

REVIEW

한국에서 채집된 가지 흰가루병균의 실체

조성은¹, 최인영², 신현동^{1*}¹고려대학교 환경생태공학부, ²전라북도농업기술원 기후변화대응과

The Identity of Eggplant Powdery Mildews Collected in Korea

Sung-Eun Cho¹, In-Young Choi², Hyeon-Dong Shin^{1*}¹Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea²Division of Climate Change Response, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea

*Corresponding author: hdshin@korea.ac.kr

Abstract

Three species of powdery mildew (Erysiphales) on eggplant (*Solanum melongena* L.) have been listed in Korea, namely *Erysiphe cichoracearum* (now genus *Golovinomyces*), *Leveillula taurica*, and *Sphaerotheca fusca* (now genus *Podosphaera*; syn. *Podosphaera xanthii*). Since *E. cichoracearum* was recorded on eggplant for the first time in Korea in 1969, it has been regarded as a major powdery mildew agent on that plant. In 1998, the causal agent of powdery mildew on eggplant was recorded as *L. taurica*, then as *S. fusca* in 2002. During our extensive field surveys in Korea, we collected 22 samples of eggplant powdery mildews. Our microscopic observations and molecular sequence analyses showed that all of our samples belonged to the genus *Podosphaera*, in the absence of either *E. cichoracearum* or *L. taurica*, suggesting that *P. xanthii* is the dominant agent of powdery mildew disease on eggplants in Korea. As there have been no additional findings on *L. taurica* after the first report on the species, it seems to be a minor species that is rarely found in greenhouses. The presence of *E. cichoracearum* (syn. *Golovinomyces cichoracearum* s. lat.) on eggplants is questionable, as the morphological characteristics of *E. cichoracearum* in the original description of the Korean collection deviate from the morphological variations of this species. In addition, no herbarium material of *E. cichoracearum* remains. Consequently, it seems that *P. xanthii* is the main species of powdery mildew on eggplants, whereas *L. taurica* occurs rarely on eggplants, in Korea. This review provides the historical and recent taxonomy of eggplant powdery mildews in detail.

Keywords: Anamorph, Erysiphaceae, ITS, Phylogenetic tree, Solanaceae

서론

지금까지 가지(*Solanum melongena* L.)에서 기록된 흰가루병균은 전 세계적으로 여러 종

OPEN ACCESS

Kor. J. Mycol. 2017 June, 45(2): 91-101
<https://doi.org/10.4489/KJM.20170011>

pISSN : 0253-651X
 eISSN : 2383-5249

Received: 21 April, 2017

Revised: 16 May, 2017

Accepted: 20 May, 2017

© The Korean Society of Mycology



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.

이 보고되어 왔다[1]. 그러나, 대부분의 기록이 제한된 재배 지역에서 동정한 가지 흰가루병균의 단보이며, 지리적으로 어떤 흰가루병균이 가지의 주요 병원체인지에 관한 연구는 미비한 상태이다. 이러한 상황은 우리나라뿐만 아니라 다른 나라에서도 비슷한 실정이다. 따라서 한국에서 가지에 발생하는 주요 흰가루병균의 실체에 대한 질문이 계속되어 왔다. 즉, 한국에서 식물병의 기록에 대한 기준으로 삼고 있는 한국식물병명목록[2]에서는 가지의 흰가루병균으로 3종이 기록되어 있고, 여러 논문이나 자료에 따라 서로 다른 학명으로 표기되기도 하며, 외국의 자료와 한국의 자료에서 서로 다른 점이 있는 등 상황이 복잡하고 혼란이 있음을 부인할 수 없다. 따라서 필자들은 세계적으로 가지에서 보고된 흰가루병균에 대하여 정리하였고, 우리나라의 가지 흰가루병균에 대한 과거의 기록을 살펴보고, 최근에 필자들이 직접 채집한 신선한 시료를 바탕으로 가지 흰가루병균에 대한 정확한 정보를 제공하고자 한다.

세계의 가지 흰가루병균에 대한 분류학적 고찰

미국농무성의 데이터베이스[1]에는 가지에 발생하는 흰가루병균이 무려 20개의 학명으로 나열되어 있으며, 각 학명에는 지금까지 기록된 국가명과 근거 문헌이 표시되어 있다. 하지만 이러한 데이터베이스를 정확하게 이해하기가 쉽지 않으며 전문가의 도움이 필요하다. 특히, 흰가루병균류의 분류체계는 최근에 많이 바뀌었기 때문에 많은 동물이명(synonym)이 생겼으며, 종 개념에 관하여도 학자들 사이에 이견이 큰 편이다. 더구나 형태적 동정의 어려움이나 연구자의 무관심으로 인해 과거의 기록에는 많은 오류도 있었다. 그러나, 데이터베이스의 특성상 이러한 오류도 기록으로 남아 있으며, 이를 삭제하지 않는 것이 분류학의 본질이다. 따라서 곰팡이 분류학을 전공하지 않았거나 이 분야에 조예가 깊지 않은 식물병리학자들과 관련 학자들은 이러한 데이터베이스를 정확하게 이해하여 옳고 그름을 구분하기가 쉽지 않은 실정이다.

전 세계적으로 가지에 기록된 흰가루병균의 학명은 20개이지만, 분류학적 입장에서는 다음과 같이 4종으로 정리될 수 있다.

