

국내 살균제 저항성 문제의 현황과 전망

김 총 희*

농업과학기술원 작물보호부 식물병리과

요약 : 국내 살균제 저항성 연구는 아직 초보적 수준으로 대부분의 연구가 실내에서의 살균제 저항성 균주의 검출보고에 국한하고 있다. 향후 살균제 저항성 연구는 포장에서 대상 병원균 집단의 살균제에 대한 감수성 분포를 근거로 하여 그 살균제에 대한 저항성을 판별하는 기준 농도를 설정한 후 병원균주의 저항성 여부가 판정되어야 한다. 국내의 대부분의 연구가 이점을 간과하고 있기 때문에 연구자간에 저항성 기준에 차이가 있어 병원균 집단의 약제에 대한 감수성 변화를 추적하거나 해석하는데 많은 문제점이 있었다. 실내시험에서 검출된 살균제 저항성은 포장에서 감수성 및 저항성 균을 대상으로 방제효과를 조사한 후 그 저항성을 실증할 수 있어야 한다. 살균제 저항성은 실제로 농가포장에서의 약제 방제 효율의 저하와 연관되어야 비로써 실용적인 의미를 갖기 때문이다. 저항성 균주에 대한 기생적 적응력의 조사는 병원균 집단내의 저항성 균주들의 생존력이나 안정성을 검정하기 위하여 반드시 필요하다. 또한 살균제 저항성에 대한 장·단기적 대책을 강구하기 위하여 병원균 집단의 특정 살균제에 대한 감수성의 변화가 그 살균제를 사용하고 있거나 사용한 적이 없는 포장에서 주의 깊게 조사 되어야만 한다. 이러한 연구들은 국내 살균제 저항성 문제를 해결하기 위한 기본적인 정보를 제공한다는 면에서 매우 시급한 연구과제가 되고 있다.(2000년 4월 25일 접수, 2000년 6월 23일 수리)

Key words : fungicide, resistance, sensitivity, distribution, korea.

서론

농업 생산성을 향상시키기 위한 살균제 사용량이 증가함에 따라 외국의 경우와 마찬가지로 몇몇 작용점 특이적 침투이행성 살균제에 대한 저항성 병원균들의 집단적 출현 혹은 약제감수성이 둔화된 병원균에 대한 보고가 국내에도 점점 늘어나는 추세에 있다. 이와 같은 경향은 병원균에 따라 특이적인 고효성 살균제의 개발이 집중적으로 이루어지고 있고 국내에서도 이의 소비가 늘어남에 따라 생긴 현상으로 추정되지만 상당한 기간동안 이러한 약제들을 먼저 사용해 온 선진각국에서 약제저항성 병원균 집단의 증가에 의한 실제적인 약효감소의 사례가 이미 여러 차례 보고된 바 있어 국내에서도 살균제 저항성 병원균 집단의 출현은 시간문제라고 생각되고 있다. 이미 우리나라에서도 살균제에 대한 약제저항성이 상당수 보고되어 있으나 대부분의 연구가 단순히 실내에서 병원균의 약제에 대한 감수성을 조사한 경우에 그치고 있어 후속대책이 시급한 현 시점에서 아쉬운 감이 없지 않다. 여기에서는 국내에서 보고된 살균제 약제 저항성에 대한 연구결과를 근거로 외국의 사례와 비교하여 국내 살균제 저항성 문제의 현황을 살펴보고 향후 필요한 대책 및 연구방향을 제시해보고자 한다.

국내 살균제 소비 동향 및 농가 사용실태

국내 살균제 소비량은 해에 따라 대개 6,500~8,000 M/T 수준인데 이것은 전체 농약소비량의 약 30%에 해당

하는 양이다(Anonymous, 1996). 국내 살균제 소비동향은 1995년의 7,909 M/T에서 1998년의 6,543 M/T로 해마다 조금씩 감소하는 추세에 있다. 이중에서 원예용이 60%~70%를 차지하고 그 나머지만 매년 2,000~2,500 M/T가 수도용으로 소비되고 있다.

1999년에 등록된 살균제는 모두 203종으로 1996년의 228종에 비해 다소 감소하였으며 그 성분별로 보면 DMI제가 64종으로 가장 많고 benzimidazole계가 16종, 유기인제가 15종, dicarboximide계 14종, phenamide계 및 poly-oxin계, 유기유황계가 각각 12종, 기타 83종으로 조사되었다(Anonymous, 1996).

우리 나라에 있어서 식물병의 방제는 살균제 살포에 크게 의존하고 있다해도 과언이 아닌데 1995년 농업과학기술원의 실태조사 결과를 보면 사과, 배, 감귤 과원에 있어서 연간 살균제 살포횟수가 11회 이상인 곳이 전체 과원의 84%였고 15회 이상 살포하는 곳도 28%에 달하였다(Lee, 1995). 살균제의 종류별로 보면 사과의 경우 benomyl 등 2개 약제가 연간 3회이상 사용되고 있었고 배나무는 만코지, 이프로, 프로피와 같은 살균제가 3회 이상 최대 15회까지 살포되고 있었으며 특히 마이코부타닐과 같은 약제는 5-6회 연속하여 살포하는 곳도 있었다. 감귤의 경우도 만코지가 연간 3-7회 사용되고 있는 것으로 나타났다.

이와 같이 동일한 약제의 계속적인 사용은 병원균의 사용약제에 대한 감수성을 둔화시켜 궁극적으로 약효감소를 초래할 가능성이 있는데 이러한 내용에 대해 농민들을 대상으로 한 설문조사 결과를 보면(Lee, 1995) 살균제의 연용시 약효감소를 경험하지 않았다는 농가는 1.3%에 그쳤고

*연락처

조사대상 160 과원중 67%에 해당하는 107 농가가 약효감소를 경험하고 있어 병원균의 약제에 대한 감수성의 감소가 실제로 농가에서 문제가 되고 있는 것으로 생각되었다.

국내 작물병 발생동향

국내의 작물병 발생동향을 년대별로 보면 수도의 경우 도열병과 문고병은 시대와 구분없이 여전히 중요한 위치를 차지하고 있으며 흰잎마름병은 70년대에 비해 80년대부터 기계이앙이 보편화됨에 따라 그 발생이 대폭 감소하였으나 최근 다시 발생이 증가하는 추세가 있다. 90년대 후반들어 직파재배면적이 늘어남에 따라 모썩음병의 발생이 큰 문제가 되고있고 이외에 키다리병, 이삭누룩병이 국부적으로 발생하고 있다.

과수의 경우를 보면 사과는 부란병이 80년대부터 꾸준히 주요병해로 남아있고 점무늬낙엽병, 붉은별무늬병은 토착병해로 매년 발생하고 있으며 탄저병은 재배품종의 변화에 따라 80년 이후 그 중요도가 감소한 반면에 역병과 갈색무늬병의 피해가 늘고 있다. 배나무는 검은별무늬병, 붉은별무늬병이 해마다 발생하며 검은무늬병의 발생이 감소한 대신 80년대 이후 바이러스에 의한 검은점병이 심하게 발생하고 있다. 복숭아는 세균성구멍병과 잎오갈병, 포도에 있어서는 탄저병, 노균병, 새눈무늬병이, 감귤은 흑점병, 궤양병, 더덩이병이 주로 발생하여 피해를 주고 있다.

