농약과학회지 (Korean J. Pestic. Sci.)
Vol. 24, No. 2, pp. 136-147 (2020)
Open Access https://doi.org/10.7585/kjps.2020.24.2.136
ORIGINAL ARTICLES

Online ISSN 2287-2051
Print ISSN 1226-6183
Check for updates

참외 흰가루병의 친환경적 관리 연구 현황

연일권[1] · 심창기[2] · 김민정[2]* · 박정민[1] · 정원권[1] · 도한우[1] · 박석희[1]
[1]경상북도농업기술원 유기농업연구소, [2]농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 유기농업과

Research Status of Environmental Friendly Management for Korean Melon Powdery Mildew

Il-kweon Yeon[1], Chang-Ki Shim[2], Min-Jeong Kim[2]*, Jeong-Min Park[1], Won-Kwon Jung[1], Han-Woo Do[1], Seok-Hee Park[1]
[1]Organic Agriculture Research Institute, Gyeongbuk Agricultural Research and Extension Services, Uiseong 37339, Republic of Korea
[2]Division of Organic Agriculture, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

(Received on April 21, 2020. Revised on May 14, 2020. Accepted on May 20, 2020)

Abstract Powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) occurring in the greenhouse cultivation of Korean melon (*Cucumis melo* L.) is an intractable disease to be hardly controlled. It is highly demanded that diverse measures of integrative practice should be applied to effectively manage powdery mildew in organic Korean melon cultivation. According to the recent socio-environmental movement of eco-friendly agriculture products in Korea, we here review developed techniques or methods to manage powdery mildew for organic production of Korean melon in greenhouse condition. A resistant F_1 variety against powdery mildew can be first mean and other environmental control techniques are essentially reviewed in the greenhouse facility. The alternative techniques of organic agricultural materials, such as cooking oil-egg yolk mixture, loess-sulfur complex, agricultural detergents, and sulfur- and silica-based products will be discussed. Also, it is desirable to use them in mixed treatment for higher control efficacy in organic Korean melon cultivation.

Key words eco-friendly agriculture, organic farming, Korean melon, powdery mildew

서 론

최근 국내의 친환경 농업정책이 급속히 변화되고 있다. 2018년도에는 논·밭작물, 과수에 지급되고 있던 유기농업 직불금의 지급단가 인상 및 유기농 지속 직불금에 대한 지급기한이 폐지되었고, 2019년에는 친환경농업의 정의를 생태계 유지, 생물다양성 증진 등 공익적 가치실현으로 재설정하면서 공익형 직불금제를 도입하였다(Lim et al., 2020). 현재 친환경농업에 대한 사회적 관심이 집중되고 있고, 친환경 농산물의 생산 확대가 요구되고 있는 실정이다(Lim et al., 2020).

참외(*Cucumis melo* L., Korean melon)는 아열대성 작물로서 경북 성주지역을 중심으로 많이 재배되고 있는 과채류 작물로서, 국내 재배면적은 3,581 ha인데 주산지인 성주에서만 3,126 ha에 달한다(MAFL, 2018). 전국적으로 참외를 친환경 재배를 하는 농가로서는 유기재배 인증농가는 90호, 무농약재배 인증농가는 120호이며, 참외 주산지인 경북지역에서는 무농약 인증농가 25호, 유기재배 인증농가는 26호, 성주군의 참외 유기재배 인증농가는 17호이다(NAPQMS, 2019). 이는 성주군의 전체 참외 재배농가 수 3,945호에 비하여 0.43%로 아직까지는 미미한 수준이다(SCO, 2019).

시설하우스가 보급된 이후 성주지역에서 참외재배가 40년 이상 지속되면서 병해충 발생이 심해지고 있는 실정이다. 참외재배시 가장 문제되는 병해로는 흰가루병과 노균병이며 해충으로는 목화진딧물, 총채벌레, 뿌리혹선충 등이 있다(SFVRI, 2015). 참외 관행재배에서는 이러한 병해 방제를 유기 합성농약에 의존하고 있는데, 흰가루병의 방제약제로

*Corresponding author
E-mail: kjs0308@korea.kr

는 헥사코나졸 입상수화제 등 68종이 등록되어 있다(KCPA, 2019).

국내에서 유기농업자재로 공시되어 있는 1,686종 중 551종이 병해충 관리용으로 등록되어 있으나, 일반적으로 병해충 관리용 유기농업자재는 화학농약과 달리 침투이행성 기작이 없어 방제효과가 낮은 것으로 알려져 있다(NAPQMS, 2019).

또한 최근 3년간(2017-2019) 경상북도농업기술원 유기농업연구소에서 수행한 과채류 유기종자 생산체계 확립 연구에서 개구리참외, 깐치참외, 열골참외 등의 토종 참외에서도 흰가루병 이병엽률이 각각 30%, 34%, 54%로 심하게 발생하였다. 유기농업의 기본 체계를 확립하는데 필수적인 유기종자의 효율적인 생산 및 보급을 위해서도 흰가루병 방제기술의 연구가 시급한 것으로 보고하였다(Yeon, unpublished). 참외의 주요 병해인 흰가루병에 대한 다양한 유기적 방제방법이 연구되어 왔으나 최근 국내의 친환경 농업정책이 급속히 확대되는 것을 고려할 때, 참외를 비롯한 박과류 흰가루병에 대한 친환경적 방제방법을 정리할 필요성이 제기되었다.

따라서 본 논문에서는 유기농 참외재배에서 유기농업자재의 활용도를 높이기 위해 참외에 발생하는 흰가루병에 대한 친환경적인 방제방법을 중심으로 기존의 연구결과들을 정리하고 보다 효율적인 방제방법을 모색하고자 하였다.

박과류 흰가루병의 특성

호박(*Cucurbita pepo*), 수박(*Citrullus vulgaris*), 참외(*Cucumis melo*), 오이(*Cucumis sativus*) 등 중요한 박과류를 감염하는 흰가루 병원균은 동일한 종인 것으로 알려져 있다(Shin et al., 2000). 국내에서도 Hong et al. (2018)과 Kim et al. (2016b)은 멜론에서 KN1, KN2 및 새로운 race 발생을 보고하였다. 흰가루 병원균은 *Sphaerotheca fusca* (Lee et al., 2000), *Sphaerotheca fuliginea* (Kim et al., 2007), *Podosphaera fusca* (Kwon et al., 2015) 및 *Podosphaera xanthii* (Hong et al, 2018)로 분류되어 왔는데, 이를 하나로 정리할 필요가 있다.

참외 흰가루병은 4-10월까지 발생기간이 긴 병해이며(Kim et al., 2017) 기주에서의 감염부위는 주로 식물체 잎에 감염하나 심하게 발생할 경우에는 줄기, 엽병 및 과실표면에도 발생한다(SFVRI, 2015). 분생포자는 Fig. 1에 나타

Fig. 1. Symptoms of powdery mildew on the leaves of Korean melon (A), melon (B), and cucumber (C). Microscopic observation of conidia originated from Korean melon leaves (D, ×400).

난 것과 같이 체인형태를 형성하고 가장자리 선은 무딘 톱날모양(Crenate)을 하고 있다(Shin, 1992; Shim et al., 2018).

2008년 충북 진천군의 수박 재배농가에서는 흰가루병의 만연으로 인하여 30-50%의 소득이 감소하는 큰 피해가 발생한 사례가 있다(Kang et al., 2014). 흰가루병은 참외에서 가장 심각한 피해를 주는 병해이고, 이러한 흰가루병에 대한 대책으로 2017년 이후 흰가루병에 저항성인 계통으로 알찬꿀참외, 은하수꿀참외 등 F_1 품종이 육성되어 농가에 보급되고 있다.

박과류에 발생하는 흰가루병을 적절하게 방제하기 위해서는 먼저 병원균의 특성을 파악하는 것이 중요하다. 흰가루병은 살아있는 기주에만 기생하는 순활물 기생균으로, 이러한 순활물 기생균의 특성으로는 자연상태에서 먼 거리에 분포하는 기주를 감염시킬 수 있는 다량의 분생포자를 형성하도록 진화한 것으로 알려져 있다(SFVRI, 2015).

흰가루병의 방제에는 근본적으로 어려움이 있는데, 이는 흰가루병균이 식물체 조직내부에 흡기를 형성하여 양분을 흡수하고 식물체 표면에 균사 및 다량의 분생포자를 형성하는 특성이 있기 때문이다(Green et al., 2002). 참외 흰가루병의 경우 가을철 작기가 끝난 후 식물 잔사인 과실, 줄기 및 잎 상부 표면에 유성세대 포자가 발생하는 것으로 보고되었다. 이를 적절하게 제거하지 않을 경우 이듬해 1차 전염원 역할을 하며 대 발생하는 것으로 알려져 있다(Yeon, 2006).

