

토마토재배에 사용하는 농약과 친환경농자재가 곤충 병원성 곰팡이 *Beauveria bassiana*의 병원성에 미치는 영향

박종호* · 홍성준 · 한은정 · 심창기 · 이민호 · 김민정 · 김정준 · 김용기

농촌진흥청 국립농업과학원

Influence of Pesticides and Environmentally Friendly Agricultural Materials used in Tomato Cultivation on the Pathogenicity of the Entomopathogenic Fungus, *Beauveria bassiana*

Jong-Ho Park*, Sung-Jun Hong, Eun-Jung Han, Chang-Ki Shim, Minho Lee, Min-Jeong Kim, JeongJun Kim and Yong-Ki Kim

National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

ABSTRACT: This study was conducted to observe the influence of chemical pesticides and environmentally friendly agricultural materials (EFAMs) used in tomato cultivation on the pathogenicity of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. *B. bassiana* mycelium didn't grow on PDA media containing 13 fungicides including chlorothalonil and colonies were not formed on PDA media containing 12 fungicides. *B. bassiana* mycelium grew and colonies were formed on all PDA media containing insecticides and EFAMs, but mycelial growth and colony formation on most PDA media were significantly inhibited compared to the control. The insecticidal activity of *B. bassiana* against *Trialeurodes vaporariorum* was decreased when fungicides (polyoxin B, mandipropamid) and EFAMs containing sulfur were added, but insecticides (pyridaben, dinotefuran) and EFAMs originated from plant extracts did not have any influence on the insecticidal activity of *B. bassiana*. The pathogenicity of a mixture of *B. bassiana* and polyoxin B against *T. vaporariorum* was lower than that of *B. bassiana* alone under greenhouse conditions.

Key words: *Trialeurodes vaporariorum*, *Beauveria bassiana*, pesticide

조 록: 토마토 재배에 사용되는 농자재를 이용하여 곤충 병원성 곰팡이인 *Beauveria bassiana*의 병원성에 끼치는 영향을 조사하였다. Chlorothalonil 등 13종의 살균제 첨가 배지에서는 *B. bassiana* 균사가 전혀 성장하지 못하였고 chlorothalonil 등 12종의 살균제 첨가 배지에서 균류가 형성되지 않았다. 살충제와 친환경농자재를 첨가한 모든 배지에서 균사가 생장하고 포자가 형성되었지만 대부분 배지에서 무처리와 비교했을 때 유의차를 보였다. 온실가루이에 대한 살충력은 *B. bassiana* 단독처리일 때보다 화학살균제(polyoxin B, mandipropamid)와 친환경농자재(sulfur) 혼합시 떨어졌으며 화학살충제(pyridaben, dinotefuran)와 식물추출물 유래 친환경농자재(pyrethrum) 혼합시에는 유의차가 없었으며 온실에서 살균제인 polyoxin B의 혼합으로 온실가루이에 대한 *B. bassiana*의 감염력이 떨어지는 것을 확인하였다.

검색어: 온실가루이, *Beauveria bassiana*, 농약

최근 농약의 과다 사용에 따른 농생태계 오염문제가 사회적 관심사로 떠오르면서 농산물 안전성에 대한 관심이 국내외적으로 높아지고 있다. 우리나라는 OECD 국가 중 농경지당 농약

사용량이 가장 많은 국가로 조사되었으며(Kim, 2011), 이는 우리나라에서는 시설채소 재배면적이 증가하여 시설내 병해충이 연중 발생하면서 사용되는 농약이 크게 증가하였기 때문일 것이다. 토마토는 온실에서 재배되는 주요한 과채류 작물 중 하나로, 재배시 온실가루이(*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) 등 해충 방제를 위해 적지 않은 살충제가 투여된다. 따라서 과도한 살충제 사용에 의하여 온실가루이의 살충제 저항성이 나

*Corresponding author: jhpark75@korea.kr

Received August 2 2012; Revised September 4 2012

Accepted September 25 2012

타나는 부작용이 나타나고 있다(Omer et al., 1992).

