

# 몇 종류 살균제의 대추 탄저병균에 대한 방제효과 및 살균제 저항성 모니터링

## Control Effects of Several Fungicides on Jujube Anthracnose and Fungicide Resistance Monitoring

## \*Corresponding author

Tel: +82-43-261-2556

Fax: +82-43-271-4414

E-mail: htkim@cbnu.ac.kr

이경희<sup>1</sup> · 최지영<sup>2</sup> · 박수빈<sup>2</sup> · 김흥태<sup>2\*</sup><sup>1</sup>충북농업기술원 대추연구소<sup>2</sup>충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과Kyeong Hee Lee<sup>1</sup>, Jiyoung Choi<sup>2</sup>, Subin Park<sup>2</sup>, and Heung Tae Kim<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Jujube Research Institute, Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea<sup>2</sup>Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

Among 6 fungicides, fluazinam, which had an excellent inhibitory effect on mycelial growth and spore germination, was also effective in controlling jujube anthracnose in the field. While EC<sub>50</sub> values of metconazole and tebuconazole ranged from 0.2 to 0.9 µg/ml and from 0.4 to 1.1 µg/ml against the mycelial growth, respectively, each inhibitory effect on spore germination was low by 7.4% and 11.1% at 50.0 µg/ml. In the field test, they showed the control value of 80.5% and 77.0%, respectively. The protective fungicides, as mancozeb and folpet, which had a low inhibitory effect on the mycelial growth, but had a high inhibitory effect of spore germination, showed excellent disease control activities by 87.6% and 92.0% in the field. Showing a result of resistance monitoring conducted with the isolates of *Colletotrichum gloeosporioides*, the resistance against carbendazim was already generated in the field, but it was thought that there was no resistance to pyraclostrobin, fluazinam and tebuconazole. However, if the resistance factor value of the population of *C. gloeosporioides* isolates to pyraclostrobin was high by 160.4, the diversity of the response to the fungicide in the population was high, so it should be taken more attention to the resistance management.

**Keywords:** *Colletotrichum gloeosporioides*, Fluazinam, Jujube anthracnose, Protective fungicide

Received December 8, 2019

Revised December 17, 2019

Accepted December 17, 2019

### 서론

최근 대추는 다양한 기능성과 생과일로서의 가능성이 일반 소비자들의 기호도를 자극하면서 그 소비량이 늘고 있다. 특

히 충북 보은지역에서는 대추를 생대추용으로 생산하여 과일로 판매하면서 국내 생산량은 13.7%에 불과하지만, 생산액은 234억원으로 전체 생산액의 29.6%를 차지하면서 농가의 소득 증대를 주도하는 작물로 자리매김하고 있다(Korea Forest Service, 2017). 대추가 생대추용으로 사용되면서 고품질의 과실 생산이 요구되어, 과실의 크기가 커져야 하고, 표면에 상처도 없어야 한다. 그런데 탄저병은 과실과 잎에서 발생하기 때문에 과실의 생산량은 물론 품질을 하락시켜 큰 피해를 유발할 수

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

[www.online-rpd.org](http://www.online-rpd.org)

© The Korean Society of Plant Pathology

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

있다(Misra 등, 2013; Rahman 등, 2011). 중국의 경우 매년 대추 생산량의 20–30%가 탄저병에 의해서 감소하며, 지역에 따라서 심한 해에는 80%까지 생산량이 감소하기도 한다(Song 등, 2019). 동인도 지역에서는 5월 중에 탄저병이 17%까지 발생한다(Misra 등, 2013). 대추탄저병균은 *Colletotrichum gloeosporioides*로 보고되어 있다(Rahman 등, 2011; Song 등, 2019).

*Colletotrichum gloeosporioides*는 잔디와 같은 단자엽식물부터 많은 쌍자엽식물까지 침입하는 기주범위가 넓은 병원균으로, 아열대나 열대 지역뿐만 아니라 온대 지역의 과실과 채소 작물을 침입하여 많은 피해를 유발하고 있는데, 침입하는 작물이 470속이 넘는 것으로 보고되어 있다(Cannon 등, 2000; Sharma와 Kulshrestha, 2015). *Colletotrichum*에 의한 병해를 방제하기 위해서는 경종적인 방법과 화학적 또는 생물적 방법 등이 사용된다. 현재까지 뚜렷한 효과를 위해서 사용하는 방법으로는 저항성 품종을 육종하여 사용하는 방법이지만, 저항성 품종을 육종하는 데까지 장기간의 시간이 소요되는 단점을 지니고 있다. 그러다 보니 특별한 방제 방법이 없는 경우는 살균제를 사용하는 화학적 방법을 사용하는 것이 가장 일반화되어 있다(Gautam, 2014; Saxena 등, 2016). 현재 대추 탄저병을 방제하기 위해서 등록되어 있는 살균제는 총 49품목으로, 단제가 38품목, 합제가 11품목이다(Korean Crop Protection Association, 2018). 단제가 38품목이나 등록되어 있으나, 살균제 작용기작 별로 구분하면 ‘나2’군, ‘다3’군, ‘사1’군 등 세 가지의 작용기작 그룹에 속하는 살균제가 사용되고 있다. 특히 ‘카’군에 속하는 보호 살균제 중에는 단제로 등록되어 있는 살균제가 전혀 없으며, chlorothalonil, dithianon, captan 등이 합제의 형태로 사용되고 있는 정도이

다. 대추 탄저병을 방제하기 위해서 사용하고 있는 등록된 살균제는 각기 특이적인 작용점을 가지고 있기 때문에, 포장에서 살균제 저항성 문제가 발생할 가능성이 농후하다.

