

## 국내 종자전염 규제 식물병원세균 조사

# Investigation of Prohibited Seed-Borne Plant Pathogenic Bacteria in Korea

### \*Corresponding author

Tel: +82-33-250-6432  
 Fax: +82-33-259-5558  
 E-mail: dhp@kangwon.ac.kr  
 ORCID  
<https://orcid.org/Number>  
 †These authors contributed equally to this work.

홍연석<sup>1†</sup> · 최현주<sup>1†</sup> · 이인경<sup>1</sup> · 임연정<sup>1</sup> · 박성우<sup>2</sup> · 남봉우<sup>2</sup> · 이부자<sup>2</sup> · 박덕환<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 생물자원과학부 응용생물학전공, <sup>2</sup>농림축산검역본부 위험관리과

Yeon-Seok Hong<sup>1†</sup>, Hyun Ju Choi<sup>1†</sup>, Ingyeong Lee<sup>1</sup>, Yeon-Jeong Lim<sup>1</sup>, Sung Woo Park<sup>2</sup>, Bong Woo Nam<sup>2</sup>, Bu Ja Lee<sup>2</sup>, and Duck Hwan Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Applied Biology Program, Division of Bioresource Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

<sup>2</sup>Division of Risk Management, Animal and Plant Quarantine Agency, Gimcheon 39660, Korea

The goal of this manuscript is to determine seed-borne plant pathogenic bacteria and phytoplasmas among quarantine pests in Korea. Four and two prohibited bacteria and phytoplasmas, respectively, and 35 and 17 restricted bacteria and phytoplasmas, respectively, were assessed whether they are seed-borne or not based on preliminary reports. As results, two species of prohibited bacteria, eighteen species of restricted bacteria, and one species of restricted phytoplasma have been determined as being seed-borne plant pathogenic bacteria. Thus, quarantine fields must account for these lists once inspection has been conducted on imported seeds and also use of these lists can help to reduce the production of new diseases that can spread from infected imported seeds.

**Keywords:** Bacteria, Quarantine, Seed-borne

Received July 28, 2020  
 Revised September 1, 2020  
 Accepted September 1, 2020

## 서 론

2007년과 2010년 미국 및 유럽연합 국가와의 자유무역협정 (Free Trade Agreement, FTA)이 체결될 이래 우리나라는 전 세계 국가와의 농산물 교역이 활발한 상태로, 이는 해외 농산물의 국내 수입량 또한 꾸준히 증가하게 된 계기가 되었다. 이에 따라 종자류 수입도 지속적으로 증가하여, 농림축산검역본부 식물검역부 조사에 따르면 종자류 수입건수가 2000년 5,276건에서 2017

년 27,617건으로 대폭 증가하였다. 따라서 수입 종자류가 증가하는 만큼 이들 수입 종자류로부터 검출될 수 있는 병원체의 종류 및 검출건수가 증가할 것이라는 것은 당연한 결과이다. 최근까지 농림축산검역본부 식물검역부에서 조사된 종자류 수입 및 병해충 검출 현황을 보면 2000년 45건, 2010년 89건 및 2017년 1,086건으로 병원체 검출건수가 실질적으로 증가하였다. 그러나 상기 조사결과도 수입종자에서 검출될 수 있는 모든 병원체를 대상으로 하는 전수조사 방법으로 이루어진 것은 아니며, 수입량이 많은 종자와 이들 종자에 대한 검사대상 병원체만을 조사한 결과로, 전수조사가 이루어질 경우 종자전염 병원체 검출건수는 이보다 매우 높을 것으로 생각된다. 특히 수입 종자별 종자전염 규제 병원체에 대한 최신 정보의 부족과 이들 정보에 대한 목록화

### Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191  
[www.online-rpd.org](http://www.online-rpd.org)

미비 등의 문제로 인하여 발생하는 검사대상 종자전염 병원체의 누락 및 민원 등의 문제가 매우 심각한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 수입 종자 별 규제 식물병원세균의 최신정보를 발굴하고, 이를 체계화 및 목록화하여 담당자 간의 혼선을 줄이며, 궁극적으로는 우리나라 수입농산물에서의 종자전염 식물병원세균의 검역기준 강화를 위한 근간을 마련하고자 한다. 이에 국내에서 금지 및 관리병해충으로 등록된 식물병원세균들을 대상으로 문헌조사를 통하여 종자전염 여부를 판단하였으며(Table 1), 본문에서는 이중 종자전염으로 확인된 식물병원세균들의 근거를 서술하였고, 병명은 국내 미 발생된 식물병원세균이 다수이므로 영명으로 통일하였다.

## 본 론

**Candidatus Liberibacter solanacearum.** *Candidatus Liberibacter solanacearum*은 체관에만 서식하며 감자에서는 zebra chip, 토마토에서는 psyllid yellows 그리고 당근에서는 yellows decline과 vegetative disorders의 병을 유발한다(EPPO, 2013; Munyaneza 등, 2010; Secor 등, 2009). 이외에도 고추, 가지 및 가지속 식물과 담배에 발병하여 심각한 피해를 줄 수 있는 것으로 보고되었다(EPPO, 2013). Zebra chip의 경우 이 세균은 종자로부터 지상부와 괴경으로도 전파되지만(Pitman 등, 2011), 주요 감염은 psyllid에 의한 곤충매개 경로가 주된 원인으로 설명되었다(Munyaneza 등, 2010). 또한 고추와 감귤류의 종자에서 *C. Liberibacter solanacearum*이 검출되었지만 종자전염에 대한 증거는 부족한 상태이다(Camacho-Tapia 등, 2011; Hilf 등, 2013). 반면 당근의 경우 2008년 Alfaro-Fernández 등(2012)에 의해 스페인에서 최초 보고된 이래 핀란드, 스웨덴, 노르웨이 및 프랑스에서 발병이 보고되어 자연적 감염 중, 종자전염에 의한 확산이 대발생의 원인으로 주목받았다(EPPO, 2013). 이에 Bertolini 등(2015)은 2010년부터 2014년간 총 54 seed lots으로부터 reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR)로 검정한 결과 23 seed lots으로부터 positive 반응값을 얻었으며, 이들 positive seed lots 종자를 파종하여 90일 후까지 유묘(seedling)로부터 *C. Liberibacter solanacearum* 특이 반응값을 얻었을 뿐만 아니라 파종 150일 후 유묘에서도 전형적인 병징을 관찰함으로써 최종적으로 *C. Liberibacter solanacearum*이 당근종자를 통한 종자전염 식물병원세균임을 규명하였다.

