

과제구분	어젠다	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
검역 및 세균성 병해 확산방지 기술 개발		작물보호	'20~'24	농업기술원 환경농업연구과	최종윤
배나무 화상병 발생지 격리시설에서의 화상병 방제효과 시험		작물보호	'21~'24	농업기술원 환경농업연구과	최종윤
색인용어	배, 화상병, <i>Erwinia amylovora</i> , 방제 약제				

ABSTRACT

Fire blight has significantly impacted the apple and pear industries worldwide. Since its first report in Korea in 2015, the disease has caused enormous economic losses in apple and pear production. *Erwinia amylovora* has been designated as a prohibited quarantine pathogen in Korea. Control agents (CAs) registered in Korea for other plant diseases of apples and pears, which are also used abroad to control fire blight, are now being registered as fire blight control agents in Korea. In this study, we analyzed infection factors and conducted field screening of registered control agents for fire blight in pears during the flowering and vegetative periods. The experiments were conducted in an isolated house built in compliance with the LMO safety management regulations operated by the Rural Development Administration in Anseong from 2021 to 2024. In flowers, fire blight symptoms became visible on the 11th day after inoculation. A three-day cross-spraying treatment with oxytetracycline, streptomycin, and oxolinic acid effectively controlled fire blight during the flowering period, achieving a control value of 94.4%. During the growing season, foliar spraying of a combination of oxytetracycline and streptomycin was the most effective for controlling fire blight, with a control value of 81.8%.

Keywords: Pear, Fireblight, *Erwinia amylovora*, Control agent

1. 연구목표

화상병은 미국, 캐나다, 남미, 뉴질랜드, 유럽, 북아프리카, 중동, 러시아, 아시아 등지에 퍼져 전 세계적으로 사과 및 배 산업에 큰 영향을 미치고 있다(Bonn 등, 2000; van der Zwet et al., 2012; Drenova 등, 2013). 이러한 화상병은 우리나라 식물방역법상 금지급 검역병으로 지정되어 있는데, 화상병이 발생하면 해당 과원의 발병한 나무를 제거하거나 과원 전체를 폐원하는 공적 방제를 실시하고 있다(Park 등, 2022). 국내에서는 2015년도에 배나무(Park 등, 2016)와 사과나무(Myung 등, 2016)에서 처음 발견이후, 경기도와 충청도를 중심으로 2019년 경기도 연천, 2021년 경상북도 안동, 그리고 2023년 경기도 양평을 포함한 전국 24개 지역으로 빠르게 확산하였다(Ham 등, 2020; Park 등, 2022). 화상병의 원인균인 *Erwinia amylovora*는 궤양에서 월동하여 봄에 궤양 주변으로 누출된 세균액을 곤충 등이 꽃으로 옮겨 꽃감염의 전염원이 된다(van der Zwet et al., 2012). 미국에서는 개화기에 항생제를 살포하여 감염을 차단하는 방법이 가장 보편적인 방제 방법으로 알려져 있다(Johnson 등, 1988). 따라서 화상병균의 꽃 감염을 예방하기 위해서는 화상병 꽃감염 위험 예측 정보에 따라 약제를 살포하는 것이 필요하다.(Namkung 등, 2023). 국내 배 화상병 방제로 등록된 약제는 스트렙토마이신 수화제 같은 항생제와 미생물제, 동제 등 32종이다. 이러한 약제들은 농촌진흥청에서는 외국에서 화상병 방제용으로 사용되는 농약 중에 국내에 이미 사과와 배의 다른 병해에 등록된 농약을 약해시험 만을 거쳐 화상병 방제용 농약으로 직권 등록하여 사용하고 있다(Lee 등, 2018). 그러나 농업 현장에서는 등록된 약제들의 방제 효과에 대해 의문을 제기하면서 이들 약제에 대한 방제 효과 검증을 요구하는 의견이 많은 실정이다. 이에 사과의 경우 2021년, 2023년 2년에 걸쳐 개화기 사과 화상병에 등록된 약제 18종에 대해 방제효과 검정을 수행하였다(Ham 등, 2023). 그러나 배 화상병 등록 약제에 대해서는 약효가 검증되지 않아, 국내 실정에 맞는 약제 선별, 처리 시기 및 방법 등에 대한 검토가 필요한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 간이 격리시설에서 배나무에 대한 화상병균 감염 요인을 분석하고 개화기 및 생육기 방제에 적합한 약제와 처리 방법을 선별하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 격리 시험포장 병해충 및 배 화상병 발생 특성조사

'21년 7월 안성시 보개면 소재 국립한경대학교 배 과수원의 과수화상병 간이 격리 시설 설치전 배나무 병해충 발생 조사를 하였다. 조사대상 병해는 검은별무늬병, 붉은별무늬병, 가지마름병, 화상병이며 육안으로 대상 병해 증상을 전수 조사하여 발생주율을 기록하였다. 조사대상 해충은 꼬마배나무이, 복숭아순나방, 복숭아심식나방, 복숭아유리나방을 조사하였다. 꼬마배나무이는 육안조사로 발생밀도를 조사하였고, 복숭아순나방, 복숭아심식나방, 복숭아유리나방은 델타형 성페로몬 트랩((주)그린아그로

텍, Korea) 및 동일 제조사 해충별 성페로몬 루어를 활용하여 '21년 8월 20일 부터 7일 간격으로 5회 포획수를 기록하였다. 성페로몬 트랩에 포획된 복숭아순나방 개체의 종판별은 복숭아순나방은 뒷날개 중앙에서부터 하단부 가장자리까지 회황색의 패턴이 뚜렷하지만 복숭아순나방붙이는 뒷날개의 중앙부터 하단부 가장자리까지 회황색 패턴이 없는 특징으로 구분하였다(Jung 등, 2012; Choi 등, 2009).

