

## 멜론 흰가루병의 race 분화 및 저항성 계통 선발을 위한 분자마커 개발

김희택 · 박종인 · 石川 友子 · 葛谷 真輝 · 堀井 学 · 八城 和敏 · 노일섭

### Development of molecular marker to select resistant lines and to differentiate the races related to powdery mildew in melon (*Cucumis melo* L.)

Hoy-taek Kim · Jong-in Park · Tomoko Ishikawa · Maki Kuzuya · Manabu Horii · Katsutoshi Yashiro · Ill-sup Nou

Received: 21 December 2015 / Revised: 23 December 2015 / Accepted: 23 December 2015

© Korean Society for Plant Biotechnology

**Abstract** Powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) commonly occurs in cultivated fields of melon (*Cucumis melo* L.). It inflicts a lot of damages. Therefore, breeding resistant lines is essential. Development of a resistant line by integrating resistance gene takes a long time. In addition, break down of developed resistance by generating new virulent fungus strains increases disease susceptibility. This phenomenon was related to races of powdery mildew. Therefore, it is important to develop a DNA marker to genetically analyze race-specific resistance genes of melon powdery mildew to breed resistant lines. To date, a total of 28 races of *Podosphaera xanthii* have been reported in the literature. In Japan, 10 races have been reported in the Ibaraki region. We developed a system to characterize the races of *Podosphaera xanthii* and confirmed eight out of those 10 races in the Ibaraki region. In Korea, only one race has been characterized to date. However, some different races were detected. Through genetic analysis of resistant lines and susceptible lines of powdery mildew, resistance genes of race 1 (*Pm-X*, *PXB*, and *Pm-R 1*), race N1 (*PXA*), race 2 (*Pm-w* and *Pm-R 2*), race 3 (*Pm-X3*), and race 5 (*Pm-X5* and *Pm-R5*) were identified in melon. These related genes of race 1, 3, N1, 5, and race 1, 2,

5 were located at linkage group II and V, respectively. In race 1, resistance gene was located in the linkage group XII. In addition, each race-specific marker related to specific resistance gene was developed. Using race information and race selection system obtained in this study, resistant line can be bred to develop resistant cultivar for several areas. Furthermore, this will make it more easily and economically to breed resistant lines by using selected markers.

**Keywords** Powdery mildew, Race, Resistant line, DNA marker, Melon (*Cucumis melo* L.)

### 서론

멜론(*Cucumis melo* L.)재배에 있어 흰가루병은 중요한 지상병해 중에 하나이고, 흰가루병균(*Podosphaera xanthii*)의 포자는 바람에 의해 쉽게 비산하여 멜론 재배에서 가장 발생 빈도가 높은 병으로 알려져 있다. 흰가루병은 농약을 살포하면 방제가 가능하지만, 육묘에서 수확까지 평균 7회 정도 살포해야 하므로 노력과 비용이 생산자의 부담이 되고 있다. 또한 최근 트리플루미졸과 스트로빌루린계 살균제에 내성을 갖는 약제 내성균의 출현으로 상기 두 성분을 포함한 기존의 농약에 의한 방제가 어려워 질 가능성이 지적되고 있으며, 소비자의 저농약, 무농약 지향에 대응하기 위해 농약에 의존하지 않는 흰가루병의 방제 체계가 요구되고 있다. 이러한 이유들로 인하여 멜론에서 흰가루병 저항성 계통 육성이 중요한 육종 목표의 하나가 되고 있으며 실제적으로 저항성 계통을 이용하여 시판품종을 육성하고 있다. 그러나 이러한 저

H.-T. Kim · J.-I. Park · I.-S. Nou (✉)  
순천대학교 원예학과  
(Department of Horticulture, Sunchon National University,  
Suncheon 540-950, Korea)  
e-mail: nis@sunchon.ac.kr

T. Ishikawa · M. Kuzuya · M. Horii · K. Yashiro  
茨城県農業総合センター 生物工学研究所  
(Plant Biotechnology Institute, Ibaraki Agricultural Center,  
Kasama 319-0206, Japan)

항성 계통을 이용하여 육성한 시판 품종이 재배 농가에서 재배하면 감수성을 나타내는 경우가 발생하였다. 이와 같은 현상은 새로운 흰가루병균의 출현, 즉 흰가루병균의 race 분화가 깊게 관여하고 있다(Hosoya et al. 1999; 2000). 또한 고도의 안정된 흰가루병 저항성 계통을 선발하기 위해서는 발생한 race와 race에 대한 저항성 유전자의 관계를 밝히는 것과 마커선발에 의한 저항성 유전자를 집적하는 것이 필요하다(Kuzuya et al. 2004; Fukino et al. 2008). 따라서 본 연구는 멜론 흰가루병 저항성 품종 육성을 위한 흰가루병균의 race 분화 및 저항성유전자에 관한 분자마커 개발의 연구현황을 살펴보았다.

