

접종농도가 곤충병원성선충 *Steinernema arenarium* (Nematoda: Steinernematidae)의 병원성과 발육, 증식 및 체장에 미치는 영향

한건영 · 이동운¹ · 추호렬*

경상대학교 응용생명과학부(BK21), 농업생명과학연구원, 응용생물환경학과, ¹경북대학교 생물응용학과

Effect of Inoculation Concentration on Pathogenicity, Development, Propagation and Body Length of Entomopathogenic Nematode, *Steinernema arenarium* (Nematoda: Steinernematidae)

Gun Yeong Han, Dong Woon Lee¹ and Ho Yul Choo*

*Department of Applied Biology and Environmental Sciences, Division of Applied Life Science(BK21), Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Gyeongnam, Korea

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

ABSTRACT: Effect of inoculation level on pathogenicity, development, and propagation of entomopathogenic nematode, *Steinernema arenarium* was investigated using the last instar of great wax moth, *Galleria mellonella*. Pathogenicity of *S. arenarium* was higher with increasing inoculation level representing 82% at the rate of 5 infective juveniles (IJs) while >98% at the rate of >10 IJs. The number of IJs penetrated into the host was 2.7, 5.0, 7.4, and 12.2 at the rate of 5, 10, 20, and 40 IJs, respectively while 24.3 at the rate of 80 IJs and 40.2 at the rate of 160 IJs. Inoculation level did not affect female adult size (4,616 to 6,444 μm) while affected male adult size (1,600 to 1,934 μm). The rate of stunted female adults was 70.2% at the inoculation level of 80 IJs and 63.7% at the inoculation level of 160 IJs. The number of progenies was 20,431, 26,696, 47,943, 50,516, 58,701, and 74,235 at the rate of 5, 10, 20, 40, 80, and 160 IJs, respectively. The body lengths of IJs were different depending on inoculation level ranging from 636 to 1,496 μm .

Key words: Body length, Development, Reproduction, *Steinernema arenarium*, Pathogenicity, Inoculation effect

초 록: 곤충병원성선충 *Steinernema arenarium*의 접종농도가 병원성, 발육, 증식 및 체장에 미치는 영향을 꿀벌부채명나방 (*Galleria mellonella*) 노숙유충을 이용하여 조사하였다. 병원성은 *S. arenarium*의 접종농도를 증가시킬수록 높아졌는데, 5마리 접종농도에서는 82%의 치사율을 보였고, 10마리 이상의 접종농도에서는 98%이상의 치사율을 나타내었다. 기주체내에 정착한 선충수는 5, 10, 20, 40마리 접종농도에서는 각각 2.7, 5.0, 7.4, 12.2마리였으며 80마리와 160마리 접종농도에서는 24.3마리와 40.2마리였다. 접종농도는 암컷의 평균 체장(4,616 to 6,444 μm)에는 영향을 주지 않았으나 수컷의 체장(1,600 to 1,934 μm)에는 영향을 주었으며 왜화 암컷(stunted female)의 발생은 80마리와 160마리 접종농도에서 각각 70.2%와 63.7%로 높게 나타났다. 5, 10, 20, 40, 80, 160마리의 접종농도에서 증식수는 각각 20,431, 26,696, 47,943, 50,516, 58,701, 74,235마리였다. *S. arenarium*의 침입태 유충의 체장은 접종농도에 따라 차이를 보여 636~1,496 μm 범위였다.

검색어: 체장, 발육, 증식, *Steinernema arenarium*, 병원성, 접종효과

곤충병원성 선충 Steinernematid와 Heterorhabditid는 곤충의 자연개구부인 입이나 기문, 항문 등을 통하여 침입하며, 침입한 선충은 공생세균을 방출한다(Akhurst and Boe-

mare, 1990; Forst *et al.*, 1997). 방출된 공생세균은 패혈증을 유발하여 기주를 치사시키며 동시에 기주곤충의 체내에 다른 미생물들이 자라지 못하게 한다(Kaya and Gaugler, 1993). 그리고 선충은 치사된 기주의 체내에서 공생세균과 죽은 기주체를 영양분으로 발육과 증식을 하며 종에 따라 1~3세대를 경과한 후 탈출하여 새로운 기주를 찾는다

*Corresponding author: hychoo@gnu.ac.kr
Received January 20 2010; revised March 9 2010;
accepted March 3 2010

(Mason and Hominick, 1995).

