

마늘 흑색썩음균핵병에 대한 살균제의 작용 특성

김형조 · 김흥태 · 민이기*

충북대학교 농업생명환경대학 식물 의학과

Control Activities of Fungicides Against Garlic White Rot Caused by *Sclerotium cepivorum*

Heongjo Kim, Heung Tae Kim and Yi Gi Min*

Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Chungbuk, Korea

(Received on February 6, 2015. Revised on February 25, 2015. Accepted on March 24, 2015)

Abstract In order to control garlic white rot (*Sclerotium cepivorum*), which threatens garlic production in farmers fields, soil solarization (solar sterilization), sclerotia germination inducers and effective microorganisms as biological control agents, and chemical fungicides have been used. Among them, fungicide has been largely used to reduce garlic white rot. In this study, the antifungal activities of five fungicides, prochloraz(a.i. 25%, EC), tebuconazole (a.i. 25%, WP), flutolanil (a.i. 15%, EC), iminoctadine tris-albesilate (a.i. 40%, WP) and isoprothiolane (a.i. 40%, EC) with different mode of action, in mycelial growth, sclerotia germination and sclerotia production, were tested. The inhibitory effects of the 5 fungicides on the mycelial growth, and sclerotia germination and production of garlic white rot pathogen (*S. cepivorum* T11-2) were investigated on potato dextrose agar (PDA) and their control efficacies were evaluated on garlic flakes. There was no mycelial growth of *S. cepivorum* T11-2 on PDA amended with 0.8 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of prochloraz or 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of tebuconazole. Also prochloraz and tebuconazole inhibited perfectly the sclerotia germination of the pathogen at 10 and 1.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectively. In spite of a very low activity of isoprothiolane in mycelial growth and sclerotia germination of *S. cepivorum* T11-2, it showed a good inhibitory activity against sclerotia production of *S. cepivorum* T11-2 on PDA amended with 1.67 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Prochloraz, tebuconazole and flutolanil showed above 70% of control value when they were treated at 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ using the garlic flake cutting-method.

Key words Garlic white rot, *Sclerotium cepivorum*, Prochloraz, Tebuconazole, Isoprothiolane, inhibitory effect on sclerotia production, inhibitory effect on mycelial growth, inhibitory effect on sclerotia germination

서 론

마늘의 재배 중에 발생하는 흑색썩음균핵병은 마늘의 안정 생산을 위협하는 중요한 식물병 중의 하나로 알려져 있다. 흑색썩음균핵병의 발생은 마늘을 재배하는 여러 지역에서 보고되어 있는데, 영국에서는 생산량의 10%가 흑색썩음균핵병으로 감소하였으며, 멕시코와 브라질에서는 전혀 수

확을 할 수 없었던 적도 있었다(Entwistle, 1990; Andrea et al., 1996; Pinto et al., 2000). 캐나다에서는 포장에서 발병 주율이 65%에 달할 정도로 발생이 심한 해도 있었으며(Earnshaw et al., 2000), 에티오피아에서는 2003년과 2004년에 96.6%의 포장에서 흑색썩음균핵병이 발생하기도 하였다(Zewde et al., 2007). 국내에서는 1988년 고흥 지방에서 처음 보고된 이래 백합과 채소를 대상으로 1996년까지 매년 발생이 증가하고 있는 토양병이다(Cho와 Kim, 1996). 하지만 Kim (2001)에 의하면 2000년 이후부터는 2000년 마늘 흑색썩음병이 발생한 발병포장율은 44.7%, 발병주율은 19.6%이었으나, 2001년과 2003년의 발병포장율은 20.4%와 14.3%,

*Corresponding author

Tel: +82-43-261-2509, Fax: +82-43-271-4414
E-mail: ygmin@cbnu.ac.kr

발병주율은 6.0%와 10.1%로 감소하는 경향을 보였다(Kim, 2002; Kim, 2004).