나. 개화전 약제 방제효과 검정

동제처리 방제효과 검정은 '23년 10월, '24년 3월 2회에 걸쳐 수행하였다. '23년 10월에는 화상병균 배양액을 신초 접종 후 동제처리 방제효과 검정을 하였다. 시험균주는 국내 분리된 *E. amylovora* TS3128 균주를 농촌진흥청으로 부터 분양받아 활용하였다. 접종방법은 화상병균 배양액(10^7 cfu/ml)에 침지한 전정가위로 신고배 3년생 묘목 신초에 접종 전후 1일차에 코퍼하이드록사이드 수화제 등 배 화상병에 등록된 7종의 동제를 엽면 살포하였다. 접종 후 3주까지 접종엽 및 주변 가지로 화상병 발생을 조사하였다. '24년 3월에는 발아기~전엽기 사이의 꽃눈에 화상병균 배양액(5×10^6 cfu/ml) 접종 전 후 3, 7일차에 코퍼설페이트펜타하이드레이트 액상수화제 등 9종의 동제를 엽면살포 하였다. 접종 후 4주까지 접종엽 및 주변 가지로 화상병 발생을 조사하였다.

생육기 방제효과 검정은 '24년 9월 신초에 화상병균 배양액(10^7 cfu/ml)에 침지한 전정가위로 신고배 3년생 묘목 신초에 접종 후 1일차에 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄+스트렙토마이신황산염 수화제 등 4종의 약제를 엽면 살포하였다. 발병률 조사는 접종 4주차까지 1주일 간격으로 전체 접종 신초 중 화상병 감염 신초 병징을 보이는 신초 비율로 발병률을 기록하였다.

다. 개화기 화상병균 감염 요인 분석

화상병균 처리 농도별 꽃 발병률과 발병도 조사를위해 병원균 접종은 화상병균을 tryptic soy broth(TSB) 배지에 24시간 동안 배양한 뒤 10^9 cfu/ml의 농도로 균 현탁액을 제조하였다. 균 현탁액을 멸균수에 10배씩 희석하여 10^{5-9} cfu/ml의 농도로 만들어 신고배 3년생 묘목 화기에 분무 처리하였다. 접종 후 1주일 간격으로 4주간 꽃에서의 화상병 발병률과 발병도를 조사하였다. 발병률은 전체 화총 수 대비 감염 화총 수의 비율로 조사하였다. 발병도 등급은 이 등(2023)이 사용한 꽃 감염 병징부터 연결 가지 수침상 증상을 1~5단계로 구분하여 조사하였다(그림 1, 표 1).

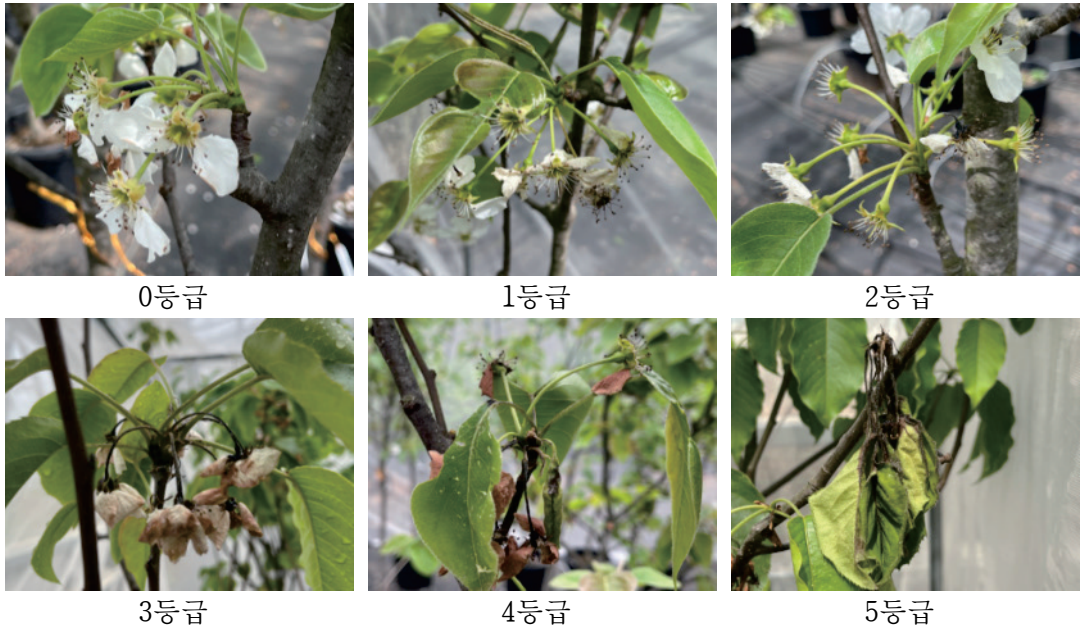


그림 1. 꽃 발병도 등급별 병징

표 1. 꽃 발병도 등급별 병징

발병도 등급	병징
0	건전
1	꽃 감염
2	꽃, 화경 감염
3	꽃, 과대아 감염
4	화총, 주변 신초 수침상 증상
5	연결 가지 수침상 증상

※ 꽃 발병도 = [(1등급 화총 수×1) + (2등급 화총 수×2) + (3등급 화총 수×3) + (4등급 화총 수×4) + (5등급 화총 수×5)] / (전체 화총 수×5) × 100

신고배와 신화배의 신초에서 화상병 저항성 실험은 각 품종별 3년생 묘목을 사용하였다. 병원균 접종은 화상병균을 TSB 배지에 24시간 동안 배양한 뒤 10^9 cfu/ml 농도로 균 현탁액을 제조하였다. 균 현탁액을 멸균수에 10배씩 희석하여 10^{3-9} cfu/ml의 농도로 만들어 배양액에 침지한 전정가위로 품종별 신초말단에 절단 상처 접종하였다. 발병률은 접종일 2주, 4주 후 육안상 화상병 감염 증상 유무를 조사하였다.

간이 격리시설 내부 해충에서 화상병균 조사는 격리시설 내부에 설치된 황색끈끈이트랩((주)그린아그로텍, Korea)에 채집된 해충을 대상으로 TSB배지 100ml에 24시간 배양하였다. 배양 Real-time PCR kit(과수화상병/가지검은마름병 검출 kit, Nanohelix, Korea)를 이용하였다. PBS buffer 추출 상청액과 TSB배지에 24시간 배양한 상청액 1ul를 PCR 주형으로 사용하였다. 정량증폭 조건은 95℃ 5분, 40 cycles 95℃ 10초, 60℃ 30초로 하였고, Ct값 35 cycle 이하에서 증폭 반응을 양성으로 평가하였다.

