

배 검은별무늬병균(*Venturia nashicola*) 감염특성과 방제기술

Characteristics and Control of Pear Scab (*Venturia nashicola*): A Review

*Corresponding author

Tel: +82-61-330-1562

Fax: +82-61-330-1562

E-mail: shj2992@korea.kr

최으뜸 · 송장훈 · 서호진*

농촌진흥청 국립원예특작과학원 배연구소

Eu Ddeum Choi, Janghoon Song, and Ho-Jin Seo*

Pear Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Naju 58216, Korea

Received March 8, 2023

Revised March 21, 2023

Accepted March 23, 2023

Pear scab, caused by *Venturia nashicola*, is one of the most devastating diseases of Asian pears in Korea, Japan, China, and Taiwan. To manage this disease, growers mainly relied on chemical control. However, continuous use of chemical causes not only environmental contaminant but also the emergence of resistance to pathogens, so a more sustainable management plan is needed. Therefore, it is necessary to understand the life cycle and infection characteristics of *V. nashicola* and to set an active control strategy according to meteorological conditions rather than, as in the past, calendar-based control or continuous use of a specific fungicide system. Various results of the related research results were reviewed to summarize the race, infection characteristics, and control system of *V. nashicola*, a pear scab, and to discuss plans for a more effective control system.

Keywords: Asian pear, Disease, Pear scab, Race, *Venturia nashicola*

서 론

배(*Pyrus*)는 장미과 배나무속에 속하는 과수로 유전적으로 품종이 다양하다. 이 종은 최소 22종이 알려져 있지만, 크게 북방형 동양배(*P. ussuriensis* Maxim.)와 남방형 동양배(*P. pyrifolia* Nakai) 그리고 서양배(*P. communis* L.)로 크게 나뉜다. 현재 과실을 생산하기 위해 재배되는 종들로는 *P. bretschneideri*, *P. pyrifolia*, *P. ussuriensis*, *P. sinkiangensis*, *P. communis* 등이 있다(Oh 등, 2015; Sawant 등, 2021; Wu 등, 2013). 국내에서는 남방형 동양배에 속하는 *P. pyrifolia* 중 신고 품종이 가장 많은 재배면적을 차지하고

있다. 특히 신고 품종은 검은별무늬병(scab)에 대해 대표적인 감수성 품종으로 평가되고 있으며, 우리나라 배 재배지역의 최우선 관리대상으로 화학적 방제를 위해 많은 노력이 투입되고 있다(Kwon 등, 2010; Shin 등, 2004; Yoon 등, 2010).

배 검은별무늬병균(*Venturia nashicola*)의 역학적 특성과 방제기술에 관한 연구는 사과 검은별무늬병균(*V. inaequalis*)의 구체적 연구결과에 비해 상대적으로 미흡하다(González-Domínguez 등, 2017; Machardy, 1996). 이로 인해 연구자들은 서양배와 동양배의 검은별무늬병뿐만 아니라 양앵두와 복숭아의 검은별무늬병 방제에 사과 검은별무늬병균의 역학적 특성에 관한 연구정보를 폭넓게 적용하고 있다(Elkins 등, 2016; Pineau 등, 1991; Schweizer, 1958; Sobreiro와 Mexia, 2000). 그러나 최근 기주식물으로써 올리브(*Olea europaea*)와 비파(*Eriobotrya japonica*)을 대상으로 각각 *Fusicladium eriobotryae*와

*F. oleagineum*을 접종하여 *V. inaequalis*의 결과와 비교해 볼 때 환경조건에 있어 병원균 감염상 중요한 차이점이 확인되었다 (González-Domínguez 등, 2013; Viruega 등, 2011). 따라서 우리나라에 존재하는 *V. nashicola*에 관련한 구체적 감염 특성을 근거로 합리적 방제전략을 수립하는 것이 필요하다. 이 논문에서는 국내에서 발생하는 배 검은별무늬병원균과 관련하여 최근 연구된 역학적 특성과 병해관리를 중심으로 논하고자 한다.

본 론

Venturia nashicola의 증상 및 발생특성. 동양배의 검은별무늬병원균은 *V. nashicola* (불완전세대 *Fusicladium nashicola*)로 자낭균류에 속하며(Tanaka와 Yamamoto, 1964), 자낭포자와 분생포자를 통해 잎, 과실, 가지를 감염하여 병을 일으킨다(Park 등, 2000; Umemoto, 1992). *V. nashicola*에 의해 발생하는 배 검은별무늬병의 병징은 봄철과 가을철에 다르게 나타난다(Fig. 1). 봄부터 초여름에 나타나는 전형적인 증상들은 배나무의 잎, 잎자루, 어린 과실에서 불규칙한 검은색의 병반을 형성하는데 이 때 검은색의 분생포자가 병반의 표징으로 나타나는 것이 특징이다. 이후 여름철 기온이 높아지면서 병원균의 활성이 둔화되어 새로운 감염은 발생하지 않는다. 가을에 기온이 낮아지면서 새로운 감염을 일으키는데 이때 관찰되는 전형적인 증상들은 잎 뒷면에서는 열으면서 불규칙한 그을음증상으로 나타나고 수확기 과실에서는 봄에 감염된 과실이 비대해지면서 감염 조직이 갈라지는 증상으로 상품성을 저하시킨다(Choi 등, 2019).

