

## 곤충병원성 선충을 이용한 잔디밤나방, *Spodoptera depravata* (Butler) (나비목: 밤나방과)의 생물적 방제

강영진 · 이동운<sup>1\*</sup> · 추호렬<sup>2</sup> · 이상명<sup>3</sup> · 권태웅<sup>4</sup> · 신흥균<sup>5</sup>

경상대학교 의과대학 약리학교실, <sup>1</sup>상주대학교 농업과학연구소

<sup>2</sup>경상대학교 응용생명과학부, 농업생명과학원, 환경생명과학 국가핵심연구센터

<sup>3</sup>국립산림과학원 남부산림연구소, <sup>4</sup>동래베네스트골프장, <sup>5</sup>삼성에버랜드 잔디, 환경연구소

## Biological Control of *Spodoptera depravata* (Butler) (Lepidoptera: Noctuidae) Using Entomopathogenic Nematodes

Young Jin Kang, Dong Woon Lee<sup>1\*</sup>, Ho Yul Choo<sup>2</sup>, Sang Myong Lee<sup>3</sup>,  
Tae Woong Kweon<sup>4</sup> and Hong Kun Shin<sup>5</sup>

Department of Pharmacology, College of Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 660-751, Republic of Korea

<sup>1</sup>Institute of Agricultural Science, Sangju National University, Sangju, 742-711, Republic of Korea

<sup>2</sup>Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture and Life Sciences, Environmental Biotechnology Research Center, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam, 660-701, Republic of Korea

<sup>3</sup>Southern Forest Research Center, National Forest Science Institute, Jinju, Gyeongnam, 660-300, Republic of Korea

<sup>4</sup>Dongrae Benest Golf Club, Gumsung, Busan, 609-380, Republic of Korea

<sup>5</sup>Turfgrass and Environment Research Institute, Golf Culture Division, Samsung Everland INC, Gunpo, Gyeonggi, 435-020, Republic of Korea

**ABSTRACT :** Environmentally sound control of Japanese lawngress cutworm, *Spodoptera depravata* with Korean entomopathogenic nematodes (*Heterorhabditis* sp. Gyeongsan, *Steinernema carpocapsae* GSN1, *S. glaseri* Dongrae, *S. longicaudum* Nonsan, and *S. monticolum* Jiri) was evaluated in the laboratory and field. In addition, effect of turf height on the pathogenicity of entomopathogenic nematodes and density of ant (*Formica japonica*) and spine-tailed earwigs (*Forficula scudderi*) were investigated in the field. The corrected mortality of 3rd instar of *S. depravata* larvae was 53.3% to 66.7% 5 days later after treatment of entomopathogenic nematodes. LC<sub>50</sub> value of *S. carpocapsae* GSN1 and *S. monticolum* Jiri against 3rd instar of *S. depravata* was 6.9 and 3.9, respectively. Pathogenicity of *S. carpocapsae* GSN1 was different depending on larval stages, i.e., mortality of 2nd instar was the highest representing 73.3% but decreased from 3rd instar. Turf height affected pathogenicity of entomopathogenic nematodes. Mortality of 4th instar of *S. depravata* was 40.0% by *S. carpocapsae* GSN1 and 33.3% by *S. monticolum* Jiri, and 83.3% by fenitrothion, respectively, in the turf height of 14 mm, but those were lower in 45 mm. The corrected mortality of *S. depravata* larvae was lower at the entomopathogenic nematode plots than fenitrothion plot in the distribution field of *Formica japonica*. However, reduction rate of *F. japonica* was higher in fenitrothion by 56.7% compared with 0% in *S. carpocapsae* GSN1 and 6.7% in *S. monticolum* Jiri. Turf height influenced control of *S. depravata* in *S. carpocapsae* GSN1 and fenitrothion. Control value of *S. carpocapsae* GSN1 was 62.2% in the turf height of 3-4 cm, but not effective at all in 6-8 cm and 12-14 cm. However, there was not significantly different in fenitrothion plots. *Forficula scudderi* was also reduced only in fenitrothion plots. Reduction rate was 100% in 3-4 cm, 41.7% in 6-8 cm, and 16.7% in 12-14 cm, respectively.

\*Corresponding author. E-mail: whitegrub@hanmail.net

**KEY WORDS :** Turfgrass insect pests, *Formica japonica*, *Forficula scudderi*, Turf height, Integrated pest management

**초 록 :** 우리나라산 곤충병원성 선충(*Heterorhabditis* sp. Gyeongsan, *Steinernema carpocapsae* GSN1, *S. glaseri* Dongrae, *S. longicaudum* Nonsan, *S. monticolum* Jiri)을 이용한 잔디밤나방(*Spodotera depravata*)의 환경친화적 방제 가능성을 알아보기 위하여 실내와 야외에서 실험을 수행하였다. 아울러 잔디의 예고가 곤충병원성 선충의 효과에 미치는 영향과 야외에서 곤충병원성 선충의 처리가 잔디밭에 분포하고 있는 개미와 집게벌레의 밀도 변화에 미치는 영향도 조사하였다. 잔디밤나방 3령충은 곤충병원성 선충에 대하여 처리 5일째 53.3%에서 66.7%의 보정사충율을 나타내었다. *S. carpocapsae* GSN1과 *S. monticolum* Jiri의 잔디밤나방 3령충에 대한 반수치사농도(LC<sub>50</sub>)는 6.9와 3.9마리였다. *S. carpocapsae* GSN1의 병원성은 잔디밤나방의 령기에 따라 차이가 있어 2령충에서 73.3%로 가장 높았으며, 3령충부터 감소하였다. 예고는 곤충병원성 선충의 병원성에 영향을 미쳤다. 들잔디의 예고가 14 mm인 pot에서 4령충의 치사율은 *S. carpocapsae* GSN1 처리가 40.0%였고, *S. monticolum* Jiri 처리는 33.3%였으며 fenitrothion은 83.3%의 치사율을 나타내었으나 45 mm 구에서는 모두 낮았다. 곰개미(*Formica japonica*) 분포지에서 선충처리구의 보정사충율은 fenitrothion 처리구에 비하여 낮았으나, 개미의 감소율은 fenitrothion 구에서 56.7%로 높았고, *S. carpocapsae* GSN1 처리구와 *S. monticolum* Jiri 처리구에서는 각각 0%, 6.7%로 낮았다. 잔디의 예고는 *S. carpocapsae* GSN1과 fenitrothion의 효과에 영향을 미쳤다. *S. carpocapsae* GSN1은 3-4 cm 예고구에서는 62.2%의 방제효과를 나타내었으나, 6-8 cm와 12-14 cm의 예고구에서는 전혀 효과가 없었다. 그러나 fenitrothion 처리구에서는 유의적 차이가 없었다. 못뽑기집게벌레(*Forficula scudderi*)의 밀도도 fenitrothion 처리구에서만 감소를 보였다. 즉, 3-4 cm 예고구에서는 100%의 감소율을 보였고, 6-8 cm 구에서는 41.7%, 12-14 cm 구에서는 16.7%의 감소율을 나타내었다.