배추, 무 등의 십자화과 작물에서는 무사마귀병, 뿌리마름병, 무름병이 주요 병해며 박과작물은 시설재배면적이 증가함에 따라 노균병, 흰가루병, 잣빛곰팡이병, 탄저병, 만고병의 발생이 심하고 특히 검은별무늬병은 그 피해가 늘어가는 추세에 있다. 외류의 토양병해로는 덩굴조짐병과 역병이 문제되는데 전자의 경우는 대부분 접목에 의하여 방제하고 있지만 최근에는 복합적인 원인에 의하여 수확기 포기전체가 갑자기 시드는 급성위조증상이 발생하여 문제가 되고 있다. 가지과 작물에 있어서는 시들음병, 역병, 풋마름병, 더덩이병이 주요 토양병해고 그 밖에 잣빛곰팡이병, 잎곰팡이병, 궤양병, 세균성점무늬병의 발생도 심하다. 딸기에서는 시들음병, 탄저병, 흰가루병, 상처에서는 노균병, 무름병, 균핵병이, 생강에서는 뿌리썩음병, 그리고 양파, 파, 마늘에서는 흑색썩음균핵병, 잣빛썩음병, 노균병, 잎마름병이 주로 발생하고 있다

외국의 살균제 저항성 사례

외국에서 보고된 약제저항성 사례를 살균제 종류별로 살펴보면 방향족 탄화수소류에 대한 감귤 푸른곰팡이병균의 저항성이 사용 20년째인 1960년 처음 보고된 이래로 1964년에는 유기수은제에 대한 저항성이 사용 40년만에 맥류의 줄무늬병균에서 발견되었고 1969년에는 dodine에 대한 사과검은별무늬병균의 저항성이 사용 10년째에 보고되었다(Brent, 1995). 1970년대 초반들어서는 사과흑성병균, 포도 잣빛곰팡이병균 등에 대한 benzimidazole 내성이, 2-amino-pyrimidin에 대한 오이 및 보리흰가루병균 내성균

이 유럽에서 잇달아 발견되었고 triphenyltin에 대한 사탕무우갈색무늬병균의 내성균이 1970년대 후반에 사용 13년만에 처음으로 보고되었다.

그리고 1980년대에는 phenylamide 내성균이 사용 2년째에 아일랜드, 화란, 스위스의 감자역병균에서 발견되었고 포도노균병에서도 보고되었다. 그동안 잣빛곰팡이병 방제에 많이 사용되었던 dicarboximides제도 그 내성균이 사용 5년째인 1982년에 유럽의 포도 주산지에서 처음 발견되었고 최근 개발된 DMIs(C₁₄-Demethylation Inhibitors of Sterol Biosynthesis)제의 내성균도 오이와 보리흰가루병균에서 사용 7년만에 처음 보고되었다. 1985년에는 맥류 종자소독제로 많이 사용해 왔던 carboxanilides에 대한 내성균도 보리감부기병균에서 처음 보고되었다.

우리 나라와 작물 및 재배환경이 유사한 일본의 경우를 보면 도열병 방제약제인 kasugamycin에 대한 내성균이 사용 6년째인 1971년 처음 발견된 이래로 그 다음해에 사과, 배의 점무늬낙엽병, 검은별무늬병에서 polyoxin에 대한 저항성이 발견되었고, 국화흰녹가루병 방제약제인 oxycarboxin 저항성균이 1973년에, benzimidazole 저항성균도 사용 3년째에 처음 발견되었고, IBP에 대한 도열병균의 저항성, 복숭아세균성구멍병에 대한 streptomycin 내성이 잇달아 보고되었다(Ishii, 1995). 1980년대에는 그 초반에 dicarboximides에 대한 채소잣빛곰팡이병, 배검은별무늬병, 사과반점낙엽병의 저항성균이 처음 보고되었고 1990년에 들어서는 phenylamides와 DMIs 제에 대한 저항성균이 각각 사용 3년과 8년만에 감자역병균과 오이흰가루병균에서 처음 발견되었다. 저항성균의 출현속도는 사용 2-40년후로 약제에 따라 큰 차이를 보이고 있으나 최근에 개발된 약제일수록 저항성균의 출현시기가 빠르고 구주보다는 일본에서 그리고 적용범위가 넓은 보호살균제보다는 작용스펙트럼이 좁은 약제에서 저항성균의 출현속도가 빠른 경향을 보이고 있다.

국내 살균제 저항성의 현황

우리 나라의 살균제 저항성 연구는 1970년대 후반부터 시작되어 현재까지 10여개 살균제 group에 대한 저항성이 보고되었는데 현재까지 한국에서 저항성이 보고된 살균제들은 대부분 외국에서 이미 저항성이 알려진 것들이다(표 1). 우리나라 살균제 저항성에 대한 초기의 연구는 대부분 살균제에 대한 포장 채집균주들의 실내 감수성 조사가 대부분이었고 1980년대 들어서서 비로서 감수성이 둔화된 균주들을 대상으로 온실과 포장에서의 방제효율이 검토되었다. 동시에 이시기에 일부 연구에서는 저항성 균주들의 포장에서의 생존, 증식을 포함한 기생적 적응력이 감수성 균주와 비교하여 평가되었다. 약제저항성 연구중 살균제-병원균조합에 따라서, 예를 들면 dicarboximides 살균제와 잣빛곰팡이병균 간의 예처럼 저항성에 관한 많은 연구가 이루어져 충분한 정보가 얻어지고 있는 것도 있지만 대부분의 경우 외국에서 이미 저항성이 보고된 많은 살균제에 대

해 아직 연구가 충분치 못하다. 국내에서 저항성이 연구된 살균제 group별로 그 연구현황에 대해 살펴보면 아래와 같다. 국내살균제 연구 논문 중에서 실내에서 인공적으로 유도된 살균제 저항성에 관한 연구는 본 소고에 포함하지 않았다.

Kasugamycin, Blasticidin-S, IBP(Iprobenfos)

이 약제들은 주로 도열병 방제를 위해서 1960년대부터 사용되었는데 1979년 kasugamycin(KM)이나 Bla-S에 대해 일부지역에서 수집한 도열병균 균주들이 감수성에 차이를

보이고 있음이 간헐적으로 보고되었으나(Lee *et al*, 1979) 1981년에 와서야 비로서 전국에서 수집한 도열병균을 대상으로 이들 약제에 대한 감수성 정도가 조사되었다(Park, 1981). 그 결과 KM과 Bla-S의 농가 추천농도에서 생육할 수 있는 균주들의 비율이 각각 27.4%와 17.4% 였다. 또 다른 연구에서 채집된 균주중 약 반수가 KM에 대한 EC_{50} 이 $10 \mu\text{g/ml}$ 이었으며 이들중 4~5%의 균주들은 EC_{50} 이 $100 \mu\text{g/ml}$ 이상이었다(Ryu *et al*, 1983). 또다른 약제인 IBP에 대한 도열병균 균주들의 EC_{50} 농도는 $12 \mu\text{g/ml} \sim 75 \mu\text{g/ml}$ 였으며 이를 기준한 IBP 저항성 균주들의 비율은 1.8%

Table 1. Fungicide resistance or decreased sensitivity reported in practice in Korea

