1이 우세하게 멜론 흰가루병을 일으킨다고 하였다(Takada et al.,

Table 1. Resistance of differential melon genotypes to *Podosphaera xanthii* at three growth stages of plant^z.

Cultivar	One-leaf stage	Four-leaf stage		Six-leaf stage			
	Cotyledone	1 st -leaf	2 nd -leaf	1 st -leaf	2 nd -leaf	3 rd -leaf	4 th -leaf
Topmark	100 ± 0.0 ^y	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	95 ± 0.0
PMR 45	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
PMR 6	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
MR-1	34 ± 15	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

^zDisease severity was measured by infected leaf area (%) at fully expanded leaves of each plant growth stage.

^yEach value represents the mean disease severity ± standard deviation of two runs with eight replications each.

1974, 1975). 이후 여러 race들이 계절에 따라 다르게 우점하긴 하지만, race 1에 의한 흰가루병이 여전히 많이 발생하고 있다(Hosoya et al., 1999). 우리나라 흰가루병균의 race에 관한 보고는 거의 없는 실정인데, 우리나라 종자회사에서는 race 1을 우점종으로 인식하고 있었으며 본 연구에서 분리한 흰가루병균도 race 1이므로 국내에서 우점종이 race 1일 수도 있으나 이는 지역별로 많은 균주를 채집하여 확인하는 것이 필요하다.

생육 시기에 따른 흰가루병 발생

흰가루병 저항성 검정에 가장 적합한 생육 시기를 결정하고자 오이 39개 품종의 *P. xanthii* race 1에 대한 저항성 정도를 1엽기 오이의 떡잎, 4엽기 오이의 1과 2엽 그리고 6엽기 오이의 1-4엽의 흰가루병 발생을 조사하였다. 오이 39개 품종은 오이용 대목 품종이 5개, 종자회사에서 흰가루병 저항성 품종으로 공시하고 있는 5개 품종 그리고 일반 품종 29개가 포함되었다(Table 2). 흰가루병 저항성 품종으로 공시된 5개 품종 중 ‘네박자’를 제외한 나머지 4개 품종은 떡잎과 본엽 모두에서 감수성 품종과 유사한 정도의 높은 흰가루병 발생을 보였다. 그리고 ‘네박자’는 *P. xanthii* race 1에 대하여 1엽기의 떡잎에서는 저항성 반응을 보였으나 4엽기와 6엽기의 본엽에서는 높은 감수성을 보였다(Table 2).

한편, 저항성 품종으로 공시하지 않은 29개 품종 중 ‘중복삼척’와 ‘리스보이’는 떡잎(1엽기)과 본엽(4엽기와 6엽기)이 유사하게 저항성을 나타냈다(Fig. 1). 그러나 ‘흑룡삼척’과 ‘정선삼척’은 떡잎에서는 감수성을 나타냈으나 4엽기와 6엽기의 본엽에서는 저항성을 보였다. 이와 달리 ‘구월백반’과

‘청화흑진주’는 1엽기의 떡잎에서는 저항성을 보였으나, 4엽기와 6엽기에서는 감수성을 보였다. 따라서 오이 품종의 흰가루병 저항성을 떡잎을 사용하여 검정하는 것은 많은 오류를 낳을 것이라 생각되었다.

오이 39개 품종의 떡잎의 흰가루병에 대한 저항성이 본엽과 차이를 보이는 것과 달리, 4엽기와 6엽기 오이에서 본엽 1엽의 흰가루병 저항성은 거의 대부분의 품종에서 식물체 전체의 흰가루병 저항성 정도와 상당히 유사하였다(Table 2). 그리고 각 오이 품종의 *P. xanthii* race 1에 대한 저항성은 4엽기와 6엽기 식물간에 거의 차이가 없었다(Table 2).

Cohen and Eyal(1995)는 *P. xanthii* race 1에 대해 멜론의 떡잎 시기에서 떡잎이 저항성일 경우에는 식물체가 2엽기 혹은 포장에서 성숙한 생육 시기가 되어도 강한 저항성을 나타내고, 떡잎이 감수성이면 이후 식물이 성장함에 따라 저항성 혹은 감수성으로 나뉘게 된다고 보고하였다. 따라서 떡잎에서 저항성이면 저항성으로 간주하고, 떡잎이 감수성인 식물체는 2엽기까지 조사한 후에 결정하는 것이 필요하다고 하였다. 하지만 본 연구에서 오이의 경우에는 멜론과 달리 오이 품종에 따라 떡잎에서 저항성인 것이 본엽에서 감수성 반응을 보이거나 반대로 떡잎은 감수성인데 나중에 자란 본엽은 저항성을 보이는 등 여러 가지의 경우가 존재하였다(Table 2). 하지만 본엽 1엽의 저항성은 유묘가 성장하여도 크게 달라지지 않았다.

그리고 Table 1의 멜론에서도 떡잎의 저항성은 변하나 본엽 1엽의 저항성 변하지 않았다. 따라서 병리검정의 효율성을 고려할 때 박과 작물의 흰가루병은 각 품종의 본엽 1엽의 흰가루병 발생을 조사하여 저항성을 검정하는 것이 바람직할 것이라 생각되었다.

