

Note	Open Access
------	-------------

***Podosphaera tridactyla*에 의한 자두나무 흰가루병 발생**이성찬 · 한경숙 · 조성은¹ · 박지현¹ · 신현동^{1*}국립원예특작과학원 원예특작환경과, ¹고려대학교 환경생태공학부**Occurrence of Powdery Mildew of Japanese Plum Caused by *Podosphaera tridactyla* in Korea**Seong-Chan Lee, Kyung-Sook Han, Sung-Eun Cho¹, Ji-Hyun Park¹ and Hyeon-Dong Shin^{1*}

Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Suwon 441-744, Korea

¹Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received on February 2, 2012; Revised on February 14, 2012; Accepted on March 2, 2012)

Occurrence of powdery mildew was found on Japanese plum (*Prunus salicina*) growing in private gardens in Yanggu, Hongcheon, Hoengseong, and Gapyeong of central Korea, in 2011. Despite of extensive survey, however, there was no powdery mildew infection in commercial orchards of Japanese plum in Korea. The initial symptoms included white, evanescent mycelia and irregular patches on leaves and young stems. Infected leaves later showed partial distortion and diffuse red-purple discoloration. Based on morphological characteristics of holomorph and phylogenetic analysis, the causal fungus was identified as *Podosphaera tridactyla*. This is the first report of powdery mildew on Japanese plum in Korea.

Keywords : Japanese plum, *Podosphaera tridactyla*, Powdery mildew, *Prunus salicina*

자두나무(*Prunus salicina* Lindl.)는 장미과(Rosaceae)에 속하는 과수로 Japanese plum 또는 Chinese plum이라고 불리는데, 원산지는 중국이며 우리나라를 비롯하여 일본, 중국, 미국 등에서 과수로 재배된다(Okie와 Ramming, 1999). 우리나라의 자두나무 재배면적은 2010년에 4,748 ha, 생산량은 62,884톤에 달한다(Statistics Korea, 2010). 우리나라에서 자두나무에 기록된 병해는 9가지가 있는데, 곰팡이에 의한 병해로는 *Botrytis cinerea*에 의한 잿빛곰팡이병, *Monilinia fructicola*에 의한 잿빛무늬병, *Polystigma rubrum*에 의한 붉은무늬병, *Septobasidium tanakae*에 의한 갈색고약병, *Taphrina pruni*에 의한 주머니병 등 5가지가 보고되어 있다(The Korean Society of Plant Pathology, 2009). 우리나라와 유사한 재배환경에 대부분 같은 품종을 재배하고 있는 일본의 경우에는 곰팡이에 의한 병해가 무려 25가지나 기록되어 있다(The Phytopathological

Society of Japan, 2000). 이는 우리나라 자두나무 재배에서 발병이 적은 것이라기보다는 병해에 대한 조사연구가 부족한 탓으로 여겨진다. 이에 저자들은 2011년에 전국적으로 자두나무 병해조사를 실시하였으며, 아직 우리나라에서 기록되지 않은 흰가루병을 발견하였으므로 이에 대한 발생상황과 병원균의 동정결과를 보고하고자 한다.

발생상황 및 표본보존. 2011년 조사에서 자두나무 흰가루병은 상업적 재배지(과수원)에서는 관찰되지 않았다. 즉, 2011년 5월부터 9월까지 경상북도 김천시, 경산시, 군위군, 의성군, 충청북도 영동군 등 자두나무 주산지 5개 지역 13곳의 과수원을 총 6회 현장 방문하여 조사하였으나 어느 과수원에서도 흰가루병의 발생은 확인할 수 없었다. 그러나 정원의 관상용이나 소규모 가족소비용으로 집 주변에 식재된 자두나무에서는 흰가루병의 발생을 총 5회 확인하였다. 채집시료 중 일부는 흰가루병균의 동정(형태적 관찰 및 분자적 분석)에 사용하였고, 일부는 고려대학교 식물표본보관소(KUS)에 영구보존하였다. KUS에 소장된 표본의 내역은 다음과 같다. KUS-F26127(무성

