

Original article

흰점박이꽃무지 사육 환경에 따른 곤충 병원성 곰팡이 *Metarhizium anisopliae*의 병원성

김남희 · 김은선 · 송명하 · 광규원 · 박관호 · 김용순*

국립농업과학원 곤충산업과

Pathogenicity of Entomopathogenic Fungus, *Metarhizium anisopliae* in *Protaetia brevitarsis seulensis* under Different Rearing Conditions. Nang-Hee Kim (0000-0001-6369-5813), Eunsun Kim (0000-0002-5497-4260), Myung-Ha Song (0000-0003-3709-0612), Kyu-Won Kawk (0000-0001-9059-7629), Kwan-Ho Park (0000-0002-3147-8651) and Yongsoon Kim* (0000-0001-5310-2201) (Industrial Insect Division, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju, Jeonbuk 55365, Republic of Korea)

Abstract *Metarhizium anisopliae* is one of the entomopathogenic fungi infecting *Protaetia brevitarsis seulensis*. Environmental conditions strongly affect the virulence of entomopathogenic fungus. To test the susceptibility of *P. brevitarsis seulensis* larvae to *M. anisopliae*, we determined level mortality rates under different rearing conditions: temperatures (20°C, 25°C, 30°C), relative humidities (RH; RH 40%, 50%, 60%, 70%), and water content in sawdust (40%, 50%, 60%). The mortality rate of larvae treated with 5×10^6 conidia mL^{-1} *M. anisopliae* was not significantly affected by rearing temperature, but was affected by low RH (40%) and low water content in sawdust (40%), both of which resulted in high mortality rates. Mortality rate among *M. anisopliae*-treated 1st, 2nd, and 3rd instar larvae were highest in 1st instar larvae.

Key words: entomopathogenic fungi, *Protaetia brevitarsis seulensis*, *Metarhizium anisopliae*, temperature, humidity

서론

굼벵이류 (white grubs) 곤충은 오래 전부터 우리나라에서 간질환 치료제로 사용되어 왔으며 항암효과 및 세균 활성 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Kim and Kang, 2006). 굼벵이류는 전 세계적으로 3만 종 이상이 분포하고 있다(Mittal, 2000). 국내에서 약용으로 사용되는 굼벵이 종류는 8종이 기록되어 있으며 흰점박이꽃무지 (*Protaetia*

brevitarsis seulensis)는 우리나라 곤충 중 약용으로 가장 널리 사용되고 있다(Shin, 1986). 흰점박이꽃무지로부터 유래한 다양한 유용물질의 발견으로 인해 여러 분야에서 흰점박이꽃무지가 이용되고 있고 단백질 대체 자원으로 주목받고 있어 최근에는 사육 농가가 늘어나고 있는 추세이다. 농가에서 흰점박이꽃무지 사육 시 경제성과 사육 공간의 활용성을 높이기 위해 좁은 공간에 높은 밀도로 곤충을 사육하는 경우가 많다(Riddick and Wu, 2015). 그러나 한정된 공간에서 높은 밀도로 곤충을 사육할 경우 각종 곤충 병원성 질병에 감염될 확률이 높아지고, 감염 시 다른 개체로 쉽게 확산되어 집단 폐사 확률도 높아진다.

곤충에게 병원성을 나타내는 곰팡이(Entomopathogenic

Manuscript received 27 November 2019, revised 3 February 2020, revision accepted 12 February 2020

* Corresponding author: Tel: +82-63-238-2992,
E-mail: kaiko0214@korea.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

fungi)는 전 세계적으로 약 700종이 있으며 대표적인 곤충 병원성 곰팡이로는 *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii* 등이 있다(Goettel *et al.*, 2005). 이 중 녹강균(*Metarhizium anisopliae*)은 토양에 존재하는 곰팡이로 약 200여 종의 곤충에서 질병을 일으키는 병원균으로 알려져 있다(Roberts and St. Leger, 2004). 짙은 녹색을 띠는 녹강균의 포자는 곤충의 기문이나 체벽을 통해 곤충의 체내로 침입한다. 곤충 병원성 곰팡이는 곤충 큐티클을 뚫을 수 있는 단백질 분해 효소(protease), 키틴 분해 효소(chitinase), 지방 분해 효소(lipase) 등을 포함하는 여러 가지의 분해 효소를 생산하여 곤충의 체벽을 통과해 곤충의 체내로 들어간다(Saleem and Ibrahim, 2019).

