

과수 화상병 방제약제의 사과·배 생육기 연용 살포에 의한 약해

김세희^{1*}, 류송희², 윤병현¹, 조강희³, 조상윤¹, 박정관⁴

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 과수과, 연구사, ³연구관, ²농촌진흥청 국립농업과학원 잔류화학평가과, 연구사

⁴농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, 연구관

Phytotoxicity by Continuous Spraying of Fruit Fire Blight Disinfectant During Growing Season of Apple and Pear

Se Hee Kim^{1*}, Song-Hee Ryu², Byeonghyeon Yun¹, Kang Hee Cho³,
Sang-Yun Cho¹ and Jung Gwan Park⁴

¹Researcher and ³Senior Researcher, Fruit Research Division,
National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

²Researcher, Residual Chemical Assessment Division,
National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

⁴Senior Researcher, Research Institute of Climate Change and Agriculture,
National Institute of Horticultural & Herbal Science, Jeju 63240, Korea

Abstract - In order to control the fire blight disease, all plants within the radius of the diseased orchard were removed in the early stage of the outbreak, or antibiotics control was performed for prevention. Since the beginning of antibiotics use on plants, the potential for development of resistance to antibiotics by the plant pathogen and unintended detrimental effects on the fruit trees and environment has become a problem. The purpose of this study is to determine the degree of phytotoxicity to fruit trees caused by excessive spraying of the fire blight disease disinfectant and to establish basic data for safe disinfectant guide. We analyzed whether damage to the fruit tree and the maximum residual limit of fruit was exceeded when three kinds of the fire blight disease disinfectants were continuously sprayed in excess of the number of safe use during the growing season. There was no phytotoxicity in apple 'Fuji' and pear 'Niiitaka', and oxolinic acid was detected beyond the limit of quantitation in 'Fuji' grown without a bag, and the other disinfectants were detected below the maximum residue limit. When these disinfectants are continuously sprayed in excess of the number of safe, phytotoxicity may remain on the fruit. Therefore, it is necessary to observe the prescribed dilution factor and observe the safe frequency and the timing of use.

Key words – Antibiotics, Apple, Fire blight disease, Pear

서 언

과수 화상병은 그람 음성 세균인 *Erwinia amylovora*에 의해 발생하는 병해로 사과, 배, 살구, 자두 등 장미과에 속하는 과수를 기주로 꽃, 잎, 가지 등 지상부의 모든 부위에서 마름 증상이 나타나서 과일 생산 감소, 수세 약화로 나무 고사를 일으킨다 (Billing, 2011). 화상병의 최초 보고는 1780년 미국 동부, 뉴욕

주를 시작으로 북미, 유럽, 아프리카 그리고 오세아니아 지역에 서 발생하여 피해를 주고 있다(Drenova *et al.*, 2012; Fatmi *et al.*, 2008). 국내에서는 2015년 5월에 경기도 안성시 배나무 과원에서 처음으로 화상병이 보고되었고(Park *et al.*, 2016), 6월에는 충청북도 제천시 사과나무 과원에서 보고되었다(Myung *et al.*, 2016). 정부에서는 화상병 발생이 보고된 후 *E. amylovora*를 식물방역법에서 금지 병원균으로 지정하여 국내 정착을 막기 위한 예찰과 방제를 시행하고 있다(Park *et al.*, 2017). 식물방역법에 근거한 화상병 공적 방제는 감염 여부가 양성으로 판

