

흰가루병 저항성 동양종 호박 품종 육성

조명철* · 엄영현 · 김대현 · 허윤찬 · 김정수¹ · 박호근²원예연구소 채소과, ¹원예연구소 원예환경과, ²서울대학교 농업생명과학대학Breeding for Powdery Mildew Resistant Varieties in *Cucurbita moschata*Myeong-Cheoul Cho*, Young-Hyun Om, Dae-Hyun Kim, Yun-Chan Heo,
Jeong-Su Kim¹ and Hyo-Guen Park²

Vegetable Research Division, National Horticultural Research Institute, Suwon 440-706, Korea

¹Horticultural Environment Division, National Horticultural Research Institute, Suwon 440-706, Korea²College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

(Received on April 11, 2005)

To breed powdery mildew resistant varieties, 104 accessions of *Cucurbita* spp. germplasm were evaluated. Powdery mildew resistance and horticultural characteristics of the accessions were investigated in the field conditions. *C. martinii* was selected for high resistance to powdery mildew in the field. The growth of powdery mildew pathogen and response of leaf surface tissue to the pathogen were observed after artificial inoculation to resistant *C. martinii* and susceptible *C. moschata* cv. 'Wonye No. 402'. Mycelium growth was very clearly different between resistant *C. martinii* and susceptible *C. moschata* cv. 'Wonye No. 402' at 5 days after inoculation at the adult stage. Interspecific hybridization was attempted to transfer powdery mildew resistance gene(s) from *C. martinii* to *C. moschata*. A single dominant gene action was postulated as determining powdery mildew resistance at the seedling stage. But for the effective selection of powdery mildew resistant individuals, it was established that adult plant resistance should be confirmed in the field conditions after the seedling test. Through the seedling and field tests, *C. moschata* lines resistant to powdery mildew and superior to horticultural characteristics, were selected after 2 backcrossing and 3 selfing generations. The fruit characteristics of newly developed lines were similar to those of the recurrent parent, 'Jaechenjarae'.

Keywords : *Cucurbita* spp., Germplasm, Heritability, Interspecific hybrid, Powdery mildew resistant

서 언

박과에 속하는 *Cucurbita* spp.는 전세계적으로 약 27종이 분포하고 있으며, 이 가운데 재배종으로는 *Cucurbita moschata*, *C. maxima*, *C. pepo*, *C. mixta* 및 *C. ficifolia* 5종이 알려져 있다. 이중 온대지방에서 많이 재배되는 것은 *C. moschata*, *C. maxima* 및 *C. pepo*이다(Whitaker와 Robinson, 1986; Yamaguchi, 1983).

우리나라에서는 청·숙과 겸용인 동양종 호박이 주로 노지에서 재배되어 왔는데, 최근에는 수요 증가에 따라 노지 및 시설 재배면적과 생산량이 꾸준히 증가하고 있

다. 호박은 비교적 재배가 용이한 작물이지만 흰가루병은 호박 재배에 있어 가장 피해가 큰 병 중의 하나이다(Cohen 등, 2003; Harry와 Cohen, 2002; Qing 등, 2002). 호박 흰가루병(병원균 : *Sphaerotheca fuliginea* Poll.)은 작형이나 지역에 관계없이 재배 중 수시로 발생하여 6~7회의 약제 방제가 필요하다. 이 병은 약간 건조한 조건에서 많이 발생하며, 노지 재배는 물론 시설 재배에서도 일조 부족, 고온, 환기 불량, 밀식 재배 및 질소 비료 과용과 함께 농촌 인력의 부족에 의한 포장관리의 부실 등으로 급격히 증가하여 포장 전체에 만연되고 있다.

흰가루병은 식물체의 잎에 하얗게 밀가루를 뿌려 놓은 것처럼 곱광이 포자가 덮여서 식물의 광합성과 호흡을 저해하여 동화작용과 증산작용을 감소시킴으로써 생육과 품질을 저하시킨다(Wright 등, 1990). 호박과 유사한 발병 양상을 보이는 오이의 경우, 흰가루병에 의한 피해는 주

*Corresponding author

Phone)+82-31-240-3565, Fax)+82-31-240-3594

E-mail) chomc@rda.go.kr

당 평균 흰가루병의 병반 면적율이 20%일 때 경제적 손실이 시작되고(Verhaar 등, 1993), 병반 면적율이 50% 이상일 때 수량이 35% 감소된다(Beloanger 등, 1998). 특히 시설 재배지의 경우는 고온 다습 후 건조 등이 병원균의 생리생태에 적합하여 방제를 소홀히 할 경우 수확을 하지 못할 정도로 피해가 크다.

흰가루병 방제는 주로 농약에 의존하고 있는 실정이나, 지속적인 농약 사용으로 흰가루병균의 약제에 대한 저항성이 유발되는 등 약효가 저하되고 있다(Asari와 Nakazawa, 1994; Erickson과 Wilcox, 1997; Lyr 등, 1996; McGrath, 2001). 최근 유기합성 농약의 다량 사용에 의한 농업 생태계의 오염과 친환경 농업에 관한 사회적 관심 증가로 인한 농산물의 잔류농약에 의한 피해가 우려되고 있다. 따라서 효율적인 흰가루병 방제와 친환경적 호박 생산을 위해서는 흰가루병 저항성 품종의 개발이 필수적이라고 할 수 있다.

본 연구는 호박 흰가루병 저항성 품종 육성을 위한 기초연구로 호박 유전자원의 흰가루병 저항성 검정과 원예적 특성 평가를 통한 흰가루병 저항성 재료 선발, 흰가루병 저항성과 이병성 재료의 저항성 반응을 조사하여 비교하였으며, 흰가루병 저항성 품종 육성을 위해 야생종으로 흰가루병에 저항성인 *Cucurbita martiniezii*와 재배종으로 이병성인 *C. moschata*간의 중간교잡을 통한 야생종 호박의 흰가루병 저항성 유전자를 동양종 호박으로 이전하여 흰가루병 저항성 동양종 호박 품종을 육성하고자 수행되었다.

