

## 곤충병원성 선충을 이용한 목화바둑명나방 (*Palpita indica* Saunder)의 생물적방제

### Biological Control of Cotton Caterpillar, *Palpita indica* Saunder (Lepidoptera: Pyralidae) with Entomopathogenic Nematodes

김형환\* · 추호렬 · 박정규 · 이상명<sup>1</sup> · 추영무<sup>2</sup>

Hyeong Hwan Kim\*, Ho Yul Choo, Chung Gyoo Park,  
Sang Myeong Lee<sup>1</sup> and Young Moo Choo<sup>2</sup>

**Abstract** – Entomopathogenic nematodes were effective in the control of the cotton caterpillar, *Palpita indica* Saunder. *P. indica* mortality was significantly different depending on nematode species, treatment concentration, and instar. *S. carpocapsae* Pocheon strain was more effective against *P. indica* than *S. glaseri* Dongrae strain, *S. longicaudum* Nonsan strain, *Heterorhabditis* sp. Gyeongsan isolate, and *H. bacteriophora* Hamyang strain. When *S. carpocapsae* was treated with the rate of >20 infective juveniles (ijs)/larva, mortality was ca. 100% at the 1st-4th instars of *P. indica* in 72 h. LC<sub>50</sub> of entomopathogenic nematodes were significantly different depending on nematode species. The lowest LC<sub>50</sub> value was obtained by *S. carpocapsae* with 4.9-8.2 ijs in the 1st-prepupa while the highest LC<sub>50</sub> by *Heterorhabditis* sp. with 5.5-21.9 ijs, the shortest LT<sub>50</sub> value of *P. indica* was induced by *S. carpocapsae* when 20 ijs/larva were inoculated. The LT<sub>50s</sub> were 3.4-9.2 h against the 1st-prepupa. The mortality of *P. indica* in fields was significantly different depending on field condition, nematode concentration, and leaf location. Mortality of *P. indica* by *S. carpocapsae* was higher at greenhouse,  $3 \times 10^9$  ijs/ha and upper leaves than at field,  $1 \times 10^9$  ijs/ha and lower and middle leaves, respectively.

**Key Words** – *Steinernema carpocapsae*, *S. glaseri*, *S. longicaudum*, *Heterorhabditis* sp., *H. bacteriophora*, LC<sub>50</sub>, LT<sub>50</sub>

**초 록** – 목화바둑명나방에 대한 곤충병원성 선충의 병원성은 선충의 종과 농도에 따라 차이가 있었으며, 치사율은 령기에 따라 달랐다. 실험에 사용한 *S. carpocapsae* 포천 계통, *S. glaseri* 동래 계통, *S. longicaudum* 논산 계통, *H. bacteriophora* 함양 계통과 *Heterorhabditis* sp. 경산 isolate 중 *S. carpocapsae*의 효과가 가장 좋았다. 목화바둑명나방 유충 한 마리당 *S. carpocapsae*를 20마리 이상 처리하였을 때 72시간 후 5령충과 전충을 제외하고는 모든 령기에서 거의 100%의 치사율을 나타내었다. 또한 어린 유충일수록 감수성이 높았다. 곤충병원성 선충의 목화바둑명나방에 대한 반수치사농도는 선충의 종에 따라 차이가 있었는데, *S. carpocapsae*의 경우 령기에 따라 4.9~8.2마리였다. 각 령기에서 유충 한 마리당 선충을 20마리 접종하였을 때 가장

\*Corresponding author. E-mail. hhkim8753@hanmail.net

경상대학교 농과대학 농생물학과(Department of Agricultural Biology, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju, Gyeongnam, 660-701, Republic of Korea)

<sup>1</sup> 남부임업시험장(Nambu Forcstry Experiment Station, Chinju, Gyeongnam, 660-300, Republic of Korea)

<sup>2</sup> 동아대학교 생명자원과학부 응용생물과학과(Department of Applied Biological Science, College of Natural Resources and Science, Dong-a University, Pusan, 604-714, Republic of Korea)

짧은 반수치사시간은 *S. carpocapsae*의 경우 령기에 따라 3.4~9.2시간이었다. 목화바둑명나방의 *S. carpocapsae*에 대한 치사율은 실험장소, 처리농도, 오이 잎의 위치에 따라 차이가 있었다. *S. carpocapsae*의 ha당  $1 \times 10^9$ 마리 처리구보다  $3 \times 10^9$ 마리구에서, 노지보다 시설하우스에서, 상엽과 중엽보다 하엽에서 치사율이 높았다.

