

국내 사과 묘목 재배지에서 과수 화상병 발생 및 그 특징

함현희, 이우형, 이미현, 이세원, 이용환*

Occurrence of Fire Blight on an Apple Tree Seedling Field and Its Characteristics in Korea

Hyeonheui Ham , Woohyung Lee , Mi-Hyun Lee , Se-Weon Lee  and Yong Hwan Lee 

농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과

Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration,
Wanju 55365, Korea

* Correspondence: leeyhlee@korea.kr

Abstract: The fire blight symptoms and emergence characteristics have been investigated from the seedling cultivation orchard in Jeollabuk-do since the disease first appeared in 2023. The symptoms were classified based on whether they appeared in both scion and rootstock or only in the scion or the rootstock. If there was a symptom only in the scion, no pathogen was detected in the rootstock, and if there was a disease only in the rootstock, no pathogen was detected in the scion. In addition, fire blight incidence was higher in specific sections of the orchard, where symptoms manifested in both scion and rootstock. In contrast, symptoms were observed only in the scions as they got farther from the sections. This pattern suggests that *Erwinia amylovora*, the causal agent of fire blight, may have initially infected in a specific area due to some factors, then the pathogen likely spread to other seedlings via insects or other natural factors. Therefore, it is crucial that farmers adhere to fire blight prevention guidelines such as ensuring proper sanitation of workers during nursery cultivation, and enhance monitoring efforts to mitigate the spread of fire blight.

Keywords: Apple tree seedlings, Characteristics, Fire blight

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.34>

Korean J. Environ. Agric. 2024, 43, 358-364

Received: December 2, 2024

Revised: December 9, 2024

Accepted: December 11, 2024

Published: December 19, 2024

Online ISSN: 2233-4173

Print ISSN: 1225-3537



Check for
updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2024



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

과수 화상병은 사과(*Malus domestica*), 배(*Pyrus pyrifoliae* var. *culta*) 등 장미과 기주에 발생하는 식물세균병으로 원인균은 *Erwinia amylovora*이며, 발병 시 사과, 배 생산에 심각한 영향을 미칠 수 있는 세균병이다[1]. 국내에서는 화상병이 2015년에 처음으로 보고되었으며 현재까지도 꾸준히 발생하여 과수 산업에 피해를 일으키고 있다[2,3]. 화상병은 껍질이나 식물 잔재물에서 월동한 *E. amylovora*가 봄철 생육 적온이 되면 활성화되어 감염이 시작되며 비, 바람, 곤충, 사람 등을 통하여 다른 나무의 꽃, 자연 개구, 상처 등을 통해 감염 및 전파된다[4]. 또한 감염된 묘목은 화상병을 원거리로 전파시키는 주요 전염원 중 하나이다[5,6].

국내에서 화상병의 원거리 확산은 사람이나 묘목에 의해 발생하는 경우가 대부분으로 2020년 전북 익산에서 처음 화상병이 발생한 원인은 동일한 작업자가 화상병 발생지역에서 미발생 지역으로 전정작업을 수행하였기 때문으로 분석되었다[6]. 또한 같은 해 경기도 광주와 양주에서 화상병이 발생한 원인은 감염된 묘목에 의한 것으로 추정되었다[6]. 하지만, 아직까지 국내의 묘목 생산지에서 화상병 발병이 보고된 사례가 없어 묘목에 의한 확산 여부를 정확히 구명하는데 한계가 있었다.

2023년 9월 14일에 전북 지역의 사과 묘목 재배지에서 화상병이 처음 발생하였는데, 본 연구에서는 화상병이 첫 발생했던 묘목 재배지에서의 묘목에 발생하는 화상병 증상의 특징을 구명하고 화상병 증상에 따른 구역별 화상병 발생 상황을 비교 분석하였다.

