

2016년 경남지역 *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* Biovar 3의 2차감염에 의한 키위 궤양병의 확산

Spread of Bacterial Canker of Kiwifruit by Secondary Infection of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* Biovar 3 in Gyeongnam in 2016

김경희¹ · 최으뜸¹ · 이영선² · 정재성² · 고영진^{1*}

순천대학교 ¹식물의학과, ²생물학과

Gyoung Hee Kim¹, Eu Ddeum Choi¹, Young Sun Lee², Jae Sung Jung², and Young Jin Koh^{1*}

***Corresponding author**

Tel: +82-61-750-3865

Fax: +82-61-750-3208

E-mail: youngjin@sunchon.ac.kr

¹Department of Plant Medicine, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea

²Department of Biology, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea

Bacterial canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* (Psa) occurred at 202 kiwifruit orchards for the survey period of 2013–2016, of which Psa biovar 2 (Psa2) and Psa biovar 3 (Psa3) were detected at 73 and 129 kiwifruit orchards, respectively. The number of kiwifruit orchards infected by Psa3 in 2016 increased nearly two times compared to 2015. Psa3 was detected from all the kiwifruit cultivars except some kiwiberry cultivars growing in Korea. Yellow-fleshed cultivars Hort16A and Jecy-gold and red-fleshed cultivar Hongyang were highly susceptible to Psa3. Our epidemiological and random amplification of polymorphic DNA analyses indicated that the first Psa3 incidence on Hongyang orchard in Sacheon, Gyeongnam might result from an introduction of Psa3-contaminated pollens from China for artificial pollination in 2014 and recent outbreaks of Psa3 in Sacheon and Goseong, Gyeongnam in 2016 might be due to rapid spread of bacterial canker by secondary infection of Psa3 from Hongyang orchard to neighboring Jecy-gold and Hayward orchards.

Keywords: Bacterial canker, Kiwifruit, Psa3, *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*, Secondary infection

Received 0 00, 2016
Revised 0 00, 2016
Accepted 0 00, 2016

우리나라에서 키위(Chinese gooseberry, kiwifruit, 참다래) 재배는 1970년대 후반부터 시작되었다. 재배 초기에는 뉴질랜드에서 육성된 그린키위 품종(*Actinidia deliciosa*)인 헤이워드(Hayward)가 주종을 이루었다. 그러나 뉴질랜드에서 골드키위 품종(*Actinidia chinensis*)인 Hort16A가 육성되면서 전 세계적으로 골드키위 품종의 육성과 재배가 확대되기 시작했다. 우리나라에도 2004년부터 제주도에서 Hort16A

가 재배되기 시작했으며, 사용료(royalty) 대응차원에서 정부지원으로 2000년대 후반에 국내에서 육성된 골드키위 품종인 제시골드, 한라골드와 해금 재배면적이 급증하는 추세이다. 또한 레드키위 품종(*A. chinensis*)인 홍양과 토종다래 품종들(*Actinidia arguta*)도 점차 재배가 증가하고 있다.

키위에 치명적인 피해를 주는 궤양병은 1984년 일본에서 재배되고 있던 헤이워드에서 처음 보고되었다(Serizawa 등, 1989; Takikawa 등, 1989). 우리나라에서도 1988년부터 제주도에서 재배되고 있던 헤이워드에서 궤양병이 처음 발생

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, 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.

하기 시작했으며(Koh 등, 1994), 2006년부터 Hort16A에서도 궤양병이 발생하기 시작했다(Koh 등, 2010). 그런데 일본과 우리나라에 분포하는 키위 궤양병균 *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* (Psa)는 병원성에 관여하는 식물독소의 종류가 다른 것으로 밝혀졌다(Han 등, 2003; Sawada 등, 2002). 최근에 biovar 개념이 도입되어 일본에서 식물독소로 phaseolotoxin을 분비하는 Psa는 biovar 1, 즉 Psa1으로 명명하고 있으며, 우리나라에서 phaseolotoxin 대신에 다른 종류의 식물독소인 coronatine을 분비하는 Psa는 biovar 2, 즉 Psa2로 명명하고 있다(Chapman 등, 2012).

우리나라와 비슷한 시기에 이탈리아에서 재배되고 있던 헤이워드에서도 Psa1에 의한 궤양병이 발생하기 시작했지만 일본과 우리나라에서만 큰 치명적인 피해를 주지는 않았던 것으로 보고되었다(Scortichini, 1994). 그러나 2008년 이탈리아에서 재배되고 있던 Hort16A에 치명적인 피해를 주는 새로운 형태의 Psa가 발견되었다(Balestra 등, 2009; Ferrante와 Scortichini, 2009). Biovar 3, 즉 Psa3로 명명된 Psa3는 phaseolotoxin이나 coronatine과 같은 식물독소를 분비하지 않고 병원성에 관여하는 effector protein만을 분비하는 것으로 밝혀졌다(Scortichini 등, 2012; Vanneste, 2012).