**검색어 :** 잔디해충, 곰개미, 못뽑기집게벌레, 잔디예고, 종합방제

## 서 론

잔디밤나방(*Spodotera depravata* (Butler))은 화분과 목초의 중요해충으로(Iwano, 1987), 특히 골프장에 사용하고 있는 벨트그라스(*Agrostis capillaris*, *A. tenuis*)와 버뮤다그라스(*Cynodon dactylon*), 툴페스큐(*Festuca arundinacea*), 페레니얼라이그라스(*Lolium perenne*), 켄터키블루그라스(*Poa pratensis*), 금잔디(*Zoysia matrella*), 들잔디(*Z. japonica*) (Guo *et al.*, 1993; Choo *et al.*, 2000; Saigusa *et al.*, 2000; Qian *et al.*, 2003)와 같은 잔디류의 잎을 가해하기 때문에 골프장에서는 가장 문제가 되고 있는 나방류 해충 중의 하나이다.

잔디밤나방은 동북아시아 지역에 분포하고 있는데(Mochida and Okada, 1974), 년 발생횟수는 지역에 따라 다르다. 예를 들면, 일본에서는 년 1-3세대 발생하는데(Oku *et al.*, 1978; Kono *et al.*, 1999; Saito, 2000), Kanto지역에서는 년 3회 발생한다(Iwano, 1987). 그러나 중국의 천진에서는 년 4-5회 발생하며(Guo *et al.*,

1993), 상해에서는 5회 발생한다(Qian *et al.*, 2003). 우리나라에서의 발생횟수는 잘 알려져 있지 않으나 7월과 9월에 잔디밤나방에 의한 피해가 심하게 나타나고 있다(Choo *et al.*, 2000; Lee, D.W. observation data). 우리나라와 비슷한 위도에 위치하고 있는 일본의 Saitama 현에서는 년 3회 발생하고 있기 때문에(Iwano, 1987), 우리나라에서도 년 3회 정도 발생할 것으로 추정된다.

잔디밤나방은 판매를 목적으로 잔디를 대규모로 재배하면서 관리를 소홀히 하는 곳에서 크게 발생하여 지상부를 먹어 치우면서 잔디를 황화시키는 피해를 준다. 이로 인하여 새로운 잎이 돋아나기 전까지 판매를 할 수 없게 만드는데, 일반적으로 7월에 피해가 심하게 나타난다(Lee, D.W., observation data). 골프장에서는 잔디깎기 작업을 소홀히 한 곳이나 초장이 비교적 높은 러프지역에서 국지적으로 피해가 나타난다. 가해 초기에는 잎 끝이 다소 희끗희끗 해 보이다가 피해가 심해지면서 마른 잎들이 목격되며, 지상부 전체가 피해를 받으면 맨 땅이 들어 날 정도의 심한 피해를 주기도 한다(Lee, D.W., observation data).

잔디밤나방에는 chlorfenapyr SC, chlorpyrifos EC, chlorfluazuron EC, flufenoxunon EC, tebufenozide SC 등의 살충제가 효과적인 것으로 알려져 있다(Qian et al., 2003). 우리나라에서는 fenitrothion EC가 등록 (Anonymous, 2003)되어 있다. 그러나 살충제 사용에 따른 저항성 출현과 수원지나 지하수의 보호 및 각종의 환경오염에 대한 우려 등(Saigusa et al., 2000)으로 인하여 농약에 대체할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 특히 우리나라의 골프장은 대부분 산림지역에 위치하고 있기 때문에 더 더욱 그러하다. 농약을 대체할 수 있는 방법에는 천적 등 생물적 방제인자를 이용하는 방법이 있을 수 있다.

잔디밤나방의 천적으로는 *Apantelia* 기생봉이나 *Pseudogonia* 기생파리, 병원미생물, 포식성 천적류 등 (Iwano, 1987; Guo et al., 1993; Miyasono et al., 1998) 이 알려져 있으며, 곤충병원성 선충도 생물적 방제인자로 이용되고 있다(Hatsukade, 1994; 1996).

곤충병원성 선충(*Steinernema* spp.와 *Heterorhabditis* spp.)은 넓은 기주범위와 높은 병원성, 빠른 기주 치사력을 가지고 있을 뿐만 아니라, in vitro에서 쉽게 배양되며, 인축에도 안전한 생물적 방제 인자로, 특히 토양해충에 효과적이다(Kaya and Gaugler, 1993). 이와 같은 특성으로 인하여 시설재배지나 잔디밭의 해충 방제에 크게 활용되고 있는 편이다(Choo et al., 1997). 한편, 골프장에는 많은 종류의 유익한 곤충도 함께 분포하고 있다(Choo et al., 2000). 그들 중에서도 개미의 경우 *Solenopsis invicta* 불개미와 같이 잔디해충으로서 문제시되는 경우도 있으나(Shurtleff et al., 1987) 대부분의 개미는 해충의 알이나 유충을 포식하는 천적류이다(Potter, 1998). 집게벌레의 경우도 비록 혐오감을 줄 수는 있으나 대부분 죽거나 썩은 식물체를 먹거나 해충을 포식하는 천적류로서(Potter, 1998) 동얼룩풍뎠이(*Exomala orientalis*) 굼벵이를 포식한다(Lee, D.W., observation data). 골프장의 해충들을 생물적 방법으로 방제할 경우 활용하는 인자가 유익한 곤충류에는 피해를 끼치지 않아야 한다. 그러나 골프장에서 곤충병원성 선충이 유익곤충에 미치는 영향에 관한 정보는 극히 한정적이다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 분리한 곤충병원성 선충을 이용하여 잔디밤나방의 환경친화적 방제 가능성을 알아보고, 잔디의 예고가 곤충병원성 선충의 효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실내와 야외에서 실시하였으며, 아울러 야외에서 곤충병원성 선충의

처리가 잔디밭에 분포하고 있는 개미와 집게벌레의 밀도 변화에 미치는 영향도 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 곤충병원성 선충과 잔디밤나방

본 실험에 이용한 곤충병원성 선충은 우리나라에서 분리한 *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통과 *S. glaseri* Dongrae 계통, *S. monticolum* Jiri 계통, *S. longicaudum* Nonsan 계통, *Heterorhabditis* sp. Gyeongsan 계통(Choo et al., 1995; Stock et al., 1997a, b, 2001)이었다. 이들 선충은 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 노숙유충에서 Dutky et al. (1964)의 방법으로 대량 증식시켰으며, 증식된 선충은 White trap을 이용하여 수확하였다. 그리고 9°C 냉장고에 보관하면서 수확 후 3주 이내의 것을 실험에 사용하였다(Woodring and Kaya, 1988). 잔디밤나방은 들잔디에 발생한 개체들을 채집하여 실험에 이용하였다. 실내에서의 병원성 검정은 7월 14일 경남 진주에 있는 국립산림과학원 남부 산림연구소의 들잔디 밭에서 1-6령충을 채집하여 실험실로 가져와 수행하였으며, 7월 27일 2차로 채집한 3령충은 pot실험에 이용하였다. 야외실험은 두 번에 걸쳐 수행하였다. 첫 번째 실험은 8월 12일 채집한 잔디밤나방 유충을 이용하였으며, 두 번째 실험은 9월 18일 동래베네스트골프장 예비포에서 수행하였다. 잔디밤나방의 링기구별은 Guo et al. (1993)의 방법에 따라 체장과 두뿔을 이용하여 구분하였다.