*Corresponding author

Phone) +82-2-3290-3063, Fax) +82-2-921-1715

Email) hdshin@korea.ac.kr

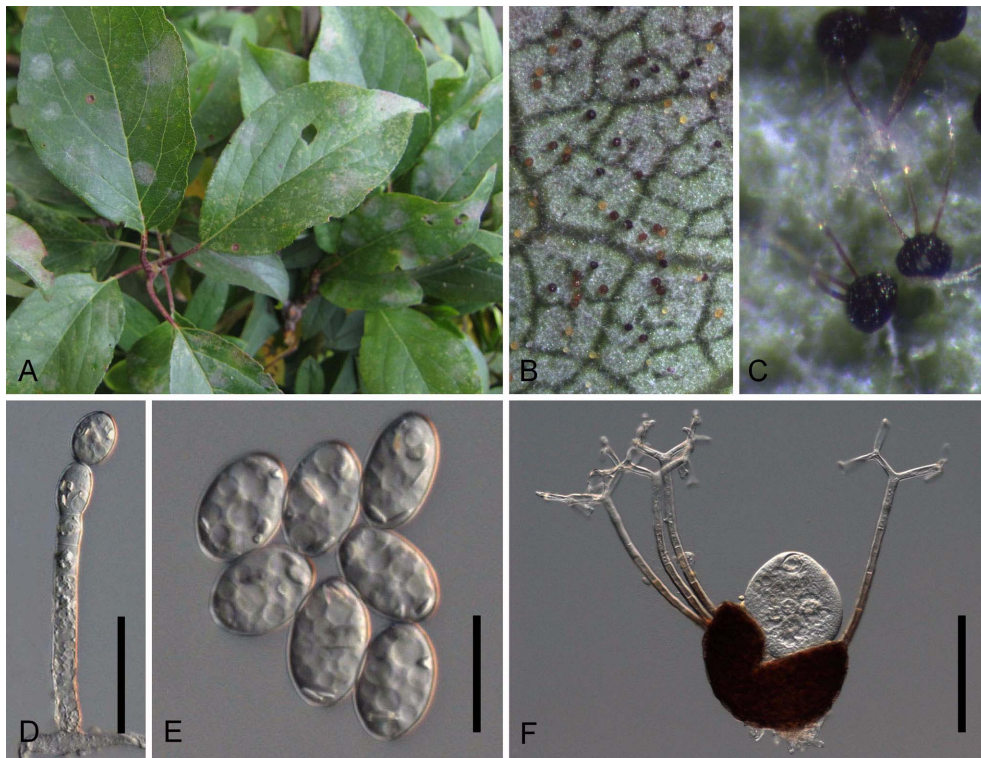


Fig. 1. Powdery mildew of *Prunus salicina* associated with *Podosphaera tridactyla*. (A) Symptoms on leaves. (B–C) Chasmothecia scattered on the abaxial leaf surface. (D) Conidiophore. (E) Conidia. (F) Chasmothecium containing an ascus. Scale bars: D = 50 μm , E = 25 μm , F = 100 μm .

세대, 15 Sep. 2011, 양구군 양구읍 상리), KUS-F26292 (무성세대+유성세대, 10 Oct. 2011, 황성군 서원면 유현리), KUS-F26321(무성세대, 15 Oct. 2011, 가평군 청평면 상천리), KUS-F26329(유성세대, 16 Oct. 2011, 홍천군 북방면 북방리), KUS-F26343(무성세대+유성세대, 17 Oct. 2011, 황성군 서원면 유현리)로 총 5점이다.