흑색썩음균핵병균은 마늘을 비롯한 파속 채소를 침입하여 큰 피해를 일으키기 때문에 방제가 필요하다. 마늘 흑색썩음균핵병을 방제하기 위해서는 *Trichoderma harzianum*과 *Bacillus subtilis* 등과 같은 미생물을 사용하는 생물적 방법, 토양을 태양열로 소독하는 물리적 방법, 살균제를 처리하는 화학적 방법 등이 사용되고 있다(Entwistle, 1992; Melero-Vara et al., 2000). *Trichoderma*, *Bacillus*, *Burkholderia* 등 여러 가지 미생물을 사용하여 우수한 방제효과를 얻었으나, 포장에 따라서 효과가 낮게 나타나거나, 기대에 미치지 못하는 경우도 있다(Han et al., 2013; Lee et al., 2006; Melero-Vara et al., 2000). 포장을 비닐 필름으로 덮어 토양의 온도를 높여 균핵의 생존력을 떨어뜨리는 태양열 소독은 포장에서 흑색썩음균핵병에 대한 우수한 방제효과를 보였다(Satour et al., 1989; Melero et al., 1989). 하지만 토양 1g에 균핵이 1개에서 10개 정도가 존재할 경우 포장에서 발병율이 100%에 도달하고, 0.001개일 경우 소수의 식물체에서 병이 발생하기 때문에 토양에 존재하는 병원균의 밀도가 아주 낮은 정도로 감소되지 않고서는 우수한 효과를 계속적으로 얻기가 힘들다(Crowe et al., 1980; Entwistle, 1992). 경종적 방법을 사용하여 병 방제를 하기 위해서 Kim 등(2005)은 종구 파종을 10월 중순 이전에 실시하거나, 파종시 종구의 재식 깊이를 깊게 함으로써 병 발생을 줄이고자 하였다. 또한 석회를 토양에 처리하여 병 발생을 억제하고자 하였지만, 살균제를 처리하여 방제하였을 때만큼 우수하지는 못하였다. 살균제를 사용하는 방법은 가장 보편적이면서 쉽게 효과를 얻을 수 있는 방법으로 알려져 있으며, dicloran, iprodione, procymidone, tebuconazole과 같은 여러 가지 살균제가 병 방제에 사용되어 왔다. 하지만 처리한 살균제가 토양 중에서 분해되거나, 한 번 처리로 방제가 이루어지지 않기 때문에 다양한 처리 방법으로 또는 주기적으로 계속 처리해야 하거나, 재배 작물 밀도에 따라서 처리하는 양을 달리해야만 만족할 만한 효과를 얻을 수 있었다(Groves and Chough, 1970; Entwistle, 1986; Fullerton and Stewart, 1991; Zewde et al., 2007). 다양한 방제 방법이 보고되고 있음에도 불구하고, 흑색썩음균핵병을 방제하기 위해서는 병원균의 생리·생태적인 특징과 병환에 대한 이해가 필요하다. 특히 보편적이면서 쉽게 접근할 수 있는 살균제를 이용하여 방제하기 위해서는 각 살균제가 갖는 특성과 효과를 정확하게 파악할 수 있어야 한다.

따라서 본 실험에서는 작용기작과 특성이 다른 5종의 살균제를 선발하여, 병원균의 균사생장, 균핵의 발아 및 생성 등에 미치는 효과를 배지 상에서 검정하였으며, 마늘 인편을 이용한 검정법을 확립하여 각 살균제의 병 방제 효과를 조사하였다.

재료 및 방법

실험에 사용한 병원균 및 살균제

흑색썩음균핵병균에 감염된 마늘 종구에서 단균핵 분리한 *Sclerotium cepivorum* T11-2를 선발하여 실험에 사용하였다. 또한 병원균의 생장과 병 발생에 대한 살균제의 억제 효과를 검정하기 위해서 에르고스테롤 생합성을 저해하는 prochloraz (a.i. 25%, EC)와 tebuconazole (a.i. 25%, WP), 병원균의 호흡작용에 필요한 에너지대사를 저해하는 flutolanil (a.i. 15%, EC), 지질 생합성을 저해하는 작용기작을 가지고 있는 것으로 알려진 iminocadine tris-albesilate (a.i. 40%, WP), 병원균의 세포막 합성을 저해하는 isoprothiolane (a.i. 40%, EC)을 선발하여 실험에 사용하였다.

한천희석법을 통한 병원균의 균사 생장 억제 효과 조사

S. cepivorum T11-2를 20°C의 PDA 배지에서 4일간 배양한 후, 균사 선단 부위에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 각 살균제를 농도별로 첨가한 새로운 PDA 배지에 접종하였다. 각각의 살균제는 멸균수에 용해시켜 PDA 배지에 최종농도가 prochloraz는 4, 0.8, 0.16, 0.032, 0.0064 $\mu\text{g mL}^{-1}$, tebuconazole, flutolanil, isoprothiolane 그리고 iminocadine은 500, 100, 20, 4, 0.8 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이 되도록 희석하여 첨가하였다. 이때 PDA 배지에는 세균의 오염을 방지하기 위해서 300 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 streptomycin을 첨가하였다. 병원균을 접종한 배지는 20°C에서 다시 4일간 배양한 후 균총의 직경을 측정하였으며, 약제를 첨가하지 않은 배지 상에서의 균총의 직경과 비교하여 균사 생장 억제율(%)을 계산하였다.