*Steinernema arenarium*은 1967년 중앙러시아의 Voronezh 토양의 *Melolontha hippocastani* 풍뎅이의 유충과 번데기에서 분리되어 처음으로 기록되었으며(Artyukhovsky, 1967), *Anomala dubia* 풍뎅이유충 치사충에서 기록된 *S. anomali* (Kozodoi, 1984)는 동종이다(Poinar, 1990). 본 종은 옥수수 뿌리잎벌레 일종인 *Diabrotica virgifera virgifera* 성충에도 병원성을 가진다(Kuhlmann and van der Burgt, 1998). 그리고 십자화과 식물의 뿌리를 가해하는 *Delia radicum* 꽃파리의 부화율을 떨어뜨리면서 유충방제도 가능한 것으로 알려져 있다(Chen et al., 2003a, b). 이밖에도 *Capnodis tenebrionis* 비단벌레 유충과(García del Pino and Jové, 2005), 검정포도 바구미(*Otiorynchus sulcatus*) 유충에 대해서도 높은 방제 효과를 가지고 있다(Kakouli-Duarte and Hague, 1999). 일반적으로 고온에서 방제효과가 높고(Gouge and Hague, 1995), 저온에서도 오랜 지속력을 지니고 있다(Brown and Gaugler, 1996). 야외에서는 딱정벌레목 유충에 효과가 있는 경향이 있다. *S. arenarium*에 감염된 기주에는 같은 종의 또 다른 침입태 유충이 48시간까지 유인되는 특성이 있다(Kakouli-Duarte and Hague, 1999).

*S. arenarium*은 꿀벌부채명나방과 검정포도바구미 유충에서 1세대만을 지내는데, 침입태 유충은 대부분 입을 통하여 침입하지만 종종 향문이나 기문에서도 발견된다(Kakouli-Duarte and Hague, 1999). *S. arenarium*은 Steinernematidae과 선충 중 유충의 크기에서 차이가 있을 뿐만 아니라 큰 편에 속한다(Poinar, 1990). 즉, 침입태 유충의 길이가 724~1,408 μm 로, 최소 체장과 최대 체장의 차이가 무려 500~600 μm , 최대 700 μm 이상으로 뚜렷한 차이를 보인다(Gouge and Hague, 1995; Lewis et al., 1997; Schirocki and Hague, 1997). 따라서 기문으로 침입하기에는 너무 크기 때문에 대부분 기주의 입을 통하여 혈체강으로 직접 들어간다(Georgis and Hague, 1981). *S. arenarium*을 꿀벌부채명나방 유충에 접종 하였을 때 접종 후 32시간이 지나면 4령충이 되며, 48시간이 되면 성충 전 단계와 성충이 되고, 72시간이 지나면 교미 후 증식된 다음 세대가 1, 2령충으로 발육한다. 그리고 96시간이 지나면 2, 3령충이 되고 132시간이 되면 침입태 유충상태로 기주의 몸 밖으로 탈출하기 시작하여 156시간이 지나면 기주를 모두 탈출하게 된다(Poinar and Kozodoi, 1988).

곤충병원성 선충의 병원성은 종 또는 계통에 따라 차이를 보인다(Yeh and Alm, 1992; Westerman, 1999; Hazir et

al., 2001). 특히, 온도와 선충의 집중농도는 병원성과 증식에 직접적인 영향을 미치는 중요한 인자의 하나이다(Lacey et al., 1993; Fujie et al., 1995; Grewal et al., 1999; Ebssa et al., 2004; Hang et al., 2007).

따라서 본 연구는 곤충병원성 선충들 중 기초적인 생태연구가 적게 되어 있고, 온도적용 범위가 넓어 우리나라와 같이 기온차이가 심한 지역에서는 생물적 방제인자로서의 활용가치가 높은 *S. arenarium*의 집중농도가 병원성과 발육, 증식된 선충의 체장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

곤충병원성 선충과 꿀벌부채명나방

실험에 사용된 곤충병원성 선충, *S. arenarium*은 University of California, Davis 선충학과의 Harry K. Kaya 교수 연구실에서 분양받아 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 노숙유충을 이용하여 증식시켰다(Woodring and Kaya, 1988). 그리고 White trap(White, 1927)으로 수확한 뒤 9°C 냉장고에 보관하면서 2주 이내의 것을 실험에 사용하였다. 기주로 사용된 꿀벌부채명나방 유충은 실험 오차를 줄이기 위해 180~200 mg범위의 유충만을 사용하였다.

