Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2018;37(1):34-40. Korean
Published online 2018 March 30. https://doi.org/10.5338/KJEA.2018.37.1.03

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

자두 탄저병균에 대한 살균제의 활성

정병룡, 이태이, 박민정, 하다희, 정종배, 이용세*

대구대학교 생명환경대학 생명환경학부

In vitro Antifungal Activities of Fungicides against Japanese Plum Fruit Anthracnose Fungi

Byeong-Ryong Jeong, Tae-Yi Lee, Min-Jung Park, Da-Hee Ha, Jong-Bae Chung and Yong-Se Lee* (Division of Life and Environmental Science, College of Life and Environmental Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea)

Received: 5 January 2018 / Revised: 14 March 2018 / Accepted: 23 March 2018

ORCID
Yong-Se Lee
http://orcid.org/0000-0001-7732-5725

Abstract

BACKGROUND: In order to select a fungicide that can effectively control anthracnose disease in Japanese plum fruit, mycelial growth inhibition effect and spore germination inhibition effect of six fungicides were tested *in vitro* against six isolates of *Colletotrichum acutatum* and five isolates of *C. gloeosporioides* that were isolated from diseased Japanese plum fruit.

METHODS AND RESULTS: Inhibitory effects of fungicides on mycelial growth were investigated after inoculating each isolate on potato dextrose agar amended with four discriminatory concentrations of each fungicide for 7 days at 25℃. For spore germination inhibitory effect, each isolate of the *Colletotrichum* spp. was cultured in potato dextrose agar for 7-14 days at 25°C. After adjusting the concentration of spores of each isolate to 1×10^6 mL^{-1} by diluting with 0.025% PDB, the spore suspension was mixed with each fungicide (1:4, v/v), and 60 μL aliquots were dispensed to sterile hole slide glass. Hole slide glasses were placed in a humidified box and incubated for 15 hours at 25°C. Then, spore germination was observed under an optical microscope. At recommended concentration of fungicide prochloraz manganese showed the highest mycelial growth inhibitory effect and dithianon showed the lowest mycelial growth inhibition. The EC_{50} values for the inhibition of spore germination by dithianon and pyraclostrobin were 0.069-0.126 μg/mL and 0.37-1.59 μg/mL, respectively. Although benomyl, prochloraz manganese, azoxystrobin, and tebuconazole did not inhibit the spore germination, they appeared to restrain mycelial growth by abnormal growth of germ tube and mycelium after germination.

CONCLUSION: Dithianon seemed to have preventive effect. Prochloraz manganese, azoxystrobin, and tebuconazole were likely to have control effect. Pyraclostrobin is considered to have both preventive and control effect against anthracnose disease of Japanese plum fruit.

Key words: Anthracnose, *Colletotrichum acutatum*, *C. gloeosporioides*, Fungicides, Japanese plum

*Corresponding author: Yong-Se Lee
Phone: +82-53-850-6763; Fax: +82-53-850-6769;
E-mail: yslee@daegu.ac.kr

서 론

자두는 장미과에 속하는 과수로 중국이 원산지며, 약 3,000년 전부터 재배되어 온 것으로 알려져 있다(Yin *et al.*, 2015). Japanese plum 또는 Chinese plum이라고 불리는 동양계 자두(*Prumus salicina* Lindl.)와 서부아시아가 원산지로 알려진 유럽계 자두(*P. domestica*)가 있으며, 우리나라를 비롯하여 중국, 일본, 미국, 호주, 칠레, 이탈리아 등 여러 나라에서 재배되고 있다. 우리나라에서는 Japanese plum을 재배하고 있는데, 2015년도 재배면적은 5,920 ha이고 생산량은 67,810 ton이었으며, 약 70%는 경상북도에서 생산되었다.

세계적으로 전체 과실 중에서 자두가 차지하는 비중이 낮

Table 1. Fungicides used in this study and four discriminatory concentrations for examination of inhibitory effect for mycelial growth of *Colletotrichum* spp. *in vitro*

Class	Fungicide[z]	Concentration, a.i. μg/mL PDA			
Benzimidazole	Benomyl 50% WP	325.0	32.50	3.250	0.3250
Imidazole	Prochloraz manganese complex 50% WP	2.5	0.25	0.025	0.0025
Strobilurin	Azoxystrobin 10% WP	100.0	10.00	1.000	0.1000
Strobilurin	Pyraclostrobin 22.9% EC	115.0	11.50	1.150	0.1150
Triazole	Tebuconazole 20% SC	100.0	10.00	1.000	0.1000
Quinone	Dithianon 43% SC	430.0	43.00	4.300	0.4300

[z] WP, EC and SC represent wettable powder, emulsifiable concentrate and suspension concentrate, respectively.