Fungicide	Year of 1st use	Target diseases	Year Reported	Reference
Kasugamycin	1969	Rice blast	1981	29
Blasticidin-S	1966	Rice blast	1981	29
IBP	1966	Rice blast	1983	32
Benzimidazoles				
Thiophanate-methyl	1977	Strawberry leaf blight	1984	28
		Strawberry gray mold	1984	3
Benomyl	1975	Strawberry gray mold	1984	3
		Apple alternaria leaf spot	1986	20
		Apple white rot	1994	22
		Cucumber, tomato gray mold	1994	12
Carbendazim	1977	Cucumber, tomato, strawberry gray mold	1994	12
Polyoxin	1971	Apple alternaria leaf spot	1985	18
		Apple blue mold	1985	19
		Strawberry gray mold	1986	10
Dichlofuanid	1980	Strawberry, tomato gray mold	1995	13
Dicarboximides				
Procymidone	1977	Tomato gray mold	1986	16
		Strawberry gray mold	1992	31
		Cucumber gray mold	1994	12
Vinclozolin	1980	Strawberry gray mold	1992	31
Phenylamides				
Metalaxyl	1980	Potato late blight	1990	5
		Pepper phytophthora blight	1992	14
N-phenylcarbamates				
Diethofencarb	1992	Strawberry, tomato, cucumber gray mold	1995	12
Coppers				
Copper sulfate	1980	Pepper bacterial leaf spot	1996	25
Streptomycins				
Streptomycin sulfate	1974	Pepper bacterial leaf spot	1996	25

였다. 이 약제들이 국내에서 사용된 시기를 고려해 보면 KM은 12년후, Bla-S는 14년후, 그리고 IBP는 17년후에 처음으로 저항성균이 보고된 것이 된다. 이들 3개 약제의 1998년 소비량을 보면 IBP는 1,093 M/T이고 KM은 3 M/T로 90년대 초반에 비해 점차적으로 그 소비량이 감소하고 있으나 Bla-S는 전부터 1 M/T 미만의 극히 적은 양이 소비되고 있다. KM과 Bla-S에 대한 약제저항성 도열병균 집단의 비율은 1979년의 각각 30.0%, 15.0%에서 1983년에는 2.3%, 0.3%로 해마다 감소하는 것으로 나타나고 있는데 도열병균의 두 약제에 대한 저항성을 판단하는 기준이 연구자마다 달라서 그 결과를 해석하는데 어려움이 있다. 그러함에도 불구하고 이 약제들의 소비량이 1970년 이후 급격히 감소하였기 때문에 약제들에 대한 저항성 도열병균의 집단의 크기도 그만큼 감소하였을 가능성이 있다. 앞의 연구에서 실제 도열병에 대한 방제효과를 온실에서 검정한 결과, 저항성균에 대한 KM과 IBP의 방제효과는 감수성균에 비해 50% 내지는 그 이하로 떨어져 실제로 방제효과가 크게 감소하였다. 그러나 이들 세 약제에 대한 복합저항성 균주들은 발견되지 않았다. 또한 저항성 도열병균의 기생적 적응력에 대한 연구가 없어 그 이후 포장에서의 저항성균의 변동을 추적하는데에 어려움이 있다. 일본의 연구결과를 보면 KM의 살포를 중지하면 저항성균 집단의 크기가 급격히 감소하여 KM의 도열병 방제효과가 회복하였다는 보고가 있다(Miura, 1975).

이처럼 여러 연구가 있으면서 그 결과의 해석에 어려움이 따르는 것은 앞서 언급하였듯이 연구자간에 약제 저항성을 판단하는 농도기준이 각각 달라 일관성이 없으며 또한 포장에서의 대상 병원균 집단의 그 약제에 대한 민감도 분포가 조사되지 않아 저항성의 객관적인 기준을 설정하기가 모호하다는데 문제가 있었다. 또한 설령 저항성 집단의 비율이 조사되었다고 할지라도 감수성 집단에 대한 그 상대적인 기생적 적응력이 조사되지 않아 저항성균의 변동이유를 해석하기 어렵고 연구가 일시적이고 단편적이어서 지속적인 저항성균의 밀도변동을 조사하지 않은데에 문제가 있었다. 이외에 약제저항성 연구의 대부분이 실내의 민감도 조사에 그치고 있고 일부 온실에서 저항성균에 대한 방제효과가 검정된 것들도 포장에서의 방제효과가 조사되지 않았기 때문에 실제로 저항성균이 포장에 상당수 존재하는 것인지 아니면 일시적인 약제의 감수성 감소에 기인된 것인지를 판가름 할 수 없다는데에 문제가 있었다.

이와같은 문제를 해소하기 위해서는 특정 살균제-병원균 조합에 대하여 저항성 연구가 지속적으로 이루어져 포장내 병원균 집단의 약제감수성 변화가 계속적으로 추적되어야 하며 특히 약제 저항성균의 실제 존재 여부가 포장에서의 약제 방제효과의 감소를 근거로 판단되는 신중성이 있어야 한다고 생각한다.

Polyoxin

포리옥신은 항생제의 일종으로 수도, 과수, 채소, 화훼,

잔디에 이르기까지 잎집무늬마름병, 점무늬낙엽병, 검은별무늬병, 잣빛곰팡이병, 흰가루병 등 20여개 병해의 방제약제로 1971년 이후부터 사용되었다. 그 동안 포리옥신의 소비량은 꾸준히 증가하다가 최근들어 매년 30-40 M/T 수준에서 평균화되는 경향이다. Polyoxin에 대한 저항성은 1985년 사과와 점무늬낙엽병균인 *Alternaria mali*를 대상으로 처음 조사되었으며(Lee, 1985a) 이 약제의 농가추천 농도보다 3배나 높은 농도에서도 균사생육과 포자형성이 가능한 균주들이 포장에서 관찰되었다. 사과의 저장시 부패를 일으키는 푸른곰팡이병균(*Penicillium expansum*)의 가을에 분리한 균주는 봄에 분리한 균주보다 포리옥신에 대한 EC_{50} 농도가 3배나 높았으며 이 가을균주중 몇몇은 추천농도보다 9배나 높은 농도에서도 포자형성이 가능하였다(Lee, 1985b). 가을균주와 봄균주 사이에 포리옥신에 대한 감수성의 차이가 왜 일어나는지에 대해서는 확실히 조사된 바는 없으나 가을 수확기 전후에 집중적으로 살포되는 polyoxin에 대해 병원균의 감수성이 둔화된 것이 한 원인이 아닌가 제시되었다. 잣빛곰팡이병균의 포리옥신에 대한 감수성의 저하는 시설하우스 딸기와 토마토에서 1985년, 1986년에 각각 보고되었으며(Kang and Seo, 1986) 최소억제농도(MIC)가 농가추천 농도인 100 $\mu\text{g/ml}$ 이상인 저항성균주의 비율이 각각 11.9%와 10.6%로 나타났다. 그러나 포장에서의 잣빛곰팡이병균 집단의 polyoxin에 대한 민감도 분포가 조사되지 않아 저항성균 판별의 농도기준이 모호하며 저항성 균주들의 기생적 적응성이나 실제 포장에서의 약제 방제효과가 저하되었는지의 여부가 조사되지 않아 결과해석에 문제가 없지 않다.

