

기획진단 / 약제저항성 문제 대안을 찾아보다

잿빛곰팡이병균 저항성 발생현황과 대책

합리적 살포계획 세워 다른약제와 번갈아 사용

잿빛곰팡이병은 채소, 과수, 화훼 등의 여러 작물에 발생하는 중요한 병으로 세계적으로 분포하여 작물 생산에 심각한 피해를 가져온다. 특히 선선하고 과습한 환경에서 더욱 발병이 잘 되므로, 우리나라에서는 겨울 기간중의 시설채소 및 원예단지에서 많이 발생하여 많은 손실을 발생시킨다.

이 병의 방제를 위해서는 포장에서 병든 식물을 제거하거나 수확된 농산물을 저장할 때는 낮은 온도에서 건조한 상태로 저장하는 등의 원칙적인 방법과 생물학적인 방제수단이 시험적으로 수행되었으나, 살균제에 의한 화학적 방제 방법이 실제적으로 가장 효과적으로 이용되고 있다. 대표적인 방제 약제로는 벤지미다졸계 살균제와 디카보옥시마이드계 등이 있다.

벤지미다졸 살균제는 살균 작용 범위가 넓고, 침투성이며 낮은 농도에서도 좋은 약효를 보이므로 잿빛곰팡이병 방제뿐만 아니라 다른 병에도 널리 사용되어 왔다. 그러나 저항성균이 유발되어 세계 각국에



오이 잿빛곰팡이병 병징

서 저항성 문제가 심각하게 대두되어 현재는 사용량이 현저히 감소되고 있다.

이러한 문제를 극복하기 위하여 새로운 대체 살균제로 디카보옥시마이드계 살균제가 개발되어 사용되어 오고 있는데, 이들 살균제에 대해서도 처음 사용 3년후 독일 포도 농장에서 저항성균의 발생이 보

고된 이래 여러 곳에서 약효 감소 현상이 발생되었다.

우리나라에서는 1970년대 초반 및 후반에 벤지미다졸계 살균제 및 디카보옥시마이드계 살균제가 각각 등록되어 지금까지 널리 사용되고 있다. 그러나 다른 나라에서와 같이 우리나라에서도 이들 약제에 대한 저항성균이 발생하여 그 약효가 현저히 감소되고 있는 실정이다.

벤지미다졸계 살균제는 특이적 작용 메커니즘을 가지는 살균제로 저항성 발현이 쉽게 일어나는 것으로 알려져 있다. 벤지미다졸 살균제에 저항성균의 방제는 다른 작용 메커니즘을 가지는 살균제를 이용하거나 역상관 교차 저항성(negatively correlated cross resistance)을 가지는 살균제를 이용하여 방제할 수 있다. 역상관 교차 저항성 살균제란 벤지미다졸 저항성균에만 특이적으로 약효를 나타내는 약제로서 감수성균의 방제를 위하여 벤지미다졸계 살균제와 합제로 이용되고 있다.

우리나라에서는 1992년부터 등록

되어 사용하여 온 D약제가 역상관 교차 저항성을 이용한 것인데, 이 약제는 벤지미다졸계의 약제와 디에토펜카브를 합제로하여 만든 약제이다. 그러나 이러한 약제도 먼저 집중적으로 사용하기 시작한 유럽이나 일본에서는 저항성 균주의 발생을 유기시켜 방제에 어려움을 겪고 있다.

최근의 우루과이라운드 협상의 타결로 인하여 우리나라 농업 구조에 큰 변화가 예상되고, 그 변화의 일환으로 시설재배가 늘어날 전망이다. 시설재배의 주요 작목인 원예작물의 중요한 병인 잣빛곰팡이병의 방제는 안정적인 수확을 위하여 필수 불가결한 요소이다.

따라서 여기서는 이 병의 효율적인 약제 방제를 위하여 우리나라 시설재배지의 잣빛곰팡이병균의 방제 약제에 대한 실제적인 약제 저항성 정도를 기술하고, 저항성균의 방제 대책을 서술하고자 한다.

1. 약제 저항성 발생 현황

충남 지방의 부여, 논산, 공주, 대전과 경남 김해의 토마토, 오이, 딸기에서 분리한 잣빛곰팡이병균 (*Botrytis cinerea*)의 방제 살균제에 대한 저항성을 조사한 결과, 1994년에는 분리된 713 균주중 600 균주(84.2%)가 벤지미다졸계의 A약제에 저항성이었고, 249 균주(34.9%)는 디카보옥시마이드계의 B약제에 저항성이었다. 벤지미다졸계와 합제인 D약제에 저항성인 균주는 분리되지 않았다(표 1).

