



국내 과수화상병 등록 약제의 사과나무 개화기 방제 효과

함현희 · 이미현 · 노은정 · 이우형 · 최효원¹ · 양미숙¹ · 이용환*국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과, ¹농촌진흥청 농촌지원국 재해대응과

Effect of the Registered Control Agents for Fire Blight on Fire Blight Disease at Flowering Stage of Apple in Korea

Hyeonheui Ham, Mi-Hyun Lee, Eunjung Roh, Woohyung Lee, Hyo-Won Choi¹
Mi Suk Yang¹, Yong Hwan Lee*Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Jeollabuk-do 55365, Republic of Korea
¹Disaster Management Division, Extension Service Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

(Received on November 9, 2023. Revised on November 28, 2023. Accepted on November 30, 2023)

Abstract Since first report of fire blight, caused by *Erwinia amylovora*, in Korea in 2015, enormous economic losses of apple and pears have been reported in Korea. *E. amylovora* has been registered as a prohibited quarantine pathogen in Korea, so fire blight control tests in the open fields are prohibited. Accordingly, the control agents (CAs) that are being used abroad to control fire blight and that are registered domestically for other plant diseases of apples and pears are being registered as the control agents for fire blight disease in Korea. In this study, the field screening of registered control agents on fire blight disease of apple during flowering period were conducted in an isolated house built in accordance with the LMO safety management regulations operated by the Rural Development Administration in 2021 and 2023. In 2021, one flower per tree (Fuji variety 15-year-old) was inoculated with bacterial suspension at full bloom, and then natural infection was induced to other flowers using bees (*Bombus agrorum*). CAs were applied twice at three-day intervals, on the 1st and 4th days after inoculation, and the flower infection rate was examined on the 21st day after inoculation. In 2023, all flowers were inoculated at full bloom for 3-year-old Hong-ro varieties. CAs were sprayed twice at three-day intervals, 1 day before and 2 days after inoculation, and the flower infection rate was examined on the 21st and 28th days after inoculation. Most CAs containing streptomycin, oxytetracycline, and oxolinic acid were highly effective, with control values exceeding 70%. On the other hand, biocontrol agents were not effective, with a control value of 47.3-59.3%.

Key words Apple, Control agent (CAs), *Erwinia amylovora*, Fire blight

서론

화상병은 *Erwinia amylovora*에 의해 장미과 식물에 발생하는 세균병으로(Van der Zwet et al., 2012), 국내에서는 2015년도에 배(Myung et al., 2016a)와 사과나무(Park et al., 2016)에서 처음으로 발견되었다. 화상병은 우리나라에서 식물방역법상 금지급 검역병으로 지정되어 있는데(Park et al., 2017), 화상병이 발생하면 해당 과원의 발병한 나무

를 제거하거나 과원 전체를 폐원하는 공적 방제를 실시하고 있다(Park et al., 2022). 뿐만 아니라 병이 발생한 과원 주변의 모과나무(Myung et al., 2016b), 살구나무(Lee et al., 2021), 팔배나무(Lim et al., 2023a), 산사나무(Lim et al., 2023b) 등에서도 발생이 확인된 바 있다.

화상병은 꽃 마름으로 시작하여 신초, 잎, 줄기와 과실에 수침 증상이 나타나며, 나중에는 갈색 또는 검은색으로 괴사한다(Slack et al., 2017). 화상병균은 그람음성 세균으로 궤양 조직이나 병든 식물 잔재물 등에서 월동하며, 개화기에 꽃이나 신초 등의 상처와 수공 같은 자연 개구를 통해 기주 식물에 침입하고 비, 바람, 곤충, 사람 등에 의해 확산

*Corresponding author
E-mail: leeyhlee@korea.kr

된다(Van der Zwet et al., 2012). 이런 화상병을 방제하기 위해서는 동계기 께양 등의 전염원을 사전에 제거하고, 개화기에 꽃이나 개화기 이후에 신초를 통해 화상병균 감염되는 것을 차단하는 것이 필요하다(Van der Zwet et al., 2012). 특히, 미국에서는 화상병균의 감염에 가장 중요한 기관인 꽃의 개화시기에 항생제를 살포하여 감염을 차단하는 방법이 가장 보편적인 방제 방법으로 알려져 있다(Johnson and Stockwell, 1988).

