

## 녹색콩풍뎅이(*Popillia quadriguttata*) 성충에 대한 곤충병원성선충의 병원성

이근식 · 이동운\* · 김형환<sup>1</sup> · 이상명<sup>2</sup> · 추호렬<sup>3</sup> · 신흥균<sup>4</sup>

상주대학교 생물응용학과, <sup>1</sup>원예연구소 원예환경과, <sup>2</sup>국립산림과학원 남부산림연구소, <sup>3</sup>경상대학교 응용생물환경학과, 농업생명과학연구원, <sup>4</sup>삼성에버랜드 잔디, 환경 연구소, 경기 군포 435-020

### Pathogenicity of Entomopathogenic Nematodes to *Popillia quadriguttata* (Coleoptera: Scarabaeidae) Adult

Kun Sik Lee, Dong Woon Lee\*, Hyeong Hwan Kim<sup>1</sup>, Sang Myeong Lee<sup>2</sup>, Ho Yul Choo<sup>3</sup> and Hong Kun Shin<sup>4</sup>

Department of Applied Biology, Sangju National University, Sangju, 742-711, Republic of Korea.

<sup>1</sup>Horticultural Environment Division of National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon, 441-440, Republic of Korea.

<sup>2</sup>Southern Forest Research Center, National Forest Science Institute, Jinju, Gyeongnam, 660-300, Republic of Korea.

<sup>3</sup>Department of Applied Biology and Environmental Sciences, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam, 660-701, Republic of Korea.

<sup>4</sup>Turfgrass and Environment Research Institute, Golf Culture Division, Samsung Everland INC, Gunpo, Gyeonggi, 435-020, Republic of Korea

**ABSTRACT :** Three Korean isolates of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP (ScK), *S. glaseri* Dongrae (SgD), and *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP (HsK), were evaluated for the control of a turfgrass pest, *Popillia quadriguttata*. Three days after treatment, all nematodes showed high pathogenicity to adult *P. quadriguttata* with 97.5% mortality by ScK, 90.8% by HsK, and 80% by SgD at the concentration of 900 infective juveniles per adult. Nematode attachment and infection rate to adult *P. quadriguttata* were various depending on nematode species and inoculation density. The rate of nematode attachment was 90.8% in HsK, 90.6% in SgD, and 35% in ScK, respectively at the concentration of 900 infective juveniles per adult. The infection rate that represents the rate of detected nematode from inside insect of body was 97.5% in ScK, 80% in both HsK and SgD at the 900 concentration of infected juveniles. The infection rate, however, was decreased to 27.5% in ScK, 72.5% in SgD, but no nematodes was detected in HsK at the concentration of 90 infective juveniles.

**KEY WORDS :** Steinernematidae, Heterorhabditidae, golf courses, turfgrass insect pests, natural enemy, dispersal

**초 록 :** 골프장의 문제해충들 중 녹색콩풍뎅이(*Popillia quadriguttata*) 성충의 방제를 위하여 세 종의 한국산 곤충병원성선충 {*Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP 계통 (ScK), *S. glaseri* Dongrae 계통(SgD), *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통 (HsK)}을 이용하여 실험을 수행하였다. 3일 후, 녹색콩풍뎅이 성충 한 마리당 900마리의 선충을 처리하였을 때, 치사율은 ScK가 97.5%, HsK가 90.8%, SgD가 80%를 각각 나타냄으로써 이용한 선충 모두가 높은 병원력을 나타내었다. 성충 한 마리 당 900마리의 선충을 처리한 3일 후의 치사율은 ScK는 97.5%, HsK는 90.8%, SgD는 80%였다. 선충의 녹색콩풍뎅이 성충 표면부착율과 침입율은 접종 선충의 종과 밀도에 따라 차이가 있었다. 즉, 성충 한 마리당 900마리의 선충을 처리하였을 때 녹색콩풍뎅이 성충의 표면에서 검출된 HsK의 비율은 90.8%였으며, SgD는 90.6%, ScK는 35%였다. 녹색콩풍뎅이 성충 내에 침입한 선충의 검출여부에 따른 선충의 침입율은 성충 한 마리 당 900마리의 선충을 처리한 3일 후 ScK는 97.5%, HsK와 SgD는 각각 80.0%를 보였다. 반면, 성충 한 마리 당 90마리의 선충을 처리한 3일 후의 ScK 검출율은 27.5%, SgD는 72.5%였으나 HsK는 발견되지 않았다.