호박 유전자원의 흰가루병 저항성 평가. 흰가루병에 저항성이고 품질이 우수한 동양종 호박 품종을 육성하고자 수집된 호박 유전자원 104점에 대하여 흰가루병 저항성을 중심으로 원예적 특성을 조사하였다. 병반 면적률에 기초한 포장에서의 중간 흰가루병 저항성 검정 결과를 Table 1에 정리하였다.

공시된 104점 중 *C. pepo*종에 속하는 유전자원들이 *C. maxima*나 *C. moschata* 종에 속하는 것들보다 더 이병성

인 것으로 판단되었다. *C. maxima* 58점 중 27점은 발병 지수 3인 중강 정도의 저항성을 보였다. 이들 중에는 국내 수집 재래종 6점이 포함되어 있었고, 국내 시판종 2품종은 이병성으로 나타났다. *C. martiniezii*는 공시 유전자원 중 유일하게 발병지수 1로 저항성 품종 육성을 위한 재료로 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

C. moschata 22점 중에서는 숙과용으로 재배되고 있는 ‘남원16’, ‘미상26’, ‘Local’ 등 7점은 중강 정도의 저항성을 보였고, ‘L20’은 중 정도의 저항성을 그리고 ‘Chuugatacuku’ 및 ‘제천재래’는 이병성으로 나타났다. 청과용 시판 품종들은 모두 흰가루병에 이병성이었다. 이러한 결과는 Linda (1993)가 Puerto Rico에서 *C. moschata* 324점을 공시하여 포장 상태에서의 저항성 검정 결과 강 저항성 품종은 없었고, 준 저항성인 13 계통만을 선발할 수 있었다는 결과와 유사하였다.

C. pepo 23점에 대한 흰가루병 저항성 검정 결과는 공시된 모든 계통이 발병지수 7 이상의 이병성으로 판단되어 다른 두 종보다 더 이병성인 것으로 나타났다. 이는 Sowell과 Corley(1973)가 *C. pepo* 292점을 도입하여 흰가루병 저항성 검정 결과 모두 이병성이었다는 결과와 같은 경향이었다. 따라서 금후 *C. pepo*의 흰가루병 저항성 품종 육성을 위해서는 *C. pepo* 종 내에서는 저항성 재료를 찾기가 어려우므로 다른 종과의 교잡을 통한 흰가루병 저항성 유전자의 도입이 필요할 것으로 판단되었다.

저항성과 이병성 자원의 흰가루병 진전. *C. martiniezii*는 노지 포장 상태에서 흰가루병에 대해 면역에 가까운 강 저항성을 보여 저항성 재료로 선발하였다. *C. martiniezii*의 흰가루병 저항성 반응은 본 실험 3~4매까지의 유효기에는 자연상태에서도 어느 정도 발병되나 포장에 정식 후 시간이 지나면 육안으로 흰가루병 발병 상황을 확인할 수 없을 정도로 강한 저항성 반응을 보였다. 반면에 이병성 품종인 ‘원예 402호’는 유효기부터 포장에 정식 이후에도 계속적으로 발병 면적이 급격히 증가되었다.

유효기 이병 식물체에서 증식된 흰가루 병원균을 본 실험

Table 1. Frequency distribution of 104 accessions of *Cucurbita* spp. as scored according to powdery mildew resistance at the field condition

Species	Total	No. of accessions by resistance scores ^a				
		1	3	5	7	9
<i>C. maxima</i>	58	0	27	17	7	7
<i>C. moschata</i>	22	0	7	1	2	12
<i>C. pepo</i>	23	0	0	0	1	22
<i>C. martiniezii</i>	1	1	0	0	0	0

^aScores: 1, No infection; 3, 1~9% of leaf area infected; 5, 10~30%; 7, 31~50%; 9, 51~100%.

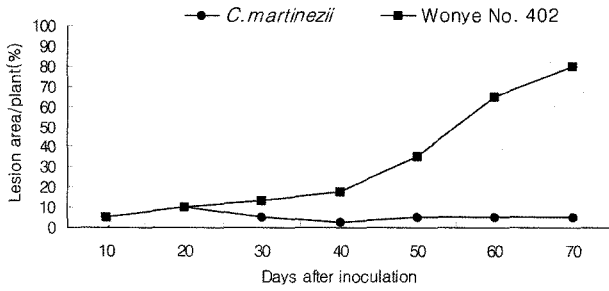


Fig. 1. Difference in incidence of powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) between resistant *C. martinezii* and susceptible *C. moschata* cv. 'Wonye No. 402' with artificial inoculation in the plastic house.

이 2~3매 전개된 유묘 잎에 뿌려서 인공접종하였다. 접종 후 5일 경부터 저항성과 이병성 식물체의 잎에서는 흰가루병균의 병반이 생성되기 시작하여 시간이 경과되면서 두 품종 간에 저항성 반응이 달랐다.

이병성인 '원예 402호'의 잎에서는 시간이 경과하면서 급속히 발병 면적이 증가되어 접종 후 20일째에는 10%, 30일째에는 15%, 50일째에는 40% 그리고 접종 후 70일째에는 식물체 전체의 80% 정도가 감염되었다. 그러나 저항성인 *C. martinezii*는 접종 후 20일경까지는 이병성 품종과 같이 10% 정도의 병반 면적을 보이지만 시간이 경과되면서 병반 면적이 감소되어 접종 후 30일째에는 5%, 50일째에는 2% 그리고 접종 후 70일째에는 육안으로 흰가루병의 발병상태를 확인할 수 없을 정도로 감소되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1).

