

메기디스 곤충병원선충(*Heterorhabditis megidis*)을 이용한 집파리와 풀색꽃무지의 생물적 방제 효과

강상진 · 한상찬 · 최경희¹ · 이순원¹ · 김용균*
(안동대학교 생명자원과학부, ¹대구사과연구소)

Biological Control Efficacy of an Entomopathogenic Nematode, *Heterorhabditis megidis*, Against Housefly, *Musca domestica*, and Flower Beetle, *Gametis jucunda*

Kang, Sangjin, Sang-Chan Han, Kyunghee Choi¹, Soonwon Lee¹ and Yonggyun Kim*
(School of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong, Republic of Korea,
¹Taegu Apple Research Institute, Gunwi, Republic of Korea)

ABSTRACT

An endemic entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis megidis*, was evaluated by its control efficacies against housefly, *Musca domestica*, and flower beetle, *Gametis jucunda*. In Petri-dish assay, the pathogenicity of *H. megidis* showed 456.4 infective juveniles/larva (IJs/larva) in median lethality (LC₅₀) against the second instar larvae of *M. domestica* and 238.9 IJs/larva against the second instar larvae of *G. jucunda*. This was contrasted with those of the other well-known entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*, which showed 115.9 IJs/larva against *M. domestica* and 388.6 IJs/larva against *G. jucunda*. In field experiment, *H. megidis* were applied per square meter of pork farm with 1,000,000 IJs of *H. megidis* or apple orchard with 370,000 IJs, which were infested with *M. domestica* or *G. jucunda*, respectively. *H. megidis* showed 56.9% and 57.3% of control efficacies against *M. domestica* and *G. jucunda*, respectively. These results suggest a promising control technique in the field using *H. megidis* against *M. domestica* and *G. jucunda*.

Key words : Entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis megidis*, *Steinernema carpocapsae*, *Musca domestica*, *Gametis jucunda*, infective juveniles

서 론

곤충병원선충은 기주 곤충의 적용범위가 넓어 생물적 방제 인자로서 많은 연구가 진행되고 있으며, 대표적으로 Heterorhabditidae와 Steinernematidae 두 과를 포함한다 (Poinar 1979, Smart 1995). 특히, 이들은 잔디, 관상식물, 벼, 국화과 식물, 감귤 그리고 과수원에 피해를 주는 토양해충의 방제에 사용되어 왔다 (Ehler 1990). 각 곤충병원선충과에 속한 대표적 분류군으로 *Heterorhabditis*속과 *Steinernema*속이 있으며 (Laumond 등 1979, Poinar 1990, Gerritsen 등 1998), 3령 유충의 감염태 (infective juveniles: IJs) 장속에 는 각각 *Photorhabdus* 그리고 *Xenorhabdus*속의 공생세균을

가지고 있다 (Boemare 등 1993).

기주체의 자연 개구부(예, 입, 항문, 기문 등)를 통하여 혈강내에 침입한 감염태 선충은 내장으로부터 공생세균을 분비한다 (Akhurst 1982, Boemare 등 1993). 분비된 세균은 자신과 공생 기주인 선충을 보호하기 위해 곤충의 면역을 억제시킨다 (Dunphy와 Webster 1991). 세균의 침입에 대해서 방어기작으로서 곤충이 보유하는 세포성 면역기작중 소낭 형성 과정이 이러한 면역반응 중개에 중요한 phospholipase A₂ (PLA₂) 효소를 억제시킴으로 가능하였다 (Park과 Kim 2000, 2003). 이후 세균은 성장하고, 선충의 발육을 촉진시키게 된다. 기주 곤충의 면역 저하는 다른 병원체들의 침입을 허용하기 때문에 공생세균은 다양한 항생물질을 분비하여 자신들만의 미생물상을 형성시킨다 (Webster 등 1998). 이러한 공생세균의 혈강내 성장은 패혈증을 유발시키고 기주를 치사시키게 된다 (Forst 등 1997). 치사된 기주체에서 선충은

* Corresponding author
Phone) +82-54-820-5638, Fax) +82-54-823-1628
E-mail) hosanna@andong.ac.kr

증식하여 다시 감염태 선충을 형성시키고 기주를 뚫고 나와 다음 대상 기주를 찾게 된다(Kaya와 Gaugler 1993).