화상병균은 국내에서 금지급 검역병원체로 지정되어 있기 때문에 일반 포장에서는 시험 연구가 금지되어 있다. 이에 따라, 농촌진흥청에서는 외국에서 화상병 방제용으로 사용되는 농약 중에 국내에 이미 사과와 배의 다른 병해에 등록된 농약을 약해 시험 만을 거쳐 화상병 방제용 농약으로 직권 등록하여 사용하고 있다(Lee, et al., 2018). 현재 농촌진흥청에서는 전국의 시군을 대상으로 개화기에 화상병 약제를 화상병 예측 정보(<http://fireblight.org>)에 따라 2회 살포하도록 규정하고 있으며, 방제 약제는 매년 각 지자체 별 규정에 따라 선정된 화상병 약제 2종을 보급하고 있다. 그러나 농업 현장에서는 등록된 약제들의 방제 효과에 대해 의문을 제기하면서 이들 약제에 대한 방제 효과 검증을 요구하는 의견이 많은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 화상병에 등록된 항생제, 화학농약, 미생물제 등 개화기에 사용할 수 있는 18종의 약제를

대상으로 사과 개화기 살포시 방제 효과를 검증하였다. 화상병은 일반 포장에서 시험이 불가능하기 때문에 농촌진흥청에서 운영하는 LMO 안전관리 규정에 따라 건립한 격리 하우스에서 2021년과 2023년 두 차례에 걸쳐 시험을 수행하였다. 또한 지자체 별로 선정된 약제를 종류별로 분석하여 실제 농업 현장에 사용되고 있는 실태를 조사하였다. 본 연구를 통해 향후 지자체 별 약제 선정 시, 각 지자체의 실정에 맞도록 방제 효과를 고려할 수 있는 방향을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

시험 약제

국내에서 사과 화상병 방제용으로 등록되어 개화기에 처리할 수 있는 약제 18종을 선정하였다(Table 1). 이 중 Oxolinic acid+Oxytetracyclinedihydrate (WG) 등 6개 품목은 2023년에만 시험하였고, 나머지 12개 품목은 2021년과 2023년에 시험을 수행하였다.

시험 포장 및 처리 방법

화상병은 금지급 검역병으로 일반 포장에서의 방제 시험이 불가능하기 때문에 화상병 다발생 지역인 충주시 소재 격리하우스에서 시험하였다. 시험 품종은 2021년에는 15년

Table 1. Information of the tested control agents for fire blight

Common name of control agents	Active Ingredient (%)	Recommended fold dilution	Tested year
Streptomycin WP ^{a)}	20	2,000	2021, 2023
Streptomycin + Validamycin A WP	5 + 15	4,000	2021, 2023
Oxytetracyclinedihydrate WG ^{b)}	34	4,000	2021, 2023
Oxytetracycline calcium alkeylmethylammonium WP	17	2,000	2021, 2023
Oxytetracycline calcium alkeylmethylammonium + Streptomycin WP	1.5 + 18.8	2,000	2021, 2023
Oxytetracycline hydrochloride + Streptomycin SG ^{c)}	1.5 + 18.8	2,000	2021, 2023
Oxolinic acid WP	20	1,000	2021, 2023
Oxolinic acid WG	20	1,000	2021, 2023
Oxolinic acid + Streptomycin WP	10 + 15	2,000	2021, 2023
Oxolinic acid + Streptomycin WP	17 + 3	2,000	2021, 2023
Oxolinic acid + Oxytetracyclinedihydrate WG	12 + 8	2,000	2023
<i>Bacillus subtilis</i> QST713 WP	5.0×10 ⁹ cfu/g	1,000	2021, 2023
<i>Bacillus subtilis</i> QST713 SC ^{d)}	1.0×10 ⁹ cfu/g	500	2023
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> MBI 600 WP	5.0×10 ¹⁰ cfu/g	2,000	2021, 2023
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> D747 WG	5.0×10 ¹⁰ cfu/g	2,000	2023
Bacteriophage active against <i>Erwinia amylovora</i> AS ^{e)}	5.0×10 ¹⁰ pfu/L	2,000	2023
Acibenzolar-S-methyl WG	50	25,000	2023
BLAD SL ^{f)}	20	2,000	2023

^{a)}WP: Wettable powder, ^{b)}WG: Water dispersible granule, ^{c)}SG: Water soluble granule, ^{d)}SC: Suspension concentration, ^{e)}AS: Aqueous concentrate for microbial pesticide, ^{f)}SL: Soluble concentrate

Table 2. Summary of inoculation of *E. amylovora* and control agent spraying

Tested years	Apple varieties	Inoculation of <i>E. amylovora</i> TS3128			Spraying date of CAs
		Date	Inoculum (O.D. _{600nm})	Methods	
2021	Fuji (15y)	26 Apr.	0.5	1 flower per tree ^{a)}	27 Apr. 30 Apr.
2023	Hongro (3y)	19 May	0.1	All flower per tree	18 May 21 May

^{a)} Bacterial suspension inoculated 1 flower per tree and then induced by bees (*Bombus agrorum*) to other flowers

생 후지를, 2023년에는 3년생 홍로를 대상으로 하였고 (Table 2), 개화기를 포함한 시험기간 동안에는 살충제나 다른 종류의 살균제를 살포하지 않았다.