기 때문에 다른 과일에 비하여 병해충 관리 등에 대한 연구가 미흡하였지만, 최근에 자두의 병해에 관한 연구가 수행되고 있다(Yin *et al.*, 2015; Kurbetli *et al.*, 2017). 국내에서는 자두의 세균성구멍병과 검은점무늬병의 발생 및 방제에 관한 연구결과가 보고되어 있다(Choi *et al.*, 2000; Ryu *et al.*, 2012).

Colletotrichum 속에 의한 탄저병은 전 세계적으로 채소와 과수 등 다양한 작물에 발생하여 품질과 수량을 저하시켜 경제적으로 큰 손실을 일으킨다(Freeman *et al.*, 1998; Than *et al.*, 2008). 우리나라에서는 사과, 복숭아, 감 등의 과실에 대한 탄저병이 보고되어 있다(Lee *et al.*, 2007; Kim and Hong, 2008; Lim *et al.*, 2015; Jeon *et al.*, 2017). 과실 탄저병은 수확 전후에 주로 발생하며, 특히 온난 다습한 상태가 지속될 때 급격히 발생하고(Biggs and Miller, 2001), 수확 후 저장 및 유통 중에 발생할 경우 심각한 손실을 초래한다.

농촌진흥청에서 발행한 보고서에 의하면 2015년 자두의 병해 발생 현황 조사에서 세균성구멍병과 검은점무늬병 피해가 큰 것으로 밝혀졌으며, 탄저병 피해에 대해서는 조사된 바가 없다. 그러나 실제 자두 과원에서 탄저병이 발생하고 있으며, 본 저자 등은 2016년 탄저병이 발생한 자두에서 *Colletotrichum gloeosporioides*와 *C. acutatum*을 분리하여 자두 탄저병 병원균으로 보고하였다(Lee *et al.*, 2017). 자두 재배농가에서는 같은 핵과류인 복숭아 탄저병 방제방법에 준하여 탄저병을 방제하고 있다. 자두의 잿빛무늬병, 잿빛곰팡이병, 검은점무늬병, 세균성구멍병 등의 방제용 살균제는 고시 되어 있으나 탄저병 방제용으로 고시된 살균제는 없다. 따라서 자두 탄저병을 방제할 수 있는 살균제의 고시가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 자두의 탄저병을 효과적으로 방제할 수 있는 살균제를 탐색하기 위해 자두에서 분리한 11개 탄저병 균주의 benomyl, prochloraz manganese complex, azoxystrobin, pyraclostrobin, tebuconazole 및 dithianon에 대한 감수성을 *in vitro*에서 검정하였다.

재료 및 방법

공시 균주

경북 군위, 영천, 경산의 과원과 대구광역시 과일 시장에서 수집한 자두에서 분리한 *Colletotrichum gloeosporioides* 5개 균주와 *C. acutatum* 6개 균주 등 11개 탄저병 균주를 시험에 사용하였다(Lee *et al.*, 2017). 공시 균주는 potato dextrose agar(PDA, Difco Laboratories) 배지에 접종하여 25℃의 암상태에서 배양한 후 4℃ 냉장고에 보관하였으며, 지름 5 mm의 cork borer로 균총 선단 부위를 채취하여 새로운 PDA 배지에 접종하고 25℃에서 7일간 배양한 후 시험에 사용하였다.

균사 생장 억제효과

복숭아와 사과 등의 탄저병 방제용으로 등록되어 시판중인 약제를 시중에서 구입하였다(Table 1). 살균제 혼합 PDA 배지는 고압증기살균한 PDA를 47℃ 항온수조에서 식힌 다음, 멸균수에 희석하여 준비한 각 살균제를 시험 농도가 되도록 1.0%를 첨가하여 혼합한 후 petri dish에 20 mL씩 분주하여 만들었다. Table 1과 같이 포장 권장사용농도를 기준으로 4단계로 희석하여 각 살균제의 균사생장억제효과를 조사하였다. 균사생장억제율은 25℃에서 7일간 PDA 배지에 전배양한 공시 균주의 균사 절편(지름 5 mm)을 petri dish의 중앙에 접종하여 25℃에서 7일 배양한 후 측정한 균사 직경과 살균제를 첨가하지 않은 PDA 배지에서 자란 균사 직경을 조사하여 아래와 같이 계산하여 얻었다.

균사생장 억제율(%)=
(1-살균제 첨가 PDA의 균총 지름/무처리 배지의 균총 지름)×100

살균제 각 농도별로 3개 petri dish씩 균주를 접종하여 3반복으로 실험을 수행하였다. 균사생장을 50% 억제하는 농도 EC_{50}과 90% 억제하는 농도 EC_{90}은 살균제 처리 농도와 균사생장억제율 간의 1차 회귀식을 이용하여 산출하였다.

