

토양수분과 관수량이 곤충병원성선충의 병원성에 미치는 영향

이동운¹ · 최우근² · 이상명³ · 김형환⁴ · 추호렬⁵

¹상주대학교 생물응용학과, ²서원밸리골프장, ³국립산림과학원 남부산림연구소,

⁴원예연구소 원예환경과, ⁵경상대학교 응용생물환경학과, 농업생명과학연구원

(2006년 4월 19일 접수; 2006년 5월 25일 수락)

Effect of Soil Moisture and Irrigation on Pathogenicity of Entomopathogenic Nematodes

Dong Woon Lee¹, Woo Geun Choi², Sang Myeong Lee³,
Hyeong Hwan Kim⁴ and Ho Yul Choo⁵

¹Department of Applied Biology, Sangju National University, Sangju, Gyeongbuk, 742-711, Republic of Korea

²Seowon Valley Golf Club, Paju, Gyeonggi, 413-852, Republic of Korea

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

⁴Horticultural Environment Division of national Horticultural Research Institute, RDA.
Suwon, 441-440, Republic of Korea

⁵Department of Applied Biology and Environmental Sciences, Institute of Agriculture & Life Sciences,
Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam, 660-701, Republic of Korea.

(Received April 19, 2006; Accepted May 25, 2006)

ABSTRACT

Entomopathogenic nematodes (EPNs) have been used as biological control agents for control of various agro-forest insect pests, and are especially effective against soil-dwelling insect pests. Effect of soil moisture on pathogenicity of commercial EPNs for white grub control was evaluated in laboratory, pots, and golf courses. Pathogenicity of EPNs in sand column was variable depending on depth, soil moisture, and EPN species or strain. All tested EPNs (*Heterorhabditis* sp. GSNUH1, *Heterorhabditis* sp. GSNUH2, *Steinernema carpocapsae* GSN1, and *S. longicaudum* Nonsan strain) showed similar pathogenicity against the bait insect, great wax moth (*Galleria mellonella*) larva at 2 cm deep at a given soil moisture. However, pathogenicity of the *Heterorhabditis* sp. GSNUH1 strain was decreased with increasing soil moisture. Pathogenicity of *S. carpocapsae* GSN1 strain was the lowest in 3% soil moisture (v/w) at 7 cm depth. However, there was no difference in pathogenicity between *Heterorhabditis* sp. GSNUH2 and *S. longicaudum* Nonsan strain. Although pathogenicity of *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain showed no difference against the 2nd instar of *Exomala orientalis*, that of the *S. carpocapsae* GSN1 strain was decreased in the laboratory depending on soil moisture. Highly pathogenic strain EPN, *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain, showed higher pathogenicity at 100 mm irrigation than non-irrigation or 10 mm irrigation. However, poor pathogenic strain EPN, *S. carpocapsae* GSN1 strain, was not different in pathogenicity from the 2nd instar of *Exomala orientalis* in creeping bentgrass (*Agrostis palustris*) depending on irrigation amount in the pot. Pathogenicity of EPNs in field experiment at the tee of Ulsan golf club showed a similar trend to that in the pot experiment.

Key words : Entomopathogenic nematode, Pathogenicity, Soil moisture, Irrigation, White grub

I. 서 언

곤충병원성 선충은 기주곤충의 입, 항문, 기문 등의 자연개구부나 표피를 통해 침입하여 공생세균 (*Steinernema* spp.: *Xenorhabdus* spp., *Heterorhabditis* spp.: *Photorhabdus* spp.)을 기주체내에 분비하여 패혈증을 유발시킴으로서 24~48시간 이내에 기주를 치사시키는 살충력 높은 생물적 방제인자이다(Kaya and Gaugler, 1993).

곤충병원성 선충은 해충의 유충 혹은 성충의 치사에 적·간접적으로 관여하여 해충의 밀도 억제에 결정적인 역할을 하는데, 생물적 방제 인자로서 곤충병원성 선충의 장점은 인·축에 해가 없고, 기주범위가 넓으며 선충의 종에 따라서는 기주 탐색능력이 뛰어나 수목의 식엽성 해충은 물론 과실 내부나 토양 등 농약의 효과가 미치기 어려운 곳에서도 살충효과가 높다(Poinar et al., 1983). 이로 인하여 곤충병원성선충은 다양한 농림해충의 방제에 적용되고 있는데, 우리나라에서도 상업화 되어 시설재배지나 골프장을 중심으로 활용되고 있다.

우리나라의 골프장은 대부분 산지에 위치하고 있어 주변 산림이나 조경수를 가해하는 수목해충과 잔디나 관상용 초화류를 가해하는 일반 농업 해충이 다 같이 발생하고 있으며, 특히 풍뎅이류의 발생이 많은 편이다(Choo et al., 2000). 이들 풍뎅이류는 성충기에는 골프장 주변에 식재되어 있거나 자생하고 있는 각종 수목과 유실수의 잎이나 꽃, 열매를 가해하고(Potter, 1998; Lee et al., 2002b), 유충기에는 잔디의 뿌리를 가해하여 활력을 저하시키거나 고사시킨다(Potter, 1998; Lee et al., 2002a; Choo et al., 2002b). 또한 까치와 같은 조류나 두더지와 같은 야생동물들이 토양 속에 있는 굼벵이를 잡아먹기 위하여 잔디를 파헤치는 간접적인 피해로 green과 같이 집약적 관리가 필요한 곳에서는 경계의 대상이 되고 있다(Potter, 1998; Choo et al., 2002b).