- (1) ***Euoidium longipes* (Noordel. & Loer.) U. Braun & R.T.A. Cook:** *Oidium longipes*라고도 하며, 네덜란드와 스위스에서 가지 흰가루병균으로 기록되어 있다[3].
- (2) ***Golovinomyces orontii* (Castagne) Heluta:** *Erysiphe cichoracearum*, *Erysiphe orontii*, *Erysiphe polyphaga*로 기록된 가지 흰가루병균이 있다. *E. cichoracearum*의 일부분과 *E. polyphaga*의 일부가 *E. orontii*에 통합되었는데[3], 가지에서 기록된 흰가루병균도 여기에 포함된다. 현재 분류체계에 따라 *E. orontii*는 *G. orontii*로 취급하며, 지금까지 그리스, 이탈리아, 이스라엘, 사우디아라비아, 이라크, 터키, 레바논, 인도, 대만, 일본, 한국, 남아프리카공화국에서 가지 흰가루병균으로 기록되어 있다[1].
- (3) ***Leveillula taurica* (Lév.) G. Arnaud:** 가지에서 채집된 *Leveillula* (무성세대 = *Oidiopsis*) 흰가루병균은 여러 이름으로 기록되어 있다. 즉, *Leveillula solanacearum*, *L. solanacearum* f. *melongenae*, *L. taurica*, *Oidiopsis sicula*, *Oid. solani*, *Oid. taurica*, *Oid. taurica* f. sp. *rosacearum*, *Oid. taurica* f. sp. *solanacearum*으로 기록되어 있는데, 현재 널리 사용되는 분류체계[3]로는 모두 *L. taurica*에 포함된다. 지중해를 둘러싼 전 지역(스페인, 프랑

스, 그리스, 불가리아, 이탈리아, 터키, 레바논, 이집트, 리비아, 모로코 등)과 아프리카(에티오피아, 우간다, 남아프리카공화국 등 거의 전 지역), 서남아시아(인도, 파키스탄, 이란, 예멘 등), 동아시아(일본, 한국 등)에서 가지 흰가루병균으로 기록되어 있다[1]. 브라질의 식물병명목록[4]에 기록된 것을 제외하고는 북미와 남미에서는 기록되지 않았다는 점도 주목할 만하다. 또한, 습도가 높은 지중해 연안지역에서는 노지재배의 가지에서도 이 병원균의 발생이 많고 피해가 큰 것으로 보고되었다[5].

- (4) *Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun & Shishkoff: 일본[6], 대만[7], 인도[8]에서 *S. fuliginea*, 한국[9]에서 *S. fusca*, 그리고 중국[10, 11]에서 *Podosphaera xanthii*가 각각 가지 흰가루병균으로 기록되어 있다. Braun과 Takamatsu [12]에 의해 *Sphaerotheca*속이 *Podosphaera*속으로 합병되면서 데이터베이스에는 각각 *P. fuliginea* 및 *P. fusca*로 표기되기도 한다. 현재 거의 대부분의 학자들이 지지하는 흰가루병균의 분류체계[3]에 따르면, 위에서 언급된 *Podosphaera*속의 학명은 모두 *P. xanthii*에 포함된다. 그러나 인도 [8]에서 *S. fuliginea*의 기록은 목록으로만 존재하므로 학술적 증거가 부족하다. 따라서 인도를 제외하면, 가지에 흰가루병을 일으키는 *Podosphaera*는 동아시아에서만 기록됨을 알 수 있다.

한편, 일본식물병명목록[13]에 따르면, Homma [14]가 가지 흰가루병균으로 *Erysiphe cichoracearum*을 기록하였지만 재검토가 필요하다. 재검토라는 표현을 사용하였지만, 실질적으로는 이 흰가루병균의 기록은 잘못된 것이며 일본에서 이 흰가루병균이 가지에서 발견된 바 없음을 천명하는 것이다. 일본의 흰가루병균을 종합적으로 정리한 Nomura [15]에 따르면, 가지 흰가루병균의 표본은 Nomura가 채집한 1점(YNMH1082)이 유일하며 *Podosphaera*의 무성세대에 해당된다. 결론적으로, 일본에서 가지 흰가루병균으로 기록되었던 *E. cichoracearum*은 증거가 부족할 뿐만 아니라 현재까지 재확인되지도 않았으므로 실제적으로는 기록이 잘못되었다고 할 수 있다. 또한, 대만에서도 가지 흰가루병균으로서 *E. cichoracearum*이 ‘대만농가편람(臺灣農家便覽, 1944)’이란 자료[16]에서 거론된 적은 있으나 학술적으로는 기록되지 않았다[17]. 인도에서도 가지 흰가루병균의 목록 중 하나로 *E. cichoracearum*이 기록되어 있으나 학술적 근거는 없다.

한국의 가지 흰가루병균에 대한 분류학적 고찰

일제강점기에 일본 학자들이 우리나라 농작물의 병해를 종합적으로 조사하고 정리한 ‘조선작물병해목록’에는 가지에 발생하는 5가지 곰팡이 병해가 기록되었으나 흰가루병에 대한 기록은 없었다[18]. 이후 박종성에 의해 발표된 일련의 조사 논문[19, 20, 21]에서는 가지에 발생하는 12가지의 곰팡이 병해가 기록되었는데, 역시 흰가루병은 없었다. 또한, 신현동에 의해 종합 정리된 한국의 흰가루병균 종속지[22]에서도 채집시료는 단 1점이었다.