재료 및 방법

묘목 재배지 관리

묘목 재배지의 면적은 18,150 m²로 총 13개의 구역으로 나눠 구역별로 서로 다른 품종을 재배하였다(Fig. 1, Table 1). 묘목은

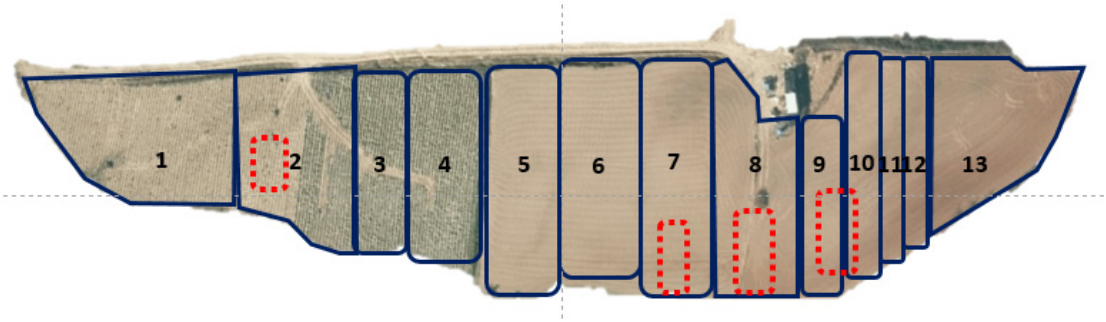


Fig. 1. Layout of apple tree seedling field and section number according to the seedling cultivars. Red circles represents the severely diseased area.

Table 1. Detection and isolation of *Erwinia amylovora* by real-time PCR

Category	Field Section	Sample Number	Location of Seedling	Ct-value $\pm$ SD*	Isolated bacteria
Fig. 2A	8	15-1	Scion	26.06 $\pm$ 0.17	<i>E. amylovora</i>
		15-2	Scion	25.62 $\pm$ 0.03	<i>E. amylovora</i>
		15-3	Scion	26.39 $\pm$ 0.03	<i>E. amylovora</i>
		15-4	Rootstock	24.23 $\pm$ 0.02	<i>E. amylovora</i>
Fig. 2B	2	6-1	Scion	37.28 $\pm$ 0.28	-
		6-2	Scion	-	-
		6-3	Scion	39.81 $\pm$ 0.00	-
		6-4	Scion	-	-
		6-5	Rootstock	26.43 $\pm$ 0.10	<i>E. amylovora</i>
		6-6	Rootstock	26.11 $\pm$ 0.04	<i>E. amylovora</i>
		6-7	Rootstock	27.07 $\pm$ 0.04	<i>E. amylovora</i>
		6-8	Rootstock	32.24 $\pm$ 0.31	<i>E. amylovora</i>
Fig. 2C	1	4-1	Scion	26.61 $\pm$ 0.03	<i>E. amylovora</i>
		4-2	Rootstock	35.89 $\pm$ 0.31	-
		4-3	Rootstock	36.83 $\pm$ 0.46	-
		4-4	Rootstock	36.41 $\pm$ 0.85	-

* Standard Deviation

1~2월 접목 후 저온에 보관하던 것을 4월 중순에 재배지에 정식하였다. 접목 시 대목은 M9과 M26, 접수는 후지(Fuji), 이지플(Eazypple), 착색제후지(Color enhanced Fuji), 감홍(Gamhong), 아리수(Arisoo), 미야비후지(Miyabi Fuji), 홍로(Hongro), 미야마후지(Miyama Fuji), 썸머킹(Summer King), 썸머프린스(Summer Prince)의 총 10종류를 사용하였으며, 종류별로 구획을 나누어 90 × 30 cm 간격으로 재식하였다. 농가 면담 결과, 재식 당시 화상병 병징은 확인되지 않았다. 접목한 묘목은 5월 초순부터 개화하기 시작했으며, 개화 후부터 주기적으로 대목에 발생한 순을 제거하는 작업을 실시하였다.