시험처리구는 2021년에는 나무당 50개 이상의 화충이 달려 있는 서로 다른 위치에 있는 가지를 2개씩 선정하여 시험구로 정하였고, 각 반복 시험구는 서로 다른 나무에 선정하여 난괴법 3반복으로 시험하였다. 2023년에는 시험 묘목을 4°C의 저온 창고에 보관하다가 약제 처리 4주전에 대형 포트에 심어 관리하였고, 각각 개별 나무를 1개 시험구로 정하여 약제 처리 당 3반복 난괴법으로 배치하여 시험하였다.

접종에 사용한 시험 균주는 *E. amylovora* TS3128 균주를 24시간 TSA (Tryptic soy agar) 배지에 배양 후 이를 멸균수에 희석하여 사용하였다. 병원균 접종은 2021년에는 시험 균주를 O.D._{600nm}=0.5로 희석하여 꽃이 80% 정도 개화한 만개기(4월 26일, Fig. 1A)에 나무 당 1개 꽃의 암술에 10 µl 씩 떨어뜨린 후 뒤영벌(*Bombus agrorum*)을 이용하여 다른 꽃으로의 감염을 유도하였다. 반면 2023년에는 시험 균주를 O.D._{600 nm}=0.1로 희석하여 만개기(5월 19일, Fig 1B)에 나무 전체에 분무 접종하였다. 병원균 접종은 모두 해가 질 무렵부터 시작하여 야간에 시행하였다.

시험 약제는 추천 약량에 맞게 희석 배수(Table 1)에 따라 수돗물에 희석하여 바람이 적어 약제 살포 시 비산이 잘 되지 않는 오전 7시에서 10시 사이에 나무 전체를 대상으로 분무 처리하였다. 약제 처리 시기는 화상병 꽃감염 위험 경보 후 1일 이내 약제 살포를 시작 하는 것으로 가정하여 2021년에는 병원균 접종 후 1일차와 4일차에 3일 간격으로 2회 살포하였다. 2023년에는 화상병 꽃감염 위험 경보를 감염 위험 1일 전에 알려 주도록 시스템이 변경되어 감염 위험 전에 약제를 살포할 수 있기 때문에 이를 가정하여 병원균 접종 전 1일차와 접종 후 2일차에 3일 간격으로 2회 살포하였다(Table 2).

발병 조사

꽃에 나타나는 화상병 병징은 균 접종 후 1-2주 후에 암술 부위나 꽃대가 갈변되기 시작하는 것을 볼 수 있었다 (Fig. 2-A). 화충 중에 1개 이상의 꽃에 병징이 보이는 것을 발병한 것으로 판단하여 접종 3주 후에 시험구의 전체 화충



Fig. 1. Flowering status of apple flowers at the time of inoculation in (A) 2021 and (B) 2023.

Table 3. Classes of disease severity^{a)} of floral cluster of apple

Class	Symptom description
0	Healthy
1	Floral infection
2	Flowers and peduncle infected
3	Flowers and bourse infected
4	Floral cluster, bourse, spur and spur leaves infected
5	Twig connected spur infected

^{a)} Disease severity = <(No. of flower cluster class 1×1) + (No. of class 2×2) + (No. of class 3×3) + (No. of class 4×4) + (No. of class 5×5)>/(No. of total flower cluster×5) × 100

수 대비 발병한 화충 수의 비율을 꽃감염율로 조사하였다. 접종 후 약 3주가 지나면서 과대지와 주변 신초에도 병징이 나타났고(Fig. 2-D), 4주 후에는 과대지가 달린 가지에도 수침상의 병징이 확대되는 것을 볼 수 있었다(Fig. 2-E, F). 본 시험에서는 Peil 등(2019)이 사용한 꽃 병징 등급을 변형하여, 접종 4주 후에 꽃 병징에 등급을 평가하고, 다음 식과 같이 발병도를 조사하였다(Table 3, Fig. 2).

$$\text{발병도} = \{(1\text{등급의 화충 수} \times 1) + (2\text{등급의 화충 수} \times 2) + (3\text{등급의 화충 수} \times 3) + (4\text{등급의 화충 수} \times 4) + (5\text{등급의 화충 수} \times 5)\} / (\text{전체 화충 수} \times 5) \times 100$$