이러한 Psa3는 골드키위와 레드키위 품종에 치명적인 피해를 주면서 전세계적으로 확산되고 있는데 우리나라에서도 2011년 전남 고흥군 도덕면 가야리의 Yellow-King과 홍양을 재배하는 과수원에서 처음 발견되었다(Koh 등, 2012). 2006년 중국에서 수입된 묘목을 통해 유입된 것으로 추정되는 Psa3에 의한 궤양병이 처음 발생한 과수원은 Psa3의 확산을 차단시키기 위한 조치로 2014년 9월 11일 공적방제에 의해 폐원되었다(Kim 등, 2016). 그런데 2014년 초여름부터 제주도에서 재배되고 있던 Hort16A와 제시골드 등 골드키위에서 Psa3에 의한 궤양병이 대발생했는데 뉴질랜드와 중국에서 수입된 Psa3에 오염된 꽃가루가 유력한 전염원으로 추정되고 있다(Kim 등, 2016). Psa3는 2014년 제주도를 중심으로 33개 과수원에서 검출되었지만 2015년에는 제주도 뿐만 아니라 전남과 경남에 이르기까지 72개 과수원에서 검출되어 Psa3의 급격한 확산이 우려되는 실정이다(Kim 등, 2016).

따라서 2015년에 이어 2016년 키위에 발생하는 궤양병의 확산을 모니터링하기 위하여 3월부터 8월까지 제주도, 전남과 경남의 주요 키위 재배지에 있는 과수원을 직접 방문하여 채취거나 키위 재배 농가에서 궤양병 감염 여부를 의뢰받은 시료에서 궤양병 감염 여부를 조사했다. 궤양병에 감염된 것으로 의심되는 키위 조직을 살균된 막자사발에

서 마쇄하고 peptone sucrose agar에 도말하여 단일 균총을 분리하고 액체배지에 옮겨 25°C, 200 rpm으로 18시간 동안 진탕배양시킨 후 Koh 등(2014)과 Lee 등(2016)의 방법으로 Psa 여부와 biovar 종류를 확인하였다.

2015년까지 조사한 결과와 이번에 조사한 결과를 합쳐 2013년부터 2016년까지 궤양병이 발생한 것으로 확인된 누적 과수원수는 202개였는데, Psa2가 73개 과수원에서 검출되었고 Psa3는 129개 과수원에서 검출되었다(Table 1). 2015년까지 궤양병이 발생한 것으로 확인되었던 과수원에 비해 새롭게 Psa2가 검출된 과수원은 거의 없는 반면에 Psa3가 검출된 과수원은 거의 두 배 가량 증가했음을 알 수 있다(Kim 등, 2016). Table 1에서 볼 수 있듯이 우리나라에서 재배하고 있는 키위 품종들 중에서 일부 토종다래를 제외한 거의 모든 키위 품종들에서 Psa3가 검출되었다. 이러한 결과는 Psa3에 저항성인 품종은 없다는 것을 의미한다. 따라서 Psa3에 저항성인 품종 선발과 육성이 장기적인 키위 산업 발전을 위하여 시급한 과제임을 알 수 있다.

Psa3는 그린키위 품종인 헤이워드를 재배하는 과수원에서 가장 많이 검출되었다. 그러나 Psa3에 감염된 헤이워드 나무에서 궤양병 병징은 잎에서만 발현될 뿐 줄기에서는 병징이 관찰되지 않았으며 다른 그린키위 품종인 대홍, 메가그린, 감록에서도 잎에서만 병징이 관찰되었다. 이러한 결과는 그린키위 품종들이 골드키위나 레드키위에 비해 상대적으로 Psa3에 대해 저항성임을 시사한다(Kim 등, 2016). 따라서 헤이워드에서 Psa3가 상대적으로 가장 많이 검출된 것은 우리나라에서 재배하는 키위 품종의 2/3를 차지할 만큼 헤이워드의 재배면적과 재배농가수가 많기 때문으로 해석할 수 있다.

헤이워드에 이어 골드키위 품종인 Hort16A와 레드키위 품종인 홍양에서 Psa3가 많이 검출되었다. Hort16A는 뉴질랜드에서 재배를 포기했을 만큼 Psa3에 대해 고도 감수성 품종으로 확인되었기 때문에 이번 조사에서 Psa3가 높게 검출된 것으로 추정된다. Hort16A는 뉴질랜드 제스프리사(Zespri)에서 주문자생산방식으로 제주도에 재배되고 있는 특수성 때문에 방문조사에 한계가 있었다. 또한 Hort16A를 재배하는 농장주들이 궤양병 발생 사실을 밝히는 것을 꺼려하기 때문에 실제 조사치보다 더 많은 과수원에서 Psa3가 감염되었을 가능성을 배제할 수 없다. Hort16A에 버금갈 만큼 Psa3가 높게 검출된 홍양의 경우도 Hort16A와 비슷한 정도로 Psa3에 대해 고도 감수성임을 시사한다.

