韓應昆誌 41(3): 225~231 (2002)
Korean J. Appl. Entomol.

곤충병원성 선충이 당근뿌리혹선충의 난낭 형성에 미치는 영향

김형환* · 추호렬[1] · 조명래 · 전흥용 · 임명순 · 하판정[2]

농촌진흥청 원예연구소 원예환경과, [1]경상대학교 농생물학과 응용생명과학원, [2](주)세실 IPM프로젝트팀

Effect of Entomopathogenic Nematodes on Egg Mass Formation by the Northern Root-knot Nematode, *Meloidogyne hapla*

Hyeong Hwan Kim*, Ho Yul Choo[1], Myoung Rae Cho, Heuong Yong Jeon, Myong Soon Yiem and Pan Jung Ha[2]

Horticultural Environment Division of National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Republic of Korea
[1]Department of Agricultural Biology, Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Republic of Korea
[2]Sesil Corporation IPM Project Team, Koyang 441-380, Republic of Korea

ABSTRACT : The entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* All strain (ScA), *S. glaseri* NC strain (SgN) and *H. bacteriophora* NC 1 strain (HbN), were evaluated for the effects on egg mass formation by the northern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla* in pot experiment using tomato. In the first experiment, 2.5×10^5 infective juveniles (Ijs) of entomopathogenic nematodes were inoculated to 100 g of the soil infected with ca. 450 Ijs of *M. hapla*/100 cm^3 in 150 ml container. The number of egg mass was significantly decreased to 9.4-36.5 in ScA, to 5.7-24.7 in SgN and to 11.2-16.0 in HbN treatments compared with 62.5 in *M. hapla* alone. In the second experiment, ScA and *S. carpocapsae* Pocheon strain (ScP) and SgN and *S. glaseri* Dongrae strain (SgD) were treated to 350 g of the soil infected with 100, 200 *M. hapla* larvae/100 cm^3 in 450 ml container. The entomopathogenic nematodes were inoculated at the rate of 2,020 Ijs and 1.6×10^5 Ijs in 350 g soil. The number of egg mass of *M. hapla* were significantly decreased in the entomopathogenic nematode treatments compared with *M. hapla* alone although no differences were observed among *Steinernema* species, strains, or infection concentrations. Treatments of entomopathogenic nematodes 3 days before *M. hapla* inoculation were more effective on reduction of egg mass formation than those of 3 days after *M. hapla* treatments. Growth of tomato was not affected by entomopathogenic nematode treatments.

KEY WORDS : *Steinernema carpocapsae* All and Pocheon strain, *S. glaseri* NC and Dongrae strain, *Heterorhabditis bacteriophora* NC 1 strian, *Meloidogyne hapla*, Egg mass

초 록 : 곤충병원성 선충인 *Steinernema carpocapsae* All (ScA)과 포천(ScP) 계통, *S. glaseri* NC (SgN)와 동래(SgD) 계통, *Heterorhabditis bacteriophora* NC 1 계통(HbN)이 당근뿌리혹선충 (*Meloidogyne hapla*)의 난낭 형성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 토마토를 이용한 pot 실험을 수행한 결과는 다음과 같다. 450마리의 당근뿌리혹선충이 있는 100 g 토양에 곤충병원성 선충을 2.5×10^5마리 농도로 처리한 결과 ScA 처리에서 9.4-36.5개, SgN 처리에서 5.7-24.7개, HbN 처리에서 11.2-16.0개로서 당근뿌리혹선충 단독 처리에서의 62.5개보다 난낭수가 매우 적었다. *Steinernema* 선충을 100 cm^3당 100마리, 200마리의 당근뿌리혹선충에 대해 2,020마리/토양 350 g와 1.6×10^5마리 농도로 처리한 결과 *Steinernema* 선충의 종간, 계통별 또는 처리농도 간에는 난낭수의 차이가 없었으나, 당근뿌리혹선충 단독 처리와 비교하면 난낭수가 현저히 감소하였다. 곤충

*Corresponding author. E-mail: hhkim8753@hanmail.net

병원성 선충을 당근뿌리혹선충 처리 3일 전에 처리한 것이 3일 후에 처리한 것보다 난낭 형성 억제에 더 효과적이었다. 한편, 곤충병원성 선충은 토마토의 생육에 아무런 영향을 끼치지 않았다.