**검색어 :** Steinernematidae, Heterorhabditidae, 골프장, 잔디해충, 천적, 분산

\*Corresponding author. E-mail: dwlee@sangju.ac.kr

녹색콩풍뎡이(*Popillia quadriguttata*)는 우리나라와 중국, 대만, 베트남 등에 분포하고 있으면서(Kim, 2001) 19과 29종의 각종 경제작물과 조경수의 잎을 가해한다(Guo, 1983; Choo *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2002, 2003). 특히 본 종은 우리나라의 골프장에 발생하고 있는 주요 풍뎡이류 중의 하나로(Choo *et al.*, 1999, 2000) 성충은 조경수의 잎을 가해하고, 유충은 잔디의 뿌리를 가해하여 잔디의 생육억제와 잎의 조기황화 및 고사 등을 일으킨다(Lee *et al.*, 2003).

우리나라에서 녹색콩풍뎡이는 Ku *et al.* (1999)이 재정리를 하기 전까지는 우찌다풍뎡이(*Popillia uchidai*), 왜콩풍뎡이(*Popillia japonica*)로 취급되어 왔던 종으로 골프장에서 발생생태(Lee *et al.*, unpublished data)와 기주식물(Lee *et al.*, 2002), 화학적 방제에 관한 연구가 최근 수행되고 있다(Lee *et al.*, 2003).

한편, 곤충병원성선충은 우리나라의 골프장과 시설재배지에서 각종 해충 방제를 위하여 실용성이 높은 천적으로 활용되고 있다(Choo *et al.*, 1997, 1998). Heterorhabditid는 굼벵이 방제를 위하여 주로 활용되고 있고, Steinernematid는 나방류 유충방제를 위하여 활용되고 있다(Choo *et al.*, 2001, 2002b; Lee *et al.*, 2002a; Kang *et al.*, 2004).

왜콩풍뎡이 성충은 암컷이 방출하는 성페로몬에 많은 수컷들이 교미를 위하여 집단적으로 모여들어 무리를 이루는데(Potter and Held, 2002), 녹색콩풍뎡이 성충도 한 마리의 암컷에 여러 마리의 수컷이 모여들어 무리를 만든다. 이들은 교미 후 토양에 잠입해서 산란을 하며 여러 번 산란하는 습성을 지니고 있다(Lee, unpublished data). 이와 같은 생태적 특징은 굼벵이 방제를 위하여 활용하는 곤충병원성선충을 성충의 방제에도 확대하여 사용할 수 있는 가능성을 시사하고 있다. 즉, 토양에 곤충병원성선충을 처리 할 경우 토양에 잠입해 있는 성충에 선충이 침입하여 치사시킬 수 있다. Lacey *et al.* (1995)은 곤충병원성선충, *Steinernema glaseri*를 이용하여 왜콩풍뎡이 성충의 방제 가능성과 왜콩풍뎡이 성충이 곤충병원성선충의 분산기능을 할 수 있음을 제시한 바 있다. 따라서 본 연구는 토양에 처리한 곤충병원성 선충이 녹색콩풍뎡이 성충에 대한 병원성을 가지고 있는지 여부와 그에 따른 방제가능성을 조사하고자 선충의 종류와 처리 농도별로 실내 실험을 통하여 알아보았다.

## 재료 및 방법

### 녹색콩풍뎡이

녹색콩풍뎡이는 곤충병원성선충을 처리하지 않았던 경남 진해의 용원골프장에서 왜콩풍뎡이 페로몬 트랩과 포충망을 이용하여 채집하여 이용하였다. 페로몬트랩은 왜콩풍뎡이 성페로몬 lure, (R,Z)-5-(1-Decenyl) dihydro-2(3H)-furanone (TRÉCÉ Inc. Salinas, CA)와 TRÉCÉ floral lure cup, PEG (16 Phenethyl propionate-Eugenol-Geraniol)(TRÉCÉ Inc. Salinas, CA)를 이용하였는데, catch-can trap (TRÉCÉ Inc. Salinas, CA)에 장착하여 이용하였다. 녹색콩풍뎡이 성충은 12시 전후에 활동량이 가장 많기 때문에(Lee *et al.*, unpublished data) 오전 10시에 트랩을 설치 한 다음 오후 4시에 수거하였다. 유인된 풍뎡이들은 실험실로 운반되어, 그들 중 교미중인 암·수한 쌍씩 살균모래(수분함량 13%)로 높이 4 cm가 채워진 직경 7 cm, 높이 6 cm 플라스틱 용기에 한 쌍씩 따로 분리하여 넣었다. 먹이는 석류(*Punica granatum*)의 잔가지와 잎과 함께 4 cm 크기로 잘라 넣어 주었다. 한편, 채집된 녹색콩풍뎡이 성충의 곤충병원성선충 존재 유무를 알아보기 위하여 무작위로 100마리의 성충을 선택하여 현미경 하에서 내부와 외부를 조사하였다.

