



인공접종을 통한 국내 야생 장미과 식물의 화상병 감수성 검정

Determination of Fire Blight Susceptibility on Wild Rosaceae Plants in Korea by Artificial Inoculation

***Co-corresponding authors**

S. Kim

Tel: +82-32-590-7252

Fax: +82-32-590-7230

E-mail: sokim90@korea.kr

C.-S. Oh

Tel: +82-2-880-4676

Fax: +82-2-873-2317

E-mail: cso35@snu.ac.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0003-1654-3643><https://orcid.org/0000-0002-2123-862X>박인웅¹ · 송유림² · 오엄지³ · 김요열³ · 황인선² · 전미진⁴ · 안초롱⁴ · 김진숙⁵ · 김순옥^{4*} · 오창식^{1,6*} ¹서울대학교 식물면역연구센터, ²경희대학교 원예생명공학과, ³경희대학교 그린바이오과학원,⁴국립생물자원관 미생물자원과, ⁵한반도식물다양성연구소, ⁶서울대학교 농생명공학부 식물미생물학전공In Woong Park¹, Yu-Rim Song², Eom-Ji Oh³, Yoel Kim³, In Sun Hwang³, Mi-Jin Jeon⁴, Chorong Ahn⁴, Jin-Suk Kim⁵, Soonok Kim^{4*} , and Chang-Sik Oh^{1,6*} ¹Plant Immunity Research Center, Seoul National University, Seoul 08826, Korea²Department of Horticultural Biotechnology, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea³Graduate School of Green-Bio Science, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea⁴Microorganism Resources Division, National Institute of Biological Resources, Incheon 22689, Korea⁵Korean Plant Diversity Institute, Gimpo 10111, Korea⁶Department of Agriculture Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

The fire blight caused by *Erwinia amylovora* (*Ea*) is a devastating disease of *Rosaceae* plants, including commercially important apple and pear trees. Since the first report in Korea in May 2015, it has been spreading to neighboring regions gradually. Host plants can be infected by pollinators like bees, rainfall accompanied by wind, and cultural practices such as pruning. Many studies have revealed that wild *Rosaceae* plants such as *Cotoneaster* spp., *Crataegus* spp., *Pyracantha* spp., *Prunus* spp., and *Sorbus* spp. can be reservoirs of *Ea* in nature. However, wild *Rosaceae* plants in Korea have not been examined yet whether they are susceptible to fire blight. Therefore, the susceptibility to fire blight was examined with 25 species in 10 genera of wild *Rosaceae* plants, which were collected during 2020–2022, by artificial inoculation. Bacterial suspension (10^8 cfu/ml) of *Ea* type strain TS3128 was inoculated artificially in flowers, leaves, stems, and fruits of each plant species, and development of disease symptoms were monitored. Moreover, the presence of *Ea* bacteria from inoculated samples were checked by conventional polymerase chain reaction. Total 14 species of wild *Rosaceae* plants showed disease symptoms of fire blight, and *Ea* bacteria were detected inside of inoculated plant parts. These results suggest that wild *Rosaceae* plants growing nearby commercial apple and pear orchards in Korea can be *Ea* reservoirs, and thus they should be monitored regularly to minimize the damage by *Ea* infection and spreading.

Keywords: *Erwinia amylovora*, Fire blight, *Rosaceae*, Susceptibility, Wild host plants

Received December 23, 2022

Accepted December 28, 2022

서론

화상병(fire blight)은 *Erwinia amylovora*에 의해 장미과 식물에 발생하는 심각한 식물병이다. 화상병은 18세기 후반에

Research in Plant Disease

eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

© The Korean Society of Plant Pathology

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

미국에서 처음으로 보고된 이래(Van der Zwet 등, 2012), *E. amylovora* 감염으로 화상병이 발생할 수 있는 기주식물의 범위에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 화상병은 주로 사과와 배가 속한 *Malus*속과 *Pyrus*속 식물에 발병하여 경제적 피해를 주지만, 기주식물이 매년 추가되어 과수와 같은 경제식물과 관목 등의 관상용 식물에 이르기까지 장미과 식물 총 40속 200여 분류군에서 발병되는 것으로 알려져 있다(Végh와 Palkovics, 2013).

화상병의 주요 병징은 꽃, 잎, 가지, 그리고 과실에서 확인할 수 있다. 꽃은 화분매개충에 의한 전파를 통해 *E. amylovora* 감염이 주로 일어나는 부위로 알려져 있다(Choi 등, 2022). 암술머리 표면에서 *E. amylovora*의 증식이 이루어지며, 병이 진전될수록 꽃이 본래의 색을 잃고 갈변하며, 탈락하게 된다(Malnoy 등, 2012). 잎은 감염 초기에 수침상과 암녹색 변화가 나타나며, 병이 진전될수록 시듦 증상과 암갈색으로 변색되어 가지 끝에서 떨어지지 않고 말라붙은 채로 남아있게 된다(Vrancken 등, 2013). 새순 및 가지에서는 암갈색으로 색이 변화함과 동시에 'Shepherd's crook'이라고 명명된 선단부가 굽어지는 현상이 발생하게 된다(Gusberty 등, 2015). 과실의 경우 과경(pedicel or peduncle) 부위부터 병징이 진전되어 전체적으로 검게 변색되며, 심할 경우 우윳빛 또는 연한 황색을 띠는 균액(ooze)이 누출되는 모습을 보인다. 이러한 병징은 상대적으로 나이 많은 부위보다는 어린 부위에서 발생빈도가 높다고 알려져 있다. 화상병에 대한 저항성이 없는 사과 및 배와 같은 기주식물은 최종적으로 고사하며, 전염성이 매우 강하여 이병주를 방치할 시 과수원 전체로 전염되어 치명적인 경제적 손실을 유발하게 된다(Lee 등, 2018).

화상병은 국내에서 2015년 경기도 안성에 위치한 배 과수원에서 처음 발견되었으며, 같은 해에 사과에서도 병 발생이 확인되었다(Myung 등, 2016a; Park 등, 2016). 이후 전국적으로 확산되어 사과 및 배 과수농가에 심각한 경제적 손실을 유발하고 있다(Ham 등, 2020; Lee 등, 2022). 이에 정부와 지자체는 화상병의 전파를 막기 위하여 발생 과원내 모든 기주식물을 제거하는 공적방제 정책을 펼치고 있다. 이때, 사과와 배와 함께 모과나무(*Chaenomeles sinensis*), 야생 능금, 복사나무(*Prunus persica*), 살구나무(*Prunus armeniaca*), 산사나무(*Crataegus pinnatifida*) 등의 기주식물도 함께 제거하고 있다(Park 등, 2017). 이외에 화상병 예방을 위해 병이 주로 발생하는 개화기에 스트렙토마이신과 같은 항생제를 살포하고 있으며, 구리제, 옥솔린산 등 다양한 형태의 방제제들이 예방 목적으로 사용되고 있다(Ham 등, 2022). 더불어 생물학적 방제제 개발을 위한 다양한 연구들이 수행되고 있다(Kim 등, 2022; Park

등, 2022).

그러나 화상병이 발병할 수 있는 야생 기주식물들에 대한 국내 연구는 일부를 제외하면 미비한 상황이기 때문에, 제거대상이 될 수 있는 기주식물의 범위에 대한 연구가 필요한 상황이다. 따라서, 본 연구는 국내에서 자생하고 있는 야생 장미과 식물 25종을 이용하여 화상병에 대한 감수성 검정을 실시하였으며, 이들 야생 장미과 식물의 병징 발현 특징을 조사하였다. 이를 바탕으로 최종적으로는 야생 장미과 식물에 의한 *E. amylovora*의 토착화 및 전파를 미연에 방지하는 데 기여하고자 수행되었다.

재료 및 방법

접종 균주 및 생장조건. 국내에서 자생하고 있는 야생 장미과 식물에 대한 화상병 감수성 검정을 위한 접종 실험에 사용할 대표균주로 *E. amylovora* TS3128을 사용하였다(Lee 등, 2018). *E. amylovora*는 MGY 배지(mannitol glutamate yeast extract; D-mannitol 10 g, L-glutamic acid 2 g, KH_2PO_4 0.5 g, NaCl 0.2 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, yeast extract 1 g, agar 15 g/l, pH 7.0)에 접종하여, 배양기 내에서 2일간 26°C 환경에서 배양 후 실험에 사용하였으며, polymerase chain reaction (PCR)을 통한 *E. amylovora* 검출을 위해 colony를 희석하여 이용하거나 gDNA를 추출하여 검사를 진행하였다.

야생 장미과 식물 목록 및 채집 지역. 국내에 자생하는 장미과 식물에 대한 화상병 감수성 검정을 실시하기 위하여, 2020년부터 2022년까지 3년간 전국 16개 시군에서 총 10속 25종의 야생 장미과 식물을 채집하여 실험에 이용하였다(Fig. 1). 대조군으로 사용한 사과 '부사'는 경희대학교 국제캠퍼스 과수원에서 당일에 채집하여 사용하였다. 실험에 이용한 장미과 식물은 분류군에 따라 표로 정리하였다(Table 1). 재검정이 필요한 식물은 당해 연도 또는 이듬해에 새롭게 채집하여 사용하였다.

야생 장미과 식물에 대한 조직별 화상병 감수성 검정. 채집한 야생 장미과 식물은 조직별로 나누어 감수성 검정을 실시하였다. 개화한 상태의 꽃을 꽃자루와 함께 가지로부터 절단하여, 매 접종 시 처리구별로 10여개 정도를 사용하였다. 채집한 꽃은 1% chlorine dioxide (ClO_2)에 암술과 수술을 제외한 나머지 부분을 담가 살균하였으며, 잔여물을 제거하기 위해 멸균수(sterilized H_2O)에 두 번 세척하였다. 이 과정은 각 처리 단계마다 최소 30초씩 실시하였다. 세척한 꽃은 1.5 ml 또는 2 ml의 10% sucrose 용액을 넣은 2 ml microtube에 꽃자루가 잠길 수 있도록