작물에 대한 경제적 피해 허용수준(Economic threshold) 개념이 처음에는 해충방제에 도입되었는데(Stern, 1959; 1973), 박과류 작물에 대한 흰가루병에 의한 경제적 피해 허용수준에 대한 연구를 살펴보면, Park (2011)은 관행 시설재배에서 참외 흰가루병 병반면적률과 수량감소의 상관관계를 $Y=0.317X+0.3687$ ($R^2=0.9501$)로 산정하여, 하위엽 5매에서 흰가루병이 11% 이상 발생하였을 때 경제적 방제수준으로 설정하였다. 호박 흰가루병의 발생과 과실수량은 부의 상관이 있고, 방제비용을 고려하지 않은 요방제수준은 병반면적율 6.5%, 방제비용을 고려한 경제적 피해수준의 병반면적율 21.6%, 농가에 적용 가능한 경제적 방제수준은 17.3%로 산출하였다(Moon et al., 2010). 오이 흰가루병에 대한 방제비용을 고려한 경제적 피해 허용수준을 수확량 3% 지점, 발병도 17.6%를 설정하였고, 방제적기는 잎이 1-2장 감염되었을 때 방제 시점이라 하였다(Kim et al., 2006).

이러한 경제적 피해 허용수준은 관행재배의 화학약제를 기준으로 설정하였기 때문에 친환경 재배시 흰가루병 방제에 사용하는 유기농업자재들은 방제효과가 낮고 약효가 발생하는 시점이 늦은 것을 고려할 때 경제적인 피해 허용수준을 관행의 기준보다 낮게 설정되어야 할 것으로 생각된다.

박과류 흰가루병 저항성 품종의 이용

박과류 작물의 흰가루병에 대한 가장 친환경적인 방제방법은 저항성 품종을 재배하는 것이다. 그러나 저항성 품종을 이용한 박과류 작물의 재배는 아직 실용화 연구가 더 필요한 실정이다.

야생종호박(*Cucurbita moschata*)으로부터 흰가루병 저항성 유전자를 도입하여 풋호박(*Cucurbita squash*)(Cho et al., 2004a, 2004b)과 애호박(*Cucurbita pepo*)(Cho et al., 2009)을 육성재료로 사용할 수 있도록 연구한 바 있다. Lee et al. (2004) 국내에서 시판 중인 10종의 애호박 품종을 대상으로 흰가루병 발병 정도를 비교하였더니, 품종간에는 큰 차이를 보이지 않았으나 시험에 공시한 애호박 품종 모두 3 이상의 높은 발병도를 보이는 것으로 보고하였다. 유기농 호박 병해 종합방제 기술 개발을 위해 50개의 시판 호박품종에 대한 역병, 시들음병 및 흰가루병에 대한 저항성을 검정한 결과, 대부분의 시판 호박품종들은 흰가루병에 대해 감수성으로 나타났으며, 흰가루병에 대한 중도저항성 이상의 품종으로는 뚝심토좌골드 등 5품종인 것으로 보고한 바 있다(Shim et al., 2018).

참외에서 가장 심각한 피해를 주는 병해인 흰가루병에 대한 대책으로 저항성 품종을 선발하기 위한 연구가 진행되었다. Kim et al. (2012)은 시판 참외 품종인 '참이맛', '크런치볼', '은천', '황금꿀은천', '명월', '황금도끼', '금노다지' 7품종의 흰가루병 저항성 정도를 조사하였으나 모든 품종이 감수성인 것으로 보고 하였다. 그런데, 2017년 이후 흰가루병에 저항성인 참외 계통으로 알찬꿀참외, 은하수꿀참외 등 F_1 품종이 육성되어 농가에 보급되고 있다(Kang et al., 2014).

수박에서도 흰가루병 저항성 품종을 선발하기 위한 연구가 진행되었으나 뚜렷한 저항성 자원을 찾거나 개발한 사례가 드문 것으로 조사되었다. Kim et al. (2012)은 9종의 시판 수박 품종에 대한 흰가루병 저항성을 검정한 결과, '오복꿀', '태양꿀', '리코핀꿀', '홍수정꿀', '달고나', '초강삼복', '참그린', '우리꿀', '스피드꿀'의 9품종을 조사한 결과 품종간에 병 발생은 다소 차이가 있으나 모두 감수성인 것으로 나타났다.

친환경 참외재배에서는 흰가루병을 효율적으로 방제하기 위해서는 저항성 품종을 재배하는 것이 최선의 방법이다. 또한 흰가루병은 박과류 작물을 재배하는 전 생육기 동안 지속적으로 발생하고 기후변화로 인한 고온기가 지속됨으로써 농업인들이 흰가루병에 강한 품종에 대한 재배선호도가 높아지고 있는 실정이다. 그러나 대부분의 경제성이 높은 멜론, 수박, 참외 등의 주요 작물에 대한 흰가루병 저항성 품종의 육성이 어려점이 많은 것으로 나타나 종자산업체나 학계에서 지속적인 흰가루병 저항성 박과류 유전자원의 도입과 개발이 진행되어야 할 것으로 생각된다.

환경조절에 의한 방제

흰가루병은 시설재배 참외의 생육기 동안 가장 심각한 피해를 주고 방제하기 어려운 병해로 인식되고 있다. 최근 시설참외 재배농가의 10%가 하우스를 단동에서 연동형태로 결합하여 사용하는 이유를 흰가루병의 발생 때문이라고 보고 되어 있어, 농가에서 흰가루병을 얼마나 심각하게 받아들이고 있는지 지표가 될 수 있을 것으로 생각한다(Choi, 2013b).

시설내부 환경조절에 의한 흰가루병 억제방법으로는 크게 고온 및 환기방법에 의한 방제를 들 수 있다. 참외 흰가루병은 기온 15-28°C에서 많이 발생하며 32°C 이상에서는 억제된다고 알려져 있으나(NCPMS, 2020), 실제로 시설재배에서 고온을 활용하여 효과적으로 흰가루병 발생을 억제하는 것으로 보고된 사례는 적다. Shin (1992)은 박과류 흰가루병균과 동종인 왕고들빼기(*Lactuca indica* var. *laciniata*) 흰가루병균(*S. fusca*)의 분생포자의 크기 및 장폭비가 노지(기온 15-27°C)에서 뚜렷한 변화를 보이지 않았다고 하였다. 시설재배 하우스에서 흰가루병균의 생육적온을 넘어서는 평균기온이 30°C 이상, 일중 최고기온이 40°C 이상으로 1주일간 지속되면 박과류 유묘에 발생한 흰가루병이 감소된다고 보고하였다(Yeo et al., 2013). 참외재배 시설하우스(폭 6 m×길이 50 m)의 기온은 외피복 재료로 Poly Olefin 필름을 사용할 경우 7월의 일중 최고기온은 57.7°C이며, 조광필름(CHO-CO)은 56.6°C로 상승하는 것으로 보고하였다(Shin et al., 2018). 일반적으로 성주지역의 시설참외 재배하우스 길이가 100 m 임을 감안하면 농가의 하우스 내부 기온은 Shin et al. (2018)의 보고보다 더 상승할 것으로 추측할 수 있으며, 흰가루병원균의 생육적온을 충분히 넘어설 것으로 판단된다. 또한 참외 흰가루병은 시설하우스 출입구(발병도 16.3) 및 환기구 근처에서 처음 발생하여 점차 시설하우스 중앙부(발병도 8.8)로 감염된다고 알려져 있다(SFVRI, 2015; Kim et al., 2017). Yeo et al. (2016)은 관행 환기통(TC, conventional ‘side vent + roof vent’ ventilation)은 환기효과는 저하되나 38°C 이상 고온이 지속되어 개선 환기통(TT, modified ‘side vent + roof vent’ ventilation)보다 흰가루병 발병도 및 이병엽률이 낮았다고 보고하였다. 또한 Bae (2005)는 참외 재배하우스의 일중 기온이 높은 측면구멍환기가 측면 권취식+연통환기보다 흰가루병 발생량이 27.2% 감소한 것으로 보고하였다. Yeo et al. (2015)은 참외 흰가루병 발병도가 권취식+환기통 환기에서 가장 낮았고, 측창환기 대비 26% 감소하는 것으로 보고하였다. 이러한 흰가루병의 발생억제는 환기량의 감소로 인한 분생포자의 비산억제 및 고온에 의한 억제로 인한 것이라 추정된다. Choi (2013b)에 의한 농가 설문조사에서 권취식 환기시설로 온도를 조절하여 흰가루병을 방제할 경우 10a 당 작업시간이 6.7시간에서 2.6시간으로 감소되고 흰가루병 방제횟수도 8.2회에서 5.1회로 감소하여 성주지역 참외재배농가의 73.1%가 활용할 것으로 조사되었다. 참외 흰가루병은 38°C에서 생육이 정지되고, 45°C 이상 고온에서 분생포자의 형태가 변형되고, 55°C 이상의 고온에서는 작물피해가 발생한다는 것(Choi, 2013a)을 고려할 때, 참외 흰가루병 방제를 위해서는 일정기간 동안 시설내부에 고온을 유지하여 흰가루병 발생을 억제한 다음 난황유(Shim et al., 2018)나 미생물제(Kim et al., 2011b; Kim et al., 2015)를 살포하는 것이 효과적인 방제방법이 될 것이다.