풍뎅이들을 방제하기 위하여 해충의 종합관리(IPM) 개념이 골프장에도 도입되어 이용되고 있는데, 잔디해충의 종합방제는 경종적 방제법과 생물적 방제법을 위주로 하여 관리하고 있다(McCarty and Elliott, 1994). 굼벵이류의 방제를 위하여 활용하고 있는 생물적 방제인자로는 곤충병원미생물과 포식성 천적 및 기생성 천적류 등이 있는데(Choo et al., 2000), 우리나라에서 실

용화 되어 이용되고 있는 것은 곤충병원성 선충이다.

곤충병원성 선충은 골프장의 굼벵이 방제를 위하여 널리 이용되고 있는 생물적 방제인자의 하나이지만 지역이나 사용 시기, 골프장 내 위치 등에 따라 병원성과 지속성에서 변이가 심하다. 그 이유는 습도와 태양광, 토성, 온도 등이 적·간접적으로 관여하기 때문으로 알려져 있다(Molyneux and Bedding, 1984; Kaya, 1990; Kung et al., 1991; Mason and Hominick, 1995). 이들 중 온도는 곤충병원성 선충의 병원성과 증식에 영향을 미치는 가장 중요한 인자이며(Molyneux, 1986; Choo et al., 2002a), 토양에서는 온도와 더불어 습도와 토성이 곤충병원성 선충의 병원성과 증식에 영향을 미치고 있다. 한편, 골프장에서는 잔디의 생육 관리를 위하여 스프링클러와 같은 관수 시설을 이용하여 지속적인 관수를 하고 있는데, 경사도나 스프링클러의 위치 등에 따라 토양의 수분 상태는 불규칙적이다.

따라서 본 연구는 골프장 잔디 해충의 종합적 관리를 목적으로 관수가 곤충병원성 선충의 병원성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실내와 골프장에서 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 곤충병원성 선충

우리나라에서 분리한 *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통과 *S. longicaudum* Nonsan 계통, *Heterorhabditis* sp. GSNUH1과 *Heterorhabditis* sp. GSNUH2 계통, *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통을 이용하였다. 각각의 곤충병원성 선충들은 Dutky et al.(1964)의 방법으로 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*)의 노숙유충을 이용하여 증식시켜 White trap을 이용하여 수확하였고, 10°C 냉장고에 보관하면서 수확 후 3주 이내의 것을 실험에 사용하였다(Woodring and Kaya, 1988).

2.2. 꿀벌부채명나방과 굼벵이

실험에 이용한 꿀벌부채명나방 유충은 Lee(2003)의 방법을 이용하여 인공사료로 실험실에서 누대사육 하던 것을 이용하였으며, 주황긴다리풍뎅이(*Ectinohoplia rufipes*)와 등얼룩풍뎅이(*Exomala orientalis*)는 골프장에서 채집하여 이용하였다. 골프장 잔디에서 채집한 굼벵이들은 직경 10.6 cm, 높이 6 cm의 플라스틱 통

에 골프장 토양과 함께 30마리씩 나누어 실험당일 까지 보관한 후 건강한 개체들만 실험에 사용하였다.

2.3. 토양 수분이 곤충병원성 선충의 병원성에 미치는 영향

2.3.1. Sand column 실험

토양의 깊이(2 cm와 7 cm)와 수분함량{3, 6, 9, 12, 15, 18%(W/V)}에 따른 곤충병원성 선충(4 계통)의 병원성 차이를 알아보기 위하여 직경 6.5 cm의 아크릴 파이프 용기를 이용하여 실험하였다. 용기의 전체 길이는 14 cm였고, 바닥으로부터 4.5 cm 부근에 눈금 간격이 1 mm인 철망을 파이프의 내면에 고정시켜 체처럼 만들었다(Fig. 1). 이 용기의 철망 아래쪽에는 꿀벌부채명나방 유충을 넣었고, 위쪽에는 모래를 일정한 높이로 채운 뒤 *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. longicaudum* Nonsan 계통, *Heterorhabditis* sp. GSNUH1 계통, *Heterorhabditis* sp. GSNUH2 계통을 처리하였다. 토양수분은 모래를 4 mm체로 친 다음 121°C에서 15분간 살균시킨 후 자연 건조시키고, 살균수를 각각 3, 6, 9, 12, 15, 18%(W/V) 되도록 주

입하여 처리하였다. 토양 깊이 처리는 철망 위 부분에 각각의 토양수분이 조성된 모래를 2 cm 및 7 cm로 달리 채워서 조성하였다. 그리고 용기의 철망 밑 부분에 꿀벌부채명나방 노숙유충 10마리를 넣었고, 파이프 내에 충진 된 모래와 동일한 수분의 모래 10 g씩을 얇게 채운 후, 플라스틱 뚜껑을 원통 안쪽으로 밀어 넣어 유충이 아래쪽으로 탈출하지 못하도록 하였다. 선충은 322마리/ml($=10^9$ 마리/ha) 농도로 피펫을 이용하여 1 ml 씩 토양 표면에 고루 접종하였다. 무처리는 살균수만 1 ml 처리하였으며 처리 후 수분 손실 방지를 위하여 용기의 위쪽을 플라스틱 뚜껑으로 막았다. 이렇게 처리한 아크릴 파이프 용기는 24°C 항온기에 보관하였고, 처리 3일 후 유충을 꺼내어 선충에 의한 치사유무를 확인하였다. 치사된 꿀벌부채명나방 유충은 살균수로 표면을 씻은 후 해부현미경하에서 해부하여 선충에 의한 치사유무를 조사하였다. 실험은 처리 별로 3번복으로 실시하였다.

