

PLANT&FOREST

# Biological control of powdery mildew in Korean melons through a treatment with a culture of *Bacillus* species

Sang Gil Lee<sup>1</sup>, Nak Beom Jeon<sup>2</sup>, Myung Soo Park<sup>3</sup>, Hae Keun Yun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Horticulture and Life Science, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Korea

<sup>2</sup>Fruit-Vegetable Research Institute, Chungcheongnam-do ARES, Buyeo 33119, Korea

<sup>3</sup>School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

\*Corresponding author: haekeun@ynu.ac.kr

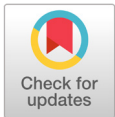
## Abstract

Efficient management systems of facilities make it possible to manage environmental conditions properly, such as the temperature, humidity and light source required for the best growth of the crops, as well as for the mass production of fruit and vegetables with high quality every year through an advanced and protected cultivation system. Powdery mildew is a type of chronic disease that is difficult to control during the production of Korean melons under a protected cultivation system, the use of which is increasing in production areas in Korea. Two *Bacillus* strains isolated from soil samples showed antagonistic activities against several pathogens, specifically *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum gloeosporioides*, and *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis*; they were identified as *Bacillus velezensis* M2 and *B. amyloliquefaciens* M3 in a molecular biological test of the nucleotide sequences of gyrase subunit A (*gyrA*). The treatment was given three times at intervals of five days with 400-fold diluted cultures of *B. velezensis* M2 and *B. amyloliquefaciens* M3. This led to the inhibition of the incidence of powdery mildew disease in Korean melon leaves, which resulted in effective control efficiency against the incidence of powdery mildew disease with control values of 87% and 65%, respectively. Cultures of antagonistic microbes tested in this study can be used to increase the efficiency as part of an environmentally friendly management scheme to prevent powdery mildew disease during the protected cultivation of crops, including Korean melons.

**Keywords:** antagonistic activity, *Bacillus* species, biological control, Korean melon, powdery mildew

## Introduction

국내의 참외 재배면적은 3,614 ha이고 시설재배 면적은 3,469 ha에 이른다. 참외의 생산량은 162천톤이며, 생산액은 3,276억원이다(MAFRA, 2018). 원예작물의 시설재배는 작물의 생육에 적합하도록 인위적인 온도, 습도, 광 등의 환경을 조절하여 노지재배 보다 높은 생산성을 유지하고, 고품질의 과채류를 생산할 수 있는 환경을 제공한다. 또한, 시설 내에서의 습도 및 온도 관리를 통해 미세환경 조절을 통한 병해 발생의 예방 효과를 기대할 수 있다(Lee et al., 2017).



### OPEN ACCESS

**Citation:** Lee SG, Jeon NB, Park MS, Yun HK. 2020. Biological control of powdery mildew in Korean melons through a treatment with a culture of *Bacillus* species. Korean Journal of Agricultural Science 47:1011-1020. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20200084>

**Received:** October 20, 2020

**Revised:** November 17, 2020

**Accepted:** November 20, 2020

**Copyright:** © 2020 Korean Journal of Agricultural Science

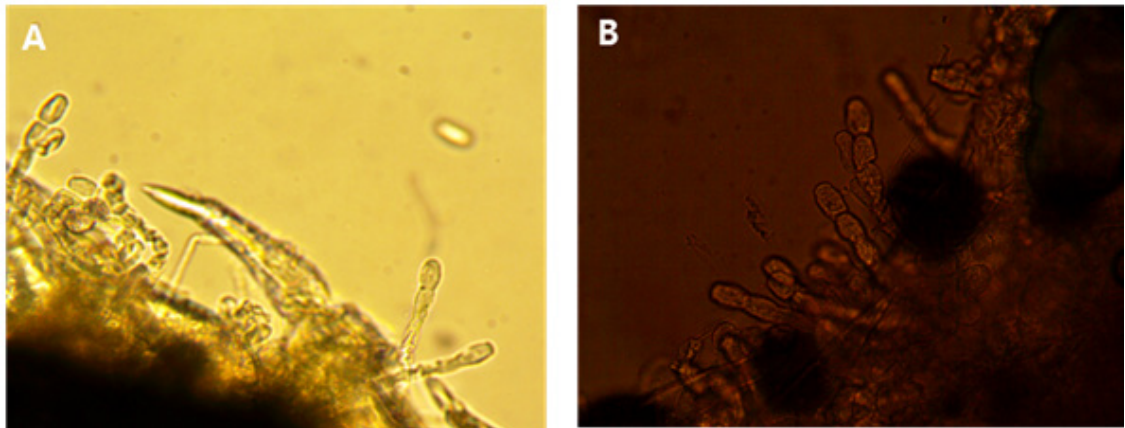


This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

국내의 박과류에 흰가루병을 일으키는 병원균은 *Podosphaera fusca* (syn. *Sphaerotheca fuliginea*)로 알려져 있다 (Shin, 2000). 참외에 발생하는 흰가루병은 온난하고 습한 환경에서 주로 발생하지만, 따뜻하고 건조한 기후 조건에서도 발병하기 때문에 시설 내에서 공기 중 상대습도가 낮은 조건일지라도 일단 감염이 시작되면 습도에 관계 없이 식물체 표면에서 계속해서 확대된다(Fig. 1 and Fig. 2) (Agrios, 1988; Zitter, 1996).