### 잔디밤나방 유충에 대한 곤충병원성 선충의 실내 병원성 검정

잔디밤나방 3령충에 대한 한국산 곤충병원성 선충의 병원성

직경 8 cm, 높이 1.5 cm 플라스틱 petri dish에 여과지(Whatman #2) 2장을 깔고는 적당한 수분을 보유케 한 다음, 각 선충의 침입태 유충(infective juveniles) 200마리 현탁액 1 ml을 고루 접종하였다. 여기에 남부 산림연구소 들잔디에서 채집한 잔디밤나방 3령충 10마리를 각 petri dish에 넣었다. 그리고 들잔디를 뿌리채 5g씩 먹이로 공급하였다. 대조구는 살균수 1 ml만을 처리하였다. 처리한 petri dish는 0.02 mm 비닐로 씌운 다음 통기를 위하여 곤충 핀으로 4-5개 정도의 구

명을 뚫었고, 그대로  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 실온에 보관하면서 처리 3일과 5일 후 잔디밤나방 유충의 치사유무를 확인하였다. 실험은 3반복으로 수행하였으며, 실험에 이용한 선충은 *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. glaseri* Dongrae 계통, *S. monticolum* Jiri 계통, *S. longicaudum* Nonsan 계통, 그리고 *Heterorhabditis* sp. Gyeongsan 계통이었다.

#### *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. monticolum* Jiri 계통의 잔디밤나방 3령충에 대한 반수치사농도

잔디밤나방 3령충에 대한 위의 병원성 실험에서 병원성이 비교적 높았던 *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. monticolum* Jiri 계통을 이용하여 잔디밤나방의 3령충에 대한 반수치사농도( $LC_{50}$ )를 조사하였다. 직경 8 cm, 높이 1.5 cm 플라스틱 petri dish에 여과지(Whatman #2) 2장을 깔고, *S. carpocapsae* GSN1 계통은 유충 한 마리 당 5, 10, 20, 40, 80마리 농도로 1 ml씩 고루 접종하였으며, *S. monticolum* Jiri 계통은 유충 한 마리 당 10, 20, 40, 80, 160마리 농도로 1 ml씩 접종하였다. 여기에 남부산림연구소 들잔디에서 채집한 잔디밤나방 3령충 10마리를 각 petri dish에 넣고는 위와 같이 들잔디를 뿌리채 5 g씩 먹이로 공급하였다. 그리고 치사유무의 확인과 실험의 반복도 위와 같이 하였다.

#### *S. carpocapsae* GSN1 계통의 잔디밤나방 령기별 병원성 검정

직경 8 cm, 높이 1.5 cm의 플라스틱 petri dish에 여과지(Whatman #2) 2장을 깔고는 수분을 맞추고, *S. carpocapsae* GSN1 계통을 200마리 농도로 1 ml씩 고루 접종하였다. 여기에 남부산림연구소 들잔디에서 채집한 잔디밤나방 1령충과 2령충, 3령충, 4령충, 5령충을 각 10마리씩 각각의 petri dish에 넣고, 뿌리채 들잔디를 5 g씩 먹이로 공급하였다. 처리한 petri dish는 위의 실내 병원성 검정실험과 같이 하여  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 실온에 보관하였다. 대조구는 살균수 1 ml만을 처리하였다. 실험은 3반복으로 수행하였으며, 처리 3일과 5일 후 유충의 각 령기별 치사유무를 확인하였다.

#### 잔디밤나방 유충에 대한 곤충병원성 선충의 pot 실험

야외에서 재배하고 있던 들잔디를 가로 16 cm, 세로 10 cm 크기로 잘라  $16 \times 10$  cm의 pot에 담았다. 그리고 pot 가장자리의 틈새는 모래로 채워 넣었다. 그런 다

음 가위로 잔디를 잘라 예고를 14 mm와 45 mm로 각각 맞추었다. 그리고 128 ml의 물을 각 pot에 주고는 실험 하루 전 채집하여 실험실에서 보관 중이던 잔디밤나방 4령충을 10마리씩 방사하였다. 여기에 *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. monticolum* Jiri 계통을 각 pot당 1,600마리씩 64 ml를 만들어 가정용 소형 분무기로 살포하였다. 무처리구는 물만 64 ml 살포하였으며, 대조 약제로는 fenitrothion 50% EC를 1,000배 액으로 희석하여  $24 \text{ ml}/160 \text{ cm}^2$  ( $750 \mu\text{l a.i.}/\text{m}^2$ )양으로 살포하였다. 처리 후 잔디밤나방 유충의 탈출을 막기 위하여 pot의 위쪽을 방충망으로 덮고  $30 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 실내에 두면서 7일 후 생충수를 조사하였다. 실험은 한 개의 pot를 한 반복으로 하여 3반복으로 수행하였다.