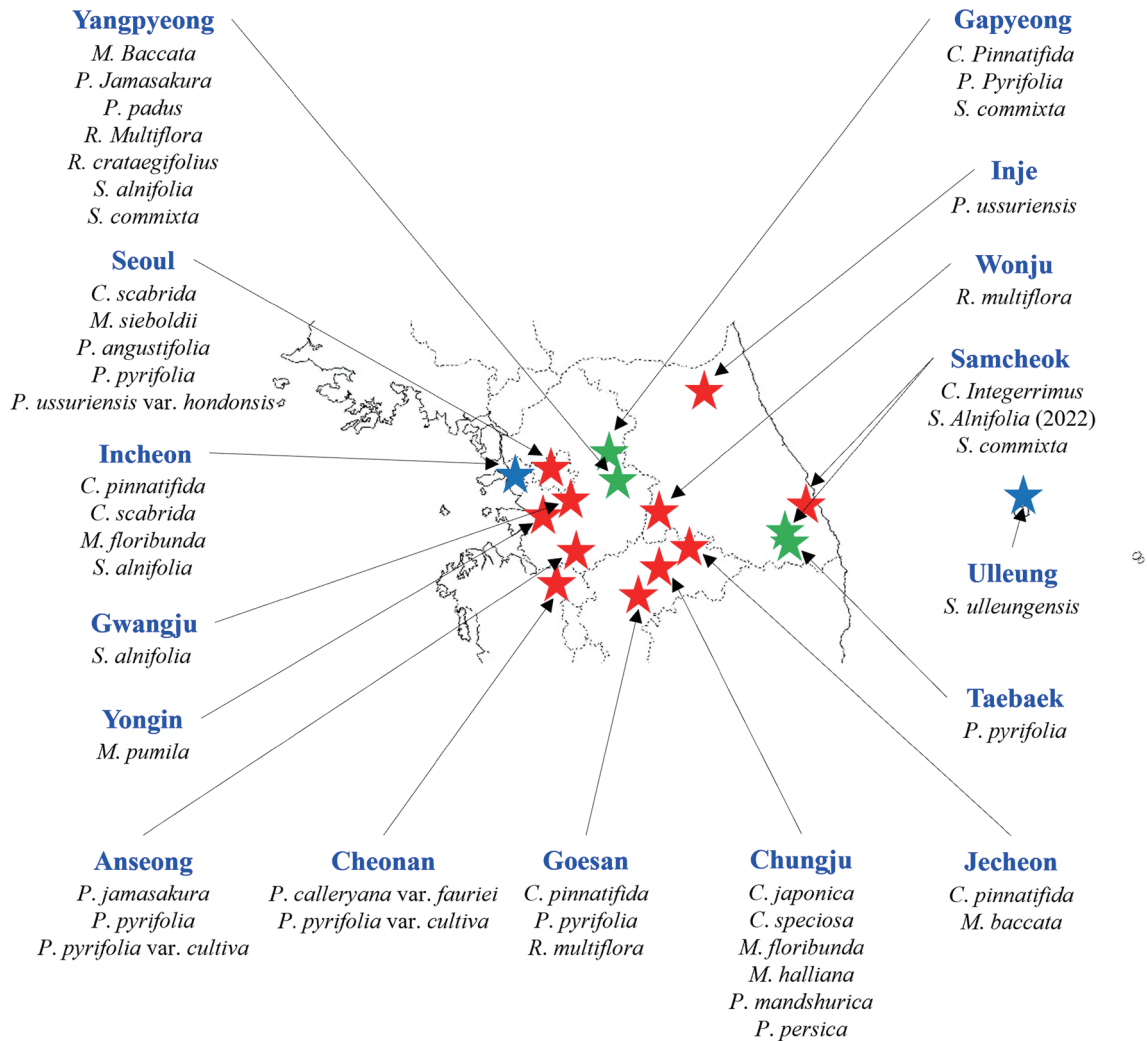


Fig. 1 . Geographical location of wild *Rosaceae* plants collected in Korea from 2020 to 2022. The blue, red, and green stars indicate the locations of collected plant samples in 2020, 2021, and 2022, respectively. The map was obtained from the National Geographic Information Institute (NGII) in Korea.

록 하였다. 다음으로 0.01 % Silwet L-77 (MOMENTIVE Co., Ltd., Seoul, Korea)을 첨가한 10^8 cfu/ml의 *E. amylovora* 균액과 10 mM $MgCl_2$ 를 각각 positive control과 negative control로 하여 준비한 꽃의 암술머리에 20 μ l씩 접종하였다(Fig. 2A). 접종 후 접종액이 다 마를 때까지 기다린 후 컨테이너 박스에 옮겨서 병 발생 여부를 확인하였다.

야생 장미과 식물의 가지 및 잎에 대한 감수성 검정은 2년 생 가지를 이용하여 진행하였다. 채집한 2년생 가지를 잎을 포함하여 약 10 cm 길이로 다듬어 사용하였으며, 이 때 잎은 최소 3장 이상은 남겨두었다. 표면소독을 위하여 가지의 잘린 끝 부분을 1% ClO_2 에 담가서 소독한 뒤 멸균수를 이용하여 두 번 헹구었으며, 각 단계마다 30초 이상 실시하였다. 이 때, 멸균 시에 사용한 용액이 접종에 주는 영향을 최소화하고자 잎이 용액에 닿지 않도록 주의하며 멸균을 진행하였다. 소

독한 가지는 멸균한 수돗물 4 ml을 넣은 5 ml microtube에 꽃고, 0.01% Silwet L-77을 첨가한 10^8 cfu/ml의 *E. amylovora* 균액과 10 mM $MgCl_2$ 를 가위에 묻혀, 잎을 비스듬하게 자르는 방식으로 접종하였다(Fig. 2B).

과실의 경우는 살균 및 소독한 후 0.01% Silwet L-77을 첨가한 10^8 cfu/ml의 *E. amylovora* 균액과 10 mM $MgCl_2$ 를 과실 표면에 pipette tip을 이용하여 구멍을 낸 후, 20 μ l씩 주입하여 접종하였다(Fig. 2C). 산사나무와 미국산사(*C. scabrida*)의 경우 과실의 크기가 작고 과립형이었기에 개별 과실을 주사바늘로 찔러 구멍을 낸 후 용액에 담그는 방식으로 접종하였다. 접종한 과실은 그 크기에 따라 6, 12, 24 well plate (SPL, Pocheon, Korea)에 올려 고정시켰다.

접종이 끝난 꽃, 잎과 가지, 과실은 습도 유지를 위해 멸균 처리한 수돗물을 적신 종이 혹은 티슈가 깔린 투명한 플라스

Table 1. List of wild *Rosaceae* plants in Korea used in this study during 2020–2022

Genus	Scientific name	Common name	Year
Chaenomeles	<i>C. speciosa</i>	Flowering quince	2021
	<i>C. japonica</i>	Japanese quince	2021
Cotoneaster	<i>C. integerrimus</i>	European cotoneaster	2021
Crataegus	<i>C. pinnatifida</i>	Chinese hawthorn	2020, 2021, 2022
	<i>C. scabrada</i>	Scabrous hawthorn	2020, 2021
Malus	<i>M. baccata</i>	Siberian crab apple	2021, 2022
	<i>M. floribunda</i>	Japanese flowering crab apple	2020, 2021
	<i>M. halliana</i>	Hall crab apple	2021
	<i>M. pumila</i>	Apple var. Fuji	2020, 2021, 2022
Prunus	<i>M. sieboldii</i>	Siebold's crab apple	2021
	<i>P. jamasakura</i>	Hill cherry	2021, 2022
	<i>P. mandshurica</i>	Manchurian apricot	2021
	<i>P. padus</i>	European bird cherry	2022
Pyracantha	<i>P. persica</i>	Peach	2021
	<i>P. angustifolia</i>	Orange firethorn	2021
Pyrus	<i>P. calleryana</i> var. <i>fauriei</i>	Korean callery pear	2021
	<i>P. pyrifolia</i>	Asian pear	2021, 2022
	<i>P. pyrifolia</i> var. <i>cultiva</i>	Asian pear	2021
	<i>P. ussuriensis</i>	Manchurian pear	2021
	<i>P. ussuriensis</i> var. <i>hondoensis</i>	Manchurian pear	2021
Rosa	<i>R. multiflora</i>	Multiflora rose	2021, 2022
Rubus	<i>R. crataegifolius</i>	Korean raspberry	2022
Sorbus	<i>S. alnifolia</i>	Korean mountain ash	2020, 2021, 2022
	<i>S. commixta</i>	Japanese rowan	2021, 2022
	<i>S. ulleungensis</i>	Ulleung rowan	2020

틱 용기에 담아 26°C의 실내에서 일정한 광조건(light/dark; 14 hr/10 hr)으로 과실은 약 7일간, 꽃, 잎, 그리고 가지는 약 10일간 보관 후 병징 발현 유무를 확인하였다.

야생 장미과 식물 내 *E. amylovora* 검출. 과실은 접종 후 7 일, 꽃과 잎, 가지는 접종 후 10일 후에 세균 분리를 실시하였다. 식물 내부에 존재하는 세균만을 검출하기 위하여 식물 표면을 1% ClO₂로 살균 후 다음 과정을 진행하였다. 살균한 모든 야생 장미과 식물 부위를 잘게 마쇄한 뒤, 멸균수를 넣어 30분간 균을 추출하였다. 추출한 마쇄액은 cell strainer (SPL)를 이용해 이물질을 제거한 후 10⁻⁷배까지 단계적으로 희석 후, MGY배지

에 농도별로 10 µl씩 dotting하여 26°C 조건에서 2일간 배양하였다. 배양 후 *E. amylovora* colony의 대표적인 특징인 점액성을 가진 유백색 colony들에 대해서 PCR을 실시하였다(Powney 등, 2011). 총반응액이 20 µl가 되도록 2× Taqbasic PCR Master Mix 2 (Biofact, Daejeon, Korea) 10 µl, 정방향 및 역방향 프라이머 A (5'-cgggttttaacgctggg-3')와 B (5'-gggcaaatactcggatt-3') 각 1 µl, 배양한 균을 멸균수에 푼 균액 1 µl, 그리고 positive control과 negative control로서 *E. amylovora* TS3128 균액과 멸균수를 1 µl씩 이용하였으며, 총반응액량은 멸균수를 추가하여 조절하였다. PCR 과정은 2× Taqbasic PCR Master Mix 2에 동봉된 매뉴얼을 따라 실시하였다.

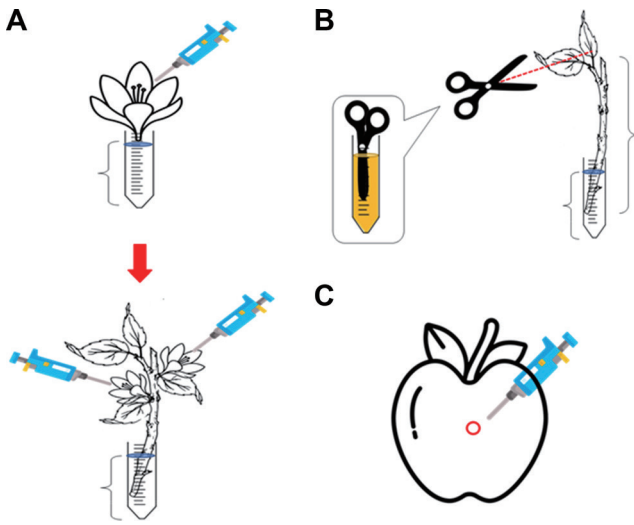


Fig. 2. The scheme of the inoculation methods to confirm a fire blight susceptibility in wild Rosaceae plants. (A) The inoculation on the flower. The flowers were cut from the pedicel and placed into 2 ml of 10% sucrose solution, and then 20 µl of bacterial suspension (10^8 cfu/ml of *Erwinia amylovora* TS3128) was dropped on the stigma. In 2022, the method was modified, so that the flower clusters were detached from the twig and placed into 4 ml of sterilized tap water. (B) The inoculation on the leaf and twig. Young twigs with leaves were soaked in 4 ml of sterilized tap water. Leaves were cut in a diagonal direction with a scissor, which was sufficiently soaked in the bacterial suspension. (C) The inoculation on the fruit. Fruits were punched to make a hole by pipette tip or needle of a syringe. The 20 µl of bacterial suspension was dropped into the hole. All inoculated samples were kept in insulated moist plastic boxes at 26°C.