현재 사용하는 화학살충제의 일부를 미생물농약으로 대체한다면 화학농약 사용량을 상당히 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 해충방제에는 세균과 곰팡이가 일반적으로 많이 이용되는 미생물이며, 가루이류의 방제에 사용되는 병원성 곰팡이로는 *Beauveria*, *Isaria*, *Lecanicillium*, *Aschersonia* spp. 등 다양한 종이 알려져 있다(Faria and Wraight, 2001). 이 중 *Beauveria bassiana*는 온실가루이 등 주요 농업해충에 효과적인 방제제이며 현재 국내에서도 *B. bassiana*를 유효미생물로 하는 미생물살충제가 등록되어 있다. 하지만 곤충 병원성 곰팡이의 특성상 사용이 까다롭고 환경에 따른 효과차이가 커 농가에서의 사용은 미미한 실정임으로 현장에서 활용성을 높일 수 있는 연구가 필요하다(Faria and Wraight, 2001).

곤충병원성 곰팡이를 사용할 때 문제점은 낮은 활성, 환경조건에 의존성, 농약에 의한 억제 등이 있다. 특히 농가 현장에서 미생물살충제의 사용을 높이기 위해서는 각 작물에 기존에 사용되는 농약과 혼용 또는 교차 처리할 수 있는지 여부가 중요하기 때문에 곤충 병원성 곰팡이와 농약과의 관계에 대한 연구가 다양하게 진행되었다(Amutha et al., 2010; Islam et al., 2010b; Loria et al., 1983). 본 시험에서는 토마토재배에 사용되는 화학농약과 병해충 방제용 친환경농자재가 곤충 병원성 곰팡이에 끼치는 영향에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

곤충 병원성 미생물

시험에 이용한 *B. bassiana* 균주는 미생물살충제(보타니가드, 원료: *B. bassiana* GH)로부터 순수분리한 후 본 연구에 사용하였다. 균은 PDA(2.4% Potato Dextrose Broth, DIFCO™ + 2% Agar, BACTO™) 배지에 접종하여 25°C, 암조건(Barranco-Florido et al., 2002; Shi et al., 2006)으로 10~20일 배양하였다. 포자는 0.01% tween20 용액을 균 배양 배지에 넣어 유리막대를 이용하여 긁어 수거하고, 포자현탁액에서 균사 제거를 위해 멸균된 거즈에 걸러 주었다. 포자 농도는 혈구계수기를 이용하여 계산하였고, 필요한 농도로 희석하여 시험에 사용하였다. 온실가루이에 대한 살충효과 실험은 제품 자체를 권장농도로 희석하여 사용하였다.

시험곤충

온실가루이는 아산시 영인면 토마토 재배온실에서 채집하

여 국립농업과학원 유기농업과에서 파종 후 한 달된 일반 토마토를 기주로 누대사육하였다. 토마토 유묘 3~4주가 들어있는 아크릴 곤충 사육케이지(W40×D40×H50 cm)에 온실가루이 성충을 주당 100마리씩 방사하여 24시간 동안 알을 받은 후, 알에서 부화한 약충이 2~3령이 되면 생물검정에 사용하였다. 온실가루이의 사육온도는 25±1°C, 상대습도 60±10%의 조건에서 이루어졌다.

곤충 병원성 곰팡이의 균사 생장 및 포자 발아에 끼치는 농자재의 영향

곤충 병원성 곰팡이에 대한 농자재의 영향 검정은 토마토 재배용으로 등록된 화학 살균제 20종과 화학 살충제 11종, 그리고 유기재배농가에서 병해충 방제를 목적으로 많이 사용하는 원료를 주성분으로 하는 친환경농자재 7종을 선정하여 균사생장 및 포자발아에 미치는 영향으로 조사하였다(Table 1). PDA 배지가 굳기 전(45~50°C)에 선발된 농자재를 혼합하여 각각의 약제첨가 고체배지를 만들었다. 각 약제가 포함된 PDA 배지에 배양한 *B. bassiana* 포자현탁액(4×10⁵ 포자/ml)을 지름 7 mm의 filter paper에 적서 준비한 약제 첨가 배지에 올려놓고 25°C의 항온기에 보관하였다. 7일후 filter paper 가장자리에서 바깥쪽으로 생장한 균사의 길이를 양쪽 두 곳에서 측정 후 평균값으로 약제의 균사 생장 억제 정도를 조사하였다. 위 실험과 동일하게 화학농약 및 친환경농자재를 첨가한 PDA 배지에 *B. bassiana* 포자현탁액(1.25×10³ 포자/ml) 100 ul를 도말하고 3일 뒤 형성된 균총수를 계수하여 농자재가 포자 발아 억제에 미치는 영향을 조사하였다.