2.3.2. Vial 실험

토양수분에 따른 곤충병원성 선충의 병원성을 알아

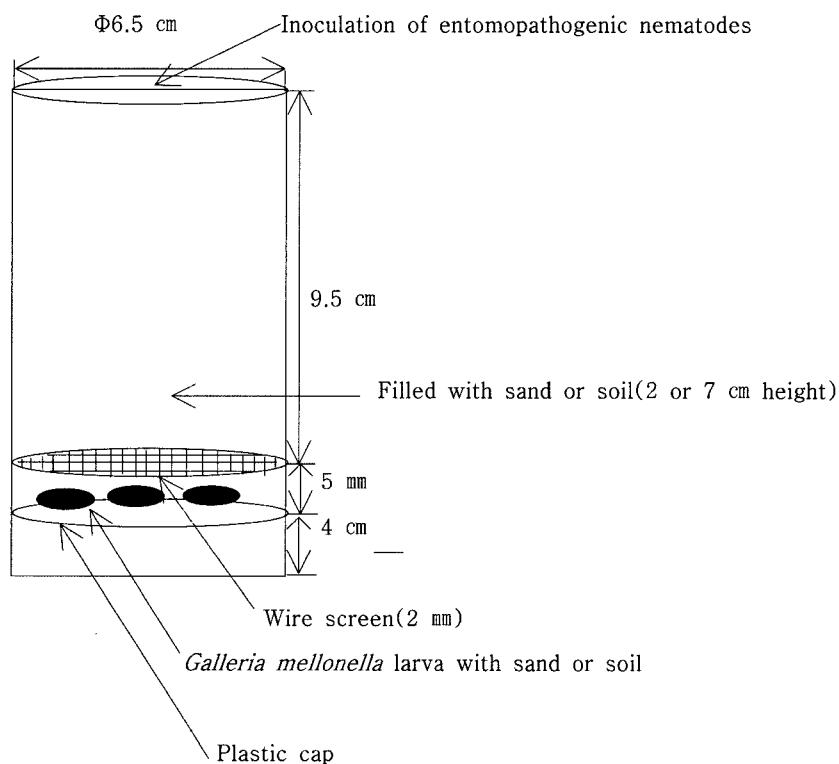


Fig. 1. Scheme of sand column.

보기 위하여 동래베네스트골프장의 티에서 채취한 토양을 4 mm체로 친 다음, 120°C, 1.5 kg · f/cm²에서 실균하여 건조시켰다. 건조시킨 토양은 실균수로 5, 10, 20, 30%(W/V)로 수분을 맞춘 다음, 직경 2 cm, 높이 4.8 cm의 screw-cap vial에 15 g씩 넣었다. 여기에 진해 용원골프장에서 채집하여 실내에서 사육 중이던 건강한 주황긴다리풀뎅이 2령충을 한 마리씩 넣고는 토양 속에 잡입하기를 기다렸다. 토양 속으로 굼벵이의 잡입이 완료된 후 페펫을 이용하여 곤충병원성 선충, *Heterorhabdites* sp. KCTC 0991BP 계통과 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 150 마리/vial 농도로 0.5 ml씩 처리하였다. 처리 후 먹이로 발아된 라이그라스 씨를 3-4립 공급한 후, vial 뚜껑을 느슨하게 잠근 후 가정용 플라스틱 통에 넣었다. 물에 적신 솜을 바닥 면에 놓아 건조를 방지하였다. 그리고 24°C의 항온기에 보관하면서 처리 2주 후와 4주 후에 선충에 의한 치사유무를 조사하였으며, 무처리구는 실균수만 0.2 ml씩 처리하였다. 실험은 5개의 vial을 한 반복으로 하여 4반복으로 수행하였다.

2.4. 관수량이 곤충병원성선충의 병원성에 미치는 영향

2.4.1. Pot 실험

관수량이 곤충병원성 선충의 병원성에 미치는 영향을 알아보기 위한 pot실험은 크리핑벤트그라스 (*Agrostis palustris* Huds)가 식재되어 있는 동래베네스트골프장의 예비포지 잔디를 이용하여 수행하였다. 직경 11.5 cm의 홀 커트를 이용하여 10 cm 깊이로 잔디를 들어 낸 뒤 높이 11 cm, 직경 11 cm 크기의 플라스틱 파이프에 끼워 넣었다. 파이프에 잔디 코어를 넣기 전에 가위로 잔디를 5 mm 높이로 잘랐다. 토양 내에 굼벵이의 유무를 조사한 뒤 표면으로부터 4 cm 깊이에 울산골프장에서 채집한 등얼룩풀뎅이 2령충을 10마리씩 넣고 모래로 구멍을 막았다. 1일이 경과한 후 각 파이프에 물을 관수하였는데, 103.8 ml(10 mm 강수량), 1038 ml(100 mm 강수량), 0 ml로 처리하였다. 그리고 또 1일 후 곤충병원성 선충과 농약을 처리하였는데, 곤충병원성 선충은 *Heterorhabdites* sp. KCTC 0991BP 계통과 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 처리하였고, 농약은 chloropyrifos-methyl EC를 사용하였다. 곤충병원성 선충은 pipe 당 2,300마리 농도로 27.6 ml의 물량으로 처리하였고, 농약은 1,000배액으로 희석하여 27.6 ml을 살포하였다.

