

과제구분	어젠다	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
검역 및 세균성 병해 확산방지 기술 개발		작물보호	'20~'24	농업기술원 환경농업연구과	최종윤
과수 화기감염 화상병균 검출기술 개발		작물보호	'20~'24	농업기술원 환경농업연구과	최종윤
색인용어	배, 화상병, <i>Erwinia amylovora</i> , 조사, 방제				

ABSTRACT

Since the first report of fire blight in Korea in 2015, the affected area is gradually expanding, making countermeasures an urgent necessity. In Korea, fire blight surveillance is conducted during the winter and growing seasons. During the flowering period, bactericides are sprayed according to the risk warning provided by the fire blight prediction service (<https://fireblight.org>). To accurately monitor fire blight, it is necessary to predict the possibility of fire blight by detecting pathogens in symptomless blossoms during the flowering period and establishing effective control measures. Thus, in this study we developed a sample pretreatment method to efficiently detect fire blight in symptomless blossoms. This method reduced the amount of sample required by using only the pistil and stamen, and improved detection sensitivity by culture in a tryptic soy broth media for 24 hr. Using this pretreatment method, pathogens were detected in four partially closed orchards with burn disease in the Gyeonggi region from 2022 to 2023. Based on our findings, our method has potential for preemptive control of orchards with a high risk of fire blight by early detection in symptomless pear blossoms.

Keywords: Pear, Fire blight, *Erwinia amylovora*, Survey, Control

1. 연구목표

과수화상병은 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, 2020a; Park 등, 2022).

과수화상병의 원인균인 *Erwinia amylovora*는 궤양에서 월동하여 봄에 궤양 주변에 누출된 세균액을 곤충 등이 꽃으로 옮겨 꽃감염의 전염원이 된다(van der Zwet et al., 2012). 화상병균의 꽃감염을 예방하기 위해서는 화상병 꽃감염 위험 예측 정보에 따라 약제를 살포하는 것이 필요하다(Namkung 등, 2023). 또한 개화기 화상병의 주 감염경로는 꽃의 암술머리로 화상병균은 암술에 접종된 화상병균은 14일간 생존하고 증식하여 꽃 감염을 일으킨다. 또한 강우시 빗물에 의해 암술머리(stigma)로 부터 화통(hypanthia) 감염의 이동을 촉진한다(Thomson, 1986). 화상병균은 꿀벌(*Apis mellifera*) 복부를 포함한 몸체 외부에서 15일간 생존하며 소화기관에서 10일간 생존이 보고되었으며, 꿀벌 내외부에서 오랜시간 생존하여 화상병균의 매개원으로 알려져 있다(Choi 등, 2022). 이러한 꽃에서의 화상병 증상은 검은별무늬병과 매우 비슷하여 농가에서는 꽃의 화상병 증상을 정확히 인지하지 못하기 때문에, 화상병 확산을 최소화하기 위해서는 무병징 식물체에서도 화상병균 진단이 가능한 기술이 요구되고 있다(Ham 등, 2020b).

이러한 화상병의 확산 방지를 위해서는 개화기 꽃감염을 조기에 확인하고 세밀하게 관리를 하는 것이 화상병이 확산되는 것을 예방하는 데 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 꽃감염에 의한 병징이 발생되기 이전에 무병징 꽃에서의 화상병균의 효율적인 검출기술을 개발하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 배꽃 화기별 화상병균 분포 특성

화상병은 금지급 검역병으로 본 연구는 농촌진흥청에서 운영하는 LMO 안전관리 규정에 따라 건립한 안성시 소재 격리포장에서 수행하였다. 시험에 사용된 병원균은 국내 분리된 *E. amylovora* TS3128 균주를 농촌진흥청으로 부터 분양받아 활용하였다. 시험 품종은 3년생 묘목(신고 품종)을 대상으로 하였고, 개화기를 포함하는 시험기간 동안에는 살충제나 다른 종류의 살균제를 살포하지 않았다. 접종에 사용한 시험균주는 tryptic soy broth(TSB)배지에 24시간 배양 후 이를 멸균수에 희석하여 10^7 cfu/ml의 균 현탁액을 제조하였다. 신고배 3년생 묘목 꽃에 분무 접종 24시간 후 처리별로 꽃을 100개씩 5반복으로 채집하였다. 채집된 꽃의 화통 아랫부분(줄기)을 제거하고 꽃잎, 암술, 수술, 화통으로 각각 분리 후 무게를 측정하였다. 분리된 화기별로 10mM phosphate