1995년에는 752 균주를 분리하여

표 1. 조사 연도별 잣빛곰팡이병균의 저항성 밀도

년 도	조사 균주수	저항성 밀도(%)		
		벤지미다졸계	디카보옥시마이드계	벤지미다졸계 합제
1994	713	84.2	34.9	0.0
1995	752	64.2	44.4	2.7
1996	932	62.6	49.1	2.3

* 약제의 계통별 조사는 특정약제를 선정하여 실시하였음.

저항성 밀도를 조사하였다. 분리된 지역에 따라 벤지미다졸계의 A약제 저항성균의 밀도는 33.3~97.5%로 다양한 분포를 나타냈으며 전체적으로 볼 때 분리 균주의 64.2%인 483 균주가 벤지미다졸계의 A약제에 저항성이었다. 디카보옥시마이드계의 B약제 저항성균도 분리 지역에 따라 18.8~92.5%로 다양한 분포를 나타냈으며 전체 분리 균주중 334 균주(44.4%)가 저항성균이었다.

1994년도에는 분리되지 않았던 벤지미다졸계와 합제인 D약제에 저항성인 균주가 처음으로 20 균주(2.7%) 분리되었다(표 1).

1996년에는 932 균주를 분리하였다. 분리된 지역에 따라 벤지미다졸계의 A약제 저항성균의 밀도는 24.1~82.5%로 다양한 분포를 나타냈으며 전체적으로 볼 때 분리균주의 62.6%인 583 균주가 벤지미다졸계의 A약제에 저항성이었다. 디카보옥시마이드계의 B약제 저항

표 2. 대표적인 잣빛곰팡이 균주의 3계열의 약제에 대한 최소 억제 농도

조사 균주수	최소억제농도(MIC, ppm)		
	벤지미다졸계	디카보옥시마이드계	디에토펜카브
BY-04	<10	<10	>1,000
BY-09	1	<10	>1,000
P94-2	1	<100	>1,000
IC-02	<10	>1,000	>1,000
DJ-06	>1,000	<1	<1
GA-35	>1,000	<1	<1
JCW-03	>1,000	<100	<10
BY-22	>1,000	<1,000	1
SDT-06	>1,000	<10	>1,000
SDT-17	>1,000	<1	>1,000
YC-27	>1,000	>100	>1,000
YC-44	>1,000	>1,000	>1,000

* 약제의 계통별 조사는 특정약제를 선정하여 실시하였음.

성균의 밀도도 분리 지역에 따라 13.0~100%로 다양한 분포를 나타냈으며 전체 분리 균주중 디카보옥시마이드계의 B약제 저항성균의 밀도는 49.1%이었다. 벤지미다졸계와 합제인 D약제에 저항성균의 밀도는 2.3%로 나타났다

1994년부터 1996년까지 조사된 자료를 중심으로 살펴 볼 때 우리나라 시설 재배 작물에 발생하는 잣빛곰팡이병균의 벤지미다졸계의 A약제에 대한 저항성 밀도는 상당히 높은 수준을 나타내고 있다. 또, 벤지미다졸 살균제에 저항성균의 방제를 위하여 대체 살균제로 개발된 디카보옥시마이드계의 B약제에 대한 저항성 밀도도 34.9~49.1%로 나타나 이 살균제의 약효가 저하될 것임을 알 수 있었다. 역상관 교차 저항성을 이용한 약제인 벤지미다졸계와 합제

인 D약제가 1992년부터 등록되어 사용되었는데 이 약제에 저항성균도 1995년 이후 낮은 정도이지만 새로이 발생하였다.

2. 주요 방제 약제에 대한 병원균의 반응

분리된 균주들에 대하여 우리나라에서 주로 사용되는 세 계열의 약제에 대한 감수성 및 저항성 약제 반응을 중심으로 조사할 때 6가지 균으로 나누어졌다(표 2). 이들 6가지 균의 대표적인 균주에 대한 최소 억제농도(MIC), 즉 병원균의 생장을 완전히 억제하는 약제 농도는 감수성균의 경우는 10 ppm미만으로 나타났으며, 저항성균의 경우는 1,000 ppm이상으로 나타났다. 따라서 저항성균의 방제를 위하여 살포 농도를 높인다든지 살포 횟수를 늘리는 것은 실효를 거두지 못할 것으로 생각된다.