유묘기 인공 접종 후 12일째의 저항성과 이병성 품종의 떡잎과 본잎의 균사 생육 양상을 관찰한 결과 유묘기에는 접종 후 12일째 저항성 품종과 이병성 품종의 잎에서 균사의 생장에 차이가 없었다. 이병성 품종의 접종된 잎은 시간이 경과되면서 계속 병반 면적의 확대와 함께 흰가루병균의 증식이 왕성하게 일어나 2차 전염의 원인이 되는 분생포자를 생성하여 다른 잎으로 병반이 급속히 확대되었다. 그러나 접종된 저항성 품종의 잎은 접종 후 시간이 경과하면서 급속히 잎의 노화가 진전되어 20일 경에는 황화, 고사되어 더 이상 접종 잎에서의 발병상태를 확인할 수 없었고 다른 잎으로의 전이도 일어나지 않았다.

인공접종 하지 않은 자연 상태의 흰가루병 발병 양상도 인공접종에서와 유사하게 관찰되었다. 정식 후 10일 경부터 흰가루병이 발병되어 이병성 품종에서는 시간이 경과 될수록 발병 면적이 급격히 증가되어 정식 후 20일째에는 10%, 30일째에는 20%, 50일째에는 60% 그리고 70일째에는 86%까지 발병되었다. 그러나 저항성 품

종에서는 시간이 경과할수록 발병 면적이 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

정식 후 20일경에는 식물체 전체의 5% 정도 발병 면적을 보였다가 이후 식물체가 성장하면서 발병 면적은 더 이상 증가되지 않아 30일 이후부터는 육안으로 발병 증상을 확인할 수 없을 정도였다. 저항성 품종과 이병성 품종에서 흰가루병 발병 양상의 차이에 대한 이러한 현상에 대해 더 자세히 확인해 보고자 *C. martinezii*와 '원예 402호'를 정식 후 30일 전후 본 잎이 약 10매 정도 전개되었을 때 두 품종의 같은 위치의 본잎에 인공접종 후 흰가루병균의 균사 성장상태를 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 접종 후 10시간까지는 저항성 및 이병성 품종 모두 포자는 발아되지 않았으나, 접종 18시간 전후에 포자에서 균사가 발아하여 자라고 있었다(Fig. 2의 A-1, B-1). 발아된 균사는 24시간 전후에는 포자당 1~2개의 균사가 분지되어 생육이 상당히 진행되고 있었다(Fig. 2의 A-2, B-2).

접종 24시간 후 저항성 품종에서 균사의 평균 성장 정도는 $80 \pm 8 \mu\text{m}$ 로, 이병성 품종의 $95 \pm 1 \mu\text{m}$ 보다 균사의 생육이 다소 지연되는 것으로 관찰되었다. 접종 48시간 후에는 저항성과 이병성 품종 모두 포자당 평균 2~3개의 균사가 나와서 자라고 있었고, 저항성 품종에서는 $288 \mu\text{m}$, 이병성 품종인 '원예 402호'에서는 $296 \mu\text{m}$ 정도로 성장하여, 접종 24시간 후와 같이 저항성 품종에서 이병성 품종에 비해 균사의 생육이 다소 지연되고 있음을 확인할 수 있었다.

접종 3일 후의 균사 생육은 이병성 품종의 잎에서는 포자 당 3~4개의 균사가 발아하여 $575 \mu\text{m}$ 까지 균사가 성장하였고(Fig. 2의 A-3), 저항성 품종의 잎에서는 균사의 길이가 $453 \mu\text{m}$ 로 나타나 이병성 품종의 잎에서 균사의 생육이 상당히 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있었다. 저항성 품종의 잎에서 자라는 균사에서는 균사당 2~3개의 분지가 발생된 반면, 이병성 품종의 잎에서는 3~4개의 균사가 분지되어 자라고 있어 저항성 품종의 잎과 이병성 품종의 잎에서 균사 생육 양에 차이가 나타나고 있음을 알 수 있었다. 접종 후 4일째에 이병성 품종에서는 분생자경이 생성되어 있었으나 저항성 품종에서는 분생자경이 관찰되지 않아 이병성 품종에서 분생자경의 생성이 다소 빨라지는 것으로 판단되었다. 이병성 품종의 잎에서 균사의 분지 및 분생자경이 형성되기 위한 원기가 저항성 품종에서 보다 빨리 형성되고 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 2의 A-3). 이에 반하여 저항성 품종 잎 표면의 균사는 이병성 품종에 비해 직선적으로 자라고 있어 두 품종간에 흰가루병 균사 성장 특성이 달랐으며 이병성 기