본 연구에서는 작용기작이 다른 몇 종류 살균제가 대추탄저병균의 균사생장과 포자발아, 발아관 신장 등에 미치는 효과와 포장에서 대추 탄저병을 방제하는 병방제 효과를 조사하였다. 또한 대추 탄저병 방제를 위해 등록된 살균제와 본 실험에서 우수한 효과가 발견된 몇 종류의 살균제를 대상으로 포장에서 병원균의 저항성 발생 여부를 조사하였다.

### 재료 및 방법

**실험에 사용한 살균제.** 대추 탄저병의 포장 방제효과 검정과 병원균의 균사생장, 포자발아, 발아관 신장 억제효과를 조사하기 위하여 ‘다3’군에 속하는 kresoxim-methyl과 ‘다5’군에 속하는 fluazinam, 그리고 ‘사1’군에 속하는 metconazole과 tebuconazole, ‘카’군에 속하는 mancozeb와 folpet을 선발하여 실험하였다(Table 1). 또한 병원균의 저항성 발현 여부를 조사하기 위한 한천희석법 실험에는 carbendazim과 pyraclostrobin, tebuconazole, prochloraz 등을 선발하여 사용하였다.

**실험에 사용한 병원균.** 2015년부터 2016년에 대추 주요 재배지인 보은, 군위, 경산 등에서 탄저병이 발생한 대추 열매를 채집하고, 병반 상에 형성된 분생포자를 단포자 분리하였다. 분리한 총 30개의 대추탄저병균 균주는 PDA 사면배지에 배양한 후, 4°C에서 보관하며 실험에 사용하였다.

**Table 1.** Fungicides used in this study

MOA code	Fungicide	Active ingredient (%)	Formulation <sup>a</sup>	Dilution fold in the field	Concentration (µg/ml)
B2	Carbendazim	60	WP	1,000	-
C3	Kresoxim-methyl	44.2	SC	3,000	147
C3	Pyraclostrobin	20	WG	3,000	-
C5	Fluazinam	50	WG	2,000	250
G1	Metconazole	20	SC	3,000	66.7
G1	Tebuconazole	25	EC	2,000	125
G1	Prochloraz	25	EC	2,000	-
M	Mancozeb	75	WP	600	1,250
M	Folpet	50	WP	500	1,000

WP, wettable powder; SC, soluble concentrate; WG, wettable granule; EC, emulsifiable concentrate.

<sup>a</sup>The fungicides used in the experiment were made up of a total of four formulations.

### 병원균의 균사생장, 포자발아 및 발아관 신장에 대한 억제효

과. 실험을 위한 살균제 배지는 Kim 등(2019a, 2019b)이 준비한 방법에 준하여 준비하였다. 각 살균제를 멸균증류수에 현탁한 후에 정해진 농도가 되도록 멸균한 PDA에 희석하여 배지를 준비하였다. 대추탄저병균은 25°C 암상태의 PDA 배지에서 7일간 배양하여, 균사 생장을 조사하는 접종원으로 사용하였다. 균총의 선단부에서 지름 3 mm의 균사 조각을 떼어내어 준비한 살균제 PDA 배지의 중앙에 접종하고, 25°C의 암조건에서 7일간 배양한 후, 병원균의 균총의 직경을 조사하였다. 살균제의 균사생장 억제효과는 살균제 무처리 PDA 배지에서 병원균 균총의 직경에 대한 살균제 배지에서 균총의 직경을 비교하여 구하였다. 살균제의 포자발아 억제효과를 구하기 위해서 병원균의 포자형성을 유도하였다. 대추탄저병균을 암상태의 25°C PDA 배지에서 7일간 배양한 후에, 공중균사를 제거하고, 12시간 간격으로 3일간 자외선등(Sankyo FL40SBLB 40W, Tokyo, Japan) 밑에서 자외선을 조사하였다. 멸균증류수를 가지고 형성된 포자를 수확하여 2회 세척하고 포자 현탁액의 포자 밀도가  $1 \times 10^6/\text{ml}$ 가 되도록 조절하였다. 준비한 살균제 용액을 포자 현탁액과 동량으로 혼합하여, 살균제의 최종 처리농도가 결정한 농도가 되도록 조절하였다. Petri 접시에 여과지를 깔고, 멸균증류수 10 ml를 부어 습실을 유지하였으며, 멸균한 셀로판막(1 × 1 cm, 가로 × 세로)을 여과지 위에 올려놓고, 살균제를 처리한 포자현탁액을 10  $\mu\text{l}$ 씩 접종하였다. Petri 접시는 25°C에서 24시간 배양한 후, 광학현미경(OPTINIT KB-300, Korealabtech Co., Seongnam, Korea)으로 관찰하여 포자의 발아율을 조사하였다. 각 셀로판막에서 100개의 포자를 관찰하였는데, 포자의 장경보다 길게 발아한 경우만을 발아한 것으로 조사하여, 각각의 발아율을 구하였다. 또한 발아한 포자의 발아관의 길이를 ToupView 3.7 프로그램을 이용하여 조사하고, 살균제 무처리구의 발아관 길이와 살균제 처리구의 발아관 길이를 비교하여 각 살균제의 발아관 신장 억제효과를 구하였다. 모든 실험은 3반복으로 실시하였다.