지금까지 한국에서 가지 흰가루병균에 관련된 기록을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, Lee와 Lee [23]는 가지 흰가루병을 한국에서 처음 기록하면서 흰가루병균을 *Erysiphe cichoracearum* (syn. *G. cichoracearum*)으로 동정하였다. 그들이 제시한 기록을 보면, 자낭구의 직경이 38.9~82.4 μm 로 *E. cichoracearum*의 일반적인 측정치(100~130 μm [22];

80~140 μm [3])를 크게 벗어난다. 자낭은 $19.2\sim 22.3 \times 8.1\sim 10.9 \mu\text{m}$, 자낭포자는 $6.4\sim 10.8 \times 5.1\sim 7.7 \mu\text{m}$ 로 기록하였는데, 이는 *E. cichoracearum*의 일반적인 자낭 측정치($60\sim 86 \times 34\sim 47 \mu\text{m}$ [22]; $45\sim 75 \times 25\sim 40 \mu\text{m}$ [3])와 너무나 차이가 크며 지금까지 알려진 어떤 흰가루병균의 측정치와도 부합되지 않는다. 그 외에도 자낭 당 자낭포자의 수를 2~5개라고 하였는데, *E. cichoracearum*은 대부분 2개이며 매우 드물게 3개가 존재하는 경우가 있다. 따라서 이들의 기록은 *E. cichoracearum*의 형태적 특징과 크게 다르며, 어떤 다른 흰가루병균으로도 추정할 수 없다. 게다가 표본의 기탁 및 보존도 이루어지지 않았으며, 이들의 기록 이후에 국내외의 어떤 연구자도 가지에서 이러한 흰가루병균을 기록하지 않았다.

둘째, Cho 등[24]은 한국에서 발생하는 가지 흰가루병의 병징, 병원균, 그리고 발병에 대하여 기록하였다. 병징에 대한 기록 중에 ‘늦가을에 감염된 잎에서는 흑색의 소립점(자낭각)이 형성되는 것을 볼 수 있다’고 했으며, *E. cichoracearum*으로 동정된 병원균에 대한 기록 중에 ‘자낭각은 구형으로 그 직경은 50~140 μm 이며, 자낭각 주변에 수 개의 부속사를 가지고 있다’고 했다. 하지만, 이를 뒷받침할 표본 증거가 남아있지 않고 사진 자료도 제시되어 있지 않았으므로 진실성 여부는 알 수 없다. 또한, 이들이 제시한 현미경 사진은 가지 흰가루병균의 무성세대인데, 성숙한 분생포자는 물론 분생포자경의 미성숙 분생포자에도 피브로신체의 존재가 뚜렷하며 연쇄상의 미성숙 분생포자가 만든 외선이 곡상(crenate)이므로 이 흰가루병균은 *Erysiphe*가 아니라 *Sphaerotheca* (현재의 분류체계로는 *Podosphaera*)에 속한다. 이처럼 이들의 기록은 앞뒤가 맞지 않는 것이지만, 그 당시의 가지 흰가루병균은 현재 필자들이 가지 흰가루병균으로 규정한 *Podosphaera xanthii*와 동일한 것으로 생각된다. 지리적으로 한국과 가까운 일본에서도 가지 흰가루병균으로 *S. fuliginea*의 무성세대만 기록되어 있다[13, 15]. 또한 중국에서도 무성세대만 발견되므로 *Oidium* sp.라고 기록하였고[3], 2014년과 2015년에는 형태적 특징 및 분자분석을 통하여 *Podosphaera xanthii*의 무성세대를 기록하였다[10, 11]. 이와 같이 한국에서 가지 흰가루병균의 유성세대 기록은 매우 흥미롭지만 일본과 중국의 기록처럼 무성세대만 존재할 가능성이 크다고 판단된다.

셋째, Shin [22]은 한국의 흰가루병균을 종합 정리하면서 가지 흰가루병균 시료 KUS-F14314 (남양주시, 1997-09-30, 신현동 채집)를 *Golovinomyces cichoracearum*의 목록에 포함시켰다. 본 연구를 진행하는 동안, 필자들은 Lactofuchsin법[22]을 이용하여 건조표본에서 흰가루병균을 검정하였다. 그 결과, 분생포자경의 외선이 곡상(crenate)이며 기부세포의 밑부분이 다소 부풀(bulbose) 모양을 가지므로 형태적으로 *P. xanthii*의 특징과 일치하였다. 따라서 Shin [22]의 기록은 오류이며, 이 논문을 통하여 정정한다.

이상과 같은 기록들을 근거로, 한국식물병명목록[2]에는 가지에서 기록된 흰가루병균으로 3종이 나열되어 있다. 그 중 *Golovinomyces cichoracearum*이 가장 먼저 기록되어 있고 근거 문헌도 4개가 제시되어 있다. 또한, *L. taurica*는 Kwon 등[25]의 문헌만, *S. fusca*는 Lee 등[9]의 문헌만 각각 제시되어 있다. 따라서 한국에서 가지 흰가루병은 대부분 *G. cichoracearum*에 의해 발생하며, *L. taurica* 및 *S. fusca*는 드물게 발생하는 것처럼 오인되고 있다. 따라서 한국식물병명목록을 근거로 작성되는 각종 문서와 논문에서는 ‘가지 흰가루병균 = *Golovinomyces cichoracearum*’으로 잘못 기록되고 있다. 따라서 이 총설에서 한국의 가지 흰가루병균을 형태적 자료와 internal transcribed spacer (ITS) rDNA 염기서열 분석을 근거로 정확하게 동정하고자 한다.