멜론 흰가루병의 race 분화 및 저항성계통의 육성

멜론이나 오이 등 박과작물에서 흰가루병은 절대 기생균으로 *Podosphaera xanthii* (syn. *Sphaerotheca fuliginea*) 및 *Golovinomyces cichoracearum* (syn. *Erysiphe cichoracearum*)의 두 종류의 사상균이 보고되어 있으며, 두 균의 차이는 발아관의 형태, fibrosin체의 유무로 구분할 수 있다(Ballantyne B. 1963). *Golovinomyces cichoracearum*는 프랑스 및 수단에서 처음으로 보고되었다(Molot and Lecoq 1986; Epinat et al. 1993; Mohammed et al. 1995). 그러나 1970년대부터는 *Podosphaera xanthii*의 발생이 많이 보고되었고 근년에는 프랑스(Epinat et al. 1993)를 포함하여 미국(McCright et al. 1987), 이스라엘(Cohen et al. 1984), 일본(Hosoya et al. 1999; 2000; Kuzuya et al. 2003; 2006) 등 세계 각국에서 흰가루병의 주요한 병원균으로 보고되고 있다. 한국에서 발생하는 멜론 흰가루병원균 역시 *Podosphaera xanthii*로 보고되고 있다(Han et al. 2014). 지금까지 멜론 흰가루병 저항성 품종육종을 위해 다양한 유전자원이 수집되고 교배되었다. 1935년 미국에서는 흰가루병 저항성 계통 PMR45을 육성하였다(Jagger and Scott 1937). 그러나, 저항성 계통 PMR 45를 이병화 시키는 새로운 균이 보고되었으며 PMR 45에 발생하지 않는 균을 race 1, PMR 45에 발생하는 균을 race 2라고 명명하였다(Jagger et al. 1938). 1946년 race 1과 race 2에 저항성을 갖는 PMR 5, PMR 6가 육성되었다(Pryor et al. 1946). 그러나, PMR 5를 이병화 시키는 균이 발생하였으며 이를 race 3이라고 명명하였고, race 1, 2, 3의 3가지 race를 판별하기 위해 3개(Hale's Best Jumbo, PMR45, PMR6)의 race 판별계통이 제안되었다(Thomas et al. 1978). Bardin 등(1999)은 5개의 race (1, 2, 3, 4, 5)를 판별하기 위해 8개의 race 판별계통을 제안했으며, PI 124112 계통이 race 1, 2, 4, 5에 대하여 저항성을 나타내며 이 저항성에는 3개의 저항성 유전자가 관여한다는 것을 보고하였다. 이와 같이, 멜론의 흰가루병 저항성 육종에서 저항성 유전자원을 이용한 저항성 계통 육성 및 새로운 race 출현에 의한 저항성 계통의 이병화가 반복되는 현상

을 나타내었다(Kuzuya et al. 2004). McCreight (2006)에 따르면, 멜론의 흰가루병의 병원균이 분화하여 세계적으로 28개의 race가 존재한다고 보고하였지만, 각 나라별로 race 판별계통을 다양하게 이용하여 판별한 결과들이다. 따라서 다양한 race를 상세하게 분류하기 위해서는 광범위한 race를 판별할 수 있는 판별계통의 제안과 이들 판별계통을 이용하여 정확한 race 판별이 검토되어야 할 것이다.