국내에서는 농업해충에 대한 곤충병원선충의 생물적 방제인자 유용성에 관한 실험들이 나비목과, 딱정벌레목(Han 등 1996, Lee 등 1997), 파리목, 연체동물문, 선형동물문(Kim 등 2002) 등을 대상으로 실제포장에서 그 우수성이 확인되었으며, 보다 넓은 적용범위와 처리시 최적 조건확보(Choo 등 1998, 2002) 등이 연구되고 있다.

사과원과 축산농가의 경우 굼벵이류와 집파리에 의하여 많은 피해를 받고 있는 실정이다. 일부 하천변 사과원에서 굼벵이에 의한 사과나무 수세약화 및 고사주 발생이 문제되고 있으나, 토양살충제로 처리되고 있는 다수진 입체는 사과에 등록되어 있지 않은 고독성 농약이다(Choi와 Lee 1996). 그리고 집파리는 축산농가에서 다발생하는 해충으로서 화학살충제의 처리에 따른 피레스로이드계 살충제의 저항성이 스웨덴과 덴마크에서 확인되었고, 현재 유기인계 살충제와의 교차저항성이 보고되었다(Keiding 1999, Yoo 등 2001).

곤충에 특이적으로 병원력과 살충력을 발휘하는 메기디스 곤충병원선충(*Heterorhabditis megidis*)이 국내에서 최초로 채집되고, 동정되었다(Kang 2003). 메기디스 곤충병원선충은 직접적인 살충력을 발휘하는 곤충병원세균인 *Photobacterium temperata temperata*를 장내 공생세균으로 보유하고 있다(Kang, 2003). 일반적으로 메기디스 곤충병원선충이 속한 *Heterorhabditis* 곤충병원선충은 나비목 이외의 딱정벌레목이나 파리목의 곤충에 대해서 오히려 높은 살충력을 보인다고 보고되고 있다(Converse와 Grewal 1998, Renn 1998). 특히 곤충병원선충을 이용한 해충방제는 이들 선충의 환경에 대한 감수성으로 고효율의 바이오캡슐을 요구하고 있으나(Kim 등 2003), 대상으로 하는 사과원의 굼벵이류나, 축산농가의 파리류 유충은 서식지가 땅속 또는 습한 곳에서 발생하기에 이에 대한 직접적인 방제가 가능하겠다.

본 연구는 사과원과 축산 농가에서 발생하는 주요 해충인 집파리류와 풀색꽃무지에 대한 생물적 방제제로서 메기디스 곤충병원선충의 유용성을 확인하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 곤충병원선충 증식

안동지역에서 채집된 메기디스 곤충병원선충(*H. megidis*) (Kang 2003)과 원예연구소 해충실험실에서 분양받은 *Steinernema carpocapsae*이 본 연구에서 시험되었다. 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 5령충을 증식기주로 하여 실내에서 누대 증식시켰으며, 화이트 트랩(Kaya와 Stock 1997)을 설치하여 감염태 유충을 확보하였다. 수거된 감염태 유충은 Park 등(1998)의 방법에 따라 10°C 항온기에 보관하였다.

2. 곤충사육

본 실험에 사용된 꿀벌부채명나방은 원예연구소 해충연구실에서 분양 받았으며, 배양기 조건은 온도 30°C, 광주기 16:8 h(L:D)이었으며, 인공사료(Poinar 1975)로 누대 사육하였다. 대전 화학연구소 곤충사육실에서 분양 받은 집파리(*Musca domestica*)의 배양기 조건은 온도 25°C, 광주기 16:8 h(L:D)에서 사육하였으며, 성충사료로는 설탕:전지분유:난황을 6:6:1 비율로 하였으며, 유충사료로는 어린병아리사료를 사용하였다.

3. 집파리에 대한 병원력 실험

1) 페트리디쉬 실험

페트리디쉬(90×30 mm)에 필터페이퍼 90 mm를 깔고, 각 농도(25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 IJs/마리 대상곤충)의 *H. megidis* 또는 *S. carpocapsae* 감염태 선충이 포함된 선충 현탁액(1 ml)을 뿌린 후, 2령 유충 3마리를 처리하였다. 이후 25°C 항온기에 감염 유충을 조사할 때까지 보관하였으며, 각 처리는 5반복으로 실시하였다.