**검색어** - *Steinernema carpocapsae*, *S. glaseri*, *S. longicaudum*, *Heterorhabditis* sp. 반수치사농도, 반수치사시간

목화바둑명나방(=작은각시들명나방, *Palpita indica* Saunder)은 1932년 목화 해충으로 우리 나라에서 처음 기록되었으나 1990년 이전까지는 피해에 관한 정보가 거의 없거나 미미한 해충이었다(Kim *et al.*, 1993; Shin *et al.*, 2000). 그러나 최근 박과(Cucurbitaceae) 채소 재배면적이 확대되고 열매채소를 연중재배함에 따라 1990년 이후부터 많은 피해가 보고되었다(Kim *et al.*, 1993). 한편, 1999년 현재 우리나라의 시설작물 총 재배면적은 100,461 ha, 시설채소가 86,200 ha로서 타 시설작물인 과수(3,100 ha)나 화훼(4,900 ha)보다 재배면적이 훨씬 많으며 시설채소중 목화바둑명나방의 주요 피해작물인 시설오이가 5,964 ha, 시설참외가 10,045 ha, 시설수박이 21,299 ha로서 전체 시설작물 재배면적의 37.1%와 시설채소 재배면적의 43.3%를 점하고 있다(Ministry of Agriculture and Forestry Republic of Korea, 1999). 따라서 이러한 과채류에 심한 피해를 주는 목화바둑명나방과 같은 해충문제를 소홀히 할 수 없는 실정에 있다. 목화바둑명나방은 명나방과(Pyralidae)의 들명나방아과(Pyraustinae)에 속하는 해충이다. 주로 박과채소를 가해하는 해충으로 최근 노지와 시설하우스를 가리지 않고 봄과 가을 재배 박과작물에 피해를 주고 있으며 특히, 가을 오이재배에 피해가 심하다(Kim and Baek, 1971). 주요 가해작물은 박과작물 및 박과식물, 목화(*Gossypium indicum*), 아욱과(Malvaceae)식물, 뽕나무(*Morus alba*) 등이며 한국, 만주, 일본 등에 분포한다(Choi *et al.*, 1990). 최근에는 우리 나라 전역에서 피해가 심해 피해면적이 해가 갈수록 증가하는 추세이다. 이 해충은 주로 잎 뒷면에서 가해하며 성장함에 따라 잎을 휘감고 그 속에서 식해하며 심하면 엽맥만 남기고 전부 식해한다. 2차적으로는 과일의 표피를 갉아먹어 상품가치를 떨어뜨리고(Choi *et al.*, 1990), 노지에서는 꽃을 가해하여 열매를 맺지 못하게 한다. 목화바둑명나방에 고시된 살충제는 현재 에토펜프록스수화제(ethofenprox 10%), 비티수화제(*Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* 16 BIU/kg) 등 6종이 있다. 방제는 주로 농약에 의존하고 있는데 이 해충의 가해 습성상 살포한 약제가 충체에 도달하기가 힘들어 농약에 의한

방제에 애로점이 많다. 따라서 농약을 대체할 효과적인 방제인자가 필요한데, 곤충병원성 선충은 기주 해충내에서 패혈증을 일으켜 신속하게 기주를 치사시키고 넓은 기주범위를 가지고 있으며 대량증식을 통해 상품화도 가능하다. 그리고 인체에 안전하기 때문에 생물농약으로 활용 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

따라서 본 실험은 나방류를 비롯한 여러 해충에서 효과가 입증된 한국산 곤충병원성 선충을 이용하여 박과 채소작물의 주요 해충인 목화바둑명나방에 대한 효과를 검증하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 곤충과 선충

1999년 9월 1일에서 9월 5일 경남 함양군 백전면 오이 재배지에서 목화바둑명나방 유충을 채집한 후 오이(*Cucumis sativus* L., 흑진주오이, 흥농종묘) 잎이 들어있는  $35 \times 25 \times 10$  cm 플라스틱통에 넣어 실험실로 가져왔다. Kim *et al.* (1993)의 방법에 준하여 유충의 무게와 두폭을 측정하여 령기를 구분하였다. 모든 유충은 동일성을 요하기 위하여 실험전 5시간 동안 굶긴 후 사용하였다.

실험에 사용한 곤충병원성 선충은 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 유충을 미끼로(Bedding and Akhurst, 1975) 우리 나라 토양에서 분리한 *S. carpocapsae*, *S. longicaudum*, *H. bacteriophora*와 동얼룩풍뎅이(*Exomala orientalis*) 유충에서 분리한 *S. glaseri* 및 *Heterorhabditis* sp.를 이용하였다. 곤충병원성 선충은 꿀벌부채명나방 노숙유충(5령충)에서 Dutky *et al.* (1964)의 방법으로 대량 증식시켜 이용하였다. 증식된 선충은 White trap을 이용하여 수확하였으며 실험에는 수확 후 3주 이내의 선충을 이용하였다(Woodring and Kaya, 1988).

### 목화바둑명나방에 대한 병원성

$55 \Phi \times 15$  mm 플라스틱 petri dish에 여과지 2장을 깔고 파종한 지 50일되는 오이의 신선한 잎을 직경

50 mm로 잘라 넣었다. 그리고 목화바둑명나방 유충 한 마리당 5, 10, 20, 40, 80마리 농도의 곤충병원성 선충 현탁액 1 ml를 마이크로 피펫으로 접종한 후 각 령기의 유충을 1마리씩 넣었다. 선충 무처리 dish에는 살균수 1 ml만 주입하였다. 처리 후 petri dish는 수분의 증발을 막기 위하여 비닐로 싸 공기가 통하게 하여  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  항온기에 보관하였다. 선충에 의한 치사 유무는 72시간째 해부현미경하에서 확인하였으며 반수치사농도(LC<sub>50</sub>)를 구하였다. 처리는 10개의 petri dish를 1반복으로 하여 4반복으로 실험하였다.

한편, 목화바둑명나방은 지상부 해충으로서 곤충병원성 선충을 잎, 줄기 등 지상부에 살포하였을 경우 지속기간이 매우 한정적이기 때문에 해충 구제에 효과를 발휘하기 위해서는 얼마나 빠른 시간에 해충의 유충과 접촉이 이루어지느냐에 방제 효과가 좌우된다고 할 수 있다. 따라서 Saunders와 Webster (1999)의 “목화바둑명나방을 50% 치사시키는 시간”과 Glazer (1992)의 “목화바둑명나방을 50% 죽이는데 요구되는 노출시간”이라는 방법론적으로 차이가 있는 두가지 LT<sub>50</sub> 산출방법 중 본 실험에서는 후자의 방법을 택하여 실험을 수행하였다. 즉, 반수치사 시간(LT<sub>50</sub> = 목화바둑명나방을 50% 치사시키는 데 요구되는 노출시간)을 알아보기 위한 실험은 위와 동일하였으며 곤충병원성 선충의 처리농도는 목화바둑명나방 유충 한 마리당 20마리의 선충을 처리하였다. 곤충병원성 선충 처리 후 2, 4, 8, 16, 24, 48 시간 간격으로 각 petri dish내의 유충 치사유무를 조사하였다. 한편 살아있는 유충은 70% 알코올에 약 5초간 담근 다음 살균수로 20초간 씻은 후 직경 50 mm의 육묘장에서 파종한지 35일되는 신선한 오이 잎이 들어 있는 각 petri dish에 옮겼다. 그리고 72시간 후 해부현미경하에서 해부하여 곤충병원성 선충에 의한 치사유무를 확인하였다. 모든 petri dish는 수분의 증발을 막기 위하여 polyethylene film으로 싸서  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  항온기에 넣었다. 실험은 10개 petri dish를 1반복으로 하여 4반복으로 처리하였다.

