

담배가루이(*Bemisia tabaci*)에서 분리한 곤충병원성진균의 동정 및 병원성 검정

박현로* · 류영현 · 연일권 · 남성희¹ · 김동근 · 한명세²

경상북도농업기술원, ¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 곤충산업과, ²경북대학교 농업생명대학 천연섬유학과

Identification and Characterization of Entomopathogenic Fungi Isolated from *Bemisia tabaci* in Korea

Hyun-rho Park*, Young-hyun Ryu, Il-kyun Yeon, Sung-hee Nam¹, Dong-geun Kim and Myung-sae Han²

Gyeongbuk Agricultural Research & Extension Services, Daegu, 702-708, Korea

¹Applied Entomology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

²Department of Natural Fiber Science, Kyungpook National University Daegu, 702-210, Korea

ABSTRACT: Entomopathogenic fungi were isolated from *Bemisia tabaci* in an Oriental melon field, and their growth characteristics, factors related to a natural outbreak, and infectivity against *Bemisia tabaci*, *Tetranychus urticae*, and *Frankliniella intonsa* were investigated. The isolates had erect conidiophores bearing whorls of 4-6 phialides with a swollen base where cylindrical conidia of 3.0-3.4 μm were attached. The isolates were identified as *Isaria fumosorosea* on the basis of morphological characteristics and an ITS sequence with 99% similarity. *I. fumosorosea* IFs-08 grew well on Sabouraud dextrose agar+yeast extract medium(3.2 mm/day/24 $^{\circ}\text{C}$); it grew better at 35 $^{\circ}\text{C}$ than at 15 $^{\circ}\text{C}$. The isolates of *I. fumosorosea*-IFs were highly infective and killed 93.9-96.7% *B. tabaci*, 84.9-92.0% *T. urticae*, and 81.5-84.4% *F. intonsa* in bioassay, whereas three isolates (*Isaria tenuipes*, *Isaria farinosa*, and *Isaria fumosorosea*) from KACC showed a low infectivity of 10-20%. To the best of our knowledge, this is the first report of *I. fumosorosea* isolated from *B. tabaci* in Korea.

Key words: Entomopathogenic fungi, *Bemisia tabaci*, *Isaria fumosorosea*, Natural outbreak, Bioassay

초록: 자연 감염된 담배가루이로부터 곤충병원성진균을 분리 동정하고, 이 균주에 대하여 배양특성, 자연발병 요인, 그리고 주요 온실해충인 담배가루이, 점박이응애, 대만총채벌레에 대한 살충력을 검정하였다. 분리 균주의 형태적 특성은 직립한 분생자병에 유생으로 호리병 형태의 4-6개 phialide를 지녔고, 분생포자의 크기는 3.0-3.4 μm 이었다. 분리 균주의 rDNA의 ITS영역 염기서열 분석에서 *Isaria fumosorosea* (AF461747)와는 99%의 높은 염기서열 유사도를 보였다. Potato dextrose agar, Sabouraud maltose agar+yeast extract 그리고 Sabouraud dextrose agar+yeast extract 배지에서 IFs 균주는 24 $^{\circ}\text{C}$ 의 SDAY 배양에서 균사 성장이 가장 양호하였으며, 15 $^{\circ}\text{C}$ 보다는 35 $^{\circ}\text{C}$ 의 고온에서 균사 성장이 좋았다. *I. fumosorosea* IFs-08, -09 균주는 담배가루이에 대하여 각각 96.7, 93.9%의 높은 살충율을 보였으며, 점박이응애(92.0, 84.9%) 그리고 대만총채벌레(84.4, 81.5%)에서도 80-90%정도의 살충율을 보인 반면 KACC로부터 분양받은 *Isaria tenuipes*, *Isaria farinosa*, *Isaria fumosorosea* 균주들은 10-20% 내외의 낮은 살충율을 나타내었다.

검색어: 곤충병원성진균, 담배가루이, *Isaria fumosorosea*, 자연발병, 병원성 검정

담배가루이는 노린재목(Hemiptera)의 가루이과(Aleyrodidae)에 속하는 해충으로 1889년 그리스에서 처음 보고되었다. 이

해충은 목화, 유채, 박과, 가지과 등 약 900종 이상의 광범위한 기주를 가지며(Goolsby et al., 2005), 100여종 이상의 식물바 이러스를 매개하는 난방제 해충이다(Jones, 2003).

국내에는 1998년에 침입하였고, 2007년에는 경북지역의 참외와 토마토에서 대발생하여 생산량 감소와 품질 저하로 1,500 억원 정도의 경제적 손실을 가져온 것으로 추정된다. 담배가루

*Corresponding author: parkhello@korea.kr

Received December 4 2012; Revised September 13 2013

Accepted October 7 2013

이 방제에는 후라니코티닐계의 합성농약을 주로 사용하고 있는데 이 약제의 지속적인 사용으로 약제 저항성 발달, 환경오염 등 여러 가지 문제점이 야기되고 있다. 따라서 최근에는 친환경 농업에 대한 관심이 고조되면서 천적, 미생물농약 등을 이용한 연구가 관심을 받고 있다.