포자발아 억제효과

공시 균주를 PDA 배지에 접종하고 25℃ 항온기에서 7-14일 배양한 후 10 mL 멸균 식염수(0.75% NaCl)를 넣고 붓으로 긁어 만든 현탁액을 회수하여 6겹의 거즈로 걸러 균체를 제거한 포자 현탁액을 준비하였다. Hematocytometer를 사용하여 포자 현탁액의 포자 농도를 1×10^6 spore/mL로

Table 2. Inhibitory effect of fungicides on mycelial growth of *Colletotrichum* spp. on PDA at 27℃. EC_{50} and EC_{90} represent the concentration of fungicides causing mycelial growth inhibition by 50% and 90%, respectively. Values are means of three replicates of three plates

Colletotrichum spp.	Benomyl		Prochloraz manganese		Azoxystrobin		Pyraclostrobin		Tebuconazole		Dithianon	
	EC_{50} (μg/mL)	EC_{90} (μg/mL)	EC_{50} (μg/mL)	EC_{90} (μg/mL)	EC_{50} (μg/mL)	EC_{90} (μg/mL)	EC_{50} (μg/mL)	EC_{90} (μg/mL)	EC_{50} (μg/mL)	EC_{90} (μg/mL)	EC_{50} (μg/mL)	EC_{90} (μg/mL)
C. gloeosporioides												
71501	<0.001	0.083	0.08	1.46	0.42	18.03	1.514	436.5	0.51	23.44	120.2	7,400
71502	<0.001	0.031	0.07	1.30	0.38	13.61	1.193	275.4	0.41	24.54	120.2	7,900
91901	<0.001	0.006	0.08	1.17	0.26	15.67	0.454	131.8	0.68	28.84	60.3	2,800
92205	<0.001	0.005	0.12	1.95	0.35	18.01	0.046	36.3	1.40	40.74	52.5	1,900
92240	<0.001	0.251	0.03	0.50	0.17	9.09	0.006	12.7	0.91	19.05	44.7	1,700
C. acutatum												
92201	17.741	-[z]	0.07	1.40	0.10	8.57	<0.001	0.8	0.31	12.02	57.5	3,500
92202	0.070	-	0.05	1.09	0.01	3.09	<0.001	0.1	0.17	11.74	34.7	1,000
92206	0.028	-	0.08	1.39	0.01	3.30	<0.001	0.1	0.28	13.80	37.1	1,000
92207	0.001	-	0.05	0.87	0.04	5.96	<0.001	0.1	0.14	11.22	42.7	1,500
92208	0.022	-	0.05	0.99	0.01	4.12	<0.001	0.3	0.12	10.01	70.8	2,200
92209	0.006	-	0.05	1.08	0.01	3.85	<0.001	0.1	0.11	10.47	52.5	1,600

[z] >10 mg/mL.

만들었다. 포자 현탁액과 0.025% potato dextrose broth (PDB)에 각 공시 살균제를 시험 농도로 현탁하여 만든 시료를 1:4(v/v)로 혼합한 다음, 멸균한 hole slide glass에 60 μL씩 분주하였다. 살균제를 처리하지 않은 0.025% PDB를 이용한 대조시험도 수행하였다. Hole slide glass를 습도가 유지되는 상자에 넣고 15시간 동안 25℃ 항온기에서 배양한 후 광학현미경 하에서 포자 발아를 조사하였는데, 발아관의 길이가 포자 장경의 1/2 이상인 것을 발아한 포자로 간주하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였으며, 각 처리 당 100개 이상의 포자를 관찰하였다. 포자 현탁액은 4℃ 냉장고에 보관하면서 72시간 이내 까지만 사용하였다. 포자발아억제율은 아래 식으로 구하였으며, 포자 발아를 50% 억제하는 농도 EC_{50}은 살균제 처리 농도와 포자발아 억제율 간의 1차 회귀식을 이용하여 산출하였다.

포자발아억제율(%)=(1-처리구의 발아율/무처리구의 발아율) ×100

결 과

균사생장 억제효과

각 공시 살균제별로 자두 탄저병 균주에 대한 균사생장억제효과를 검정하여 살균제 농도와 균사생장억제율 간의 1차 회귀식을 이용하여 산출한 EC_{50} 및 EC_{90}은 아래와 같았다.

Benomyl 공시 균주 중 *C. gloeosporioides* 균주들의 균사생장은 benomyl의 포장 권장사용농도(325 μg/mL)에서 98-100% 억제되었다. 이들 균주는 0.325 μg/mL에서도 균사생장이 약 90% 억제되어 benomyl에 높은 감수성을 보였다. EC_{50}은 0.001 μg/mL보다 낮았으며, EC_{90}은 0.005–0.252 ug/mL이었다. *C. acutatum* 균주들은 균사생장이 325 μg/mL에서 56-81% 그리고 0.325 μg/mL에서는 42.5-59.7% 억제되어 *C. gloeosporioides* 균주들에 비해 benomyl에 저항성을 보였다. *C. acutatum* 균주들의 EC_{50}은 92201 균주에서 가장 높았고 나머지 균주의 경우 0.07 μg/mL 이하이었다. *C. acutatum* 균주들의 EC_{90}은 10 mg/mL 이상이었다(Table 2).