전정가위에 의한 가지감염 발병 조사는 '22년 7월에 수행하였다. 화상병 감염 가지 절단에 사용한 전지가위와 화상병균 배양액(10^{1-9} cfu/ml) 접종 전지가위로 신고배 3년생 묘목 가지에 상처 접종 후 45, 86일차에 가지 절단면으로부터 병징발현 길이를 조사하였다. 동일한 방법으로 가지 상처 접종 후 도포제(톱신페스트, 경농) 처리 유무에 따른 병징발현 길이를 조사하였다.

라. 개화기 방제약제 선발

꽃 감염 위험시기를 활용한 적기에 약제를 살포하는 예측방제의 방제효과 조사에서 관행방제를 대조구로 하였다. 화상병균을 TSB 배지에 24시간 동안 배양한 뒤 10^9 cfu/ml의 농도로 균 현탁액을 제조하였다. 균 현탁액을 멸균수에 200배 희석하여 5×10^6 cfu/ml의 농도로 만들어 신고배 3년생 묘목 화기에 분무 처리하였다. 예측방제는 화상병균 접종 1일, 5일차에 약제를 살포하였고, 관행방제는 화상병균 접종 5일, 15일차에 살포하였다. 격리시설 환경특성은 경기도 농업기상과 병해충 시스템(<http://nongupepi.gg.go.kr>)에서 제공하는 기상자료와 일별 기상자료를 사용하였다. 꽃감염 위험도는 농촌진흥청 과수화상병 예측 서비스(<https://monitor.fireblight.org>)에서 제공하는 꽃 감염 위험시기 정보일을 이용하였다. 발병률 및 방제가는 화상병균 접종 18일 후 조사하였다.

단일약제 2~3종을 교호처리하는 체계처리 방제효과 조사에서 병원균 접종은 화상병균을 TSB 배지에 24시간 동안 배양한 뒤 10^9 cfu/ml의 농도로 균 현탁액을 제조하였다. 균 현탁액을 멸균수에 1,000배 희석하여 10^6 cfu/ml의 농도로 만들어 신고배 3년생 묘목 화기에 분무 처리하였다. 화상병균 접종 및 각 체계처리별 약제 처리 시기는 표 2와 같이 수행하였다. 접종 2주 후 부터 1주일 간격으로 4주까지 꽃 발병률 및 발병도를 조사하였다. 접종 4주차에 발병률 및 발병도를 기준으로 방제가를 조사하였다. 약해 조사는 간이 격리시설 내부의 신고배 25년생 성목에 약제 처리 후 10월 17일에 처리구별 과실을 수확하여 과실무게, 당도 및 외관상 약해 유무를 조사하였다.

표 2. 개화기 방제약제 선발을 위한 체계처리 방법

처리내용			-1일	개화 30~40% 104cfu/ml	1차 접종 후 일수					
					1일	2일	3일 개화 90% 106cfu/ml		4일	5일
A	체계처리 3회_A	▲			●	2차 접종		■		
B	체계처리 3회_B	▲	1		●		■			
C	체계처리 2회_3일 간격	▲	차		●					
D	체계처리 2회_5일 간격	▲	접					●		
E	대조 1		중	●				●		
F	대조 2			●					●	
G	무처리									

※ 옥시테트라사이클린 임상수화제(34%, ▲), 스트렙토마이신 수화제(20%, ●), 옥솔린산 수화제(20%, ■)

3. 결과 및 고찰

가. 격리 시험포장 병해충 및 배 과수화상병 발생 특성조사

한경대 배 과수원은 신고 품종 배나무 152주가 12줄로 식재되어 있었다. 병해충 발생 조사 결과 화상병은 총 6주가 발생하였으며, 대부분 과수원 앞쪽에 부분적으로 발생하였고 신초 부위가 감염되었다(표 3, 그림 2, 3). 페르몬 트랩을 이용한 해충 발생 현황은 복숭아순나방, 복숭아심식나방이 거의 유사한 밀도로 발생하였으며 복숭아유리나방은 상대적으로 낮은 밀도로 발생하였다(그림 4).



과수화상병

가지마름병

적성병

후성병

꼬마배나무이

그림 2. 격리시설 배나무 병해충 발생모습

표 3. 격리시설 배나무 병해충 발생현황(※ 전체 152주)

구 분	과수화상병	가지마름병	적성병	흑성병	꼬마배나무이
발생주율(%)	3.9	4.5	4.5	75.3	100



화상병 발생 주수 및 위치(6주)



동고병 발생 주수 및 위치(9주)

그림 3. 배 과수원 발생 병해주수 위치

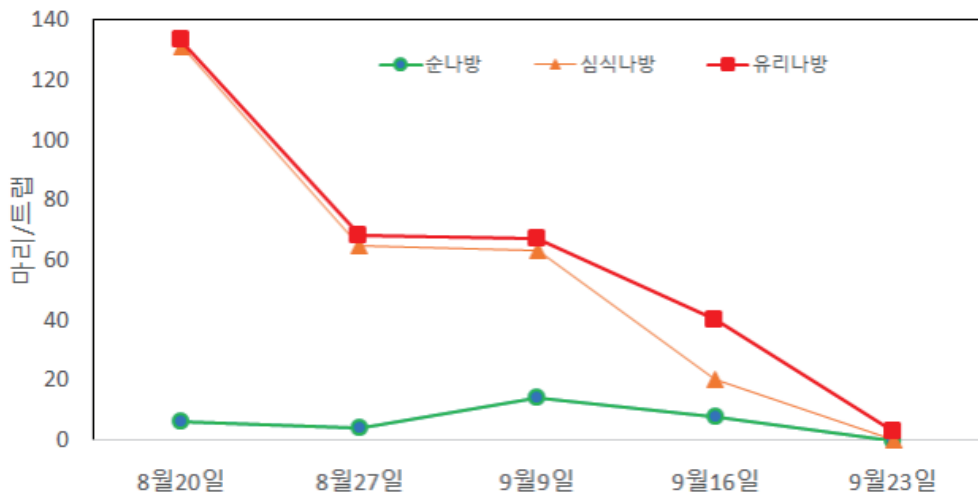


그림 4. 배 과수원 시기별 나방류 발생 현황

나. 개화전 약제 방제효과 검정

'24년 3월 개화전 발아기에서 전엽기 사이의 꽃눈에 화상병균 접종 후 4주차 까지 동제 처리구 및 무처리구에서 감염 병징이 보이지 않아 방제효과 조사가 부적합 하였다(그림 5).