### 곤충병원성선충

곤충병원성 선충은 우리나라에서 분리한 *Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP 계통 (ScK)과 *S. glaseri* Dongrae 계통 (SgD), *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통 (SgD)(Choo *et al.*, 1995; Stock *et al.*, 1997)이었다. 이들 선충은 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*)의 노숙 유충을 이용하여 Dutky *et al.* (1964)의 방법으로 증식시켰으며, 증식된 선충은 White trap을 이용하여 수확하였다. 그리고 9°C 냉장고에 보관하면서 수확 후 3주 이내의 것을 실험에 이용하였다(Woodring and Kaya, 1988).

### 선충의 병원성검정과 침입밀도 조사

곤충병원성 선충의 녹색콩풍뎡이 성충에 대한 실내 병원성 검정을 위하여 동래 골프장의 티에서 채취한 토양을 4 mm체로 친 다음 120°C, 1.5 kgf/cm<sup>2</sup>에서 살균하여 건조시켰다. 건조시킨 토양을 살균수로 수분을 13%(w/v)로 맞추어 다음 직경 10.5 cm, 높이 6 cm의 플라스틱 용기에

**Table 1.** Analysis of variance for main effects and interaction of nematode concentration and species on pathogenicity and ratio of entomopathogenic nematodes on surface of *Popillia quadriguttata*

Source of variance	df	Mean square	F value	Pr>F
<b>Nematode pathogenicity</b>				
Nematode concentration(C)	1	1781.9	10.7	0.0043
Nematode species(S)	2	13.8	0.08	0.9208
C×S	2	498.2	2.99	0.0759
Error	18	166.8	-	-
Corrected total	23	-	-	-
<b>% with entomopathogenic nematode on surface of <i>P. quadriguttata</i></b>				
Nematode concentration(C)	1	5654.9	46.8	0.0001
Nematode species(S)	2	1349.0	11.2	0.0007
C×S	2	1324.3	11.0	0.0008
Error	18	120.7	-	-
Corrected total	23	-	-	-
<b>% with entomopathogenic nematode inside of <i>P. quadriguttata</i></b>				
Nematode concentration(C)	1	10020.5	67.9	0.0001
Nematode species(S)	2	1602.8	10.9	0.0008
C×S	2	2669.7	18.1	0.0001
Error	18	147.6	-	-
Corrected total	23	-	-	-

5 cm 높이로 채웠다. 여기에 9°C 냉장고에 보관 중이던 곤충병원성선충 ScK와 SgD, HsK를 각각 녹색콩풍뎅이 성충 한 마리 당 900마리 농도와 90마리 농도로 가정용 분무기를 이용하여 17.6 ml씩 고루 살포하였다. 선충 살포 후 전날 채집하여 순화시킨 건강한 녹색콩풍뎅이 성충 5쌍을 각 플라스틱 통에 방사한 다음, 석류잎을 먹이로 공급하였다. 3일 후 각 처리구에서 녹색콩풍뎅이 성충을 하나씩 들어내어 선충에 의한 치사유무를 현미경 하에서 조사하였다. 체표면에 붙어 있는 곤충병원성선충 조사는 각 성충을 살균수로 씻어 낸 뒤 선충의 수를 헤아렸으며, 체내 감염 여부는 해부를 통하여 조사하였다. 실험은 각 처리별로 4반복으로 수행하였으며, 대조구는 살균수만 17.6 ml 처리하였다.

