

한국산 곤충병원성 선충의 녹색콩풍뎅이(*Popillia quadriguttata*), 주황긴다리풍뎅이(*Ectinohoplia rufipes*), 연다색풍뎅이 (*Phyllopertha diversa*) 유충에 대한 병원성과 골프장에서 지속성

최우근 · 하판정¹ · 이상명² · 추호렬³ · 이동운^{4*}

서원벨리골프장, ¹(주)세실, ²국립산림과학원 남부산림연구소, ³경상대학교 응용생물환경학과,
농업생명과학연구원, ⁴상주대학교 생물응용학과

요약 : 한국산 곤충병원성 선충의 녹색콩풍뎅이(*Popillia quadriguttata*), 주황긴다리풍뎅이(*Ectinohoplia rufipes*) 및 연다색풍뎅이(*Phyllopertha diversa*)에 대한 병원성을 실내에서 검정하였으며 아울러 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통을 이용하여 굼벵이 방제효과와 지속성을 조사하였다. 실내실험 결과 녹색콩풍뎅이 3령충에 대하여 *H. bacteriophora* Hamyang 계통은 95%의 높은 치사율을 보였으며 주황긴다리풍뎅이 3령충에 대해서도 *H. bacteriophora* Hamyang 계통과 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통이 80% 이상의 치사율을 나타내었다. 그러나 연다색풍뎅이는 병원성이 가장 높은 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통 처리 시에도 60%의 치사율을 보였다. 골프장에서 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통을 2.24×10^9 Ijs ha⁻¹ 농도로 처리하였을 때 굼벵이의 밀도는 39%까지 감소되었고, 골프장 페어웨이에서 지속성은 5~10 cm 깊이의 토양에서 두 달까지 지속되었으나 0~5 cm 깊이에서는 치사되는 미끼곤충(꿀벌부채명나방)이 없어 지속성이 낮았다. (2006년 4월 12일 접수, 2006년 6월 20일 수리)

색인어 : 곤충병원성선충, 생물적 방제, 천적, 잔디, *Heterorhabditis*

서 론

잔디는 경관조성을 위한 조경의 소재로서 다양하게 활용될 뿐만 아니라 지표면의 피복을 통해 물의 유실과 토양의 침식을 방지해 주며, 먼지와 소음의 발생을 줄여주고, 공기정화, 기온조절 등의 다양한 기능을 가지고 있다(김, 1991). 그리고 도심에 정비된 잔디공원은 도시민의 휴식처뿐만 아니라 야생동물들의 서식공간이 되기도 하고, 골프장이나 축구장과 같은 곳에 심겨진 잔디는 사람들의 여가 및 스포츠 공간을 제공함으로써 육체적, 정신적 건강을 증대시키는데 기여하고 있다(Potter, 1998).

잔디의 다양한 기능과 활용처로 인해 잔디의 생산과 관리에 대한 전문적 분야가 형성되어 잔디는 산업으로서 중요한 자리를 차지하고 있다. 실제 미국에서는 연간 잔디재배와 관련하여 5조원 시장이 형성되어 있고, 이들 중 골프장의 관리와 관련해서는 2000억 정도의 경제적 영향이 있는 것으로 추정되고 있다(Potter, 1998). 우리나라의 경우 골프장을 중심으로 잔

디산업이 형성되고 있는데, 이는 묘지의 피복용으로 소비되는 잔디가 우리나라에서 가장 많기는 하지만 지속적인 관리의 대상이 아니기 때문에 관리가 집약적으로 이루어지고 있는 골프장에서 산업으로서의 가치가 높게 인식되고 있다.

우리나라의 골프장은 그 수가 꾸준히 증가하고 있는 추세로서, 1983년도에 24개이던 골프장이 2003년에는 129개로 20년 동안 5.4배가 증가하였고, 내장객 수도 1983년도에는 백만 명이던 것이 2003년에는 천만 명으로 10배 이상 증가하였다(www.kgba.co.kr). 이로 인하여 골프장에서는 잔디의 품질과 환경에 대한 내장객들 및 일반인들의 요구가 날로 증가하고 있다.

잔디의 품질은 일반적인 초본류 작물들과는 달리 영년생으로 관리되고 있기 때문에 골프장의 운영 기간이 누적될수록 해충의 발생량과 피해가 증가한다. 우리나라의 골프장 잔디를 가해하는 해충들은 6목 10과 28종이 기록되어 있는데(추 등, 2000), 이들 중 풍뎅이류의 유충인 굼벵이에 의한 피해가 가장 보편적이면서 심하게 일어나고 있고(추 등, 1998, 1999, 2000; Choo 등, 2002; 이 등, 2002a, b), 등얼룩풍뎅이

*연락처자

와 주황긴다리풍뎅이, 주둥무늬차색풍뎅이, 녹색콩풍뎅이의 피해가 보편적이다(추 등, 1999; Choo 등, 2002; 최 등, 2001). 풍뎅이류의 유충들은 잔디의 뿌리를 가해하여 활력을 저하시키거나 고사시킨다(추 등, 1998; Potter, 1998; 이 등, 2002a; Choo 등, 2002). 또한 조류나 두더지와 같은 야생동물들이 토양 속에 있는 굽뎅이를 잡아먹기 위해 잔디를 파헤치는 간접적인 피해도 유발시키고 있는데(Potter, 1998; Choo 등, 2002), 골프장 그린과 같이 집약적인 관리가 필요한 곳에서는 이들이 잔디를 파헤쳐서 경기를 할 수 없는 상태로 만들기도 한다.

골프장에서 굽뎅이류의 방제는 주로 화학농약에 의존해 왔으나 농약의 잔류문제나 환경오염에 대한 우려 등으로 인하여 농약을 대체할 수 있는 환경친화적인 방법이 요구되고 있다. 환경친화적인 방제법 중의 하나가 토양서식 병원성 천적인 곤충병원성 선충을 이용하는 것인데 *Steinernema*속과 *Heterorhabditis*속 선충들이 이용되고 있고, 일반적으로 굽뎅이에 대해서는 *Heterorhabditis* 선충이 *Steinernema* 선충에 비하여 높은 병원성을 가진다(Klein, 1990).