**Fig. 1.** The initial symptom (A) to developed (B - C) symptoms of powdery mildew in Korean melon.



**Fig. 2.** Conidia of *Podosphaera fusca* (syn. *Sphaerotheca fuliginea*) isolated from lesions of powdery mildew in Korean melon leaves. (A) X200, (B) X400.

흰가루병은 식물체의 잎 표면에 흰색 곰팡이가 발생하면서 백색 분말을 뿌려놓은 듯한 현상이 특징이다. 참외의 흰가루병균 기주의 표면에 착생하여 식물체를 바로 사멸시키지 않고 살아있는 조직에서 영양원을 흡수하므로 결과적으로 생육과 수확량 감소에 크게 영향을 준다(Perez-Garcia et al., 2009; Kim et al., 2016). 참외 흰가루병의 병반은 어린 묘의 자엽부터 나타나기 시작하며, 주로 하위 잎에서 상위 잎으로 병반이 진전된다. 그러나, 그늘진 곳에서는 식물체의 생육 부진과 더불어 병 발생도 지연되지만, 햇볕에 노출된 선단부의 잎이나 상위 엽에서는 하위 엽에 비해 병의 발생이 심하여 식물체와 열매의 생육을 억제하고 있다. 따라서 참외를 비롯한 박과 작물의 생산에 있어서 생육기의 흰가루병 방제가 매우 중요하며 포장에서는 저항성 품종의 식재와 약제 방제에 대한 의존도가 높은 실정이다 (Kim et al., 2012). 그러나 화학적 방제를 위한 농약 살포로 인해 약제 저항성균의 출현과 농약 잔류에 의한 식품 안전성의 문제로 인해 친환경 방제에 대한 요구가 증가하고 있다(O'Brien et al., 1988; McGrath, 2001; Kim et al., 2006; Kang et al., 2014). 길항미생물을 이용한 생물적 방제 기술은 농약의 과다 사용을 줄이고, 건전한 농업생태계와 환경을 보존하며, 식품의 약제 오염과 잔류 농약의 문제도 해소할 수 있는 방법으로 여겨지고 있다(Kang et al., 2014; Kang et al., 2015; Oo and Oh, 2016; Kim et al., 2018).

박과 작물을 대상으로 한 생물학적 방제를 위한 길항 미생물을 활용하고자 하는 연구는 진행이 되어 왔으나, 참외에 발생하는 흰가루병을 대상으로 한 생물학적 방제에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 참외 흰가루병의 화학약제를 대체할 수 있는 환경친화적인 식물보호제 개발을 위해 병원균에 항균 활성을 나타내는 *Bacillus amyloliquefaciens*와 *B. velezensis* 배양액을 이용하여 참외의 흰가루병 방제효과를 검증하여 효과적인 생물적 방제 관리방법을 모색하기 위해 수행하였다.

## Materials and Methods

### 길항균 배양

길항균으로는 충남농업기술원 과채연구소에서 2020년 부여 참외 재배토양으로부터 분리하여 보관중인 *Bacillus velezensis* M2와 *B. amyloliquefaciens* M3을 공시하였다. 20% 글리세롤에 냉동 보관된 길항균을 접종 1일전 YPD (yeast 10 g, Peptone 10 g, Dextrose 20 g, 증류수 1,000 mL) agar (Difco™, Sparks, MD, USA)배지에 평판 도말하여 배양하였다. 생균 증식용 배양배지로 YPD broth를 20리터용 생물반응기(HB-201S, Hanbak Scientific Co., Bucheon, Korea)에 넣고 멸균한 다음 길항균을 접종한 후 33 ± 1°C chamber에서 72시간 배양하여 얻은 미생물 배양액을 실험에 사용하였다.

