

골프장에서 곤충병원성 선충과 공생세균 처리에 대한 개미의 섭식 선호성

이동운 · 류동표¹ · 추호렬^{2*} · 김형환³ · 권태웅⁴ · 오병석⁵

상주대학교 생물응용학과, ¹국립산림과학원 산림병해충과, ²경상대학교 응용생물환경학과, 국가핵심연구센터, 농업생명과학연구원,
³원예연구소 원예환경과, ⁴동래베네스트골프장, ⁵안양베네스트골프장

Feeding Preference of Foraging Ants on Insect Cadavers Killed by Entomopathogenic Nematode and Symbiotic Bacteria in Golf Courses

Dong Woon Lee, Dong Pyeo Lyu¹, Ho Yul Choo^{2*}, Hyeong Hwan Kim³, Tae Woong Kweon⁴ and Byung Seog Oh⁵

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

¹Division of Forest Insect Pests and Diseases, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-012, Republic of Korea

²Department of Applied Biology and Environmental Sciences, Environmental Biotechnology Research Center, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Republic of Korea

³Horticultural Environment Division, National Horticultural Research Institute, Suwon, Gyeonggi 441-440, Republic of Korea

⁴Dongrae Benest Golf Club, Gungjung, Busan 609-730, Republic of Korea

⁵Anyang Benest Golf Club, Gunpo, Gyeonggi 435-020, Republic of Korea

ABSTRACT : Feeding behavior of foraging ants including visiting numbers, species, and preference on insect cadavers killed by entomopathogenic nematodes <(Heterorhabditis sp. KCTC 0991BP (He) and Steinernema carpocapsae KCTC 0981BP (Sc)> and their symbiotic bacteria was investigated in Dongrae Benest Golf Club, Anyang Benest Golf Club, Gapyung Benest Golf Club and Ulsan Golf Club. The number of ants, kinds and numbers of cadavers taken away by ants were different depending on killing method, golf club and site within the golf courses (fairway and rough). The feeding preference of ants was the lowest on cadavers killed by He. At Dongrae Benest Golf Club *Lasius japonicus* (75±5%) and *Monomorium floricola* (10%) took away cadavers only at the rough. The visiting rate of ants was 85±6% at the rough, but none at the fairway by 16 hours. The taken rate of cadavers by ants was the lowest on He-killed cadavers representing 16.7% compared with 40.0% on Sc-killed cadavers, 53.3% on fenitriethion-killed cadavers, and 56.7% on natural dead cadavers by 12 hours. At the rough of hole 6 in Anyang Benest Golf Club, *Tetramorium tsushimae* (33±12%), *Pheidole fervida* (17±15%), *Camponatus japonicus* (10%), *Formica japonica* (7±6%), *Paratrechina flavipes* (3±6%), and *Crematogaster matsumurai* (3±6%) took away cadavers, but 23±15% of cadavers were not visited by ants. Ants took away 40% of Sc-killed cadavers, 16.7% of frozen-killed cadavers, and 3.4% of He-killed cadavers. The number of visiting ants was low at the hole 9 of Cherry course in Gapyung Benest Golf Club and only *Tetramorium tsushimae* and *Paratrechina flavipes* were found from one site. The density of entomopathogenic nematodes did not influence ant visiting on cadavers, but burying affected ant visiting. Although ants took away unburied cadavers, buried cadavers were taken away at the hole 6 of Dongrae Benest Golf Club by 16 hours. Ant visiting had the same tendency on symbiotic bacterium-treated biscuit as nematode-killed cadavers. The visiting was less on biscuit inoculated by *Photorhabdus* sp., a symbiotic bacterium of He than on biscuit inoculated by *Xenorhabdus nematophila*, a symbiotic bacterium of Sc.

*Corresponding author. E-mail: hychoo@nongae.gsnu.ac.kr

KEY WORDS : *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP, *Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP, Symbiotic bacterium, Scavenger

초 록 : 곤충병원성 선충 {*Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP (He)와 *Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP (Sc)}에 의한 치사충과 선충의 공생세균(He공생세균=*Photorhabditis* sp.와 Sc공생세균=*Xenorhabdus nematophila*)에 의한 치사충에 대한 개미의 섭식행동을 알아보기 위하여 동래베네스트골프장과 안양베네스트골프장, 가평베네스트골프장, 울산골프장에서 치사 원인에 따른 개미의 방문수, 종류 및 선호성을 조사하였다. 방문하는 개미의 수나 종류 및 개미가 물고 간 먹이의 수는 치사원인에 따라 차이가 있었으며, 골프장이나 골프장내의 장소(페어웨이와 러프)간에도 차이가 있었다. 개미의 선호성은 모든 골프장에서 He에 의한 치사충에서 가장 낮았다. 동래베네스트 골프장의 6번 홀에서는 러프에서만 고동털개미(*Lasius japonicus*)(76±2.9%)와 검정꼬마개미(*Monomorium floricola*)(10%)가 치사충을 끌고 갔다. 러프의 치사충에 개미의 방문이 있었던 비율은 87±3.5%였지만 페어웨이에서는 처리 16시간 후까지 모든 치사충에 개미의 방문이 없었다. 12시간 후까지 개미가 끌고 간 치사충의 비율은 He에 의한 치사충이 16.7%로 Sc에 의한 치사충의 40.0%, fenitrothion에 의한 치사충의 53.3%, 자연치사충의 56.7%에 비하여 낮았다. 안양베네스트골프장 6번 홀 러프에서는 주름개미(*Tetramorium tsushimae*)(33±6.9%)와 극동흑개미(*Pheidole fervida*)(17±8.7%), 일본왕개미(*Camponotus japonicus*)(10%), 곰개미(*Formica japonica*)(7±3.5%), 스미스개미(*Paratrechina flavipes*)(3±3.5%), 마쓰무라밀들이개미(*Crematogaster matsumurai*)(3±3.5%)가 치사충을 방문하였다. 개미가 치사충을 끌고 감이 없었던 비율은 23±8.7%였고, Sc에 의한 치사충을 끌고 간 비율은 40.0%, 냉동 치사충을 끌고 간 비율은 16.7%, He에 의한 치사충을 끌고 간 비율은 3.4%였다. 가평베네스트골프장 벚꽃나무 코스 9번 홀의 러프에서는 치사충을 방문하는 개미의 수가 매우 낮았는데, 주름개미와 스미스개미가 각각 한곳에서 발견되었다. 곤충병원성 선충의 접촉 농도는 개미가 끌고 간 치사충의 비율에서 차이를 보이지 않았다. 한편, 치사충의 매장 유무는 개미의 섭식활동에 영향을 미쳤다. 동래베네스트골프장 6번 홀의 러프에서 토양 속에 묻은 치사충에서는 처리 16시간 동안 개미의 방문이 없었던 반면, 묻지 않은 치사충은 끌고 갔다. He와 Sc의 공생세균을 처리한 비스켓에 대한 개미의 방문은 선충의 치사충에 대한 방문과 동일한 경향을 보여, He의 공생세균인 *Photorhabditis* sp. 처리에서 Sc 공생세균인 *Xenorhabdus* 처리보다 방문수가 적었다.