시험구



접종시기 꽃눈 상태
(발아기와 전엽기 사이)



접종 4주 후 무처리구

그림 5. 개화 전 접종실험 시험구 모습

생육기 방제효과 검정은 박테리오파지(5.0×10^{12} pfu/L) 등 4종의 약제를 대상으로 방제가를 조사한 결과, 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄+스트렙토마이신황산염 수화제 처리시 81.8%의 방제가를 보였다(표 4). 무처리구는 접종 1주차 부터 4주차 까지 73%의 높은 발병률을 보였으며, 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄+스트렙토마이신황산염 수화제는 접종 4주차까지 13%의 낮은 발병률을 보였다(그림 6, 7).

표 4. 생육기 약제별 방제효과 결과

처리내용	발병률(%)				유의차 (DMRT)	방제가 (%)
	1반복	2반복	3반복	평균		
박테리오파지(5.0×10^{12} pfu/L)	80	40	40	53.3	ab	27.3
옥시테트라사이클린 다이하이드레이트 입상수화제(34%)	40	40	20	33.3	bc	54.5
옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸 암모늄 수화제(17%)	40	60	20	40.0	bc	45.5
옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸 암모늄+스트렙토마이신황산염 수화제(20.3(1.5+18.8)%)	40	-	-	13.3	c	81.8
무 처 리	80	60	80	73.3	a	-
CV(%)	-----36.8					

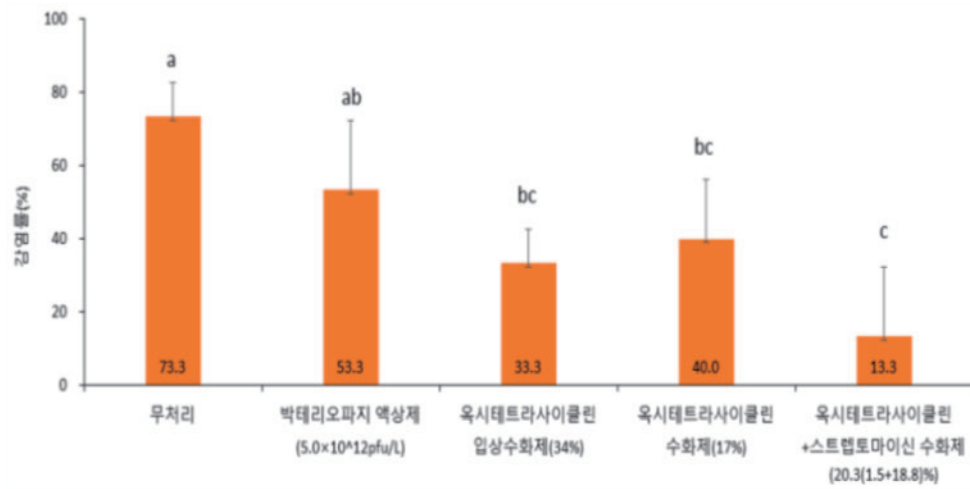


그림 6. 처리별 화상병균 신초 감염률

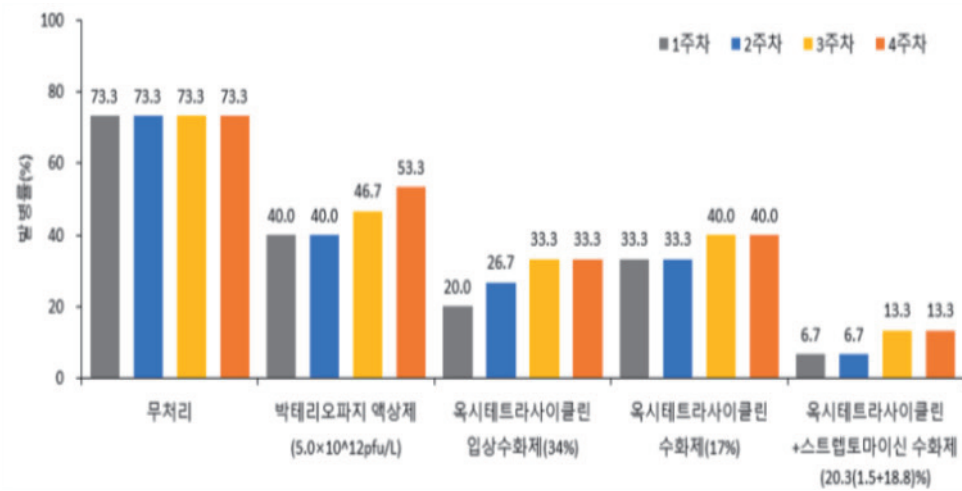


그림 7. 시기별 화상병균 신초 발병률



다. 개화기 화상병균 감염 요인 분석

꽃에 화상병균 배양액을 분무 접종 후 육안으로 보이는 병징을 4주간 조사한 결과 10^7 cfu/ml 이상 농도는 접종 2주 차부터 90% 이상의 발병률을 보였다(그림 8). 꽃 병징에 따른 발병도는 접종 농도가 높을수록 초기 발병도가 높았으며, 접종농도가 10^7 cfu/ml 에서는 접종 4주후 대부분이 발병도 5등급의 증상이 나타났다(그림 9). 꽃에서의 방제효과 실험간 무처리구의 최소 발병률을 넘기 위해서는 10^6 cfu/ml 농도가 적합한 것으로 판단된다. 화상병균 처리 농도별 시기에 따른 꽃감염 증상은 접종 8일차에는 뚜렷한 병징을 보이지 않았다. 접종 11일차에 10^5 cfu/ml 접종 처리구에서 발병도 2등급의 꽃, 화경 감염 병징을 보였으며, 10^{7-9} cfu/ml 접종 처리구에서 발병도 4등급의 병징을 보였다(그림 10). 개화기 꽃감염 예찰시에는 꽃 감염위험 3단계 이상 발생 11일 이후 예찰시 감염 증상을 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