따라서 친환경 참외 재배 시, 시설하우스 내부에 환기팬이나 환기통을 설치하여 주기적으로 온도나 습도와 같이 흰가루병 발생에 영향을 주는 환경적인 요인을 잘 관리하는 것만으로도 흰가루병 발생을 적절하게 예방할 수 있으며, 추가적인 유기농업자재나 미생물 처리로 방제효과를 극대화 시킬 수 있는 방제전략이 될 수 있을 것으로 생각된다.

생물학적 방제

작물에 발생하는 흰가루병에는 *Bacillus subtilis*, *Bacillus thurngiensis* 등 *Bacillus* 속 세균, *Streptomyces* 속 방선균, *Ampelomyces* 속 중복기생균 등 다양한 미생물이 생물학적 방제인자로 활용되고 있다(Kim et al., 2011b). 그러나 미생물 이용의 가장 큰 문제점은 Kim et al. (2011b)이 언급한 바와 같이 농가의 77.3%가 구입 즉시 사용하지 않고, 미생물제를 보관할 경우, 보관 온도의 변화 및 제형에 따라 미생물의 농도가 낮아진다는 것이다. 미생물제 단독처리에 대한 보고로는 Nam et al. (2010)은 *B. subtilis* KB-401 수화제를 500배로 희석하여 10일 간격으로 3회 처리하였을 때, 오이 흰가루병에 대해 83.8%의 방제효과를 얻었다고 하였다. Kim et al. (2012)은 *B. subtilis* R2-1를 사용할 경우, 고추 흰가루병 방제효과가 83.3%로 나타났다고 보고하였다. 또한 현재 시군 농업기술센터에서 보급하고 있는 미생물 중 *Paenibacillus polymyxa* CW를 10^8 cfu/mL 고농도로 살포할 경우 고추와 토마토의 흰가루병 방제효과가 보고되어 있다(Kim et al., 2013). Lee et al. (2010b)은 *B. subtilis* B29, M10, *Streptomyces* sp. CC19 살포로 오이 흰가루병 발생억제를 보고 하였다. 흰가루병 중복기생균인 *Ampelomyces quisqualis* 94013 (AQ94013) 현탁액을 오이 흰가루병에 처리하면 화학농약인 훼나리몰(Fenarimol) 유제보다 효과가 좋은 것으로 보고 하였다(Lee et al., 2017).

그러나 이러한 미생물제는 단독처리할 경우 효과가 낮은 것으로 인식되고 있다. 이에 대한 대책으로 미생물과 다른 제재의 혼용으로 방제효과를 높이려는 연구들이 이루어지고 있다. *Bacillus amyloliquefaciens* M27과 유칼립투스(*Eucalyptus globulus*) 추출물 혼합제를 오이 흰가루병에

500배로 처리하였을 때 대조구의 병 발생이 45.4%인데 비해 추출물 혼합제는 4.4%로 흰가루병 방제효과가 뛰어난 것으로 보고되었다(Lee et al., 2013b). 오이 흰가루병에 *B. subtilis* KB401 유상현탁액과 *B. subtilis* DBB1501 수화제를 혼용하여 처리할 경우 단제 처리에 비해 흰가루병 방제효과가 향상되는 것으로 보고되었다. 오이 흰가루병 방제를 위해 난황유를 처리하였을 때 방제가가 82.6% 인데 비해 난황유와 *B. subtilis* KB 유상현탁액을 혼용처리 하였을 때 단제 처리에 비해 방제가가 94.6%로 더 높은 것으로 보고하였다(Kim et al., 2011a). Kim et al. (2015)은 Table 1과 같이 청국장 발효 미생물 현탁액으로 오이 흰가루병을 77.8% 방제하였고, 청국장 발효균이 15일 후에도 오이 엽권에 정착하는 것으로 보고하였다. Lee et al. (2016; 2017)은 클로렐라(*Chlorella fusca*) 배양액을 오이 탄저병원균(*Collectotrichum orbiculare*)에 처리 하였을 때, 클로렐라 배양액은 베노밀(Benomyl)과 같이 오이 탄저병원균의 부착기 및 분생포자 생성을 억제하는 것으로 보고하였으며, 농촌진흥청 유기농업 연구 분야 클로렐라 활용연구 보고서(RDA, 2015)에도 딸기의 흰가루병을 병제효과를 제시하고 있어 지속적인 클로렐라 살포에 의한 박과류 엽권에 바이오필름(Biofilm) 형성을 유도하여 흰가루병 방제에 활용할 수 있을 것으로 생각된다(Lee, 2017). Hong et al. (2014)은 고추 흰가루병 방제를 위한 화학농약과 미생물제의 혼용 효과시험을 통해 시험에 사용한 6개의 화학약제 중 Azoxystrobin + Chlorothalonil 만이 *B. subtilis* Y1336, *B. subtilis* DBB1501 및 *B. subtilis* QST-713 미생물의 생육을 억제하는 것으로 보고하였다. 고추 흰가루병에 *B. subtilis* DBB1501과 *B. subtilis* QST-713을 Trifloxystrobin 50% 에 혼합하였을 때, Trifloxystrobin 100% 와 비슷한 방제효과를 보여 미생물을 활용한 농약절감 효과를 보고하였다(Hong et al., 2014).

참외에 발생하는 흰가루병은 4월부터 발생하여 작기가 종료되는 10월까지 7개월 동안 발생하는 것을 고려할 때, 미생물 단용보다는 혼합제의 활용이 적절하고, 제형의 중요성(입제) 및 보관 온도(5°C 정온)의 중요성(Kim et al., 2011b)도 인식되어져야 할 것이다. 또한 Seo et al. (2007)은 고추 흰가루병에 *Chrobacterium* sp. C-61과 *Lysobacter enzymogenes* C-3의 혼합액 처리로 95.3% 방제효과를 보였다고 언급하였으며(무처리 감염엽률 25.6%), 처리 시간대는 오전 9시보다 오후 6시에 살포하고 살포 후 비가 내릴 경우 방제지속기간이 길어지는 것으로 보고한 바 있어, 농가에서 미생물제 살포시점을 정하는데 하나의 기준이 될 것이다.

따라서 미생물을 이용한 흰가루병 관리 연구 결과들을 미루어 볼 때, 참외 흰가루병에 대한 효율적인 생물학적 관리방법으로 *Bacillus* 속 세균, *Streptomyces* 속 방선균, *Ampelomyces* 속 중복기생균 등 다양한 미생물의 이용이 가능할 수 있을 것으로 생각한다. 다만 미생물제재를 구입하여 즉시 사용하거나 보관할 경우 4°C 정도의 저온에서 보관하여 사용하는 것이 바람직하다. 그리고 흰가루병의 방제효과와 약효 지속기간을 증진시키기 위해서는 미생물제재 단독처리보다 클로렐라나 식물추출물과 같은 유기농업자재와 혼용 또는 교호로 처리하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

식물성 오일 경엽살포에 의한 방제

농가에서 주로 사용하는 경엽살포 방법은 흰가루병을 방제하는데 근본적으로 어려움이 있는데, 이는 앞에서 언급한 바와 같이 흰가루병이 식물체 조직에 흡기를 형성하여 양분을 흡수하여 균사 및 포자를 식물체 표면에 형성하기 때문이다(Green et al., 2002). 식물성 오일을 활용한 흰가루병의 방제에 관한 대표적인 성공사례로는 난황유를 들 수 있다. Jee et al. (2008)은 난황유 제조시 물 50 mL 이상에 계란 노른자만을 현탁하여 천연계면활성 성분인 레시틴의 입자를 1-3 μm로 만들어 안정화 시킨 후, 물 20 L에 식물성 오일 30-50 mL를 첨가하여 다시 현탁 시키는 것이 중요하다고 하였다.

