

경기 지역 오이 흰가루병균(*Sphaerotheca fusca*)의 살균제 저항성 검정

김진영* · 홍순성 · 임재욱 · 박경열 · 김흥기¹
경기도농업기술원, ¹충남대학교 농생물학과

Screening of Fungicide Resistance of Cucumber Powdery Mildew Pathogen, *Sphaerotheca fusca* in Gyeonggi Province

Jin-Young Kim*, Sun-Sung Hong, Jae-Wook Lim, Kyeong-Yeol Park and Hong-Gi Kim¹

Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwasung 445-300, Korea

¹Department of Agricultural Biology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received on February 25, 2008)

Fungicide resistance of cucumber powdery mildew was screened among the pathogens isolated from diseased plants in main cucumber production areas in Gyeonggi Province. Each fungicide from different activity group for the control of powdery mildew were sprayed on cucumber leaves according to application concentration. Each conidia mixed with sterilized water isolated of pathogens were transferred on the cucumber leaf disks treated with each fungicide. At 7 to 9 days after inoculation of pathogen, disease severity was recorded under the microscope. Most of pathogen isolates showed moderate resistance to difenoconazole belonged to DMI group fungicide while some isolates from Osan were resistant even 300 µg/ml. Isolates from Pyeongtaek, Osan and Yongin area also showed moderate resistance to fenarimol while one isolate showed resistant to fenarimol even 300 µg/ml. Most of isolates from Pyeongtaek, Osan and Yongin showed highly resistant to azoxystrobin belonged to strobilurin group fungicide. Standard sensitive isolates the minimum inhibition concentration (MIC) value for azoxystrobin showed 200 µg/ml while resistance isolates showed above 2000 µg/ml. Resistant isoates also showed cross resistance among strobilurin group fungicides and low control efficacy in the field test. These results suggest that treatment of strobilurin fungicides should be reduced for the control of powdery mildew.

Keywords : Cucumber, DMI, Powdery mildew, Resistance, Strobilurin

식물병원균의 살균제 저항성은 과거 보르도액이나 석회유황합제 등 무기농약을 사용하던 때에는 크게 문제되지 않았으나, 항생물질, 유기인계, benzimidazole계 등 유기합성농약이 등장하면서 약제내성균의 문제가 대두되었다. 사용 초기에는 우수한 약효를 보이던 약제가 연속사용 하면서 병원균이 살균제에 대한 저항성을 획득하여 약효가 급격히 떨어지고, 결국에는 사용이 불가능하게 되는 현상이 보고되고 있다. 전세계적으로 농업유해생물의 농약에 대한 저항성은 병원균 100여종, 해충은 450여종이 외국에서 보고된 바 있고, 국내에서는 감자 역병균 등 여러 식물병원균에서 살균제 저항성에 대한 연구가 이루어

졌으나(김 등, 2000; 최 등, 1992), 순환물 기생균인 오이 흰가루병균에 대한 저항성 연구는 배양과 균주 보존이 까다로워 거의 전무한 실정이다.

오이 흰가루병(병원균: *Sphaerotheca fuliginea*)은 시설재배에서 연중 발생 하여 약제방제 횟수가 많은 병해로 알려져 있다. 특히 봄철의 건조한 시설환경에서는 발생량이 계속 증가하기 때문에 살균제를 처리하는데도 불구하고 방제가 어려운 병해이다. 오이 흰가루병 방제용 살균제로는 트리azole 계통이 가장 많이 이용되고 있으며, 최근에는 천연물에서 유래한 성분으로 작용 스펙트럼이 광범위하고 다양한 작물에 적용할 수 있는 strobilurin계 살균제 사용이 증가하고 있는 추세에 있다(Bartlett 등, 2002; Hollomon 등, 1999).

따라서 본 연구는 경기도 지역에서 채집한 박과류 흰가루병 병원균에 대한 약제 계통별 저항성 정도를 분석

*Corresponding author

Phone) +82-31-229-5832, Fax) +82-31-229-5964

E-mail) kgy5122@gg.go.kr

하여, 그 정보를 바탕으로 합리적인 방제방법을 모색하고 농약 사용량을 절감하고자 실시하였다.