국내 육성 골드키위 품종 중에서 다른 품종에 비해 제시골드에서 Psa3가 높게 검출되었다. 특히 경남 사천시와 고

Table 1. Bacterial canker occurrence on various kinds of kiwifruit cultivars by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 2 or biovar 3 in 2013–2016

Scientific name	Fruit type	Cultivar	No. of orchards infected with bacterial canker			
			Psa2	Psa3	Total	
<i>Actinidia deliciosa</i>	Green-fleshed	Hayward	31	33	64	
		Daeheung	6	2	8	
		Mega-green	1	1	2	
		Gamrok	0	1	1	
<i>Actinidia chinensis</i>	Yellow-fleshed	Hort16A	11	26	37	
		Jecy-gold	3	17	20	
		Haegum	4	6	10	
		Yellow-king	0	3	3	
		Golden yellow	0	1	1	
		Enza-gold	2	1	3	
		Halla-gold	1	1	2	
		Gold-one	0	1	1	
		Red-fleshed	Hongyang	10	21	31
			Enza-red	2	2	4
			Hongsim	0	1	1
Red-vita	0		1	1		
<i>Actinidia arguta</i>	Kiwiberry	Chiak	0	1	1	
		Mansu	1	0	1	
		Unknown	1	0	1	
<i>Actinidia hybrid</i>		Skinny-green	0	1	1	
<i>Actinidia</i> sp.	Male	Unknown	0	9	9	
	Total		73	129	202	

Psa2, *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 2; Psa3, *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3.

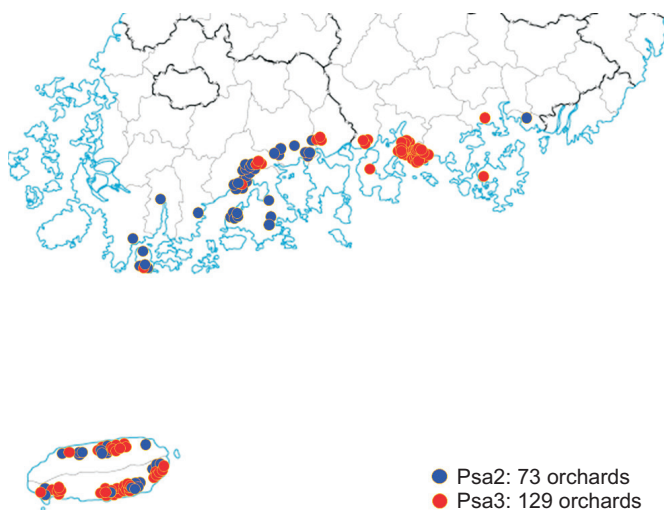


Fig. 1. Distribution sites of kiwifruit orchards infected by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 2 (Psa2) and biovar 3 (Psa3) for the survey period of 2013–2016.

성군에서 재배되고 있는 제시골드 과수원에서 Psa3에 의한 궤양병이 2016년에 눈에 띄게 많이 발생했다(Fig. 1). 이 지역에서는 다른 지역에 비해 제시골드가 집단으로 재배가 이루어지고 있었는데 Psa3가 갑작스럽게 대발생한 원인을 구명하기 위하여 몇 농가를 대상으로 Psa3 발생 경로를 추적하는 역학조사를 실시하였다.

경남 고성군 하이면 와룡리의 5년생 제시골드를 재배하는 과수원에서 2014년 7월 일부 결과지가 마르는 증상이 처음 발견되었다. 보통 궤양병은 늦겨울 또는 이른 봄에 줄기에서 세균유출액이 흘러내리거나 5월경부터 잎에 점무늬 증상이 발생하는데, 여름철에 결과지가 마르는 증상은 2014년 여름 제주도에서 재배되고 있던 Hort16A의 결과지에서 발생했던 궤양병 발생 양상과 거의 일치했다(Kim 등, 2016). 과수원에 궤양병이 발생한 것을 인지하지 못한 농장주는 아무런 조치도 하지 않았기 때문에 2015년 봄 거의 모

든 키위나무의 잎과 줄기로 Psa3에 의한 궤양병이 확산되었고 결국 2016년 과수원은 폐원되었다. 아마도 2014년 여름에 궤양병이 발생한 키위나무는 극소수였지만 2015년 1월 겨울전정을 할 때 전정가위를 소독하지 않았기 때문에 Psa3에 오염된 전정가위를 통해 2년 만에 폐원에 이를 만큼 빠르게 전체 과수원으로 궤양병이 확산되었을 것으로 추정된다.

계곡 가장 끝자리에 위치한 이 과수원 근처에는 다른 키위 과수원이 없어서 외부로부터 Psa3 전염원이 옮겨올 가능성이 없기 때문에 제주도에서처럼 2014년 5월 인공수분에 사용한 수입 꽃가루를 유력한 전염원으로 의심할 수밖에 없다. 따라서 2014년 인공수분에 사용하고 남은 꽃가루를 농장주로부터 받아 Psa 감염 여부와 biovar 종류를 확인한 결과 이 과수원에서 채취한 키위나무 잎과 줄기에서 분리된 Psa3와 동일한 Psa3가 검출되었다. 이러한 결과는 이미 제주도에서 재배되고 있는 Hort16A를 비롯한 골드키위와 레드키위에서 발생했던 Psa3 전염경로와 마찬가지로 수입산 감염 꽃가루가 전염원임을 뒷받침한다.