### *Bacillus* 균주의 참외 병원균 생장 억제 효과 검증

공시 *B. velezensis* M2와 *B. amyloliquefaciens* M3의 항균활성을 검증하기 위하여 길항세균 현탁액과 참외 지상, 지하부에 발생하는 주요 병원균의 균사체 균총(직경 5 mm)을 YPD agar 배지 가장자리에 대치되도록 접종한 후, 28 ± 1°C 배양기에서 10 - 15일간 배양한 다음 생장 저지원의 발생유무와 생육정도를 조사하였다. 본 시험에 사용된 참외 주요 병원균주는 과채연구소에서 보관중인 잣빛곰팡이병균 *Botrytis cinerea*, 탄저병균 *Colletotrichum gloeosporioides* 등 2균주와 국립농업과학원 농업생명자원서비스에서 분양받은 덩굴쪄짐병균 *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* (KACC47669)를 사용하였다. 병원균에 대한 균사 생육억제 항균활성 정도는 아래 공식에 따라 평가하였다.

$$\text{균사 생장 억제율(\%)} = (1 - \text{길항세균 접종배지에서 자란 균사의 길이} / \text{control배지에서 자란 균사의 길이}) \times 100 \quad (1)$$

### 길항균 배양액 희석배수에 따른 흰가루병 방제 효과 검증

2020년 3월 과채연구소 육묘장에서 직경 5 cm 포트에 참외('Chamsrangkul', Nongwoo-Bio, Yeosu, Korea)종자를 파종하여 4주간 육묘한 유묘를 하우스 포장에 4월 16일 정식하여 토경재배 하였고, 참외 식물체에서 흰가루병은 인위적 접종없이 자연적인 발생을 유도하였다(Fig. 3). 참외 식물체는 11번째 엽을 착과절위로 하고, 12번째 엽부터 16번째 엽까지 5엽을 병 발생 및 방제 평가에 대한 조사엽으로 설정하였다. 72시간 배양된 *B. velezensis* M2와 *B. amyloliquefaciens* M3 균주의 배양액을 400배로 물에 희석하여 7일 간격으로 총3회 처리하였다. 잎에서 병해발생 및 방제정도는 최종 처리 7일 후 농업과학기술 연구조사분석기준에서 제시하는 발병도에 준하여 조사하였다(Lee et al., 2017). 무처리구에는 물을 처리하였으며 대조 약제로는 Triflumizole (4,000배액)과 살리실산 (1 mM)을 사용하였다.

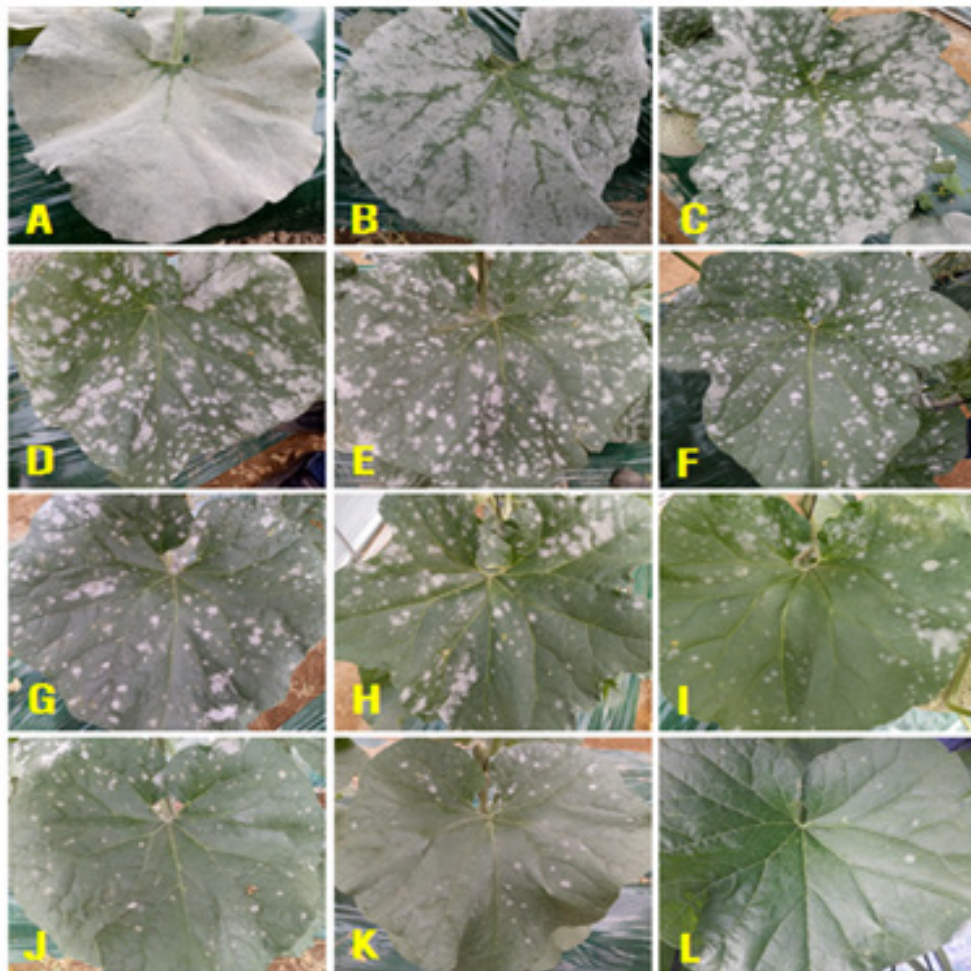
$$\text{발병도}(\%) = \left[ (\text{소} \times 1) + (\text{중} \times 2) + (\text{다} \times 3) + (\text{심} \times 4) / (\text{조사엽수} \times 4) \right] \times 100 \quad (2)$$