무처리구는 물만 27.6 ml 살포하였으며 한 개의 pipe를 한 반복으로 3번복 실험하였다. 처리 후 25±2°C의 실내에 보관하면서 매일 27.6 ml의 물을 살포하였으며, 4주 후 각 잔디 코어 내에 생존해 있는 굼벵이의 수를 조사하였다.

2.4.2. 야외 실험

관수량이 곤충병원성 선충의 병원성에 미치는 영향을 알아보기 위한 골프장 현장 실험은 울산골프장 6 번 back tee에서 9월 4일 수행하였다. 잔디의 초종은 들잔디(*Zoysia japonica* Steud)였으며, 예고는 35 mm내외였다. 실험구는 0.5 m×0.5 m 크기로 난괴법으로 구획을 설정하였으며, 처리 간에는 0.5 m의 간격을 띄워 두었다. 실험구 설정 후 각 구의 구석 부분을 삽으로 20 cm×20 cm 크기로 떠내어 서식하는 굼벵이의 종류와 수를 조사하였다. 조사 된 굼벵이들은 모두 등얼룩풀뎅이 3령충 이었다. 다음 날 10 mm 관수 처리구에는 2.5 l의 물을 물뿌리개를 이용하여 관수하였으며, 100 mm 관수 처리구에는 25 l의 물을 관수하였고, 무관수구는 물을 살포하지 않았다. 이를 후인 9월 6일 아침 7시 30분부터 곤충병원성 선충과 농약을 살포하였는데, *Heterorhabdites* sp. KCTC 0991BP 계통과 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 62,000마리(2.48 × 109 마리/ha) 농도로 0.75 l/㎡ 물뿌리개로 처리하였다. 무처리구는 물만 0.75 l/㎡를 물뿌리개로 처리하였으며, 대조 약제로 chloropyrifos-methyl EC를 1,000 배액으로 희석하여 0.75 l/㎡ 살포하였다. 처리 당일의 평균 기온은 23.2°C 였으며 선충 처리 2일 후부터 9 일간 강우가 계속되었다. 9월 8일에는 0.3 mm의 강우가 있었고, 이후 각각 1.6, 1.7, 2.8, 4.4, 62.8, 41.9, 27.2, 43.9 mm의 강우가 있었다. 10월 4일 각 실험구에서 굼벵이 사전 밀도 조사와는 다른 쪽의 구석 부분에서 삽으로 잔디를 20×20 cm 크기로 떠내어 살아있는 굼벵이의 종류와 수를 조사하였다.

2.5. 통계분석

토양수분과 관수량이 곤충병원성 선충의 병원성에 미치는 영향은 arcsin으로 변환시켜 Student-Newman-Keul test로 처리평균간 차이를 분산분석 하였는데 (PROC ANOVA)(Cho, 1996), 결과는 변환전의 평균 ± 표준편차로 표기하였다. 유의성 정도는 P=0.05 범위에서 검정하였다.

III. 결 과

3.1. 토양 수분이 곤충병원성 선충의 병원성에 미치는 영향

선충의 종이나 계통, 토양의 깊이, 토양수분은 곤충 병원성 선충의 병원성에 영향을 미쳤다($F=68.84$, $df=47, 96$, $P<0.0001$)(Table 1).

2 cm 토양 깊이에서는 실험에 이용한 모든 선충들이 93.3%에서 100%의 기주치사율을 보여 토양수분에 따른 병원성의 차이를 보이지 않았는데, 특히, *Steinernema longicaudum* Nonsan 계통은 모든 수분 조건에서 100%의 기주치사율을 보였다(Table 2). 그러나 7 cm의 토양 깊이에서는 선충의 종이나 계통별로 상이한 병원성을 보였을 뿐만 아니라 토양의 수분에 따라서도 차이를 보였다. *S. carpocapsae* GSNI 계통은 3% 조건에서 병원성이 가장 낮았으며 ($F=16.46$, $df=5, 12$, $P<0.0001$), *Heterorhabditis* sp. GSNUH1 계통은 18%의 수분조건에서 병원성이 가장 낮았다($F=7.52$, $df=5, 12$, $P<0.0021$). *S. longicaudum* Nonsan 계통이나 *Heterorhabditis* sp. GSNUH2 계통은 7 cm 깊이에서도 꿀벌부채명나방 유충을 100% 치사시켰다.

동얼룩풍뎅이 유충을 이용하여 토양수분에 따른 곤충병원성 선충의 병원성을 조사한 결과, 병원성이 비교적 높은 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통(Lee et al., 2002c)은 병원성에서 차이를 보이지 않았으나(2주후: $F=0.36$, $df=3, 12$, $P<0.7834$, 4주 후: $F=0.80$, $df=3, 12$, $P<0.5184$) 병원성이 낮은 *S. carpocapsae* GSNI 계통은 처리 4주 후 토양 수분이 많을수록 병원성이 높아지는 경향을 보였다(4주후: $F=7.94$, $df=3, 12$, $P<0.0035$)(Table 3).