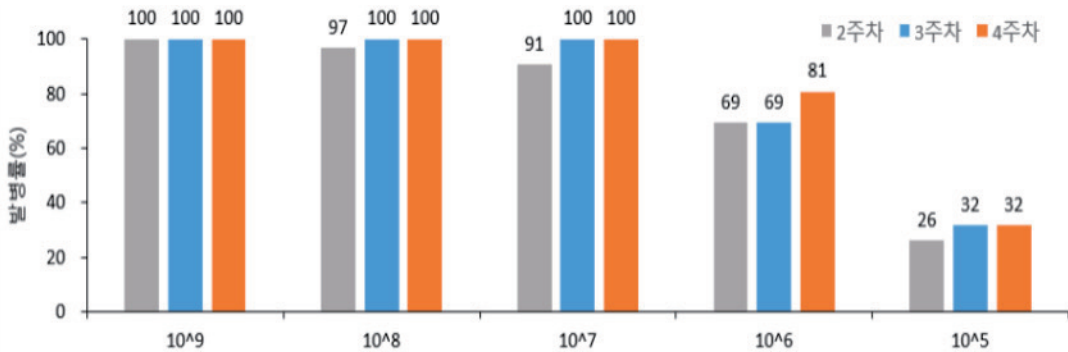


그림 8. 화상병균 처리 농도별 꽃 발병률

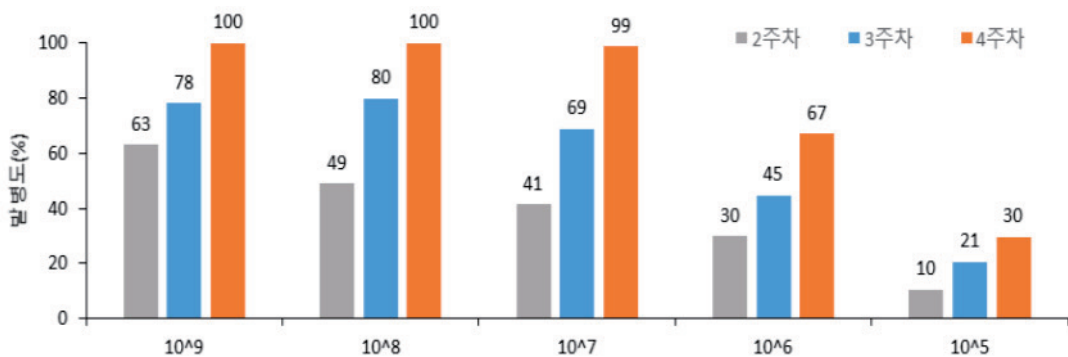


그림 9. 화상병균 처리 농도별 꽃 발병도

<접종 8일차(병징 미발현)>


 10^5 cfu/ml

 10^7 cfu/ml

 10^9 cfu/ml

<접종 11일차(병징 발현)>


 10^5 cfu/ml

 10^7 cfu/ml

 10^9 cfu/ml

그림 10. 화상병균 처리 농도별 꽃감염 증상

화상병균 처리 농도에 따른 품종별 신초 발병률 조사에서 배 신고 품종은 처리 농도 10^4 cfu/ml에서 89% 발병률을 보였으며, 10^3 cfu/ml 에서도 7%의 발병률을 보였다. 신화 품종은 처리 농도 10^4 cfu/ml 이하에서 미발생하였다. 10^{2-3} cfu/ml의 낮은 농도 접종에서 신고배는 화상병이 감염되었지만 신화배는 화상병이 감염되지 않아 상대적으로 저항성이 높은 것으로 생각된다.

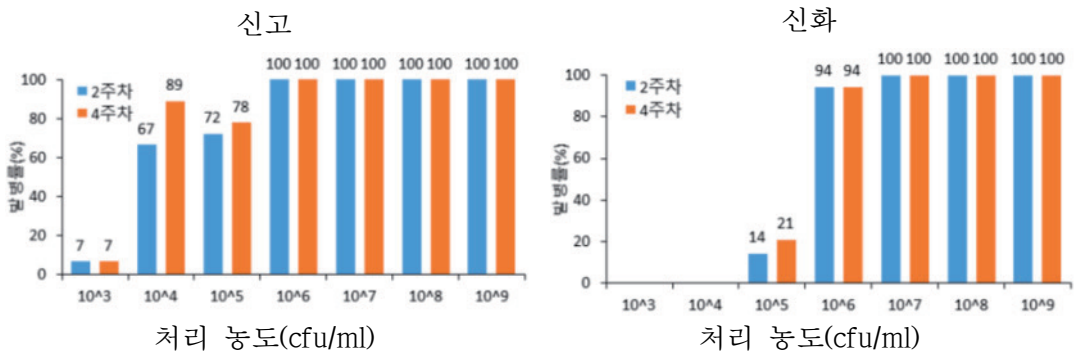
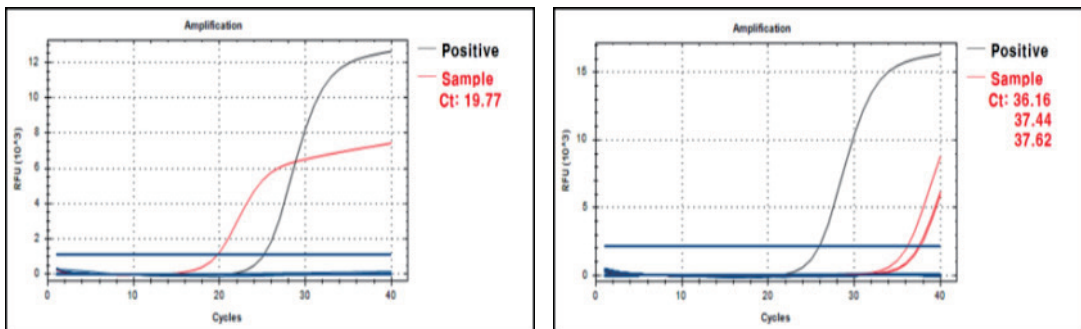