Fig. 2의 가장 위쪽에 있는 경남 사천시 이홀동에서 5년생 제시골드를 재배하고 있는 2번 과수원에서는 2015년 이른 봄에 Psa3에 의한 궤양병이 발생하기 시작했다. 농장주의 증언에 따르면 키위나무 4주의 가지 또는 주간부에서 세균유출액이 흘러내리는 궤양병 증상이 관찰되었고 줄기에 궤양병 증상이 나타난 키위나무와 그 근처에 있는 키위나무 잎에서도 노란 테두리를 가진 갈색 점무늬 병징이 관찰

되었다. 농장주는 뒤늦게 궤양병 발생을 인지하고 동제와 항생제 살포 등 방제노력을 했음에도 불구하고 2016년에는 또 다른 키위나무 6주의 가지 또는 주간부에서 세균유출액이 흘러내리고 잎에서도 더 많은 병반들이 발생했다.

2번 과수원에서 처음 궤양병이 발생한 시기가 2015년에 인공수분을 한 5월 이전이었으므로 경남 고성군 하이면 와룡리에서 5년생 제시골드를 재배하는 과수원에서처럼 2014년 5월 인공수분에 사용한 꽃가루가 Psa3의 전염원일 가능성이 있었지만 2번 과수원 농장주는 이 과수원 북쪽에 인접하여 6년생 홍양을 재배하는 1번 과수원을 유력한 전염원으로 의심하고 있었다. 1번 과수원에서는 2014년 여름부터 결과지에서 궤양병이 발생하기 시작했지만 전혀 방제를 하지 않아 거의 폐원에 임박한 상태였다. 따라서 비록 두 과수원에서 인공수분에 사용한 꽃가루가 남아 있지 않아 꽃가루 오염 여부는 확인하지 못했지만 두 과수원에서 궤양병에 감염된 키위나무의 병든 잎과 줄기에서 궤양병 균을 분리한 결과 동일한 Psa3가 검출되었다.

더구나 2번 과수원에 식재되어 있는 키위나무에서 궤양병의 진전을 세밀하게 조사했더니 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 2015년 이른 봄부터 줄기에서 궤양병 증상이 관찰된 키위나무 대부분은 1번 과수원과 가장 인접해 있었으며 2016년에 줄기에서 궤양병 증상이 관찰된 키위나무들도 1번 과수원 가까이에 있었다. 1번 과수원 근처에서 2015년에 발병한 키위나무 4주와 2016년에 발병한 키위나무 6주 중에서 3주



Fig. 2. Site map of kiwifruit orchards with bacterial canker occurred by remarkable secondary infection of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3 (Psa3) in Sacheon and Goseong, Gyeongnam in 2014–2016.

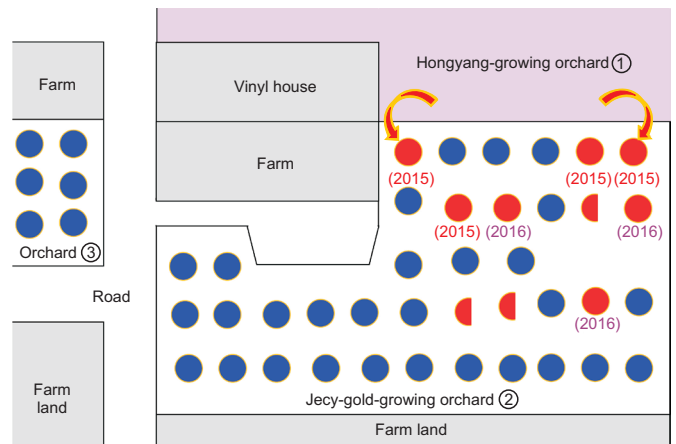


Fig. 3. Orchard map showing bacterial canker progress in a Jecy-gold growing kiwifruit orchard by secondary infection of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3 (Psa3) in Sacheon, Gyeongnam. Red circles, dead tree due to trunk infection by Psa3 in 2015 and 2016; red semicircles, tree showing severe infection on leaders or canes as well as leaves by Psa3 in 2016; blue circles, healthy-looking or mildly infected tree showing leaf infection by Psa3 in 2016.

는 궤양병에 심하게 감염되어 완전하게 고사하였으며, 3주는 한쪽 주지를 잘라내야 할 만큼 심하게 감염되었다. 반면에 민가주택에 의해 1번 과수원과 차단된 키위나무들은 잎에 궤양병 병반이 보이기는 하지만 발병엽률이 미미했으며 가지 또는 주간부에서 세균유출액이 흘러내리는 궤양병 증상은 전혀 보이지 않았다. 따라서 2번 과수원 농장주의 추정처럼 2번 과수원에서 궤양병의 발생 및 진전 양상은 1번 과수원으로부터 2번 과수원으로 Psa3가 유입되고 확산되었을 가능성을 강력하게 뒷받침한다. 한편 이 과수원 농장주가 재배하는 길 건너편에 또 다른 제시골드를 재배하는 3번 과수원에 있는 키위나무들에서도 2016년에야 앞서만 경미한 궤양병 병징이 관찰되었는데 이 경우는 민가주택 및 비닐하우스에 의해 격리된 1번 과수원보다는 길 건너편 2번 과수원으로부터 2차감염이 일어났을 가능성이 더 높아 보인다.

