

Steinernema 속 곤충병원선충을 이용한 사과원 병해충의 생물학적 방제

유연수 · 박선호

계명대학교 화학·재료공학부

(접수 : 2000. 1. 28., 게재승인 : 2000. 2. 23.)

Biological Control of Apple Pests with Entomopathogenic Nematodes, *Steinernema* spp.

Yeon Su Yu and Sun Ho Park†

School of Chemical Engineering & Materials Engineering,

Keimyung University, Taegu 704-701, Korea

(Received : 2000. 1. 28., Accepted : 2000. 2. 23.)

Peach fruit moth, smaller tea tortrix, and *Melotontha incana* are major pests of apple and apple trees throughout the country. In this work, we examined efficacies of entomopathogenic nematodes *Steinernema carpocapsae* and *Steinernema glaseri* against these apple pests. *Steinernema carpocapsae* showed 100% mortality after 24 hr against peach fruit moth when it was applied on the larva with the concentration of 80 nematodes per larva, but *Steinernema glaseri* caused 83.3±5.8% mortality after 24 hr at the concentration of 50 nematodes per larva. In the case of smaller tea tortrix, *S. carpocapsae* and *S. glaseri* caused 100%, 43.3±5.8% at the concentration of 50 nematodes per larva after 48 hr, respectively. However, 5~6 instar of *Melotontha incana* was not killed by treatments with *S. carpocapsae* and *S. glaseri* up to concentration of 200~800 nematodes per larva. The motility of nematodes in a soil increased as both inoculation concentration of nematode per larva and temperature increased. The mortality of *G. mellonella* by *S. carpocapsae* was 100% up to 10cm in depth and 56.7±5.8% at 10~15cm in depth when the temperature was 25°C and 50 nematodes per larva were used.

Key Words : biological control, apple pests, *steinernema*, entomopathogenic nematode

서론

농작물의 수확에 막대한 피해를 주고, 생산 원가를 증가시키는 원인인 해충의 구제를 위하여 지금까지 화학적인 방법으로 생산되는 농약이 주로 사용되어 왔다. 특히 우리나라의 경우 과거 40여년 동안 주로 화학농약에 의하여서만 해충을 방제해 오고 있기 때문에 농약에 의한 해충 방제의 부작용이 환경의 중요성과 함께 크게 사회문제화 되고 있는 실정이다. 즉, 농약에 의한 저항성 해충의 출현, 유용 동·식물의 생태계 파괴, 잠재해충(potential pest)의 관건해충(key pest)화 등은 말할 것도 없고 잔류독극물에 의한 환경오염이 날로 심각해지고 있어 이를 해결하기 위한 새로운 해충 방제법 개발이 절실히 요구되고 있다.

이를 위해 최근 병해충종합관리(IPM: Integrated Pest Manag-

ement)체계가 중요시되고 있다. IPM이란 작물, 병해충, 천적에 대한 지식을 기초로 각종 방제 기술을 상호 모순되지 않는 형태로 사용하여 병해충 발생을 경제적 피해수준 이하로 감소시키거나 유지하기 위한 관리체제로 정의된다. 최근 선진국에서도 이러한 방법으로 안정된 농생태계를 유지하고자 하는 노력을 기울이고 있으며, 특히 곤충병원성 선충(entomopathogenic nematodes)에 대한 연구에서 많은 진전을 보고 있다. 지금까지 알려진 곤충에 기생하는 선충은 거의 40개 과(Family)가 분류되어 있지만 그 중에서도 Steinernematidae과와 Heterorhabditidae과의 곤충병원성 선충이 생물적 방제에 널리 이용되고 있다(1).

Rhabditida목의 Steinernematidae(2)와 Heterorhabditidae(3)과의 선충은 공생박테리아인 *Xenorhabditis* spp.(4)와 작용하여 곤충에게 패혈증을 유발시킴으로서 48시간 이내에 기주를 치사시키는 우수한 병원력을 지닌 선충군으로서(5-8), 다양한 서식처, 넓은 기주범위, 뛰어난 기주 탐색 능력 및 해충 사멸 능력을 갖고 있으며 대량 배양이 용이하고 장기간 보관할 수도 있을 뿐만 아니라 다른 종류의 살충제와 혼용하여 사용할 수도 있다는 장점 때문에 미래의 천적류 생물학적 농약으로 크

†Corresponding Author · 1000 Shindang-dong, Dalseo-gu, Taegu 704-701, Korea

Tel : 053-580-5457, Fax : 053-633-4929

E-mail . park@kmu.ac.kr

게 기대되고 있다(9). 그러나 국내에서는 선충 이용에 관련된 생물학적 방제의 연구는 아직 초기 단계이며 특히 산업화를 위한 연구 개발은 매우 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 토양에서 분리된 Steinernematidae과의 *S. carpocapsae*와 *S. glaseri*종을 이용하여 사과원 주요 병해충인 복숭아심식나방(*Carposina sasakii* Walsingham), 애모무늬잎말이나방(*Adoxophyes orana* Fisher von Reslerstamm), 왕풍뎅이(*Melotoniha incana*)에 대한 방제효과를 규명하기 위하여 살충력은 물론 침투력, 증식, 병원성 발현의 적정범위와 접종농도를 조사하였다.