일본에서는 Hosoya 등(1999)이 이바라기현에서 발생한 멜론 흰가루병균을 2년간(1997~1998) 수집하여 6개의 판별계통(Fuyu 3, PMR 45, WMR 29, Edisto 47, PI 414723, PMR 5)을 이용하여 race를 분류한 결과, 4개의 race (race 1, N1, N2, 5)를 동정하여 보고하였다. Kuzuya 등(2004)은 7개 race (race 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)의 분류가 가능한 8개 판별계통(Fuyu 3, PMR 45, WMR 29, Edisto 47, PI 414723, PMR 5, MR-1, PI 124112)을 이용하였으며, 위의 4개 race 이외 새로운 2개의 race (race N3, N4)를 동정하여 보고하였다. 또한, 2006년 봄에 수집한 흰가루병균에서 기존 race의 접종표현형과 다른 3개의 race (race A, O, S)를 새롭게 동정하였다(Izumikawa et al. 2008). 이들 3개의 race (race A, O, S)들은 기존의 race 판별계통(Bardin et al. 1999)을 이용하여 검정을 실시한 결과, race A, S는 race 1과 비슷한 양상을 나타내었으며, race O는 8개 계통 모두에서 이병성을 나타냈었기 때문에 race 구분을 위해 판별계통을 새롭게 제안하였다. 2009년에 수집된 흰가루병균으로 부터 기존의 race 1, N1, N2, 5, A, S, O와는 다른 새로운 흰가루병균이 동정하였으며, race 5와 비슷한 표현형을 나타내어 race N5로 명명하였다(Kim et al. 2012) (Table 1). 지금까지 일본에서 동정된 멜론 흰가루병균은 총 10개의 race가 보고 되었으며, race를 검정할 수 있는 표준판별계통 선발 및 접종시스템을 개발하여 현재 이용하고 있다.

이러한 연구 결과들을 바탕으로 일본에서는 멜론 흰가

**Table 1** Response of melon cultigens to races of *Podosphaera xanthii*

Cultigen	Response to races of <i>P. Xanthii</i>								
	1	N1	N2	5	A	S	O	N5	
Fuyu 3	S	S	S	S	S	S	S	S	
PI 414723	R	S	S	R	R	R	S	I	
PMR 45	R	R	S	S	R	R	S	S	
WMR 29	R	R	R	S	R	R	S	S	
Edisto 47	R	R	R	S	R	R	S	S	
Andes 5	R	R	R	S	S	S	S	S	
Ig1	R	R	R	R	R	S	R	S	
MR-1	R	R	R	R	R	R	I	I	

R: resistant, S: susceptible, I: Intermediate

루병 race 저항성 계통의 육성이 활발하게 진행되고 있으며, 일본 야채차업연구소(野菜茶業研究所)에서는 미국으로부터 Georgia 47, C68, PMR 5, PMR 6 등의 흰가루병 저항성 유전자원을 도입하여 중간모본을 육성한 후 저항성 계통을 육성하였다(Takada et al. 1974). 또한 흰가루병 race 1에 대한 저항성 계통을 이용하여 race 1에 저항성 품종인 Arsis와 Feria를 육성하였다(Sakata et al. 2012; Sugiyama et al. 2012).

그리고 이바라키현 생물공학연구소에서는 race 1, N1, N2에 저항성을 나타내는 P25 계통을 육성 하였으며, race 1, N1, N2에 저항성을 나타내는 WMR 29 계통에 이병성 계통 Fuyu 3을 교배한 후 자식(selfing)에 의해 저항성을 나타내는 P29 계통을 육성하였다. 최근에는 인도의 유전자원 중 흰가루병 race 1, race N1, race N2, race A, race S, race O의 총 5개의 race에 저항성을 나타내는 Ig1 계통을 선발하였다. 선발된 Ig1 계통에 이바라키현 우량계통 P32를 교배한 후 다시 race A 및 race S에 저항성을 가진 계통 C18-21를 교배하여 race 1, race N1, race N2, race A, race S, race O의 총 6개의 race 저항성 locus를 집적한 P46 (P32-BCF<sub>1</sub>) 계통을 육성하였다(Kim et al. 2014). P46를 이용하여 육성한 F<sub>1</sub> 품종은 6개의 흰가루병 race에 대하여 저항성을 나타내었으며, 당도가 높고 과실비대가 우수한 형질 등이 나타났다(Fig. 1).