buffered saline buffer(pH 7.4, Bioneer, Korea)에 마쇄하였다. 마쇄 후 상청액을 멸균수에 10배씩 희석하여 현탁액 10ul를 cycloheximide 50ppm이 포함된 Nutrient agar(NA) 배지에 평판 도말하여 28°C 배양기에 24~120시간 배양한 후 유백색의 colony 개수를 조사하였다. 이들 colony는 Real-time PCR kit(과수화상병/가지검은마름병 검출 kit, Nanohelix, Korea)를 이용하여 colony PCR을 수행하여 화상병원균임을 확인하였다(Jin 등, 2023).

나. 시료 전처리 배지 선발

시료 전처리시 최적의 배지 선발 실험은 화상병균을 TSB 배지에서 24시간 동안 배양한 뒤 10^3 cfu/ml의 균 현탁액을 제조하였다. 이후 TSB, Nutrient Broth(NB), Luria-Bertani broth(LB) 배지 100ml에 균 현탁액을 10ul씩 접종 후 진탕배양기에서 배양하였다. 배양 24시간까지 4시간 간격으로 tryptic soy agar(TSA)배지에 평판 도말한뒤 28°C 배양기에 24~96시간 배양하며 colony 개수를 조사하였다.

다. 화기감염 검출기술 현장적용

2022년부터 2024년까지 화상병 부분매몰지와 매몰지 인근 현장에서 채집한 배꽃 전체와 암술·수술 시료만 사용한 확립된 분석의 검출 효율을 비교하였다.

2022년 개화기 무병징 꽃 감염 조사는 안성, 평택지역의 '21년~'22년 배 화상병 발생 부분매몰지 및 매몰지 인근 배 과수원 15지점을 대상으로 하였다(표 1, 2). 시료 채집은 꽃 만개 전후로 4월 13일~14일에 1차 꽃 시료를 과원별로 100개씩 3반복으로 채집하였고, 4월 18일~19일에 2차 시료를 채집하였다. 채집된 배꽃은 화통 아랫부분(줄기)을 제거하였고, 꽃 전체 분석은 화기별 구분없이 100개의 꽃을 PBS buffer 20ml에 마쇄하였으며, 암술·수술 분석은 100개의 꽃 암술과 수술을 분리하여 PBS buffer 3ml에 마쇄하였다. 각 분석별 PBS buffer 추출 시료를 5분간 원심분리(5000g) 후 상청액을 검출에 사용하였고, 각 분석별 PBS buffer 추출 상청액 200ul를 2X TSB배지(200ul)에 접종하여 24°C 배양기에 24시간 정치배양 후 상청액을 검출에 사용하였다. 화상병균 검출은 Real-time PCR Kit(HelixDtec™ 과수화상병/가지검은마름병 검출키트 EAEP-T100, Nanohelix, Korea)를 이용하였다. PBS buffer 추출 상청액과 TSB배지에 24시간 배양한 상청액 1ul를 PCR 주형으로 사용하였다. 정량증폭 조건은 95°C 5분, 40 cycles 95°C 10초, 60°C 30초 하였고, Ct값 35 cycle 이하에서 증폭반응을 양성으로 평가하였다.