2) 간이모형 실험

15×21×10 cm 용기에 먹이 300 g과 물 130 ml을 넣고 선충 현탁액(*H. megidis* 22,800 IJs/20 ml와 *S. carpocapsae* 5,800 IJs/20 ml)을 처리한 후, 2령 유충을 각 처리구당 50마리씩 처리하였다. 이후 25°C 항온기에 보관하였으며, 생존은 우화된 성충수로 조사하였다. 각 처리는 3반복으로 실시하였다.

3) 포장 실험

각 처리구는 돈사에서 배출되는 돈분 약 10 kg을 대상으로 망을 설치하였다. 매 3일 간격으로 2회에 걸쳐서 *H. megidis* 50만 IJs/l를 처리하고, 대조구에는 증류수를 뿌려주었다. 최종 처리후 7일째에 성충을 수거하였으며, 우화율을 기준으로 방제가를 산정하였다.

돈분(豚糞), 우분(牛糞)에서 *H. megidis*의 생존률 확인: 페트리디쉬(90×30 mm)에 돈분, 우분 각각을 10 g 처리한 후, *H. megidis* (3,000 IJs/5 ml)를 처리하였다. 처리구는 3반복으로 실행하였고, 21°C 항온기에 보관한 후, 개량갈대기를 통하여 생존 선충수를 산출하였다.

4. 풀색꽃무지(*G. jacobda*)에 대한 병원력 실험

1) 페트리디쉬 실험

페트리디쉬(90×30 mm)에 필터페이퍼 90 mm를 깔고, *H. megidis* (1,000 IJs 대상 곤충)와 *S. carpocapsae* (1,000 IJs/마리 대상곤충) 1 ml를 처리한 후, 풀색꽃무지 2령충을 5마리씩 놓고 25°C 항온기에 보관하였다. 각 처리는 3반복으로 실시하였다.

2) 포장 실험

폴색꽃무지 발생이 심한 사과원에서 꽃무지 초기밀도를 사과나무 중심으로 약 8마리 기준으로 선정하였다. 이 영역을 중심으로 3.14 m² 크기를 각 시험구로 설정하고 *H. megidis*와 *S. carpocapsae*를 각각 370,866 IJs 농도로 물 20l와 함께 처리하였다. 곤충병원선충의 방제기는 처리 7일 후에 유충 생존수로 산출하였다.

5. 통계처리

실내 살충력 실험에서 얻은 자료는 반수치사농도 (50% lethal concentration: LC₅₀)는 Raymond (1985)의 프로빗 분석법을 이용하여 살충력 대표치를 표기였다. 백분율 자료의 평균간 비교는 arcsine transformation 후 최소유의차검정법 (Least squared difference: LSD)으로 SAS (SAS Institute, 1988)의 PROC ANOVA를 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 집파리 (*M. domestica*) 방제 효과

집파리 유충에 대한 실내 방제 효과가 검증되었다. 페트

Table 1. Pathogenicities of two entomopathogenic nematode species against the second instar larvae of *Musca domestica* evaluated by the Petri dish assay

Nematodes	LC ₅₀ ¹	95% CI ²	Slope ³
<i>Heterorhabditis megidis</i>	456.4 a	218.0-1,754.2	0.78 ± 0.22
<i>Steinernema carpocapsae</i>	115.9 b	66.0-184.2	1.36 ± 0.25

¹LC₅₀ represents a median lethal concentration of infective juveniles (IJs). It was estimated by the 72 h mortality data after IJ application on the filter paper in 9 cm petri-dish, in each of which 3 host larvae were kept. Different letters followed by the LC₅₀ value indicate significant differences in their pathogenicities, determined by non-overlapping of 95% CI.

²95% confidence interval of the LC₅₀ value.

³Slope of regression line used to estimate LC₅₀.

Table 2. Control efficacies of two entomopathogenic nematode species against the housefly, *Musca domestica*

Nematodes	N	Control efficacies (%) ¹	
		Cage assay ²	Field assay ³
<i>Heterorhabditis megidis</i>	3	63.1 ± 22.1	56.9 ± 10.3
<i>Steinernema carpocapsae</i>	3	67.4 ± 17.0	-

¹Control efficacies were calculated based on the adult eclosion rates of houseflies treated with the nematodes compared to that of the untreated.

²In cage experiment, the infective juveniles were treated to *M. domestica* population inhabiting on the artificial diet: 20,000 IJs/plot for *H. megidis* and 7,500 IJs/plot for *S. carpocapsae*.