**Xylella fastidiosa.** *Xylella fastidiosa*는 1987년 *Xanthomonas* 속에서 목질부내에서만 존재하며, 영양학적으로 매우 까다롭

고 포도나무에 Pierce's disease 등 주요 과수에서 경제적 피해를 입히는 새로운 식물병원세균으로 재분류되었다(Wells 등, 1987). 그러나 이들 병원세균의 유전 교환방식 및 분자동정에 관한 연구가 활발하였던 반면(Guilhabert 등, 2001; Henderson 등, 2001), *X. fastidiosa*가 포도 종자 내 존재 및 이를 통한 종자전염 여부는 판명되지 않았다(Purcell과 Saunders, 1995). 한편 1987년 브라질에서 *X. fastidiosa*에 의한 sweet orange의 citrus variegated chlorosis (CVC) 병징이 최초 보고되었다(Chang 등, 1993; Hartung 등, 1994). CVC 병징을 나타내는 sweet orange 나무는 고사되지는 않았지만, 이병주에서 생산된 과실은 작고, 단단하며 주스함량이 적어 상품성이 크게 저하되었다. 따라서 이러한 CVC 병징을 나타내는 sweet orange 과실에서의 단점들은 sweet orange 종자를 통한 이 병원세균의 종자전염 가능성을 시사할 수 있었다. Li 등(2003)은 CVC 병징을 나타내는 3개의 품종(Pera, Natal 및 Valencia) 과실의 도관부, 종자 그리고 종자 절단부위로부터 PCR에 의한 *X. fastidiosa*를 검출하였다. 또한 감염종자 배는 건전종자 배보다 25% 무게가 감소하였으며, 하나의 감염종자에는 병원세균이 평균 2,500개의 병원세균이 감염되어 있음을 RT-PCR로 정량하였다. 최종적으로는 감염종자로부터 발아하여 성장한 유묘 내부에서 병원세균을 검출함으로써 *X. fastidiosa*가 sweet orange 종자를 포함한 과실 내부조직에 감염하고 증식하며, 종자로부터 유묘로 전달되는 종자전염 식물병원세균임을 증명하였다.

**Burkholderia plantarii.** *Burkholderia plantarii*는 1982년 일본에서 벼 seedling blight를 유발하는 병원세균으로 최초 보고되었으며(Azegami 등, 1987), 벼에서 종자전염을 하여 생유기 지제부에서 존재하다가 상부로 이동하여 다음세대 종자를 감염하는 것으로 규명되었다(Tanaka와 Katou, 1993). 이와 더불어 논물에서 *B. plantarii*의 밀도가 논두렁에서 5 m 떨어진 곳보다 논두렁을 따라 높게 나타나는 현상에 기반하여, 벼과 잡초 종자로부터 분리한 *B. plantarii*를 벼 개화기에 접종하여 수확 후 벼 종자에서 검출한 결과 종자 1 g당  $10^3$ - $10^6$  cfu/g의 병원세균이 검출되었으며, 2반복으로 수행된 육묘상자 파종 후 각각의 유묘에서 80%와 30% 이상의 이병을 나타내는 것을 확인하여, *B. plantarii*가 벼에서 종자전염 식물병원세균임을 나타내었다(Miyagawa와 Inoue, 2002).

**Clavibacter insidiosus.** *Clavibacter insidiosus*는 북미 모든 알팔파 재배지역에서 bacterial wilt를 유발하는 그람 양성세균으로, 현재 북미 재배 알팔파의 50-75% 정도가 이 병에 대한 저항성 품종이 도입된 계기를 만들어준 병원세균이다(Jones,

**Table 1.** Prohibited and restricted plant pathogenic bacteria and phytoplasmas analyzed in this study

No. <sup>a</sup>	Bacteria/Phytoplasmas	Disease	Dissemination <sup>b</sup>
1	<i>Candidatus</i> Liberibacter asiaticus	Citrus greening	Insects
2	<i>Erwinia amylovora</i>	Fire blight	Plant materials and insects
3	<i>Xylella fastidiosa</i>	Pierce's disease	Insects
4	<i>Candidatus</i> Liberibacter solanacearum	Zebra chip	Seeds
5	<i>Candidatus</i> Phytoplasma mali	Apple proliferation	Insects
6	Grapevine flavescence dorée phytoplasma	Flavescence dorée	Insects
7	<i>Acidovorax cattleyae</i>	Brown spot	Mechanical wounds
8	<i>Brenneria rubrifaciens</i>	Phloem necrosis	Mechanical wounds and graft
9	<i>Burkholderia caryophylli</i>	Bacterial wilt	Mechanical wounds
10	<i>Burkholderia plantarii</i>	Seedling blight	Seeds
11	<i>Candidatus</i> Phlomobacter fragariae	Strawberry marginal chlorosis	Insects
12	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>insidiosus</i>	Bacterial wilt	Seeds
13	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>nebraskensis</i>	Goss' bacterial wilt	Seeds
14	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>tessellarius</i>	Bacteria mosaic	Seeds
15	<i>Clavibacter tritici</i>	Spike blight	Seeds
16	<i>Curtobacterium flaccumfaciens</i> pv. <i>flaccumfaciens</i>	Bacterial wilt	Seeds
17	<i>Pantoea stewartii</i> subsp. <i>stewartii</i>	Stewart's disease	Seeds
18	<i>Pseudomonas fuscovaginae</i>	Sheath brown rot	Seeds
19	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>actinidiae</i> 3	Bacteria canker	Mechanical wounds
20	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>atofaciens</i>	Basal glume rot	Seeds
21	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>coronafaciens</i>	Halo blight	Seeds
22	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>papulans</i>	Blister spot	Mechanical wounds
23	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>persicae</i>	Bacterial dieback	Mechanical wounds
24	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>pisi</i>	Bacterial blight	Seeds
25	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Bacterial speck	Seeds
26	<i>Rhodococcus fascians</i>	Leafy gall	Seeds
27	<i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>corylina</i>	Bacterial blight	Mechanical wounds
28	<i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>juglandis</i>	Walnut blight	Seeds
29	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>allii</i>	Bacterial spot	Seeds
30	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>aurantifolia</i>	Citrus bacterial canker	Mechanical wounds
31	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>poinsettiicola</i>	Bacterial leaf spot	Mechanical wounds
32	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>hyacinthi</i>	Yellow disease	Mechanical wounds
33	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>mangiferaeindicae</i>	Canker	Mechanical wounds
34	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>tardicrescens</i>	Iris bacterial blight	Mechanical wounds
35	<i>Xanthomonas cucurbitae</i>	Bacterial leaf spot	Seeds
36	<i>Xanthomonas fragariae</i>	Angular leaf spot	Mechanical wounds
37	<i>Xanthomonas hortorum</i> pv. <i>carotae</i>	Bacterial blight	Seeds
38	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzicola</i>	Bacterial leaf streak	Seeds
39	<i>Xanthomonas populi</i>	Shoot drooping	Insects
40	<i>Xanthomonas vasicola</i> pv. <i>holcicola</i>	Bacterial leaf streak	Mechanical wounds
41	<i>Xylophilus ampelinus</i>	Bacterial blight of grapevine	Mechanical wounds
42	Apple decline phytoplasma	Apple decline	Mechanical wounds
43	Apple rubbery wood phytoplasma	Apple rubbery wood disease	Mechanical wounds
44	Aster yellows phytoplasma	Apical leaf roll, Blue stem	Insects
45	<i>Candidatus</i> phytoplasma <i>aurantifolia</i>	Lime witches'-broom	Insects
46	<i>Candidatus</i> Phytoplasma <i>australiense</i>	Hibiscus witches'-broom	Insects
47	<i>Candidatus</i> Phytoplasma <i>oryzae</i>	Pedi Jantan	Insects
48	<i>Candidatus</i> Phytoplasma <i>palmicola</i>	Lethal yellowing of coconut	Insects
49	<i>Candidatus</i> Phytoplasma <i>pini</i>	Shoot proliferation	Insects
50	<i>Candidatus</i> Phytoplasma <i>prunorum</i>	Apricot chlorotic leaf roll	Insects
51	<i>Candidatus</i> phytoplasma <i>pyri</i>	Pear decline	Insects
52	<i>Candidatus</i> Phytoplasma <i>rubi</i>	Rubus stunt	Insects