#### 잔디밤나방 유충에 대한 곤충병원성 선충의 field 실험

##### 곰개미(*Formica japonica*) 분포지에서의 잔디밤나방 방제실험

잔디밤나방의 야외 방제실험은 2회에 걸쳐 수행하였다. 첫 번째는 곤충병원성 선충의 처리가 잔디밤나방의 방제와 포식성 개미의 밀도변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시하였다. 즉, 곰개미의 밀도가  $12.0 \pm 3.2$ 마리/ $\text{m}^2$  (시험지 주변  $1 \text{ m}^2$  크기 9개 지점의 12시 조사 평균값)였던 경상대학교 전자도서관 뒤쪽의 들잔디 식재지에서 8월 8일 실험을 수행하였는데, 시험지는 들잔디를 식재한지 4년 된 곳으로 관리를 하지 않고 방치해 두었던 곳이었으며 댕취충은 전혀 발달되어 있지 않았다. 인위적인 관수도 하지 않아 자연 강우에만 의존하는 곳이었다. 시비와 농약살포도 전혀 이루어지지 않은 곳이었다. 시험구의 크기는  $0.25 \text{ m}^2$ 였으며 난괴법 4반복으로 수행하였다. 각 시험구의 간격은 50 cm였다. 시험구 설정 후 각 구에 물뿌리개로 2 l씩의 물을 관수하고는 야외에서 채집하여 실내에서 사육 중이던 잔디밤나방 5령충 15마리씩을 방사하였다. 방사 30분 후 *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. monticolum* Jiri 계통을 각 구당 50,000마리( $2 \times 10^9$ 마리/ha) 농도로 1 l씩 살포하였다. 대조 약제로는 fenitrothion 50% EC를 1,000배 액으로 희석하여  $37.5 \text{ ml}/0.25 \text{ m}^2$  ( $75 \mu\text{l a.i.}/\text{m}^2$ )양으로 살포하였다. 무처리구는 물만 1 l 살포하였다. 처리 후 잔디밤나방의 탈출을 막기 위하여  $50 \times 50 \times 10$  cm의 방충망을 설치하였고, 지면과 닿은 부분은 5 mm 두께의 철사로 고정시켰다.

처리 6일 후 각 구에 생존하고 있던 유충수를 조사하였다. 곤충병원성 선충의 살포는 오후 7시경에 하였다. 처리 당일의 평균 온도는 24.9°C였고, 처리 전날 38 mm의 강우가 있었으며, 처리 2일과 3일 후에도 각각 0.1 mm와 23.5 mm의 강우가 있었다.

못뽑이집게벌레(*Forficula scudder*) 분포지에서 잔디의 예고에 따른 잔디밤나방의 방제실험

두 번째는 예고가 잔디밤나방의 방제에 미치는 영향과 굽벙이를 포식하는 집게벌레의 밀도변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시하였다. 못뽑이집게벌레의 밀도가  $4.8 \pm 0.8$ 마리/m<sup>2</sup>였던 부산시 금정구 소재의 동래베네스트골프장 예비포에서 9월 18일 실험을 수행하였는데, 들잔디가 식재되어 있었으며, 필요에 따라 비정기적으로 잔디깎기 작업을 하면서 매일 관수를 하던 곳이었다. 그리고 덧취층은 1 cm 내외였다. 시비는 년 2회를 하고 있었으나 살충제는 처리하지 않던 포장이었다. 시험구는 예초기를 이용하여 지표면으로부터 각각 3-4 cm, 6-8 cm, 12-14 cm 높이로 잔디를 깎은 후, 0.25 m<sup>2</sup> 크기로 시험구를 난괴법 3반복으로 배치하였고, 시험구의 간격은 50 cm를 두었다. 각 시험구에는 물뿌리개를 이용하여 11씩의 물을 살포하였다. 여기에 전날 야외에서 채집하여 실내에서 보관 중이던 건강한 잔디밤나방의 2령충 5마리, 3령충 5마리, 4령충 5마리씩을 각 시험구에 방사하였다. 방사 후 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 25,000마리/0.25 m<sup>2</sup> ( $1 \times 10^9$ 마리/ha) 농도로 0.75 l씩 물뿌리개로 살포하였다. 대조 약제로는 fenitrothion 50% EC 1,000배 액을 각 구에 750 ml (1.5 ml a.i./m<sup>2</sup>)씩 물뿌리개를 이용하여 살포하였다. 무처리구는 물만 0.75 l 살포하였다. 처리 후에는 각 시험구에서 잔디밤나방이 탈출하는 것을 막기 위하여 50×50×10 cm의 방충망을 설치하였고, 지면과 닿은 부분은 5 mm 두께의 철사로 고정시켰다. 처리 7일 후 각 구에 생존하고 있던 유충수를 조사하였으며, 각 시험구 내에 있는 집게벌레의 수도 함께 조사하였다. 곤충병원성 선충의 살포는 오후 7시경에 하였고, 처리 당일의 평균 온도는 20.3°C였으며, 처리 4일 후 0.4 mm의 강우가 있었다.

통계처리

잔디밤나방 유충에 대한 한국산 곤충병원성 선충의 병원성은 arcsin 변환시켜 Tukey test로 처리평균간 차이를 분산분석 하였는데(PROC ANOVA) (Cho, 1996),

결과는 변환전의 평균±표준오차로 표기하였다. 반수치사농도는 probit분석하였다(PROC PROBIT) (Cho, 1996). 모든 실험결과와 유의성 정도는  $P < 0.05$  범위에서 수행하였다.

결 과

잔디밤나방 유충에 대한 곤충병원성 선충의 실내 병원성 검정

잔디밤나방 3령충에 대한 한국산 곤충병원성 선충의 병원성 한국산 곤충병원성 선충은 잔디밤나방 3령충에 대하여 비교적 낮은 병원성을 나타내었다(Fig. 1). 처리 5일째의 치사율이 53.3%에서 66.7%였다. 그리고 *S. carpocapsae* GSN1과 *S. monticolum* Jiri가 높은 병원성을 나타내었으나 종에 따른 유의성 차이는 없었다(3일:  $F = 0.51$ ,  $df = 4, 10$ ,  $P = 0.7299$ ; 5일:  $F = 0.93$ ,  $df = 4, 10$ ,  $P = 0.4825$ ).

*S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. monticolum* Jiri 계통의 잔디밤나방 3령충에 대한 반수치사농도

*S. carpocapsae* GSN1과 *S. monticolum* Jiri의 잔디밤

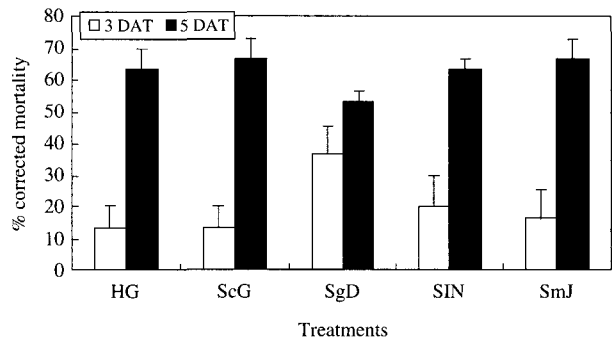
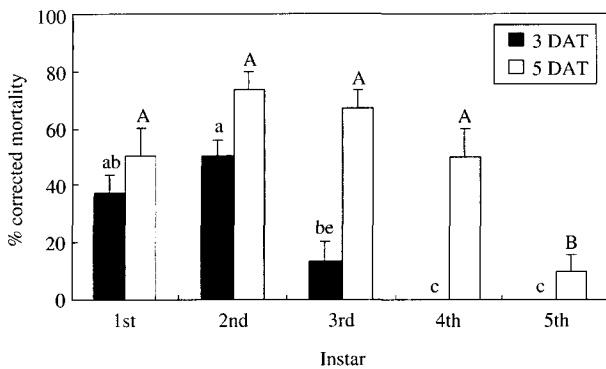