곤충 병원성 곰팡이의 성장과 독성은 온도, 습도, 영양분, pH 등에 영향을 받는다(Athanassiou *et al.*, 2017; Indriyanti *et al.*, 2017). 특히 곤충 병원성 곰팡이의 포자는 높은 온도에 대한 안정성을 보이며(Lee *et al.*, 2017), 파밤나방과 배추좀나방에 대해 온도와 습도가 증가할수록 높은 치사율을 보이는 것으로 나타났다(Lee and Park, 2015). 곤충 병원성 곰팡이는 주로 해충에게 생물적 방제제로 사용하기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있으나(Shah and Pell, 2003; Anand *et al.*, 2009; Erlar and Ates, 2015), 곤충 대량 사육 시설에서 발생하는 곤충 병원성 곰팡이 발생 환경 조건에 대한 연구는 현재 부족한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 대표적인 약용 곤충인 흰점박이꽃무지(Protetia brevitarsis seulensis)에 대해 온도, 습도 조절을 통한 녹강균의 발생률을 비교하고, 흰점박이꽃무지 유충의 녹강균에 대한 노출 시기에 따른 민감도를 알고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 곤충 및 균주

실험에서 사용된 흰점박이꽃무지 유충은 국립농업과학원

곤충산업과에서 분양받아 사용하였다. 분양받은 유충의 사육 조건은 온도 25°C, 상대습도 60% 조건에서 참나무 발효 톱밥을 먹이로 공급하여 사육하였다. 사육 환경에 따른 곰팡이 병원성 검정을 위해 흰점박이꽃무지 3령 유충을 사용하였으며 유충의 무게는 개체 간의 편차를 줄이기 위해 1.5(±0.1)g의 유충을 사용하였다.

곤충 병원성 곰팡이인 녹강균(*Metarhizium anisopliae*)은 국립농업과학원 미생물은행(Korean agricultural culture collection, KACC)에서 분양받아 사용하였다(KACC 40969). 배양받은 균주는 SDAY (Sabouraud Dextrose Agar Yeast) 배지에 계대 배양하여 25±2°C 조건에서 4주간 배양한 뒤 사용하였다. 배양된 곰팡이 포자는 멸균수와 0.02% Tween 20을 혼합하여 포자현탁액으로 만들어 사용하였다. 포자현탁액은 발효 톱밥 100g에 5×10⁶ conidia mL⁻¹의 농도로 1mL씩 처리하여 유충 1개체씩 넣어 사육하였다. 대조구에는 1mL의 Tween 20을 처리하였다. 곰팡이 처리 후 1주일 후부터 녹강균 감염이 나타나기 시작하여 4주 동안 녹강균에 의해 죽은 유충의 치사율과 최초 감염 시기를 관찰하였다. 온도 실험의 경우 20°C, 30°C에서 실험기간인 4주 동안 녹강균 감염이 나타나지 않아 추가로 8주까지 관찰하였다. 유충의 녹강균 감염 여부는 녹강균 감염 단계에 따라 조금씩 달랐으나 유충의 몸이 딱딱하게 굳은 채로 죽거나 충체에 녹색의 녹강균 포자가 형성되어 있는 경우로 판단하였다(Fig. 1). 각 실험구별로 10개체씩 3반복하였다.

2. 사육 환경 조건에 따른 녹강균의 병원성

흰점박이꽃무지 사육 온도 변화에 따른 녹강균의 병원성 실험은 20°C, 25°C, 30°C의 조건에서 수행되었으며, 온도를 제외한 사육 환경은 동일한 조건(상대습도 50%, 톱밥수분함량 60%)에서 실험이 수행되었다. 온도 조절은 실험하는 방(450×280 cm)안의 온도를 냉난방기를 이용하여



Fig. 1. Process of *Metarhizium anisopliae* infection of *Protetia brevitarsis seulensis*.

조절하였다. 사육통에 녹강균을 처리한 발효톱밥과 흰점박이꽃무지 3령 유충을 넣어 사육하였고 1개체씩 각각 개별 사육하였으며 10개체씩 3반복하여 진행하였다.