균사 생장 억제율 (%) =

$$\left(1 - \frac{\text{살균제 배지에서의 균총의 직경}}{\text{무처리 배지에서의 균총의 직경}}\right) \times 100$$

균핵 형성 및 발아 억제 효과 조사

병원균의 균핵 형성에 대한 억제효과를 조사하기 위하여 병원균을 PDA 배지에 접종하고 20°C의 배양기에서 4일간 배양한 후 균사 선단 부위에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 각 약제를 농도별로 첨가한 새로운 PDA 배지에 접종하였다. 각각의 살균제는 멸균수에 용해시켜 PDA 배지에 최종농도가 prochloraz와 tebuconazole은 0.01 $\mu\text{g mL}^{-1}$, flutolanil은 1.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$, iminocadine은 0.16 $\mu\text{g mL}^{-1}$, isoprothiolane은 1.67 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이 되도록 희석하여 첨가하였다. 이때 PDA 배지에는 세균의 오염을 방지하기 위해서 앞에서와 동일하게 300 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 streptomycin을 첨가하였다. 병원균을 접종한 배지는 20°C에서 14일간 배양하였으며, 약제를 첨가하지 않은 배지 상에서 병원균의 균총에 균핵이 가

득 형성되었을 때 약제 처리구에서 형성된 균핵의 수를 조사하였다. 살균제의 균핵 형성 억제효과는 무처리구에서 형성된 균핵 수에 대한 약제 처리구에서 형성된 균핵 수의 억제된 정도를 계산하여 억제율을 구하였다. 또한 균핵 발아 억제 효과를 조사하기 위하여 각 살균제를 농도별로 첨가한 물한천배지(water agar medium, WA)에 균핵을 4개 치상하고, 20°C에서 7일간 배양하였다. 살균제를 첨가하지 않은 배지 상에서 균핵이 정상적으로 발아한 것을 확인하고, 모든 처리구에서 균핵의 발아율을 조사하였다. 균핵 발아 억제율을 무처리구의 발아율에 대한 살균제 처리구의 발아율을 비교하여 구하였다. 모든 처리구는 3반복으로 실험하였으며, 각각의 반복에는 균핵을 4개씩 접종한 plate를 10개씩 두었다.

마늘 인편을 이용한 살균제의 효과 검정

S. cepivorum T11-2를 20°C의 PDA 배지에서 10일간 배양하여 균핵을 형성시킨 후, 형성된 균핵과 함께 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 접종원으로 사용하였다. 모든 실험에서는 대서품종의 인편을 사용하였다.

살균제의 방제효과를 조사하기 위하여, 모든 살균제는 10과 100 µg mL⁻¹로 농도를 조절하여 처리하였다. 마늘 인편은 병원균을 접종하기 1일 전에 뿌리원기 부분을 약 2 mm 정도 절단하고 준비한 살균제 용액에 30분간 침지처리 하였다. 준비한 병원균의 균총에서 균핵을 포함하여 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 마늘 인편의 절단면에 붙여서 접종하였다. 접종할 때 균사조각이 마늘 절단면에서 떨어지는 것을 방지하기 위해서 투명한 셀로판 테이프를 이용하여 부착하였으며, 접종한 인편은 키친 타올을 2장 깔고 100 mL의 증류수를 부어 포화습도를 유지하는 플라스틱 상자에 넣어 발병을 유도하였다. 마늘 인편에서 발병 정도는 병원균을 접종하고 14일 후에 Table 1과 같은 발병 지수를 가지고 조사하였다(Fig. 1).

결과 및 고찰

살균제의 균사 생장 억제 효과

Fig. 2에서 보는 것과 같이 병원균의 ergosterol 생합성을 저해하는 것으로 알려져 있는 prochloraz와 tebuconazole은 낮은 농도에서도 우수한 균사생장 억제효과를 보이고 있었는데, prochloraz의 경우 0.8 µg mL⁻¹의 처리구에서, 그리고 tebuconazole의 경우는 100 µg mL⁻¹의 처리구에서 병원균은 전혀 균사 생장을 하지 못하였다. 두 살균제의 EC₅₀ (effective concentration reducing mycelial growth by 50%) 값은 각각 0.021과 6.387 µg mL⁻¹이었다. Flutolanil과 iminoctadine의 EC₅₀ 값은 31.568과 48.746 µg mL⁻¹이었으며, isoprothiolane은 31.567 µg mL⁻¹로 나타났다.