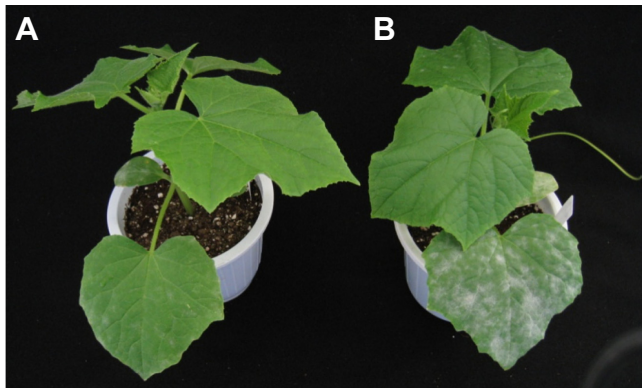


Fig. 1. Resistance responses of two cucumber cultivars to *Podosphaera xanthii* (PM) race 1 at four-leaf stage. A, ‘Russboy’, resistant to PM; B, ‘Nagdongcheongjang’, susceptible to PM.

재배 시기에 따른 오이 및 멜론 품종들의 저항성 차이

재배 시기에 따른 오이 품종들의 흰가루병 저항성 차이를 조사하고자, Table 1의 결과로부터 종자회사에서 일반품종으로 공시하고 있으나 떡잎이나 본엽에서 저항성을 나타낸 6개 품종(‘중복삼척’, ‘흑룡삼척’, ‘리스보이’, ‘구월백반’, ‘정선삼척’ 및 ‘청화흑진주’)과 종자회사에서 저항성으로 공시한 6개 품종(‘드레곤삼척’, ‘네박자’, ‘미인백다다기’, ‘싱싱백다다기’, ‘아시아스트라이크’, ‘하늘백다다기’)의 재배 시기를 달리하여 *P. xanthii* race 1에 의한 흰가루병 발생을 조사하였다. 일반 품종 중 ‘정선삼척’은 11-12월, 1-3월, 3-4월, 5-6월에 각각 21, 67, 30, 8.8%의 병반면적율을 보여 겨울로 감에 따라 재배 온도가 점차 낮아짐에 따라 저항성이 감소

Table 2. Development of powdery mildew on 34 cucumber cultivars caused by *Podosphaera xanthii* race 1 at three growth stages of seedlings^z.

Cultivar	Trait ^y	One-leaf stage	Four-leaf stage		Six-leaf stage	
		Cotyledon	1 st leaf	Whole plant ^x	1 st leaf	Whole plant ^w
Jungboksamcheok		10 ± 5.8 ^v	11 ± 7.8	8.5 ± 4.3	8.0 ± 4.7	8.6 ± 6.0
Russboy		18 ± 9.1	26 ± 8.9	21 ± 3.7	58 ± 11	56 ± 6.0
Heukryongsamcheok		70 ± 0.0	22 ± 13	18 ± 6.6	66 ± 31	31 ± 13
Jeongseonsamcheok		60 ± 0.0	20 ± 20	14 ± 9.3	28 ± 22	21 ± 2.6
Asiastrike	R	62 ± 8.4	58 ± 19	63 ± 17	100 ± 0.0	98 ± 1.0
Cheonghwaheukjinju		6.2 ± 2.9	56 ± 21	52 ± 8.4	78 ± 11	72 ± 14
Guwolbanbaek		34 ± 5.5	76 ± 11	45 ± 7.8	100 ± 0.0	71 ± 11
Nebakja	R	13 ± 5.7	78 ± 11	79 ± 8.2	73 ± 12	82 ± 6.8
Glorysamcheok		50 ± 10	86 ± 5.5	74 ± 2.2	83 ± 14	66 ± 2.5
Ohdaebaekdadagi		40 ± 12	92 ± 2.7	85 ± 7.3	100 ± 0.0	89 ± 12
Daeseon		36 ± 13	92 ± 2.7	78 ± 6.0	100 ± 0.0	88 ± 9.9
EunmiS		42 ± 8.4	92 ± 2.7	83 ± 7.3	100 ± 0.0	91 ± 10
Nodagibaekdadagi		52 ± 8.4	95 ± 0.0	79 ± 8.2	100 ± 0.0	90 ± 6.0
Hodongcheongjang		66 ± 8.9	95 ± 0.0	85 ± 4.5	100 ± 0.0	95 ± 3.0
Massagemasjjang		46 ± 15	95 ± 0.0	85 ± 2.5	100 ± 0.0	97 ± 1.4
Asiacheongjang		64 ± 5.5	95 ± 0.0	75 ± 6.7	100 ± 0.0	86 ± 5.1
Baekmibaekdadagi		68 ± 4.5	95 ± 0.0	81 ± 3.4	100 ± 0.0	95 ± 2.7
Baekchimasjjang		47 ± 5.5	93 ± 2.7	74 ± 4.5	100 ± 0.0	94 ± 0.7
Nogyacheongcheong		60 ± 8.2	94 ± 2.5	82 ± 36	100 ± 0.0	92 ± 41
Hansungbaekdadagi		54 ± 8.9	94 ± 4.2	81 ± 4.5	100 ± 0.0	95 ± 4.2
Wellbeingmasjjang		54 ± 8.9	96 ± 2.2	84 ± 8.2	100 ± 0.0	96 ± 2.6
Sinjeongpum		68 ± 4.5	96 ± 2.2	87 ± 4.5	100 ± 0.0	94 ± 3.5
Cheongnogmasjjang		68 ± 8.4	97 ± 2.7	88 ± 2.1	100 ± 0.0	94 ± 2.1
Gyedaebaekgwa		76 ± 5.5	97 ± 2.7	57 ± 2.9	100 ± 0.0	69 ± 4.2
Nagdongcheongjang		68 ± 4.5	97 ± 2.7	88 ± 3.1	100 ± 0.0	95 ± 3.8
Miinbaekdadagi	R	54 ± 8.9	97 ± 2.7	83 ± 4.0	100 ± 0.0	91 ± 5.4
Minisayop		100 ± 0.0	100 ± 0.0	95 ± 2.7	100 ± 0.0	97 ± 1.1
Ohbokja		78 ± 4.5	96 ± 4.2	81 ± 11	100 ± 0.0	84 ± 6.5
Sinsedae		68 ± 4.5	98 ± 2.7	87 ± 7.2	100 ± 0.0	100 ± 0.0
Singsingbaekdadagi	R	70 ± 0.0	98 ± 2.7	94 ± 4.2	100 ± 0.0	93 ± 4.4
Haneulbaekdadagi	R	62 ± 4.5	98 ± 2.7	84 ± 6.3	100 ± 0.0	93 ± 3.4
Euncheonbaekdadagi		65 ± 11	99 ± 2.7	82 ± 8.0	100 ± 0.0	83 ± 10
Wolhasamcheok		82 ± 4.5	89 ± 16	78 ± 11	100 ± 0.0	75 ± 5.9
Asianogak		58 ± 4.5	82 ± 23	73 ± 22	100 ± 0.0	88 ± 21