배 검은별무늬병의 병환은 가을에 감염된 잎은 낙엽이 되면 병원균은 낙엽에서 월동을 한다. 이후 겨울과 봄 사이에 유성생식을 하면서 자낭각을 형성하고 봄에 성숙되면서 자낭포

자를 방출하여 비바람에 의해 배나무로 전반한다(Umemoto, 1992). 주로 병원균의 유성생식은 가을철 감염된 잎이 낙엽으로 되어 떨어지면 겨울과 이른봄에 강우에 의해 지면이 습한 조건에서 이루어진다. 이 병원균은 기주에 따라 동양배에 속하는 남방형 동양배와 북방형 동양배에서만 병원성을 가지며 서양배는 감염되지 않는다(Abe 등, 2008; Ishii와 Yanase, 2000; Sardella 등, 2016; Tanaka와 Yamamoto, 1964; Won 등, 2014). 또한 병원균의 지리학적 분포를 보면 서양배에서만 병원성을 가지는 *V. pirina*는 전 세계적으로 발생하고 있는 반면에 *V. nashicola*는 한국을 포함한 일본, 중국, 대만에 국한되어 발생하고 있다(Cho 등, 1985; Choi 등, 2019; González-Domínguez 등, 2017).

이후 봄철 성숙한 자낭의 자낭포자 배출은 습도가 유지된 상태에서 1시간 이내 대부분 방출된다. 이렇게 비산된 자낭포자는 *in vitro*상에서 5–30°C에서 발아가 가능하며 20°C에서 가장 활발하게 감염이 일으키는 것이 확인되었다(Lian 등, 2007)

눈(bud)에 감염된 경우 가을 분생포자가 인편으로 침입하여 균사체로 월동하고 이듬해 봄에 분생포자로 발달하여 비바람에 의해 이동하게 된다. 분생포자도 자낭포자와 동일한 환경조건에서 감염이 되며, 20°C 조건이 가장 활발한 감염 조건으로 확인되었다(Li 등, 2005).

배 검은별무늬병원균의 역학적 특성. 배 검은별무늬병을 포함한 *Venturia* spp.의 모든 종에서 발생하는 분생포자는 넓은 온도 범위에서 몇 시간의 적습(wetting) 조건만으로도 기주에 감염을 일으킬 수 있다. 사과 검은별무늬병원균 *V. inaequalis*와 두가지 배 검은별무늬병원균인 *V. pyrina*와 *V. nashicola*의 자낭포자와 분생포자는 모두 유사한 조건에서 발아 및 감염을

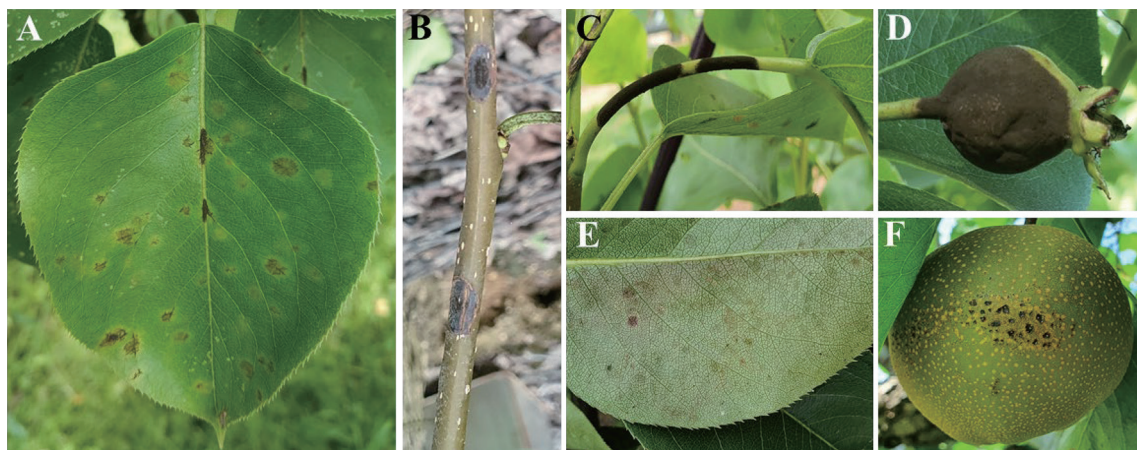


Fig. 1. Typical symptoms of pear scab caused *Venturia nashicola*. (A) Leaf vein. (B) Current shoot. (C) Leaf stalk. (D) Young fruit. (E) Leaf. (F) Mature fruit.

일으키는 것으로 알려져 있다. 그러나 감염에 필요한 적습조건은 병원균 종마다, 노출된 기온에 따라 차이가 있다(González-Domínguez 등, 2017).