표 1. 연도별 꽃 감염 조사지점

조사지점		2022년	2023년	2024년
계		15	11	1
1	안성1	○	○	미조사
2	안성2	○	○	〃
3	안성3	○	○	○
4	안성4	○	미조사	미조사
5	안성5	○	〃	〃
6~10	안성6~10	○	○	〃
11	안성11	○	미조사	〃
12	평택 1	○	○	〃
13~14	평택 2~3	○	○	〃
15	평택 4	○	미조사	〃

표 2. 꽃 감염 조사지역

시 군	과수원 주소			비 고
안성	안성1	안성시 서운면	신흥리 ***	'22년 부분매몰지
	안성2	안성시 서운면	양촌리 ***	〃
	안성3	안성시 서운면	양촌리 ***	〃
	안성4	안성시 서운면	신흥리 ***	〃
	안성5	안성시 서운면	양촌리 ***	〃
	안성6	안성시 서운면	신흥리 ***	〃
	안성7	안성시 서운면	마산리 ***	〃
	안성8	안성시 미양면	용두리 ***	〃
	안성9	안성시 양성면	삼암리 ***	'21년 부분매몰지
	안성10	안성시 양성면	명목리 ***	'21년 매몰지 인근
	안성11	안성시 미양면	신기리 ***	'21년 부분매몰지
평택	평택1	평택시 죽백동	***	'21년 부분매몰지
	평택2	평택시 팽성읍	대사리 ***	〃
	평택3	평택시 죽백동	***	〃
	평택4	평택시 죽백동	***	〃

2023년 개화기 무병징 꽃 감염 조사는 안성, 평택지역의 '21~'22년 배 화상병 발생 부분매몰지 및 매몰지 인근 배 과수원 11지점을 대상으로 하였다. 시료 채집은 꽃 만개 전후로 4월 6~7일에 1차 꽃 시료를 과원별로 100개씩 3반복으로 채집하였고, 4월 11~12일에 2차 시료를 채집하였다. 시료 전처리와 Real-time PCR 방법은 2022년 방법과 동일하게 진행하였다.

2024년 개화기 무병징 꽃 감염 조사는 개화기 무병징 꽃 감염 조사에서 2년간 검출된 안성3 지점을 대상으로 하였다. 시료 채집은 꽃 만개 전후로 4월 11일에 1차 꽃 시료를 100개씩 3반복으로 채집하였고, 4월 17일에 2차 시료를 채집하였다. 시료 전처리 및 Real-time PCR 방법은 2023년 방법과 동일하게 진행하였다.

라. 항진균제 처리에 따른 화상병균 검출 특성

꽃에서 화상병균 검출 민감도를 높이기 위해 TSB배지에서 항진균제 처리가 필요할 것으로 판단되어 cycloheximide 처리 농도에 따른 화상병균 생장에 미치는 영향을 조사하였다. cycloheximide 처리 농도별 화상병균 밀도조사는 화상병균을 TSB 배지에서 24시간 배양하여 10^8 cfu/ml의 균 현탁액을 제조하였다. cycloheximide 농도가 각각 1, 5, 10, 50, 100ppm 첨가된 TSB배지 20ml에 균 현탁액을 10ul씩 접종 후 200rpm, 24시간 진탕배양 하였다. 각 처리 농도별 배양액을 멸균수에 10배씩 희석하여 현탁액 10ul를 TSA배지에 평판 도말한뒤 28°C 배양기에 24~96시간 배양하며 colony 개수를 조사하였다.

cycloheximide 농도별 처리에 따른 암술·수술 분석 화상병균 검출 유무 실험은 화상병균을 처리 농도별로 화기에 분무처리 후 검출 유무를 조사하였다. 화상병균은 TSB 배지에서 24시간 동안 배양한 뒤 10^9 cfu/ml 농도로 균 현탁액을 제조하였고, 균 현탁액을 멸균수에 10배씩 희석하여 10^{4-9} cfu/ml 농도로 만들어 신화배 3년생 묘목 화기에 분무 처리 접종하였다. 화상병균 현탁액 접종 5일 뒤 처리별 꽃 50개씩 3반복으로 채집하였다. 채집된 꽃 시료는 암술, 수술만 분리하여 PBS buffer 3ml에 마쇄하였다. cycloheximide 처리 배양은 EPPO(European and Mediterranean Plant Protection Organization)에서 *E. amylovora* 증균 배지로 사용되는 CCT 배지(Sucrose 100g, Sorbitol 10.0g, Niaproof 1.2ml, Crystal violet 2ml, Nutrient agar 23.0g, cycloheximide 0.05g/L)와 동일한 농도로 처리하였다. PBS buffer 추출 상청액 100ul와 cycloheximide(200ppm) 100ul를 2X TSB배지(200ul)에 접종하여 24°C 배양기에 24시간 정치배양 하였다. cycloheximide 미처리 배양은 cycloheximide 100ul를 멸균수로 대체하여 접종 후 24°C 배양기에 24시간 정치배양 하였다. 배양액에서 화상병균 검출은 앞서 검출키트 방법을 동일하게 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 배꽃 화기별 화상병균 분포 특성