**포장에서 병 방제 효과 검정.** 경북 군위군의 대추 재배 포장에서 재배하는 품종 복조를 가지고 난괴법 3반복으로, 선발한 살균제 중에서 6종의 살균제(kresoxim-methyl, fluazinam, metconazole, tebuconazole, mancozeb, folpet)의 병 방제 효과를 검정하였다. 살균제는 2019년 7월 1일부터 10일 간격으로 3회 처리하였으며, 8월 2일에 각 나무의 발병과율을 조사하였다. 각 나무당 임의적으로 100개의 열매를 조사하여 발병과율을 구하였다. 각 처리구의 살균제 방제효과는 아래 식으로 계산하였다.

$$\text{병 방제효과}(\%) = \left(1 - \frac{\text{살균제 처리구의 발병과율}}{\text{무처리구의 발병과율}}\right) \times 100$$

**한천희석법을 이용한 병원균의 살균제 감수성 기준 설정.** 실험에 사용한 carbendazim, pyraclostrobin (a.i. 11%, SC), tebuconazole, fluazinam의 PDA 배지에서 최종 농도를 carbendazim은 0.032, 0.16, 0.8, 4.0, 20.0, 100.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로, pyraclostrobin은 0.016, 0.08, 0.4, 2.0, 10.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로, tebuconazole은 0.05, 0.5, 5.0, 50.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로, fluazinam은 0.016, 0.08, 0.4, 2.0, 10.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로 조정하여 실험하였다. 병원균은 PDA 배지에서 7일간 배양한 후, 균사 선단에서 직경 3 mm의 균사 조각을 떼어 살균제를 첨가한 PDA 배지에 접종하였다. 병원균을 접종한 배지는 25°C 암조건 배양기에서 7일간 배양한 후, 성장한 균총의 직경을 측정하였다. Pyraclostrobin의 균사생장 억제효과(%)는 아래 식으로 계산하였다.

$$\text{균사생장 억제효과}(\%) = \left(1 - \frac{\text{살균제 첨가 배지에서 균총의 직경}}{\text{살균제 무첨가 배지에서 균총의 직경}}\right) \times 100$$

**통계처리.** 포장과 실험실에서 실시한 각 살균제의 방제효과는 처리별로 3반복으로 진행하였으며, 각 처리별 평균간 차이를 분산분석하였고, 각 처리 간의 차이는 Duncan's multiple range test로 분석하였다(IBM SPSS Statistics version 24, IBM Corp., Armonk, NY, USA).

## 결과 및 고찰

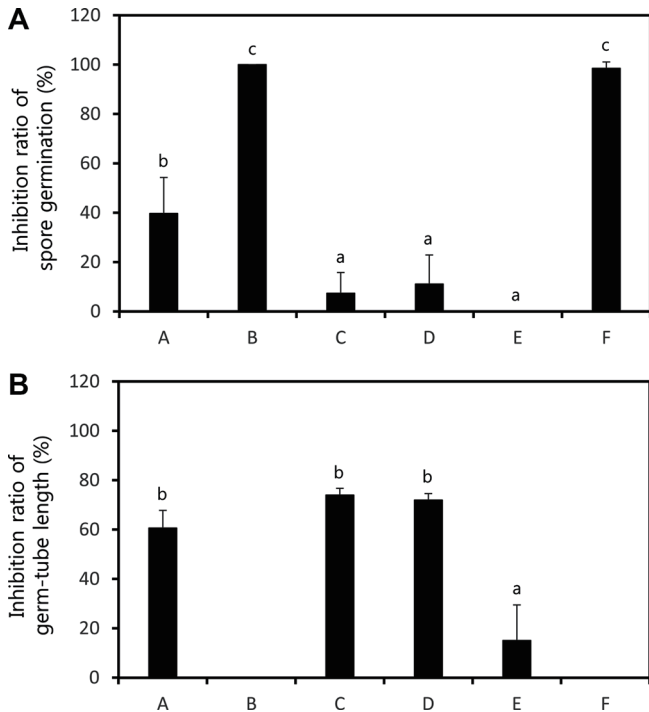
**균사생장 억제효과.** 6개의 대추탄저병균 균주를 사용하여 각 살균제의 균사생장 억제효과를 구하고, 각각의  $\text{EC}_{50}$ 값을 구하여 살균제의 균사생장 억제효과를 비교하였다(Table 2). 호흡을 저해하는 '나5'군에 속하는 fluazinam은 6균주 모두에 대해서  $\text{EC}_{50}$ 값이 0.02  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로, 매우 낮은 농도에서도 효과적으로 균사생장을 억제하였다. 에르고스테롤 생합성을 저해하는 '사1'군에 속하는 metconazole과 tebuconazole은 각각 0.2–0.9  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 와 0.4–1.1  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의  $\text{EC}_{50}$ 값을 보였다. 이상 3종의 살균제는 PDA 배지에서 대추탄저병균의 균사생장에 대한 억제효과가 매우 우수하였다. 하지만 보호살균제인 mancozeb와 folpet은 효과들이 10.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 를 상회하는 것으로 나타났다. 일반적으로 보호살균제는 병원균의 균사생장에 대한 억제효과는 낮은 반면에, 포자발아 억제효과는 우수한 것으로 알려져 있다. 대표