3.2. 관수량이 곤충병원성선충의 병원성에 미치는 영향

벤트그라스 pot에서 관수량에 따른 곤충병원성 선충의 동얼룩풍뎅이 2령충에 대한 병원성 조사에서 무관수와 10 mm 관수에서는 차이가 없었으나 100 mm 관수에서는 높은 치사율을 보였다($F=23.12$, $df=11, 24$, $P<0.0001$)(Fig. 2). 보정사총율은 *Heterorhabditis*

Table 1. Analysis of variance for main effects and interaction of nematode species or strain, soil depth and soil moisture on pathogenicity of entomopathogenic nematodes against bait insects, *Galleria mellonella* larvae in the laboratory

Source of variance	df	Mean square	F value	Pr>F
Nematode species or strain	3	4906.3	336.4	0.0001
Soil depth	1	9834.0	674.3	0.0001
Soil moisture	5	102.4	7.0	0.0001
Nematode species or strain × Soil depth	3	5341.4	366.3	0.0001
Nematode species or strain × Soil moisture	15	193.5	13.3	0.0001
Soil depth × Soil moisture	5		132.49.1	0.0001
Nematode species or strain × Soil depth × Soil moisture	15	168.7	11.6	0.0001

Table 2. Effect of soil moisture and depth on pathogenicity of entomopathogenic nematodes against bait insects, *Galleria mellonella* larvae in sand column

Soil moisture (%)	% mortality ± SD							
	H. sp. GSNUH1*		H. sp. GSNUH2		ScG		SIN	
	2 cm**	7 cm	2 cm	7 cm	2 cm	7 cm	2 cm	7 cm
3	100a***	96.7 ± 5.8ab	96.7 ± 5.8a	96.7 ± 5.8a	100	30.0 ± 10.0b	100	100
6	100a	100a	100a	100a	100	50.0 ± 0a	100	100
9	100a	93.3 ± 5.8ab	93.3 ± 5.8a	100a		100±0.0	100	100
12	96.7 ± 5.8a	83.3 ± 5.8bc	96.7 ± 5.8a	100a	100	60.0 ± 10.0a	100	100
15	96.7 ± 5.8a	70.0 ± 10.0c	100a	96.7 ± 5.8a	100	50.0 ± 0a	100	100
18	100a	53.3 ± 5.8c	100a	100a	100	53.3 ± 5.8a	100	100

*H; *Heterorhabditis* sp. GSNUH1, ScG; *Steinernema carpocapsae* GSNI, and SIN; *S. longicaudum* Nonsan strain.

**Soil depth(=Depth of sand column).

***The same lowercase letters within a column are not significantly different (Student-Newman-Keul's test, $P=0.05$).

Table 3. Effect of soil moisture on the pathogenicity of two entomopathogenic nematode strains against 2nd instar of *Exomala orientalis* in laboratory

Soil moisture (%)	Nematode infection rate (% mean \pm SD)*			
	<i>Heterorhabditis</i> sp. KCTC 0991BP		<i>Steinernema carpocapsae</i> GSN1	
	2 weeks	4 weeks	2 weeks	4 weeks
5	80.0 \pm 16.3 a**	80.0 \pm 16.3 a	10.0 \pm 11.5 a	10.0 \pm 11.5 b
10	85.0 \pm 10.0 a	90.0 \pm 11.5 a	10.0 \pm 11.5 a	15.0 \pm 10.0 a
20	90.0 \pm 11.5 a	95.0 \pm 10.0 a	10.0 \pm 11.5 a	30.0 \pm 11.5 ab
30	80.0 \pm 16.3 a	90.0 \pm 11.5 a	15.0 \pm 10.0 a	55.0 \pm 19.1 a

*Control was none nematode infection against *Exomala orientalis*.

**The same lowercase letters within a columns are not significantly different (Student-Newman-Keul's test, P<0.05).

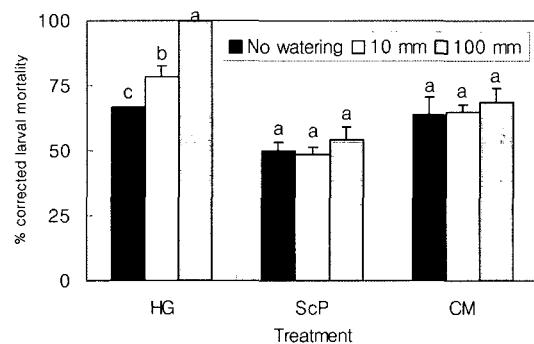


Fig. 2. Effect of irrigation amount on pathogenicity of entomopathogenic nematodes against 2nd instar of *Exomala orientalis* in pot. The same lowercase letter over the bars in each treatment indicates that there is no significant difference among means (P<0.05). HG; *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP, ScP; *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain, C-M; chlorpyrifos-methyl EC.

sp. KCTC 0991BP 계통 처리 시, 무관수는 65.4%였고 100 mm 관수에서는 100%의 방제효과를 보였다. 그러나 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 처리간에 차이가 없었다. 선충 무처리구의 생충율은 무관수구에서는 $86.7 \pm 11.5\%$, 10 mm 처리에서는 $93.3 \pm 11.5\%$, 100 mm 처리구에서는 $83.3 \pm 5.8\%$ 였다.

울산골프장의 티에서 관수량이 곤충병원성 선충의 병원성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 조사한 결과는 Fig. 3과 같았다.