### 통계분석

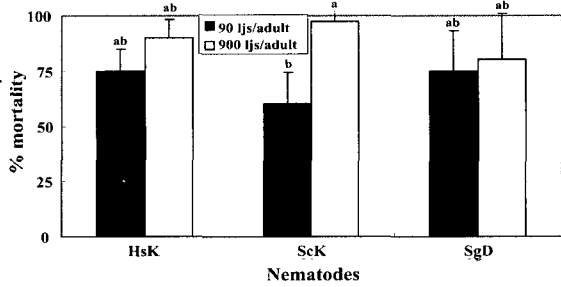
녹색콩풍뎅이 성충에 대한 한국산 곤충병원성선충의 병원성과 체내부와 외부의 선충 비율은 arcsin 변환시켜 Tukey test로 처리평균간 차이를 분산분석 하였는데 (PROC ANOVA)(Cho, 1996), 결과는 변환전의 평균±표준편차로 표기하였다. 모든 실험결과의 유의성 정도는  $P<0.05$  범위에서 수행하였다.

### 결과 및 고찰

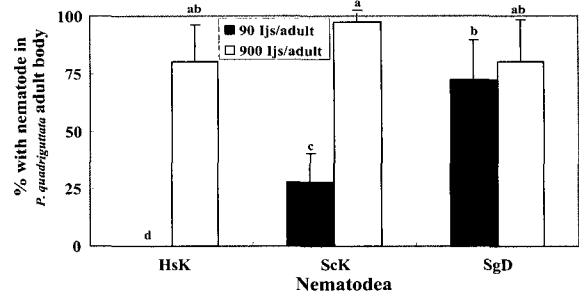
곤충병원성선충은 녹색콩풍뎅이 성충에 대하여 높은 병원성을 나타내었다(df=6, 21,  $F=13.3$ ,  $p<0.0001$ )(Fig. 1). 병원성은 선충의 종에 따른 차이는 보이지 않았지만 농도에서는 차이를 보여 성충 한 마리당 90마리를 처리한 구 보다는 900마리의 선충을 처리한 구에서 높은 치사율을 보였다(Table 1). ScK는 900마리 선충/성충 처리에서 97.5%의 높은 치사율을 보였으나 HsK와 SgD는 동일 농도에서 각각 90.8%와 80.0%의 치사율을 나타내었다 (Fig. 1).

각 처리구의 녹색콩풍뎅이 성충을 대상으로 표면에 묻어있는 선충 보유율을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 표면에 선충이 부착하고 있었던 비율은 선충의 종이나 농도에 따라 차이가 있었다(Table 1). HcK는 900마리 선충/성충 처리에서 치사된 성충 모두의 표면에 선충이 있었으며, SgD는 72.5%의 성충에서 선충이 표면에 발견되었다. 반면 ScK는 35%만 선충이 표면에서 발견되었다(Fig. 2). 녹색콩풍뎅이 성충의 치사율은 선충의 처리 농도간에는 큰 차이를 보이지 않았으나 표면에 곤충병원성선충이 있었던 비율은 HsK에서 12배의 차이가 났다(Fig. 2).

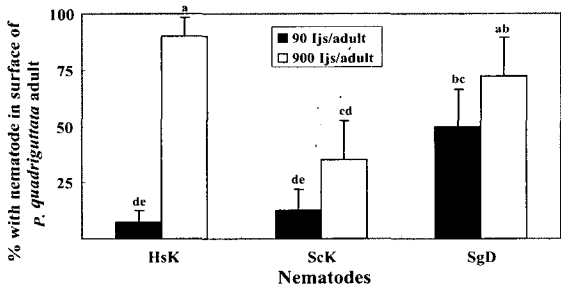
곤충병원성선충의 녹색콩풍뎅이 성충 내부의 선충 검출율은 HsK와 ScK의 90마리 선충/성충 처리구를 제외하고는 치사율과 차이를 보이지 않았다. HsK의 90마리 선충/성충 처리구에서는 선충이 전혀 발견되지 않았다(Fig. 3).



**Fig. 1.** Mortality of *Popillia quadriguttata* adult at different nematode inoculation density and strain of entomopathogenic nematodes in sand for 3 days. The same lowercase letter over the bars indicate no significant difference among the means ( $P>0.05$ ). HsK; *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain, ScK; *Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP strain, SgD; *S. glaseri* Dongrae strain.



**Fig. 3.** Variation of the ratio of entomopathogenic nematode from infected *Popillia quadriguttata* adult. The same lowercase letter over the bars indicate no significant difference among the means ( $P>0.05$ ). HsK; *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain, ScK; *Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP strain, SgD; *S. glaseri* Dongrae strain.