(0: 병반면적율 0, 심: 병반면적율 80.1 - 100%, 다: 병반면적율 60.1 - 80%, 중: 병반면적율 30.1 - 60%, 소: 병반면적율 0.1 - 30%)

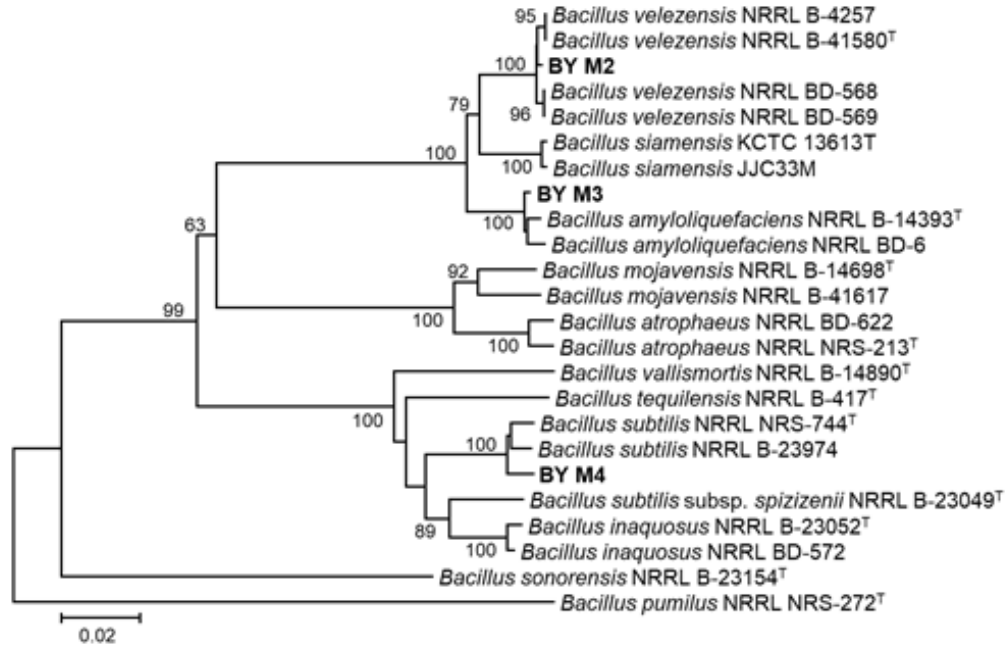
$$\text{방제가}(\%) = (1 - \text{길항균 배양액 처리구/무처리구}) \times 100 \quad (\text{Fig. 4}) \quad (3)$$

### 통계분석

참외에 발생하는 병해에 대한 발생억제효과 분석을 위하여 모든 처리는 완전임의 배치로 3회씩 3반복으로 수행되었으며, 모든 실험은 3회씩 3번 반복하였으며, 통계 프로그램 SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 각 실험 결과에 대한 평균과 표준오차 등을 통계 분석하였다. 각 항목별 실험결과의 유의성은 SPSS 23.0 version을 통해 실시하였고,  $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test (DMRT)로 검정하였다.



**Fig. 3.** The degree of disease development of powdery mildew in *Cucumis melon*, 'Makuwa' leaves were divided into four grades. The lesion index of powdery mildew indicate that A - C (index 4) lesion area, 100 - 80.1 (%); D - F (index 3) lesion area, 80 - 60.1 (%); G - I (index 2) lesion area, 60 - 30.1 (%); J - L (index 1) lesion area, 30 - 0.1 (%) (cited from Lee et al., 2017).



**Fig. 4.** Neighbor joining tree inferred from *gyrA* gene sequences of *Bacillus* species complex. Bootstrap scores > 50 are presented at the nodes. The scale bar indicates the number of nucleotide substitutions per site. The selected antagonistic bacteria are indicated in bold.