곤충병원성 진균은 대상 해충의 저항성 개체 출현 가능성이 적으며, 감염된 해충의 포자로부터 2차 감염을 통한 지속적인 방제가 가능하고, 다른 방제수단과 혼용이 가능하며, 또한 잔류 독성이 없는 장점을 갖고 있다. 곤충병원성 진균은 전 세계적으로 90속, 700여종이 알려져 있으며, 그 중 *Beauveria*, *Isaria*, *Lecanicillium*, *Metarhizium*, *Nomuraea*, *Tolypocladium* 등 40 속 정도가 중요한 곤충 천적인데(Goettel. et al., 2005), 담배가루이의 주요천적은 *Isaria*, *Beauveria*, *Lecanicillium* 속이 있다(Faria and Wright, 2001).

담배가루이가 대발생한 경북 성주의 참외 시설재배지를 중심으로 담배가루이에 대한 토착 곤충병원성진균을 수집하기 위하여 2008년부터 2009년까지 현지 조사를 실시하였다. 조사 중 곤충병원성 진균에 집단 감염된 담배가루이를 발견하고 자연발병 원인, 균주 동정 및 생육특성 그리고 분리된 균주의 주요해충에 대한 기주범위를 조사하였다.

재료 및 방법

자연 감염된 담배가루이 수집, 분리 및 균주의 형태 관찰

본 연구에 사용된 곤충병원성 진균은 2008년 9월 경북 성주군 대가면(위도 35° 53'10.96"N, 경도 128° 11'64.10"E) 참외 시설재배지와 2009년 11월 경북 성주군 대가면 성주과채류시험장(위도 35° 52'45.25"N, 경도 128° 10'38.65"E) 가지 시설재배지에서 자연 감염된 담배가루이(*Bemisia tabaci*) 개체(Fig. 1-A)로부터 수집하였다. 주변 환경은 산과 논으로 둘러싸인 저지대이며, 참외시설재배지는 내부 환기가 잘되고 오랜 동안 방치된 곳으로 앞에는 저밀도의 담배가루이가 서식하고, 여러 시설하우스 중 한 동에서 참외 줄기의 첫 번째와 세 번째 마디 사이의 잎 뒷면에 엽당 100~300여담배가루이 사충이 1.5 × 2.5 m 면적에 걸쳐 집단 감염된 곳에서 수집되었다. 수집한 기주 잎은 비닐 팩에 넣은 후 즉시 실험실로 운반하고, -20~5°C 저장고에 보관하면서 균주 분리에 사용하였다. 집단 자연발병의 시기와 원인 분석을 위하여 농촌진흥청 농업기상정보 서비스 자료(2008. 9. 1~9. 30, 성주)를 이용하였으며, 또한 현지 농가의 재배기술에 대한 문답 조사를 수행하였다.

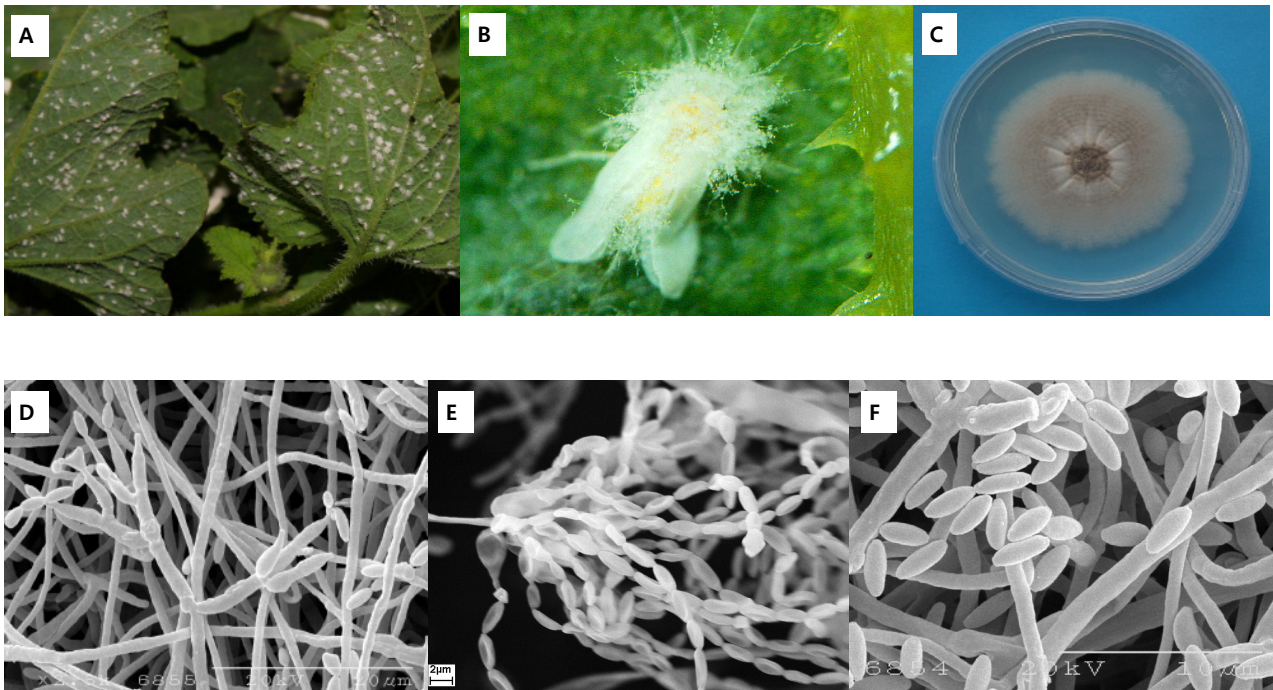


Fig. 1. Morphological characteristics of *Isaria fumosorosea* IFs-08. A and B: Adults of *Bemisia tabaci* infected with *I. fumosorosea* IFs-08 on leaves of the Oriental melon, C: *In vitro* culture of IFs-08 that showed a gray yellowish pink color on potato dextrose agar (PDA) after 14 days of cultivation at 24 ± 1°C, D: Conidiophores and phialides with swollen bases and prominent necks (bar = 20 μm), E: Conidial chains on the top of a phialide (bar = 2 μm), F: Conidia observed under an SEM (bar = 10 μm).

