

순창군 지역의 고추로부터 분리한 탄저병균의 살균제에 대한 반응

Response to Fungicides of *Colletotrichum* spp. Isolated from Red Peppers in Sunchang, Korea***Corresponding author**

Tel: +82-6490-2690

Fax: +82-6490-2684

E-mail: jwkim@uos.ac.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-8856-0904>주현영 · 손미라 · 김진원* 

서울시립대학교 환경원예학과

Hyeon-Yeong Ju, Mi-Ra Son, and Jin-Won Kim*

Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

In August 2020, 377 anthracnose strains were isolated from anthracnose-infected peppers collected from 25 farms in Sunchang-gun, Jeollabuk-do. Inhibition rate of mycelial growth of 11 pepper anthracnose fungicides registered in Korea was investigated for 62 strains selected by region and the degree of susceptibility to each fungicide was investigated. As a result of the fungicide susceptibility test of anthracnose to the fungicide, no resistant strains were observed in fluazinam, prochloraz manganese, and benomyl, but resistant strains appeared in at least three areas for other fungicides, and all strains in all regions were resistant to dithianon. Through this, it was confirmed that the fungicide resistance was expressed in the strain group due to the continuous treatment of the fungicide in some areas. By region, resistant strains to seven pesticides appeared in Sunchang-eup and Paldeok-myeon, and resistant strains to six pesticides appeared in Geumgwa-myeon, Bokheung-myeon, Ssangchi-myeon, Yudeung-myeon, and Pungsan-myeon. There was no significant correlation between fungicide registration time and emergence of resistant strains.

Keywords: Anthracnose, *Colletotrichum* spp., Fungicide sensitivity, Red pepper, Resistance

Received August 31, 2021

Revised November 10, 2021

Accepted November 10, 2021

서론

국내에서 고추 재배는 노지 및 시설 내에서 연중으로 이루어지고 있다. 2020년도의 전체 고추 재배면적은 35,533 ha이다. 이중 시설재배면적은 4,387 ha로 전체 시설작물 재배면적(80,611 ha)의 약 5.4%를 차지하고 노지재배면적은 31,146 ha로 전체 노지 채소 재배면적(199,175 ha)의 약 15.6%를 차지하며 2019년도 고추의 생산금액은 6,196억원이다(Statistics Korea, 2021a, 2021b, 2021c). 고추에는 다양한 병해가 발생하고 있으나 *Colletotrichum* spp.에 의한 탄저병은 주로 과실이 맺히기 시작하는

6월 중하순부터 발생해 여름철 장마기를 지나면서 30%~50%에 달하는 수량 손실을 야기한다(Park, 2001). 우리나라에서 고추에 탄저병을 일으키는 병원균으로는 *C. acutatum*, *C. coccodes*, *C. dematum*과 *C. gloeosporioides*가 알려져 있으나(Park and Kim, 1992), 최근에는 *C. acutatum*이 우점하고 있다(Kim 등, 2008).

고추 탄저병 방제를 위해서 주로 살균제를 이용한 화학적 방법을 사용하고 있는데, 국내에는 43개 품목이 고추 탄저병 방제용 살균제로 등록되어 있다(Rural Development Administration Pesticide Safety Information System, 2021). 국내에서 탄저병 방제용 농약에 대한 저항성균의 발생은 에르고스테롤 생합성 저해(ergosterol biosynthesis inhibitor, EBI) 살균제인 triazole계 농약 myclobutanil, tebuconazole, hexaconazole,

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

prochloraz에서 보고되었고(Kim 등, 2005; Park 등, 2002), 세포 분열 저해 살균제인 benzimidazole계 농약 benomyl, carbendazim, thiophanate-methyl에서 보고되었으며(Kim 등, 2007), 호흡 저해 살균제인 pyraclostrobin (Kim 등, 2019a, 2019b)과 다점 접촉 작용 살균제인 chlorothalonil (Kim 등, 2004, 2006), dithianon과 propineb (Kim 등, 2006)에서 보고되었다. 따라서 포장에서 특정 농약계통에 대한 약제저항성 균의 발생은 불필요한 약제의 과용 및 효과적인 방제를 놓쳐서 피해를 증가시킬 수 있다.

전라북도 순창군은 2,124개의 농가가 고추 재배에 종사하고 있으며, 재배면적은 346 ha (Statistics Korea, 2017)로 고추장 생산관련 특화된 지역으로 저농약 사용을 통한 지역브랜드화를 노력하고 있다. 이와 관련하여 농가별 살균제 저항성 탄저병균의 출현에 대한 정보제공은 효과적인 탄저병 방제 및 저농약 사용을 위해 필요하다. 따라서 본 연구는 지난 2020년 8월에 전라북도 순창군 내 25개 고추 재배지역에서 탄저병이 발생한 고추로부터 탄저병균을 분리하여 고추 탄저병 방제용 등록농약 중 화학적 계통이 다른 11종의 농약에 대한 지역별 약제저항성 균주의 출현 여부를 조사하고자 수행하였다.