상대습도(Relative humidity, RH) 변화에 따른 녹강균의 병원성 실험은 온도 25°C, 수분함량이 50%인 발효 톱밥의 조건에서 수행되었다. 뚜껑에 통기구(hole size: 40 mm, mesh: 0.053 mm)가 있는 개별 사육통(100×40 mm, SPL)에 녹강균이 처리된 발효 톱밥과 3령 유충을 함께 넣고 RH 40%, RH 50%, RH 60%, RH 70%에서 녹강균에 의한 유충의 치사율을 확인하였다. 상대습도 조절은 리빙 박스(60×40×30 cm)안에 녹강균을 처리한 유충 사육통을 넣은 뒤 각각의 리빙 박스 안에 가습기를 설치하여 습도를 조절하였다. 실험 설정 습도보다 상대습도가 높을 경우 가습기가 자동으로 작동을 멈출 수 있도록 단상전자접촉기(LS 산전, GMC-30P2)를 이용한 컨트롤러를 제작하여 습도를 조절하였다.

발효 톱밥 수분함량에 따른 녹강균의 병원성 실험은 온도 25°C, 상대습도 60% 조건에서 톱밥 수분함량을 40%, 50%, 60%로 조절하여 수행하였다. 발효 톱밥 수분함량 40%는 실험에서 사용된 발효 톱밥을 물과 섞기 전의 상태로 입자가 날릴 정도로 건조한 상태이며, 톱밥 수분함량 60%는 한 손으로 꼭 쥐었다 놓았을 때 발효 톱밥이 뭉쳐진 형태로 일반적으로 유충 사육 시 사용되는 톱밥이다. 녹강균이 처리된 발효 톱밥에 3령 유충을 넣어 실험하였으며, 발효 톱밥의 수분함량은 토양 수분함량 측정기를 이용하여 측정하였다. 실험 중에 손실되는 톱밥의 수분은 3~4일 간격으로 확인하였고 건조한 톱밥은 유충의 배설물과 함께 80% 이상 제거한 뒤 각 조건의 수분함량에 맞추어 제조한 톱밥을 사육통에 추가로 제공하여 실험 조건을 유지하였다.

녹강균에 대한 노출 시기에 따른 흰점박이꽃무지의 민감도 실험은 온도 25°C, 상대습도 60%, 톱밥 수분함량 50% 조건에서 수행되었다. 녹강균에 대한 노출 시기를 다르게 하기 위해 흰점박이꽃무지의 1령, 2령, 3령 유충으로 단계를 나누어 실험하였다. 녹강균이 처리된 발효 톱밥에 각 단계의 흰점박이꽃무지를 함께 넣어 녹강균에 의한 치사율을 측정하였다. 모든 실험에서 처리구와 동일한 사육 환경 조건으로 대조구에 대한 실험을 함께 수행하였으며, 10개체씩 3반복하였다.

3. 데이터 분석

사육 환경 조건에서 녹강균 처리에 따른 흰점박이꽃무지의 치사율을 비교하기 위해 one-way ANOVA 분석을 통

해 각 평균 간의 유의성을 비교하였으며(PAST, version 2.17c. Hammer *et al.*, 2001), $p < 0.05$ 수준에서 Tukey's HSD test를 이용하여 그룹 간의 유의성 차이를 검증하였다. 결과에서 흰점박이꽃무지 유충의 치사율은 평균±표준편차(SD), 치사율은 평균±표준오차(SE)로 표기하였다.

결 과

1. 사육 온도 조건에 따른 녹강균의 병원성

사육 온도에 따른 녹강균의 병원성은 4주 동안 관찰한 결과 20°C, 25°C, 30°C 온도 조건 중 25°C에서 녹강균에 의해 치사한 유충이 가장 먼저 나타났으며, 녹강균 감염에 의한 흰점박이꽃무지 유충의 전체 치사율 또한 가장 높았다. 흰점박이꽃무지 유충에 녹강균 처리 후 25°C 조건에서 20(±2.9)일만에 녹강균 감염이 나타나기 시작하였고 전체 치사율은 40(±11.5)%로 확인되었다. 20°C와 30°C에서 녹강균에 감염된 유충이 나타나지 않았으나 4주 이후의 관찰에서 20°C 조건에서 51(±8.1)일만에 녹강균 감염이 나타난 것을 확인하였다. 30°C 조건에서는 실험 기간 동안 녹강균 감염이 나타나지 않았으나 실험 시작 23(±2.3)일 만에 3령 유충이 번데기로 변하는 용화가 나타났다(Table 1). 모든 온도 실험 대조구에서는 녹강균 감염이 나타나지 않았다.