균주 분리는 이병된 담배가루이 개체를 70% 에탄올에서 5~10초간 침지 소독한 후 멸균 증류수로 2회 세척한 다음 필터 종이 위에서 건조 후 세척하였고, SDA (Sabouraud dextrose agar, Difco, USA; dextrose 40 g/L, casein 10 g/L, agar 15 g/L) 를 기본으로 한 배지에 2 g/L의 yeast extract (Difco, USA)와 200 mg의 streptomycin, 100 mg의 tetramycin을 첨가하여 제조한 배지 위에 미리 준비된 세척 시료를 놓은 후 7일간 배양하여 균사체를 1차 분리하였다. 분리된 균주는 PAD (Potato dextrose agar, Difco, USA) 배지상에 다시 이식한 후 24±1 °C에서 14일 동안 배양하였다.

형태적 관찰에 사용된 균주는 7~14일 동안 배양한 것으로 하였으며, 균사, 분생자병, 분생포자, 분생자경, 경자, 분생자병속 등을 위상차현미경(OLYMPUS AX70, Japan)과 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 제작된 10여개 시료를 2회 3반복으로 관찰하였다. SEM시료 제작은 배지를 5×5 mm 크기로 자른 후 Karnovsky 용액에 고정시킨 다음 0.05M Cacodylate 완충액으로 10분 동안 3회 세척하고, 1% Osmic Acid로 120분 동안 2차 고정하였으며, 고정된 시료는 다시 0.05 M Cacodylate 완충액으로 10분 동안 3회 세척한 다음 50, 75, 90, 95, 100%의 ethanol로 각각 40분간 탈수하고 amylocetate로 치환하여 critical point dryer로 건조한 후에 gold-palladium으로 coating한 다음 주사전자현미경(HITACH S-2460N, Japan)으로 관찰하였다.

DNA 염기서열 분석에 의한 균주 동정

PDA배지에서 배양한 균사체 시료 100 mg에 lysis buffer (Tris 50 mM, EDTA 20 mM, NaCl 1.5 M, SDS 1%) 1 ml를 첨가한 후 소형 플라스틱 봉으로 세포벽을 붕괴하였다. 이 현탁액을 60 °C 항온수조에서 30분간 처리 후 상등액을 chloroform으로 2회 추출하여 원심분리한 다음 100%에탄올로 상등액의 핵산을 침전시켜 건조 후 TE buffer (10 mM Tris-HCl, 10 mM EDTA, pH8.0)에 녹여 PCR에 사용하였다.

PCR primers는 ITS1 (5-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3)과 ITS4 (5-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3)를 사용하여 ITS region I, 5.8S rDNAs, ITS region II 그리고 28S rDNA 일부를 증폭하는데 이용하였으며(White et al., 1990), PCR은 Mygenie Thermal Block (BioNeer, Korea) 기기를 이용하여 반응시켰다. 증폭반응은 initial denaturation이 94 °C에서 4분간, 그리고 30 cycle의 94 °C에서 60초간 denaturation과정으로, annealing 온도는 56 °C에서 40초간, extension은 72 °C에서 70초로 하였으며, 이 후 72 °C에서 10분간 잔여 합성반응을 실시하

였다. 이렇게 얻어진 PCR 증폭물은 2% agarose gel에서 전기영동하여 예상되는 크기의 PCR 산물을 잘라낸 후 Gel Purification Kit (Bioneer, Korea)로 정제하였다. 결정된 염기서열은 Clustal X (version1.81)로 정렬한 후 neighbor joining method으로 genetic distance values를 결정하였으며, Treeviews (version32.0) 프로그램을 이용하여 phylogenetic tree를 구성하였다.

분리 균주의 온도 및 배지에 따른 성장률 비교

PDA배지에서 7일 동안 배양한 IFs-08 (*Isaria fumosorosea*) 균주를 직경 3 mm로 자른 후 PDA, SDAY (Sabouraud dextrose agar + yeast extract, Difco, USA; dextrose 40 g, casein 10 g, agar 15 g, yeast extract 2 g/L), SMAY (Sabouraud maltose agar + yeast extract, Difco, USA; maltose 40 g, casein 10 g, agar 15 g, yeast extract 2 g/L) 배지에 접종한 다음 15, 20, 24, 27, 그리고 35 °C의 성장상에서 암조건으로 14일 동안 배양하여 균사체의 성장 및 직경을 6plate 3회, 3반복으로 조사하였다.