배꽃에서 화상병균(10^7 cfu/ml)을 화기에 스프레이로 접종 24시간 후 화기별로 분리하여(그림 1) 화상병균 밀도를 조사한 결과, 꽃잎의 화상병균 밀도는 2.4×10^4 cfu/ml으로 낮았고, 암술과 수술에서 밀도가 각각 3.5×10^7 , 2.3×10^6 cfu/ml으로 가장 높았다(표 3). 배꽃의 꽃잎, 수술, 암술, 화통 화기별 무게 중 암술과 수술이 차지하는 비중은 6.2%이다(표 4). 시료 전처리 과정의 소요 시간을 조사한 결과 꽃 전체 분석 대비 암술·수술 분석시 전처리 시간을 20분 단축되었다(표 5). 따라서 배꽃에서 화상병균 검출시 암술·수술을 시료로 사용하면 시료 전처리 시간이 단축되고 화상병균 검출시 시료량을 줄여 추출 버퍼를 줄여 민감도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 결과를 토대로 배 꽃에서의 화상병균 검출 시 꽃잎을 떼어내고 암술과 수술만을 이용하였다.



그림 1. 배꽃 화기 구조 및 암술·수술 분리

표 3. 배꽃 화기별 화상병균 밀도

구 분	화기별 밀도 (cfu/g)			
	꽃잎	수술	암술	화통
<i>Erwinia amylovora</i> (cfu/ml)	2.7×10^5	2.3×10^6	3.5×10^7	2.4×10^4

※ 접종(10^7 cfu/ml) 1일 후 조사

표 4. 배꽃 화기별 무게

구 분	전체(100)	꽃잎	암수술		화통
			수술	암술	
무게(g/100개)	26.8	11.3	1.3	0.4	13.8
%	100	42.2	4.8	1.4	51.6
			6.2		

표 5. 시료 전처리 방법별 분석과정 비교

시료 분석과정	시료 전처리 시간(초)		비고
	꽃 전체 분석	암술·수술 분석	
화통 아래부분 제거	753	-	평균 2.05g
암수·수술 분리	-	980	
막자사발로 꽃 마쇄	314	-	
15ml튜브 옮겨 무게측정	-	140	
암술, 수술 마쇄	-	56	
진탕 배양	900	-	
튜브 라벨	190	184	
원심분리(5,000g)	300	-	
상청액 추출	305	190	
총소요시간	2,762(46분2초)	1,550(25분50초)	

※ 시료 분석과정 샘플수: 꽃 100송이

나. 시료 전처리 배지 선발

시료 전처리 배지선발을 위해 TSB, NB, LB배지에 화상병균 접종 후 24시간 동안 각 배지별로 화상병균의 배양 균밀도를 조사한 결과, TSB배지에서 화상병균 밀도가 4×10^6 cfu/ml으로 생육이 가장 좋았다(그림 2). 이러한 결과로 배 꽃에서의 화상병균 검출 방법은 암술과 수술만 분리하여 PBS buffer 3ml에 마쇄하고, 이후 PBS buffer 추출 시료를 원심분리(5000g) 후 상청액 200ul를 2X TSB배지(200ul)에 접종하여 24℃ 배양기에 24시간 정치 배양 후 해당 시료를 Real-time PCR Kit로 진단하도록 화기감염 화상병균 검출 시험절차를 확립하였다.