^zDisease severity was measured by infected leaf area (%) at fully expanded leaves of each plant growth stage.^yR, Commercial cultivar described as resistance to powdery mildew by seed company.^xDisease severity of 1st to 2nd leaves of each seedling was investigated.^wDisease severity of 1st to 4th leaves of each seedling was investigated.^vEach value represents the mean disease severity ± standard deviation of two runs with eight replications each.

하다가 봄이 오면서 점차 재배 온도가 올라감에 따라 다시 저항성이 증가하였다(Table 3). 그리고 ‘중복삼척’과 ‘청화흑진주’는 ‘정선삼척’과 마찬가지로 재배 시기에 따라 *P. xanthii* race 1에 대해 저항성에 차이를 보였다. 그러나 재배 시기에 관계없이 ‘러스보이’는 중도저항성을, 그리고 ‘흑룡삼척’과 ‘구월반백’은 감수성을 보였다.

그리고 저항성으로 판매하고 있는 6개 품종 중 ‘드래곤삼척’은 11-12월, 1-3월, 3-4월, 5-6월에 각각 4.5, 57, 22, 8.8%의 병반면적율을 보여 ‘정선삼척’과 마찬가지로 온도가 올라감에 따라 저항성은 증가하였다. 그리고 ‘네박자’는 11-12월, 1-3월 및 3-4월에는 저항성을 나타내지 않았으나 5-6월에는 중도저항성을 보였다(Table 3). 하지만 나머지 4개 품종은 재배 시기에 관계없이 *P. xanthii* race 1에 대하여 저항성을 나타내지 않았다. 이는 이들 품종이 race 1에 대한 저항성이 아닌 다른 race에 저항성인 품종이기 때문으로 생각되었다.

*P. xanthii*가 주요 원인균인 박과 작물 흰가루병은 따뜻한

시기에 더 빠르게 진행하며 특히, 기온이 20°C 이상으로 상승하면 많이 발생하는 병으로 알려져 있다(Cho et al., 2009; McGrath and Thomas, 1996). 그런데 낮은 온도(15-20°C)에서 감수성, 높은 온도(25-30°C)에서는 저항성을 나타내는 것처럼 온도에 민감한 저항성을 보이는 오이와 멜론 품종들이 지속적으로 보고되면서(Morishita et al., 2003; Pérez-García et al., 2001), 흰가루병 저항성과 온도와의 관계에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구에서 실험한 오이 품종 중 온도가 올라감에 따라 저항성이 증가하는 것이 다수 있었다(Table 3). 이는 Morishita et al.(2003)이 오이 품종들 중 일부는 온도에 상관없이 항상 저항성을 나타내며 또 일부는 낮은 온도에서는 감수성을 높은 온도에서는 저항성을 나타낸다고 보고한 것과 일치하는 결과이다.

오이에서와 마찬가지로 재배 시기에 따른 멜론 품종들의 흰가루병 저항성 차이를 조사하고자, 흰가루병 저항성으로 공시된 멜론 11개 품종과 일반 품종 16개 품종, 총 27개 품종의 3개 재배시기(11-1월, 2-3월, 4-5월)에 따른 흰가루병

Table 3. Development of powdery mildew on 12 cucumber cultivars caused by *Podosphaera xanthii* race1 in a greenhouse during four growing seasons².