검색어 : *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP, *Steinernema carpocapsae*, 공생세균, 부육자

곤충병원성 선충 Steinernematidae와 Heterorhabditidae는 각각 공생세균인 *Xenorhabdus* spp.와 *Photorhabditis* spp.를 가지고 있으면서 곤충에 침입하여 패혈증을 일으켜 기주를 치사시킨다. 곤충병원성 선충은 기주범위가 넓으면서 대량 배양이 가능하고(Poinar, 1990), 유용동식물에는 무해하기 때문에(Boemare et al., 1996) 친환경 생물적 방제인자로 상업적으로 널리 활용되고 있다(Poinar, 1990).

골프장에는 많은 종류의 해충과 천적들이 분포하고 있다(Choo et al., 2000). 주요한 해충들로는 등얼룩풍뎠이(*Exomala orientalis*), 녹색콩풍뎠이(*Popillia quadriguttata*), 주둥무늬차색풍뎠이(*Adoretus tenuimaculatus*), 주황긴다리풍뎠이(*Ectinohoplia rufipes*)와 같은 풍뎠이류 유충과 거세미나방(*Agrostis ipsilon*), 검거세미나방(*A. segetum*), 잔디밤나방(*Spodoptera depravata*)과 같은

나방류 유충이 있다(Choo et al., 1999; 2000). 그 외에도 각 종 해충이 다양한 식물상과 생태계에 걸맞게 분포하고 있다. 따라서 해충의 포식성과 기생성 천적곤충이 함께 존재하고 있는 실정이다.

한편, 곤충병원성 선충은 우리나라 골프장에서 각종 해충 방제를 위하여 실용성이 높은 천적으로 활용되고 있는데(Choo et al., 1997), *Heterorhabditis*는 굼벵이 방제를 위하여 주로 이용되고 있고, Steinernematid는 나방류 유충 방제에 활용되고 있다(Lee et al., 1997; Choo et al., 2002; Lee et al., 2002a; 2002b; Kang et al., 2004).

그리고 생물다양성의 척도(indicators)로 이용되고 있는 개미는 식식자(herbivore)나 부육식성곤충(scavenger) 및 포식자로 생태계 내에서 중요한 지위를 차지하고 있다(Hölldobler and Wilson, 1990; Alonso and

Agosti, 2000). 골프장에는 다양한 개미들이 서식하고 있는데(Kunkel et al., 1999; Lee et al., unpublished data), *Lasius neoniger*나 *Pogonomyrmex* spp.와 같이 집을 지어 잔디에 피해를 주는 종류가 있는가 하면 *Solenopsis invicta* 같이 골퍼들을 몰아 피해를 주는 종들도 있다. 그러나 그린에 집을 지어 피해를 주는 종류를 제외하고는 그렇게 문제가 되지 않으며 잔디밭나방과 같은 해충을 포식하기 때문에 오히려 천적의 기능을 하고 있다(Terry et al., 1993; Crocker et al., 1995; Rothwell and Smitly, 1999; López and Potter, 2000).

지금까지 우리나라 골프장에는 일본왕개미(*Camponotus japonicus*), 곰개미(*Formica japonica*) 및 고동털개미(*Lasius japonicus*)가 기록되어 있지만(Choo et al., 2000), 골프장에 분포하고 있는 개미의 기능과 역할에 대해서는 연구된 바가 거의 없다.

최근 건강상의 이유와 안정된 생태계 등이 관심을 받으면서 골프장에서 잔디 해충의 환경친화적 방제에 대한 요구가 증가하고 있기 때문에 골프장 잔디 해충의 생물적 방제를 위하여 곤충병원성 선충이 많이 활용되고 있다(Choo et al., 2002). 그러나 생물적 방제인자의 활용도를 높이기 위해서는 이용된 인자의 비대상 생물에 대한 안전성, 빠른 증식, 오랜 지속성, 환경에 대한 적응력, 그리고 자신의 천적으로부터 회피할 수 있는 능력 등이 요구되고 있다(McCarty and Elliott, 1994). 곤충병원성 선충에 영향을 줄 수 있는 생물적 인자들은 세균, 바이러스 및 곰팡이와 같은 미생물이나 원생생물, 선충, 응애, 곤충(Kaya et al., 1998; Kaya, 2002)이 알려져 있으나 이들의 상호작용에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이고, 특히 골프장에서의 조사는 더욱 제한적이다.

따라서 본 연구는 골프장에서 곤충병원성 선충에 의한 치사충에 대한 개미의 섭식양상을 알아보기 위하여 1) 곤충 사체의 사인에 따른 개미의 선호성과 방문 개미의 종류, 2) 선충의 접종밀도에 따른 개미의 선호성, 3) 토양 내 곤충 사체에 대한 치사요인별 개미의 선호성, 4) 곤충병원성 선충의 공생세균의 처리에 따른 개미의 선호성 등을 조사하였다.

재료 및 방법

치사충 곤충 준비 : 곤충병원성 선충을 이용한 치사충으로 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 유충을 이용하

였다. 그리고 꿀벌부채명나방은 인공사료를 이용하여 (Lee, 2003) 실험실에서 사육하였는데, 치사충으로서의 이용 뿐만 아니라 선충의 공생세균을 분리하기 위한 재료로도 활용하였다.

곤충병원성 선충과 공생세균 : 곤충병원성 선충은 *Steinernema carpocapsae* KCTC 0981BP(Sc)계통과 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP (He)계통을 실험에 이용하였다. Sc는 미끼법을 이용하여 분리한 계통이었고 (Bedding and Akhurst, 1975), He는 등얼룩풍뎠이 유충 치사충에서 분리한 계통이었다(Choo et al., 1995). 선충은 Dutky et al.(1964)의 방법으로 증식하여 White trap을 설치, 수거하여 10°C 냉장고에 보관하였으며 수확한지 21일 이내의 것만 실험에 이용하였다(Kaya and Stock, 1997). 곤충병원성 선충의 공생세균은 Akhurst(1980)의 방법을 이용하여 선충에 의한 치사충에서 분리한 후, MacConkey agar(DIFCO)에서 증식시켜 이용하였다.