³In field experiment, the infective juveniles (1,000,000 IJs/m²) were treated to *M. domestica* population inhabiting on the pork manure.

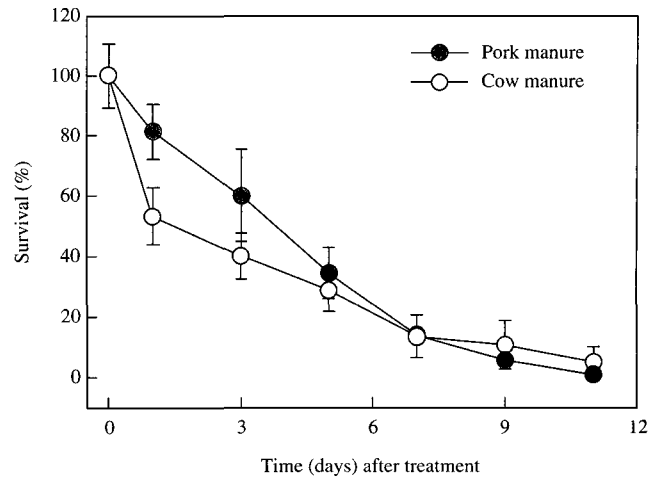


Fig. 1. Survival of infective juveniles (IJs) of *Heterorhabditis megidis* in pork and cow manures. They were kept at 25°C and each measurement was replicated three times. Baermann funnel method was used to collect live IJs at each treatment time.

리디시 분석 결과 반수치사농도 (LC₅₀)가 메기디스 곤충병원선충의 경우 456.4마리로 나타났다 (Table 1). 이는 비교된 *S. carpocapsae*의 경우 115.9마리보다는 낮은 병원력을 보였다. 파리 유충 한 마리당 발육할 수 있는 감염태 유충수도 *S. carpocapsae*의 경우 3,542 ± 1,479마리이고, 메기디스 곤충병원선충은 858 ± 110마리를 기록하였다. 이들은 25°C에서 사육한 결과, 선충 처리후 12일째부터 감염태 유충이 죽은 기주체로부터 나와서 이후 약 1주일간 탈출시기를 보였다.

포장시험에 적용하기 앞서 간이 시험으로서 실내 집파리 사육상자에 먼저 처리하여 포장적용 효과를 예측하였다. 처리 농도는 페트리디시 분석의 반수치사농도를 기초하여 집파리 먹이 (15 × 21 × 10 cm)에 *H. megidis* (22,800 IJs)와 *S. carpocapsae* (5800 IJs)를 각각 처리하였다. 처리 72시간이 경과한 후, 두 선충 모두 유사하게 높은 방제 효과를 나타냈다 (Table 2).

이러한 결과를 바탕으로 포장실험에 앞서 또 다른 예비 시험으로서 실질적으로 축산농가에서 배출되는 분뇨에서의 선충생존률을 확인하였다. 그 결과 곤충병원선충은 돈분에서는 처리 3일의 경우 약 62%의 생존률을 확인하였고, 우분에서는 40%의 결과를 얻었다 (Fig. 1). 이는 가축분뇨에서 발생하는 암모니아 가스와의 많은 병원미생물들로 인하여 곤충병원선충이 처리 3일이 경과함에 따라서 많은 활성이 떨어질 것으로 추정되었다.

포장실험에서는 선충 생존력을 극대화시키기 위해 1평방미터당 50만 마리씩 2회 처리하였다. 이때 메기디스 곤충병원선충은 56%의 방제기를 보였다 (Table 2).