집중농도가 *Steinernema arenarium*의 병원성에 미치는 영향

55 × 15 mm 플라스틱 petri dish에 여과지 2장을 깔 후 5, 10, 20, 40, 80, 160마리/0.5 ml 농도의 침입태 유충을 접종하였다. 그리고는 꿀벌부채명나방 노숙유충 한 마리씩을 각각의 petri dish에 넣었다. 처리된 petri dish는 수분의 증발을 방지하기 위하여 polyethylene film에 싸서 통기구멍을 약 10개 정도 뚫은 다음, 24 ± 1°C의 항온기에 보관하였다. 대조구로는 살균수 0.5 ml만을 처리하였다. 그리고 처리 24, 48, 72, 96시간 후 꿀벌부채명나방 유충의 치사 여부를 조사 하였다. 실험은 10개의 petri dish를 한 반복으로 하여 5반복으로 수행하였다.

집중농도가 *Steinernema arenarium*의 기주체내 정착에 미치는 영향

집중농도가 *S. arenarium*의 병원성에 미치는 영향 실험과 같은 조건에서 치사된 꿀벌부채명나방 유충을 각 처리당 20~25마리씩 처리 3일째 임의로 선택하여 해부현미경하

Table 1. Length of *Steinernema arenarium* female in *Galleria mellonella*

Nematode concentration (IJs*)	Individual number of measurement	Body length (μm)		
		Mean \pm SD	Maximum	Minimum
5	18	6,148.4 \pm 2,558.7a	9,972.9	2,477.2
10	38	6,443.8 \pm 2,038.7a	10,603.0	2,832.9
20	52	5,439.5 \pm 1,791.3a	8,977.1	1,726.3
40	100	6,199.9 \pm 2,548.0a	11,768.1	2,018.3
80	166	4,615.6 \pm 1,864.5a	9,486.0	1,457.8
160	204	5,003.6 \pm 1,796.7a	9,612.4	1,247.7

*Infective juveniles.

Means followed by the same letters within a column are not significantly different (Student-Newman-Keul test, $\alpha=0.05$).Table 2. Length of *Steinernema arenarium* male in *Galleria mellonella*

Nematode concentration (IJs*)	Individual number of measurement	Body length (μm)		
		Mean \pm SD	Maximum	Minimum
5	14	1,865.7 \pm 165.0ab	2,107.9	1,548.3
10	47	1,933.8 \pm 196.8a	2,355.6	1,496.0
20	68	1,733.1 \pm 247.4b	2,202.8	1,115.4
40	138	1,750.3 \pm 195.3ab	2,164.7	1,135.5
80	236	1,784.0 \pm 203.4ab	2,212.1	1,074.0
160	228	1,660.1 \pm 218.9b	2,581.9	765.4

*Infective juveniles.

Means followed by the different letters within a column are significantly different (Student-Newman-Keul test, $\alpha=0.05$).

에서 해부하여 암, 수를 구분하고 그 수를 조사하였다. 조사 후 발육된 모든 선충은 Ringer's solution(9 g NaCl, 0.4 g KCl, 0.4 g CaCl₂, 0.2 g NaH₂CO₃, 1 l 살균수)을 반쯤 넣은 유리 petri dish에 옮긴 후 80°C TAF 용액(7 ml 40% formaldehyde, 2 ml triethanolamine, 91 ml 살균수)으로 고정하였다. 고정시킨 선충은 MC Camera Moticam 2000과 Motic Images Plus version 2.0 ML(Motic사, 중국)을 이용하여 사진을 찍고 길이를 측정하였다. 체장의 측정은 정착한 성충의 수에서 차이가 있어 암컷은 각 농도에 따라 18마리에서 204마리(Table 1)를 조사하였으며 수컷은 14마리에서 228마리(Table 2)를 조사하였다.

접종농도가 *Steinernema arenarium*의 증식에 미치는 영향

접종농도가 곤충병원성 선충 *S. arenarium*의 병원성에 미치는 영향 실험과 같은 조건에서 치사된 꿀벌부채명나방 유충을 각 처리 당 20~25마리씩 처리 5일째에 백하여 White trap으로 수확하였다. White trap 당 치사된 꿀벌부채

명나방 유충 한 마리씩을 처리하였고 24 \pm 1°C의 항온기에 넣어 두는 침입태 유충이 모두 탈출한 7일 후에 그 증식수를 조사하였다. 증식수를 조사한 후는 마이크로피펫을 이용하여 임의로 유충을 뽑아내어 Ringer's solution이 담겨있는 유리 petri dish에 넣고는 TAF 용액으로 위와 같이 고정하였다. 고정시킨 침입태 유충은 성충과 같은 방법으로 사진을 찍어 체장을 측정하였다. 체장은 증식된 유충 100마리로 조사하였다.

