

곤충병원성 선충을 이용한 홍가슴루리등에잎벌(*Arge captiva*), 장미등에잎벌(*Arge pagana papana*) 및 극동등에잎벌(*Arge similis*)의 생물적 방제

양재윤¹ · 김형환² · 이동운^{3*} · 이상명⁴ · 신현철⁴ · 추호렬¹

¹경상대학교 응용생명과학부, 농업생명과학연구원, ²원예연구소 원예환경과, ³상주대학교 생물응용학과, ⁴국립산림과학원 남부산림연구소

Biological Control of *Arge Captiva*, *Arge Pagana Papana*, and *Arge Similis* with Entomopathogenic Nematodes

Jae Yun Yang¹, Hyeong Hwan Kim², DongWoon Lee^{3*}, Sang Myeong Lee⁴, Hyeon Chul Shin⁴ and Ho Yul Choo¹

¹Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

²Horticultural Environment Division of National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

³Department of Applied Biology, Sangju National University, Sangju 742-711, Korea

⁴Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

요 약: 홍가슴루리잎벌(*Arge captiva*)과 장미등에잎벌(*A. pagana pagana*), 극동등에잎벌(*A. similis*)의 환경친화적 방제를 위하여 곤충병원성 선충(*Heterorhabditis* sp. 경산 계통, *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통, *S. feltiae* Monteri 계통, *S. glaseri* 동래 계통, *S. longicaudum* 논산 계통, *S. monticolum* 지리 계통)을 이용하여 실내와 포트에서 실험을 수행하였다. 홍가슴루리잎벌 3령충에 대한 곤충병원성 선충의 병원성은 *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. feltiae* Monteri 계통 처리 시, 처리 5일 후 100%의 치사율을 보였다. 홍가슴루리잎벌레 3령충에 침입한 선충의 수는 *S. glaseri* 동래 계통의 경우 10.2마리였으며 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 4.2마리였다. 장미등에잎벌의 령기별에 따른 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 병원성은 노숙화 될수록 높아 2령충과 3령충, 4령충에 대한 반수치사농도(LC₅₀)는 각각 11.5, 9.3, 8.4 마리였다. Pot 실험에서 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 2×10⁹ 마리/ha 농도로 처리 시, 홍가슴루리잎벌과 장미등에잎벌, 극동등에잎벌의 보정사충율은 각각 72.5, 85.0, 85.0%를 나타내었다.

Abstract: Entomopathogenic nematodes (*Heterorhabditis* sp. Gyeongsan strain, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain, *S. feltiae* Monteri strain, *S. glaseri* Dongrae strain, *S. longicaudum* Nonsan strain and *S. monticolum* Jiri strain) were evaluated for the environmentally sound control of sawfly, *Arge captiva*, *A. pagana pagana* and *A. similis* in the laboratory and pot. The corrected mortality of 3rd instar of *Arge captiva* larva was 100% at 5 days after treatment with *S. carpocapsae* GSN1 strain and *S. feltiae* Monteri strain in Petri dish. The mean numbers of established infective juveniles (Ijs) of *S. glaseri* Dongrae and *S. carpocapsae* GSN1 strain in a *Arge captiva* larva were 10.2 and 4.2 Ijs/larva, respectively. Pathogenicity of *S. carpocapsae* GSN1 strain was different larval stage, i.e., LC₅₀ value of *S. carpocapsae* GSN1 strain against 2nd, 3rd and 4th instar of *A. pagana pagana* was 11.5, 9.3, and 8.4 Ijs, respectively. Mortality of *Arge captiva*, *A. pagana pagana* and *A. similis* were 72.5, 85.0 and 85.0% by *S. carpocapsae* GSN1 strain at the 2×10⁹ Ijs/ha, respectively, in the pot.

Keywords : Entomopathogenic nematode, Japanese elm saw fly, rose argid sawfly, azalea argid sawfly, biological control, *Steinernema carpocapsae*

서 론

장미등에잎벌(*Arge pagana papana*)은 장미, 짚레나무,

해당화 등을 가해하며 홍가슴루리등에잎벌(=느릅나무등에잎벌, *Arge captiva*)은 느릅나무, 참느릅나무, 비술나무, 당느릅나무, 난티나무 등을 극동등에잎벌(*Arge similis*)은 진달래, 영산홍, 장미 등의 잎을 가해하며 피해가 심할 경우 주맥만 남겨 나무를 벌거숭이로 만드는 경우가 많다