Prochloraz manganese complex 공시 균주 모두 포장 권장사용농도인 250 μg/mL에서 균사생장이 100% 억제 되었으며, 2.5 μg/mL에서도 90% 이상 억제되어 prochloraz manganese에 대해 높은 감수성을 보였다. EC_{50}은 92240 균주에서 가장 낮았으며, 92205 균주에서 가장 높았다. EC_{90}은 92240 균주에서 0.50 μg/mL로 가장 낮았으며, 92205 균주의 경우 1.95 μg/mL로 가장 높았다(Table 2).

Azoxystrobin 공시 균주 모두 포장 권장사용농도인 100 μg/mL에서 균사생장이 100% 억제되었으며, 50 μg/mL에서 90% 이상 억제 되었다. *C. acutatum* 균주들의 균사생장은 0.5 μg/mL에서도 70.1-92.1% 억제되어 높은 감수성을 보였다. *C. acutatum* 균주들은 azoxystrobind에 대해 높은 감수성을 보였으며, EC_{50}이 0.01–0.10 μg/mL로 *C. gloeosporioides* 균주들에 비해 낮았다. EC_{90}도 *C. acutatum* 균주의 경우 3.09–8.57 ug/mL로 9.09-18.03인 *C. gloeosporioides* 균주들에 비해 낮았다(Table 2).

Pyraclostrobin *C. acutatum* 균주들은 모두 pyraclostrobin에 감수성이 높은 것으로 나타나 포장 권장사용농도(115 μg/mL)의 1%에 해당하는 1.15 μg/mL에서도 균사생장이 95% 이상 억제되었다. *C. gloeosporioides* 균주들의 균사생장은 권장사용농도에서 79.3-94.5% 억제되어 *C. acutatum*에 비해 감수성이 낮았다. 92240 균주의 균사생장은 pyraclostrobin 1.15 μg/mL에서 91.3% 억제되어 감수성이 높았으나, 71501 균주는 균사생장이 49.9% 억제되어 감수성이 낮았다. *C.*