재료 및 방법

살균제에 대한 오이 흰가루병균의 저항성 검정. 오이 흰가루병균의 살균제에 대한 저항성을 검정하기 위한 조건을 설정하고자 현재 오이 흰가루병방제를 위하여 등록되어 있는 살균제를 각 그룹별로 나눈 후 시험에 사용할 살균제를 선정하였다(Table 1). benzimidazole계 살균제는 carbendazim(a.i. 60%, WP), 피리미딘 계통은 휘나리몰(a.i. 12.5%, EC), 트리아졸 계통은 difenoconazole(a.i. 10%, SC), strobilurin 계통은 azoxystrobin(a.i. 20%, SC)과 kresoxim-methyl(a.i. 47%, SC)을 각각 선정하여 저항성 정도를 조사하였다.

오이 흰가루병균 포자의 효과적인 접종방법을 비교하기 위하여 채집한 시료의 포자를 붓에 묻혀서 이 디스크에 접종하는 O'Brien(1994)의 방법과 멸균수에 포자를 현탁하여 접종하는 방법을 상호 비교하였다. 멸균수 현탁법은 채집한 병원균 포자를 살균수에 현탁하고 포자 농도를 3×10^4 으로 조절하여 10 μ 씩 오이 잎조각(직경: 2 cm)에 접종하였다. 오이 잎 조각은 12개의 well이 있는 조직 배양용 plate(SPL, Plastic Labware)에 아가(1%)를 부어 굳힌 후 직경 2 cm 크기의 원형 잎 조각을 치상한 후 병원균을 접종하였다. 또한 병원균 접종 2분 후 거름종이를 이용하여 남아있는 수분을 제거하였다. 오이 잎 조각을 담은 Petri dish는 20°C의 광조건(12hr/12hr, L/D)에서 약 7~10일간 보관하면서 발병도를 조사하였다. 또한 약제 분무 처리 후 병원균의 최적 접종시기를 구명하기 위하여 각 농도별로 약제를 처리한 잎을 1일, 4일, 7일 후에 잎을 수거하여 병원균을 접종 후 발병도를 비교하였다. 약제 계통별 최소저지농도(MIC)를 설정하고자 시험 농약을 농도별로 살포한 후 완전히 건조한 잎에 펀치를 이용해서 직경 12~15 mm 정도의 잎 디스크로 만들어 아가 배

지위에 치상한 후 병원균을 3반복으로 접종하였다. 발병도 조사기준은 균사와 포자 형성정도에 따라 평가하여 0; 균사와 포자형성 없음, 1; 균사만 형성, 2; 균사와 분생포자 20개 이하, 3; 균사 형성 및 분생포자 20개 이상으로 조사하였다.

오이 재배 주산단지별 살균제 저항성 조사. 오이 흰가루병 병원균 채집은 2004년에서 2006년까지 경기도 주산단지인 평택, 용인, 오산 등 농가 재배포장에서 채집한 후 오이 잎 디스크에 접종하여 20°C 항온기에 보관하며 실험에 사용하였다. 살균제에 대한 저항성 정도를 검정하기 위하여 선정한 살균제를 각 농도별로 오이 잎조각에 처리하고 병원균을 접종하여 그 발병도를 조사하였다. 살균제에 대한 저항성 기준은 감수성 균주의 최소저지농도(MIC)를 기준 농도로 하여 그 상대성을 평가하였다.