**Fig. 1** State of powdery mildew occurrence of Ibaraking (susceptible) and F<sub>1</sub> (P2 × P46) (resistant) during the cultivation period

국내의 경우 race 1이 광범위하게 발병하고 있다는 것 이외에 발병하고 있는 멜론 흰가루병균에 대한 체계적인 연구가 아직 미비한 실정이다. 최근 본 연구팀은 국내에서 발병하고 있는 흰가루병균의 race들을 파악하기 위하여 안성, 이천, 영암, 순천, 울촌 등 40여 곳에서 흰가루병균을 수집하였으며, race 판별계통을 이용하여 접종 실험한 결과, 안성과 이천에서 수집한 흰가루병균에서 race 1 뿐만 아니라 기존에 보고된 race와 다른 race가 동정되었다(Han et al. 2014). 그리고 흰가루병 저항성 계통 AME32와 당도가 높은 계통 KME118을 교배하여 과육이 두껍고 당도가 높으며, 네트가 선명하고 흰가루병에 포장내병성을 보인 얼스마운틴 PMR 품종을 육성 하였다(Lee et al. 2013).

### 흰가루병 저항성 분자마커 개발

일부 육종회사에서는 멜론 육종에 있어 흰가루병 저항성 계통을 선발할 때 재배포장에서 자연 발병에 의존하여 선발하고 있다. 그러나 발생 race가 해마다 복잡해지는 가운데 이 같은 방법으로는 정확하게 저항성 계통을 선발하는 것은 어려울 것으로 보인다. 최근 어린 묘에서 채취 한 엽에 인공 접종을 실시하여 저항성계통을 선발하고 있으나 이 방법 역시 엽을 채취한 후 접종까지 시간이 걸리며, 거기에다 발병까지 2주 이상의 시간이 걸린다. 그리고 균의 상태와 엽의 상태 등의 여러 요인에 의해 발병이 불안정해질 수 있어 race별로 반복 접종 검정이 필요하며, 저항성이 열성 유전의 경우 유전자가 hetro 상태이면 표현형은 이병성을 나타내어 저항성계통을 선발할 수 없는 등의 단점이 있고, 다량의 계통선발에 있어 정확하고 효율적인 선발이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 복수의 race 특이적인 저항성유전자의 해석과 복수의 저항성 유전자를 집적하기 위해 저항성 유전자에 연관된 분자마커의 개발이 요구되어 진다. Thomas and Webb (1982)은 흰가루병 race 1에 대한 저항성 계통 PI78374의 유전자 해석집단을 이용하여 *Pm-1* 유전자가 race 1에 대하여 우성으로 관여한다고 보고하였으며, Pitrat (1991)는 흰가루병 저항성 계통 WMR29를 이용하여 race 2에 대하여 *Pm-W* 유전자, 또한 PI 414723 계통을 이용하여 race 1에 대하여 *Pm-X*가 단일 우성으로 유전한다고 보고 하였다.

1990년대 후반부터는 멜론에서 RAPD, RFLP, AFLP 등 다양한 분자마커들이 개발 되었으며 이것들을 이용한 연관 지도 작성에 관한 논문들이 발표되었다(Wang et al. 1997; Garcia et al. 1998; Perin et al. 2002; Fukino et al. 2008). 멜론 MR-1 (흰가루병, 노균병, 덩굴조짐병 저항성 계통)과 Ananas Yokneum (AY; 이병성 계통)를 교배하여 얻어진 F<sub>1</sub>에 AY를 여교잡하여 얻어진 66개체의 F<sub>2</sub>에 대한 표현형과 228

개의 RAPD, AFLP 마커를 평가하고 연관지도를 작성하여 보고하였다(Wang et al. 1997). Garcia 등(1998)은 스페인 멜론 육종계통 32 개체(14개의 Galia형, 11개의 Piel de Sapo형, 7개의 품종)의 재배적 특성(흰가루병, 덩굴쪄김병 저항성을 포함)과 43개의 RAPD 마커를 이용하여 유전적 관계를 결정하였으며, 클러스터 분석을 통하여 흰가루병 및 덩굴쪄김병에 대한 저항성은 Galia형이며 우성 저항성 유전자가 GOB와 GOK로 나뉘어 진다고 보고하였다. 2002년 Perin et al. (2002)은 *Védrantais* × PI161375에서 파생된 163개체의 재조합 자식계통(RI) 63개체의 표현형적 특성조사와 318개의 AFLP, IMAS 마커의 유전자형 분석을 통하여 상세한 멜론 연관지도를 제작하였다. 거기에 이미 알려진 SSR, RFLP 마커와 표현형적 특성을 연관지도상에 나타내었다. 이 결과들로부터 멜론 흰가루병 race 1에 대한 저항성 유전자 *Pm-x*는 LG (Linkage group) II에 위치하였으며, race 2에 대한 저항성 유전자 *Pm-w*는 LG V에 위치하였다. 또한 저항성 유전자관련 마커 CMGA36와 E46/M40\_8을 각각 선발하였다.