자낭포자는 병든 낙엽 위에서 위자낭각 속에서 형성되며 (Umamoto, 1990a, 1990b), 봄철에 방출되어 1차 전염원이 된다. 일반적으로 계속 젖어 있는 낙엽에서는 위자낭의 성숙이 지연되거나 아예 성숙되지 않을 수 있다(Lian 등, 2006). 또한 비가 오는 동안이나 비가 온 후에 자낭포자가 주로 방출되며(Lian 등, 2007; Umamoto, 1990a, 1990b), 불과 10초 동안 낙엽이 젖어 있는 조건이 되더라도 자낭포자가 방출된다(Lian 등, 2007). 포자방출 시간은 오전 6시부터 오후 6시까지이며(Eguchi와 Yamagishi, 2007), 위자낭각에서 지상 7.4 mm 높이까지 튀어 올라 바람을 따라 10 m까지 이동할 수 있음이 확인되었다(Umamoto, 1990a, 1990b). *V. inaequalis*와 *V. nashicola*의 자낭포자가 발아가 가능한 온도범위는 5–30°C이며, 최적 온도는 15–25°C이다. 두 병원균 모두 최적의 온도 조건일때는 2–3시간 이내에 자낭포자의 발아가 가능하지만, 10°C 습윤조건이라면 *V. nashicola*는 6시간인데 반해 *V. inaequalis*는 3시간으로 발아 시간에 차이가 있다(Borić, 1985; Lian 등, 2007). *V. inaequalis*의 자낭포자가 사과나무를 감염하기 위한 조건에 대해 오래 전부터 연구가 수행된 결과 감염에 필요한 적습시간에 대해서 여러 차례 수정되어 제안되었다(Keitt와 Jones, 1926; Machardy와 Gadoury, 1989; Mills, 1944; Stensvand 등, 1997). *V. pyrina*는 10°C 이하와 25°C 이상 온도조건에서 *V. inaequalis*와 비슷한 감염 특성을 보인다. 그러나 Villalta 등(2000)은 20–25°C 범위에서는 *V. pyrina*와 *V. inaequalis*가 각각 9시간과 5시간의 적습시간이 소요된다고 하였고, González-Domínguez 등(2017)은 *V. inaequalis*에 대해 6시간이 소요된다고 제시하였다. 그러나 현재 *V. nashicola* 자낭포자의 감염에 필요한 온도와 적습시간에 관한 실험적 연구 결과는 없으나 González-Domínguez 등(2017)은 *Venturia* spp. 7종의 균주와 8가지의 감염 역학 특성을 대상으로 두 범주간 대응 분석(correspondence analysis)을 통해 자낭포자 감염에 있어 최소 6시간 적습조건이 필요하다고 제시하였다.

*V. nashicola*의 1차 전염원은 낙엽 속 자낭포자와 비늘잎 속 균사체가 있다(Li, 1959; Yin과 Yu, 1988). 눈 조직 안쪽에서 부착한 균사체 상태로 월동 후 분생포자가 생성되며 1차 전염원으로써 봄철 어린 잎을 감염할 수 있다(Becker 등, 1992; Holb 등, 2004; Yin과 Yu, 1988). 분생포자는 1차 전염원으로써 20–50% 수준까지 영향을 줄 수 있다(Passey 등, 2017). 대부분의 *Venturia* spp.에 속하는 종들의 분생포자도 자낭포자와 비슷하게 10–25°C 적습조건에서 기주 잎을 감염할 수 있으며, 감염 최적 온도는 20°C이다. *V. nashicola*의 분생포자는 *V. inaequalis*처럼

5–25°C에서 분생포자를 형성하며, *V. pyrina*는 좀 더 넓은 범위인 5–28°C이지만(Ben-Yephet, 1977), 최적 온도는 15–20°C이다(Marras, 1963). 분생포자 형성에 필요한 상대습도는 *V. inaequalis*의 경우 60–100%이며 최적습도는 90%이다(Studt와 Weltzien, 1975). 그러나 *V. nashicola*의 포자형성에 미치는 상대습도에 관련된 연구정보는 찾을 수가 없었다. *V. nashicola*의 분생포자 이동은 주로 비가 오는 중이거나 비가 온 후에 확인되며, 바람 자체만으로 분생포자가 이탈되지 않고 비와 연계한 바람으로 분생포자의 이동이 가능하다(González-Domínguez 등, 2017; Umamoto, 1990a, 1990b). 적습조건에서 분생포자에 의한 감염을 일으키기 위한 온도범위는 3–32°C이며, 가장 최적 온도는 20°C이다. González-Domínguez 등(2017)은 대응분석을 이용한 통계적 분석을 바탕으로 *V. nashicola*와 *V. pyrina* 분생포자의 감염에 필요한 최소 적습시간을 각각 12시간과 10시간이라 하였다.