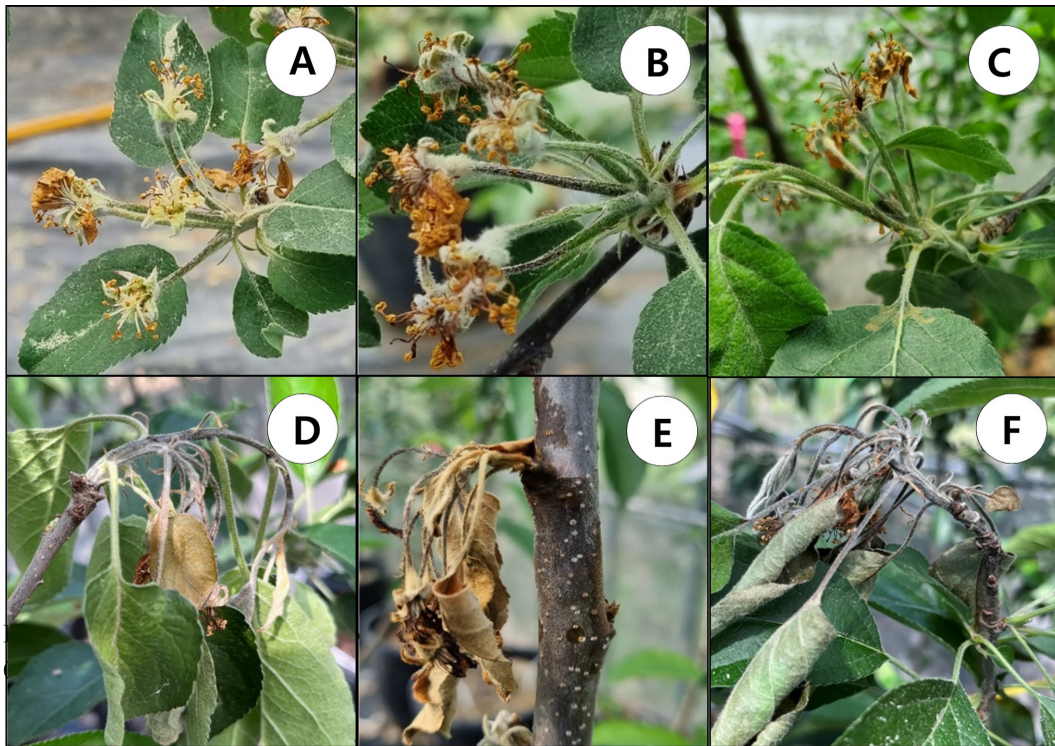


Fig. 2. Symptoms according to the classes of disease severity. (A) class 1, (B) class 2, (C) class 3, (D) class 4, (E, F) class 5.

통계분석

약제별 처리간의 유의미한 차이가 있는지 확인하기 위해 일원분산분석과 Duncan's multiple range test을 수행하였다. 분석 프로그램은 R 프로그램(R-STUDIO_4.2.0)을 사용하였다.

시·군별 화상병 방제 약제 사용 조사

농촌진흥청 농촌지원국의 협조를 통해 화상병이 발생한 시·군의 2021년, 2022년, 2023년 각각 선정, 공급한 개화기 방제 약제 2종에 대한 내역을 제공받았다. 이를 품목별, 특성별로 분류하고 연도별 약제 사용 현황을 분석하였다.

결과 및 고찰

방제 효과 시험

2021년 당시 등록되어 있던 12종의 약제를 대상으로 시험한 결과는 Table 4와 같다. 대조구의 꽃감염율은 59.2%였고, 단계 형태인 스트렙토마이신 수화제와 옥솔린산 수화제의 방제효과는 각각 92.7%, 86.9%로 효과가 우수한 것으로 나타났다. 옥솔린산 입상수화제는 77.9%의 방제효과를 보여 제형에 따라 수치에는 차이가 있는 것으로 보였으나 통계적으로는 차이가 없었다. 또한 옥시테트라사이클린디하이드레이트 입상수화제와 옥시테트라사이클린알킬메틸암모늄 수화제 역시 방제효과는 다소 낮았으나 통계적 유의성을 없는 것으로

나타났다. 반면 합제 중에는 옥솔린산-스트렙토마이신 수화제(10+15)가 92.4%로 가장 높은 방제효과를 보인 반면 다른 합제들은 47.9%-79.7%의 방제효과로 단계들에 비해 방제 효과가 낮은 것을 확인할 수 있었다. 생물농약인 바실루스 서브틸리스큐에스티713 수화제와 바실루스 아밀로리퀴파시엔스 엠비아이600 수화제는 방제효과는 각각 61.5%와 41.3%로 화학농약 대비 그 효과가 매우 낮았다.

2023년에는 총 18개의 약제를 대상으로 시험했는데, 이 시험에서도 2021년과 마찬가지로 단계로는 스트렙토마이신 수화제와 옥솔린산 수화제가 방제효과는 각각 87.1%와 87.4%로 가장 높은 방제효과를 나타내었고 옥시테트라사이클린의 단계 2종은 그 효과가 통계적으로 유의성은 없었으나, 방제효과는 다소 떨어졌다(Table 5). 이는, 옥시테트라사이클린의 작용기작이 '정균 효과'이기 때문에 화상병 방제에 부분적인 효과만 보인다는 보고(McManus and Jones, 1994; Stockwell and Duffy, 2012)와 일치하였다.

