

마늘의 흑색썩음균핵병에 대한 품종저항성의 역학적 평가

김용기* · 권미경 · 조원대 · 김택수 · 심홍식 · 이용환¹ · 이찬중² · 이성찬³

농업과학기술원 작물보호부 식물병리과, ¹농촌진흥청 연구관리국 연구운영과

¹전라남도 농업진흥원 식물환경과, ²경상남도 농업진흥원 양파시험장, ³난지농업연구소 난지환경과

Pathogenicity of Two Species of *Sclerotium* to Nine Cultivars of Garlic Cultivated Widely in Korea

Yong-Ki Kim*, Mi-Kyung Kwon, Weon-Dae Cho, Tack-Soo Kim, Hong-Sik Shim,
Seong-Chan Lee¹, Yong-Hwon Lee² and Chan-Jung Lee³

Plant Pathology Division, Department of Agricultural Biology, NIAST, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹Agricultural Environmental Division, National Institute of Subtropical Agriculture, Jeju 690-850, Korea

²Jeonnam Agricultural Research & Extension Services, Naju 520-715, Korea

³Onion Experimental Station, Kyungnam Agricultural Research & Extension Services, Changryung 635-800, Korea

(Received on May 8, 2004)

Mycelial growth and days required for sclerotial formation(DRSF) *in vitro*, and disease incidence of infected plants in the field were investigated to evaluate disease resistance of nine garlic cultivars against two species of *Sclerotium* causing garlic white rot. There were differences among mycelial growth and sclerotial formation of two white rot pathogens on different garlic cultivars *in vitro*. Mycelial growth showed the highest level on the clove of 'Daeseo'. Sclerotia of two white rot pathogen were formed the earliest on the clove of 'Kodang' and the latest on the clove of 'Namdo'. In field trial all of nine garlic cultivars were highly susceptible to *Sclerotium cepivorum* and cold-type garlics were less susceptible than warm-type garlics. Meanwhile garlic cultivars used showed differences among resistant responses to *Sclerotium* sp., forming large sclerotia. All of warm-type garlics showed highly susceptible response, but three cold-type garlics, 'Seosan', 'Danyang' and 'Yechon' showed moderate resistant response and 'Euisung' showed resistant response. To evaluate cultivar resistance of garlics quantitatively disease progress curve was transformed as linear regression equation. Among the intercept (early disease incidence) and the slope (disease infection rate) obtained from the transformed equation, final disease incidence, and area under disease progress curve(AUDPC), AUDPC was the most effective to evaluate disease resistance of garlics to both of white rot pathogens. There was little correlation between mycelial growth and sclerotial formation on garlic cloves *in vitro*, and epidemiological parameters (early disease incidence, final disease incidence, disease infection rate, AUDPC) obtained from the field trial. Mycelial growth of *S. cepivorum* was positively correlated with final disease incidence and disease infection rate obtained from the field trial, meanwhile DRSF was negatively correlated with the epidemiological parameters.

Keywords : Cold-type garlics, Cultivar resistance, *Sclerotium cepivorum*, *Sclerotium* sp., Warm-type garlics, White rot

마늘은 특유의 향기가 있고 김치를 만들 때 없어서는 안 될 주요한 조미채소이다. 게다가 마늘은 강장, 강정효과가 있어 조미용으로는 물론 생식용으로도 소비가 점차

증가되고 있다. 마늘은 충남, 전남, 경남, 경북 및 제주도를 중심으로 대단위면적에서 매년 계속하여 재배되고 있다. 마늘을 연작함에 따라 토양전염성인 흑색썩음균핵병의 발생이 점차 증가되는 추세이다. 흑색썩음균핵병은 미국, 캐나다, 멕시코, 유럽, 아시아, 아프리카, 중앙 및 남아메리카, 호주, 뉴질랜드 등 전 세계적으로 파속 채소를 재배하는 대부분의 나라에서 피해를 주고 있다(Crowe, F.,

*Corresponding author

Phone)+82-31-290-0430, Fax)+82-31-290-0406

E-mail)yongki@rda.go.kr

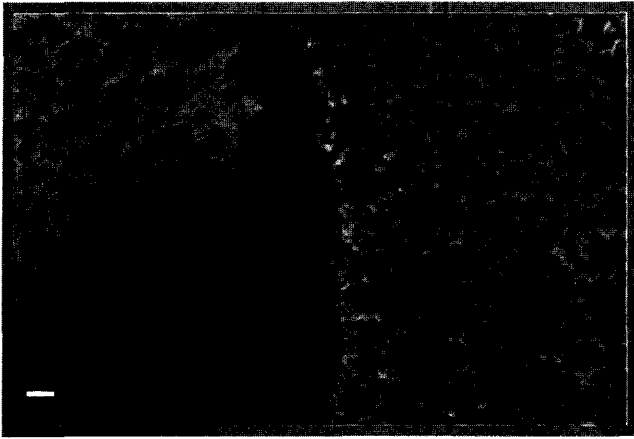


Fig. 1. A stripe of thin mycelium formed on potato dextrose agar by dual culturing with *Sclerotium cepivorum* (right) and unidentified *Sclerotium* sp. (left) forming large sclerotia. Bar indicates 1.0 mm.