Cultivar	Trait ^y	Nov. 5 - Dec. 16, 2010		Jan. 20 - March 2, 2011		March 10 - April 18, 2011		May 24 - June 27, 2011	
		1 st -leaf	Whole plant ^x	1 st -leaf	Whole plant ^x	1 st -leaf	Whole plant ^x	1 st -leaf	Whole plant ^x
Dragonsamcheok	R	15 ± 0.0 ^w	4.5 ± 0.7	73 ± 10	57 ± 5.8	60 ± 21	22 ± 10	11 ± 4.3	6.0 ± 2.0
Nebakja	R	73 ± 12	82 ± 6.8	97 ± 2.6	89 ± 4.8	79 ± 11	79 ± 13	53 ± 15	46 ± 9.0
Jungboksamcheok		8.0 ± 4.7	8.6 ± 6.0	28 ± 15	37 ± 9.8	73 ± 16	71 ± 7.7	17 ± 14	12 ± 8.0
Russboy		58 ± 11	56 ± 6.0	74 ± 24	55 ± 17	61 ± 13	53 ± 8.2	49 ± 17	39 ± 11
Jeongseonsamcheok		28 ± 22	21 ± 4.0	94 ± 1.8	67 ± 5.2	63 ± 20	30 ± 11	10 ± 6.4	8.8 ± 5.4
Cheonghwaheukjinju		78 ± 11	72 ± 14	95 ± 0.0	83 ± 6.5	43 ± 7.1	24 ± 6.5	38 ± 15	27 ± 9.3
Mean		43 ± 5.6	40 ± 2.3	77 ± 4.4	65 ± 2.8	63 ± 6.1	47 ± 4.8	30 ± 5.2	23 ± 3.1
Asiastrike	R	100 ± 0.0 ^v	98 ± 1.0	100 ± 0.0	76 ± 6.6	100 ± 0.0	98 ± 1.3	73 ± 7.1	57 ± 8.4
Miinbaekdadagi	R	100 ± 0.0	91 ± 5.4	100 ± 0.0	96 ± 2.2	100 ± 0.0	93 ± 3.3	96 ± 4.2	78 ± 8.0
Singsingbaekdadagi	R	100 ± 0.0	93 ± 4.4	100 ± 0.0	97 ± 0.4	100 ± 0.0	98 ± 0.6	98 ± 2.7	79 ± 6.7
Haneulbaekdadagi	R	100 ± 0.0	93 ± 3.4	100 ± 0.0	97 ± 0.4	100 ± 0.0	98 ± 0.6	99 ± 1.8	87 ± 4.3
Heukryongsamcheok		66 ± 31	31 ± 13	99 ± 2.3	90 ± 4.4	100 ± 0.0	86 ± 4.5	79 ± 8.3	56 ± 8.2
Guwolbanbaek		100 ± 0.0	71 ± 11	100 ± 0.0	77 ± 10	100 ± 0.0	84 ± 5.9	98 ± 2.7	59 ± 5.6
Mean		94 ± 5.2	80 ± 5.3	100 ± 0.4	89 ± 2.1	100 ± 0.0	93 ± 1.5	90 ± 1.8	72 ± 3.3

²Disease severity was measured by infected leaf area (%).

^yR, Commercial cultivar described as resistance to powdery mildew by seed company.

^xDisease severity of 1st to 4th leaves of each seedling was investigated.

^wDisease severity of 1st to 3rd leaves of each seedling was investigated.

^vEach value represents the mean disease severity ± standard deviation of eight replicates.

발생을 조사하여 저항성 변이를 조사한 결과, 흰가루병 저항성으로 공시된 10개 중 5개 품종(‘얼스해피’, ‘베타리치’, ‘E. 울트라’, ‘문수’, ‘세지오케이’)은 모든 재배 시기에서 고도의 저항성을 보였다(Table 4). 그리고 ‘JJ원탑’과 ‘얼스VIP’는 모든 재배 시기에서 약간의 저항성을 나타냈다. 나

머지 3개 저항성 품종은 실험한 모든 재배 시기에서 고도의 감수성을 보였다. 따라서 이들은 race 1이 아닌 다른 race에 대한 저항성 품종으로 생각되었다.

일반 멜론 품종 16개 중 ‘아시아조춘만추’는 11-1월, 2-3월 및 4-5월에 각각 44, 31, 10%의 병반면적율을 보여 재배

Table 4. Development of powdery mildew on 27 melon cultivars caused by *Podosphaera xanthii* race 1 in a greenhouse during three growing seasons^z.