균주의 병원성 검정

수집한 IFs 곤충병원성진균과 KACC로부터 분양받은 1속 3종을 이용하여 담배가루이(*Bemisia tabaci*), 점박이응애(*Tetranychus urticae*), 대만총채벌레(*Frankliniella intonsa*)의 각 2~3령 약충을 대상으로 살충력 검정을 수행하였다. 해충은 아크릴로 제작한 40×90×40 cm의 사육용기 내에서 1개월 정도 키운 참외의 잎에 담배가루이와 점박이응애 성충을 방사하고 산란을 유도한 후에 3일이 지나서 방사한 성충을 제거하고 24±1 °C, 16/8 시간(명/암) 조건으로 실내 곤충사육실에서 사육하였다. 대만총채벌레는 아크릴 사육용기(7×7×20 cm, SPL)에 이식한 소엽맥문둥(*Ophiopogon japonicus*)에서 담배가루이와 동일한 조건으로 사육한 후에 2~3령 약충이 된 것을 검정에 사용하였다.

모든 균주는 PDA배지에서 각각 계대 배양한 colony를 SDAY 배지에 이식하고, 24±1 °C, 14/10시간(명/암) 조건으로 2주 동안 배양 후 포자를 수확하였다. 수확한 포자는 0.02% Tween80 용액에 넣고 완전히 현탁한 다음 Hemocytometer를 이용하여 1×10⁸ conidia/ml 농도가 되게 포자현탁액을 제조하였다.

빛에 수분이 공급된 아크릴 사육용기 내에서(90% RH) 참외 잎에 붙여 키운 담배가루이 약충(20~30마리/엽)에 미리 준비한 포자현탁액을 초미세 Air brush (IWATA, HP-BE2, Japan)로 20psi (1.5 kg/cm²) 압력에서 분무 살포한 다음 건조시켰다. 분무 처리한 잎의 개체 이탈과 2차 오염방지, 습도유지(>90% RH)를 위하여 잎 양면에 납작한 평량 플라스틱 디쉬(9×9×1

cm)로 씌워 고정하고 처리 후 7일 동안 매일 이동식 디지털 현미경(ViTiny, VT-101, Taiwan)으로 곰팡이 감염 개체 유무를 관찰하였다. 대만총채벌레는 기주식물을 뚜껑(환기구 직경 1.5 cm, mesh로 씌움)이 있는 깊은 아크릴 용기에 이식하여 집종함으로써 활동이 왕성한 개체의 이탈을 방지할 수 있었다. 감염 판단은 해충 표피에 균사체로 덮여 있거나 몸체가 탈수되어 갈색으로 변한 모습이 관찰될 때를 기준으로 하였다. 모든 실험은 2회 3반복으로 수행하였고, 치사율은 2회 3반복의 평균값으로 나타내었다.

결과 및 고찰

분리 균주의 형태학적 특성

담배가루이에서 분리한 곤충병원성진균은 *Isaria fumosorosea* 로 동정되었다. 곤충병원성진균의 형태학적 분류는 기주종류, 분생자병속의 형태, 분생포자의 발생 형태 등이 기준이 되는데 (Humber, 1997), 성주 담배가루이에서 분리된 균주는 균사가 투

명하고 격막이 있으며, 폭은 2.2~2.6 μm 이었다. 뚜렷한 synnema는 없었으며, 투명한 직립의 분생자병에 윤생으로 호리병 형태의 4~6개 phialide를 지녔고, phialide 위에 연쇄상으로 분생포자(3.0~3.4 μm)를 형성하였다(Fig. 1-D, E). chlamydospore는 관찰되지 않았다. 뭉쳐진 분생포자는 회색을 띄었으며, 모양은 방추형 또는 난형으로 양끝이 뾰족한 경우도 있었다(Fig. 1-F). 이러한 형태학적 특징은 Samson(1974)의 *Isaria fumosorosea*와 일치한다(Table 1).

분리 균주의 계통학적 위치

담배가루이에서 분리한 곤충병원성진균인 IFs-08, -09 균주에 대하여 ITS 염기서열을 분석하였다. 분석한 ITS 영역의 염기서열을 NCBI의 GenBank에 수록된 DNA 염기서열 database에 검색한 결과 IFs-08과 IFs-09 균주는 phylogenetic tree 상에서 *I. fumosorosea* 계통군에 속하는 균주임이 확인되었으며, 특히 *I. fumosorosea* (AF461747)와는 99%의 높은 염기서열 유사도를 보임에 따라 이들 2균주는 상기의 형태학적 특징과 계통

Table 1. Morphological characteristics of *Isaria fumosorosea* IFs-08 strain isolated from *Bemisia tabaci* in Seongju, Korea

Fungus	Original description (Samson, 1974)	Seongju isolated (IFs-08)*
Length of conidia	$\leq 3.5 \mu\text{m}$	$3.2 \pm 0.2 \mu\text{m}$
Shape of conidia	long ovoid	long ovoid
Conidiophores	100 μm long \times 1.5-2 μm conidial chains long & heads diffuse	100-122 μm long $1.8 \pm 0.4 \mu\text{m}$ conidial chains long & heads diffuse
Phialides	5-7 \times 2.5 μm swollen base neck 0.5 μm , 3-6 phialides	5.7 \pm 0.9 \times 2.4 \pm 0.3 μm swollen base, neck 0.4-0.5 μm , 4-6 phialides
Vegetative hyphae	1.5-3.5 μm smooth walled, hyaline	2.2 \pm 0.4 μm smooth walled, hyaline

* Culture on PDA for 14 days at 24 \pm 1 $^{\circ}\text{C}$.