실험골프장의 특성 : 조사는 동래베네스트골프장, 안양베네스트골프장, 가평베네스트골프장 및 울산골프장에서 수행하였다. 부산의 동래베네스트골프장에서는 7번 홀에서 조사하였는데, 조사부분의 러프와 페어웨이에는 금잔디(*Zoysia matrella*)가 식재되어 있었고, 조경수로는 해송(*Pinus thunbergii*), 느티나무(*Zelcova serata*), 감나무(*Diospyros kaki*)가 있었다. 경기도 군포의 안양베네스트골프장에서의 조사는 6번 홀에서 수행하였다. 러프와 페어웨이에는 금잔디가 식재되어 있었고, 조경수로는 소나무(*Pinus densiflora*), 모과(*Chaenomeles sinensis*), 자두나무(*Prunus salicina*)가 있었다. 그리고 경기도 가평의 가평베네스트골프장에서는 Birch 코스 9번 홀에서 조사하였는데, 페어웨이와 러프에는 들잔디(*Zoysia japonica*)가 식재되어 있었고, 조경수로는 소나무가 있었다. 한편, 울산의 울산골프장에서는 북코스 9번 홀에서 조사를 수행하였다. 러프와 페어웨이에는 들잔디가 식재되어 있었고, 조경수는 해송이 있었다.

동래베네스트골프장은 도심에 있으며, 80 m 내외의 구릉성 산지에 위치하고 있다. 주변 식생은 해송이 우점종이며 1971년에 개장한 곳이다. 안양베네스트골프장은 사방이 주거지역에 둘러싸여 있어 주변 산림생태계와 떨어져 있는 골프장으로 해발 50 m 내외이며, 1971년에 개장한 곳이다. 가평베네스트골프장은 산지의 중턱에 위치한 골프장으로 주변에는 잣나무(*Pinus koraiensis*)와 참나무류(*Quercus* spp.)가 우점하고 있다. 해발 150 m 내외의 위치에 2003년에 개장한 곳이다. 울산골

포장은 산지의 중턱을 절개하여 조성한 골프장으로 해송이 우점종이고, 1988년에 개장한 골프장이다.

치사요인에 따른 개미의 선호성 조사

Sc 및 He 치사충 준비 : 직경 8.5 cm 페트리 디쉬에 여과지(Whatman #2) 한 장씩을 깔고, 1,000 Ijs/ml 농도의 Sc와 He를 각각 1 ml 접종하였다. 여기에 꿀벌부채명나방 유충 10마리씩을 넣고, 25°C 항온기에 5일간 보관한 후 곤충병원성 선충에 의한 치사체를 실험에 이용하였다.

골프장내 치사충 처리방법 : 치사체는 옆 부분 사방에 1 cm 내외의 구멍을 뚫은 페트리 디쉬(직경 8.5 cm) 바닥면에 원형으로 각각의 치사체 1마리씩을 무작위로 배열하였다. 10개의 페트리 디쉬를 한 반복으로 하여 3반복으로 수행하였다. 페트리 디쉬에 치사충을 배열하기 전 각각의 치사요인별 사체는 유성펜(Namepen, Monami)으로 색깔을 달리 표시하여 구분하였다.

동래베네스트골프장 실험 : 2004년 6월 14일 동래베네스트골프장의 4번 홀 페어웨이와 러프에서 수행하였다. 선충 치사체 처리에 대한 대조구로는 실험 1일전에 골프장 잔디해충 방제용으로 등록되어 있는 fenitrothion EC로 치사 시킨 꿀벌부채명나방 유충 사체와 꿀벌부채명나방 사육과정에서 자연치사 된 사체를 이용하였다. 따라서 한 개의 페트리 디쉬 안에는 Sc치사충, He치사충, fenitrothion치사충, 자연치사충 각 1개체가 임의로 배열되었다. 배열을 끝낸 페트리 디쉬는 러프와 페어웨이 부분의 경계선에서 2 m 거리를 두고, 10 m 간격으로 배치하였다. 골퍼들의 경기가 끝난 오후 4시에 처리하고는 2시간 간격으로 개미가 물고간 치사체와 개미의 종 및 수 등을 조사하였다. 조사는 골퍼들의 경기가 시작되기 전인 아침 8시까지 16시간 동안 수행하였다.

안양베네스트골프장 실험 : 2004년 6번 러프지역에서 7월 22일 수행하였다. 치사충은 첫 번째 실험에서와 동일한 방법으로 처리하였는데, 선충 무처리 사체는 냉동실에서 1일간 보관하여 냉동 치사 시킨 사체를 이용하였다. 방법은 6번 러프지역에서 조경수 아래에 첫 번째 실험과 동일하게 처리한 페트리 디쉬를 하나씩 놓아두고, 치사체를 방문하는 개미의 종과 수 및 물고간 치사체를 조사하였다. 처리는 오전 10시에 하였으며 조사는 두 시간 후에 하였다.

가평베네스트골프장 실험 : 2004년 7월 23일 가평베네스트골프장 Birch 코스 9번 홀 러프에서 수행하였다.

치사충은 첫 번째 실험에서와 동일한 방법으로 처리하였다. 처리는 오전 9시에 하였으며 조사는 두 시간 후에 하였다.

곤충병원성 선충 농도에 따른 선호성 조사 : 곤충병원성 선충의 농도를 달리한 치사체에 대한 개미의 섭식 선호성 차이 유무를 알아보기 위하여 2004년 7월 5일 동래베네스트골프장 6번 홀 러프에서 수행하였다. 선충 감염 치사충체의 준비는 치사요인에 따른 개미의 선호성 조사 시와 동일하게 하였는데 곤충병원성선충의 처리 농도는 페트리 디쉬 한 개당 100 Ijs/ml와 1,000 Ijs/ml 농도로 1 ml씩 접종하였다. 대조구로는 실험 당일 chloroform으로 치사 시킨 사체를 이용하였다. 치사요인에 따른 개미의 선호성 실험과 동일한 방법으로 페트리 디쉬를 준비하여 골프장에 처리하였다. 오후 5시에 처리하고, 두 시간 후에 치사요인별 치사체를 방문하는 개미의 종과 수 및 물고간 치사체를 조사하였다.