Cultivar	Trait ^y	Nov. 19, 2010 - Jan. 4, 2011		Feb. 11, 2011 - Mar. 17, 2011		April 7, 2011 - May 20, 2011	
		1 st -leaf	Whole plant ^x	1 st -leaf	Whole plant	1 st -leaf	Whole plant
Earl'shappi	R	0.0 ± 0.0 ^w	0.0 ± 0.0	14 ± 32	5.6 ± 12	19 ± 31	7.5 ± 9.0
Betarich	R	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.6 ± 0.9	0.6 ± 0.4	3.3 ± 1.9	2.4 ± 0.9
E.ultra	R	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Munsu	R	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	2.5 ± 1.1	1.4 ± 0.4	3.5 ± 1.3	2.3 ± 0.6
Saegiokei	R	0.6 ± 0.9	0.3 ± 0.3	5.1 ± 2.4	2.8 ± 1.3	4.9 ± 4.3	3.4 ± 1.4
Asiajochunmanchu		95 ± 3.8	44 ± 3.8	79 ± 16	31 ± 8.8	29 ± 17	10 ± 4.7
Jjonetop	R	100 ± 0.0	67 ± 6.4	100 ± 0.0	77 ± 3.4	100 ± 0.0	49 ± 5.4
Earl'sVIP	R	100 ± 0.0	57 ± 3.8	100 ± 0.0	67 ± 5.1	96 ± 4.2	49 ± 6.5
Mean		37 ± 0.4	21 ± 1.0	38 ± 4.6	23 ± 2.0	32 ± 5.2	15 ± 2.3
Earl'sgoldking		100 ± 0.0	84 ± 4.8	100 ± 0.0	97 ± 1.9	100 ± 0.0	98 ± 1.2
Earl'sking	R	100 ± 0.0	89 ± 8.2	100 ± 0.0	100 ± 0.6	100 ± 0.0	99 ± 1.2
Superseji		100 ± 0.0	85 ± 3.6	100 ± 0.0	100 ± 0.4	100 ± 0.0	93 ± 2.5
Asiabeakgeum		100 ± 0.0	86 ± 3.3	100 ± 0.0	99 ± 0.9	100 ± 0.0	93 ± 3.3
Asiapapaya		100 ± 0.0	85 ± 5.2	100 ± 0.0	98 ± 2.2	100 ± 0.0	91 ± 8.9
Asiahwangguem		100 ± 0.0	86 ± 3.1	100 ± 0.0	98 ± 0.7	100 ± 0.0	95 ± 7.9
Eolrookpapaya		100 ± 0.0	92 ± 4.9	100 ± 0.0	99 ± 0.9	100 ± 0.0	95 ± 2.9
Earl'smounthagye		100 ± 0.0	84 ± 12	100 ± 0.0	99 ± 0.6	100 ± 0.0	99 ± 0.4
Earl'stopone		100 ± 0.0	79 ± 20	100 ± 0.0	94 ± 2.8	100 ± 0.0	97 ± 2.7
Ipchundaegil		100 ± 0.0	90 ± 5.9	100 ± 0.0	84 ± 6.1	94 ± 4.2	61 ± 8.4
JangchunFRpapaya		100 ± 0.0	98 ± 0.9	100 ± 0.0	99 ± 0.6	100 ± 0.0	98 ± 2.2
Redqueen	R	100 ± 0.0	95 ± 1.9	100 ± 0.0	99 ± 0.7	100 ± 0.0	91 ± 6.1
Earl'sparty		100 ± 0.0	86 ± 5.6	100 ± 0.0	97 ± 2.8	100 ± 0.0	86 ± 10
Earl'sellesse		100 ± 0.0	95 ± 3.6	100 ± 0.0	98 ± 0.9	100 ± 0.0	95 ± 2.4
Earl'selite		100 ± 0.0	94 ± 2.4	100 ± 0.0	99 ± 0.0	100 ± 0.0	96 ± 3.7
Reisor		100 ± 0.0	84 ± 38	100 ± 0.0	97 ± 3.5	100 ± 0.0	96 ± 3.5
Asiaseongha		98 ± 2.6	70 ± 6.8	100 ± 0.0	74 ± 4.3	98 ± 3.7	56 ± 8.9
Summercool	R	99 ± 1.8	66 ± 3.7	100 ± 0.0	74 ± 4.1	100 ± 0.0	83 ± 9.4
Mean		100 ± 0.2	84 ± 3.6	100 ± 0.0	95 ± 0.3	100 ± 0.3	90 ± 2.0

^zDisease severity was measured by infected leaf area (%).

^yR, Commercial cultivar described as resistance to powdery mildew by seed company.

^xDisease severity of 1st to 4th leaves of each seedling was investigated.

^wEach value represents the mean disease severity ± standard deviation of eight replicates.

시기에 따라 저항성 차이가 있었다(Table 4). 하지만 나머지 15개 품종들은 실험한 모든 시기에서 높은 감수성을 보였다(Table 4). 따라서 실험한 멜론 품종 중 오이에서와 같은 정도로 온도에 민감한 저항성 품종은 없었으며, *P. xanthii* race 1에 대하여 고도의 저항성을 보인 5개 멜론 품종들은 재배 시기에 관계없이 항상 높은 저항성을 발현한다는 것을 알 수 있었다.