1996). 우리나라에서도 흑색썩음균핵병은 1989년 전남 고흥의 난지형 마늘(대서종)에서 처음 발생된 이래 마늘 주산단지인 충남, 전남, 경남, 경북 및 제주도의 대부분 밭마늘 재배지에서 발생되며 큰 피해를 주고 있다(허 등, 1990; 조 등, 1996). 이 병은 최근 들어 마늘은 물론 과속 식물인 파, 양파, 쪽파 및 달래에서도 발생되고 있으며 그 면적도 점차 확대되고 있는 실정이다. 우리나라의 경우 마늘흑색썩음균핵병은 소형 균핵(직경 340~570 μm)을 형성하는 *Sclerotium cepivorum*과 다소 큰 균핵(420~750 μm)을 형성하는 *Sclerotium* sp. 등 두 가지 병원균(Fig. 1)에 의해 발생된다(Cho 등, 2003). 토양병해 방제는 개발된 약종수가 적고 방제가 곤란하여 효율적인 방제를 위해서는 저항성 품종의 선발이 매우 중요하다. 마늘흑색썩음균핵병에 대한 품종저항성 검정연구로는 Sanchez-Pale 등(2001)이 마늘품종 'Positas 750-4'은 'Positas-0'와 'Chileno Santa Martha'에 비해 흑색썩음균핵병에 대하여 발병이 적다고 보고한 바 있으며, 국내에서는 Lee 등(1998)이 *S. cepivorum*을 공시하여 국내에서 재배되고 있는 대서종, 남도종, 고당종 등을 포함한 난지형 마늘을 대상으로 포트조건에서 소규모로 실시한 바 있다. 그러나 흑색썩음균핵병에 대한 마늘의 품종저항성을 정확하게 평가하기 위해서는 병을 일으키는 두 가지 병원균 모두를 대상으로 포장조건에서 시험을 수행하는 것이 매우 중요하다고 판단된다.

따라서 본 시험은 국내 재배 주요 마늘품종의 흑색썩음균핵병에 대한 저항성 정도를 구명하기 위하여 *in vitro* 조건에서 마늘인편상에 두 가지 병원균을 접종하여 품종별 병진전정도를 조사하는 한편, 두 가지 병원균이 각각

오염된 포장에 마늘을 품종별로 파종하여 발병 초기부터 경과일수별로 병진전을 조사하였고, 일차회귀직선과 병반하곡선면적을 구하여 품종별 초기발병 및 병진전을 차이 및 발병총량을 비교분석하였다.

재료 및 방법

시험마늘. 흑색썩음균핵병에 대한 마늘의 품종별 병저항성을 구명하기 위하여 난지형 마늘인 대서종, 남도종, 고당종, 고흥종 및 완도종은 작물과학원 목포시험장에서, 한지형 마늘인 서산종, 예천종, 의성종 및 단양종은 충북 농업기술원 마늘시험장에서 분양을 받아 시험에 사용하였다.

***In vitro*에서의 마늘품종별 흑색썩음균핵병균의 병원성 조사.** *In vitro*에서의 두 가지 마늘흑색썩음균핵병균의 마늘품종별 병원성을 조사하기 위하여 인편을 0.5% 소디움하이포클로라이트용액으로 표면소독한 후 1~2 mm 두께로 잘랐다. 병 발생에 유리한 환경을 만들기 위하여 밀폐통(12×6×20 cm)의 밀바닥에 살균한 두 겹의 키친타올을 깔고 살균수를 첨가하여 습실을 만든 다음 절단된 인편에 병원균을 접종하고 접종된 인편을 직경 9 cm인 사례에 담아 밀폐통 안에 넣고 접종 7일 후에 병 발생을 조사하였다. 병원균 접종은 감자설탕한천배지상에서 흑색썩음균핵병균을 7일간 배양한 후 생육이 왕성한 가장자리에서 직경이 6 mm인 코르크보라를 이용하여 균총을 채취한 다음 인편상에 균사가 자란 면이 위로 향하도록 하여 치상하였다. 마늘 품종별 발병정도는 균사생장과 균핵 형성시기를 조사하여 평가하였다.