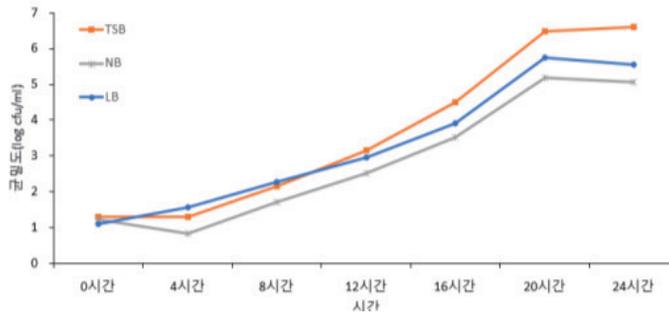


그림 2. 정치배양시 배지별 균밀도

다. 화기감염 검출기술 현장적용

2022년에는 개화기 2회에 걸쳐 15농가('21년~'22년 배과수원 부분매몰지)의 무병징 꽃감염 조사결과 PBS buffer에 추출하여 진단하는 경우 1개 지점에서만 검출 되었으나, PBS 추출 시료를 TSB배지에 24H 배양후 진단시 4개 지점에서 검출 되었다(표 6). 그중 안성4, 안성5 지점은 '22년 5월, 6월 화상병 예찰에서 발생이 확인되어 매몰처리 되었다.

표 6. 시료 전처리에 따른 무병징 꽃 감염 검출건수 (2022년도)

구분	1차		2차	
	PBS 추출	*배양	PBS 추출	배양
계	^a -	3	1	4
1 안성1	-	-	-	-
2 안성2	-	1	-	-
3 안성3	-	-	-	1
4 안성4	-	-	-	1
5 안성5	-	2	1	2
6~11 안성6~11	-	-	-	-
12~15 평택1~4	-	-	-	-

^a미검출, *배양: PBS추출 후 TSB 24H 배양

※ 조사지점: '21년~'22년 배 부분매몰지 15농가, 3반복(90시료)

※ 1차 조사: 4.13.~4.14., 2차 조사: 4.18.~4.19.



동일한 방법으로 2023년에도 개화기 2회에 걸쳐 12농가('21년~'23년 배과수원 부분 매물지)의 무병징 꽃감염을 조사한 결과, PBS 추출 시료는 안성1 지점에서만 검출되었으나, PBS 추출 시료를 TSB배지에 24H 배양 후 진단시 3개 지점(안성 1, 2, 3)에서 검출되었다(표 7). 화상병균이 검출된 안성1 지점은 이후 '23년 5월 화상병 예찰에서 발생이 확인되어 매물처리 되었다. 안성2 지점은 '22년 무병징 꽃감염 1차 조사와 '23년 무병징 꽃감염 2차 조사에서 검출이 되었고, '24년 2월 동절기 사전예방 중점기간 예찰에서 화상병 발생이 확인되어 매물 처리되었다.

표 7. 시료 전처리에 따른 개화기 무병징 꽃 감염 검출건수 (2023년도)

구분	1차		2차	
	PBS 추출	*배양	PBS 추출	배양
계	^a -	2	1	3
1 안성1	-	2	1	1
2 안성2	-	-	-	1
3 안성3	-	-	-	1
4~9 안성6~11	-	-	-	-
10~12 평택1~3	-	-	-	-

^a미검출, *배양: PBS추출 후 TSB 24H 배양

※ 조사 지점: '21~'23년 배 부분 매물지 12농가, 3반복(72시료)

※ 1차 조사: 4.6.~4.7., 2차 조사: 4.11.~4.12.

'22년, '23년 무병징 꽃감염 조사에서 화상병이 검출되었으나, 화상병 예찰시 발생이 확인되지 않은 안성3 지점은 '24년 꽃감염 조사에서는 음성이었다(자료 미제시). 해당 농가는 경작자가 지속적으로 의심 증상 가지 및 궤양을 사전에 제거하고 방제 약제를 주기적으로 살포하여 확산이 안된 것으로 판단된다. '22년, '23년 무병징 꽃감염 조사에서 꽃 전체(꽃잎, 수술, 암술, 화통)를 PBS 추출 및 PBS 추출 시료를 TSB배지에 24H 배양후 진단에서는 모두 음성이었다(자료 미제시). 이러한 결과로 화상병의 꽃감염 진단시 암술·수술 시료만 사용한 분석이 현장시료에서도 검출 효율이 높은 것으로 확인되었다.