### 포장 실험

곤충병원성 선충은 처리 후 환경에 따라 해충에 대한 병원성에 차이를 나타낼 수 있고 방제 대상해충인 목화바둑명나방도 노지와 시설하우스에 관계없이 발생하여 피해를 주기 때문에 목화바둑명나방 피해를 가장 많이 받는 작물 중의 하나인 오이를 대상으로 노지와 시설하우스에서 곤충병원성 선충의 효과를 알아보았다. 함양군 백전면의 노지 오이 재배지와 진주시 대곡면의 시설하우스 오이재배지

에서 1999년 9월 10일과 9월 11일에 각각 수행하였다.

함양군 백전면의 노지 오이재배지에서는 전체 면적이 600 m<sup>2</sup> (15 × 40 m)였고, 이랑 폭은 40 cm, 높이는 15 cm, 고랑 폭은 35 cm로서 20 cm 간격으로 69일 된 흑진주 오이가 심겨져 있었다. 여기에 10주의 오이가 심겨져 있는 1 m<sup>2</sup> (0.5 × 2 m)의 면적을 한 구로 정하여 다음과 같은 처리를 하였다. 즉, (1) 무처리, (2) *S. carpocapsae*,  $1.5 \times 10^5$ 마리/구(=  $1.5 \times 10^9$ 마리/ha), (3)  $3.0 \times 10^5$ 마리/구(=  $3.0 \times 10^9$ 마리/ha), (4) 살충제 *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* (=Bt수화제) 32 g AI/ha 처리로 구를 두었다. 곤충병원성 선충과 농약은 각각 2l의 물에 혼합하여 분무기로 살포하였다. 처리시간은 곤충병원성 선충이 오이 잎에 잘 부착되고 수분의 증발로 인한 효과 감소를 방지하기 위하여 오이잎에 수분이 축축히 맺혀 있을때인 오전 8시에 시작하여 50분 동안 살포하였다.

목화바둑명나방 처리는 각 구의 오이를 상, 중, 하로 나눈 다음 각 위치의 오이 잎에 10마리의 3~4령충을 부착시키고 0.2 mm 망사를 씌워 유충의 탈출을 방지하였다. 처리 3일 후 망안에 있던 10마리의 유충을 오이 잎과 함께 채취하여 87φ × 15 mm petri dish에 살균수 1 ml를 처리한 여과지 1장을 깔고 신선한 오이 잎을 먹이로 공급하여 사육하였다. Petri dish로 옮긴 4일 후부터 매일 곤충병원성 선충에 의한 치사유무를 해부현미경하에서 조사하였다. 유충의 해부는 Ringer's 용액을 이용하였다. 각 구에서 주당 상, 중, 하 각각 3엽의 잎을 1반복으로하여 총 5반복으로 실험하였다. 실험기간 동안 온도는 18.8~32.0°C (평균 24.9°C)였고 강우는 없었다. 시험구는 난피법 5반복으로 배치하였다.

시설하우스내 실험은 진주시 대곡면에 있는 400 m<sup>2</sup> (5 × 80 m) 크기의 오이재배 시설하우스에서 수행하였다. 파종한지 94일 된 10주의 삼척오이(홍농종묘)가 심겨져 있는 1.2 m<sup>2</sup> (1.0 × 1.2 m)의 면적을 한 구로 정하고 노지 실험과 동일하게 각각의 처리를 조사하였다. 실험을 수행하는 동안의 온도는 21.8~30°C (평균: 26.8°C)였다. 시험은 완전임의배치법 5반복으로 수행하였다.

### 통계분석

실내 petri dish의 곤충병원성 선충 처리농도와 목화바둑명나방 령기에 따른 치사율은 LC<sub>50</sub>과 LT<sub>50</sub>으로 probit 분석하여 목화바둑명나방 한 마리에 대한 선충수와 선충에 노출시킨 후의 치사시간을 결정하였다(SAS Institute, 1996). LT<sub>50</sub>값은 “목화바둑명나방을 50% 치사시키는 데 요구되는 노출시간”으로

정의한 Glazer (1992)의 방법을 따라 산출하였다. 노지와 시설하우스 포장에서의 목화바둑명나방 치사율은 Tukey test로 처리간 유의성 차이를, t-test ( $\alpha = 0.05$ )로 지역간 차이를 분석하였다. 모든 경우의 유의성 정도는  $P < 0.05$  범위에서 이루어졌다. 각 처리들의 요인분석은 PROC GLM으로 분석하였다(SAS Institute, 1996).

## 결 과

### 목화바둑명나방에 대한 병원성

실험에 사용된 *Steinernema*속 3종과 *Heterorhabditis*속 2종 중 목화바둑명나방 유충과 번데기에 대한 치사효과가 가장 높은 것은 *S. carpocapsae*였다. *S. carpocapsae*를 목화바둑명나방 1령충, 2령충, 3령충, 4령충, 5령충, 번데기에 각각 20마리 농도로 접

종했을 때 치사율은  $100 \pm 0$ ,  $97.5 \pm 2.5$ ,  $100 \pm 0$ ,  $100 \pm 0$ ,  $90.0 \pm 7.1$ ,  $85.0 \pm 6.5\%$ 였고, 치사효과가 가장 낮았던 *Heterorhabditis* sp.는  $95.0 \pm 2.9$ ,  $87.5 \pm 2.5$ ,  $80.0 \pm 4.1$ ,  $70.0 \pm 4.1$ ,  $55.0 \pm 2.9$ ,  $47.5 \pm 2.5\%$ 의 치사율을 나타내었다(Fig. 1). 따라서 목화바둑명나방에 대한 곤충병원성 선충의 병원성은 목화바둑명나방 동일 령기에 대하여 서로다른 5종의 선충을 접종한 결과 곤충병원성 선충의 농도가 높을수록 치사효과가 높았으며 목화바둑명나방의 령기가 어릴수록 치사율이 높았다(Fig. 1).