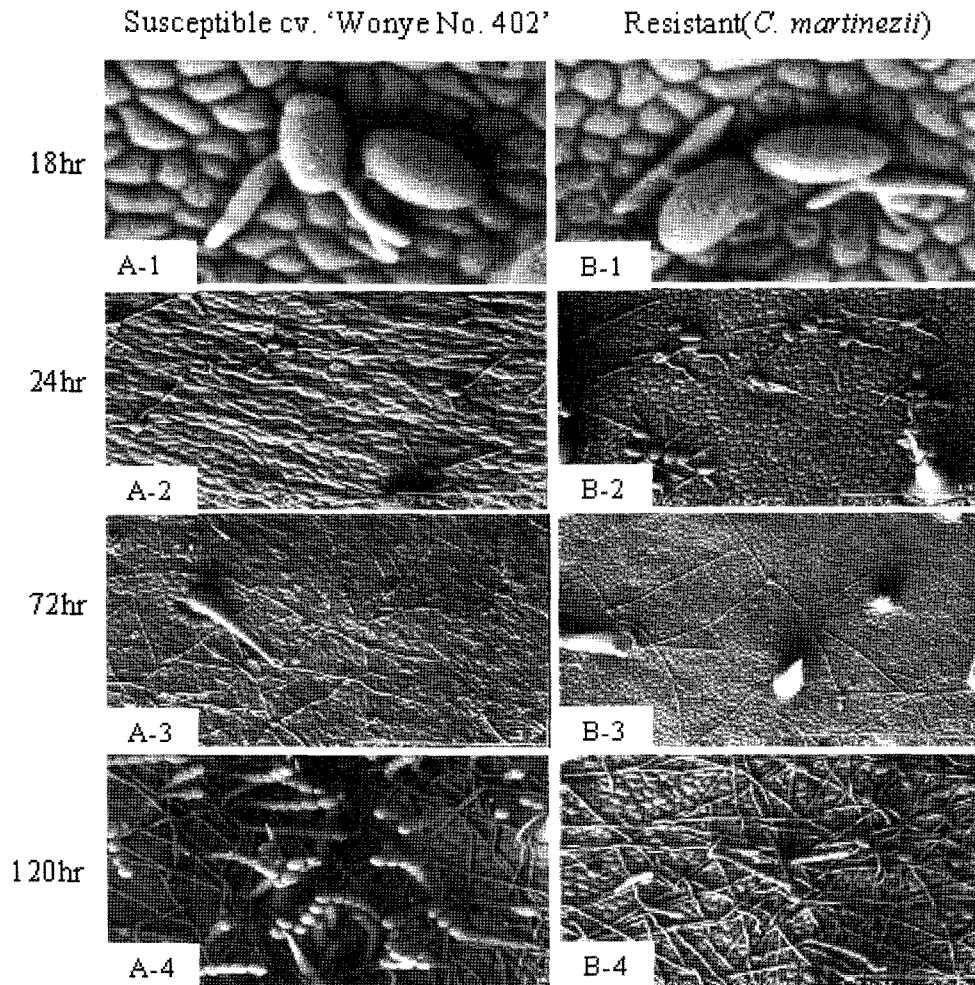


Fig. 2. Scanning electron micrographs of powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) development on the leaf surface of susceptible *Cucurbita moschata* cv. 'Wonye No. 402' (A-1~4) and resistant *C. martiniezii* (B-1~4) by the time after inoculation at the adult stage. A-1, B-1. Germinated conidia (each with 2 germ tubes), at 18hr after inoculation, showing appressoria and early hyphal growth ($\times 400$). A-2, B-2. Ramifying hyphae at 24hr after inoculation ($\times 200$). A-3, B-3. Young fungal colony at 72hr after inoculation showing conidiophore initials ($\times 100$). A-4. Sporulation intensified and sporulating colonies coalesced, forming a mass of mycelium and conidiophore on the entire leaf surface at 120hr after inoculation on the leaf surface in the susceptible variety ($\times 200$). B-4. Sporulating colonies at 120hr after inoculation on the leaf surface in the resistant variety ($\times 200$).

주 식물체 잎 표면의 세포는 약간 변형되어 있음이 관찰되었다(Fig. 2의 A-2, A-3).

Adeniji와 Coyne(1983)는 *Erysiphe cichoracearum* DC.를 이용하여 호박의 흰가루병 저항성과 이병성 품종에서 병원균과 기주와의 상호 작용을 조사한 결과 이병성 품종에서는 포자가 접종 후 24시간 이내에 발아하였으나, 저항성 품종에서는 접종 후 4일째까지도 발아하지 않다가 접종 7일 후부터 발아되어 균사가 상당히 느리게 생육하였다고 보고하였다. 그러나 Qing 등(2002)은 호박, 수박, 오이를 포함한 몇 가지 박과작물에서 포자의 발아와 부착기 형성 비율은 다양한 속간에 차이가 없어 저항성과는 무관하다고 하였다. 본 실험에서도 저항성 품종일지라도

접종 후 18시간 이내에 포자가 발아되어 접종 초기에는 이병성 품종에서와 비슷한 속도로 균사가 잘 자라는 것으로 나타나 Qing 등(2002)의 결과와 같은 경향이였다.

접종 후 5일째의 균사생장, 분생포자 및 분생자경의 생성량을 관찰한 결과는 Fig. 2의 A-4, B-4와 같았다. 저항성 품종에서는 1 mm²당 평균 18개의 분생자경이 형성되었으나, 이병성 품종에서는 평균 45개의 분생자경이 생성되어 분생자경의 형성수가 이병성 품종에서 현저하게 많아지는 것을 관찰할 수 있어 저항성 식물체에서 저항성 반응에 관여하는 요인들이 존재함을 짐작케 하였다(Fig. 2의 A-4, B-4). Adeniji와 Coyne(1983)의 보고에 의하면 이병성 품종에서는 접종 후 4일 이내에 분생자경이 형성

되었으나 저항성 품종에서는 4주째에 분생자경이 드물게 형성되고 분생포자의 사슬도 짧았다는 보고와는 다르게 나타났는데, 이런 결과는 사용된 병원균이나 저항성 품종의 저항성 반응이 다른 것에 기인한 것으로 추정할 수 있었다. 분생자경당 분생포자의 수는 평균 6~7개로 저항성과 이병성 품종간에 차이가 없었다.

접종 후 7일째의 저항성과 이병성 품종의 저항성 반응을 조사한 결과 두 품종간 표면 세포에 차이가 있었다 (Fig. 3). 저항성인 *C. martinizii*에서는 표피세포의 표면 일부가 심하게 붕괴되어 있었으나, 이병성 품종에서는 건전한 상태로 남아 있어 저항성과 이병성 품종간의 표피세포에서의 반응이 다른 것으로 판단되었다. 잎의 색깔도 저항성 품종은 완전히 황화되었으나 이병성 품종에서는 녹색 상태로 그대로 남아 있어 이병성 품종에 비해 저항성 품종에서 잎 표면의 노화가 빠르게 진행되고 있음을 관찰할 수 있었다.