통계분석

S. arenarium 침입태 유충의 농도에 따른 꿀벌부채명나방의 치사율은 $\arcsin\sqrt{\quad}$ 으로 변환시켜 분산분석 하였고(PROC ANOVA), Tukey test로 처리평균간 차이를 검정하였다. 결과는 변환전의 평균 \pm 표준편차로 표기하였다. 침입수와 증식수, 체장은 분산분석(PROC ANOVA) 후 Tukey test로 검정하였고, 처리간의 반복수가 다른 것은 Student-Newman-Keul test를 이용하였다(SAS Institute, 1999).

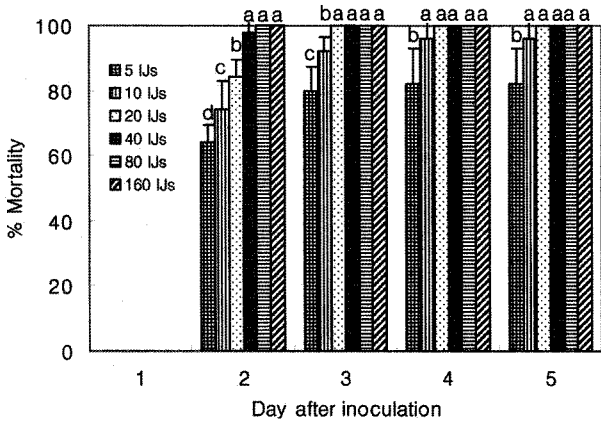


Fig. 1. Effect of concentration on mortality of *Galleria mellonella* by *Steinernema arenarium*. Bars with the same letter are not significantly different based on Tukey test ($\alpha=0.05$).

결 과

접종농도가 *Steinernema arenarium*의 병원성에 미치는 영향

접종농도는 *S. arenarium*의 병원성에 영향을 미쳤다 ($F=9.23, df=5, 24, P<0.0001$) (Fig. 1). 즉, 접종농도가 낮을수록 병원성이 낮았다. 5마리 농도에서는 10마리 이상의 농도에서 보다 낮았다. 그러나 10마리 이상의 농도에서는 처리 4일 후부터 차이가 없었다. 40마리 이상의 농도에서는 접종 2일 후 꿀벌부채명나방 유충의 치사율이 100%였지만 10마리 이하에서는 5일 후에도 치사율이 100%가 되지 않았다.

접종농도가 *Steinernema arenarium*의 기주 체내 정착에 미치는 영향

접종농도는 *S. arenarium*의 기주 체내 정착에도 영향을 주었다 (Fig. 2A). 농도가 증가할수록 침입유충수가 증가하였는데 ($F=30.21, df=5, 139, P<0.0001$), 160마리 농도에서는 평균 40.2마리로 80마리 농도의 평균수 24.3마리보다 많았다. 그리고 40, 20, 10, 5마리 농도에서 정착한 수는 각각 12.2, 7.4, 5.0, 2.7마리였다. 그러나 침입선충의 성비는 농도에 따라 차이가 없었다 ($F=0.54, df=5, 139, P=0.7461$) (Fig. 3). 발육한 선충암컷의 체장도 Table 1과 같이 농도에 따라 차이가 없었다 ($F=1.66, df=5, 572, P=0.1424$). 또한 5,700 μm 이하의 왜화 암컷(stunted female)의 비율은 5, 10, 20, 40, 80, 160마리의 농도에서 각각 55.6, 37.0, 63.4, 49.0, 70.2, 63.7%로 조사되었다. 반면, 접종농도는 *S. arenarium*의 기주체에서 발육한 수컷의 체장에는 영향을 주었다 (Table 2). 10마리 농도에서 1,933.8 μm 로 가장 길었으며,

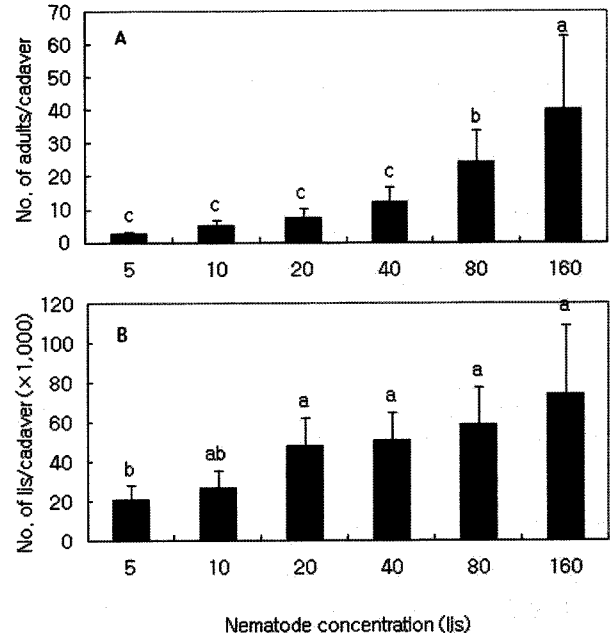


Fig. 2. Effect of concentration on number of adults (A) and progeny production (B) of *Steinernema arenarium* in *Galleria mellonella*. Bars with the same letter are not significantly different based on Student-Newman-Keul test ($\alpha=0.05$).