재료 및 방법

꿀벌부채명나방의 유충 및 배양조성

곤충병원성 선충을 *in vivo*로 배양하기 위해 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*)의 3령 유충을 기주로 사용하였으며 꿀벌부채명나방 사료는 쌀겨와 밀을 각각 500 g씩 혼합하고 Glycerin과 꿀을 200 mL씩 넣은 후 Vitamin(제텐 씨, 한미약품공업) 0.8 g, Yeast(드라이 이스트, 조흥 화학공업) 분말 3.0 g을 조제 사료에 넣고 25°C incubator에서 약 25일간 배양하여 3령 유충으로 증식시켜 사용하였다.

곤충병원성선충의 배양

국내에서 분리된 *Steinernema glaseri*와 *Steinernema carpocapsae*종의 *in vivo* 배양을 위해(10) petri dish(90×15 mm)에 여과지(φ 90 mm, Whatman No.1) 1장을 깔고 활성이 강한 IIs(Infective juveniles)를 현탁 희석(200/mL)한 후 1 mL씩 고르게 뿌려 여과지 전체를 적신 후 생체 중량 180±3 mg인 꿀벌부채명나방의 3령 유충 10마리를 넣어 꿀벌부채명나방 유충에 선충을 접종하였다. 그 후 petri dish의 수분을 유지한 상태로 25°C에서 5~7일간 배양하였다. IIs의 수확을 위해 petri dish속에 시계침(φ 70 mm)을 놓고 여과지 1장을 증류수와 접촉할 수 있게 접은 후 그 위에 치사 유충 20마리를 올려 놓아 선충 수확용 white trap를 만들었다. Trap 설치 3~4일 경부터 약 10일 동안 수확하였다. 순수한 선충 현탁액을 만들

기 위해 수차례 세척한 감염대 선충(Figure 1)은 약 30,000/mL의 농도로 tissue culture flask(75 cm, 250 mL, Falcon)에 선충 현탁액의 깊이가 1 cm가 넘지 않게 넣고 10°C 냉장고에 넣어 보관하였다. 실험에 사용하기 30분 전에 실온에 꺼내 선충 활성을 회복시키고 현미경(×40) 하에서 선충의 수를 측정하였다.

복숭아심식나방에 대한 방제효과

실험에 이용된 복숭아심식나방 유충(Figure 2)은 농촌진흥청의 대우사과연구소(경상북도 군위)에서 사과나무에 피해를 입고 있는 과실로부터 5~6령의 유충을 채집하여 사용하였다. 선충은 90×15 mm 공기가 통하는 petri dish에 여과지를 깔고 1 mL 증류수를 주입한 후 *S. carpocapsae*를 유충 한 마리당 0, 5, 20, 80, 200마리 수준으로, *S. glaseri*는 0, 50마리 수준으로 1 mL 현탁액을 만들어 여과지 표면에 고루 뿌린 후 10마리씩의 나방 유충을 여과지 위에 놓고 3회 반복처리하였다. 그리고 25±1°C의 incubator에 보관하였으며 처리 2일 후 유충을 다른 petri dish에 옮긴 후 다음 5일째 유충 사체를 해부하여 현미경 하에서 선충에 의한 치사 여부를 확인하였다(11-12).

사과애모무늬잎말이나방 및 왕풍뎅이에 대한 방제효과

사과애모무늬잎말이나방(Figure 3)은 대우사과연구소에서 키우고 있는 사과나무에서 잎을 가해하고 있던 유충을 채집하여 사과나무 잎으로 사육한 3령 유충을 분양판이 사용하였다. 90×15 mm petri dish에 여과지를 깔고 *S. carpocapsae*와 *S. glaseri*를 유충 한 마리당 50마리 수준으로 1 mL 현탁액을 만들어 주입하였으며 10마리씩의 유충을 각각의 petri dish에 넣고 3회 반복처리하였다.