**Fig. 2.** Variation of the ratio of entomopathogenic nematode attachment on surface of *Popillia quadriguttata* adult. The same lowercase letter over the bars indicate no significant difference among the means ( $P>0.05$ ). HsK; *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain, ScK; *Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP strain, SgD; *S. glaseri* Dongrae strain.

곤충병원성선충은 식물의 지상부나 지하부를 가해하는 해충들의 유충을 방제하기 위하여 주로 이용하고 있다. 본 실험에 이용한 곤충병원성선충들도 등얼룩풍뎠이(*Exomala orientalis*)(Lee et al., 2002a)나 주둥무늬차색풍뎠이(*Adoretus tenuimaculatus*)(Lee et al., 2002c) 및 녹색콩풍뎠이 유충(Lee et al., unpublished data)과 잔디밤나방(*Spodoptera depravata*)(Kang et al., 2004)과 작은뿌리파리(*Bradysia agrestis*)(Kim et al., 2004), 긴수염버섯파리(*Lycoriella mali*)(Kim et al., 2001), 복숭아명나방(*Dichrocrocis puntiferalis*), 밤애기잎말이나방(*Cydia kurukoi*)(Choo et al., 2001)등과 같은 해충들의 유충에 활용되어 왔다. 그러나 Timper et al. (1988)은 곤충병원성선충, *S. carpocapsae*가 파밤나방(*Spodoptera exigua*)의 성

충에 대한 방제 가능성을 실내실험을 통하여 제시하였고, Lacey et al. (1995)은 곤충병원성선충, *S. glaseri*를 이용하여 왜콩풍뎠이 성충의 방제 가능성과 성충이 곤충병원성선충의 분산기능을 가질 수 있음을 입증하여 곤충병원성선충이 유충뿐만 아니라 성충의 생물적 방제인자로 활용 가능성이 있음을 시사하였는데, 본 실험의 결과도 그 가능성을 보였다. 일반적으로 풍뎠이 유충들은 나비목 유충들에 비해 곤충병원성선충에 감수성이 낮기 때문에 치사되는데 긴 시간이 소요된다(Lee et al., 2002a). 이로 인하여 등얼룩풍뎠이의 방제를 위하여 번데기 시기에 곤충병원성선충을 처리하였을 때 선충에 감염된 상태에서 성충으로 우화되는 경우도 관찰되곤 하였는데(Lee, D.W., observation data), 번데기 시기에 처리한 선충을 우화한 성충이 체내에 보유한 채 비행하게 되면 선충을 다른 곳으로 분산시킬 수 있을 것으로 생각된다. 실제 Timper et al. (1988)은 곤충병원성선충에 감염된 파밤나방 성충이 비행능력을 가진다고 하였다. 본 연구 결과 녹색콩풍뎠이도 골프장에서 선충의 분산능력을 가지고 있을 것으로 보이나 야외에서 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

곤충병원성선충의 처리 농도나 종에 따라 녹색콩풍뎠이 성충에 대한 치사율과 녹색콩풍뎠이 성충의 선충 보유율은 차이를 보였다. Lacey et al. (1993, 1995)도 곤충병원성선충의 농도에 따라 왜콩풍뎠이 성충의 병원성에 차이를 보인다고 하였으며, 선충의 종에 따라서도 병원성에서 차이를 보여 *S. feltiae*나 *S. carpocapsae*, *H. bacteriophora*에 비하여 *S. glaseri*가 병원성이 높은 편이다(Lacey et al., 1993). 본 실험에서는 SgD에 비하여 ScK나 HsK 계통의 병원성이 높게 나타나 Lacey et al. (1993)의

결과와는 차이가 있었으나 이는 실험에 이용한 선충의 계통 차이에 의한 것으로 생각된다.