곤충 병원성 곰팡이의 병원성에 끼치는 농자재의 영향

온실가루이 2~3령 약충이 분포하는 토마토 유묘에 토마토 잎당 20마리씩 표시를 하고 살충제와 살균제 중 통계처리상 균사생장에 억제효과가 가장 큰 것과 억제효과가 없는 것 각각 2종, 친환경농자재중 해충방제용 약제와 병해방제용 약제 한 개씩 총 6개의 농자재를 선발하여 미생물제(*B. bassiana*)와 혼합하여 처리하였다. *Beauveria bassiana*와 농자재의 혼합액은 제품에 표기된 권장농도로 희석하여 스프레이로 토마토 유묘의 잎 앞뒷면에 골고루 흐르도록 충분히 살포하였다. 처리된 토마토 유묘는 아크릴 케이지(W40×D40×H50 cm)에 넣고 케이지 안쪽에 물을 뿌린 뒤 랩으로 케이지를 밀봉하여 3일 동안 포화습도 상태를 만들어주고 약제 처리 5일 후 엽당 약충의 생충여부와 곤충 병원성 곰팡이에 의한 감염을 조사하였다. 균사체가

Table 1. Ingredients and dilution rates of pesticides used in the study

Common name	AI ^{a)} (%)	Dilution times	Common name	AI ^{a)} (%)	Dilution times
Fungicide			Insecticide		
Chlorothalonil	75(75)	606	Chlorfenapyr	5(5)	1000
Polyoxin B	50(50)	5000	Acetamiprid	8(8)	2000
Metiram	55(55)	500	Spinosad	10(10)	2000
Iminoctadine tris (albesilate)	40(40)	2000	Pyridaben	20(20)	1000
Propineb	70(70)	500	Clothianidin	8(8)	2000
Fluopicolide+Propamocarb hydrochloride	55(5+50)	1000	Pyriproxyfen	10(10)	2000
Boscalid	49.3(49.3)	1503	Emamectin benzoate	2.15(2.15)	2000
Dimethomorph+Pyraclostrobin	18.7(12.0+6.7)	1000	Spinetoram	5(5)	2000
Copper hydroxide	77(77)	500	Spiromesifen	20(20)	2000
Fenhexamid	50(50)	1000	Thiacloprid	10(10)	2000
Thiophanate-methyl	70(70)	1000	Dinotefuran	20(20)	2000
Triflumizole	30(30)	2985	Environmentally friendly agricultural material		
Fenbuconazole	12(12)	2000	Sophora extract		1000
Mandipropamid	22.59(22.59)	2000	Bordeaux mixture		1000
Cyazofamid	10(10)	2000	Derris extract		1000
Fluquinconazole	10(10)	1000	Pyroligneous liquor		500
Ethaboxam	15(15)	1000	Pyrethrum extract		1000
Tetraconazole	12.5(12.5)	1000	Neem extract		500
Fludioxonil	20(20)	2000	Sulfur		500
Chlorothalonil+Metalaxyl-M	34.5(31.5+3)	1000			

^{a)}Active ingredient.

온실가루이 총체 외부로 뚫고 나와 육안으로 확인되는 것을 곰팡이에 의해 감염된 약충으로 판단하였다. 시험은 잎 1개를 1반복으로 3~4반복 조사하였다.

화학 살균제와 미생물살충제 온실내 혼합 처리 시험

화학 살균제와 곤충 병원성 곰팡이의 혼합 처리 효과를 알아보기 위해서 비닐하우스 안에서 방충망을 씌운 D150×W160×H150 cm의 스크린케이지 안에 4개의 20 L 포트에 토마토를 총 8주 이식하고 온실가루이 성충을 500마리씩 접종한 뒤, 제품에 표기된 권장농도로 미생물제(*B. bassiana*)와 살균제를 희석하여 혼합액을 만들고 일주일 간격으로 2회 살포한 후 약충의 생사 및 감염여부를 조사하여 살포효과를 검증하였다. 온실실험은 2011년에 2회에 걸쳐 시행하였다. 1차 시험은 6월 30일과 7월 6일에 토마토에 약제를 살포하고 7월 13일에 온실가루이 약충의 생사와 감염여부를 조사하였으며, 2차 시험은 9월 15일과 9월 20일에 약제를 살포 한 후 10월 5일에 조사하였다. 약제는 저녁에 살포하였으며 살포 후 온실 안쪽에 충분히 물을 뿌리고

온실측창과 문을 닫아두어 높은 습도를 유지한 후 다음날 아침에 열어주었다. 처리 후 생육상태가 나빠 염수가 적은 토마토 2주를 제외한 6주를 선발하여 주맥이 5 cm 이상 되는 잎을 전수 조사하였다.