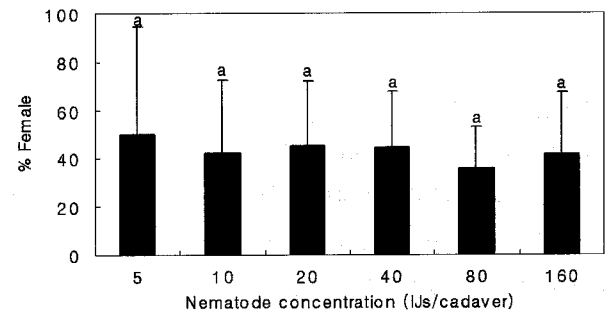


Fig. 3. Effect of concentration on sex ratio of *Steinernema arenarium* in *Galleria mellonella*. Bars with the same letter are not significantly different based on Student-Newman-Keul test ($\alpha=0.05$).

160마리 농도에서는 1,660.1 μm 로 가장 짧았다 ($F=3.31, df=5, 721, P=0.0058$). 1,300 μm 이하의 작은 수컷은 5마리와 10마리 접종농도에서는 보이지 않았으며, 20, 40, 80, 160마리의 접종농도에서는 각각 10.3, 2.8, 4.6, 9.2%로 조사되었다.

접종농도가 *Steinernema arenarium*의 증식에 미치는 영향

*S. arenarium*의 증식수는 접종농도에 영향을 받았다 ($F=4.50, df=5, 120, P=0.0009$). 즉, 5, 10, 20, 40, 80, 160마리의 농도에서 증식된 수는 각각 20,431, 26,696, 47,943, 50,516, 58,701, 74,235마리로 조사되었다. 5마리 농도에서

Table 3. Infective juvenile length of *Steinernema arenarium* emerged from *Galleria mellonella*

Nematode concentration (IJs*)	Body length (μm)		
	Mean \pm SD	Maximum	Minimum
5	1,090.8 \pm 145.8abc	1,346.3	756.2
10	1,144.8 \pm 132.2a	1,359.5	695.7
20	1,132.7 \pm 141.6ab	1,393.3	739.5
40	1,123.9 \pm 128.3a	1,348.1	730.9
80	1,065.2 \pm 145.7bc	1,332.0	743.5
160	1,047.0 \pm 130.6c	1,258.9	786.1

*Infective juveniles.

Means followed by the different letters within a column are significantly different (Tukey test, $\alpha=0.05$). One hundred infective juveniles were measured from each concentration.

의 증식수가 가장 적었고, 20마리 이상의 농도에서는 차이가 없었다. *S. arenarium* 접종농도별 증식된 침입태 유충은 대부분 940~1,340 μm 사이에 분포하였고, 농도에 따라 차이가 있었다($F=6.99$, $df=5$, 594, $P<0.0001$). 10, 20, 40마리 접종에서 증식된 침입태 유충의 체장은 80, 160마리 농도에서 증식된 침입태 유충의 체장보다 길었다(Table 3B).

고 찰

Steinernematid 선충은 기주곤충의 입, 기문, 항문 등과 같은 자연개구부로 침입하여 기주의 몸속에서 먹이가 풍부할 때 2~3세대를 경과하며 침입태 유충상태로 기주에서 탈출하게 되는데 6~7일 정도 소요된다(Wouts, 1979). 반면, *S. arenarium*은 꿀벌부채명나방 노숙 유충에 침입하여 한 세대만을 경과하여 침입태 유충 상태로 탈출하는데 5일 정도 소요된다(Poinar and Kozodoi, 1988). *S. arenarium*은 *S. glaseri*와 형태적으로 비슷하고 자연 상태에서 딱정벌레 목 곤충에 기생하는 특징도 비슷하다. 그러나 이 두 종은 체내의 공생세균이 다르고 전기영동 효소 패턴과 교접자 등의 형태도 달라 확연한 차이가 있다(Poinar and Kozodoi, 1988).