옥시테트라사이클린과 스트렙토마이신으로 구성된 합제의 경우 2021년과 2023년 모두 방제효과가 옥시테트라사이클린 단계와 통계적으로 유의한 차이가 없을 뿐만 아니라 스트렙토마이신 수화제와도 통계적으로 유의성이 없었다(Table 4, Table 5). 옥시테트라사이클린과 옥솔린산 합제 역시 옥시테트라사이클린 단계와 그 효과가 차이가 없었고, 옥솔린산 수화제와 비교했을 때도 통계적으로 유의성 있는 차이는 없었다(Table 5). 일반적으로 농약을 합제로 제조하

Table 4. Incidence of blossom blight of fire blight and control value per treatment of CAs

Treatments (Control agents)	Blossom blight incidence (%)		Control efficacy ^{a)} (%)
Streptomycin WP	4.3 ± 3.7 ^{b)}	d ^{c)}	92.7
Streptomycin + Validamycin A WP	22.6 ± 22.7	bc	61.9
Oxytetracyclinedihydrate WG	18.9 ± 9.9	bcd	68.1
Oxytetracycline calcium alkeylmethylammonium WP	16.2 ± 6.2	bcd	72.7
Oxytetracycline calcium alkeylmethylammonium + Streptomycin WP	13.8 ± 12.8	bcd	76.6
Oxytetracycline hydrochloride + Streptomycin SG	12.0 ± 4.2	cd	79.7
Oxolinic acid WP	7.8 ± 8.4	cd	86.9
Oxolinic acid WG	13.1 ± 1.0	cd	77.9
Oxolinic acid + Streptomycin WP(10 + 15)	4.5 ± 4.0	d	92.4
Oxolinic acid + Streptomycin WP(17 + 3)	30.8 ± 21.4	b	47.9
<i>Bacillus subtilis</i> QST713 WP	22.8 ± 14.1	bc	61.5
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> MBI 600 WP	31.2 ± 29.2	b	47.3
Water treated control	59.2 ± 13.9	a	-

^{a)} Control efficacy = (% blossom blight incidence of water control - % blossom blight incidence of treatment)/% blossom blight incidence of water control × 100 (%)

^{b)} Means ± SD, ^{c)} Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level

Table 5. Incidence of blossom blight, disease severity of fire blight and control value per treatment of CAs

Treatments (Control agents)	Blossom blight incidence (%)		Disease severity of flower clusters (%)		Control efficacy ^{a)} (%)
Streptomycin WP	15.1 ± 3.38 ^{b)}	gh ^{c)}	12.3 ± 3.35	g	87.1
Streptomycin + Validamycin A WP	33.9 ± 11.77	cdefg	31.8 ± 15.31	cdef	66.6
Oxytetracyclinedihydrate WG	17.1 ± 1.91	fgh	27.3 ± 2.53	defg	71.3
Oxytetracycline calcium alkeylmethylammonium WP	19.6 ± 4.08	efgh	24.8 ± 5.14	defg	73.9
Oxytetracycline calcium alkeylmethylammonium + Streptomycin WP	12.7 ± 4.07	h	19.1 ± 2.02	fg	79.9
Oxytetracycline hydrochloride + Streptomycin SG	17.9 ± 8.35	fgh	20.9 ± 14.83	efg	78.1
Oxolinic acid WP	13.1 ± 11.77	h	12.0 ± 10.78	g	87.4
Oxolinic acid WG	36.4 ± 19.94	bcdef	32.0 ± 19.43	cdef	66.4
Oxolinic acid + Streptomycin WP(10 + 15)	13.5 ± 2.76	h	16.0 ± 7.85	fg	83.2
Oxolinic acid + Streptomycin WP(17 + 3)	16.3 ± 9.66	gh	17.3 ± 13.47	fg	81.9
Oxolinic acid + Oxytetracyclinedihydrate WG	24.1 ± 7.80	defgh	26.5 ± 11.91	defg	72.2
<i>Bacillus subtilis</i> QST713 WP	54.4 ± 30.93	ab	51.6 ± 26.30	b	45.8
<i>Bacillus subtilis</i> QST713 SC	42.1 ± 18.34	bcd	42.3 ± 20.75	bcd	55.6
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> MBI 600 WP	37.6 ± 2.52	bcde	47.6 ± 11.88	bc	50.0
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> D747 WG	44.6 ± 4.04	bcd	40.6 ± 9.14	bcde	57.3
Bacteriophage active against <i>Erwinia amylovora</i> AS	54.7 ± 11.66	ab	52.1 ± 11.74	b	45.3
Acibenzolar-S-methyl WG	43.4 ± 20.84	bcd	47.8 ± 16.1	bc	49.8
BLAD SL	44.5 ± 4.51	bc	47.9 ± 18.05	bc	49.7
Water treated control	66.4 ± 18.07	a	95.21 ± 5.42	a	-

^{a)} Control efficacy = (% disease severity of water control - % disease severity of treatment)/% disease severity of water control × 100 (%)

^{b)} Means ± SD, ^{c)} Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level