검색어 : *Steinernema carpocapsae* All과 포천 계통, *S. glaseri* NC와 동래 계통, *Heterorhabditis bacteriophora* NC 1 계통, 당근뿌리혹선충, 난낭

뿌리혹선충(*Meloidogyne* spp.)은 전세계 농업지대에 널리 분포하며 경제적으로 심한 피해를 끼치고 있는 중요한 선충 집단이다(Hewlett and Tarjan, 1983). 세계적으로 분포되어 있는 60여종의 뿌리혹선충 중에서 농업상 중요한 종은 *M. arenaria, M. hapla, M. incognita*와 *M. javanica* 등 4종이다(Cho *et al.*, 2000). 당근뿌리혹선충(*M. hapla*)은 다른 뿌리혹선충들과 마찬가지로 경제적으로 대단히 중요한 식물기생선충으로서 무려 550여종의 식물이 기주로 기록되어 있다(Choi and La, 1982). 우리 나라에서는 땅콩(*Arachis hypogaea*), 들깨(*Perilla frutescens* var. *japonica*), 딸기(*Fragaria ananassa*), 토마토(*Lycopersicon esculentum*), 작약(*Paeonia lactiflora*) 등의 채소작물, 약용식물, 기타 중요 경제작물들이 많은 피해를 받고 있다(Choi, 1996; Kim *et al.*, 1998; Cho *et al.*, 2000). 시설하우스에서는 고소득 채소작물과 화훼식물들이 재배되고 있는데, 이들 또한 당근뿌리혹선충에 의하여 심한 피해를 받고 있지만 적절한 방제법이 없는 실정이다(Choo *et al.*, 1987). 뿐만 아니라 살선충제는 독성이 높고 토양중 잔류기간이 길며 토양미생물에 광범위한 치사효과를 가진 화합물로서 연용할 경우 지하수를 오염시키거나 환경과 유용한 생물을 위협할 수 있다(Birch, 1993). 시설하우스와 같은 제한된 공간내에서의 살선충제를 비롯한 살충-살균제의 다량시용은 농업환경과 농민들의 건강을 위해서도 바람직하지 않다(Boo *et al.*, 1997). 따라서 환경에 안전하면서도 경제적이고 효과적인 새로운 뿌리혹선충 방제법 개발이 필요하다. 최근에는 만수국(*Tagetes patula*) 등과 같이 식물에서 추출한 천연화합물(Hatakeda *et al.*, 1985; Kim *et al.*, 1998)에 의한 뿌리혹선충 방제효과에 대한 연구가 시도된 바 있으며 Ishibashi and Choi (1991)와 Gouge *et al.* (1994)은 곤충병원성 선충 *S. feltiae*가 자바니카뿌리혹선충(*M. javanica*)에 다소 효과가 있다고 하였다. 곤충병원성 선충인 Steinernematid와 Heterorhabditid는 극지방을 제외한 전 세계 어느 지역이나 광범위하게 분포하는 종으로서(Kaya and Gaugler, 1993) 해충 뿐만 아니라 식물기생성 선충을 비롯한 토양서식 선충에도 효과가 있다(Ishibashi and Kondo, 1986). 곤충병원성 선충은 기주곤충에 침입하게 되면 공생세균 *Xenorhabdus* (Steinernematidae)나 *Photorhabdus* (Heterorhabditidae)를 기주체내로 발산하여 곤충에게 패혈증(septicemia)을 일으켜 24-48시간내에 기주곤충을 치사시킬 수 있는 병원성미생물이다(Choo *et al.*, 1995). *Steinernema*tid와 heterorhabditid는 200종 이상의 곤충에 기생할 만큼 기주특이성과 기주범위가 대단히 넓다. 최근 곤충병원성 선충 *S. carpocapsae* 등은 거세미나방(*Agrotis segetum*), 담배거세미나방(*Spodoptera litura*), 배추좀나방(*Plutella xylostella*), 딸기에서의 잎벌레류, 잔디를 가해하는 굼벵이류, 버섯을 가해하는 버섯파리류 등에 생물농약으로 개발되어 해충방제에 널리 활용되고 있다(Beckage *et al.*, 1993).

따라서 본 연구는 토양중에서 기주곤충에 대한 탐색행동 양상과 크기, 기생효과의 차이가 있는 미국과 우리나라에서 분리된 ScA와 ScP, SgN과 SgD, 그리고 HbN 등 곤충병원성 선충의 종과 처리시기에 따른 당근뿌리혹선충에 의한 난낭형성 억제 효과를 알아보고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험 선충과 기주식물

곤충병원성 선충은 미국에서 수입하여 꿀벌부채명나방으로 실내누대 증식하던 ScA, SgN, HbN과 우리나라의 토양으로부터 꿀벌부채명나방을 미끼로 분리한 ScP와 골프장의 등얼룩풍뎅이(*Exomala orientalis*) 유충에서 분리한 SgD를 Dutky *et al.* (1964)의 방법으로 증식하여 실험에 이용하였다. 각 선충에 치사된 꿀벌부채명나방은 White trap으로 2세대 감염충을 수확하여 10°C 냉장고에 보관하였고, 실험에는 수확한지 3주 이내의 선충을 이용하였다(Woodring and Kaya, 1988).