곤충병원성선충의 처리농도는 녹색콩풍뎅이성충의 선충 보유율에 큰 영향을 미쳐 성충 한 마리 당 선충 90마리 처리에 비하여 900마리 처리에서 보유율이 현저히 높았다. Lacey et al. (1995)도 *S. glaseri*를 왜콩풍뎅이 성충 한 마리 당 400마리와 1000마리 농도로 처리한 24시간 후 각각 19%와 59%의 왜콩풍뎅이 성충이 선충을 보유하였다고 하였다. 곤충병원성선충의 권장 살포량은 선충의 종류에 따라 차이가 있으나  $m^2$ 당 10만 마리 이상이다 (Thomson, 1992). 골프장에서 녹색콩풍뎅이 성충은 최대 활동 시간대에  $0.3$ 마리/ $m^2$  수준으로 활동한다(Lee et al., unpublished data). 따라서 권장 살포량으로 골프장에 곤충병원성선충을 살포하여도 녹색콩풍뎅이 성충 1마리 당 3만 마리 수준의 선충이 살포된 것이 되기 때문에 녹색콩풍뎅이 성충의 방제에 효과가 있을 것으로 기대되나 자외선이나 토양수분을 고려하여 추가적인 야외실험이 수행되어야 할 것이다.

녹색콩풍뎅이 성충에 대한 곤충병원성선충의 표면 부착율은 병원성에 비하여 차이를 보였다. 즉, 병원성은 곤충병원성선충을 900마리 밀도로 처리 시 처리 선충간 차이가 없었으나 녹색콩풍뎅이 표면의 선충 부착율은 ScP가 유의하게 낮았다. 이는 곤충병원성 선충의 행동 특징에 기인한 것으로 생각된다. 곤충병원성선충은 기주 탐색 시 능동적으로 탐색하는 형(cruise type)과 기주가 접근하기를 기다리는 형(ambush type)이 있는데, *Heterorhabditis*와 *S. glaseri*는 전자에 해당되고, *S. carpocapsae*는 후자에 해당된다(Kaya and Gaugler, 1993; Lewis et al., 1993). 따라서 기주를 찾아 활발히 이동하는 HsK와 SgD가 정주해 있는 ScK에 비하여 표면에 선충이 부착 될 확률이 높을 것으로 생각된다. 반면 곤충병원성선충을 90마리 밀도로 처리 시 SgD를 제외하고, HsK와 ScK의 녹색콩풍뎅이 성충에 대한 표면 부착율이 10%내외로 현저히 낮아졌다. 특히 HsK의 경우, 내부 선충 보유율도 90마리 밀도 처리구에서 0%를 보여 녹색콩풍뎅이 성충을 효과적으로 방제하면서 지속성을 유지시키기 위해서는 90마리 이상의 처리밀도가 필요 할 것으로 판단된다.

녹색콩풍뎅이 성충 내부의 선충 보유율도 병원성에 비하여 차이를 보였는데, 특히 90마리 처리에서 차이를 보였다. 곤충병원성선충에 의한 기주치사는 곤충병원성선충이 내부에 보유하고 있는 공생세균이 기주체내에 분비되어 패혈증을 유발시켜 일어나는데, 선충은 이들 공생세균을 먹이로 하여 발육, 증식한다(Forst and Clarke, 2002).

그러나 기주의 상태나 환경조건이 선충의 발육에 부적당할 경우 정상적으로 발육치 못하고 치사하게 되는데, 많은 경우 선충이 기주를 치사는 시키지만 기주체 내에서 정상적으로 발육치 못하고 치사된다(Choo et al., 2002a). 특히 이러한 현상은 토양조건에서 빈번히 관찰된다(Lee, D.W., observation data).

본 연구는 곤충병원성선충이 녹색콩풍뎅이 성충을 방제할 수 있는지 여부를 실내에서 제한적으로 수행하였는데 앞으로 야외 실험뿐만 아니라 선충의 분산가능성을 미루어 볼 때, 골프장의 잔디에 발생하는 각종 병들도 녹색콩풍뎅이 성충이 매개하는지에 대하여도 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

## Acknowledgement

실험 수행에 도움을 준 경상대학교 응용생물환경학과 선충실험실의 실원들과 녹색콩풍뎅이 성충 채집에 많은 편의를 제공해 준 진해 용원골프장의 정영기 팀장에게 감사한다. 이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었다(KRF-2002-075-C00023).

## Literature Cited

- Cho, I.H. 1996. Practice and application of SAS. 665pp. Sungandang Pub. Co. Seoul.
- Choo, H.Y., D.W. Lee, J.W. Park and J.W. Lee. 1999. Comparison of four major scarab beetles, *Ectinohoplia rufipes*, *Adoretus tenuimaculatus*, *Exomala orientalis* and *Popillia quadriguttata* in golf courses. Korean Journal of Turfgrass Science 13: 101-112.
- 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.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., D.W. Lee, H.S. Yun, S.M. Lee and D.T. Hang. 2002a. 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.
- Choo, H.Y., H.K. Kaya, J. Huh, D.W. Lee, H.H. Kim, S.M. Lee and Y.M. Choo. 2002b. Entomopathogenic nematodes (*Steinernema* spp. and *Heterorhabditis bacteriophora*) and a fungus *Beauveria brongniartii* for biological control of the white grubs, *Ectinohoplia rufipes* and *Exomala orientalis*, in Korean golf courses. BioControl 47: 177-192.