Fukino 등(2008)은 흰가루병 저항성 계통 AR 5 (PMR5 유래 계통)와 이병성 계통 Earl's Favourite (Harukei 3)를 교배한 후 93개의 재조합 자식계통을 육성했으며, 167개의 SSR, SCAR, CAPS 마커를 이용하여 연관지도 작성 및 QTL 분석을 수행하였다. 그 결과 연관지도 LG II와 LG XII에 멜론 흰가루병 저항성 유전자 *PxA* (race N1) 및 *PxB* (race 1)가 존재한다는 것을 보고하였으며, 흰가루병 저항성 유전자에 관여하는 마커 CMBR8, CMBR120, CMBR111를 선발하였다. 이바라키현에서 육성한 계통 L12의 흰가루병 저항성은 PMR45와 완전히 동일하게 race 1, N1, A, S에 대하여 저항성을 나타내었으며, L12 × P32의 F<sub>1</sub>은 race 1, N1에 대하여 완전한 저항성을 나타내었고, 저항성 유전자는 단일우성으로 유전하였다. 그러나 race A, S에 대해서는 불완전한 내병성을 나타내었으며 저항성 유전자는 불완전 우성으로 유전하였다. L12 × P32의 F<sub>2</sub> 집단 68개체에 대하여 흰가루병 race 1에 대한 저항성 표현형과 100개의 SSR 마커의 유전자형 중 CMBR 8 마커의 유전자형이 표현형과 일치하였다(Izumikawa et al. 2009).

TGR-1551는 흰가루병 race 1, 2, 5에 대하여 저항성을 가지고 있으며, 이를 이용하여 195개의 F<sub>2</sub> 집단을 작성하여 QTL 분석을 수행하였다(Yuste-Lisbona et al. 2010; 2011). 또한 AFLP 마커와 6개의 공우성 마커(SCAR, CAPS, SSR)를 이용하여 연관지도를 작성하였으며, LG V에 흰가루병 저항성 후보 유전자 MRGH5와 MRGH63를 동정하였다. 그리고 QTL분석으로부터 MRGH5 마커는 흰가루병 race 1, 2 (*Pm-RI-2*)의 저항성계통을 선발하는 마커로, MRGH63마커는 race 5 (*Pm-R5*) 저항성 계통을 선발하는 마커로 선발되었다. 또한 Fazza 등(2013)은 race 1, 3, 5에 대한 저항성 계통 PI414723 과 이병성 계통 *Védrantais*의

**Table 2** Linkage group and resistance genes of powdery mildew races in melon

Race	resistance gene	Linkage group
Race 1	<i>Pm-X</i>	II
	<i>PxB</i>	XII
	<i>Pm-R1</i>	V
Race N1	<i>PxA</i>	II
Race 2	<i>Pm-w, Pm-R2</i>	V
Race 3	<i>Pm-x3</i>	II
Race5	<i>Pm-x5</i>	II
	<i>Pm-R5</i>	V
Race A		II
Race S		II
Race N5		XII, II

F<sub>2</sub> 집단 87 개체의 저항성 표현형과 139개의 AFLP 마커 및 18개의 TRAP 마커의 유전자형을 이용하여 연관지도를 작성하였다. 그 결과 PI414723의 race 1, 5 (*Pm-x1, 5*)와 race 3 (*Pm-x3*)의 저항성 유전자는 LG II의 상부 말단에 위치하였으며 두 개의 저항성 유전자에 근접해 있는 AFLP 마커(H35M75\_156)를 선발하였고 *Pm-x3*의 존재와 유전자의 위치를 처음으로 보고 하였다.

흰가루병 race N5 저항성 유전자 해석을 위하여 race N5에 대한 저항성 계통과 이병성 계통의 교배에 의해 얻어진 F<sub>1</sub>과 F<sub>2</sub> 집단을 육성한 후 접종시험을 하였다(Kim et al. 2013). F<sub>2</sub> 집단은 저항성: 중간형: 이병성이 3:2:3으로 분리되었으며, 이것은  $\chi^2$  검정의 2유전자자배의 불완전우성 유전의 분리비와 일치하였다. 또한 race N5 저항성유전자 중 LG XII에 위치한 저항성 유전자가 우성으로 관여하였으며, LG XII의 저항성 유전자가 Hetero로 존재할 경우, LG II에 위치한 저항성 유전자가 우성 homo로 존재할 때 저항성을 발현하였다. 지금까지 보고된 멜론 흰가루병 race 와 저항성 유전자의 연관지도의 위치를 표 2에 정리하였다.