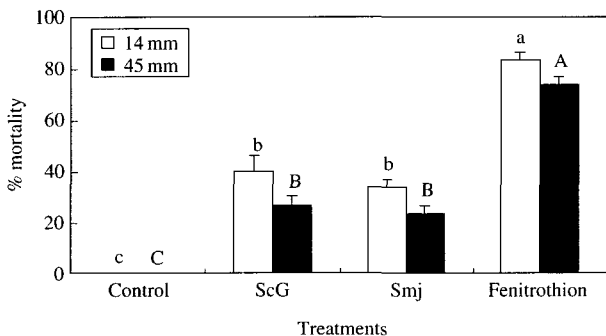
Fig. 1. Efficacy of Korean entomopathogenic nematodes against third instar of *Spodoptera depravata* in the laboratory. HG, *Heterorhabditis* sp. Gyeongsan; ScG, *Steinernema carpocapsae* GSN1; SgD, *S. glaseri* Dongrae; SIN, *S. longicaudum* Nonsan; and SmJ, *S. monticolum* Jiri.

Table 1. Lethal concentration of 50% and 90% for the infective juveniles of *Steinernema carpocapsae* and *S. monticolum* against third instar of *Spodoptera depravata*

Nematode species	Slope ± SE	LC <sub>50</sub> (95% fiducial limits)	LC <sub>90</sub> (95% fiducial limits)
<i>S. carpocapsae</i> GSN1	1.1 ± 0.3	6.9 (2.9-11.0)	99.4 (50.2-505.4)
<i>S. monticolum</i> Jiri	0.6 ± 0.3	3.9 (1.5E-5-13.4)	656.3 (144.2-6.9E13)



**Fig. 2.** Pathogenicity of *S. carpocapsae* GSN1 against each instar of *Spodoptera deprivata* in the laboratory. The same lowercase letter (3 days after treatment) and the same uppercase letter (5 days after treatment) over the bars indicated that there is no significantly different among means ( $P > 0.05$ ).



**Fig. 3.** Effect of turf height on the pathogenicity of *Steinernema carpocapsae* GSN1 and *S. monticolum* Jiri against fourth instar of *Spodoptera deprivata* in the pot. The same lowercase letter (14 mm) and the same uppercase letter (45 mm) over the bars indicated that there is no significantly different among means ( $P > 0.05$ ). Turfgrass species was *Zoysia japonica*.

나방 3령충에 대한  $LC_{50}$ 값은 각각 6.9와 3.9였고,  $LC_{90}$ 값은 99.4와 656.3이었다(Table 1).

*S. carpocapsae* GSN1 계통의 잔디밤나방 령기별 병원성  
*S. carpocapsae* GSN1의 병원성은 잔디밤나방의 령기에 따라 차이가 있었다(Fig. 2). 처리 5일째 2령충과 3령충의 치사율은 각각 73.3%와 66.7%로 감소적이었으나 5령충은 10%의 낮은 치사율을 나타내었다(3일:  $F = 20.46$ ,  $df = 4, 10$ ,  $P = 0.0001$ ; 5일:  $F = 9.0$ ,  $df = 4, 10$ ,  $P = 0.0024$ ).

#### 잔디밤나방 유충에 대한 곤충병원성 선충의 pot 실험

Pot에서 잔디밤나방 4령충에 대한 한국산 곤충병원

**Table 2.** Efficacy of *Steinernema carpocapsae* GSN1 and *S. monticolum* Jiri against fifth instar of *Spodoptera deprivata* in the field

Treatments	% reduction $\pm$ SE	% corrected mortality <sup>1</sup>	Mean no. of ants/plot $\pm$ SE	% reduction of ants <sup>2</sup>
<i>S. carpocapsae</i> GSN1	31.7 $\pm$ 6.9	12.8	3.3 $\pm$ 1.3	—
<i>S. monticolum</i> Jiri	23.3 $\pm$ 6.4	2.0	2.8 $\pm$ 0.8	6.7
Fenitrothion 40% EC	98.4 $\pm$ 3.4	98.0	1.3 $\pm$ 0.3	56.7
Control	21.7 $\pm$ 5.0	—	2.8 $\pm$ 0.8	6.7

<sup>1</sup>Corrected mortality = (Treatment mortality - control mortality)/100 - control mortality.

<sup>2</sup>Mean number of ants (*Formica japonica*) in the pre-treatment plot - mean number of ants in each treatment plot.

성 선충의 병원성 검정에서 14 mm의 예고에서는 *S. carpocapsae* GSN1이 40.0%, *S. monticolum* Jiri이 33.3%의 치사율을 나타내어 fenitrothion의 83.3%에 비하여 낮았다( $F = 127.77$ ,  $df = 3, 8$ ,  $P = 0.0001$ ). 그리고 45 mm의 예고에서는 14 mm의 예고에 비하여 치사율이 모두 낮았다( $F = 160.06$ ,  $df = 3, 8$ ,  $P = 0.0001$ ) (Fig. 3).

#### 잔디밤나방 유충에 대한 곤충병원성 선충의 field 실험

곰개미 분포지에서 잔디밤나방의 방제실험

Field에서 잔디밤나방 5령충에 대한 *S. carpocapsae* GSN1과 *S. monticolum* Jiri의 방제 효과는 실내실험과 같이 낮게 나타났다( $F = 49.51$ ,  $df = 3, 12$ ,  $P = 0.0001$ ). 선충처리구의 보정사충율은 *S. monticolum* 처리구에서 2.0%, *S. carpocapsae* 처리구에서 12.8%였으나 fenitrothion 처리구는 98.0%였다. 한편, 선충 처리 후의 개미의 감소율은 *S. carpocapsae* 처리구에서는 변화가 없었으나 *S. monticolum* 처리구에서는 6.7%, 무처리구에서는 6.7%였다. 그러나 살충제인 fenitrothion 처리구에서는 56.7%나 되어 개미는 처리한 곤충병원성 선충에 의해서는 영향을 받지 않았으나 살충제에 의해서는 영향을 받는 것으로 나타났다(Table 2).