Benzimidazole

벤지미다졸계 살균제인 benomyl, thiophanate-methyl, carbendazim 3개 약제는 1975년 이후부터 수도, 과수, 채소, 화훼 및 기타 작물의 흰가루병, 탄저병, 검은별무늬병, 잣빛곰팡이병 등 30여개 병해를 대상으로 널리 사용되었다. 우리나라에서의 benzimidazole계 살균제의 소비량을 보면 1991년에 604 M/T에서 1993년의 1,148 MT로 거의 두배 가까이 늘어났고 그 이후 약간 감소하는 경향이다. 이들 benzimidazole계 살균제에 대한 병원균들의 신속한 저항성 획득은 이미 선진 여러 각국에서 1970년 초반부터 보고되었지만(Staub, 1991) 우리나라에서는 1984년 딸기의 잣빛곰팡이병균과 점무늬낙엽병균에서 처음으로 관찰되었다(Baek, 1984 ; Moon and Cho, 1984). Thiophanate-methyl을 사용한지 7년이 지난 1984년 조사결과를 보면 딸기점무늬병균의 이 약제에 대한 MIC가 10 $\mu\text{g/ml}$ 보다 큰 저항성균의 분포는 약 43%였으며 몇 균주를 제외한 대부분 균주들의 저항성 정도는 비교적 낮았다. 온실 실험결과 저항성균에 대한 방제효과는 감수성 균에 비하여 대단히 낮았으며 또한 thiophanate-methyl과 베노밀 사이에는 교차저항성이 있음이 관찰되었다. 잣빛곰팡이병은 비닐하우스 내 축성, 반축성 재배시의 저온다습한 환경에서 발생하는 대표적인

병해로 오이, 고추, 토마토, 호박 등의 하우스 재배면적이 급증함에 따라(Anonymous, 1987) 이 병의 발생도 증가하여 큰 문제가 되고 있다. 잭빛곰팡이병을 방제하기 위하여 benzimidazole 계통의 살균제가 많이 사용되었는데 1986년 조사결과 10 µg/ml의 농도에서 자랄 수 있는 저항성 잭빛곰팡이병균의 분포는 지역에 따라 thiophanate-methyl의 경우 83~92%, 베노밀은 42-91%로 나타나 benzimidazole 살균제에 대한 채소잭빛곰팡이병균의 감수성이 크게 저하하였음을 나타내고 있다(Kang and Seo, 1986 ; Kim, 1986). 4년후인 1992년 조사결과를 보면 베노밀의 5,000 µg/ml 이상의 농도에서 생육이 가능한 저항성균의 빈도가 190균주중 81균주에 달하여 베노밀에 대한 저항성 정도가 급격히 높아졌음을 나타내고 있다(Park et al, 1992).

또한 베노밀 저항성균은 또 다른 잭빛곰팡이병 방제약제인 procymidone과 vinclozolin에도 저항성을 나타내어 복합저항성이 있었다. 딸기잭빛곰팡이병균의 베노밀에 대한 저항성 집단의 분포는 1986년의 6%에서 1992년에 76%로 급격히 증가하였으며 1994, 1995년의 조사에서도 대체로 70-77%로 나타나 밀도가 안정적으로 유지되었다(Kim et al, 1995). 포장내 딸기잭빛곰팡이병균집단의 베노밀에 대한 감수성 분포를 보면 연속적인 분포를 보이지 않고 특이적으로 MIC가 10 µg/ml 보다 적거나 5,000 µg/ml 보다 큰 균집단 또는 MIC가 50 µg/ml내외인 균집단의 빈도가 높게 나타나고 있다. 토마토와 오이잭빛곰팡이병균의 경우 베노밀에 대하여 저항성 균(MIC>10 µg/ml)의 비율이 1994년 각각 100, 94%에서 1995년에는 65%와 33%로 급격히 감소하였는데 이것은 이 시기에 베노밀을 대체할 수 있는 새로운 방제약제인 NPC제(diethofencarb)의 소비량이 급격히 증가한 것과 무관하지 않을 것으로 생각된다. 온실시험 결과 저항성균에 대한 베노밀의 방제효과는 감수성균에 비하여 현저히 낮았으며 저항성 균주의 균사생장율이나 포자형성량, 균핵형성량이 감수성 균주에 비하여 저하하여 기

생적 적응력이 떨어지는 것으로 나타났다(Kim and Kwon, 1993). 잭빛곰팡이병균외에 사과점무늬낙엽병균과 겉무늬썩음병균에 있어서도 Ec₅₀이 농가추천농도보다 큰 베노밀 저항성 균주들이 보고되었으나(Lee and Kim, 1986 ; Lee and Park, 1994) 포장내 병원균 집단의 베노밀에 대한 감수성 분포가 조사되지 않아 그 저항성의 정도를 알 수 없다는 것이 문제로 남아있다.

Dicarboximides, NPC(N-phenylcarbamate), Dichlofluanid

Dicarboximide 계열 살균제인 procymidone, vinclozolin, iprodione은 유럽과 일본에서 각각 1976년과 1979년부터 주로 잭빛곰팡이병을 방제하기 위하여 사용되었는데 두 지역 모두 사용 3년후에 저항성균이 발견되었다(Staub, 1991 ; Takeuchi and Nagai, 1982).

국내에서는 dicarboximides 살균제가 1977년부터 사용되기 시작하여 연간 70~110 M/T 정도가 소비되고 있는데 사용 9년후인 1986년 토마토잭빛곰팡이병에서 저항성균이 처음 보고되었고(Kim, 1986), vinclozolin 저항성균은 1992년 딸기잭빛곰팡이병균에서 처음 발견되었다(Park et al, 1992). Procymidone에 저항성인 채소잭빛곰팡이병균은 1984년 조사에서는 발견되지 않았는데(Baek, 1984) 1986년에 이 살균제에 대한 Ec₅₀ 수치가 10 µg/ml보다 큰 저항성균 집단이 전체의 40%정도로 늘어났다(Kang and Seo, 1986). 1992년 조사에서(Park et al, 1992) 포장내 딸기잭빛곰팡이병균 집단은 procymidone과 vinclozolin에 대해 MIC가 10 µg/ml 이하인 감수성균과 5,000 µg/ml 이상인 저항성균으로 크게 나누어졌으며 MIC가 8,000 µg/ml 이상인 저항성균도 각각 37%와 18%였고 두 살균제간에는 교차저항성이 있었다(그림 1).