왕풍뎅이(Figure 4)는 경상북도 안동시 풍천면 기산리 일대의 사과 농장에서 사과나무 뿌리를 가해하고 있던 5~6령의 유충을 직접 채집하여 사용하였으며 3회 반복처리하였다. 곤충 병원성 선충은 petri dish(90×15 mm)에 여과지를 깔고 유충 한 마리당 *S. carpocapsae*는 0, 200, 400, 800 수준으로, *S. glaseri*는 0, 200, 400, 800 수준으로 1 mL 현탁액을 만들어 주입하였고, 수분의 증발을 막기 위해 0.02 mm polyethylene film bag에 넣어 25±1°C에 보관하였고, 처리 일주일 후 유충 사체를 해부하여 현미경 하에서 선충에 의한 치사 여부를 각각 확인하였다

선충의 종류별 침투력 조사

In vivo 배양조건에서 수확된 IIs의 침투력 정도를 측정하기 위하여 직경이 10 cm이고 높이가 20 cm인 모래 column(Figure 5)을 제작하였으며 꿀벌부채명나방 유충을 bait로 이용하였다. 5, 10, 15, 20 cm의 길이에 매 층마다 5마리씩 모두 20마리를 사용하였으며, 3회 반복실험하였다. 수분을 함유한 column 내부의 모래(7% w/w)는 체(2.5 mm)로 걸러 사용하였고 4개의 motility column(10×5 cm)에 모래를 채우고 각층의 바닥부분에 nylon mesh(250 μm)를 고정하여 유충의 이동을 막았다. *S. carpocapsae*와 *S. glaseri*, *S. monticola*종 선충 1000마리 IIs를 1 mL에 현탁하여 column의 상부 표면에 주입하고 25°C incubator에서 유충의 사멸상태를 조사하였다 48시간 후 사멸된 유충 수를 측정하였고 그 후 다시 48시간 후 유충을 해부하여 선충증식을 확인하였다.



Figure 1. Third-stage juveniles(J3) of *Steinernema glaseri* during *in vivo* cultuc

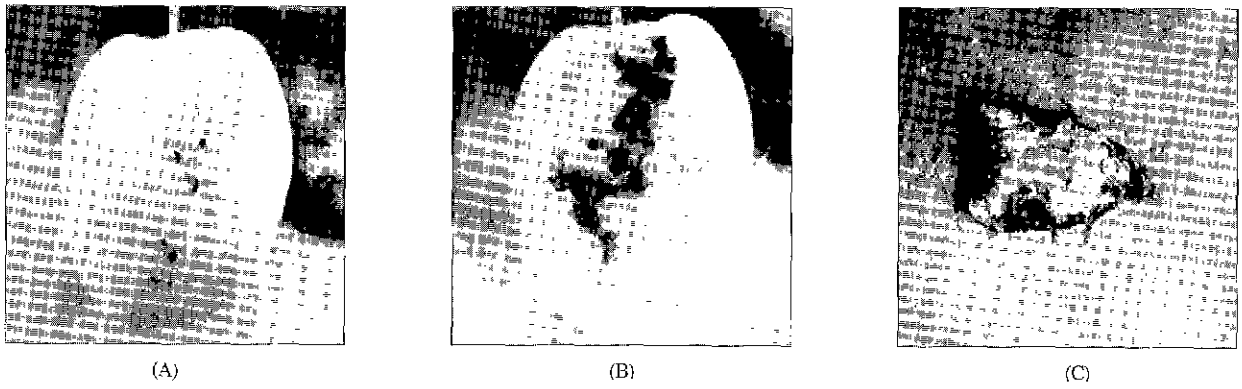


Figure 2. Life cycle of *Carposina sasaku* Walsingham (A) Damaged apple, (B) Larvae, (C) Adult