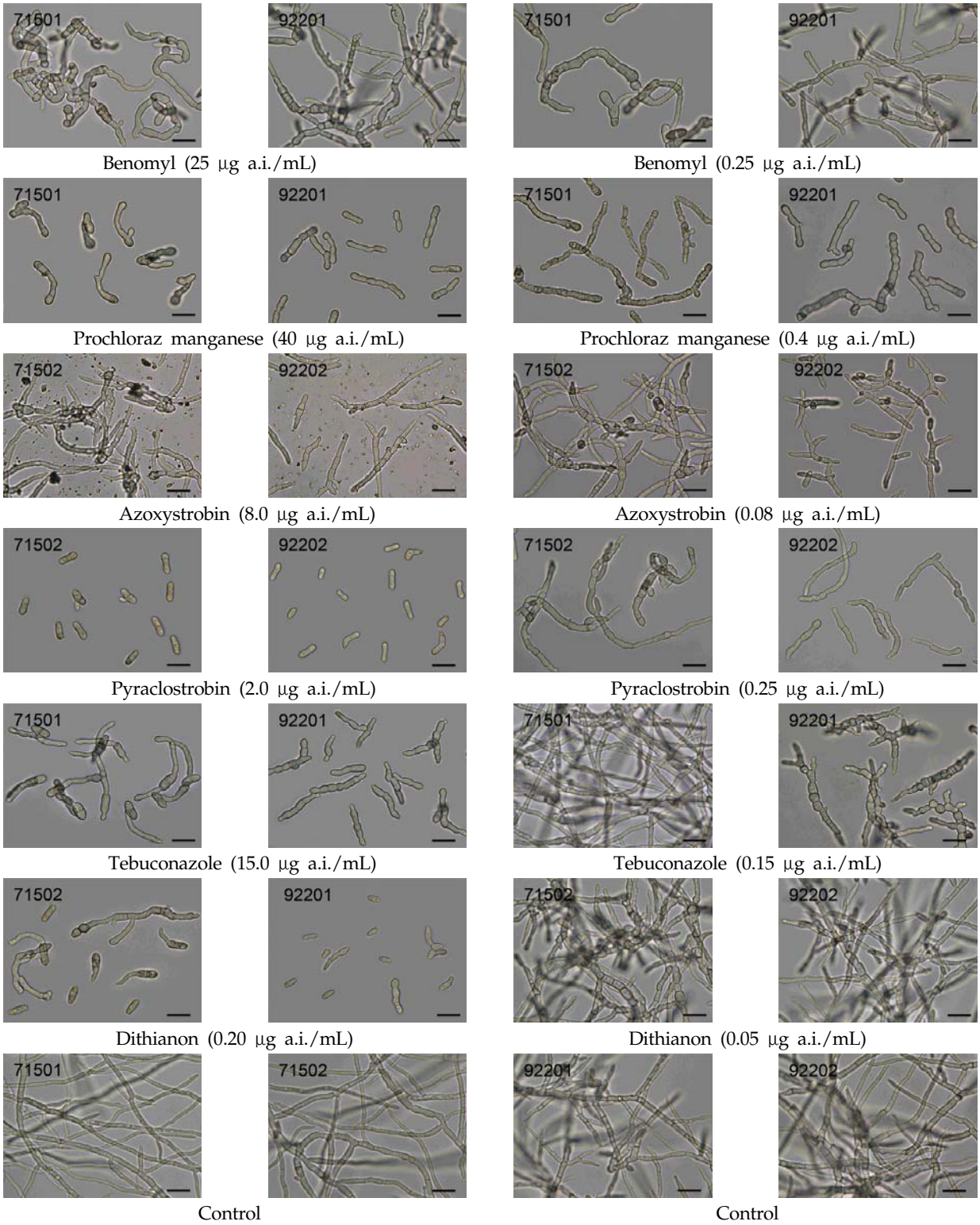

Fig. 1. Effect of fungicides on spore germination, growth of germ tubes or mycelial growth of *Colletotrichum gloeosporioides* (71501, 71502) and *C. acutatum* (92201, 92202). Scale bar: 20 μm.

acutatum 균주들의 EC_{50}은 모두 0.001 μg/mL보다 낮았다. *C. gloeosporioides* 균주들의 EC_{50}은 균주 간 차이가 있어 71501과 71502 균주의 경우 1 μg/mL 이상이었으나 92240 균주에서는 0.006 μg/mL이었다. *C. acutatum* 균주들의 EC_{90}은 1 μg/mL 이하로 *C. gloeosporioides* 균주들에 비해 매우 낮았다(Table 2).

Tebuconazole 공시 균주 모두 포장 권장사용농도(100 μg/mL)에서 균사생장이 95-100% 억제되었으며, 92201, 92206, 92208 및 92240 균주의 균사생장은 100% 억제되었다. *C. acutatum* 균주들의 균사생장은 1.0 μg/mL에서 86-90.9% 억제되어 47-62% 정도 억제된 *C. gloeosporioides* 균주들에 비해 감수성이 높았다. *C. acutatum* 균주들의 EC_{50}은 0.01-0.31 ug/mL이었으며, *C. gloeosporioides* 균주들은 0.41-1.40 μg/mL이었다. EC_{90}은 *C. acutatum* 균주들과 *C. gloeosporioides* 균주들 사이에 큰 차이가 없이 10–41 μg/mL이었다(Table 2).

Dithianon 공시 균주들의 dithianon에 대한 감수성은 공시 살균제 중에서 가장 낮았으며, 권장사용농도인 430 μg/mL에서 균사생장이 67.9-87.5% 억제되었고 43 μg/mL에서는 33.5-53.1% 억제되었다. EC_{50}은 *C. gloeosporioides* 71501과 71502 균주는 120.2 μg/mL로 가장 높았으며, 다른 균주들의 경우 34.7–70.8 μg/mL로 조사되었다. EC_{90}은 포장 권장사용농도보다 높은 1.0–7.9 mg/mL이었다(Table 2).

포자발아 억제 효과

각 공시 살균제의 자두 탄저병 균주에 대한 포자발아억제 효과를 조사한 결과는 아래와 같았다.

Benomyl 시험 농도 250 μg/mL에서 공시 균주들의 포자발아를 억제하는 효과는 없었으나, 25 및 0.25 μg/mL에서 발아 후 발아관의 신장 및 균사생장이 억제되는 현상을 관찰하였다(Fig. 1. A). *C. gloeosporioides* 균주들의 경우 0.25 μg/mL 농도에서 발아 후 균사가 팽만되거나 완곡되면서 생장이 이루어지지 않았으나 *C. acutatum* 균주들의 경우에는 균사가 비교적 정상적으로 생장하였다.

Prochloraz manganese complex 시험 농도 40.0 μg/mL에서 공시 균주들의 균사생장은 100% 억제되었지만 포자의 발아는 억제되지 않았다(Fig. 1. B). *C. gloeosporioides* 균주들에서는 발아는 되었으나 발아관이 비정상적으로 완곡되었으며, *C. acutatum* 균주들에서는 발아관이 팽만된 형태를 보였다. 이와 같이 발아관이 비정상적으로 신장하는 현상은 0.4 μg/mL에서도 관찰되었다.