2014년 이전에는 이 지역에서 궤양병 발생이 전혀 없었으며 경남 고성군 와룡리에서 5년생 제시골드를 재배하는 과수원에서처럼 홍양을 재배하는 1번 과수원에도 2014년 5월에 사용한 중국에서 수입한 꽃가루가 유력한 전염원으로 추정된다. 그러나 1번 과수원에 Psa3가 유입된 경로와는 상관없이 1번 과수원에서 2번 과수원으로 Psa3가 2차감염을 일으킨 것은 거의 확실해 보인다.

Psa3에 의한 궤양병의 2차감염은 Fig. 2의 중앙에 있는 다른 과수원들에서도 보다 명확하게 추정할 수 있었다. 경남 고성군 하이면 봉현리에서 5년생 제시골드를 재배하는 4번 과수원에서 2015년 이른 봄부터 키위나무 가지 또는 주간부에서 세균유출액이 흘러내리는 궤양병 증상이 관찰되었고 줄기 궤양병 증상이 나타난 키위나무와 그 근처에 있는 키위나무 앞에서도 노란 테두리를 가진 갈색 점무늬 병징

이 관찰되었다. 4번 과수원에서도 농장주의 증언에 따르면 처음 궤양병이 발생한 시기가 2015년에 인공수분을 했던 5월 이전이었으므로 경남 고성군 하이면 와룡리에서 5년생 제시골드를 재배하는 과수원에서처럼 2014년 5월 인공수분에 사용한 꽃가루를 유력한 전염원으로 의심할 수도 있었지만 사용했던 꽃가루가 남아있지 않아 꽃가루에 의한 전염여부는 확인할 수 없었다.

그러나 이 과수원에 식재되어 있는 키위나무들에서 궤양병의 발생 양상을 자세하게 살펴보면 궤양병이 북쪽에서 남쪽 방향으로 진전되고 있음을 보여준다(Fig. 4). 2015년에 키위나무 8주의 가지 또는 주간부에서 세균유출액이 흘러내리는 궤양병 증상이 관찰되었는데 7주는 이 과수원 가장 북쪽 줄에 있었고 1주는 두 번째 줄에 있었다. 2016년에는 또 다른 키위나무 12주에서 가지 또는 주간부에서 세균유출액이 흘러내리는 궤양병 증상이 관찰되었는데 6주는 세 번째 줄, 3주는 네 번째 줄, 2주는 다섯 번째 줄 그리고 나머지 1주는 여섯 번째 줄에 있었다. 2016년 여름까지 궤양병이 발생한 키위나무 20주 중에서 첫 번째 줄과 두 번째 줄에 있었던 14주는 모두 고사했다. 이러한 사실은 이 과수원의 북쪽으로부터 Psa3의 전염원이 유래했을 가능성을 강력하게 시사해준다. 따라서 4번 과수원의 북쪽으로 불과 수백 미터 거리에 2014년 Psa3에 의한 궤양병이 처음 발생한 1번 과수원을 Psa3의 진원지로 의심하는 것은 무리가 아니다. 더구나 4번 과수원에서 채취한 시료에서도 1번과 2번 과수원에서 검출되었던 궤양병균과 동일한 Psa3가 검출되었기 때문에 Fig. 3에 제시한 A경로처럼 2015년 1번 과수원에서 4번 과수원으로 Psa3가 2차감염을 일으켰을 가능성이 매우 높아 보인다.

4번 과수원과 인접한 5번 과수원에도 비슷한 규모로 제

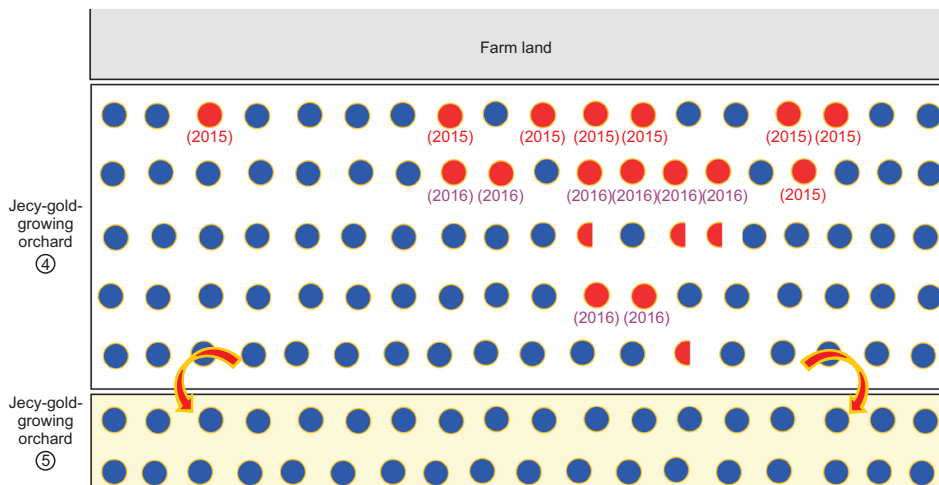


Fig. 4. Orchard map showing bacterial canker progress in a Jecy-gold growing kiwifruit orchard by secondary infection of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3 (Psa3) in Goseong, Gyeongnam. Red circles, dead tree due to trunk infection by Psa3 in 2015 and 2016; red semi-circles, tree showing severe infection on leaders or canes as well as leaves by Psa3 in 2016; blue circles, healthy-looking or mildly infected tree showing leaf infection by Psa3 in 2016.