병징. 자두나무 흰가루병은 대부분 잎 뒷면에 발생하였고 잎 앞면에도 약하게 발생하였다. 발병 초기에는 흰가루병균의 균사가 잎 양면에 얇게 퍼져 맨눈으로 관찰하기 어려웠다. 병이 진전되면 잎 뒷면에서는 병반이 적자색으로 변색되면서 흰 균사가 퍼지므로 쉽게 눈에 띄었으며, 이에 상응하는 잎 앞면도 흰 균체가 뚜렷하게 형성되며 적자색으로 변색되었다(Fig. 1A). 어린잎에 발생하거나 성숙된 잎이라도 병세가 심하면 잎의 생장에 불균형이 초래되어 잎이 부분적으로 뒤틀렸다. 이 병원균의 유성세대는 10월 초부터 형성되기 시작하였는데, 주로 잎 뒷면에서 관찰되었으나 때로는 발병이 심한 줄기의 표면에서도 관찰되었다(Fig. 1B, C). 이러한 병징은 대부분 그늘진 곳에서 자라는 자두나무에서 관찰되었으며, 병세는 약한 편이었으며, 조기낙엽이나 수세약화는 관찰되지 않았으므로 자두나무의 생장에 영향을 줄 정도는 아니었다

고 판단된다.

형태적 특징. 자두나무 흰가루병균의 분류학적 특성을 파악하고 크기를 측정하기 위해서 명시아광현미경(BX51, Olympus, Tokyo, Japan)을 사용하였고, 현미경사진은 미분간섭현미경(Axio Imager, Carl Zeiss, Göttingen, Germany)을 이용하여 촬영하였다. 무성세대와 유성세대의 검경에서 모두 신선시료를 사용하였다.

균사는 기주식물의 표면에 존재하며, 대부분 과상이며, 때로는 결절을 형성하였다. 균사 부착기는 발달이 미약하며, 유두상이며, 단생하였다. 분생포자경은 표생균사의 윗부분으로부터 발달하며, 115–175 \times 7.5–10 μm 이며, 3–6(–8)개의 세포로 구성되며, 분생포자를 단생하였다(Fig. 1D). 분생포자경의 기부세포(foot-cell)는 아래쪽이 곧고, 길이는 37.5–70 μm 였다. 1차 분생포자는 정부가 등근형이고 기부가 몽툰한 절단형이며, 다른 특성은 2차 분생포자에 준하였다. 2차 분생포자는 무색의 단세포이며, 뚜렷한 피브로신체(fibrosin body)를 가지며, 타원형 내지 달걀형이며, 크기는 25–37.5 \times 10–13.8 μm 이며, 대부분 배꼽테두리(perihilar position) 바로 옆에서 발아하였다(Fig. 1E).

자낭구는 주로 잎 뒷면에 흩어져 형성되며, 직경은 80–90 μm 이며, 벽세포는 직경 10–20 μm 정도의 불규칙한

Table 1. Comparison of morphological characteristics of *Podosphaera tridactyla* on *Prunus* species

Characteristics	Present isolate	Homma (1937)	Mukerji (1968)	Braun (1987)	Zheng and Yu (1987)
Conidiophores					
length×width (µm)	115-175×7.5-10	—*	—	60-160×7-11	—
foot-cells (µm)	37.5-70	—	—	—	—
Conidia					
length×width (µm)	25-37.5×10-13.8	16.8-32.4×10.8-16	—	20-32×13-18	—
shape	ellipsoid to oval	subglobose or ellipsoidal	—	ellipsoid (to barrel-shaped)	—
fibrosin body	present	present	present	present	—
Chasmothecia					
diameter (µm)	80-90	84-98	70-110	(60-)/70-105(-120)	60-95
wall-cells (µm)	10-20	13.2-15.6	15	6-25	5-26.9
no. asci	1	1	1	1	1
Chasmothecial appendages					
no. per chasmothecium	2-5	2-5	2-8	1-8, mostly 2-6	2-6(-7)
shape of apical part	4-6 times dichotomously branched	4-6 times dichotomously branched	3-6 times dichotomously branched	(1-)/3-5(-6) times regularly branched	1-6 times branched
no. septa	3-4	aseptate or 1-3	—	0-4(-6)	—
length (µm)	100-250	154-175	1-8 times as long as the chasmothecial diam.	1-6 times as long as the chasmothecial diam.	(75-)/100-340(-400)
width (µm)	7.5-9	—	—	7-13	5-10(-12.5)
Asci					
length×width (µm)	62.5-70×60-65	60-70.8×53.6-57.6	60-80×60-70	50-90×(40-)/50-80	50-85(-95)×37.5-80
no. ascospores	8	8	8	(6-)/8	8
Ascospores					
length×width (µm)	25-30×12-15	19.2-26.4×12-14.4	22-45×14-20	16-30×9-20	16.3-32.5×12.5-20
shape	ellipsoid to oval	ellipsoidal or elongate-ellipsoidal	ovate to ellipsoidal	ellipsoid-ovoid to subglobose	ellipsoid to oval
Host plant					
	<i>Prunus salicina</i>	<i>Prunus</i> spp.	<i>Prunus</i> spp.	<i>Prunus</i> spp.	<i>Prunus</i> spp.