포장조건에서 흑색썩음균핵병에 대한 마늘의 품종저항성 조사. 포장조건에서 흑색썩음균핵병에 대한 마늘의 품종별 저항성을 조사하기 위하여 *S. cepivorum*과 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.이 오염된 포장에 마늘을 품종별로 파종한 다음 발병 초부터 경과일수별로 이병주율을 조사하였다. 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.에 대한 품종저항성 시험은 전년도에 병 발생이 심하였던 충남 태안의 마늘밭에서 난괴법 3반복으로 수행하였으며, *S. cepivorum*에 대한 품종저항성 시험은 병 발생이 심하였던 충남서산 인지면의 마늘 포장에서 이병도양(2 M/T)을 채취하여 농업과학기술원 시험포장의 비닐하우스(폭 6 m×길이 28 m)에 골고루 뿌리고 경운함으로써 전 포장에 병이 골고루 발생되도록 한 다음 마늘을 심어 포장 전체에서 병이 발생된 것을 확인한 다음 이듬해 마늘을 품종별로 파종하였으며, 파종 후 경과일수별로 품종별 이병정도를 조사하였다. *S. cepivorum*에 대한 품종저항성 시험은 난괴법 4반복으로 수행하였다.

흑색썩음균핵병에 대한 마늘품종별 저항성 분석. 두 가지 흑색썩음균핵병에 대한 마늘품종별 저항성 정도를 비교분석하기 위하여, 품종별로 이병주율을 발병 초부터 경과 후 일수별로 조사하여 얻어진 병 진전곡선을 통계 패키지프로그램인 SAS8.0을 이용하여 초기 발병치를 고정하고 회귀직선을 구하였다. 품종별 병저항성 정도는 각각의 회귀식에서 초기발병치(y절편)와 병진전속도(기울기)를 구하고 각각의 회귀식에 대한 결정계수(R²)를 구하여 회귀직선에 대한 타당성을 검토하였다. 한편 병 총량을 계수화하기 위하여 각 품종별 병반하곡선면적(AUDPC)을 산출하였다. 품종별 저항성은 초기발병치, 병진전속도, 병반하곡선면적 및 최종발병지수(이병주율)를 종합하여 평가하였다.

결과 및 고찰

흑색썩음균핵병균의 인편접종에 의한 마늘품종별 균사생장 및 균핵형성. 마늘 인편상에서 두 가지 흑색썩음균핵병균의 균사생장과 균총접종 후 균핵형성 소요일수를 품종별로 조사한 결과, 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.의 균사생장은 난지형 품종인 대서종, 고당종 및 완도종, 한지형 마늘인 단양종에서 높았다. *S. cepivorum*의 균사생장은 난지형마늘의 대서종과 고당종에서 높았고, 한지형 마늘의 단양종과 의성종에서 높은 것으로 나타났다 (Table 1). 따라서 난지형 마늘 중 대서종과 고당종, 한지형마늘 중 단양종의 인편상에서 두 가지 균핵병균 모두가 타 품종에 비해 잘 자라는 것으로 나타났다.

Sclerotium sp.의 균핵형성은 고당종에서는 접종 후 10일, 대서종, 고흥종, 완도종, 예천종, 서산종, 단양종 및 의

성종은 접종 16일 후에, 그리고 남도종은 접종 후 18일 후에 가장 늦게 시작되는 것으로 나타났다. *S. cepivorum*의 균핵형성은 난지형인 고당종에서는 접종 후 10일에 시작되었고 고흥종, 완도종, 예천종, 단양종 및 의성종에서는 접종 13일 후부터 시작되었다. 도입종인 대서종과 남도종, 국내재래종인 서산종은 접종 16일 후부터 균핵이 형성되기 시작하는 것으로 나타나 타 품종에 비해 균핵형성이 더딘 것으로 나타났다. 균핵형성은 타 품종에 비해 고당종 인편상에서 두 가지 흑색썩음병균 모두 빠르게 형성되었으며, 남도종 인편상에서 더디게 형성되는 것으로 나타났다. 이상의 품종간의 균사생장과 균핵형성 소요일수에 있어서의 차이가 포장에서의 품종간 저항성의 차이를 보일 것으로 추정되었다.

한편 두 가지 병원균의 병원성을 마늘 인편상에서의 균사생장과 균핵형성소요일수를 기준으로 평가할 때 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.에 비해 *S. cepivorum*이 균사생장속도도 빠르고 균핵형성도 빠른 것으로 나타나 *S. cepivorum*이 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.에 비해 병원력이 큰 것으로 확인되었다.