*S. arenarium*은 꿀벌부채명나방 유충 1마리 당 20마리 이상을 접종하였을 때 3일 후부터 100%의 치사율을 보였으며 80마리와 160마리 접종 시에는 2일 후에도 100%의 치사율을 보였다. 반면, 처리 1일 후에는 모든 처리농도에서 치사되는 꿀벌부채명나방은 없었다. 한국산 Steinernematid 곤충병원성선충들 중 *S. glaseri* Dongrae 계통과 *S. longicaudum* Nonsan 계통은 각각 꿀벌부채명나방 유충 당 40마리 이상 접종 시 100% 치사되었고(Hang et al., 2007), *S. carpo-*

capsae Pocheon 계통은 10마리 이상 접종 시 100%가 치사되었는데(Choo et al., 2002) *S. arenarium*의 경우는 *S. carpocapsae* Pocheon 계통에 비해 낮은 농도에서는 상대적으로 병원성이 낮았다. 한편, Kakouli-Duarte와 Hague(1999)는 *S. arenarium*가 검정포도바구미 유충에 처리되었을 때 접종 18시간 후에도 감염이 이루어진다고 하여 본 연구 결과에 비하여 빠른 감염을 보였다. 이는 대상 곤충의 차이에 의한 것으로 생각된다. Poinar와 Kozodoi(1988)가 꿀벌부채명나방에서 연구한 결과에서도 본 연구와 같이 *S. arenarium*의 생활환이 검정포도바구미에 비하여 늦게 진행되었다.

S. arenarium 접종 3일 후 꿀벌부채명나방 유충 치사율은 20마리 이상 처리구에서 100%를 나타내었지만 기주에 침입하여 정착한 선충의 수는 80마리와 160마리 처리에서만 차이를 보였다. 병원성과 기주에 침입 또는 정착한 선충수의 불일치는 곤충병원성선충의 경우 한 마리만 침입하여도 기주를 치사시킬 수 있는 높은 병원성 때문이다. *S. arenarium*의 기주 정착수는 생태적 연구가 수행된 우리나라산 토착 선충들에 비하여 많은 편이었다(Choo et al., 2002; Hang et al., 2007; Kim et al., 2007).

접종농도가 증가함에 따라 암컷 성충의 비율은 약간 낮아지는 경향이었으나 통계적 차이는 없어 선충의 성비에는 영향을 주지 않았다.

접종농도에 따른 *S. arenarium*의 체장은 암컷 성충에서는 차이가 없었으나 수컷에서는 차이가 있었다. 암컷 성충의 체장은 평균 4,615.6~6,443.8 μm 였고, 수컷은 평균 1,660.1~1,933.8 μm 로 농도가 높을수록 체장은 짧은 경향을 보였다. *S. arenarium*은 체장의 변이가 심하다. Kakouli-Duarte와 Hague(1999)의 연구에서 꿀벌부채명나방 1령충에서 발

육된 *S. arenarium*의 암컷은 체장이 1,245 μm 였으나 6령충에서 발육된 것은 7,494 μm 로 6배 이상의 차이를 보였고, 검정포도바구미 유충에서도 동일한 경향을 보였다. 한편, Kakouli-Duarte와 Hague(1999)는 꿀벌부채명나방 6령충에 200마리의 *S. arenarium*을 접종하였을 때 왜화 암컷 성충이 나타나지 않았다고 하였으나 본 연구에서는 그 보다 낮은 농도로 접종하였는데도 49.0~70.2%의 발생비율을 보여 차이가 있었다. 실험에 이용한 기주곤충의 평균 체중은 Kakouli-Duarte와 Hague(1999)의 경우 0.3023 g으로 본 실험에 이용한 꿀벌부채명나방의 평균 체중에 비하여 50% 정도 컸었다. 따라서 기주곤충의 크기가 선충의 평균 체장이나 왜화 암컷 성충의 발생에 영향을 미친 것으로 생각된다.

S. arenarium 침입태 유충의 체장은 기주의 종류나 동일한 기주에서도 연구자들에 따라 상이한 측정치를 제시하고 있다(Kozodoi, 1984; Artyukhovsky *et al.*, 1997; Poinar and Kozodoi, 1988; Kakouli-Duarte and Hague, 1999; Adams and Nguyen, 2002; Nguyen *et al.*, 2007). 특히, 본 연구에서와 같이 접종 농도에 따라 체장에서 차이를 보이고 있어 종의 형태적 특징 기재 시에 증식조건에 대한 명확한 자료제공이 필요할 것으로 생각되며 크기차이에 따른 병원성이나 유전학적 연구들이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

집중농도가 증가할수록 *S. arenarium*의 증식수는 증가하였는데, 체장이 비슷한 *S. longicaudum* Nonsan 계통과 유사한 증식수를 보였다(Hang *et al.*, 2007). 증식된 유충의 체장은 집중농도가 높을수록 짧아지는 경향을 보여 160마리 접종 시 1,047 μm 로 가장 작았으며 10마리 접종에서는 1,144.8 μm 로 가장 길었다. 이는 성충의 체장 차이처럼 상대적으로 밀도가 높았기 때문에 기주체 내의 먹이원인 공생세균에 대한 양적 경쟁 때문으로 생각된다(Poinar, 1972; Selvan *et al.*, 1993).