재료 및 방법

병원균의 분리 및 동정. 2020년 8월 중하순에 걸쳐 전라북도 순창군 내 고추 재배농가에서 탄저병이 발생한 고추를 수

집하였다. 탄저병균의 분리를 위하여 각 시료별로 탄저병 증상의 병반으로부터 균을 분리하였다. 탄저병균의 분리를 위해 병반의 건전부와 병반부위를 3:1 비율로 잘라 표면 살균(75% EtOH 30초, 1% NaOCl 20초, 멸균수에서 3회 세척) 후 물한천배지(water agar, WA)에 치상하여 25°C incubator에서 배양하였다. 배양 2-3일 후 WA에 형성된 균사 선단을 떼어내어 감자한천배지(potato dextrose agar, PDA)에 치상하여 25°C incubator에서 배양하며 배양적 특징을 통해 탄저병균을 분리하였다. 분리한 탄저병균의 균주는 멸균 증류수와 PDA 사면배지를 이용하여 상온에 보관하며 실험에 사용하였다. 분리된 탄저병균은 ribosomal DNA-internal transcribe spacer (ITS) 염기서열 비교를 통해 동정을 수행하였다. 배양적 특성으로 선발된 17개 균주를 PDA 상에서 배양한 후 DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Hilden, Germany)을 이용하여 gDNA를 추출하였다. 희석한 gDNA (30 ng/μl)를 White 등(1990)에 기술된 방법대로 ITS1 (5'-TCCGTAG-GTGAACCTGCGG-3')과 ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') 프라이머로 증폭 후 시퀀싱하였다. 획득된 염기서열을 BLAST 알고리즘 및 계통수 분석을 이용하여 NCBI genebank에 보고된 염기서열과 비교하였다. 염기서열의 계통수 분석은 CLC sequence viewer 8.0.0 (Qiagen) 프로그램을 이용한 neighbor-joining 및 jukes-Cantor 방법에 의해 분석하였다.

탄저병균의 살균제에 대한 감수성 조사. 2020년 현재 고추 탄저병 방제용으로 등록된 살균제 43개 중 화학적 조성이 다

Table 1. Fungicides used in this assay

Common name	Chemical group	Mode of action, target site and code ^a	Introduced year ^b
Fluazinam WP ^c (50.0 ^d)	Dinitroaniline	C5	2005
Propineb WP (70.0)	Dithiocarbamates	M	1990
Pyraclostrobin WG (20.0)	Strobilurin	C3	2019
Azoxystrobin SC (21.7)	Strobin	C3	2012
Iminoctadine tris(albesilate) WP (40.0)	Alkyl	M	1997
Chlorothalonil WP (75.0)	Organochlorine	M	1981
Prochloraz manganese WP (50.0)	Imidazole	G1	2014
Thiophanate-methyl WP (70.0)	Carbamate	B1	1981
Benomyl WP (50.0)	Benzimidazole	B1	1981
Tebuconazole WP (25.0)	Triazole	G1	1995
Dithianon WP (75.0)	Heterocycle	M	1998

^aRefer to Fungicide Resistance Action Committee (2021).

^bRegistered in Korea.

^cWP, wettable powder; WG, water dispersible granule; SC, suspension concentrate.

^dPercentage of active ingredient.

른 11개 살균제를 선발하여 실험에 사용하였다. 보호용 살균제로 dithianon (헥테로환계), thiophanate-methyl (카바메이트계), benomyl (벤지미다졸계), chlorothalonil (유기염소계), propineb (디티오카바미트계), iminoctadine tris(albesilate) (알킬계)를 선발하였고, EBI 살균제로 tebuconazole (트리아졸계), prochloraz manganese (이미다졸계)를 선발하였고, strobilurin계 살균제로 azoxystrobin (스트로빈계), pyraclostrobin (스트로빌루린계)을 선발하였고, 그 외 fluazinam (디니트로아닐린계)을 사용하였다. 이들 농약의 살균 작용 기작에 대해서는 Fungicide Resistance Action Committee (2021)의 코드에 의해 알려져 있다(Table 1).

한천 희석법에 의한 살균제별 균사생장 억제 실험. 순창군 내 25개 고추재배 지역의 탄저병 이병과로부터 분리된 377개 균주 중, 뚜렷한 배양적 특징을 보이는 *C. acutatum* 57개 균주와 *C. gloeosporioides* 5개 균주를 지역별로 선발하여 총 62개 균주를 대상으로 11개 살균제에 대한 약제 감수성을 조사하였다. 약제배지를 조제하기 위해, 1-liter 삼각플라스크에 교반자석을 함께 넣은 599 ml PDA와 10배씩 희석하도록 담아놓은 증류수들과 함께 고압멸균기로 121°C에서 15분간 살균하였다. 식힌 살균수에 농약을 적정량 넣어, 600 ml PDA에 농약이 유효성분량으로 100.0 a.i. µg/ml 첨가될 수 있도록 하였고, 이 농약이 첨가된 용액을 함께 살균한 살균수를 이용하여 10배씩 희석함으로써 100.0, 10.0, 1.0, 0.1, 0.01, 0.001 a.i. µg/ml의 농도가 되도록 하였다. 각 농도로 희석된 살균제 용액 1 ml를 50–55°C로 식힌 599 ml PDA에 첨가한 후 교반기를 이용하여 고르게 혼합한 다음 직경 9 cm Petri dish에 분주하여 약제평판배지를 조제하였다. PDA 배지에서 2–3일 동안 배양시킨 공시 균주의 균총 가장자리에서 직경 5 mm의 cork borer를 이용하여 함유상태의 agar plug를 준비하고, 각각의 살균제를 농도별로 첨가한 약제배지와 무첨가 PDA 배지(control)에 2반복으로 치상하였다. 치상 후 25°C incubator에서 7일간 배양 후, 사방으로 균사 생장 길이를 측정하여 살균제에 의한 균사생장억제율을 조사하였다. 균사생장억제율은 다음과 같은 계산식으로 산출하였다.