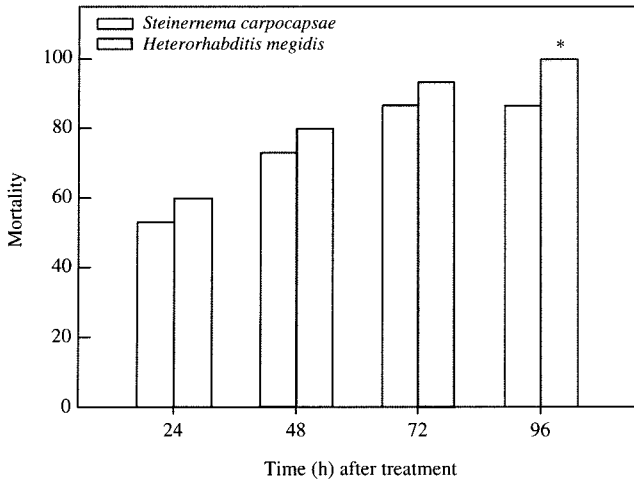


Fig. 2. Pathogenicities of two entomopathogenic nematodes (1,000 infective juveniles/petri dish) against the second instar larvae of *Gametis jucunda* evaluated by the petri dish assay. Each treated petri dish had 5 insect larvae and was kept at 25°C. The mortality at each treatment time was estimated from 25 insect larvae. The asterisk indicates significant difference in mean mortalities between two nematode treatments (χ^2 test, $\alpha = 0.05$).

Table 3. Field control efficacies of two entomopathogenic nematode species against the flower beetle, *Gametis jucunda*

Nematodes	N	Control efficacies (%) ¹
<i>Heterorhabditis megidis</i>	3	57.3 ± 20.1
<i>Steinernema carpocapsae</i>	3	57.2 ± 28.4

¹Control efficacies were estimated by the live grubs in the treated plots compared to that of the untreated.

²In field experiment, the infective juveniles (370,000 IJs/m²) were treated to *M. domestica* population inhabiting on the pork manure.

2. 풀색꽃무지 (*Gametis jucunda*) 방제효과

충북 음성군의 2년생 과수원에서 풀색꽃무지의 다발생이 문제되어 이를 채집하여 본 실험에 적용되었다. 먼저 두 곤충병원선충에 대해서 페트리디시 분석법으로 실내 병원력 검정이 실시되었다. 처리된 곤충병원선충에 따른 살충력은 24시간 이후 나타나서 72시간 이후까지 계속 증가하였다. 메기디스 곤충병원선충이 *S. carpocapsae* 곤충병원선충과 유사한 살충력을 보이나, 96시간에서는 다소 높은 살충력을 보여 딱정벌레 유충에 대해서는 메기디스 곤충병원선충의 우수한 병원력을 확인할 수 있었다(Fig. 2).

메기디스 곤충병원선충을 풀색꽃무지가 발생하는 포장에 적용하였다. 약 1,000,000 마리의 감염태 선충을 1평방미터 시험구에 처리한 결과 약 57%의 방제가 나타났었다(Table 3).

고 찰

국내에서 발생하고 있는 메기디스 곤충병원선충(*H. megidis*)이 집파리를 대상으로 한 파리류와 풀색꽃무지를 대상으로 한 굼벵이류 방제에 이용될 가능성을 본 연구를 통해 분석되었다.

메기디스 곤충병원선충은 집파리(*M. domestica*)의 2령충에 비교적 높은 병원력 및 증식력을 보였다. 그러나 이러한 메기디스 곤충병원선충의 병원력과 증식력이 비교 시험된 *S. carpocapsae*에 비해 다소 낮은 효율을 보였다. 이는 메기디스 곤충병원선충이 갖는 병원 특성으로 나비목이나 딱정벌레목에는 탁월한 살충력을 보이나, 파리목 곤충류에는 비교적 높지 않은 병원력에 기인된 것(Saunders와 Webster 2000)으로 사료된다. 특별히, 돈분이나 우분에서 조사된 감염태 유충의 생존력 결과를 보면, 처리후 3일째 이후에 급격한 생존력 감퇴를 보인다. 이는 포장 시험에서 더 높은 방제 효과를 기대하는 데 제약점으로 제시된다(Georgis 등 1987). 또한 곤충병원선충의 자연적 야외 밀도 증가라는 측면에서도 불리한 점으로 고려된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안의 하나로서 본 연구에서도 적용되었지만, 처리 횟수의 증가로서 우회할 수 있다고 고려된다. 이러한 방제 횟수와 방제율 증가에 대한 추후 연구가 보다 안전한 야외 방제 효과를 기대하는 데 필요한 연구라고 사료된다. 다른 방안으로서 돈분이나 우분의 환경속에서 감염태를 보호하기 위한 선충캡슐화가 시도될 수 있다. 현재 다양한 바이오캡슐들이 곤충병원선충에 적용되고 있다. 이러한 제제화 연구는 우선 야외포장에서 자외선이나 건조에 대한 보호라는 측면에서부터 다수의 감염태 선충을 집적시킬 수 있는 수화형 제제를 포함한다(Grewal 1998). 본 연구의 문제점인 배설물의 환경에 견딜 수 있는 제제로서 섭식유인효과가 있는 알지닌캡슐(Navon 등 1998, Kim 등 2003)이 보다 적합하다고 사료된다.