Pot 실험의 결과와 같이 관수량이 증가할수록 굽뱅이의 감소율은 증가하는 경향이었으나 유의성은 없었고, 선충의 종에 따라 유의한 차이를 보였다($F=9.15$, $df=11, 24$, $P<0.0001$). *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통 처리 시, 무관수구에서는 67.9%의 보정 감소율을 보였고, 100 mm 관수에서는 77%의 감소율을 보였다. *S. carpocapsae* GSN1 계통은 무관수구

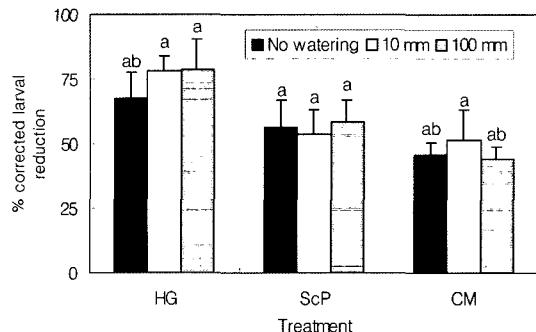


Fig. 3. Effect of irrigation amount on pathogenicity of entomopathogenic nematodes against 3rd instar of *Exomala orientalis*. Experiment was made at the tee of Ulsan Country Club. The same lowercase letter over the bars in each treatment indicates that there is no significant difference among means (P<0.05). HG; *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP strain, ScP; *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain, C-M; chlorpyrifos-methyl EC. Corrected reduction (%) = {(Reduction rate of treatment - reduction rate of control) / (100 - reduction rate of control)} $\times 100$.

에서는 56.4%, 100 mm 처리구에서는 58.4%로 차이가 없었다. 그리고 무처리구의 유충감소율은 무관수구에서는 $6.3 \pm 10.9\%$, 10 mm 처리구에서는 $9.2 \pm 8.5\%$, 100 mm 처리구에서는 $12.6 \pm 13.0\%$ 였다.

IV. 고 칠

수분은 곤충병원성 선충의 활동에 영향을 미치는 가장 중요한 인자 중의 하나이다(Kaya, 1990; Georgis and Gaugler, 1991). 토양습도나 수분이 곤충병원성 선충의 병원성에 영향은 미치지만(Klein, 1990; Yeh and Alm, 1992; Koppenhöfer *et al.*, 1995; Cabanillas and Raulston, 1996) 선충의 종이나 계통에 따라 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Yeh and Alm, 1992;

Koppenhöfer et al., 1995). 본 연구에서도 토양의 깊이가 얕은 조건(2 cm)에서는 모든 곤충병원성 선충의 병원성에서 차이가 없었지만 깊은 조건(7 cm)에서는 선충별로 차이가 있었다. 즉, *Heterorhabditis* sp. GSNUH1 계통은 토양수분이 증가할수록 병원성이 낮아지는 경향을 보였으나 *Heterorhabditis* sp. GSNUH2 계통은 차이가 없었다. 반면, *S. carpocapsae* GSN1 계통은 토양수분이 적은 조건에서는 병원성이 낮았으나 *S. longicaudum* Nonsan 계통은 수분에 따른 차이가 없었다. 곤충병원성 선충의 병원성에 영향을 미치는 토양의 수분 조건은 다양하다. 즉, *H. bacteriophora* C1 계통은 토양습도가 14%에서 33%로 증가함에 따라 4.9×10^9 마리/ha 처리 시 왜콩풍뎅이에 대한 병원성이 31.7%에서 85%로 증가하였지만, *H. bacteriophora* HP88 계통은 동일 조건에서 81.7%에서 88.3%로 큰 차이가 없었다(Yeh and Alm, 1992). 반면 *S. anomali*의 경우 왜콩풍뎅이 유충에 대해 토양습도가 25%일 때는 80%의 치사율을 보였지만 수분이 40%일 때는 치사율이 30%로 감소하였다(Klein, 1990). 그리고 토양습도에 따른 곤충병원성 선충의 꿀벌부채명나방 유충에의 침입과 정착의 수는, *S. glaseri*의 경우 습도가 -1 MPa에서 -0.01 MPa로 증가함에 따라 증가하지만 *S. carpocapsae*의 경우는 처음에는 증가하다가 수분이 많을 경우 오히려 감소한다(Koppenhöfer et al., 1995). 본 실험에 이용된 곤충병원성 선충들 중 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 다양한 농립해충들에 대하여 병원성이 우수한 계통으로 상업적으로 실용화되어 있는 종으로 주로 지상부 해충 방제를 대상으로 이용되고 있다(Park et al., 2004). 그러나 토양 해충의 방제를 위하여 사용할 경우는 충분하게 관수를 하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

10 mm나 100 mm 관수는 pot 실험에서는 곤충병원성 선충의 효과를 무관수에 비하여 높여 주었으나 골프장 실험에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 대상 해충의 령기에 따른 차이와 야외조건에서는 처리 2일 후부터 9일간 지속적인 강우로 인한 것으로 생각된다. 즉 pot 실험에서는 등얼룩풍뎅이 2령충을 대상으로 하였고, 야외실험에서는 3령충을 대상으로 하였기 때문에 령기에 따른 선충의 병원성 차이도 있었을 것으로 생각되는데 등얼룩풍뎅이 3령충에 비하여 2령충은 선충에 대한 감수성이 높다(Lee et al., 2002c). 그리고

비록 처리 6일째까지 10 mm 강수량 처리구보다 적은 0.3-4.4 mm의 강우량이었지만 지속적인 강우로 인하여 야외에서는 강우량별에 따른 선충의 병원성 차이가 적었던 것으로 생각된다.