한국의 가지 흰가루병균 채집 및 재동정

채집 시료

1990년부터 2010년까지 한국에서 채집되어 고려대학교 진균표본실(KUS-F)에 보존된 가지 흰가루병균 시료는 총 10점이었는데, 2013년에 이 시료들을 Lactofuchsin법[22]으로 검정하였다. 그 결과, 이들 시료는 모두 *Podosphaera*속의 무성세대였으며, 형태적으로는 *P. xanthii*와 같다고 결정할 수 있었다. 따라서 필자들은 2014년 9월부터 11월까지 전국에서 12점의 가지 흰가루병균 시료를 추가적으로 채집한 후, 형태적 특징을 검정하고 이 중에서 5점의 시료는 ITS 영역의 염기서열을 분석하였다. 다음은 소장된 시료의 내역이다.

KUS-F10683 (7 Nov 1990, 강릉시 지변동), F14314 (30 Sep 1997, 남양주시 와부읍), F17985 (29 Oct 2000, 진주시 가좌동), F19179 (9 Oct 2002, 남양주시 와부읍), F19745 (30 Sep 2003, 남양주시 와부읍), F20741 (30 Sep 2004, 남양주시 와부읍), F21567 (25 Oct 2005, 춘천시 동산면), F25158 (13 Aug 2010 남양주시 와부읍), F25272 (12 Sep 2010, 횡성군 횡성읍), F25568 (25 Oct 2010, 횡성군 서원면), F28190 (20 Sep 2014, 익산시 신흥동), F28193 (22 Sep 2014, 진주시 대곡면), F28234 (25 Sep 2014, 홍천군 동면), F28269 (29 Sep 2014, 홍천군 홍천읍), F28273 (30 Sep 2014, 수원시 이목동), F28277 (30 Sep 2014, 수원시 서둔동), F28315 (4 Oct 2014, 양평군 양평읍), F28324 (7 Oct 2014, 남양주시 와부읍), F28345 (9 Oct 2014, 밀양시 가곡동), F28385 (13, Oct 2014, 강릉시 지변동), F28394 (19 Oct 2014, 남원시 운봉읍), F28532 (18 Nov 2014, 익산시 신흥동).

형태적 특성 분석

가지 흰가루병은 주로 잎에 발생하였으며, 드물게 줄기와 꽃자루 및 꽃받침에도 발생하였다(Fig. 1A, 1B). 이 균의 유성세대는 형성 흔적조차 발견할 수 없었으며, 채집된 시료는 모두 무성세대였다. 이 균의 분류학적 특징을 파악하고 크기를 측정하기 위해서 명시야광학현미경(BX51; Olympus, Tokyo, Japan)을 사용하였고, 현미경사진은 미분간섭현미경(Axio Imager; Carl Zeiss, Oberkochen, Germany)을 이용하여 촬영하였다. 검경은 모두 신선한 시료를 사용하였으며, 증류수를 검경액으로 사용하여 수행하였다.

균사는 잎 양면에 모두 존재하였으나 대부분 앞면에 분포하였다. 균사는 직선상 내지 파상이며, 때로는 결절을 형성하였다. 균사 부착기는 드물게 형성되며, 유두상이며, 단생하였다. 분생포자경은 표생균사의 윗부분으로부터 발달하며, 크기는 $130\sim 200 \times 10\sim 12.5 \mu\text{m}$ 이며, 기부세포의 길이는 $50\sim 70 \mu\text{m}$ 에 불과하여 비교적 짧은 편이며, 기부세포의 아래쪽은 다소 볼록한 경우도 있었지만 뚜렷하지는 않았고, 기부격벽은 균사의 분지점에 위치하며, 분생포자를 연쇄상(2~7개)으로 형성하였으며, 미성숙 분생포자들이 형성하는 외선은 곡상이었다(Fig. 1C, 1D). 1차 분생포자는 정부가 둥근 모양이고 기부가 뾰족한 도근봉형이며(Fig. 1F), 다른 특성은 2차 분생포자에 준하였다. 분생포자는 무색의 단세포이며, 뚜렷한 피브로신체를 가지며, 타원형 내지 장타원형이며, 크기는 $30\sim 38 \times 15\sim 22 \mu\text{m}$ (장폭비 = 1.5~2.0)이다(Fig. 1E). 대부분 분생포자의 측면에서 발아하였으며, 발아관은 분지하지 않았다(Fig. 1G). 이와 같은 균학적 특징은 *Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun & Shishkoff의 무성세대 기재와 일치하였다[3].