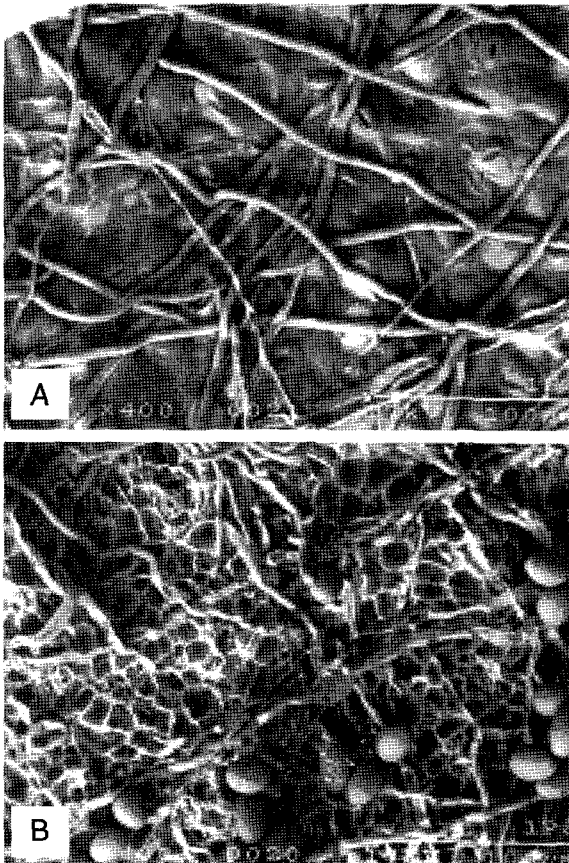


Fig. 3. Comparison of the leaf surfaces between susceptible *Cucurbita moschata* cv. 'Wonye No. 402' (A) and resistant *C. martinizii* (B) hosts at 7 days after inoculation of powdery mildew. Surface cells on the leaf of resistant host collapsed partly, but no unusual modification of susceptible host's surface cells was observed.

Adeniji와 Conye(1983)도 이병성 품종에서는 잎 표면에 어떠한 변화도 없었지만 저항성 품종에서는 접종 후 3주째에 잎 표면의 일부분에서 표피 세포의 붕괴가 관찰되었다고 보고하였다. 이러한 발병 양상을 기준으로 판단해 볼 때 흰가루병에 대한 저항성 반응은 접종 후 5일 경부터 저항성 기작에 관여하는 무엇인가가 작동하여 차이가 나타나는 것으로 추정할 수 있었다.

Johnson과 Taylor(1976)는 기주의 병 저항성은 몇 가지 요소로 구성되는데 첫째 병원균의 침입을 억제하는 경우, 둘째 기주 조직에서 균사의 생장을 억제하는 경우, 셋째 포자나 분생자경의 생성을 억제하는 경우 등의 기작으로 저항성을 갖는다고 하였다. 이들 저항성 관련 요소는 빈번하게 몇 가지 요인이 함께 관여하여 저항성이 된다고 하였는데, 본 실험에서의 저항성 기작은 둘째와 셋째의 요소가 함께 관여하는 것으로 사료되었다.

성체 식물체의 본잎에 인공적으로 접종 후 12일째에 저항성과 이병성 품종의 잎에서 흰가루병 발병 양상을 관찰한 결과는 Fig. 4와 같다. 이병성 품종인 '원예 402호'의 잎에는 흰가루병이 잎 전체적으로 병반이 확대되어 있었으나, 저항성 품종의 잎에서는 병반 흔적이 분명하지 않았다. 이병성 품종의 잎과 저항성 품종의 잎의 표면에 형성된 병반을 현미경으로 관찰한 결과 이병성 품종의 잎에서는 포자와 분생자경이 많이 생성되어 있었다. 그러나 저항성 품종의 잎에서는 균사는 대부분이 죽어 있었고, 분생포자나 분생자경의 수가 현저히 적은 것을 확인할 수 있었다.

호박 흰가루병 저항성 품종 육성. 야생종 호박의 저항성 유전자를 동양종 호박으로 이전하고자 할 때 효과적인 선발을 위한 기초 자료로 활용하고자 흰가루병 저항성 유전자의 유전 양식을 유묘 검정한 결과는 Table 2와 같다.



Fig. 4. Disease development of powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) on the leaf surface at the adult stage of susceptible *Cucurbita moschata* cv. 'Wonye No 402' (left) and resistant *C. martinizii* (right) at 12 days after inoculation.

Table 2. Segregation of powdery mildew resistance in F₁ and BC₁F₁ generations in the interspecific hybrid between *Cucurbita moschata* cv. 'Jaechenjaerae' and *C. martinii*

Generation	Total	Number of plants ^a		Expected ratio	χ^2	P
		Resistant ^b	Susceptible			
Jaechenjaerae (P ₁)	50	0	50	0 : 1		
<i>C. martinii</i> (P ₂)	10	10	0	1 : 0		
F ₁	6	6	0	1 : 0		
BC ₁ F ₁ (P ₁ /F ₁)	65	32	33	1 : 1	0.015	0.901

^aDisease indices were rated for both foliar and stem area infected. 1, No infection; 3, 1~9% of area infected; 5, 10~30%; 7, 31~50%; 9, 51~100%.

^bResistant: Disease index less than 5, Susceptible: Disease index above 7.

'제천재래'와 *C. martinii* 간의 흰가루병 저항성 유묘 검정 결과 F₁에서는 저항성 개체만 출현하였으나, 이병성 친인 '제천재래'로 여교잡한 BC₁F₁에서는 저항성 개체와 이병성 개체가 각각 1:1의 비율로 분리되어 흰가루병 저항성 유전자는 단인자 우성으로 유전되는 것으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 기존의 다른 보고들과 일치하였다(Adeniji와 Coyne, 1983; Contin 등, 1978; Rhodes, 1964).