곤충병원성선충의 병원성 발현과 생육은 원 서식처의 환경과 관련이 있다. *S. arenarium*은 북위 51°40' 인근 토양의 풍뎅이 유충에서 채집되어 우리나라와 같이 가을부터 봄 사이의 기온이 낮아 천적이나 병원미생물의 사용이 제한적인 곳에서 활용 가능성이 높은 선충이다. 본 연구는 *S. arenarium*을 해충방제에 활용하기 위하여 우선 농도가 병원성과 증식에 미치는 영향을 조사하였는데, 체장 등에도 영향을 주는 것으로 나타났다. 분류학적 측면에서는 이러한 정보들이 중요하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 형태적 차이가 병원성에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구를 통해 대량증식과 같은 산업적 측면에도 이용 가능한

정보를 제공하는 것이 추후에 필요할 것으로 생각된다.

Literature Cited

- Adams, B.J. and K.B. Nguyen. 2002. Taxonomy and systematics, pp. 1-35. In ed. by R. Raugler. Entomopathogenic nematology. CABI Publishing, Oxon, UK.
- Akhurst, R.J. and N.E., Boemare. 1990. Biology and taxonomy of *Xenorhabdus*, pp. 75-90. In eds. by R. Gaugler and H.K. Kaya. Entomopathogenic nematodes in biological control. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Artyukhovsky, A.K. 1967. *Neoaplectana arenarium* nov. sp. (Steinernematidae: Nematoda) inducing nematode disease in chafers of the Voronezh region. Trudy Voronezhskogo Gosudarstvennogo Zapovednika 15: 94-100.
- Artyukhovsky, A.K., E.M. Kozodoi, A.P. Reid and S.E. Spiridonov. 1997. Redescription of *Steinernema arenarium* (Artyukhovsky, 1967) topotypes from central Russia and a proposal for *S. anomalae* (Kozodoi, 1984) as a junior synonym. Russian J. Nematol. 5: 31-37.
- Brown, M. and R. Gaugler. 1996. Cold tolerance of steinernematid and heterorhabditid nematodes. J. Therm. Biol. 21(2): 115-121.
- Chen, S., X. Han and M. Moens. 2003a. Biological of *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) with entomopathogenic nematodes. Appl. Entomol. Zool. 38(4): 441-448.
- Chen, S., X. Han and M. Moens. 2003b. Effect of temperature on the pathogenicity of entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.) to *Delia radicum*. BioControl 48: 713-724.
- Choo, H.Y., D.W. Lee, H.S. Yoon, S.M. Lee and D.T. Hang. 2002. Effects on temperature and nematode concentration on pathogenicity and reproduction of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Pochon strain (Nematoda: Steinernematidae). Kor. J. Appl. Entomol. 41: 269-277.
- Ebssa, L., C. Borgemeister and H. -M. Poehling. 2004. Effectiveness of different species/strains of entomopathogenic nematodes for control of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) at various concentrations, host densities and temperatures. Biol. Control 29: 145-154.
- Forst, S., B. Dowds, N. Boemare and E. Stackebrandt. 1997. *Xenorhabdus* spp. and *Photorhabdus* spp.: bugs that kill bugs. Annu. Rev. Microbiol. 51: 22-47.
- Fujiie, A., M. Tachibana, Y. Takata, T. Yokoyama, N. Suzuki and T. Uechi. 1995. Effects of temperature on insecticidal activity of an entomopathogenic nematode, *Steinernema kushidai* (Nematoda: Steinernematidae), against *Anomala cuprea* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. Appl. Entomol. Zool. 30: 23-30.
- García del Pino F. and M. Jové. 2005. Compatibility of entomopathogenic nematodes with fipronil. J. Helminthol. 79(4): 333-337.
- Georgis, R. and N.G.M. Hague. 1981. A neoaplectanid nematode in the web-spinning larch sawfly *Cephalcia lariciphila* (Hymenoptera: Pamphiliidae). Ann. Appl. Biol. 99: 171-177.