뭇뺨이집게벌레 분포지에서 잔디의 예고에 따른 잔디밤나방의 방제실험

잔디의 예고는 *S. carpocapsae* GSN1과 fenitrothion의 효과에 영향을 미쳤다(Table 3). 특히 *S. carpocapsae* GSN1은 3-4 cm 예고구에서는 62.2%의 방제효과를 나타내었으나, 6-8 cm와 12-14 cm의 예고구에서는

**Table 3.** Effect of turf height on the pathogenicity of *Steinernema carpocapsae* GSN1 and insecticide to *Spodoptera depravata* larvae in the field

Treatments	% mortality $\pm$ SE			% reduction of spine-tailed earwigs <sup>1</sup>		
	3-4 cm	6-8 cm	12-14 cm	3-4 cm	6-8 cm	12-14 cm
<i>S. carpocapsae</i> GSN1	62.2 $\pm$ 5.9bA	0.0 $\pm$ 0.0bB	0.0 $\pm$ 0.0bB	0	0	0
Fenitrothion 40% EC	95.6 $\pm$ 4.5aA	95.5 $\pm$ 2.2aA	88.9 $\pm$ 2.2aA	100	41.8	16.7
Control	0.0 $\pm$ 0.0c	0.0 $\pm$ 0.0b	0.0 $\pm$ 0.0b	0	0	0

Means within and between columns followed by the same lowercase and uppercase letter are not significantly different (Tukey test,  $P > 0.05$ ).

Turfgrass species was *Zoysia japonica*.

Five 2nd, 3rd, and 4th instar larvae of *Spodoptera depravata* were placed in each plot.

<sup>1</sup>Mean number of spine-tailed earwigs (*Forficula scudderi*) in the pre-treatment plot - mean number of earwigs in each treatment plot.

전혀 효과가 없었다. 반면, fenitrothion 처리구에서는 예고에 따른 유의적 차이가 없었지만 3-8 cm 예고구에서는 95% 내외의 방제효과를 나타내었고, 12-14 cm 구에서는 88.9%의 치사율만 나타내었다. 한편, 집게벌레의 밀도는 fenitrothion 처리구에서만 감소율을 보였다. 즉, 3-4 cm 예고구에서는 100%의 감소율을 보였고, 6-8 cm 구에서는 41.7%, 12-14 cm 구에서는 16.7%의 감소율을 나타내었다(Table 3).

## 고 찰

곤충병원성 선충은 잔디밤나방 유충에 대하여 효과가 크게 있는 편은 아니었다. 특히 *S. carpocapsae* GSN1은 등얼룩풍뎅이나 주둥무늬차색풍뎅(*Adoretus tenuimaculatus*) 등 굽벙이에 대해서는 비교적 효과가 적지만(Lee et al., 2002a, b), 복숭아명나방(*Dichocrocis punctiferalis*)이나 밤애기잎말이나방(*Cydia kurokoi*), 목화바둑명나방(*Palpita indica*)과 같은 나비목 해충과(Choo et al., 2001; Kim et al., 2001a) 작은뿌리파리(*Bradysia agrestis*) (Kim et al., 2003) 또는 긴수염버섯파리(*Lycoriella mali*) (Kim et al., 2001b) 등의 해충에는 매우 높은 병원성을 지니고 있는 선충이다. 그럼에도 불구하고 잔디밤나방에 대한 실내실험에서도 3령충에 대하여 60% 내외의 병원성만 보였다. Hatsukada (1996)도 본 실험과 같은 petri dish 검정에서 잔디밤나방 3령충은 petri dish 당 250마리 농도에서 *S. carpocapsae* All 계통은 처리 8일 후 60%의 치사율만 보여 비슷한 결과를 얻었다. 따라서 우리나라에서 분리한 곤충병원성 선충만 잔디밤나방에 대하여 특별히 병원성이 낮은 것이 아니고, 잔디밤나방 자체가 곤충병원성 선충에 대하여 저항력이 큰 것으로 추정된다.

*S. monticolum* Jiri 계통은 우리나라의 지리산에서 검출된(Stock et al., 1997b) 저온 적응성이 높은 곤충병원성 선충으로 알려져 있는데(Koppenhöpper et al., 2000), 잔디밤나방에 대해 비교적 높은 병원성을 나타내었다. 잔디밤나방의 경우 10월이나 11월에 번데기나 유충으로 월동한 후 다음 해 4월에 활동을 개시하기 때문에(Iwano, 1987), 저온 활성이 높은 병원성 선충을 잔디밤나방의 월동직전이나 직후에 사용하면 다소 도움이 되리라 생각된다. 한편으로는 번데기에 대하여 효과가 높은 병원성 선충을 선발하여 월동 전 또는 후의 번데기를 대상으로 방제계획을 수립하면 더욱 좋으리라 생각된다.

잔디밤나방의 *S. carpocapsae* GSN1에 대한 감수성은 령기가 높을수록 낮았다. 특히 5령충은 매우 낮은 경향을 보였다. 5령충을 대상으로 경상대학교 들잔디에서 행하였던 야외실험의 결과도, 2령충과 3령충 및 4령충을 혼합하여 수행한 동래베네스트 골프장에서의 야외실험 결과에 비하여 현저히 낮은 효과를 보였다. 곤충병원성 선충의 효과는 기주의 크기에 따라서도 영향을 받는다. 즉, 담배거세미나방(*Spodoptera litura*)은 령기가 높을수록 *S. feltiae*에 대하여 병원성이 감소하였으며(Kondo, 1987; Choo et al., 1988), *S. frugiperda*도 *S. feltiae*에 대하여 높은 령기에서 병원성이 낮아(Fuxa et al., 1998) 본 실험의 결과와 같은 경향이 있었다. Kaya (1985)도 파밤나방(*S. exigua*)은 령기가 낮을수록 *S. feltiae*에 대하여 감수성이 증가하였다고 하였다. 잔디밤나방의 섭식량은 1-3령까지는 작지만 4령부터 급격히 증가한다(Qian et al., 2003). 실제 3령 이전의 잔디밤나방 유충에 의하여 피해를 받은 잔디는 잎 끝이 희끗희끗 해 보일 뿐 자세히 관찰하지 않으면 간과하기 쉬우나 4령 이후부터는 불규칙적인 황화 현상이 나타나 피해가 쉽게 목격된다(Lee, D.W. observation data). 따라서 잔디밤나방의 방제를 위해서는

잔디의 피해가 나타나기 전인 3령 이전의 유충을 대상으로 방제계획을 수립하는 것이 바람직하다. 그러므로 곤충병원성 선충을 잔디밤나방 방제에 활용하기 위해서는 세심한 monitoring을 통하여 잔디밤나방의 발생을 미리 미리 관찰하여 초기방제에 중점을 두는 것이 필요하다고 생각된다.

한편, 잔디밤나방에는 기생성 천적의 기생율이 비교적 높은 편이다(Lee, S.M. pers. communication). Guo *et al.* (1993)은 3령 이전의 잔디밤나방 유충에 기생하여 3령이 되면 밖으로 탈출하여 나오는 *Microplites* sp. 고치벌의 기생율은 10%, 5령이나 6령충에서 탈출하는 *Apanteles* sp. 고치벌의 자연 기생율은 20-30%, 기생파리인 *Pseudogonia rufifrons*의 기생율은 29.9-49.0%라 하여 잔디밤나방은 기생성 천적에 의하여 자연적으로 억제되고 있음을 알 수 있다. 그리고 잔디밤나방은 1령에서 3령까지의 기간이 실온에서 평균 9일 정도인데(Guo *et al.*, 1993), 발생초기에 곤충병원성 선충을 처리하면 5일 이내에 치사가 이루어져 기생성 천적도 보호하면서 잔디밤나방도 방제할 수 있을 것으로 생각된다.