당근뿌리혹선충은 경남 진주시 명석면의 당근뿌리혹선충(*Meloidogyne hapla*) 피해지인 구릿대(*Angelica*

dahurica) 밭에서 토양을 채집하여 실내에서 고루 섞은 다음, 1,000 ml 플라스틱 pot에 800 g의 토양을 넣고 45일된 토마토 묘를 심었다. 40일후 토마토의 뿌리를 씻은 다음 1 cm 크기로 잘라 Baker (1985)의 방법에 준하여 Sodium Hypochloride 용액을 이용하여 알주머니의 알을 분리하였으며 25±2°C 항온기에서 부화시켜 실험에 이용하였다.

뿌리혹선충의 증식과 실험에 이용된 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill, BeBe 품종, Takii Seed Company, Japan)는 진주시 대곡면에 있는 플러그육묘장에서 구입하여 사용하였다.

자연 토양에서 난낭 감소 효과

당근뿌리혹선충의 피해가 심했던 진주시 명석면 구릿대밭에서 토양을 채집하여 토양을 골고루 섞은 후 150 ml들이 플라스틱 컵에 100 g씩 넣었으며 토양 수분은 14-22% (17.5%)였다. 당근뿌리혹선충의 유충밀도는 450±0.2/100 cm^3마리였다. 초장 9.9±1.8 cm의 45일된 토마토 묘를 이용하였는데, 곤충병원성 선충의 처리시기를 토마토 정식 3일 전, 정식과 동시, 정식 3일 후로 구분하였다. 실험에 이용된 선충은 ScA, SgN, HbN이었고 접종농도는 2.5×10^5마리/토양 100 g (3.3×10^{13}마리/ha)였으며 처리 선충현탁액량은 10 ml이었다. 무처리는 살균수만 10 ml처리하였다. 실험은 1996년 9월 초에 수행되었으며 모든 컵은 유리온실(낮; 25-30°C, 밤; 20-23°C)내에서 관행적 관리방법에 따라 물관리를 하였다. 곤충병원성 선충 처리 45일 후에 토마토를 컵에서 조심스럽게 들어내어 깨끗이 씻은 후 줄기와 뿌리의 길이, 건물중을 측정하였다. 뿌리는 Phloxine B 용액으로 염색하여 난낭수를 조사하였다 (Daykin and Hussey, 1985). 처리는 토마토 묘 1주를 1반복으로 10반복 처리하였다.

인위접종 토양에서의 난낭 감소 효과

토마토에서 증식한 당근뿌리혹선충의 알을 Baker (1985)의 방법으로 분리한 후 25°C의 항온기에서 부화시켰다. 직경 8.5 cm의 450 ml들이 스치로폴 컵에 사질양토(9.1% sand, 61.1% silt, 11.3% clay, OM 5.8%, pH 5.4) 350 g을 넣고 초장 18.0±0.4 cm인 토마토 55일 묘를 선충 처리 7일 전에 컵에 심었다. 사질양토는 850 μm체로 친 후 살균기에 넣어 1회 살균한 다음 24시간 동안 말리고 다시 2차 살균후 건조시킨 후 살균수로 수분을 15% 되게 만들어 실험을 수행하였다. 각 컵은 물빠짐을 위하여 바닥에 4개의 구멍을 뚫었다. 당근뿌리혹선충의 접종 농도는 100 cm^3당 100, 200마리씩이었다(Hartman and Sasser, 1985). 곤충병원성 선충의 처리농도는 2,020마리/토양 350 g (3.0×10^9 마리/ha)와 1.6×10^5마리/토양 350 g (5.9×10^{11}마리/ha) 였으며, 처리 선충현탁액량은 10 ml이었다. 처리시기는 토마토 정식과 동시에 당근뿌리혹선충을 접종하기 3일 전 · 후였다. 실험에 이용한 곤충병원성 선충은 ScA와 ScP, SgN과 SgD이었다. 실험은 1996년 10월 중순에 수행되었으며 모든 컵은 유리온실(낮; 23-28°C, 밤; 18-20°C)내에서 관행적 관리방법에 따라 물관리를 하였다. 곤충병원성 선충 처리 50일 후 토마토를 조심스럽게 뽑아 뿌리를 깨끗이 씻은 다음 Phloxine B 용액으로 염색하여 난낭수를 조사하였다. 토마토의 생육에 미치는 영향을 알아보기 위해 줄기와 뿌리길이, 줄기와 뿌리의 건물중을 측정하였다. 처리는 토마토 묘 1주를 1반복으로 7반복 처리하였다.

통계분석

모든 자료는 Tukey test로 분산분석 하였는데, Student t-test ($\alpha = 0.05$)를 이용하여 곤충병원성 선충의 종, 계통, 처리시기, 그리고 농도에 따른 난낭수 차이를 비교하였다(SAS Institute, 1988).