그림 11. 품종별 신초접종 처리 농도에 따른 발병률

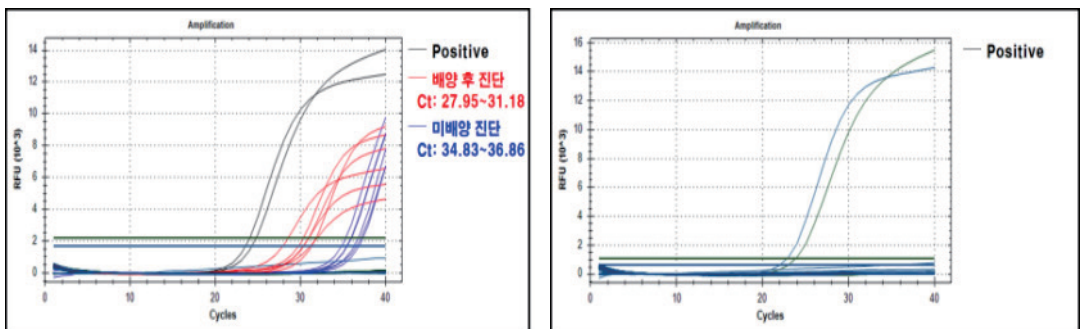
항색끈끈이트랩을 이용해 '22년 간이 격리시설 내부에 채집된 배나무면충, 파리, 진딧물, 갈색날개매미충, 무당벌레 등에 화상병균 검출 유무를 조사한 결과 배나무면충 20마리를 단반복으로 진단한 시료는 양성(Ct: 19.77)이었으며, 집파리류 1마리씩 3반복 진단에서 양성판정 기준(Ct값 35 이하) 초과이지만 검출 반응(Ct: 36.16)이 확인되었다(그림 12). '23년에는 집파리류, 갈색날개매미충으로부터 화상병균을 조사한 결과 집파리류에서 양성(Ct: 34.83)인 것으로 확인되었다(그림 13). '24년에는 격리시설에서 채집된 집파리류, 갈색날개매미충으로부터 화상병균을 조사한 결과 모든 시료에서 미검출되었다.



배나무면충

집파리류

그림 12. 격리시설 해충에서 화상병균 검출



집파리류

갈색날개매미충

그림 13. 격리시설 해충에서 화상병균 검출

전정가위에 의한 가지감염 발병 조사에서는 화상병균 배양액을 농도별 전정가위 접촉 후 45일차에는 10^4 cfu/ml 처리 농도부터 병징이 확인되었으며, 86일차에는 10^3 cfu/ml 처리 농도에서도 병징이 확인되었다. 처리 농도가 높을수록 병징발현 길어도

증가하는 경향을 보였다(그림 14). 화상병이 감염된 배나무 묘목 전정작업 가위로 건전한 배나무 묘목 가지 절단 작업시 화상병 발생은 화상병균 배양액(10^9 cfu/ml) 침지 전정가위 접촉에 비해 화상병 발생이 낮았으며, 병징발현 길이 또한 짧았다. 또한 접촉 후 무처리 대비 도포제 처리시 병징발현 길이가 짧았다(그림 15).

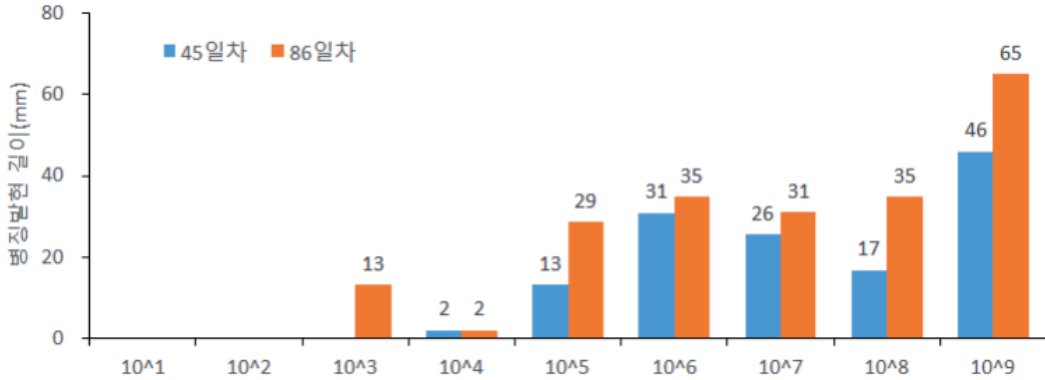


그림 14. *E. amylovora* 농도에 따른 병징발현 길이(전정가위 접촉)

※ 처리별 5반복, 접종일: '22. 7. 18.

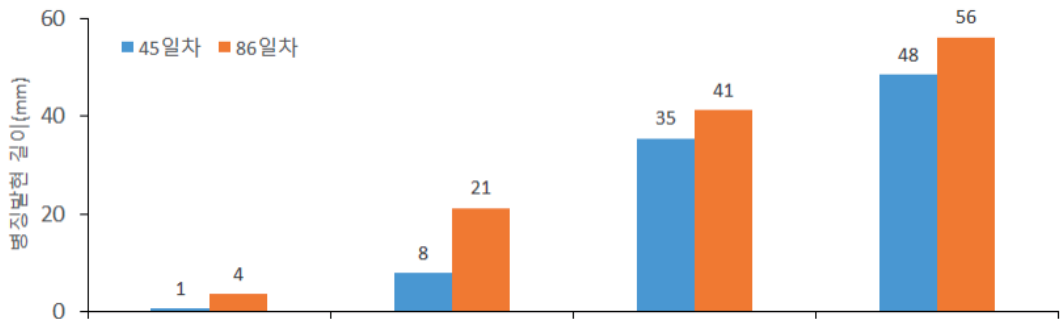


그림 15. 도포제 처리에 따른 가지에서 병징 발현 길이

※ 처리별 5반복, 접종일: '22. 7. 18.

라. 개화기 방제약제 선발

예측방제 활용 개화기 방제약제 선발에서 표 5과 같이 스트렙토마이신 수화제, 옥솔린산 수화제, 옥솔린산 입상수화제 처리 시 61.7% 이상의 방제가를 나타냈다. 반면, 관행 방제의 경우 표 6과 같이 시험 약제 5종 모두 20% 이하의 방제가를 보였다. 스트렙토마이신 수화제, 옥솔린산 수화제, 옥솔린산 입상수화제의 경우 관행방제와 비교하여 적기에 약제를 살포하는 예측방제의 방제가가 각각 54.6%, 45.6%, 72.7% 증가하였다.