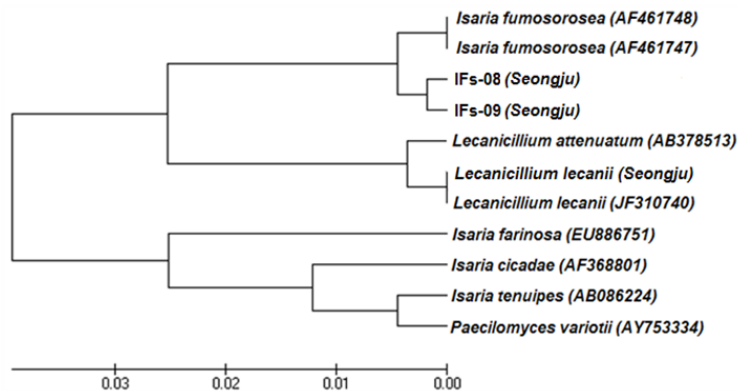


Fig. 2. A phylogenetic tree based on the nucleotide sequences of ITS 5.8S DNA and 28S DNA regions of *Isaria fumosorosea* IFs-08, IFs-09, and *Lecanicillium lecanii* LLS-09 by using the neighbor-joining method.

학적 유연관계를 기준으로 볼 때 *Isaria fumosorosea*로 동정되었다(Fig. 2).

I. fumosorosea IFs 균주의 온도 및 배지별 생육특성

온도별 생육조사에서 IFs-08 균주는 15°C ~ 35°C 사이에서 균사 성장이 가능하였다(Fig. 3). 동일한 온도에서 배지별 균사체의 성장은 SDAY 배양에서 가장 양호하였으며(3.2 mm/day/24°C), 다음으로 SMAY, PDA 순이었다. 온도별 성장은 24°C에서 가장 양호하였으며, 다음으로 27, 20°C 순이었고, 15°C 보다는 고온의 35°C에서 균사 성장이 좋았다. PDA 배지에서 IFs 균주의 배양속도는 2.4 mm/day/24°C이었으며, 균사체의 기저면은 움모처럼 부풀어 오른 형태를 보였다(Fig. 1-C). 배양 초기에는 흰색의 균체를 형성하나 시간이 경과하면서 연한 회색을 띠었고 나중에는 보라빛 황갈색에서 회색으로 변화하였으며, 균사체의 뒷면은 pale yellow색을 띠었고, 균사체 밀도는 조밀하였다.

균주는 종류, 지리적인 기원에 따라 온도의 내성 범위가 다

를 수 있다(Vidal et al., 1997a). Fargues 등(2004)은 온도 내성 grouping 분석에서 열대지역이 기원인 *I. fumosorosea* 균주가 온대지역에서 수집한 균주보다 고온에서 균사 성장이 양호하다고 하였다. 이번에 분리된 IFs 균주는 참외 시설재배지에서 분리한 때문인지 저온 내성을 지닌 일반적인 *I. fumosorosea* 균주(Vidal et al., 1997a)에 비해 비교적 고온에 적응된 것으로 추정된다. 균주의 온도 내성은 생물적 방제원의 중요한 요소로서 작용하며, 적용 장소의 온도에 따라 방제 능력이 좌우되기 때문에 적용 장소에 적합한 온도 내성을 지닌 균주를 확보하는 것이 중요할 것이다.

곤충병원성진균의 자연발병 요인

참외 잎에서 집단 감염된 담배가루이 성충은 수집 당시 흰 균사체로 덮여 있었고(Fig. 1-B), 포자형성 초기 단계이었으며, 부생성 진균은 거의 관찰되지 않아서 급성에 의한 집단 발병의

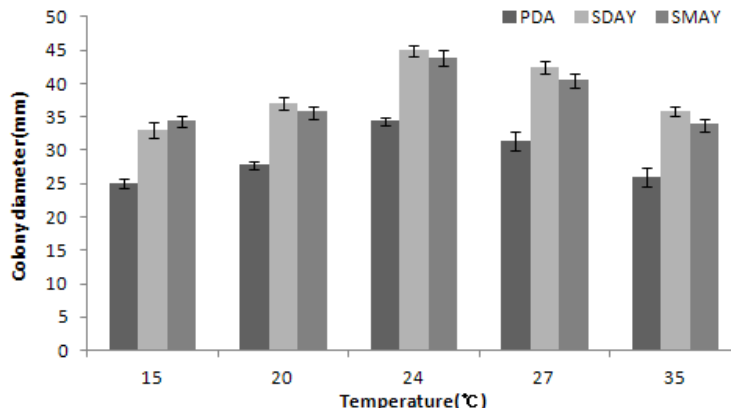


Fig. 3. Mycelial growth of *Isaria fumosorosea* IFs-08 for 14 days on potato dextrose agar (PDA), Sabouraud dextrose agar + yeast extract (SDAY) and Sabouraud maltose agar + yeast extract (SMAY) at various temperatures.