골프장에서 관수는 경우에 따라 굽벵이류와 같은 해충의 발생을 조장한다(Crutchfield et al., 1995). 이는 풍뎅이가 산란할 때 토양수분이 적합한 곳을 찾아 산란하기 때문이다. 반면 굽벵이의 잔디 가해시기에 질소 비료와 함께 관수를 하면 굽벵이의 피해를 입은 잔디의 회복이 빨라진다(Crutchfield et al., 1995). 따라서 골프장에서 곤충병원성 선충의 살포할 때에는 굽벵이의 발생상황과 잔디의 종류, 잔디의 생육 상태, 코스내의 위치 등을 고려하여 처리하면 그 효과를 더욱 높일 수 있을 것으로 생각된다. 특히 토양수분에 따른 선충의 침입력은 토성에 의해서도 영향을 받는다(Molyneux and Bedding, 1984). 즉, 선충은 사토에서는 높은 수분(-0.0002~-0.05 MPa)에서 기주에의 정착이 이루어지고, 점토에서는 낮은 수분(-0.002~-0.07 MPa)에서 이루어진다. 그러므로 그런과 같이 모래가 많은 곳에서는 선충 살포 후 관수량을 늘리는 것이 선충의 병원성을 증대시킬 수 있을 것으로 생각되지만, 페어웨이나 러프에서는 과도한 관수를 지양하여야 할 것으로 생각된다. 아울러 우리나라에는 6월과 7월은 장마기이기 때문에 이 시기에 곤충병원성 선충을 처리 할 때는 비가 오기 전 보다는 후에 하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. Cabanillas and Raulston (1996)은 밭에서 *S. riobravis*를 처리 할 때 선충 처리 전의 관수에 비하여 처리 후의 관수가 *Heliothis zea*의 치사율을 높이고, 고랑에 관수하는 것이 선충의 병원성을 더욱 높인다고 하였다. 따라서 선충의 처리 전에 사전관수를 하여 토양에 충분한 수분을 공급한 뒤 선충을 살포하고는 다시 표면관수를 하여 잔디 옆면에 부착되어 있는 선충이 토양내로 이동 될 수 있도록 관리하는 것이 필요할 것으로 생각된다. Jackson et al.(1983)도 선충 살포 후의 추가적인 관수가 뱃취 층 아래로의 선충이동을 조장한다고 하였다. 골프장의 러프나 사면지역은 그린이나 티에 비하여 관수가 집약적으로 이루어지지 못하는 지역이다. 따라서 이러한 지역에서 곤충병원성 선충을 살포할 때는 강우가 있은 후 선충을 처리하면 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각되며, 특히 사면부는 경사로 인하여 살포된 선충이 물과 함께 유실될 가능성이 높기 때문에 선충

실포 시 물량을 많이 하여 유거수가 생기지 않도록 해야 할 것으로 생각된다. 실제로 적당한 강우가 있던 당일 병커지역 사면부에 선충을 처리하여 등얼룩풍뎅이의 유충을 방제한 예가 있다(Choo, unpublished data).

V. 결 론

곤충병원성 선충은 농림해충의 생물적 방제인자로 다양하게 이용되고 있다. 특히 토양서식 해충에 효과적이며 본 연구는 골프장의 굼벵이 방제에 상업적으로 이용되고 있는 곤충병원성 선충의 병원성에 토양수분이 미치는 영향을 실내와 포트, 골프장에서 조사하였다. Column내에서 토양의 깊이나 수분은 곤충병원성 선충의 종이나 계통에 따라 병원성에서 차이를 보였다. 2 cm column에서는 모든 선충(*Heterorhabditis* sp. GSNUH1, *Heterorhabditis* sp. GSNUH2, *Steinernema carpocapsae* GSN1, *S. longicaudum* Nonsan 계통)이 토양수분에 따라 병원성에서 차이를 보이지 않았으나, 7 cm column에서는 *Heterorhabditis* sp. GSNUH1 계통은 토양수분이 많을수록 병원성이 감소하였고, *S. longicaudum* Nonsan 계통은 3% 토양수분(v/w)에서 병원성이 가장 낮았다. *Heterorhabditis* sp. GSNUH2 계통이나 *S. longicaudum* Nonsan 계통은 7 cm 깊이에서 도 수분에 따라 병원성에서 차이를 보이지 않았다. 실내에서 등얼룩풍뎅이 2령충에 대한 곤충병원성 선충의 병원성은 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통은 토양 수분에 따라 병원성에서 차이가 없었으나 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 수분이 적을수록 병원성이 낮았다. 그러나 벤트그라스 pot에서 등얼룩풍뎅이 3령충에 대한 곤충병원성 선충의 병원성은 등얼룩풍뎅이 유충에 대해 병원성이 높은 *Heterorhabditis* sp. KCTC 0991BP 계통은 무관수나 10 mm관수에 비하여 100 mm 관수 시 병원성이 높았다. 그러나 병원성이 낮은 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 관수에 따라 차이가 없었다. 울산골프장 티에서도 pot 실험과 같은 경향을 보였다.

감사의 글

실내 및 포장 실험에 도움을 준 경상대학교 농업생명과학대학 응용생물환경학과 선충실험실 실원들과 동래베네스트골프장, 울산골프장 코스관리팀원들에게 감사한다.