*교신저자: E-mail ezsehee@korea.kr

Tel. +82-63-238-6713

정되면 발견 지점을 중심으로 반경 100 m 이내에 있는 기주식물을 뿌리까지 굴취하여 매몰하고, 주변 2 km까지 화학적 방제를 시행하며 5 km 주변까지 병 발생을 주기적으로 모니터링하고 있다(Park *et al.*, 2017). 2019년부터 발병 과원을 중심으로 반경 5 km 이내를 관리구역으로 지정하여 주기적인 예찰과 연 3회 약제 방제를 하고 있으며, 관리구역 외 사과·배 재배 지역도 매년 2회 이상 발생 상황을 예찰하고 연 1회 이상 약제 방제를 하고 있다(Ham *et al.*, 2020). 화상병은 세균성 병해의 특징상 방제에 어려움을 겪고 있으며 현재까지 알려진 효과적인 화상병 방제는 개화기간에 꽃 감염 시기를 예측하여 감염 직후 농용 항생제인 스트렙토마이신을 살포하는 것이다(Johnson and Stockwell, 1998). 미국 등 화상병의 발생이 만연하여 다른 식물 병해처럼 일반 방제의 개념으로 하는 나라에서는 항생제와 구리합성 화합물을 포함한 약제의 사용을 권고하고 있다(Jamar and Lateur, 2007). 국내 방제 사례를 보면 농촌진흥청에서 미국 등 외국의 사례를 바탕으로 하여 항생제, 구리합성 화합물의 단제 또는 혼합제를 대상으로 총 16개의 약제를 등록하여 방제에 사용하고 있다(Lee *et al.*, 2018). 더불어 농가에서는 화상병 방제 외에 일반 방제를 위해 살균제가 남용되거나 약제의 특성을 이해하지 않고 오용하게 되는 경우가 많이 발생하고 있다. 2020년에 충북 괴산의 ‘홍로’ 농가와 경남 함양의 ‘후지’ 농가에서 화상병 방제약제로 인한 약해가 보고되었다(농민신문, 2020. 9. 21. 기사). 본 연구는 화상병 방제약제 살포로 인한 과수의 피해 정도를 확인하고, 화상병 방제약제의 안전사용기준을 초과한 생육기 연용 살포의 약해 정도를 분석하여 안전한 약제 처리 방법을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

본 논문은 생육기에 사과 ‘후지’ 품종에 화상병 방제약제인 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 17% 수화제(Oxy-tetracycline calcium alkeyltrimethylammonium), 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄·스트렙토마이신황산염 20.3 (1.5+18.8)% 수화제(Oxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium+Streptomycin (sulfate salt)), 옥솔린산·스트렙토마이신 20 (17+3)% 수화제(Oxolinic acid+Streptomycin) 3종을, 배 ‘신고’ 품종에 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 17% 수화제, 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄·스트렙토마이신황산염 20.3 (1.5+18.8)% 수화제 2종을 안전 사용 횟수를 초과하여 연용 살포하였을 때 수체의 약해 발생 여부와 과실의 농약 잔류허용기준을 초과하는지를 분석하였다.

재료 및 방법

시험구 특성

약제살포 실험 장소는 농촌진흥청 국립원예특작과학원의 과수 포장으로 대상 품종은 사과 ‘후지(7년생)’와 배 ‘신고(7년생)’이다. ‘후지’의 재식밀도는 3.5 m (열간) × 1.5 m (주간)이고 ‘신고’는 6 m (열간) × 4 m (주간)이며 대상 품종의 시험구 특성과 크기는 Table 1에 정리하였다.

화상병 약제 처리

농촌진흥청에서 화상병 방제약제로 등록된 약제 3종, 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 17% 수화제, 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄·스트렙토마이신황산염 20.3(1.5+18.8)% 수화제, 옥솔린산·스트렙토마이신 20(17+3)% 수화제를 사과 ‘후지’ 품종과 배 ‘신고’ 품종의 생육기에 안전 사용 횟수를 초과하여 충전식 자동분무기를 사용하여 경엽에 살포하였다.

‘후지’에 살포한 화상병 방제약제는 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 17% 수화제(약제 1), 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄·스트렙토마이신황산염 20.3 (1.5+18.8)% 수화제(약제 2), 옥솔린산·스트렙토마이신 20 (17+3)% (약제 3)으로 약제 1과 2의 안전 사용 시기는 수확 전 40일까지이고, 안전 사용 횟수는 3회 이내지만 본 연구에서는 수확 전 60일까지 6회 연용 살포를 하였다. 약제 3의 안전 사용 시기는 수확 전 90일까지이고, 안전 사용 횟수는 2회 이내인데 수확 전 90일까지, 3회 연용 살포를 하였다(Table 1).