결 과

자연토양에서의 난낭 감소 효과

Steinernematid 선충과 Heterorhabiditid 선충은 당근뿌리혹선충의 난낭 형성을 현저히 억제하였다($F = 44.0$, $df = 9, 99$, $P < 0.05$). 선충의 난낭수는 당근뿌리혹선충만을 처리한 구보다 곤충병원성 선충을 처리한 구에서 훨씬 적었다(Fig. 1). 곤충병원성 선충 종간 난낭수의 차이는 SgN과 HbN간에는 차이가 없었으나($ts = 1.08$, $df = 58$, $P < 0.05$), ScA와 SgN ($ts = 2.66$, $df = 58$, $P < 0.05$) 그리고 ScA와 HbN ($ts = 3.09$, $df = 58$, $P < 0.05$)간에는 차이가 있었다. 난낭수는 *Steinernema* 선충 처리구보다 *H. bacteriophora* 처리구에서 더 많이 감소하였다($ts = 3.22$, $df = 88$, $P < 0.05$). 곤충병원성 선충의 처리시기별 당근뿌리혹선충의 난낭수는 3일 전 처리구가 3일 후 처리구와 동시처리구보다 적었다(ts

Table 1. Effect of *Steinerenma* spp. and *Heterorhabditis bacteriophora* on the growth of tomato in natural infected soil

Treatment	Application time	Root length (cm) Mean±SE#	Stem length (cm) Mean±SE	Root dry wt. (g) Mean±SE	Stem dry wt. (g) Mean±SE
Steinernema carpocapsae All strain	3 days before	8.47±0.61ab	12.01±1.05d	0.08±0.01b	0.18±0.02cd
	Simultaneous	7.19±0.40ab	21.25±1.21ab	0.09±0.01b	0.28±0.01ab
	3 days after	9.44±0.60a	23.89±0.79a	0.09±0.01ab	0.33±0.02a
S. glaseri NC strain	3 days before	8.78±0.36ab	15.27±0.87cd	0.08±0.01b	0.21±0.01bcd
	Simultaneous	8.51±0.41ab	19.15±1.57bc	0.07±0.01b	0.22±0.02bcd
	3 days after	8.72±0.28ab	20.69±0.97ab	0.12±0.01a	0.33±0.02a
Heterorhabditis bacteriophora NC1 strain	3 days before	8.60±0.53ab	12.29±1.11d	0.07±0.01b	0.17±0.01d
	Simultaneous	8.55±0.55ab	13.68±0.85d	0.09±0.01b	0.22±0.03bcd
	3 days after	9.86±0.81a	17.54±1.33bc	0.08±0.01b	0.21±0.02bcd
Control*	—	6.93±0.65b	18.21±0.90bc	0.08±0.01b	0.25±0.01bc

*The infected soil was brought to laboratory and tomato plants were planted.
The population of *M. hapla* per 100 cm^3 of soil was ca. 450 Ijs.
#Means followed by different letters within a column are significantly different (P=0.05).

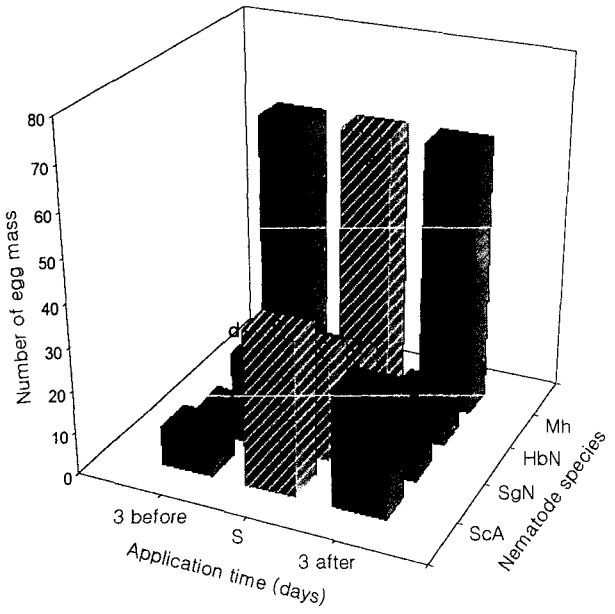

Fig. 1. Effect of entomopathogenic nematode species and application time on egg mass formation by the northern root-knot nematode, *M. hapla* per tomato in natural infected soil. Mh, *M. hapla* only; ScA, *Steinernema carpocapsae* All strain; SgN, S. glaseri NC strain; HbN, *Heterorhabditis bacteriophora* NC 1 strain. The entomopathogenic nematodes were inoculated at 3 days before (3 before), simultaneously (S), and 3 days after (3 after) the treatment of root-knot nematode.

=5.60, 3일 전과 동시처리; ts=4.80, 3일 전과 3일 후 처리; ts=2.35, 동시처리와 3일 후 처리, df=58, P< 0.05). 곤충병원성 선충의 효과는 3일 전 처리, 3일 후 처리 그리고 동시 처리 순이었다.