토양 매몰 시 치사요인별 개미의 선호성 조사 : 토양 속에 유기한 치사체의 치사 요인에 따른 개미의 선호성 조사는 동래베네스트골프장 7번 홀 페어웨이와 러프에서 2004년 6월 14일 수행하였다. 플라스틱 용기(직경 6 cm 높이 5 cm)의 4 cm 높이에 0.5 cm 크기의 구멍을 뚫고, 안쪽 4 cm 높이까지 흙을 채웠다. 여기에 골프장 지역별 실험의 첫 번째 실험에서 이용한 것과 동일한 치사체를 처리별로 한 마리씩 무작위로 배열하였다. 치사체를 배열한 플라스틱 용기를 잔디를 떠 낸 다음 4 cm 깊이에 넣고, 떼어낸 잔디의 땃장으로 용기 위 부분을 다시 덮었다. 장소는 지역별 조사의 첫 번째 조사와 동일한 방법으로 페어웨이와 러프에 설치하였다. 오후 4시에 처리하고는 두 시간 단위로 16시간 조사하였는데, 물고 간 치사충과 수를 조사하였다. 10개의 용기를 한 반복으로 하여 3반복으로 수행하였다.

곤충병원성선충 공생세균 처리에 따른 개미의 선호성 조사

공생세균의 준비 : 각 선충을 꿀벌부채명나방 유충에 접종시킨 24시간 후 공생세균을 분리하여 MacConky agar에서 4일간 배양하였다.

골프장내 공생세균 처리방법 : 배양 한 공생세균을 Hemocytometer를 이용하여 1,000 cells/ul 농도로 계수한 다음 250 ml를 비이커에 넣었다. 교반기에서 현탁액을 교반시키면서 시판중인 건빵을 30초간 침지시킨 후 지퍼락 용기에 담아 아이스박스에 넣고, 골프장으로 옮

긴 후 실험에 이용하였다. 대조구로는 살균수에 동일한 방법으로 처리한 건빵을 이용하였다. 처리한 건빵을 페트리 디쉬에 무작위로 1개씩 넣어 배열한 후 러프의 조경수 아래에 한 페트리 디쉬씩 놓아두었다. 10개의 페트리 디쉬를 한 반복으로 하여 3반복으로 처리하였으며, 각 처리별 건빵에 모여드는 개미의 수와 종류를 조사하였다. 각 처리별 건빵은 서로 다른 색의 이쑤시게를 2 cm 길이로 잘라 건빵에 꽂아 구분하였다.

동래베네스트골프장 실험 1 : 동래베네스트골프장 7번 홀의 조경수가 식재되어 있는 러프에서 2004년 6월 14일 수행하였다. 골프장내 공생세균 처리방법에서 언급한 방법으로 처리하였는데 대조구로는 살균수에 동일한 방법으로 처리한 건빵을 이용하였다. 오후 4시에 처리하여 두 시간 간격으로 16시간 조사하였다.

동래베네스트골프장 실험 2 : 첫 번째 조사지와 동일한 장소에서 2004년 7월 5일 수행하였다. 공생세균의 처리는 첫 번째와 동일하게 하였으며, 물만 처리한 무처리와 곤충의 섭식 저해 물질을 함유하는 것으로 알려져 있는 *Azadirachta indica*의 건조된 잎 추출물(Karuna et al., 2003)을 처리하였다. 잎 추출물은 물 250 ml에 건조된 *A. indica* 잎 50 g을 넣어 24시간 침지한 후 가제로 짜서 준비하였다. 교반기에서 각각의 액들을 교반시키면서 시판중인 건빵을 30초간 침지시킨 후 지퍼락 용기에 담았다. 처리는 첫 번째와 동일하게 하였다. 오후 6시에 처리하여 두 시간 후에 조사하였는데 방문한 개미의 수만을 조사하였다.

울산골프장 실험 : 공생세균 종류에 따른 개미의 섭식 선호성을 알아보기 위한 세 번째 실험은 울산골프장 북코스 9번 러프지역에서 2004년 7월 30일 수행하였다. 공생세균의 농도는 각각 100 cells/ul 였는데 시중에서 시판중인 스낵(새우깡 : 농심)을 2 cm 크기로 자른 후, 각 현탁액에 30초간 침지시켰다. 처리한 스낵은 동래베네스트골프장에서 공생세균 처리에 따른 개미의 선호성 조사와 동일한 방법으로 수행하였다. 오후 4시에 처리하고 두 시간 후에 조사하였다.

통계분석 : 개미가 물고간 각 치사체의 수는 백분율로 환산하여 $\arcsin \sqrt{x}$ 으로 변환하여 ANOVA 분석하였는데, Student-Newman-Keul test로 처리평균간 차이를 분산분석하였다. 선충의 공생세균처리 과자를 방문한 개미의 수는 Duncans multiple range test로 처리평균간 차이를 분산분석하였다(SAS Institute, 1996). 모든 분석 결과는 $\arcsin \sqrt{x}$ 으로 변환하기 전의 값으로 표시하였는데, 평균±표준오차로 표시하였다.

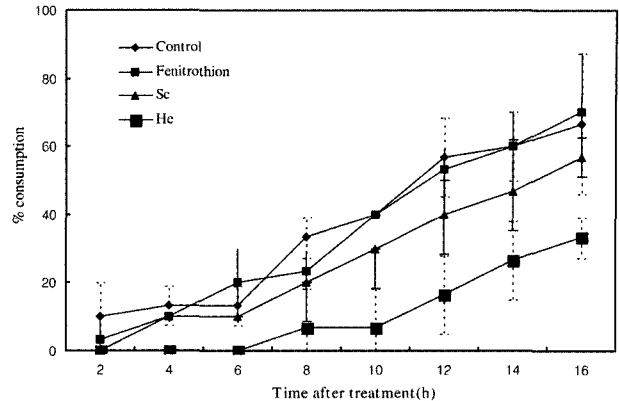


Fig. 1. Consumption (\pm SD) of 5-day-postinfected *Galleria mellonella* with *Steinernema carpocapsae* KCTC0981BP (Sc) or *Heterorhabditis* sp. KCTC0991BP (He) by ants in Dongrae Benest Golf Club. Heat; *Galleria* cadaver killed by heat shock, fenitrothion; *Galleria* cadaver killed with fenitrothion 50% EC. Percentage consumption was the ratio of cadavers taken away by ant from petri dish. Bars represented standard error.