2. 사육 상대습도 조건에 따른 녹강균의 병원성

주요 사육 조건 중 하나인 상대습도 차이에 따른 녹강균의 병원성은 상대습도 40%, 50%, 60%, 70%의 조건으로 실험한 결과 상대습도 40%에서 흰점박이꽃무지의 치사율이 가장 높고($F = 29.79$, $p < 0.01$) 상대습도 70%, 60%, 50%에서는 치사율에 차이를 보이지 않았다(Fig. 2). 상대습도 40%에서 녹강균의 병원성이 가장 먼저 발생하였다. 상대습도 실험 시 대조구에서 상대습도 40%와 70%에서 흰점박이꽃무지 유충의 치사율 나타났으며 각각 40(±15.3)%, 50(±15.3)%였다. 이 중 상대습도 40%에서는 녹

Table 1. The first occurrence date of infection and pupation of *Protaetia brevitarsis seulensis* under various rearing temperatures following *Metarhizium anisopliae* treatment. Data presented as mean ± SD values.

	Infection (day ± SD)	Pupation (day ± SD)
20°C	51 (± 8.1)	—
25°C	20 (± 2.9)	—
30°C	—	23 (± 2.3)

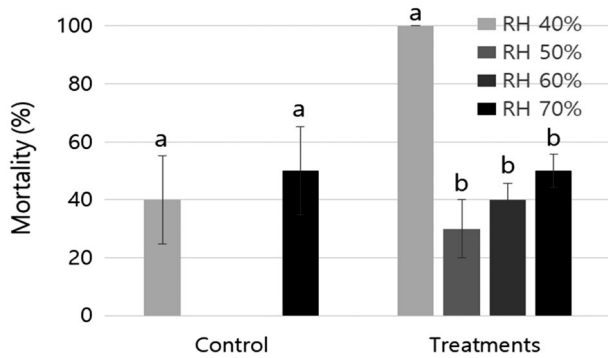


Fig. 2. Mortality rate of 3rd instar *Protactia brevitarsis seulensis* larvae infected by *Metarhizium anisopliae* and reared under different relative humidities. Bars indicate mean \pm SE values. Means with different letters within each condition are significantly different ($p < 0.05$).

강균에 의한 유충의 치사가 아닌 동종 포식, 수분 스트레스 등 다른 원인에 의한 치사가 나타났으나 상대습도 70%에서는 대조구임에도 불구하고 녹강균에 의해 죽은 개체가 확인되었다. 상대습도 70% 대조구에서 유충의 치사율은 50%였으며 이 중 녹강균에 감염되어 죽은 유충은 36%로 나타났다.

3. 톱밥 수분함량 변화에 따른 녹강균의 병원성

흰점박이꽃무지기에 대한 녹강균의 병원성은 톱밥 수분함량에 따라 다르게 나타났다. 녹강균의 병원성에 의한 흰점박이꽃무지의 치사율은 톱밥 수분함량이 40%에서 53.3%로 가장 높았고 50%에서 40 (± 11.5), 60%에서 20 (± 20)% 순으로 높게 나타나 톱밥 수분함량이 높을 때 녹강균에 의한 치사율이 상대적으로 낮았다(Fig. 3). 톱밥 수분함량 40%와 50% 사이에 흰점박이꽃무지의 치사율에 차이가 없었지만, 60%에서 치사율이 유의하게 낮았다($F=6.7$, $p=0.001$). 톱밥 수분함량 실험에서 녹강균의 병원성은 발효 톱밥에 처리 후 2주부터 나타나기 시작하였으며, 톱밥 수분함량 40%에서 가장 먼저 나타났고 50%, 60% 순서로 확인되었다. 대조구는 톱밥 수분함량 40%에서 흰점박이꽃무지의 치사율이 6.7%로 나타났으나 나머지 조건에서는 녹강균의 병원성이 나타나지 않았다

4. 녹강균 노출 기간에 따른 흰점박이꽃무지의 민감도

흰점박이꽃무지의 녹강균 노출 시기에 따른 민감도를 확인하기 위해 1령, 2령, 3령 유충을 대상으로 실험한 결과 녹강균에 대한 1령 유충의 치사율이 36.7 (± 3.3)%로 가장

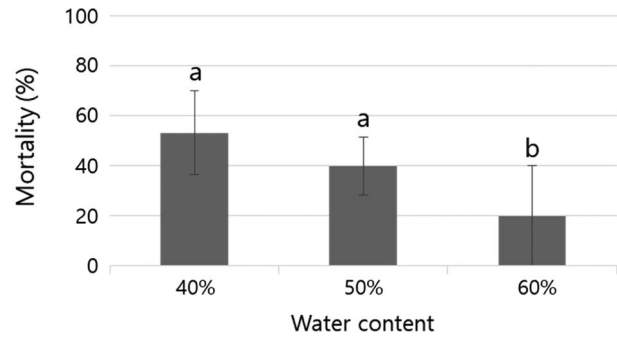


Fig. 3. Mortality rate of 3rd instar *Protactia brevitarsis seulensis* larvae infected by *Metarhizium anisopliae* and reared under different water content in sawdust conditions. Bars indicate mean \pm SE values. Means with different letters within each condition are significantly different ($p < 0.05$).