포장조건에서의 흑색썩음균핵병에 대한 마늘의 품종저항성. 마늘 품종별 흑색썩음균핵병에 대한 저항성 정도를 구명하기 위하여 *S. cepivorum*에 의해 마늘흑색썩음균핵병이 심하게 발생하는 포장에서 토양을 채취하여, 인위적으로 발병이 균일하게 포장을 조성한 다음 마늘을 품종별로 파종하였으며, 발병조사는 발병 초부터 경과 후 일수별로 조사하였다. 품종별 초기발병은 난지형 품종에서는 고흥종, 완도종, 대서종, 남도종 순으로 높았으며, 한지형 품종에서는 의성종에서만 약간(3.0%) 발병되었다. 마늘 파종 후 205일 후(최종조사)에는 난지형 마늘의 경우 대서종에서 가장 높은 발병을 보였으며 고당종, 남도종, 완도종 순으로 높았고 초기발병이 높았던 고흥종에서 가장 낮은 발병을 보였다. 한지형 마늘에서의 발병정도는 단양종, 의성종, 예천종, 서산종 순으로 나타났으나 품종간 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 2). 결론적으로 시험한 모든 품종은 *S. cepivorum*에 대하여 50%이상의 발병을 보여 저항성 품종은 없는 것으로 판명되었으나, 가장 이병성인 대서종에 비해서 한지형 마늘 중 서산종과 예천종, 그리고 난지형 중 고흥종이 감수성을 보여 유의차가 있는 것으로 나타났다. 마늘의 생태형 품종별 발병정도는 난지형 마늘에 비해 한지형 마늘에서 낮은 것으로 나타났는데 이는 병저항성의 차이라기보다는 난지형이 한지형에 비해 발아시기가 빠르고 병원균의 침입과 관련이 큰 뿌리발육이 현저하게 빠르므로 병원균이 일찍 침입하기 때문이라고 생각된다. 마늘 인편에서의 품종별 균

Table 1. Mycelial growth of two species of *Sclerotium*, *S. cepivorum*, and *Sclerotium* sp. forming large sclerotia, artificially-inoculated on cloves of nine garlic cultivars

Cultivar	Mycelial growth (mm)		Days required for sclerotial formation	
	<i>Sclerotium</i> sp.	<i>S. cepivorum</i>	<i>Sclerotium</i> sp.	<i>S. cepivorum</i>
Daeseo	25.0	30.6 a	16.0	16.0 a
Kodang	22.0	30.1 a	10.0	10.0 c
Danyang	22.2	28.6 ab	16.0	13.0 b
Euisung	20.6	28.6 ab	16.0	13.0 b
Seosan	21.0	26.8 bc	16.0	16.0 a
Yechon	18.6	25.5 cd	16.0	13.0 b
Koheung	20.6	24.5 de	16.0	13.0 b
Namdo	19.5	24.1 de	18.0	16.0 a
Wando	22.1	23.0 e	16.0	13.0 b

Table 2. Incidence of white rot on nine garlic cultivars grown in the garlic field infested with *Sclerotium cepivorum* in 2003

Cultivar	Percent of infected plants ² at days after sowing			
	124	154	185	205
Cold type cultivar				
Seosan	0	19.2	41.7	52.8 b ^y
Yechon	0	10.0	36.0	53.6 b
Euisung	3.0	15.0	40.5	60.7 ab
Danyang	0	10.0	33.4	61.3 ab
Warm type cultivar				
Koheung	13.0	18.0	48.0	54.6 b
Wando	10.0	35.0	46.2	73.0 ab
Namdo	2.5	16.6	49.8	74.5 ab
Kodang	0	13.0	56.6	84.4 ab
Daeseo	3.8	28.8	63.2	96.9 a

²Disease incidence was rated in percent of infected plants in total plot.

^yIn a column, means followed by the same letter are not significantly different at 5% level by multiple range test.

사생장 및 균핵형성소요시간과 실제로 포장에서의 발병 정도와는 상관이 없는 것으로 나타났는데 이는 절단한 인편에 접종된 병원균은 접종 즉시 마늘을 영양원으로 하여 성장되고 시간이 경과함에 따라 균핵을 형성하는 것과는 달리 포장조건에서는 마늘 품종별로 발아되는 시기가 다르고 뿌리의 발육도 다르므로 토양 속에 존재하는 흑색썩음균핵병의 균핵이 발아되기 위하여 필요한 diallyl disulfide의 분비 시기 및 양에 있어 마늘품종 간에 차이가 있기 때문이라 생각된다.

