

시설재배지에서 곤충병원성 선충, *Steinernematid*와 *Heterorhabditid*를 이용한 파밤나방(*Spodoptera exigua*)의 생물적 방제

김형환¹ · 조성래¹ · 이동운² · 이상명³ · 추호렬^{4*}

원예연구소 원예환경과, ¹경남농업기술원 기술지원과, ²상주대학교 생물응용학과, 농업과학연구소,
³국립산림과학원 남부산림연구소, ⁴경상대학교 응용생물환경학과, 농업생명과학연구원

요약 : 엽채류 재배지에 많은 피해를 주고 있는 파밤나방을 환경친화적으로 방제하기 위하여 우리나라 토양에서 분리한 steinernematid 선충과 heterorhabditid 선충 5계통(*Steinernema carpocapsae* GSN1, *Steinernema* sp. GSNUS-10, *Steinernema* sp. GSNUS-14, *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang, *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1)을 이용하여 petri dish와 pot 및 엽채류 재배 온실에서 병원성과 방제효과를 조사하였다. 곤충병원성 선충 5계통의 파밤나방에 대한 반수치사농도(LC₅₀)를 조사한 결과, 선충의 계통과 파밤나방의 령기에 따라 차이가 있었다. LC₅₀은 *Steinernema carpocapsae* GSN1 (GSN1) 계통이 파밤나방 2~4령충에서 3.8~5.1마리로 가장 낮았다. 파밤나방에 대한 pot와 시설재배지에서의 병원성 실험결과도 선충 계통, 처리농도, 처리횟수 및 엽채류의 종류에 따라 차이가 있었다. *Steinernema* 계통 선충들이 *Heterorhabditis* 계통 선충들보다 병원성이 높았다. 선충의 처리회수에 따른 파밤나방 유충 치사율은 선충의 계통과 처리농도에 관계없이 1회 처리보다 2회와 3회 처리에서 방제효과가 높았다. 파밤나방에 대한 곤충병원성 선충의 방제효과는 양배추나 케일보다 배추에서 높았다. 시설 재배지에서 GSN1이 파밤나방에 대한 방제효과가 가장 높았고, 처리농도에서는 m²당 100,000마리(720,000마리 7.2m²=1×10⁹마리 ha⁻¹)가 다른 두 농도처리보다 높았다. (2006년 10월 23일 접수, 2006년 12월23일 수리)

색인어 : 곤충병원성선충, 병원성, *Steinernema carpocapsae*, *Heterorhabditis*, 시설재배지

서 론

파밤나방은 1897년 미국에서 최초로 보고된 이래 (Wilson, 1932) 우리나라에서는 江口(1926)가 사탕무우를 가해하는 밤나방과 해충으로 최초 기록한바 있다. 파밤나방은 동남아시아가 원산인 해충으로서 주로 열대 및 아열대 지역에 널리 분포하고 있으나 이동성이 강하여 최근에는 온대지역에서도 발생이 증가하고 있다(Mikkola, 1970). 우리나라에서는 1986년에 전남 진도에서 피해가 확인된 이후(박 등, 1991), 1988년부터 전국적으로 대량 발생하여 피해가 심각하였으며 기주 범위는 채소, 화훼, 과수 등 40과 200여종에 달하는 것으로 알려져 있다(안 등, 1989). 파밤나방은 년 3~4 세대를 경과하는 것으로 알려져 있는데(고 등, 1993b) 평균기온의 상승이나 시설재배의 증가로 인해 발생 세대수가 증가할 것으로 추정되며(고 등, 1991; 이 등,

1991) 작물 재배지에서는 다양한 생육 단계가 혼재되어 있다고 등, 1993a). 한편 파밤나방 유충은 3령기 이후에는 유기합성 살충제에 대한 높은 저항성 출현으로 방제가 어려운 해충으로 구분되고 있으며 (Meinke and Ware, 1978) 생물농약인 BT에 대해서도 저항성이 문제가 되고 있다(MacIntosh et al., 1990).

우리나라에서는 노지재배에 비하여 시설재배면적이 지속적으로 증가하고 있는 상황으로 채소류의 경우 1990년에 8,569 ha의 시설재배지가 2004년 현재 14,146 ha로 증가하고 있다(농림부, 2004). 이러한 작부 방식의 변화는 해충발생에도 영향을 미쳐 일반 노지재배에서는 크게 문제시 되지 않던 해충들이 피해를 주거나, 조기발생이나 발생세대수의 증가 등으로 지속적인 피해를 주고 있다. 그러나 시설 작물류의 경우 생식용으로 주로 이용되기 때문에 농약의 사용은 제한적이며, 지속적이고 반복적인 해충의 발생은 농약 저항성의 출현을 촉진시키고 있다.