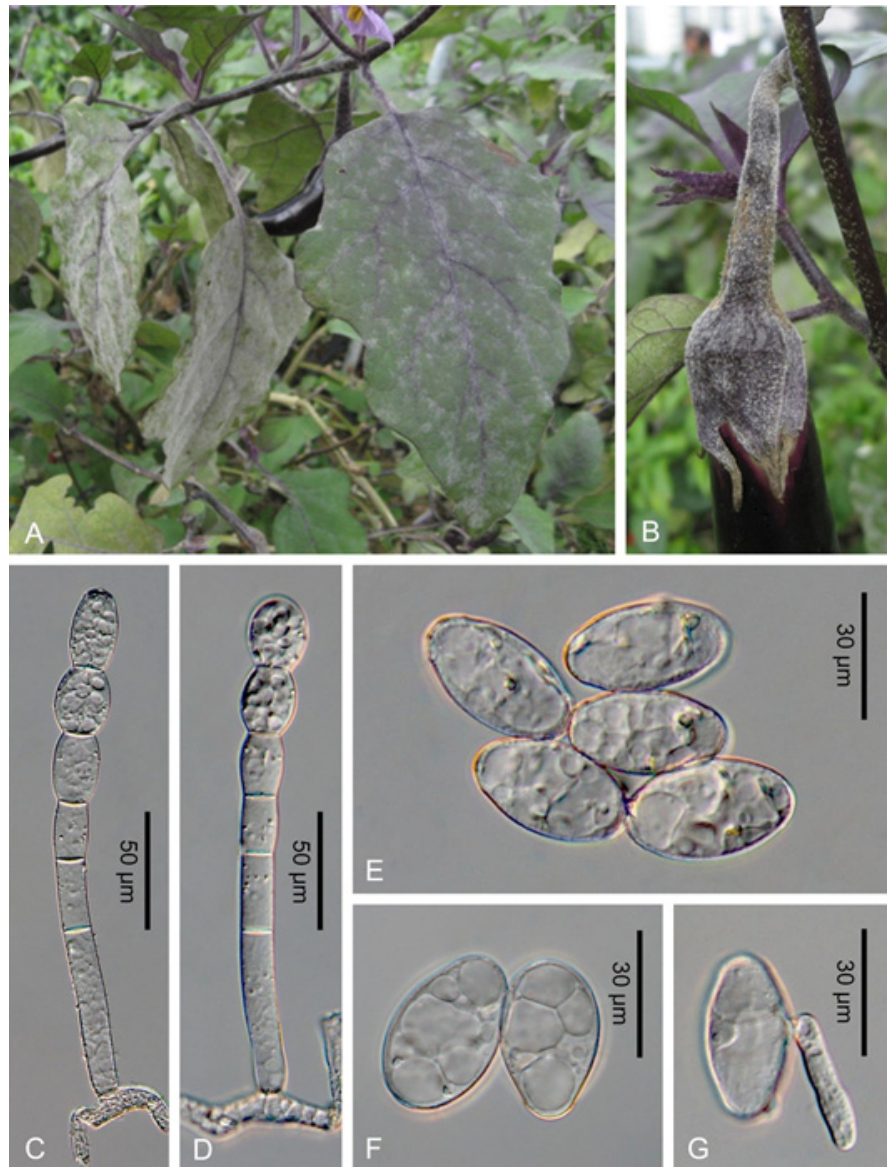


Fig. 1. *Podosphaera xanthii* on eggplant. A, symptoms on leaves; B, symptoms on calyx; C, D, conidiophores; E, conidia; F, primary conidia; G, germinating conidium.

염기서열 분석

고려대학교 진균표본실에 보존되어 있는 가지 흰가루병균 시료 중에서 5점(KUS-F28315, F28324, F28345, F28385, F28532)을 선정하여 ITS 영역의 염기서열을 분석하였다. Takamatsu 등[26]의 방법에 따라 시료에서 채취한 균사로부터 DNA를 추출하였고, ITS5 [27]와 P3 [28] 프라이머를 사용하여 PCR로 증폭시켰다. 증폭된 PCR 산물을 전기영동을 통하여 확인하였으며, 염기서열 분석은 전문업체(Macrogen, Seoul, Korea)에 의뢰하였다. 분석된 염기서열을 DNASTAR computer package 5.05 (DNASTAR, Madison, WI, USA)를 이용하여 정리한 후, NCBI (National Center for Biotechnology Information)의 GenBank에 등록하여 기탁번호를 부여받았다(KY947510~KY947514). NCBI BLAST를 이용하여 ITS

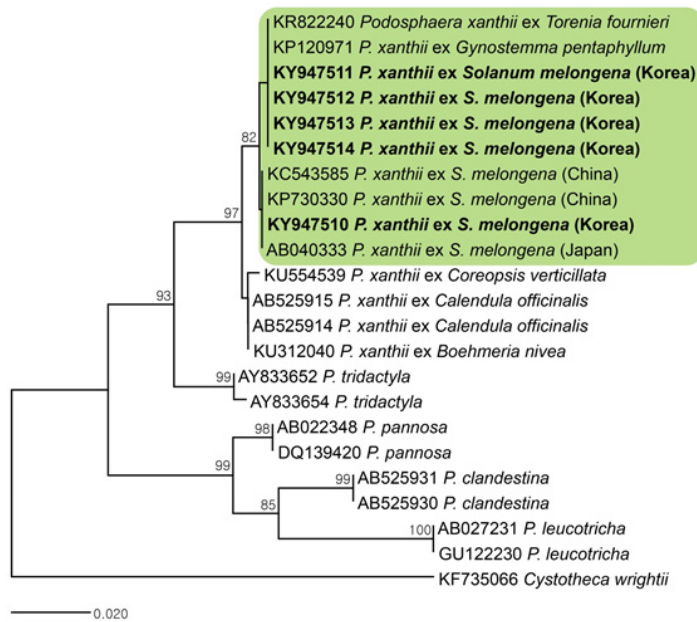


Fig. 2. Phylogenetic relationship between *Podosphaera xanthii* isolates and some reference isolates retrieved from NCBI, inferred by the neighbor-joining method using the ribosomal internal transcribed spacer regions. Bootstrap values ($\geq 70\%$) based on 1,000 replications are indicated above the branches. The scale bar represents 0.02 nucleotide substitutions per site. The Korean isolates are indicated in bold.