목화바둑명나방에 대한 곤충병원성 선충의 반수 치사농도(LC<sub>50</sub>)는 목화바둑명나방의 령기가 번데기에 가까울수록 50%를 치사시키는데 필요한 선충의 농도가 증가하였으며 이러한 양상은 5종의 선충 모두에서 유사하게 나타났다(Table 1). 목화바둑명나방에 병원성이 가장 뛰어났던 *S. carpocapsae*의 반수 치사농도는 1령충 4.9마리, 2령충 5.3마리, 3령충 5.6

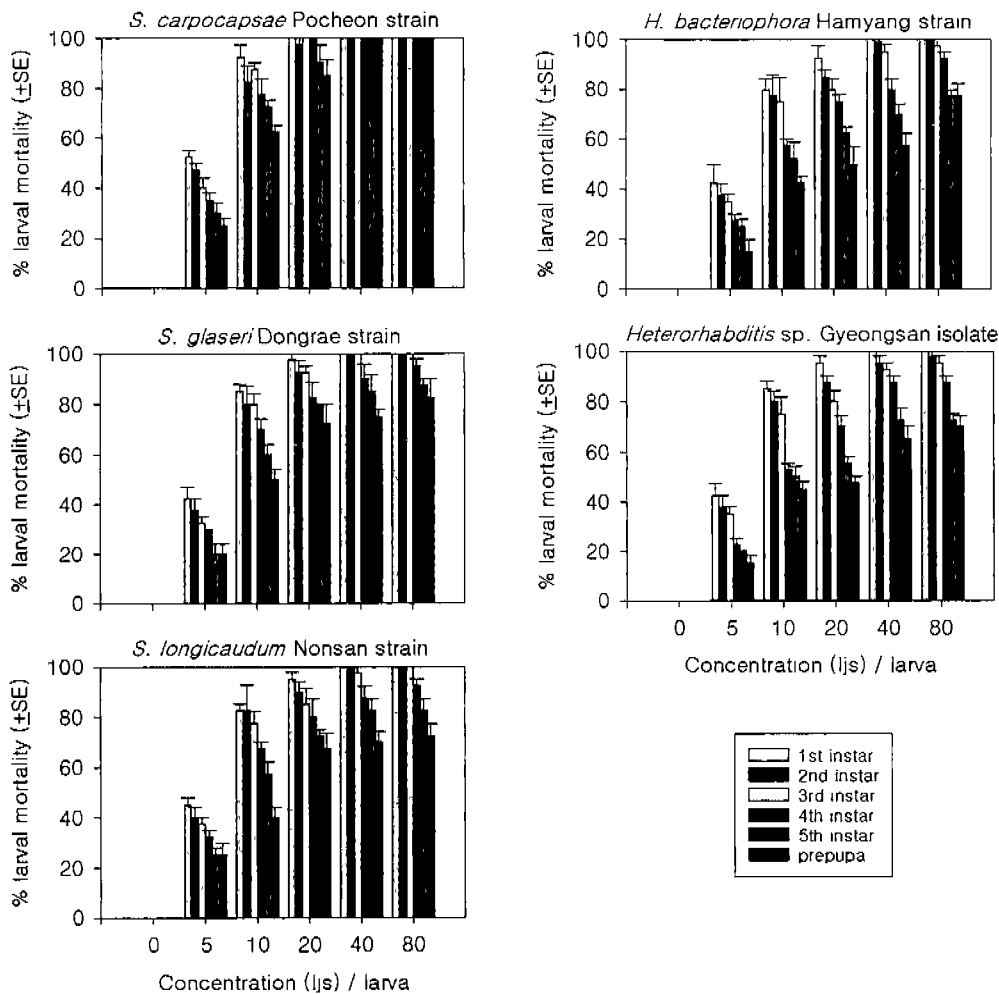


Fig. 1. Mortality of the *Palpita indica* by *Steinernema* and *Heterorhabditis* at different concentration.

**Table 1.** Lethal concentration at 50 and 95% fiducial limits (FL) as determined by petri dish bioassay for the infective juveniles of entomopathogenic nematodes against *Palpita indica*

Nematode	Stage	Slope ± SE	LC <sub>50</sub> (95% FL)*
<i>Steinernema carpocapsae</i> Pochcon strain	1st instar	4.7 ± 1.1	4.9 (3.7~5.7)
	2nd instar	3.4 ± 0.7	5.3 (3.8~6.4)
	3rd instar	4.9 ± 0.9	5.6 (4.7~6.6)
	4th instar	4.4 ± 0.8	6.3 (5.2~7.3)
	5th instar	3.3 ± 0.5	7.1 (5.6~8.5)
	Prepupa	3.2 ± 0.5	8.2 (6.7~9.8)
<i>S. glaseri</i> Dongrae strain	1st instar	3.8 ± 0.7	5.5 (4.2~6.6)
	2nd instar	3.2 ± 0.5	6.1 (4.6~7.4)
	3rd instar	3.4 ± 0.6	6.5 (5.1~7.7)
	4th instar	1.8 ± 0.3	7.2 (4.7~9.6)
	5th instar	1.7 ± 0.3	9.7 (6.6~12.8)
	Prepupa	1.4 ± 0.2	12.4 (8.4~16.9)
<i>S. longicaudum</i> Nonsan strain	1st instar	3.2 ± 0.6	5.4 (3.9~6.6)
	2nd instar	2.9 ± 0.5	5.8 (4.2~7.2)
	3rd instar	2.4 ± 0.4	6.2 (4.3~7.9)
	4th instar	1.6 ± 0.3	7.1 (4.3~9.8)
	5th instar	1.4 ± 0.2	9.9 (6.1~13.8)
	Prepupa	1.1 ± 0.2	15.1 (9.4~22.0)
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i> Hamyang strain	1st instar	2.1 ± 0.4	5.2 (2.1~7.9)
	2nd instar	2.7 ± 0.4	6.3 (4.6~7.8)
	3rd instar	2.0 ± 0.3	6.5 (4.3~8.6)
	4th instar	1.6 ± 0.3	9.4 (6.2~12.6)
	5th instar	1.1 ± 0.2	13.0 (7.7~19.0)
	Prepupa	1.3 ± 0.2	21.7 (15.3~31.2)
<i>Heterorhabditis</i> sp. Gyeongsan isolate	1st instar	3.4 ± 0.6	5.5 (4.0~6.7)
	2nd instar	2.0 ± 0.3	5.6 (3.5~7.5)
	3rd instar	1.7 ± 0.3	6.3 (3.8~8.6)
	4th instar	1.7 ± 0.3	10.9 (7.6~14.3)
	5th instar	1.1 ± 0.2	16.1 (10.3~23.3)
	Prepupa	1.2 ± 0.2	21.9 (15.0~32.7)