실제 기상환경에서는 지속적인 강우 대신에 건조조건이 유지될 경우가 많고 이때 분생포자의 감염 특성을 이해하는 것은 병원균의 감염 위험도를 예측하고 방제전략을 세우는 데 중요하다. Li 등(2005)은 분생포자 접촉 후 처음 4시간과 6시간 적습조건을 주고 건조시간을 1–24시간 동안 노출시킨 결과, 검은별무늬병 병반수는 10–22°C에서는 건조기간이 길면 길수록 작아졌으며, 온도처리별 차이는 확인할 수 없었다. 그러나 28°C에서는 건조시간이 길수록 유의하게 병반수가 작아졌다. 이 결과는 여름철 고온기에 비가 온 후 건조조건이 유지되는 상황에서 포자의 발아력과 감염력이 떨어지는 *Venturia* spp.의 병 발생 특성과도 일치한다(Li 등, 2003; Umamoto, 1990a, 1990b).

배 검은별무늬병의 레이스(race) 분포. 품종별로 각기 다른 병원성을 가지는 집단인 레이스는 배 검은별무늬병 중 서양 배에서만 발생하는 *V. pyrina*의 레이스가 이스라엘에서 처음 판별되었다. 서양배인 *P. communis*와 야생 시리아 배나무 종인 *P. syrica*에서 각기 다른 병원성을 가지는 균주들이 확인되어 현재까지 총 5가지의 *V. pyrina* 레이스가 보고되고 있다(Shabi 등, 1973). 동양배에서 발생하는 *V. nashicola*의 레이스는 일본에서 처음 판별되었는데 남방형 동양배인 *P. pyrifolia*와 야생 배나무 종에서 각각 다른 병원성이 판별되어 3가지 레이스가 보고되었다(Ishii 등, 2002). 또한 중국과 대만에서는 북방형 동양배인 *P. ussuriensis*, *P. bretschneideri*를 포함하는 새로운 판별품종에서 레이스가 판별되어 총 7가지의 레이스가 판별되었다. 지리학적 분포로 나누어 보면 일본에서는 레이스 1, 2, 3이 확인되었으며, 중국에서는 레이스 2, 4, 6, 7 그리고 대만에서는 레이스 5가 분포하는 것이 확인되었다(Ishii 등, 2021b). 국내에서는 레이스 판

별에 대한 연구는 수행되지 않았지만 판별품종에 해당하는 3 품종을 대상으로 *V. nashicola*에 대한 병원성을 확인한 결과 각각 저항성과 감수성으로 다른 반응들이 확인되어 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다(Shin 등, 2004).

화학적 방제 현황. 서양배 검은별무늬병의 화학적 방제는 사과 검은별무늬병 방제에 준하여 15-20회 약제살포를 하고 있으며, 기상정보를 활용하여 감염 후 치료 방제를 할 경우 4-7회 방제 횟수를 줄이는 것이 가능하다(Jamar 등, 2017; MacHardy 등, 2001). 우리나라 남방형 동양배 재배지역에서도 사과의 방제체계처럼 주기적 약제방제를 하고 있으며, 기상에 따라 차이가 있지만 매년 10-18회 이상의 약제 방제를 하고 있다(Min 등, 2014). *V. nashicola*의 약제저항성이 가장 큰 문제가 된 것은 일본에서 1971년에 도입되어 1975년 효과가 완전 상실한 벤지미다졸(benzimidazole)계이며(Ishii와 Yamaguchi, 1977), 트리아졸(triazole)계와 스트로빌루린(strobilurin)계에 대해서도 꾸준히 보고되고 있다(Ishii와 Yamaguchi, 1981; Ishii 등, 1985, 2021a). 국내에서도 약제 저항성의 심각성이 동일하게 보고되었다(Kwak 등, 2017). 특히 국내에서는 트리아졸계통의 살균제를 연용하는 비율이 전체 농가의 77%에 해당할 정도로서 저항성 출현에 위험성이 높은 상황이다(Min 등, 2012). 이러한 저항성의 위험에서 다양한 계통의 살균제의 교호살포와 유효성분이 다른 살균제의 혼용은 저항성 관리의 대안이 될 수 있다. 이를 뒷받침할 수 있는 근거로 carbendazim에 대해서는 저항성인 균주가 carbendazim과 diethofencarb 혼합제에서는 감수성이었다(Kwak 등, 2017). 또한 다양한 계통의 살균제를 교호살포와 fluxapyroxad와 pyraclostrobin 혼합제만을 살포하여 방제 효과를 비교한 결과 두 가지 방법 모두 충분한 방제 효과가 검증되었다(Min 등, 2014).

효율적인 방제체계를 구축하기 위해서는 다양한 살균제의 적절한 활용, 실시간 기상정보를 활용한 감염예측, 누적 강수량 기준 보호 살균제 보완 살포, 감염 중 치료제 살포기술(germination window strategy) 등을 적용한 방제결정지원체계를 종합적으로 활용할 필요가 있다(Jamar 등, 2017; Rexhepi 등, 2019).

친환경 방제. 앞서 논의된 화학적 방제는 약제 저항성 출현 및 환경오염 등의 문제들이 잠재적으로 나타날 수 있다. 이러한 위험요소를 해결하기 위해 친환경 방제가 대안일 수 있다(Cha 등, 2018; Kwak 등, 2017).