한편 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.에 의한 초기발병은 난지형의 경우에는 고당마늘에서 이병주율이 40.2%로 가장 높았으며 다음으로 완도종과 고흥종 순이었으며 남도종과 대서종에서는 각각 2.8%와 1.4%로 매우 낮은 발병을 보였다. 한지형 마늘의 경우에는 5.4% 이하의 발병을 보여 난지형 마늘에 비해 병 발생이 현저히 적었다. 마늘 파종 230일 후 최종발병조사시의 품종별 병 발생에 있어서는 난지형 마늘의 경우에는 초기 발병이 낮았던 대서종에서 이병주율 74.7%로 가장 높은 발병을 보였으며 고당종과 완도종에서도 높은 병 발생을 보였다. 난지형 마늘 중 남도종과 고흥종은 대서종과 유의차는 보이지 않았으나 다소 낮은 발병을 보였다(Table 3). 한지형 마늘은 난지형 마늘인 대서종, 고당종 및 완도종에 비해 병 발생이 현저히 낮았다. 특히 의성종은 초기발병도 낮고 마늘 파종 후 230일까지도 4.7%의 병 발생을 보여 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.에 대한 저항성 품종으로 평가되었다. 우리나라의 경우 마늘포장에서 채취되는 균핵의 분

Table 3. Incidence of white rot on nine garlic cultivars grown in the field infested with *Sclerotium* sp. forming large sclerotia in 2003

Cultivar	Percent of infected plants ² at days after sowing			
	150	165	200	230
Cold type cultivar				
Euisung	0	2.1	5.0	4.7 d ^y
Seosan	1.8	4.1	11.5	11.5 cd
Danyang	3.6	7.1	21.9	25.2 bcd
Yechon	5.4	13.8	21.4	26.1 bcd
Warm type cultivar				
Namdo	2.8	4.5	7.0	42.6 abc
Koheung	26.3	33.3	41.4	46.6 ab
Wando	30.6	41.0	48.4	59.2 a
Kodang	40.2	45.2	49.7	65.2 a
Daeseo	1.4	1.4	2.8	74.7 a

²Disease incidence was rated in percent of infected plants in total plot.

^yIn a column, means followed by the same letter are not significantly different at 5% level by multiple range test.

리빈도를 기준으로 흑색썩음균핵병의 우점도를 판단할 때 2001년 이전에는 *S. cepivorum*에 비해 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.가 우점하는 것으로 나타났으나 최근에는 *S. cepivorum*이 점차 증가되는 추세이다(조 등, 2001). 게다가 국내에서 재배되는 마늘 중 *S. cepivorum*에 대하여 저항성인 품종은 본 시험의 결과 전무한 실정이므로 흑색썩음균핵병에 대한 방제를 소홀히 할 경우 앞으로 계속해서 병 발생이 증가될 것으로 판단된다.

마늘품종별 흑색썩음균핵병 저항성에 대한 역학적 평가. 흑색썩음균핵병에 대한 품종별 저항성 정도를 정량적으로 비교분석하기 위하여 Pennypacker 등(1980)이 보고한 병진전과 관련한 모델의 적용가능성을 검토하였으나 마늘흑색썩음균핵병의 진전은 이들이 제시한 simple interest disease나 compound interest disease와는 다른 양상을 보였다. 따라서 병 진전 정도를 초기 발병치를 고정하고 품종별로 파종 후 일수별 발병정도에 대하여 아래와 같이 일차회귀직선을 구하여 병진전속도(a, 회귀직선의 기울기)를 산출하고 각각의 회귀식에 대한 결정계수를 구하였는데 *Sclerotium* sp.에 대하여 대서종과 남도종의 회귀식 결정계수가 각각 0.676과 0.746을 보인 것을 제외하고는 대부분 0.855이상을 나타내 마늘흑색썩음균핵병에 대한 마늘 품종별 병 진전 속도를 1차 회귀식에서 산출하는 것이 타당한 것으로 판단되었다.

$$y(\text{발병정도}) = ax(\text{파종 후 일수}) + b(\text{초기 발병치})$$

Table 4. Estimated epidemiological parameters calculated by Sigma plot version 8.0 for disease development of white rot caused by *Sclerotium cepivorum* on nine garlic cultivars

Cultivar	Epidemiological parameter ^y			AUDPC ^z
	Infection rate	Intercept	Coefficient of determination (R ²)	
Wando	1.5	2.5	0.874	2,025.4
Euisung	1.2	3.0	0.998	1,728.0
Daeseo	1.1	3.8	0.990	2,900.0
Danyang	1.0	0	0.977	1,871.4
Namdo	0.9	0	0.959	2,004.6
Kodang	0.9	13.0	0.925	2,246.0
Yechon	0.8	0	0.971	1,346.0
Seosan	0.7	0	0.999	1,278.4
Koheung	0.5	10.0	0.925	2,836.2

^yInfection rate (a), intercept (b) and coefficient of determination was obtained from equation of simple linear regression ($y = ax + b$) calculated for disease development of garlic white rot.