\* LC<sub>50</sub> expressed as number of infective juveniles per *P. indica* larva.**Table 2.** Lethal time at 50 and 95% fiducial limits (FL) as determined by petri dish bioassay for the infective juveniles of entomopathogenic nematodes against *Palpita indica*

Nematode	Stage	Slope ± SE	LT <sub>50</sub> (95% FL)*
<i>Steinernema carpocapsae</i> Pochcon strain	1st instar	1.8 ± 0.3	3.4 (2.4~4.5)
	2nd instar	1.8 ± 0.2	3.8 (2.7~4.9)
	3rd instar	1.9 ± 0.2	4.9 (3.7~6.2)
	4th instar	2.2 ± 0.3	6.1 (4.8~7.4)
	5th instar	1.8 ± 0.2	7.3 (5.7~9.2)
	Prepupa	1.6 ± 0.2	9.2 (7.1~11.9)
<i>S. glaseri</i> Dongrae strain	1st instar	2.0 ± 0.2	5.4 (4.2~6.8)
	2nd instar	1.7 ± 0.2	6.2 (4.7~7.9)
	3rd instar	1.9 ± 0.2	7.4 (5.8~9.2)
	4th instar	1.9 ± 0.2	8.3 (6.6~10.4)
	5th instar	1.7 ± 0.2	10.7 (8.4~13.8)
	Prepupa	1.3 ± 0.2	17.7 (13.0~26.2)
<i>S. longicaudum</i> Nonsan strain	1st instar	1.7 ± 0.2	5.1 (3.7~6.5)
	2nd instar	1.7 ± 0.2	6.8 (5.1~8.6)
	3rd instar	1.7 ± 0.2	8.1 (6.3~10.4)
	4th instar	1.7 ± 0.2	9.3 (7.2~11.9)
	5th instar	1.5 ± 0.2	14.3 (10.9~19.4)
	Prepupa	1.1 ± 0.2	34.1 (22.1~72.2)
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i> Hamyang strain	1st instar	2.1 ± 0.2	7.0 (5.6~8.6)
	2nd instar	2.1 ± 0.2	9.2 (7.5~11.3)
	3rd instar	2.2 ± 0.3	13.7 (11.2~16.8)
	4th instar	1.9 ± 0.2	19.3 (15.3~25.3)
	5th instar	1.8 ± 0.2	23.7 (18.5~32.5)
	Prepupa	1.7 ± 0.3	35.4 (26.3~55.7)
<i>Heterorhabditis</i> sp. Gyeongsan isolate	1st instar	2.2 ± 0.3	6.6 (5.3~8.1)
	2nd instar	2.1 ± 0.2	8.5 (6.9~10.4)
	3rd instar	2.1 ± 0.2	11.6 (9.4~14.2)
	4th instar	2.0 ± 0.2	14.5 (11.7~18.4)
	5th instar	1.4 ± 0.2	28.6 (20.8~45.2)
	Prepupa	1.7 ± 0.3	33.1 (24.7~50.6)

\* LT<sub>50</sub>, the time of exposure required to bring about 50% mortality of *P. indica* after infective juveniles treatment.

마리, 4령충 6.3마리, 5령충 7.1마리, 번데기 8.2마리로서 령기가 거듭될수록 점진적으로 선충의 농도가 증가하는 양상을 보였다. 목화바둑명나방 유충에 대한 곤충병원성 선충의 반수치사농도 수준은 목화바둑명나방 1령충에 대한 *S. carpocapsae*의 4.9마리에서 목화바둑명나방 5령충에 대한 *Heterorhabditis* sp.의 16.1마리였고, 번데기에 대한 *S. carpocapsae*의 8.2마리에서 *Heterorhabditis* sp.의 21.9마리로서 목화바둑명나방의 50%가 치사되는 선충의 농도는 유충에 비하여 번데기에서 2배 이상 높았다. 따라서 목화바둑명나방에 대한 곤충병원성 선충의 병원성은 선충의 종( $F = 71.0$ ,  $df = 4$ ,  $P < 0.0001$ ), 농도( $F = 3347.2$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ )와 목화바둑명나방의 령기( $F = 202.1$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ )에 따라 차이가 있었다.