균핵 형성 및 발아 억제 효과

살균제를 첨가하지 않은 무처리구에서는 직경이 9 cm인 사레 한 개당 *S. cepivorum* T11-2의 균핵이 20,917개 형성

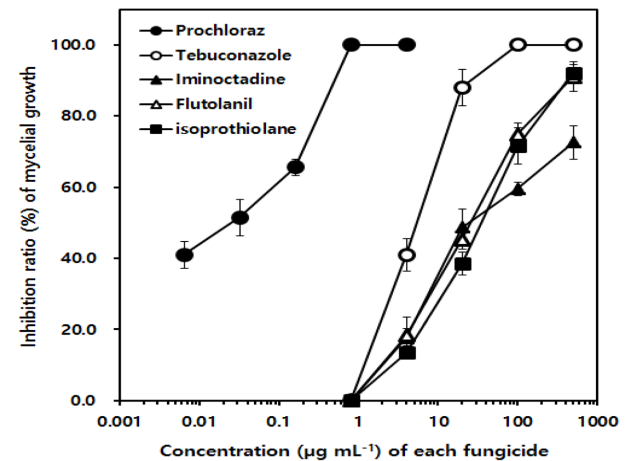


Fig. 2. Inhibitory effect of fungicides on the mycelial growth of *Sclerotium cepivorum* T11-2. Inhibitory rate (%) of mycelial growth was investigated by the agar dilution method with each fungicide.

Table 1. Disease index of garlic white rot caused by *Sclerotium cepivorum*

0 ;	No disease
1 ;	The cutting surface of root was discolored.
2 ;	The diseased area was less than 50% of a budding leaf of garlic flake.
3 ;	More than 50% of leaf part was infected in garlic flake and a growing point began to decay.
4 ;	A budding leaf was infected completely and a growing point decayed severely.



Fig. 1. Symptom of white rot in garlic flake. Figures indicated the disease index of infected garlic flake as like Table 1.

Table 2. Effect of fungicides on sclerotia production^a of *Sclerotinia cepivorum* T11-2 on PDA with or without each fungicide

Fungicides	Concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Number of sclerotia (/plate)	Inhibition rate (%) ^b
Prochloraz	0.01	11,945	42.9
Tebuconazole	0.01	15,800	24.5
Flutolanil	1.0	12,817	38.7
Iminoctadine	0.16	12,111	42.1
Isoprothiolane	1.67	7,644	63.5
Untreated control		20,917	-

^a; The number of sclerotia per Petri's plate (diameter; 9.0 cm) produced on PDA was counted 14 days after incubation of *Sclerotinia cepivorum* T11-2 at 20°C.

^b; Inhibition rate was calculated by the formula as follows;

$$\text{Inhibition rate (\%)} = \left(1 - \frac{\text{The number of sclerotia on PDA with each fungicide}}{\text{The number of sclerotia on PDA without fungicide}}\right) \times 100$$

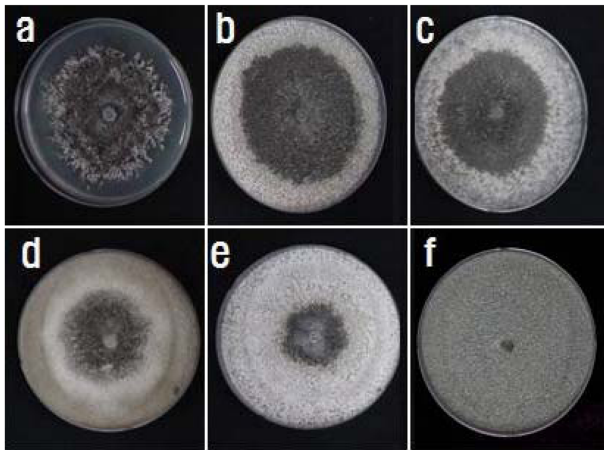


Fig. 3. Sclerotial production of *Sclerotium cepivorum* T11-2 on PDA medium with or without fungicide. a; 0.01 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of prochloraz, b; 0.01 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of tebuconazole, c; 10.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of flutolanil, d; 0.16 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of iminocadine, e; 1.67 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of isoprothiolane, f; untreated control without any fungicides. The number of sclerotia per Petri's plate (diameter; 9.0 cm) produced on PDA was counted 14 days after incubation at 20°C.