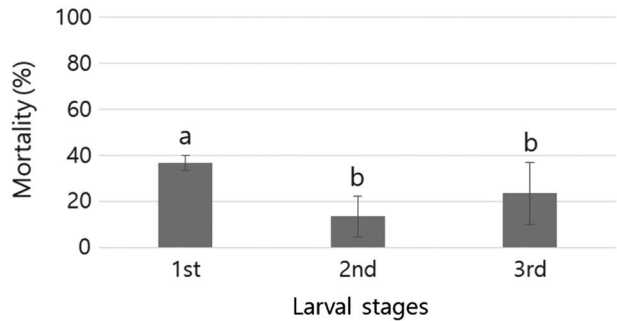


Fig. 4. Mortality rates of 1st, 2nd, and 3rd instar *Protactia brevitarsis seulensis* larvae infected by *Metarhizium anisopliae*. Bars indicate mean \pm SE values. Means with different letters within each condition are significantly different ($p < 0.05$).

높았고($F=12.04$, $p=0.001$), 3령 23.3 (± 13.3)%, 2령 13.3 (± 8.8)% 순으로 나타났으나 3령과 2령 유충의 치사율에는 차이가 없었다(Fig. 4). 녹강균의 병원성은 1령 유충에서 17 (± 0.0)일만에 나타났으며, 3령 유충 22.7 (± 4.0)일, 2령 유충 23.5 (± 6.4)일 순으로 확인되어 녹강균에 노출되었을 때 영기가 어린 유충일수록 녹강균 감염에 대한 민감도가 상대적으로 높고, 녹강균 발생 기간이 빨라지는 것을 확인할 수 있었다. 대조구에 대한 유충의 치사율은 1령 유충에서 6.7 (± 3.3)%, 2령 유충에서 3.3 (3.3)%로 나타났고 3령 유충에서는 치사율이 나타나지 않았다.

고 찰

산업곤충 사육농가에서 대량 사육 시 주로 발생하는 곤

충 병원성 곰팡이의 발생은 온도, 습도와 같은 사육 환경과 밀접한 관련이 있다(Luz and Fargues, 1997). 곤충 병원성 곰팡이 성장의 최적 온도는 25°C~30°C인 것으로 알려져 있으나(Hall, 1981), 이번 연구 결과에서는 온도 조건 30°C에서 흰점박이꽃무지기에 대한 녹강균 병원성이 나타나지 않았다. 또한 온도 조건 20°C에서 흰점박이꽃무지의 녹강균 감염이 25°C보다 1개월 이상 지연되는 것을 확인할 수 있다. 온도는 흰점박이꽃무지 사육 시 가장 중요한 요인 중 하나로 낮은 온도는 곤충의 발달을 느리게 한다(Kim *et al.*, 2005). 또한 Hywel-Jones and Gillespie (1990) 연구에 따르면 20°C에서 녹강균 포자의 발아율과 성장율은 25°C와 30°C에 비해 낮고, 성장 시간도 느린 것으로 나타났다. 따라서 낮은 사육 온도 조건은 흰점박이꽃무지의 성장뿐만 아니라 녹강균의 성장을 지연시키는 것으로 생각된다. 반면 높은 온도는 흰점박이꽃무지의 성장을 빠르게 하며 유충의 용화를 촉진시킨다. 25°C에서 흰점박이꽃무지에 녹강균 처리 시 병원성은 1~2주 이후에 나타나는데 30°C의 높은 온도는 유충의 빠른 성장으로 인해 녹강균 포자 형성에 부적절한 환경을 제공하였을 것으로 추측된다(Sharififard *et al.*, 2012).