메기디스 곤충병원선충은 풀색꽃무지의 병원력에서 우수한 것으로 나타났다. 같은 처리농도의 곤충병원선충인 *S. carpocapsae*에 비교하여 처리 시간이 진행될수록 병원력의 우세를 보였다. 이는 다른 굼벵이류에서 시험한 결과와 유사한 경향을 보여(Converse와 Grewal 1998, Saunders와 Webster 2000), 메기디스 곤충병원선충이 딱정벌레류 대상의 적합한 생물적 방제로서 추천된다. 그러나 포장의 방제 효과는 60% 미만의 결과로 나타나서 실험실 결과와 차이를 보였다. 이는 첫째로, 포장조건에서 아직 정확한 방제 유효 농도를 결정하지 못한데 이유를 들 수 있다. 둘째로, 메기디스 곤충병원선충의 감염태가 야외 조건에서는 다양한 발육태를 보유하는 굼벵이 유충에 차등성 침입력에 따른 방제력 저하로 추정한다. 파밤나방의 경우에서(Han 등 1996), 감염태들은 대상 곤충의 특정 발육태를 선호하여 침입한다. 우

선 전용이나 번데기인 상태에서는 자연 개구부의 통로가 물리적으로 좁아지거나 없어짐에 따라 침입율이 저하되는 것을 볼 수 있다. 셋째로, 이들의 병원력은 공생세균에 의존하는데 (Kang 2003), 발육시기가 달라짐에 따라 외래 침입자에 대응하는 곤충의 방어체제에도 차등성을 보일 수 있다 (Bae와 Kim 2003). 넷째로, 실내 처리된 감염태 유충과 야외 처리된 감염태 유충간에 감염 능력의 차이를 고려해 볼 수 있다. 이는 이 곤충병원선충에서 제기되고 있는 감염력 변이형 (“phased infectivity”, Ryder와 Griffin 2003)으로서 이전 세대의 증식 환경에 따라 차세대 감염태 유충의 병원력 차이를 보일 수 있다는 실험적 가설이다. 즉, 본 연구에 사용된 메기디스 곤충병원선충은 꿀벌부채명나방을 기주로 하여 사육된 것으로 사육시기별 처리 농도의 불균일함과 자체내에 존재하는 불균일한 감염력 변이형에 따라 처리 시기별 병원력의 차이를 줄 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 이전 세대의 증식 환경에서 비교적 밀도가 낮은 환경에서 증식될 필요성이 있다 (Griffin 1996, Campbell 등 1999).

이상의 결과는 국내 자생하는 메기디스 곤충병원선충 (*H. megidis*)이 위생해충인 집파리와 토양해충인 꽃무지 유충에 효과적인 생물적 방제인자로서 그 가능성이 확인되었다. 앞으로 메기디스 곤충병원선충의 야외 방제력을 제고시키기 위한 선충 자체의 감염력 제고 기술과 야외 조건에서 감염태 유충 생존력을 높이는 기술 및 대상 해충 적용범위에 대한 후속 연구가 뒤따라야 한다.

적 요

국내에서 채집된 메기디스 곤충병원선충 (*Heterorhabditis megidis*)을 이용하여 집파리 (*Musca domestica*)와 풀색꽃무지 (*Gametes jucunda*)에 대해서 방제 효과를 검정하였다. 페트리디시 실내실험에서 *H. megidis*는 집파리와 풀색꽃무지 2령충에 대해 각각 456.4 및 238.9 infective juveniles (IJs)/마리의 반수치사 농도를 보였다. 이는 이미 방제 효과가 잘 알려진 곤충병원선충인 *Steinernema carpocapsae*을 동일한 두 종에 처리하였을 때 얻은 반수치사 농도(집파리는 115.9 IJs/마리, 풀색꽃무지는 388.6 IJs/마리)와 대조되었다. 포장시험에서는 집파리가 발생하는 축산농가에 평방 미터당 1,000,000 IJs를 처리할 경우 56.9%의 방제 효과를 보였다. 반면에 풀색꽃무지가 발생하는 사과원에 평방 미터당 370,000 IJs를 처리할 경우 57.3%의 방제 효과를 보였다. 이러한 결과는 국내에서 발생하는 메기디스 곤충병원선충이 집파리와 풀색꽃무지에 대해서 효과적 생물방제 인자가 될 수 있는 것을 제시한다.