## Results and Discussion

### *B. velezensis* M2와 *B. amyloliquefaciens* M3균주의 참외 병원균에 대한 항균 활성

건전한 참외 재배토양에서 분리한 길항세균 *Bacillus* sp. M2와 M3 균주의 *gyrA* subunit A (*gyrA*)의 염기서열 분석결과 Fig. 4에서와 같이 *B. velezensis*와 *B. amyloliquefaciens*로 각각 분류 동정되었다(Tamura et al., 2011; Katoh and Standley, 2013). *B. velezensis* M2와 *B. amyloliquefaciens*로 M3 균주가 참외의 주요 병원균 생장에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다.

길항미생물 처리에 의해 박과류의 덩굴쪄짐병균인 *F. oxysporum* f. sp. *melonis* 대해서는 30 - 36%수준의 항균활성이 나타났다. 한편 *B. velezensis* M2 균주는 멜론, 토마토, 딸기 등 과채류의 주요 병원균에 대한 항균활성이 기 보고된 *B. velezensis* M99-1 (Park et al., 2018) 균주와 동일종으로 동정되었으나, 두 균주 간의 균학적 생육이 고체배지에서 집락의 모양, 형태와 액체 배양 시 개체 증식속도, 기포발생 정도 등 배양적 특성에서 일부 독특한 차이를 보이고, 분자수준에서는 DNA 시퀀스상의 일부 유전자 배열에 차이가 있는 것으로 나타났다(Fig. 5). *B. velezensis* M2 균주는 *in vitro* 상태에서도 항균활성이 우수하였고, 증식속도가 빨라 흰가루병의 생물적 방제에 더 유리할 것으로 사료되었다. *B. amyloliquefaciens* M3 균주도 마찬가지로 참외의 병원균에 대한 항균활성을 나타내었으며, 분자수준에서 동정되었다.



**Fig. 5.** Mycelial growth inhibition activities of *Bacillus* species against plant pathogenic fungi, (A) *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis*, (B) *Botrytis cinerea*, and (C) *Colletotrichum gloeosporioides*.

### 배양액 살포에 따른 흰가루병 방제효과

물에 희석된 길항균 배양액이 어느 수준의 희석배수까지 방제효과를 나타내는지 조사하였다. 참외 흰가루병균에 대한 항균활성 및 병 발생 억제정도를 나타내는 발병도는 병반면적율 지수를 기준으로 평가하였다(Fig. 3). 비닐하우스 토경재배에서 참외 유묘 정식 후 4-5주경 하위엽에 백색의 흰가루병균 군사체 집락이 발생하였다. 식물체의 10-12엽에 흰가루병 병징이 나타난 시기에 길항균으로 선발된 *B. velezensis* M2 균주와 *B. amyloliquenfaciens* M3 균주의 배양액을 400배로 물에 희석하여 5일 간격으로 3회 살포 후 병 발생을 조사한 결과, 무처리구에서 잎에 흰가루를 뿌린 듯 발병도는 99.8% 수준으로 나타났고, *B. velezensis* M2 균주 처리구에서는 3.2%의 발병도, *B. amyloliquenfaciens* M3 균주 처리구에서는 8.8%의 발병도가 나타났다(Table 1; Fig. 6).



**Fig. 6.** Inhibition of symptom development of powdery mildew by spraying cultures of *B. velezensis* M2 and *B. amyloliquenfaciens* M3 in Korean melon leaves. The symptoms in (A) untreated, (B) *B. velezensis* M2-treated and (C) *B. amyloliquenfaciens* M3-treated mature leaves of Korean melon.

**Table 1.** Biological control effect of the culture of *Bacillus* species against powdery mildew incidence in Korean melon leaves.

Treatments	Incidence of powdery mildew	Control value (%)
No treatment	25.6a	0.0
<i>Bacillus velezensis</i> M2	3.2d	87.6
<i>Bacillus amyloliquenfaciens</i> M3	8.8c	65.6
Triflumizole <sup>z</sup>	1.8d	93.0
Salicylic acid	14.0b	45.3

<sup>z</sup> Triflumizole and salicylic acid were used as control treatments.

a - d: Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $p < 0.05$ .

*B. velezensis* M2 균주 처리구에서는 87.6%, *B. amyloliquenfaciens* M3 처리구에서는 65.6%의 효과적인 방제가를 얻었다. 두 균주 간에 병해 발생 억제에 차이가 있음을 확인하였으며, 이는 항균성 유효성분의 함량, 활성정도, 잎 표면에서 길항균과 유효성분 지속성 등 여러 가지 요인이 작용할 것으로 사료된다.