곤충병원성 선충 처리가 당근뿌리혹선충의 기주식물인 토마토의 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 토마토 줄기와 뿌리의 길이 그리고 건물중을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 무처리구에서의 뿌리와 줄기길이는 6.9 cm와 18.2 cm였고, 뿌리와 줄기의 건물중은 0.08 g과 0.25 g이었다. 곤충병원성 선충을 처리하였을 때의 뿌리와 줄기 길이는 각각 7.19-9.86 cm, 12.01-23.89 cm였고, 건물중은 0.07-0.10 g, 0.17-0.33 g으로서 처리간에 차이가 없었다(Table 1).

인위접종 토양에서의 난낭 감소 효과

당근뿌리혹선충의 난낭수는 100마리 처리구에서 58.6개, 200마리 처리구에서 87.0개로서 접종밀도가 높을수록 난낭수가 증가하였다(100마리 : 200마리, ts= 4.76, df=222, P<0.05) (Fig. 2). *Steinernema* 처리는 당근뿌리혹선충에 의한 난낭 형성을 현저히 감소시켰으며 그 중 난낭수가 가장 적었던 것은 ScA와 SgN 처리였다. 그러나 *Steinernema*의 종과 계통간에는 차이가 없었다(Fig. 2). 비록 *Steinernema*의 처리농도간에는 난낭수에 차이가 없었지만(ts=0.31, df=334, P<0.05), 처리시기에 따라서는 첫 번째 실험과 같이 난낭 형성에 미치는 영향이 크게 나타났다(ts=4.06, df=334, P<0.05).

곤충병원성 선충 처리가 당근뿌리혹선충의 기주식물인 토마토의 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 토마토 줄기와 뿌리의 길이 그리고 건물중을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 곤충병원성 선충 무처리구에서의 뿌리와 줄기 길이는 각각 23.86 cm, 39.57 cm (100마리/100 cm^3), 뿌리와 줄기의 건물중은 0.69 g, 3.37 g (100마리/100 cm^3)이었다. 곤충병원성 선충을 처리하였을 때의 뿌리와 줄기 길이는 각각 16.86-27.86 cm, 41.00-51.00 cm (100마리/100 cm^3)였고, 뿌리와 줄