저항성균주들은 procymidone에 대한 Ec₅₀ 농도가 84-17,858 µg/ml인데 반하여 감수성 균주는 10 µg/ml 이하였다. 저항성균은 500 µg/ml의 농도에서도 포자형성이 왕

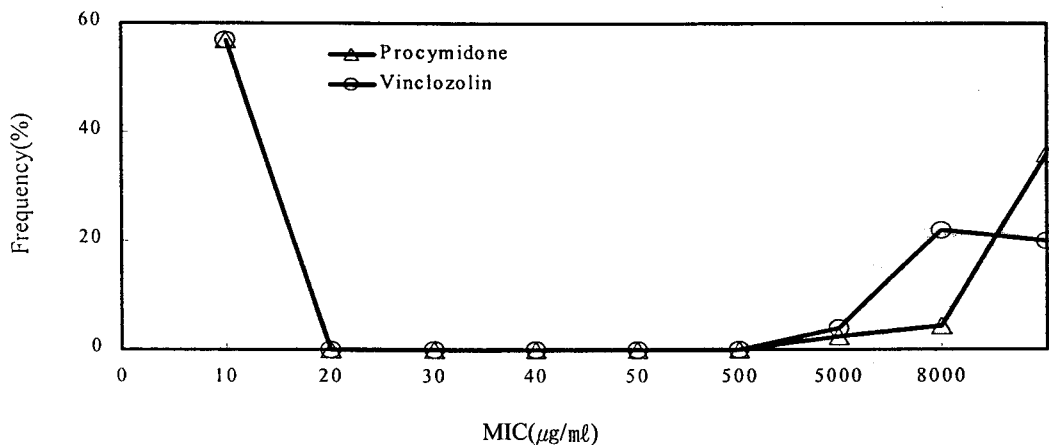


Fig. 1. Frequency distribution of field population of Botrytis cinerea against two dicarboximide fungicides, procymidone and vinclozolin, in 1992.

성하였으며 병원력이나 포자형성 능력, 균사생장속도 등에서 감수성 균에 뒤지지 않았다(표 2). 온실시험 결과 저항성균에 대한 procymidone의 방제효과는 감수성균에 대한 방제가의 39%에 불과하였다. 1995년의 조사에서 procymidone에 저항성인 잭빛곰팡이병균은 대개 베노밀에 대하여도 저항성이 밝혀졌다(Kim *et al*, 1995). 딸기잭빛곰팡이병균의 procymidone에 대한 저항성 집단의 년차별 변화를 보면 1986년의 32%에서 1992년에 44%로 증가하였다가 그 이후 33~43%의 밀도가 유지되었다. 토마토의 경우는 1986년 39%였던 저항성 집단의 밀도가 8년후인 1994년에는 90%에 달하였다가 그 이듬해엔 52%로 급격히 감소하였으며 오이의 경우도 이와 비슷한 양상을 보이고 있다(그림 2). 그러나 그 이후 저항성 집단의 크기가 어떻게 변화하였는지에 대해서는 후속 연구가 없어 알수 없는 것이 매우 아쉽다. 그러나 dicarboximide 살균제의 소비량이 현재까지 크게 변화하지 않았기 때문에 이 살균제에 대한 저항성균 집단의 크기도 크게 변화하지 않았을 가능성이 있다.

NPC(N-phenylcarbamate)계열 살균제인 디에토펜카브는 베노밀에 대하여 저항성인 잭빛곰팡이병균에 대하여 특이적인 약효를 보이는 역상관 교차저항성(negatively correlated cross-resistance)을 가지고 있기 때문에 베노밀 저항성균을 방제하는데 효과적이었다(Elad *et al*, 1992). 디에토펜카브는 1992년부터 국내에서 사용하기 시작하여 1994년의 소비량이 약 16 M/T로 최고에 달하였다가 1998년에는 6.6 M/T로 점차 감소하고있다. 디에토펜카브에 대해 저항성인 채소잭빛곰팡이병균은 사용 3년째인 1994년 처음 발견되어 그 밀도가 14.4%에 달하였으며 그 이듬해에는 41%로 급격히 증가하였다(Kim *et al*, 1995). 그러나 저항성균들의 감수성균주들에 대한 상대적 적응력에 대한 정보가 없어 급속한 증가의 원인은 불명확하다.

1994년의 조사에서는 디에토펜카브와 benzimidazole계에 복합저항성인 균주나 디에토펜카브, benzimidazole, procymidone에 모두 저항성인 잭빛곰팡이병균들은 발견되지 않았으나 1995년에 수집한 잭빛곰팡이병균 520균주중에

Table 2. Comparison of virulence, conidial production and development of aerial mycelia on strawberry fruits between procymidone-resistant and -sensitive isolates of *Botrytis cinerea* in the laboratory

Isolate	Lesion area index ^{a)}	Conidial production ($\times 10^6/cm^2$)	Development of aerial mycelia ^{b)}
Procymidone-resistant			
J -42	4.6	1.38 c	28.7 bc
Y -6-2	4.1	3.08 ab	33.3 bc
W -1-3	4.7	2.33 bc	74.3 a
Procymidone-sensitive			
N -5-2	4.4	4.16 a	16.7 c
Ko-4-2	4.6	1.47 bc	44.3 b
Ko-1-3	4.7	1.54 bc	65.3 a

^{a)}Based on the scale 0~5.0 : no lesion, 1: < 5% area diseased, 2:5~10%, 3:11~30%, 4:31~70%, and 5:70% < area diseased.

^{b)}Percentage of lesion area covered with aerial mycelia. The values followed by the same letter in the same column each are not significantly different based on the LSD test.

는 디에토펜카브에 저항성인 균주들은 모두 벤지미다졸계 살균제인 carbendazim에 저항성이었으며 그중 일부 균주들은 dicarboximide계에도 저항성이었다.

1994년과 1995년에 수집한 1,233개 채소잭빛곰팡이병균 균주들의 benzimidazole계, dicarboximide계, NPC 살균제에 대한 반응형을 보면 benzimidazole계에 저항성이거나 dicarboximide계에 복합 저항성을 보이는 집단이 전체의 74%로 우점종이었고 NPC계에 저항성을 보이는 집단이 25%, NPC계에 저항성이면서 dicarboximide계와 benzimidazole계에 각각 복합저항성을 보이거나 아니면 두 약제에

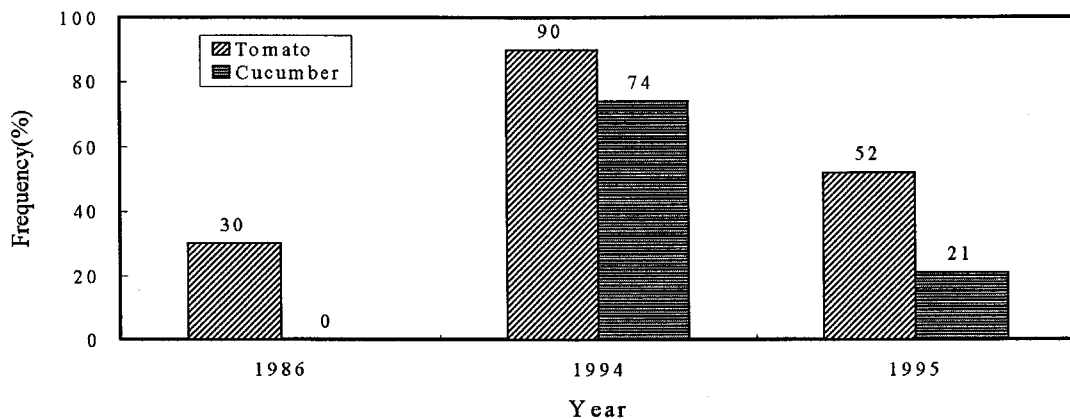


Fig. 2. Annual changes in procymidone-resistance population of *Botrytis cinerea* collected from major tomato and cucumber fields.