오이 흰가루병 방제효과 포장 검증. 흰가루병 병원균의 저항성이 확인된 오이 재배 하우스 포장에서 난괴법 3반복으로 시험농약을 농약지침서에서 추천하는 살포 농도로 제조한 후 10일 간격으로 2회 살포하였으며, 최종 살포하고 7일 후에 발병도를 조사하여 방제효과를 산정하였다. 발병도를 조사하기 위해서 조사기준은 주당 10엽에서 병반면적을 기준한 발병지수를 조사한 후, 아래 식으로 산출하였다(백 등, 1996).

$$\text{발병도}(\%) = (4A + 3B + 2C + D) / (4 \times \text{총조사잎수}) \times 100$$

- A; 50.1~100%
- B; 30.1~50%
- C; 20.1~30%
- D; 0.1~20%

결과 및 고찰

오이 흰가루병 검정 조건 설정. 오이 흰가루병 균주의 효과적인 유지와 접종을 위한 방법은 멸균수에 현탁하는 방법이 7일차 발병도가 2.23, 9일차가 2.50으로 붓으로 접종한 발병도 1.90과 2.13보다 각각 발병도가 높아 멸균수에 현탁하는 방법이 더 유리할 것으로 판단되었다(Table 2). 또한 병원균의 포자 부착 능력을 높이고자 일반적으로 널리 사용하는 전착제인 Tween 20을 포자 현탁액에 첨가하여 접종하였을 때에는 발병도가 0으로 나타나, 오히려 포자 발아를 저해하여 발병이 되지 않는 것으로 생각되었다. 각 약제별 분무처리 후 적정 접종일수는 약제 처리 후 1일차에서 발병이 되지 않았으나 4일차에서 azoxystrobin을 처리한 잎에서 0.3, 7일차에서는 3약제 모두 발병하여 약효가 낮아지는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 1. Fungicide lists for the resistance screening of cucumber powdery mildew pathogen

Activity group	Chemical grouping	Common name	AI ^a (%)
Benzimidazole	Benzimidazole	carbendazim	60.0
DMI	Pyrimidine	fenarimol	12.5
	Triazole	difenoconazole	10.0
Strobilurin	Strobilurin	azoxystrobin	20.0
		kresoxim-methyl	47.0

^aAI, Active ingredient.

Table 2. Disease severity of powdery mildew for the maintenance of pathogen depending on inoculation methods

Treatment ^b	Disease severity		
	5 day	7 day	9 day
Paint brush	0.03	1.90	2.13
Dropping with spore suspension (SS) ^a	0.07	2.23	2.50
SS + Tween20(0.03%)	0.0	0.0	0.0

^aConidia was dropped per 10 µl on leaf disk after adjusting concentration of pathogen 3×10⁹/ml.

^bDisease severity graded by 0: no mycelium, 1: mycelium on leaf disk but no sporulations, 2: mycelium and under 20 sporulations and 3: mycelium and above 20 sporulations.

Table 3. Optimum inoculation day after application of chemicals

Fungicide	Concentration (µg/ml)	Disease severity ^a on inoculations days		
		1 day	4 days	7 days
Fenarimol	30	0.0	0.0	1.0
Difenoconazole	30	0.0	0.0	1.0
Azoxystrobin	200	0.0	0.3	2.3

^aDisease severity was estimated after 7 days inoculation of sensitive isolate.

따라서 살균제를 처리하고 1일 후에 처리한 오이 잎을 수거하여 병원균을 집중하는 것이 발병도 조사에 적합할 것으로 판단되었다.

약제 계통별 최소저지농도(MIC)를 설정한 결과 DMI 계통인 fenarimol, difenoconazole은 각각 50 µg/ml와 30 µg/ml로 나타났다(Table 4). strobilurin 계통인 azoxystrobin은 200 µg/ml에서조차 발병도가 0.2로 나타나 최소저지농도는 200 µg/ml 이상으로 설정하였다. 이와 같은 농도는 Ishii(2001)가 설정한 최소저지농도 10 µg/ml보다 20배 이상 높은 수치로 나타났으며, 그 차이는 사용한 약제의 종류와 감수성 균주의 차이에서 기인하는 것으로 추정된다. benzimidazole 계통 약제인 carbendazim은 1,000 µg/ml에서 0.1의 발병도를 보여 MIC는 1,000 µg/ml 이상으로 다른 계통의 살균제에 비해 높은 농도를 보였다. 하지만 본 실험에서 사용한 흰가루병균의 균주가 실험에 사용한 살균제를 사용하기 이전에 포장에서 분리한 균주가