^zArea under disease progress curve (AUDPC); disease ratings recorded monthly using percent of infected plants. Disease severity was calculated as the AUDPC using the equation : $AUDPC = (Y_1 + Y_{i+1})/2 * (t_i - t_{i+1})$ where Y_i =disease rating at time t_i .

한편 병 총량을 계수화하기 위하여 병진전하곡선면적(AUDPC)를 산출하였다.

*S. cepivorum*에 대한 병 진전속도는 완도종, 의성종, 대서종 순으로 높았으며, 고흥종, 서산종, 예천종에서 낮은 것으로 나타났으며, AUDPC는 초기발병이 높았던 고흥종과 초기발병은 적었으나 후기발병이 높았던 대서종에서 높게 나타났다(Table 4). AUDPC에 의거하여 흑색썩음균핵병에 대한 마늘의 품종저항성을 평가하는 것과 품종별로 병진전속도, 초기발병치나 최종발병치를 기준으로 평가하는 것과는 차이를 보였다. AUDPC를 기준으로 평가하였을 때에는 대서종, 고흥종, 고당종, 완도종, 남도종, 단양종, 의성종, 예천종, 서산종 순으로 이병성인 것으로 나타났으나, 최종발병치를 기준으로 평가하였을 때에는 대서종, 고당종, 남도종, 완도종, 고흥종, 단양종, 의성종, 예천종, 서산종 순으로 나타났으며, 병진전속도를 기준으로 볼 때에는 완도종, 의성종, 대서종, 단양종, 남도종, 고당종, 예천종, 서산종, 고흥종 순으로 나타나 평가지표에 따라 품종별 감수성순위에 있어서 차이를 보였다. 특히 AUDPC에 의한 평가는 다른 두 평가지표와 큰 차이를 보였다. 세 가지 평가지표를 모두를 고려하여 볼 때 *S. cepivorum*에 대해서는 서산종과 예천종이 덜 감수성인 것으로 판단되었다. 병진전하곡선면적을 평가지표로 하여 마늘생태형간 품종저항성을 평가할 때 난지형 마늘에 비

해 한지형 마늘이 병량이 높은 것으로 나타나 *S. cepivorum*에 대해서는 난지형 마늘보다 한지형 마늘이 덜 감수성인 것으로 나타났다.

Sclerotium sp.에 대한 병 진전 속도는 대서종, 남도종, 완도종, 고당종, 단양종, 예천종, 고흥종, 서산종, 의성종 순이었으며, 최종 발병치는 대서종, 고당종, 완도종, 고흥종, 남도종, 예천종, 단양종, 서산종, 의성종 순이었으며, AUDPC는 고당종, 완도종, 고흥종, 예천종, 단양종, 대서종, 남도종, 서산종, 의성종 순으로 높았다. 마늘수확시 조사하였을 때 높은 발병을 보였던 대서종이 가장 높은 병진전속도를 보였음에도 불구하고 AUDPC가 적은 이유는 대서종과 남도종은 국산재래종에 비하여 외피가 두껍게 발달되어 있어 감염되었다 하더라도 인편에 도달하기까지는 시간이 소요되므로 실제로 병에 감염되었다 하더라도 외부로 병징이 다른 품종에 비해 더디게 나타나기 때문이며 일부 감염된 마늘은 수확할 때에야 발병을 확인할 수 있었기 때문이다.

마늘의 품종저항성을 간편하고 쉽게 검정하기 위하여 인편을 세로방향으로 절단하여 절단면에 병원균의 균총을 접종하고 품종별 균사생장과 균핵형성시기를 조사한 결과와 실제로 포장조건에서의 품종별 병 발생정도와의 상관관계를 조사한 결과 초기발병치, 최종발병치, 병진전속도, AUDPC 등 포장에서 얻어진 결과와 *in vitro*조건에서 얻은 결과는 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이는 Sanchez-Pale 등(2001)이 포장에서 조사한 품종별 발병정도와 *in vitro* clove maceration법에 의한 품종별 발병정도가 상관관계가 있다는 보고와는 상이한 결과라 할 수 있다. *In vitro* 결과치와 포장조건에서 얻은 결과치가 다른 이유는 우리나라의 경우, 충남 일부지역을 제외하고는 한지형과 난지형 마늘이 구분되어 재배되고 있고, 도입마늘인 대서종과 남도종을 제외하고는 지역특성에 맞는 재래종을 계속해서 재배한 관계로 재래종 간에는 재배적 특성이 크게 다르다. 따라서 *in vitro* 조건과는 달리 *in vivo* 조건에서는 흑색썩음균핵병에 발생과 관련이 있는 파종 및 발아시기, 적정 재배온도 및 습도에 있어서 마늘품종별로 차이가 있고, 그 결과 병원균의 발아를 유도하는 diallyl disulfide(Michael Davis, M., 2002; Hovius 등, 2002; Esler 등, 1983)와 같이 마늘이 분비하는 휘발성 물질의 종류 또는 양에서의 차이가 있기 때문에 *in vitro*와 *in vivo*의 차이를 보이는 것으로 사료된다. 또한 주산단지별로 마늘재배토양내의 이화학적 특성과 생물적 다양성이 크게 다르므로 이런 요인들도 병 발생에 영향을 주리라 사료된다(Harper 등, 2002; Crowe 등, 1980). McLean 등(2001)은 흑색썩음균핵병균의 균핵의 활성화에 토양온도가