$$\text{균사생장억제율(\%)} = \left(1 - \frac{\text{처리구의 균사생장속도}}{\text{무처리구의 균사생장속도}}\right) \times 100$$

결과 및 고찰

균주 분리 및 동정. 2020년 8월 2차에 걸쳐 전라북도 순창군 행정조직상의 1개읍, 10개면 중 탄저병 이병과실이 수집된

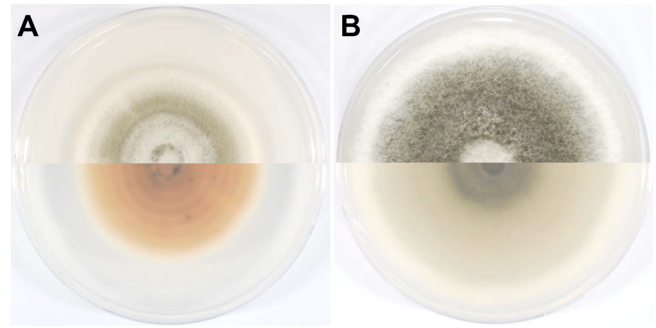


Fig. 1. Mycelial color pattern of *Colletotrichum acutatum* (8-9) (A) and *C. gloeosporioides* (34-15) (B) on potato dextrose agar at 25°C after 7 days.

순창읍, 금과면, 복흥면, 쌍치면, 유등면, 팔덕면, 풍산면의 25개 고추 재배지역로부터 채집한 이병과로부터 총 377개의 탄저병 균주를 분리하였다. 분리한 균주를 25°C incubator에서 배양하면서 형성된 균총의 색과 균사생장의 차이에 따른 배양적 특징을 통해 회록색의 균사가 원형을 그리며 형성되고, 배지 뒷면의 색이 연분홍색을 나타내는 그룹(Fig. 1A)과 어두운 회녹색을 나타내고, 배지 뒷면이 옅은 회색을 나타내는 그룹(Fig. 1B)으로 나눌 수 있었다. 각각의 배양적 특성으로 구분된 15개 균주와 2개 균주를 무작위로 선발한 17개 균주를 대상으로 ribosomal DNA-ITS 염기서열 비교를 통해 동정한 결과 배양적인 특성에서 회록색의 균사가 원형을 그리며 형성되고, 배지 뒷면의 색이 연분홍색을 나타내는 15개 균주는 모두 *C. acutatum*을, 어두운 회녹색을 나타내고, 배지 뒷면이 옅은 회색을 나타낸 2개 균주는 *C. gloeosporioides*로 동정되었다(Fig. 2). 이들 배양적 특징을 통해 이들 균주 중 탄저병균을 분리한 결과(Table 2), 365개의 *C. acutatum*과 12개의 *C. gloeosporioides*를 분리하였고, 상대적으로 *C. acutatum*의 분리빈도가 매우 높았다. 이와 같은 결과는 Kim 등(2008)의 결과와 유사했다. *C. gloeosporioides*는 순창읍 장덕리에서 10개, 풍산면 두승리에서 1개, 순창읍 순화리에서 1개 균주가 분리되었다.

분리 균주의 살균제 저항성. 순창군 내 25개 고추재배 지역의 탄저병 이병과로부터 분리된 377개 균주 중, *C. acutatum* 57개 균주와 *C. gloeosporioides* 5개 균주를 지역별로 선발하여 총 62 균주(Table 2)를 대상으로 각 살균제 농도별 균사생장억제율을 log scale 그래프로 나타낸 결과, 살균제별로 균주들이 다양한 감수성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 각 살균제별로 1.0과 10.0 a.i. µg/ml의 농도에서 균사생장억제율 50% (EC50)을 기준으로 저항성과 감수성을 구분할 수 있었다. 공시 약제 중 fluazinam, prochloraz manganese, benomyl