화상병 진단

화상병 병징을 보이는 묘목은 현장에서 항혈청 간이진단키트(VDRG *E. amylovora* Rapid kit, MEDIAN Diagnostics, Chuncheon, Korea)를 사용하여 매뉴얼에 따라 진단하였다[7]. 간이진단에서 시험선과 대조선에 모두 선이 나타나 양성으로 진단된 시료는 정밀진단을 위해 병징이 나타난 잎 또는 줄기에서 5 × 5 mm 크기로 샘플을 5조각 채취하였고, 샘플을 멸균증류수 500 μL에 30분간 침지하여 세균액을 용출시켰다. 용출된 세균액은 멸균증류수에 1/10로 희석하여 1 μL를 template로 하여 화상병 진단 키트(HelixDtec 과수화상병/가지검은마름병 검출 키트; EAEP-T100, Nanohelix, Daejeon, Korea) 매뉴얼에 따라 실시간 중합 효소연쇄반응 장치(real-time polymerase chain reaction, Real-time PCR; CFX96, Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 이용하여 반응을 실시하였다[8,9]. Real-time PCR 결과 FAM (Fluorescein Amidite; 6-carboxyfluorescein) 검출 채널에서 농촌진흥청 2024년 과수화상병 예찰·방제사업 지침과 키트 매뉴얼에 따라 역치 사이클 값(cycle threshold value; Ct-value)이 35 이하인 시료는 화상병 양성으로 판정하였다. 병원균을 분리하기 위해 세균 용출액 원액에서 10 μL를 tryptic soy agar (TSA; Difco, Sparks, MD, USA)에 획선도말(Streaking)하고 27°C에서 2일간 배양하였다. 배양한 세균 콜로니는 TSA 배지에서 2회 더 획선도말법으로 순수 분리하였다. 순수분리한 세균은 콜로니 1개를 멸균증류수 10 μL에 현탁하여 종특이프라이머인 RS24580-205F/R[10]를 이용하여 콜로니 PCR을 수행하고, 최종적으로 *E. amylovora*인 것을 확인하였다.

묘목의 부위별 화상병균 검출

사과 묘목의 화상병 증상에 따라 묘목의 부위별 *E. amylovora*의 감염 여부를 조사하기 위해 묘목을 10 cm 간격으로 절단하고 각 조각별로 2 cm 간격으로 5 × 5 mm 크기의 샘플을 5조각 채취하고 화상병 진단과 동일한 방법으로 멸균증류수에 세균을 용출시켜 Real-time PCR로 검출 및 병원균을 분리하였다.

발병 조사

발병 조사는 해당 재배지가 화상병 양성으로 진단된 후 다음날인 9월 15일에 실시하였다. 구역별로 신초의 마름 증상, 줄기의 수침상 등의 전형적인 화상병 증상을(Fig. 2) 보이는 묘목 주수를 조사하여 전체 재식 주수 대비 비율로 발병주율을 산정하였다.

$$\text{발병주율} = \text{화상병 발병 주수} / \text{전체 재식 주수} \times 100$$

또한, 화상병 증상을 보이는 묘목 중에서 대목 부위에 수침상 증상(Fig 2A, 2B)을 보이는 묘목 주수를 조사하여 전체 재식 주수 대비 대목 발병주수 비율로 대목에 발병한 발병주율을 산정하였다.

$$\text{대목 발병주율} = \text{대목 발병 주수} / \text{전체 재식 주수} \times 100$$

결과 및 고찰

화상병 증상에 따른 병원균 검출

사과 묘목의 화상병 증상은 대목과 삽수 부위 모두에 병징을 보이는 경우(Fig. 2A)와 대목에만 있는 경우(Fig. 2B), 삽수 부위에만 있는 경우(Fig. 2C)로 구분할 수 있었다. 이들 증상별로 삽수와 대목에서 병원균을 분리한 결과, 삽수와 대목에 모두