Continued

Table 1. Continued

No. <sup>a</sup>	Bacteria/Phytoplasmas	Disease	Dissemination <sup>b</sup>
53	<i>Candidatus</i> Phytoplasma ulmi	Elm phloem necrosis	Insects
54	Peach X disease phytoplasma	Peach X disease	Insects
55	Peach yellows phytoplasma	Peach yellows	Insects
56	<i>Spiroplasma citri</i>	Stubborn, Little leaf	Seeds
57	Strawberry witches' broom phytoplasma	Witches'-broom of strawberry	Insects
58	Walnut bunch phytoplasma	Walnut witches'-broom	Insects

<sup>a</sup>Bacterial number: 1–6, prohibited bacteria and phytoplasmas; 7–41, restricted bacteria; 42–57, restricted phytoplasmas based on lists of Animal and Plant Quarantine Agency of Korea.

<sup>b</sup>Seed-borne pathogenic bacteria and phytoplasmas explained in the references are described in contents while bacteria and phytoplasmas used other dissemination agents are not involved.

1925). *C. insidiosus*는 건조된 식물 잔재물에서 8–10년 동안 생존이 가능하며, 알팔파 꽃과 종자에서 병원세균의 검출사례는 빈번하지는 않았으나 종자 외피와 종자 endosperm의 최외각층에서 주로 발견되었고(Cormack과 Moffatt, 1956), 따라서 이병 알팔파로부터 수확한 종자에서 발견된 사례도 있었다(Cormack, 1961). 이에 여러 국가에서는 *C. insidiosus*가 종자전염 병원세균임을 확인하여 포장위생 등에 관한 법률을 제정하기도 하였다. 그러나 종자전염의 빈도 등 알팔파 재배 포장에서의 연구는 이루어지지 않았다. 이에 Samac 등(1998)은 첫째, 온실에서 감염된 이병체, 둘째, 포장에서 감염되고 온실에서 생장한 이병체, 마지막으로 2년간 발생 포장에서 재배된 이병체로부터 각각 종자를 수확하여 PCR로 병원세균을 검출하여 종자전염의 빈도를 분석하였다. 이병체의 6.3–7.7%는 종자에서 병원세균이 검출되었으며, seed lots별 약 2.5–8.7%의 종자에서 병원세균이 검출되어 *C. insidiosus*의 종자전염 빈도를 확인하였다(Samac 등, 1998).

***Clavibacter nebraskensis.*** *Clavibacter nebraskensis*는 1969년 네브라스카주 중부지역에서 옥수수 Goss's bacterial wilt와 leaf blight를 유발하는 것으로 최초 보고되었으며, 또한 감염종자를 멸균된 토양에 파종하여 유묘로 병원세균이 전달되는 종자전염 병원세균임을 증명하였다(Schuster, 1972). 비록 이것은 *C. nebraskensis*는 종자전염 병원세균이라는 사실이 분명하였지만, 이후 20년간 종자를 통한 옥수수에서의 Goss's bacterial wilt의 발생은 일관되게 나타나지 않았다. 이에 Biddle 등(1990)은 종자에 병원세균의 인공접종 횟수를 증가할수록 재분리되는 병원세균의 밀도가 증가함을 규명하였고, 최종적으로 감압처리로 접종한 종자의 0.1–0.4%의 비율로 유묘에서 병원세균이 검출되어 *C. nebraskensis*는 종자전염 식물병원세균임을 재확인하였다.

***Clavibacter tessellarius.*** *Clavibacter tessellarius*는 1981년 미국 네브라스카주 밀에서 bacterial mosaic병징을 유발하는 것으로 최초 보고되었다(Carlson과 Vidaver, 1982). Bacterial mosaic 증상은 작고 노란색의 반점이 잎전체에 퍼져 있어, 녹병에 대한 과민반응 증상과 유사하며, 다른 식물병원세균에 의해 발생하는 수침상과 세균성 ooze는 발생하지 않는다(Fucikovsky와 Duveiller, 1997). *C. tessellarius*는 이병주에서 생산된 종자 내에서 고밀도로 검출되었으며, 병원세균은 embryo 근처에서 주로 발견되어 클로락스를 이용한 표면살균 방법이 종자소독에 있어서 효과가 크지 않은 이유로 밝혀졌다. 또한 감염종자로부터 발아한 유묘 및 이들의 잎에서 병원세균이 검출되었으나, 병징 발현은 늦게 발현되었으며 이는 embryo 근처에서만 병원세균이 다량 검출되었기 때문이었다(McBeath와 Adelman, 1986).

***Clavibacter tritici.*** *Clavibacter tritici*는 밀과 보리에서 어린잎 표면에 노란색의 점액질이 형성되고, 이삭의 생장이 억제되는 병징으로 spike blight 또는 yellow ear rot과 yellow slime rot으로 불리우며, 인도에서 최초 보고되었다(Paruthi와 Gupta, 1987). Spike blight는 *C. tritici*와 ear cockle이라는 종자에 형성되는 혹을 생성하는 식물기생 선충 *Anguina tritici*의 복합작용에 의해 나타나는 병징이다(Riley와 Reardon, 1995). Spike blight를 억제하기 위해서 인도에서는 aldicarb sulfone을 이용하여 종자소독을 할 경우 병 발생을 크게 억제할 수 있다는 보고로 보아 종자전염 식물병원세균으로 추정된다(Jain과 Sehgal, 1980).

***Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens.*** *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*는 1922년 남부 다코타 지역 콩에서 간헐적 피해 보고가 있었으나, 실질적 문제

가 제기된 것은 1950년대부터 1970년대 초까지 서부 네브라스카에서 콩 생산에 영향을 미친다는 것이 정식 보고였다(Harveson 등, 2011). 그러나 윤작과 종자소독에 의해 이시기 문제인 수량감소가 해결되었으나, 이로부터 25년 후인 2003년 네브라스카, 콜로라도 및 와이오밍 지역에서 다시 심각한 피해를 주는 병원세균이 되었다. *C. flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*는 이 병 콩 잔재물과 잡초에서 월동하며 토양 내에서 병원세균 자체 생존능력은 급감한다. 반면 건조에 대한 저항성을 갖고 있기 때문에 콩 종자를 적절한 환경조건에서 보관하였을 때, 최대 24년까지 생존이 가능하다. *C. flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*는 종자 내외부에 존재하며 다음해 재발생의 오염원이 되어 근거리 및 원거리로 이 병의 확산요인이 되며, 전형적인 종자전염 식물병원세균으로 알려져 있다(Harveson 등, 2011).

***Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*.** *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*는 1895년 최초로 옥수수 Stewart's disease를 유발한다고 보고되었으며, 이 시기에는 종자전염에 의한 확산이 병 발생의 주요 요인으로 여겨졌으나(Stewart, 1897), 이는 corn flea beetle과 toothed flea beetle 등의 주요 매개충이 존재하지 않는 조건에서의 실험결과들이었다(Rand와 Cash, 1924). 이후 감염 옥수수 낱알로부터 병원세균이 검출된 사례도 있었으며(Ivanoff, 1933), 매개충이 없는 조건에서 감염종자로부터 온실재배 옥수수에서 2-13% 이병률을 나타낸 경우도 있었다(Rand와 Cash, 1933). 그러나 이러한 사실은 연구초기에 이루어진 결과들이며, 대부분 매개충이 존재하지 않는 조건에서 얻어진 결론들이었다. 그럼에도 불구하고 *P. stewartii* subsp. *stewartii*는 현재 100개국 이상의 나라에서 옥수수 수입 시 금지병해충 목록으로 제정되어 있다. 따라서 Block 등(1998)은 인공접종 옥수수에서 생산한 종자의 유묘에서는 0.066%로 자연감염 옥수수로부터 수확한 종자를 이용한 유묘에서의 이병률이 0.0029%로 높게 이병됨을 증명하여 *P. stewartii* subsp. *stewartii*는 종자전염 식물병원세균이며, 옥수수 종자의 판매와 국가간 교류에서는 무병종자이면서 발아율에도 부정적 영향이 없는 고품질의 종자사용을 권장하였다.

***Pseudomonas fuscovaginae*.** *Pseudomonas fuscovaginae*는 일본 홋카이도에서 최초로 벼 sheath brown rot을 유발하는 병원세균으로 보고되어졌기 때문에(Tanii 등, 1976), 발견 초기에는 벼가 저온 스트레스로 약해졌을 때 발생하는 것으로 생각되어지다, 이후 콜롬비아와 마다가스카르에서도 발견되어 저온과 상관없는 것으로 밝혀졌다(Zeigler와 Alvarez, 1987). *P. fuscovaginae*는 육안으로 건전해 보이거나 변색된 종자에서

분리된 경우가 있었으나(Cottyn 등, 1996), 벼 종자에서 내생생활 여부에 대한 조사는 이루어지지 않았다. 이에 Adorada 등(2015)은 검정 대상 벼 종자 대부분에서 병원세균을 검출하였고, 분리과정에서 표면 현탁액보다는 종자를 마쇄한 현탁액에서 더 높은 밀도의 병원세균을 검출함으로써 종자전염의 가능성을 시사하였다. 또한 저자들은 인공접종한 벼 종자는 발아율과 생장률이 건전종자보다 크게 저하된다는 사실에 따라 종자전염 식물병원세균으로 나타내었다(Adorada 등, 2015).

***Pseudomonas syringae* pv. *atrofaciens*.** *Pseudomonas syringae* pv. *atrofaciens*는 보리와 밀에서 glume부분에 흑갈색으로 변색이 되는 basal glume rot을 유발하는 병원세균으로, 독일 연구진들에 의하여 밀, 보리, 호밀 그리고 귀리 종자에 감염방법으로 인공접종하고 발아시켜 앞에서 검출한 결과 *P. syringae* pv. *atrofaciens*를 검출함으로써 종자전염 식물병원세균으로 판단하였다(von Kietzell과 Rudolph, 1997).

***Pseudomonas syringae* pv. *coronafaciens*.** *Pseudomonas syringae* pv. *coronafaciens*는 옥수수와 귀리 등에서 작은 수침상으로 출발하여 연녹색의 병반이 형성되고 이후 병반이 확대되면서 주변에 노란색의 윤문을 형성하는 halo blight를 유발하는 병원세균이다(Elliott, 1920). *P. syringae* pv. *coronafaciens*는 토양 및 토양 내 식물잔재물 그리고 종자에서 오랜 기간 생존이 가능하다고 알려져 있으며(Martens 등, 1984), 이에 따라 효율적인 억제방법이 건전종자를 사용하는 것이 가장 바람직하다고 규명되었다(Collins, 2010). 또한 An 등(2015)은 10 cfu/ml 밀도로 인공 접종한 귀리종자로부터 saline용액과 Tween 20을 이용한 추출액으로부터 TaqMan PCR 방법으로 이 세균의 DNA를 대상으로 한 positive control과 유사한 Ct 값을 나타냄으로써 종자전염 식물병원세균으로 증명하였다.

***Pseudomonas syringae* pv. *pisi*.** *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*는 완두콩에서 bacterial blight를 유발하는 병원세균으로 미국에서 최초로 발견되었고(Sackett, 1916), 병 발생 초기부터 종자전염을 하는 것으로 인식되었다. 특히 뉴질랜드에서는 1943년 Auckland에서 발병하였으나 1951년 이후 감염사례가 보고되지 않다가 1965년 Canterbury 지역에서 50% 이상 대발생한 이유가 직전인 1962년과 1963년 수입된 종자에서 비롯되었다는 가설을 제기하기도 하였다(Young과 Dye, 1970). 이에 실험적으로는 Roberts 등(1996)에 의하여 병원세균 접종농도, 접종방법, 온도 및 물의 관주량별 조건에 따른 종자로부터 유묘로의 병원세균의 전염률을 조사한 결과, 인공접종과 자연접종 방법에 상관없이 접종 병원세균 밀도(종자당)가 높은 경우와 관

주량이 많을수록 유묘에서의 병원세균 검출률이 높아지는 것을 관찰하여 종자전염에 의한 발병률이 크게 증가할 수 있다는 사실을 증명함으로써 종자전염 식물병원세균임을 증명하였다.

***Pseudomonas syringae* pv. *tomato*.** *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*는 전 세계적으로 토마토 bacterial speck disease를 유발하는 병원세균으로(Wilson 등, 2002), 감염과실로부터 생산된 종자에서 전형적인 병원세균 균총들을 분리할 수 있었으며, 다시 이 종자를 파종하여 한달 후 잎에서 병징을 관찰하였다(Kim, 1979). 또한 미국 남부지역에서는 1978년 조지아주에서 대발생되기 직전까지 미국 북부 및 캐나다에서 들어오는 유묘에서 병원세균이 검출되지 않았다는 이유로 이 병의 중요성이 간과되었다가 다시 경제적 중요성에 대해 인식하게 되었으며, 이는 유묘 및 종자전염에 대한 직접적 증거를 찾기 위한 노력으로 이어졌다. 이것의 일환으로 McCarter 등(1983)은 유묘생산을 위한 상용 seed lots 1,566개로부터 19개의 seed lots에서 병원세균을 검출하였으며, 토마토 재배지 잡초로부터 토마토 유묘로 병원세균이 전파되어 병징을 유발하고 종자에도 감염을 일으킨다는 사실을 보고함으로써, 종자전염 식물병원세균으로 판단하였다(McCarter 등, 1983).