결과 및 고찰

국내 야생 장미과 식물에 대한 조직별 *E. amylovora* 접종 결과. 2020년부터 2022년까지 3년간 국내에 자생하고 있는 장미과 식물들의 화상병에 대한 감수성 검정을 실시하였다. 전국에 위치한 16개 시·군에서 총 10속 25종의 장미과 식물을 채집하여 실험을 진행하였다(Table 1, Fig. 1). 채집된 모든 야생 장미과 식물은 화상병 감수성 검정을 위해 *E. amylovora* 접종 후 병징을 확인하였다. 이후 병징 발현 유무와 관계없이 접종 표본 내에 *E. amylovora*가 존재하고 있는지 확인하고자 PCR 분석을 수행하였다. 검정 결과와 의미를 속별로 나누어 기술하였다.

명자나무속(*Chaenomeles*), 개야광나무속(*Cotoneaster*), 산사나무속(*Crataegus*) 검정 결과. 명자나무속 식물은 다른 장미과 식물과 함께 *E. amylovora*의 기주식물로 보고되어

있다(Van der Zwet 등, 2012). 명자나무(*C. speciosa*)의 경우 여러 품종에 *E. amylovora*를 인공 접종하였을 때, 품종에 따라 병징 발현 정도가 약 15–96%에 이를 정도로 차이가 큰 것으로 보고되었다(Bell 등, 2004). 국내에 자생하는 명자나무는 *C. speciosa* (Sweet) Nakai로(GBIF Secretariat, 2022; National Institute of Biological Resources, 2022), 화상병에 대하여 강한 저항성을 보인다는 연구 결과가 있다(Bell 등, 2004). 국내에서 채집한 명자나무 꽃과 과실에 10 mM $MgCl_2$ 와 *E. amylovora*를 접종한 후 10일이 지난 뒤 병징을 확인한 결과, 꽃의 암술머리가 갈변하는 증상을 확인하였다(Table 2, Fig. 3). *E. amylovora*를 접종한 과실은 접종 부위 둘레에 암갈색의 병반이 발생하였으며, 증상이 진전될 경우 유백색의 균액 누출(ooze)이 관찰되었다. 가지와 잎에서는 화상병 유사 증상이 확인되지 않았으나, PCR 검사를 통해 잎, 가지에서 *E. amylovora*를 확인하였다(Table 3, Fig. 4). 또한, 병징을 나타냈던 꽃과 과실에서도 *E. amylovora*가 검출되었으며, 과실에서 누출된 균액에서도 *E. amylovora*가 검출되어, 균액 누출이 접종균에 의해 발생한 것임을 확인하였다. 실험을 통해 명자나무는 접종을 통한 병징이 뚜렷하고 접종 부위 내에서 *E. amylovora*가 검출되었음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 화상병에 저항성을 지니고 있다는 기존 연구 결과와 상반되기에 추가실험을 통한 확인이 필요하다고 생각된다.

특유의 향과 영양소를 함유한 풀명자나무(*C. japonica*)는 북유럽지역에서 과수로 재배하고 있으며, 가공 중에 쉽게 산화되지 않아 착즙 제품으로 소비되고 있다(Rumpunen, 2002). 세르비아의 화상병이 발병한 과수원 인근에 위치한 풀명자나무에서 *E. amylovora*가 검출된 바 있으며(Balaž 등, 2013; Balaž와 Smiljanić, 2004), 이는 꿀벌 등의 화분매개충에 의한 감염으로 생각된다(Kaufman과 Rumpunen, 2002). 풀명자나무는 *E. amylovora*를 인공 접종 시 꽃에서 강한 마름 병징이 나타나고, 가지에서는 중간 정도의 마름 병징을 보인다는 연구 결과와 함께(Zeller, 1979), 화상병에 대해 중간 정도 저항성을 지닌다는 결과 또한 보고되어 있다(Van Der Zwet와 Beer, 1999). 본 실험에서는 *E. amylovora*를 접종한 풀명자나무의 모든 조직에서 병징으로 의심되는 어떠한 증상도 관찰되지 않았다(Table 2, Fig. 3). 그러나, PCR 검사 결과 모든 조직에서 *E. amylovora*가 검출되었다(Table 3, Fig. 4). 이는 국내에 자생하는 풀명자나무가 무증상 상태로 *E. amylovora*를 지니고 있을 가능성을 시사한다. 최근 국내에서는 명자나무와 풀명자나무와 같은 명자나무속의 모과나무에서 화상병 발생이 보고된 사례가 있으며(Myung 등, 2016b), 이로 미루어 보아 국내에서 자생하고 있는 명자나무속 식물의 화상병 감수성에 대한 연

Table 2. Summary of disease symptom development in wild *Rosaceae* plants in Korea after inoculation of *Erwinia amylovora*

Genus	Scientific name	Disease symptom		
		Flower	Leaf and twig	Fruit
<i>Chaenomeles</i>	<i>C. speciosa</i>	+	-	+
	<i>C. japonica</i>	-	-	-
<i>Cotoneaster</i>	<i>C. integerrimus</i>	-	+	-
<i>Crataegus</i>	<i>C. pinnatifida</i>	+	+	+
	<i>C. scabrida</i>	+	-	-
<i>Malus</i>	<i>M. baccata</i>	-	+	-
	<i>M. floribunda</i>	-	+	-
	<i>M. halliana</i>	-	+	-
	<i>M. sieboldii</i>	-	+	-
<i>Prunus</i>	<i>P. jamasakura</i>	ND	+	-
	<i>P. persica</i>	ND	+	+
	<i>P. mandshurica</i>	ND	-	-
	<i>P. padus</i>	ND	-	-
<i>Pyracantha</i>	<i>P. angustifolia</i>	-	+	-
<i>Pyrus</i>	<i>P. calleryana</i> var. <i>fauriei</i>	+	+	-
	<i>P. pyrifolia</i>	-	+	+
	<i>P. pyrifolia</i> var. <i>cultiva</i>	+	-	-
	<i>P. ussuriensis</i>	ND	+	-
	<i>P. ussuriensis</i> var. <i>hondoensis</i>	-	-	ND
<i>Rosa</i>	<i>R. multiflora</i>	ND	+	-
<i>Rubus</i>	<i>R. crataegifolius</i>	ND	-	-
<i>Sorbus</i>	<i>S. alnifolia</i>	-	-	-
	<i>S. commixta</i>	ND	+	+
	<i>S. ulleungensis</i>	ND	+	+

^a+, disease symptom developed; -, no disease symptom; ND, not determined.

구를 지속할 필요가 있다.

개야광나무속(*Cotoneaster*) 식물은 아시아, 유럽, 북아프리카 등의 일부 온대지역에서 자생하는 식물이며, 몇몇 지역에서는 화상병에 대한 감수성으로 인해 관목으로 이용이 제한되어 있다(Slabaugh와 Shaw, 2008). 이 중 개야광나무(*C. integerrimus*)는 화상병에 대해 중도 저항성을 가진다고 보고되어 있다(Cabrefiga Olamendi, 2004). 접종 10일 후 개야광나무의 가지와 잎을 확인한 결과, 10mM MgCl₂와 *E. amylovora*를 접종한 대조군과 실험군 모두에서 갈색으로 변색된 모습이 관찰되었다(Table 2, Fig. 3). 하지만 실험군은 변색이 접종 부위

에 국한되지 않고 잎 전체와 잎자루에서도 확인되었으며, 이는 실험군에서 보인 변색이 *E. amylovora*에 의한 병징임을 시사한다. 다른 접종 부위인 꽃과 과실에서는 화상병 유사 증상을 확인할 수 없었다. 그러나, PCR을 이용한 검출 결과 모든 식물 부위에서 *E. amylovora*가 검출되었다(Table 3, Fig. 4).

산사나무속(*Crataegus*속) 식물은 사과 및 배와 함께 대표적인 *E. amylovora*의 기주식물로 알려져 있다. 화상병이 발생한 사과 및 배 과수원 근처에 위치한 산사나무는 꽃을 통해 침입한 *E. amylovora*에 의해 병이 나타난다고 알려져 있다(Phillips와 Burdekin, 1992). 산사나무속 중 현재까지 9종이 화상병에

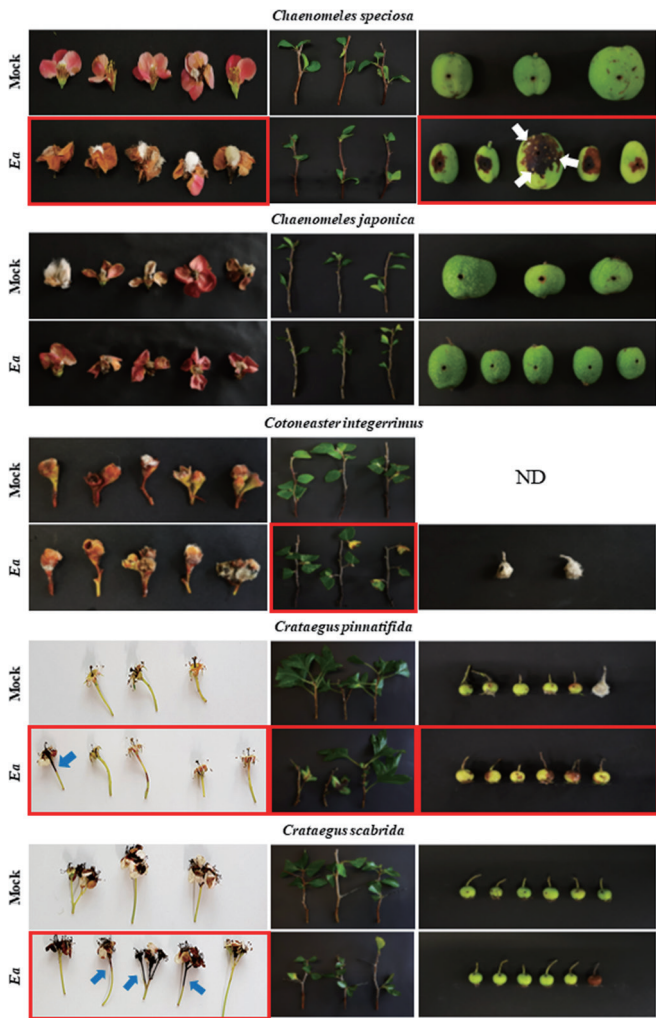


Fig. 3. Screening of the fire blight susceptibility in the genera *Chaenomeles*, *Cotoneaster*, and *Crataegus*. All plants samples were inoculated with 10^8 cfu/ml of *Erwinia amylovora* (Ea) TS3128. The white and blue arrows indicate the bacterial ooze on the *Chaenomeles speciosa* surface and discoloration on the pedicel of *Crataegus pinnatifida* and *Crataegus scabrifida* by Ea infection, respectively. The samples showing suspicious disease symptoms were remarked by the red boxes. The photos were taken 8 to 11 days after inoculation. ND, not determined.