국내에서는 흰가루병의 발생이 많은 참외 품종에서는 과일의 수량과 크기가 감소하였으며 이는 병 발생이 비교적 적은 경우보다 발병이 심한 경우에 더욱 뚜렷하게 나타났다(Kim et al., 2012). 이와 같이, 발병정도가 심해짐에 따라 수량이 감소하는 것은 흰가루병이 주로 잎에 발생하여 광합성과 호흡을 저해함으로써 동화작용과 증산작용을 감소시켜 생육과 과실의 품질저하를 초래하며, 또한 잎에 형성된 병반이 오래되면 인접병반과 융합하여 조기 낙엽이 되어 결과적으로 초세가 약화되면서 수량 감소를 가져오는 것으로 보고되어 있다(Wright et al., 1990; Lee et al., 2001).

참외 흰가루병은 감수성과 저항성 품종 간의 병해 발생이 상이하여 감수성 품종에서 피해가 큰 것으로 알려져 있지만, 불행히도 우리나라에서 재배되는 주요 품종인 ‘참이맛’, ‘크린치볼’, ‘은천’, ‘황금꿀은천’, ‘명월’, ‘황금도끼’, ‘금노다지’ 등 7종류의 참외 품종이 모두 감수성으로 보고되어 있다(Kim et al., 2012).

흰루병 방제를 위해서는 화학적 방제에 의존하고 있는데 흰가루병균은 약제 저항성이 쉽게 발달하는 특성이 있는 것으로 알려져 있어(McGrath, 2001), 수박과 참외에서의 약제 내성균의 출현이 발생하고 있다(Lee et al., 2010; Kang et al., 2014). 농약 사용으로 인한 내성균 출현, 환경오염 문제를 해결하고 인체의 안전성을 강화하기 위해서는 친환경적인 방제 전략이 요구되는 반면 국내에서 재배되는 참외 품종은 모두 감수성으로 판별되어 저항성 품종의 재배에 의한 흰가루병의 발생을 억제하는 것은 한계가 있을 것으로 여겨지며, 친환경 제제의 사용 및 생물적 방제와 같은 대체 전략의 개발이 요구된다(Lee et al., 2010).

2017년에 국내 친환경농산물의 인증 면적은 80.1천 ha로 2016년도에 비해 약간으로 증가(0.8%)하였으나, 출하량은 496.4천 톤으로 13.1% 감소하였다. 또한 출하 비중이 곡류에 비해 두 번째로 높은 채소류의 경우 유기농산물 출하량은 2016년 대비 2.2% 증가한 반면, 무농약농산물은 7.1% 감소하였다(Jeong et al., 2018). 그러나, 세계적으로 유기농산물의 재배면적과 생산량이 증가하고 친환경농산물의 수요도 꾸준히 증가할 것으로 전망된다(Jeong et al., 2018).

시설 재배에서 농약을 대체할 수 있는 친환경농자재로는 전해수, 아인산, 난황유 등이 흰가루병 방제에 효과가 있는 것으로 보고되어 있다(Lee et al., 2000; Jee et al., 2002; Nam et al., 2005; Lee et al., 2007; Jee et al., 2008). 해바라기 오일과 난황유는 병원균의 포자 발아와 균사 성장을 억제함으로써 흰가루병에 대한 방제효과를 나타내는 것으로 보고되어 있다(Ohtsuka and Nakazawa, 1991; Northover and Schneider, 1996; Ko et al., 2003; Jee et al., 2009).

국내에서는 미생물을 이용한 박과 식물의 흰가루병 방제에 관한 연구가 진행되어 왔다. 수박에서 *Xylogone ganodermophthora* 배양 추출물(Kang et al., 2015), 오이와 멜론에서 *Streptomyces* 배양액(Lim et al., 2008; Lee et al., 2010; Park et al., 2018), 오이에서 중복기생균인 *Ampelomyces* (Lee et al., 2007)와 *Bacillus* (Kim et al., 2013; Lee et al., 2013)를 이용한 흰가루병 방제에 관한 연구 결과가 보고되어 있다. 그러나 참외를 대상으로 한 흰가루병의 생물학적 방제에 대한 연구는 전무한 실정이다. 한편 참외의 잎 뒷면에는 작은 강모가 많아 배양액이 쉽게 이탈할 수 있으므로 배양액이 잎면에서 오랫동안 유지될 수 있는 환경을 제공하는 것도 중요하다(Park et al., 2018).