감사의 말씀

곤충병원선충 (*Steinernema carpocapsae*)과 집파리를 공급

하여준 수원 원예연구소 해충연구실 김형환 박사와 대전 화학연구소의 박노중 박사에게 감사드린다. 또한 현장점검이 가능하도록 지원하여준 충북 음성의 사과원 경영자인 류모열씨와 경북 안동의 축산농가 경영자인 권기택씨에게 각각 감사드린다. 본 연구는 농촌진흥청에서 시행한 2003년도 현장점검연구사업에 의해서 수행되었다.

인 용 문 헌

- Akhurst, R.J. 1982. Antibiotic activity of *Xenorhabdus* spp., bacteria symbiotically associated with insect pathogenic nematodes of the families Heterorhabditidae and Steinernematidae. *J. Gen. Microbiol.* **128** : 3061-3065.
- Bae, S. and Y. Kim. 2003. Lysozyme of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*: activity induction and cDNA structure. *Comp. Biochem. Physiol. B.* **135** : 511-519.
- Boemare, N.E., R.J. Akhurst and R.G. Mourant. 1993. DNA relatedness between *Xenorhabdus* spp. (Enterobacteriaceae), symbiotic bacteria of entomopathogenic nematodes, and a proposal to transfer *Xenorhabdus luminescens* to a new genus, *Photorhabdus* gen. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* **43** : 249-255.
- Campbell, J.F., A.M. Koppenhofer, H.K. Kaya and B. Chinnasri. 1999. Are there temporarily non-infectious dauer stages in entomopathogenic nematode populations: a test of the phased infectivity hypothesis. *Parasitol.* **118** : 499-508.
- Choi, K. and S. Lee. 1996. Safe control techniques against fruit orchard pests: Improved chemical control technique on major apple insect pests. Annual research report on fruit storage and utilization. pp. 766-777. National Horticulture Research Institute. RDA. Suwon, Korea.
- Choo, H.Y., H.K. Kaya, S.M. Lee, H.H. Kim and D.W. Lee. 1998. Biocontrol research with nematodes against insect pests in Korea. *Jpn. J. Nematol.* **28** : 29-41.
- Choo, H.Y., D.W. Lee, H.S. Yoon, S.M. Lee and D.T. Hang. 2002. Effects of temperature and nematode concentration on pathogenicity and reproduction of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain (Nematoda: Steinernematidae). *Korean J. Appl. Entomol.* **41** : 269-277.
- Converse, V. and P.S. Grewal. 1998. Virulence of entomopathogenic nematodes to the western masked chafer *Cyclocephala hirta* (Coleoptera: Scarabaeidae). *J. Econ. Entomol.* **91** : 428-432.
- Dunphy, G.B. and J.M. Webster. 1991. Antihaemocytic surface components of *Xenorhabdus nematophilus* var. *dutki* and their modification by serum of nonimmune larvae of *Galleria mellonella*. *J. Invertebr. Pathol.* **58** : 40-51.
- Ehler, L.E. 1990. Some contemporary issues in biological control of insects and their relevance to use of entomopathogenic nematodes. pp. 1-19 in Entomopathogenic nematodes in biological control. Eds. R. Gaugler and H. K. Kaya. CRC. Boca Raton, Fl.
- Forst, S., B. Dowds, N. Boemare and E. Stackebrandt. 1997. *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* spp.: bugs that kill bugs. *Annu. Rev. Microbiol.* **51** : 47-72.
- Gerritsen, L.J., G.L. Wiegiers and P.H. Smits. 1998. Pathogenicity of new combinations of *Heterorhabditis* spp. and *Photorhabdus luminescens* against *Galleria mellonella* and *Tipula oleraeceae*. *Biol. Control* **13** : 9-15.
- Georgis, R., B.A. Mullens and J.A. Meyer. 1987. Survival and movement