- 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.
- 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.
- 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.
- Forst, S. and D. Clarke. 2002. pp. 57-77. *In* Entomopathogenic nematology, ed. by R. Gaugler. 388pp. CABI publishing, Oxon.
- Guo, S.Y. 1983. *Popillia quadriguttata* Fabricius. pp. 215-216. *In* Chinese forest insects. 1107pp. Chinese Forest Science Research Institute. Beijing.
- Kang, Y.J., D.W. Lee, H.Y. Choo, S.M. Lee, T.W. Kweon and H.K. Shin. 2004. Biological control of *Spodoptera depravata* (Butler) (Lepidoptera: Noctuidae) using entomopathogenic nematodes. *Korean J. Appl. Entomol.* 43: 61-70.
- Kaya, H.K. and R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 181-206.
- Kim, H.H., H.Y. Choo, H.S. Lee, C.G. Park, D.W. Lee, B.R. Jin and Y.M. Choo. 2001. 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, J.I. 2001. Economic insects of Korea 10, Coleoptera (Scarabaeoidea II). 197 pp. *Junghaeng-Sa*. Seoul, Korea.
- Ku, D.S., S.B. Ahn, K.J. Hong, S.H. Lee and J.I. Kim. 1999. Does the Japanese beetle (*Popillia japonica* Newman) distribute in Korea or not? *Korean J. Appl. Entomol.* 38: 171-176.
- Lacey, L.A., H.K. Kaya and R. Bettencourt. 1995. Dispersal of *Steinernema glaseri* (Nematoda: Steinernematidae) in adult Japanese beetles, *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Biocontrol Science and Technology* 5: 121-130.
- Lacey, L.A., R. Bettencourt, F.J. Garrett, N.J. Simões and R.H. Gaugler. 1993. Factors influencing parasitism of adult Japanese beetles, *Popillia japonica* (Col.: Scarabaeidae) by entomopathogenic nematodes. *Entomophaga* 38: 501-509.
- Lee, D.W., H.Y. Choo, H.G. Shin, B.G. Choi and K.S. Lee. 2003. Chemical control of *Popillia quadriguttata* (Coleoptera: Scarabaeidae) and damage of *Zoysia matrella* and newly recorded host plants in golf courses. *Korean Journal of Turfgrass Science* 17: 35-44.
- 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, J.M. Chung, S.M. Lee and Y.B. Sagong. 2002b. Host plants of *Popillia quadriguttata* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 41: 15-19.
- Lee, D.W., H.Y. Choo, O.J. Shin, J.S. Yun and Y.S. Kim. 2002c. Damage of perennial ryegrass, *Lolium prene* by chestnut brown chafer, *Adoretus tenuimaculatus* (Coleoptera: Scarabaeidae) and biological control with Korean isolate of entomopathogenic nematodes. *Korean J. Appl. Entomol.* 41: 217-223.
- Lewis, E.E., R. Gaugler and R. Harrison. 1993. Response of cruiser and ambusher entomopathogenic nematodes (Steinernematidae) to host volatile cues. *Can. J. Zool.* 71: 765-769.
- Potter, D.A. and D.W. Held. 2002. Biology and management of the Japanese beetle. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 175-205.
- Stock, S.P., H.Y. Choo and H.K. Kaya. 1997. First record of *Steinernema glaseri* Steiner, 1929 (Nematoda: Steinernematidae) in Asia, with notes on intraspecific variation. *Nematologica* 43: 377-381.
- Thomson, W.T. 1992. A worldwide guide to beneficial animals used for pest control purposes. 91 pp. Thomson Publications, Fresno, California.
- Timper, P., H.K. Kaya and R. Gaugler. 1988. Dispersal of the entomogenous nematode *Steinernema feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae) by infected adult insects. *Environ. Entomol.* 17: 546-550.
- 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 7 February 2005;  
accepted 18 March 2005)