상대습도와 발효 톱밥의 수분함량은 흰점박이꽃무지 유충의 생존과 성충의 산란율에 직접적인 영향을 미치는 주요 요인이다. 이번 연구 결과에서 녹강균 처리 시 가장 낮은 상대습도인 40%에서 녹강균에 의한 흰점박이꽃무지 유충의 치사율이 가장 높았고, 마찬가지로 톱밥 수분함량이 낮은 40%, 50%에서 높은 치사율을 보였다. 곤충 병원성 곰팡이의 최적 성장 습도는 RH 97%로 매우 높고 습한 환경에서 잘 자라지만(Gillespie and Crawford, 1986) 이번 연구에서 녹강균은 습도가 낮은 조건에서 높은 감염률을 보였다. 이번 연구 결과와 비슷하게 Sharififard *et al.* (2012)의 연구에서는 녹강균에 대한 집파리류의 치사율이 낮은 습도(RH 45%)와 높은 습도(RH 75%)에서 차이가 없어 녹강균 감염은 상대습도에 대해 양의 상관관계를 보이지 않았다. Akbar *et al.* (2004)의 연구에서도 마찬가지로 낮은 습도(RH 54%)와 높은 습도(RH 75%)에서 곤충 병원성 곰팡이인 백강균(*Beauveria bassiana*)에 대한 거저리류의 치사율이 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 낮은 상대습도와 낮은 톱밥의 수분함량은 흰점박이꽃무지에게 수분 스트레스를 일으켜 녹강균에 대한 민감도를 높일 수 있으며 건조 스트레스에 대해 곤충의 생리적 변화를 발생시키고 세포 및 체액 방어를 손상시킬 수 있다(Lord, 2005). 또한 수분 스트레스는 곤충의 표피의 화학적 성질 변화를 유발하여 곰팡이 포자의 부착, 성장, 침투 능력에 영향을 주거나, 곰팡이 감염에 유리하도록 곤충의 행동을 바꿀 수

있다(Athanassiou *et al.*, 2017). 한편 대조구 실험 중 상대습도 70%에서 녹강균에 의한 유충의 높은 치사율이 나타났다. 높은 상대습도는 곰팡이에 감염된 유충 사체에서 포자형성을 증가시키고 더 많은 접종원을 생성하여 주변의 다른 유충에게 곰팡이 전염을 유도할 수 있다(Sharififard *et al.*, 2012). 따라서 상대습도 70%에서 녹강균을 처리한 유충과 함께 실험한 대조구에서 상대습도가 낮은 대조구보다 녹강균 접종원에 대한 노출 기회가 많았을 것이며 녹강균 감염에 의한 유충의 높은 치사율로 이어졌을 것으로 생각된다.

흰점박이꽃무지 성장 연구에서 1령 유충에서 치사율이 가장 높고, 2령과 3령 유충에서는 치사율이 매우 낮아 유충이 어릴수록 녹강균에 대한 민감도가 상대적으로 높게 나타났다. 이번 연구 결과와 비슷하게 파밤나방에게 녹강균 처리 후 생육 단계별 감염률을 확인한 결과 어린 유충일수록 감염률이 높아지고 노령 유충일수록 감염률이 낮아지는 것으로 확인되었다(Han *et al.*, 2014). 마찬가지로 왕담배나방(*Helicoverpa armigera*)의 성장 단계에 따라 녹강균과 백강균을 처리했을 때 영기가 어릴수록 곰팡이 감염에 의한 치사율이 높았고(Douro-Kpindou *et al.*, 2012), 뿔나방류(*Phthorimaea operculella*)의 유충은 노령에 비해 영기가 어린 유충이 백강균에 더 민감한 것으로 나타났다(Hafez *et al.*, 1997). 곤충 병원성 곰팡이는 유충의 지방체 세포를 파괴하여 유충의 영양분 합성 능력과 저장 능력을 잃게 한다(Mitchell and Cali, 1994). 상대적으로 먹이를 영양분으로 전환하는 능력이 떨어지는 어린 유충은 곰팡이에 의한 생리적인 변화에 더욱 민감할 것으로 생각된다(Hussain *et al.*, 2009). 또한 곤충은 생육 단계에 따라 외골격의 형태가 변하고 체액성, 세포성 방어물질의 활성 정도가 다르기 때문에 유충의 영기에 따라 병원성 곰팡이에 대한 민감도가 다르게 나타나는 것으로 추측된다(Han *et al.*, 2014).