대해 높은 감수성을 지닌다고 보고되었으며(Van der Zwet 등, 2012). 산사나무에 *E. amylovora*를 접종하였을 때 모든 부위에서 병징이 확인되었다(Table 2, Fig. 3). *E. amylovora*가 접종된 꽃은 접종 부위로부터 꽃자루를 따라 검게 변색된 모습을 확인할 수 있었으며, 접종 2일차에 균액 누출이 확인되었다. 그리고 잎과 가지에 접종하였을 때는 잎의 주맥을 따라 암갈색으로 변색되었고, 그 주위로 황색으로 변색이 진전되는 현상을 확인하였다. 또한, 과실에 접종했을 경우 접종 2일차에 균액 누출을 관찰할 수 있었으며, 시간이 지날수록 접종 부위를

중심으로 변색이 진행되었다. 병징이 발생한 부위에 대한 PCR 결과는 가지를 제외한 꽃, 잎, 그리고 과실에서 *E. amylovora*가 존재함을 보여주었다(Table 3). 이는 잎을 통해 감염된 *E. amylovora*가 가지까지 이동하지 않았음을 의미한다. 따라서, 기존에 보고된 결과와 본 실험 결과를 종합해 보았을 때, 국내에 자생하는 *C. pinnatifida*는 화상병에 대한 높은 감수성을 지니고 있음을 확인하였다.

산사나무속의 미국산사는 꽃에서 꽃잎과 꽃자루를 따라 변색이 진행되는 현상을 확인할 수 있었다(Table 2, Fig. 3). 그러나, 산사나무와는 달리 잎, 가지, 그리고 과실에서는 어떠한 변색 또는 병징을 확인할 수 없었다. 그러나, PCR 결과는 병징 관찰 결과와 정반대로 나타났다. *E. amylovora*는 무증상을 보인 잎, 가지, 그리고 과실에서는 검출되었으나, 병징을 보였던 꽃에서는 확인되지 않았다(Table 3). 현재까지 국내외 모두 미국산사의 화상병 관련 연구는 미비한 실정이다. 하지만 화상병에 대한 높은 감수성을 지닌 산사나무속 식물인 미국산사 역시 *E. amylovora*의 기주식물로 분류될 가능성은 높다고 생각되며, 이를 위한 후속 연구가 필요하다.

사과나무속(*Malus*속) 야생 장미과 식물 검정 결과. 국내에서 자생하는 사과나무속의 야광나무(*M. baccata*)의 잎과 가지에 *E. amylovora*를 접종하였을 때, 접종 부위를 기점으로 하여 잎자루까지 암갈색으로 변색이 진행되었다(Table 2, Fig. 5). 꽃과 과실의 경우 대조군과 실험군 사이에서 유의미한 의견 상의 변화는 확인할 수 없었다. 하지만 PCR 검사를 통해 병징 유무와 관계없이 모든 부위에서 *E. amylovora*가 검출되었다(Table 3). 기존 연구에 따르면 야광나무 품종인 *M. baccata* var. *gracilis*와 *M. baccata* var. *mandshurica*는 화상병에 저항성을 가지고 있는 것으로 보고되었다(Lambe, 1980). 또한 화상병 병징 중 줄기 마름 증상에 대해 재배하고 있는 사과나무(*M. domestica*) 대비 중도 저항성 이상의 저항성을 나타낸 이 보고되었으며, 또한 화상병에 대해 전반적으로 높은 저항성을 지니고 있음이 확인되었다(Dougherty 등, 2021; Khan과 Chao, 2017). 또한, 야광나무는 유전체 분석을 통해 화상병 저항성 quantitative trait loci를 보유하고 있음이 보고되었다(Dougherty 등, 2021). 따라서, 접종 실험을 통해 화상병 유사 병징이 관찰되지 않은 결과에 대해 추론해 볼 수 있다. 이에 더해, 병징의 유무와 관계없이 내부에서 균이 검출된 것을 통해 야광나무에서 *E. amylovora*가 일정 기간동안 머무를 수 있다는 가능성을 제시하였다.

꽃사과나무(*M. floribunda*), 서부해당화(*M. halliana*), 아그배나무(*M. sieboldii*) 또한 야광나무와 마찬가지로 잎에 접종 시

Table 3. Summary of the PCR results to detect *Erwinia amylovora* in the inoculated parts of wild *Rosaceae* plants in Korea

Genus	Scientific name	PCR results			
		Flower	Leaf	Twig	Fruit
<i>Chaenomeles</i>	<i>C. speciosa</i>	+ ^a	+	+	+
	<i>C. japonica</i>	+	+	+	+
<i>Cotoneaster</i>	<i>C. integerrimus</i>	+	+	+	-
<i>Crataegus</i>	<i>C. pinnatifida</i>	+	+	-	+
	<i>C. scabrida</i>	-	+	+	+
<i>Malus</i>	<i>M. baccata</i>	+	+	+	+
	<i>M. floribunda</i>	+	+	+	-
	<i>M. halliana</i>	+	+	+	+
	<i>M. sieboldii</i>	+	+	+	+
<i>Prunus</i>	<i>P. jamasakura</i>	ND	+	+	-
	<i>P. persica</i>	ND	-	+	+
	<i>P. mandshurica</i>	ND	-	-	-
	<i>P. padus</i>	ND	-	-	-
<i>Pyracantha</i>	<i>P. angustifolia</i>	+	+	+	+
<i>Pyrus</i>	<i>P. calleryana</i> var. <i>fauriei</i>	+	+	+	-
	<i>P. pyrifolia</i>	+	-	-	+
	<i>P. pyrifolia</i> var. <i>cultiva</i>	-	-	+	+
	<i>P. ussuriensis</i>	ND	-	-	+
	<i>P. ussuriensis</i> var. <i>hondoensis</i>	-	-	-	ND
<i>Rosa</i>	<i>R. multiflora</i>	ND	-	-	+
<i>Rubus</i>	<i>R. crataegifolius</i>	ND	-	-	-
<i>Sorbus</i>	<i>S. alnifolia</i>	+	+	+	+
	<i>S. commixta</i>	ND	+	+	+
	<i>S. ulleungensis</i>	ND	+	ND	+

^a+, detected; -, not detected; ND, not determined.

변색된 부위가 주맥을 따라 잎자루까지 진행되는 모습을 보였으나, 꽃과 과실에서는 병징으로 의심되는 현상은 나타나지 않았다(Table 2, Fig. 5). 꽃사과나무는 잎과 가지와 함께 병징이 나타나지 않았던 꽃에서도 *E. amylovora*가 검출되었으나, 과실에서는 확인할 수 없었다(Table 3, Fig. 4). 꽃사과나무에서 화상병은 산발적으로 발생한다고 알려져 있다(Bastas와 Ozturk, 2013). 그러나, 기존 연구에서 꽃사과나무는 화상병에 대한 저항성을 지니고 있음을 확인하였으며, 이를 기반으로 *M. floribunda* 821이 보유한 저항성 유전자를 이용하여 개량한 품종들은 저항성이 향상될 수 있음을 밝혔다(Peil 등, 2021). 또한, 야광나무와 꽃사과나무를 교배하여 얻은 *M. ×*

robusta 5 (Mr5)는 화상병 저항성 유전자 *FB_MR5*을 보유하고 있으며, 관련 연구에 이용되고 있다(Broggini 등, 2014). 서부해당화와 아그배나무는 병징을 보였던 잎과 가지와 더불어 무증상이었던 꽃과 과실 모두에서 *E. amylovora*가 검출되었다(Table 3, Fig. 4). 하지만, 기존 연구에 따르면 서부해당화는 화상병에 대한 저항성을 지니고 있으며, 특히 줄기 마름 증상에 대해 높은 저항성을 지닌다고 알려져 있다(Dougherty 등, 2021; Khan과 Chao, 2017; Kostick 등, 2021). 아그배나무 또한 화상병에 대해 높은 저항성을 보이며(Olien, 1987), 이러한 특징으로 인해 대목으로 사용된다고 알려져 있다(Schmidt, 1988). 하지만, 꽃사과나무, 서부해당화, 아그배나무 모두 화상

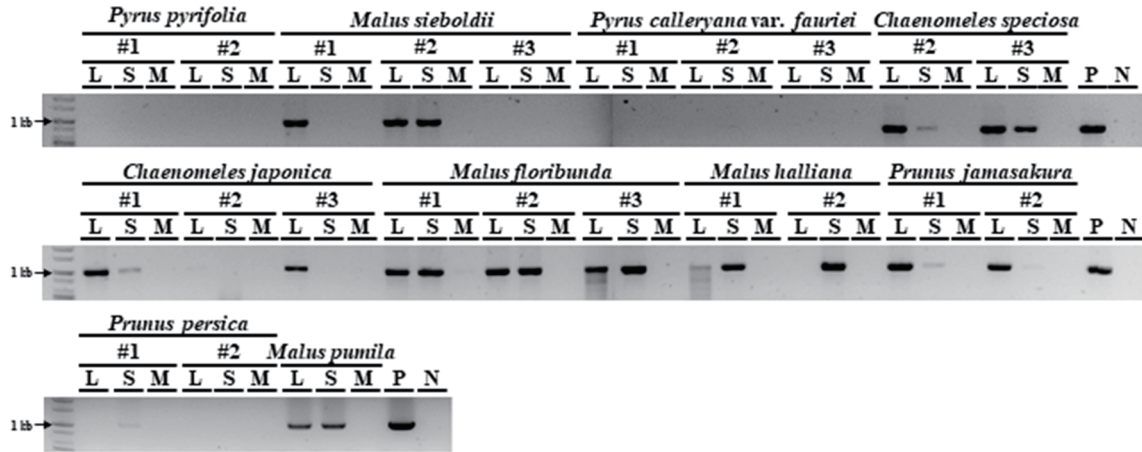


Fig. 4. Detection of *Erwinia amylovora* in both inoculated and non-inoculated parts of the wild *Rosaceae* plants by conventional polymerase chain reaction (PCR). *E. amylovora* TS3128 was detected from inside of several inoculated samples. The bands between 900 bp to 1.1 kb corresponded the PCR product of *E. amylovora* pEA29 by a specific primer set. M, the mock with 10 mM MgCl₂; L, leaf samples; S, stem samples; P, *E. amylovora* TS3128 as a positive control; N, sterilized distilled water as a negative control.

병 저항성을 지녔음에도 병징과 균이 확인되었으므로, 해당 식물로부터의 화상병 전파 가능성은 배제할 수 없다. 본 실험을 통해 국내 자생 사과나무속 식물의 경우 꽃과 과실보다 잎과 가지에서 화상병 유사 병징이 주로 발생함을 확인하였다.

배나무속(*Pyrus*속) 야생 장미과 식물 검정 결과. 배나무속의 야생 장미과 식물 중 과실이 작아 관상용으로도 쓰이는 콩배나무(*P. calleryana* var. *fauriei*)는 배나무의 수형을 향상시킬 수 있는 다른 대목이 존재함에도 불구하고, 화상병에 대한 높은 저항성을 지녀 미국에서 대목으로 많이 이용되고 있다(Bell과 Itai, 2011; Culley와 Hardiman, 2007; Waterworth와 Clayton, 1982). 실험에 이용한 콩배나무가 화상병에 대한 감수성을 보이는지 확인하기 위해 접종을 실시한 결과, 꽃은 *E. amylovora*를 접종하였을 때 암술머리부터 꽃자루까지 검게 변색되었다(Table 2, Fig. 6). 꽃잎은 접종 부위를 중심으로 하여 변색되는 부위가 퍼지는 형상을 보였다. 잎과 가지에서도 *E. amylovora*에 의한 병징을 확인하였다. 잎은 접종부위로부터 주맥을 따라 시작된 변색부위가 점차 커지고 잎자루까지 이어지는 모습을 보이고 있으며, 가지는 대조군이 녹색을 보이는 것과 대비되는 짙은 암갈색으로 변색되었다. 과실은 다른 접종 부위와는 달리 뚜렷하게 구분되는 병징이 발생하지 않았다. PCR 검사를 통해 *E. amylovora*를 접종하여 병징을 보였던 잎, 가지, 그리고 꽃에서 *E. amylovora*가 검출되었다(Table 3, Fig. 4). 하지만, 병징을 나타내지 않은 과실 내부에서는 *E. amylovora*를 확인할 수 없었다. 따라서, 콩배나무는 과실을 제외한 부위에서 *E. amylovora* 감염이 이루어질 수 있다고 추정된다.