***Rhodococcus fascians*.** *Rhodococcus fascians*는 단자엽과 쌍자엽 식물모두를 기주 범위로 하는 그람양성 토양병원세균으로(Goethals 등, 2001), 최근 화훼류에서 문제가 되고 있는 병해이다(Putnam과 Miller, 2007). *R. fascians*를 인공 접종한 기주식물 유묘에서는 잎수가 감소하고 뿌리발달이 증가하면서 생장이 억제되는 병징을 나타내는데, 가장 대표적인 병징이 분열조직이 과증식된 결과로 많은 수의 줄기가 형성되며 추가적 생장이 억제되는 leafy gall 병징이다(Maes 등, 2001). *R. fascians*의 종자전염에 대한 보고는 완두콩(Tilford, 1936)과 *Schizanthus retusus* (Lacey, 1939)와 같은 기주에서 알려져 있으며, 재배자들의 증언에 따르면 제라늄(*Pelargonium* spp.), 페튜니아, 데이지(*Argyranthemum*) 및 카네이션(*Dianthus* spp.) 종자에 *R. fascians*가 오염 또는 감염되어 있다고 증언하였다(Putnam과 Miller, 2007). 그러나 다른 기주 식물에서는 종자전염에 대한 여부가 분명치 않으며, 도관부에서 증식 여부도 확실하지 않아 다수의 기주에서는 종자내부보다는 표피안쪽에 오염되어 있는 경우가 다수일 것으로 추정하고 있다. 그럼에도 불구하고 완두콩 등의 식물에서는 종자전염 식물병원세균으로 보고되었다(Putnam과 Miller, 2007; Tilford, 1936).

***Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*.** *Xanthomonas*

*arboricola* pv. *juglandis*는 호두나무에서 대표적 병징으로 walnut blight를 유발하는 병원세균으로(Garcin과 Duchesne, 2001), 스페인, 프랑스, 터키 및 이탈리아에서는 *X. arboricola* pv. *juglandis*와 곰팡이들이 복합감염된 apical necrosis가 보고되었으며(Aletá, 등 2001; Belisario 등, 2002; Moragrega와 Özaktan, 2010), 이 병징에서는 병원균들의 내외부 침입으로 인한 종자의 black rot이 추정되기도 하였다(Belisario 등, 2002; Moragrega와 Özaktan, 2010). 이에 Temperini 등(2017)은 apical necrosis 병징을 나타내는 호두로부터 병원세균을 분리한 결과, 호두 외부조직보다는 내부에서 병원세균의 분리 비율이 월등히 높은 것으로 보고하였다. 또한 이들은 인공접종에 의한 호두에서의 조직에 따른 병징전도를 조사한 결과, 외부 병징은 접종 7일 후부터 생성되었고 내부병징은 14일 후부터 시작되었으며, 내부 병징을 나타낸 호두의 14.3%는 종자에서도 necrosis가 관찰되어 종자에 영향을 주는 종자전염 식물병원세균으로 판단하였다.

***Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*.** *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*는 하와이 양파 재배지에서 bacterial blight를 유발하는 병원세균으로 최종 보고되었으며(Alvarez 등, 1978), 다양한 양파종류에서 xanthomonads들에 의한 병이 보고된 이래(Roumagnac 등, 2004a) 계속적으로 전세계에서 양파 bacterial blight가 발생 및 보고되고 있다. 잠재적 종자전염 병원세균으로 여겨지던 *X. axonopodis* pv. *allii*는 자연감염된 종자를 파종한 양파재배지 면적 0.04%에서 대발생하였으며, 또한 인공 접종된 종자를 파종한 5곳의 재배지 모두에서 발병하여 초기 전염원으로서 이 병원세균이 종자전염체로서의 위험성을 나타내었다(Roumagnac 등, 2004b). 또한 Picard 등(2008)은 Réunion Island에서 대발생한 양파 bacterial blight 병원세균들의 amplified fragment length polymorphism 및 random amplified polymorphic DNA 분석을 실시한 결과, 발생지역 주변 섬인 Mauritius에서 1984년 대발생한 *X. axonopodis* pv. *allii*와 동일한 유전자형임을 나타내어, 종자전염에 의한 Réunion Island에서의 양파 bacterial blight 대발생이 이루어졌다고 고찰하여 종자전염 식물병원세균으로 결정하였다.

***Xanthomonas cucurbitae*.** *Xanthomonas cucurbitae*는 1926년 뉴욕에서 Hubbard squash에서 bacterial leaf spot을 유발한다고 최초 보고되었으며(Babadoost와 Ravanlou, 2012), 이후 호박, 오이, 수박 등 다양한 박과를 재배하는 전 세계에서 발병되고 있다. *X. cucurbitae*는 기본적으로 종자전염 병원체로 인식되고 있지만, 종자 내부의 증식부위는 알려져 있지 않다

(Goldberg, 2012). 한편 *X. cucurbitae*는 토양 내 감염된 잎 또는 과실 조직에서 24개월동안 생존이 가능하며(Thapa, 2014), 이로부터 관개수와 빗방울 등에 의해 근거리 주변으로 확산되어 지나, 원거리 이동은 감염된 종자에 의한 종자전염 방법으로 확산되는 것으로 규명되어졌다(Anonymous, 2012).

***Xanthomonas hortorum* pv. *carotae*.** *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae*는 1934년 최초로 캘리포니아 당근에서 bacterial blight를 유발하는 것으로 보고되었으며, 인공접종한 종자에서 종자전염(Kendrick, 1934) 및 자연감염 종자에서도 종자전염이 이루어진다는 사실이 보고되었다(Ark와 Gardner, 1944). 그러나 *X. hortorum* pv. *carotae*가 종자전염 식물병원세균임을 증명한 사례는 Kuan 등(1985)에 의한 보고가 가장 신뢰성 있는 결과로 보인다. 이들은 자연감염 및 건전종자를 파종하여 생산된 종자로부터 자연감염 종자에서 생산된 종자는  $10^5$  cfu/ml 이상의 농도로 병원세균이 검출된 반면, 건전종자로부터 생산된 종자에서는 부생균 이외 병원세균은 검출되지 않아 종자전염 식물병원세균으로 나타났고, 또한 종자 10,000입당 인공접종한 종자수가 증가할수록 검출되는 병원세균의 검출률이 증가함으로써 seed lots에서 종자오염의 위험성도 시사하였다(Kuan 등, 1985).

***Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*.** *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*는 벼에서 bacterial leaf streak을 유발하며, 열대 아시아, 서부 아프리카 및 오스트레일리아에서 보고되었다(OEPP/EPPO, 2006). 이 병원세균은 오래 전부터 종자전염으로 알려져 있으며, 특히 자연감염이 매우 심하게 이루어진 포장에서 수확한 종자에서는 배아내부에서 병원세균이 분리된 경우가 많은 것으로 보고되었다(Fang 등, 1956; Srivastava와 Rao, 1964). 또한 종자로부터 *X. oryzae* pv. *oryzicola*를 직접 분리하기 위하여, saline solution에 종자를 마쇄한 현탁액을 growth factor (GF) 또는 modified XOS (mXOS) 선택배지에 도말하여 배양하면, GF 배지에서는 노란색, mXOS 배지에서는 붉은색의 colony들을 관찰할 수 있으며, 이렇게 획득한 colony들을 TXT와 TXT4R 프라이머를 이용하여 특이적으로 검출할 수 있는 방법이 개발되었다는 것이 *X. oryzae* pv. *oryzicola*가 종자전염 식물병원세균임을 증명하는 것이다(EPPO, 2007).