통계 분석

배지상에서 약제에 의한 *B. bassiana* 균주의 활성억제, 약제와 *B. bassiana*의 혼용 살충효과 평가를 위해 시험결과를 일원분산분석으로 통계 분석을 수행하였다. 각 평균 간의 유의차는 Tukey의 스튜던트화 범위 검정으로 비교하였고, 5%의 유의수준으로 평가하였다. 모든 통계분석은 SAS 9.1(SAS Institute, 2003)을 이용하였다.

결과 및 고찰

곤충 병원성 곰팡이를 원료로 한 미생물살충제는 살아있는 균이 활성을 보여주기 때문에 다른 농약과 혼용할 때 그 효과가

달라질 수 있으며, *B. bassiana* 또한 여러 농약에 의해 그 병원성이 반감된다(Amutha et al., 2010; Loria et al., 1983; Tedders, 1981). 본 시험에서는 토마토 재배용으로 등록된 20종의 살균제를 첨가한 PDA 배지에 *B. bassiana*를 배양했을 때, boscalid, fenhexamid, mandipropamid, cyazofamid 첨가 배지에서는 균사의 생장이 무처리와 비교해 유의차가 없었으나, chlorothalonil 등 13종의 살균제 첨가 배지에서는 균사가 성장하지 않았다(Table 2). 또한 chlorothalonil 등 12종의 살균제 첨가 배지에서 균총이 형성되지 않았다. Loria et al.(1983)은 4종의 살균제를 *B. bassiana* 포자에 24시간 노출시켰을 경우 metiram을 포함한 두 종의 농약에서 발아된 포자가 없었다고 보고하였는데, 본 시험에서도 metiram은 군사 성장과 균총 형성을 억제하였다.

토마토 해충 방제를 위해 등록된 살충제 첨가 배지에서 모두 *B. bassiana*의 군사가 성장하였고 그 성장값이 무처리와 비교하여 유사하거나 최소 1/2 이상이었다. 모든 살충제 첨가 배지에서 균총이 형성되었고 pyridaben을 제외하면 무처리와 비교하여 1/2 이상의 균총수를 나타내었다(Table 3). 몇몇 살균제처

림 *B. bassiana*의 군사생장을 완전히 억제하는 살충제는 없었으며 대부분 살충제의 군사 성장 억제율이 그리 높지 않았다. 그러나 Amutha et al.(2010)는 살충제 중 porfenofos, indoxacarb, methyldemeton가 배지상에서 *B. bassiana*의 군사 성장을 90% 이상 억제한다고 보고하였다. 그 연구에서는 acetamprid도 *B. bassiana* 군사 성장에 67.6%의 억제효과를 보여 본 시험보다 높게 나타났다. 농약의 *B. bassiana* 군사 성장 억제 정도는 시험마다 조금씩 다르게 나타나며 이것은 균다양성이나 실험 방법상의 차이 때문으로 사료된다.

친환경농자재 첨가 배지 중 *B. bassiana*의 군사가 전혀 성장하지 않은 것은 없었으나 sulfur를 제외한 모든 배지에서 유의차 있게 군사생장을 억제하였다. Derris의 경우 7일간 군사생장이 2.7 mm로 무처리의 8.1 mm에 비해 현저히 낮아 군사생장을 크게 억제하는 것으로 나타났다(Table 4). 균총은 모든 친환경농자재 처리에서 관찰되었으며, 무처리와 비교하여 79.4%이상의 균총수를 보여주었다. 대부분의 친환경농자재 배지에서 *B. bassiana*의 생육이 일정정도 억제되었지만 친환경농자재는

Table 2. Influence of chemical fungicides on mycelial growth and colony formation of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* on PDA media

Pesticide	*Mycelial growth (mm, mean±SD)	**No. of colony forming unit (mean±SD)
Chlorothalonil	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Polyoxin B	0.0 ± 0.0d	166.5 ± 28.9cde
Metiram	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Iminoctadine tris (albesilate)	2.9 ± 1.0c	128.0 ± 19.7f
Propineb	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Fluopicolide+Propamocarb hydrochloride	4.8 ± 1.0b	180.3 ± 12.4bcd
Boscalid	6.3 ± 0.3a	192.3 ± 10.3abc
Dimethomorph+Pyraclostrobin	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Copper hydroxide	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Fenhexamid	5.9 ± 0.3a	153.0 ± 9.5ef
Thiophanate-methyl	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Triflumizole	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Fenbuconazole	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Mandipropamid	5.9 ± 0.3a	218.3 ± 6.7a
Cyazofamid	6.3 ± 0.5a	163.8 ± 6.9de
Fluquinconazole	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Ethaboxam	4.4 ± 0.5b	185.8 ± 6.3bcd
Tetraconazole	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Fludioxonil	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Chlorothalonil+Metalaxyl-M	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0g
Control	6.3 ± 0.3a	195.3 ± 19.0a