곤충병원성 선충을 목화바둑명나방 1령충, 2령충, 3령충, 4령충, 5령충, 번데기에 접종한 48시간 후 치사율이 가장 높았던 것은 *S. carpocapsae*로서 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 92.5, 87.5%의 치사효과를 나타낸 반면 *Heterorhabditis* sp.는 97.5, 95.0, 90.0, 85.0,

57.5, 55.0%의 치사율을 나타내었다(Fig. 2). 목화바둑명나방에 대한 곤충병원성 선충의 반수치사시간(LT<sub>50</sub>)은 목화바둑명나방의 령기가 어릴수록 50%를 치사시키는데 소요되는 시간이 짧았다(Table 2). 한편 *S. carpocapsae*의 목화바둑명나방 1령충에 대한 반수치사시간이 3.4시간으로서 가장 짧았으며, *H. bacteriophora*은 목화바둑명나방 번데기에 대해 35.4시간으로 가장 긴 시간이 요구되었다. 그리고 5종의 곤충병원성 선충들 중 병원성이 높았던 *S. carpocapsae*의 목화바둑명나방 발육단계에 따른 반수치사시간은 3.4~9.2시간으로 기주의 발육이 진전될수록 그 시간이 길어졌으며, 이러한 경향은 효과가 적었던 *H. bacteriophora*에서도 동일하였다. 따라서 목화바둑명나방에 대한 곤충병원성 선충의 반수치사시간은 곤충병원성 선충의 종( $F = 249.4$ ,  $df = 4$ ,  $P < 0.0001$ ), 목화바둑명나방 령기( $F = 306.0$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ )와 노출시간( $F = 3063.9$ ,  $df = 6$ ,  $P < 0.0001$ )에 따라 차이가 있었다.

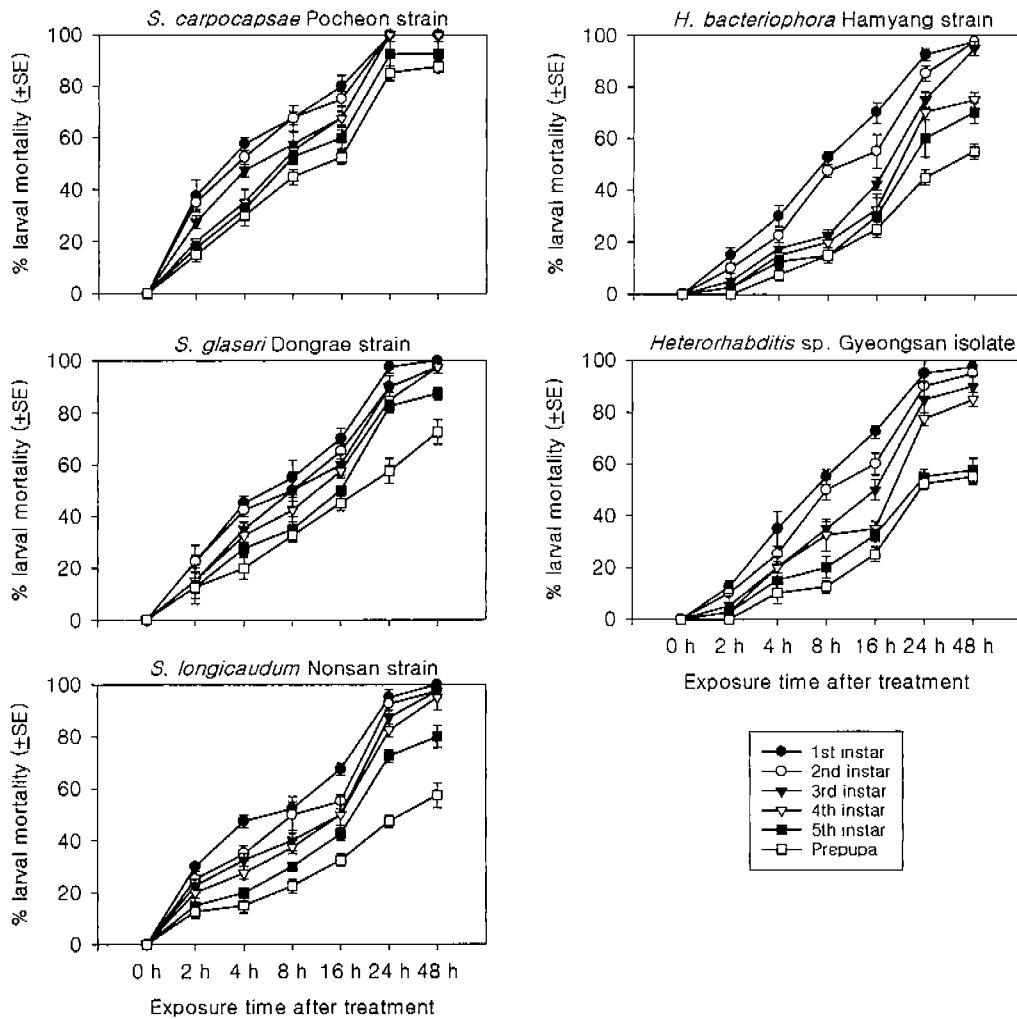


Fig. 2. Mortality of the *Palpita indica* by *Steinernema* and *Heterorhabditis* depend upon exposure time after inoculation.

**포장실험**

포장실험은 진주의 시설하우스와 함양의 노지에서 수행되었는데 목화바둑명나방 유충에 대한 *S. carpocapsae* 효과는 노지보다는 시설하우스에서 높았다. *S. carpocapsae* 처리농도에 따른 목화바둑명나방 유충의 치사율은 ha당  $3.0 \times 10^9$ 마리를 처리하였을 경우가 ha당  $1.5 \times 10^9$ 마리를 처리하였을 때의 치사율보다 전반적으로 높게 나타났다(시설하우스:  $F = 155.6$ ,  $df = 11, 48$ ,  $P < 0.0001$ ; 노지실험:  $F = 104.7$ ,  $df = 11, 48$ ,  $P < 0.0001$ ) (Fig. 3). 또한 노지와 시설하우스와 같은 서로다른 재배지와 처리선충의 농도를 달리하였을 때 목화바둑명나방에 대한 곤충병원성 선충의 효과는 오이의 하엽에서의 목화바둑명나방 유충 치사율이 상, 중엽에서의 치사율보다 높았다. 또한 목화바둑명나방 방제약제인 *B. thuringiensis* (Bt 수화제)의 치사율은 대부분 *S. carpocapsae*를 처

리하였을 때보다 살충효과가 높았으나 시설하우스에서 *S. carpocapsae*  $3.0 \times 10^9$ 마리를 처리하였을 때 하엽에서의 치사율이 Bt 수화제와 차이가 없었다. 따라서 실내실험 결과 목화바둑명나방에 효과가 좋았던 *S. carpocapsae*를 야외 포장에 처리한 결과 목화바둑명나방 유충에 대한 효과는 포장( $F = 229.9$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.0001$ ), 처리( $F = 719.6$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0.0001$ ), 오이 잎의 위치( $F = 187.8$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0.0001$ )에 따라 차이가 있었다. 즉, *S. carpocapsae*는 노지보다는 시설하우스내에서, 처리한 곤충병원성 선충의 농도가 높을수록, 상엽보다는 하엽의 오이잎에서 목화바둑명나방에 대한 치사효과가 높아 목화바둑명나방 발생시 농약을 대신할 수 있는 매우 높은 가능성을 지닌 생물적방제 인자임을 알 수 있었다.