Azoxystrobin 공시 균주 모두 azoxystrobin 8.0 μg/mL 농도에서 포자발아는 억제되지 않았으나 발아관의 신장에 따른 균사의 생장은 이루어지지 않았다(Fig. 1. C). 이러한 현상은 0.08 μg/mL 농도에서도 동일하게 나타났으며, 동일 농도에서 azoxystrobin의 균사생장억제효과가 포자발아 억제효과보다 높았다.

Pyraclostrobin 시험 농도 2.0 μg/mL에서 모든 공시 균주의 포자발아는 95% 이상 억제되었다. 포자발아를 50% 억제하는 농도 EC_{50}은 균주별로 차이가 있었으나 92240 균주를 제외한 *C. gloeosporioides* 균주들에서 0.07 μg/mL, 92206 균주를 제외한 *C. acutatum* 균주들에서 0.06 μg/mL 정도이었다(Table 3). 92240균주와 92206 균주는 pyraclostrobin에 감수성이 높은 것으로 나타났다. 포자발아억제효과가 0.0-3.5%로 조사된 0.25 μg/mL에서 발아 후에 균사가 왜곡되거나 균사의 생장이 심하게 억제되었다(Fig. 1. D).

Table 3. The effective concentration of fungicides (EC_{50} value) at which 50% of the spores were inhibited from germinating. Values are means of three replicates of more than hundred spores

Colletotrichum spp.	EC_{50} (μg/mL)	
	Pyraclostrobin	Dithianon
C. gloeosporioides		
71501	0.071	0.034
71502	0.072	0.033
91901	0.072	0.035
92205	0.070	0.020
92240	0.023	0.019
C. acutatum		
92201	0.069	0.028
92202	0.058	0.027
92206	0.019	0.025
92207	0.063	0.031
92208	0.065	0.024
92209	0.059	0.023

Tebuconazole 공시 균주 모두 포장 권장사용농도보다 높은 150 μg/mL에서도 포자는 정상적으로 발아했으나 발아 후 발아관이 이상 팽대해지며 생장하지 못하였다. 0.15 μg/mL에서는 *C. gloeosporioides* 균주들의 경우 발아 후 대조구와 유사하게 균사가 생장하였으나 *C. acutatum* 92201 균주 등은 발아 후 발아관의 이상 팽대형태가 그대로 유지되면서 생장하지 못했다(Fig. 1. E).

Dithianon 다른 약제에 비해 균사생장억제효과가 가장 낮았으나 포자발아억제효과는 가장 높았다. 0.20 μg/mL에서 *C. gloeosporioides*에 속하는 71501, 71502 및 91901 균주의 포자발아가 약 75% 이상 억제되었으나 다른 균주들의 경우에는 98-100% 억제되었다. 포자발아억제에 대한 EC_{50}은 0.019-0.035 μg/mL이었으며(Table 3), 포자가 발아한 후에는 다른 공시 약제들과는 달리 발아관의 신장이 영향을 받지 않았고 균사생장이 비교적 정상적으로 이루어졌다(Fig. 1. F).

고 찰

자두 탄저병균 *C. gloeosporioides* 5개 균주와 *C. acutatum* 6개 균주의 균사생장과 포자발아에 대한 6종류 살균제의 *in*

vitro 활성을 보면, 살균제에 따라 *C. gloeosporioides*와 *C. acutatum*에 대한 활성이 다소 달랐고 균사생장과 포자발아 억제 활성 또한 다르게 나타났다. 각 살균제의 작용기작과 그 효능을 고려함으로써 효과적인 자두 탄저병 방제 계획을 세울 수 있을 것이다.

살균제의 포장 권장사용농도를 기준으로 탄저병 균주 균사생장억제효과를 비교하면, prochloraz manganese가 가장 우수하였고 tebuconazole의 억제효과가 그다음으로 높았다. Azoxystrobin과 pyraclostrobin은 특히 *C. gloeosporioides* 균주에 비해 *C. acutatum* 균주에 대해 높은 활성을 보였다. Azoxystrobin과 pyraclostrobin은 작용기작이 동일한 QoI (quinone outside inhibitor)계 살균제이지만 본 실험에서는 pyraclostrobin이 azoxystrobin보다 균사생장억제 효과가 높았다. Dithianon은 균사생장 억제효과가 가장 낮은 약제이었다.