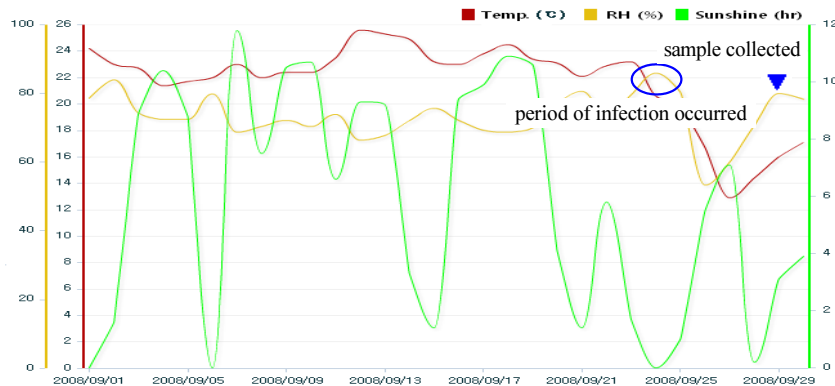


Fig. 4. Temperature, relative humidity, and hours of sunshine between September 1 and 30 in Deagamyun, Seongju, Gyeongbuk, where *Isaria fumosorosea* IFs-08 isolates collected (Data references: Agricultural Weather Information Service, RDA, for Sep. 2008 in Deagamyun, Seongju, Korea).

로 판단된다. 이러한 집단 발병은 생물적 요인뿐만 아니라 지리적 위치, 기후상태, 서식지 형태, 작물재배 시스템, 토양 특성과 같은 다양한 요인들이 영향을 미친다(Bidochka et al., 1998; Bruck, 2004; Meyling and Eilenberg, 2007; Quesada et al., 2007).

본 연구에서 집단 발병의 원인을 분석한 결과 수집 전 일주일 동안의 기상이 평상시 평균기온 보다 5~10°C 정도 낮았으며, 80%정도의 높은 상대습도와 3-4일간 흐린 날이 지속됨을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 이는 Carruthers 등(1993), Lacey 등(1993, 1996) 그리고 Castineiras(1995)이 높은 습도와 흐린 날씨, 낮은 기온이 지속되면 자연 집단 발생할 수 있다는 보고와 거의 일치하는 기상 상황(9월 23일~9월 26일)이었다. 또한 이곳은 수집 3개월 전부터 전혀 농약을 사용하지 않은 포장이었다. 가지 앞에서 수집한 감염 담배가루이는 탈수되어 갈색으로 변색된 번데기와 약충이었으며, 초기 감염증상을 나타내었다.

I. fumosorosea 균주는 직접 담배가루이의 체벽에 침투하여 밀도를 억제 또는 조절 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 자

연 감염의 빈도가 높다. *I. fumosorosea*에 의한 담배가루이 자연발병 사례는 북미, 서남, 동남아시아에서 많이 보고되었고(Castineiras, 1995; Carruthers et al., 1993; Lacey et al., 1993; Humber, 1992), 최근 ARSEF (Humber et al., 2011)의 발표에 의하면 아시아를 비롯한 모든 대륙에서 *I. fumosorosea*에 의한 담배가루이 자연발병 사례가 보고된바 있다.

국내에서는 산림토양(Shim et al., 1999)과 누에(Nam et al., 2000)에서 이 균주를 분리하여 보고한 사례가 있으며, 침입 해충인 담배가루이에서 *I. fumosorosea*에 자연 집단 발병이 관찰되고 분리 동정된 것은 이번이 처음이다.

I. fumosorosea-IFs 균주의 살충력 검정

담배가루이의 치사율은 균주(PROC GLM; $F=112.03$; $df=5,12$; $Pr>F<0.0001$)에 따라 차이가 있었다. *I. fumosorosea* IFs-08, IFs-09 균주는 처리 후 7일 동안 각각 96.7, 93.9%의 치

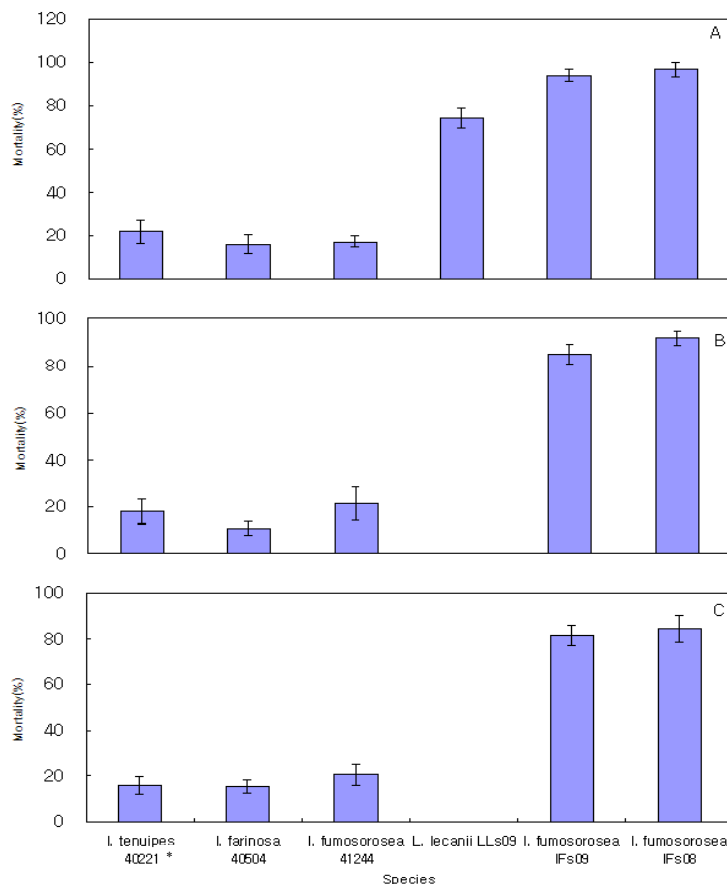


Fig. 5. Virulence of six entomopathogenic fungal strains against 2nd and 3rd instar nymphs of the sweet potato whitefly, two-spotted spider mite, and western flower thrips for 7 days under >90% RH and 24 ± 1°C after a spore suspension spray (1.0 × 10⁸ conidia/ml). A: *Bemisia tabaci*, B: *Tetranychus urticae*, C: *Frankliniella intonsa*. (mean ± SD)