곤충병원성 선충은 곤충의 자연개구부나 표피를 통해 기주에 침입하여 공생세균(*Xenorhabdus* = *Steinernema* spp., *Photorhabdus* = *Heterorhabditis* spp.)을 분비하여 기주곤충에 패혈증을 일으켜 기주를 24-48시간 이내에 치사시키는 높은 살충력을 가지고 있는 생물적 방제인자이다(Kaya와 Gaugler, 1993). 특히 이들은 토양에서 장기간의 지속성과 재순환 등으로 인하여 토양서식 해충 방제에 유용한 천적으로 많이 활용되고 있다(Kaya와 Gaugler, 1993).

한편 외국산 곤충병원성 선충을 도입하여 지역해충을 방제할 경우 생태적 적응성과 비표적 생물에 대한 부정적 영향이 있을 가능성이 높아, 국내에서 분리된 곤충병원성 선충을 이용하는 것이 이러한 부작용도 최소화 시킬 수 있다(Blackshaw, 1988). 따라서 본 연구는 골프장에서 문제시 되고 있는 녹색콩풍뎅이와 주황긴다리풍뎅이 및 연다색풍뎅이에 대한 우리나라에서 분리된 곤충병원성 선충의 병원성과 골프장에서 지속성을 조사하여 생물적 방제인자로서의 활용 가능성을 알아보고자 수행하였다.

재료 및 방법

굽뎅이에 대한 병원성

공시충 : 실험에 이용한 굽뎅이는 녹색콩풍뎅이

(*Popillia quadriguttata*), 주황긴다리풍뎅이(*Ectinohoplia rufipes*)와 연다색풍뎅이(*Phyllopertha diversa*) 유충으로서 골프장에서 채집하여 실험에 이용하였다. 녹색콩풍뎅이 유충은 5월 초순 경기도 김포의 씨사이드골프장 러프에서 채집하였고, 주황긴다리풍뎅이 유충은 10월 중순에 경기도 가평의 가평베네스트골프장 러프에서 채집하였으며 연다색풍뎅이 유충은 11월 중순 경기도 김포의 씨사이드골프장 페어웨이와 러프에서 채집하였다. 채집한 유충은 실험실로 가져와 직경 10.6 cm, 높이 6 cm의 플라스틱 통에 골프장 토양과 함께 30마리씩 나누어 실내에 보관하였다. 실험은 채집 10일 후에 수행하였는데, 건강한 굽뎅이만을 선별하여 이용하였다.

곤충병원성 선충 : 곤충병원성 선충은 우리나라에서 분리한 9계통을 이용하였는데 이전 실험에서 heterorhabditid 선충들의 병원성이 steinernematid 선충들에 비하여 현저히 높게 나타나(이 등, 2005), heterorhabditid 선충들을 주로 이용하였다. 실험에 이용한 곤충병원성 선충 중 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통은 등얼룩풍뎅이 유충의 치사충에서 분리하였고(Choo 등, 1995), *H. bacteriophora* 함양 계통과 *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-2, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-3, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-5, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-6, *Steinernema* sp. GSNUH-33 계통은 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 노숙유충을 미끼로 토양에서 분리한 것을 이용하였다. 분리한 선충을 꿀벌부채명나방 노숙유충에 재접종하여 Dutky 등(1964)의 방법으로 증식시켰으며, 증식된 선충은 White trap을 이용하여 수확하고, 10°C 냉장고에 보관하면서 수확 후 3주 이내의 것을 실험에 사용하였다(Woodring과 Kaya, 1988).

실내실험

굽뎅이에 대한 곤충병원성 선충의 실내실험은 녹색콩풍뎅이와 주황긴다리풍뎅이, 연다색풍뎅이를 이용하여 수행하였는데 녹색콩풍뎅이 3령충에 대한 실내병원성 검정을 위하여 동래베네스트 골프장의 티에서 채취한 토양을 4 mm체로 친 다음, 120°C, 1.5 kgf cm²에서 살균하여 건조시켰다. 건조시킨 토양을 살균수로 수분을 13%(w/v)로 맞춘 다음 sweetheart cup에 30 g씩 넣었다. 여기에 야외에서 채집하여 사육 중인 건강한 녹색콩풍뎅이 3령충을 1마리씩 넣고, 토양속으로 완전히 들어간 것을 확인한 다음, 곤충병원성

선충을 600 마리 mL^{-1} 농도로 조절하여 0.5 mL 씩 피펫을 이용하여 고루 접종하였다. 선충 접종 후 발아시킨 벤투그라스 종자를 4~6립 뿌려주었다. 대조구에는 살균수만 0.5 mL 씩 처리하였다. 접종 후 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 실내에 보관하면서 2주 후에 선충에 의한 치사유무를 현미경 하에서 조사하였다. 실험은 10개의 sweetheart cup을 한 반복으로 각 처리별로 4반복으로 수행하였다. 곤충병원성 선충은 *H. bacteriophora* 함양 계통과 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-2, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-3, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-5, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-6 계통을 이용하였다.

곤충병원성 선충의 주황긴다리풍뎠이 3령충에 대한 실내 병원성 검정도 녹색콩풍뎠이 3령충에 대한 병원성 검정과 동일한 방법으로 수행하였다. 실험은 10개의 sweetheart cup을 한 반복으로 각 처리별로 3반복으로 수행하였으며 처리 2주 후 선충에 의한 치사유무를 조사하였다. 곤충병원성 선충은 *H. bacteriophora* 함양 계통과 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-2, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-3, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-5, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-6 계통을 이용하였다.

곤충병원성 선충의 연다색풍뎠이 3령충에 대한 실내 병원성 검정도 녹색콩풍뎠이 3령충에 대한 병원성 검정과 동일한 방법으로 수행하였다. 실험은 10개의 sweetheart cup을 한 반복으로 각 처리별로 3반복으로 수행하였으며, 처리 2주 후 선충에 의한 치사유무를 조사하였다. 곤충병원성 선충은 *H. bacteriophora* 함양 계통과 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-2, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-3 계통을 이용하였다.