* Radial growth of *B. bassiana* was measured after 7 day-culturing. ** Number of colony was counted on PDA for 3 day-culturing. Means followed by the same letter within a column are not significantly different by Tukey's Studentized Range Test (p<0.05).

Table 3. Influence of chemical insecticides on mycelial growth and colony formation of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* on PDA media

Pesticide	*Mycelial growth (mm, mean±SD)	**No. of colony forming unit (mean±SD)
Chlorfenapyr	3.9 ± 0.6ef	148.8 ± 10.0b
Acetamidrid	5.3 ± 0.3bcd	184.3 ± 9.3ab
Spinosad	5.4 ± 0.5bcd	165.3 ± 8.8ab
Pyridaben	4.3 ± 0.3def	83.5 ± 10.6c
Clothianidin	5.0 ± 0.0cde	178.8 ± 19.7ab
Pyriproxyfen	3.3 ± 0.3f	155.8 ± 15.5ab
Emamectin benzoate	5.8 ± 0.6bc	142.3 ± 20.5b
Spinetoram	5.3 ± 0.6bcd	146.0 ± 27.1b
Spiromesifen	4.8 ± 0.6cde	175.3 ± 26.1ab
Thiacloprid	4.4 ± 0.6def	174.0 ± 12.3ab
Dinotefuran	7.0 ± 0.4a	167.0 ± 23.4ab
Control	6.3 ± 0.3a	195.3 ± 19.0a

* Radial growth of *B. bassiana* measured after 7 days of culturing. ** The number of colonies was counted on PDA for 3 days of culturing. Means followed by the same letter within a column are not significantly different by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

Table 4. Influence of environment friendly agricultural materials on mycelial growth and colony forming of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* on PDA medium

Pesticide	*Mycelial growth (mm, mean±SD)	**No. of colony forming unit (mean±SD)
Sophora	4.5 ± 0.4de	178.5 ± 11.8bc
Bordeaux mixture	6.6 ± 0.3b	219.3 ± 21.3a
Derris	2.7 ± 0.2f	163.3 ± 21.2bc
Pyroligneous liquor	5.6 ± 0.3c	159.8 ± 13.6c
Pyrethrum	3.8 ± 0.2e	155.0 ± 5.5cd
Neem	5.1 ± 0.1cd	155.8 ± 5.9cd
Sulfur	7.4 ± 0.8ab	122.3 ± 8.2d
Control	8.1 ± 0.1a	195.3 ± 19.0ab

* Radial growth of *B. bassiana* measured after 7 days of culturing. ** The number of colonies was counted on PDA for 3 days of culturing. Means followed by the same letter within a column are not significantly different by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

원재의 특성상 대부분의 제품이 다양한 물질을 함유하고 있어 배지에서 *B. bassiana*의 생장이 억제되는 것이 유효성분 때문 인지는 명확치 않다. Neem 추출물의 경우 농도가 0.5% 이상일 경우 곤충 병원성 곰팡이의 발아와 균사 생장을 억제한다고 알려져 있으나 (Islam et al., 2010b), neem 추출물과 *B. bassiana*의 혼합살포 효과는 연구결과마다 다르게 보고되었다. Amutha et al. (2010)는 이러한 차이가 균다양성 때문이라고 주장하였으나, neem 추출물 종류와 환경차이 등 다양한 요인이 작용할 가능성이 높다. 농약이 곤충 병원성 곰팡이에 끼치는 영향은 다양하다. 한가지 예로 살균제인 mepronil는 배지에 첨가했을 때 *B. bassiana*의 균총 형성은 억제되는 반면 포자를 5시간까지 침지 처리했을 때는 포자가 발아하는데 아무런 영향이 없었다 (Lee

et al., 1997).