는 것은 이들 약제의 상승 효과나 서로 다른 병해충을 동시에 방제하는 것을 목적으로 하고 있는데, 본 시험에서는 옥시테트라사이클린과 합제로 구성된 약제들은 단제에 비해

낮거나 비등한 방제 효과를 보였다. 이는 합제 사용으로 인해 방제효과는 상승되지 않으면서, 오히려 항생제 성분이 함유되어 저항성을 유도할 가능성이 있기 때문에 이들의 사

용에 대한 심도 있는 고려가 필요할 것으로 사료된다. 미국에서는 옥시테트라사이클린이 효과가 낮음에도 불구하고싼 가격 때문에 여전히 사용되고 있고, 항생제 저항성 관리 전략의 하나로 이용되고 있다(Johnson et al., 2023). 국내에서는 아직 화상병균에 대한 스트렙토마이신 등의 약제 저항성이 보고되지 않았지만, 화상병균과 유사한 가지검은마름병균에서는 이미 보고되었기 때문에(Lee, et al., 2023), 국내 화상병의 저항성균 출현을 사전에 예방하기 위한 전략이 필요할 것으로 사료된다. 따라서, 우리나라에서도 약제저항성 화상병균 출현에 대비하여 옥시테트라사이클린 단제를 대안으로 고려하여 구체적인 처리 방법에 대한 연구가 필요할 것이다. 뿐만 아니라 미국에서는 가스가마이신 역시 스트렙토마이신 저항성 대체용 약제로 사용되고 있는 반면에(Adaskaveg et al.; McManus and Jones, 1994) 국내에는 개화기 전에 살포하기 위한 동제의 합제로 등록되어 있는 실정이다. 따라서 방제효과가 우수한 스트렙토마이신이나 옥솔린산에 대한 저항성균의 출현에 대비한 관리 전략으로서 가스가마이신을 개화기 사용 농약으로 등록하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

옥솔린산의 경우 수화제와 입상수화제 2종이 등록되어 있는데, 이들의 화상병 방제효과는 2021년에는 통계적으로 차이는 없었지만, 2023년에는 수화제가 방제가 86.9%로 옥솔린산 입상수화제의 66.4%보다 통계적으로 유의성 있게 높았다(Table 5). 이는 살균제의 제형에 따라 방제효과가 다르다는 연구들(Pan et al., 2021; Mustafa and Hussein, 2020)을 뒷받침하는 결과로, 화상병에 대해서도 제형에 따른 방제 효과의 차이에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2023년에는 미생물제 3종, 박테리오파지 제품 1종, 유도저항성 제품 1종, 및 추출물 제품 1종을 추가하여 시험하였다. 생물 농약의 경우 2021년과 마찬가지로 방제 효과가 낮았는데, 바실루스서브틸리스큐에스티 713 액상수화제와 바

실루스아밀로리퀴파시엔스747 입상수화제를 제외한 모든 처리구에서 50% 이하의 방제가를 나타냈다(Table 5). 이런 미생물농약들은 미국에서도 45~62% 정도의 방제효과를 보였는데(DuPont, et al., 2023), 본 시험에서도 이와 유사한 결과를 나타냈다. 하지만, 미생물제는 약제에 따라 직접 살균력을 보이는 것도 있지만 유도저항성을 가지는 약제 등도 있기 때문에 처리 시기 등 그 방법에 대한 정밀한 실험이 필요할 것으로 사료된다.

시·군별 화상병 방제 약제 사용 현황 분석

2021년부터 2023년까지 화상병 발생 시군에서 과수 농가에 지원했던 화상병 방제 농약을 분류한 결과 항생제 등 화학농약의 사용 비율이 2021년 66.7%에서 2023년 52.1%로 점차 감소하는 추세였고, 미생물제나 저항성유도제 등의 사용 비율이 증가하였다(Table 6). 국내에서는 스트렙토마이신이 샤인머스켓 포도의 씨를 없애는 생장조정제로 사용되고 있는데, 이것이 사과나 배의 수정에 문제를 일으킬 수 있다는 우려로 농가들이 스트렙토마이신 등 화학농약을 개화기에 살포하는 것을 기피하고 있으며, 더욱이 항생제를 처리할 경우 약해가 나타날 수 있다는 농가의 부정적 인식이 개화기 화학농약 사용 감소의 주 원인으로 사료된다.