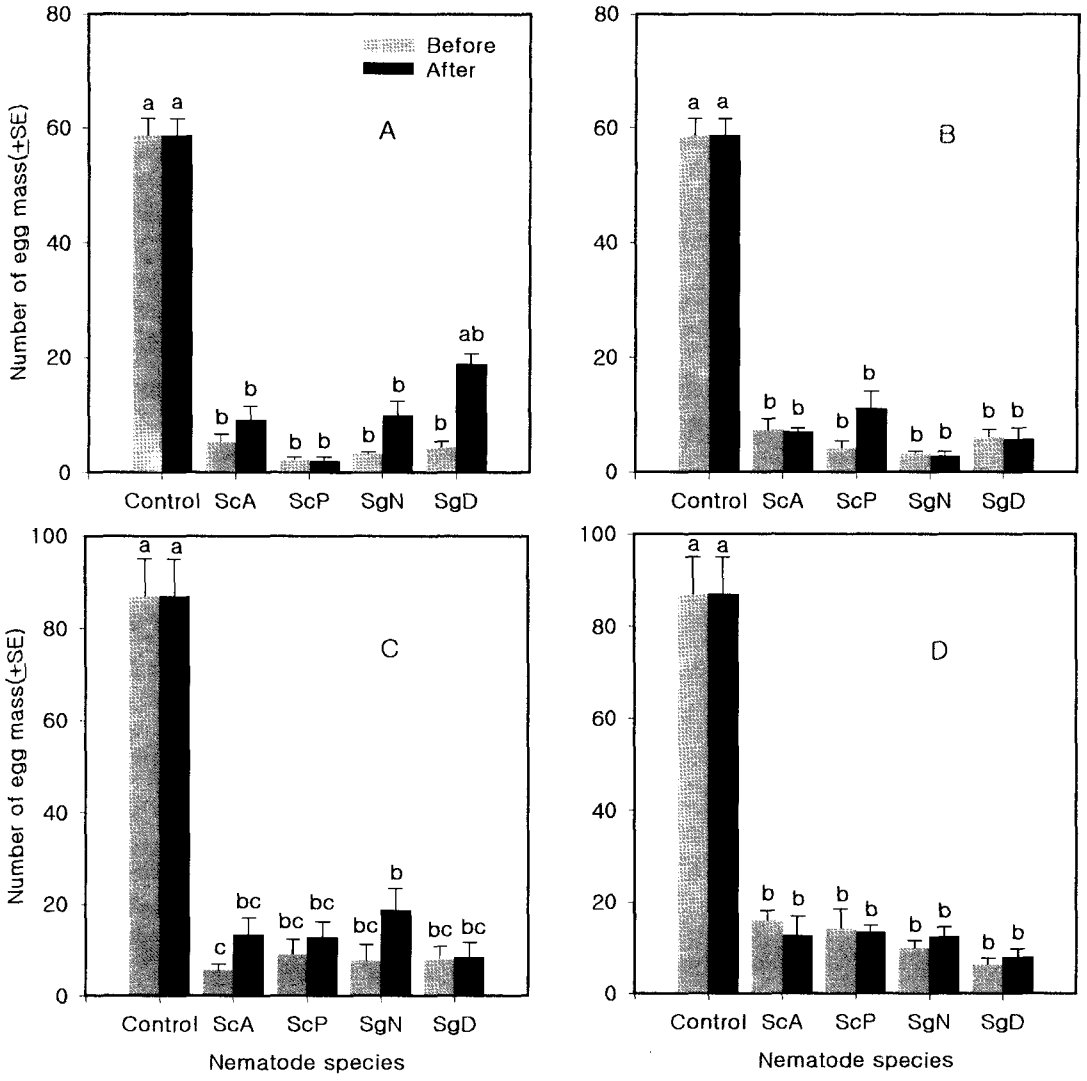

Fig. 2. Effect of *Steinernema* spp. on egg mass formation by *M. hapla* per tomato in artificial inoculated soil. ScA, *Steinernema carpocapsae* All strain; ScP, *S. carpocapsae* Pocheon strain; SgN, *S. glaseri* NC strain; SgD, *S. glaseri* Dongrae strain. *Steinernema* spp. was applied at the rate of 2,020 Ijs/cup (3.0×10^9 Ijs/ha) (A, C) and at the rate of 1.6×10^5 Ijs/cup (5.9×10^{11} Ijs/ha) (B, D). *M. hapla* was inoculated at the rate of 100 Ijs/100 cm^3 (A, B) and 200 Ijs/100 cm^3 (C, D).

기의 건물중은 0.37-0.72, 2.20-3.66 g (100마리/100 cm^3)으로서 처리간에 차이가 없었으며, 뿌리혹선충의 농도를 달리한 200마리/100 cm^3 처리구에서도 토마토의 생육은 처리간에 차이가 없었다.

고 찰

토마토에 대한 당근뿌리혹선충의 피해허용밀도는 토양 100 cm^3당 20-200마리로 보고되어 있는데(Baker *et al.*, 1985), 본 실험에서는 당근뿌리혹선충의 피해허용밀도인 100 cm^3당 100, 200 (인위접종토양), 400마리 (자연토양)가 접종된 토양에 *Steinernema* spp. 4종과 HbN을 처리한 결과 모든 곤충병원성 선충이 무처리와 비교하여 난낭형성 억제효과가 있었다. 그러나 토마토 뿌리에 형성된 난낭수는 곤충병원성 선충의 종에 따라 차이가 있었다. 즉, 자연 토양에 곤충병원성 선충을 처리한 실험에서는 ScA보다 SgN과 HbN 처리에서 더 적었다. 그러나 당근뿌리혹선충을 인위접종한 실험에서는 *Steinernema* 종 혹은 계통간에 차이가 없었다. 이는 용기의 크기와 토양에 대한 곤충병원성 선충의 처리량 차이에 기인한 것으로 생각되므로 보다