그리고 재배 시기에 따른 오이 12개와 멜론 27개 품종의 흰가루병 저항성 차이에서도 6엽기 식물의 1엽의 저항성 반응은 잎이 충분히 전개된 1-4엽의 평균 병반면적율을 기준으로 한 저항성 반응과 거의 차이가 없음을 알 수 있었다(Tables 3 and 4). 따라서 오이뿐만 아니라 멜론에서도 본엽 1엽의 흰가루병 저항성이 전체 식물체의 저항성을 나타낼 수 있음이 다시 확인되었다.

수박 품종들에 대한 병원성

시판 중인 수박(*C. lantus*) 7개 품종에 대한 *P. xanthii* race 1의 병원성을 조사한 결과, 7개 수박 품종 모두에서 흰가루병이 전혀 발생하지 않았다. 하지만 대조 품종으로 실험한 오이(‘백미백다다기’)에서는 1엽이 96%의 병반면적율을 그리고 식물체 전체로는 69%의 병반면적율을 보여 흰가루병이 충분히 발생할 수 있는 조건으로 판단되었다. 따라서 대전에서 분리한 *P. xanthii* race 1 균주는 수박에 비병원성임을 알 수 있었다.

수박은 흰가루병에 대한 저항성 작물로 여겨진 적도 있으나(Robinson and Provvidenti, 1975), 십 수년 전부터 미국과 세계 여러 나라에서 수박 흰가루병이 대발생하였다(Davis et al., 2001; Keinath, 2000; McGrath, 2001a; Tetteh et al., 2013). 본 연구의 *P. xanthii* race 1 균주 또한 실험한 모든 수박 품종에 흰가루병을 일으키지 못하였다. 수박(*C. lantus*)은 race 1에는 저항성이고 race 2에는 감수성이라는 보고(Choen and Elyal, 1988; Cohen et al., 2000)와 마찬가지로 국내에서 분리한 *P. xanthii* race 1 또한 실험한 모든 수박 품종에 흰가루병을 일으키지 못하였다. 하지만 최근에 다양한 유전자형의 멜론 품종을 이용하여 수박에서 흰가루병을 일으키는 두 종의 race를 1W와 2W로 구분하고 있다(Davis et al., 2001, 2002; Keinath, 2000; McGrath, 2001b). 따라서 모든 *P. xanthii* race 1 균주가 *C. lantus*에 비병원성인지는 race 1 균주를 더 많이 확보하여 확인하는 것이 필요하다.

초 록

2010년 대전에서 채집한 흰가루병이 발생한 오이 잎의 단일 병반에서 흰가루병균을 분리하였고, 이 흰가루병균은 광학현미경 하에서의 형태학적 특성과 멜론 판별품종에서의 저항성 반응에 따라 *Podosphaera xanthii* race 1으로 동정되었다. 박과 작물 흰가루병에 대한 저항성 검정에 효율적인 생육시기를 결정하기 위하여, *P. xanthii* race 1에 대한 오이 품종들의 생육시기에 따른 저항성 차이를 조사하였다. 시판 중인 오이 34개 품종의 이 흰가루병균에 대한 저항성을 온실에서 3종류의 생육시기에서 실험한 결과, 떡잎에서의 저항성 반응은 본엽에서와 일치하지 않았으며, 본엽 1엽에서의 흰가루병 발생 정도는 식물 전체의 흰가루병 발생량과 높은 상관관계를 보였다. 따라서 본엽 1엽에 흰가루병이 충분히 발생하는 시기에 1엽만을 대상으로 저항성을 검정하는 것이 효율적이라 생각되었다. 또한, 박과 작물의 재배 시기에 따른 저항성 차이를 조사하기 위하여 오이 12개 품종을 4개의 재배 시기에 그리고 멜론 26개 품종을 3개의 재배 시기에 흰가루병 발생을 조사하였다. 오이 품종들 중 6개 품종은 재배 시기에 따라 흰가루병 저항성에 차이를 보였으며, 온도가 올라가면 저항성이 증가함을 알 수 있었다. 이와 달리 멜론 품종들은 실험한 품종 중 5개가 고도의 저항성을 보였으며, 이들의 흰가루병 저항성은 재배 시기에 따라 거의 차이를 나타내지 않았다. 한편, 대전에서 분리한 *P. xanthii* race 1 균주는 수박 7개 품종에 대하여 병원성을 나타내지 않았다. 하지만 모든 *P. xanthii* race 1 균주가 수박에 비병원성인지는 race 1 균주를 더 많이 확보하여 확인하는 것이 필요하다.

추가 주요어 : 육종, 오이, 멜론, 흰가루병, 저항성 검정

인용문헌

- Agrios, G.N. 2005. Environmental effects on the development of infectious plant disease, p. 251-262. In: Plant pathology. 5th ed. Academic Press Ltd., San Diego, CA, USA.
- Bardin, M., C. Dogimont, P. Nicot, and M. Pitrat. 1999. Genetic analysis of resistance of melon line PI 124112 to *Sphaerotheca fuliginea* and *Erysiphe cichoracearum* studied in recombinant inbred lines. Acta Hort. 492:163-168.
- Bardin, M., P.C. Nicot, P. Normand, and J.M. Lemaire. 1997. Virulence variation and DNA polymorphism in *Sphaerotheca*