돌배나무(*P. pyrifolia*)는 *E. amylovora* 접종 시 잎과 가지, 그리고 과실에서 병징이 확인되었다. 잎은 주맥을 따라 검은색으로 타들어 가는 형상을 보였으며, 과실은 접종부위 주변으로 갈색의 병반과 함께 과실 전반에 걸쳐 변색이 두드러지게 나타났다(Table 2, Fig. 6). 돌배나무 꽃은 10 mM MgCl₂와 *E. amylovora*를 접종한 샘플 모두에서 차이를 보이지 않았다. 돌배나무 접종 시 병징을 보였던 잎, 가지, 과실과 무증상이었던 꽃을 이용하여 PCR 검사를 실시하였을 때, 과실에서는 *E. amylovora*가 검출되었으나 잎과 가지에서는 병원균이 검출되지 않았다(Table 3, Fig. 4). 이와 달리, 돌배나무 꽃은 병징을 보이지 않았으나 PCR 검사 결과 내부에서 병원균이 확인되었다. 돌배나무의 화상병에 대한 감수성은 종내에서도 큰 차이를 보인다고 알려져 있으며(Van der Zwet 등, 1974), 본 실험에 이용한 돌배나무의 경우 화상병에 대한 감수성이 높다고 사료된다.

*E. amylovora*의 주된 기주식물로 알려진 배나무(*P. pyrifolia* var. *cultiva*)는 2015년 국내에서 처음으로 화상병 발병이 확인되었다(Park 등, 2016). 본 실험에서는 배나무 꽃에 접종했을 경우에만 병징이 나타났다(Table 2, Fig. 6). 암술머리와 꽃잎이 각각 검은색과 갈색으로 변색되었으며, 꽃자루 또한 황색으로 변하는 모습을 보였다. 잎과 가지의 경우는 대조군과 큰 차이를 나타내지 않았으며, 과실은 실험군에서 검게 변색되었지만 대조군도 동일한 결과를 나타내어 병징으로 판별하기 어려웠다. 반면, PCR 검사 결과는 이와 무관하게 가지와 과실에서만 *E. amylovora*가 검출되었으며, 병징이 나타났던 꽃은 내부에서 균이 검출되지 않았다(Table 3).



Fig. 5. Screening of the fire blight susceptibility in the genus *Malus*. All plant samples were inoculated with 10^8 cfu/ml of *Erwinia amylovora* (*Ea*) TS3128. Leaves and twigs displayed clear disease symptoms than other plant parts. The samples showing suspicious disease symptoms were remarked by the red boxes. The samples were photographed 10 to 11 days after inoculation.

산돌배나무(*P. ussuriensis*)는 중국 북부에서 주로 재배되며, 이를 기반으로 한 재배종은 150여 종이 넘는 것으로 알려져 있다(Katayama 등, 2016). 대표적인 변종으로 *P. ussuriensis* var. *ussuriensis*와 *P. ussuriensis* var. *aromatica*가 존재한다. 관상목적 또는 대목으로도 활용되고 있는 산돌배나무는 *E. amylovora*를 인위적으로 접종하였을 시 높은 화상병 저항성을 보이며(Bell과 Itai, 2011), 그 중에서도 높은 화상병 저항성을 보인 *P. ussuriensis* 18, *P. ussuriensis* var. *ovoidea* 8과 같은 산돌배나무 변종을 유전자원으로 하여 화상병 감수성이 높은 재배종과 교배하였을 때, 화상병 저항성을 후대로 전달할 수 있음이 보고되었다(Bokszczanin 등, 2012). 본 실험에 이용된 산돌배나무는 개화기가 지난 시기에 채집되어 꽃에 대한 감수성 검정은 진행하지 않았다. 꽃을 제외한 잎과 가지, 과실을 이용하여 감수성 검정을 실시한 결과 잎에서 주맥을 따라 발생한 병징이 관찰되었으나, 과실에서는 어떠한 병징도 확인할 수 없었다(Table 2, Fig. 6). 하지만, 잎에서 병징이 나타났음에도

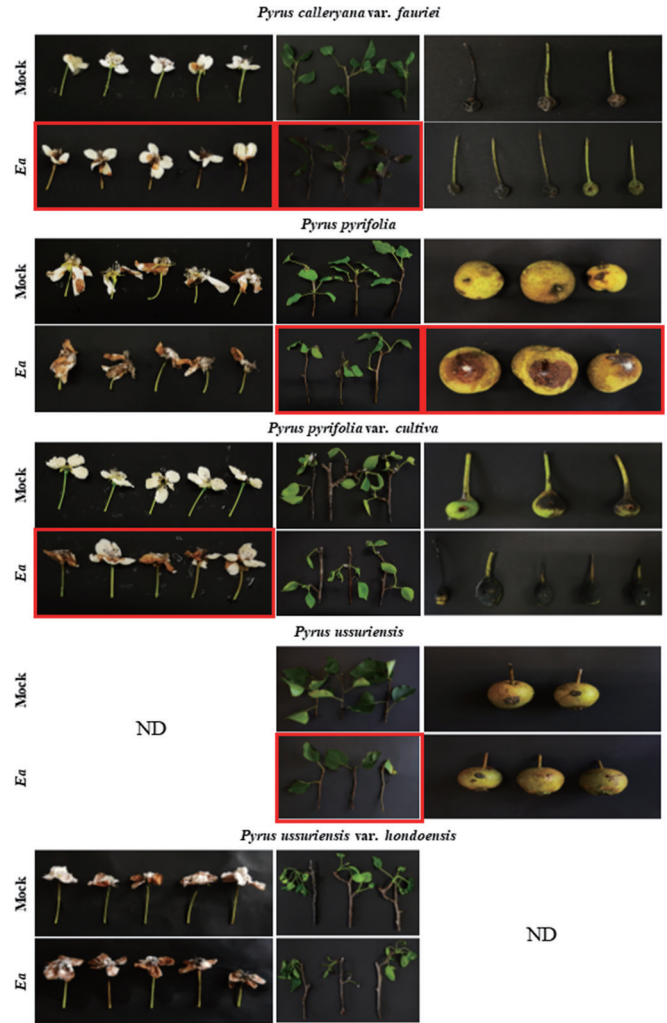


Fig. 6. Screening of the fire blight susceptibility in the genus *Pyrus*. All plant samples were inoculated with 10^8 cfu/ml of *Erwinia amylovora* (*Ea*) TS3128. Flowers of *Pyrus ussuriensis* and fruits of *Pyrus ussuriensis* var. *hondoensis* were not tested. The samples showing suspicious disease symptoms were remarked by the red boxes. The photos were taken 10 to 11 days after inoculation. ND, not determined.

불구하고 PCR 결과상으로는 *E. amylovora*가 검출되지 않았다(Table 3). 반면, 무증상을 보인 과실에서는 *E. amylovora*가 검출되었다. 산돌배나무 변종(*P. ussuriensis* var. *hondoensis*)에 *E. amylovora*를 인공 접종하였을 때, 어떠한 부위에서도 화상병 유사 증상이 나타나지 않았다(Table 2, Fig. 6). 또한 PCR 검사를 통하여 모든 식물 부위에서 *E. amylovora*가 검출되지 않음을 확인하였다(Table 3). 따라서, 병징 관찰과 PCR 분석 결과가 일치하였다. 기존 산돌배나무와는 달리 결실기가 아닌 개화기에 채집하여 과실에 대한 감수성 검정은 진행하지 못하였다. 기존 연구는 산돌배나무와 산돌배나무 변종 모두에서 화상

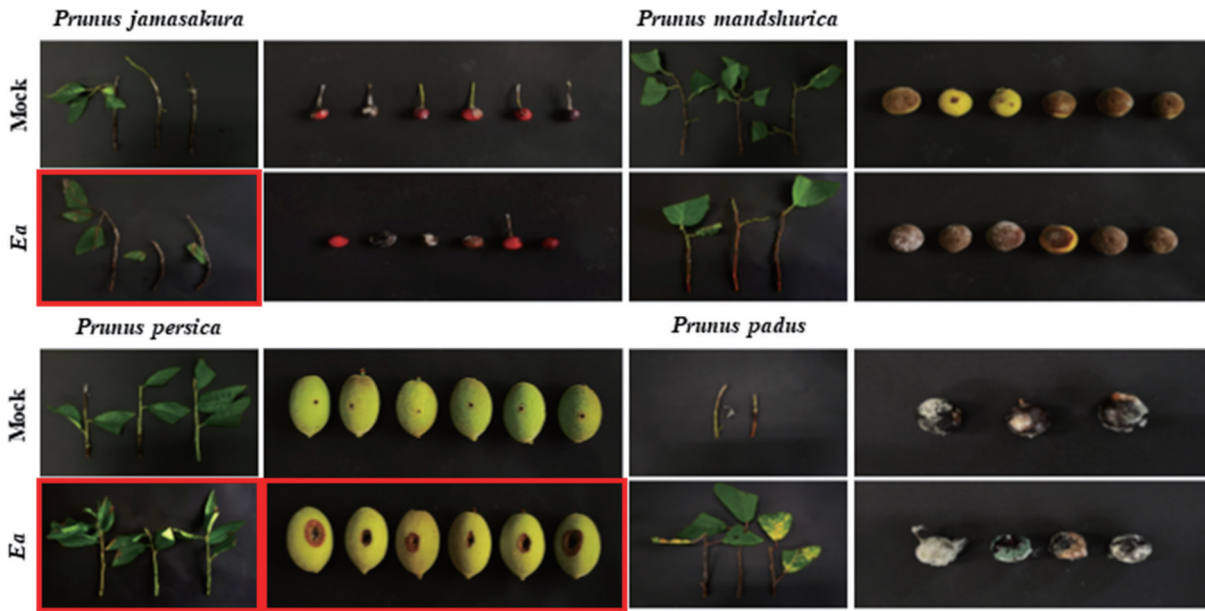


Fig. 7. Screening of the fire blight susceptibility in the genus *Prunus*. All twigs and fruits were inoculated with 10^8 cfu/ml of *Erwinia amylovora* (*Ea*) TS3128. The samples, showing suspicious disease symptoms, were remarked by the red boxes. The photos were taken 10 to 11 days after inoculation.

병에 대한 저항성이 높다고 알려져 있으며, 본 실험 결과도 기존에 보고된 결과와 일치하는 모습을 보였다.