‘신고’에 살포한 화상병 방제약제는 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 17% 수화제(약제 1), 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄·스트렙토마이신황산염 20.3 (1.5+18.8)% 수화제(약제 2)로 약제 1과 2의 안전 사용 시기는 수확 전 40일까지이고, 안전 사용 횟수는 3회 이내지만 본 연구에서는 수확 전 40일까지 5회 연용 살포를 하였다(Table 1).

약해 조사

방제약제 살포 시기마다 육안으로 약해를 관찰하였고, 약해 지수는 5단계로 0: 약해 없음, 1: 아주 가벼운 약해로써 작은 약반 인정, 2: 처리한 잎의 약해가 인정되는 부분이 20% 정도, 3: 처리한 잎의 50% 정도 약해 인정, 4: 처리한 잎의 상당한 부분이 약해를 보이거나 건전한 부분이 남아 있음, 5: 심한 약해를 받아서 고사 상태로 구분하였다(Fig. 1) (Jeong *et al.*, 2020; Kim *et*

Table 1. Characteristics of the test group treated with three types of fire blight disease disinfectant in ‘Fuji’ and ‘Niitaka’

Fruit	Treatment	No. of sprays	Days after last sprays	Plant height (m)			Branch width (m)		
				1	2	3	1	2	3
‘Fuji’	Control	0	-	2.7	-	-	1.5	-	-
	Disinfectant 1 ^z	6	60	2.6	3	2.7	1.4	1.5	1.2
	Disinfectant 2 ^y	6	60	2.6	3	2.7	1.4	1.1	1.5
	Disinfectant 3 ^x	3	90	2.6	3	2.7	1.7	1.7	1.8
‘Niitaka’	Control	0	-	3	-	-	1.8	-	-
	Disinfectant 1 ^z	5	40	2.6	3	2.3	2.1	1.7	1.7
	Disinfectant 2 ^y	5	40	2.6	3	2.3	2.1	1.6	1.8

^zOxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium.

^yOxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium+Streptomycin (sulfate salt).

^xOxolinic acid+Streptomycin.

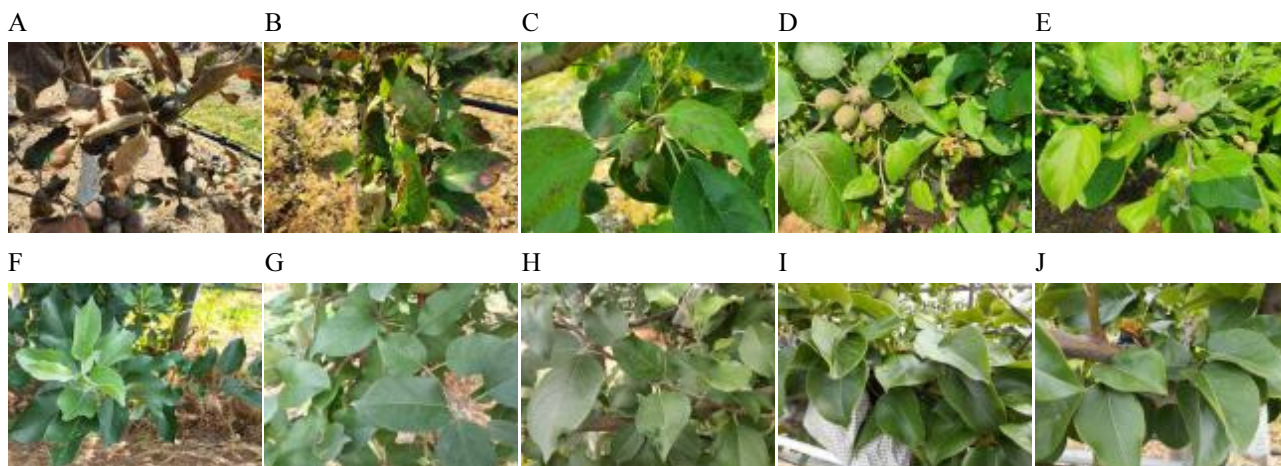


Fig. 1. The injury of plants was scored as 5: dead (A), 4: 85% affected (B), 3: 50% affected (C), 2: 25% affected (D), 1: 5% affected (E), 0: none affected (F). Seven days after last spraying of oxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium on ‘Fuji’ (G). Seven days after last spraying of Oxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium+Streptomycin (sulfate salt) on ‘Fuji’ (H). Seven days after last spraying of oxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium on ‘Niitaka’ (I). Seven days after last spraying of oxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium+Streptomycin (sulfate salt) on ‘Niitaka’ (J).

al., 2016; Kim *et al.*, 2002).