- fuliginea*, causal agent of powdery mildew of cucurbits. Eur. J. Plant Pathol. 103:545-554.
- Barnes, W.C. and W.M. Epps. 1956. Powdery mildew resistance in South Carolina cucumbers. Plant Dis. Rptr. 40:1093.
- Bertrand, E. and M. Pitrat. 1989. Screening of a muskmelon germplasm for susceptibility to 5 pathogens of powdery mildew, p. 140-142. In: Proc. Cucurbitaceae 89: Evaluation and enhancement of cucurbit germplasm. Charleston, SC, USA.
- Bertrand, F. 1991. Powdery mildews of cucurbits: Pure culture, variability and study of susceptibility in the muskmelon species. PhD. Diss., Univ. of Paris XI, Orsay, France.
- Cho, M.C., Y.H. Om, Y.C. Huh, S.R. Cheong, D.H. Kim, and I.G. Mok. 2009. Breeding of powdery mildew resistant squash 'Kwangmyeong'. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27:332-335.
- Cohen, R., D. Leibovich, D. Shtienberg, and H.S. Paris. 1993. Variability in the reaction of zucchini (*Cucurbita pepo*) to inoculation with *Sphaerotheca fuliginea* and methodology of breeding for resistance. Plant Pathol. 42:510-516.
- Cohen, S. and Y. Cohen. 1986. Genetics and nature of resistance to race 2 of *Sphaerotheca fuliginea* in *Cucumis melo* PI 124111. Phytopathology 76:1165-1167.
- Cohen, Y. and H. Eyal. 1988. Pathogenicity of *Erysiphe cichoracearum* to cucurbits. Cucurbit Genet. Coop. Rep. 11:87-88.
- Cohen, Y., A. Baider, L. Petrov, L. Sheck, and V. Voloisky. 2000. Cross-infectivity of *Sphaerotheca fuliginea* to watermelon, melon, and cucumber. Acta Hort. 510:85-88.
- Cohen, Y. and H. Eyal. 1995. Differential expression of resistance to powdery mildew incited by race 1 or 2 of *Sphaerotheca fuliginea* in *Cucumis melo* genotypes at various stages of plant development. Phytoparasitica 23:223-230.
- Cohen, Y., A. Baider, L. Petrov, L. Sheck, and V. Voloisky. 2000. Cross-infectivity of *Sphaerotheca fuliginea* to watermelon, melon, and cucumber. Acta Hort. 510:85-88.
- Davis, A.R., B.D. Bruton, S.D. Pair, and C.E. Thomas. 2001. Powdery mildew: An emerging disease of watermelon in the United States. Cucurbit Genet. Coop. Rep. 24:42-48.
- Davis, A.R., C.E. Tomas, A. Levi, B.D. Bruton, and S.D. Pair. 2002. Watermelon resistance to powdery mildew race 1, p. 192-198. In: D.N. Maynard (ed.). Cucurbitaceae '02. ASHS Press, Alexandria, VA.
- del Pino, D., L. Olalla, A. Pérez-García, M.E. Rivera, S. García, R. Moreno, A. de Vicente, and J.A. Torés. 2002. Occurrence of races and pathotypes of cucurbit powdery mildew in southeastern Spain. Phytoparasitica 30:459-466.
- Grigoriu, A.C. and S.G. Georgopoulos. 1984. Measurement of the degree and extent of metalaxyl resistance of *Pseudoperonospora cubensis* in Greece. ISPP Chemical Control Newsl. 4:12-14.
- Hollomon, D.W. and I.E. Wheeler. 2002. Controlling powdery mildews with chemistry, p. 249-255. In: R.R. Bélanger, W.R. Bushnell, A.J. Dik, and T.L.W. Carver (eds.). The powdery mildews: A comprehensive treatise. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Hosoya, K., K. Narisawa, M. Pitrat, and H. Ezura. 1999. Race identification in powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) on melon (*Cucumis melo* L.) in Japan. Plant Breed. 118:259-262.
- Hosoya, K., M. Kuzuya, T. Murakami, K. Kato, K. Narisawa, and H. Ezura. 2000. Impact of the resistant melon cultivars on *Sphaerotheca fuliginea*. Plant Breed. 119:286-288.
- Jagger, I.C., T.W. Whitaker, and D.R. Porter. 1938. A new biotic form of powdery mildew on muskmelon in the Imperial Valley of California. Plant Dis. Rep. 22:275-276.
- Katan, T. 1982. Cross resistance of metalaxyl-resistant *Pseudoperonospora cubensis* to other acylalanine fungicides. Can. J. Plant Pathol. 4:387-388.
- Keinath, A.P. 2000. Effect of protectant fungicide application schedules on gummy stem blight epidemics and marketable yield of watermelon. Plant Dis. 84:254-260.
- Kenigsbuch, D. and Y. Cohen. 1992. Inheritance and allelism of genes for resistance to races 1 and 2 of *Sphaerotheca fuliginea* in muskmelon. Plant Dis. 76:626-629.
- Khadar, A.S. and Y.A. Abdou. 1972. Comparison of systemic and contact fungicides for control of powdery mildew on squash and cucumber. Plant Dis. Rep. 56:878-881.
- Kooistra, E. 1968. Powdery mildew resistance in cucumber. Euphytica 17:236-244.
- Kristková, C., A. Leveda, and B. Sedláková. 2004. Virulence of Czech cucurbit powdery mildew isolates on *Cucumis melo* genotypes MR-1 and PI 124112. Scientia Hort. 99:257-265.
- Kuzuya, M., K. Yashiro, K. Tomita, and H. Ezura. 2006. Powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) resistance in melon is categorized into two types based on inhibition of the infection processes. J. Exp. Bot. 57:2093-2100.
- McCreight, J.D. 2006. Melon-powdery mildew interactions reveal variation in melon cultigens and *Podosphaera xanthii* races 1 and 2. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 131:59-65.
- McGrath, M.T. 2001a. Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: Experiences and challenges. Plant Dis. 85:236-245.
- McGrath, M.T. 2001b. Distribution of cucurbit powdery mildew races 1 and 2 on watermelon and muskmelon. Phytopathology 91:197-197.
- McGrath, M.T. and C.E. Thomas. 1996. Powdery mildew, p. 28-30. In: T.A. Zitter, D.L. Hopkins, and C.E. Thomas (eds.).