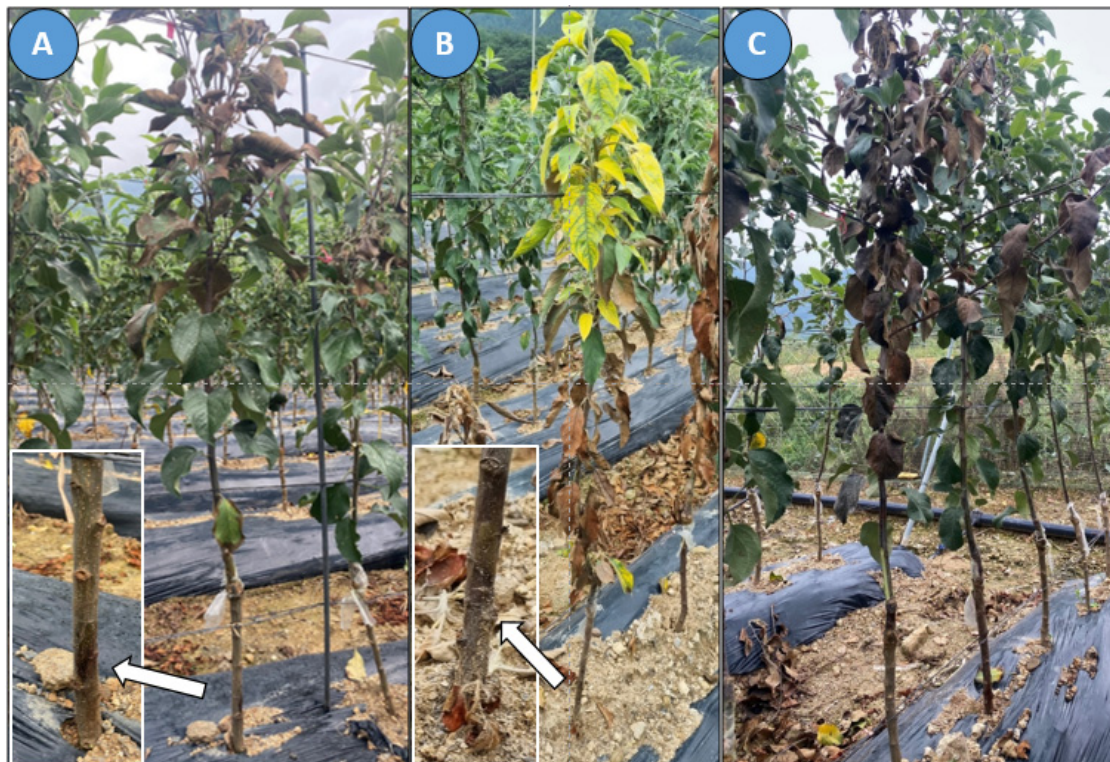


Fig. 2. Fire blight symptoms on the seedling of apple tree.

A, infected with both rootstock and scion; **B**, infected with rootstock; **C**, infected with scion. White arrows indicates the locations of fire blight symptoms.

병징이 있는 경우 삽수와 대목 모든 부위에서 Real-time PCR 검정 시 Ct-value가 26.39 이하로 검출되었고 화상병원균이 분리된 반면에, 대목에만 병징이 있는 경우는 대목 부위에서만 병원균이 검출되었으며, 삽수에 병징이 있는 경우에는 삽수에서만 병원균이 분리되었다(Table 1). 또한 병징이 삽수의 한쪽 가지에서만 육안으로 확인되는 경우를 중심으로 그 주변의 병징이 없는 가지에서도 *E. amylovora*가 모두 검출 및 분리되었다(Fig. 3). Fig. 2C와 같이 삽수에만 병징이 있는 경우, 접목부위 바로 위쪽의 형성층



Fig. 3. Real-time PCR Detection of *Erwinia amylovora* from fire blight symptoms and adjacent area.

A, Picture of whole seedling and infected area marked by red circle; **B**, 1: Sampled area showing symptoms; 2-4: Sampled areas without symptoms. The Ct-values were determined by real-time PCR with Fire blight/Black shoot blight detection kit (Nanolix, Daejeon, Korea), with detection channel of FAM (6-carboxyfluorescein).



Fig. 4. Real-time PCR Detection of *E. amylovora* from infected scion to the rootstock.

1-4 of sampling sites for the pathogen detection. The Ct-values were determined by real-time PCR with Fire blight/Black shoot blight detection kit (Nanohelix, Daejeon, Korea), with detection channel of FAM (6-carboxyfluorescein).

이 갈변되지 않은 1번 부위에서도 *E. amylovora*가 Real-time PCR 검정 시 Ct-value가 26.61로 높게 검출되었고 병원균이 분리되었다. 그러나 접목 부위 바로 아래의 2번 부위부터 그 아래쪽에서는 Ct-value가 35 이상으로 병원균의 밀도가 낮았고 균 분리도 되지 않았다(Fig. 4).

선행연구에 따르면, 사과나무 묘목에서 *E. amylovora*의 이동은 Empire와 Golden Delicious 품종에서 삽수의 신초 끝부분에 병원균을 접종한 후 11일째에 50 cm 떨어진 삽수의 무증상 조직에서 병원균이 PCR을 통해 검출되었고, 접종 21일째에는 Empire의 M26 대목에서, 41일 후에는 Golden Delicious의 M26 대목에서 *E. amylovora*가 검출되었다[11]. 즉 품종에 따라 병원균의 이동 속도는 다르지만 접수내에서의 이동이 접수에서 대목으로의 이동보다 용이하다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서 시료를 채취한 시점은 삽수에 감염된 병원균이 대목으로 또는 대목에 감염된 병원균이 삽수로 이동하기 전인 것으로 판단되며, 접수와 대목이 동시에 감염된 시료의 경우 두 부위가 각각 다른 경로를 통해 감염되었을 것으로 추정된다.