*Corresponding author
E-mail: dwlee@sangju.ac.kr

(이범영과 정영진, 1997). 3종의 잎벌은 벌목(Hymenoptera) 등에잎벌과(Argidae)에 속하며 알에서 부화한 유충들은 신초부위의 잎을 무리지어 가해하기 때문에 피해가 심하고, 분산이후에는 방제에 어려움이 있다. 장미등에잎벌은 연 3회 발생하고, 홍가슴루리등에잎벌은 연 2회, 극동등에잎벌은 연 3-4회 발생한다(최귀문 등, 1992; 이범영과 정영진, 1997). 장미등에잎벌이나 극동등에잎벌은 장미를 대량으로 재배하는 온실이나 조립지에서는 농약살포가 잦기 때문에 발생이 적은 반면에 도심 내 울타리나 가정용 정원수 및 조경용으로 식재되어 있는 장미나 진달래에는 발생이 많아 조경수로서 기능을 저하시킬 뿐만 아니라 신초의 시들음으로 인하여 생장에 지장을 초래하기도 한다. 이들의 방제는 살충제를 추천하고 있으나(이범영과 정영진, 1997) 등록된 살충제는 없는 실정이다(한국작물보호협회, 2006). 한편 가정용 조경수나 실내 관상용 식물에 이들 해충이 발생할 경우 농약의 살포는 제한적인데 특히 분재용으로 아파트와 같은 실내 주거공간의 경우 농약 사용에 대한 거부감이 높다. 따라서 소규모 정원이나 실내 공간에서 효율적으로 이들 잎벌류를 방제할 수 있는 새로운 방제 인자의 개발이 필요한 데 곤충병원성 선충은 인·축에 해가 없고, 기주범위가 넓으며 선충의 종에 따라 기주 탐색능력이 뛰어나 수목의 식엽성 해충은 물론 과실 내 및 토양 등 농약의 효과가 미치지 못하는 공간에서도 살충효과가 높아 생물적 방제 인자로 적합하면서 활용 가치가 높은 천적이다(Poinar *et al.*, 1983; Nickle, 1984).

이와 같은 천적으로서의 우수성으로 인하여 국내에서도 오리나무잎벌레(*Agelastica coerulea*)나 회암목명나방(*Glyphodes perspectalis*), 노랑털알락나방(*Pryeria sinica*), 밤바구미(*Curculio sikkimensis*), 복숭아명나방(*Dichocrocis punctiferalis*), 잣나무넓적잎벌(*Acantholyda parki*), 미국흰불나방(*Hyphantria cunea*)(추호렬 등, 1991, 1995; 이상명 등, 1997; 박형순 등, 2004)등과 같은 산림해충에서도 방제 가능성에 대한 연구가 수행된 바 있다. 그러나 곤충병원성 선충은 주로 나비목(Lepidoptera)과 딱정벌레목(Coleoptera) 및 파리목(Diptera) 해충에 한정되어 연구가 수행되어 왔으며 등에잎벌과(Argidae)에 대한 연구는 Jaroz와 Andrejko(1993)가 *Arge berberidis* 유충에 대한 생물검정만을 수행한 바 있다. 또한 대부분의 경우들이 주로 실내실험 위주로 수행되었다.

따라서 본 연구는 가정용 정원이나 분재소재로 활용되고 있는 장미나 느릅나무, 진달래나 영산홍 등에 발생하여 많은 피해를 주고 있는 등에잎벌과에 속하는 주요 해충인 장미등에잎벌과 홍가슴루리등에잎벌 및 극동등에잎벌 유충에 대한 환경친화적 방제 가능성을 알아보기 위하여 국내 토착 곤충병원성 선충을 중심으로 실내에서 병원성을 검정하였으며 병원성이 우수한 *S. carpocapsae* 포천

계통을 이용하여 pot 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 곤충병원성 선충

실험에 이용한 곤충병원성 선충은 국내 토착 선충들 중, 선행연구들에서 병원성 검정에 주로 이용한 *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통과 *S. glaseri* 동래 계통, *S. longicaudum* 논산 계통, *S. monticolum* 지리 계통 및 *Heterorhabditis* sp. 경산 계통의 5종과 국내에서 미발견된 *S. feltiae* Monteri 계통을 이용하였는데 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 노숙유충에서 Dutky 등(1964)의 방법으로 대량증식하여 사용하였다. 증식된 선충은 White trap을 이용하여 수확한 후 약 10,000마리/ml 농도로 600 ml 용량의 tissue culture container(Corning, USA)에 50 ml씩 넣어 10°C 냉장고에 보관하였다. 실험에는 수확한지 14일 이내의 선충을 이용하였다(Kaya와 Stock, 1997).