되었다. 실험에 사용한 살균제를 병원균의 균사생장을 거의 억제하지 않는 농도로 PDA에 첨가하고 병원균을 접종한 후 균핵 형성 억제정도를 조사하였는데, 1.67 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 isoprothiolane 처리구에서 무처리구와 비교하여 균핵 형성이 63.5% 억제되었다(Table 2). 이는 실험한 살균제 중에서 가장 높은 억제효과였다. Fig. 3에서 보는 것과 같이 1.67 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 isoprothiolane 처리구에서는 *S. cepivorum* T11-2는 균핵 형성이 억제되면서 흰색의 균사가 형성된 것을 관찰할 수 있었다. Iminocadine과 flutolanil은 0.16과 1.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서 42.1%와 38.7%의 억제율을 보였다. 낮은 농도에서도 T11-2의 균사 성장을 크게 억제하였던 prochloraz와 tebuconazole은 0.01 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 42.9%와 24.5%의 균핵 형성 억제율을 보였다.

Fig. 4에서 보는 것과 같이 prochloraz와 tebuconazole은

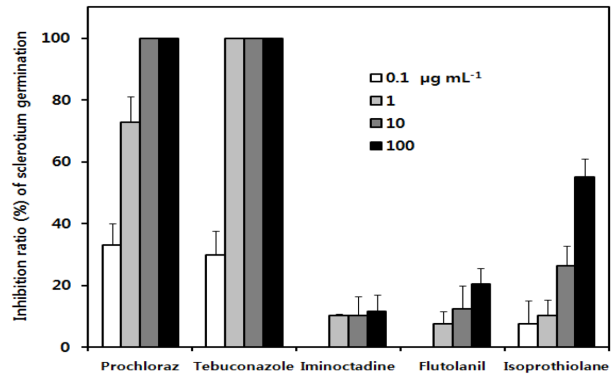


Fig. 4. Inhibitory effect of fungicides on the sclerotial germination of *Sclerotium cepivorum* T11-2. The sclerotial germination was investigated on water agar medium amended with each fungicide by each indicated concentration. The germination of sclerotia on PDA was investigated after incubation for 7 days at 20°C.

다른 살균제와 비교하여 낮은 처리 농도에서 T11-2의 균핵의 발아를 억제하였다. Prochloraz는 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$, 그리고 tebuconazole은 1.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리농도에서 균핵의 발아를 완전히 억제시켰다. 하지만 flutolanil과 iminocadine은 실험한 모든 농도에서 균핵 발아 억제정도가 매우 저조하였는데, 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서 각각 20.5%와 11.7%의 억제율을 보였을 뿐이었다. Isoprothiolane 역시 양호한 효과는 보이지 않았고, 가장 높은 처리 농도였던 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서조차 55.0%의 억제 효과를 보였을 뿐이었다.

병원균인 *S. cepivorum*은 병든 식물체 안에서 균사 혹은 균핵으로 존재하며 전반 하고, 병든 식물체 내부에 형성된 균핵은 토양으로 방출되어 생존하게 된다. 균핵은 기주식물 뿌리에서 분비되는 유인물질에 의해서 발아하게 되고 다시 식물체를 침입하게 된다(Entwistle, 1992). 식물 병원진균의 ergosterol 생합성을 억제하는 살균제인 prochloraz와 tebuconazole은 병원균의 균사 성장 억제효과가 매우 우수하였을 뿐만 아니라, 낮은 농도에서 높은 균핵 발아억제 효과를

보여 주었다. 이런 특성을 보이는 prochloraz와 tebuconazole을 마늘 인편에 처리하면 기주식물 내부에 형성된 균핵의 발아를 억제할 수 있기 때문에 파종 전 종구의 소독에 사용한다면 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

흑색썩음균핵병균이 마늘을 침입하기 위해서는 균핵이 발아하여야 하는데, 포장에서 균핵은 기주식물의 뿌리 삼출액에 있는 방향성 alkenyl L-cysteine sulfoxide라는 발아 유도물질에 의해서 발아가 유도되고, 발아한 균사가 뿌리를 침입한다(Coley-Smith and King, 1968; Sommerville and Hall, 1987). 균핵이 발아한 상태에서 기주식물이 없어 침입하지 못하면 *S. cepivorum*은 죽게 되지만 균핵이 발아하지 않은 상태에서 토양에 존재할 경우에는 기주식물 없이도 15년에서 20년까지 생존이 가능한 것으로 알려져 있다(Coley-Smith et al., 1990). 이러한 특성을 이용하여 Davis 등(2007)은 마늘 가루(112 kg ha⁻¹)와 균핵의 발아를 유도하는 것으로 알려져 있는 diallyl disulfide (0.5 mL/m²), 그리고 토양 소독제인 methyl bromide (448 kg ha⁻¹)를 토양에 처리하였을 때, 처리하고 3개월 이내에 토양에 존재하던 균핵의 90% 이상이 생존할 수 없게 되었다고 보고하였다. 하지만 토양 1 g 중에 균핵이 1개에서 10개 정도 존재할 경우, 흑색썩음균핵병이 100% 발생할 수 있다(Crowe et al., 1980). Davis 등(2007)도 토양 처리를 한 후 1년 이내에 마늘을 재배할 경우, 토양 중에 생존하는 균핵의 밀도를 감소시키는 효과가 있었음에도 불구하고 지속적으로 병이 발생하였다고 보고하였다. 하지만 상기한 방법으로 균핵 발아 유도물질을 활용하여 발병토양을 소독할 경우 포장에서의 균핵 밀도가 크게 감소하게 되어 인접한 포장으로 병원균이 전파될 수 있는 위험성이 감소하기 때문에 발아 유도물질을 사용한 균핵의 밀도 감소는 병 방제 측면에서 유용성이 있다.