**Table 2.** EC<sub>50</sub> value<sup>a</sup> (µg/ml) of each fungicide against isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* causing jujube anthracnose

Fungicide	Isolates of <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>					
	15ZJKS4	15ZJKS7	15ZJKS11	16ZJSJ1	16ZJYY1	16ZJCS4
Kresoxim-methyl	>20.0 <sup>b</sup>	>20.0	>20.0	>20.0	>20.0	>20.0
Fluazinam	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	<0.01
Metconazole	0.3	0.7	0.9	0.5	0.3	0.2
Tebuconazole	0.7	0.8	1.1	1.1	0.4	0.5
Mancozeb	26.0	16.5	12.6	64.3	17.2	13.2
Folpet	11.0	46.3	18.9	26.0	36.1	13.7

<sup>a</sup>EC<sub>50</sub> value means the concentration inhibiting mycelial growth on potato dextrose agar by 50%.

<sup>b</sup>Each figure represents EC<sub>50</sub> value, of which unit is µg/ml.



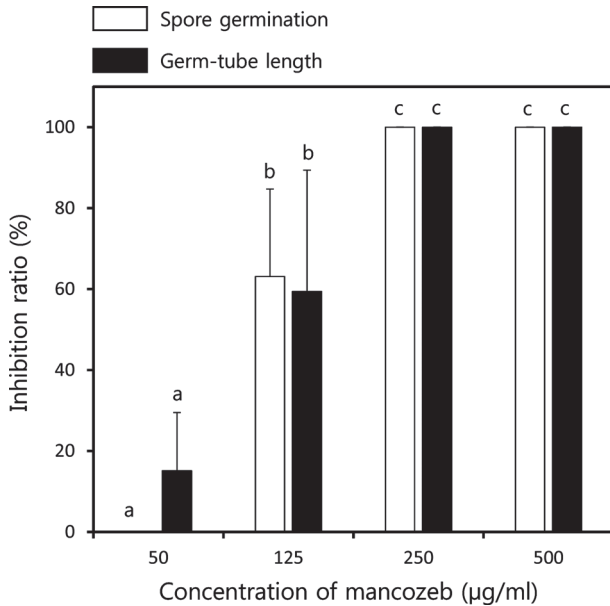
**Fig. 1.** Inhibitory effect of each fungicide on the spore germination (A) and the germ-tube length (B) of *Colletotrichum gloeosporioides* causing jujube anthracnose. Each fungicide was applied with 50.0 µg/ml. Inhibition ratio (%) was calculated by comparing the germination ratio of the treatment of each fungicide with that of the fungicide treatment. The inhibitory effect on the length of germ-tube was also examined by the same method as that of spore germination. A, kresoxim-methyl; B, fluazinam; C, metconazole; D, tebuconazole; E, mancozeb; F, folpet. Same letters on the bar are not significantly different by Duncan multiple range test ( $P < 0.05$ ). The bars indicate standard deviations.

적인 보호살균제라고 할 수 있는 보르도액을 187 µg/ml로 조제하여 고추탄저병균에 처리하였을 때, 병원균의 균사생장은

전혀 억제하지 않았던 반면에, 포자발아는 100% 억제하였다 (Park 등, 2014). 본 실험에서 사용한 보호살균제인 mancozeb와 folpet 역시 대추탄저병균의 균사생장에 대한 억제효과는 우수하지 않았다.

6종의 살균제를 50.0 µg/ml로 처리한 경우, fluazinam 처리구에서는 대추탄저병균의 포자가 전혀 발아하지 못하였다 (Fig. 1). Fluazinam의 경우 50.0 µg/ml의 처리구에서 전혀 발아하지 못하였기 때문에, 동일한 농도에서 발아관의 길이를 측정할 수 없었다. ‘사1’군에 속하는 metconazole과 tebuconazole의 포자발아 억제효과는 7.4%와 11.8%로 매우 저조하였으나, 발아관 신장에 대한 억제효과는 74.0%와 72.0%로 상승하였다. 두 살균제 모두 에르고스테롤 생합성을 억제하는 작용기작을 가지고 있으며, 포자발아보다는 균사생장에 대한 억제효과가 우수한 살균제이기 때문에, 대추탄저병균에 대해서도 포자발아보다는 발아관 신장을 효과적으로 억제하였다. Table 2에서 보는 것과 같이 병원균의 균사생장 억제효과가 낮았던 folpet의 포자발아 억제효과는 98.5%로 매우 높았다. Fluazinam의 경우와 같이 관찰한 대부분의 포자들이 발아하지 못했던 관계로 50.0 µg/ml의 처리구에서 발아관 신장에 대한 억제효과를 조사하는 것은 어려웠다. Folpet과 같이 보호살균제이면서 ‘카’군에 속하는 mancozeb를 50.0 µg/ml 처리한 경우 병원균의 포자발아는 거의 억제하지 못하였고, 발아관 신장은 15.1% 밖에 억제하지 못해서, mancozeb의 처리 농도를 높여서 포자발아와 발아관 신장에 대한 억제효과를 조사하였다. 그 결과 mancozebsms 125.0 µg/ml 처리구에서 포자발아와 발아관 신장을 63.1%와 59.4% 억제하였으며, 처리농도를 250.0 µg/ml로 높였을 경우에는 모든 포자의 발아를 억제하였다 (Fig. 2). 보호살균제인 mancozeb는 folpet과 유사하게 균총의 직경을 측정하였을 때의 억제효과