*C. moschata*인 '제천재래'에 중간잡종 F₁을 여교잡한 BC₁F₁ 세대에서 유묘 검정을 토대로 저항성 개체를 선발하였다. 선발된 개체는 포장에 정식하여 생육시켰으며 개화가 되었을 때 '제천재래'로 다시 여교잡을 실시하여 BC₂F₁ 세대를 작성하였다. BC₃F₁ 세대도 위와 같은 방법으로 진전시켰다. BC₃F₁ 세대를 흰가루병이 잘 발생되는 자연 발병상태에서 포장 검정을 실시한 결과 저항성 개체를 전혀 선발할 수 없었다.

BC₃F₁ 세대의 포장 검정에서 흰가루병 저항성 개체를 선발할 수 없었던 원인을 알아보기로 다시 이전 세대의 종자를 양친과 BC₂F₁ 세대를 재 파종하였다. 이들을 유

묘 검정한 후 저항성으로 선발된 개체들에 대해 포장 저항성 검정을 실시하였다(Table 3).

그 결과 BC₂F₁ 세대의 유묘 검정 결과는 앞 세대인 BC₁F₁ 세대와는 다른 분리 양상을 보여 주었다. 즉 BC₁F₁ 세대에서 저항성 개체를 선발하여 정식 하였으므로 이병성 친으로 여교잡한 BC₂F₁에서 저항성과 이병성의 이론적 분리비는 1:1이어야한다. 그렇지만 지수 5 이하의 개체를 저항성, 7 이상은 이병성으로 하였을 때 유묘 검정에서는 공식된 6계통 중 PR1-2B-3B 등 5계통에서 저항성 개체의 비율이 높았고, PR1-3B-3B 1계통만 이병성 개체의 비율이 약간 높게 나타났다.

유묘 검정에서 저항성으로 분류된 개체들을 포장에 정식하여 포장 저항성을 검정한 결과, 유묘 검정에서와는 달리 PR1-2B-3B, PR1-3B-3B 2계통은 대부분 이병성으로 나타났다(Table 3). 그러나 PR1-3B-7B, PR1-3B-13B 2계통은 저항성 개체의 비율이 상대적으로 높게 나타났으며, 나머지 2계통은 이들과 또 다른 분리 양상을 보였다. 이러한 사실은 유묘 검정과 포장 검정의 결과가 일치

Table 3. Distribution of powdery mildew resistance in the parents and BC₂F₁ generation of interspecific hybrids between *Cucurbita moschata* cv. 'Jaechenjaerae' and *C. martinii*

Generation	No. of plants inoculated	Seedling stage ^a					Field condition ^a				
		1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
Jaechenjaerae (P ₁)	14	0	0	0	4	10	0	0	0	7	3
<i>C. martinii</i> (P ₂)	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0
BC ₂ F ₁ (F ₁ /P ₁)	PR1-2B-3B	28	0	0	24(86) ^b	4(14)	0	0	2(7)	0	22(79)
	PR1-2B-7B	57	0	0	39(68)	18(32)	0	3(5)	6(10)	0	30(53)
	PR1-2B-9B	26	0	0	16(61)	10(39)	0	2(8)	2(8)	4(16)	6(22)
	PR1-3B-3B	28	0	0	12(43)	16(57)	0	0	0	0	12(43)
	PR1-3B-7B	24	0	0	16(67)	8(33)	0	0	7(29)	5(21)	1(4)
	PR1-3B-13B	30	0	0	18(60)	12(40)	0	3(10)	6(20)	6(20)	0

^aDisease indices were rated for both foliar and stem area infected. 1, No infection; 3, 1~9% of area infected; 5, 10~30%; 7, 31~50%; 9, 51~100%.

^bPercentage of individuals by disease index.

하지 않아 호박의 흰가루병 저항성 품종육성 시는 유묘 검정 만으로는 진정한 포장 저항성 개체를 선발하기에는 무리가 있는 것으로 판단되며, 호박의 흰가루병 저항성 유전자는 주동 유전자 외에 미동 유전자가 관여할 가능성이 있음을 시사하였다. 따라서 이병성 친으로 여교잡을 계속 하지 않고, 자식으로 저항성 유전자를 집적시키고자 하였다. 그러나 한 개체 내에서 암꽃과 수꽃의 개화기가 일치하지 않아 자식을 할 수 없어 같은 계통 내의 다른 저항성 개체간의 형매교배를 실시하여 세대를 진전시켰다.

형매교배로 세대를 진전시킨 다음 세대에서 유묘 검정을 실시하여 이병성 개체를 도태시키고 저항성 개체만 포장에 정식한 후 다시 저항성 개체를 선발하여 세대를 진전시켰다(Table 4). BC₂F₁ 세대에서 저항성 개체간의 형매교배로 세대가 진전된 BC₂F₂ 세대에서는 유묘 검정 결과 저항성 정도가 높아지고 저항성 개체의 비율이 이병성 개체의 비율보다 다소 높아졌다. 유묘 검정에서 선발된 저항성 개체의 포장 저항성을 검정한 결과, 저항성으로 판단된 개체들만 정식 하였음에도 불구하고 포장에서는 이병성 개체가 출현하였다.

포장 상태에서 흰가루병에 저항성이면서 원예적 특성이 우수한 개체를 선발한 뒤 자가 수분시켜 BC₂F₃ 세대를 진전하였다. BC₂F₃ 세대의 종자를 파종하여 본엽이 2~3매 전개된 유묘에 인공 접종한 결과, 모두 저항성으로 나타났으며 이들을 포장 검정한 결과도 모두 저항성으로 나타나 이들 중 원예적 특성이 우수한 2개체를 선발 자식하여 BC₂F₄ 세대를 진전시켰다. BC₂F₄ 세대에서는 유묘 검정을 실시하지 않고 포장 검정만으로 저항성이면서 원예적 특성이 우수한 계통을 선발하여 포장에서 원예적 특성을 검정하였다. 원예적 특성이 고정된 것을 확인하고

다른 육성 과정을 통해 선발된 계통과 함께 ‘천수’, ‘장수’로 각각 명명하여 흰가루병 저항성 품종으로 등록하였다. 포장에서 선발된 개체의 저항성 정도는 선발효과가 있어 세대가 진행 될수록 저항성이 증가되는 것을 확인 할 수 있었다(Table 4).