2. 장미등에잎벌, 홍가슴루리등에잎벌 및 극동등에잎벌

장미등에잎벌은 야외에서 장미와 찔레나무를 가해하고 있는 유충을 곤충사육상자(30×30×28.5 cm)에 넣고, 장미의 신초부분을 잘라 먹이로 공급하면서 2일간 관찰 후 병원성 미생물 및 천적 기생봉에 감염되지 않은 건강한 유충만을 실험에 이용하였다. 홍가슴루리등에잎벌은 느릅나무 잎을 가해하고 있는 유충을 채집하여 느릅나무 잎을 먹이로 공급하면서 장미등에잎벌과 동일한 방법으로 실험에 이용하였다. 극동등에잎벌은 진달래를 가해하고 있던 유충을 야외에서 채집하여 실내로 가져와 진달래 잎을 공급하면서 장미등에잎벌과 동일한 방법으로 실험에 이용하였다.

3. 실내실험

1) 곤충병원성선충별 병원성 검정 및 선충의 침입수

곤충병원성선충의 종에 따른 병원성의 검정은 홍가슴루리등에잎벌을 이용하였다. 플라스틱 페트리디쉬(직경 8.5 cm, 높이 1.5 cm)에 여과지(Whatmann #2) 2장을 깔고, 곤충병원성 선충을 250마리 농도로 1 ml씩 마이크로피펫으로 고루 접종한 후, 실내에서 사육 중이던 홍가슴루리등에잎벌 3령충을 5마리씩 방사하고, 먹이로서 느릅나무 잎과 줄기를 함께 5 cm 길이로 잘라 넣었다. 무처리는 살균수만 1 ml 처리하였다. 실험에 이용한 곤충병원성 선충은 *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. feltiae* Monteri 계통, *S. glaseri* 동래 계통, *S. longicaudum* 논산 계통, *S. monticolum* 지리 계통 및 *Heterorhabditis* sp. 경산 계통이었다. 선충 처리 후 페트리디쉬를 랩으로 싨 다음 25±3°C 실온에 두고, 선충 접종 후 24시간간격으로 7일 동안 선

충에 의한 홍가슴루리등애잎벌 유충의 치사유무를 육안 및 해부현미경상에서 조사하였다. 실험은 1반복당 유충 10마리를 이용하였으며 4반복으로 수행하였다. 한편 곤충병원성 선충에 의해 치사된 홍가슴루리등애잎벌은 치사 당일 해부현미경하에서 해부하여 기주에 침입한 곤충병원성 선충의 수를 조사하였다.

2) 기주의 령기별에 따른 곤충병원성선충의 병원성

플라스틱 페트리디쉬(직경 5.5 cm, 높이 1.5 cm)에 직경 5.0 cm 여과지 2장을 깔고, 장미등애잎벌 처리구에는 장미 잎을 먹이로 넣어주었으며 홍가슴루리등애잎벌 처리구에는 느릅나무 잎을, 극동등애잎벌 처리구에는 진달래 잎을 가지와 함께 5 cm 길이로 잘라 넣었다. 여기에 야외에서 채집하여 실내에서 사육 중이던 등애잎벌류 2, 3, 4 령충 유충을 각각 한 마리씩 구분하여 넣었다. 병원성 검증 실험에서 홍가슴루리등애잎벌에 병원성이 가장 높았던 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 5, 10, 20, 40, 80 마리 농도로 마이크로피펫으로 0.5 ml 씩 처리하였다. 무처리구는 살균수만을 0.5 ml 처리하였다. 선충 처리 후 페트리디쉬를 랩으로 싼 다음 25°C, 상대습도 70%, 16L:8D 광주기 조건의 항온기에 넣었다. 선충 접종 후 24시간 간격으로 5일 동안 선충에 의한 각각의 잎벌 유충 치사유무를 육안 및 해부현미경상에서 확인하였다. 실험은 10마리 유충을 4회 반복하였다.