**Fig. 2.** Inhibitory effect of mancozeb on the spore germination and the germ-tube length of *Colletotrichum gloeosporioides* causing jujube anthracnose. After harvesting spores produced in potato dextrose agar, the density of spore suspension was adjusted to  $1 \times 10^6$  spores/ml. The spore suspension mixed with the fungicide solution was dropped on the cellophane membrane (1×1 cm, L×W) by 10 µl. After placing cellophane membranes in a humidified box at 25°C for 1 day, spore germination rate and germ-tube length were investigated. Inhibition ratio (%) was calculated by comparing the germination ratio and the germ-tube length in the treatment without the fungicide with that in the fungicide treatment. Same letters on the bar are not significantly different by Duncan multiple range test ( $P < 0.05$ ). The bars indicate standard deviations.

는 ‘다5’군이나 ‘사1’군에 속하는 살균제에 비하여 효과가 떨어졌으나, 일정한 농도 이상에서는 병원균의 포자발아 억제효과가 매우 우수하였다.

**포장에서 대추 탄저병 방제 효과.** 6종의 살균제를 선발하여, 군위 대추 포장에서 병 방제 효과를 검정하였다. 실험한 6종의 살균제 처리구의 발병과율은 무처리구와 비교하여 통계적으로 유의성 있게 감소하였다(Table 3). ‘사1’군에 속하는 metconazole과 tebuconazole의 방제율이 80.5%와 77.0%로, 실험한 살균제 중에서는 낮은 방제율을 보였지만, 실제 포장에서 대추 탄저병을 방제하는데 사용될 수는 있을 것으로 생각한다.

‘카’군에 속하는 보호살균제인 mancozeb와 folpet은 87.6%와 92.0%의 효과를 보였으며, ‘다5’군에 속하는 fluazinam 역시 87.6%의 우수한 효과를 보였다. Fluazinam은 포장에서의 방제 효과가 높은 만큼 Table 1과 Fig. 1에서 보는 것과 같이 병원균

**Table 3.** Control efficacy of fungicides against jujube anthracnose in Gunwi of Gyeongbuk

Fungicide	Diseased fruits <sup>a</sup> (%)	Control value <sup>b</sup> (%)
Untreated control	37.7±12.5 a <sup>c</sup>	-
Kresoxim-methyl	5.0±3.6 b	86.7±9.6 a
Fluazinam	4.7±5.5 b	87.6±14.6 a
Metconazole	7.3±6.8 b	80.5±18.1 a
Tebuconazole	8.7±4.2 b	77.0±11.0 a
Mancozeb	4.7±4.6 b	87.6±12.2 a
Folpet	3.0±2.6 b	92.0±7.0 a

<sup>a</sup>Randomly 100 fruits were selected per each tree and the percentage of diseased fruits was determined by examining the number of diseased fruits.

<sup>b</sup>The control value of each treatment was calculated by the following formula. Control value (%)=(1-the ratio of diseased fruits of each fungicide-treatment/that of the treatment without any fungicide)×100.

<sup>c</sup>Means within a column followed by the same letter are not significantly different by Duncan multiple range test ( $P < 0.05$ ).

의 군사생장과 포자발아에 대해서도 높은 효과를 보였다. 이처럼 병원균의 군사생장과 포자발아 모두에 효과가 있는 살균제는 병원균의 침입 과정에서 발병 전이나 후에 처리하여도 모두 우수한 효과를 보일 수 있을 것으로 생각하기 때문에, 실제 포장에서 사용하기가 편리하다. Folpet과 같은 보호살균제는 포자발아 억제효과는 매우 우수하지만 군사생장효과가 저조한 것을 감안한다면, 본 실험처럼 병 발생 이전부터 살균제가 처리될 경우에는 우수한 방제효과를 얻을 수 있겠지만, 병이 발생한 후부터 처리에 들어간다면 효과가 감소될 수도 있다. Mancozeb 역시 folpet과 같이 보호살균제이며, 군사생장 억제효과는 낮고 포자발아 억제효과는 높은 살균제이기 때문에 포장에서 처리 시기 결정에 주의하여야 한다. 군사생장 억제효과가 우수하였던 ‘사1’군의 metconazole과 tebuconazole은 포장에서 병 방제효과가 다른 살균제에 비해서 감소되는 경향을 보였다.