흰가루병 저항성 계통 육성 과정 중에 유묘기 흰가루병 저항성 검정 결과와 포장상태의 저항성 검정 결과가 일치하지 않았고, 포장 상태에서 개체간의 저항성 반응에 차이가 있었다. 이러한 유묘기 저항성 검정과 포장 상태에서의 저항성 검정에 차이가 있었던 이유는 유묘기 저항성 검정에는 제한된 환경 조건에서 저항성 검정이 실시됨으로 환경의 영향이 적지만 포장 상태에서는 환경의 변화가 심하고 식물체의 영양 상태 등 다른 요인들이 많이 관여함으로 이러한 차이가 날 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 금후 호박 흰가루병 저항성 품종 육성 시는 유묘기 저항성 검정을 실시하여 저항성 개체를 선발하였다 할지라도 반드시 포장 상태에서 저항성을 검정할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

흰가루병 저항성 계통으로 선발된 동양종 호박 2계통의 특성은 Table 5 및 Fig. 5에서 보는 바와 같이 육성된 계통의 흰가루병 저항성 수준은 현재 농가에서 많이 재배되고 있는 시판 애호박 품종이나 반복 친으로 사용된 ‘제천제래’ 보다는 매우 강하나 저항성 친 보다는 약간 낮았다(Fig. 5, 6). 육성된 계통을 재배 전 기간 동안 농약을 살포하지 않고 재배할 때 저항성에 의한 흰가루병 방제효과는 95% 이상이었다(Fig. 6). 육성 계통을 이용할 때는 재배 전 기간 동안 평균적으로 6~7회 정도의 흰가루병 농약 살포횟수를 1~2회로 줄일 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 4. Increase of resistant progenies with the progress of selfed generation after backcrosses between *Cucurbita moschata* cv. ‘Jaechenjarae’ and *C. martinuzzi*

Generation	Pedigree	No. of plants inoculated	Seedling stage ^a					Field condition ^a					No. of plants selected
			1	3	5	7	9	1	3	5	7	9	
BC ₂ F ₁ (F ₁ /P ₁)	PR1-2B-3B	28	0	0	24(86) ^b	4(14)	0	0	0	2(7)	0	22(79)	0
	PR1-3B-13B	30	0	0	18(60)	12(40)	0	0	6(20)	6(20)	0	3(10)	3(10)
BC ₂ F ₂	PR1-3B-13B-1/8(sib.) ^c	25	0	15(60)	10(40)	0	0	0	12(48)	0	3(12)	0	1
	PR1-3B-13B-8/9(sib.)	20	0	12(60)	8(40)	0	0	0	10(50)	0	2(10)	0	0
BC ₂ F ₃	PR1-3B-13B-1/8(sib.) ^c -14	10	0	10(100)	0	0	0	0	10(100)	0	0	0	2
BC ₂ F ₄	PR1-3B-13B-1/8(sib.)-14-2	18	-	-	-	-	-	0	12(67)	6(33)	0	0	selection
	PR1-3B-13B-1/8(sib.)-14-10	18	-	-	-	-	-	0	11(61)	7(39)	0	0	selection

^aDisease indices were rated for both foliar and stem area infected. 1, No infection; 3, 1~9% of area infected; 5, 10~30%; 7, 31~50%; 9, 51~100%.

^bPercentage of individuals by disease index.

^cSib-cross: PR1-3B-13B-1 × PR1-3B-13B-8

Table 5. Characteristics of newly developed powdery mildew resistant lines, 'Chensu', 'Jangsu' and their parents

Line	Degree of resistance ^a (1-9)	Days to 1 st flowering ^b (day)	Femaleness/ 20 nodes ^c (%)	Fruit shape	Mature fruit			Bitterness
					Weight (g)	Length (cm)	Diameter (cm)	
Jaechenjarae	9	42	10	Globular	2,300	19	18	no
<i>C. martinii</i>	1	85	5	Globular	230	8	7	yes
Breeding line (Chensu)	3	45	15	Short cylindrical	3,200	18	24	no
Breeding line (Jangsu)	3	44	15	Short cylindrical	4,300	17	27	no

^aResistance to powdery mildew : 1 : Resistance 9 : Susceptible.

^bPercentage of female flower in the first 20 nodes.

^cDays after planting.

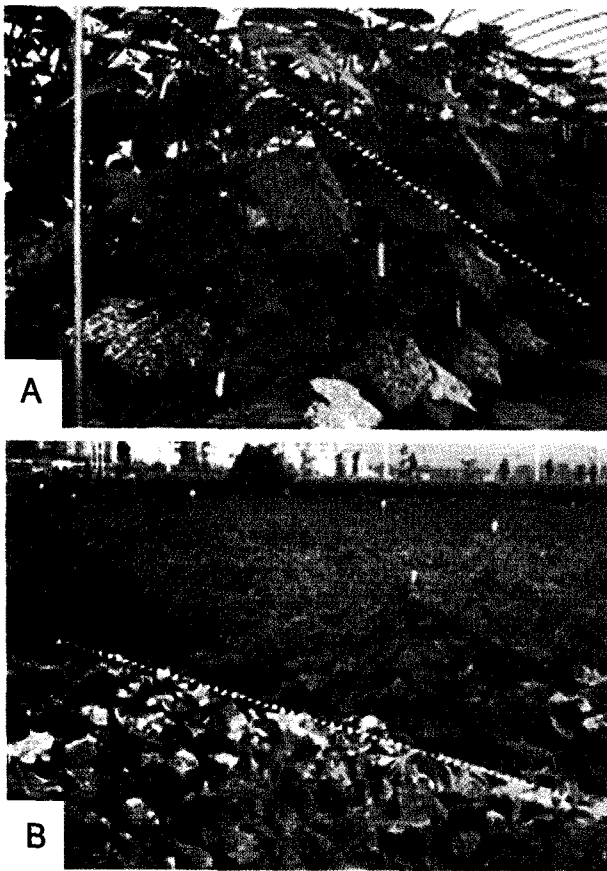


Fig. 5. Breeding lines developed from the interspecific crosses *Cucurbita moschata* cv. 'Jaechenjarae' and *C. martinii* showed highly resistant to powdery mildew. Susceptible commercial cultivars were covered by powdery mildew. **A:** commercial cultivars susceptible to powdery mildew below the dots and resistant breeding lines upper the dots, in the plastic house. **B:** commercial cultivars susceptible to powdery mildew below the dots and resistant breeding lines upper the dots, in the field.