*연락처

이로 인해 대체 방제법에 대한 연구들이 수행되고 있는데, 기생봉이나 바이러스 등이 파밤나방의 생물적 방제인자로 알려져 있고(Flint and Dreistadt, 1998), 곤충병원성 선충도 유용한 생물적 방제인자의 하나이다(Begley, 1990; Klein, 1990). 우리나라에서는 파밤나방해다각체바이러스의 병원활성이나(김 등, 2004) 성페로몬을 이용한 성충의 유살이나 교미교란 효과(박과 김, 1995; Jung et al., 2003) 및 곤충병원성 선충을 이용한 생물검정(한 등, 1999; 이 등, 2000) 등의 연구가 수행된 바 있다.

곤충병원성선충은 공생세균인 *Xenorhabdus* spp. (Steinernematidae의 공생세균)와 *Photorhabdus* spp. (Heterorhabditidae의 공생세균)와 연합으로 작용하여 기주 곤충에 패혈증을 유발시켜 24~48시간 이내에 기주를 치사시키는 우수한 생물적 방제인자이다. 그리고 식물체에 안전하며 척추동물이나 어류와 같은 비표적 생물에 영향을 주지 않고, 대량생산과 장기보관이 가능하여 활용 가능성이 높은 생물적 방제인자이다(Kaya, 1990; Kaya and Gaguler, 1993). 곤충병원성 선충은 기주범위가 매우 넓는데 특히 나방류 유충과 토양서식 해충에 효과적이다(Kaya and Gaguler, 1993). 이로 인하여 곤충병원성선충은 우리나라를 비롯하여 일본, 미국, 캐나다, 영국 등 10여 개국에서 상용화되어 있다(Thomson, 1992). 상용화 되어 있는 곤충병원성선충은 *S. carpocapsae*를 비롯하여 *S. feltiae*, *S. glaseri*, *S. kushidai*, *H. bacteriophora*, *H. heliothis*, *H. megidis* 등인데(Thomson, 1992) 우리나라에서는 *S. carpocapsae*와 *Heterorhabditid*속 1종이 상용화 되어 있다. 한편 곤충병원성선충도 비 방제 대상 해충에 대한 위험성과 같은 생태적 악영향을 최소화하기 위하여 일반 천적류와 같이 지역생태계를 공유해온 토착종을 이용하는 것이 바람직한 방법이다(Blackshaw, 1988).

따라서 본 연구는 째채류 시설재배지를 대상으로 파밤나방의 생물적 방제 가능성을 알아보기 위하여 우리나라 곤충병원성선충을 이용하여 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

곤충병원성 선충과 파밤나방: 곤충병원성선충은 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*)을 미끼 곤충으로 이용하여(Dutky et al., 1964) 전국의 산림, 원예작물 재배지 및 휴한지 토양에서 분리한 것으로 14계통의

곤충병원성 선충 steinernematid와 heterorhabditid를 선발하였다. 그리고 꿀벌부채명나방에 재접종하여 침입수와 증식률을 조사하여 병원성과 증식률이 우수하였던 5계통의 선충을 선발하였는데 *Steinernema* sp. GSNUS-10(GSNUS-10), *Steinernema* sp. GSNUS-14(GSNUS-14), *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1(GSNUH-1) 계통 및 시판중인 *S. carpocapsae* GSN1(GSN1) 계통과 *Heterorhabditis bacteriophora* 함양(HbH) 계통을 이용하여 실험을 수행하였다. 각각의 곤충병원성 선충들은 Woodring과 Kaya(1988)의 방법을 이용하여 꿀벌부채명나방 노숙유충에서 증식시켜 White trap을 이용하여 수거한 뒤 10℃ 냉장고에 보관하면서 수확한 지 3주 이내의 선충을 실험에 이용하였다.

파밤나방은 공주와 아산의 콩에 발생하는 것을 채집하여 실험실에서 50일 내외의 배추와 케일 묘 5주가 들어있는 곤충사육상자(30×30×28.5 cm)에 100마리씩 나누어 넣고, 사육한 뒤 활력이 높은 개체들만 선발하여 실험에 이용하였다.