**살균제에 대한 대추탄저병균의 감수성 기준.** 본 실험에서 대추 탄저병 방제 살균제로 실험하지는 않았지만, 이미 등록되어 사용하고 있는 pyraclostrobin과 thiophanate-methyl과 동일한 benzimidazole계 살균제에 속하는 carbendazim, 그리고 본 실험에 사용한 tebuconazole과 fluazinam에 대한 병원균의 감수성 정도를 조사하였다.

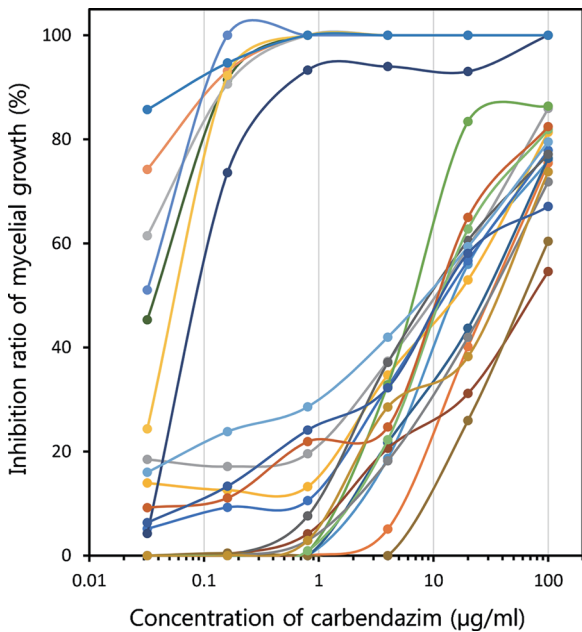
이미 등록되어 있는 thiophanate-methyl 대신에 동일한 계열이며 교차 저항성을 보이는 carbendazim을 사용하여 감수

**Table 4.** EC<sub>50</sub> value (µg/ml) of several fungicides against *Colletotrichum gloeosporioides* causing jujube anthracnose

Fungicide	Minimum	Mean	Maximum	Rf value <sup>a</sup>
Carbendazim	0.001 <sup>b</sup>	15.974	82.759	>1,000
Pyraclostrobin	0.006	0.229	1.009	160.4
Fluazinam	0.002	0.018	0.052	33.5
Tebuconazole	0.117	0.433	0.839	7.2

<sup>a</sup>Resistance factor (Rf) values were calculated by dividing maximum EC<sub>50</sub> value by minimum EC<sub>50</sub> value.

<sup>b</sup>EC<sub>50</sub> value means the concentration inhibiting mycelial growth on potato dextrose agar by 50%.



**Fig. 3.** Inhibition ratio (%) of carbendazim against the mycelial growth of *Colletotrichum gloeosporioides*. As described above, the test was conducted on potato dextrose agar by using an agar dilution method. Each line is the response of each isolate of *Colletotrichum gloeosporioides* causing jujube anthracnose to the concentration of the fungicide.

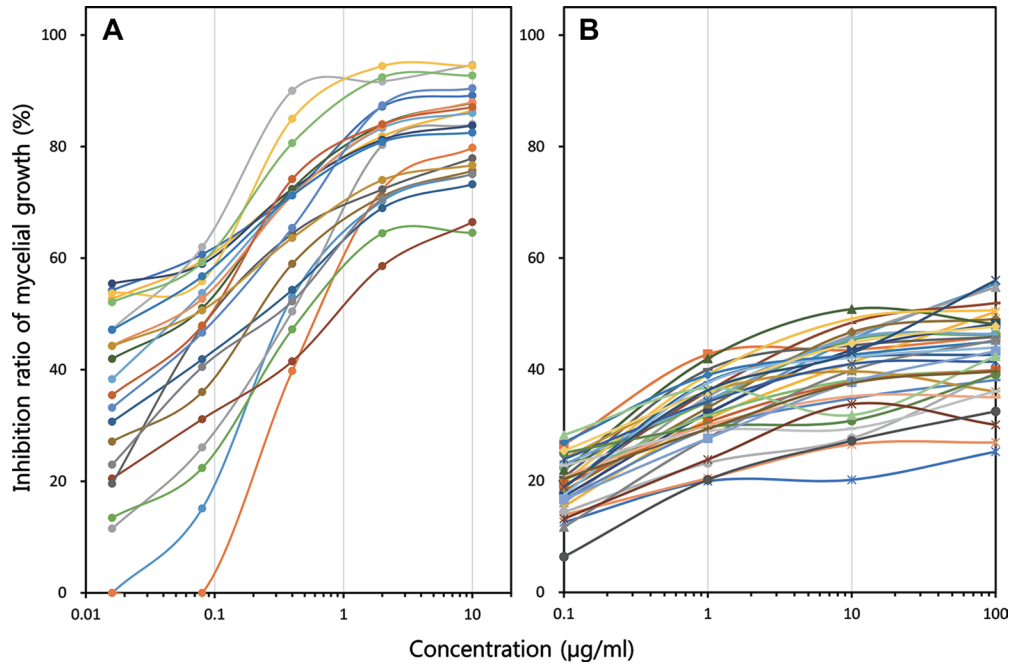
성 정도를 조사하였는데, Table 4에서 resistance factor (Rf) 값이 1,000이 넘어가고, Fig. 3에서 보는 것과 같이 포장의 병원균 집단은 감수성과 저항성 집단으로 구분되고 있다. 감수성 집단과 저항성 집단의 EC<sub>50</sub>값 역시 0.048과 22.942 µg/ml로, 저항성 집단의 EC<sub>50</sub>값이 감수성 집단의 EC<sub>50</sub>값보다 480배 이상이 됨을 알 수 있다.