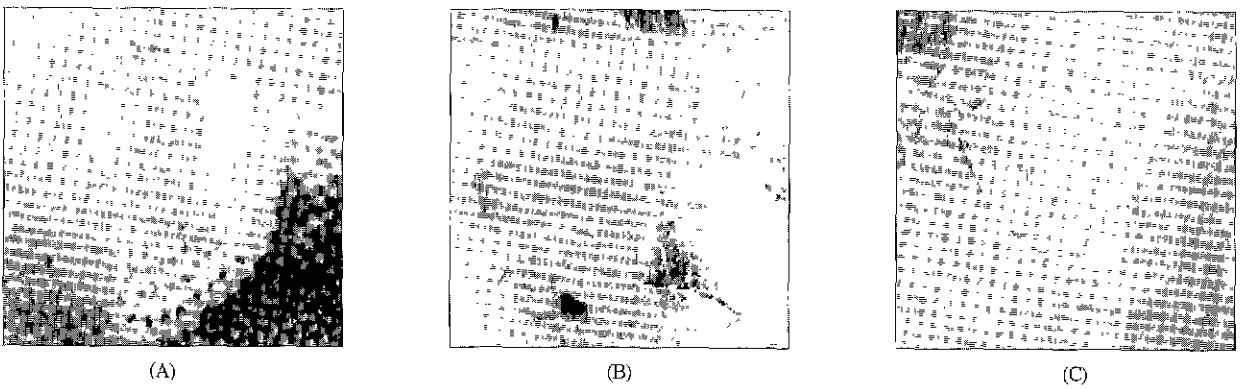


Figure 3. Life cycle of *Adoxophyes orana* Fischer von Reslerstamm (A) Egg, (B) Larva, (C) Adult

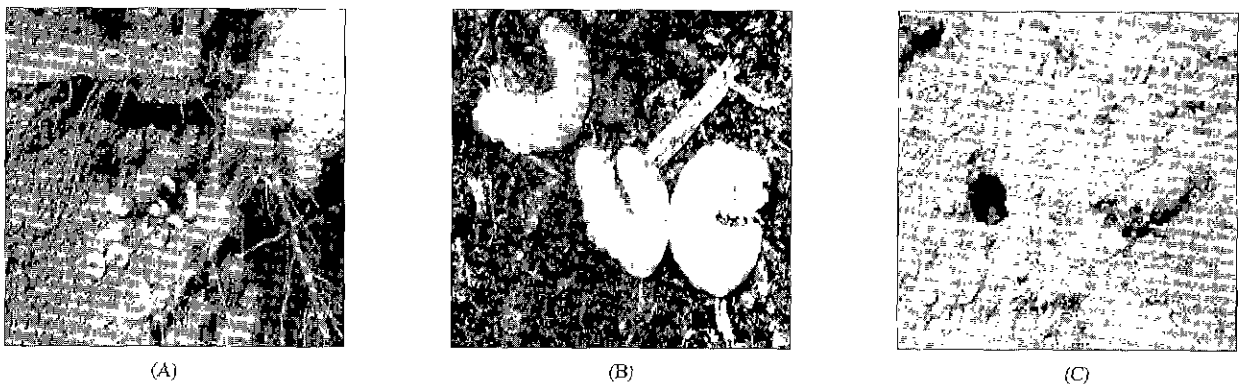


Figure 4. Life cycle of *Melotontha incana* (A) Damaged root, (B) Larvae, (C) Adult.

선충의 농도 및 온도별 침투력 조사

실험에 사용된 *S. carpocapsae*는 *in vivo* 배양조건에서 수확된 IJs를 사용하였다. 직경이 10 cm, 높이가 20 cm인 모래 column에서 꿀벌부채명나방 유충을 5, 10, 15, 20 cm의 깊이에 20마리를 각각 5마리씩 4개의 motility column(10×5 cm)에 3회 반복처리하여 유충사멸을 조사하였다. 선충농도에 따른 침투력 측정을 위하여 선충을 각각 200, 400, 1000, 2000마리의 IJs를 1 mL에 현탁하여 column의 상부 표면에 주입하고 25℃ incubator에서 유충의 사멸상태를 조사하였다. 48시간 후 사멸된 유충 수를 확인하였고 각 높이마다 살아있는 유충이 감염되었을 수도 있으므로 각각을 petri dish(90×15 mm)에 여과지를 깔고 놓아 둔 다음 다시 48시간 후 확인하였다.

온도의 영향을 조사하기 위해서는 선충 1000마리의 IJs를 1 mL에 현탁하여 25℃ incubator, 실온(18℃~26℃), 8℃, 4℃에서 column의 상부 표면에 각각을 주입하고 유충의 사멸상태를 각각 조사하였다. 8℃와 4℃에서는 저온으로 인해 유충이 사멸할 수도 있으므로 무처리구를 두어 관찰하였다. 48시간 후 사멸된 유충 수를 측정하였고 다시 48시간 후 유충을 해부하여 증식된 선충을 확인하였다.