더 세밀한 연구가 필요하다. 미국 등에서 시판되고 있는 곤충병원성 선충의 권장처리량은 acre당 1.0-3.0×10^9마리이다(Thomson, 1992). 본 실험의 결과 미국에서의 선충처리 권장량으로도 당근뿌리혹선충의 피해를 충분히 줄일 수 있음이 확인되었다. 이러한 효과는 식물 뿌리로부터 발산되는 이산화탄소에 의해 유인되어 식물 뿌리로 모이는 곤충병원성 선충과 뿌리혹선충의 성질에 기인한다(Bird and Bird, 1986; Gaugler *et al.*, 1980; Ishibashi and Choi, 1991). Ishibashi and Choi (1991)는 *Steinernema*를 높은 농도로 처리했을 때 뿌리혹선충을 치사시키는 것이 아니라 두터운 선충벽을 만들어 뿌리혹선충이 뿌리로 접근하는 것을 차단한다고 하였으나, Jarosz *et al.* (1991)은 Rhabditoid 선충의 살충성분(공생세균)이나 토양중의 암모니아가 이산화탄소보다 더 큰 뿌리혹선충 억제 효과가 있다고 하였다. 또한 *Steinernema*와 *Heterorhabditis* 선충에서 분비되는 *Xenorhabdus*와 *Photorhabdus* 공생세균이 고구마뿌리혹선충(*M. incognita*) 유충을 치사시켰으며 알의 부화율도 감소시켰다는(Grewal, 2000) 보고가 있어 뿌리혹선충에 대한 곤충병원성 선충의 병원성이 연구의 대상이 되고 있다. 가장 최근에는 pot에 토마토를 심고 *S. feltiae*와 *M. incognita*를 동시에 처리한 후 *M. incognita*의 뿌리혹형성, 알생산, 부화율을 조사한 결과 *S. feltiae*를 처리하지 않은 것 보다 *S. feltiae*를 처리한 것에서 토마토 뿌리에 형성되는 뿌리혹이나 알, 부화율 등이 감소하였다고 보고하였다(Lewis, 2001). 한편 곤충병원성 선충의 처리시기는 뿌리혹선충의 방제에 중요한 요인이다. 비록 Ishibashi and Choi (1991)의 실험에서는 처리시기에 따라 큰 차이가 없었지만, 본 실험에서는 토마토 묘를 정식하기 3일 전의 선충처리가 3일 후 처리보다 당근뿌리혹선충의 피해를 더 많이 감소시켰다(Figs. 1, 2). 곤충병원성 선충은 뿌리혹선충에 의한 피해를 줄이는 한편 토마토의 생육도 더 좋게 한다는 결과(Bird and Bird, 1986)가 있으나, 본 실험에서는 전반적으로 곤충병원성 선충 처리와 무처리간에 토마토의 생육은 차이가 없었다(Table 1). 이러한 결과는 실험기간이 짧고 pot 크기가 작아 토마토가 충분히 자라지 못했기 때문으로 생각된다. 당근뿌리혹선충의 단독 처리구에서 곤충병원성 선충 처리구보다 많은 난낭이 형성되었으므로 후기 토마토 생육과 생산량에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 그리고 실제 경작지에는 선충 뿐만 아니라 다른 토양서식성 해충에 의한 피해도 있으므로 *Steinernema*나 *Heterorhabditis*속 곤충병원성 선충을 처리함으로써 뿌리혹선충은 물론 뿌리를 가해하는 해충도 동시방제가 가능하다(Bird and Bird, 1986; Choo *et al.*, 1998; Gaugler *et al.*, 1980; Ishibashi and Choi, 1991). 따라서 뿌리혹선충에 대한 효과적인 생물적 방제법이 없는 현실에서 뿌리혹선충이 작물뿌리로 침입하는 것을 억제하는 것과 동시에 치사시킬 수도 있는 병원성 발현의 대상 기주가 전혀다르다는 점(Lewis, 2001), 그리고 토양해충의 종합적방제 측면에서 앞으로 곤충병원성 선충의 이용에 대한 관심과 더욱 활발한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 한국학술진흥재단의 경상대학교 거점연구소 지원사업(1995-1997)에 의하여 수행되었으며, 연구비를 제공한 한국학술진흥재단에 깊은 감사를 드립니다.

Literature Cited

Akhurst, R.J. and G.B. Dunpy. 1993. Tripartite interactions between symbiotically associated entomopathogenic bacteria, nematodes, and their insect hosts. pp. 1~23, *In* Parasities and pathogens of insects. Vol. 2: Pathogens, eds. by N.E. Beckage, S.N. Thompson and B.A. Federici. 294 pp. Academic Press. San Diego.

Baker, K.R. 1985. Nematode extraction and bioassays. pp. 19-35, In An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. II. Methodology, eds. by K.R. Baker, C.C. Cater and J.N. Sasser. 223 pp. North Carolina State University Graphics. Raleigh. North Carolina.

Baker, K.R., D.P. Schmitt and J.L. Imbriani. 1985. Nematode population dynamics with emphasis on determing damage potential to crops. pp. 135~148, *In* An advanced treatise on Meloidogyne. Vol. II. Methodology, eds. by K.R. Baker, C.C. Cater and J.N. Sasser. 223 pp. North Carolina State University Graphics. Raleigh. North Carolina.

Bird, A.B. and J.J. Bird. 1986. Observations on the use of insect parasitic nematodes as a means of biological control of root-knot nematodes. Intern. J. Parasit. 16: 511~516.

Birch, A.N.E., W.M. Robertson and L.E. Fellows. 1993. Plant products to control plant parasitic nematodes. Pestic. Sci. 39: 141~145.

Cho, M.R., B.C. Lee, D.S. Kim, H.Y. Jeon, M.S. Yiem and J.O. Lee. 2000. Distribution of plant-parasitic nematodes in fruit vegetable production areas in Korea and identification of root-knot nematodes by enzyme phenotypes. Korean J. Appl. Entomol. 39: 123~129.

Choi, Y.E. 1996. Nematodes of Korea. pp. 182~186. Ililsa, Daegu. Korea.

Choi, Y.E. and Y.J. La. 1994. Plant Nematology. pp. 61~65. Hyangmunsa. Seoul. Korea.