골프장 실험 : 한국산 곤충병원성 선충의 굼벵이 방제를 위한 야외실험은 연다색풍뎠이의 발생이 심하여 매년 잔디에 큰 피해를 주고 있는 경기도 김포의 써사이드골프장 서코스 1번 홀과 남코스 9번 홀의 범면에서 수행하였다. 2004년 9월 1일 서코스 1번 홀 범면을 160 m^2 크기의 네 구로 나눈 뒤, 각 구에서 임의의 세 지점을 선정하여 삽으로 잔디를 30×30 cm 크기로 떠낸 뒤 서식하고 있는 굼벵이의 밀도를 조사하였다. 남코스 9번 홀의 범면은 80 m^2 크기로 네 구로 나눈 뒤, 각 구에서 임의의 세 지점을 선정하여

삽으로 잔디를 30×30 cm 크기로 떠낸 뒤 서식하고 있는 굼벵이의 밀도를 조사하였다. 각 홀에서 두 곳을 임의로 선정하여 곤충병원성 선충을 처리 하였다. 실험에 이용한 곤충병원성 선충은 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통을 사용하였는데, (주)세실에서 시판중인 선충을 이용하였고, 대조구로는 chlorpyrifos-methyl EC를 이용하였다.

선충의 처리농도는 m^2 당 247,000마리였고, 대조구로 chlorpyrifos-methyl EC를 2000배로 희석하여 처리하였다. 각 구에 살포한 전체 물의 양은 80 m^2 당 1000 L 이었다. 무처리구는 물만 80 m^2 당 1000 L를 살포하였다. 처리 1개월 후 각 구에서 임의의 세 지점을 선정하여 굼벵이의 밀도를 조사한 뒤, 유충감소율을 계산하였다. 곤충병원성 선충의 살포는 골프장에서 사용 중인 농약살포용 차를 이용하였으며, 살포압력은 2.5 kgf m^{-2} 이었다. 잔디는 들잔디(*Zoysia japonica*)가 식재되어 있었으며, 밧퀴층은 0.5~0.8 cm 내외였다. 굼벵이의 토양 내 서식깊이는 4~10 cm 내외였다. 선충의 처리는 해질 무렵에 수행하였고, 처리 후 이동식 스프링클러를 이용하여 5분간 추가로 관수를 하였다.

골프장에서 지속성

곤충병원성 선충을 살포한 골프장 코스에서 선충의 지속성 조사는 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통을 이용하여 수행하였다. 안양베네스트골프장 12번 페어웨이에서 수행하였는데 5월 14일 골프장에서 사용하고 있는 농약살포용 차를 이용하여 (주)세실에서 시판하고 있는 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통을 247,000 마리 m^{-2} (2.47×10^9 마리 ha^{-1}) 농도로 살포하였다. 선충은 오후 5시부터 살포하였으며, 선충 살포 후 스프링클러를 이용하여 10분간 관수하였다. 2차 살포는 동일한 홀에서 3개월 후인 8월 24일 1차 처리와 동일한 방법으로 처리하였다. 선충 1차 살포한 달과 두 달 후 및 2차 선충 살포 한 달 후 12번 홀의 페어웨이 4곳과 러프 한 곳을 무작위로 선정하여 직경 11 cm의 홀 커트를 이용하여 10 cm 깊이로 잔디를 들어 낸 뒤 지표면에서 0~5 cm, 5~10 cm 깊이의 두 부분으로 나누어 가정용 지퍼팩에 담은 뒤, 실험실로 운반하였다. 각 토양 시료는 골고루 섞은 뒤 한 지점의 토양을 3등분하여 직경 7 cm, 높이 7 cm 크기의 플라스틱 용기에 가득 담은 뒤(약 170 g 내외) 실내에서 인공사료로 사육 중이던 꿀벌부채명 나방 노숙유충 5마리씩을 미끼곤충으로 넣었다. 그리

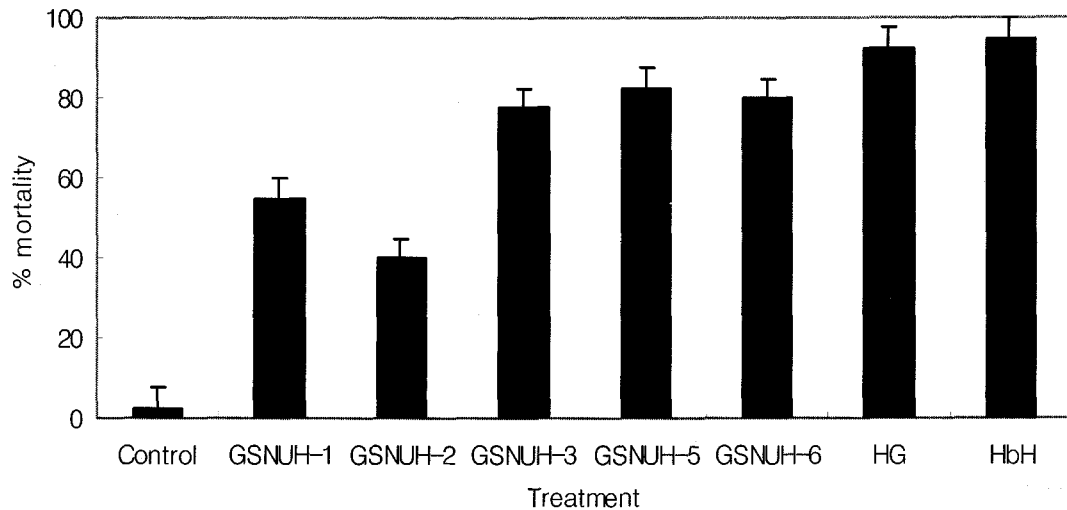


Fig. 1. Pathogenicity of Korean entomopathogenic nematode strains against 3rd instar of *Popillia quadriguttata* in laboratory. All GSNUHs were *Heterorhabditis* species; HG, *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain; HbH, *H. bacteriophora* Hamyang strain. Bars indicate standard deviations of means ($n=3$).