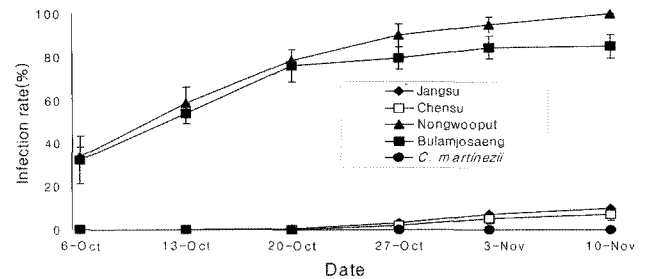


Fig. 6. Changes of powdery mildew infection rate on leaves and stems in breeding lines, commercial cultivars and *Cucurbita martinii* at the natural conditions in a plastic house. 'Chensu' and 'Jangsu' were newly developed varieties resistant to powdery mildew. 'Nongwooput' and 'Bualmjoesaeng' were commercial cultivars. *C. martinii* was wild germplasm resistant to powdery mildew used as donor parent.

resistance to powdery mildew in crosses of butternut with calabaza squash and 'Seminoe pumpkin'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 360-368.

Asari, S. H. and Nakazawa, Y. 1994. Current status in sensitivity of *Sphaerotheca fuliginea* to DMI in Kanto-Tosan District. *Jpn. Proc. Kanto-Tosan Plant Protec. Soc.* 41: 69-75.

Beloanger, R. R., Dik, A. J. and Menzies, J. M. 1998. Powdery mildews recent advances toward integrated control. In: *Plant-microbe interactions and biological control*, ed. by G. J. Boland and D. L. Kuykendall. Marcel Dekker, New York.

Cohen, R., Hanan, A. and Paris, H. S. 2003. Single-gene resistance to powdery mildew in zucchini squash (*Cucurbita pepo*). *Euphytica* 130: 433-441.

Contin, M. E. 1978. Interspecific transfer of powery mildew resistance in the genus *Cucurbita*. PhD Diss., Cornell Univ., Ithaca, NY.

Erickson, E. O. and Wilcox, W. F. 1997. Distributions of sensitivities to three sterol demethylation inhibitor fungicides among populations of uncinula necator sensitive and resistant to triadimefon. *Phytopathology* 87: 784-791.

Hatty, S. P. and Cohen, R. 2002. Powdery mildew-resistant summer squash hybrids having higher yields than their susceptible, commercial counterparts. *Euphytica* 124: 121-

참고문헌

Adeniji, A. A. and Coyne, D. P. 1983. Genetics and nature of

- 128.
- Hong, K. H. 1993. Introduction of bushness of *Cucurbita pepo* to *C. moschata* through ovule culture-aided interspecific hybridization. PhD Diss., Seoul Natl. Univ.
- Johnson, R. and Taylor, A. J. 1976. Spore yield of pathogens in investigations of the race-specificity of host resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 14: 97-119.
- Kwack, S. N. and Fujieda, K. 1986. Inheritance of internode length in an interspecific cross *Cucurbita pepo* × *C. moschata*. *Cucurbit Genetics Cooperative Rept.* 9: 91-92.
- Linda, W. B. 1993. Powdery mildew and downy mildew resistance in *Cucurbita moschata* accessions. *Cucurbit Genetics Cooperative Rept.* 16: 73-74.
- Lyr, H., Russell, P. E. and Sisler, H. R. 1996. Modern fungicides and antifungal compounds. Intercep Limited, Andover, UK.
- McGrath, M. T. 2001. Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: experience and challenges. *Plant Dis.* 85: 236-245.
- Qing, M., Hongwen, C., Lei, Q. and Hui, S. 2002. Resistance of cucurbits to the powdery mildew, *Sphaerotheca fuliginea* (Schlecht.) Poll. *Cucurbit Genetics Cooperative Rept.* 25: 63-64.
- Rhodes, A. M. 1964. Inheritance of powdery mildew resistance in the genus *Cucurbita*. *Plant Dis. Repr.* 48: 54-55.
- Sowell, G. Jr. and Corley, W. L. 1973. Resistance of *Cucurbita* plant introduction to powdery mildew. *HortScience* 8: 492-493.
- Verhaar, M. A. and Hijwegen, T. 1993. Efficient production of phialoconidia of *Verticillium lecanii* for biocontrol of cucumber powdery mildew *Sphaerotheca fuliginea*. *Neth. J. Pathol.* 99: 101-103.
- Wall, J. R. 1961. Recombination in the genus *Cucurbita*. *Genetics* 46: 1677-1685.
- Whitaker, T. W. and Robinson, R. W. 1986. Squash breeding p. 209-242. In: M.J. Bassett (ed.). *Breeding Vegetable Crops*. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.
- Wright, D. P., Scholes, D., Horton, P., Baldwin, B. C. and Sheppard, M. C. 1990. The relationship between the development of haustoria of *Erysiphe graminis* and the energy status of leaves. In: *Current Research in Photosynthesis*, Vol. 4, ed by M. Baltscheffsky, pp. 223-226. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Yamaguchi, M. 1983. *World vegetables*. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.