따라서, 본 연구에서는 참외에 발생하는 병원균에 대한 항균 활성을 나타내는 토양미생물 두 균주를 선발하여 각각 *B. velezensis*와 *B. amyloliquefaciens*로 동정하였다. 이들 균주는 참외 흰가루병원균의 생장억제와 병해 발생 억제 효과를 확인하였다. 길항균을 미생물 제제로서 배양액의 약효 한계기간을 감안하면 5 - 7일 처리간격의 미생물제제의 살포를 통해 방제효과가 안정적으로 지속될 수 있을 것으로 사료된다. 특히 잎 이면에 균사체가 발달되어 있음에도 잎 뒷면에서 균의 증식과 포자 형성이 제대로 이루어지지 않는 점은 병원균이 조직을 침해하여 뚫고 나오는 조직 파괴 활성이 크게 저지되어 병의 진전이 상당히 억제되는 것으로도 여겨진다. 또한 참외의 흰가루병 방제를 위한 포장에서의 적용 시험이 진행되고 효과 증진을 위하여 박과 식물의 형태학적인 특징을 고려한 제형의 개발 및 분무 처리 기술의 개발도 함께 진행되어야 할 것이다.

## Conclusion

시설재배 기술의 발달은 참외를 비롯한 다양한 과채류 작물의 주년생산을 가능하게 한다. 온도, 습도, 광과 같은 자연적 환경을 작물의 생육에 인위적으로 조절함으로써 고품질의 과채류를 연속해서 대량으로 생산할 수 있다. 시설재배에서 참외의 흰가루병은 시설재배 증가와 함께 지속적으로 발생하여 큰 피해를 유발하고 있지만, 방제가 어려운 병해 중 하나이다. 참외 흰가루병 방제를 위하여 화학적 방제가 주로 이용되지만 약제 방제의 문제점으로 인해 친환경 방제를 위한 대체제의 개발이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 토양에서 분리한 미생물의 식물 병원균인 잣빛곰팡이병균, 탄저병균, 덩굴쪄짐병균에 대한 항균 활성을 검정하여 항균 활성을 보이는 두 균주를 선발하여 각각 *Bacillus velezensis*와 *B. amyloliquefaciens*로 동정하였다. 온실 내에서 선발한 미생물을 이용한 참외 흰가루병 방제효과를 검정한 결과, *B. velezensis* M2는 87%, *B. amyloliquefaciens* M3는 65%의 방제가를 나타내었다. 향후 이들 두 균주는 참외 흰가루병 방제를 위한 생물적 방제 수단으로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

## Authors Information

Sang Gil Lee, Yeungnam University, Master

Nak Beom Jeon, Chungcheongnam-do ARES, Researcher

Myung Soo Park, Seoul National University, Research Professor

Hae Keun Yun, <https://orcid.org/0000-0002-2636-7172>



## References

- Agrios GN. 1988. Plant pathology. Third edition. pp. 337-343. Academic press, San Diego, CA, USA.
- Jee HJ, Cho WD, Kim CH. 2002. Effect of potassium phosphonate on the control of phytophthora root rot of lettuce in hydroponics. *Plant Pathology Journal* 18:142-146.
- Jee HJ, Ryu KY, Park JH, Choi DH, Ryu GH, Ryu JG, Shen SS. 2008. Effect of COY (cooking oil and yolk mixture) and ACF (air-circulation fan) on the control of powdery mildew and production of organic lettuce. *Plant Disease Research* 14:51-56. [in Korean]
- Jee HJ, Shim CK, Ryu KY, Park JH, Lee BM, Choi DH, Ryu GH. 2009. Control of powdery and downy mildews of cucumber by using cooking oils and yolk mixture. *Plant Pathology Journal* 2:280-285.
- Jeong HK, Sung JH, Lee HJ. 2018. State of Korean and overseas markets for environment-friendly agricultural products and challenges. *KREI Agricultural Policy Focus* 169:1-19.
- Kang HJ, Kim YS, Han BT, Kim TI, Noh J, Kim Y, Shin HD. 2014. Alternative fungicide spraying for the control of powdery mildew caused by *Sphaerotheca fusca* on greenhouse watermelon (*Citrullus lanatus*). *Plant Disease Research* 20:31-36. [in Korean]
- Kang HJ, Kim YS, Kim TI, Jeong TG, Han CU, Nam SY, Kim IJ. 2015. Suppression of powdery mildew using the water extract of *Xylogone ganodermorphthora* and aqueous potassium phosphonate solution on watermelon under greenhouse conditions. *Plant Disease Research* 21:309-314. [in Korean]
- Katoh K, Standley DM. 2013. Multiple sequence alignment software version 7: Improvements in performance and usability. *Molecular Biology and Evolution* 30:772-780.
- Kim HT, Park JI, Nou IS. 2016. 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. *Journal of Plant Biotechnology* 43:58-65.
- Kim JY, Hong SS, Lee JG, Park KY, Kim HG, Kim JY. 2006. Determinants of economic threshold for powdery mildew on cucumber. *Plant Disease Research* 12:231-234. [in Korean]
- 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. *Plant Disease Research* 18:29-34. [in Korean]
- Kim SJ, Kim ES, Kim SH, Yun HK. 2018. Inhibitory effects of environment-friendly materials and defense response signaling chemicals against anthracnose occurrence in jujube (*Zizyphus jujuba* Miller). *Korean Journal of Agricultural Science* 45:365-378. [in Korean]
- Kim YS, Song JG, Lee IK, Yeo WH, Yun BS. 2013. *Bacillus* sp. BS061 suppresses powdery mildew and gray mold. *Mycobiology* 41:108-111.
- Ko WH, Wang SY, Hsieh TF, Ann PJ. 2003. Effects of sunflower oil on tomato powdery mildew caused by *Oidium neolycopersici*. *Journal of Phytopathology* 151:144-148.
- Lee MH, Cho SK, Kim YS, Lee DJ. 2017. Study of forecasting and scheduling for fungicide sprays to control of late blight in tomato. *Journal of Korean Society for International Agriculture* 29:454-458. [in Korean]
- Lee OH, Hwang HS, Kim JY, Han JH, Yoo YS, Kim BS. 2001. A search for sources of resistance to powdery mildew (*Leveillula taurica* (Lév.) Arn) in pepper (*Capsicum spp.*). *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 19:7-11. [in Korean]
- Lee SY, Kim YG, Kim HG. 2007. Mass cultivation of a hyperparasite, *Ampelomyces quisqualis* 94013 for biological control of powdery mildew. *Plant Disease Research* 13:191-196. [in Korean]
- Lee SY, Lee YK, Park KS, Kim WG. 2010. Selection of beneficial microbial agents for control of fungal diseases in the phyllosphere of cucumber plant. *Korean Journal of Pesticide Science* 14:326-331. [in Korean]
- Lee SY, Weon HY, Kim JJ, Han JH, Kim WG. 2013. Control effect of the mixture of *Bacillus amyloliquefaciens* M27 and plant extract against cucumber powdery mildew. *Korean Journal of Pesticide Science* 17:435-439. [in Korean]
- Lee YH, Cha KH, Ko SJ, Park IJ, Park BI, Seong KY. 2000. Evaluation of electrolyzed oxidizing water as a control agent of cucumber powdery mildew. *Plant Pathology Journal* 16:206-210.