난황유를 활용한 흰가루병 방제를 살펴보면, Table 2에서와 같이 Jee et al. (2006; 2008)은 상추 재배포장에서 공기순환팬으로 기상환경을 개선하고 카놀라유 및 해바라기

Table 1. Control effect of Cheonggukjang solution on the development of cucumber powdery mildew when they were foliar-applied on infected cucumber leaves with *Sphaerothca fusca* in greenhouse.

Percentage of Cheonggukjang (%)	Disease severity (%)			Control effect (%)		
	3DAT[a)]	12 DAT	15 DAT	3DAT	12 DAT	15 DAT
30.0	0.0 a[b)]	0.0 a	0.0 a	100 a	100 a	100 a
15.0	0.0 a	0.0 a	0.0 a	100 a	100 a	100 a
10.0	0.3 a	0.0 a	0.0 a	99.3 a	100 a	100 a
7.5	5.7 b	4.5 b	3.1 b	88.3 b	91.5 b	95.7 b
6.0	10.8 c	7.3 c	4.8 b	77.8 c	86.2 c	93.4 b
Control	48.7 d	52.8 d	72.2 c	-	-	-

[a)]DAT : Days after treatment of cheonggukjang solutions.
[b)]In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 1% level by DMRT.

유로 난황유를 만들어 처리하였을 때, 무처리에 비해 상추(*Lactuca sativa*) 흰가루병(*P. fusca*)을 각각 94.8%, 89.6% 감소시켰고, 해바라기유에 액상칼슘을 첨가하여 처리하였을 때 흰가루병의 방제가가 96.3%로 상승하는 것으로 보고 하였다. 또한 Kwon et al. (2009)은 가지 흰가루병(*S. fusca*) 방제에 난황유, 난황유 + 칼슘, 난황유 + 님오일 첨가할 경우 90% 이상 방제되는 것으로 보고하였다. Shim et al. (2018)은 수용성 구리(0.2% $CuSO_4$)가 함유된 0.3% 난황유 플러스 처리로 호박 흰가루병에 대해 80.4% 이상 방제가를 2주 이상 지속하는 것으로 보였다고 하였다. Kang et al. (2012)은 안개초(*Gypsophila paniculata*) 흰가루병(*Oidium* sp.)에도 난황유를 처리하였을 때 81.6% 방제가를 보인 것으로 보고하였다. Lee et al. (2008)은 난황유를 처리하지 않은 대조구에서는 파프리카(*Capsicum annum* L.)의 기공으로부터 흰가루병의 균사가 뻗어 나온 것을 관찰하였고, 난황유를 처리하였을 때 식물체 표면에 균사와 분생포자 등 흰가루병원균이 거의 생육하지 못하는 것으로 보고하였다. 난황유는 박과류 뿐만 아니라 다양한 작물에 발생하는 흰가루병에 적용된 사례가 있다. Kim et al. (2009)은 난황유와 유사한 시판용 마요네즈를 0.5% 농도로 처리하여 오이 흰가루병을 90% 방제하였으나 저지방 마요네즈를 사용하였을 경우 약효가 저하되는 것으로 보고하였다. Han et al. (2017)은 수박 흰가루병에 0.5% 마요네즈 처리시 65.1%의 방제효과를 보이는 것으로 보고하였다.

Seo et al. (2006)은 마늘(*Allium sativum*), 생강(*Zinggiber officinale*), 계피(*Cinnamoum cassia*) 및 레몬그라스(*Cymbopogon citratus*)에서 식물성 오일을 추출하여 오이 흰가루병에 대한 방제효과를 검정하였는데, 마늘 오일은 70.0-74.6%의 방제가를 보인 반면, 마늘 추출액은 37.0-38.9% 로 추출물의 경우 방제효과 낮은 것으로 보고하였다. 이는 유기재배농가에서 식물추출액을 주로 사용하는 것에 대한 방제효과의 한계를 보여주는 것으로 시사하는 바가 클 것으로 생각한다.

Table 2. Effect of cooking oil and yolk mixture (COY) on control of powdery mildew of lettuce caused by *Podosphaera fusca* in a field with air-circulation fan (ACF).

Treatment[a)]	Disease leaf (%)	Control value (%)
Canola COY	1.9	94.8 a[b)]
Sunflower COY	3.9	89.6 b
Sunflower COY+SiO_2	4.3	88.4 b
Sunflower COY+$CaCO_3$	1.4	96.3 a
Fungicide (azoxystrobin)	2.4	93.7 a
Control (without ACF)	37.2	-

[a)]COY was sprayed twice with 7 days interval after the disease development, while the fungicide was applied once.
[b)]Values followed by the same letter are not significantly different at p = 0.05 according to Duncan's new multiple range test.

동백유, 올리브유, 카놀라유 및 차유 등 식물성 기름 및 동물성 유지에도 널리 존재하는 올레산(Oleic acid)은 구성성분이 물과 기름인 것(Untoro et al., 2006; Villarreal et al., 2007)은 난황유와 유사하지만 조제과정이 필요 없어 간편하게 사용할 수 있다고 알려져 있다(Lee and Kim, 2014). 올레산에 유화제(100% Emasol O-120V, 화왕)를 첨가하여 제조한 올레산 2,000 ppm 농도로 2회 분무로 오이 흰가루병에 90% 이상의 방제효과를 보여(무처리 발병도 84.5%) 흰가루병 방제에 효과적인 방법으로 제시하였다(Lee and Kim, 2014). 또한 Han et al. (2017)은 올레산에 천연유화제인 정제 레시틴 40 μl를 첨가하여 제조한 올레산 2,000 ppm을 수박 흰가루병에 처리하였을 때 41.6%의 방제효과를 보이는 것으로 보고하였다(무처리 발병도 76.8%).

식물체 표면에 기중균사를 형성하는 박과류 흰가루병균(*P. xanthii*)과는 다르게 식물조직 내부에 균사를 형성하는 파프리카 흰가루병(*Leveillula taurica*) (Correll et al., 1987)에 난황유를 단제로 살포할 경우, 방제효과가 94.6%였으며 난황유에 탄산칼슘 1,000 ppm과 님오일 20 ppm을 혼합 살포하였을 살포할 경우 96.2%로 방제효과가 상승하는 것으로 보고 하였다(Kwon et al., 2009). 또한 Lee et al. (2008; 2010a)은 파프리카 흰가루병에 0.3%, 0.5% 농도의 난황유를 처리하여 1 이하의 발병지수(0-9)로 우수한 방제효과를 보였고, 난황유 + 황입상수화제(80% sulfur) 혼합하였을 때 방제효과가 상승한다고 보고하였다. Kim et al. (2009)은 고추 탄저병에 대하여 난황유의 억제효과를 구명하였고, 난황유가 화학약제인 Tebuconazole의 방제효과도 높여준다고 보고하였다. 그러나 난황유의 단점으로 언급된 식용유 농도가 1% 이상 높거나 2-3일 간격으로 자주 살포하면 작물호흡 및 생리작용을 방해하여 약해 발생의 우려가 있다고 추정하였으나(Jee et al., 2008), Lee et al. (2008)은 파프리카 잎에 고농도인 5% 난황유를 처리한 후 광합성과 증산작용을 측정한 결과 영향이 없는 것으로 보고하였다. 난황유는 5°C 이하 저온 및 35°C 이상 고온에서 결빙이나 렌즈현상을 일으켜 괴사반점을 형성하는 약해가 보고되어 있다(Jee et al., 2008). 난황유가 균질화 되지 않을 경우 식물체 표면이 오일성분으로 덮여서 품질이 저하되고(Lee et al., 2010a) 난황유를 살포하고 1주 후에 병반 부위에 흰가루병 균사가 다시 발생하고(Kwon et al., 2009), 난황유를 살포하고 2주 정도 경과하면 방제된 병반의 가장자리에서 균사와 포자가 생성된다는 보고(Lee et al., 2010a)도 있다. 또한 올레산 혼합액을 처리한 후, 24일이 경과하면 흰가루병이 다시 나타나는 것으로 보고되었다(Lee and Kim, 2014). 이는 난황유 및 식물성 오일 성분이 침투이행성이 아닌 보호제로서의 근본적인 한계라고 판단되며, 난황유도 다른 보조성분과 혼합 살포하여 방제가를 상승시킬 필요가 있으며, 난황유의 방제

효과를 높이기 위해서는 식용유의 기름방울을 최대한 작게 만들어야 한다고(Jee et al., 2008) 하여 제조과정에도 세심한 주의가 필요할 것을 판단된다.