잔디의 예고는 곤충병원성 선충의 효과에 영향을 미쳤는데, 예고가 높을수록 곤충병원성 선충의 효과가 감소하였다. 이것은 잔디의 예고가 낮을 경우 지표면으로 유입되는 선충 현탁액의 양이 예고가 높은 잔디에 비하여 많기 때문에 지표면에 있던 잔디밤나방이 곤충병원성 선충에 노출되는 시간이나 기회가 많아지기 때문으로 생각된다. 또 다른 요인으로는 잔디의 예고가 높을 경우, 위쪽 부분의 잔디 잎이나 줄기부분이 지붕처럼 보호막을 형성하여 잔디 전체부분이나 지표면으로 선충의 현탁액이 골고루 분포하는 것을 방해하기 때문으로 생각된다.

곰개미 분포지인 경상대학교 구내에서 *S. carpocapsae* GSN1과 *S. monticolum* Jiri를 이용한 잔디밤나방 5령충의 방제효과도 매우 낮았다. 특히, 무처리구에서 기생봉이나 기생파리가 목격되지 않았음에도 불구하고 잔디밤나방의 유충수가 많이 감소한 편이었는데, 이는 곰개미의 포식에 의한 것으로 생각된다. 개미는 잔디밭에서 토양의 구조를 변화시키거나(Wang *et al.*, 1995), 해충들의 알 또는 유충, 번데기를 포식한다(Cockfield and Potter, 1995; Lopez and Potter, 2000). 특히 *Formica*속의 개미들은 해충을 공격하여 치사시키는 능력이 높다. 본 연구의 실험지에 서식하던 곰개

미는 잔디밤나방의 번데기를 12시간 후 90% 이상 포식하였다(Lee, D.W. observation data). 이러한 결과로 미루어볼 때, 무처리구의 잔디밤나방 유충 감소는 곰개미의 포식에 의한 것으로 생각된다. 한편, 개미들은 *Heterorhabditis*속의 선충에 의하여 감염된 치사충은 회피하는 특성을 가지고 있으나 *Steinernema*속 선충에 감염된 치사체는 피하지 않는 특성을 지니고 있다(Kaya *et al.*, 1998, Lee, D.W. unpublished data). 따라서 본 실험에서는 *Steinernema*속 선충들만 이용하였기 때문에 선충에 감염된 잔디밤나방을 특별히 회피함이 없이 무처리구와 동일하게 개미의 포식이 이루어졌을 것으로 생각된다. 못뽑이집게벌레의 경우 잔디밤나방 유충의 직접적인 포식은 목격되지 않았으나 등얼룩풍뎡이 유충을 포식하는 것이 목격되어(Lee, D.W. observation data), 골프장에서 천적으로서의 기능을 가질 것으로 생각된다. Fenitrothion은 잔디밤나방에 효과적이었으나 포식성 개미류나 집게벌레도 무차별적으로 치사시켰다. Terry *et al.* (1993)이나 Kunkel *et al.* (1999)은 살충제가 골프장 해충들의 밀도를 감소시킬 뿐만 아니라 유용무척추동물에도 영향을 준다고 하였는데, 본 연구에서도 개미나 집게벌레의 밀도를 감소시켰다.

실험에 이용한 우리나라산 *Steinernema* 선충들은 잔디밤나방 유충에 대하여 병원성이 60% 이내로 낮았고, 령기가 높을수록 병원성이 떨어지지만 천적류의 보호와 종합적 방제의 이용이라는 점에서 활용되어 질 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 기생성 곤충류나 개미 또는 집게벌레와 같은 지표 서식성 포식곤충에 영향을 미치지 않으면서 잔디밤나방에 대하여는 병원성을 가지고 있어, 장기적인 잔디 해충의 종합방제에 활용할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

실내 및 포장 실험 수행에 도움을 준 경상대학교 농업생명과학대학 응용생물환경학과 선충실험실 실원들과 동래베네스트골프장 코스관리팀원들에게 감사한다. 그리고 개미의 분류에 도움을 주신 류동표 박사에게도 사의를 표한다. 이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었다(KRF-2002-075-C00023).