Strobilurin계 살균제의 병원균에 대한 효과를 배지 상에서 검정하는 것이 어려울 때가 있다. 본 실험에서도 kresoxim-methyl은 균사생장이나 포자발아, 발아관 신장 등에 대한 억제효과가 낮은데도 불구하고 포장에서 방제효과가 우수하였다. 그런데 strobilurin계 살균제에 속한다고 하더라도, 그 효과

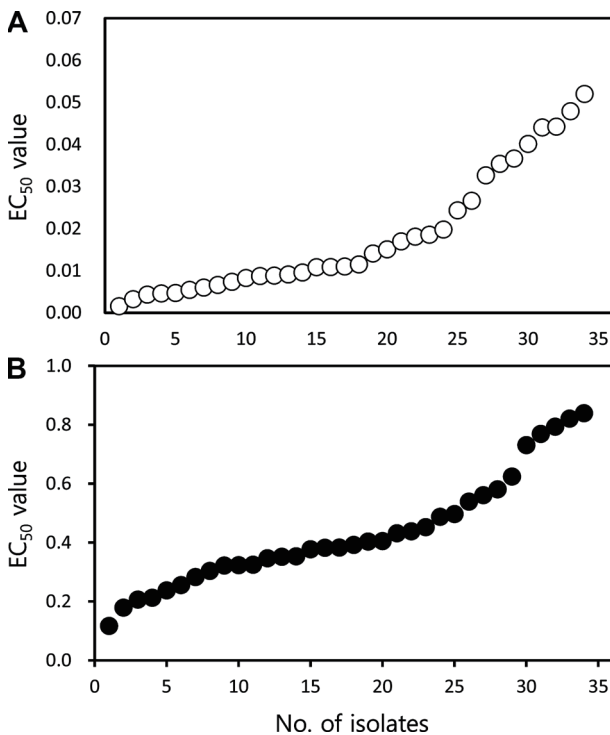
면에서 차이가 있기 때문에 배지를 이용한 검정법에서는 다양한 면에서 활성을 측정할 수 있어야 한다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 PDA에서 실시한 pyraclostrobin과 kresoxim-methyl의 균사생장 억제효과에는 차이가 나지만 실제 포장에서 kresoxim-methyl의 방제효과가 86.7%인 것을 보면, strobilurin계 살균제의 실내 검정법의 효율성을 고려할 필요가 있다. 하지만 최근 고추탄저병균의 pyraclostrobin에 대한 저항성 발현 여부를 PDA 배지를 이용한 한천희석법으로 모니터링할 수 있었던 것을 본다면, 대추탄저병균의 저항성 발현 여부도 PDA 배지에서 한천희석법으로 검정이 가능할 것으로 생각한다(Kim 등, 2019a). 하지만 *C. gloeosporioides*의 균주가 strobilurin계 살균제인 pyraclostrobin과 kresoxim-methyl에서 저항성 그룹이 나타나지 않는 것을 보면, 현재 포장에서 저항성인 병원균은 출현하지 않은 것으로 알 수 있다. 하지만 pyraclostrobin에 대해서 저항성을 보이는 *C. acutatum*은 감수성균에 비하여 포장 적응력이 뛰어나기 때문에, 저항성균이 출현한다면 저항성균의 밀도가 높아지면서 포장의 주된 병원균 집단으로 발전하면서 병 방제가 어려워질 수도 있다(Kim 등, 2019b). 따라서 여러 품목의 strobilurin계 살균제가 등록되어 대추 탄저병 방제를 위해서 사용되고 있기 때문에, 저항성 발현에 대한 모니터링이 지속적으로 수행되어야 할 필요가 있다.

Fluazinam과 tebuconazole의 경우도 EC<sub>50</sub>값의 분포도에서 보는 것과 같이, 현재 두 살균제에 대한 저항성 대추탄저병균의 출현은 없는 것으로 본다(Fig. 5).

이상의 결과에서 보호살균제인 folpet과 mancozeb, 그리고 ‘다5’군에 속하는 fluazinam 등은 포장에서 대추 탄저병을 방제하는데 충분한 효과를 지녔으며, folpet과 mancozeb가 지닌 우수한 포자발아 억제효과와 fluazinam이 지닌 포자발아 및 균사생장 억제효과를 충분히 감안하여 살균제 처리 시기를 결정한다면 대추 탄저병을 성공적으로 방제할 수 있을 것으로 생각한다. 하지만, 포장에서 우수한 병 방제효과를 보이면 가장 많은 품목이 등록되어 있는 strobilurin계 살균제는 아직까지는 저항성균의



**Fig. 4.** Inhibition ratio (%) of pyraclostrobin (A) and kresoxim-methyl (B) against the mycelial growth of *Colletotrichum gloeosporioides* causing jujube anthracnose. As described above, the test was conducted on potato dextrose agar by using an agar dilution method. Each line is the response of each isolate of *Colletotrichum gloeosporioides* causing jujube anthracnose to the concentration of each fungicide.