과실 농약 잔류 분석 및 회수율 시험

시험구 당 시료는 약 1 kg 이상 채취하였고, 잔류 분석을 위한 시료 조제를 위해 과실의 1/4을 취하여 꼭지를 제거하고 세절하여 드라이아이스를 넣고 마쇄 후 분석 전까지 냉동 보관하였다. 농약의 잔류 분석을 위해 시료 각 5 g에 formic acid를 포함한 메탄올을 넣고 15분 동안 추출하였다. 추출 후 10분 동안 3,500 g으로 원심 분리하여 회수한 상등액을 HLB 카트리지로 정제하여 LC-MS/MS 로 분석하였다. 기기분석 컬럼은 oxytetracycline과 oxolinic acid

분석을 위해서는 C18 column을 사용하였고, streptomycin 분석을 위해서 amide column을 사용하여 분석하였다. 분석성분의 회수 실험을 위해 실험 농약을 살포하지 않은 시료에 정량한계, 정량한계의 10배 수준으로 농약 표준물질을 첨가한 후 상기 잔류 분석 방법으로 3 반복 분석하여 회수율을 산출하였다.

결과 및 고찰

검출한계 및 회수율 시험

Oxytetracycline과 oxolinic acid의 검출한계는 0.01 mg/kg

Table 2. Recovery rate and limit of quantitation (LOQ) of the analytical methods in ‘Fuji’ and ‘Niitaka’

Analytical component	Concentration (mg/kg)	Recovery rate (% , Mean \pm SD ²)		LOQ (mg/kg)
		Apple ‘Fuji’	Pear ‘Niitaka’	
Oxytetracycline	0.01	72.8 \pm 1.5	82.3 \pm 7.5	0.01
	0.1	76.9 \pm 5.5	80.6 \pm 14.7	
Streptomycin	0.05	100.7 \pm 12.9	95.7 \pm 18.0	0.05
	0.5	107.0 \pm 4.4	86.3 \pm 21.1	
Oxolinic acid	0.01	84.7 \pm 8.3	-	0.01
	0.1	95.7 \pm 1.1	-	

²Standard deviation.

이었고, streptomycin의 검출한계는 0.05 mg/kg이었다. 사과와 배에 대한 oxytetracycline의 평균 회수율은 72.8~82.3%, streptomycin의 경우 86.3~107.0%였다. 사과에 대한 oxolinic acid의 평균 회수율은 84.7~95.7%였다(Table 2). 상대 표준편차는 모두 20% 이하로 나타났으며, 이는 Codex Alimentarius Commission (2003)에서 요구하는 회수율 및 상대 표준편차의 기준에 만족하는 것으로 확인되었다.

‘후지’의 화상병 방제약제 약해와 잔류량 분석

‘후지’에서 약제 1, 2, 3의 안전 사용 횟수를 초과한 연용 살포 후 약해 지수는 0단계로 대조구와 비교하였을 때 약해로 보이는 부분은 없었다(Fig. 1). 사용한 약제가 모두 항생제 종류였고, 고농도로 처리하지 않아 육안으로 보이는 약해는 없었지만, 저항성 발현에 대한 위험은 상황에 따라 매우 다양하고 여러 가지 특징들에 의해 좌우되기 때문에 예측하기가 어렵다. 그 요인 중 약제의 지효성, 기존 약제와의 연관성, 작용기작, 교차 저항성 등이 관련되는데 일반적으로 잔효력이 긴 약제는 저항성 발현의 가능성이 커서 혼합제 선택할 때도 잔효력이 고려되어야 한다(Park, 2020).