*Beauveria bassiana*는 일부 농자재와의 혼합할 때 온실가루이 약충에 대한 병원력 차이가 크게 떨어졌다. *Beauveria bassiana*를 단독으로 온실가루이 약충에 처리할 때, 살충률은 90.2%였으나 화학살균제(polyoxin B, mandipropamid)와 친환경자재(sulfur) 혼합시 살충률은 각각 59.4 56.5 37.7%로 크게 떨어졌으며, 화학살충제와 식물추출물(pyrethrum) 유래 친환경농자재를 *B. bassiana*와 혼합 처리했을 때에는 유의차가 없었다 (Table 5). 온실가루이에 대한 감염률은 *B. bassiana* 단독으로 살포했을 때에 60.5%였는데, 화학살균제인 polyoxin B와 mandipropamid 그리고 친환경농자재인 sulfur를 혼합하여 살포하였을 때는 각각 9.2%, 10.4%, 1.8%로 낮은 감염률을 보

Table 5. Influence of *Beauveria bassiana* and pesticides treatments on the mortality and infection of *Trialeurodes vaporariorum* nymphs in the laboratory

Treatment	Nymph	
	Mortality±SD (%)	Infection±SD (%)
<i>B. bassiana</i>	90.2 ± 6.6a	60.5 ± 13.5a
<i>B. bassiana</i> + Polyoxin B	59.4 ± 18.9b	10.4 ± 9.5b
<i>B. bassiana</i> + Mandipropamid	56.5 ± 10.9b	9.2 ± 11.6b
<i>B. bassiana</i> + Pyridaben	96.0 ± 2.7a	70.4 ± 9.3a
<i>B. bassiana</i> + Dinotefuran	97.2 ± 5.6a	58.0 ± 21.4a
<i>B. bassiana</i> + Pyrethrum	96.5 ± 3.0a	69.6 ± 8.3a
<i>B. bassiana</i> + Sulfur	37.7 ± 13.3bc	1.8 ± 3.6b
Control	23.1 ± 15.9c	0.0 ± 0.0b

The experiment was conducted with 2~3 instar whiteflies on tomato plants in acrylic cage (W40×D40×H50 cm). The cases were kept at 100% humidity for 3 days, and 20 nymphs per leaf were checked for mortality and infection at five days after treatment. Means followed by the same letter within a column are not significantly different by Tukey's Studentized Range Test ($p < 0.05$).

여주었고, 화학살충제인 pyridaben과 dinotefuran 그리고 친환경 농자재인 pyrethrum을 혼합 처리했을 때는 감염된 약충이 각각 70.4%, 58.0%, 69.6%로 무처리와 유의차가 없었다(Table 5). 특히 pyrethrum와 pyridaben은 균사생장을 꽤 억제 했음에도 *B. bassiana*의 병원성에 영향을 주지 않았고 sulfur와 mandipropamid는 무처리와 균사생장에서 유의차를 보이지 않았음에도 병원성을 크게 억제시켰다. 한정된 수이기는 하나 본 시험에서는 배지상에서 나타난 억제 정도와는 별개로 식물병 방제용 농자재는 모두 *B. bassiana*의 병원성을 억제하고 해충 방제용 농자재는 모두 *B. bassiana*의 병원성에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이것은 식물병 방제를 위한 농자재는 배지 실험에서 나타나지 않은 영향으로 *B. bassiana*의 병원성을 억제할 가능성이 있으며 해충 방제를 위한 농자재는 살충효과로 곰팡이 감염에 도움을 줄 가능성도 생각해 볼 수 있다.

잎벌레의 경우 *B. bassiana*에 mancozeb와 chlorothalonil과 혼합 처리했을 때는 살충효과가 상당히 떨어졌지만 copper hydroxide를 혼합 처리했을 때는 별 차이가 없어 살균제가 *B. bassiana*의 활성을 억제하는 정도는 약제별로 차이를 보임을 알 수 있다(Jaros-Su et al., 1999). 살충제와 병원성 곰팡이는 경우에 따라 상호작용이 다르게 나타나는데, 담배가루이의 방제에서는 imidacloprid와 *B. bassiana*가 길항적으로 작용하여 방제효율이 떨어졌다는 보고가 있는 반면(Vandenberg et al., 1998), imidacloprid와 *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae*를 토양에 복합처리하였을 때 딱정벌레에 대한 방제효과가 상승한 연구결과도 있다(Quintela and McCoy, 1998). 미생물과 살충제간에 상호작용에 대한 연구로 *Manduca sexta*에 dimilin을 처리하면 병원성 곰팡이 균사가 충체에 침입할 때 곤충의 저항

성이 떨어진다고 실험결과가 있다(Hassan and Charnley, 1989). Neem 추출물과 *B. bassiana*는 각각 단독 처리했을 때에는 오이에서 담배가루이 방제에 큰 효과를 보지 못했으나 혼합처리로 92.3%까지 방제한 사례가 있다(Islam et al., 2010a; Islam et al., 2011).