4. 포트 실험

곤충사육용 아크릴 상자(가로 30 cm, 세로 30 cm, 높이 28.5 cm)내에 잎벌류의 기주식물이 수삼 된 삼각플라스틱을 넣고, 등애잎벌류를 인위로 접종한 후 곤충병원성 선충을 접종하여 치사유무를 조사하였다. 장미등애잎벌에 대한 실험은 장미를 20 cm 길이로 잘라 250 ml의 물이 담긴 250 ml 삼각플라스틱에 솜으로 가지의 1/3 부분을 싸서 삼각플라스틱의 입구에 고정시켜 사용하였고, 홍가슴루리등애잎벌 실험은 느릅나무 가지를 이용하였으며 극동등애잎벌 실험은 진달래 가지를 잘라 상위 10 잎을 남기고 제거한 후 가지를 삼각플라스틱의 입구에 고정시켜 사용하였다. 삼각플라스틱 1개를 각 곤충사육 상자에 넣고, 각각의 등애잎벌 2-4령충을 령기의 구분 없이 10마리씩 각 삼각플라스틱의 기주식물 잎에 부착시켰다. 유충이 잎에 완전히 정착한 후 각 상자에 곤충병원성 선충을 1.8×10^5 마리(2×10^6 마리/ha), 6×10^4 마리(6.6×10^8 마리/ha), 2×10^4 마리 (2.2×10^8 마리/ha) 농도로 50 ml 물량으로 200 ml 부피의 가정용 소형분무기를 이용하여 살포하였다. 무처리는 살균수 50 ml만을 살포하였다. 선충 처리 후 곤충사육 상자는 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $70 \pm 5\%$, 16L:8D 광주기 조건의 성장상에 넣은 다음, 처리 후 5일째 유충의 치사유

무를 조사하였다. 실험은 한 개의 상자를 1반복으로 4반복하였다.

5. 통계분석

곤충병원성 선충의 등애잎벌류 유충에 대한 실내와 야외실험의 결과는 arcsin으로 변환시켜 Tukey test로 처리평균간 차이를 분석하였으며(PROC ANOVA) 무처리구의 치사율과 비교한 보정치사율 $\left\{ \frac{[\text{처리구 치사율}(\%)] - [\text{무처리구 치사율}(\%)]}{[100 - \text{무처리구 치사율}(\%)]} \times 100 \right\}$ 로 전환하여 표기하였고(Abbott, 1925), pot실험의 결과는 선충의 접종농도와 잎벌류 령기가 치사율에 미치는 영향은 요인분석 하였으며 병원성은 probit분석으로 만수치사농도(LC₅₀)를 구하였다(PROC PROBIT)(조인호, 1996).

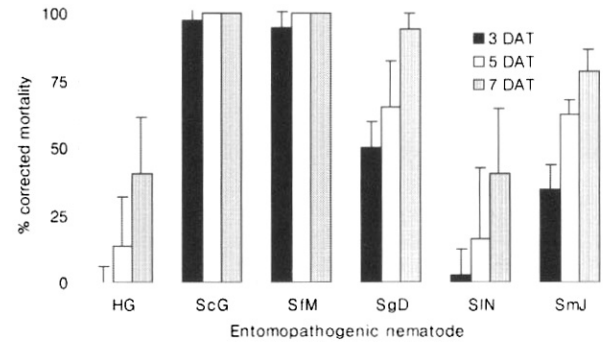


Figure 1. Mortality of 3rd instar of *Arge captiva* following exposure to entomopathogenic nematodes at concentration of 250 infective juveniles/10 larva/Petri dish on three, five and seven days after treatment. HG, *Heterorhabditis* sp. Gyeongsan strain; ScG, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain; SfM, *S. feltiae* Monteri strain; SgD, *S. glaseri* Dongrae strain; SIN, *S. longicaudum* Nonsan strain; SmJ, *S. monticolum* Jiri strain. Bars on each graph indicated standard deviation (P<0.05).

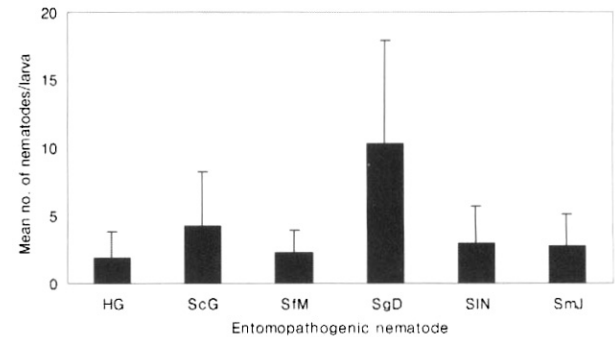


Figure 2. Mean establish number of infective juveniles of entomopathogenic nematode in 3rd instar of *Arge captiva* larva in Petri dish. Entomopathogenic nematodes inoculated 250 infective juveniles/10 larva in each Petri dish. HG, *Heterorhabditis* sp. Gyeongsan strain; ScG, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain; SfM, *S. feltiae* Monteri strain; SgD, *S. glaseri* Dongrae strain; SIN, *S. longicaudum* Nonsan strain; SmJ, *S. monticolum* Jiri strain. Bars on each graph indicated standard deviation (P<0.05).