국내에서는 본 연구팀이 각 지역에서 수집한 멜론 흰가루병균과 race선발계통을 이용하여 race 1과 race 5의 저항성 계통을 선발할 수 있는 CAPS 마커와 SNP 마커를 개발 중에 있으며, 새로운 race에 대한 유전자 해석 및 분자 마커 개발을 위하여 저항성 유전자원 탐색 및 F<sub>2</sub> 집단을 육성 중에 있다.

**결론**

멜론재배에 있어서 흰가루병은 연중 발생하며 재배농가에 큰 피해를 주는 병해이다. 이를 극복하기 위하여 중요

**Table 3** Classification of powdery mildew races of melon in the Ibaraki region

Isolation region	Race classification		
	2008 year	2012 year	2013 year
Hokota-shi	Race A, S, O	Race 1, A	Race N2, 5, A
Ibarakimachi	Race N2, A, S, O	Race A, S	Race 1, 5, A, O
Kasama-shi	Race A, S, O	Race A, S, O	Race N1, N2, 5, A, O

회사에서는 흰가루병 저항성 유전자를 오랜 시간에 걸쳐 집적한 저항성 계통/품종 육성이 계속해서 이루어지고 있지만 이 계통/품종의 저항성을 무너뜨리는 새로운 race의 발생으로 저항성 계통/품종이 이병화 되는 문제가 발생하고 있다. 이러한 현상은 흰가루병균의 race와 관련이 있기 때문에 멜론 흰가루병균의 race 동정은 저항성 품종 개발에 매우 중요하다. 현재 멜론의 흰가루병균 race는 전세계적으로 28종이 보고되었으며, 일본 이바라키현 농업종합센터의 생물공학 연구소에서는 10개의 race가 일본에 존재한다고 보고하였다. 국내에서는 순천대학교 연구팀이 전국 멜론 및 박과 작물 재배농가로부터 다수의 흰가루병균을 수집하여 race를 판별하고 있으며, 기존에 알려진 race 1뿐만 아니라 새로운 race가 존재한다는 것을 보고하였다. 하지만 멜론 흰가루병의 새로운 race를 결정하는데 있어 몇 가지 유의 해야 할 것이 있는데, 첫째, 포장에서 수집한 균은 여러 race가 혼재하여 있을 가능성이 높기 때문에 수집한 균을 잘 분리 해야 하며, 둘째, 표준적으로 사용하는 race 검정용 계통을 이용해서 검정해야 정확한 race로 결정할 수 있다. 셋째, 흰가루병 race를 조사하기 위해서 재배지역별, 수년간의 수집이 요구된다. 왜냐하면, 이바라키현에서 3년에 걸쳐 3지역에서 멜론 흰가루병균을 수집하여 race 검정을 한 결과, 매년 발생하는 race가 달랐으며, 지역별로도 다른 race가 발생하는 것을 알 수 있었다(Table 3). 이렇게 얻어진 race정보와 race선발 방법을 이용한다면, 저항성 계통을 육성이 가능하며, 지역에 맞는 race 저항성 품종을 육성할 수 있을 것이다.

멜론 흰가루병균 race의 저항성 유전자는 저항성과 이병성 계통을 이용한 유전분석을 통하여 race 1에 대하여 *Pm-X*, *PxB*, *Pm-R1*, race N1에 대하여 *PxA*, Race 2에 대하여 *Pm-w*, *Pm-R2*, Race 3에 대하여 *Pm-x3*, race 5에 대하여 *Pm-x5*, *Pm-R5*가 동정되었다. 또한 분자마커를 이용한 연관지도 작성을 통하여 LG II에 race 1, 3, N1, LG V에 race 1, 2, 5, LG XII에 race 1 저항성 유전자가 위치 하고 있으며 각각의 race 저항성 유전자에 관련된 다양한 분자마커(AFLP, SCAR, CAPS, SSR)가 개발 되었다.