일반적인 흰점박이꽃무지 사육 조건은 온도 25~30°C, 상대습도 60~80%의 조건에서 사육되고 있다(Park *et al.*, 1994; Kim *et al.*, 2005; Song *et al.*, 2017). 곤충 사육농가에서 흰점박이꽃무지 사육 시 녹강균에 의한 감염을 줄이기 위해서는 상대습도가 너무 낮거나 높은 환경에서 유충을 사육하지 않도록 하고 톱밥의 수분함량이 건조하지 않게 유지하는 것이 중요할 것으로 생각된다. 또한 이번 연구에서 실험한 온도와 습도 조건 이외에도 다양한 요인에 따라 흰점박이꽃무지에 대한 녹강균의 병원성이 다르게 나타날 수 있어 앞으로의 연구에서 영양 성분, 톱밥의 pH, 항균물질 첨가 등 다양한 환경요인에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

Metarhizium anisopliae (녹강균)는 흰점박이꽃무지에게 질병을 일으키는 곤충 병원성 곰팡이 중 하나이다. 이러한 곰팡이의 병원성은 환경 조건에 의해 영향을 받는다. 녹강균에 대한 흰점박이꽃무지 유충의 민감성을 알기 위해 온도 (20°C, 25°C, 30°C), 상대습도 (RH 40%, 50%, 60%, 70%), 톱밥 수분함량 (40%, 50%, 60%)이 다른 사육 조건에서 유충의 치사율을 확인하였다. 녹강균을 처리한 흰점박이꽃무지 유충의 치사율은 온도에 따라 차이가 나타나지 않았으나, 낮은 상대습도 (RH 40%)와 톱밥 수분함량 (40%)에서 유충의 치사율이 높았다. 녹강균에 대한 1령, 2령, 3령 유충의 치사율은 1령에서 가장 높게 나타났다.

저자정보 김남희 (국립농업과학원 전문연구원), 김은선 (국립농업과학원 농업연구사), 송명하 (국립농업과학원 전문연구원), 광규원 (국립농업과학원 전문연구원), 박관호 (국립농업과학원 농업연구사), 김용순 (국립농업과학원 농업연구관)

저자기여도 실험 디자인 및 주저자: 김남희, 원고 논의: 김은선, 통계분석 조언: 송명하, 기타: 광규원, 박관호, 연구 책임자: 김용순

이해관계 본 연구에 참여한 모든 저자들은 학술출판에 있어 어떠한 이해충돌의 여지가 없습니다.

연구비 이 연구는 국립농업과학원의 기관고유사업 (과제번호: PJ014215012020)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Akbar, W., J.C. Lord, J.R. Nechols and R.W. Howard. 2004. Diatomaceous earth increases the efficacy of *Beauveria bassiana* against *Tribolium castaneum* larvae and increases conidia attachment. *Journal of Economic Entomology* **97**: 273-280.
- Anand, R., B. Presad and B.N. Tiwary. 2009. Relative susceptibility of *Spodoptera litura* pupae to selected entomopathogenic fungi. *Biocontrol* **54**: 85-92.
- Athanassiou, C.G., N.G. Kavallieratos, C.I. Rumbos and D.C. Kontodimas. 2017. Influence of temperature and relative humidity on the insecticidal efficacy of *Metarhizium anisopliae* against larvae of *Ephesia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) on wheat. *Journal of Insect Science* **17**: 1-7.
- Douro-Kpindou, O.K., D.A. Djegui, I.A. Glitho and M. Tamò. 2012. Sensitivity of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to the entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in laboratory. *Journal of Agriculture and Biology Science* **7**: 1007-1015.
- Erler, F. and A.O. Ates. 2015. Potential of two entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Coleoptera: Scarabaeidae), as biological control agents against the June beetle. *Journal of Insect Science* **15**: 44.
- Gillespie, A.T. and E. Crawford. 1986. Effect of water activity on conidial germination and mycelial growth of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces* spp. and *Verticillium lecanii*, p. 254. In fundamental and applied aspects of invertebrate pathology (Proceedings of the fourth international colloquium of invertebrate pathology) (Samson, R.A., J.M. Vlcek and D. Peters, eds.).
- Goettel, M.S., J. Eilenberg and T. Glare. 2005. Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations, p. 361-405. In: Molecular insect science (Gilbert, L.K., K. Iatrou, S.S. Gill, eds.). Elsevier, New York, USA.
- Hafez, M., F.N. Zaki, A. Moursy and M. Sabbour. 1997. Biological effects of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* on the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Seller). *Journal of Pest Science* **70**: 158-159.
- Hall, R.A. 1981. The fungus *Verticillium lecanii* as a microbial insecticide against aphids and scales, p. 483-498. In: Microbial control of pests and plant diseases 1970-1980 (Burgess H.D. ed.). Academic press, London.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper and P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleaeontologica Electronica* **4**: 1-9.
- Han, J.H., J.J. Kim and S.Y. Lee. 2014. Insecticidal activity of *Metarhizium anisopliae* FT83 against the different stages of beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Korean Journal of Pesticide Science* **18**: 417-421.
- Hussain, A., M.Y. Tian, Y.R. Ho and S. Ahmed. 2009. Entomopathogenic fungi disturbed the larval growth and feeding performance of *Ocinara varians* (Lepidoptera: Bombycidae) larvae. *Insect Science* **16**: 511-517.
- Hywel-Jones, N.L. and A.T. Gillespie. 1990. Effect of temperature on spore germination in *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. *Mycological Research* **94**: 389-392.
- Indriyanti, D.R., P. Widiyaningrum, Haryuni, M. Slamet and Y.A. Mareta. 2017. Effectiveness of *Metarhizium anisopliae* and entomopathogenic nematodes to control *Oryctes rhinoceros* larvae in the rainy season. *Pakistan Journal of Biological Sciences* **20**: 320-327.
- Kim, H.G. and K.H. Kang. 2006. Imago's flight and larval activities of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Scarabaeidae) and *Allomyria dichotoma* (Coleoptera: Dynastinae). *Korean Journal of Applied Entomology* **45**: 139-143.
- Kim, H.G., K.H. Kang and C.Y. Hwang. 2005. Effect of some environmental factors on oviposition and developmental characteristic of *Protaetia brevitarsis* and *Allomyria dichotoma*. *Korean Journal of Applied Entomology* **44**: 283-