아니고, 이미 살균제를 사용하고 난 후에 포장에서 분리하였기 때문에, 실험에 사용한 살균제의 정확한 MIC 값을 조사할 수는 없었다. 국내에서 특정한 살균제에 대한 흰가루병균의 저항성 발현 여부를 검정하기 위해서는 국외에서 보고하고 있는 MIC 값을 이용하거나, 다수의 균주를 검정하여 감수성과 저항성 균주의 그룹을 나누고, 각 그룹의 MIC 값을 이용하는 방법이 있을 수 있다. 그러나 흰가루병균은 활물기생균이기 때문에 다량의 균주를 다루는 것이 용이하지 않기 때문에 본 실험에서는 몇 곳의 오이 재배 주산지에서 채집한 흰가루병의 반응을 보고서 실험에 사용한 살균제에 대한 병원균의 반응을 조사하고자 한다.

오이 재배 주산지별 살균제 저항성 정도 조사. difenoconazole에 대한 살균제 저항성 조사 결과 2005년 평택에서 채집한 균주는 무처리구에 비해서 30 µg/ml에서도 전혀 발병이 억제되지 않았다. 또한 오산에서 채집한 균주는 6개의 균주 중에서 O20050310 균주 1개만이 30 µg/ml에서 완전히 병발생이 억제되었으며, O20050405를 비롯한 O20050406과 O20050407는 300 µg/ml의 처리구에서도 병 발생이 억제되지 않았다. O20050308과 O20050309 균주는 평택에서 분리한 균주들과 같이 300 µg/ml에서는 전혀 발병을 확인할 수 없었는데, 30 µg/ml의 처리구에서는 1.0과 3.0의 발병도를 보였다(Table 5). 이는 오산에서 채집한 균주들이 difenoconazole에 대한 저항성 정도가 평택의 균주들보다 높기 때문에 오산 지역에서의 difenoconazole의 사용을 자제해야 할 것으로 생각되어진다. 용인 지역에서 2006년도에 채집한 5개의 균주 중에서 3균주는 2005년 평택 지역에서 채집한 균주와 같이 30 µg/ml의 처리구에서도 병이 발생하였으며, Y2006033004 균주는 300 µg/ml의 처리구에서도 병이 발생하였다. 하지만 Y2006042411 균주는 15 µg/ml의 처리구에서 전혀 병이 발생하지 않는 감수성 균주로 판명되었다. 평택 지역에서 분리한 5균주는 30 µg/ml에서 모두 발병되었으며, 2005년과는 다르게 P2006033103과 P2006033105 균주는 300 µg/ml의 처리구에서도 발병되어 저항성의 정도가 높아지고 있음을 알 수 있었다(Table 6).

Table 4. MIC values for *Sphaerotheca fusca* isolates depending on each fungicides

Treatment	Fungicide concentration (µg/ml)							
	0	15	30	50	100	200	500	1,000
Fenarimol	2.7	0.3	0.03	0.0	-	-	-	-
Difenoconazole	2.3	0.3	0.0	0.0	-	-	-	-
Azoxystrobin	2.5	-	-	2.8	2.3	0.2	-	-
Carbendazim	2.9	-	-	2.9	-	-	0.1	0.1

Disease severity was estimated after 7 days from sensitive isolate inoculation.

Table 5. Sensitivity of cucumber powdery mildew isolates to difenoconazole (2005)

Collection area	Isolate	Difenoconazole concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		0	30	300	1000
Pyeongtaek	P20050901	3.0 ^a	3.0	0.0	0.0
	P20050902	3.0	3.0	0.0	0.0
	P20050903	3.0	3.0	0.0	0.0
	P20051004	2.7	2.3	0.0	0.0
	Average	2.9	2.8	0.0	0.0
Osan	O20050405	3.0	3.0	2.3	0.0
	O20050406	3.0	3.0	2.3	0.0
	O20050407	3.0	3.0	1.0	0.0
	O20050308	3.0	1.0	0.0	0.0
	O20050309	3.0	3.0	0.0	0.0
	O20050310	2.7	0.0	0.0	0.0
	Average	3.0	2.2	0.9	0.0

^aDisease severity graded by 0: no mycelium, 1: mycelium on leaf disk but no sporulations, 2: mycelium and under 20 sporulations and 3: mycelium and above 20 sporulations.