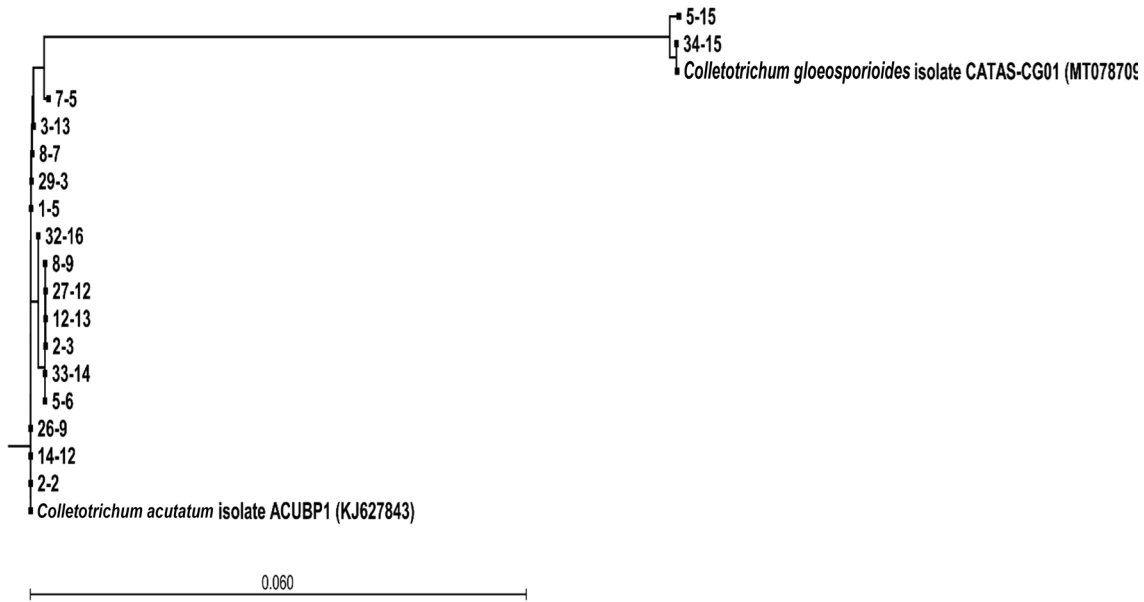


Fig. 2. Phylogenetic analysis of rDNA sequences from 17 *Colletotrichum* isolates, *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides*. Numbers in parentheses indicate GenBank accession numbers. Bar means 6 substitutions per 100 nucleotides.

에서는 특정 유효성분 함량 농도에서 살균제에 대해 감수성 차이를 나타내는 균주가 관찰되지 않았으나, 이외의 살균제에 대해서는 특정한 약제 유효성분 함량 농도에서 저항성과 감수성을 나타내는 균주로 나뉘었다. Propineb는 10.0 a.i. µg/ml에서 48개의 *C. acutatum* 균주와 4개의 *C. gloeosporioides* 균주가 저항성을 나타내었고, 9개의 *C. acutatum* 균주와 1개의 *C. gloeosporioides* 균주가 감수성을 나타내었다. Pyraclostrobin은 10.0 a.i. µg/ml에서 21개의 *C. acutatum* 균주가 저항성을 나타내었고, 36개의 *C. acutatum* 균주와 5개의 *C. gloeosporioides* 균주가 감수성을 나타내었다. Azoxystrobin은 10.0 a.i. µg/ml에서 55개의 *C. acutatum* 균주와 4개의 *C. gloeosporioides* 균주가 저항성을 나타내었고 2개의 *C. acutatum* 균주와 1개의 *C. gloeosporioides* 균주가 감수성을 나타내었다. Iminoctadine tris(albesilate)는 1.0 a.i. µg/ml에서 *C. acutatum* 균주는 모두 저항성을 나타낸 반면, 5개의 *C. gloeosporioides* 균주는 모두 감수성을 나타내었다. Chlorothalonil은 10.0 a.i. µg/ml에서 47개의 *C. acutatum* 균주와 2개의 *C. gloeosporioides* 균주가 저항성을 나타내었고, 10개의 *C. acutatum* 균주와 3개의 *C. gloeosporioides* 균주가 감수성을 나타내었다. Thiophanate-methyl은 10.0 a.i. µg/ml에서 1개의 *C. acutatum* 균주가 저항성을 나타내었고, 56개의 *C. acutatum* 균주와 5개의 *C. gloeosporioides* 균주가 감수성을 나타내었다. Tebuconazole은 1.0 a.i. µg/ml에서 *C. gloeosporioides* 균주는 모두 저항성을 나타낸 반면, *C. acutatum* 균주 모두는 감수성을 나타내었다. Dithianon은

1.0 a.i. µg/ml에서 모든 균주가 저항성을 나타냈다(Table 3). 특이한 사항은 iminoctadine tris(albesilate) 1.0 a.i. µg/ml에서 *C. gloeosporioides* 5개 균주 모두가 감수성을 나타낸 반면, *C. acutatum* 57개 균주 모두는 저항성을 나타냈고, tebuconazole 1.0 a.i. µg/ml에서는 *C. gloeosporioides* 5개 균주 모두가 저항성을 나타낸 반면, *C. acutatum* 57개 균주 모두 감수성을 나타냈다. Kim 등(2004)은 chlorothalonil에 대한 탄저병균의 감수성 변화는 *C. acutatum* 균주들이 *C. gloeosporioides* 균주보다 더 저항성이라고 보고했는데, *Colletotrichum* spp.가 약제에 따라 특이적 감수성을 나타내는지에 대해서는 추후 더 조사할 필요가 있다.