벚나무속(*Prunus*속) 야생 장미과 식물 검정 결과. 총 4종의 *Prunus*속 야생 장미과 식물에 대한 화상병 감수성 검정을 실시하였다. 이들 4종의 식물은 개화기가 아닌 결실기에 채집하였기에, 꽃에 대한 감수성 검정은 수행되지 않았다. 우선 실험에 이용한 벚나무 종은 *P. jamasakura*로서 *P. serrulata*로 묶어 분류되기도 한다(Chang 등, 2007). 현재까지 *P. jamasakura*에서는 화상병이 확인되지 않았으나 *P. serrulata*에서 화상병 발생사례가 보고된 바 있다(Horst, 2001). 본 실험에서는 벚나무의 잎과 가지에서 주맥을 따라 진행된 병징을 관찰할 수 있었다(Table 2, Fig. 7). 이 병징은 다른 야생 장미과 식물의 잎에서 나타난 병징보다 밝은 색으로 변색된 점에서 대비된다. 과실은 접종 후 대조군과 실험군 모두 부패와 오염이 심하여 육안상으로 차이를 확인할 수 없었다. 병징을 보였던 잎과 가지는 모두 내부에서 *E. amylovora*가 검출되었으며, 과실에서는 병원균이 발견되지 않았다(Table 3, Fig. 4). 이러한 결과는 *P. jamasakura*가 *E. amylovora*의 기주식물이 될 수 있으며 화상병이 발생할 수 있음을 보여준다.

복사나무(*P. persica*)도 벚나무와 마찬가지로 잎과 가지에 접종하였을 때 다른 장미과 식물보다 밝은 색의 변색이 주맥을 따라 나타나는 병징을 보였다(Table 2, Fig. 7). 특히, 과실

에서 접종부위를 중심으로 갈색의 병반이 발생하였으며, 균액 누출로 보이는 현상이 관찰되었다. 일반적으로 균액 누출이 액체상태인 반면, 복사나무 과실에서 확인된 균액 누출은 결정 형태였으며, 적은 충격에도 쉽게 과실 표면에서 탈락하였다. 이는 시간이 경과함에 따라 건조한 환경에 노출되어 발생한 결과라고 추정된다. 변색 등의 뚜렷한 병징을 보였던 잎은 그 표현형과 달리 내부에서 *E. amylovora*가 검출되지 않았다(Table 3, Fig. 4). 하지만 잎이 아닌 가지에서 *E. amylovora*가 검출되었으며, 이는 잎을 통한 전이가 이루어졌기 때문이라고 추정된다. 과실의 경우 누출된 균액과 본체 모두에서 *E. amylovora*가 확인되었다. 복사나무는 *E. amylovora*의 비기주식물로 알려져 왔으나 인위적인 접종을 통해 병징이 나타날 수 있음이 확인되었으며(Palacio-Bielsa 등, 2012), 특히 복사나무의 암술머리에서 *E. amylovora*가 빠른 속도로 증식할 수 있음이 밝혀졌다(Weißhaupt 등, 2016). 이는 일반적으로 알려진 사과와 배에서 *E. amylovora*가 보이는 특징과 일치한다(Malnoy 등, 2012). 또한, 복사나무는 사과나무와의 전사체 비교분석을 통한 *E. amylovora*와 기주식물 사이의 상호작용에 대한 연구에 활용되고 있다(Kamber 등, 2016). 따라서 복사나무 또한 *E. amylovora*의 기주식물 및 중간매개자 역할을 할 수 있기 때문에 화상병이 발생한 사과 및 배 과수원 근처의 복사나무에 대한 역학 조사가 필요하다고 생각된다.

개살구나무(*P. mandshurica*)는 품종개량에 사용할 냉해

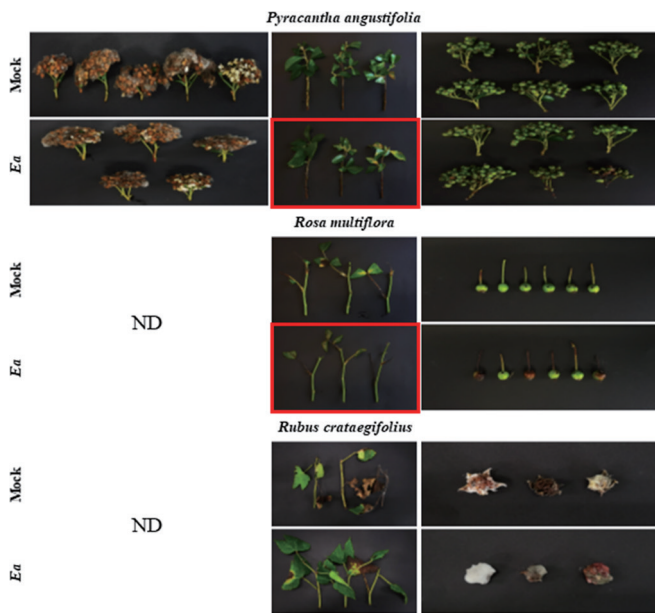


Fig. 8. Screening of the fire blight susceptibility in the genera *Pyracantha*, *Rosa*, and *Rubus*. All plant samples were inoculated with 10^8 cfu/ml of *Erwinia amylovora* (Ea) TS3128. Flowers of the genera *Rosa* and *Rubus* were not examined in this experiment. The samples showing suspicious disease symptoms were remarked by the red boxes. The samples were photographed 10 to 11 days after inoculation. ND, not determined.

저항성(frost resistance)관련 유전자원으로 활용되고 있다 (Hormaza 등, 2007). 현재까지 개살구나무에서 화상병이 발생했다는 보고가 없었으며, 관련 연구가 이루어지지 않고 있다. 접종 실험 결과, 잎과 가지에서 대조군과 실험군 사이의 유의미한 차이는 확인되지 않았으며, 과실 또한 마찬가지로 뚜렷한 병징이 확인되지 않았다(Table 2, Fig. 7). 비록, *E. amylovora*를 접종한 과실이 전반적으로 암갈색으로 변색이 이루어졌으나, 대조군도 동일한 결과를 보이는 과실이 있었기에 병징이라고 결론지을 수 없었다. 개살구나무는 병징 관찰 결과와 동일하게 모든 부위에서 *E. amylovora*가 검출되지 않았다(Table 3). 따라서, 개살구나무는 *E. amylovora*의 기주식물이 아니라고 판단하였다. 그러나, 2020년에 국내에서 처음으로 살구나무에서 화상병이 발생하였기에(Lee 등, 2021), 개살구나무에 대한 추가적인 조사가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

귀룽나무(*P. padus*) 또한 개살구나무와 마찬가지로 모든 접종 부위에서 화상병 의심증상이 발현되지 않았다(Table 2, Fig. 7). 더욱이 과실의 경우, 조직이 무르고 수분이 많아 접종 후 보관기간 동안 부패와 오염이 상당히 진행되어 육안상으로 식별이 불가능하였다. 마찬가지로, *E. amylovora*를 접종한

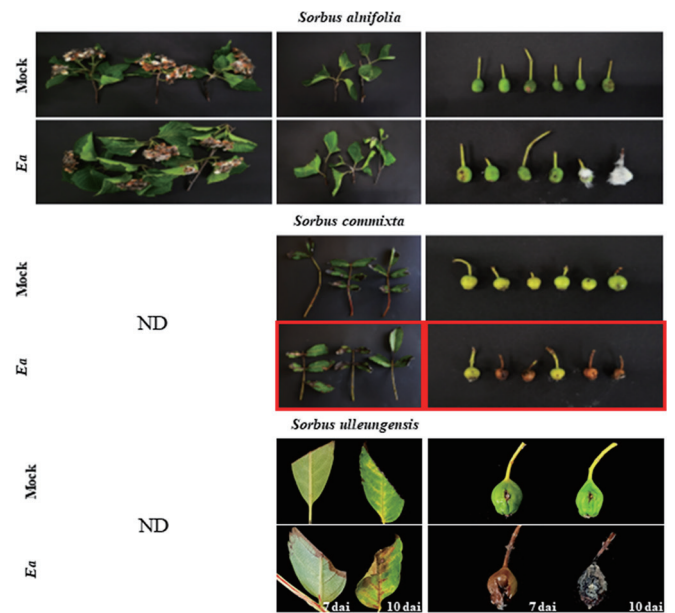


Fig. 9. Screening of the fire blight susceptibility in the genera *Sorbus*. All plant samples were inoculated with 10^8 cfu/ml of *Erwinia amylovora* (Ea) TS3128. Flowers of the genera *S. commixta* and *S. ulleungensis* were not examined in this experiment. The samples showing suspicious disease symptoms were remarked by the red boxes. The samples were photographed 7 to 11 days after inoculation (dai). ND, not determined.

귀룽나무의 모든 부위에서 PCR을 통한 *E. amylovora*는 확인되지 않았다(Table 3). 귀룽나무는 일부 세균, 곰팡이 및 바이러스에 의한 식물병이 발생한다고 알려져 있으나, 아직까지 *E. amylovora* 감염에 의한 화상병은 보고되지 않았다(Leather, 1996). 본 연구를 통해, 귀룽나무에 *E. amylovora* 접종 시 어떠한 병징도 나타나지 않으며, 내부에 균이 존재할 수 없다는 사실을 처음으로 확인하였다.

피라칸다속(*Pyracantha*), 장미속(*Rosa*) 및 산딸기속(*Rubus*) 야생 장미과 식물 검정 결과. 피라칸다속의 피라칸다(*P. angustifolia*), 장미속의 찔레나무(*R. multiflora*), 산딸기속의 산딸기(*R. crataegifolius*)에 대한 화상병 감수성 검정을 실시하였다. 찔레나무와 산딸기는 개화기를 지나 표본을 채집하였기에 꽃에 대한 감수성 검정은 진행하지 않았다. 우선, 피라칸다속 식물은 화상병에 매우 높은 감수성을 보인다고 알려져 있다(Van der Zwet 등, 2012). 이 중 피라칸다는 *E. amylovora*의 기주식물이 될 수 있으며, 꽃이 시들고 검게 변색되며 어린 가지가 말단부터 죽어가는 화상병의 전형적인 병징이 나타난다고 보고되었다(Chari 등, 2020). 본 연구에서 피라칸다는 접종을 통해 잎과 가지에서 병징을 확인하였다. 잎은 황색으로 변

색이 진행되었으며, 변색된 부위는 접종 부위와 잎자루 부근부터 잎 중앙으로 진전되는 모습을 보였다(Table 2, Fig. 8). 꽃은 대조군과 비교 시 명확한 병징이 드러나지 않았으며, 과실에서 가지와 연결된 부위가 검게 변색된 모습을 확인하였으나, 극히 일부의 과실에서 나타난 증상이기 때문에 화상병 관련 증상이라고 판단할 수 없었다. 하지만 PCR 분석 결과, 병징 유무와 관계없이 *E. amylovora*를 접종한 모든 부위에서 균이 검출되었다(Table 3). 이와 같은 결과는 기존의 연구에서 얻은 결과와 부합하였다. 따라서 피라칸다는 *E. amylovora*의 기주식물이며 화상병이 발생할 수 있음이 다시 한번 확인되었다.