표 5. 예측방제 활용 개화기 처리 약제별 발병률 및 방제가

시험약제	발병률(%)				유의차 (DMRT)	방제가 (%)
	1반복	2반복	3반복	평균		
스트렙토마이신 수화제(20%)	54.5	33.0	11.3	32.9	bc	62.1
옥시테트라사이클린	94.4	81.1	45.2	73.6	a	15.4
다이하이드레이트 입상수화제(34%)	97.8	61.5	23.8	61.1	ab	29.8
옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 수화제(17%)	36.6	51.8	11.6	33.3	bc	61.7
옥솔린산 수화제(20%)	-	30.4	27.3	19.2	c	77.9
무 처 리	93.9	100	66.9	86.9	a	-

CV(%) -----35.4

표 6. 관행방제의 개화기 처리 약제별 발병률 및 방제가

시험약제	발병률(%)				유의차 (DMRT)	방제가 (%)
	1반복	2반복	3반복	평균		
스트렙토마이신 수화제(20%)	87.3	96.2	57.9	80.4	a	7.5
옥시테트라사이클린	98.2	63.2	48.4	70.0	a	19.5
다이하이드레이트 입상수화제(34%)	83.0	100	47.4	76.8	a	11.6
옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 수화제(17%)	96.2	86.5	36.1	72.9	a	16.1
옥솔린산 수화제(20%)	93.0	93.2	60.9	82.4	a	5.2
무 처 리	93.9	100	66.9	86.9	a	-

CV(%) -----13.8

개화기 예측방제에 따른 체계처리를 진행하여 처리별 발병도 및 방제가를 확인하였다. 표 7, 그림 16, 17과 같이 옥시테트라사이클린, 스트렙토마이신 2종 체계처리시 80% 이상의 방제가를 보였으며, 옥시테트라사이클린, 스트렙토마이신, 옥솔린산 3종 체계처리시 방제가가 94.4% 이상으로 스트렙토마이신 3일 간격 2회 방제처리와 대등한 효과를 보였다. 반면, 체계처리 후 수확기 과실의 무게(g), 당도(Brix)는 차이가 없었으며, 외관상 과실에서의 약해도 확인되지 않았다(표 8).

표 7. 개화기 체계처리별 방제효과

처리내용	발병도(%)					유의차 (DMRT)	방제가 (%)
	1반복	2반복	3반복	4반복	평균		
A 체계처리 3회_A	8.4	-	-	5.9	3.6	b	94.4
B 체계처리 3회_B	4.3	-	-	8.0	3.1	b	95.2
C 체계처리 2회_3일 간격	20.0	8.0	5.7	3.3	9.3	b	85.5
D 체계처리 2회_5일 간격	10.3	7.3	23.3	4.0	11.2	b	82.4
E 대조 1	4.6	3.3	-	5.9	3.5	b	94.6
F 대조 2	23.5	-	24.6	3.6	12.9	b	79.7
G 무 처리	80.0	57.1	65.0	53.3	63.9	a	-

CV(%) -----42.3

※ 방제가: 2차 접종(4. 14.) 4주 후 조사

※ 대조구: 스트렙토마이신 수화제(20%) 단제 3일간격(대조 1), 5일간격(대조 2) 2회 처리

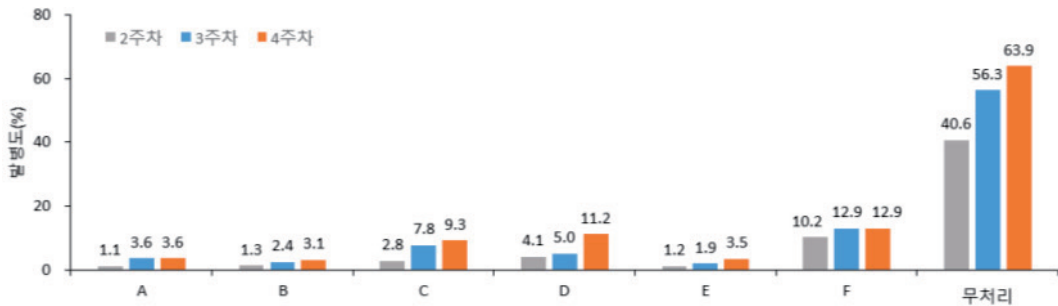


그림 16. 개화기 예측방제에 따른 처리별 꽃 화상병 발병도



그림 17. 처리 방법별 꽃감염 증상(접종 4주 후)

표 8. 개화기 예측방제에 따른 처리별 수확기 과실무게

처리내용		무게(g)			
		1반복	2반복	3반복	평균
A	체계처리 3회_A	347.3	415.1	457.3	406.5 ^{ns}
B	체계처리 3회_B	403.8	447.2	323.4	391.5
C	체계처리 2회_3일 간격	440.7	349.6	380.5	390.3
D	체계처리 2회_5일 간격	344.4	402.6	339.5	362.2
E	대조 1	340.1	359.5	403.2	367.6
F	대조 2	377.5	412.5	382.2	390.7
G	무 처리	380.8	357.6	340.3	359.6
CV(%)		-----11.5			

2021년부터 2024년까지 4년간 간이 격리시설을 활용하여 화상병 확산 방지를 위한 일련의 시험결과 개화기 꽃감염 정밀 예찰시 과수화상병 예측정보서비스(<http://fireblight.org>)에서 제공하는 꽃 감염위험 3단계 이상 발생 11일 이후 예찰이 필요할 것으로 생각된다. 개화기 화상병 약제살포는 과수화상병 예측정보서비스(<http://fireblight.org>)에서 제공하는 개화기 위험정보에 따라 위험정보 1일 전후로 등록약제를 즉시 살포하거나, 3회

방제시에는 위험경보 4일전 부터 옥시테트라사이클린 입상수화제, 스트렙토마이신 수화제, 옥솔린산 수화제를 3일 간격으로 살포하며, 2회 방제시에는 위험경보 4일 전부터 옥시테트라사이클린 입상수화제, 스트렙토마이신 수화제를 3일 간격으로 살포하는 것이 개화기 화상병 방제에 적합한 것으로 판단된다. 또한 생육기 화상병 부분 매몰지, 화상병 발생지 주변에서는 발생초기 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄+스트렙토마이신황산염 수화제(20.3(1.5+18.8)%) 경엽처리시 화상병 확산 방지에 도움이 될 것으로 판단된다.