지역별로 보았을 때 순창군내 지역에서 분리된 균주들의 농약에 대한 저항성균주의 출현은 다음과 같다. 유등면 건곡리, 복흥면 주평리, 순창읍 순화리, 유등면 창신리, 순창읍 교성리에서는 propineb, pyraclostrobin, azoxystrobin, iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, dithianon에 대해 저항성 균주가 발생하였고, 풍산면 유정리와 유등면 외이리에서는 propineb, azoxystrobin, iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, dithianon에 대해 저항성 균주가 발생하였다. 순창읍 장덕리에서는 propineb, azoxystrobin, iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, tebuconazole, dithianon에 대해 저항성 균주가 발생하였고, 팔덕면 장안리, 팔덕면 창덕리, 팔덕면 용산리, 금과면 방축리, 복흥면 주평리, 쌍치면 전암리, 순창읍 백산리, 유등면 건곡리에서는 propineb, pyraclostrobin, azoxystrobin,

Table 2. List of diseased pepper of anthracnose samples from which the *Colletotrichum* spp. were isolated and number of isolated *C. acutatum* and *C. gloeosporioides* identified by morphological characteristics on potato dextrose agar

Isolates	No. of isolates		Location ^a	Sampling date
	<i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>C. gloeosporioides</i>		
001	15 (1) ^b	0	Geongok-ri, Yudeung-myeon	18 Aug 2020
002	16 (2)	0	Geongok-ri, Yudeung-myeon	18 Aug 2020
003	15 (2)	0	Yujeong-ri, Pungsan-myeon	18 Aug 2020
004	14 (1)	0	Yujeong-ri, Pungsan-myeon	18 Aug 2020
005	11 (1)	4 (2)	Jangdeok-ri, Sunchang-eup	18 Aug 2020
006	7 (2)	6 (1)	Jangdeok-ri, Sunchang-eup	18 Aug 2020
007	15 (3)	0	Oei-ri, Yudeung-myeon	18 Aug 2020
008	15 (2)	0	Jangan-ri, Paldeok-myeon	18 Aug 2020
009	15 (1)	0	Jangan-ri, Paldeok-myeon	18 Aug 2020
010	15 (1)	0	Changdeok-ri, Paldeok-myeon	18 Aug 2020
011	15 (2)	0	Changdeok-ri, Paldeok-myeon	18 Aug 2020
012	15 (2)	0	Yongsan-ri, Paldeok-myeon	18 Aug 2020
013	15 (1)	0	Yongsan-ri, Paldeok-myeon	18 Aug 2020
014	15 (3)	0	Bangchuk-ri, Geumgwa-myeon	18 Aug 2020
024	14 (3)	0	Jupyeong-ri, Bokheung-myeon	25 Aug 2020
025	14 (3)	0	Jeonam-ri, Ssangchi-myeon	25 Aug 2020
026	16 (3)	0	Jupyeong-ri, Bokheung-myeon	25 Aug 2020
027	15 (3)	0	Sunhwa-ri, Sunchang-eup	26 Aug 2020
028	17 (3)	0	Changsin-ri, Yudeung-myeon	26 Aug 2020
029	17 (3)	0	Gyoseong-ri, Sunchang-eup	26 Aug 2020
030	15 (3)	0	Baeksan-ri, Sunchang-eup	26 Aug 2020
031	15 (3)	0	Geongok-ri, Yudeung-myeon	26 Aug 2020
032	16 (3)	0	Ganam-ri, Sunchang-eup	26 Aug 2020
033	14 (3)	1 (1)	Duseung-ri, Pungsan-myeon	26 Aug 2020
034	14 (3)	1 (1)	Sunhwa-ri, Sunchang-eup	26 Aug 2020

^aSunchang-gun, Jeollabuk-do.^bNumber in bracket means number of isolates used in fungicide resistance experiment.

iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, thiophanate-methyl, dithianon에 대해 저항성 균주가 발생하였다. 순창읍 가남리에서는 propineb, azoxystrobin, iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, thiophanate-methyl, dithianon에 대해 저항성 균주가 발생하였으며, 풍산면 두승리와 순창읍 순화리에서는 propineb, azoxystrobin, iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, thiophanate-methyl, tebuconazole, dithianon에 대해 저항성 균주가 발생하였다.