Table 6. Sensitivity of cucumber powdery mildew isolates to difenoconazole (2006)

Collection area	Isolate	Difenoconazole concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		0	15	30	300
Yongin	Y2006033001	2.0	2.0	1.3	0.0
	Y2006033004	2.3	2.0	2.0	1.0
	Y2006042411	2.3	0.0	0.0	0.0
	Y2006092018	2.5	2.5	2.3	0.0
	Y2006092019	3.0	3.0	3.0	0.0
Average	2.4	1.9	1.7	0.2	
Pyeongtaek	P2006033103	2.0	2.0	2.3	1.7
	P2006033105	3.0	2.0	2.3	1.0
	P2006092015	3.0	1.5	1.8	0.0
	P2006092016	3.0	2.5	1.7	0.0
	P2006092017	3.0	3.0	2.7	0.0
Average	2.8	2.2	2.2	0.5	
Hwasung	H2006041310	2.2	2.0	2.0	0.0

fenarimol에 대한 감수성 정도를 조사한 결과, 2005년에는 평택, 오산, 용인 지역에서 분리한 12개의 균주 중에서 9개의 균주가 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 처리구에서 모두 발병되었으며, P20050901 균주를 비롯한 3개 균주는 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 처리구에서도 병이 발생하는 것을 확인할 수 있었다(Table 7). 평택 지역에서 2006년에 채집한 5개의 균주는 모두 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 처리구에서 흰가루병이 발생하였으며, 그 중 P2006033103 균주는 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 처리구에서도 병 발생이 확인되었다. 이 결과는 difenoconazole과 유사한 결과

Table 7. Sensitivity of cucumber powdery mildew isolates to fenarimol (2005)

Collection area	Isolate	Fenarimol concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		0	30 ^a	300	1000
Pyeongtaek	P20050901	3.0	3.0	1.0	0.0
	P20050902	3.0	3.0	1.0	0.0
	P20050903	3.0	3.0	0.0	0.0
	P20051004	3.0	1.0	0.0	0.0
	Average	3.0	2.5	0.5	0.0
Osan	O20050405	3.0	2.3	0.0	0.0
	O20050406	3.0	2.7	0.0	0.0
	O20050407	3.0	1.7	0.0	0.0
	O20050308	3.0	2.7	0.0	0.0
	O20050309	3.0	2.0	0.0	0.0
	O20050310	3.0	2.7	2.0	0.0
	Average	3.0	2.4	0.3	0.0
Yongin	O20051111	3.0	1.7	0.0	0.0
	O20051112	2.7	0.7	0.0	0.0
	Average	2.9	1.2	0.0	0.0

^aConcentration recommended in practice.

Table 8. Sensitivity of cucumber powdery mildew isolates to fenarimol (2006)

Collection area	Isolate	Fenarimol concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		0	15 ^a	30 ^b	300
Yongin	Y2006033001	2.3	0.3	0.0	0.0
	Y2006033004	2.3	2.0	2.0	0.0
	Y2006042411	2.8	0.7	0.0	0.0
	Y2006092018	3.0	2.5	1.8	0.0
	Y2006092019	3.0	3.0	2.3	0.0
Average	2.7	1.8	1.3	0.0	
Pyeongtaek	P2006033103	2.3	2.0	1.3	0.7
	P2006033105	2.5	1.0	1.0	0.0
	P2006092015	2.7	1.8	1.7	0.0
	P2006092016	2.3	1.8	1.5	0.0
	P2006092017	3.0	3.0	3.0	0.0
Average	2.6	1.9	1.7	0.1	
Hwasung	H2006041310	3.0	1.7	1.0	0.0

^aMinimum inhibition concentration (MIC).

^bConcentration recommended in practice.