따라서 농가에서 오일을 이용하여 흰가루병에 대한 방제재를 자체 제조할 경우에는 고속의 믹서기를 이용하여 기름방울을 최대한 작게 만들어야 한다. 또한 흰가루병 발생 전에 처리하는 예방적인 방법과 병이 발생했을 때 처리하는 방제방법을 달리하여야 한다. 또한 사용하는 식물성 오일의 종류에 따라 농도를 다르게 하고 단제보다는 올레산, 액상칼슘, 탄산칼슘, 액상유황, 액상구리 등과 같은 유기농업자재를 일부 첨가하여 혼합제를 만들어 처리하는 것이 흰가루병 방제효과를 증진시킬 수 있는 방법일 것으로 생각된다.

계면활성제의 활용

계면활성제는 한 분자 내에 친수성(hydrophilic)과 소수성(hydrophobic) 화학구조를 가지는 것으로 일반적으로 양이온, 음이온, 양성, 비이온으로 구분된다(KCS, 2020). 계면활성제에 의한 오이 잎에 괴사 등 약해 발생은 양이온 > 비이온 > 음이온 순을 심하게 발생한다고 하였다(Ralph and Hilton, 1963). 사과 흰가루병(*Podosphaera leucotricha*)에 대한 계면활성제의 억제작용은 특정 화학적, 이온 형태와는 관계가 없으며, alkyl phenol ethoxylates의 제거활성은 hydrophilic-lipophilc balance(HLB) 값과 관련이 있는 것으로 보고하였다(Hislop and Clifford, 1976). Cho et al. (1998)은 농업용 계면활성제인 카바(Blend of alkylaryl polyethoxylate & sodium salt of alkyl sulfonated alkylate, 60%) 1%와 Tween 20을 0.5%와 1.0% 농도로 처리하였을 때 오이 흰가루병이 80% 이상 억제된다고 보고하였다. Jang et al. (2001)은 보리 흰가루병(*Erysiphae graminis* f. sp. *hordei*)에 대한 Tween 20 등 8종류의 비이온과 음이온 계면활성제를 처리한 결과 PNPP (Polyoxyethylene nonyl phenyl phosphate)이 90% 이상의 방제가로 높은 예방효과를 보였고, 치료효과는 LN 13.0 (Polyoxyethylene lauryl amine ether)이 가장 높았다. Yu et al. (2009)은 pentaetylene glycol monododecyl ether + pentaethylene glycol monodecyl ether + pentaethylene monododecyl ether 혼합액과, pentaethylene glycol mono-9-octadecenyl ether가 오이 흰가루병의 방제약제인 훼나리몰(Fenarimol) 유제와 대등하거나 우수한 방제효과를 보였으나, 잎 표면의 계면활성제 잔류량을 조사하였을 때 지속성은 크지 않은 것으로 보였다. 그리고 Kang et al. (2012)은 준고냉지에서 재배되는 안개초(*G. paniculata*)의 흰가루병(*Oidium* sp.)에 Tween 20과 Siloxane(계면활성제)을 처리하였을 때, 각각 82.1%, 66.8%의 방제효과를 보였다고 하였다.

이러한 보고들을 미루어 볼 때, 계면활성제는 그 자체만으로도 흰가루병을 방제할 수 있지만, 계면활성제 단독으로 사용하는 것보다 다른 흰가루병 방제용 유기농업자재들과 혼용하여 사용할 경우 더욱 유용하게 흰가루병 방제수단으로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

규소성분에 의한 억제

식물체 조직을 단단하게 만드는 규소에 의한 병해억제에 대한 연구로 시설재배 오이에 수용성 규소를 처리하여 흰가루병 발생을 방제하였다고 보고하였다(Belanger et al., 1995). 화학약제인 Triflumizol에 의한 참외 흰가루병균의 균사 용해현상은 규산질 비료를 복합 처리하였을 때 더 많이 관찰되었고, 규산질 비료 자체의 병 발생억제 효과는 미약하였으나 살균제의 흰가루병 방제효과를 증진시키는 것으로 나타났다(Ryu et al., 2003). 그러나 Cho (2006)는 오이 흰가루병의 발생이 많아서 고농도(340 ppm)의 액상규산을 처리한 것에 대해 규소의 근본적인 흰가루병 방제의 한계를 언급하였다. Potassium silicate(K_2SiO_3)는 오이 흰가루병균의 포자발아 억제에는 효과가 없고, 효과적인 방제를 위해서는 10 mM 이상의 고농도로 경엽처리가 필요한 것으로 보고하였다(Cho et al., 1998). 이상의 결과를 볼 때, 규소는 흰가루병 방제의 보조수단으로 활용하는 것이 적절할 것으로 추정된다.

유황성분의 활용

유황은 오래 전부터 흰가루병 방제를 위하여 사용되어 온 제재이나, 참외는 유황으로 인한 약해가 심하게 발생하는 것으로 알려져 있다. 참외에 발생하는 약해 증상은 초기에는 잎이 황변하고 심하면 갈변하고 엽맥이 뚜렷하게 보이며, 과실의 약해 증상은 괴사반이 생기고 갈변하여 조직이 돌출하게 되는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2017). 농가에서는 참외를 정식하기 전에 토양 중에 유황분말을 살포하고 경운 작업을 하거나, 생육기 중 유황분말을 지상부에 뿌리는 경우가 있는데 항상 약해 발생에 주의해야 한다. 또한 Shin (2015)은 참외 흰가루병을 2시간 동안 유황훈증으로 97.5% 방제하여, 화약약제인 지오판.리프졸 수화제(99.7%)와 비슷한 방제효과를 보였다고 하였으나 약해가 발생한다고 하였다. 최근 유기재배농가에서 많이 사용하고 있는 황토유황합제는 유황분말:가성소다:천매암:황토:천일염을 25:20:0.5:0.5:1.5의 비율로 제조하여 25%의 유황을 함유하고 있다(Jadam, 2020). Shim et al. (2014)은 기존 황토유황합제에 가성소다(NaOH)를 25% 줄이고, 천매암과 난각칼슘을 카리장석(0.5 kg/100L)으로 대체하고 현미효소(pH 2.75)로 pH를 조정하여 황토유황합제를 개선하였다(Table 3).

Paik et al. (2012)은 pH를 교정한 황토유황합제의 친환경

Table 3. Evaluation the efficacy of different pH levels of 0.05 % (v/v) loess-sulfur complex modified with added 1.5 mL/L brown rice vinegar for control of tomato powdery mildew.

Loess-sulfur complex	Control value (%)[a)]		
	14 DAT[b)]	28 DAT	42 DAT
pH 5.0	70.1c	74.4e	80.3d
pH 6.0	74.0b	81.7d	84.8c
pH 7.0	76.4b	92.6c	94.9b
pH 8.0	93.2a	97.3b	100a
pH 9.0	93.2a	97.4b	100a
pH 10.0	94.3a	98.0b	100a
pH 11.0	95.5a	99.4a	100a

[a)]The control value of tomato powdery mildew was calculated with next formula. Control value= (Diseased leaf area of untreated control – Diseased leaf area of treatment) / Diseased leaf area of untreated control ×100 (%).
[b)]DAT: Days after treatment of loess-sulfur complex

자재로서의 적합성 시험으로 4종류의 독성(급성경구독성, 급성경피독성, 피부 및 안점막자극성)을 평가하였는데, 독성이 낮고 저자극성으로 친환경 유기농자재로서 공시 및 품질 인증을 위한 요건에 부합된다고 하였다. Shim et al. (2014)은 현미식초(pH 2.8)로 pH를 조절한 황토유황합제를 경엽살포하여 토마토 흰가루병(*E. cichoracearum*)을 70-93% 방제하였고, 또한 Shim et al. (2018)은 1.0% pH교정황토유황합제를 이용하여 호박 흰가루병을 80.4% 이상 방제하였고, 0.3% 난황유플러스(0.2% $CuSO_4$ + 난황유)와 0.1% pH교정황토유황합제을 3주 간격으로 교호살포하여 91.5% 방제효과가 있는 것을 보고하였다. 호박과는 다르게 참외는 황에 의한 약해 발생이 심하므로 황토유황합제에 대한 약해 유무를 검정할 필요성이 있다.