약제의 등록 시기와 관련하여 보았을 때, 1990년대에 등록된 propineb, iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, thiophanate-methyl, benomyl, tebuconazole, dithianon 중 propineb, iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, thiophanate-methyl, dithianon에서는 실험에 사용한 균주 중 1/3 이상이 저항성을 나타내었으나, benomyl과 tebuconazole에서는 저항성을 나타내는 균주가 5개 이하였다. 2000년대에 등록된 fluazinam은 저항성 균주가 출현하지 않았고, 2010년대에 등록된 azoxystrobin과

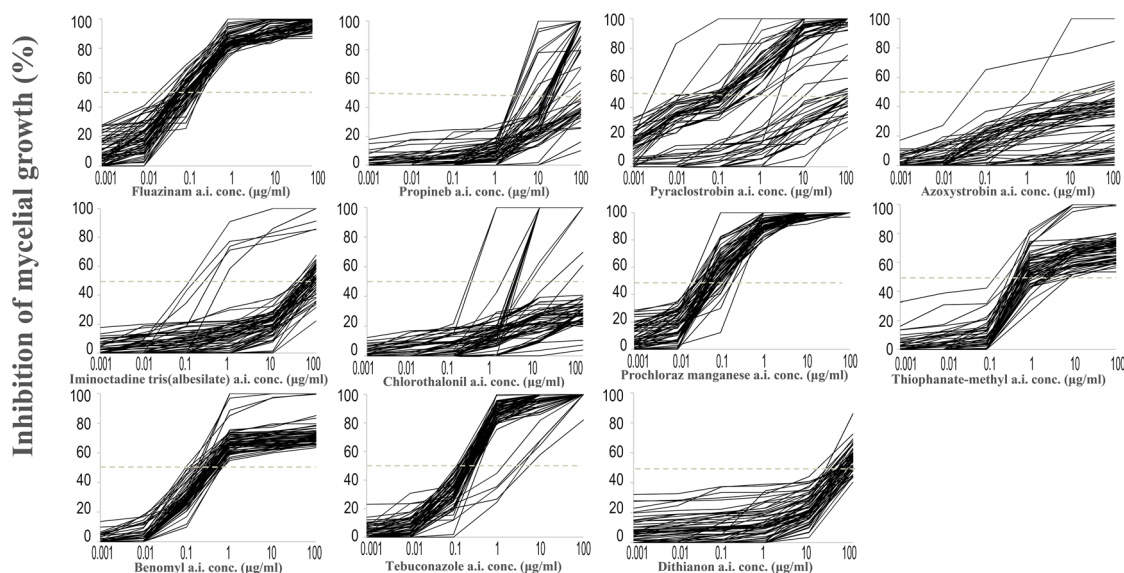


Fig. 3. Differential responses of 62 isolates of *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides* to fluazinam, propineb, pyraclostrobin, azoxystrobin, iminoctadine tris(albesilate), chlorothalonil, prochloraz manganese, thiophanate-methyl, benomyl, tebuconazol and dithianon. The isolates were grown on potato dextrose agar with various concentration of fungicides for 7 days at 25°C in darkness.

Table 3. Frequency of fungicide resistant-isolates of *Colletotrichum* spp. collected from different localities of Sunchang-gun in Jeollabuk-do

Locality	No. of isolates ^a	No. of resistance isolates										
		Fl ^b	Pr	Py	Az	Im	Ch	PM	TM	Be	Te	Di
Sunchang-eup	18/4	0	16 (72.7) ^c	4 (18.2)	21 (95.5)	18 (81.8)	17 (77.8)	0	0	0	4 (18.2)	22 (100.0)
Geumgwa-myeon	3/0	0	3 (100.0)	3 (100.0)	3 (100.0)	3 (100.0)	3 (100.0)	0	0	0	0	3 (100.0)
Bokheung-myeon	6/0	0	4 (66.7)	3 (50.0)	5 (83.3)	6 (100)	5 (83.3)	0	0	0	0	6 (100.0)
Ssangchi-myeon	3/0	0	3 (100)	1 (33.3)	3 (100.0)	3 (100)	2 (66.7)	0	0	0	0	3 (100.0)
Yudeung-myeon	12/0	0	10 (83.3)	5 (41.7)	12 (100)	12 (100)	9 (75.0)	0	0	0	0	12 (100.0)
Paldeok-myeon	9/0	0	9 (100.0)	5 (55.6)	9 (100.0)	9 (100)	6 (66.7)	0	1 (11.1)	0	0	9 (100.0)
Pungsan-myeon	6/1	0	7 (100)	0	6 (85.7)	6 (85.7)	7 (100.0)	0	0	0	1 (14.3)	7 (100.0)

^aNumber of isolates as *Colletotrichum acutatum*/*C. gloeosporioides*.

^bFl, fluazinam; Pr, propineb; Py, pyraclostrobin; Az, azoxystrobin; Im, iminoctadine tris(albesilate); Ch, chlorothalonil; PM, prochloraz manganese; TM, thiophanate-methyl; Be, benomyl; Te, tebuconazol; Di, dithianon.

^cPercentage of resistant strains appearing.

pyraclostrobin에서는 실험에 사용한 균주 중 1/3 이상이 저항성을 나타내었으나, prochloraz manganese에서는 저항성 균주가 출현하지 않았다.

살균제별로 뚜렷한 저항성, 감수성을 나타내는 균주 또는 특

징적인 반응을 보인 10개의 균주를 선발하여 그래프를 작성한 결과(Fig. 4), fluazinam, prochloraz manganese, benomyl, dithianon을 제외한 살균제에서 감수성과 저항성 균주가 구분되는 것을 확인할 수 있었다.