***Spiroplasma citri*.** *Spiroplasma citri*는 Mollicutes강, Spiroplasmataceae과의 세포벽이 없으며 체관 내에만 서식하는 세균으로, 감귤류의 stubborn disease를 유발하는 것으로 가장 유명하며, 이외에도 당근과 셀러리 등 다양한 식물에서 발생

한다(Nejat 등, 2011). 특히 당근에서는 TaqMan probe를 이용한 real-time PCR 방법이 개발되어, 종자에서는 2반복으로 수행된 조사 종자 20립중 1-2개의 감염종자를 검출하였지만, 동일종자를 파종하여 성장한 유묘에서는 30.1% 및 37.7%의 병원세균을 검출하여 종자전염 및 종자로부터 유묘로 병원세균이 전달되는 종자전염 식물병원세균임이 증명되었다(Alfaro-Fernández 등, 2017).

## 결 언

현재는 국가간 자유무역이 날로 증가함에 따라 농산물의 교류량도 급증하고 있다. 이는 새로운 병해충의 출현에 있어서 지구온난화라는 전 지구적 문제와 더불어 수입농산물에 오염 또는 전염되어 반입되는 신규 병해충들의 근원지로 여겨지고 있다. 따라서 본 리뷰논문에서는 종자내부 또는 배아에서 병원세균을 다양한 방법으로 검출하였거나, 유묘에서 병원세균이 검출되었거나 병징이 발생되어 발병률을 보인 문헌조사를 바탕으로 국내 검역법 상 금지 및 관리병해충 중에서 종자오염이 아닌 종자전염 식물병원세균을 정의하였다. 이에 국가검역시스템에서는 본 논문에서 규명된 종자전염 식물병원세균에 대하여 해당 기주들의 종자를 수입할 경우, 반드시 검역을 실시하여야 한다. 또한 기존에 종자전염 병원체로 규명되지 않았던 식물병원세균들과 검출방법이 미비한 식물병원세균들에 대해서는 감도가 우수하며 효율적으로 대량 스크리닝이 가능한 새로운 검출방법이 빠른 시간 내에 마련되어야만 한다.

본 리뷰논문에서는 금지 및 관리병해충으로 지정된 식물병원세균들을 대상으로 하였다. 그러나 이들 금지 및 관리병해충으로 지정되어 있지 않는 다수의 식물병원세균들 중에서도 *Acidovorax*, *Burkholderia*, *Clavibacter*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rathayibacter* 그리고 *Xanthomonas*속의 일부 종들이 종자전염 식물병원세균으로 알려져 있다. 이에 수입 농산물로부터 금지 및 관리병해충과 더불어 일반병해충으로 지정된 식물병원세균들에 대해서도 검역 시스템을 마련할 것을 강력히 요구하는 바이다.

## 요 약

본 논문에서는 종자전염 식물병원세균을 규정하였다. 국내 금지병해충 목록에서 세균 4종 및 파이토플라스마 2종, 그리고 관리병해충 목록 중 세균 35종 및 파이토플라스마 17종을 대상으로 종자내부 또는 유묘에서 병원세균을 검출한 문헌조사를 실시하였다. 금지 식물병원세균 2종, 관리 식물병원세균 18종

및 관리 파이토플라스마 1종이 종자전염 식물병원세균으로 판명되었다. 이에 이들 종자전염 식물병원세균들에 대한 근거를 제시하였으며, 향후 수입종자의 검역을 위한 기본자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

## Conflicts of Interest

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

## Acknowledgments

This research was supported by a fund (PQ20180B014) by Research of Animal and Plant Quarantine Agency.

## References

- Adorada, D. L., Stodart, B. J., Pangga, I. B. and Ash, G. J. 2015. Implications of bacterial contaminated seed lots and endophytic colonization by *Pseudomonas fuscovaginae* on rice establishment. *Plant Pathol.* 64: 43-50.
- Aletá, N., Ninot, A., Moragrega, C., Llorente, I. and Montesinos, E. 2001. Blight sensitivity of Spanish selections of *J. regia*. *Acta Hort.* 544: 353-362.
- Alfaro-Fernández, A., Cebrián, M. C., Villaescusa, F. J., de Mendoza, A. H., Ferrándiz, J. C., Sanjuán, S. et al. 2012. First report of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' in carrot in mainland Spain. *Plant Dis.* 96: 582.
- Alfaro-Fernández, A., Ibañez, I., Bertolini, E., Hernández-Llopis, D., Cambra, M. and Font, M. I. 2017. Transmission of *Spiroplasma citri* in carrot seeds and development of a real-time PCR for its detection. *J. Plant Pathol.* 99: 371-379.
- Alvarez, A. M., Buddenhagen, I. W., Buddenhagen, E. S. and Domen, H. Y. 1978. Bacterial blight of onion, a new disease caused by *Xanthomonas* sp. *Phytopathology* 68: 1132-1136.
- An, J.-H., Noh, Y.-H., Kim, Y.-E., Lee, H.-I. and Cha, J.-S. 2015. Development of PCR and TaqMan PCR assays to detect *Pseudomonas coronafaciens*, a causal agent of halo blight of oats. *Plant Pathol. J.* 31: 25-32.
- Anonymous. 2012. Bacterial spot of cucurbits. University of Illinois Extension Report on Plant Disease No. 949. URL <http://extensio.cropsciences.illinois.edu/fruitveg/pdfs/949> [28 July 2020].
- Ark, P. A. and Gardner, M. W. 1944. Carrot bacterial blight as it affects the roots. *Phytopathology* 34: 415-420.
- Azegami, K., Nishiyama, K., Watanabe, Y., Kadota, I., Ohuchi, A. and Fukazawa, C. 1987. *Pseudomonas plantarii* sp. nov., the causal agent of rice seedling blight. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 37: 144-152.
- Babadoost, M. and Ravanlou, A. 2012. Outbreak of bacterial spot (*Xanthomonas cucurbitae*) in pumpkin fields in Illinois. *Plant Dis.* 96: 1222.
- Belisario, A., Maccaroni, M., Corazza, L., Balmas, V. and Valier, A. 2002. Occurrence and etiology of brown apical necrosis on Persian (English) walnut fruit. *Plant Dis.* 86:599-602.
- Bertolini, E., Teresani, G. R., Loiseau, M., Tanaka, F. A. O., Barbé, S., Martínez, C. et al. 2015. Transmission of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' in carrot seeds. *Plant Pathol.* 64: 276-285.
- Biddle, J. A., McGee, D. C. and Braun, E. J. 1990. Seed transmission of *Clavibacter michiganense* subsp. *nebraskense* in corn. *Plant Dis.* 74: 908-911.
- Block, C. C., Hill, J. H. and McGee, D. C. 1998. Seed transmission of *Pantoea stewartii* in field and sweet corn. *Plant Dis.* 82: 775-780.
- Camacho-Tapia, M., Rojas-Martínez, R. I., Zavaleta-Mejía, E., Hernández-Deheza, M. G., Carrillo-Salazar, J. A., Rebollar-Alviter, A. et al. 2011. Aetiology of chili pepper variegation from Yurécuaro, México. *J. Plant Pathol.* 93: 331-335.
- Carlson, R. R. and Vidaver, A. K. 1982. Bacterial mosaic, a new corynebacterial disease of wheat. *Plant Dis.* 66: 76-79.
- Chang, C. J., Garnier, M., Zreik, L., Rossetti, V. and Bové, J. M. 1993. Culture and serological detection of the xylem-limited bacterium causing citrus variegated chlorosis and its identification as a strain of *Xylella fastidiosa*. *Curr. Microbiol.* 27: 137-142.
- Collins, D. J. 2010. Oat Diseases in Alabama: Circular ANR-63. Alabama Cooperative Extension Service, Auburn, AL, USA.
- Cormack, M. W. 1961. Longevity of the bacterial wilt organism in Alfalfa hay, pod debris, and seed. *Phytopathology* 51: 260-261.
- Cormack, M. W. and Moffatt, J. E. 1956. Occurrence of the bacterial wilt organism in Alfalfa seed. *Phytopathology* 46: 407-409.
- Cottyn, B., Cerez, M. T., Van Outryve, M. F., Barroga, J. and Mew, T. W. 1996. Bacterial disease of rice. I. Pathogenic bacteria associated with sheath rot complex and grain discoloration of rice in the Philippines. *Plant Dis.* 80: 429-436.
- Elliott, C. 1920. Halo-blight of oats. *J. Agric. Res.* 19: 139-172.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2007. *Xanthomonas oryzae*. *Bull. OEPP/EPPO Bull.* 37: 543-553.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2013. '*Candidatus Liberibacter solanacearum*'. *Bull. OEPP/EPPO Bull.* 43: 197-201.
- Fang, C. R., Lin, C. F. and Chu, C. L. 1956. A preliminary study on the disease cycle of the bacterial leaf blight of rice. *Acta Phytotaxon. Sin.* 2: 173-185.
- Fucikovsky, L. and Duveiller, E. 1997. Other plant pathogenic bacteria reported on wheat. In: *The Bacterial Diseases of Wheat (Concepts and Methods of Disease Management)*, eds. by E. Duveiller, L. Fucikovsky, and K. Rudolph, pp. 59-64. CIMMYT, Mexico.
- Garcin, A. and Duchesne, D. 2001. Walnut blight and apical necrosis. *Acta Hort.* 544: 379-387.
- Goethals, K., Vereecke, D., Jaziri, M., Van Montagu, M. and Holsters, M. 2001. Leafy gall formation by *Rhodococcus fascians*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 39: 27-52.