Choo, H.Y., H.K. Kaya, S.M. Lee, H.H. Kim and D.W. Lee.

1998. Biocontrol research with nematodes against insect pests in Korea. Jpn. J. Nematol. 28: 29~41.

Choo, H.Y., H.K. Kim, J.C. Park, S.M. Lee and J.I. Lee. 1987. Insects and nematodes associated with horticultural crops and effect of nursery soil conditions on the infection of root-knot nematode. Korean J. Plant Prot. 26: 195~201.

Choo, H.Y., S.M. Lee, B.K. Chung, Y.D. Park and H.H. Kim. 1995. Pathogenicity of Korean entomopathogenic Nematodes (*Steinernema*tidae and Heterorhabditidae) against local agricultural and forest insect pests. Korean J. Appl. Entomol. 34: 314~320.

Daykin, M.E. and R.S. Hussey. 1985c. Staining and histopathological techniques in nematology. pp. 135~148, In An advanced treatise on Meloidogyne. Vol. II. Methodology, eds. by K.R. Baker, C.C. Cater and J.N. Sasser. 223 pp. North Carolina State University Graphics. Raleigh. North Carolina.

Dutky, S.R., J.V. Thompson and G.E. Cantwell. 1964. A technique for the mass propagation of the DD-136 nematode. J. Insect Pathol. 6: 417~422.

Gaugler, R., L. Lebeck, B. Nakagaki and G.M. Boush. 1980. Orientation of the entomogenous nematode *Neoaplectana carpocapsae* to carbon dioxide. Environ. Entomol. 9: 649~652.

Gouge, D.H., A.A. Otto, A. Schirocki and N.G.M. Hague. 1994. Effects of steinernematids on the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. Ann. appl. Biol. 124: 134~135.

Grewal, P. 2000. Nematicidal effects of entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria on plant-parasitic nematodes. Soci. Inver. Pathol. XXXIII Annual Meeting Guanajuato, Mexico. p. 48.

Han, M.W., G.H. Lee, G.S. Lee, J.H. Kim, Y.H. Kim and J.O. Lee. 1997. Biological control of greenhouse insect pests in Korea. pp. 44~60, *In* Biological control of insect pests, eds. by K.S. Boo, K.C. Park and J.K. Jung. 186 pp. Proc. Int. Symp. Suwon, Korea.

Hartman, K.M. and J.N. Sasser. 1985d. Identification of Meloidogyne species on the basis of differential host test and perineal -pattern morphology. pp. 69~77, *In* An advanced treatise on Meloidogyne. Vol. II. Methodology, eds. by K.R. Baker, C.C. Cater and J.N. Sasser. 223 pp. North Carolina State University Graphics. Raleigh. North Carolina.

Hatakeda, K., S. Ito, Y. Ikusima and T. Asano. 1985. A new nematicidal compound in french marigold. Jpn. J. Nematol. 15: 11~13.

Hewlett, T.E. and A.C. Tarjan. 1983. Sinopsis of the genus *Meloidogyne Goeldi*, 1887. Nematropica 13: 79~102.

Ishibashi, N. and D.R. Choi. 1991. Biological control of soil pests by mixed application of entomopathogenic and fungivorous nematodes. J. Nematol. 23: 175~181.

Ishibashi, N. and E. Kondo. 1986. *Steinernema feltiae* (DD-136) and *S. glaseri*: Persistence in soil and bark compost and their influence on native nematodes. J. Nematol. 18: 310~316.

Jarosz, J., M. Balcerzak and H. Skrzypek. 1991. Involvement of larvicidal toxins in pathogenesis of insect parasitism with the rhabditoid nematodes, *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis bacteriophora*. Entomophaga 36: 361~368.

Kaya, H.K. and R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. Ann. Rev. Entomol. 38: 181~206.

Kim, H.H., H.Y. Choo, C.G. Park, S.M. Lee and J.B. Kim. 1998. Biological control of the northern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla* with plant extract. Korean J. Appl. Entomol. 37: 199~206.

Lewis, E.E., P.S. Grewal and S. Sardanelli. 2001. Interactions between the *Steinernema feltiae-Xenorhabdus bovienii* insect pathogen complex and the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. Biological Control 21: 55~62.

SAS Institute. 1988. SAS/STAT guide for personal computers, version 6 ed. SAS Institute, Cary, NC.

Thomson, W.T. 1992. A worldwide guide to beneficial animals (Insect/Mites/Nematodes). Thomson pulications. U.S.A. 91 pp.

Woodring, J.L. and H.K. Kaya. 1988. *Steinernema*tid and heterorhabditid nematodes: A handbook of techniques. Southern Coop. Ser. Bull. 331, Arkansas Agri. Exp. Stn. Fayetteville, AR. 29 pp.

(Received for publication 29 June 2002;
accepted 20 August 2002)