- Compendium of cucurbit diseases. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN.
- Morishita, M., K. Sugiyama, T. Saito, and Y. Sakata. 2003. Powdery mildew resistance in cucumber. *JARQ* 37:7-14.
- Perchepped, L., M. Bardin, C. Dogimont, and M. Pitrat. 2005. Relationship between loci conferring downy mildew and powdery mildew resistance in melon assessed by quantitative trait loci mapping. *Phytopathology* 95:556-565.
- Pérez-García, A., L. Olalla, E. Rivera, D. delPino, I. Canovas, A. de Vicented, and J.A. Torés. 2001. Development of *Sphaerotheca fusca* on susceptible, resistant, and temperature-sensitive resistant cultivars. *Mycol. Res.* 105:1216-1222.
- Pitrat, M., C. Dogimont, and M. Bardin. 1998. Resistance to fungal diseases of foliage in melon, p. 167-173. In: J.D. McCreight (ed.). *Cucurbitaceae '98 Evaluation and Enhancement of Cucurbit Germplasm*. ASHS Press, Alexandria, VA.
- Robinson, R.W. and R. Provvidenti. 1975. Susceptibility to powdery mildew in *Citrullus lanatus* (Thunb.). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 100:328-330.
- Shin, H.D. 1994. Powdery mildew fungi and their host plants from Kangwon province. *Korean J. Mycol.* 22:229-246.
- Shin, H.D. and Y.J. La. 1993. Morphology of edge lines of chained immature conidia on conidiophores in powdery mildew fungi and their taxonomic significance. *Mycotaxon* 46:445-451.
- Sitterly, W.R. 1978. Powdery mildews of cucurbits, p. 360-379. In: D.M. Spencer (ed.). *The powdery mildews*. Academic Press, London.
- Smith, P.G. 1948. Powdery mildew resistance in cucumber. *Phytopathology* 38:1027-1028.
- Takada, K., K. Kanazawa, and K. Takatuka. 1974. Studies on the breeding of melon for resistance to powdery mildew. I. Difference of resistance among varieties and the breeding of the resistant variety 'Sunrise'. *Bull. Natl. Res. Inst. Veg. Orn. Plants Tea Jpn.* p. 59-91.
- Takada, K., K. Kanazawa, and K. Takatuka. 1975. Studies on the breeding of melon for resistance to powdery mildew. II. Inheritance of resistance to powdery mildew and correlation of resistance with other characters. *Bull. Natl. Res. Inst. Veg. Orn. Plants Tea Jpn.* p. 11-31.
- Tetteh, A.Y., T.C. Wehner, and A.R. Davis. 2013. Inheritance of resistance to the new race of powdery mildew in watermelon. *Crop Sci.* 53:880-887.
- Thomas, C.E., E. Kishaba, J.D. McCreight, and P.E. Nugent. 1984. The importance of monitoring races of powdery mildew on muskmelon. *Cucurbit Genet. Coop. Rep.* 7:58-59.
- Vakalounakis, D.J. and E. Klironomou. 1995. Race and mating type identification of powdery mildew on cucurbits in Greece. *Plant Pathol.* 44:1033-1038.
- Vakalounakis, D.J. and E. Klironomou. 2001. Taxonomy of *Golovinomyces* on cucurbits. *Mycotaxonomy* 80:489-491.
- Vakalounakis, D.J., E. Klironomou, and A. Papadakis. 1994. Species spectrum, host range and distribution of powdery mildews on Cucurbitaceae in Crete. *Plant Pathol.* 43:813-818.
- Yarwood, C.E. 1978. History and taxonomy of powdery mildews, p. 1-37. In: D.M. Spencer (ed.). *The powdery mildews*. Academic Press, London.
- Zijlstra, S., R.C. Jansen, and S.P.C. Groot. 1995. The relationship between powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) resistance and leaf chlorosis sensitivity in cucumber (*Cucumis sativus*) studied in single seed descent lines. *Euphytica* 81:193-198.