## Literature Cited

- Anonymous. 2003. Manual of pesticides use in Korea. 951 pp. Korean Agricultural Chemicals Industrial Association.
- Cho, I.H. 1996. Practice and application of SAS. 665pp. Sungandang Pub. Co. Seoul.
- Choo, H.Y., D.W. Lee, S.M. Lee, T.W. Lee, W.G. Choi, Y.K. Chung and Y.T. Sung. 2000. Turfgrass insect pests and natural enemies in golf courses. Korean J. Appl. Entomol. 39: 171~179.
- Choo, H.Y., H.K. Kaya and D.K. Reed. 1988. Biological control of onion maggot and tobacco cutworm with insect-parasitic nematodes, *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis heliothidis*. Korean J. Appl. Entomol. 27: 185~189.
- Choo, H.Y., H.K. Kaya and D.W. Lee. 1997. Entomopathogenic nematodes: their potential for biological control of turfgrass insects. Proc. Int. Symp. Biological Control of Insect Pests. pp. 144~159.
- Choo, H.Y., H.K. Kaya and S.P. Stock. 1995. Isolation of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from Korea. Japanese J. Nematol. 25: 44~51.
- Choo, H.Y., H.H. Kim, D.W. Lee, S.M. Lee, S.H. Park, Y.M. Choo and J.K. Kim. 2001. Practical utilization of entomopathogenic nematodes, *S. carpocapsae* Pochon strain and *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain for control of chestnut insect pests. Korean J. Appl. Entomol. 40: 69~76.
- Cockfield, S.D. and D.A. Potter. 1985. Predation on sob webworm (Lepidoptera: Pyralidae) eggs as affected by chlorpyrifos application to Kentucky bluegrass turf. J. Econ. Entomol. 77: 1542~1544.
- Dutky, S.R., J.V. Thompson and G.E. Cantwell. 1964. A technique for the mass production of the DD-136 nematode. J. Insect Pathol. 6: 417~422.
- 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*. J. of Nematol. 20: 91~95.
- Guo, P.L., D.L. Zhang and X.P. Zhang. 1993. Observation on the biological characters of *Sidemia depravata* (Butler). Entomological Knowledge 30: 103~106.
- Hatsukade, M. 1994. Control of insect pests with entomopathogenic nematodes. II. control of turfgrass insect pests with entomopathogenic nematodes in Japan. Technical Bulletin- food and fertilizer technology center 139: 14~22.
- Hatsukade, M. 1996. Control of turfgrass insect pests with entomopathogenic nematodes in Japan. Proceeding of the international symposium on "The use of biological control agents under integrated pest management". pp. 78~85.
- Iwano, H. 1987. Seasonal occurrence of microsporidia in the field populations of the lawn grass cutworm, *Spodoptera depravata* Butler. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 31: 321~327.
- Kaya, H.K. 1985. Susceptibility of early larval stages of *Pseudaletia unipuncta* and *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to the entomogenous nematode *Steinernema feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae). J. Invertebr. Pathol. 46: 58~62.
- Kaya, H.K., A.M. Koppenhöfer and M. Johnson. 1998. Natural enemies of entomopathogenic nematodes. Japanese J. Nematol. 28: 13~20.
- Kaya, H.K. and R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. Ann. Rev. Entomol. 38: 181~206.
- Kim, H.H., H.Y. Choo, C.G. Park, S.M. Lee and Y.M. Choo. 2001a. Biological control of cotton caterpillar, *Palpita indica* Saunders (Lepidoptera: Pyralidae) with entomopathogenic nematodes. Korean J. Appl. Entomol. 40: 245~252.
- Kim, H.H., H.Y. Choo, H.S. Lee, C.G. Park, D.W. Lee, B.R. Jin and Y.M. Choo. 2001b. Biological control of *Lycoriella mali* (Diptera: Sciaridae), a pest of oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* using entomopathogenic nematodes. Korean J. Appl. Entomol. 40: 59~67.
- Kim, H.H., H.Y. Choo, D.W. Lee, S.M. Lee, H.Y. Jeon, M.R. Cho and M.S. Yi. 2003. Control efficacy of Korean entomopathogenic nematodes against fungus gnat, *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae) and persistence in bed soil. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44: 393~401.
- Kondo, E. 1987. Size-related susceptibility of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae to entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae* (DD-136). Appl. Ent. Zool. 22: 560~569.
- Kono, S., M. Taira and H. Tanaka. 1999. Prediction of occurrence of turf insect pests by simulation model. Proceeding of the Kansai Plant Protection Society 41: 39~44.
- Koppenhöfer, A.M., S. Ganguly and H.K. Kaya. 2000. Ecological characterization of *Steinernema monticolum*, a cold-adapted entomopathogenic nematode from Korea. Nematology. 2: 407~416.
- Kunkel, B.A., D.W. Held and D.A. Potter. 1999. Impact of halofenozide, imidacloprid, and bendiocarb on beneficial invertebrates and predatory activity in turfgrass. J. Econ. Entomol. 92: 922~930.
- Lee, D.W., H.Y. Choo, H.K. Kaya, S.M. Lee, D.R. Smitly, S.K. Shin and C.G. Park. 2002a. Laboratory and field evaluation of Korean entomopathogenic nematode isolates against the oriental beetle, *Exomala orientalis* (Coleoptera: Scarabaeidae). J. Econ. Entomol. 95: 918~926.
- Lee, D.W., H.Y. Choo, O.J. Shin, J.S. Yun and Y.S. Kim. 2002b. Damage of perennial ryegrass, *Lolium perenne* by chestnut brown chafer, *Adoretus tenuimaculatus* (Coleoptera: Scarabaeidae) and biological control with Korean isolate of entomopathogenic nematodes. Korean J. Appl. Entomol. 41: 217~223.
- López, R. and D.A. Potter. 2000. Ant predation on eggs and larvae of the black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) and Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in turfgrass. Environ. Entomol. 29: 116~125.
- Mochida, O. and T. Okada. 1974. A bibliography of *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae). Miscellaneous Bulletin of Kyushu National Agricultural Experiment Station 49: 1~110.
- Miyasono, M., M. Suzuki, F. Yamashita, C. Kumagai, Y. Ueyama and M. Doteuchi. 1998. Strain of *Bacillus thuringiensis* serovar *kurstaki* with increased UV resistance and lepidopteran larvicidal activity. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 42: 15~20.
- Oku, T., T. Kobayashi and O. Saito. 1978. Studies on the ecology and control of grassland insects. VIII. notes on the phenology and some behaviours of a grass-worm, *Spodoptera depravata* Butler, in Morioka. Bulletin of the Tohoku National Agricultural Experimental Station 58: 81~96.
- Potter, D.A. 1998. Destructive turfgrass insects. 344pp. Ann Arbor Press, Chelsea, USA.
- Qian, Z.G., G.H. Shen, X.Q. Xia, Q.H. Luo, L. Yang and Y.D. Yuan. 2003. Studies on the biological character and control of *Sidemia depravata* (Butler). Acta Agriculturae Shanghai. 19: 93~96.
- Saigusa, M., K. Onozawa, H. Watanabe and K. Shibuya. 1999. Effects of porous hydrate calcium silicate on the wear resistance, insect resistance and disease tolerance of turf grass "Miyako". Grassland Science 45: 416~420.
- Saito, O. 2000. Flight activity of three *Spodoptera* spp., *Spodoptera litura*, *S. exigua* and *S. depravata*. Physiol. Entomol. 25: 112~119.
- Shurtleff, M.C., T.W. Fermanian and R. Randell. 1987. Controlling turfgrass pests. 449pp. Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, USA.
- Stock, S.P., H.Y. Choo and H.K. Kaya. 1997a. First record of *Steinernema glaseri* Steiner, 1929 (Nematoda: Steinernematidae) in Asia, with notes on intraspecific variation. Nematologica 43: 377~381.
- Stock, S.P., H.Y. Choo and H.K. Kaya. 1997b. An entomopatho-

- genic nematode, *Steinernema monticolum* sp. n. (Rhabditida: Steinernematidae) from Korea with a key to other species. *Nematologica* 43: 15-29.
- Stack, S.P., J. Heng, D. Hunt, A.P. Reid, X. Shen and H.Y. Choo. 2001. Redescription of *Steinernema longicaudum* Shen & Wang (Nematoda: Steinernematidae); geographic distribution and phenotypic variation between allopatric populations. *J. Helminthol.* 75: 81-92.
- Terry, L.A., D.A. Potter and P.G. Spicer. 1993. Insecticides affect predatory arthropods and predation on Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) eggs and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) pupae in turfgrass. *J. Econ. Entomol.* 86: 871-878.
- Wang, D., K. McSweeney, B. Lowery and J.M. Norman. 1995. Nest structure of the ant *Lasius neoniger* Emery and its implications to soil modification. *Geoderma* 66: 259-272.
- Woodring, J.L. and H.K. Kaya. 1988. Steinernematidae and heterorhabditid nematodes: a handbook of techniques. Southern Coop. Ser. Bull. 331, Arkansas Agri. Exp. Stn. Fayetteville, AR. 29pp.

(Received for publication 5 February 2004;  
accepted 9 March 2004)