결 과

치사요인에 따른 개미의 선호성 조사

동래베네스트골프장 실험 : 7번 홀의 페어웨이와 러프에서 치사 원인별 개미의 섭식 선호성을 조사한 결과, 페어웨이에 처리한 치사체에는 개미가 방문하여 물고 갔으나 러프에 처리한 치사체에는 개미가 방문하지 않았다. 페어웨이에서 개미들은 곤충병원성 선충에 의한 감염충 보다는 자연폐사충이나 fenitrothion 치사체에 대한 섭식 선호성이 높았다(Fig. 1). 특히, He 처리의 경우 처리 6시간 후 까지 개미의 섭식이 전혀 없었으며 ($df=3, 8, F=6.25, p>0.0172$), 12시간 후에도 16.7%의 섭식율만 보여 자연폐사충의 56.7%, fenitrothion 처리구의 53.3%에 비하여 유의하게 낮았다($df=3, 8, F=9.89, p>0.0046$). 치사체가 처리된 페트리 디쉬들 중 개미가 방문하지 않은 것은 $13 \pm 3.5\%$ 였으며, 방문한 개미의 종류는 고동털개미(*Lasius japonicus*)가 $76 \pm 2.9\%$ 를 차지하였고, 검정꼬마개미(*Monomorium floricola*)가 10%를 차지하였다.

안양베네스트골프장 실험 : 6번 러프에서 수행된 치사 원인에 따른 개미의 섭식 선호성 조사에서도 Sc 감염 치사충에 대한 선호성이 가장 높았으며, He 처리에 대한 선호성이 가장 낮았다($df=2, 6, F=8.56, P>0.0175$) (Fig. 2). 치사체를 방문한 개미의 종류는 다양하였는데, 주름개미(*Tetramorium tsushimae*)가 $33 \pm 6.9\%$ 로 가장 많았으며, 극동흑개미 (*Pheidole fervida*)가 $17 \pm 8.7\%$,

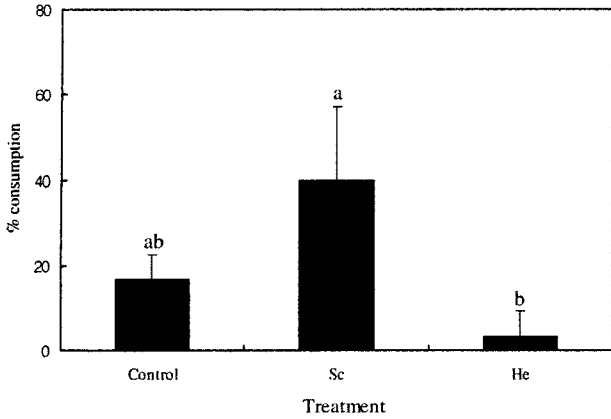


Fig. 2. Consumption (\pm SD) of 5-day-postinfected *Galleria mellonella* with *Steinernema carpocapsae* KCTC0981BP (Sc) or *Heterorhabditis* sp. KCTC0991BP (He) by ants in Anyang Benest Golf Club at two hours after treatment (12:00 am). *Galleria mellonella* killed by frozen was used in the control. Percentage consumption was the ratio of cadavers taken away by ant from petri dish. Means with the same letter above the bar are not significantly different ($P>0.05$ by Student-Newman-Keul test).

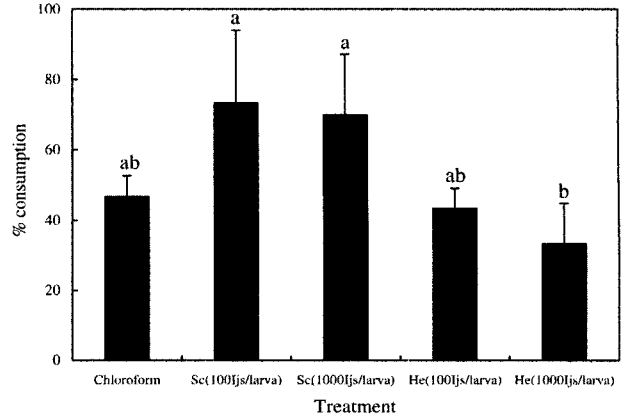


Fig. 3. Effect of entomopathogenic nematode concentration on consumption of cadavers by ants in Dongrae Benest Golf Club at two hours after treatment (7:00 pm). Sc and He; *Galleria mellonella* cadavers of 5-day-postinfected *Galleria mellonella* with *Steinernema carpocapsae* KCTC0981BP (Sc) or *Heterorhabditis* sp. KCTC0991BP (He). *Galleria mellonella* killed by chloroform was used in the control. Percentage consumption was the ratio of cadavers taken away by ant from petri dish. Means with the same letter above the bar are not significantly different ($P>0.05$ by Student-Newman-Keul test).

일본왕개미(*Camponotus japonicus*)가 10%, 곰개미(*Formica japonica*)가 $7 \pm 3.5\%$, 스미스개미(*Paratrechina flavipes*)와 마쓰무라미들이개미(*Crematogaster matsu-murai*)가 각각 $3 \pm 3.5\%$ 였다. 한편, 개미들이 전혀 방문하지 않은 비율은 $23 \pm 8.7\%$ 였다.

가평베네스트골프장 실험 : Birch 코스 9번 홀 러프에서는 주름개미와 스미스개미가 각각 한 개의 처리구에서 치사체를 방문하는 것이 확인되었다. 주름개미는 Sc 감염 치사체에 8마리, He 감염 치사체에 3마리가 방문하였으나 스미스개미는 Sc 감염 치사체에 2마리만 방문하였다.

곤충병원성 선충 농도에 따른 개미의 선호성 조사 : 곤충병원성 선충의 접종 농도를 달리한 치사체에 대한 개미의 섭식 선호성은 큰 차이가 없었다($df=4, 14, F=4.36, P>0.0268$) (Fig. 3). 한편, He의 100 Ijs 처리에서는 개미에 의한 섭식이 43.3%였으나, 1000 Ijs 처리에서는 33.3%의 섭식을 보여 10%의 섭식량 차이를 보였지만, Sc 감염 치사체의 경우 100과 1,000 Ijs간에는 3.3%의 적은 차이만을 보였다. 고동털개미가 전체 활동 개미들 중 $67 \pm 3.5\%$ 였으며, 스미스개미가 $17 \pm 3.5\%$, 주름개미가 10%였다.