*Not described

세포로 구성되며, 1개의 자낭을 가졌다(Fig. 1F). 자낭구 부속사는 2-5개이며 자낭구의 위쪽에 분포하며, 길이는 100-250 μm 이고 폭은 7.5-9 μm 이며, 3-4개의 격벽이 있고, 끝은 4-6번 이차분지되어 있으며, 아래쪽은 갈색을 띠지만 위쪽으로 갈수록 무색이었다. 자낭은 근원형으로서 아랫부분에 꼭지를 갖지 않으며(sessile), 크기는 62.5-70 \times 60-65 μm 이며, 윗부분의 terminal oculus의 폭은 12.5-20 μm 이며, 8개의 자낭포자를 지녔다. 자낭포자는 타원형 내지 달걀형이며, 크기는 25-30 \times 12-15 μm 이며, 무색이었다. 이러한 균학적 특징은 앞선 연구(Homma, 1937; Mukerji, 1968; Braun, 1987; Zheng과 Yu, 1987)에서 보고된 *Podosphaera tridactyla* (Wallr.) de Bary와 일치하였다(Table 1).

염기서열 분석. KUS에 보존되어 있는 자두나무 흰가루병균 *P. tridactyla* 시료 중에서 2점의 시료 KUS-F26292와 F26343을 선택하여 rDNA의 complete internal transcribed spacer(ITS) 영역의 염기서열을 분석하였다. Takamatsu 등(2009)의 방법에 따라 시료에서 채취한 자낭구로부터 rDNA를 추출하였고, ITS5(White 등, 1990)와 P3(Kusaba와 Tsuge, 1995) 프라이머를 사용하여 PCR로 증폭시켰다. 증폭된 PCR 산물을 전기영동을 통하여 확인한 후에 LaboPass™ PCR kit(Cosmo Genetech, Seoul, Korea)로 정제하였고, 이 염기서열은 DNASTAR computer package 5.05(Lasergene, Madison, WI, USA)를 이용하여 정리하였다. 이들 시료에서 얻은 염기서열은 서로 완전히 일치하였으며, 이들을 NCBI(National Center for Biotechnology Information)의 GenBank에 등록하였다(기탁번호 JQ517295,

JQ517296). GenBank BLAST를 이용하여 complete ITS 영역의 염기서열을 비교한 결과, 이들의 염기서열이 GenBank에 등록되어 있는 *P. tridactyla*(AY833659)와 98% 이상의 상동성을 보였다. 계통수는 MEGA4 프로그램(Tamura 등, 2007)을 이용하여 neighbor-joining 방법으로 작성하였다(Fig. 2). Cunnington 등(2005)에 따르면, *P. tridactyla* 간 ITS 영역의 염기서열은 상당한 변이가 있으며 이것은 다른 *Podosphaera* 종들과 공통의 조상에서 유래하였으나 진화과정에서 나누어진 측계통군(paraphyletic group)이라고 해석된다. 따라서 장미과(Rosaceae)에서 *Prunus* 속의 식물을 기주로 삼은 *Podosphaera* 종을 편의적으로 *P. tridactyla*로 취급하며, 우리나라 자두나무 흰가루병균도 이 개념에 부합하였다.