고 25°C 내외의 실내에 보관한 뒤, 7일 후 토양 속에서 유충을 찾아내어 선충의 감염여부를 조사하였다.

통계분석 : 한국산 곤충병원성 선충에 의한 풍뎅이 유충의 치사율을 arcsin으로 변환시켜 Student-Newman-Keul test로 처리평균간 차이를 분산분석 하였는데 (PROC ANOVA)(조, 1996), 결과는 변환전의 평균±표준편차로 표기하였다. 골프장실험의 결과는 무처리구의 유충감소율과 처리구의 유충감소율을 t-test로 분석하였다(조, 1996). 실험결과의 유의성 정도는 $P<0.05$ 범위에서 검정하였다.

결 과

굼벵이에 대한 병원성

한국산 *Heterorhabditis* 곤충병원성 선충들은 녹색콩 풍뎅이 3령충에 대하여 높은 병원성을 나타내었다 ($F=5.5$, $df=7$, 32 , $P<0.0001$) (Fig. 1).

H. bacteriophora 함양 계통과 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통의 병원성이 95%와 92.5%로 가장 높았으며, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1 계통과 *Heterorhabditis* sp. GSNUH-2 계통의 병원성이 상대적으로 낮게 나타났다.

주황긴다리풍뎅이 3령충에 대한 한국산 곤충병원성 선충의 병원성도 선충의 계통별로 다양한 병원성을 나타내었다($F=5.5$, $df=8$, 27 , $P<0.0001$)(Fig. 2).

Heterorhabditis sp. KCTC 0991BP 계통과 *H.*

bacteriophora 함양 계통 처리 시 80% 이상의 유충 치사율을 보였으며, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-5 계통과 *Heterorhabditis* sp. GSNUH-6 계통의 병원성은 매우 낮았다.

연다색풍뎅이는 다른 풍뎅이류에 비하여 곤충병원성 선충에 대한 병원성이 낮았다 ($F=5.5$, $df=5$, 18 , $P<0.0001$)(Fig. 3).

가장 병원성이 높은 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통 처리에서도 연다색풍뎅이 3령충은 60%의 치사율을 보였으며 *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1 계통의 병원성이 가장 낮았다.

경기도 김포의 씨사이드골프장에서 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0981BP 계통 처리 후 굼벵이의 밀도 감소율을 조사한 결과는 무처리구에 비하여 처리구의 굼벵이 밀도의 보정감소율이 $39.0\pm 6.0\%$ 이었다. 무처리구의 굼벵이 밀도는 $4.1\pm 6.7\%$ 로 증가하였다.

골프장에서 지속성

안양베네스트골프장 페어웨이에서 선충의 지속성을 조사한 결과는 그림 4와 같았다.

5월 14일 1차 선충 처리 한 달 후 토양에서 선충의 검출율은 5~10 cm 깊이가 지표면과 가까운 0~5 cm 깊이에 비하여 높게 나타났다. 즉 미끼곤충으로 이용한 꿀벌부채명나방유충의 치사율은 0~5 cm 깊이에서는 6%, 5~10 cm 깊이에서는 18%였다. 선충 처리 두 달 후 0~5 cm 깊이에서는 선충에 감염된 꿀벌부채명나방 유충이 없었으며, 5~10 cm 깊이에서는

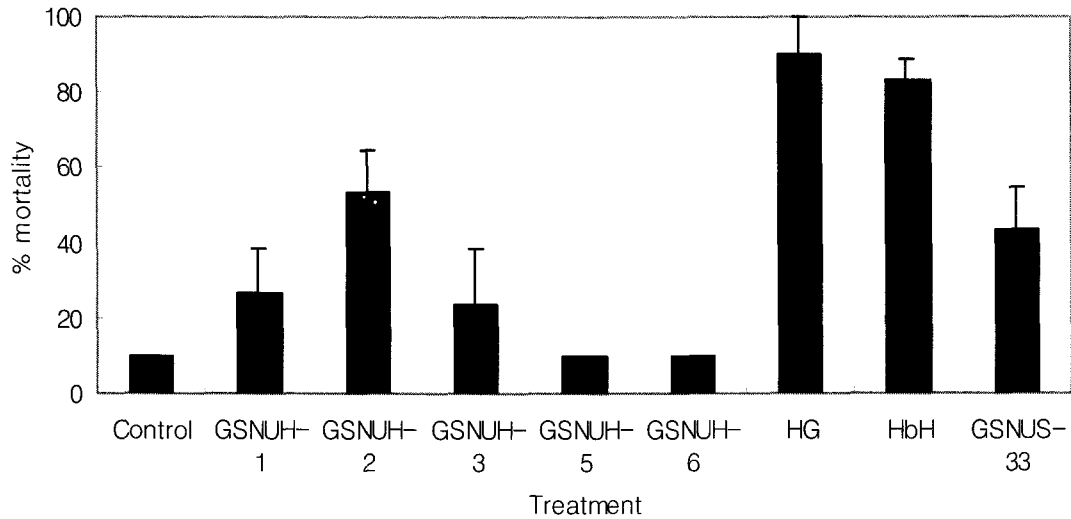


Fig. 2. Pathogenicity of Korean entomopathogenic nematode strains against 3rd instar of *Ectinohoplia rufipes* in laboratory. All GSNUHs were *Heterorhabditis* species; GSNUH, *Steinernema* species; HG, *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain; HbH, *H. bacteriophora* Hamyang strain. Bars indicate standard deviations of means (n=4).