모두 저항성을 보이는 집단이 0.1~1.0%로 소수 존재하였다(표 3). 3개 약제계열의 조합에서 세 계열에 모두 감수성이거나 dicarboximide계에만 저항성인 균주들은 발견되지 않았다. 그러나 그 이후 저항성균들이 어떻게 변화하였는지는 후속 연구가 없어 아직 알수 없는 것이 매우 아쉽다. Dichlorofluanid는 1980년부터 국내에서 사용되었는데 1995년에 처음으로 이 약제에 대한 잣빛곰팡이병균의 감수성이 조사되었다(Kim *et al*, 1996 ; Lim *et al*, 1995). 그 결과 감수성 균들의 MIC가 10 µg/ml 미만인 데에 반하여 저항성균들은 100 µg/ml 이상이었으며 저항성균 밀도는 전체의 10.6%에 달하였다. 저항성균들에 대한 이 약제의 방제효과도 현저히 둔화하여 감수성 균주들에 대한 방제효과의 37~76%에 그쳤다. 그러나 저항성균들의 기생적 적응력은 감수성 균주에 비해 현저히 떨어져 포자형성 능력은 감수성 균주의 약 1/7이었으며 배지상에서의 균핵형성 능력은 상실되었다. 또한 저항성균주들은 35℃의 고온이나 4℃의 저온 그리고 계대배양에 의하여 저항성이 소실되어 환경에 대하여 매우 불안정한 것으로 밝혀졌다.

Phenylamides

Metalaxyl, oxadixyl 등의 phenylamide계 살균제는 역병균, 노균병균, *Pythium*균등 조균류 병해를 대상으로 1980년 이후 널리 사용되고 있다. Metalaxyl은 우리나라에서 1980년 고추역병 방제제로 처음 등록되었으며 1987년부터는 감자역병에도 등록되어 매년 60~70 M/T가 소비되고 있다. Metalaxyl에 대한 저항성은 1980년 유럽의 감자역병균에서 처음 발견되었으며 이듬해 이스라엘의 오이노균병균에서도 보고되었다. 일본에서는 감자역병균과 오이노균병균에서 1987년과 1990년 각각 보고되었다.

우리 나라에서는 감자역병의 방제약제로 사용한지 3년 후인 1990년 역병 저항성균이 처음으로 발견되었다(Choi *et al*, 1992). 베타락실은 1988년까지도 감자역병에 대한 방제효과가 매우 우수하게 나타났으나 동일포장에서 실시한 1990년 시험에서는 그 효과가 상실되었다(함영일과의 개인적 대화). 일반적으로 저항성의 기준을 $Ec_{50} > 250 \mu\text{g/ml}$ 로

하였을 때 1990~1991년 채집 40균주 중 14균주가 저항성이었으며 같은 해 또 다른 조사에서 43균주 중 21균주가 저항성인 반면에 단지 5균주만이 $Ec_{50} < 0.4 \mu\text{g/ml}$ 으로 감수성을 나타내었다(Choi *et al*, 1992). 저항성균에 대한 metalaxyl의 방제효과는 감수성균에 비하여 현저히 떨어져 50ppm농도의 방제가가 감수성 균주의 경우 76%에 비해 저항성균은 24%에 불과하였다. 저항성균의 병반수, 병반크기, 단위면적당 포자형성량은 감수성균에 비해 대등하거나 또는 양호하여 기생적 적응력도 감수성균주에 뒤떨어지지 않았다(Kim *et al*, 1993). 이 연구에서 metalaxyl에 저항성인 감자역병균의 분포는 지역에 따라 큰 차이가 있었으며 감자의 주 재배지인 북부 산간지방에서 주로 분포하고 있고 남부지방에서는 발견되지 않았다(Koh *et al*, 1994). 그러나 1993년의 조사에서는 남부지방 분리균의 약 반수가 저항성으로 나타나 저항성균이 전역으로 확산된 것으로 나타났다(Lee *et al*, 1994). 고추역병균에 대한 metalaxyl의 감수성 정도는 109균주를 대상으로 1992년 최초로 조사되었는데 Ec_{50} 농도는 1 µg/ml ~ 150 µg/ml로 다양하게 나타났으나 Ec_{50} 농도가 22 µg/ml보다 큰 3균주를 제외하고는 모든 균주가 metalaxyl에 대해 감수성을 유지하고 있었다(Kim and Oh, 1992). 또한 저항성균주들의 기생적 적응력을 조사한 결과 병반크기, 포자형성 능력은 감수성 균주와 크게 다르지 않아 포장 생존능력이 우수한 것으로 나타나 일단 저항성균이 출현하면 포장에서 그 밀도가 증가할 가능성이 있는 것으로 생각되었다.

동(구리)제 및 Streptomycin

Streptomycin에 대한 저항성은 1960년대 미국 내 토마토·고추의 세균성점무늬병균(*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*)에서 처음 발견되었으며 동체에 대한 저항성은 1979년 미국내 토마토의 껀양병에서 처음 보고되었다(Cooksey, 1990). 일본에서는 Streptomycin에 대한 저항성이 감귤껀양병에서 1972년 처음 보고되었다. 그리고 토마토, 고추의 세균성점무늬병균과 껀양병균의 구리제에 대한 저항성은 한 개의 plasmid에 의해 지배되는 것으로 밝혀

Table 3. Response types of field population of vegetable gray molds, *Botrytis cinerea*, to three fungicide groups, benzimidazole, dicarboximide and NPC in 1995

Benzimidazoles	Response type ^{a)}		No. samples	Proportion (%)
	Dicarboximides	NPC		
S	S	S	0	0
S	S	R	308	25.0
S	R	R	1	0.1
S	R	S	0	0
R	S	S	450	36.5
R	R	S	459	37.2
R	S	R	12	1.0
R	R	R	3	0.2

^{a)}S : sensitive, R : resistant.

졌다. 국내에서는 streptomycin과 동제가 각각 1974년과 1980년부터 사용되어 왔으나 두 살균제에 대한 저항성연구는 고추의 세균성점무늬병균을 대상으로 1993년에 처음 조사되었는데 1993~1994년 수집 66균주 중 copper sulfate에 대한 MIC가 200 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 이상인 저항성균주는 5균주였고 streptomycin sulfate에 대한 MIC가 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 보다 큰 저항성균주는 한 개 균주뿐이었다(Lee and Cho, 1996). 구리제에 대한 저항성은 한 개의 plasmid에 의해 지배되었으며 이 plasmid를 감수성 균주에 전이시키면 저항성이 유도되었다(Park and Cho, 1996). 그러나 이 저항성 균주들의 포장내 기생적 적응력이나 실제 방제효과가 조사되지 않아 해석에 아쉬운 감이 없지 않다.