라. 항진균제 처리에 따른 화상병균 검출 특성

항진균제(cycloheximide) 처리 농도(1~100ppm)에 따른 화상병균 생장에 미치는 영향을 조사한 결과 cycloheximide 처리가 TSB배지에서 화상병균 생장에 영향이 없는 것으로 확인되었다(그림 3). 시료 전처리 배양 단계에서 cycloheximide 처리가 검출 민감도에 미치는 영향 실험에서는 cycloheximide 처리 농도를 Eppo에서 *E. amylovora* 증균 배지로 사용되는 CCT 배지의 cycloheximide 50ppm과 동일하게 적용하였다. 시료

전처리 배양 단계에서 cycloheximide 처리가 검출 민감도에 미치는 영향을 조사한 결과 화상병균 검출 민감도의 차이는 없었다(표 8). 이러한 결과로 미루어보아 정립된 꽃에서의 암술·수술을 시료로 PBS buffer에 마쇄하여 TSB배지에 24H 정치 배양후 화상병균 검출방법에 cycloheximide를 추가 처리할 필요는 없는 것으로 판단된다. 따라서 이번 연구에서 개발된 화기감염 화상병균 검출기술은 시료 전처리 과정을 단순화하고 Real-time PCR 검출 민감도를 향상 시킬 수 있어 화상병 부분 폐원 과수원, 발생 시군과 인접한 미발생지역 과수원 등 발생이 우려되는 지역에서 필요시 예찰 방법으로 활용하기 적합할 것으로 생각된다.

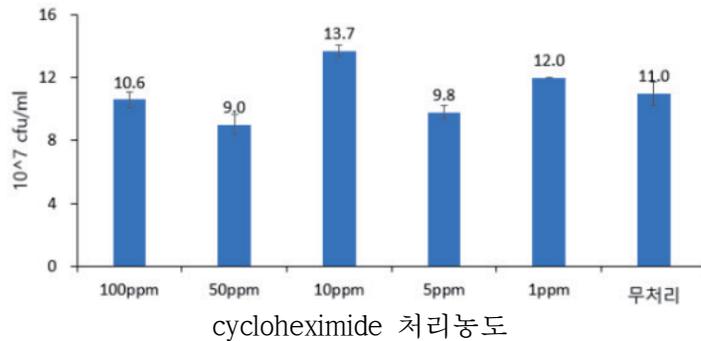


그림 3. 항진균제(cycloheximide) 처리에 따른 배양 특성

표 8. 항진균제(cycloheximide) 처리에 따른 검출 민감도 검정(검출건수)

처리농도 (cfu/ml)	cycloheximide 처리	cycloheximide 미처리
10 ⁹	3	3
10 ⁸	3	3
10 ⁷	3	3
10 ⁶	3	3
10 ⁵	2	3

※ 배양조건: TSB배지 24hr 배양

4. 적요

화상병 확산 방지를 위한 배 꽃에서의 화상병균 검출 기술을 개발하고자 수행한 연구결과는 다음과 같다.