- Goldberg, N. 2012. Bacterial Leaf Spot of Cucurbits Fact Sheet. Extension Plant Pathology: The News You Can Use. New Mexico State University, Las Cruces, Mexico. 2 pp.
- Guilhabert, M. R., Hoffman, L. M., Mills, D. A. and Kirkpatrick, B. C. 2001. Transposon mutagenesis of *Xylella fastidiosa* by electroporation of Tn5 synaptic complexes. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 14: 701-706.
- Hartung, J. S., Beretta, J., Brlansky, R. H., Spisso, J. and Lee, R. F. 1994. Citrus variegated chlorosis bacterium: axenic culture, pathogenicity, and serological relationships with other strains of *Xylella fastidiosa*. *Phytopathology* 84: 591-597.
- Harveson, R. M., Urrea, C. A. and Schwartz, H. F. 2011. Bacterial Wilt of Dry Beans in Western Nebraska. Panhandle Research and Extension Center. 112. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, USA. 2 pp.
- Hendson, M., Purcell, A. H., Chen, D., Smart, C., Guilhabert, M. and Kirkpatrick, B. 2001. Genetic diversity of Pierce's disease strains and other pathotypes of *Xylella fastidiosa*. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 895-903.
- Hilf, M. E., Sims, K. R., Folimonova, S. Y. and Achor, D. S. 2013. Visualization of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' cells in the vascular bundle of citrus seed coats with fluorescence in situ hybridization and transmission electron microscopy. *Phytopathology* 103: 545-554.
- Ivanoff, S. S. 1933. Stewart's wilt disease of corn, with emphasis on the life history of *Phytomonas stewartii* in relation to pathogenesis. *J. Agric. Res.* 47: 749-770.
- Jain, R. K. and Sehgal, S. P. 1980. Some investigation on the control of ear cockle/tundu disease of wheat. *Indian J. Mycol. Plant Pathol.* 10: 90-91.
- Jones, F. R. 1925. A new bacterial disease of Alfalfa. *Phytopathology* 15: 243-244.
- Kendrick, J. B. 1934. Bacterial blight of carrot. *J. Agric. Res.* 49: 493-510.
- Kim, S. H. 1979. Dissemination of seed-borne *Pseudomonas tomato* by transplants. *Phytopathology* 69: 535.
- Kuan, T.-L., Minsavage, G. V. and Gabrielson, R. L. 1985. Detection of *Xanthomonas campestris* pv. *carotae* in carrot seed. *Plant Dis.* 69: 758-760.
- Lacey, M. S. 1939. Studies in bacteriosis. XXIV. Studies on a bacterium associated with leafy galls, fasciations and "cauliflower" disease of various plants. Part III. Further isolations, inoculation experiments and cultural studies. *Ann. Appl. Biol.* 26: 262-278.
- Li, W.-B., Pria, W. D. Jr., Lacava, P. M., Qin, X. and Hartung, J. S. 2003. Presence of *Xylella fastidiosa* in sweet orange fruit and seeds and its transmission to seedlings. *Phytopathology* 93: 953-958.
- Maes, T., Vereecke, D., Ritsema, T., Cornelis, K., Ngo Thi Thu, H., Van Montagu, M. et al. 2001. The *att* locus of *Rhodococcus fascians* strain D188 is essential for full virulence on tobacco through the production of an autoregulatory compound. *Mol. Microbiol.* 42: 13-28.
- Martens, J. W., Seaman, W. L. and Atkinson, T. G. 1984. Diseases of Field Crops in Canada. Canadian Phytopathological Society, Ottawa, Canada. 160 pp.
- McBeath, J. H. and Adelman, M. 1986. Detection of *Corynebacterium michiganense* subsp. *tessellarius* in seeds and wheat plants. *Phytopathology* 76: 1099.
- McCarter, S. M., Jones, J. B., Gitaitis, R. D. and Smitley, D. R. 1983. Survival of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* in association with tomato seed, soil, host tissue, and epiphytic weed hosts in Georgia. *Phytopathology* 73: 1393-1398.
- Miyagawa, H. and Inoue, H. 2002. Alternative route of infection for bacterial seedling blight of rice caused by *Burkholderia plantarii*. *J. Gen. Plant Pathol.* 68: 356-362.
- Moragrega, C. and Özaktan, H. 2010. Apical necrosis of Persian (English) walnut (*Juglans regia*): an update. *J. Plant Pathol.* 92(1 Suppl): S1.67-S1.71.
- Munyaneza, J. E., Fisher, T. W., Sengoda, V. G. and Garczynski, S. F. 2010. First report of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' associated with psyllid-affected carrots in Europe. *Plant Dis.* 94: 639.
- Nejat, N., Vadamalai, G. and Dickinson, M. 2011. *Spiroplasma citri*: a wide host range phytopathogen. *Plant Pathol. J.* 10: 46-56.
- OEPP/EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organisation and European and Mediterranean Plant Protection Organisation). 2006. Distribution maps of quarantine pests for Europe *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*. URL [http://www.eppo.org/QUARANTINE/bacteria/Xanthomonas\\_oryzicola/XANTTO\\_map.htm](http://www.eppo.org/QUARANTINE/bacteria/Xanthomonas_oryzicola/XANTTO_map.htm) [2 May 2007].
- Paruthi, I. J. and Gupta, D. C. 1987. Incidence of "tundu" in barley and kanki in wheat field infested with *Anguina tritici*. *Haryana Agric. Univ. J. Res.* 17: 78-79.
- Picard, Y., Roumagnac, P., Legrand, D., Humeau, L., Robène-Soustrade, I., Chiroleu, F. et al. 2008. Polyphasic characterization of *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* associated with outbreaks of bacterial blight on three *Allium* species in the Mascarene archipelago. *Phytopathology* 98: 919-925.
- Pitman, A. R., Drayton, G. M., Kraberger, S. J., Genet, R. A. and Scoot, I. A. W. 2011. Tuber transmission of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' and its association with zebra chip on potato in New Zealand. *Eur. J. Plant Pathol.* 129: 389-398.
- Purcell, A. H. and Saunders, S. 1995. Harvested grape clusters as inoculum for Pierce's disease. *Plant Dis.* 79: 190-192.
- Putnam, M. L. and Miller, M. L. 2007. *Rhodococcus fascians* in herbaceous perennials. *Plant Dis.* 91: 1064-1076.
- Rand, F. V. and Cash, L. C. 1924. Further evidence of insect dissemination of bacterial wilt of corn. *Science* 59: 67-69.
- Rand, F. V. and Cash, L. C. 1933. Bacterial wilt of corn. *USDA Tech. Bull.* 362: 1-32.
- Riley, I. T. and Reardon, T. B. 1995. Isolation and characterization of *Clavibacter tritici* associated with *Anguina tritici* in wheat from Western Australia. *Plant Pathol.* 44: 805-810.
- Roberts, S. J., Ridout, M. S., Peach, L. and Brough, J. 1996. Transmission of pea bacterial blight (*Pseudomonas syringae* pv. *pisii*) from