토양 매몰 시 치사요인별 개미의 선호성 조사 : 토양 속에 묻어 둔 치사체의 치사 요인에 따른 개미의 선호성 조사에서는 전 처리구에서 16시간 동안 개미의 방문이 관찰되지 않았다.

곤충병원성선충 공생세균 처리에 따른 개미의 선호성 조사

동래베네스트골프장 실험 1 : 7번 홀 러프에서 조사를 수행한 결과, He의 공생세균인 *Photorhabdus* sp.를 처리한 구에 방문한 개미의 수가 다소 적은 경향을 보였으나 유의성은 없었다(Table 1). 방문한 개미는 모두 고동털개미였다.

동래베네스트골프장 실험 2 : 7번 홀 러프에서 두 번째로 수행한 조사에서 *A. indica* 추출물 처리와 He 공생세균을 처리한 구에 방문한 개미의 수가 유의하게 적었다($df=3, 8, F=25.91, P>0.0001$)(Fig. 4). 방문한 개미 중 우점종은 고동털개미였다.

울산골프장 실험 : 북코스 9번 러프지역에서 공생세균 처리별 개미의 선호성을 조사한 결과도 He의 세균 처리에서 유의하게 낮았다($df=2, 6, F=103.6, P>0.0001$) (Fig. 5). 페트리 디쉬를 방문한 개미의 종류는 고동털개미가 $60 \pm 9.8\%$ 로 가장 많은 활동을 보였으며 스미스개미가 $23 \pm 6.9\%$, 일본왕개미가 $17 \pm 12.1\%$ 였다. 그리고 고 개미의 방문이 전혀 없었던 처리구는 $7 \pm 3.5\%$ 였다.

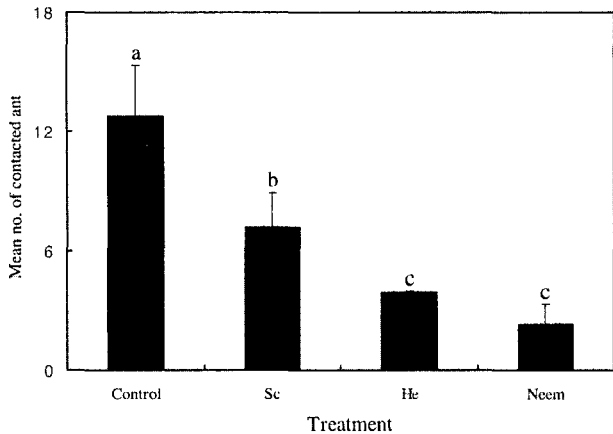


Fig. 4. Effect of entomopathogenic nematode symbiotic bacteria on feeding preference of ants in Dongrae Benest Golf Club at two hours after treatment (8:00 pm). Sc and He; Biscuit was soaked in the symbiotic bacterium suspension of *Steinernema carpocapsae* KCTC0981BP (Sc) and *Heterorhabditis* sp. KCTC-0991BP (He) for 30 seconds. Neem; Biscuit was soaked in the extract of *Azadirachta indica*. Means with the same letter above the bar are not significantly different ($P>0.05$ by Student-Newman-Keul test).

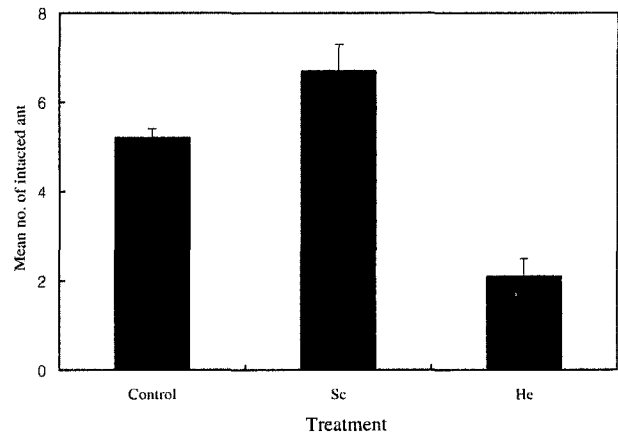


Fig. 5. Effect of entomopathogenic nematode symbiotic bacteria on feeding preference of ants in Ulsan Country Club at two hours treatment (6:00 pm). Sc and He; Biscuit was soaked in the symbiotic bacterium suspension of *Steinernema carpocapsae* KCTC0981BP(Sc) and *Heterorhabditis* sp. KCTC0991BP(He) for 30 seconds. Means with the same letter above the bar are not significantly different ($P>0.05$ by Student-Newman-Keul test).

고찰

곤충병원성 선충은 농림해충의 방제를 위하여 다양하게 활용되고 있다(Kaya and Gaugler, 1993). 살포된 곤충병원성 선충은 병원성과 함께 지속성이 중요하다. 특히 곤충병원성 선충은 토양서식 해충의 방제에 많이 활용되고 있기 때문에 지속성은 방제의 효용성 측면에서 대단히 중요할 뿐만 아니라 살포된 곤충병원성 선충이 생태계 내의 먹이사슬에 어떻게 영향을 미치는가를 파악하는 것도 중요하다. 특히 곤충병원성 선충의 측면에서 그들을 포식하거나 기생하는 인자들은 생물적 방제의 효과를 감소시키는 인자이다. 생태계 내에는 곤충병원성 선충의 천적이 다양하게 존재하고 있다(Kaya et al., 1998; Kaya, 2002). 그러나 이들 천적들이 곤충병

원성 선충에 미치는 영향에 관해서는 그렇게 연구되고 있지 않다. 특히 곤충병원성 선충의 적용이 많은 골프장에서 곤충병원성 선충의 천적과 관련된 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 골프장에 곤충병원성 선충을 살포했을 때 이들에게 영향을 미치는 인자들에 대한 기초적인 정보를 얻기 위하여 골프장에 분포하고 있는 개미를 대상으로 연구를 수행하였다.

골프장 잔디에 발생하는 해충은 거세미나방과 같은 나방류와 풍뎅이 유충인 굼벵이 및 여러 종류의 곤충이 분포하고 있다(Choo et al., 2000). 이들을 방제하기 위하여 곤충병원성 선충이 활용되고 있는데, 지상부 해충인 나방류의 경우 Steinernematid 선충이, 지하부 해충인 굼벵이에는 Heterorhabditid 선충이 높은 효과를 보이고 있다(Choo et al., 1997).