**Fig. 5.** Distribution of EC<sub>50</sub> value of fluazinam (A) and tebuconazole (B) against *Colletotrichum gloeosporioides* causing jujube anthracnose. EC<sub>50</sub> value means the concentration inhibiting mycelial growth on potato dextrose agar by 50%.

출현이 없지만, 특이한 작용점을 지니고 있는 살균제이기 때문에 지속적인 모니터링을 통한 저항성 관리가 필요하다.

### 요 약

작용기작이 다른 6종의 살균제를 선발하여 대추탄저병균에 대한 억제효과와 포장에서 대추 탄저병에 대한 방제효과를 조사하였다. 균사생장과 포자발아에 대한 억제효과가 우수하였던 fluazinam은 포장에서 대추 탄저병에 대한 방제효과도 우수하였다. 병원균의 균사생장에 대한 EC<sub>50</sub>값이 0.2-0.9 µg/ml 와 0.4-1.1 µg/ml이었던 metconazole과 tebuconazole의 50.0 µg/ml에서 포자발아에 대한 억제효과는 7.4%와 11.1%로 매우 저조하였으나, 포장에서 병 방제효과는 80.5%와 77.0%로 나타났다. 배지 상에서 병원균의 균사생장에 대한 억제효과는 낮았지만, 포자발아 효과는 우수했던 보호살균제 mancozeb와 folpet은 포장에서 대추 탄저병에 대한 병 방제 효과가 87.6% 와 92.0%로 우수하였다. 포장 분리 대추탄저병균 집단을 가지고 실시한 저항성 모니터링 결과, benzimidazole계에 속하는 carbendazim에 대한 저항성균은 이미 포장에서 발생하고 있으나, 나머지 pyraclostrobin, fluazinam, tebuconazole 등에 대해서는 저항성균의 발생이 없는 것으로 판단되었다. 하지만 pyraclostrobin에 대한 병원균 집단의 resistance factor 값이

160.4로 높은 것을 보면, 집단 내에서 살균제에 대한 반응의 다양성이 높은 것을 알 수 있기 때문에, 저항성 관리에 더 주의하여야 할 것으로 생각한다.

## Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgments

This work was supported by the project PJ012498042019 of Rural Development Administration, Korea.

## References

- Cannon, P. F., Bridge, P. D. and Monte, E. 2000. Linking the past, present and future of *Colletotrichum* systematics. In: *Colletotrichum: Host Specificity, Pathology and Host-Pathogen Interaction*, eds. by D. Prusky, S. Freeman and M. B. Dickman, pp. 1-20. APS Press, St. Paul, MN, USA.
- Gautam, A. K. 2014. *Colletotrichum gloeosporioides*: biology, pathogenicity and management in India. *J. Plant Physiol. Pathol.* 2: 2.
- Kim, S., Min, J. and Kim, H. T. 2019a. Occurrence and mechanism of fungicide resistance in *Colletotrichum acutatum* causing pepper anthracnose against pyraclostrobin. *Korean J. Pestic. Sci.* 23: 202-211.
- Kim, S., Min, J. and Kim, H. T. 2019b. Mycological characteristics and field fitness of *Colletotrichum acutatum* resistant to pyraclostrobin. *Korean J. Pestic. Sci.* 23: 231-239.
- Korea Forest Service. 2017. Statistical Yearbook of Forestry. Korea Forest Service, Daejeon, Korea. pp. 286-287.
- Korean Crop Protection Association. 2018. Crop fungicide guidelines. URL [https://www.koreacpa.org/bbs/board.php?bo\\_table=3\\_3](https://www.koreacpa.org/bbs/board.php?bo_table=3_3) [30 November 2019].
- Misra, D. K., Saha, J., Devidas, P. V. and Bauri, F. K. 2013. Diseases of ber (*Zizyphus jujube*) in Eastern India. *J. Plant Prot. Sci.* 5: 65-69.
- Park, S.-J., Lee, S.-M., Gwon, H.-W., Lee, H. and Kim, H. T. 2014. Control efficacy of bordeaux mixture against pepper anthracnose. *Korean J. Pestic. Sci.* 18: 168-174.
- Rahman, M. M. E., Dey, T. K. and Islam, M. M. 2011. Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*): a new disease of jujube (*Zizyphus mauritiana*) in Bangladesh. *Bangladesh J. Plant Pathol.* 27: 67-68.
- Saxena, A., Raghuwanshi, R., Gupta, V. K. and Singh, H. B. 2016. Chilli anthracnose: the epidemiology and management. *Front. Microbiol.* 7: 1527.
- Sharma, M. and Kulshrestha, S. 2015. *Colletotrichum gloeosporioides*: an anthracnose causing pathogen of fruits and vegetables. *Biosci. Biotechnol. Res. Asia* 12: 1233-1246.
- Song, L., Meinhardt, L. W., Bailey, B. and Zhang, D. 2019. Genetic improvement of Chinese jujube for disease resistances: status, knowledge gaps and research needs. *Crop Breed. Genet. Genom.* 1: e190015.