장미 재배 시 대목으로 이용되며, 화단의 울타리로 활용되는 찔레나무는(Culley와 Hardiman, 2007), *E. amylovora*를 인공 접종할 시 화상병이 약하게 발생하며(Hindal과 Wong, 1988), *E. amylovora*는 암술머리에서 화상병 감수성 사과 품종 이상으로 증식할 수 있음이 밝혀졌다(Weißhaupt 등, 2016). 이를 바탕으로 *E. amylovora*를 접종한 결과, 잎과 가지에서 화상병 유사 병징을 보였다. 잎의 주맥은 검게 변화하였으며, 가지와 연결된 잎자루까지 진전되었다(Table 2, Fig. 8). 찔레나무 과실은 접종 10일 경과 후 전체적으로 접종 부위를 중심으로 암갈색으로 변색이 진행되었다. 이와 달리 대조군은 어떠한 변색이나 병징이 나타나지 않았으나, 반복 실험을 통해 실험군과 유사한 현상이 나타남을 확인하였다. 따라서, 이러한 변색 증상이 *E. amylovora* 접종에 의해 발생되었는지는 추가적인 확인이 필요하다. 그러나, 뚜렷한 병징을 나타냈던 잎과 가지를 이용한 PCR 분석을 실시하였을 때 *E. amylovora*는 검출되지 않았으며, 병징으로 판단하기 어려운 표현형을 보인 과실에서 균이 검출되었다(Table 3).

산딸기는 *E. amylovora*를 접종한 잎과 가지에서 화상병 유사 증상이 나타났으나, 대조군에서도 마찬가지로의 증상이 나타나 추가적인 실험이 필요하다(Table 2, Fig. 8). 산딸기 과실은 경도가 낮고 매우 무른 상태였기에, 접종 후 대조군과 실험군 모두에서 부패와 오염이 심하게 진행되어 병징 확인이 불가하였다. 산딸기는 병징 유사 증상을 보인 잎과 가지, 그리고 구분이 어려웠던 과실 모두에서 *E. amylovora*는 검출되지 않았다(Table 3). 산딸기속 식물 중 raspberry와 blackberry에서 일반적으로는 아니나 화상병이 발생한다고 보고된 바 있으며, 화상병 발병 시 사과와 배에서 볼 수 있는 전형적인 병징이 나타난다고 알려져 있다(Dolan 등, 2018). 산딸기는 *Phytophthora rubi*에 의해 발생하는 뿌리 썩음병, *Botrytis cinerea*에 의한 과실 썩음병, *Sphaerulina rubi*에 의한 raspberry leaf spot 등에 저항성을 지닌 유전자원으로 활용되고 있으나, 화상병에 대한 저항성은 보고된 바 없다(Finn과 Clark, 2012). 본 연구는 산

딸기에서 화상병이 발생하지 않으며, *E. amylovora*가 내부에서 증식할 수 없음을 확인하였다. 하지만 *Rubus*속에서 화상병이 발병된 사례가 있기 때문에 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

마가목속(*Sorbus*) 야생 장미과 식물 검정 결과. 마가목속의 팔배나무(*S. alnifolia*)와 마가목(*S. commixta*), 우산마가목(*S. ullengensis*)에 대한 화상병 감수성 검정을 실시하였다. 마가목과 우산마가목 꽃에 대한 감수성 검정은 개화기를 지나 표본을 채집하였기에 수행하지 않았다. 우선, 팔배나무는 *E. amylovora*를 접종한 일부 꽃의 암술머리, 꽃잎, 그리고 꽃자루에서 변색을 확인하였으나, 이러한 증상은 대조군에서도 마찬가지로 발견되었기에 병징이라고 판단하지 않았다. 잎과 가지에서도 대조군과 실험군 모두 접종을 위한 절단면을 따라 검게 변색된 점을 제외하면 어떠한 병징도 나타나지 않았다(Table 2, Fig. 9). 과실 또한 마찬가지로 *E. amylovora*를 접종한 일부 과실에서 약간의 황변이 발생하였으나, 두 개체군 모두에서 대비되는 증상을 발견할 수 없었다. 그럼에도 불구하고, PCR 검사를 통해 접종한 모든 부위 내부에 *E. amylovora*가 존재함을 확인하였다(Table 3). 팔배나무는 *E. amylovora*의 기주식물이며, 화상병에 대해 중간 정도의 저항성을 지녔다고 보고되어 있으며, 다른 기주식물로 *E. amylovora*를 전파할 수 있는 위험성을 지닌다는 연구결과가 있다(Koller, 1978; Van der Zwet, 1995; Van Der Zwet과 Beer, 1999). 따라서, *E. amylovora*에 감염되었지만 무증상을 나타내는 팔배나무는 화상병 확산에 있어 여전히 위험성을 지닌다고 생각되며, 이를 고려한 방역 작업이 필요할 것으로 보인다.

팔배나무를 포함한 마가목속의 몇몇 종은 화상병에 감수성으로 알려져 있으나 현재까지 마가목과 우산마가목의 과수 화상병에 대한 감수성과 그 병징에 대한 연구는 미흡한 실정이다(Van Der Zwet과 Beer, 1999). 마가목에 *E. amylovora*를 인공 접종한 결과 잎과 가지에서 대조군과 대비되는 증상을 보였다. 특히, 잎은 *E. amylovora*를 접종한 개체에서 주맥을 따라 잎 전반에 걸쳐 검게 변색되는 모습을 보여주었으며, 벚나무속 식물의 잎에서 나타난 병징과 같이 연한 황색으로 변색되는 현상도 나타났다(Table 2, Fig. 9). 대조군에서도 검게 변색되는 현상이 발견되었지만 그 범위가 국한되어 있어, *E. amylovora*를 접종한 개체에서 나타난 증상을 병징으로 판단하였다. 과실의 경우 *E. amylovora*를 접종한 과실에서 화상병과 유사하게 과실 전반에 걸쳐 변색이 진행되었다. PCR 검사 결과 또한 병징 관찰 결과와 마찬가지로 *E. amylovora*를 접종한 모든 부위에서 균이 검출되어, 두 실험 결과가 일치하는 모

습을 보여주었다(Table 3). 우산마가목은 비교적 최근에 울릉도에서 자생하고 있음이 확인된 마가목속 식물이다(Chang과 Gil, 2014; Gil과 Kim, 2018). 마가목과 마찬가지로 잎에 *E. amylovora* 인공 접종 시 접종부위와 주맥을 따라 갈색으로 변색되었으며, 과실 역시 전체적으로 색이 변하였다(Table 2, Fig. 9). 변색이 발생한 조직을 이용한 PCR 검사를 실시한 결과, 해당 조직에서 *E. amylovora*가 검출되었다(Table 3). 따라서 본 실험 결과를 통해 마가목과 우산마가목은 *E. amylovora*의 기주식물로 정의할 수 있으며, 과수 화상병이 발생할 수 있음을 확인하였다.

이상의 결과들을 종합하면, *E. amylovora* 접종 실험을 통해 대조군으로 이용한 사과 '부사'를 제외하고, 적어도 한개 조직 이상 화상병 유사 병징을 보인 야생 장미과 식물은 18종이었으며, 모든 조직에서 병징을 보이지 않은 식물은 6종이었다. 본 실험을 통해 얻은 야생 장미과 식물들에 대한 화상병 감수성 검정 결과는 접종 조직별 병징 발현 여부를 표로 정리하였다(Table 2). 또한, *E. amylovora* 접종 부위에 대한 PCR 검사 결과를 통해 대부분의 야생 장미과 식물에서 병징 유무와 관계없이 *E. amylovora*가 검출됨을 확인하였다. *E. amylovora*를 접종한 조직 중 적어도 한가지 조직 이상 균이 검출된 야생 장미과 식물은 20종이었으며, 모든 조직에서 균이 검출되지 않은 식물은 4종이었다. PCR 검사를 실시하여 접종 부위별 *E. amylovora* 검출 여부는 Table 3에 정리하였다.

본 연구를 통해 병징 발현과 *E. amylovora* 검출 결과가 일치하는 야생 장미과 식물은 명자나무, 개야광나무, 산사나무, 야광나무, 꽃사과나무, 서부해당화, 아그배나무, 벗나무, 복사나무, 피라칸다, 콩배나무, 돌배나무, 마가목, 그리고 우산마가목 등 14종으로 확인되었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 *E. amylovora*에 의한 국내 화상병의 토착화 및 전파를 방지하는 향후 정책 방향을 결정함에 있어 기여할 수 있을 것이라 생각된다.

요 약

*Erwinia amylovora*에 의해 발생하는 화상병은 2015년 국내에서 처음 보고된 이후 전국적으로 확산되고 있다. 화상병은 벌과 같은 화분매개충, 강한 바람을 동반한 강수와 이병주 전정 작업에 의한 전파 등 많은 경로를 통해 병원균 감염이 진행되어 발생한다. 이 외에도 자생하는 개야광나무속, 산사나무속, 피라칸다속, 벗나무속, 마가목속 등의 장미과 식물이 *E. amylovora*의 기주식물과 전파원이 될 수 있음이 보고되어 있다. 그러나, 국내에서는 아직까지 자생하고 있는 장미과 식물의 화상병 감

수성에 관한 연구가 많이 다뤄지지 않은 상황이다. 본 연구에서는 2020년부터 2022년까지 3년간 국내에서 채집한 야생 장미과 식물 10속 25종을 대상으로 화상병 감수성 검정을 진행하였다. 10^8 cfu/ml 농도의 *E. amylovora* 균액을 이용하여 채집한 식물의 꽃, 잎과 가지, 과실에 접종하고, 화상병 유사 병징 발현을 관찰하고 PCR을 통해 접종 조직 내의 *E. amylovora* 검출 여부를 분석하였다. 그 결과, 병징 발현과 병원균 검출 결과가 동일한 14종의 야생 장미과 식물을 확인하였다. 이러한 결과는 향후 적절한 화상병 방제 정책 수립에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This research was supported by the National Institute of Biological Resources, Ministry of Environment of Republic of Korea (NIBR202112101, NIBR202213101) and Bio & Medical Technology Development Program of the National Research Foundation (NRF) (No. 2021M3A9I5021437).