멜론 흰가루병 저항성 계통/품종을 육성할 때에 저항

성 유전자를 집적하는 것이 중요한데, 한 race에 대한 저항성 유전자들이 서로 다른 LG에 위치하고, 한 LG에 복수의 race 저항성 유전자가 근접해서 위치한 것, 그리고 한 race에 두 개의 저항성 유전자관여 한다는 사실들을 통하여, 흰가루병에 대한 race 분화는 단일 유전자가 아닌 복수의 유전자가 서로 상보적으로 관여하는 것으로 생각되며, 저항성 유전자를 집적할 때에는 연관지도 LG II, V, XII에 위치한 저항성 유전자를 전부 집적했을 때 강력한 race 저항성 계통/품종을 육성할 수 있을 것이다. 또한 지금까지 개발된 분자 마커를 이용하여 신속하고 정확하며 간편하고 경제적으로 저항성 계통/품종을 육성할 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 농림축산식품부의 Golden Seed 프로젝트(213003-04-3-SB110) 및 수출전략기술개발사업(312065-05-3-HD030) 지원에 의해 이루어졌다.

## References

- Ballantyne B (1963) A preliminary note the identity of cucurbit powdery mildews. *Aust Jour Sci* 25:360-361
- Bardin M, Dogimont C, Nicot P, Pitrat M (1999) Genetic analysis of resistance of melon line PI 124112 to *Sphaerotheca fuliginea* and *Erysiphe cichoracearum* studied in recombinant inbred lines. *Proceedings of the 1st International Symposium on Cucurbits*. *Acta Hort* 492:163-168
- Cohen Y, Eyal H, Thomas CE (1984) Stabilizing resistance in *Cucumis melo* against downy and powdery mildews in Israel and the USA (abstract). *Phytopathology* 74:829
- Epinat C, Pitrat M, Bertrand F (1993) Genetic analysis of resistance of five melon lines to powdery mildews. *Euphytica* 65:135-144
- Fazza AC, Dallagnol LJ, Fazza AC, Monteiro CC, Lima BM, Wassano DT and Camargo LEA (2013) Mapping of resistance genes to races 1, 3 and 5 of *Podosphaera xanthii* in melon PI 414723. *Crop Breed Appl Biot* 13:349-355
- Fukino N, Ohara T, Monforte A, Sugiyama M, Sakata Y, Kuniyama M, Matsumoto S (2008) Identification of QTLs for resistance to powdery mildew and SSR markers diagnostic for powdery mildew resistance genes in melon (*Cucumis melo* L.). *Theor Appl Genet* 118:165-175
- García E, JAMILENA M, Alvarez JI (1998) Genetic relationships among melon breeding lines revealed by RAPD markers and agronomic traits. *Theor Appl Genet* 96:878-885
- Han JH, Park J, Jung H, Lee I, Baek J, Nou I (2014) Race identification in powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) on melon (*Cucumis melo*) in Korea. *Kor J of Hort Sci &*