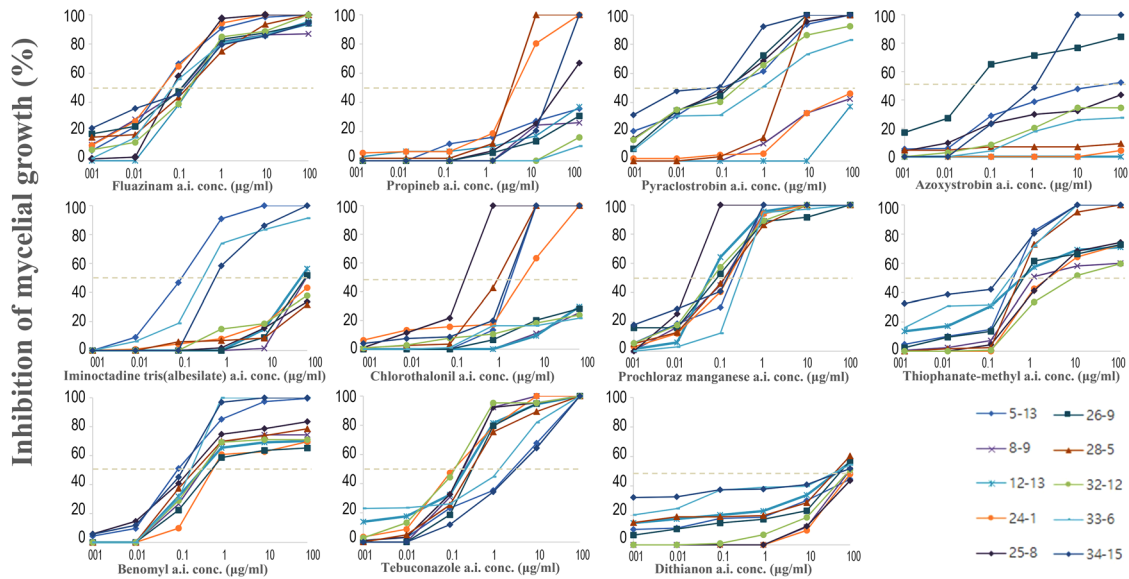


Fig. 4. Differential responses of 10 isolates of *Colletotrichum acutatum* (8-9, 12-3, 24-1, 25-8, 26-9, 28-5, and 32-12) and *C. gloeosporioides* (5-13, 33-6, and 34-15) to fluazinam, propineb, pyraclostrobin, azoxystrobin, iminocadine tris(albesilate), chlorothalonil, prochloraz manganese, thiophanate-methyl, benomyl, tebuconazole and dithianon. The isolates were grown on potato dextrose agar with various concentration of fungicides for 7 days at 25°C in darkness.

국내 고추 탄저병에 대한 약제 저항성 균주 출현에 대한 선행 연구의 결과에 의하면 Park 등(2002)은 2001년도 충북지역의 고추재배지역에서 분리한 탄저병균에서 myclobutanil, tebuconazole, hexaconazole과 같은 triazole계 EBI에 저항성을 나타내는 균주를 보고하였다. Kim 등(2005)은 1999년과 2002년에 전국 고추재배지에서 분리한 탄저병균의 살균제 모니터링 결과 보호살균제인 dithianon, chlorothalonil, propineb는 1999년도 분리균주가 2002년의 균주보다 더 저항성을 나타낸 반면, 같은 보호살균제인 iminocadine은 2002년도 균주가 더 저항성을 나타냈으며, EBI계인 tebuconazole, hexaconazole, prochloraz는 1999년보다 2002년에 분리한 균주가 더 큰 저항성을 나타냈으며, 이들의 EC_{50} 값은 1999년 균주들 보다 1.2-4.4 배 증가하였다고 보고하였다. Kim 등(2007)은 benzimidazole 계통의 약제인 benomyl, carbendazim, thiophanate-methyl에 저항성을 나타내는 균주를 보고하였다. Kim 등(2019b)은 2004년부터 2010년, 2014년과 2015년 고추에서 분리한 *C. acutatum*을 대상으로 strobilurin계 살균제인 pyraclostrobin에 대한 저항성을 보고하였고, 이들은 감수성 균주보다 높은 침입률과 병원성을 보인다고 보고하였다.