본 연구의 결과, 개미들은 Heterorhabditid 선충의 치사충은 기피하였지만 Steinernematid 선충에 의한 치사

Table 1. Number of visiting ants (mean±SE) to each treatment biscuit in Dongrae Benest golf courses

Treatment ¹	Hours after treatment							
	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h
Control	27.0±6.6 a	51.7±14.2 a	22.0±8.0 a	17.0±4.4 a	16.7±2.5 a	19.3±6.6 a	13.0±2.9 a	13.7±4.9 a
<i>Photorhabdus</i> sp.	9.3±8.7 a	17.7±1.4 a	17.0±8.1 a	20.3±0.3 a	12.0±4.6 a	17.0±7.5 a	6.0±2.3 a	11.3±4.9 a
<i>Xenorhabdus nematophila</i>	10.3±3.8 a	34.0±2.9 a	15.3±4.3 a	19.3±3.2 a	17.7±5.4 a	25.0±8.7 a	16.3±2.0 a	12.3±0.9 a

¹Biscuit was soaked in each symbiotic suspension for 30 seconds.

Within column means with the same letters are not significantly different ($P>0.05$, Duncans multiple range test).

충에 대해서는 기피하지 않는 경향을 보였다. 이것은 Baur *et al.*(1998)이 California의 농경지에서 수행한 실험의 결과와 일치하는 경향이였다. Baur *et al.* (1998)은 그 이유를 공생세균이 방출하는 섭식저해 물질의 존재나 치사체의 색깔 등에서 추정하였고, Zhou *et al.* (2002)은 *X. nematophila*와 *P. luminescens*로부터 개미의 섭식 기피 인자로 추정되는 물질의 존재를 실험적으로 증명하여 공생세균의 phase변화나 공생세균의 증식 기간에 따라 개미의 섭식에 미치는 영향이 다를 수 있음을 구명하였다. 그리고 동일 조건에서의 비교는 아니지만 Heterorhabditid 선충 감염 치사체 보다는 Steinernematidi 선충 감염 치사체에서 개미의 섭식 선호성이 높았던 것처럼 공생세균인 *Xenorhabdus nematophila* 처리가 *Photorhabdus luminescens* 처리에 비하여 개미의 방문이 많았다. 본 연구에서는 phase I형의 공생세균을 비스켓에 묻히는 방법으로 실험을 수행하였는데, 곤충병원성 선충의 치사충에서 보였던 결과와 동일한 경향을 보였다. 그리고 곤충병원성 선충의 접종농도 차이에 따른 개미의 섭식 선호성은 Steinernematidi 선충 감염 치사체에서는 차이를 보이지 않았지만 Heterorhabditid 선충 감염 치사체에서는 다소 차이를 보였다. 이것은 접종농도 대비 침입수가 Sc가 He에 비해 현저히 높은 것(Choo *et al.*, 2002)을 감안하면 실제 침입수가 많은 Sc에서는 개미의 섭식 선호성에 변화가 없고, 침입수가 상대적으로 적게 차이가 나는 He에서는 섭식 선호성에 영향을 미치는 것으로 He나 *P. luminescens*가 보다 강한 섭식 저해 작용을 가지는 것으로 생각된다.

곤충병원성 선충 치사체를 취한 개미는 6속 8종이 기록되어 있다(Baur *et al.*, 1998; Zhou *et al.*, 2002). 본 조사에서는 이들 기존의 개미들과는 달리 고동털개미와 검정꼬마개미, 주름개미, 극동흑개미, 일본왕개미, 곰개미, 스미스개미, 마쓰무라밀들이개미의 8속 8종의 개미들이 곤충병원성 선충 감염 치사체를 섭식 하였다. 이들 개미들 중 일본왕개미는 지면에 집을 지어 피해를 주는 종류로(Choo *et al.*, 2000), 본 종을 제외하고는 지표 배회성 개미들이다(Brown, 2000). 한편, 골프장에 따라 곤충병원성 선충 감염 치사체나 공생세균 처리 스낵에 방문하는 개미의 종류와 수는 차이가 있었다. 동래베네스트골프장에서는 고동털개미가 우점종이었으나 안양베네스트골프장에서는 주름개미가 우점하였다. 그리고 동래베네스트골프장과 안양베네스트골프장에서는 개미의 방문이 없었던 치사체가 각각 13%와 23%였던 반면, 가평베네스트골프장에서는 두 처리에서만 개미가

방문하였는데, 골프장의 개장년도나 지리적 차이 등에 기인한 것으로 생각된다. 즉, 동래베네스트골프장과 가평베네스트골프장은 산지에 위치해 있으나 안양베네스트골프장은 주택가에 둘러 싸여 있다. 그리고 동래베네스트골프장은 개장 역사가 30년 이상인데 비하여 가평베네스트골프장은 1년 밖에 되지 않은 골프장이었다. 따라서 개장 년도가 짧은 가평베네스트골프장의 경우 산에 위치해 있긴 하지만 새로이 형성된 골프장의 코스 내로 개미의 분포가 이루어 지기는 시간이 충분하지 않았기 때문에 치사충을 포식하는 개미의 수가 적었던 것으로 생각된다. 실제로 이들 골프장에 발생하는 개미의 종과 수는 많은 차이를 보이고 있고, 동일 골프장이라 하더라도 개장 년도에 따라 개미의 발생에서 차이를 보인다(unpublished data).

본 조사에서 페어웨이에서는 치사체를 방문하는 개미가 없었다. 러프와 페어웨이는 관리방법에 차이가 있다. 잔디의 예고는 러프의 경우 25-30 mm인 반면, 페어웨이는 13-15 mm이며, 페어웨이는 매주 2회 깎는데 비하여 러프는 매주 1회만 잔디깎기 작업을 한다(observation data). 또한 러프는 코스의 외곽에 위치하여 각종 조경수가 식재되어 있고, 코스에 따라 자연림에 접해있다. 따라서 개미의 서식 조건은 러프가 페어웨이에 비해 유리하다. 한편 Smitly *et al.*(1998)도 골프장의 페어웨이에 비하여 러프에서 개미의 발생이 많다고 하여 본 조사와 일치하는 경향을 보였다.