- 가. 화상병균 접종(10^7 cfu/ml) 1일 경과후 화기별 화상병균 밀도 조사한 결과 암술과 수술 밀도가 가장 높았으며, 배꽃에 암술과 수술이 차지하는 비중은 전체 꽃에서 6.2%로 진단시 시료량을 줄이고 추출 버퍼를 3ml만 사용하여 민감도를 향상시킬 수 있었다.
- 나. 시료 전처리 배지로 TSB, LB, NB를 사용하여 24시간 동안 배지별로 화상병균의 배양 균밀도를 조사한 결과, TSB배지에서 밀도가 4×10^6 cfu/ml으로 생육이 가장 좋았다.
- 다. 무병징 꽃 감염 진단시 꽃 전체 분석과 암술·수술 분석의 시료 전처리 시간을 비교한 결과 암술·수술 분석 전처리시 화상병균 검출 시간이 20분 단축되었다.
- 라. 항진균제인 cycloheximide가 화상병균 생장에 미치는 영향을 조사한 결과 cycloheximide 처리(1~100ppm)가 화상병균 생장에 영향은 없었다.
- 마. cycloheximide 처리 유무에 따른 화상병균 접종 농도별 검출 민감도 차이는 없었다.
- 바. 화기감염 검출기술 현장적용 결과 '22년 조사에서 15지점 중 4개 지점에서 꽃감염 양성이었으며, 이 중 2개 과수원은 5, 6월 예찰에서 화상병 발생이 확인되어 매몰처리 되었다. '23년에 조사한 12지점 중 3지점에서 꽃감염 양성이었으며, 이 중 1지점은 5월 예찰에서 화상병 발생이 확인되어 매몰처리 되었고, '22년, '23년 꽃감염 조사에서 양성이었으나, 예찰시 화상병 미발생 지점은 동일 과원으로 지속적인 방제로 화상병이 미발생하였다.

5. 인용문헌

- Choi, H. J., Kim, Y. J. and Park, D. H. 2022. Extended longevity of *Erwinia amylovora* vectored by honeybees under in vitro conditions and its capacity for dissemination. *Plant Pathol.* 71: 762-771.
- Emmett, B. J. and Baker, L. A. E. 1971. Insect transmission of fireblight. *Plant Pathol.* 20: 41-45.
- Ham, H., Y. -K. Lee, H. G. Kong, S. J. Hong, K. J. Lee, G. -R. Oh, M. -H. Lee, and Lee, Y. H. 2020a. Outbreak of fire blight of apple and asian pear in 2015-2019 in Korea. *Research in Plant Disease* 26, 222-228.
- Ham, H., K. J. Lee, S. J. Hong, H. G. Kong, M.-H. Lee, H.-R. Kim, and Lee, Y. H. 2020b. Outbreak of fire blight of apple and pear and its characteristics in Korea in 2019. *Res. Plant Dis.* 26, 239-249.

- Ham, H., Roh, E., Lee, M.-H., Lee, Y.-K., Park, D. S., Kim, and Lee, Y. H. 2024. Emergence Characteristics of Fire Blight from 2019 to 2023 in Korea. *Res. Plant Dis.* 30, 139-147.
- Jin, Y. J., Lee, S. Y., Kong, H. G., Yang, S. I., Ham, H., Lee, M.-H. and Park, D. S. 2023. Novel detection and quantification approach of *Erwinia amylovora* in vitro and in planta using SYBR Green-based real-time PCR assay. *Plant Dis.* 107: 624-627.
- Lim, Y.-J., Ham, H., Lee, M.-H., Lee, W. and Lee, Y. H. 2024. Disinfection Methods of Pruning Scissor for Preventing Transmission of Fire Blight. *Res. Plant Dis.* 30: 194-198
- 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 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 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.
- 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)
- Thomson, S. V. 1986. The role of the stigma in fire blight infections. *Phytopathology* 76: 476-482.
- 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

- 과수화상병균 무병징 꽃 감염의 RT-PCR 검정을 위한 시료 전처리 방법(영농활용, '22년)
- 과수화상병 개화기 무병징 꽃감염 예찰 및 관리 방안(영농활용, '24년)
- 과수화상병 개화기 예찰시 무병징 꽃 감염 Real-time PCR 검정법 사용(정책제안, '23년)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도				
						'20	'21	'22	'23	'24
과수화상병 화기감염 검출기술 개발	책임자	환경농업연구과	농업연구사	최종윤	세부과제 총괄	○	○	○	○	○
	공동연구자	〃	농업연구사	이영수	현장조사 지원	○	○	○	○	○
		〃	〃	김소희	현장조사 지원	-	○	○	○	○
		〃	〃	유주형	현장조사 지원	-	-	-	○	○
		〃	농업연구관	이현주	검출기술 평가	○	○	○	○	○
		〃	〃	박중수	연구자문	-	-	○	○	○