고찰. 전 세계적으로 자두나무에서 기록된 흰가루병균은 *Oidium passerinii*, *Oidium* sp., *Podosphaera clandestina* (= *Podosphaera oxyacanthae*), *Podosphaera tridactyla* (= *Podosphaera oxyacanthae* var. *tridactyla*), *Podosphaera tridactyla* var. *tridactyla*, *Podosphaera pannosa* (= *Sphaerotheca pannosa*)가 있다(Farr와 Rossman, 2012). 이 중 *Oidium passerinii*는 *P. tridactyla*의 무성세대에 해당되며, *P. clandestina* 및 *P. oxyacanthae*는 과거에 넓은 종 개념으로 사용되면서 장미과(Rosaceae) 식물의 흰가루병균으로 널리 사용되었었다(Braun, 1987; Shin, 2000). 따라서 자두나무에서 기록된 흰가루병균은 현재의 개념으로는 두 종(*P. tridactyla* 및 *P. pannosa*)이 있는 셈이다. *P. tridactyla*는 호주, 중국, 일본, 스페인, 대만, 러시아에서 기록되어 있으며, *P. pannosa*는 미국에서만 기록되어

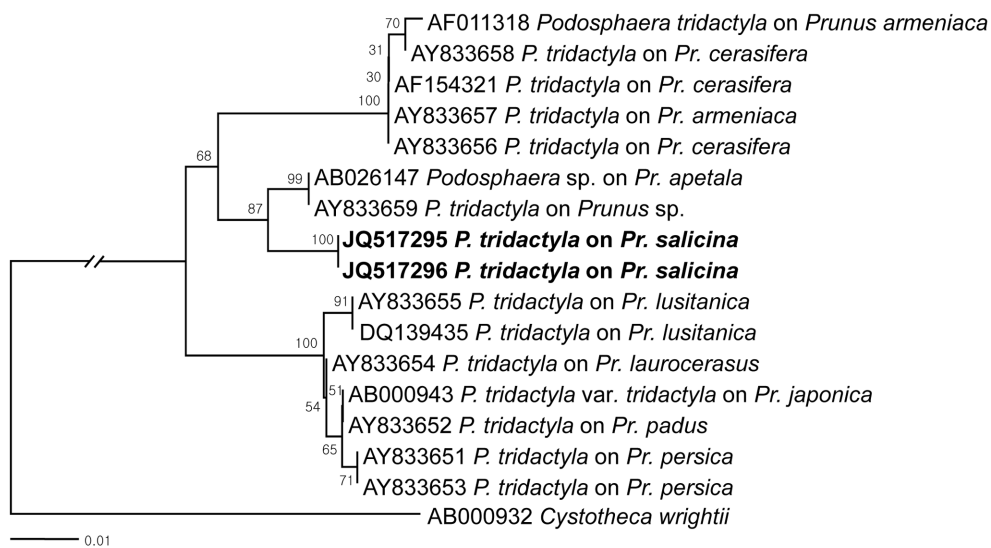


Fig. 2. Phylogenetic relationship between *Podosphaera tridactyla* isolates and some reference isolates retrieved from GenBank, inferred by neighbor-joining method using the ITS rDNA region. Bootstrap values based on 1000 replications are indicated above the branches and the scale bar represents 0.01 nucleotide substitutions per site.

있다(Farr와 Rossman, 2012). 본 연구에서도 한국에서 채집된 5개의 시료는 모두 *P. tridactyla*로 동정되었다.

본 연구를 통하여 한국에도 자두나무에 *P. tridactyla*에 의한 흰가루병이 발생한다고 확인되었으나, 상업용 과수원에 식재된 자두나무에서는 발병이 확인되지 않았다. 가족소비용이나 관상용으로 식재된 자두나무에는 살충제를 살포한 사례가 있었으나 살균제를 살포한 경우는 없었는데, 이것이 흰가루병의 발생과 무관하다고 보이지는 않는다. 실제 상업용 과수원에서는 통상 1년에 3-4회의 살균제가 살포되는데(Korea Crop Protection Association, 2011), 이러한 방제약제가 흰가루병의 발생을 억제하고 있다고 판단된다. 한편, 한국에서 *P. tridactyla*에 의한 흰가루병의 기주식물로는 매실나무, 복사나무(복숭아나무), 살구나무, 옥매, 개벗나무, 귀룽나무, 벗나무, 서울귀룽나무, 왕벗나무, 이스라지, 앵두나무가 기록되어 있다(Shin, 2000; The Korean Society of Plant Pathology, 2009). 이들이 다른 기주식물의 흰가루병균들에 의해 서로 전염되는지 등 추가적인 연구가 필요하다고 생각되며, 앞으로 자두나무 과수원에서의 발병을 지속적으로 관찰하는 모니터링 시스템이 필요하다고 판단된다.