기타 방제

앞서 언급한 방제방법 외에도 흰가루병에 대하여 다양한 방제방법이 시도되어 왔다. 그 중 식물추출물에 대한 연구로는 Paik et al. (1996)은 Anthraquinone 유도체를 함유한 대황(*Rheum palmatum*) 추출물 제재를 오이 흰가루병에 처리하여 100% 방제되었다고 보고하였다. Han et al. (2017)은 수박 흰가루병에 대하여 Sodium bicarbonate 가 80% 함유된 유기농업자재의 방제효과가 83%, 대황(*Rheum palmatum*) 추출물 1% + 에탄올 30%를 함유한 유기농업자재가 63.8%, 중복기생균(*Simplicillium lamellicola* BCP) 유기농업자재는 49.2%라고 보고하였다(무처리 발병도 76.8%). Kang et al. (2015)은 영지버섯(*Phelinus ribis*) 노랑병을 일으키는 *Xylogone ganodermophthora* KACC93082P 균주의 물 추출물 100배액을 수박 흰가루병에 처리하였을 때 병반면적율이 7.5%로 나타났고(무처리 병반면적율 30%) 약해 발생이 없었다고 보고 하였다.

또한 수박 흰가루병에 아인산칼륨 수용액(98% H_3PO_3 + 86% KOH, pH 6.5-7.0) 1,000, 2,000 mg/mL 처리하였을 때 갈색반점의 약해가 발생하였나, 2,000 mg/mL 처리에서는 91.9% 방제되었다고 보고하였다. Kang et al. (2014)은 시설재배 수박에 발생하는 흰가루병에 대한 살균제 처리체계에서 아인산칼륨 수용액의 클로로탈로닐(Chl) 대체 가능성을 언급하였는데, 클로로탈로닐(Chl)-마이클로뷰타닐(My)-페나리몰(Fen)-헥사코나졸(Hex)의 방제체계(방제가 89.6%)를 아인산칼륨 (P)- 마이클로뷰타닐 (My)- 페나리몰 (Fen)- 헥사코나졸(Hex) 방제체계(방제가 83.8%)로 대체 가능성을 제시하였다. 또한 Kang et al. (2012)은 준고냉지에서 재배되는 안개초(*G. paniculata*)와 스타티스(*Limonium shinuatum*) 흰가루병(*Oidium* sp.)에 50% 우유액을 경엽살포하고 14일이 경과한 후 81.7% 방제가를 보고 하였다. 우유액을 처리한 후 강우가 계속되면 습도가 높아져 부생균이 발생했다고 하였고, 중탄산수소나트륨(Sodium bicarbonate) + tween 20의 혼용처리에서 89.2%, 중탄산수소나트륨 단용 처리에서는 58.1% 방제효과를 보고하였다(무처리 발병도 81.7%). Joo et al. (2004)은 참외 발효과실에 *Saccharomyces cerevisiae* R12 균주와 *Acetobacter aceti* 균주를 이용하여 제조한 참외식초(5.25%)를 500배액, 1,000배액으로 참외 흰가루병에 처리하였을 때 흰가루병에 대한 억제효과(발병도 0)를 보고하였다(무처리 발병도 9). Soh et al. (2014)은 오이 흰가

Table 4. Effect of organic agricultural materials on suppression of powdery mildew in organic squash farm.

Treatment	Disease severity & control value (%)					
	7-day-interval		14-day-interval		21-day-interval	
	Disease severity	Control value	Disease severity	Control value	Disease severity	Control value
COY plus[a)] (0.3%)	2.2±0.2	96.6 b	9.5±0.4	90.0 b	20.5±2.0	87.5 b
PLS[b)] (1.0%)	1.2±0.2	96.2 b	10.5±1.2	89.0 c	30.5±2.3	69.5 c
Combination of COY plus (0.3%)/ PLS (1.0%)	0.5±0.4	99.2 a	5.5±0.4	94.2 a	8.5±0.4	91.5 a
Control	65.2±5.2	-	95.2±4.8	-	100.0±0.0	-

[a)]COY plus: cooking oil and egg yolk mixture plus 0.2% soluble $CuSO_4$, [b)]PLS: pH adjusted loess sulfur mixture
* Mean separation within columns by DMRT 5% level.

루병(*P. xanthii*)에 에스필(Pine oil 45% + Tea saponin 25%)과 수산화동합제(77% Copper hydroxide)를 8:1로 혼용 처리하였을 때 71.1%의 방제효과를, 토마토 흰가루병(*E. cichoracearum*)에는 4:1 혼용처리에서 85.3% 방제효과, 고추 흰가루병(*L. taurica*)에 4:1 처리에서는 76.4% 방제효과를 보고하였다. 이러한 것들은 다양한 흰가루병 방제법으로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

이상으로 흰가루병을 방제하기 위해 재배적인 방법, 물리적인 방법, 생물학적인 방법 및 유기농업자재의 활용 등 다양한 연구 결과들이 있었고, 이를 중심으로 참외 흰가루병 방제에 적합한 방제기술들을 정리해 보면 다음과 같다. 첫째, 재배적인 방법으로 흰가루병 저항성 품종을 이용하는 것을 알아 보았으나 아직 박과류 작물에 대한 저항성 품종의 육성이 미진하였다. 그러나 참외에서는 알찬꿀참외와 은하수꿀참외 등이 흰가루병에 대해 다소 저항성을 보이는 것으로 나타나 이러한 품종을 이용하는 것이 좋을 것으로 생각한다. 둘째, 물리적인 방제방법으로 환기팬이나 환기통 등을 참외를 재배할 시설하우스 내부에 설치하여 작물의 생육을 건실하게 하고, 시설하우스 내부를 흰가루병 발생에 불리한 환경을 조성해 줌으로써 흰가루병 발생을 억제하고 방제효과를 증진시킬 수 있을 것으로 생각한다. 셋째, 생물학적인 방법으로 클로렐라, *Bacillus* 속 세균, *Streptomyces* 속 방선균, *Ampelomyces* 속 중복기생균 등 다양한 미생물을 이용하는 것으로 방제효과는 느리지만 지속적인 참외 흰가루병 방제를 위한 중요한 기술이므로 미생물제제의 관리와 처리방법을 준수하여 활용할 필요가 있을 것으로 생각된다. 넷째, 유기농업자재를 활용하는 방법은 식물성 오일, 계면활성제, 규소, 유황, 식물추출물, 아인산, 중탄산나트륨 등 매우 다양한 방법들이 있으며 농업인 스스로 자가제조하여 사용하거나 제품을 구입하여 사용할 수 있어 매우 편리하다는 장점이 있는 반면, 유기농업자재의 특성마다 약효나 약효 지속기간의 차이가 있으므로 단일 형태의 유기농업자재의 사용보다는 혼용 또는 교호로 처리하는 것이 더욱 효율적이며, 참외 흰가루병의 발생 시기나 정도에 따라 차별적으로 활용하는 방법을 수립하는 것이 중요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 : PJ01248004)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literate Cites

Bae SG, 2005. Comparison of occurrence of powdery mildew on Korean melon by different ventilation types. Rural Development Administration, Farming technology information. http://www.nongsaro.go.kr (Accessed Mar. 12. 2020).

Belanger RR, Bowen PA, Ehert DL, Menzies JG, 1995. Soluble silicon. Its role in crop and disease management of greenhouse crops. Plant Dis. 79(4):329-336.

Cho IC, Lee SH, Cha BJ, 1998. Effects of soluble silicon and several surfactants on the development of powdery mildew of cucumber. Korean J. Envi. Agri. 17(4):306-311.

Cho JG, 2006. Effect of aqueous silicate by foliar fertilization on the growth and fruit quality of cucumber. Master's Diss., University of Seoul. Seoul. Korea.

Cho MC, Om YH, Huh YC, Cheong SR, Kim DH, et al., 2009. Breeding of powdery mildew resistant squash 'Kwang-myeong'. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27(2):332-335.

Cho MC, Om YH, Huh YC, Cheong SR, Kim DH, et al., 2004a. Breeding of powdery mildew resistant F1 htbrid variety 'Miso'. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22:35.

Cho MC, Huh YC, Kim JS, Om YH, Mok IG, et al., 2004b. A new oriental squash (*Cucurbita moschata*) cultivar, 'Mansu' resistant to powdery mildew, Kor. J. Breed. 36(2):111-112.

Choi DW, 2013a. Satisfaction and management performance of Korean melon powdery mildew control technology by environmental control. Rural Development Administration, Farming technology information. http://www.nongsaro.go.kr (Accessed Mar. 12. 2020).

Choi DW, 2013b. Satisfaction level and management performance of Korean melon linked house. Rural Development Administration, Farming technology information. http://www.nongsaro.go.kr (Accessed Mar. 12. 2020).

Correll JC, Gordon TR, Elliott VJ, 1987. Host range, specificity, and biometrical measurements of *Leveillula taurica* in California. Plant Dis. 71(3):248-251.

Green JR, Carver TLW, Gurr SJ, 2002. The formation and function of infection and feeding structures. Pp.66-82. In: Bélanger RR, Bushnell WR, Dik AJ, Carver TLW (Eds.). The powdery mildew-a comprehensive treatise. American Phytopathological Society. St. Paul, USA.