마늘 인편에서 흑색썩음균핵병에 대한 살균제의 방제 효과

살균제의 효과를 실내에서 검증하기 위해서 마늘의 인편을 절단하고 살균제를 처리한 뒤 *S. cepivorum*의 균사조각을 접종하는 방법을 주로 사용하였다. 마늘 인편을 길이 면으로 절단하고 단편 면 위에 병원균의 균사조각을 접종할 경우, 병원균은 마늘 인편을 침입하기 보다는 인편 위에서 균사만 무성하게 성장하기 때문에 포장에서 나타나는 병징을 확인하기가 어렵다. 하지만 본 실험에서는 마늘 인편의 뿌리 부분을 1-2 mm 정도 절단하고 균핵이 형성된 균사 조각을 붙여 접종함으로써 포장조건에서 마늘에 나타나는 흑색썩음균핵병의 전형적인 병징을 얻을 수 있었다(Fig. 1).

확립한 검증법으로 prochloraz, tebuconazole, flutolanil의 병 방제효과를 조사하였을 때, 100 µg mL⁻¹ 처리에서 각각 75%, 70%, 70%의 방제효과를 보였으며, 동일한 농도에서 iminocladine과 isoprothiolane은 55%의 효과를 보였다(Fig. 5). 하지만 각 살균제의 10 µg mL⁻¹의 처리구에서는 prochloraz의

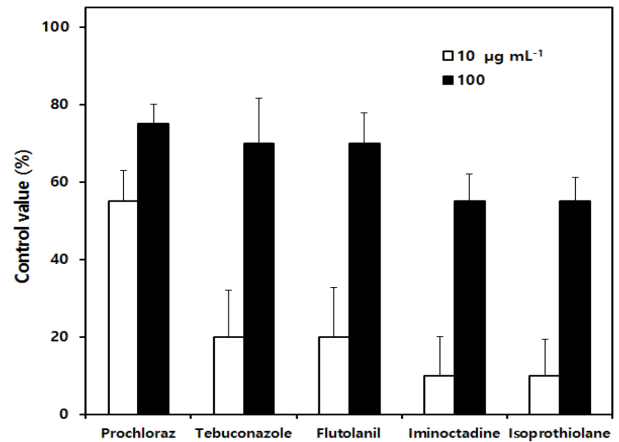


Fig. 5. Control efficacy of 5 fungicides against gallic white rot caused by *Sclerotium cepivorum* T11-2 by using a root-cutting of garlic flake. For investigating the controlling activity of each fungicide, *S. cepivorum* T11-2 was inoculated one day after fungicide application at the cutting site of garlic flake. Each garlic flake was treated by dipping them into each fungicide suspension for 30 min. Control value was calculated by the formula as follows;

Control value (%) =

$$\left(1 - \frac{\text{Disease incidence of white rot on garlic flake treated with each fungicide}}{\text{Disease incidence of white rot on garlic flake treated without any fungicides}}\right) \times 100$$

처리에서만 55%의 효과를 보였을 뿐, 나머지 살균제의 처리에서는 효과가 30% 미만으로 미미하였다. *S. cepivorum*의 균사생장에 대한 억제효과가 가장 컸던 prochloraz가 다른 살균제보다 마늘 인편에서 직접적으로 병 발생을 억제하는 효과가 가장 우수하였다. 하지만 1.0 µg mL⁻¹ 처리에서조차 *S. cepivorum*의 균핵 발아를 100% 억제하던 tebuconazole은 100 µg mL⁻¹ 처리에서 70%의 방제효과를 보였을 뿐이었으며, 100 µg mL⁻¹ 처리에서조차 20.5%로 균핵 발아 억제효과가 낮았던 flutolanil은 tebuconazole과 동일한 방제효과를 보였다. 결국 배지 상에서 균핵 발아 억제 효과만을 보고서 마늘 인편에서 병 발생 억제효과를 예상하기가 어려웠다.