이번 연구를 통한 순창군 지역의 살균제에 대한 감수성 모니터링 결과 일부 농약에 대해서는 아직 저항성균의 출현이 없거나 적은 것으로 조사되었으나, 일부 농약에서는 지역별로 저항

성균의 출현빈도가 30% 이상부터 100%로 다양하게 나타났다. 따라서 본 연구결과는 농가에서는 고추 탄저병 방제를 위해 상대적으로 저항성균의 출현이 적은 살균제의 선택을 통한 농약 사용 감소와 효과적인 방제를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

2020년 8월에 전라북도 순창군 소재 25개 고추 재배지에서 채집한 탄저병 감염 과실로부터 377개 탄저병균주를 분리한 후 지역별로 선발된 62개 균주를 대상으로 국내에 등록된 11개의 고추 탄저병 살균제에 대한 균사생장억제율을 조사하여 각각의 살균제에 대한 감수성 정도를 조사하였다. 살균제에 대한 탄저병균의 살균제 감수성 실험 결과 fluazinam, prochloraz manganese, benomyl에서는 저항성 균주가 관찰되지 않았으나 이외의 약제에서는 최소 3개의 지역에서 저항성 균주가 출현하였으며, dithianon은 모든 지역의 모든 균주가 저항성이었다. 이를 통해 일부 지역에서 살균제의 지속적인 처리로 인하여 균주집단 내 살균제 내성이 발현되었음을 확인할 수 있었다. 지역별로는 순창읍과 팔덕면에서 7개 농약에 대한 저항성 균주가 출현하였고, 금과면, 복흥면, 쌍치면, 유등면, 풍산면에서 6개 농약에 대한 저항성 균주가 출현하였음을 확인하였다. 약제 등록시기와 저항

성 균주의 출현에는 유의미한 상관관계가 없었다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported

Acknowledgments

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Agro and Livestock Products Safety · Flow Management Technology Development Project funded by NH Non-ghyup and Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs and the Ministry of Agriculture (MAFRA) (319111-02).

References

- Fungicide Resistance Action Committee. 2021. FRAC classification of fungicides. URL <https://www.frac.info> [3 December 2021].
- Kim, J. T., Lee, K. H., Min, J. Y., Cho, I. J., Kang, B. K., Park, S. W. et al. 2004. Fluctuation of the sensitivity of *Colletotrichum* spp. causing the red-pepper anthracnose to chlorothalonil. *Korean J. Pestic. Sci.* 8: 231-237. (In Korean)
- Kim, J. T., Lee, K. H., Min, J. Y., Kang, B. K., Rho, C. W., Hong, S. T. et al. 2005. Response of *Colletotrichum* spp. causing red-pepper anthracnose to protective and ergosterol biosynthesis-inhibiting fungicides. *Res. Plant Dis.* 11: 185-192. (In Korean)
- Kim, J. T., Min, J. Y. and Kim, H. T. 2006. Response of fungicides of *Colletotrichum* species isolated from infected tissues of several crops. *Res. Plant Dis.* 12: 32-39. (In Korean)
- Kim, J. T., Park, S.-Y., Choi, W., Lee, Y.-H. and Kim, H. T. 2008. Characterization of *Colletotrichum* isolates causing anthracnose of pepper in Korea. *Plant Pathol. J.* 24: 17-23.
- Kim, S., Min, J. and Kim, H. T. 2019a. Mycological characteristics and field fitness of *Colletotrichum acutatum* resistant to pyraclostrobin. *Korean J. Pestic. Sci.* 23: 231-239. (In Korean)
- Kim, S., Min, J. and Kim, H. T. 2019b. Occurrence and mechanism of fungicide resistance in *Colletotrichum acutatum* causing pepper anthracnose against pyraclostrobin. *Korean J. Pestic. Sci.* 23: 202-211. (In Korean)
- Kim, Y.-S., Min, J. Y., Kang, B. K., Bach, N. V., Choi, W. B., Park, E. W. et al. 2007. Analyses of the less benzimidazole-sensitivity of the isolates of *Colletotrichum* spp. causing the anthracnose in pepper and strawberry. *Plant Pathol. J.* 23: 187-192.
- Park, H. 2001. Breeding of anthracnose-resistant lines by interspecific hybridization in chile pepper (*Capsicum* spp.). *Annu. Rep. Res. Agric. Life Sci.* 5: 40-42.
- Park, K. S. and Kim, C. H. 1992. Identification, distribution and etiological characteristics of anthracnose fungi of red pepper in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 8: 61-69.
- Park, S. W., Kim, J. T., Kim, J. J. and Kim, H. T. 2002. Sensitivity of *Colletotrichum* spp. isolated from red-pepper to sterol biosynthesis inhibiting-fungicides and their field fitness. *Res. Plant Dis.* 8: 239-244. (In Korean)
- Rural Development Administration Pesticide Safety Information System. 2021. URL <http://psis.rda.go.kr> [3 December 2021].
- Statistics Korea. 2017. Census of agriculture, forestry and fisheries: harvesting farm and area of vegetable, special crop, flower crop and other crops. URL https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1AG15403&conn_path=I2 [3 December 2021].
- Statistics Korea. 2021a. Index of agriculture and forestry production. URL https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114_2014_S0002&conn_path=I2 [3 December 2021].
- Statistics Korea. 2021b. Agricultural area survey: facility crop cultivation area. URL https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0017&conn_path=I2 [3 December 2021]. (In Korean)
- Statistics Korea. 2021c. Agricultural area survey: field vegetable cultivation area. URL https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&conn_path=I2 [3 December 2021]. (In Korean)
- White, T. J., Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J. 1990 Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: PCR Protocols: a Guide to Methods and Applications, eds. by M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White, pp. 315-322. Academic Press, New York, USA.