결과 및 고찰

복숭아심식나방에 대한 방제효과

곤충병원성 선충 *S. glaseri*와 *S. carpocapsae*의 복숭아심식

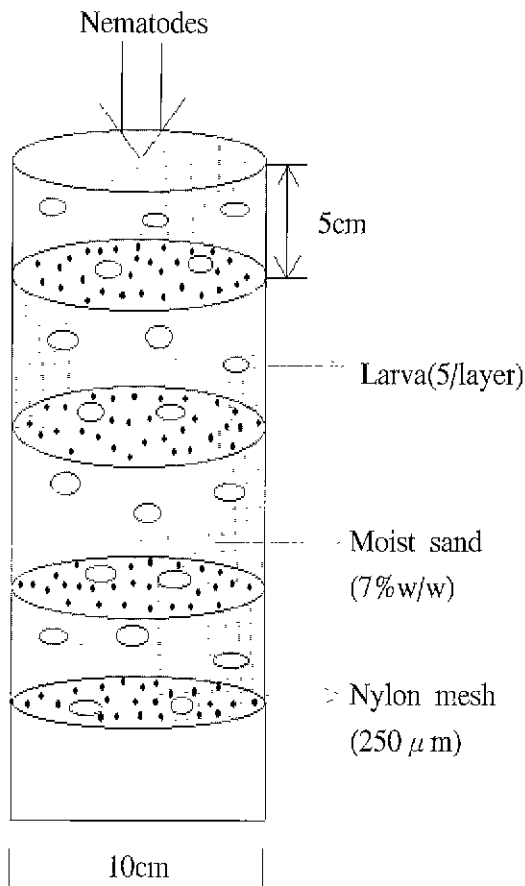


Figure 5. A schematic diagram of motility test column for *Stemernema* spp

나방에 대한 병원성 실험 결과를 Table 1에 나타내었다. 복숭아심식나방에 대한 부처리구에서는 치사가 없는 반면 *S. carpocapsae*의 처리구에서는 6령충에서 24시간 후에는 매우 낮은 치사율을 보였으나 48시간 후에는 100%의 치사율을 보였다. 반면 *S. glaseri*의 경우 감수성이 높아 24시간 후에 83.3 ± 5.8%의 높은 치사율을 보였으나 48시간 후에는 더 이상의 큰 차이를 보이지 않았으며 유충 사체를 해부한 결과 선충의 번식 능력도 다소 떨어지는 것으로 관찰되었다. 이 결과로 볼 때 복숭아심식나방의 경우 *S. carpocapsae*가 방제 효과가 높은 것으로 나타났다 한편 Table 2에서 보는 바와 같이 *S. carpocapsae* 선충 접종농도가 낮을수록 사멸 능력이 떨어지는 것으로 나타나 해충 방제시 선충의 농도를 높이는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 그러나 접종농도가 유충 한 마리당 80마리 이상의 농도에서는 큰 차이가 없기 때문에 이 80마리 정도의 접종농도가 적합한 것으로 나타났다. *S. carpocapsae*의 경우 Table 1과 2에서 선충 접종 24시간 경과 후 접종농도가 50마리(Table 1)와 20마리(Table 2)인 경우 선충농도가 감소하여도 치사율이 높은 차이를 보이는데 이것은 선충 접종 후 48시간 이내에서는 시간경과에 따른 치사율이 급격히 변화되며, 그에 따른 증가된 오차범위 때문으로 생각된다.

복숭아심식나방의 경우 6월 상순에서 8월 상순 사이에 과실을 직접 가해하고 과실에서 탈출한 유충이 지면에 떨어져 여름형 고치를 짓기 때문에 가해하는 시기와 함께 토양내로

Table 1. Percent mortality of peach fruit moth, *Carpocapsa sasakii* Walsingham larva exposed to entomopathogenic nematodes

Nematode	Dose of nematodes/larva	After 24hr	After 48hr
		% mortality ±SD	% mortality ±SD
<i>S. carpocapsae</i>	Control	0	0
	50	0	100
<i>S. glaseri</i>	Control	0	0
	50	83.3 ± 5.8	83.3 ± 5.8

Table 2. Mortalities of peach fruit moth, *Carpocapsa sasakii* Walsingham larvae as different number of *S. carpocapsae* inoculated per larva

Nematode	Dose of nematodes/larva	After 24hr	After 48hr	After 60hr
		% mortality ±SD	% mortality ±SD	% mortality ±SD
<i>S. carpocapsae</i>	Control	0	0	0
	5	0	33.3 ± 5.8	100
	20	33.3 ± 5.8	100	100
	80	100	100	100
	200	100	100	100

Table 3. Percent mortality of smaller tea tortrix, *Adoxophyes orana* Fisher von Roestlerstamm exposed to entomopathogenic nematodes

Nematode	Dose of nematodes/larva	After 24hr	After 48hr
		% mortality ±SD	% mortality ±SD
<i>S. carpocapsae</i>	Control	0	0
	50	46.7 ± 5.8	100
<i>S. glaseri</i>	Control	0	0
	50	33.3 ± 5.8	43.3 ± 5.8