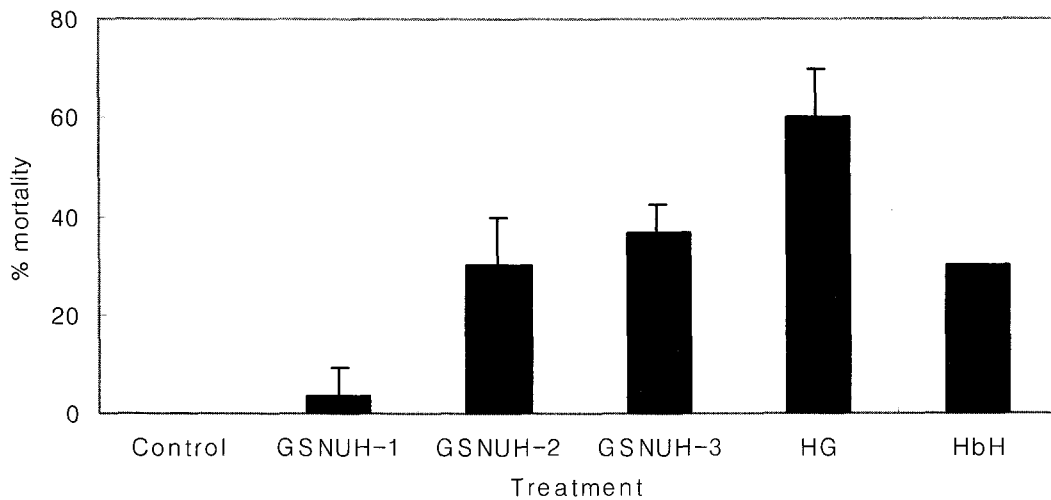


Fig. 3. Pathogenicity of Korean entomopathogenic nematode strains against 3rd instar of *Phyllopertha diversa* in laboratory. All GSNUHs were *Heterorhabditis* species; HG, *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain; HbH, *H. bacteriophora* Hamyang strain. Bars indicate standard deviations of means (n=3).

2.5%의 치사율을 보였다.

고 찰

실험에 이용한 굽똥이의 종류에 따라 곤충병원성 선충의 병원성은 차이가 있었다. 연다색풍뎅이에 대해서는 가장 병원성이 높은 계통에서도 50% 내외의 병원성을 보인 반면, 주황긴다리풍뎅이와 녹색콩풍뎅이의 경우는 80% 이상의 높은 병원성을 보였다.

대상해충의 종이나 령기, 계절에 따라 곤충병원성 선충의 병원성은 차이를 보이는데 Wright 등(1988)은 *H. heliothidis*와 *Heterorhabditis* 계통이 왜콩풍뎅이에 비하여 *Rhizotrogus majalis*에서 병원성이 더 높다고 하였고, Alm 등(1992)도 굽똥이의 종류에 따라 선충의 병원성에서 차이를 보인다고 하였다. Lee 등(2002)은 등얼룩풍뎅이의 령기가 어릴수록 선충에 대한 감수성이 증가한다고 하였고, 월동 전의 굽똥이가 월동 후의 굽똥이에 비하여 감수성이 높고(Koppenöfer 등, 1999), *Aphodius contaminatus*는

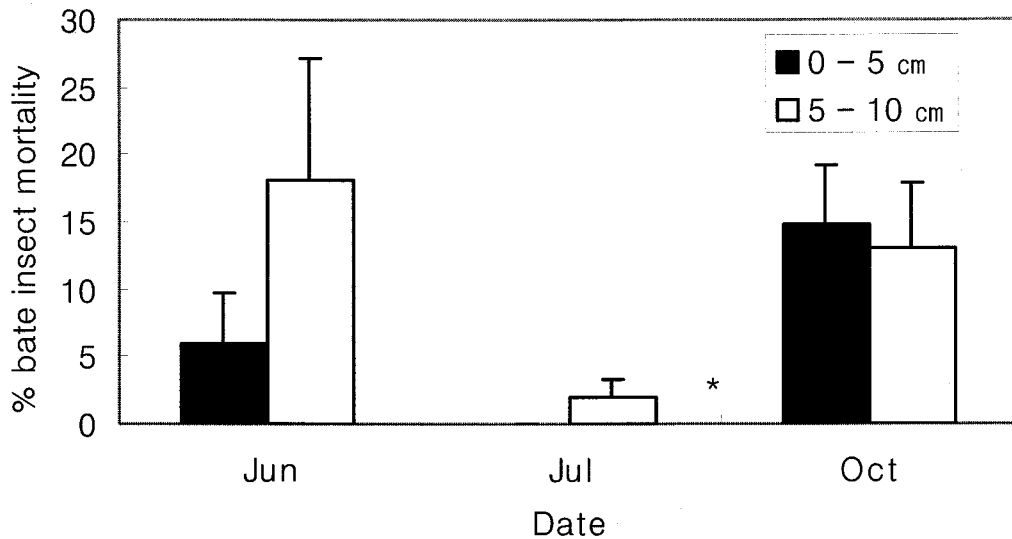


Fig. 4. Persistence of entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain at hole 12 of Anyang Benest Golf Club, Gumpo, Gyeonggi. *Galleria mellonella* larvae were used as baits. Bars indicate standard deviations of means (n=3). Entomopathogenic nematode was treated one more time on August 8.

3월과 6월에 *H. bacteriophora*를 처리할 경우 상이한 방제 효과를 보였다(Sulistyanto와 Ehlers, 1996). 굽벥이의 종에 따른 병원성 선충의 효과 차이는 전술한 바와 같이 선충의 행동 습성이나 공생세균의 병원성, 굽벥이 자체의 면역체계의 차이 등에 기인된 것으로 생각된다.