Han JW, Goo JT, Kim YS, Kim TI, Noh SJ, et al., 2017. Seasonal occurrence of diseases and insect pests in small type watermelon and effect of organic materials on powdery mildew control. Korean J. Org. Agric. 25(2):419-429.

Hislop EC, Clifford DR, 1976. Eradication of apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*) with dormant season sprays of surface-active agents. Ann. Appl. Biol. 82(3):557-568.

Hong SJ, Kim JH, Kim YK, Jee HJ, Shim CK, et al., 2014. Control efficacy of mixed application of microbial and chemical fungicides against powdery mildew of red-pepper. Korean J. Pesti. Sci. 18(4):409-416.

Hong YJ, Hossain MR, Kim HT, Park JI, Nou IS, 2018. Identification of two new races of *Podosphaera xanthii* causing powdery mildew in melon in South Korea. Plant Pathol. J. 34(3):182-190.

Jadam, 2020. People resembling nature. http://shop.jadam.kr/ (Accessed Mar. 12. 2020).

Jang KS, Kim HT, Yoo JH, Choi GJ, Kim JC, et al., 2001. Controlling effect of several surfactants on barley powdery mildew caused by *Erysiphae graminis*. Korean J. Pesti. Sci. 5(2):51-57.

Jee HJ, Shim CK, Ryu KY, Shin HD, 2006. Symptoms and damages of powdery mildew on leafy lettuce caused by *Podosphaera fusca*. Res. Plant Dis. 12(3):294-297.

Jee HJ, Ryu KY, Park JH, Choi DH, Ryu GH, et al., 2008. Effect of COY (cooking oil and yolk mixture) and ACF (Air-circulation fan) on control of powdery mildew and production of organic lettuce. Res. Plant Dis. 14(1):51-56.

Joo GJ, Ahn SH, Hong SB, Park CG, Choe WK, et al., 2004. Effect of oriental melon vinegar treatment on growth and disease control of oriental melon. J. Agri. Life Sci. 14(1):67-71.

Kang HJ, Kim YS, Han BT, Kim TI, Noh JG, et al., 2014. Alternative fungicide spraying for the control of powdery mildew caused by *Sphaerotheca fusca* on greenhouse watermelon (*Citrullus lanatus*). Res. Plant Dis. 20(1):31-36.

Kang HJ, Kim YS, Kim TI, Jeong TK, Han CU, et al., 2015. Suppression of powdery mildew using the water extract of *Xylogone ganodermophthora* and aqueous potassium phosphonate solution on watermelon under greenhouse conditions. Res. Plant Dis. 21(4):309-314.

Kang MH, Cheong DC, Choi CH, Lim HC, Song YJ, et al., 2012. The control of powdery mildew of Gypsophila (*Gypsophila paniculata*) and Statice (*Limonium hybrida*) by using biocompatible products in the greenhouse. J. Agri. Life Sci. 43(2):28-31.

Kim GH, Park JY, Cha JH, Jeon CS, Hong SJ, et al., 2011a. Control effect of major fungal diseases of cucumber by mixing of biofungicides registered for control of powdery mildew with other control agents The Korean J. Pesti. Sci. 15(3):323-328.

Kim JH, Lee KK, Yim JR, Kim J, Choi IY, et al., 2016a. Yield loss assessment and determination of control thresholds for powdery mildew of eggplant (*Solanum melongena*) Korean J. Pesti. Sci. 20(2):145-151.

Kim JJ, Goerrel MS, Gillespie DR, 2007. Potential of *Lecanicillium* species for dural microbial control of aphids and the cucumber powdery mildew fungus, *Sphaerotheca fuliginea*. Biolo. Control 40(3):327-332.

Kim HT, Park JI, Nou IS, 2016b. Identification of fungal races that cause powdery mildew in melon (*Cucumis melo* L.) and selection of resistant commercial melon cultivars against the identified races in Korea. J. Plant Biotechnol. 43:58–65.

Kim JK, Shim CK, Park SW, Park BJ, Jee HJ, et al., 2009. Control of powdery mildews of cucumber by using Mayonnaise. Korean J. Org. Agri. 17(4):557-566.

Kim JY, Hong SS, Lee JG, KY Park, HG Kim et al., 2006. Determinants of economic threshold for powedery mildew on cucumber. Res. Plant Dis. 12(3):231-234.

Kim MJ, Shim CK, Kim YK, Hong SJ, Park JH, et al., 2015. Control of powdery mildew by foliar application of a suspension of Cheonggukjang. Res. Plant Dis. 21(2):58-66.

Kim SH, Park SH, Kim MG, Kwon TL, Ko BG, et al., 2017. Organic Melon Pest Management Manual. Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services.

Kim SH, Shin JE, Lee KJ, Xu SJ, Kim BS, 2012. Evaluation of disease resistance of cucurbit cultivars to powdery mildew and root-knot nematode. Res. Plant Dis. 18(1):29-34.

Kim YK, Choi EJ, Hong SJ, Shim CK, Kim MJ, et al., 2013. Biological control of tomato and red pepper powdery mildew using *Paenibacillus polymyxa* CW. Korean J. Pesti. Sci. 17(4):379-387.

Kim YK, Hong SJ, Shim CK, Kim MJ, Choi EJ, et al., 2012. Functional analysis of *Bacillus subtilis* isolates and biological control of red pepper powdery mildew using *Bacillus subtilis* R2-1. Res. Plant Dis. 18(3):201-209.

Kim YK, Hong SJ, Jee HJ, Shim CK, Park JH, et al., 2011b. Population dynamics of effective microorganisms in microbial pesticides and environmental-friendly organic materials according to storing period and temperature. Korean J. Pesti. Sci. 15(1):55-60.

Korea Crop Protection Association (KCPA), 2019. Pesticide use guidelines. (In Korea) http://www.koreacpa.org/ (Accessed Mar. 12. 2020).

Korean Chemical Society (KCS), 2020. Chemical encyclopedia. (In Korea) http://new.kcsnet.or.kr (Accessed Mar. 12. 2020).

Kwon JH, Shim CK, Jee HJ, Park CS, 2009. Control of powdery mildew on Solanaceous crops by using COY (cooking oil and yolk mixture) in the greenhouse. Res. Plant Dis. 15(1):23-29.

Kwon JH, Jee HJ, Kim JW, 2015. Characterization of powdery mildew caused by *Podosphaera fusca* infecting *Melothria japonica* (Thunb.) Maxim. J. Agri. Life Sci. 49(5):47-56.

Lee JH, Han KS, Bae DW, Kwon YS, Kim DK, et al., 2010a. Emulsification characters of COY (cooking oil and egg yolk mixture) and mixing application with sulfur wettable powder for enhancing the control efficacies against paprika powdery mildew. Res. Plant Dis. 16(1):74-80.

Lee JH, Han KS, Kwon YS, Kim DK, Kim HK, 2008. Control of paprika powdery mildew using cooking oil and yolk mixture. Res. Plant Dis. 14(2):112-116.

Lee JN, Lee EH, Kim WB, Park HY, Yong YR, 2004. Staking cultivation methods of high planting density for squash under rain-shelkter in highlands. Pro. Hort. and Plant Factory 17:19-26.

Lee MH, Kim YS, 2014. Control of powdery mildew on cucumber by using oleic acid in the greenhouse. Korean J. Organic Agri. 22(4):695-703.

Lee MH, Kim SE, Kim YS, Lee HK, Lee HG, et al., 2013a. Studies on the eco-friendly management of whiteflies on organic tomatoes with oleic acid Korean J. Organic Agri.

21(1):95-104.

Lee SB, 2017. Case Studies on Practical Application of Chlorella Farming Technique. PhD Diss., Kongju University, Kongju, Korea.

Lee SY, Weon HY, Kim JJ, Han JH, Kim WG, 2013b. Control effect of the mixture of *Bacillus amyloliquefaciens* M27 and plant extract against cucumber powdery mildew. Korean J. Pesti. Sci. 17(4):435-439.

Lee SY, Kim YK, Kim HG, 2007. Biological Control of cucumber powdery mildew using a hyperparasite, *Ampelomyces quisqualis* 94013. Res. Plant Dis. 13(3):197-203.

Lee SY, Lee YK, Park KS, Kim YK, 2010b. Selection of beneficial microbial agents for control of fungal diseases in the phyllosphere of cucumber plant. Korean J. Pesti. Sci. 14(4):326-331.

Lee YH, Cha KH, Ko SJ, Park IJ, Park BI, et al., 2000. Evaluation of electrolyzed oxidizing water as a control agent of cucumber powdery mildew. Plant Pathol. J. 16(4):206-210.