‘후지’에서 약제 1의 잔류량 분석성분은 oxytetracycline이고 약제 2는 oxytetracycline, streptomycin, 약제 3은 streptomycin, oxolinic acid이다. 대조구에서는 oxytetracycline, streptomycin, oxolinic acid 3가지 성분을 모두 분석하였다. 약제 1과 2의 주성분인 oxytetracycline은 미국 서부지역과 같은 강수량이 적고 건조한 지역에서 사과나무 화상병 방제에 효과적인 것으로 보고되었지만, 습도가 높은 북동부 지역에서는 효과가 감소할 수 있다는 연구 결과가 있다(Stockwell *et al.*, 2008). 이러한 연구 결과는 oxytetracycline의 작용 기작이 치료 효과 보다는 세균 증식을 억제하는 정균 항생제의 특성이 있기 때문

으로 알려져 있고, 국내에서 3종류 사과나무 부위를 이용한 기내 검정법에서는 streptomycin보다 우수한 화상병원 세균 억제 효과를 나타내었다(Lee *et al.*, 2018). 본 연구에서 약제 1과 2의 oxytetracycline의 잔류량 분석 결과는 3 반복에서 모두 0.01 mg/kg 미만으로 잔류허용기준인 0.05 mg/kg, 정량한계인 0.01 mg/kg 이하로 검출되었다(Table 3).

약제 2와 3의 또 다른 구성 성분인 streptomycin은 치료 효과가 있는 세균 억제 작용의 특성과 동일 가격 대비 가장 유효한 효과를 나타내는 항생제로 이용되고 있다(Russo *et al.*, 2008; Sundin *et al.*, 2009; Tancos *et al.*, 2016). 스위스 등 유럽 국가에서는 화상병 방제를 위한 항생제 사용을 원칙적으로 금하고 있으나 대대적인 발생의 경우 항생제 1회 처리를 한시적으로 허용하고 있다(Gusberty *et al.*, 2015). 현재까지 국내 화상병 관리 는 식물방역법 이하 공적 방제 체계하에 정부가 농업인에게 방제약제를 무상 공급하고 있으며, streptomycin이 대표적인 공급 약제지만 저항성 화상병원 세균 균주의 출현은 streptomycin 사용의 가장 큰 저해 요인으로 작용하고 있다(McGhee *et al.*, 2011; Tancos and Cox, 2016, 2017; Tancos *et al.*, 2016). 국내에서 사과나무의 경우, streptomycin 성분 약제를 기준농도보다 2,000배 이상 살포하였을 때 약해가 발생하였다는 보고가 있다(Lee, 2021). 본 연구에서 약제 2와 3의 streptomycin의 잔류량 분석 결과는 3 반복 모두 0.05 mg/kg 미만으로 잔류허용기준인 0.05 mg/kg, 정량한계인 0.05 mg/kg 이하로 검출되었다(Table 3).

약제 3의 또 다른 구성 성분인 oxolinic acid는 quinolone계 항생제로 화기에서 세균 증식을 억제하는 특성이 있으며, 국내에서 기내 검정법을 이용한 화상병 방제제 선발 연구에서 화상병을 방제하는 데 도움은 되지만 다른 항생제들에 비해 효과가 낮았다(Lee *et al.*, 2018). 본 연구에서 약제 3의 oxolinic acid의

Table 3. Residual concentrations and maximum residue limit (MRL) of disinfectant in ‘Fuji’ and ‘Niitaka’

Fruit	Treatment	Analytical component	Residual amount (mg/kg)			MRL (mg/kg)
			1	2	3	
‘Fuji’	Disinfectant 1 ^z	Oxytetracycline	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.05
		Oxytetracycline	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
	Disinfectant 2 ^y	Streptomycin	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.05
		Streptomycin	< 0.05	< 0.05	< 0.05	
	Disinfectant 3 ^x	Oxolinic acid	< 0.01	< 0.01	0.036	2.0
‘Niitaka’	Disinfectant 1 ^z	Oxytetracycline	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.05
		Oxytetracycline	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
	Disinfectant 2 ^y	Streptomycin	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.05

^zOxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium.

^yOxytetracycline calcium alkeyltrimethylammonium+Streptomycin (sulfate salt).

^xOxolinic acid+Streptomycin.