시골드가 재배되고 있었는데 2016년 인공수분을 하기 전인 4월부터 잎에서만 Psa3에 의한 궤양병 병반이 관찰되기 시작했다. 주로 4번 과수원에 인접한 줄에 있는 키위나무에서 궤양병 발병엽률이 높았고 4번 과수원에 멀리 떨어질수록 발병엽률이 낮았다. 이것은 명백하게 4번 과수원으로부터 5번 과수원으로 Psa3가 2차전염되었음을 시사한다(Fig. 4). 또한 6번 과수원에는 4번 과수원과 가까운 쪽에 홍양을 재배하고 먼 쪽에는 제시골드를 재배하고 있었는데 2016년 4월경부터 홍양의 줄기와 잎에서 Psa3에 의한 궤양병 증상이 나타나고 제시골드에서는 잎에서만 Psa3에 의한 궤양병 병반이 나타나기 시작했다. 따라서 4번 과수원으로부터 Psa3가 6번 과수원으로 전염되었을 것이라는 데 의심의 여지가 없어 보인다. 또한 7번 헤이워드 과수원에도 인공수분을 하기 전인 2016년 4월부터 잎에서만 Psa3에 의한 궤양병 병반이 관찰되기 시작했기 때문에 5번과 6번 과수원처럼 7번 과수원에도 4번 과수원으로부터 Psa3가 전염된 결과로 추정된다.

한편 Fig. 3의 아래쪽에서 볼 수 있듯이 헤이워드가 집단으로 재배되고 있는 8-13번 과수원에도 모두 인공수분을 하기 전인 2016년 4월부터 잎에서만 Psa3에 의한 궤양병 병반이 관찰되기 시작했다. 8-13번 과수원들에서 채취한 시료에서도 1-7번 과수원에서 검출되었던 궤양병균과 동일한 Psa3가 검출되었기 때문에 Fig. 3에 제시한 B경로처럼 4번 과수원으로부터 Psa3가 2차감염을 일으켰을 가능성이 매우 높아 보인다. 그러나 C경로처럼 1번 과수원으로부터 Psa3가 2차감염을 일으켰을 가능성도 배제할 수 없다.

이러한 Psa3의 2차감염 추정경로를 뒷받침하기 위하여 1번, 2번, 4번, 5번, 13번 과수원에서 채취한 시료에서 분리

한 균주들과 경남 타지역과 전남 및 제주도에서 분리한 균주들을 대상으로 Operon사(Alameda, CA, USA)의 10-mer oligonucleotide primer를 사용하여 random amplification of polymorphic DNA (RAPD) 분석을 수행하였다(Table 2). PCR 반응액은 1 µl (20 ng)의 주형 DNA, 1.25 µl (2 units)의 Taq polymerase, 5 µl의 10× buffer (100 mM Tris-HCl, 25 mM MgCl₂, 500 mM KCl, pH 8.0), 5 µl (0.2 mM)의 deoxyribonucleoside triphosphates, 1 µl (20 pM)의 primer를 넣은 뒤 증류수로 최종 반응액의 부피를 50 µl가 되게 하였다. PCR 조건은 94°C에서 5분간 denaturation한 후, 94°C에서 30초간 denaturation 과정, 37°C에서 1분간 annealing 과정, 72°C에서 1분간 polymerization 과정을 40회 반복하고 마지막으로 연장반응은 72°C에서 7분간 실시하였다. PCR이 끝난 후 반응물을 2% agarose gel에서 전기영동한 후 ethidium bromide 염색하여 밴드패턴을 확인하였다(Fig. 5). 시험에 사용한 12개의 primer를 사용한 PCR에서는 Psa3 9개 균주가 동일한 밴드패턴을 보였으나, 2개의 primer (OPC2와 OPB5)를 사용한 경우에 이 실험에서 채취한 Psa3 5개 균주들은 다른 지역에서 수집한 Psa3 4개 대조균주들과는 달리 모두 동일한 밴드패턴을 나타내었다. 이러한 결과는 Fig. 2에 있는 1번 과수원으로부터 13번 과수원까지 궤양병을 일으킨 Psa3는 1번 과수원으로부터 2차 또는 3차감염에 의해 확산되었음을 뒷받침해준다.

Psa3의 2차감염 사례는 이번 조사에서 처음 밝혀졌다. 1번 과수원과 4번 과수원인 경우는 주변에 있는 여러 과수원으로 Psa3를 전파시킨 수퍼전파자로 추정된다. 우리나라에서 최초로 Psa3에 의한 궤양병이 발생한 전남 고흥군 도덕면 가야리에서 Yellow-King과 홍양을 재배하는 과수원은 Psa3의 확산을 차단시키기 위한 조치로 2014년 9월 11일 공

Table 2. Nine biovar 3 strains of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* used to test genetic homology by random amplification of polymorphic DNA analysis