구역별 발병 상황

구역별 화상병 발생은 과원 8번 구역의 홍로와 9번 구역의 미야비후지 및 2번 구역의 이지폴 품종이 각각 32.5%와 24.6% 및 22.7%의 발병주율을 나타내어 발병율이 높았다(Table 2). 특히 발병이 심한 구역(Fig. 1, red circle)에서는 대목과 삽수에 모두 병징을 보이는 경우가 대부분이었는데, 대목에 화상병이 발생한 비율은 8번 구역이 11.36%, 2번 구역이 5.35%로 가장 심했고 8번 구역과 인접한 7번 구역과 9번 구역, 10번 구역 순으로 그 비율이 높았다(Table 1). 반면에 4번 구역의 감홍에서는 화상병 증상이 찾을 수 없었는데 감염이 심한 구역에서 멀어질수록 화상병의 발병주율이 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 1, Table 1). 구역별로 발병 상황과 화상병 증상에 따른 병원균 검출 결과를 종합해보면 품종 간의 발병율 차이는 확인하기 어려웠고, 가장 발병이 심했던 8번 구역과 2번 구역에서 그 주변으로 병이 확산된 것으로 추정되었으며, 각 구역별 발병 원인에 대하여 추가적인 연구가 필요하다고 판단되었다. 화상병의 확산 원인에 대한 조사와 더불어 대목의 감염에 대해서는 작업자에 의한 것인지 다른 요인에 의한 것인지에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

본 연구에서는 국내 묘목 재배지에서 묘목에 발생하는 화상병 증상의 특성과 묘목 재배 구역별 화상병 발생 양상을 조사하였다. 이를 통해 화상병 병징이 묘목의 삽수와 대목에 각각 나타나거나 동시에 발생하는 것을 확인하였고, 감염된 인접 부위에서는 병징이 육안으로 확인되지 않더라도 고농도의 병원균이 존재하는 것을 확인하였다. 또한, 본 사례에서는 화상병의 발생이 품종

Table 2. Planting status of apple seedlings and the ratio of fire blight infected seedlings in the orchard by cultivar

Section	Cultivar of scion	Cultivar of rootstock	No. of planted seedlings	Ratio of fire blight diseased seedlings (%)	Ratio of fire blight infected on rootstocks (%)
1	Fuji	M9	5,640	0.4	0.02
2	Eazypple	M9	4,800	22.7	5.35
3	Fuji (Color inhanced)	M26	2,500	0.2	0.00
4	Gamhong	M9	5,280	0.0	0.00
5	Fuji (Color inhanced)	M9	4,590	0.3	0.00
6	Arisoo	M9	5,970	0.3	0.00
7	Miyabi Fuji	M26	4,680	12.4	3.85
8	Hongro	M9	3,300	32.5	11.36
9	Miyabi Fuji	M9	1,830	24.6	2.46
10	Miyama Fuji	M9	2,160	16.7	1.67
11	Summer King	M9	890	4.1	0.00
12	Summer Prince	M26	1,100	1.1	0.00
13	Fuji	M26	7,500	2.8	0.00

간의 차이에 기인했다기보다는 특정 구역에서 화상병이 처음 발병하여 주변으로 확산된 것으로 추정되었다. 따라서 화상병의 발생 원인을 구명하기 위해서 다른 화상병 발생 지역과의 병원균 유전형 비교와 역학관계 및 주변에 병원균을 전파시킬 수 있는 환경에 대한 조사가 수행되어야 할 것으로 판단되었다. 이와 더불어 묘목에서 화상병 발생을 예방하기 위하여 관계기관에서는 묘목 재배 농가에 화상병 증상과 예방 방법에 대한 교육을 실시하고, 묘목 생산지에 대한 화상병 모니터링을 철저히 수행해야 한다. 또한 농가에서는 작업자의 작업 도구나 작업복, 장갑 등을 철저히 소독하여 병원균이 전파되지 않도록 주의할 것을 기울여야 할 것이다.