Isoprothiolane은 균사생장과 균핵발아에 대한 억제효과가 없거나 아주 미미하였으며, 10 µg mL⁻¹의 농도에서는 인편에서 병 방제 억제효과조차 30% 미만이었다는 isoprothiolane을 1.67 µg mL⁻¹의 농도로 첨가한 PDA 배지에서 *S. cepivorum*의 균핵 형성은 살균제를 첨가하지 않은 PDA 배지에서 형성하는 균핵 양과 비교하여 63.5% 억제되었다. 이러한 균핵형성 억제효과는 마늘의 인편과 포장에서 다시 확인해야 할 것으로 생각한다. 하지만 지금까지 알려지지 않은 살균제의 또 다른 특성으로 포장에서 흑색썩음균핵병 방제를 위하여 살균제를 처리할 때 고려해 볼만한 특성이라고 생각된다.

태양열을 이용하여 포장에 존재하는 병원균의 균핵을 소

독하거나, 기주식물체가 없는 시기에 균핵발아 유도물질을 처리하여 균핵을 제거하는 방법이 궁극적으로 포장에서 일차 전염원으로 역할을 수행하는 균핵의 밀도를 감소시키고자 하는 방법이라면 아직까지 보고된 적이 없는 isoprothiolane의 균핵형성 억제 효과를 활용하는 것도 포장에서 균핵의 밀도를 억제시킬 수 있는 좋은 방제 전략이 될 것으로 생각한다.

본 실험의 결과에서 보는 것과 같이 각 살균제가 보이는 균사생장, 균핵발아, 균핵형성 등에 대한 억제효과를 잘 이용하여 포장에서 처리시기를 결정할 수 있다면, 1차 전염원인 균핵의 포장 밀도를 감소시켜 병원균의 전반을 막을 수 있으며, 결국 만족할 만한 병 방제효과를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

이 논문은 “2013년도 충북대학교 학술연구지원사업”의 연구비 지원에 의하여 연구되어진 결과로, 연구비의 지원에 감사드립니다.

Literature Cited

- Andrea, T. B., Z. M. Emma, G. C. Carmen and F. C. Ronald (1996) The use of arbuscular mycorrhizae to control onion white rot (*Sclerotium cepivorum* Berk.) under field conditions. *Mycorrhizae* 6:253-257.
- Cho W. D. and W. G. Kim (1996) Occurrence of white rot on Alliaceous vegetable crops. *Korean J. Plant Pathol.* 12:251-254.
- Coley-Smith, J. R., C. M. Mitchell and D. E. Sansford (1990) Long-term survival of *Sclerotium cepivorum* and *Stromatinia gladioli*. *Plant Pathology* 39:58-69.
- Coley-Smith, J. R. and J. E. King (1969) Production of volatile alkyl sulphides by microbial degradation of synthetic alliin and alliin-like compounds, in relation to germination of sclerotia of *Sclerotium cepivorum* Berk. *Ann. Appl. Biol.* 64:303-314.
- Crowe, F. J., D. H. Hall, A. S. Greathead and K. G. Baghott (1980) Inoculum density of *Sclerotium cepivorum* and the incidence of white rot of onion and garlic. *Phytopathology* 70:64-69.
- Earnshaw, D., M. R. McDonald and G. J. Boland (2000) Interaction among isolates and mycelial compatibility groups of *Sclerotium cepivorum* and cultivars of onion (*Allium cepa*). *Can. J. Plant Pathol.* 22:387-391.
- Entwistle, A. R. (1986) Loss of control of *Allium* white rot by fungicides and its implications. *Aspects Appl. Biol.* 40:166-175.
- Entwistle, A. R. (1990) Root diseases, In *Onion and Allied crops*, Vol. II; Rabinowitch, H. D. and Brewster, J. L. Eds: CRC Press, Boca Raton, USA. pp. 103-154.
- Groves, K. and K. S. Chough (1970) Fate of the fungicide 2,6-dichloro-4-nitroaniline (DCNA) in plants and soils. *J. Agri. Food Chem.* 18:1127-1128.
- Han, K. S., B. R. Kim, J. T. Kim, S. S. Hahm, K. H. Hong, C. K. Chung, Y. G. Nam, S. H. Yu and Jae Eul Choi (2013) Biological Control of white rot in garlic using *Burkholderia pyrocinia* CAB08106-4. *Res. Plant Dis.* 19:21-24
- Kim, C. H. (2001) Review of disease incidence of major crops in 2000. *Korean J. Pesticide Sci.* 5:1-11.
- Kim, C. H. (2002) Review of disease incidence of major crops in 2001. *Res. Plant Dis.* 8:1-10.
- Kim, C. H. (2004) Review of disease incidence of major crops in 2003. *Res. Plant Dis.* 10:1-7.
- Kim, Y. K., M. K. Kwon, H. S. Shim, T. S. Kim, W. H. Yeh, W. D. Cho, I. H. Choi, S. C. Lee, S. J. Ko, Y. H. Lee and C. J. Lee (2005) Various cultural factors associated with disease development of garlic white rot caused by two species of *Sclerotium*. *Res. Plant Dis.* 11:28-34.
- Lee, S. Y., S. B. Lee, Y. K. Kim and S. J. Hwang (2006) Biological control of garlic white rot accused by *Sclerotium cepivorum* and *Sclerotium* sp. using *Bacillus subtilis* 122 and *Trichoderma harzianum* 22. *Res. Plant Dis.* 12:81-84.
- Melero, J. M., R. Gonzalez, J. Gomez, J. Bejarano and M. J. Basallote (1989) Solarization of soils in Andalusia using plastics film. *Plasticiculture* 82:73-82.
- Melero-Vara, J. M., A. M. Prados-Ligero and M. J. Basallote-Ureba (2000) Comparison of physical, chemical and biological methods of controlling garlic white rot. *European J. Plant Pathol.* 106:581-588.
- Pinto, C. M. F., L. A. Mafia, V. W. D. Casali, R. D. Berger and A. A. Cardoso (2000) Production components and yield losses of garlic cultivars planted at different times in a field naturally infested with *Sclerotium cepivorum*. *Int. J. Pest Management* 46:67-72.
- Satur, M. M., M. F. Abdel-Rahim, T. Yamani, A. Grinstein, H. D. Rabinowitch and J. Katan (1989) Soil solarization in onion fields in Egypt and Israel: short- and long-term effects. *Acta Hort.* 255:151-159.
- Sommerville, P. A. and D. H. Hall (1987) Factors affecting sclerotia germination of *Sclerotium cepivorum*, secondary sclerotia formation, and germination stimulants to reduce inoculum density. *Plant Dis.* 71:229-233.
- Zewde, T., C. Fininsa, P. K. Sakhuja and S. Ahmed (2007) Association of white rot (*Sclerotium cepivorum*) of garlic with environmental factors and cultural practices in the North Shewa highlands of Ethiopia. *Crop Prot.* 26:1566-1573.