친환경 재배 농가에서는 병해 방제를 위해 살균자재에 한정하여 평균적으로 연간 9-10회 정도 살포하는데 그 중에서 석회

유황합제(lime sulphur)와 보르도액(Bordeaux mixture)을 가장 많이 사용한다. 이 중에서 보르도액은 살포시 배 과실 수확기에 과피에 약해를 유발하여 상품성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다(Song 등, 2013). 또한 석회유황합제는 친환경 방제제로 식물병 방제를 위해 널리 사용하지만 배나무에 지속적으로 사용할 경우 생육기 잎에 약해를 일으킬 수 있는 단점을 가지고 있다(Min 등, 2015). 하지만 기상조건에 따른 병원균의 활성을 고려하여 적기 살포시 석회유황합제는 유기재배에서는 확실한 방제 방안이 될 수 있다(Cha 등, 2018). 이외에도 국내에서 시판되는 무기살균제, 식물추출물, 미생물 등의 유기농자재들이 배 검은별무늬병의 방제제로서 가능성이 확인되어 실제 재배 환경에서 방제효과가 검증된다면 다양한 친환경 방제제의 사용이 가능할 것이다(Song과 Seo, 2018). 그리고 염소계 살균인 NaDCC (sodium dichloroisocyanurate)는 검은별무늬병의 발병억제에 효과가 확인되었다. 또한 개화기에 살포시 생리장해를 유발하지 않으면서 방제 효과가 검증되었다(Nam 등, 2014).

결론

Venturia spp.에 속하는 사과, 배 검은별무늬병균들은 모두 자낭포자와 분생포자가 1차 전염원으로 중요한 요소이다. 이전에 이루어진 연구 결과들을 종합하면 모두 비슷한 온도 범위에서 감염특성을 보이지만 적습시간 따른 감염시기에서는 종마다 다른 것이 확인되었다. 특히 다른 종들에 비해 *V. nashicola*에 적습시간에 따른 감염에 대한 실질적인 연구가 이루어지지 않았지만 González-Domínguez 등(2017)은 통계적 기법을 활용하여 감염에 필요한 적습조건을 제시하였다. 이러한 연구결과를 종합해보면 온도와 습도의 변화에 따른 능동적인 병해관리 방안의 중요성을 시사한다.

동양배를 재배하는 다른 국가에서는 *V. nashicola*가 배나무 품종별로 각기 다른 병원성을 가지는 총 7가지의 레이스가 판별되어 보고되었다(Ishii 등, 2002, 2021b). 국내에서는 병 저항성 품종 육성을 위해 *V. nashicola*에 저항성을 가지는 서양배와 동양배를 중간교잡으로 육성된 그린시스(*P. pyrifolia*×*P. communis*) 품종이 저항성으로 알려져 있다(Kim 등, 2016). 하지만 국내에서 발생하는 균주들은 신고 품종에 편중되어 분리된 균주들이기에 다양성이 확인되지 않은 상황이다(Choi 등, 2019). 또한 *V. nashicola*의 레이스에 대한 연구는 아직 국내에서 수행되지 않았으며, 향후 품종의 다양화나 환경변화에 따른 병원균의 변이에 대비하기 위해서는 레이스 판별과 같이 병원균의 다양성을 모니터링하여 적절한 관리대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

화학적 방제는 특정 계통의 살균제 연용으로 이미 저항성 균주 출현에 대한 대책이 필요한 상황이다. 이를 극복하기 위해서는 다양한 계통의 살균제를 적절하게 분배하여 사용하는 방안이 필요하다. 또한 앞서 병원균의 감염특성에서 언급한 것처럼 환경조건에 따라 병원균의 감염 여부가 달라질 수 있기 때문에 살균제의 적절한 살포시기 설정을 통한 살포 횟수를 줄이고 다양한 계통별 약제를 처리함으로써 약효를 극대화하기 위한 방안이 필요하다. 이미 알려진 병원균의 감염특성으로 기상정보와 매치하여 병원균의 전반 및 감염을 분석하고 실질적으로 살균제를 살포함으로써 적절한 방제시기 설정을 위한 연구가 수행되어야 할 것이다. 현재 친환경 방제는 주로 석회유황합제와 보르도액만이 주로 사용되고 있다. 하지만 배의 생육기 전반에 사용할 경우 약해 유발로 인한 과실의 상품성이 하락하는 문제점을 가지고 있다. 우리는 이전 *in vitro* 상에서 식물추출물이나 미생물 등을 활용한 친환경방제제의 검은별무늬병 활성 억제에 대한 연구 결과를 보고한 바 있다. 친환경방제제들의 억제효과가 검증된 만큼 실질적으로 포장 조건에 방제효과를 검증하여 보다 다양한 친환경방제제 활용을 모색해야 할 것이다.

요 약

배 검은별무늬병을 일으키는 원인 병원균은 *Venturia nashicola*는 국내를 포함한 일본, 중국, 대만에서 가장 문제가 되는 대표적인 병이다. 이 병을 관리하기 위해서는 주로 화학적 방제에 의존하는 방식으로 관리가 되고 있었다. 하지만 지속인 화학적 방제는 환경오염뿐만 아니라 병원균의 저항성 출현을 야기하여 보다 지속 가능한 관리방안이 필요한 시점이다. 이에 *V. nashicola*의 생환 및 감염 특성을 이해하고 과거부터 이어져온 달력형 방제나 특정 계통의 살균제 연용에서보다 기상환경조건에 따라 능동적인 방제시기 설정이 필요한 상황이다. 이 논문에서는 배 검은별무늬병인 *V. nashicola*의 병환, 감염특성 그리고 방제체계에 대한 내용을 정리하고 보다 효과적인 방제관리체계에 대한 방안을 논의하고 자 다양한 연구결과들을 리뷰하였다.