잔류량 분석 결과는 0.036 mg/kg으로 잔류허용기준인 2.0 mg/kg 이하로 검출되었지만 정량한계인 0.01 mg/kg을 초과하여 검출되었다(Table 3).

본 연구에 사용한 사과나무는 ‘후지’ 유전자원으로 봉지를 씌우지 않는 무대재배를 하였고, 그 결과 일부 과실에서 oxolinic acid가 검출되었다. 이러한 결과는 방제약제를 안전 사용 시기인 수확 90일 전에 마지막 살포를 하였지만 안전 사용 횟수보다 1회를 초과하여 연용 살포하였기 때문이며 방제약제의 과다한 사용의 잠재적인 위험성을 알려준다고 볼 수 있다. 항생제를 이용한 화상병 관리에는 약제 저항성 병원균의 발생과 항생제 사용에 따른 독성 위험이 이전부터 보고되었고(McManus *et al.*, 2002; Sholberg *et al.*, 2001), 효과적인 화상병 방제를 위해서 모든 약제는 안전 사용기준을 준수하여 살포해야 한다.

‘신고’의 화상병 방제약제 약해와 잔류량 분석

약제살포 시기마다 육안으로 약해를 관찰하였고, ‘신고’에서 약제 1, 2의 안전 사용 횟수를 초과한 연용 살포 후 약해 지수는 0단계로 대조구와 비교하였을 때 약해로 보이는 부분은 없었다(Fig. 1).

‘신고’에서 약제 1의 잔류량 분석성분은 oxytetracycline이고, 약제 2는 oxytetracycline, streptomycin이다. 대조구에서는 oxytetracycline, streptomycin, 2가지 성분을 모두 분석하였다. 약제 1과 2의 주성분인 oxytetracycline은 잔류량 분석 결과, 3 반복에서 모두 0.01 mg/kg 미만으로 잔류허용기준인 0.05 mg/kg, 정량한계인 0.01 mg/kg 이하로 검출되었다(Table 3).

약제 2의 또 다른 구성 성분인 streptomycin의 잔류량 분석 결과는 3 반복 모두 0.05 mg/kg 미만으로 잔류허용기준인 0.05 mg/kg, 정량한계인 0.05 mg/kg 이하로 검출되었다(Table 3). 그 동안 보고된 화상병균에 대한 방제약제의 반응 연구 결과를 보면 배나무 유목에 streptomycin 성분 약제를 500배 농도로 살포하였을 때 약해가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다(Lee, 2021).

사과 ‘후지’는 oxolinic acid가 소량 검출되었는데 배 ‘신고’에서 농약 잔류허용기준 이하로 나온 이유는 배나무는 일반적으로 봉지를 씌우는 유대재배를 하므로 직접적인 살포의 영향이 적었을 것으로 유추할 수 있다. 최근 미국에서 화상병 방제약제의 문제점으로 대두되고 있는 약제 저항성 균주의 출현으로 국내에서도 화상병원 세균, 8 균주를 대상으로 streptomycin과 kasugamycin에 대해서 저항성 발현이 발생하지 않은 것을 확인하였지만(Lee *et al.*, 2018), 참다래 꽃썩음 병원 세균과 감귤 궤양 병원 세균에서 transposable element에 의한 streptomycin 저항성 유전자가 발견된 사례가 있으므로(Hyun *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2007) 화상병 방제약제 오남용으로 저항성 병원균이 발생하지 않도록 체계적인 방제약제에 관한 연구가 필요할 것이다.

사과·배 재배 농가에서는 약제 방제를 할 때 정해진 희석배수를 지키고, 안전 사용 횟수와 함께 약제로 인한 작물 피해 예방을 위해 약제별 사용 적기를 반드시 준수하고, 다른 약제와의 혼용도 주의해야 한다. 과수 화상병 방제약제 등록 현황과 자세한 제품 정보는 농약 안전 정보시스템(phis.rda.go.kr)에서 확인할 수 있다. 또한 화상병 방제약제의 수체에서의 반응을 연구

하여, 화상병 미발생 및 발생 농가에 대한 약제 선택의 가능성을 폭넓게 하는 것도 앞으로 연구해야 할 방향이다.