또한 곤충병원성 선충은 종이나 계통 및 환경조건의 차이에 따라 상이한 병원성을 보인다. Converse와 Grewal(1998)은 22 계통의 곤충병원성 선충을 이용하여 *Cyclocephala hirta* 굽벥이에 대해 병원성을 검정한 결과, *Steinernema carpocapsae* All 계통과 *S. carpocapsae* Maxican 계통, *S. riobravis* RGV계통, *S. scapterisci* Cölon은 전혀 병원성이 없었으며, *S. glaseri*의 여러 계통과 *Heterorhabditis*의 계통은 높은 병원성을 보였다. 그리고 *S. glaseri*의 계통들 중에서도 40%의 치사율 차이를 보였다고 하였다. Selvan 등(1993)도 *S. glaseri*의 두 계통과 *H. bacteriophora* 두 계통을 왜콩풍뎅이(*Popillia japonica*)에 처리하였을 때, 동일 종 내에서도 병원성에서 30~40%의 차이를 보인다고 하였고, 이듬해의 연구에서도 동일한 경향을 보였다(Selvan 등, 1994).

곤충병원성 선충의 속이나 종, 또는 계통에 따른 굽벥이에 대한 병원성의 차이는 곤충병원성 선충의 행동 습성의 차이나 기주의 면역반응의 차이 등에 기인한다. *Heterorhabditis* 선충은 기주를 능동적으로 찾아 가는 “탐색형”(cruise type)의 행동 특성을 보인다(Grewal 등,

1994). 따라서 잠복형의 특성을 가지는 선충들에 비하여 기주 탐색 능력이 뛰어난데, Wang 등(1994)은 잠복형의 기주 탐색 특성을 가지는 *S. carpocapsae*와 탐색형 기주 탐색 특성을 가지는 *H. bacteriophora*, *S. glaseri*를 왜콩풍뎅이에 접종 시, *S. carpocapsae*의 병원성은 외부 접종에 비해 내부 주입 시 현저하게 증가하지만 *H. bacteriophora*나 *S. glaseri*는 변화가 없었다고 하였다. 또한 동일한 기주 탐색형 선충 간에도 기주 침입 속도는 차이가 있다. Wang 등(1995)은 *H. bacteriophora*와 *S. glaseri*의 왜콩풍뎅이에 대한 기주침입 시간을 조사한 결과, *H. bacteriophora*는 두 시간 만 기주에 노출시켜도 왜콩풍뎅이에 침입하여 병원성을 나타내지만 *S. glaseri*는 4시간 이상 노출시켜야 기주 침입이 이루어지고, 특히 24시간 이내의 노출시간에서는 *H. bacteriophora*의 침입력이 높았다. 그리고 곤충병원성 선충의 공생세균이 가지는 병원성의 차이도 해충에 대한 감수성에 영향을 미친다. *H. bacteriophora*의 공생세균인 *Photorhabdus luminescens*는 왜콩풍뎅이 유충에 대해 두 개의 세포만 주입하여도 95%의 치사율을 보였지만 *S. glaseri*의 공생세균인 *Xenorhabdus poinarii*의 경우 9%, *S. carpocapsae*의 공생세균인 *X. nematophilus*의 경우 45%의 치사율을 보였다(Yeh와 Alm, 1992).

실내 실험의 결과 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0981BP 계통이 굽벥이의 종류에 따라 다소간의 차이는 있지만 가장 병원성이 높은 계통으로 나타나 등얼룩풍뎅

이와 녹색콩풍뎅이, 연다색풍뎅이가 혼재하여 잔디에 피해를 주고 있는 골프장 법면의 야외실험에 이용하였다. *Heterorhabditis* sp. KCTC 0981BP 계통을 처리한 결과, 무처리에 비하여 39.0%의 밀도감소 효과가 있었다. 이러한 결과는 Lee 등(2002)이 등얼룩풍뎅이를 대상으로 실험한 것에 비하여 낮은 병원성을 나타내었으며 이 등(2002a)이 주둥무늬차색풍뎅이를 대상으로 한 것과 유사한 결과를 보였다.

실내실험에 비하여 야외 실험에서 곤충병원성 선충의 효과가 떨어졌는데 이것은 실내 조건에 비하여 야외조건의 경우, 기온이나 수분, 토양의 상태 등 다양한 인자들이 곤충병원성 선충에 영향을 미치기 때문으로 생각된다. 곤충병원성 선충은 모래성분이 많은 토양에서 효과가 높고(Molyneux와 Bedding, 1984; Lössbroek와 Theunissen, 1985), 수분과 토양깊이에 따라 선충의 병원성에서 차이를 보이는데(Koppenöfer 등, 1995), 습도는 토양 내에서 선충의 활동에 영향을 미치는 주 인자중의 하나이다(Kaya, 1990). 실험을 수행한 골프장의 장소는 법면 지역으로 관수 시설이 설치되지 않아 인위적인 관수가 이루어 지지 못하였고, 배토 작업도 이루어지지 않았으며, 모래층이 거의 없는 황토층으로 이루어져 있었다. 이로 인해 관수 시 물의 흡수가 충분히 이루어지지 못하였고, 비탈면이어서 관수를 하게 되면 물이 아래쪽으로 흘러내리는 문제점도 가지고 있었다. 아울러 표면의 경도가 꽤어 웨이나 러프에 비하여 매우 높았다. 또한 선충 처리 시기에 일부의 굼벵이들은 3 cm 내외의 표층 부분에 서식하고 있었고, 일부는 10 cm 부근의 깊은 곳에 서식하고 있었다. 따라서 토양 경도가 높고, 충분한 관수가 이루어지지 않았으며, 토양 깊은 곳에 굼벵이가 서식함으로 인해 살포된 곤충병원성 선충의 효과가 상대적으로 낮았던 것으로 생각된다.

곤충병원성 선충은 농림해충의 방제를 위하여 다양하게 활용되고 있다(Kaya와 Gaugler, 1993). 살포된 곤충병원성 선충은 병원성과 함께 지속성이 중요하다. 특히, 곤충병원성 선충은 토양서식 해충의 방제에 많이 활용되고 있기 때문에 지속성은 방제의 효용성 측면에서 대단히 중요하다.