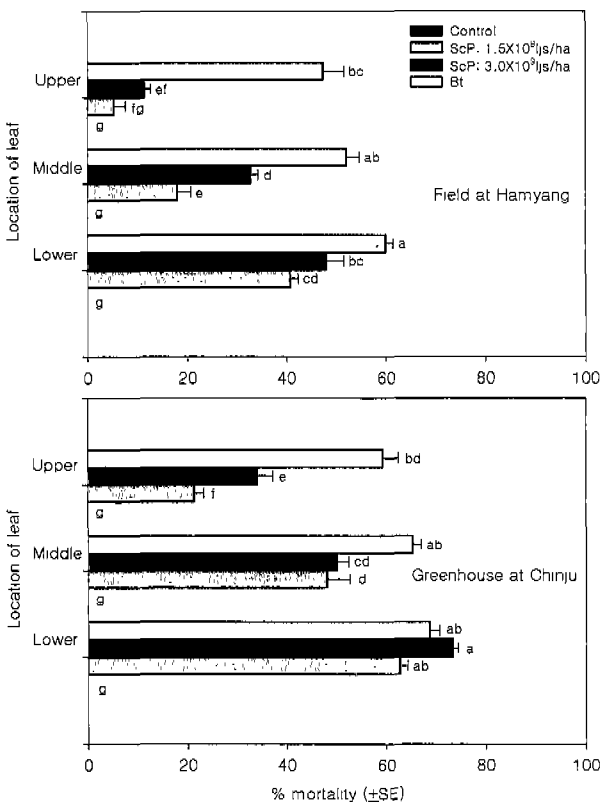


Fig. 3. Mortality of the *Palpita indica* by *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain (ScP) and *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* (Bt). Same kind with the same lower case letter beside bars for a given date is not significantly different ( $P < 0.05$ ).

### 고 찰

일반적으로 목화바둑명나방은 오이, 참외 등 박과 작물에 발생하여 많은 피해를 주고 있다. 이 해충의 방제는 주로 비티수화제(*B. thuringiensis* var. *kurstaki*)를 비롯한 6종의 농약에만 의존하고 있다. 그러나 농약 일변도의 방제는 토양오염, 과채류에서의 농약잔류 문제 등의 부작용의 우려가 있어 대체 가능한 새로운 방제법 개발이 절실히 요구되고 있다. 이미 나비목(Lepidoptera)의 담배거세미나방(Choo et al., 1995, 1998; Lee et al., 1997), 파밤나방(Han et al., 1999), 배추좀나방(Choo et al., 1995, 1998) 등에 병원성이 뛰어났던 곤충병원성 선충을 목화바둑명나방에 적용하여 효과를 알아본 결과, 다른 해충에서와 같이 좋은 방제 효과를 나타내었으나 포장에서는 높은 농도를 필요로 하였다. 실험에 이용한 5종의 한국산 곤충병원성 선충들 중 가장 효과가 우수하였던 것은 *S. carpocapsae*였다(Fig. 1). 목화바둑명나방에 대한 반수치사농도는 령기가 높을수록 증가하였으며(Table 2), 선충에 노출시키는 시간이 길

수록 치사율도 점차 높아졌다(Fig. 2). 그러나 짧은 노출시간(유충에 대한  $LT_{50}$ : 3.4~7.3시간)에도 불구하고 *S. carpocapsae*는 높은 치사율을 보여 목화바둑명나방과 같은 지상부 식엽성 해충을 방제하는데 있어 매우 유용한 천적으로 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 한편, Saunders와 Webster (1999)는 꿀벌부채명나방 유충에 대해 *S. carpocapsae*의 반수치사시간이 24°C에서 40시간이라고 하였으나, Glazer (1992)는 반수치사시간이 1.4 (0.5~2.0)시간으로 차이가 많아  $LT_{50}$ 값 산출은 병원성미생물 처리후 조사방법에 따라 유의적으로 차이가 있음을 알 수 있었다. 곤충병원성 선충의 나비목 유충에 대한 병원성은 대상해충이나 선충 종에 따라 다양한 결과를 나타내고 있다. 즉, 거세미나방(*A. segetum*)과 담배거세미나방(*S. litura*) 유충에서는 *S. feltiae* (DD-136) (= *S. carpocapsae*)가 높은 병원성을 나타내었다(Kondo, 1987; Kondo and Ishibashi, 1987). 또한 Choo et al. (1995, 1998)은 거세미나방과 배추좀나방, 복숭아명나방에서, Fuxa et al. (1988), Epsky와 Capinera (1993)는 *S. frugiperda*의 유충에서, Kaya and Hara (1980, 1981) 그리고 Kaya와 Grieve (1982)는 파밤나방의 번데기에서 병원성을 알아본 결과 *Steinernema* 선충과 *Heterorhabditis* 선충은 대상해충의 종과 령기에 따라 병원성의 차이가 있었다고 하였다. 한편, 곤충병원성 선충은 토양해충이나 천공성 해충에 효과적이지만 지상부 해충에는 자외선이나 건조에 의한 영향 때문에 활용에 부정적이다. 그러나 실내실험에서 목화바둑명나방에 가장 효과가 좋았던 *S. carpocapsae*를 시설하우스와 노지의 오이재배지에 처리한 결과, 포장조건이나 처리농도, 오이 잎의 위치에 따라 차이는 있었지만, 시설하우스내 하엽에서의 치사율이 62~73.3%를 나타내어 살충제인 Bt 수화제와 차이가 없었다(Fig. 3). 목화바둑명나방에 대한 곤충병원성 선충의 방제효과는 목화바둑명나방의 성장 최적온도가 25.0~32.5°C (Shin et al., 2000)로서 곤충병원성 선충의 최적 병원성 발현온도(20.0~30.0°C) (Choo et al., 1995)와 유사하며 유충이 오이의 하엽부터 피해를 주기 시작하여 상업으로 점차 피해 범위를 확대해가기 때문에 초기 발생시 선충처리에 의한 효과는 매우 높을 것으로 생각된다. 따라서 앞으로 지상부 작물잎에서 선충의 지속성을 연장할 수 있는 대안이 마련된다면 곤충병원성 선충의 생물적방제 인자로서의 활용도는 매우 높으리라 생각되며 보다 많은 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 본다.