포장 권장사용농도를 기준으로 공시 살균제의 탄저병 균주 포자발아억제효과를 비교하면, dithianon과 pyraclostrobin이 가장 효과적이었으며, EC_{50} 값을 구할 수 있었다. Dithianon은 균사생장 억제효과가 가장 낮은 약제이지만 pyraclostrobin은 dithianon과 달리 포자발아를 억제하지 않는 농도에서 발아 후의 균사생장을 저해하여 포자발아와 균사생장을 동시에 억제하였다. 시험 농도에서 benomyl, prochloraz manganese, tebuconazole 및 azoxystrobin은 포자발아를 효과적으로 억제하지 못하여 EC_{50} 값은 구할 수 없었으나, 발아 후에 발아관의 신장을 억제하거나 균사의 과 팽대 또는 왜곡 현상을 유도하는 것으로 보아 포자발아보다는 균사생장억제효과가 더 큰 약제로 판단된다. 이러한 결과는 Kenny 등(2012)의 보고와 일치하며, 발아가 되더라도 균사의 신장이 억제되므로 이들 살균제는 자두 탄저병을 예방할 수 있을 것이다.

따라서 자두 탄저병을 예방하는데 적합한 살균제는 포자발아억제효과가 가장 우수한 dithianon인 것으로 판단된다. Quinone계 살균제인 dithianon은 광범위한 보호살균제로 각종 과일 및 작물의 진균병에 대한 예방효과가 우수한 것으로 보고되어 있다(Jeon *et al.*, 2015; Lim *et al.*, 2015; Stević *et al.*, 2017). Dithianon은 침투이행성이 없으므로 자두 탄저병 발생을 효과적으로 예방하기 위해서는 약제 살포의 시기 및 간격에 유의해야 할 것이다.

공시 살균제 중 prochloraz manganese를 비롯한 나머지 5종의 살균제는 자두 탄저병에 대한 치료효과가 높을 것으로 기대된다. Prochloraz manganese는 *Colletotrichum* 속 균주에 대한 균사생장억제효과가 높으며(Freeman *et al.*, 1998; Cao *et al.*, 2017), 사과를 비롯하여 망고, 감, 고추, 딸기 등의 탄저병을 예방 및 방제하는 효과가 높은 것으로 보고되어 있다(Freeman, 2008; Than, 2008; Nam *et al.*, 2014; Lim *et al.*, 2015).

Azoxystrobin, pyraclostrobin 및 tebuconazole은 포장 권장사용농도에서 모든 공시 균주의 균사생장을 각각 95%, 80% 및 95% 이상 억제하여 자두 탄저병 방제에 효과가 높을 것으로 판단된다. 그리고 이들 살균제는 *C. gloeosporioides* 균주들에 비해 *C. acutatum* 균주들에 더 높은 활성을 보였으며, 이러한 결과는 Sharma 등(2015)의 보고와 유사하였다. *C. gloeosporioides*가 *C. acutatum*에 비해 benomyl에 더 높은 감수성을 보이는 것으로 알려져 있는데(Bernstein *et al.*, 1995; Freeman *et al.*, 1998; Pers *et al.*, 2004), 본 실험에서도 *C. gloeosporioides* 균주들은 benomyl에 대한 높은 감수성을 보였고 *C. acutatum* 균주들은 저항성을 보였다. 따라서 *C. gloeosporioides*에 활성이 높은 benomyl과 *C. acutatum*에 활성이 높은 pyraclostrobin을 교호적으로 사용하면 자두 탄저병을 효과적으로 방제할 수 있을 것으로 판단된다. Pyraclostrobin은 침투이행성 약제로 탄저병 예방 및 치료효과가 있는 것으로 알려져 있으며(Turechek *et al.*, 2006), 본 실험에서도 2.0 μg/mL에서 모든 공시 균주의 포자발아를 완전히 억제하였으므로 탄저병 예방효과 또한 우수할 것으로 판단된다.

요 약

탄저병이 발생한 자두에서 분리된 *C. acutatum* 6개와 *C. gloeosporioides* 5개 균주에 대한 benoomyl, prochloraz manganese complex, azoxystrobin, pyraclostrobin, tebuconazole 및 dithianon의 균사생장억제효과와 포자발아억제효과를 *in vitro*에서 검정하였다. 포장 권장사용농도를 기준으로 비교하면, prochloraz manganese가 탄저병 균주의 균사생장을 가장 효과적으로 억제하였다. 포자발아억제에서는 dithianon과 pyraclostrobin의 효과가 가장 높았다. Benomyl, prochloraz manganese complex, azoxystrobin 및 tebuconazole은 포자의 발아를 억제하지는 않았으나, 발아 후 비정상적인 발아관의 신장을 유기하여 균사생장 억제하였다.

본 연구의 결과를 통해 자두 탄저병에 대하여 dithianon은 예방효과, prochloraz manganese, azoxystrobin, tebuconazole 등은 치료효과, pyraclostrobin은 예방 및 치료효과가 높은 약제로 판단되며, 포장 적용시험을 통해 자두의 탄저병을 효과적으로 방제할 수 있는 약제를 선발해야 할 것이다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

References

Bernstein, B., Zehr, E. I., & Dean, R. A. (1995). Characteristics of *Colletotrichum* from peach, apple, pecan, and other hosts. Plant Disease, 79(5), 478-482.