Table 5. Estimated epidemiological parameters calculated by Sigma plot version 8.0 for disease development of white rot caused by *Sclerotium* sp. forming large shaped sclerotia on nine garlic cultivars

Cultivar	Epidemiological parameter ^y			AUDPC ^z
	Infection rate	Intercept	Coefficient of determination (R ²)	
Daeseo	0.83	1.4	0.676	1258.4
Namdo	0.43	2.8	0.746	972.8
Wando	0.31	30.6	0.957	3724.8
Kodang	0.30	40.2	0.917	4089.8
Danyang	0.29	3.6	0.947	1285.8
Yechon	0.23	5.4	0.921	1451.9
Koheung	0.23	26.3	0.942	3077.2
Seosan	0.13	1.8	0.884	659.0
Euisung	0.06	0	0.856	286.5

^yInfection rate (a), intercept (b) and coefficient of determination was obtained from equation of simple linear regression ($y = ax + b$) calculated for disease development of garlic white rot.

^zArea under disease progress curve (AUDPC); disease ratings recorded monthly using percent of infected plants. Disease severity was calculated as the AUDPC using the equation: $AUDPC = [(Y_i + Y_{i+1})/2] * (t_i - t_{i+1})$ where Y_i =disease rating at time t_i .

Table 6. Disease correlations between pathogenicity tested by *in vitro* clove inoculation method and disease severities evaluated in the field infested with each two species of *Sclerotium* on nine garlic cultivars

Disease severity	Pathogenicity on cloves inoculated with			
	<i>Sclerotium cepivorum</i>		<i>Sclerotium</i> sp.	
	MG ^y	DRSF ^z	MG	DRSF
Initial disease incidence	0.104 ^{ns}	-0.690 ^{ns}	-0.540 ^{ns}	-0.030 ^{ns}
Final disease incidence	0.610 ^{ns}	-0.350 ^{ns}	0.449 ^{ns}	0.047 ^{ns}
Infection rate	0.668 ^{ns}	0.080 ^{ns}	0.034 ^{ns}	-0.070 ^{ns}
AUDPC	0.176 ^{ns}	-0.620 ^{ns}	0.184 ^{ns}	-0.038 ^{ns}

^yMG, mycelial growth; DRSF, days required for sclerotial formation.

큰 영향을 주는 요인으로 보고한 바 있다. Pinto 등(1998)도 기온이 흑색썩음균핵병의 발병에 영향을 크게 미치므로 이 병에 대한 방제전략으로 마늘의 조기파종을 제시하기도 하였다. 이상의 결과로 볼 때 *in vitro* clove inoculation법과 같이 생체가 아닌 *in vitro* 조건에서의 병 저항성 검정은 실제로 포장조건에서의 품종별 병저항성 검정과는 큰 차이가 있다고 판단되며, 포장에서의 병 저항성 검정을 대체할 수 있는 간편한 방법을 개발하기 위해서는 *in vitro*와 *in vivo*를 혼합한 방법으로 Hunger 등(2002)이 보고한 seedling infection assay등과 같은 방법에