- 286.
- Lee, J.B. and Y.J. Park. 2015. Insecticidal effect of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* ANU1 to *Spodoptera exigua* and *Plutella xylostella* by different temperature and humidity conditions. *The Korean Society of Pesticide Science* **19**: 125-133.
- Lee, M.R., J.C. Kim, S.J. Lee, S. Kim, S.J. Lee, S.E. Park, W.H. Lee and J.S. Kim. 2017. Assessment of physiological activity of entomopathogenic fungi with insecticidal activity against locusts. *Korean Journal of Applied Entomology* **56**: 301-308.
- Lord, J.C. 2005. Low humidity, moderate temperature, and desiccant dust favor efficacy of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) for the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bruchidae). *Biological Control* **34**: 180-186.
- Luz, C. and J. Fargues. 1997. Temperature and moisture requirement for conidial germination of an isolate of *Beauveria bassiana*, pathogenic to *Rhodnius prolixus*. *Mycopathologia* **138**: 117-125.
- Mitchell, M.J. and A. Cali. 1994. *Vairimorpha necatrix* (Microsporidia: Burenellidae) affects growth and development of *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae) raised at various temperatures. *Journal of Economic Entomology* **87**: 933-940.
- Mittal, I.C. 2000. Survey of Scarabaeid (Coleoptera) fauna of Himanchal Pradesh (India). *Journal of Entomological Research* **24**: 133-141.
- Park, H.Y., S.S. Park, H.W. Oh and J.I. Kim. 1994. General characteristics of the white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis* reared in the laboratory. *Korean Journal of Entomology* **24**: 1-5.
- Riddick, E.W. and Z. Wu. 2015. Effects of rearing density on survival, growth, and development of the ladybird *Coleomegilla maculata* in culture. *Insects* **6**: 858-868.
- Roberts, D.W. and R.J. St. Leger. 2004. Metarhizium spp., Cosmopolitan Insect-pathogenic Fungi: Mycological Aspects. *Advances in Applied Microbiology* **54**: 1-70.
- Saleem, A.R. and R.A. Ibrahim. 2019. Assessment of the virulence and proteolytic activity of three native entomopathogenic fungi against the larvae of *Oryctes Agamemnon* (Burmeister) (Coleoptera: Scarabaeidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* **29**: 21.
- Shah, P.A. and J.K. Pell. 2003. Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Applied Microbiology and Biotechnology* **61**: 413-423.
- Shariffard, M., M.S. Mossadegh and B. Vazirianzadeh. 2012. Effects of temperature and humidity on the pathogenicity of the entomopathogenic fungi in control of the house fly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) under laboratory conditions. *Journal of Entomology* **9**: 282-288.
- Shin, M.K. 1986. Clinical traditional herbalogy. Young Lim Press Co. Seoul (Korea). p. 482.
- Song, M.H., M.H. Han, S. Lee, E.S. Kim, K.H. Park, W.T. Kim and J.Y. Choi. 2017. A field survey on edible insect farms in Korea. *Journal of Life Science* **27**: 702-707.