결 과

1. 곤충병원성선충별 병원성 검정

홍가슴루리등애잎벌에 대한 곤충병원성 선충의 효과는 Figure 1과 같았다.

홍가슴루리등애잎벌에 대한 곤충병원성 선충의 병원성은 *S. carpocapsae* GSN1 계통이 가장 높아 접종 3일째에 97.4% 이었고(df=6,21, F=45.4, P=0.0001), 접종 5일째 이후는 *S. carpocapsae* GSN1 계통과 *S. feltiae* Monteri 계통의 살충율이 100% 였다(접종 5일 후: df=6,21, F=24.1, P=0.0001, 접종 7일 후: df=6,21, F=35.7, P=0.0001). 반면 *S. longicaudum* 논산 계통과 *Heterorhabditis* sp. 경산 계통은 접종 7일째에도 살충율이 40.5%로 낮았다.

홍가슴루리등애잎벌에 침입한 선충의 수는 *S. glaseri* 동래 계통이 10.2마리로 가장 많았으며 병원성이 높았던 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 4.2마리, 낮은 병원성을 보인 *Heterorhabditis* sp. 경산 계통은 1.9마리였다(df=5, 178, F=18.14, P=0.0001) (Figure 2).

Table 1. Analysis of variance for main effects and interaction of nematode concentration and stage of host insect on pathogenicity of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain against *Arge captiva*, *Arge pagana papana* and *Arge similis* in Petri dish.

Source of variance	df	Mean square	F value	Pr>F
<i>Arge captiva</i>				
Nematode concentration (N)	4	8994.2	351.95	0.0001
Stage of host insect(S)	2	95.0	3.72	0.032
N×S	8	17.9	0.7	0.6888
<i>Arge pagana papana</i>				
Nematode concentration(N)	4	9697.5	260.53	0.0001
Stage of host insect(S)	2	271.7	7.3	0.0018
N×S	8	36.3	0.97	0.4684
<i>Arge similis</i>				
Nematode concentration(N)	4	9615.0	339.35	0.0001
Stage of host insect(S)	2	81.7	2.88	0.0664
N×S	8	15.0	0.53	0.828

Table 2. Lethal concentration against *Arge captiva*, *Arge pagana papana* and *Arge similis* as determined by Petri dish bioassay for the infective juveniles of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain.

Insect instar	LC ₅₀ *(95% fiducial limits)		
	<i>Arge captiva</i>	<i>Arge pagana papana</i>	<i>Arge similis</i>
2nd	7.8(5.9-9.6)	11.5(8.8-14.3)	7.9(6.2-9.5)
3rd	6.9(5.2-8.4)	9.3(7.0-11.5)	7.2(5.6-8.7)
4th	6.9(5.4-8.4)	8.4(6.1-10.7)	6.8(5.2-8.2)

*LC₅₀ was expressed as number of infective juveniles per larva. Mortality was checked everyday for 5 days after nematode inoculation.

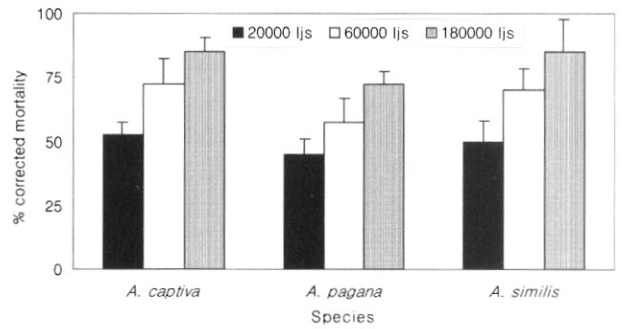


Figure 3. Efficacy of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain against larva of *Arge captiva*, *A. pagana pagana* and *A. similis* on five days after treatment in the pot. Bars on each graph indicated standard deviation (P<0.05).

2. 기주의 령기별에 따른 곤충병원성선충의 병원성

선충의 접종농도와 기주의 령기는 선충의 병원성에 영향을 미쳤다(Table 1, 2).

선충의 접종농도가 높을수록 실험에 이용한 등애잎벌류의 치사율이 증가하였다. 반면 기주곤충의 령기별에 따른 선충의 병원성은 2령충에 비하여 3령충이나 4령충에서 비교적 높았으나 극동등애잎벌의 경우 령기별로 큰 차이를 보이지는 않았다.

홍가슴루리등애잎벌에 대한 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 LC₅₀은 2령충에서는 7.8마리였으며 3령충과 4령충에서는 6.9마리였다. 잎벌 종류별로는 장미등애잎벌이 홍가슴루리등애잎벌이나 극동등애잎벌에 비하여 *S. carpocapsae* GSN1 계통에 낮은 병원성을 보였다.