골프장에 인위적으로 선충을 처리하였을 때, 꿀벌부채명나방 유충을 이용한 선충의 검출율은 처리 두 달 후에는 급격히 감소하였다. 곤충병원성 선충의 지속성은 토양조건이나 환경조건에 따라 다양하게 나타난다. Glazer와 Gol'berg(1993)는 땅콩밭에 *H. bacteriophora*를 20,000 마리 m^{-2} 농도로 처리하였을

때, 꿀벌부채명나방의 치사율은 처리 36일째까지 100% 유지되다가 처리 76일 후에는 70% 내외로 감소한다고 하였고, Selvan 등(1993)은 microplot에 *S. glaseri*와 *H. bacteriophora*를 처리하였을 때, 처리 3주 후의 선충 검출지수가 *S. glaseri*는 60% 내외로 감소하였지만 *H. bacteriophora* 처리에서는 90% 이상 감소하였다고 하였다. Campbell 등(1998)은 *H. bacteriophora*를 잔디에 처리하였을 때 1일 후에는 68지역에서 선충이 검출되었으나 2달 후에는 10곳에서만 선충이 검출되었다고 하였다. 본 조사에서도 선충의 검출율은 변이가 심하였다. 이러한 것은 토양조건의 불균일성과 기주의 존재유무, 답압의 정도 등 다양한 인자들이 작용하기 때문으로 생각된다. 즉, 국지적 분포의 불균일성으로 인해 선충의 검출이 다양한 변이를 가지게 된 것으로 생각된다.

한편 곤충병원성 선충의 자연발생지 골프장에서는 선충이 년 중 검출되는 것으로 보아(이, 미발표자료) 인위적 살포지에서도 검출율은 비록 낮았지만 토양조건이 적당하고 기주가 계속적으로 존재한다면 무발생지 골프장에 선충을 정착시키는 것이 가능할 것으로 생각된다. 특히 골프장은 일반 농경지와는 달리 나지 상태로 노출되는 경우가 없고, 수분관리가 계속적으로 이루어지기 때문에 토양 내 정착이 농경지에 비해 용이할 것으로 생각된다. 그리고 곤충병원성 선충은 농약이나 BT와 같은 미생물 제와 동시 처리 시 상승효과를 유발시키기 때문에(Koppenhöfer 등, 1999; Lee 등, 2002) 단기적인 굼벵이 밀도 억제보다는 장기적인 굼벵이 밀도 관리측면에서 처리하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. 아울러 추후 곤충병원성선충을 굼벵이 방제용으로 사용할 경우, 토양의 물리적 상태와 관수, 지피식물의 유무 등을 면밀히 고려하여 처리해야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

굼벵이의 채집과 골프장 실험에 협조해 주신, 김포 씨사이드골프장과 군포의 안양베네스트골프장, 부산의 동래베네스트골프장 코스관리팀 관계자들과 실내 및 야외실험에 도움을 준 경상대학교 응용생물환경학과 선충실험실원들에게 사의를 표한다.

인용문헌

Alm, S. R., T. Yeh, J. L. Hanula and R. Gaorgis (1992)

- Biological control of Japanese, oriental, and black turfgrass ateniuss beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae with entomopathogenic nematodes (Nematoda: Steinernematidae, Heterorhabditidae). *J. Econ. Entomol.* 85:1660~1665.
- Blackshaw, R. P. (1988) A survey of insect parasitic nematodes in Northern Ireland. *Ann. Appl. Biol.* 113:561~565.
- Campbell, J. F., G. Orza, F. Yoder, E. Lewis and R. Gaugler (1998) Spacial and temporal distribution of endemic and released entomopathogenic nematode populations in turfgrass. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 86:1~11.
- Choo, H. Y., D. W. Lee, J. W. Park, H. K. Kaya, D. R. Smitly, S. M. Lee and Y. M. Choo (2002) Life history and spatial distribution of oriental beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in golf courses in Korea. *J. Econ. Entomol.* 95:72~80.
- 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.
- 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.
- 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.
- Glazer, I. and A. Gol'berg (1993) Field efficacy of entomopathogenic nematodes against the beetle *Maladera matrida* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Biocontrol Science and Technology* 3:367~376.
- Grewal, P. S., E. E. Lewis, R. Gaugler and J. F. Campbell (1994) Host-finding behaviour as a predictor of foraging strategy in entomopathogenic nematodes. *Parasitol.* 108:207~215.
- Kaya, H. K. (1990) Soil ecology. pp.93~115, *In* Entomopathogenic nematodes in biological control (eds. R. Gaugler and H. K. Kaya), CRC Press, U.S.A.
- Kaya, H. K. and R. Gaugler (1993) Entomopathogenic nematodes. *Annu. Rev. Entomol.* 38:181~206.
- Klein, M. G. (1990) Efficacy against soil-inhibiting insect pests. pp. 195~214, *In* Entomopathogenic nematodes in biological control (eds. R. Gaugler and H. K. Kaya), CRC Press, U.S.A.
- Koppenöfer, A. M., H. K. Kaya and S. P. Taormino (1995) Infectivity of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae) at different soil depths and moistures. *J. Invertebr. Pathol.* 65:193~199.
- Koppenöfer, A. M., H. Y. Choo, H. K. Kaya, D. W. Lee and W. D. Gelernter (1999) Increased field and greenhouse efficacy against scarab grubs with a combination of an entomopathogenic nematode and *Bacillus thuringiensis*. *Biological Control* 14: 37~44.
- Lee, D. W., H. Y. Choo, H. K. Kaya, S. M. Lee, D. R. Smitly, S. K. Shin and C. G. Park (2002) Laboratory and field evaluation of Korean entomopathogenic nematode isolates against the oriental beetle, *Exomala orientalis* (Coleoptera: Scarabaeidae). *J. Econ. Entomol.* 95:918~926.
- Lössbroek, T. G. and J. Theunissen (1985) The entomopathogenic nematode *Neoaplectana bibionis* as a biological control agent of *Agrotis segetum* in lettuce. *Entomolo. Exp. Appl.* 39:261~264.
- Molyneux, A. S. and R. A. Bedding (1984) Influence of soil texture and moisture on the infectivity of *Heterorhabditis* sp. D1 and *Steinernema glaseri* for larvae of the sweep blowfly, *Lucilia cuprina*. *Nematologica* 30:358~365.
- Potter, D. A. (1998) Destructive turfgrass insects: biology, diagnosis, and control. Ann Arbor Press. p.344. U.S.A.
- Selvan, S., P. S. Grewal, R. Gaugler and M. Tomalak (1994) Evaluation of Steinernematid nematodes against *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae: species, strain, and rinse after application. *J. Econ. Entomol.* 87:605~609.
- Selvan, S., R. Gaugler and J. F. Campbell (1993) Efficacy of entomopathogenic strains against *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. *J. Econ. Entomol.* 86:353~359.
- Sulistyanto, D. and R-U. Ehlers (1996) Efficacy of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis megidis* and *Heterorhabditis bacteriophora* for the control of grubs (*Phyllopertha horticola* and *Aphodius contaminatus*) in golf course turf. *Biocontrol Sci. and Tech.* 6:247~250.
- Wang, Y., J. F. Campbell and R. Gaugler (1995)