마늘 흑색썩음균핵병에 대한 살균제의 작용 특성

김형조 · 김흥태 · 민이기*

충북대학교 농업생명환경대학 식물외과

요 약 마늘 흑색썩음균핵병(*Sclerotium cepivorum*)은 마늘 생산에 큰 영향을 미치는 주요한 토양병으로, 이를 방제하기 위하여 태양열 소독, 균핵발아 유도물질의 사용, 미생물을 이용한 생물적 방제, 살균제 처리 등 다양한 방법이 활용되고 있다. 그 중에서 살균제를 사용하는 방법을 가장 실용성이 높은 방법이다. 본 실험에서는 살균제의 작용 기작이 다른 prochloraz (a.i. 25%, EC), tebuconazole (a.i. 25%, WP), flutolanil (a.i. 15%, EC), iminoctadine tris-albesilate (a.i. 40%, WP), isoprothiolane (a.i. 40%, EC) 5종의 살균제를 선정하여 병원균의 균사생장, 균핵발아, 균핵형성에 미치는 영향을 조사하였으며, 마늘 인편 절단법을 사용하여 공시한 살균제의 병 방제효과를 조사하였다. 병원균의 균사생장에 대해서는 prochloraz와 tebuconazole의 효과가 우수하였는데, prochloraz는 $0.8 \mu\text{g mL}^{-1}$ 을, 그리고 tebuconazole은 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 을 첨가한 PDA 배지에서 병원균이 전혀 생장을 하지 못하였다. 또한 prochloraz는 $10 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서, 그리고 tebuconazole은 $1.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서 발아가 완전히 억제되었다. Isoprothiolane은 균사생장과 균핵발아에 대한 억제효과는 크지 못했지만, $1.67 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서 균핵의 형성을 63.5% 억제하였다. 마늘 인편 절단법을 사용하여 병 방제 효과를 조사한 결과, $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서 prochloraz, tebuconazole, flutolanil 등이 70% 이상의 효과를 보였다.

색인어 마늘 흑색썩음균핵병, *Sclerotium cepivorum*, Isoprothiolane, 균핵형성 억제효과, 균사생장 억제효과, 균핵발아 억제효과