Conflicts of Interest

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

Acknowledgments

This work was supported by a grant from the National

Institute of Horticultural and Herbal Science (NIHHS) funded by the Rural Development Administration (RDA) of the Republic of Korea (PJ01448401).

References

- Abe, K., Saito, T., Terai, O., Sato, Y. and Kotobuki, K. 2008. Genotypic difference for the susceptibility of Japanese, Chinese and European pears to *Venturia nashicola*, the cause of scab on Asian pears. *Plant Breed.* 127: 407-412.
- Becker, C. M., Burr, T. J. and Smith, C. A. 1992. Overwintering conidia of *Venturia inaequalis* in apple buds in New York Orchards. *Plant Dis.* 76: 121-126.
- Ben-Yephet, Y. 1977. Sporulation of *Venturia pirina* on growth media. *Phytoparasitica* 5: 109-113.
- Borić, B. 1985. Influence of temperature on germability of spores of *Venturia inaequalis* (Cooke) Winter, and their viability as affected by age. *Zast. Bilja* 36: 295-302.
- Cha, J. H., Kim, G. H., Choi, E. D., Song, J. H. and Koh, Y. J. 2018. Environment-friendly control of pear scab and rust using lime sulfur. *Res. Plant Dis.* 24: 52-58. (In Korean)
- Cho, E. K., Cho, W. T. and Lee, E. J. 1985. The causal organism of pear scab in Korea. *Korean J. Mycol.* 13: 263-265.
- Choi, E. D., Kim, G. H., Park, S.-Y., Song, J. H., Lee, Y. S., Jung, J. S. et al. 2019. Genetic diversity of the pear scab fungus *Venturia nashicola* in Korea. *Mycobiology* 47: 76-86.
- Eguchi, N. and Yamagishi, N. 2007. Ascospores of the Japanese pear scab fungus (*Venturia nashicola* Tanaka and Yamamoto) are discharged during the day. *J. Gen. Plant Pathol.* 74: 41-45.
- Elkins, R. B., Gubler, W. D. and Adaskaveg, J. E. 2016. UC IPM Pest Management Guidelines: Pear. UC ANR Publication 3455. URL <http://ipm.ucanr.edu/PMG/r603100311.html> [8 March 2023].
- González-Domínguez, E., Armengol, J. and Rossi, V. 2017. Biology and epidemiology of *Venturia* species affecting fruit crops: a review. *Front. Plant Sci.* 8: 1496.
- González-Domínguez, E., Rossi, V., Armengol, J. and García-Jiménez, J. 2013. Effect of environmental factors on mycelial growth and conidial germination of *Fusicladium eriobotryae*, and the infection of loquat leaves. *Plant Dis.* 97: 1331-1338.
- Holb, I. J., Heijne, B. and Jeger, M. J. 2004. Overwintering of conidia of *Venturia inaequalis* and the contribution to early epidemics of apple scab. *Plant Dis.* 88: 751-757.
- Ishii, H., Cools, H. J., Nishimura, K., Borghi, L., Kikuhara, K. and Yamaoka, Y. 2021a. DMI-fungicide resistance in *Venturia nashicola*, the causal agent of Asian pear scab: how reliable are mycelial growth tests in culture? *Microorganisms* 9: 1377.
- Ishii, H., Nishimura, K., Tanabe, K. and Yamaoka, Y. 2021b. Pathogenic specialization of *Venturia nashicola*, causal agent of Asian pear scab, and resistance of pear cultivars Kinchaku and Xiangli. *Phytopathology* 111: 990-1000.