REFERENCES

- Cabanillas, H. E., and J. R. Raulston, 1996: Effects of furrow irrigation on the distribution and infectivity of *Steinernema riobravis* against corn earworm in corn. *International Journal of Fundamental and applied Nematological Research* **19**, 273-281.
- Cho, I. H. 1996: *Practice and application of SAS*. Sungandang Pub. Co. 665pp.
- Choo, H. Y., D. W. Lee, H. S. Yoon, 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 Journal of Applied Entomology* **41**, 269-277. (In Korean with English abstract).
- Choo, H. Y., D. W. Lee, J. W. Park, H. K. Kaya, D. R. Smitly, S. M. Lee, and Y. M. Choo. 2002b: Life history and spatial distribution of oriental beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in golf courses in Korea. *Journal of Economic Entomology* **95**, 72-80.
- 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 Journal of Applied Entomology* **39**, 171-179. (In Korean with English abstract).
- Crutchfield, B. A., D. A. Potter, and A. J. Powell, 1995: Irrigation and nitrogen fertilization effects on white grub injury to kentucky bluegrass and tall fescue turf. *Crop Science* **35**, 1122-1126.
- Dutky, S. R., J. V. Thompson, and G. E. Cantwell, 1964: A technique for the mass production of the DD-136 nematode. *Journal of Insect Pathology* **6**, 417-422.
- Georis, R., and R. Gaugler, 1991: Predictability in biological control using entomopathogenic nematodes. *Journal of Economic Entomology* **84**, 713-720.
- Jackson, T. A., B. W. Todd, and W. M. Wounts, 1983: The effect of moisture and method of application on the establishment of the entomophagous nematode, *Heterorhabditis bacteriophora* in pasture. *Proceeding of New Zealand Pest Control Conference* **36**, 195-198.
- Kaya, H. K., 1990: Soil ecology. *Entomopathogenic nematodes in biological control*, R. Gaugler and H.K. Kaya, (Eds.). CRC Press, 93-115.
- Kaya, H. K., and R. Gaugler, 1993: Entomopathogenic nematodes. *Annual Review of Entomology* **38**, 181-206.
- Klein, M. G, 1990: Efficacy against soil-inhibiting insect pests. *Entomopathogenic nematodes in biological control*, R. Gaugler and H. K. Kaya, (Eds.). CRC Press, 195-214.
- Koppenöfer, A. M., H. K. Kaya, and S. P. Taormino, 1995: Infectivity of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae) at different soil depths and moistures. *Journal of Invertebrate Pathology* **65**, 193-199.
- Kung, S. P., R. Gaugler, and H. K. Kaya, 1991: Effects of

- soil temperature, moisture, and relative humidity on entomopathogenic nematode persistence. *Journal of Invertebrate Pathology* **57**, 242-249.
- Lee, D. W., H. Y. Choo, J. M. Chung, S. M. Lee, and Y. B. Sagong, 2002a: Host plants of *Popillia quadriguttata* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Korean Journal of Applied Entomology* **41**, 15-19. (In Korean with English abstract).
- 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 Journal of Applied Entomology* **41**, 217-223. (In Korean with English abstract).
- Lee, D. W., H. Y. Choo, H. K. Kaya, S. M. Lee, D. R. Smitly, S. K. Shin, and C. G. Park., 2002c: Laboratory and field evaluation of Korean entomopathogenic nematode isolates against the oriental beetle, *Exomala orientalis* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology* **95**, 918-926.
- Lee, S. W., 2003: Development of economic artificial diets for great wax moth, *Galleria mellonella*(L.). Master thesis. Gyeongsang National University, Jinju, Korea. 28pp.
- MacCarty, L. B., and M. L. Elliott., 1994: Pest management strategies for golf courses. *Integrated pest management for turf and ornamentals*, Leslie, A. R. (Ed.). Lewis Publishers, 193-202.
- Mason, J. M., and W. M. Hominick., 1995: The effect of temperature on infection, development and reproduction of heterorhabditids. *Journal of Helminthology* **69**, 337-345.
- Molyneux, A. S., 1986: *Heterorhabditis* spp. and *Steinerinema* spp.: temperature, and aspects of behaviour and infectivity. *Experimental parasitology* **62**, 169-180.
- Molyneux, A. S., and R. A. Bedding, 1984: Influence of soil texture and moisture on the infectivity of *Heterorhabditis* sp. D1 and *Steinerinema glaseri* for larvae of the sweep blowfly, *Lucilia cuprina*. *Nematologica* **30**, 358-365.
- Park, H. S., H. H. Kim, H. G. Chung, Y. J. Cho, H. Y. Jeon, H. I. Jang, D. S. Kim, and H. Y. Choo, 2004: Pathogenicity of entomopathogenic nematode, *Steinerinema carpocapsae* against fall webworm, *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae). *Korean Journal of Turfgrass Science* **18**, 193-200. (In Korean with English abstract).
- Poinar, G O. Jr., J. S. Evans, and E. Schuster, 1983: Field test of the entomogenous nematode, *Neoaplectana carpocapsae*, for control of corn rootworm larvae (*Diabrotica* sp. Coleoptera). *Protection Ecology* **5**, 337-342.
- Potter, D. A., 1998: *Destructive turfgrass insects: biology, diagnosis, and control*. Ann Arbor Press, 1-344.
- Woodring, J. L., and H. K. Kaya, 1988: Steinernematidae and heterorhabditid nematodes: a handbook of techniques. Southern Cooperative Series Bulletin 331, Arkansas Agricultural Experiment Station Fayetteville, Arkansas 29 pp.
- 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. *Journal of Economic Entomology* **85**, 2144-2148.