Biggs, A. R., & Miller, S. S. (2001). Relative susceptibility of selected apple cultivars to *Colletotrichum acutatum*. Plant Disease, 85(6), 657-660.

Cao, X., Xu, X., Che, H., West, J. S., & Luo, D. (2017). Distribution and fungicide sensitivity of *Colletotrichum* species complexes from rubber tree in Hainan, China.

Plant Disease, 101(10), 1774-1780.

Choi, J. E., Lee, E. J., & Park, Y. S. (2000). Shot hole of peach and Japanese plum caused by *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* and *Erwinia nigrifluens* in Korea. Research in Plant Disease, 6(1), 10-14.

Freeman, S. (2008). Management, survival strategies, and host range of *Colletotrichum acutatum* on Strawberry. HortScience, 43(1), 66-68.

Freeman, S., Katan, T., & Shabi, E. (1998). Characterization of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose diseases of various fruits. Plant Disease, 82(6), 596-605.

Jeon, C. W., Kwon, Y., Lee, J. H., & Kwak, Y. S. (2015). Improvement and effectiveness for chemical control protocol of sweet persimmon anthracnose disease. The Korean Journal of Pesticide Science, 19(3), 312-316.

Jeon, J. Y., Hassan, O., & Chang, T. (2017). Anthracnose of persimmon (Diospyros kaki) caused by *Colletotrichum horii* in Sangju, Korea. Plant Disease, 101(6), 1035.

Kenny, M. K., Galea, V. J., & Price, T. V. (2012). Effect of fungicides in vitro and on detached berries on control of coffee berry anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides*. Plant Protection Quarterly, 27(2), 59-63.

Kim, W. G., & Hong, S. K. (2008). Occurrence of anthracnose on peach tree caused by *Colletotrichum* species. The Plant Pathology Journal, 24(1), 80-83.

Kurbetli, ., Sülü, G., Aydo du, M., & Polat, . (2017). First report of crown and root rot of plum caused by *Phytophthora megasperma* in Turkey. Plant Disease, 101(1), 260.

Lee, D. H., Kim, D. H., Jeon, Y. U., Uhm, J. Y., & Hong, S. B. (2007). Molecular and cultural characterization of *Colletotrichum* spp. causing bitter rot of apples in Korea. The Plant Pathology Journal, 23(2), 37-44.

Lee, Y. S., Ha, D. H., Lee, T. Y., Park, M. J., Chung, J. B., & Jeong, B. R. (2017). Isolation and characterization of *Colletotrichum* isolates causing anthracnose of japanese plum fruit. Korean Journal of Environmental Agriculture, 36(4), 1-7.

Lim, T. H., Lee, D. W., Kwon, O. G., Han, S., Cha, B., & Song, I. K. (2015). Sensitivity to sterol biosynthesis inhibitors of *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from persimmon in 2013 in Sangju, Gyeongsangbukdo. The Korean Journal of Pesticide Science, 19(3), 271-278.

Nam, M. H., Lee, I. H., & Kim, H. G. (2014). Dipping strawberry plants in fungicides before planting to control anthracnose. Research in Plant Disease, 20(1), 54-58.

Peres, N. A. R., Souza, N. L., Peever, T. L., & Timmer, L. W. (2004). Benomyl sensitivity of isolates of *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides* from citrus. Plant Disease, 88(2), 125-130.

Ryu, Y. H., Lee, J. H., Kwon, T. Y., Kim, S. H., & Kim, D. G. (2012). Control efficacy of different types of chemicals with different spraying schedules on plum bacterial black spot. Research in Plant Disease, 18(4), 349-353.

Sharma, M., & Kulshrestha, S. (2015). *Colletotrichum gloeosporioides*: An anthracnose causing pathogen of fruits and vegetables. Biosciences Biotechnology Research Asia, 12(2), 1233-1246.

Stevi , M., Pavlovi , B., & Tanovi , B. (2017). Efficacy of fungicides with different modes of action in raspberry spur blight (*Didymella applanata*) control. Pesticide Phytomedicine (Belgrade), 32(1), 25–32.

Than, P. P., Prihastuti, H., Phoulivong, S., Taylor, P. W. J., and Hyde, K. D. (2008). Chilli anthracnose disease caused by *Colletotrichum* species. Journal of Zhejiang University Science B, 9(10), 764-778.

Yin, L. F., Chen, G. K., Schnabel, G., Du, S. F., Chen, C., Li, C.-X., & Luo, C. X. (2015). Identification and characterization of three *Monilinia* species from plum in China. Plant Disease, 99(12), 1775-1783.