## 사 사

본 연구를 수행하는 동안 데이터 분석을 도와 준 이동운 박사, 그리고 원활한 실험이 이루어질 수 있도록 협조를 아끼지 않은 선충실험실의 김연선, 김정삼, 정옥련, 윤희숙에게 감사한다. 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구과제 지원(97-0402-02-01-3)으로 이루어진 일부분이다.

## Literature Cited

- Bedding, R.A. and R.J. Akhurst. 1975. A simple technique for the detection of insect parasitic rhabditid nematodes in soil. *Nematologica* 21: 109~110.
- Choi, K.M., S.C. Han, M.H. Lee, W.S. Cho, S.B. Ahn and S.H. Lee. 1990. Color handbook of vegetable insect pests: Ecology and control. 224 pp. Agric. Sci. Inst. Suwon.
- Choo, H.Y., S.M. Lee, B.K. Chung, Y.D. Park and H.H. Kim. 1995. Pathogenicity of Korean entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) against local agricultural and forest insect pests. *Korean J. Appl. Entomol.* 34: 314~320.
- 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. *Japanese Journal of Nematology* 28: 29~41.
- Dutky, S.R., J.V. Thompson and G.E. Cantwell. 1964. A technique for the mass propagation of the DD-136 nematode. *J. Insect Pathol.* 6: 417~422.
- Epsky, N.D. and J.L. Capinera. 1993. Quantification of invasion of two strains of *Steinernema carpocapsae* (Weiser) into three lepidopteran larvae. *Journal of Nematology* 25: 173~180.
- Fuxa, J.R., A.R. Richter and F. Agudelo-Silva. 1988. Effect of host age and nematode strain on susceptibility of *Spodoptera frugiperda* to *Steinernema feltiae*. *Journal of Nematology* 20: 91~95.
- Glazer, I. 1992. Invasion rate as a measure of infectivity of steinernematid and heterorhabditid nematodes to insects. *Journal of Invertebrate Pathology* 59: 90~94.
- Han, S.C., S.S. Lee and Y.G. Kim. 1999. Pathogenicity and multiplication of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Weiser, on beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) and tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius). *Korean J. Appl. Entomol.* 38: 255~260.
- Kaya, H.K. and A.H. Hara. 1980. Differential susceptibility of lepidopterous pupae to infection by the nematode *Neoaplectana carpocapsae*. *Journal of Invertebrate Pathology* 36: 389~393.
- Kaya, H.K. and A.H. Hara. 1981. Susceptibility of various species of lepidopterous pupae to the entomogenous nematode *Neoaplectana carpocapsae*. *Journal of Nematology* 13: 291~294.
- Kaya, H.K. and B.J. Grieve. 1982. The nematode *Neoaplectana carpocapsae* and the beet armyworm *Spodoptera exigua*: Infectivity of prepupae and pupae in soil and of adults during emergence from soil. *Journal of Invertebrate Pathology* 39: 192~197.
- Kim, I.H. and W.H. Bak. 1971. Atlas of agro-forest insect pests. pp. 172~173. Hackchang Press. Seoul.
- Kim, S.G. M.H. Kim, S.S. Hong and J.S. Yang. 1993. Control and life history of *Palpita indica* in cucumber. Annual report-Gyeonggi Agricultural Research and Extension Service pp. 490~502.
- Kondo, E. 1987. Size-related susceptibility of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae to entomogenous nematode, *Steinernema feltiae* (DD-136). *App. Ent. Zool.* 22: 560~569.
- Kondo, E. and N. Ishibashi. 1987. Comparative infectivity and development of the entomogenous nematodes, *Steinernema* spp., on the lepidopterous insect larvae, *Spodoptera litura* (Noctuidae) and *Galleria mellonella* (Galleridae). *Japanese Journal of Nematology* 17: 35~41.
- 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 Zoology* 2: 76~82.
- Ministry of Agriculture and Forestry Republic of Korea. 1999. Local cultivation trend of major crops. National Agricultural Products Quality Management Service. 153 pp. Suwon.
- SAS Institute. 1996. SAS 6.11 for Windows SAS Institute, Cary, NC.
- Saunders, J. and J.M. Webster. 1999. Temperature effects on *Heterorhabditis megidis* and *Steinernema carpocapsae* infectivity to *Galleria mellonella*. *Journal of Nematology* 31: 299~304.
- Shin, W.K., G.H. Kim, C. Song, J.W. Kim and K.Y. Cho. 2000. Effect of temperature on development and reproduction of the cotton caterpillar, *Palpita indica* (Lepidoptera: Pyralidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 39: 135~140.
- Woodring, J.L. and H.K. Kaya. 1988. Steinernematid and heterorhabditid nematodes: A handbook of techniques. Southern Coop. Ser. Bull. 331, 30 pp. Arkansas Agri. Exp. Stn. Fayetteville, AR.

(Received for publication 27 September 2000; accepted 18 May 2001)