라고 생각되어진다. 하지만 용인지역의 균주는 분리한 5개의 균주 중에서 Y2006033001과 Y2006042411인 2개의 균주가 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 처리구에서 0.3과 0.7의 발병도를 보였고, 나머지 3균주는 모두 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 처리구에서 발병하였다. 이 결과 역시 difenoconazole과 같이 용인지역의 흰가루병균들이 타지역보다는 difenoconazole과 fenarimol과

같은 스테롤 생합성 저해 살균제에 대한 저항성 발현 수준이 낮은 것을 알 수 있었다. 하지만 이미 국내의 오이 주산지에서 발생하는 흰가루병균의 대부분 균주들이 스테롤 생합성을 저해하는 살균제에 대해서 저항성의 수준이 높게 상승하여 있다고 생각되어진다(Table 8). 따라서 지금부터라도 지속적인 살균제 저항성 모니터링이 수행되어 오이 재배 지역에서의 살균제 효과를 높일 수 있는 방안이 도출되어야 할 것으로 생각한다.

strobilurin 계통 중 azoxystrobin에 대한 감수성 정도를

Table 9. Sensitivity of cucumber powdery mildew isolates to azoxystrobin (2005)

Collection area	Isolates	Azoxystrobin concentration (µg/ml)			
		0	200 ^a	1,000	2,000
Pyeongtaek	P20050901	2.0	2.0	2.0	2.0
	P20050902	2.0	2.0	3.0	3.0
	P20050903	3.0	2.0	3.0	3.0
	P20051004	2.7	2.5	2.7	2.7
	Average	2.4	2.1	2.7	2.7
Osan	O20050404	3.0	3.0	3.0	3.0
	O20050405	2.7	3.0	3.0	3.0
	O20050406	3.0	3.0	3.0	3.0
	Average	2.9	3.0	3.0	3.0

^aMIC and Concentration recommended in practice.

Table 10. Sensitivity of cucumber powdery mildew isolates to azoxystrobin (2006)

Collection area	Isolates	Azoxystrobin concentration (µg/ml)			
		0	200 ^a	1,000	2,000
Yongin	Y2006033001	2.2	2.0	2.0	1.3
	Y2006033004	2.0	2.0	2.0	1.7
	Y2006042411	2.3	2.0	2.0	0.0
	Y2006092018	3.0	3.0	3.0	3.0
	Y2006092019	3.0	3.0	3.0	3.0
	Average	2.5	2.4	2.4	1.8
Pyeongtaek	P200603313	2.3	2.0	2.0	2.0
	P200603315	2.0	2.0	2.0	2.0
	P2006092015	2.7	2.7	2.0	2.5
	P2006092016	3.0	2.6	2.8	3.0
	P2006092017	3.0	3.0	3.0	3.0
Average	2.6	2.5	2.4	2.5	
Hwasung	H2006041310	2.3	2.0	2.0	0.7
Gwangju ^b	G2006083112	3.0	1.3	0.0	0.0
	G2006083114	2.3	1.7	0.3	0.0
	Average	2.7	1.5	0.2	0.0

^aMIC and Concentration recommended in practice.

^bIsolates were collected from organic farming areas in August.

조사한 결과 2005년 채집한 균주는 평택, 오산 모두 2,000 µg/ml에서도 높은 저항성을 보였다(Table 9). 2006년 채집한 균주도 광주 지역의 유기농 재배 지역에서 채집한 균주를 제외하고는 평택, 용인, 화성에서 채집한 대부분의 균주가 1,000 µg/ml에서도 저항성을 나타내었다(Table 10). Fernandez(2006) 등에 의해 스페인 지역에서 조사한 결과와 비교하면 가장 높은 빈도로 저항성을 가진 지역이 44~74%, 가장 낮은 지역은 10~13%라고 보고하였으며, strobilurin 계통 농약에 대해 경기도 지역이 다소 높은 저항성을 나타내었다.