요 약

2023년 전라북도 지역의 사과 묘목 재배지에서 화상병이 처음으로 발생하여, 이의 화상병 증상과 그 발생 특징을 조사하였다. 묘목의 화상병 증상은 대목과 삽수 부위 모두에 증상을 보이는 경우와 대목에만 있는 경우, 삽수 부위에만 있는 경우로 구분할 수 있었다. 삽수 부위에만 증상이 있는 경우 대목에서는 병원균이 검출되지 않았고 대목에만 병징이 있는 경우 삽수에서는 병원균이 검출되지 않았다. 병 발생 양상은 특정 구역에서 발병 비율이 높으며 대목과 삽수 모두에 병징이 나타나는 나무가 많았고, 해당 구역에서 멀어질수록 삽수에만 병징이 나타나고 발병 비율이 적었다. 이는 어떤 요인에 의해 특정 구역에서 화상병이 시작하여 주변으로 확산한 것으로 추론되었다. 따라서 묘목 재배 시 작업자의 위생관리 등 화상병 예방법을 철저히 준수하고 예찰을 강화하여 화상병의 발생을 예방하는 것이 중요하다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: H.H. performed the experiment and wrote the manuscript; W.L., M.-H.L., and S.-W.L. revised the manuscript; Y.H.L. designed the experiment and wrote the manuscript.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: This study was carried out with the support of Cooperative Research Programs (Project No. RS-2021-RD009666) from Rural Development Administration, Republic of Korea.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.00>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Yong Hwan Lee.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

1. Bonn WG, van der Zwet T (2000) Distribution and economic importance of fire blight. In: Fire blight: The disease and its causative agent, *Erwinia amylovora*, pp. 37-53. CABI Publishing, London, UK.
2. Park D H, Yu J-G, Oh E-J, Han K-S, Yea MC, Lee S-J, Myung IS, Shim HS, OH C-S (2016) First report of fire blight disease on Asian pear caused by *Erwinia amylovora* in Korea. Plant Disease, 100, 1946. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-15-1364-PDN>.
3. Ham H, Roh E, Lee MH, Lee YK, Park DS, Kim K, Lee BW, Ahn MI, Lee W, et al. (2024) Emergence characteristics of fire blight from 2019 to 2023 in Korea. Research in Plant Disease, 30(2), 139-147. <https://doi.org/10.5423/RPD.2024.30.2.139>.
4. van der Zwet T, Orolaza-Halbrendt N, Zeller W (2012) Fire blight: History, biology, and management, p. 421, APS Press, MN, USA.
5. van der Zwet, T (1983) Occurrence of fire blight in commercial pear seedling rootstocks following budding with symptomless scionwood. (Abstr.) Phytopathology, 73, 969.
6. Lee HJ, Lee SW, Suh S-J, Hyun I-H (2022). Recent spread and potential pathways for fire blight in South Korea. EPPO Bulletin, 52, 135-140. <https://doi.org/10.1111/epp.12835>.
7. Heo GI, Shin DS, Son SH, Oh CS, Park DH, Lee YK, Cha JS. (2017) On-site diagnosis of fire blight with antibody-based diagnostic strips. Research in Plant Disease, 23(4), 306-313. <https://doi.org/10.5423/RPD.2017.23.4.306>.
8. Jin YJ, Lee SY, Kong HG, Yang SI, Ham H, Lee MH, Park DS (2023) Novel detection and quantification approach of *Erwinia amylovora* *in vitro* and in planta using SYBR green-based real-time PCR assay. Plant Disease, 107, 624-627. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-22-1227-SC>.
9. Jin YJ, Gong HG, Yang SI, Ham H, Lee M-H, Park DS (2022) Species-specific detection and quantification of *Erwinia pyrifoliae* in plants by a direct SYBR Green quantitative real-time PCR assay. PhytoFrontiers, 2, 371-379. <https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-09-21-0069-R>.
10. Ham H, Kim K, Yang S, Kong HG, Lee MH, Jin YJ, Park, DS (2022) Discrimination and detection of *Erwinia amylovora* and *Erwinia pyrifoliae* with a single primer set. The Plant Pathology Journal 38, 194-202. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.2022.0027>.
11. Momol MT, Norelli JL, Piccioni, DE, Momol EA, Gustafson HL, Cummins JN, Aldwinckle HS (1998) Internal movement of *Erwinia amylovora* through symptomless apple scion tissues into the rootstock. Plant Disease, 82(6), 646-650. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.6.646>.