- seed to seedling: effects of inoculum dose, inoculation method, temperature and soil moisture. *J. Appl. Bacteriol.* 81: 65-72.
- Roumagnac, P., Gagnevin, L., Gardan, L., Sutra, L., Manceau, C., Dickstein, E. R. et al. 2004a. Polyphasic characterization of xanthomonads isolated from onion, garlic and Welsh onion (*Allium* spp.) and their relatedness to different *Xanthomonas* species. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54: 15-24.
- Roumagnac, P., Pruvost, O., Chiroleu, F. and Hughes, G. 2004b. Spatial and temporal analyses of bacterial blight of onion caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*. *Phytopathology* 94:138-146.
- Sackett, W. G. 1916. A bacterial stem blight of field and garden peas. *Agric. Exp. Stn. Colorado Bull.* 218: 3-43.
- Samac, D. A., Nix, R. J. and Oleson, A. E. 1998. Transmission frequency of *Clavibacter michiganensis* subsp. *insidiosus* to Alfalfa seed and identification of the bacterium by PCR. *Plant Dis.* 82: 1362-1367.
- Schuster, M. L. 1972. Leaf freckles and wilt, a new corn disease. In: Proceedings of the 27th Annual Corn Sorghum Research Conference, pp. 176-191. American Seed Trade Association, Washington, DC, USA.
- Secor, G. A., Rivera V. V., Abad, J. A. Lee, I.-M., Clover, G. R. G., Liefting, L. W. et al. 2009. Association of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' with zebra chip disease of potato established by graft and psyllid transmission, electron microscopy, and PCR. *Plant Dis.* 93: 574-583.
- Srivastava, D. N. and Rao, Y. P. 1964. Seed transmission and epidemiology of bacterial blight disease of rice in North India. *Indian Phytopathol.* 17: 77-78.
- Stewart, F. C. 1897. A bacterial disease of sweet corn. *N. Y. Agric. Exp. Stn. Bull.* 130: 422-439.
- Tanaka, T. and Katou, T. 1993. Infection cycle and disease development of bacterial seedling blight of rice. In: PSJ 17th Plant Bacterial Disease Workshop, pp. 53-60. (in Japanese)
- Tanii, A., Miyajima, K. and Akita, T. 1976. The sheath brown rot disease of rice plant and its causal bacterium, *Pseudomonas fuscovaginae*, A. Tanii, K. Miyajima, et T. Akita sp. nov. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 42: 540-548.
- Temperini, C. V., Pardo, A. G. and Pose, G. N. 2017. First report of apical necrosis in walnut cultivars from Northern Argentinean Patagonia. *J. Plant Pathol. Microbiol.* 8: 1000414.
- Thapa, S. 2014. Field survival of *Xanthomonas cucurbitae*, the causal agent of bacterial spot of pumpkin and efficacy of selected chemicals and biocontrol agents for control of the disease. M.Sc. thesis. Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, Champaign, IL, USA. 59 pp.
- Tilford, P. E. 1936. Fasciation of sweet peas caused by *Phytomonas fascians* n. sp. *J. Agric. Res.* 53: 383-394.
- von Kietzell, J. and Rudolph, K. 1997. Epiphytic occurrence of *Pseudomonas syringae* pv. *atofaciens*. In: *Pseudomonas Syringae Pathovars and Related Pathogens, Developments in Plant Pathology*, Vol. 9, eds. by K. Rudolph, T. J. Burr, J. W. Mansfield, D. Stead, A. Vivian and J. von Kietzell, pp. 29-34. Springer, Dordrecht, Germany.
- Wells, J. M., Raju, B. C., Hung, H.-Y., Weisburg, W. G., Mandelco-Paul, L. and Brenner, D. J. 1987. *Xylella fastidiosa* gen. nov., sp. nov.: Gram-negative, xylem-limited, fastidious plant bacteria related to *Xanthomonas* spp. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 37: 136-143.
- Wilson, M., Campbell, H. L., Ji, P., Jones, J. B. and Cuppels, D. A. 2002. Biological control of bacterial speck of tomato under field conditions at several locations in North America. *Phytopathology* 92: 1284-1292.
- Young, J. M. and Dye, D. W. 1970. Bacterial blight of peas caused by *Pseudomonas pisi* Sackett, 1916 in New Zealand. *N. Z. J. Agric. Res.* 13: 315-324.
- Zeigler, R. S. and Alvarez, E. 1987. Bacterial sheath brown rot of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae* in Latin America. *Plant Dis.* 71: 592-597