온실재배조건에서 *B. bassiana*를 살균제인 polyoxin B와 혼합 살포하여 살균제의 영향을 2회에 걸쳐 조사하였는데, 1차 시험에서 혼합 살포하였을 때는 polyoxin B가 *B. bassiana*의 살충력에 거의 영향을 주지 못했지만(Fig. 1A), 2차 시험에서 *B. bassiana* 단독 처리구에서 온실가루이 약충이 주당 9.3마리 일 때, *B. bassiana*와 polyoxin B의 혼합처리구에서는 50.5마리로 방제효과가 크게 떨어졌다(Fig. 1B). 1차와 2차 시험에서 *B. bassiana* 단독 처리구의 감염충 비율은 각각 55.3%, 49.2%이었는데, *B. bassiana*와 polyoxin B 혼합 처리구는 31.7%, 14.5%로 크게 낮아졌다(Fig. 1). 이 결과로 온실조건에서도 polyoxin B가 *B. bassiana*의 병원성을 억제하는 것을 알 수 있었다. 그러나 기존의 연구에서는 배지상에서 곤충 병원성 곰팡이의 생육을 억제하거나 실내에서 병원성 곰팡이의 살충력을 저해하는 농약이라 할지라도 포장에서는 그 효과가 없거나 적은 경우가 많았다(Clark et al., 1982; Jaros-Su et al., 1999; Lee et al., 1997; Loria et al., 1983). Lee et al.(1997)은 이러한 결과가 *B. bassiana*가 농약에 장시간 노출되지 않고 농약 성분이 야외에서 분해되기 때문이라고 주장했다. 하지만 본 시험에서는 살균제인 polyoxin B가 온실조건에서도 *B. bassiana* 병원성을 억제하는 것을 확인하였는데, 이것은 약제의 특성일 수도 있으나 시험온실의 차광막과 플라스틱 비닐 그리고 방충망에 의해 외부 자외선과 환경의 영향을 적게 받은 것도 원인이 될 수 있다.

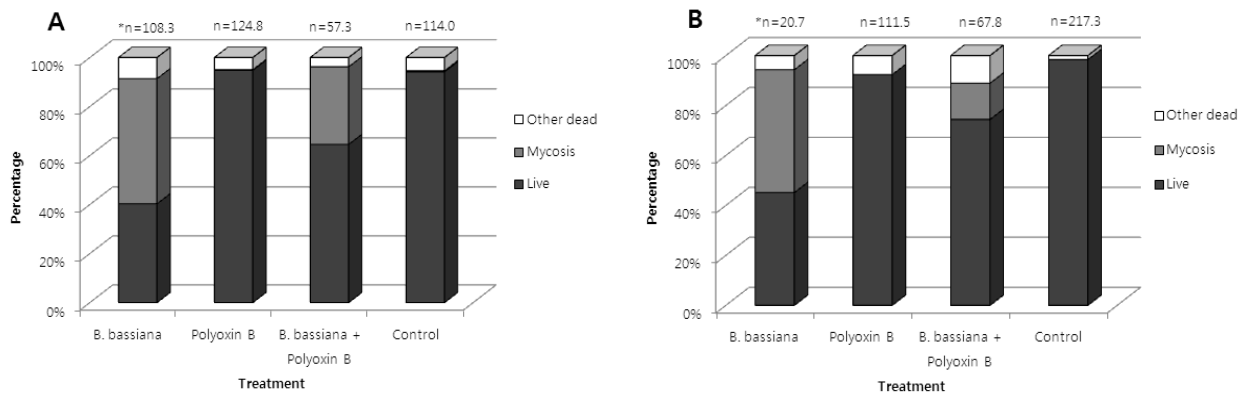


Fig. 1. Insecticidal effect and infection of *Beauveria bassiana* and fungicide treatments on *Trialeurodes vaporariorum* on tomato plants in a greenhouse (A: 30th of Jun. ~ 13th of Jul. in 2011, B: 15th of Sept. ~ 5th of Oct. in 2011). *n : Total number of live and dead whitefly nymphs.