4. 적요

간이 격리시설을 활용하여 2021년부터 2024년까지 4년간 배 화상병 확산 방지를 위한 감염 요인 분석과 우수 약제 선발 및 효율적인 처리 방법 구명을 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

- 가. 생육기 화상병균 접종 1일 후 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄+스트렙토마이신황산염 수화제(20.3(1.5+18.8)%) 처리시 접종 후 2주간 발병률은 6.7% 였으며, 접종 후 4주차에는 발병률이 13.3%로 방제가는 81.8% 이었다.
- 나. 꽃에 화상병균 분무 접종시 농도가 높을수록 초기 발병도가 높았으며, 10^7 cfu/ml 이상 농도로 접종시 2주차 부터 발병률이 90% 이상이었다. 접종 8일차 까지는 뚜렷한 병징을 보이지 않았다. 접종 11일차에 10^5 cfu/ml 접종 처리구에서 발병도 2등급(꽃, 화경 감염) 병징을 보였으며, 10^{7-9} cfu/ml 접종 처리구에서 발병도 4등급의 병징(주변 신초 수침상)을 보였다.
- 다. 화상병균 처리 농도에 따른 신초 발병률 조사에서 신고배 품종은 처리 농도 10^3 cfu/ml 까지 신초에서 과수화상병이 발병하였으나, 신화배 품종은 처리 농도 10^5 cfu/ml 까지 발병하여 상대적으로 저항성이 높았다.
- 라. '22년 격리시설에서 채집된 배나무면충, 파리, 진딧물, 갈색날개매미충, 무당벌레에서 화상병균 검출결과 배나무면충(Ct: 19.77)에서 양성이었으며, 파리(Ct: 36.16)에서는 양성판정 기준(Ct값 35 이하) 초과이지만 반응이 확인되었다.
- 마. '23년 격리시설에서 황색끈끈이트랩에 채집된 집파리류, 갈색날개매미충에서 화상병균 검출결과 집파리류(Ct: 34.83)에서 화상병균이 확인되었으며, '24년 격리시설에서 황색끈끈이트랩에 채집된 집파리류, 갈색날개매미충에서 화상병균을 검출한 결과 모든 시료에서 음성이었다.
- 바. 화상병 감염 가지 절단 전지가위로 가지 접종 후 도포제 처리시 병징발현 길이는 무처리에 비해 81%로 감소하였으며, 화상병균 배양액(10^9 cfu/ml) 접종 전지가위로 가지 접종 후 도포제 처리시 병징발현 길이는 무처리에 비하여 27% 감소하였다.
- 사. 개화기 관행방제의 경우 시험 약제 5종 모두 20% 이하의 방제가를 보였다. 스트렙토마이신 수화제, 옥솔린산 수화제, 옥솔린산 입상수화제의 경우 관행방제와

비교하여 적기에 약제를 살포하는 예측방제의 방제가가 각각 54.6%, 45.6%, 72.7% 증가하였다.

- 아. 개화기 옥시테트라싸이클린, 스트렙토마이신 2종 체계처리시 80% 이상의 방제가를 보였으며, 옥시테트라싸이클린, 스트렙토마이신, 옥솔린산 3종 체계처리시 방제가 94.4% 이상으로 스트렙토마이신 3일 간격 2회 방제처리와 대등한 효과를 보였다.

5. 인용문헌

- Bonn, W. G. and van der Zwet, T. 2000. Distribution and economic importance of fire blight. In: Fire blight: the disease and its causative agent, *Erwinia amylovora*, ed. by J. L. Vanneste, pp. 37-53. CABI Publishing, London, UK
- Choi, K.H., Lee, D.H., Byun, B.K., Mochizuki, F., 2009. Occurrence of *Grapholita dimorpha* Komai (Lepidoptera: Tortricidae), a new insect pest in apple orchards of Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 48, 417-421.
- Drenova, N. V., Isin, M. M., Dzhamurzhina, A. A., Zharmukhamedova, G. A. and Aitkulov, A. K. 2013. Bacterial fire blight in the Republic of Kazakhstan. *Plant Health: Res. Pract.* 1: 44-48.
- Ham, H., K. J. Lee, S. J. Hong, H. G. Kong, M.-H. Lee, H.-R. Kim, and Lee, Y. H. 2020. Outbreak of fire blight of apple and pear and its characteristics in Korea in 2019. *Res. Plant Dis.* 26, 239-249.
- Ham, H., Lee, M.-H., Roh, E., Lee, W., Choi, H.-W., Yang, M. S., and Lee, Y. H. 2023. Effect of the Registered Control Agents for Fire Blight on Fire Blight Disease at Flowering Stage of Apple in Korea. *The Korean Journal of Pesticide Science*. The Korean Society of Pesticide Science.
- Jeong, C.-R., An, J.-J., Eom, H.-S., Seo, J. H. and Kim, Y. 2012. Occurrence of *Grapholita dimorpha* in Korean Pear Orchards and Cross-trapping of Its Sibling Species, *Grapholita molesta*, to a Pheromone Lure. *Korean Journal of Applied Entomology*, 51(4), 479-484.
- Johnson, KB, Stockwell, VO, 1998. Management of fire blight: A case study in microbial ecology. *Ann. Rev. Phytopathol.* 36:227-248.
- Lee MS, Lee I, Kim SK, Oh C-S, Park DH, 2018. In vitro screening of antibacterial agents for suppression of fireblight disease in Korea. *Res. Plant Dis.* 24(1):41-51.
- Myung I-S, Lee J-Y, Yun M-J, Lee Y-H, Lee Y-K, et al., 2016. Fire blight of apple, caused by *Erwinia amylovora*, a new disease in Korea. *Plant Disease* 100: 1774.

- Namkung, K.-B. and Yun, S. C. 2023. Improvement of fire blight blossom infection control using Maryblyt in Korean apple orchards. Plant Pathol. J. 39: 505-512.
- 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: 221-230. (In Korean)
- 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 Disease 100: 1946-1946.
- Van der Zwet T, Orolaza-Halbrendt N, Zeller W, 2012. Fire blight: History, biology, and management, APS press, Minnesota, USA. pp.421.

6. 연구결과 활용제목

- 배나무 화상병 개화기 방제 적기 및 우수약제 선발(영농활용, '22년)
- 배 과수화상병 개화기 우수 방제체계 선발(영농활용, '23년)
- 과수화상병 배나무 생육기 방제 우수약제 선발(영농활용, '24년)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
						'21	'22	'23	'24
배나무 화상병 발생지 격리시설에서의 화상병 방제효과 시험	책임자	환경농업연구과	농업연구사	최종윤	세부과제 총괄	○	○	○	○
	공동연구자	〃	농업연구사	이영수	시험추진 지원	○	○	○	○
		〃	〃	김소희	시험추진 지원	○	○	○	○
		〃	〃	유주형	시험추진 지원	-	-	○	○
		〃	농업연구관	이현주	방제효과 평가	○	○	○	○
		〃	〃	박중수	연구자문	-	○	○	○