Lee YJ, Kim SJ, Jeun YC, 2017. 1,3 Ultra-structural observations of *Colletotrichum orbiculare* on cucumber leaves pre-treated with *Chlorella fusca*. Res. Plant Dis. 23(1):42-48.

Lee YJ, Ko YJ, Jeun YC, 2016. Illustration of disease suppression of anthracnose on cucumber leaves by treatment with *Chlorella fusca*. Res. Plant Dis. 22(4):257-263.

Lim YA, Jung HG, Lee JH, 2000. Development of agricultural environment conservation program. Pp.94-126. In: Agriculture outlook 2020 (I), Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea.

MAFL, The Ministry of Agriculture, Forestry and Livestock, 2018. Livestock Food and Beverage_Statistical Yearbook of Agriculture, Forestry and Livestock Food. (In Korea) http://lib.mafra.go.kr (Accessed Mar. 12. 2020).

Moon YG, Choi JK, Kang AS, 2010. Yield loss assessment and economic thresholds of squash powdery mildew caused by *Sphaerotheca fuliginea.* Res. Plant Dis. 16(3):285-289.

Nam MH, Choi JP, Kim HJ, Lee JJ, Lim KH, et al., 2010. Controlling activity of *Bacillus subtilis* KB-401 against cucumber powdery mildew caused by *Sphaerotheca fusca.* Korean J. Pesti. Sci. 14(1):49-53.

National Agricultural Products Quality Management Service (NAPQMS), 2019. Eco-certification information. http://www.naqs.go.kr/main/main.do (Accessed Mar. 12. 2020).

National Crop Pest Management System (NCPMS), 2020. https://ncpms.rda.go.kr/ npms/Main.np (Accessed Mar. 12. 2020).

Paik MK, Shim CK, Lee JB, Oh JA, Jeong MH, et al., 2012. Acute toxicity evaluation of loess-sulfur complex in different pH. Korean J. Pesti. Sci. 16(4):369-375.

Paik SB, Kyung SH, Kim JJ, Oh YS, 1996. Effect of a bioactive substance extracted from *Rheum undulatum* on control of cucumber powdery mildew. Plant Patho. J. 12(1):85-90.

Park SH, 2011. The level of economic control for Korean melon powdery mildew. Rural Development Administration, Farming technology information. (In Korea) http://www.nongsaro.go.kr (Accessed Mar. 12. 2020).

Ralph ET, Hilton HW, 1963. The effect of surfactants on the water solubility of herbicides and the foliar phytotoxicity of surfactants. Weeds 11(4):297-300.

Rural Development of Agriculture. 2015. Achievement of Agricultural Research and Development Project. Jeonju, Korea. Pp. 4.

Ryu NH, Choi MY, Ryu YJ, Cho HJ, Lee YS, et al., 2003. Suppression of powdery mildew development in oriental melon by silicate fertilizer. Korean J. of Envi. Agri. 22(4): 255-260.

Seo CC, Jung HC, Park SK, 2007. Control of powdery mildew of pepper using culture solutions of chtinolytic bacteria *Chromobacterium* sp. and *Lysobacter enzymogenes*. Res. Plant Dis. 13(1):40-44.

Seo ST, Lee JS, Park JH, Han KS, Jang HI, 2006. Control of powdery mildew by garlic oil in cucumber and tomato. Res. Plant Dis. 21(1):51-54.

SCO, Seongju County Office, 2019. https://www.sj.go.kr/main.jsp (Accessed Mar. 12. 2020).

SFVRI, Seongju Fruit & Vegetable Research Institute, 2015. Korean Melon Cultivation Series.

Shim CK, Kim MJ, Kim YK, Hong SJ, Kim SC, 2014. Reducing phytotoxic by adjusted pH and control effect of loess-sulfur complex as organic farming material against powdery mildew in tomato. Korean J. Pesti. Sci. 18(4):376-382.

Shim CK, Kim YK, Byeon YW, Park JH, Han EJ, et al., 2018. Screening resistant cultivars against powdery mildew, phytophthora rot, and fusarium wilt and evaluation of cooking oil and egg yolk plus and pH adjusted loess-sulfur mixture to control powdery mildew. J. Agri. Life Sci. 52(5):31-38.

Shin HD, 1992. Change in size measurements of powdery mildew conidia in relation to air temperature. Korean Mycol. 20(4):309-314.

Shin HD, 2000. *Erysiphaceae* of Korea. in: plant pathogens of Korea I. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea. 320pp.

Shin YS, 2005. Control of Korean melon powdery mildew with Sulfur Fume. Rural Development Administration, Farming technology information. http://www.nongsaro.go.kr (Accessed Mar. 12. 2020).

Shin YS, Lee JE, Do HW, Chun H, Chung DS, 2018. Changes in air temperature of plastic house as affected by light control film and their impacts on Korean melon yield. Prote. Horti. Plant Factory 27(1):80-85.

Soh JW, Han KS, Lee SC, Lee JS, Park JH, 2014.

Environment-friendly effects of espil and copper hydroxide for prevention of powdery mildew on cucumber, tomato, and red pepper. Res. Plant Dis. 20(2):95-100.

Stern VM, 1973. Economic thresholds. Ann. Rev. Entomol. 18(1):259-280.

Stern VM, Smith RF, van den Bosch R, Hagen KS, 1959. The integrated control concept. Hilgardia 29(2):81-101.

Untoro, JW, Schultink CE, West RG, Hautvast JG, 2006. Efficacy of oral ioidized peanut oil is greater than that of iodized poppy seed oil among Indonesian school children. Amer. J. Clin. Nutr. 84(5)1208-1214.

Yeo KH, Yu IH, Choi GL, Lee SC, Lee JH, et al., 2016. Effects of modified installation methods of roof ventilation devices in the single-span plastic greenhouses on yield and fruit quality of oriental melon. Prote. Horti. Plant Factory 25(4):334-342.

Yeo KH, Yu IH, Rhee HC, Choi GL, Lee SC, et al., 2015. Effects of ventilation systems and set point temperature of single-span plastic greenhouse on disease incidence, fruit quality and yield of oriental melon (*Cucumis melo* L.). Kor. J. Agri. Sci. 42(4):325-333.

Yeo KH, Jang YA, Kim S, Um YC, Lee SG, et al., 2013. Evaluation of environment-friendly control agents for the management of powdery mildew infection during seedling stage of three *Cucurbitaceae* vegetables. Prote. Horti. Plant Factory 22(4):413-420.

Yeon IK, 2006. Occurrence characteristics of sexual stage spore of Korean melon powdery mildew. Rural Development Administration, Farming technology information. http://www.nongsaro.go.kr (Accessed Mar. 12. 2020).

Yu JH, Choi GJ, Lim HK, Kim HT, 2009. Surfactants effective to the control of cucumber powdery mildew. J. Appl. Biol. Chem. 52(4):195-199.

Villarreal JE, Lombardini L, Cisneros-Zevallos L, 2007. Phytochemical constiuents and antioxidant capacity of different pecan [*Caya illinoinensis* (Wangench)] K. Koch cultivars. Food Chem. 102(4)1241-1249.

참외 흰가루병의 친환경적 관리 연구 현황

연일권[1] · 심창기[2] · 김민정[2]* · 박정민[1] · 정원권[1] · 도한우[1] · 박석희[1]

[1]경상북도농업기술원 유기농업연구소, [2]농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 유기농업과

요 약 시설재배 참외(*Cucumis melo* L.)에 가장 심하게 발생하는 흰가루병(*Podosphaera xanthii*)은 화학약제를 사용하는 관행재배에서도 방제가 어려운 병해이다. 화학약제를 사용할 수 없는 유기재배에서 다양한 친환경적 방제법에 대한 연구가 행해져 왔으며, 최근 국내에서 친환경 농업정책이 급속히 확대되는 것을 고려할 때 이러한 방제법을 체계적으로 정리할 필요성이 대두되었다. 참외를 유기재배하는 농가에서는 현실적으로 흰가루병에 저항성 계통의 F_1 품종을 선택하는 것이 무엇보다도 중요하다. 참외 흰가루병의 친환경적인 방제법으로는 환기 및 고온 등 시설내부 환경조절에 의한 흰가루병의 발생억제가 선행되어야 하고, 난황유, 황토유황합제, 계면활성제, 유황, 규소성분 등의 단용처리보다는 혼용처리에서 방제효과가 높아서 흰가루병에 대한 방제에 활용하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

색인어 참외, 유기재배, 친환경, 흰가루병, *Podosphaera xanthii*