농자재가 곤충 병원성에 끼치는 영향은 다양하며 환경조건에 따라 그 변이가 크기 때문에 정확한 혼합 사용을 위해서는 포장시험이 필요하겠지만 토마토재배에 사용되는 모든 약제를 포장 조건에서 검사하는 것은 어려운 일이므로 배지상에서 균사 생육 또는 포자발아를 억제하는 농약은 *B. bassiana*와 동시 이용을 하지 말아야 하며 특히 살균제의 경우 혼합살포 효과가 밝혀져 있지 않은 약제는 혼합살포를 자제해야 온실가루이 방제 효과를 극대화 할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ008436)의 지원에 의해 이루어진 것임

Literature Cited

- Amutha, M., Banu, J.G., Surulivelu T., Gopalakrishnan, N., 2010. Effect of commonly used insecticides on the growth of white muscardine fungus, *Beauveria bassiana* under laboratory conditions. *J. Biopest.* 3, 143-146.
- Barranco-Florido, J.E., Alatorre-Rosas, R., Gutierrez-Rojas M., Viniegra-Gonzalez. G., 2002. Criteria for the selection of strains of entomo-pathogenic fungi *Verticillium lecanii* for solid state cultivation. *Enzyme Microb. Technol.* 30, 910-915.
- Clark, R.A., Casagrande, R.A., Wallace, D.B., 1982. Influence of pesticides on *Beauveria bassiana*, a pathogen of the colorado potato beetle. *Environ. Entomol.* 11, 67-70.
- Faria, M., Wraight, S.P., 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi. *Crop Protect.* 20, 767-778.
- Hassan, A.E.M., Charnley, A.K., 1989. Ultrastructural-study of the

- penetration by *Metarhizium anisopliae* through dimilin-affected cuticle of *Manduca sexta*. *J. Invertebr. Pathol.* 54, 117-124.
- Islam, M.T., Castle, S.J., Ren, S., 2010a. Compatibility of the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana* with neem against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*, on eggplant. *Entomol. Exp. Appl.* 134, 28-34.
- Islam, M.T., Olleka A., Ren, S., 2010b. Influence of neem on susceptibility of *beauveria bassiana* and investigation of their combined efficacy against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* on eggplant. *Pestic. Biochem. Physiol.* 98, 45-49.
- Islam, M.T., Omar, D., Latif, M., Morshed, M.M., 2011. The integrated use of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* with botanical insecticide, neem against *Bemisia tabaci* on eggplant. *Afr. J. Microbiol. Res.* 5, 3409-3413.
- Jaros-Su, J., Groden, E., Zhang, J., 1999. Effects of selected fungicides and the timing of fungicide application on *Beauveria bassiana*-induced mortality of the colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Biol. Control.* 15, 259-269.
- Kim, Y.K., 2011. Development on the Plants of Solanaceae (Pepper, Eggplant, Tomato). *KIC News.* 14, 28.
- Lee, S.M., Lee, D.W., Choo, H.Y., Park, Y.D., 1997. Effects of pesticides on the pathogenicity of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. *Korean J. Appl. Entomol.* 36, 179-184.
- Loria, R., Galaini, S., Roberts, D.W., 1983. Survival of inoculum of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as influenced by fungicides. *Environ. Entomol.* 12, 1724-1726.
- Omer, A.D., Leigh, T.F., Granett, J., 1992. Insecticide resistance in field populations of greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) in the San Joaquin Valley (California) cotton cropping system. *J. Econ. Entomol.* 85, 21-27.
- Quintela, E.D. McCoy, C.W., 1998. Synergistic effect of imidacloprid and two entomopathogenic fungi on the behavior

-
- and survival of larvae of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera, Curculionidae) in Soil. J. Econ. Entomol. 91, 110-122.
- SAS Institute, 2004. SAS User's Guide: Statistics. SAS Institute, Cary, NC
- Shi, Z., Li, M., Zhang, L., 2006. Effects of nutrients on germination of *Verticillium lecanii* (= *Lecanicillium* sp.) conidia and infection of green-house whitefly, (*Trialeurodes vaporariorum*). Biocontrol Sci. Tech. 16, 599-606.
- Tedders, W.L., 1981. In vitro inhibition of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* by six fungicides used in pecan culture. Environ. entomol. 10, 346-349.
- Vandenberg, J.D., Shelton, A.M., Wilsey, W.T., Ramos, M., 1998. Assessment of *Beauveria bassiana* sprays for control of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) on crucifers. J. Econ. Entomol. 91, 624-630.