이동하는 시기에 선충을 살포하면 방제가 가능할 것으로 보이나 방제의 가능성과 효율에 관해서는 앞으로 좀더 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

사과에모무늬잎말이나방 및 왕풍뎅이에 대한 방제효과

사과에모무늬잎말이나방에 대한 *S. carpocapsae*의 병원력은 높게 나타나 Table 3에서 보는 바와 같이 24시간 후에 46.7 ± 5.8%의 치사율을 나타내었고 48시간 후에는 100%의 치사율을 나타내었다. *S. glaseri*의 경우 24시간 후에 33.3 ± 5.8%의 치사율을 나타내었고 48시간 후에는 43.3 ± 5.8%의 치사율을 나타내어 *S. carpocapsae*에 비교해서 다소 낮은 방제효과를 보였다. 이 결과로 볼 때 사과에모무늬잎말이나방에 대해서도 *S. carpocapsae*가 효과적이며, 향후 해충 방제를 위해 실용화될 수 있을 것으로 기대된다.

사과에모무늬잎말이나방은 유충으로 월동한 후 5월 중순부

Table 4. Motilities of various entomopathogenic nematodes.

Nematode	Length (μm)	Dose of nematodes/larva	% mortality \pm SD			
			0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm	15~20 cm
<i>S. glaseri</i> -DR	890 \pm 138	50	100	100	100	73.3 \pm 5.8
<i>S. glaseri</i> -NC	980 \pm 123	50	100	100	100	83.3 \pm 5.8
<i>S. glaseri</i> -MK	590 \pm 30	50	100	100	100	60.0 \pm 5.8
<i>S. monticola</i>	960 \pm 80	50	100	100	76.7 \pm 5.8	76.7 \pm 5.8
<i>S. carpocapsae</i>	590 \pm 30	50	100	100	100	13.3 \pm 5.8
w/o nematode		Control	0	0	0	0

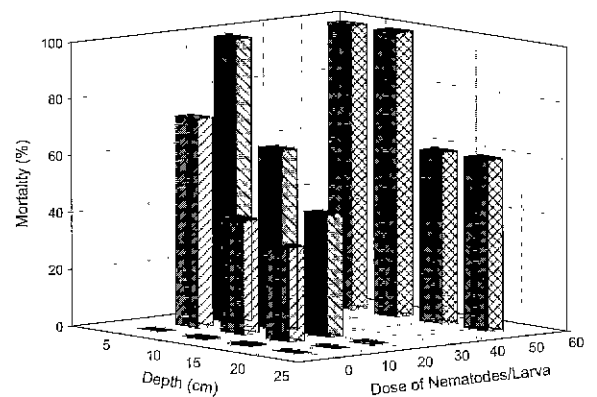
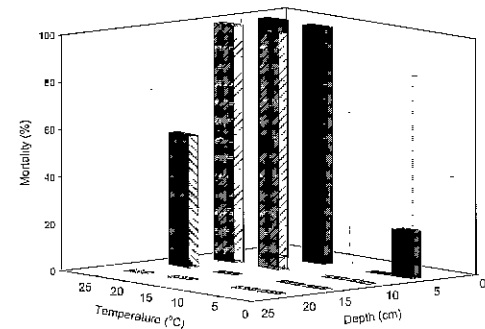
터 10월 중하순까지 연간 3~4회 발생하므로 복숭아심식나방과 함께 그 처리 시기를 적절히 조절할 수 있다. 한편 안동에서 채집된 5~6령 사이의 왕풍뎡이 유충의 경우 몸집이 너무 커서(2~3 cm) *S. glaseri*와 *S. carpocapsae* 모두에 대해 유충 한 마리당 800마리의 높은 선충 농도에서도 병원력이 없는 것으로 확인되었다(data not shown). 그러나 실제 피해는 2~3령의 유충이 땅속에서 서식하며 사과나무 등의 뿌리를 가해하므로 더 어린 령의 유충을 채집하여 병원성을 다시 검증하여야 할 것으로 사료된다.