농촌진흥청에서는 사과와 배 개화기에 화상병의 꽃감염 위험 예측정보에 따라 약제방제를 할 수 있도록 권고하고 있으며(Namkung and Yun, 2023), 본 연구의 결과 국내에 등록된 약제의 방제 효과는 미생물제보다 항생제에서 더 높았다. 2019년 국내에서 화상병이 대 발생한 원인 중 하나는 꽃감염 위험 시기에 적기 방제를 하지 않은 것으로 밝혀졌으며(Ham et al., 2020), 스트렙토마이신 등 방제효과가 높은 항생제라도 병원균의 꽃감염이 이미 이루어진 날로부터 3일 후에 처리하면, 그 효과가 매우 저하될 수 있다(Shtienberg et al., 2001). 결과적으로 국내 농가들의 화학농약에 대한 부정적인 인식에 따른 개화기 항생제 사용 기피

Table 6. Number of cities according to the type of control agents for fire blight on blooming stage of pear and apple in Korea from 2021 to 2023

Years	Spraying times	No. of cities according to the type of control agents		
		Chemical	Biotic	Others ^{a)}
2021	First	6	9	-
	Second	14	1	-
	Sum	20(66.7%)	10(33.6%)	-
2022	First	6	12	1
	Second	15	2	2
	Sum	21(55.3%)	14(36.8%)	3(7.9%)
2023	First	9	14	1
	Second	16	4	4
	Sum	25(52.1%)	18(37.5%)	5(10.4%)

^{a)} Acibenzolar-S-methyl, prohexadion-calcium

현상은 화상병에 대한 방제 효과를 감소시켜 화상병의 폭발적 증가를 야기할 수 있다. 따라서, 화상병을 예방하기 위해서는 방제효과가 높은 약제를 적기에 살포할 수 있도록 과학적 근거에 의해 농업인을 설득하고, 지도하는 것에 농촌 지도기관이 보다 적극적으로 나설 것을 제안한다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제명: 과수화상병 발생지 격리시설에서 화상병의 확산 경로와 방제 효과 구명, RS-2021-RD009082)의 지원을 받아 수행되었음.

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Author Information and Contribution

Yong Hwan Lee, Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Experiment design, Writing, editing, <http://orcid.org/0000-0002-1721-991X>

Hyeonheui Ham, Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, Field test, draft editing, <http://orcid.org/0000-0002-4795-1773>

Mi-Hyun Lee, Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, Draft review

Eunjung Roh, Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, Field test

Woohyung Lee, Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, Field test

Hyo-Won Choi, Disaster Management Division, Extension Service Bureau, Rural Development Administration, Draft editing

Mi Suk Yang, Disaster Management Division, Extension Service Bureau, Rural Development Administration, Pesticides investigation

Literature cited

Adaskaveg JE, Förster H, Wade ML, 2011. Effectiveness of kasugamycin against *Erwinia amylovora* and its potential use for managing fire blight of pear. *Plant Dis.* 95(4):448-

454.

DuPont ST, Cox K, Johnson K, Peter K, Smith T, et al., 2023. Evaluation of bipesticides for the control of *Erwinia amylovora* in apple and pear. *J. Plant Pathol.* DOI 10.1007/s42161-023-01372-7

Ham H, Lee KJ, Hong SJ, Kong HG, Lee M-H, et al., 2020. Outbreak of fire blight of apple and pear and its characteristics in Korea in 2019. *Res. Plant Dis.* 26(4):239-249. (In Korean)

Johnson, KB, Stockwell, VO, 1998. Management of fire blight: A case study in microbial ecology. *Ann. Rev. Phytopathol.* 36:227-248.

Lee M-H, Ham H, Choi, H-W, Park DS, 2023. Isolation of streptomycin-resistance *Erwinia pyrifoliae* in Korea. *Plant Disease* 107(3):616-619.

Lee M-H, Ji S, Ham H, Kong H, Park DS, et al., 2021. First report of fire blight of Apricot (*Prunus armeniaca*) caused by *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Dis.* 105(3):696.

Lee MS, Lee I, Kim SK, Oh C-S, Park DH, 2018. In vitro screening of antibacterial agents for suppression of fire blight disease in Korea. *Res. Plant Dis.* 24(1):41-51. (In Korean)

Lim Y-J, Oh H., Lee M-H, Roh E, Ham H, et al., 2023a. First report of fire blight caused by *Erwinia amylovora* on Korean Mountain Ash (*Sorbus alnifolia*) in Korea. *Res. Plant Dis.* 29(1):79-81. (In Korean)

Lim Y-J, Ham H, Lee M-H, Park DS, Roh E, et al., 2023b. First report of fire blight on chinese hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) caused by *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Dis.* 107(10):3275.

McManus, PS, Jones, AL, 1994. Epidemiology and genetic analysis of streptomycin-resistant *Erwinia amylovora* from Michigan and evaluation of oxytetracycline for control. *Ecology and Epidemiology.* 84(6):627-633.

Myung I-S, Lee J-Y, Yun M-J, Lee Y-H, Lee Y-K, et al., 2016a. Fire blight of apple, caused by *Erwinia amylovora*, a new disease in Korea. *Plant Dis.* 100(8):1774.

Myung, I-S, Yun, M-J, Lee, Y-H, Kim, G-D, Lee, Y-K, 2016b. First report of fire blight caused by *Erwinia amylovora* on Chinese quince in South Korea. *Plant Dis.* 100(12):2521.