- Ishii, H., Udagawa, H., Yanase, H. and Yamaguchi, A. 1985. Resistance of *Venturia nashicola* to thiophanate-methyl and benomyl: build-up and decline of resistance in the field. *Plant Pathol.* 34: 363-368.
- Ishii, H., Watanabe, H. and Tanabe, K. 2002. *Venturia nashicola*: pathological specialization on pears and control trial with resistance inducers. *Acta Hort.* 587: 613-621.
- Ishii, H. and Yamaguchi, A. 1977. Tolerance of *Venturia nashicola* to thiophanate-methyl and benomyl in Japan. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 43: 557-561.
- Ishii, H. and Yamaguchi, A. 1981. Resistance of *Venturia nashicola* to thiophanate-methyl and benomyl: existence of weakly resistant isolates and its practical significance. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 47: 528-533.
- Ishii, H. and Yanase, H. 2000. *Venturia nashicola*, the scab fungus of Japanese and Chinese pears: a species distinct from *V. pirina*. *Mycol. Res.* 104: 755-759.
- Jamar, L., Song, J., Fauche, F., Choi, J. and Lateur, M. 2017. Effectiveness of lime sulphur and other inorganic fungicides against pear scab as affected by rainfall and timing application. *J. Plant Dis. Prot.* 124: 383-391.
- Keitt, G. W. and Jones, L. K. 1926. Studies of the epidemiology and control of apple scab. *Wis. Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* 73: 1-104.
- Kim, Y.-K., Kang, S.-S., Won, K.-H., Shin, I.-S., Cho, K.-S., Ma, K.-B. et al. 2016. Breeding of the scab-resistant pear cultivar 'Greenis'. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 34: 655-661. (In Korean)
- Kwak, Y., Min, J., Song, J., Kim, M., Lee, H. and Kim, H. T. 2017. Relationship of resistance to benzimidazole fungicides with mutation of β -tubulin gene in *Venturia nashicola*. *Res. Plant Dis.* 23: 150-158. (In Korean)
- Kwon, S. M., Yeo, M. I., Choi, S. H., Kim, K. W., Jun, K. J. and Uhm, J. Y. 2010. Reduced sensitivities of the pear scab fungus (*Venturia nashicola*) collected in Ulsan and Naju to five ergosterol-biosynthesis-inhibiting fungicides. *Res. Plant Dis.* 16: 48-58. (In Korean)
- Li, B.-H., Xu, X.-M., Li, J.-T. and Li, B.-D. 2005. Effects of temperature and continuous and interrupted wetness on the infection of pear leaves by conidia of *Venturia nashicola*. *Plant Pathol.* 54: 357-363.
- Li, B., Zhao, H., Li, B. and Xu, X.-M. 2003. Effects of temperature, relative humidity and duration of wetness period on germination and infection by conidia of the pear scab pathogen (*Venturia nashicola*). *Plant Pathol.* 52: 546-552.
- Li, Z. H. 1959. Studies on development and control of pear scab. *Acta Phytopathol. Sin.* 5: 65-77.
- Lian, S., Li, B.-H., Dong, X.-L., Li, B.-D. and Xu, X.-M. 2007. Effects of environmental factors on discharge and germination of ascospores of *Venturia nashicola*. *Plant Pathol.* 56: 402-411.
- Lian, S., Li, B.-H. and Xu, X.-M. 2006. Formation and development of pseudothecia of *Venturia nashicola*. *J. Phytopathol.* 154: 119-124.
- Machardy, W. E. 1996. Apple Scab: Biology, Epidemiology and Management. APS Press, St. Paul, MN, USA. 545 pp.
- Machardy, W. E. and Gadoury, D. M. 1989. A revision of Mills's criteria for predicting apple scab infection periods. *Phytopathology* 79: 304-310.
- MacHardy, W. E., Gadoury, D. M. and Gessler, C. 2001. Parasitic and biological fitness of *Venturia inaequalis*: relationship to disease management strategies. *Plant Dis.* 85: 1036-1051.
- Marras, F. 1963. Studio comparativo di quattro ceppi di *Fusicladium eriobotryae* Cav. di provenienza diversa. *Studi. Sassar.* 11: 1-37.
- Mills, W. 1944. Efficient use of sulfur dusts and sprays during rain to control apple scab. *Cornell Ext. Bull.* 630: 1-4.
- Min, K.-H., Ryu, J.-P., Kim, J.-M., Kim, S.-H., Yim, S. H., Choi, J. J. et al. 2014. Control efficacy of the mixture of fluxapyroxad plus pyraclostrobin against pear scab caused by *Venturia nashicola*. *Korean J. Pestic. Sci.* 18: 434-438. (In Korean)
- Min, K. H., Ryu, J. P., Lee, S. H., Kim, I. S., Kim, W. S., Cho, B. H. et al. 2012. Analysis of the cause of off-grade goods for effective control of pear scab occurring in export pear. *Agric. Sci. Technol. Res.* 27: 21-29. (In Korean)
- Min, K.-H., Song, J. H., Cho, B. H. and Yang, K.-Y. 2015. Effect of lime sulfur on changes of fungal diversity in pear fallen leaves. *Korean J. Mycol.* 43: 281-285.
- Nam, K.-W., Han, M.-K. and Yoon, D.-H. 2014. Control effect of sodium dichloroisocyanurate for pear scab (*Venturia nashicola*) on Niitaka pear during flowering period. *Korean J. Org. Agric.* 22: 347-357.
- Oh, Y., Shin, H., Kim, K., Han, H., Kim, Y.-K. and Kim, D. 2015. Researches of pear tree (*Pyrus* spp.) genomics. *J. Plant Biotechnol.* 42: 290-297.
- Park, P., Ishii, H., Adachi, Y., Kanematsu S., Ieki, H. and Umemoto, S. 2000. Infection behavior of *Venturia nashicola*, the cause of scab on Asian pears. *Phytopathology* 90: 1209-1216.
- Passy, T. A. J., Robinson, J. D., Shaw, M. W. and Xu, X.-M. 2017. The relative importance of conidia and ascospores as primary inoculum of *Venturia inaequalis* in a southeast England orchard. *Plant Pathol.* 66: 1445-1451.
- Pineau, R., Raymondaud, H. and Schiavon, M. 1991. Elaboration d'un modèle de prévision des risques d'infection du mirabelier (*Prunus domestica* L var insititia) par l'agent de la tavelure (*Cladosporium carpophilum* Thümen). *Agronomie* 11: 561-570.
- Rexhepi, E., Paçe, H., Vrapci, H., Hasani, A. and Shahini, S. 2019. Managing the scab on apple leaves by combining some treatment programs with application periods. *Bulg. J. Agric. Sci.* 25: 345-353.
- Sardella, D., Muscat, A., Brincat, J.-P., Gatt, R., Decelis, S. and Valdramidis, V. 2016. A comprehensive review of the pear fungal diseases. *Int. J. Fruit Sci.* 16: 351-377.
- Sawant, S. S., Choi, E. D., Song, J. and Seo, H.-J. 2021. Current status and future prospects of white root rot management in pear orchards: a review. *Res. Plant Dis.* 27: 91-98.
- Schweizer, H. 1958. Contributions to the biology of the pathogen of cherry and peach scab (*Fusicladium cerasi* (Rabh.) Sacc., *Venturia*