- Lim TH, Cho JS, Kang SJ, Johnson IY, Cha BJ, Choi YH. 2008. Effects of *Streptomyces griseofuscus* 200401 on melon powdery mildew in greenhouse. *Plant Pathology Journal* 24:63-66.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2018. Current status of greenhouse and cultivation of vegetables in Korea. Accessed in <http://www.mafra.go.kr> on 31 May 2020. [in Korean]
- McGrath MT. 2001. Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: Experiences and challenges. *Plant Disease* 85:236-245.
- Nam MH, Lee WK, Lee SS, Kim NG, Kim HG. 2005. Control efficacy of milk concentration against powdery mildew of strawberry. *Plant Pathology Journal* 21:270-274.
- Northover J, Schneider KE. 1996. Physical modes of action of petroleum and plant oils on powdery mildews of grapevine. *Plant Disease* 80:544-550.
- O'Brien RG, Vawdrey LL, Glass RJ. 1988. Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) and its effect on field control. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 28:417-423.
- Ohtsuka N, Nakazawa Y. 1991. The influence of machine oil on conidia and hyphae of cucumber powdery mildew fungus, *Sphaerotheca fuliginea*. *Annals of Phytopathology Society of Japan* 57:598-602.
- Oo MM, Oh SK. 2016. Chilli anthracnose (*Colletotrichum* spp.) disease and its management approach. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:153-162.
- Park MS, Lee MH, Lee EM, Yun HK, Kim SE, Jeon NB. 2018. Antagonistic assay of *Bacillus* spp. for eco-friendly biological control of melon powdery mildew. *Korean Journal of Mycology* 46:83-90. [in Korean]
- Perez-Garcia A, Romero D, Fernandez-Ortuno D, Lopez-Ruiz F, De Vincente A, Tores JA. 2009. The powdery mildew fungus *Podosphaera fusca* (synonym *Podosphaera xanthii*), a constant threat to cucurbits. *Molecular Plant Pathology* 10:153-160.
- Shin HD. 2000. Erysiphaceae of Korea. pp. 227-235. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea. [in Korean]
- Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, Kumar S. 2011. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution* 28:731-739.
- Wright DP, Scholes D, Horton P, Baldwin BC, Shepphard MC. 1990. The relationship between the development of haustoria of *Erysiphe graminis* and the energy status of leaves. In *Current Research in Photosynthesis*, Vol. 4, edited by Baltscheffsky M. pp. 223-226. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Zitter TA, Hopkins DL, Thomas CE. 1996. Compendium of cucurbit diseases. pp. 28-30. APS Press, St. Paul, MN, USA.