- of insect parasitic nematodes in poultry manure and their infectivity against *Musca domestica*. *J. Nematol.* **19** : 292-295.
- Grewal, P.S. 1998. Formulations of entomopathogenic nematodes for storage and application. *Jpn. J. Nematol.* **28** : 68-74.
- Griffin, C.T. 1996. Effects of prior storage conditions on the infectivity of *Heterorhabditis* sp. (Nematoda: Heterorhabditidae). *Fundam. Appl. Nematol.* **19** : 95-102.
- Han, S., Y. Kim and B. Lee. 1996. Biological control of vegetable insects pests with entomopathogenic nematodes. *Korean J. Soil. Zool.* **1** : 81-88.
- Kang, S. 2003. Identification of an entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis megidis*, and its symbiotic bacterium, *Photorhabdus temperata* subsp. *temperata*. M.S. Thesis. Andong National University, Andong, Korea.
- Kaya, H.K. and R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Annu. Rev. Entomol.* **38** : 181-206.
- Kaya, H.K. and S.P. Stock. 1997. Techniques in insect nematology. pp. 281-324 in *Manual of techniques in insect pathology*. Ed. A.L. Lacey. Academic Press. San Diego.
- Keiding, J. 1999. Review of the global status and recent development of insecticide resistance in field populations of the housefly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *Bull. Entomol. Res.* **89** : S7-S67.
- Kim, Y., S. Lee, Y. Yu and S. Han. 2003. An edible alginate microcapsulation of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*. *Korean J. Appl. Entomol.* **42** : 145-152.
- Laumond, C., H. Mauleon and A. Kermarrec. 1979. New data on the host range and parasitism of the entomophilic nematode, *Neoplectana carpocapsae*. *Entomophaga* **24** : 13-28.
- Lee, S.M., D.W. Lee, H.Y. Choo, D.W. Kim and J.B. Kim. 1997. Pathogenicity of entomopathogenic nematodes to some agro-forest insect pests. *Korean J. Soil Zool.* **2** : 76-82.
- Navon, A., S. Keren, J. Salame and I. Glazer. 1998. An edible-to-insects calcium alginate gel as a carrier for entomopathogenic nematodes. *Biocon. Sci. Tech.* **8** : 420-437.
- Park, Y. and Y. Kim. 2000. Eicosanoids rescue *Spodoptera exigua* infected with *Xenorhabdus nematophilus*, the symbiotic bacteria to the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*. *J. Insect Physiol.* **46** : 1469-1476.
- Park, Y. and Y. Kim. 2003. *Xenorhabdus nematophilus* inhibits *p*-bromophenacyl bromide (BPB)-sensitive PLA₂ of *Spodoptera exigua*. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* **54** : 134-142.
- Park, Y., Y. Kim, Y. Yi and S. Han. 1998. Optimal storage conditions of the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*. *Korean J. Soil Zool.* **3** : 10-16.
- Poinar, G.O. 1979. Nematodes for biological control of insects. 277 pp. CRC. Boca Raton, Fl.
- Poinar, G.O. 1990. Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. pp. 23-61, in *Entomopathogenic nematodes in biological control*. Eds. R. Gaugler and H.K. Kaya. CRC. Boca Raton, Fl.
- Raymond, M. 1985. Presentation d'un programme d'analyse log-probit pour micro-ordinateur. *Cah. ORS-TOM. Ser. Ent. Med. et Parasitol.* **22** : 117-121.
- Renn, N. 1998. Routes of penetration of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* attacking larval and adult houseflies (*Musca domestica*). *J. Invertebr. Pathol.* **72** : 281-287.
- Ryder, J.J. and C.T. Griffin. 2003. Phased infectivity in *Heterorhabditis megidis*: the effects of infection density in the parental host and filial generation. *Intl J. Parasitol.* **33** : 1013-1018.
- Saunders, J.E. and J.M. Webster. 2000. Laboratory tests of the susceptibility of some forest insect pests to *Heterorhabditis megidis* H90 (Nematoda). *J. Invertebr. Pathol.* **76** : 76-78.
- Smart, G.C. 1995. Entomopathogenic nematodes for the biological control of insects. *J. Nematol.* **27** : 529-534.
- Webster, J.M., G. Chen and J. Li. 1998. Parasitic worms: an ally in the war against the superbugs. *Parasitol. Today* **14** : 161-163.
- Yoo, J., C.G. Park, S.W. Lee and B.R. Choi. 2001. Cross resistance of cypermethrin- and methomyl-resistance and linkage group analysis on cypermethrin resistance in house fly (*Musca domestica* L.). *Korean J. Appl. Entomol.* **40** : 337-344.