Isolate	Origin		Remark
	Kiwifruit cultivar	Site of kiwifruit orchard	
Kdhj	Jecy-gold	Eheul-dong, Sacheon, Gyeongnam	Orchard 1
Lyjj	Jecy-gold	Eheul-dong, Sacheon, Gyeongnam	Orchard 2
Jdjj	Jecy-gold	Bonghyun-ri, Hai-myeon, Goseong, Gyeongnam	Orchard 4
Ljnj	Jecy-gold	Bonghyun-ri, Hai-myeon, Goseong, Gyeongnam	Orchard 5
Ljnh	Hayward	Bonghyun-ri, Hai-myeon, Goseong, Gyeongnam	Orchard 13
Kdsj	Jecy-gold	Silan-dong, Sacheon, Gyeongnam	
Hikj	Jecy-gold	Deokho-ri, Hai-myeon, Goseong, Gyeongnam	
Ktsh	Hort16A	Sinpung-ri, Seongsan-eup, Seoquipo, Jeju	
Hjjd	Daeheung	Jeongdo-ri, Wando-eup, Wando, Jeonnam	

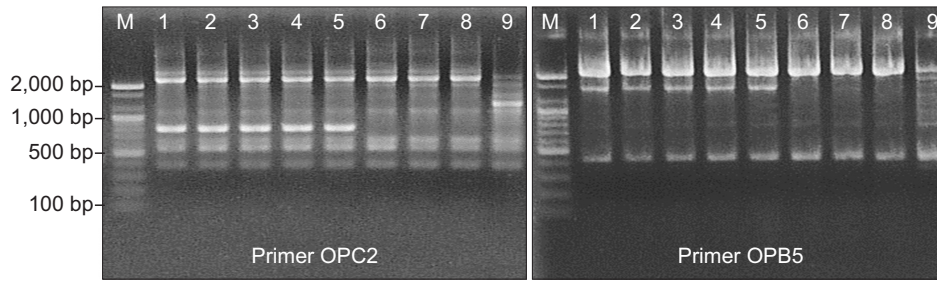


Fig. 5. Agarose gels showing PCR amplification products using random primers, OPC2 and OPB5. Nine biovar 3 isolates of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* were used for random amplification of polymorphic DNA analysis. Lane M, DNA size marker (100 bp DNA ladder, Bioneer); lanes 1–5, strains isolated from the orchard 1, 2, 4, 5, and 13 on Fig. 2, respectively; lanes 6 and 7, strains isolated from other orchards in Gyeongnam; lane 8, strain isolated from Jeju; lane 9, strain isolated from Jeonnam in 2016.

적방제에 의해 폐원되었다(Kim 등, 2016). 전남 고흥군은 우리나라에서 키위 재배면적이 가장 넓은 지역임에도 불구하고 이러한 적극적인 방제노력으로 2016년까지 전남 고흥군에서는 Psa3에 의해 감염된 과수원이 발견되지 않고 있다(Fig. 1). Psa3의 수퍼전파자로 전락할 수도 있었던 것을 적극적인 대처로 방역에 성공한 이러한 사례는 초기 방역이 궤양병의 확산을 차단시키는 데 절대적으로 중요함을 일깨워준다. 그럼에도 불구하고 이번 조사에서 밝혀진 바처럼 경남 사천군과 고성군을 중심으로 2016년 발생한 Psa3의 2차감염과 급격한 확산은 Psa3에 취약한 골드키위와 레드키위의 재배면적 증가와 맞물려 우리나라 키위 산업에 매우 커다란 위협이 되고 있다. Psa3의 확산을 저지하기 위한 노력이 범국가적인 차원에서 경주되어야만 하는 이유이다.

이미 제주도에서 Psa3에 의해 대발생한 궤양병과 이번 조사에서 파악된 바처럼 경남지역에서 2014년 시작된 Psa3에 의한 궤양병의 전염원은 Psa3에 감염된 수입산 꽃가루다(Kim 등, 2016). Psa3가 검역대상병원체로 지정된 2014년 12월 18일 이전에 수입된 미검역 꽃가루에 묻어온 Psa3가 주로 골드키위와 레드키위에 치명적인 피해를 주면서 최근 2차감염에 의해 급속하게 확산되기 시작한 것으로 추정된다. Table 1에 있는 조사결과가 전수조사가 아니어서 우리나라 키위 재배지에서 궤양병의 발생현황을 정확하게 대변하지는 못할지라도 지금까지 궤양병이 발생한 과수원은 전체 과수원의 극히 일부에 불과하기 때문에 지금부터라도 적극적인 방역을 통하여 Psa3의 2차감염 확산을 차단시키는 것이 시급하다. 2015년과 2016년 검역을 거친 일부 꽃가루에서 Psa3가 검출되었고 일부 과수원에서 꽃가루 자가 채취용으로 재배하는 숫나무에서도 Psa3가 검출되었다. 농림축산검역본부에서 시행하고 있는 국경검역은 물론이고

농촌진흥청에서 주도하고 있는 국내방역도 보다 치밀하게 이루어져야 할 것이다. 더불어 수입에 크게 의존하던 꽃가루를 국내에서 조달할 수 있도록 청정꽃가루생산단지 등을 통하여 건전한 꽃가루를 생산하고 사용하는 것도 Psa3의 2차감염 확산을 차단시키는 데 크게 기여하리라 생각한다.