곤충병원성 선충과 공생세균은 개미를 치사시킬 수 있다. *S. carpocapsae*의 그물등개미(*Pristomyrmex pungens*)에 대한 반수치사농도가 150,000 Ijs 이상이고, 공생세균인 *X. nematophila*의 반수치사농도는 1.4×10^3 cfu인 것으로 보고되었다(Park *et al.*, 2001). 본 실험에 이용한 선충 감염 치사체나 공생세균 처리 스낵이 개미에 어떠한 영향을 미쳤는지는 불확실하다. 그러나 개미의 섭식 회피가 있었던 *Heterorhabditis* 선충이나 공생세균이 개미를 치사시킬 수 있다면 가옥해충으로 문제가 되는 개미류(Back, 1995) 방제에 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 일부 개미의 경우 *Heterorhabditis* 선충 감염 치사체를 페트리 디쉬에서 물고 가다가 중간에 놓아두는 것이 목격되었는데, 이런 경우 개미가 곤충병원성 선충을 간접적으로 분산시키는 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 곤충병원성 선충의 천적으로서의 개미의 역할에 대한 간접적인 면에서만 행하였지만, 앞으로 곤충병원성 선충과 해충 및 개미간의 세 인자간 상호작용

에 대한 연구도 수행되어야 할 것으로 생각된다.

사 사

실내 및 포장 실험 수행에 도움을 준 경상대학교 응용생물환경학과 선충실험실의 실원들 및 동래베네스트골프장과 안양베네스트골프장, 가평베네스트골프장, 울산골프장 코스관리팀원들에게 감사한다. 이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었다(KRF-2002-075-C00023).

Literature Cited

- Akhurst, R.J. 1980. Morphological and functional dimorphism in *Xenorhabdus* spp., bacteria symbiotically associated with the insect pathogenic nematodes *Neoaplectana* and *Heterorhabditis*. *Journal of General Microbiology* 121: 303~309.
- Alonso, L.E. and D. Agosti. 2000. Biodiversity studies, monitoring, and ants: an overview. pp. 1~8. *In* *Ants standard methods for measuring and monitoring biodiversity*, eds. by D. Agosti, J.D. Majer, L.E. Alonso and T.R. Schultz. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Back, W.H. 1995. *Insect pests*. 475 pp. Heangmunsa. Seoul.
- Baur, M.E., H.K. Kaya and D.R. Strong. 1998. Foraging ants as scavengers on entomopathogenic nematode-killed insects. *Biological Control* 12: 231~236.
- Bedding, R.A. and R.J. Akhurst. 1975. A simple technique for the detection of insect pathogenic nematodes in soil. *Nematologica* 21: 109~110.
- Boemare, N., C. Laumond and H. Mauleon. 1996. The entomopathogenic nematode-complex: biology, life cycle and vertebrate safety. *Biocontrol Science and Technology* 6: 333~345.
- Brown, W.L.Jr. 2000. Diversity of ants. pp. 45~79. *In* *Ants standard methods for measuring and monitoring biodiversity*, eds. by D. Agosti, J.D. Majer, L.E. Alonso, and T.R. Schultz eds. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Choo, H.Y., D.W. Lee, H.S. Yun, S.M. Lee and D.T. Hang. 2002. Effects of temperature and nematode concentration on pathogenicity and reproduction of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain (Nematoda: Steinernematidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 41: 269~277.
- 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 S.P. Stock. 1995. Isolation of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from Korea. *Jpn. J. Nematol.* 25: 44~51.
- 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, J. Huh, D.W. Lee, H.H. Kim, S.M. Lee and Y.M. Choo. 2002. 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.
- Crocker, R.L., R.M. Marengo-Lozada, J.A. Reinert and W.H. Whitcomb. 1995. Harvester ants. *In* Brandenburg R.L. and M.G. Villani eds. *Handbook of turfgrass insect pests*. ESA Publications Department, Lanham, USA.
- Dutky, S.R., J.V. Thompson and C.E. Cantwell. 1964. A technique for the mass propagation of the DD-136 nematode. *J. Insect Pathol.* 6: 417~422.
- Hölldobler, B. and O. Wilson. 1990. *The ants*. 633pp. Springer-Verlag, Berlin.
- 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.
- Karuna, S., E.J. Kim and S.M. Sohn. 2003. Use of neem as natural pesticide for organic agriculture in tropical Asian countries. *Kor. J. Intl. Agri.* 15: 241~257.
- Kaya, H.K. 2002. Natural enemies and other antagonists. pp. 189~203. *In* *Entomopathogenic nematology*, ed. By R. Gaugler. CABI Publishing, Oxon.
- Kaya, H.K., A.M. Koppenhöfer and M. Johnson. 1998. Natural enemies of entomopathogenic nematodes. *Jpn. J. Nematol.* 28: 13~20.
- Kaya, H.K. and R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 181~206.
- Kaya, H.K. and S.P. Stock. 1997. Techniques in insect pathology. pp. 283~324. *In* *Manual of techniques in insect pathology*, eds. by L.A. Lacey. Academic Press, New York.
- 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, H.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.
- Lee, S.M., D.W. Lee, H.Y. Choo, D.W. Kim and J.B. Kim. 1997. Pathogenicity of entomopathogenic nematodes to some agroforest insect pests. *Korean J. Soil. Zoology* 2: 76~82.
- Lee, S.W. 2003. Development of economic artificial diets for great wax moth, *Galleria mellonella* (L.). MS Thesis, 28pp. Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea.
- 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.
- McCarty, L.B. and E. Elliott. Pest management strategies for golf courses. pp. 193~202. *In Handbook of integrated pest management for turf and ornamentals*, ed. by A.R. Leslie. Lewis Publishers. Boca Raton. FL.
- Park, Y.J., M.K. Kim, J. Kim, K.H. Yang and Y.G. Kim. 2001. Toxicological analysis of the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*, and the symbiotic bacteria, *Xenorhabdus nematophilus* on beneficial insect and mammals. *Korean J. Appl. Entomol.* 40: 259~264.
- Poinar, G.O., Jr. 1990. Biology and taxonomy of Steinernematidae and Heterorhadtidae. pp. 23~61. *In Entomopathogenic nematodes in biological control*, eds. by R. Gaugler, & H.K. Kaya. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Rothwell, N.L. and D.R. Smitly. 1999. Impact of golf course mowing practices on *Ataenius spretulus* (Coleoptera: Scarabaeidae) and its natural enemies. *Environ. Entomol.* 28: 358~366.
- SAS Institute. 1996. SAS 6.11 for Windows. Cary. NC.
- 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.
- Zhou, X., H.K. Kaya, K. Heungens and H. Goodrich-Blair. 2002. Response of ants to a deterrent factor(s) produced by the symbiotic bacteria of entomopathogenic nematodes. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 6202~6209.

(Received for publication 4 February 2005;
accepted 18 March 2005)