사율을 보였으며, KACC로부터 분양받은 *I. fumosorosea*, *I. farinosa*, *I. tenuipes* 균주는 각각 20% 정도의 낮은 치사율을 나타내었다. 점박이응애에 대한 치사율도 담배가루이와 마찬가지로 균주별 차이가 있었다(PROC GLM; $F=107.06$; $df=5,12$; $Pr>F<0.0001$). IFs-08과 IFs-09 균주는 각각 92.0, 84.9%의 치사율을 보였고, 분양받은 나머지 균주들은 10~20% 정도의 낮은 치사율을 나타내었다. 대만총채벌레에 대한 살충율은 IFs-08과 IFs-09 균주가 각각 84.4, 81.5%이었으며, 나머지 균주들은 10~20%의 낮은 살충율을 보였다(PROC GLM; $F=84.86$; $df=5,12$; $Pr>F<0.0001$) (Fig. 4). 일반적으로 곤충병원성 진균은 계대 배양시 병원성이 떨어지는 것으로 알려져 있다(Butt et al., 2006; Hajek et al., 1990; Morrow et al., 1989). 이번 실험에서 KACC로부터 분양받은 균주가 성주 지역에서 분리한 IFs 균주에 비해 방제효율이 낮은 것은 대상 해충에 대하여 근본적으로 기주 특이성이 낮거나 균주의 계대 배양이 원인이 아닌지 추정된다. Takeshi 등(2009)은 *I. tenuipes* 균주가 담배가루이에 높은 살충력을 보여 친환경제제로 개발된 사례를 발표하바 있으나 본 시험에서는 병원성이 낮은 것으로 나타났다.

보고된 문헌에 의하면 *I. fumosorosea* 균주는 담배가루이(Vidal et al., 1997; Lacey et al., 1999; Faria and Wraight, 2001), 점박이응애(Kim et al., 2008) 그리고 총채벌레(Gillespie, 1986; Thungrabeab et al., 2006)에 대하여 병원성이 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 수집한 *I. fumosorosea*-IFs 균주도 이상의 3종 해충에 대하여 높은 병원성이 확인되었고, 분리 균주와 특정 해충 간에 기주 특이성 혹은 균주에 따라 감염 기주의 스펙트럼이 다양하게 나타났다. *I. fumosorosea* IFs-08, 09 균주는 주요 3종 해충에 대하여 80~90%의 높은 병원성을 보임에 따라 이들 균주는 국내 성주지역 환경에 적응된 고병원성 토착균주가 아닌지 추정해 보며, 특히 3~4월에 성주 참외시설 재배지는 부직포를 씌운 온도를 관리하기 때문에 내부 습도가 높고, 담배가루이가 발생하는 시기이므로 초기 방제가 중요한 시기에 *I. fumosorosea* IFs 균주를 살포하면 성주 참외 시설 재배지에서 담배가루이의 생물적 방제도 가능할 것으로 기대된다.