- Infection of entomopathogenic nematodes *Steinernema glaseri* and *Heterorhabditis bacteriophora* against *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. J. Invertebr. Pathol. 66:178~184.
- Wang, Y., R. Gaugler and L. Cui (1994) Variations in immune response of *Popillia japonica* and *Acheta domesticus* to *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema* species. J. Nematol. 26:11~18.
- 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, p.29. U.S.A.
- Wright, G. J., M. G. Villani and F. Agudelo-silva (1988) Steinernematid and heterorhabditid nematodes for control of larval european chafers and Japanese beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) in potted yew. J. Econ. Entomol. 81:152~157.
- Yeh, T. and S. R. Alm (1992) Effects of entomopathogenic nematode species, rate, soil moisture, and bacteria on control of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae in the laboratory. J. Econ. Entomol. 85:2144~2148.
- 김형기 (1991) 잔디학. 선진문화사. 545p.
- 이동운, 김형환, 이상명, 추호렬, 최우근, 권태웅 (2005) 등얼룩풍뎀이(*Exomala orientalis*)에 대한 한국산 곤충병원성 선충의 병원성. 한국잔디학회지 19:39~46.
- 이동운, 추호렬, 신옥진, 윤재수, 김영섭 (2002a) 주둥무늬차색풍뎀이(*Adoretus tenuimaculatus*)에 의한 퍼레니얼라이그라스(*Lolium prene*) 피해와 한국산 곤충병원성 선충을 이용한 생물적 방제. 한응곤지. 41:217~223.
- 이동운, 추호렬, 정재민, 이상명, 사공영보 (2002b) 녹색풍뎀이(*Popillia quadriguttata*)의 기주식물. 한응곤지. 41:15~19.
- 조인호 (1996) SAS의 이용과 실제. 성안당. 665p.
- 최우근, 이동운, 추호렬, 정재민, 이상명, 박정규 (2001) 주황긴다리풍뎀이 (*Ectinohoplia rufipes*)의 골프장 기주식물과 피해 잎의 성충 유인 효과. 한응곤지. 40:31~40.
- 추호렬, 이동운, 박지용, 이종원 (1999) 골프장 발생 주요 풍뎀이 4종, 주황긴다리풍뎀이, 주둥무늬차색풍뎀이, 등얼룩풍뎀이, 녹색풍뎀이의 비교. 한국잔디학회지 13:101~112.
- 추호렬, 이동운, 이상명, 권태웅, 성영탁, 조팔용 (1998) 골프장 코스 내 잔디 가해 굼벵이 종류와 계절별 밀도. 한국잔디학회지 12:225~236.
- 추호렬, 이동운, 이상명, 이태우, 최우근, 정영기, 성영탁 (2000) 골프장 잔디해충과 천적의 종류. 한응곤지 39:171~179.

Pathogenicity of Korean Entomopathogenic Nematodes on Larva of *Popillia quadriguttata*, *Ectinohoplia rufipes* and *Phyllopertha diversa* (Coleoptera: Rutelidae) and Persistence in Golf Courses

Woo Geun Choi, Pan Jung Ha¹, Sang Myeong Lee², Ho Yul Choo³ and Dong Woon Lee^{4*} (*Seowon Valley Golf Club, Paju, Gyeonggi, 413-852, Republic of Korea; ¹SESIL Cooperation, Nonsan, Chungnam, 320-833, Republic of Korea; ²Southern Forest Research Center, National Forest Science Institute, Jinju, Gyeongnam, 660-300, Republic of Korea; ³Department of Applied Biology and Environmental Sciences, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam, 660-701, Republic of Korea; ⁴Department of Applied Biology, Sangju National University, Sangju, Gyeongbuk, 742-711, Republic of Korea*)

Abstract : Korean entomopathogenic nematode strain were evaluated against white grubs, *Popillia quadriguttata*, *Ectinohoplia rufipes* and *Phyllopertha diversa* in laboratory. In addition we examined the efficacy of entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain against white grubs in Seaside Golf Club in Gimpo, Gyeonggi and persistence of entomopathogenic nematode in fairway of Anyang Benest Golf Club in Gunpo, Gyeonggi. In laboratory *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain showed 95% mortality against *Popillia quadriguttata*. *H. bacteriophora* Hamyang strain and *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP induced 80% mortality against 3rd instar of *Ectinohoplia rufipes*. However, the letter showed only 60% mortality against *Phyllopertha diversa*. White grub density was reduced to 39% by the application of *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP at the rate of 2.24×10^9 infective juveniles ha^{-1} compared with control in Seaside Golf Club. *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP persisted for two months at 5~10 cm soil depth but not persisted at 0~5 cm soil depth for the same periods when applied at the rate of 2.47×10^9 infective juveniles ha^{-1} .

Key words : Entomopathogenic nematode, biological control, natural enemy, turfgrass, *Heterorhabditis*

*Corresponding author (Tel : +82-54-530-5212, E-mail : dwlee@sangju.ac.kr)