- Gouge, D.H. and N.G.M. Hague. 1995. The susceptibility of different species of sciarid flies to entomopathogenic nematodes. *J. Helminthol.* 69: 313-318.
- Grewal, P.S., V. Converse and R. Georgis. 1999. Influence of production and bioassay methods on infectivity of two ambush foragers (Nematoda: Steinernematidae). *J. Invertebr. Pathol.* 73: 40-44.
- Hang, D.T., H.Y. Choo, D.W. Lee, S.M. Lee, H.K. Kaya and C.G. Park. 2007. Temperature effects on Korean entomopathogenic nematodes, *Steinernema glaseri* and *S. longicaudum* and their symbiotic bacteria. *J. Microbiol. Biotechnol.* 17: 420-427.
- Hazir, S., S.P. Stock, H.K. Kaya, A.M. Koppenhofer and N. Keskin. 2001. Developmental temperature effects on five geographic isolates of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae). *J. Invertebr. Pathol.* 77: 243-250.
- Kakouli-Duarte, T. and N.G.M. Hague. 1999. Infection, development, and reproduction of the entomopathogenic nematode *Steinernema arenarium* (Nematoda: Steinernematidae) in the black vine weevil *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Nematology*. 1: 149-156.
- Kaya, H.K. and R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 181-206.
- Kim, H.H., G.Y. Han, H.Y. Choo, S.M. Lee and D.W. Lee. 2007. Pathogenicity of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain (Rhabditida: Steinernematidae) against *Tebenna issikii* (Lepidoptera: Choreutidae). *Kor. J. Appl. Entomol.* 46: 313-318.
- Kozodoi, E.M. 1984. A new entomopathogenic nematode *Neoalectana anomali* sp. n. (Rhabditida: Steinernematidae) and observation on its biology. *Zool. J.* 63: 1605-1612.
- Kuhlmann, U. and W.A.C.M. van der Burgt. 1998. Possibilities for biological control of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, in central Europe. *BioControl* 19(2): 59-68.
- Lacey, L.A., R. Bettencourt, F.J. Garrett, N.J. Simões and R.H. Gaugler. 1993. Factors influencing parasitism of adult Japanese beetle, *Popillia japonica* (Col: Scarabaeidae) by entomopathogenic nematodes. *Entomophaga* 38: 501-509.
- Lewis, E.E., J.F. Campbell and R. Gaugler. 1997. The effect of aging on the foraging behaviour of *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae). *Nematologica* 43: 1-8.
- Mason, J.M. and W.M. Hominick. 1995. The effect of temperature on infection, development and reproduction of *Heterorhabditis*. *J. Helminthol.* 69: 337-345.
- Nguyen, K.B., D.J. Hunt and Z. Mráček. 2007. Steinernematidae: species descriptions, pp. 121-609. In eds. by K.B. Nguyen and D.J. Hunt. Entomopathogenic nematodes: systematics, phylogeny and bacterial symbionts. Brill, Leiden, The Netherlands.
- Poinar, G.O.Jr. 1972. Nematodes as facultative parasites of insects. *Annu. Rev. Entomol.* 17: 103-122.
- Poinar, G.O.Jr. 1990. Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. Entomopathogenic nematodes in biological control. Boca Raton. FL. USA. CRC Press. pp. 22-61.
- Poinar, G.O.Jr. and E.M. Kozodoi. 1988. *Neoalectana glaseri* and *N. anomali*: sibling species or parallelism? *Revue Nematol.* 11: 13-19.
- SAS Institute. 1999. SAS 8 for Windows. Cary. NC.
- Schirocki, A.C. and N.G.M. Hague. 1997. The effect of selective culture of *Steinernema feltiae* at low temperature on establishment, pathogenicity, reproduction and size of infective juveniles. *Nematologica* 43: 481-490.
- Selvan, S., J. F. Campbell and R. Gaugler. 1993. Density-dependent effects on entomopathogenic nematodes (Heterorhabditidae and Steinernematidae) within an insect host. *J. Invertebr. Pathol.* 62: 278-284.
- Westerman, P.R. 1999. Aggregation of entomopathogenic nematodes, *Heterorhabditis* spp. and *Steinernema* spp., among host insect at 9 and 20°C and effects on efficacy. *J. Invertebr. Pathol.* 60: 148-151.
- White, G.F. 1927. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. *Science* 66: 302-303.
- Woodring, J.L. and H.K. Kaya. 1988. Steinernematidae and Heterorhabditidae nematodes: a handbook of techniques. Southern Coop. Ser. Bull. 331, Alkansas Agri. Exp. Stn. Fayetteville, AR. 29pp.
- Wouts, W.M. 1979. The biology and life cycle of a New Zealand population of *Heterorhabditis heliothidis* (Heterorhabditidae). *Nematologica* 25: 191-202.
- Yeh, T. and S.R. Alm. 1992. Effect 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.