적 요

과수 화상병을 방제하기 위해 발병 초기에 과수원 반경 내 전체 식물을 제거하거나 예방을 위해 약제 방제를 시행하고 있다. 과수에 대한 항생제 사용이 시작된 이후, 항생제 저항성 병원균 발생 가능성과 의도하지 않은 수체 및 환경에 대한 해로운 영향이 문제가 되고 있다. 본 연구의 목적은 화상병 방제약제 과다 살포로 인한 과수의 피해 정도를 확인하고, 안전한 약제 방제 기준을 설정하기 위해 수행하였다. 과수 생육기 동안 안전 사용 횟수를 초과하여 3종의 과수 화상병 방제약제를 지속해서 살포하였을 때 발생하는 약해와 처리한 과실에서 약제 잔류허용기준 초과 여부를 분석하였다. 사과 ‘후지’와 배 ‘신고’에서 약해는 보이지 않았고, 무대재배를 한 ‘후지’에서 oxolinic acid가 정량한계를 넘어서 검출되었고, 나머지 약제 성분은 잔류허용기준 이하로 검출되었다. 안전 사용 횟수를 초과하여 방제약제를 사용하게 되면 약제 성분이 과실에 남을 수 있으므로 정해진 희석배수를 지키고 안전 사용 횟수와 함께 사용 적기를 반드시 준수해야 함을 알 수 있다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구과제(세부과제번호: PJ01530103)의 지원으로 이루어진 것임.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

Billing, E. 2011. Fire blight. Why do views on host invasion by *Erwinia amylovora* differ? Plant Pathol. 60:178-189.

Codex Alimentarius Commission. 2003. Guidelines on good laboratory practice in residue analysis. CAC/GL 40-1993, Rome Italy. p. 24.

Drenova, N.V., M.M. Isin, A.A. Dzhamurzina, G.A. Zharmukhamedova and A.K. Aitkulov. 2012. Bacterial fire blight in the Republic of Kazakhstan. Plant Health Research and

Practice 1:44-48.

Fatmi, M., M. Bougsiba and H. Saoud. 2008. First report of fire blight caused by *Erwinia amylovora* on pear, apple and quince in Morocco. Plant Dis. 92:314.

Gusberti, M., U. Klemm, M.S. Meier, M. Maurhofer and I. Hunger-Glaser. 2015. Fire blight control: the struggle goes on. A comparison of different fire blight control methods in Switzerland with respect to bio safety, efficacy and durability. Int. J. Environ. Res. Public Health 12:11422-11447.

Ham, H.-H., K.J. Lee, S.J. Hong, H.G. Kong, M.-H. Lee, H.-R. Kim and Y.H. Lee. 2020. Outbreak of fire blight of apple and pear and its characteristics in Korea in 2019. Res. Plant Dis. 26(4):239-249.

Hyun, J.-W., H.-J. Kim, P.-H. Yi, R.-Y. Hwang and E.-W. Park. 2012. Mode of action of streptomycin resistance in the citrus canker pathogen (*Xanthomonas smithii* subsp. *citri*). Plant Pathol. J. 28:207-211.

Jamar, L. and M. Lateur. 2007. Strategies to reduce copper use in organic apple production. Acta Hort. 737:113-120.

Jeong, I.-H., G.-S. Lee, B.-Y. Seo, B.-Y. Park, J.-R. Cho, T.H. Kwon, B.-H. Lee and C.G. Park. 2020. Phytotoxic damage of fumigant, ethyl formate to vegetable crops and Solanaceae plants by different temperature and humidity conditions. Korean J. Pestic. Sci. 24(4): 403-409.

Johnson, K.B. and V.O. Stockwell. 1998. Management of fire blight: a case study in microbial ecology. Annu. Rev. Phytopathol. 36:227-248.

Kim, B.S., C.G. Park, Y.M. Moon, B.K. Sung, Y. Ren, S.J. Wylie and B.H. Lee. 2016. Quarantine treatments of imported nursery plants and exported cut flowers by phosphine gas (PH₃) as methyl bromide alternative. J. Econ. Entomol. 109 (6):2334-2340.