3. 포트실험

Pot실험에서도 곤충병원성 선충의 처리 농도가 높을수록 잎벌의 방제효과는 높게 나타났다(Figure 3).

180,000마리/pot(=2×10⁶마리/ha) 처리가 20,000마리/pot 처리나 60,000마리/pot 처리에 비하여 치사율이 높았으며 장미등애잎벌(df=3, 12, F=87.28, P=0.0001)에 비하여 홍가슴루리등애잎벌(df=3, 12, F=108.76, P=0.0001)이나 극동등애잎벌(df=3, 12, F=30.67, P=0.0001)에 대한 치사율이 높았다.

고 찰

홍가슴루리등애잎벌 유충 방제에 적합한 곤충병원성 선충은 *S. carpocapsae*나 *S. feltiae*였다. 이 선충들은 처리 3일 만에 90% 이상의 유충 치사율을 보여 신속하고, 높은 병원성을 보였다. 반면 *Heterorhabditis* sp. 경산 계통이나 *S. longicaudum* 논산계통은 처리 7일 후에도 40% 내외의 유충 치사율을 보였다. 이러한 병원력의 차이는 곤충병원성 선충 자체의 기주 침입능력이나 공생세균의 병원성 또

는 대상 해충별로 면역반응의 차이 등에 기인하는 것으로 알려져 있다(Yeh and Alm, 1992; Wang *et al.*, 1995; Saunders and Webster, 1999; Lewis, 2002; Lee *et al.*, 2002, 강영진 등, 2004, Lee *et al.*, 2006).

홍가슴루리잎벌레에 대한 침입 선충의 수는 *S. glaseri* 동태 계통이 가장 많았고, *Heterorhabditis* sp. 경산 계통이 가장 적었다. 기주에 대한 선충의 침입력은 곤충병원성 선충의 병원성을 검정하는 방법의 하나로(Ricci *et al.*, 1996) 선충의 종에 따른 특성으로 선충의 종에 따라 차이가 있다(Koppenöfer and Kaya, 1999). 그러나 동일 종내에서는 생육환경이나 기주의 적합성 여부에 따라 기주에 침입하는 선충의 수는 차이를 보인다(추호렬 등, 2002; Dio Thi Hang, 2004).

기주의 령기별에 따른 곤충병원성 선충의 병원성은 장미등에잎벌이나 홍가슴루리잎벌에서는 어린 유충에 비하여 노숙 유충에서 비교적 높게 나타났으나 극동등에잎벌의 경우 큰 차이를 보이지 않았다. 기주 곤충의 령기는 선충의 병원성에 영향을 미치는데 자체 면역력의 증가 등으로 인해 노숙화 될수록 병원성이 감소되는 경우와(Fuxa *et al.*, 1988) 선충의 물리적 침입공간이 넓어져 감수성이 증가하는 경우들이 있다(김형환 등, 2003). 본 실험에서는 2 령충의 경우 7.8-11.5마리, 4령충에서 6.8-8.4마리의 LC₅₀ 값을 보였는데 이는 노숙화 될수록 잎벌 유충들의 섭식량이 증가함으로 인해 선충의 기주 침입이 많아졌기 때문으로 생각된다. 한편 극동등에잎벌 유충이 다른 두 종류의 등애잎벌류 유충에 비하여 령기별로 병원성의 차이가 상대적으로 적은 것은 다른 두 잎벌에 비하여 상대적으로 긴 체장을 가지고 있어(이범영과 정영진, 1997), 유령기에 도 선충의 침입이 상대적으로 잘 되기 때문으로 생각된다. 그리고 전반적으로 령기별에 따른 병원성의 차이가 크지 않아 야외 상태에서 다양한 령기가 혼재하여 잎벌류가 발생할 경우에도 선충을 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

Pot 실험에서는 곤충병원성 선충의 처리 농도별로 잎벌 유충에 대한 방제 효과가 차이를 보였다. 70% 이상의 방제 효과를 얻기 위해서는 6.6×10⁸마리/ha 이상의 농도로 곤충병원성 선충을 살포해야 할 것으로 생각되며 특히 장미등에잎벌의 경우 2×10⁹마리/ha 이상의 농도로 선충을 살포해야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서 병원성이 높았던 *S. carpocapsae*나 *S. feltiae*는 생물적 방제인자로서 세계적으로 이용되고 있는데 *S. feltiae*는 30여 개국에서 발견이 되고 있으며 *S. carpocapsae*는 20여 개국에서 서식이 확인되고 있는데(Hominick, 2002) 우리나라에서는 *S. carpocapsae*만 서식이 확인되었다(Choo *et al.*, 1995). *S. carpocapsae*는 미국과 우리나라 등에서 상용화 되어 있고, *S. feltiae*는 영국,