표 3. 우리나라 등록 잣빛곰팡이병 방제 약제의 살균제 저항성 출현 위험도

방제 약제	작용 메커니즘	저항성 위험도
A	특이적	높음
C	특이적	높음
E	특이적	높음
J	특이적	높음
B	특이적	중간
F	특이적	중간
G	특이적	중간
H	비특이적	낮음
I	비특이적	낮음

3. 저항성균의 방제 대책

가. 새로운 작용 메커니즘을 가진 약제를 사용한다.

같은 계통의 약제 가운데는 작용 메커니즘이 같기 때문에 X약제에 저항성인 경우에는 Y약제나 Z약제에 대하여서도 저항성을 나타낸다. 따라서 전혀 다른 작용 메커니즘을 가진 약제를 도입하여야 한다.

표 4. 약제 살포 형태와 살균제 저항성 출현 위험도

영 태	살포 계획	저항성 위험도
a	s-s-s-s	매우 높음
b	s-c-s-c	낮음(교차 사용)
c	(s+c)-(s+c)-(s+c)-(s+c)	낮음(혼합제 살포)
d	(s+c)-c-(s+c)-c	낮음(b와 c의 조합)
e	c-c-(s+c)-c	매우 낮음

s= 특이적 살균제, c= 비특이적 살균제 (J. Dekker, 1986)

나. 특이적 작용 메커니즘을 가져 저항성 출현 위험도가 높은 약제의 사용은 피한다.

우리나라에 등록된 잣빛곰팡이병 방제 약제의 저항성 위험도를 표시할 때 표3과 같이 나타난다. 벤지미

다줄계 살균제인 벤지מיד아줄계의 X 약제, Y약제, Z약제는 낮은 농도에서도 높은 방제 효과를 나타내고 침투 이행성이 좋은 약제로 널리 이용하여 왔지만 특이적 작용 메커니즘을 가지므로 저항성 출현 빈도가 높다. 따라서 이러한 약제의 사용은 주의를 기울여야 한다.

디카보옥시마이드계 살균제인 디카보옥시마이드계의 B약제, F약제, G약제는 저항성 위험도가 중간 정도로 이러한 약제는 연속적으로 사용하기보다는 비특이적 살균제인 H약제이나 I약제 등과 번갈아 가면서 사용하는 것이 바람직할 것이다.

다. 위험도가 낮은 방제 약제를 이용한다.

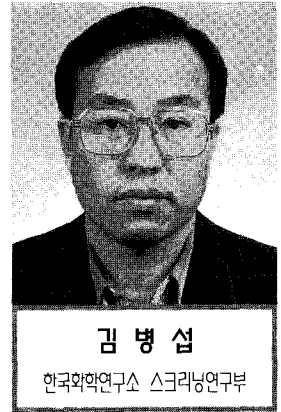
비특이적 작용 메커니즘을 가지므로 저항성 위험도가 낮은 H약제와 I약제 같은 약제를 이용한다(표 3). 위험도가 낮은 약제라고 하더라도

도 계속 살포하는 것은 좋지 않다.

라. 단제 사용보다는 작용 메커니즘이 서로 다른 약제를 혼합제로 이용하거나 교차 사용한다.

약제 살포 계획을 세울 때 단제 계속 살포는 저항성 발생 위험도가 높으므로 피하고, 비특이적 살균제를 혼합하든지 교차하여 사용하는 것이 저항성 발생의 위험도를 낮출 수 있으므로 합리적인 약제 살포 계획을 수립한다(표 4).

장기적으로 약제 저항성 문제를 해결하기 위하여 현재 직접 병원균을 죽이는 약제보다는 식물에 병 저항성을 유도하는 물질의 개발이 진행되고 있는데 이러한 약제를 이용하든지, 역상관 교차 저항성을 이용한 약제를 사용하는 것이 필요하다. 또 화학적 방제 수단에 전적으로 의존하지 말고 약제 방제와 더불어 저항성 품종을 이용하든지 습도 조절



김 병 섭

한국화학연구소 스크리닝연구부

등과 같은 재배 시설내의 물리적 환경을 조절하는 방법 등을 적절히 활용하여 병 방제를 수행하며 재배 시설내의 약제 저항성균의 발생 추이를 전문가의 도움을 받아 조사함으로써 적절한 약제 방제를 수행할 수 있을 것이다. **농약정보**



저항성균의 방제를 위해 살포농도를 높이거나 살포횟수를 늘리는 것은 효과적이지 못하다. 한 약제나 같은 계통의 약제를 계속 사용하면 저항성균의 발생을 촉진하게 되므로 비특이적 살균제와 번갈아가며 사용하는 등 합리적인 약제살포계획을 세워 저항성 발생의 위험을 낮추도록 해야 한다.