References

- Balaž, J., Grahovac, M., Radunović, D., Iličić, R. and Krstić, M. 2013. The status of *Erwinia amylovora* in the former Yugoslav Republics over the past two decades. *Pestic. Phytomed.* 28: 9-22.
- Balaž, J. and Smiljanić, A. 2004. *Chaenomeles japonica* and *Cotoneaster horizontalis* new hosts of *Erwinia amylovora* in Serbia. *Zast. Bilja* 55: 87-96.
- Bastas, K. K. and Ozturk, A. Y. 2013. First report of fire blight caused by *Erwinia amylovora* on crabapple (*Malus floribunda*) in Turkey. *Plant Dis.* 97: 1244.
- Bell, A. C., Ranney, T. G., Eaker, T. A. and Sutton, T. B. 2004. Resistance to fire blight among flowering pears and quince. *HortScience* 40: 413-415.
- Bell, R. L. and Itai, A. 2011. *Pyrus*. In: Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Temperate Fruits, ed. by C. Kole, pp. 147-177. Springer, Berlin, Germany.
- Bokszczanin, K. L., Przybyła, A. A., Schollenberger, M., Gozdowski, D., Madry, W. and Odziemkowski, S. 2012. Inheritance of fire blight resistance in Asian *Pyrus* species. *Open J. Genet.* 2: 109-120.
- Broggini, G. A. L., Wöhner, T., Fahrentrapp, J., Kost, T. D., Flachowsky, H., Peil, A. et al. 2014. Engineering fire blight resistance into the

- apple cultivar 'Gala' using the *FB_MR5* CC-NBS-LRR resistance gene of *Malus × robusta* 5. *Plant Biotechnol. J.* 12: 728-733.
- Cabrefiga Olamendi, J. 2004. Fire blight (*Erwinia amylovora*) of rosaceous plants. Pathogen virulence and selection and characterization of biological control agents. Ph.D. thesis. Universitat de Girona, Girona, Spain. 287 pp.
- Chang, C.-S. and Gil, H. Y. 2014. *Sorbus ulleungensis*, a new endemic species on Ulleung Island, Korea. *Harv. Pap. Bot.* 19: 247-255.
- Chang, K.-S., Chang, C.-S., Park, T. Y. and Roh, M. S. 2007. Reconsideration of the *Prunus serrulata* complex (*Rosaceae*) and related taxa in eastern Asia. *Bot. J. Linn. Soc.* 154: 35-54.
- Chari, L. D., Martin, G. D., Steenhuisen, S.-L., Adams, L. D. and Clark, V. R. 2020. Biology of invasive plants 1. *Pyracantha angustifolia* (Franch.) C.K. Schneid. *Invasive Plant Sci. Manag.* 13: 120-142.
- 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.
- Culley, T. M. and Hardiman, N. A. 2007. The beginning of a new invasive plant: a history of the ornamental Callery pear in the United States. *BioScience* 57: 956-964.
- Dolan, A., MacFarlane, S. and Jennings, S. N. 2018. Pathogens in raspberry and other *Rubus* spp. In: *Raspberry: Breeding, Challenges and Advances*, eds. by J. Graham and R. Brennan, pp. 41-61. Springer Nature Switzerland, Cham, Switzerland.
- Dougherty, L., Wallis, A., Cox, K., Zhong, G.-Y. and Gutierrez, B. 2021. Phenotypic evaluation of fire blight outbreak in the USDA *Malus* collection. *Agronomy* 11: 144.
- Finn, C. E. and Clark, J. R. 2012. Blackberry. In: *Fruit Breeding*, eds. by M. L. Badenes and D. H. Byrne, pp. 151-190. Springer, New York, NY, USA.
- GBIF Secretariat. 2022. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. URL <https://doi.org/10.15468/39omei> [24 February 2023].
- Gil, H.-Y. and Kim, S.-C. 2018. The plastome sequence of Ulleung Rowan, *Sorbus ulleungensis* (*Rosaceae*), a new endemic species on Ulleung Island, Korea. *Mitochondrial DNA B Resour.* 3: 284-285.
- Gusberti, M., Klemm, U., Meier, M. S., Maurhofer, M. and Hunger-Glaser, I. 2015. Fire blight control: the struggle goes on. A comparison of different fire blight control methods in Switzerland with respect to biosafety, efficacy and durability. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12: 11422-11447.
- Ham, H., Lee, Y.-K., Kong, H. G., Hong, S. J., Lee, K. J., Oh, G.-R. et al. 2020. Outbreak of fire blight of apple and Asian pear in 2015–2019 in Korea. *Res. Plant Dis.* 26: 222-228. (In Korean)
- Ham, H., Oh, G.-R., Park, D. S. and Lee, Y. H. 2022. Survey of oxolinic acid-resistant *Erwinia amylovora* in Korean apple and pear orchards, and the fitness impact of constructed mutants. *Plant Pathol. J.* 38: 482-489.
- Hindal, D. F. and Wong, S. M. 1988. Potential biocontrol of multiflora rose, *Rosa multiflora*. *Weed Technol.* 2: 122-131.
- Hormaza, J. I., Yamane, H. and Rodrigo, J. 2007. Apricot. In: *Fruits and Nuts*, ed. by C. Koel, pp. 171-187. Springer, Berlin, Germany.
- Horst, R. K. 2001. Host plants and their diseases. In: *Westcott's Plant Disease Handbook*, ed. by R. K. Horst, pp. 531-908. Springer, New York, NY, USA.
- Kamber, T., Buchmann, J. P., Pothier, J. F., Smits, T. H. M., Wicker, T. and Duffy, B. 2016. Fire blight disease reactome: RNA-seq transcriptional profile of apple host plant defense responses to *Erwinia amylovora* pathogen infection. *Sci. Rep.* 6: 21600.
- Katayama, H., Amo, H., Wuyun, T., Uematsu, C. and Iketani, H. 2016. Genetic structure and diversity of the wild Ussurian pear in East Asia. *Breed. Sci.* 66: 90-99.
- Kaufmane, E. and Rumpunen, K. 2002. Pollination, pollen tube growth and fertilization in *Chaenomeles japonica* (Japanese quince). *Sci. Hortic.* 94: 257-271.
- Khan, A. and Chao, T. 2017. Wild apple species as a source of fire blight resistance for sustainable productivity of apple orchards. *Fruit Q.* 25: 13-18.
- Kim, Y. S., Ngo, M. T., Kim, B., Han, J. W., Song, J., Park, M. S. et al. 2022. Biological control potential of *Penicillium brasilianum* against fire blight disease. *Plant Pathol. J.* 38: 461-471.
- Koller, G. L. 1978. New trees for urban landscapes. *Arnoldia* 38: 157-172.
- Kostick, S. A., Teh, S. L. and Evans, K. M. 2021. Contributions of reduced susceptibility alleles in breeding apple cultivars with durable resistance to fire blight. *Plants* 10: 409.
- Lambe, R. C. 1980. Ornamental and flower diseases: fire blight of ornamentals. URL https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/93608/VCE_control_series_88.pdf?sequence=1&isAllowed=y [4 December 2020].
- Leather, S. R. 1996. *Prunus padus* L. *J. Ecol.* 84: 125-132.
- Lee, H. J., Lee, S. W., Suh, S.-J. and Hyun, I.-H. 2022. Recent spread and potential pathways for fire blight in South Korea. *EPPO Bull.* 52: 135-140.
- Lee, M.-H., Ji, S. H., Ham, H., Kong, H. G., Park, D. S. and Lee, Y. H. 2021. First report of fire blight of Apricot (*Prunus armeniaca*) caused by *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Dis.* 105: 696.
- Lee, M. S., Lee, I., Kim, S. K., Oh, C.-S. and Park, D. H. 2018. *In vitro* screening of antibacterial agents for suppression of fire blight disease in Korea. *Res. Plant Dis.* 24: 41-51. (In Korean)
- Malnoy, M., Martens, S., Norelli, J. L., Barny, M.-A., Sundin, G. W., Smits, T. H. M. et al. 2012. Fire blight: applied genomic insights of the pathogen and host. *Annu. Rev. Phytopathol.* 50: 457-494.
- Myung, I.-S., Lee, J.-Y., Yun, M.-J., Lee, Y.-H., Lee, Y.-K., Park, D.-H. et al. 2016a. Fire blight of apple, caused by *Erwinia amylovora*, a new disease in Korea. *Plant Dis.* 100: 1774.
- Myung, I.-S., Yun, M.-J., Lee, Y.-H., Kim, G.-D. and Lee, Y.-K. 2016b. First report of fire blight caused by *Erwinia amylovora* on Chinese quince in South Korea. *Plant Dis.* 100: 2521.
- National Institute of Biological Resources. 2022. URL <https://species.nibr.go.kr/> [24 February 2023].
- Olien, W. C. 1987. Apomictic crabapples and their potential for research and fruit production. *HortScience* 22: 541-546.

- Palacio-Bielsa, A., Roselló, M., Llop, P. and López, M. M. 2012. *Erwinia* spp. from pome fruit trees: similarities and differences among pathogenic and non-pathogenic species. *Trees* 26: 13-29.
- Park, D. H., Lee, Y.-G., Kim, J.-S., Cha, J.-S. and Oh, C.-S. 2017. Current status of fire blight caused by *Erwinia amylovora* and action for its management in Korea. *J. Plant Pathol.* 99: 59-63.
- Park, D. H., Yu, J.-G., Oh, E.-J., Han, K.-S., Yea, M. C., Lee, S. J. et al. 2016. First report of fire blight disease on Asian pear caused by *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Dis.* 100: 1946.
- Park, J., Kim, B., Song, S., Lee, Y. W. and Roh, E. 2022. Isolation of nine bacteriophages shown effective against *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Pathol. J.* 38: 248-253.
- Peil, A., Emeriewen, O. F., Khan, A., Kostick, S. and Malnoy, M. 2021. Status of fire blight resistance breeding in *Malus*. *J. Plant Pathol.* 103: 3-12.
- Phillips, D. H. and Burdekin, D. A. 1992. Diseases of wild and ornamental rosaceous trees. In: *Diseases of Forest and Ornamental Trees*, eds. by D. H. Phillips and D. A. Burdekin, pp. 376-395. Palgrave Macmillan, London, UK.
- Powney, R., Beer, S. V., Plummer, K., Luck, J. and Rodoni, B. 2011. The specificity of PCR-based protocols for detection of *Erwinia amylovora*. *Australas. Plant Pathol.* 40: 87-97.
- Rumpunen, K. 2002. *Chaenomeles*: potential new fruit crop for northern Europe. In: *Trends in New Crops and New Uses*, eds. by J. Janick and A. Whipkey, pp. 385-392. ASHA Press, Alexandria, VA, USA.
- Schmidt, H. 1988. Criteria and procedures for evaluating apomictic rootstocks for apple. *HortScience* 23: 104-107.
- Slabaugh, P. E. and Shaw, N. L. 2008. *Cotoneaster* Medik.: *Cotoneaster*. In: *The Woody Plant Seed Manual: Agriculture Handbook* 727, eds. by F. T. Bonner and R. P. Karrfalt, pp. 442-446. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, USA.
- Van der Zwet, T. 1995. First report of *Erwinia amylovora* on new host species in the genus *Sorbus*. *Plant Dis.* 79: 424.
- Van der Zwet, T. and Beer, S. V. 1999. Fire Blight—Its Nature, Prevention, and Control: A Practical Guide to Integrated Disease Management. Agriculture Information. Bulletin No. 631. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, USA. 97 pp.
- Van der Zwet, T., Oitto, W. A. and Westwood, M. N. 1974. Variability in degree of fire blight resistance within and between *Pyrus* species, interspecific hybrids, and seedling progenies. *Euphytica* 23: 295-304.
- Van der Zwet, T., Orolaza-Halbrendt, N. and Zeller, W. 2012. Fire Blight: History, Biology, and Management. APS Press, St. Paul, MN, USA. 421 pp.
- Végh, A. and Palkovics, L. 2013. First occurrence of fire blight on apricot (*Prunus armeniaca*) in Hungary. *Not. Bot. Horti Agrobot.* 41: 440-443.
- Vrancken, K., Holtappels, M., Schoofs, H., Deckers, T. and Valcke, R. 2013. Pathogenicity and infection strategies of the fire blight pathogen *Erwinia amylovora* in *Rosaceae*: state of the art. *Microbiology* 159: 823-832.
- Waterworth, H. and Clayton, C. N. 1982. Fire blight in 'Bradford' pear. *HortScience* 17: 789.
- Weißhaupt, S., Köhl, L., Kunz, S., Hinze, M., Ernst, M., Schmid, A. et al. 2016. Alternative inoculum sources for fire blight: the potential role of fruit mummies and non-host plants. *Plant Pathol.* 65: 470-483.
- Zeller, W. 1979. Resistance and resistance breeding in ornamentals. *EPPO Bull.* 9: 35-44.