DMI(C₁₄-Demethylation Inhibitors of Sterol Biosynthesis)

Sterol 생합성 억제제인 DMI 제는 1980년부터 사용되기 시작하여 현재 70여종 이상이 등록되어 있으며, 매년 500 M/T 이상이 소비되고 있고 그 주요한 품목을 보면 tricyclazole, triadimefon, fenarimol, mycobutanil, penconazole, bitertanol, flusilazole, nuarimol, triforine 등이 있다. DMI 제는 그 적용범위가 넓어 흰가루병, 녹병, 도열병, 검은별무늬병, 탄저병, 잣빛곰팡이병, 덩굴마름병, 점무늬병 등의 방제제로 널리 사용되고 있다. 외국의 경우를 보면 DMI 제는 타살균제에 비해 저항성 병원균의 출현가능성이 상대적으로 낮은 것으로 보고되었으나 국내에서는 DMI 제에 대한 저항성 연구가 이루어지지 않아 이에 대한 정보가 매우 적다. DMI 제에 대한 저항성은 유럽의 지중해연안과 영국, 독일에서 1982년 오이, 보리의 흰가루병에서 처음으로 보고되었다(Staub, 1991). 이후 사과, 배의 검은별무늬병, 밀의 새눈무늬병, 포도 흰가루병, 벼 키다리병에 대해 triadimenol 혹은 femarimol의 저항성이 유럽, 미국, 일본 등에서 보고되었다(Brent, 1995 ; Ishii, 1993). 지금까지의 외국의 연구결과를 보면 DMI 저항성균의 기생적 적응력은 감수성균주에 비해 열등한 것으로 알려지고 있다(Takeuchi and Nagai, 1982).

국내 살균제 저항성 연구의 향후 전망

국내의 살균제 저항성에 관한 연구는 매우 취약해서 아직도 밝혀내야 할 일들이 너무나 많다. 외국의 경우 이미 살균제 저항성이 보고된 약제들이 국내에서도 동일한 병원균에 대해 오랜동안 사용되어 왔으나 포장 내 병원균집단의 이들 약제에 대한 감수성 분포에 대한 연구가 미미하여 현재 상황을 알 수 없는 경우가 대부분이다. 이들 약제들은 우리가 등한시하는 사이에 이미 저항성병원균집단이 정착하여 실제농가에서 약제방제 효과가 현저히 떨어져 문제가 되고 있을 가능성이 많다. 이러한 약제들은 포장내 병원균집단의 약제에 대한 감수성 분포가 시급히 조사되어야 하며 저항성 문제가 더 이상 악화하기 전에 필요한 조치를 취해야만 할 것이다. 시급한 조사가 필요한 살균제/병원균 조

Table 4. A list of fungicide-disease combinations which already had or might have potential resistance-risk in near future in Korea

Fungicide or fungicide group	Diseases
Benzimidazoles	Pear scab
	Grape gray mold
	Citrus blue mold
Polyoxin	Pear black spot
Dodine	Pear scab
Oxycarboxin	Chrysanthemum rust
Dicarboximides	Apple alternaria spot
	Pear scab
Phenylamides	Cucurbit downy mildew
	Ginger pythium root rot
DMIs	Pear and apple scab
	Cucurbit powdery mildew
Streptomycin	Peach shot-hole
	Citrus canker
	Kiwi fruit rot

합을 보면 일찍부터 외국에서 저항성 병원균이 보고된 사과, 배 검은별무늬병에 대한 dodine(carpene), 오이노균병 및 *Pythium*병에 대한 phenylamide계 살균제, 각종 작물의 흰가루병, 녹병, 검은별무늬병, 탄저병에 대한 DMI제, 특히 국화흰녹병에 대한 oxycarboxin 및 복숭아 세균성구멍병, 양다래 세균성무름병, 상처와 배추의 무름병등 각종 세균병에 대한 streptomycin제 등이다(표 4). 이외에 베노필이나 polyoxin처럼 여러 병해에 널리 쓰이는 살균제들은 이미 저항성이 보고된 병해 이외에도 감수성이 저하한 다른 병해들이 있을 수 있으므로 이에 대한 조사가 필요하다. 앞서 열거한 살균제들은 지금 국내에서 폭넓게 사용되고 있는 경우가 대부분인데 특히 국화재배에서 가장 문제가 되고 있는 흰녹병의 방제약제로 예전부터 사용되어 왔던 oxycarboxin은 몇 년전부터 방제효과가 저하하였다는 사례가 농가로부터 많이 보고되고있는 실정인데도 불구하고 아직도 아무런 연구가 수행되지 않고 있어 매우 안타깝다. 우리나라는 국화흰녹병의 경우에서 보는바와 같이 즉각적인 저항성에 대한 조사나 연구가 필수적인 경우가 많은데 이와같은 연구는 저항성균 발현의 위험도를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 약제감수성 저하의 초기단계에서 더 이상 사태가 악화하기 전에 적절한 대책을 강구할 수 있으므로 경제적으로도 큰 이득이 있다.

국내의 살균제 저항성 연구는 아직도 기초적 단계에 머물러 있는데 대부분의 연구가 저항성 병원균의 실내검출에 그치고 있는 것이 그 증거다. 향후의 연구는 실내에서의 약제감수성 저하의 screening보다 포장에 존재하는 병원균

집단의 한 약제에 대한 감수성 분포를 작성하여 이것을 근거로 하여 저항성 집단의 존재여부가 판가름되어야 하며 이 감수성 분포를 근거로 한 저항성의 기준농도가 정해져야 한다. 국내의 살균제 저항성연구는 이 점을 간과하고 있어 저항성의 기준이 매우 모호하며 그 기준을 연구자에 따라 달리 설정하여 결과 해석에도 많은 문제점이 있을 뿐만 아니라 저항성병원균집단의 동태를 추적하기도 사실상 불가능하다. 또 다른 문제는 살균제 저항성균의 존재여부가 실내 screening에 의한 일정농도함유 배지상에서의 생육 가능여부에 의해 결정되기보다는 포장 혹은 온실의 식물체에 대한 방제효과 시험에서 일반균주와 저항성균에 대한 방제효과 대비에 의하여 판정되어야 한다는 것이다. 실내에서 검출된 약제저항성은 실제로 포장에서의 약제방제효과와의 감소로 이어져야만 실제적인 의미가 있다.

저항성병원균의 감수성병원균에 대한 상대적인 기생적 적응력도 반드시 조사되어야 할 사항이다. 저항성병원균이 일반균에 비하여 자람이나 포자형성, 월동능력이 어떠한지는 저항성 병원균의 포장내 밀도 변동을 예측할 수 있는 중요한 자료가 된다. 저항성병원균의 포장내 생존능력이 일반균주에 비하여 뒤떨어지지 않는다면 그 약제저항성균은 약제의 계속 사용여부와 상관없이 포장내 장기간 생존할 수 있기 때문이다. 포장내 존재하는 병원균 집단의 약제에 대한 민감도 분포조사는 그 약제를 사용하고 있는 포장이나 사용하지 않은 포장에서 함께 이루어져야 하는데 여기에서 얻어진 정보는 약제저항성에 대한 장기적인 대책을 마련하는데 반드시 필요하다.