- cerasi* Ad. and *Cladosporium carpophilum* v. Thüm). *J. Phytopathol.* 33: 55-98.
- Shabi, E., Rotem, J. and Loebenstein, G. 1973. Physiological races of *Venturia pirina* on pear. *Phytopathology* 63: 41-43.
- Shin, I. S., Hyeon, I. H., Hwang, H. S., Hong, S. S., Cho, K. H. and Cho, H. M. 2004. Screening of scab (*Venturia nashicola*) resistance germplasms in *Pyrus* species. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 22: 63-68. (In Korean)
- Sobreiro, J. and Mexia, A. 2000. The simulation of pear scab (*Venturia pirina*) infection periods and epidemics under field conditions. *Acta Hortic.* 525: 153-160.
- Song, J.-H., Cho, Y.-S., Lim, K.-H. and Lee, H.-C. 2013. Current status of pest management and biodiversity in organic pear orchards in Korea. *Korean J. Org. Agric.* 21: 617-627. (In Korean)
- Song, J. and Seo, H.-J. 2018. Antifungal activity of agro-materials against pear scab (*Venturia nashicola*) and pear rust (*Gymnosporangium asiaticum*) fungi. *Res. Plant Dis.* 24: 33-40. (In Korean)
- Stensvand, A., Gadoury, D. M., Amundsen, T., Semb, L. and Seem, R. C. 1997. Ascospore release and infection of apple leaves by conidia and ascospores of *Venturia inaequalis* at low temperatures. *Phytopathology* 87: 1046-1053.
- Studt, H. G. and Weltzien, H. C. 1975. Einfluss der umwelfaktoren temperatur, relative luftfeuchtigkeit und licht auf die konidienbildung beim apfelschorf, *Venturia inaequalis* (Cooke) Winter. *Phytopathol. Z.* 84: 115-130.
- Tanaka, S. and Yamamoto, S. 1964. Studies on pear scab II. Taxonomy of the causal fungus of Japanese pear scab. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 29: 128-136. (In Japanese)
- Umamoto, S. 1990a. Dispersion of ascospores and conidia of causal fungus of Japanese pear (*Pyrus serotina*) scab, *Venturia nashicola*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 56: 468-473.
- Umamoto, S. 1990b. Infection sources in Japanese pear scab (*Venturia nashicola*) and their significance in the primary infection. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 56: 658-664.
- Umamoto, S. 1992. Seasonal changes in the susceptibility of Japanese pear (*Pyrus serotina* Rehd.) cv. "Kosui" fruit to the Japanese pear scab fungus, *Venturia nashicola*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 58: 8-15.
- Villalta, O., Washington, W. S., Rimmington, G. M. and Taylor, P. A. 2000. Effects of temperature and leaf wetness duration on infection of pear leaves by *Venturia pirina*. *Aust. J. Agric. Res.* 51: 97-106.
- Viruega, J. R., Roca, L. F., Moral, J. and Trapero, A. 2011. Factors affecting infection and disease development on olive leaves inoculated with *Fusicladium oleagineum*. *Plant Dis.* 95: 1139-1146.
- Won, K., Bastiaanse, H., Kim, Y. K., Song, J. H., Kang, S. S., Lee, H. C. et al. 2014. Genetic mapping of polygenic scab (*Venturia pirina*) resistance in an interspecific pear family. *Mol. Breed.* 34: 2179-2189.
- Wu, J., Wang, Z., Shi, Z., Zhang, S., Ming, R., Zhu, S. et al. 2013. The genome of the pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.). *Genome Res.* 23: 396-408.
- Yin, J. S. and Yu, S. C. 1988. Study on disease cycle of pear scab in Hebei. *China Fruits* 1988: 13-18.
- Yoon, D.-H., Park, H.-J. and Nam, K.-W. 2010. Control effect of environmental-friendly organic materials against major pear diseases. *Korean J. Pestic. Sci.* 14: 401-406.