곤충병원선충의 침투력 조사

꿀벌부채명나방의 유충을 이용하여 곤충병원성 선충 *Steinernema* 종별 침투능력을 측정된 결과를 Table 4에 나타내었다. 사과원 해충에 우수한 병원력을 나타낸 *S. carpocapsae* 처리구에서는 15 cm 깊이까지는 100%의 치사율을 보였으나, 15 cm에서 20 cm 사이에서 침투능력이 급격히 떨어지면서 13.3 \pm 5.8%의 치사율을 보였다. 반면에 *S. glaseri* 종의 처리구는 15 cm까지 모두 100%의 치사율을 보였으며 15~20 cm에서도 평균 72.2 \pm 11.1%의 치사율을 보였다. *S. monticola*의 경우 10 cm까지 100% 치사율을 보인 반면 10~20 cm 사이에서 깊이에 관계없이 76.7 \pm 5.8%의 치사율을 보였다. 이상의 결과에서 곤충병원성 선충의 토양 침투능력은 선충의 크기에 관계없이 *S. glaseri*(590 \pm 30~980 \pm 123 μm) 종이 가장 뛰어나며 그 다음으로 *S. carpocapsae*(590 \pm 30 μm)와 *S. monticola*(960 \pm 80 μm)의 순으로 나타났다.

선충 살포시 유충 한 마리당 선충 접종농도에 따른 *S. carpocapsae*의 침투력 변화를 Figure 6에 나타내었다. 토양깊이가 증가할수록 꿀벌부채명나방의 치사율은 감소하는 경향을 보여 선충 접종농도가 유충 한 마리당 10마리인 경우 0~5 cm에서 73.3 \pm 5.8%의 치사율이 5~10 cm에서 40.0 \pm 10%, 10~15 cm에서 33.3 \pm 5.8%로 감소되었으며 15~20 cm에서는 한 마리의 유충도 죽지 않은 것으로 나타났다. 그러나 유충당 선충 접종농도가 증가할수록 선충의 침투력은 향상되어 유충당 선충 50마리에서 10 cm까지는 100%의 치사율을, 15~20 cm에서도 60 \pm 10%의 높은 치사율을 보였다.

온도에 따른 *S. carpocapsae*의 침투력 변화를 Figure 7에 나타내었다. 꿀벌부채명나방 유충은 4°C와 8°C 무처리구에서는 활동하지 않는 것으로 관찰되었으며, 따라서 선충의 침투력도

Figure 6. Motilities of *S. carpocapsae* at various nematode doses inoculated per *G. mellonella* larvaFigure 7. Motilities of *S. carpocapsae* at various temperatures

거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 온도가 증가됨에 따라 실온(18°C~26°C) 처리구와 25°C 처리구에서는, 10 cm까지 100%의 완전 치사율을 보였으며, 15 cm에서 25°C 처리구가 56.7 \pm 5.8%의 치사율을 보인 반면 온도의 변화가 있는 실온 처리구에서는 침투능력이 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 대부분의 유충이 땅속 10~20 cm 깊이에서 서식하기 때문에 보다 완벽한 해충방제를 위해서는 토양침투율을 더 높일 필요가 있다. 최근 연구 결과에 의하면 선충의 지방 함유량에 따라 저장, 침투력, 토양내 존속기간 등이 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(13-15). 따라서 선충의 *in vitro* 대량 배양시 배지 성분(16)을 적절히 조절함으로써 선충의 침투력이나 환경

요인에 대한 적응력을 더 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이상의 결과에서 곤충병원성 선충의 토양 속에서의 침투력은 유충당 선충농도와 온도에 민감하게 변화되어 해충 방제 효과를 더 높이기 위해서는 실제 야외에서 이 밖의 여러 환경 요인과 선충의 종류, 살포지역, 시기 및 기주에 따른 살포 방법등에 대해서도 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

결 론

사과원 병해충인 복숭아심식나방과 사과애모무늬일말이나방, 왕풍뎡이에 대한 곤충병원성 선충의 살충력과 토양에 대한 선충의 침투력을 조사한 결과, 최적 선충의 종류, 농도, 기주 종류, 유충당 선충 접종농도 및 온도조건을 확립할 수 있었다.

복숭아심식나방과 사과애모무늬일말이나방의 2-3령 유충에 대해 *Steinernema carpocapsae*종의 선충이 병원성이 가장 뛰어난 것으로 나타났으나 5-6령의 왕풍뎡이의 경우 병원력이 없는 것으로 판명되었다. 또한 침투력 실험의 결과를 통하여 국내 토양에서 분리된 *Steinernema*속 곤충병원성 선충들이 기주 탐색 능력도 매우 뛰어나고 해충을 빠른 속도로 치사시켜 토양에 서식하는 병해충 방제에 매우 효과적임을 확인하였다. 따라서 이들 곤충병원성 선충은 우선 유충기의 일부를 땅속에서 지내는 과수원 해충방제에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