요 약

2011년에 양구, 홍천, 횡성, 가평 등 중부지방에서 가족소비용 또는 관상용으로 식재된 자두나무에 흰가루병이 발생하였다. 상당한 조사에도 불구하고 우리나라 자두나무 과수원에서는 흰가루병이 발견되지 않았다. 초기 병징은 잎과 어린 줄기에 균사층이 흰색으로 얇고 불규칙하게 나타났다. 나중에는 잎이 부분적으로 기형으로 뒤틀렸고 적자색으로 변색되었다. 무성세대 및 유성세대의 형태적 검경과 함께 ITS 영역의 염기서열 분석을 통하여 이 병원균을 *Podosphaera tridactyla*로 동정하였다. 이는 우리나라에서 자두나무 흰가루병을 처음으로 보고하는 것이다.

References

Braun, U. 1987. A monograph of the *Erysiphales* (powdery mildews). *Beih. Nova Hedw.* 89: 1-700.
 Cunnington, J. H., Lawrie, A. C. and Pascoe, I. G. 2005. Genetic

variation within *Podosphaera tridactyla* reveals a paraphyletic species complex within biological specialization towards specific *Prunus* subgenera. *Mycol. Res.* 109: 357-362.
 Farr, D. F. and Rossman, A. Y. 2012. Fungal Databases, Systematic Mycology & Microbiology Laboratory, ARS, USDA. Retrieved Jan. 26, 2012, from <http://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>
 Homma, Y. 1937. Erysiphaceae of Japan. *J. Fac. Agric. Hokkaido Imp. Univ.* 38: 183-461. (In Japanese)
 Korea Crop Protection Association. 2011. Agrochemicals Use Guide Book. 1312 pp.
 Kusaba, M. and Tsuge, T. 1995. Phylogeny of *Alternaria* fungi known to produce host-specific toxins on the basis of variation in internal transcribed spacers of ribosomal DNA. *Current Genetics* 28: 491-498.
 Mukerji, K. G. 1968. *Podosphaera tridactyla*. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria No. 187. Commonwealth Agricultural Bureaux.
 Okie, W. R. and Ramming, D. W. 1999. Plum breeding worldwide. *HortTechnology* 9: 162-176.
 Shin, H. D. 2000. Erysiphaceae of Korea. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea. 320 pp.
 Statistics Korea. 2010. Census of Agriculture, Forestry and Fisheries.
 Takamatsu, S., Heluta, V., Havrylenko, M. and Divarangkoon, R. 2009. Four powdery mildew species with catenate conidia infect *Galium*: molecular and morphological evidence. *Mycol. Res.* 113: 117-129.
 Tamura, K., Dudley, J., Nei, M. and Kumar, S. 2007. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. *Mol. Biol. Evol.* 24: 1596-1599.
 The Korean Society of Plant Pathology. 2009. List of Plant Diseases in Korea. 5th ed., Suwon, Korea. 853 pp.
 The Phytopathological Society of Japan. 2000. Common Names of Plant Diseases in Japan. Japan Plant Protection Association, Tokyo, Japan. 856 pp. (In Japanese)
 White, T. J., Bruns, T., Lee, S. B. and Taylor, J. W. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: PCR Protocols: a Guide to Methods and Applications, ed. by M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White, pp. 315-322. Academic Press, San Diego, CA, USA.
 Zheng, R. Y. and Yu, Y. N. (eds). 1987. Flora Fungorum Sinicorum. Vol. 1, Erysiphales. Science Press, Beijing, China. 552 pp. (In Chinese)