strobilurin 계통 약제간 교차저항성을 검정한 결과 azoxystrobin에 저항성을 나타내는 용인, 평택, 화성 지역의 6균주에 대해 kresoxim-methyl의 효과를 조사한 결과 2,000 µg/ml 농도에서 용인에서 분리한 Y2006042411 균주를 제외한 모든 균주가 발병되어 교차저항성이 나타나고 있었다(Table 11). Y2006042411 균주는 azoxystrobin에 대해서도 2,000 µg/ml의 처리구에서 전혀 병을 일으키지 못하였는데 kresoxim-methyl의 경우에도 역시 2,000 µg/ml의 처리구에서 병 발생을 확인할 수 없었다. 하지만 이미 대부분의 흰가루병의 균주들이 strobilurin 계통의 살균제에 대해서 심각한 저항성을 나타내고 있는 것으로 판단

Table 11. Sensitivity of cucumber powdery mildew isolates to Kresoxim-methyl (2006)

Collection area	Isolates	Kresoxim-methyl concentration (µg/ml)			
		0	200 ^a	1,000	2,000
Yongin	Y2006033001	2.3	2.2	2.2	2.0
	Y2006033004	2.0	2.0	2.2	2.0
	Y2006042411	2.2	0.0	0.7	0.0
	Average	2.2	1.4	1.7	1.3
Pyeongtaek	P200603313	2.0	2.0	2.2	2.0
	P200603315	2.0	2.2	2.2	2.3
	Average	2.0	2.1	2.2	2.2
Hwasung	H2006041310	2.2	2.3	2.5	2.5

^aMIC and Concentration recommended in practice.

Table 12. Sensitivity of cucumber powdery mildew isolates to carbendazim

Collection area	Isolates	Carbendazim concentration (µg/ml)			
		0 ppm	300 ppm	600 ppm	1200 ppm
Pyeongtaek	P20050901	3.0	2.0	2.0	2.0
	P20050902	2.0	2.0	2.0	2.0
	P20050903	3.0	2.0	2.0	2.0
	P20051004	2.7	2.0	2.0	1.0
	Average	2.7	2.0	2.1	1.8

Table 13. Fungicide efficacy evaluations of resistant powdery mildew isolate in field tests

Treatment	AI ^c (%)	Dilution	Disease severity ^a (%)			Average ^b	Control effect (%)
			Rep. A	Rep. B	Rep. C		
Difenoconazole	10	3,000	15.0	12.5	15.0	14.2 ^a	77.8
Azoxystrobin	20	1,000	32.1	40.6	40.0	37.6 ^c	41.2
Fenarimol	12.5	4,000	12.5	15.0	13.9	13.8 ^a	78.4
Azoxystrobin + chlorothalonil	4.8/40	1,500	25.0	20.0	27.5	24.2 ^b	62.2
Kresoxim-methyl	47	4,000	42.5	50.0	42.5	45.0 ^c	29.6
Trifloxystrobin	22	2,000	20.0	35.0	15.0	23.3 ^b	63.5
No treatment	-	-	61.1	66.7	63.9	63.9 ^d	-

^aEach fungicide was sprayed 2 times and severity was estimated after 7 days from final foliar spray.

^bDMRT (5%).

^cAI: Active ingredient.

되었다. benzimidazole 계통인 carbendazim에 대해서 4개의 수집 균주는 모두 1,200 µg/ml의 처리구에서 모두 발병되어 저항성 균주로 판명되었다(Table 12). 하지만 benzimidazole 계통의 농약은 현재 오이 흰가루병으로 등록된 농약의 생산이 거의 없어 추후 저항성이 문제되지는 않을 것으로 생각된다.

오이 흰가루병 방제효과 포장 검증. 저항성 균주에 대한 실제 약효 포장검증을 실시한 결과 azoxystrobin 41.2%, kresoxim-methyl 29.6%의 방제효과가 나타나 타 계통의 약제보다 방제효과가 현저히 낮았다(Table 13). Ishii 등 (2001)은 오이 노균병 병원균에 관하여 azoxystrobin 저항성 균의 kresoxim-methyl에 관한 교차저항성을 검토한 결과 감수성 균주와 비교하여 저항성 균주가 방제효과가 전혀 없는 결과를 얻어 약제간 상호 교차저항성을 확인하였다. 이와 같은 약제간 저항성은 cytochrome b 유전자의 돌연변이(point mutation)가 일어난 결과로 추정하였고 동일 작용기작에 기인하는 것으로 생각된다.