대해서도 추후 검토가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

마늘흑색썩음균핵병에 대한 국내재배 마늘의 품종 저항성을 구명하기 위하여 발병에 관여하는 *Sclerotium cepivorum*과 대균핵을 형성하는 *Sclerotium* sp.에 대한 *in vitro* clove inoculation법에 의한 균사생장과 균핵형성소요일수 그리고 이병포장에서의 품종별 발병정도를 조사하였다. 마늘인편 절편상에서의 병원균의 생장과 균핵형성은 품종 또는 병원균간에 차이를 보였다. 대서종에서는 두 가지 병원균 모두 가장 높은 균사생장을 보였다. *S. cepivorum*과 *Sclerotium* sp.의 균핵은 고당종에서 가장 빠르게 형성되었고, 남도종에서 가장 늦게 형성되었다. 포장에서의 품종별 병 저항성에 있어서는 *S. cepivorum*에 대해서는 모든 마늘에서 이병주율이 50% 이상으로 시험 품종 모두 감수성인 것으로 판명되었으며, 난지형마늘에 비해 한지형마늘에서 발병이 적었다. *Sclerotium* sp.에 대해서는 난지형 마늘 모두 고도의 감수성이었고, 한지형마늘은 서산종, 단양종 그리고 예천종이 중도저항성이었으며 의성종은 저항성인 것으로 나타났다. 마늘의 품종저항성을 정량적으로 평가하기 위하여 병진전곡선을 1차 회귀직선화하여 얻은 초기발병치(intercept), 병진전속도 및 병진전곡선하면적(AUDPC)을 비교한 결과 초기발병과 병진전이 함께 고려된 AUDPC가 품종별 병저항성을 평가하는데 적당한 것으로 나타났다. *In vitro* 조건하에서의 균사생장 및 균핵형성과 포장에서의 역학지수(초기발병치, 최종발병치, 병진전속도, AUDPC)와의 상관관계를 조사한 결과, *S. cepivorum*에 대하여 균사생장과 최종발병치, 균사생장과 병진전속도간에는 정의상관을, 그리고 균핵형성과 역학지수간에는 부의 상관을 보였으나 5% 수준에서 유의성은 없었다.

참고문헌

- 조원대, 김완규. 1996. 백합과 채소작물에서의 흑색썩음균핵병 발생. 한국식물병리학회지 12(2): 251-254.
- Cho, W. D., Kim, W. G., Hong, S. K. and Kim, W. S. 2003. *Sclerotium* sp. associated with occurrence of a new disease, globular sclerotium rot of garlic. *The Plant Pathol. J.* 18(6): 372(abstract).
- Crowe, F. 1996. White rot. In: Compendium of onion and garlic diseases. Schwartz, H. F. and Mohan, S. K., eds. The APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.
- Crowe, F. J. and Hall, D. H. 1980. Soil temperature and moisture effects on *Sclerotium* germination and infection of onion

- seedlings by *Sclerotium cepivorum*. *Phytopathology* 70: 74-78.
- Esler, G. and Coley-Smith, J. R. 1983. Flavor and odor characteristics of species of *Allium* in relation to their capacity to stimulate germination of sclerotia of *Sclerotium cepivorum*. *Plant Pathology* 32: 13-22.
- Harper, G. E., Frampton, C. M. and Stewart, A. 2002. Factors influencing survival of sclerotia of *Sclerotium cepivorum* in New Zealand soils. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 30: 29-35.
- Hovius, M. H. Y. and McDonald, M. R. 2002. Management of *Allium* white rot(*Sclerotium cepivorum*) in onions on organic soil with soil-applied diallyl disulfide and di-*N*-propyl disulfide. *Can. J. Plant Pathol.* 24: 281-286.
- Hunger, S. A., McLean, K. L., Eady, C. C. and Stewart, A. 2002. Seedling infection assay for resistance to *Sclerotium cepivorum* in *Allium* species. *New Zealand Plant Protection* 55: 193-196.
- 허노열, 오한중. 1990. 마늘흑색썩음균핵병 발생소장과 방제에 관한 시험. 농약연구소시험연구보고서 129-141.
- Lee, Y. H., Lee, W. H. and Lee, D. K. 1998. Screening for resistance of garlic cultivars to white rot caused by *Sclerotium cepivorum*. *Korean J. Plant Pathol.* 14(6): 594-597.
- McLean, K. L. and Stewart, A. 2000. Infection sites of *Sclerotium cepivorum* on onion roots. *New Zealand Plant Protection* 53: 118-121.
- McLean, K. L., Swaminathan, J. and Stewart, A. 2001. Increasing soil temperature to reduce sclerotial viability of *Sclerotium cepivorum* in New Zealand soils. *Soil Biol. Biochem.* 33: 137-143.
- Michael Davis, R. 2002. Use of a natural product to stimulate sclerotial germination of *Sclerotium cepivorum* for the control white rot of onions and garlic. *Pest Management Grants Final report*: 1-9.
- Perinypacker, S. P., Knoble, H. D., Antle, C. E. and Madden, L. V. 1979. A flexible model for studying plant disease progression. *Phytopathology* 70: 232-235.
- Pinto, C. M. F., Maffia, L. A., Berger, R. D., Mizubutti, E. S. G. and Casali, V. W. D. 1998. Progress of white rot on garlic cultivars planted at different times. *Plant Dis.* 82: 1142-1146.
- Sanchez-Pale, J. R., Zavaleta-Mejia, E., Mora-Aguilera, G. and Perez-Moreno, L. 2002. Pathogenicity of four mexican isolates of *Sclerotium cepivorum* Berk. in three cultivars of garlic (*Allium sativum* L.). *Agrociencia* 36: 103-113.