Literature Cited

- Bidochka, M.J., Kasperski, J.E., Gam, W., 1998. Occurrence of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in soils from temperate and near northern habitats. *Cana. J. Bota.-Revue Cana. De Bota.* 76, 1198-1204.
- Bruck, D.J., 2004. Natural occurrence of entomopathogens in Pacific Northwest nursery soils and their virulence to the black vine weevil, *Otiorynchus sulcatus* (F.) (Coleoptera: Curculionidae). *Environ. Entomol.* 33, 1335-1343.
- Butt, T.M., Wang, C.S., Shah, F.A., Hall, R., 2006. Degeneration of Entomogenous fungi. in: Eilenberg, J., Hokkanen, H.M.T. (Eds.), *An Ecological and Societal Approach to Biological Control. Prog. in Biol. Contr.* 2, 213-226.
- Carruthers, R.L., Wraight, S.P., Jones, W.A., 1993. An overview of biological control of the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*. Vol. 2 (Eds.), in: *Proc. of the Beltwide Cotton Conf. Nat. Cotton Council, Memphis, TN, USA*, 680-685
- Castineiras, A., 1995. Natural enemies of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Cuba. *Fl. Entomol.* 78, 538-540.
- Fargues, J., Bon, M.C., 2004. Influence of temperature preferences of two *Paecilomyces fumososeus* lineages on their co-infection pattern. *J. Invertebr. Pathol.* 87, 94-104.
- Faria, M., Wraight, S.P., 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi, *Crop Protec.* 20, 767-778.
- Gillespie, A.T., 1986. The potential of entomogenous fungi as control agents for onion thrips, *Thrips tabaci*. in: *Proc. of Brighton Crop Prot. Conf., Biotech. and Crop Improv. and Prot., Brighton, UK.*, 237-242.
- Goettel, M.S., Eilenberg, J., Glare, T.R., 2005. Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations, in: Gilbert, L.I., Iatrou, K., Gill, S. (Eds.), *Comprehensive Molecular Insect Science.* vol. 6. Elsevier, Oxford, 361-406.
- Goolsby, J.A., DeBarro, P.J., Kirk, A.A., Sutherst, R.W., Canas, L., Ciomperlik, M.A., Ellsworth, P.C., Gould, J.R., Hartley, D.M., Hoelmer, K.A., Naranjo, S.E., Rose, M., Roltsch, W.J., Ruiz, R.A., Pickett, C.H., Vacek, D.C., 2005. Post-release evaluation of the biological control of *Bemisia tabaci* biotype "B" in the U.S.A. and the development of predictive tools to guide introductions for other countries. *Biol. Contr.* 32, 70-77.
- Hajek A.E., Humber, R.A., Griggs, M.H., 1990. Decline in virulence of *Entomophaga maimaiga* (Zygomycetes: Entomophthorales) With repeated in vitro subculture. *J. Invertebr. Pathol.* 56, 91-97.
- Humber, R.A., 1992. Collection of entomopathogenic fungal cultures, ARS-110, USDA, ARS.
- Humber, R.A., 1997. Fungi Identification, in: Lacey, L.A. (Eds.), *Manual of Techniques in Insect Pathology.* Academic Press, London. 153-158.
- Humber, R.A., Hansen, K.S., Wheeler, M.M., 2011. *Isaria plus Paecilomyces and Evlachovea.* Fully Indexed. USDA-ARS Biological IPM Research Unit.
- Jones, D., 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. *Eur. J. Plant Pathol.* 109, 197-221.
- Kim, J.S., Roh, J.Y., Choi, S.C., Jang, J.M., Je, Y.H., 2008. Insecticidal Activity of *Paecilomyces fumosoroseus* SFP-198 as a Multi-Targeting Biological Control Agent against The Greenhouse Whitefly and the Two-Spotted Spider Mite. *Int. J. Ind. Entomol.* 17, 181-187.

- Lacey, L.A., Kirk, A.A., Hennessey, D., 1993. Foreign exploration for natural enemies of *Bemisia tabaci* and implementation in integrated control programs in the United States, in: 3rd Int. Conf. on Pests in Agriculture (Eds.), Proc. Assoc. Nat. Protec. des Plantes. 351-360.
- Lacey, L.A., Fransen, J.J., Carruthers, R., 1996. Global distribution of naturally occurring fungi of *Bemisia*, their biologies and use as biological control agents, in: Gerling, D., Mayer, R.T., (Eds.), Taxonomy, Biology, Damage Control and Management. Intercept, Andover, UK., 401-433.
- Lacey, L.A., Kirk, A.A., Milar, L., Mercadier, G., Vidal, C., 1999. Ovicidal and larvicidal activity of conidia and blastospores of *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) against *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) with a description of a bioassay system allowing prolonged survival of control insects. Biocontr. Sci. Tech. 9, 9-18.
- Meyling, N.V., Eilenberg, J., 2007. Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control. Biol. Contr. 43, 145-155.
- Morrow, B.J., Boucias, D.G., Heath, M.A., 1989. Loss of virulence in an isolate of an entomopathogenic fungus, *Nomuraea rileyi*, after serial In Vitro passage. J. Econ. Entomol. 82, 404-407.
- Nam, S.H., Yoon, C.S., Kim, K.Y., Cho, S.Y., Han, M.S., 2000. Report on red muscardine (*Paecilomyces fumosoroseus*) of the silkworm (*Bombyx mori*) in Korea. Korean J. Seric. Sci. 42, 28-30.
- Quesada, M.E., Navas, J.A., Maranhao, E.A.A., Ortiz, A., Santiago, C., 2007. Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. Mycol. Research. 111, 947-966.
- Samson, R.A., 1974. *Paecilomyces* and some allied Hyphomycetes. Studies in Mycology. 6, 81-83.
- Shim, H.J., Kim, S.K., Yang, Z.W., Je Y.H., Kang, S.K., 1999. Effect of *Paecilomyces fumosoroseus* SFP-198 on greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* in greenhouse. The Korean J. Pesti. Sci. 3, 90-95.
- Takeshi, M., Eiji, N., Shinya, K., Yoshiki, T., Kenji, M., Yoshihito, D., 2009. Development of a Novel Microbial Insecticide: Gottsu-A. R&D Report "Sumitomo Kagaku". 2009- I, 1-11.
- Thungrabeab, M., Blaeser, P., Sengonca, C., 2006. Possibilities for biocontrol of the onion thrips *Thrips tabaci* Lindeman (Thys., Thripidae) using different entomopathogenic fungi from Thailand. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Entomol. 15, 299-304.
- Vidal, C., Fargues, J., Lacey L.A., 1997a. Intraspecific variability of *Paecilomyces fumosoroseus*: effect of temperature on vegetative growth. J. Invertebr. Pathol. 70, 18-26.
- Vidal, C., Lacey, L.A., Fargues, J., 1997. Pathogenicity of *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) against *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) with a description of a bioassay method. J. Econ. Entomol. 90, 765-772.
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S., Taylor. J., 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, in: Innis, M.A., Gelfand, D.H., Sninsky, J.J., White, T.J. (Eds.), PCR Protocols. a guide to methods and applications. Academic Press, New York. 315-322.