인용문헌

- Anonymous (1987) Agricultural Statistics. Ministry of Agriculture and Fisheries. (in Korean).
- Anonymous (1996) Agrochemical Year Book. Agricultural Chemicals Industrial Association. 593pp. (in Korean).
- Baek, S.B. (1984) Studies on fungicide resistance of gray mold, *Botrytis cinerea*. Research Rept. ARDI, Kunkook Univ. 9:35~44. (in Korean).
- Brent, K.J. (1995) Fungicide Resistance in Crop Pathogens: How Can it Be Managed? FRAC Monograph No. 1.
- Choi, G.J., Kim, B.S., Chung, Y.R., and Cho, K.Y. (1992) Occurrence of metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in potato fields in Korea. Korean J. Plant Pathol. 8:34~40. (in Korean).
- Cooksey, D.A. (1990) Genetics of bactericide resistance in plant pathogenic bacteria. Ann. Rev. Phytopathol. 28:201~219.
- Elad, Y.H., Yunis and Katan, T. (1992) Multiple fungicide resistance to benzimidazoles, dicarboximides and diethofencarb in field isolate of *Botrytis cinerea* in Israel. Plant Pathol. 41:41~46.
- Ishii, H. (1993) Methods for monitoring fungicide resistance-general principles. Plant Prot. 47:279~281. (in Japanese).
- Ishii, H. (1995) Fungicide resistance. pages 809~813 In: Dictionary of Plant Pathology. (in Japanese).
- Kang, K.Y. and Seo, C.K. (1986) Survey of incidence of fungicide resistance against gray mold. Ann. Research Rept. HES(V.S., Pusan Branch Station):388~390. (in Korean).
- Kim, B.S., Chung, Y.R., and Cho, K.Y. (1993) Fitness comparison of *Phytophthora infestans* isolates resistant and sensitive to metalaxyl and control of the disease by dimethomorph or chlorothalonil. Korean J. Plant Pathol. 9:31~35. (in Korean).
- Kim, B.S., Lim, T.H., Park, E.W. and Cho, K.Y. (1995) Occurrence of multiple resistant isolates of *Botrytis cinerea* to benzimidazole and N-phenylcarbamate fungicides. Korean J. Plant Pathol. 11:146~150. (in Korean).
- Kim, B.S., Park, E.W., Lim, T.H. and Cho, K.Y. (1996) Instability of dichlofluanid resistance in dichlofluanid-resistant *Botrytis cinerea* isolates and comparison of their competitive ability with dichlofluanid-sensitive isolates. Korean J. Plant Pathol. 12:415~421. (in Korean).
- Kim, C.H. and Oh, J.S. (1992) Varying sensitivity to metalaxyl of Korean isolates of *Phytophthora capsici* from red pepper fields. Korean J. Plant Pathol. 8:29~33.
- Kim, C.H. and Kwon, S.I. (1993) Parasitic fitness of procymidone-resistant isolates *Botrytis cinerea* on strawberry. Korean J. Plant Pathol. 9:26~30.
- Kim, D.G. (1986) Fungicide resistance of gray mold on vegetable. Ann. Research Rept. Youngnam CES:527~529. (in Korean).
- Koh, Y.J., Chung, H.J., and Fry, W.E. (1994) Changes in frequencies and distribution of A2 mating type and metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in Korea. Korean J. Plant Pathol. 10:92~98.
- Lee, C.U. (1985) Tolerance of *Alternaria mali* to various fungicides. Korean J. Plant Prot. 24:19~24. (in Korean).
- Lee, C.U. (1985) Tolerance of apple blue mold (*Penicillium expansum*) to various fungicides. Korean J. Plant Pathol. 11:128~135. (in Korean).
- Lee, C.U. and Kim, K.H. (1986) Cross-tolerance of *Alternaria mali* to various fungicides. Kor. J. Mycol. 14:71~78. (in Korean).
- Lee, D.I. (1995) A survey on pesticide use. Ann. Research Rept. NIAST: 872~885. (in Korean).

- Lee, C.U. and Park, S.H. (1994) Cross and double-resistance of benomyl-resistant *Botryosphaeria dothidea*. Korean J. Plant Pathol. 10:270~276. (in Korean).
- Lee, E.J., Ryu, J.D. and Yeh, W.H. (1979) Study on fungicide resistance of rice blast fungus. Ann. Research Rept. ASI:58~60. (in Korean).
- Lee, W.H., So, M.S. and Choi, I.Y. (1994) Fungicide-resistance and mating type of *Phytophthora infestans* causing potato late blight. Korean J. Plant Pathol. 10:192~196. (in Korean).
- Lee, S.D. and Cho, Y.S. (1996) Copper resistance and race-distribution of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* on pepper in Korean. Korean J. Plant Pathol. 12:150~155.
- Lim, T.H., Kim, B.S., Cho, K.Y. and Cha, B.J. (1995) Chemical responses and fitness-related characteristics of dichlofluanid-resistant and -sensitive *Botrytis cinerea* isolates. Korean J. Plant Pathol. 11:245~251. (in Korean).
- Miura, H. (1975) Occurrence of kasugamycin-resistant rice blast fungus and its counter-measures. Plant Prot. 29:183~186. (in Japanese).
- Moon, B.J. and Cho, C.T. (1984) Resistance of *Dendrophoma obscurans* to thiophanate-methyl and iprodione. Korean J. Plant Prot. 23:89~95. (in Korean).
- Park, C.S. (1981) Studies on fungicide resistance against rice blast disease. Cooperation Research Rept. No. 8~1 ORD, 20pp. (in Korean).
- Park, E.H. and Cho, Y.S. (1996) Isolation of plasmid from Korean copper-resistant *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. Korean J. Plant Pathol. 12:156~161.
- Park, I.C., Yeh, W.H. and Kim, C.H. (1992) Occurrence of isolates of *Botrytis cinerea* resistant to procymidone, vinclozolin, and benomyl in strawberry fields in Korea. Korean J. Plant Pathol. 8:41~46.
- Ryu, G.H., Lee, K.H., Kang, C.S. and Kim, C.H. (1983) Occurrence of tolerance of rice blast fungus *Pyricularia oryzae* to fungicides. Res. Rept. ORD 25(S.P.M.U.):109~115. (in Korean).
- Staub, T. (1991) Fungicide resistance: practical experience with anti-resistance strategies and the role of integrated use. Ann. Rev. Phytopathol. 29:421~442.
- Takeuchi, T. and Nagai, Y. (1982) Occurrence of *Botrytis cinerea* resistant to dicarboximide fungicides on tomatoes and cucumbers in greenhouse. Ann. Phytopath. Soc. Japan 48:210~216. (in Japanese).

Review of fungicide resistance problems in Korea

Choong-Hoe, Kim (Plant Pathology Division, Department of Plant Protection, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea)

Abstract : Fungicide resistance study in Korea is still in its infancy, and most of those resistance studies are largely limited to newness of the detected resistant strains. In future, detection of fungicide-resistant strains has to be based on sensitivity distribution of pathogen populations to certain fungicides, and standard levels of certain fungicides for resistance should be determined under the basis of this data. Most of the early research on fungicide resistance in Korea has overlooked this point, and resulted in inconsistency and confusion for monitoring sensitivity shift of pathogen population among individual researchers. Fungicide resistance detected *in vitro* tests has to be documented in field trials by examining control efficacy against resistant and wild-type pathogen populations. Resistance detection *in vitro* has to be correlated with lower activity in practice. Using this process, fungicide resistance will have a practical meaning. Fitness evaluation of resistant strains for survival is, in particular, of importance to determine the future stability of the resistance in the pathogen population. In fields, sensitivity change of pathogen populations should be carefully monitored with and without fungicide selection pressures to establish long-term management strategies against fungicide resistance. It is becoming an urgent task to provide information through research for designing and implementing successful counter-measures against fungicide resistance problems in Korea.

*Corresponding author (FAX : +82-31-290-0402, E-mail : chkim@niast.go.kr)