독일, 이탈리아 등의 유럽지역과 캐나다 등지에서 주로 상용화 되어 있다(Thomson, 1992). 한편 곤충병원성선충도 다른 생물적 방제인자들처럼 외국의 선충을 도입하여 지역해충을 방제할 경우, 생태적 적응성의 문제와 토착 비표적 생물에 대한 부정적 영향의 가능성 때문에 국내 토착 선충을 이용하는 것이 이러한 부작용을 최소화 할 수 있다(Blackshaw, 1988). 따라서 본 연구에서는 홍가슴루리잎벌에 병원성이 우수하면서 국내에 상용화 되어있고, 국내 생태계에 영향을 최소화 시킬 수 있는 선충으로 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 선발하였다.

산림 해충의 경우 일반 농업해충에 비하여 곤충병원성 선충의 적응이 상대적으로 제한적이다. Lee 등(2006)은 곤충병원성 선충을 이용하여 사철나무에서 노랑털알락나무방제 실험을 수행한 결과 실내조건에서는 100%의 방제 효과를 얻었으나 야외실험에서는 3.5%의 낮은 방제율을 보였다고 하여 실내 조건과 야외 조건과의 차이가 많음을 지적 한 바 있는데 본 실험에 이용된 장미등에잎벌의 경우도 야외에서의 방제효과는 45.4%로 실내 실험에 비하여 효과가 떨어졌으나(unpublished data) pot실험의 결과로 미루어 볼 때 온실조건이나 실내조건에서는 야외실험에 비해 높은 방제 효과를 거둘 수 있을 것으로 생각된다. 김 등(2006)이 온실의 채소류 앞에서 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 지속성을 조사한 결과 오후 6시 처리의 경우 12시간까지도 앞에서 생존하는 선충이 확인되었는데 시설재배를 하는 장미나 분재나 실내 관상용으로 관리하는 수종에서 잎벌이 발생할 경우 상대습도가 높은 저녁 무렵에 선충을 살포 한다면 효과를 높일 수 있을 것으로 추정되지만 부가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

공시충의 채집과 사육 및 실험 수행에 도움을 준 경상대학교 선충실험실원들에 사의를 표한다.

인용문헌

1. 강영진, 이동운, 추호렬, 이상명, 권태웅, 신흥균. 2004. 곤충병원성 선충을 이용한 잔디밭나방, *Spodoptera depravata* (Butler)(나비목: 밤나방과)의 생물적 방제. 한국응용곤충학회지 43: 61-70.
2. 김형환, 전홍용, 조성래, 이동운, 추호렬. 2006. 시설내엽채류의 앞에서 곤충병원성 선충, *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통의 지속성. 원예과학기술지 24: 198-204.
3. 김형환, 추호렬, 이동운, 이상명, 전홍용, 조명래, 임명순. 2003. 작은뿌리파리에 대한 한국산 곤충병원성 선충의 방제 효과와 상토에서의 지속성. 한국원예학회지 44: 393-401.