Kim, M.J., I.J. Kim, S.Y. Nam, H.J. Kang, C.H. Lee and B.H. Song. 2002. Screening of fungicides for the control of *Colletotrichum acutatum* in *Carthamus tinctorius* L.. Korean J. Plant Res. 15(3):211-215.

Lee, M.S., I.G. Lee, S.G. Kim, C.S. Oh and D.H. Park. 2018. *In vitro* screening of antibacterial agents for suppression of fire blight disease in Korea. Plant Dis. 24(1):41-51.

Lee, Y.K. 2021. Response of 9 pesticide against fire blight disease in pear and apple trees. Korean J. Pestic.Sci. 1:205.

McGhee, G.C., J. Guasco, L.M. Bellomo, S.E. Blumer-Schuette, W.W. Shane, A. Irish-Brown and G.W. Sundin. 2011. Genetic analysis of streptomycin-resistant (Sm^R) strains of *Erwinia amylovora* suggests that dissemination of two genotypes is

- responsible for the current distribution of Sm^R *E.amylovora* in Michigan. *Phytopathology* 101:192-204.
- McManus, P.S., V.O. Stockwell, G.W. Sundin and A.L. Jones. 2002. Antibiotic use in plant agriculture. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40(1):443-465.
- Myung, I.-S., J.-Y. Lee, M.-J. Yun, Y.-H. Lee and D.-H. Park. 2016. Fire blight of apple, caused by *Erwinia amylovora*, a new disease in Korea. *Plant Dis.* 100:1774.
- Park, D.H., J.-G. Yu, E.-J. Oh, K.-S. Han, M.C. Yea and S.J. Lee. 2016. First report of fire blight disease on Asian pear caused by *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Dis.* 100:1946.
- Park, D.H., Y.-G. Lee, J.-S. Kim, J.-S. Cha and C.-S. Oh. 2017. Current status of fire blight caused by *Erwinia amylovora* and action for its manatement in Korea. *J. Plant Pathol.* 99:59-63.
- Park, S.Y., H.S. Han, Y.S. Lee, Y.J. Koh and J.S. Jung. 2007. Streptomycin resistant gene of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, the causal agent of bacterial blossom blight of kiwifruit. *Res. Plant Dis.* 13:88-92.
- Park, W. 2020. Principles for managing pesticide resistance. *Agrochemical News Magazine* 258:38-40 (in Korean).
- Russo, N.L., T.J. Burr, D.I. Breth and H.S. Aldwinckle. 2008. Isolation of streptomycin-resistant isolates of *Erwinia amylovora* in New York. *Plant Dis.* 92:714-718.
- Sholberg, P.L., K.E. Bedford, P. Haag and P. Randall. 2001. Survey of *Erwinia amylovora* isolates from British Columbia for resistance to bactericides and virulence on apple. *Can. J. Plant Pathol.* 23(1):60-67.
- Stockwell, V.O., T.N. Temple, J.E. Loper and K.B. Johnson. 2008. Integrated control of fire blight with antagonists and oxytetracycline. *Acta Hort.* 793:383-390.
- Sundin, G.W., N.A. Wermer, K.S. Yoder and H.S. Aldwinckle. 2009. Field evaluation of biological control of fire blight in the Eastern United States. *Plant Dis.* 93:386-394.
- Tancos, K.A. and K.D. Cox. 2016. Exploring diversity and origins of streptomycin-regisistant *Erwinia amylovora* isolates in New York through CRISPR spacer arrays. *Plant Dis.* 100:1307-1313.
- _____. 2017. Effects of consecutive streptomycin and kasugamycin applications on epiphytic bacteria in the apple phyllosphere. *Plant Dis.* 101:158-164.
- Tancos, K.A., S.M. Villani, E. Borejsza-Wysocka, S. Kuehne, D. Breth, and K.D. Cox. 2016. Exploring diversity and origins of streptomycin-regisistant *Erwinia amylovora* isolates in New York through CRISPR spacer arrays. *Plant Dis.* 100:1307-1313.

(Received 18 August 2022 ; Revised 28 September 2022 ; Accepted 14 October 2022)