요 약

2013년부터 2016년까지 *P. syringae* pv. *actinidiae*에 의한 궤양병에 감염된 것으로 확인된 과수원수는 202개였는데, Psa2가 73개 과수원에서 검출되었고 Psa3는 129개 과수원에서 검출되었다. 2015년에 비해 2016년 Psa2에 감염된 과수원은 거의 증가하지 않았지만 Psa3에 감염된 과수원은 두 배 가량 증가했다. 우리나라에서 재배하고 있는 키위 품종들 중에서 일부 토종다래를 제외한 모든 키위 품종들에서 Psa3가 검출되어 아직까지 Psa3에 저항성인 품종은 없다는 것이 확인되었다. 조사된 품종들 중에서 골드키위 품종인 Hort16A와 제시골드와 레드키위 품종인 홍양이 Psa3에 가장 감수성이었다. 경남지역에서 역학조사와 RAPD 분석 결과 2014년 홍양 과수원에서 최초 Psa3에 의한 궤양병은 중국에서 수입한 Psa3에 오염된 꽃가루에 의해 발생했고, 2016년 경남 사천과 고성 지역의 과수원들에서 궤양병의 대발생은 홍양 과수원으로부터 근처 제시골드와 헤이워드 과수원으로 2차감염에 의한 Psa3의 급속한 확산 때문으로 추정된다.

Conflicts of Interest

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

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET) through Agri-Bio Industry Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (MAFRA) (315019-2).

References

- Balestra, G. M., Mazzaglia, A., Quattrucci, A., Renzi, M. and Rossetti, A. 2009. Current status of bacterial canker spread on kiwifruit in Italy. *Australas. Plant Dis. Notes* 4: 34-36.
- Chapman, J. R., Taylor, R. K., Weir, B. S., Romberg, M. K., Vanneste, J. L., Luck, J. and Alexander, B. J. 2012. Phylogenetic relationships among global populations of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. *Phytopathology* 102: 1034-1044.
- Ferrante, P. and Scortichini, M. 2009. Identification of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* as causal agent of bacterial canker of yellow kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planchon) in central Italy. *J. Phytopathol.* 157: 768-770.
- Han, H. S., Koh, Y. J., Hur, J. S. and Jung, J. S. 2003. Identification and characterization of coronatine-producing *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. *J. Microbiol. Biotechnol.* 13: 110-118.
- Kim, G. H., Kim, K. H., Son, K. I., Choi, E. D., Lee, Y. S., Jung, J. S. and Koh, Y. J. 2016. Outbreak and spread of bacterial canker of kiwifruit caused by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3 in Korea. *Plant Pathol. J.* 32: 545-551.
- Koh, H. S., Kim, G. H., Lee, Y. S., Koh, Y. J. and Jung, J. S. 2014. Molecular characteristics of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* strains isolated in Korea and a multiplex PCR assay for haplotype differentiation. *Plant Pathol. J.* 30: 96-101.
- Koh, Y. J., Cha, B. J., Chung, H. J. and Lee, D. H. 1994. Outbreak and spread of bacterial canker in kiwifruit. *Korean J. Plant Pathol.* 10: 68-72. (In Korean)
- Koh, Y. J., Kim, G. H., Jung, J. S., Lee, Y. S. and Hur, J. S. 2010. Outbreak of bacterial canker on Hort16A (*Actinidia chinensis* Planchon) caused by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* in Korea. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 38: 275-282.
- Koh, Y. J., Kim, G. H., Koh, H. S., Lee, Y. S., Kim, S. C. and Jung, J. S. 2012. Occurrence of a new type of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* strain of bacterial canker on kiwifruit in Korea. *Plant Pathol. J.* 28: 423-427.
- Lee, Y. S., Kim, G. H., Koh, Y. J., Zhuang, Q. and Jung, J. S. 2016. Development of specific markers for identification of biovars 1 and 2 strains of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. *Plant Pathol. J.* 32: 162-167.
- Sawada, H., Kanaya, S., Tsuda, M., Suzuki, F., Azegami, K. and Saitou, N. 2002. A phylogenomic study of the OCTase gene in *Pseudomonas syringae* pathovars: the horizontal transfer of the *argK-tox* cluster and the evolutionary history of OCTase gene on their genomes. *J. Mol. Evol.* 54: 437-457.
- Scortichini, M. 1994. Occurrence of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* on kiwifruit in Italy. *Plant Pathol.* 43: 1035-1038.
- Scortichini, M., Marcelletti, S., Ferrante, P., Petriccione, M. and Firrao, G. 2012. *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*: a re-emerging, multi-faceted, pandemic pathogen. *Mol. Plant Pathol.* 13: 631-640.
- Serizawa, S., Takikawa, Y., Ichikawa, T. and Goto, M. 1989. Occurrence of bacterial canker of kiwifruit in Japan: description of symptoms, isolation of the pathogen and screening of bactericides. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 55: 427-436.
- Takikawa, Y., Serizawa, S., Ichikawa, T., Tsuyumu, S. and Goto, M. 1989. *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* pv. nov.: the causal bacterium of kiwifruit canker in Japan. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 55: 437-444.
- Vanneste, J. L. 2012. *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* (Psa): a threat to the New Zealand and global kiwifruit industry. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 40: 265-267.