4. 박형순, 김형환, 정현관, 조윤진, 전홍용, 장한익, 김동수, 추호렬. 2004. 미국흰불나방(*Hyphantria cunea*)에 대한 곤충병원성 선충 *Steinernema carpocapsae*의 병원성. 한국잔디학회지 18: 193-2000.
5. 이범영, 정영진. 1997. 한국수목해충. 성안당. 서울. 459pp.
6. 이상명, 이동운, 추호렬, 김도완, 김준범. 1997. 농림해충에 대한 곤충병원성 선충의 병원성. 한국토양동물학회지 2: 76-82.
7. 조인호. 1996. SAS의 이해와 활용. 성안당. 서울. 665pp.
8. 최귀문, 한만중, 안성복, 이승환, 최동로. 1992. 원색도감 채소해충 생태와 방제. 삼미인쇄사. 서울. pp. 224.
9. 추호렬, 이동운, 윤희숙, 이상명, 항다오씨어. 2002. 온도 및 농도가 곤충병원성 선충, *Steinernema carpocapsae* 포충 계통(Nematoda: Steinernematidae)의 병원성과 증식에 미치는 영향. 한국응용곤충학회지 41: 269-277.
10. 추호렬, 이상명, 정부근, 박영도, 김형환. 1995. 한국산 곤충병원성 선충의 지역 농림해충에 대한 병원성. 한국응용곤충학회지 34: 314-320.
11. 추호렬, H. K. Kaya, 이상명, 김태욱, 김준범. 1991. 곤충병원성 선충 *Steinernema carpocapsae*와 *Heterorhabditis bacteriophora*를 이용한 삼림해충의 방제. 한국응용곤충학회지 30: 227-232.
12. 한국작물보호협회. 2006. 2006 농약사용지침서. 삼정인쇄공사. 서울. pp. 1023.
13. Abbott, W. S. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology 18: 265-267.
14. Blackshaw, R. P. 1988. A survey of insect parasitic nematodes in Northern Ireland. Ann. Appl. Biol. 113: 561-565.
15. Choo, H. Y., H. K. Kaya and Stock, S. P. 1995. Isolation of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from Korea. Japanese J. Nematol. 25: 44-51.
16. Dio, T. H. 2004. Temperature effects on three species of Korean *Steinernema* (Nematoda: Steinernematidae) and symbiotic bacteria. MS. Diss., Gyeongsang National University, Jinju, Korea.
17. Dutky, S. R., Thompson, J. V., and Cantwell, G. E. 1964. A technique for the mass propagation of the DD-136 nematode. Journal of Insect Pathology 6: 417-422.
18. Fuxa, J. R., Richter, A. R., and Agudelo-Silva, F. 1988. Effect of host age and nematode strain on susceptibility of *Spodoptera frugiperda* to *Steinernema feltiae*. Journal of Nematology 20: 91-95.
19. Hominick, W. M. 2002. Biogeography. pp. 115-143. In : R. Gaugler. ed. Entomopathogenic nematology, CABI publishing, Oxon.
20. Jarosz, J., and Andrejko, M. 1993. Susceptibility of larvae of *Arge berberidis* (Schrank)(Hymenoptera, Argidae) to entomogenous rhabditoid nematode (Nematoda, Steinernematidae and Heterorhabditidae). Polskie Pismo Entomologiczne. 62: 191-199.
21. Kaya, H. K. and Stock, S. P. 1997. Technique in insect pathology, pp.281-324. In: L.A. Lacey, eds. Manual of techniques in insect pathology. Academic Press, San Diego.
22. Koppenöfer, A. M. and Kaya, H. K., 1999. Ecological characterization of *Steinernema rarum*. Journal of Invertebrate Pathology 73: 120-128.
23. Lee, D. W., Choo, H. Y., Kaya, H. K., Lee, S. M., Smitly, D. R., Shin, S. K., and Park, C. G. 2002. Laboratory and field evaluation of Korean entomopathogenic nematode isolates against the oriental beetle, *Exomala orientalis* (Coleoptera: Scarabaeidae). Journal of Economic Entomology 95: 918-926.
24. Lee, D. W., Yang, J. Y., Han, G. Y., Choo, H. Y., Lee, S. M., Kim, H. H., Park, C. G., and Choo, Y. M. 2006. Entomopathogenic nematodes for biological control of *Pryeria sinica* Moore (Lepidoptera: Zygaenidae) and persistence on *Euonymus japonica* Thunberg foliage. Journal of Asia-Pacific Entomology 9: 165-172.
25. Lewis, E. E. 2002. Behaviour ecology. pp. 205-223. In : R. Gaugler. ed. Entomopathogenic nematology, CABI publishing, Oxon.
26. Nickle, W. R. 1984. Plant and insect nematodes. Marcel Dekker, New York and Basel. pp. 890.
27. Poinar, G. O. Jr., Evans, J. S., and Schuster, E. 1983. Field test of the entomogenous nematode, *Neoalectana carpocapsae*, for control of corn rootworm larvae (*Diabrotica* sp. Coleoptera). Protection Ecology 5: 337-342.
28. Ricci, M, I. Glazer, J. F. Campbell and Gaugler, R. 1996. Comparison of bioassays to measure virulence of different entomopathogenic nematodes. Biocontrol Science and Technology 6: 235-245.
29. Saunder, J. E., and Webster, J. M. 1999. Temperature effects on *Heterorhabditis megidis* and *Steinernema carpocapsae* infectivity to *Galleria mellonella*. Journal of Nematology 31: 299-304.
30. Thomson, W. T. 1992. A worldwide guide to beneficial animals used for pest control purposes. 92 pp. Thomason publications. U.S.A.
31. Wang, Y., Campbell, J. F., and Gaugler, R. 1995. Infection of entomopathogenic nematodes *Steinernema glaseri* and *Heterorhabditis bacteriophora* against *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. Journal of Invertebrate Pathology 66: 178-184.
32. Yeh, T., and Alm, S. R. 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.