복숭아심식나방, 사과애모무늬일말이나방 그리고 왕풍뎡이는 전국에 퍼져있는 주요 사과원 해충들이다. 본 연구에서는 국내에서 분리된 곤충병원성 선충인 *Steinernema carpocapsae* 와 *Steinernema glaseri*종을 이용하여 이들 사과원 병해충에 대한 방제효과를 조사하였다. 복숭아심식나방의 경우 *S. carpocapsae*를 유충 한 마리당 80마리의 농도로 처리했을 때 24시간 후에 100%의 치사율을 보였으나 *S. glaseri*의 경우 유충 한 마리당 50마리의 농도로 처리했을 때 48시간 후에도 83.3±5.8%의 치사율을 보였다. 사과애모무늬일말이나방의 경우 50마리/mL 선충농도로 처리하였을 때 48시간 후에 *S. carpocapsae*와 *S. glaseri*의 처리구는 각각 100%와 43.3±5.8%의 치사율을 보였다. 그러나 왕풍뎡이 5~6령충의 경우 유충 한 마리당 200~800마리까지 *S. carpocapsae*와 *S. glaseri*를 처리하였으나 병원성이 없는 것으로 나타났다 선충의 토양 침투력은 유충 한 마리당 선충 접종농도가 증가할수록, 그리고 온도가 높을수록 증가되어 25℃, 50마리/mL 처리구에서 *S. carpocapsae*가 10 cm 깊이까지는 100%의 치사율을, 16~15cm 깊이에서는 56.7±5.8%의 치사율을 보였다.

감 사

본 연구는 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구조성비(생물 화학공학 연구)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 사과원 병해충 수집에 많은 도움을 주신 대구사과연구소의

이순원 박사와 최경희 박사께 감사드립니다. 또한 논문작성에 도움을 준 생물화학실험실의 김효현 군과 김옥수 군에게 감사한다.

REFERENCES

1. Poinar, G. O. Jr. (1975), Entomopathogenic nematodes, *E. J. Brill, Leiden, Netherlands*
2. Gaugler, R. and H. K. Kaya (1990), Entomopathogenic nematodes in biological control, p365, CRC press, Florida
3. Poinar, G. O. Jr. and H. Hansson (1986), Infection of *Neoplectana* and *Heterorhabditis* with the predatory fungi, *Monacrosporium ellipsosporum* and *Arthrobotrys oligospora* (Moliales: Deuteromycetes). *Rev. Nematol.* **9**, 241-244.
4. Thomas, G. M. and G. O. Jr. Poinar (1979), *Xenorhabdus* gen. nov., a genus of entomopathogenic, nematophilic bacteria of the family Enterobacteriaceae, *Int. J. Syst. Bacteriol.* **29**, 352-360.
5. Poinar, G. O. Jr. (1986), Entomophagous Nematodes, In Biological Plant and Health Protection, p95, G. Fischer, New York.
6. Poinar, G. O. Jr. (1979), Nematodes for biological control of insects, p277, CRC press, Florida
7. Akhurst, R. J. and M. E. Boemare(1990), Entomopathogenic nematodes in biological control, p75, CRC Press, Florida.
8. Bird, A. F. and R. J. Akhurst (1983), *Int. J. Parasitol.* **13**, 599-606.
9. Park, S. H. and D. W. Kim (1998), Environmentally friendly biopesticide using entomopathogenic nematodes, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **12**(3), 261-268.
10. Kim, D. W. and S. H. Park (1998), Culture condition of entomopathogenic nematodes using *Galleria mellonella* larva, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **13**(1), 31-37.
11. Appel, A. G., E. P. Benson, J. M. Ellenberger, and S. A. Manweiler (1993), Laboratory and field evaluation of an entomogenous nematode (Nematoda: Steinernematidae) for german cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) control. *J. Economic Entomology*, **86**(3), 777-784.
12. Choo, H. Y., H. K. Kaya, S. M. Lee, T. O. Kim, J. B. Kim (1991), Laboratory evaluation of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* and *Heterorhabditis bacteriophora* against some forest insect pests, *Korean J. Appl. Entomol.* **30** (4), 227-232
13. Molyneux, A. S. (1985), Survival of infective juveniles of *Heterorhabditis* spp. and *Steinernema* spp. at various temperature and their subsequent infectivity for insects, *Rev. Nematol.* **8**, 165-170.
14. Gaugler, R. and R. Georgis (1991), Culture method and efficacy of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae). *Biol. Control* **1**, 269-274.
15. Westerman, P. R. and M. Stapel (1992), Linear regression models describing the performance of the insect parasitic nematode, *Heterorhabditis* sp., during storage, *Fundam. Appl. Nematol.* **15**, 525-530
16. Yang, H., H. Jian, S. Zhang (1997), Quality of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* produced on different media, *Biological Control* **10**, 193-198.