Mustafa IF, Hussein MZ, 2020. Synthesis and technology of nanoemulsion-based pesticide formulation. *Nanomaterials* 10(8):1608.

Namkung K-B, Yun SC, 2023. Improvement of fire blight blossom infection control using *Maryblyt* in Korean apple orchards. *Plant Pathol. J.* 39(5):505-512.

Pan S, Cao H, Li B, Zhang D, Mu W, et al., 2021. Improving the efficacy against crop foliage disease by regulating fungicide adhesion on leaves with soft microcapsule. *Pest Manag. Sci.* 77(10):4418- 4424.

Park DH, Yu J-G, Oh E-J, Han K-S, Yea MC, et al., 2016. First report of fire blight disease on Asian pear caused by *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Dis.* 100(9):1946-1946.

- Park DH, Lee YG, Kim JS, Cha JS, Oh CS, 2017. Current status of fire blight caused by *Erwinia amylovora* and action for its management in Korea. J. Plant Pathol. 99(Special issue):59-63.
- Park IW, Song Y-R, Trung Vu N, Oh E-J, Hwang IS, et al., 2022. Monitoring the reoccurrence of fire blight and the eradication efficiency of *Erwinia amylovora* in burial sites of infected host plants using sentinel plants. Res. Plant Dis. 28(4):221-230. (In Korean)
- Peil A, Hübert C, Wensing A, Horner M, Emeriewen OF, et al., 2019. Mapping of fire blight resistance in *Malus × robusta* 5 flowers following artificial Inoculation. BMC Plant Biology 19:532.
- Shtienberg D, Zillberstaine M, Oppenheim D, Herzog Z, Manulis S, et al., 2001. Efficacy of oxolinic acid and other bactericides in suppression of *Erwinia amylovora* in pear orchards in Israel. Phytoparasitica 29(2):143-154.
- Slack SM, Zeng Q, Outwater CA, Sundin GW, 2017. Microbiological examination of *Erwinia amylovora* exopolysaccharide ooze. Phytopathology 107(4):403-411.
- Stockwell VO, Duffy B, 2012. Use of antibiotics in plant agriculture, Rev. Sci. Tech. 31(1):199-210.
- Van der Zwet T, Orolaza-Halbrendt N, Zeller W, 2012. Fire blight: History, biology, and management, APS press, Minnesota, USA. Pp.460.

국내 과수화상병 등록 약제의 사과나무 개화기 방제 효과

함현희 · 이미현 · 노은정 · 이우형 · 최효원¹ · 양미숙¹ · 이용환*

국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과, ¹농촌진흥청 농촌지원국 재해대응과

요 약 과수화상병은 2015년 국내 처음 보고된 이후로 사과와 배 산업에 경제적으로 큰 피해를 주고 있다. 화상병균은 국내에서 금지급 검역병원체로 지정되어 있기 때문에 일반 포장에서는 방제 시험이 금지되어 있다. 이에 따라, 외국에서 화상병 방제용으로 사용되는 농약 중에 국내에 이미 사과와 배의 다른 병해에 등록된 농약을 대상으로 약해 시험만을 거쳐 화상병 방제용 농약으로 등록하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 2021년과 2023년에 걸쳐 국내에 등록된 화상병 약제 18종을 대상으로 약효 시험을 수행하였는데, 금지급 검역병원체 관리 규정 상 농촌진흥청에서 운영하는 LMO 안전관리 규정에 따라 건립한 격리하우스에서 사과 개화기에 맞춰 시험하였다. 2021년에는 15년생 후지 품종을 대상으로 만개기에 나무 당 꽃 한송이에 화상병균(O.D._{600nm} = 0.5)을 나무 당 1개꽃의 암술에 10 µl씩 떨어뜨려 접종한 후, 수정벌(*Bombus agrorum*)을 이용하여 다른 꽃으로 전염되도록 자연 감염을 유도하였다. 약제 살포는 접종 후 1일과 4일에 2회 처리하였고, 약효는 접종 후 21일에 꽃감염율을 조사하였다. 2023년에는 3년생 홍로 품종을 대상으로 만개기에 화상병균을(O.D._{600nm} = 0.5) 꽃 전체에 접종하였다. 약제 처리는 접종 전 1일과 접종 후 2일 3일간격으로 2회 경엽 살포하였고, 접종 후 21일에 꽃감염율과 28일에 꽃발병도를 조사하였다. 그 결과, 스트렙토마이신, 옥시테트라사이클린, 옥솔린산이 포함된 약제는 대부분 방제가 70% 이상으로 효과가 높았다. 반면, 미생물제와 박테리오파지 처리구 등은 방제가 47.3-59.3%로 그 효과가 높지 않았다.

색인어 사과, 방제약제(CAs), *Erwinia amylovora*, 화상병