영역의 염기서열을 비교한 결과, 한국에서 채집된 5점의 가지 흰가루병균은 모두 *Podosphaera xanthii*와 99% 이상의 상동성을 나타냈다. 또한, 일본과 중국에서 기록된 가지 흰가루병균과도 99% 이상의 상동성을 보였다(AB040333, KC543585, KP730330). 이와 관련된 계통수는 neighbor-joining 분석방법을 사용하여 MEGA7 프로그램[29]에서 작성하였다. 이 계통수를 통하여, 우리나라에서 채집된 가지 흰가루병균인 *P. xanthii*가 기존의 *P. xanthii*와 같은 계통군에 위치함을 확인하였고, 일본과 중국의 가지 흰가루병균인 *P. xanthii*와도 분자계통학적으로 일치함을 확인하였다(Fig. 2). 다만, 현재의 *P. xanthii*는 다양한 기주의 병원균으로 알려진 complex species로서 분자적으로 종내에 약간의 변이가 존재하나, 한국의 가지 흰가루병균을 *P. xanthii*로 동정하는 데는 무리가 없었다.

한국의 가지 흰가루병균의 동정

필자들이 채집한 22점의 가지 흰가루병균 시료는 모두 *Podosphaera xanthii*의 무성세대였으며, 유성세대의 흔적은 찾을 수 없었다. 또한, 한 잎에 2종 이상의 흰가루병균이 복합감염되는 사례가 여러 식물에서 보고되어 있으므로, 본 연구에서도 한 점의 시료에서 가능한 한 여러 균종을 채취하여 검경하였으나 *Golovinomyces*는 전혀 발견되지 않았다. 일본의 경우에도 문헌상으로는 *Podosphaera*와 *Golovinomyces* 흰가루병균이 모두 기록되었지만, 최근 연구에서는 *Podosphaera*의 존재만 ITS 염기서열 분석을 통하여 동정되었으므로 *Golovinomyces*의 존재는 실제 부정되고 있다[30]. 또한 중국의 경우에도 문헌상으로는 *Podosphaera*와 *Golovinomyces* 흰가루병균이 모두 기록되었지만, 최근의 연구에서는 *P. xanthii*의 존재만

확인되었다[10, 11]. 대만의 경우에도 문헌상으로는 *Podosphaera*와 *Golovinomyces* 흰가루병균이 모두 기록되었지만, 최근 연구결과 *P. xanthii*의 존재만 확인되었다[17]. 따라서 최소한 동아시아(중국, 한국, 일본, 대만)에서 가지 흰가루병균은 *P. xanthii*라는 사실이 형태적 특징과 염기서열 분석으로 확인되었다.

한편, 우리나라를 비롯한 동아시아에서 과거에 기록된 *Golovinomyces* 흰가루병균에 대해서는 두 가지 추론이 가능하다. 첫째, 잘못된 동정일 가능성이 있다. 1980년대 이전의 기록은 흰가루병균을 직접 검정하지 않고 기주식물과 병징만 확인한 후에 서양의 문헌을 참고하여 동정한 사례가 많았기 때문이다. 이러한 사례는 여러 식물의 흰가루병균에서 찾아 볼 수 있다. 둘째, 과거에는 가지에 *Golovinomyces* 흰가루병균이 우점하였다가 어떤 이유로 인하여 *Podosphaera* 흰가루병균으로 교체되었을 가능성이 있다. 이러한 사례로는 일본에서 보고된 오이 흰가루병균을 들 수 있다. 전 세계적으로 오이의 흰가루병균은 *Golovinomyces*와 *Podosphaera*가 있으며, 드물게 *Leveillula*가 기록되어 있다[1]. 지금까지 동아시아의 오이 흰가루병균은 *Podosphaera*만 알려져 왔으나, 최근 일본에서 *Golovinomyces*의 존재가 처음으로 확인되었다[31]. 이러한 사례는 우리나라에서도 다알리아[32], 풀헨죽도[33], 백일홍[34], 해바라기[35]의 흰가루병균에서 각각 확인되고 있다. 그러나 이 두 번째 가능성은 가지의 *Golovinomyces* 표본시료가 없기 때문에 부정될 수 있다. 따라서 필자들의 판단으로는 동아시아에서 가지 흰가루병균은 과거부터 지금까지 *Podosphaera*이며, *Golovinomyces*는 존재하였던 증거가 없다. 따라서, 본 총설을 근거로 ‘한국식물병명목록[2]’의 가지 흰가루병균의 관한 내용을 다음과 같이 수정하기를 제안한다.