요 약

오이 흰가루병 저항성 검정을 위한 시험조건을 설정하고, 경기지역 오이 주산단지에서 분리한 흰가루병 병원균의 약제 저항성 정도와 흰가루병 방제농약의 서로 다른 계통별 저항성을 검정하기 위해 시험 약제를 농도별로 오이 잎에 살포한 잎 디스크 위에 채집한 병원균을 접종·배양하여 7~9일 후에 현미경을 이용, 발병도를 조사하였다. difenoconazole에 대한 약제 감수성 정도를 조사한 결과 평택 분리주들은 대체로 중도저항성이었으나, 2005년 오산에서 분리한 2개 균주들은 300 µg/ml 농도에서도 발병도가 높게 나타나 저항성 균주로 판단되었다. fenarimol에 대한 약제 감수성 정도는 평택, 오산, 용인 3지역이 대

체적으로 중도저항성 또는 감수성으로 나타났으나, 오산에서 분리한 1개 분리주에서 300 µg/ml에서도 발병하여 저항성 균주로 판단되었다. strobilurin 계통 농약에 대해서는 대부분 저항성으로 나타났으며, 1,000 µg/ml과 2,000 µg/ml에서도 발병도의 변화가 없었으며 kresoxim-methyl에 대해서도 교차저항성을 나타내었다. carbendazim에 대한 흰가루병 채집 균주의 감수성은 1,200 µg/ml에서도 발병하여 저항성을 나타내었다. 약제 계통별 오이 흰가루병 포장 시험 결과 및 디스크시험에서 저항성을 보인 strobilurin 계통의 농약에 대한 방제효과는 azoxystrobin이 41.2%, kresoxim-methyl이 29.6%의 낮은 방제효과를 나타내어 금후 사용량을 줄여야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 백수봉, 경석현, 김종진, 오연선. 1996. 대황에서 추출한 생리 활성물질의 오이 흰가루병 방제 효과. 한국식물병리학회지 12: 85-90.
- Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godwin, J. R., Hall, A. A., Hamer, M. and Parr-Dobrzanski, B. 2004. The strobilurin fungicides. *Pest Manag. Sci.* 58: 649-662.
- 최경자, 김병섭, 정영륜, 조광연. 1992. 감자 역병 포장에서 메타락실 저항성인 감자역병균의 발생. *한식병지* 8: 34-40.
- Cohen, R. 1993. A leaf disk assay for detection of resistant of melons to *Sphaerotheca fuliginea* race 1. *Plant Dis.* 77: 513-517.
- Fernandez, O. D., Perez G. A., Lopez, R. F., Romero, D., De Vicente, A. and Tores, J. A. 2006. Occurrence na distribution of resistant QoI fungicides in populations of *Podosphaera fusca* in south central Spain. *European Journal of Plant Pathology* 115: 215-222.
- Hollomon, D. W., Wheeler, I., Dixon, K., Longhurst, C. and Skylakakis, G. 1999. Defining the resistance of the new powdery mildew fungicide quinoxyfen. *Pesticide Science* 51:

- 347-351.
- Ishii, H., Fraaije, B. A., Sugiyama, T., Noguchi, K., Nishimura, K., Yakeda T., Amano, T. and Hollomom, D. W. 2001. Occurrence and molecular characterization of strobilurin resistance in cucumber powdery mildew and downy mildew. *Phytopathology* 91: 1166-1171.
- 김병섭, 최진희, 전환홍, 류경열, 함영일, 이윤수. 2000. 강원 지역에서 분리한 감자역병균(*Phytophthora infestans*)의 교배형 (mating type) 및 metalaxyl 저항성. *한국농약과학회지* 4: 59-63.
- McGrath, M. T. and Shishkoff, N. 2001. First report of the Cucurbit powdery mildew fungus (*Phodosphaera xanthii*) resistant to strobilurin fungicides in the Unites States. *Plant Dis.* 87: 1007.
- O'Brien, R. G. 1994. Fungicide resistance in populations of cucurbit powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 22: 145-249.