- Technol 32 (Suppl 1):116-117
- Hosoya K, Narisawa K, Pitrat M, Ezura H (1999) Race identification in powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) on melon (*Cucumis melo* L.) in Japan. *Plant Breeding* 118:259-262
- Hosoya K, Kuzuya M, Murakami T, Kato K, Narisawa K, Ezura H (2000) Impact of the resistant melon cultivars on *Sphaerotheca fuliginea*. *Plant Breeding* 119:286-288
- Izumikawa Y, Kuzuya M, Takazusu Y, Miyagi M (2008) Occurrence of several pathogenic strains of melon powdery mildew with different host-specificity and search for melon breeding materials resistant to these strains. The 114th Meeting of the Japanese Society of Breeding 10(Suppl 2):196
- Izumikawa Y, Fukino N, Kuzuya M, Miyagi M (2009) Phenotypic analysis of powdery mildew resistant gene originated from commercial cultivar of melon. 1. Resistant gene linked with SSR marker, CMBR8. *Hort Res (Japan)* 8(Suppl 2):173
- Jagger IC, Scott GW (1937) Development of powdery mildew resistant cantaloupe no. 45. US Department of Agriculture Circular 441:1-5
- Jagger, I.C., T.W. Whitaker & D.R. Porter, 1938. A new biologic form of powdery mildew on muskmelons in the Imperial Valley of California. *The Plant Disease Reporter* 22:275-276
- Kim H, Izumikawa Y, Ishikawa T, Miyagi M (2012) Detection of a new race of melon powdery mildew and investigation of resistant materials to the race. *Hort Res (Japan)* 11(Suppl 1):395
- Kim H, Ishikawa T, Matsumoto Y, Yashiro K, Ishii R. (2013) Genetic analysis of resistance to melon powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) race N5. *Hort Res (Japan)* 12(Suppl 1):332
- Kim H, Ishikawa T, Yashiro K, Horii M, Ishii R. (2014) Raising a melon line harboring 6 resistant gene for powdery mildew races and its fruit characteristics. *Hort Res (Japan)* 13(Suppl 1):319
- Kuzuya M, Hosoya K, Yashiro K, Tomita K, Ezura H (2003) Powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) resistance in melon at the haploid level. *J Exp Bot* 54:1069-1074
- Kuzuya M, Yashiro K, Tomita K (2004) Melon breeding for resistance to powdery mildew in respect to its races. *Proc Vege Tea Sci* 1:39-43
- Kuzuya M, Yashiro K, Tomita K, Ezura H (2006) Powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) resistance in melon is categorized into two types based on inhibition of the infection processes. *J Exp Bot* 57(9):2093-2100
- Lee I, Park J, Shin D, Cho K (2013) Breeding powdery mildew disease resistance and high quality net melon 'Earl's Mountain PMR'. *Proceedings of the Plant Resource Society of Korea*. 2013(10):100
- McCreight JD, Pitrat M, Thomas CE, Kishaba AN, Bohn GW (1987) Powdery mildew resistance genes in muskmelon. *J Am Soc Hort Sci* 112:156-160
- McCreight JD (2006) Melon-powdery mildew interactions reveal variation in melon cultigens and *Podosphaera xanthii* races 1 and 2. *J Am Soc Hort Sci* 131(1):59-65
- Mohamed YE, Bardin M, Nicol PC, Pitrat M (1995) Causal agents of powdery mildew of cucurbits in Sudan. *Plant Dis* 79:634-636
- Molot PM, Lecoq L (1986) Powdery mildews of cucurbits. I. Bibliographical review and preliminary experimental results. *Agronomie* 6:355-362
- Perin C, Hagen L, De Conto V, Katzir N, Danin-Poleg Y, Portnoy V, Baudracco-Arnas S, Chadoeuf J, Dogimont C, Pitrat M (2002) A reference map of *Cucumis melo* based on two recombinant inbred line populations. *Theor Appl Genet* 104(6):1017-1034
- Pitrat M (1991) Linkage groups in *Cucumis melo* L. *J Hered* 82:406-411
- Pryor DE, Whitaker TW, Davis GN (1946) The development of powdery mildew resistant cantaloupes. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science* 47:347-356
- Sakata Y, Sugiyama M, Fukino N, Yoshioka Y, Ohara T, Shimomura K, Kojima A, Noguchi Y, Hashimoto T, Nomura T, Harada M (2012) Development of an Earl's-type melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*), 'Arsis', with resistance to powdery mildew, fusarium wilt and cotton-melon aphid. *Bull Natl Inst Veg & Tea Sci* 11:35-42
- Sugiyama M, Ohara T, Sakata Y, Fukino N, Yoshioka Y, Shimomura K, Kojima A, Noguchi Y (2012). 'Feria', a new melon (*Cucumis melo* L.) cultivar with suppressed-branching and monoecious traits. *Bull Natl Inst Veg & Tea Sci* 11:43-54
- Takada K, Kanazawa K, Takatuka K (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 Ornament Plants Tea Jpn*. 59-91
- Thomas CE (1978) A new biological race of powdery mildew of cantaloupe. *Plant Dis Rptr* 62:223
- Thomas CE, Webb RE (1982) 'Cinco' muskmelon. *Hort Sci* 17:684-685
- Wang YH, Thomas CE, Dean RA (1997) A genetic map of melon (*Cucumis melo* L.) based on amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *Theor Appl Genet* 95:791-798
- Yuste-Lisbona FJ, López-Sesé AI, Gómez-Guillamón ML (2010) Inheritance of resistance to races 1, 2 and 5 of powdery mildew in the melon TGR-1551. *Plant Breeding* 129:72-75
- Yuste-Lisbona FJ, Capel C, Sarria E, Torreblanca R, Gómez-Guillamón ML, Capel J, Lozano R, López-Sesé AI (2011) Genetic linkage map of melon (*Cucumis melo* L.) and localization of a major QTL for powdery mildew resistance. *Mol Breed* 27:181-192