한국의 가지 흰가루병균:

(1) *Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun & Shishkoff

문헌: 이상엽 등. 식물병연구 8(3): 171, 2002.

주석: 원문에서는 *Sphaerotheca fusca* (Fr.) S. Blumer로 기록되었으나 본 연구를 통해 *P. xanthii*로 확인함.

(2) *Leveillula taurica* (Lév.) G. Arnaud

문헌: 권진혁 등. 한국식물병리학회지 14(2): 186, 1998.

주석: 본 연구를 통해 과거에 우리나라에서 가지 흰가루병균으로 기록되었던 *Golovinomyces cichoracearum* (= *Erysiphe cichoracearum*)은 잘못된 기록이므로 삭제되는 것이 옳다고 판단함.

결론

한국에서 가지에 흰가루병을 일으키는 병원체는 *Podosphaera*속에 속하며, 현재의 분류체계로는 *Podosphaera xanthii*로 동정해야 한다. 매우 드물게 시설재배에서 발생한다고 알려진 흰가루병균 *Leveillula taurica*는 잎 뒷면에서만 발생하므로 ‘가지 뒷면흰가루병’으로 표기하여 *Podosphaera*에 의한 ‘가지 흰가루병’과 구별할 것을 제안한다. 한편, 그동안 알려졌던 *Golovinomyces cichoracearum* 또는 *G. orontii*는 한국에서 존재하였거나 발견된 증거를 찾을 수 없을 뿐만 아니라 균학적 기재에 명백한 오류가 있으므로 그 동안의 기록은 잘못된 것

으로 취급하는 것이 옳다. 다만, 유럽이나 서아시아에서 가지 흰가루병균으로 알려진 *G. orontii*와 *Euoidium longipes*가 앞으로 한국에서도 발견될 가능성은 있다. 또한, 시설재배에서는 *L. taurica*가 우점종으로서 피해를 줄 수도 있다. 따라서 관련 기관이나 연구진은 지속적인 모니터링을 통하여 가지 흰가루병균의 우점 상황과 변화를 주시해야 할 것으로 생각된다.

적 요

한국에서 가지 흰가루병균으로 *Erysiphe cichoracearum*, *Leveillula taurica*, *Sphaerotheca fusca* 모두 3종이 기록되어 있다. *E. cichoracearum*은 1969년에 기록된 이후 한국에서 발생하는 가지 흰가루병균으로 여긴다. 1998년에는 *L. taurica*가 가지 뒷면흰가루병균으로 기록되었으나, 이후에 추가적인 발생기록은 없었다. 2002년에는 *S. fusca*가 가지 흰가루병균으로 보고되었다. 필자들은 총 22점의 가지 흰가루병균 시료를 채집하여 현미경 관찰 및 염기서열 분석을 실시하였으며, 그 결과 모두 *Podosphaera xanthii*로 동정하였다. 따라서 한국에서 가지 흰가루병균은 *P. xanthii*로 표기하는 것이 옳으며, 시설재배에서 드물게 발견되는 *L. taurica*는 뒷면흰가루병균으로 구별하는 것이 맞다. 반면에, *E. cichoracearum* (= *Golovinomyces cichoracearum*)은 가지 흰가루병균으로 표본이 보존되지 않았으며 이후에 채집되지도 않았다. 더구나 가지에서 기록한 *E. cichoracearum*의 기체는 일반적인 형태적 변이의 폭을 크게 벗어난다. 따라서 *E. cichoracearum* 흰가루병균의 존재에 대한 과거의 기록은 오류로 생각된다. 결국 *P. xanthii*가 한국의 가지에서 발병하는 흰가루병의 주요 병원균으로 판단되며, *L. taurica*는 드물게 발생되었던 것으로 판단된다. 이 총설에서는 가지 흰가루병균의 역사와 최신 분류체계에 대하여 자세히 기록하였다.

Acknowledgements

We wish to express our appreciation to Prof. B. S. Kim (Gangneung-Wonju National University), Dr. G. S. Choi, Dr. K. S. Han, and Dr. M. J. Park (National Institute of Horticultural and Herbal Science), Dr. J. K. Choi (Gangwon-do Agricultural Research and Extension Services), and Dr. J. H. Kwon (Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services) for providing eggplant powdery mildew samples. This work was supported by a grant from Korea University to HDS. This study was also carried out with the support of the “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ0124192016)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

1. Farr DF, Rossman AY. Fungal databases, U.S. National Fungus Collections [Internet]. Beltsville: Systematic Mycology and Microbiology Laboratory; 2017 [cited 2017 Apr 11]. Available from: <http://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases>.
2. The Korean Society of Plant Pathology. List of plant diseases in Korea. 5th ed. Seoul:

- Korean Society of Plant Pathology; 2009.
3. Braun U, Cook RTA. Taxonomic manual of the *Erysiphales* (powdery mildews). Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre; 2012.
 4. Mendes MA, da Silva VL, Dianese JC, Ferreira MA, dos Santos CE, Urban AF, Castro C. Fungos em Plantas no Brasil. Brasilia: Embrapa Produção de Informação; 1998.
 5. Bubici G, Cirulli M. Screening and selection of eggplant and wild related species for resistance to *Leveillula taurica*. Euphytica 2008;164:339-45.
 6. Amano K. Host range and geographical distribution of the powdery mildew fungi. Tokyo: Japan Scientific Societies Press; 1986.
 7. Hsieh HJ. Notes on host plants of powdery mildew fungi found in Taiwan. 1. Host plants of *Sphaerotheca fuliginea*. Plant Prot Bull (Taiwan) 1983;25:109-13.
 8. Paul YS, Kaul JL. Powdery mildews of India: new records. Indian J Mycol Plant Pathol 1987;17:173-4.
 9. Lee SY, Hwang SJ, Lee SB. Occurrence of powdery mildew on eggplant in Korea. Res Plant Dis 2002;8:171-4.
 10. YU J, Liang C, Xing HH. Identification of the pathogen causing eggplant powdery mildew in Qingdao. J Fungal Res 2014;12:96-9.
 11. Liu SY, Men XY, Li Y. First report of powdery mildew caused by *Podosphaera xanthii* on *Solanum melongena* (eggplant) in China. Plant Dis 2015;99:1856.
 12. Braun U, Takamatsu S. Phylogeny of *Erysiphe*, *Microsphaera*, *Uncinula* (*Erysipheae*) and *Cystotheca*, *Podosphaera*, *Sphaerotheca* (*Cystothecaceae*) inferred from rDNA ITS sequences - some taxonomic consequences. Schlechtendalia 2000;4:1-33.
 13. The Phytopathological Society of Japan. Common names of plant diseases in Japan. Tokyo: Japan Plant Protection Association; 2000.
 14. Homma Y. Erysiphaceae of Japan. J Fac Agric Hokkaido Univ 1937;38:183-461.
 15. Nomura Y. Taxonomic study of Erysiphaceae of Japan. Tokyo: Yokendo; 1997.
 16. Taiwan Governor's Office Agricultural Test Center. Handbook for farmers in Taiwan. Taipei: Taiwan Farmers Association; 1944.
 17. Kuo K. Checklist of Erysiphaceae from Taiwan. Fungal Sci 1998;13:39-59.
 18. Nakata K, Takimoto K. List of diseases of cultivated plants in Korea. J Agric Exp Stn Gov Gen Chosen 1928;15:77-8.
 19. Park JS. Fungous diseases of plants in Korea (1). Daejeon: Chungnam National University; 1958.
 20. Park JS. Fungous diseases of plants in Korea (2). Daejeon: Chungnam National University; 1961.
 21. Park JS. Fungous diseases of plants in Korea. Bull Chungnam Natl Univ 1967;6:1-86.
 22. Shin HD. Erysiphaceae of Korea. Suwon: National Institute of Agricultural Science and Technology; 2000.
 23. Lee HJ, Lee BH. Unrecorded causal organisms of Korean powdery mildews (II). Korean J Microbiol 1969;7:22-8.
 24. Cho WD, Kim WG, Jee HJ, Choi HS, Lee SD, Choi YC. Compendium of vegetable diseases with color plates. Suwon: National Institute of Agricultural Science and Technology; 1997.

25. Kwon JH, Kang SW, Cho DJ, Kim HK. Occurrence of powdery mildew on eggplant caused by *Leveillula taurica* (Lév.) Arnaud in Korea. Korean J Plant Pathol 1998;14: 186-7.
26. Takamatsu S, Heluta V, Havrylenko M, Divarangkoon R. Four powdery mildew species with catenate conidia infect *Galium*: molecular and morphological evidence. Mycol Res 2009;113:117-29.
27. White TJ, Bruns TD, Lee SB, Taylor JW. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ, editors. PCR protocols: a guide to methods and applications. San Diego: Academic Press; 1990. p. 315-22.
28. Kusaba M, Tsuge T. Phylogeny of *Alternaria* fungi known to produce host-specific toxins on the basis of variation in internal transcribed spacers of ribosomal DNA. Curr Genet 1995;28:491-8.
29. Kumar S, Stecher G, Tamura K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. Mol Biol Evol 2016;33:1870-4.
30. Ito M, Takamatsu S. Molecular phylogeny and evolution of subsection *Magnicellulatae* (Erysiphaceae: *Podosphaera*) with special reference to host plants. Mycoscience 2010; 51:34-43.
31. Uchida K, Takamatsu S, Matsuda S, So K, Sato Y. Morphological and molecular characterization of *Oidium* subgenus *Reticuloidium* (powdery mildew) newly occurred on cucumber in Japan. J Gen Plant Pathol 2009;75:92-100.
32. Shin HD, Lee HT. Notes on powdery mildew of dahlia in Korea. Kor J Mycol 1999; 27:234-6.
33. Park MJ, Park JH, Lee SG, Shin HD. First confirmed report of powdery mildew of *Phlox paniculata* caused by *Golovinomyces magnicellulatus* in Korea. Plant Pathol J 2010;26:295.
34. Park MJ, Park JH, Kim HG, Lee SG, Koh YJ, Kim BS, Cha BJ, Lee HB, Shin HD. Outbreak of powdery mildew on *Zinnia elegans* by *Golovinomyces cichoracearum* in Korea, 2008-2010. Plant Pathol J 2011;27:85-8.
35. Park MJ, Kim BS, Choi IY, Cho SE, Shin HD. First report of powdery mildew caused by *Golovinomyces ambrosiae* on sunflower in Korea. Plant Dis 2015;99:557.