실내실험: 다섯 계통의 곤충병원성 선충을 이용하여 파밤나방 유충에 대한 병원성 검정을 실내에서 수행하였다. 직경 5.5×1.5 cm 플라스틱 petri dish에 여과지(Whatmann #2) 2장을 깔고, 배추 잎을 직경 5.0 cm 크기로 잘라 넣었다. 여기에 파밤나방 유충을 령기별로 구분하여(2령, 3령, 4령) 한 마리씩 넣었다. 각각의 petri dish에 선충을 5, 10, 20, 40, 80, 160마리 0.5 mL⁻¹로 조절하여 micro pipette으로 접종하였다. 무처리는 살균수만 0.5 mL 처리하였다. 처리 후 Petri dish를 랩으로 싼 다음 25±2℃, 상대습도 60±5%, 16L:8D 광 조건의 항온기에 넣었다. 선충 처리 후 5일 동안 매일 선충에 의한 파밤나방의 치사유무를 해부 현미경하에서 해부하여 선충에 의한 치사유무를 조사하였다. 실험은 각 령기별로 10마리의 유충을 1반복으로 하여 5반복 실험하였다.

Pot실험

1) 선충의 처리농도와 횟수에 따른 파밤나방 방제효과: 곤충병원성 선충은 실내 병원성 검정에서 이용하였던 계통들을 이용하여 실험을 수행하였는데, 파밤나방은 야외의 자연발생지에서 채집하여 사용하였다. 50~60일묘의 배추 한 주가 심겨져 있는 육묘용 pot(8×7 cm) 한 개씩을 아크릴 곤충사육상자(30×30×28.5 cm)에 넣고, 2령과 3령충을 각각 5마리씩 앞에 방사하여 완전히 정착된 것을 확인한 후, 가정

용 소형분무기로 곤충병원성 선충을 1,000마리, 3,000마리, 9,000마리/30 mL 농도로 조절하여 살포하였는데 3일 간격으로 각각 1회, 2회, 3회 살포하였다. 무처리구는 살균수 30 mL만을 살포하였다. 선충 처리 후 곤충 사육상자는 $25\pm 3^{\circ}\text{C}$, $60\pm 5\%$ 상대습도, 16L : 8D 광 조건의 항온기에 보관하였고, 5일후 유충의 치사유무를 조사하였다. 실험은 한 개의 상자를 1반복으로 하여 5반복으로 수행하였다.

2) 엽채류 종류별에 따른 파밤나방 방제효과: 쌈채류 종류별에 따른 곤충병원성 선충의 파밤나방 방제효과를 알아보기 위하여 배추와 양배추, 케일을 이용하여 실험을 수행하였다. 육묘용 트레이에 각각의 쌈채류 종자를 파종하여 유리온실에서 3주 동안 키운 후 떡잎이 2~3장이 나왔을 때, 육묘용 pot(8×7 cm)로 이식하였다. 그리고 30~40일 동안 관행적 방법에 따라 육묘를 관리하였다. 떡잎이 5~6장이 되면 각각의 pot 한 개씩을 곤충사육상자 (30×30×28.5 cm)에 넣고, 선충의 처리농도와 횟수에 따른 병원성 검정과 동일한 방법으로 실험을 수행하였는데 선충은 1회만 살포하였다. 무처리구는 살균수 30 mL만을 처리하였으며 처리 후 5일째 유충의 치사유무를 조사하였다. 실험은 한 개의 상자를 1반복으로 하여 5반복 조사하였다.

시설하우스 실험: 비닐하우스에서 2005년 7월 23일에 50일된 배추, 양배추 및 케일 묘종을 정식한 후 파밤나방의 발생상황을 관찰하면서 첫 발생 일주일 후에 곤충병원성 선충 GSN1, GSNUS-14, GSNUH-1 계통을 처리하였다. 온실 내 각 시험구의 면적은 $1.2\times 6.0\text{ m}$ (7.2 m^2)였고, 40 cm 간격으로 14주씩 28주를 두 줄로 심었다. 선충 처리농도는 구당 3 L의 물에 720,000마리($=10^9$ 마리 ha^{-1})와 240,000마리($=3.3\times 10^8$ 마리 ha^{-1}), 80,000마리($=1.1\times 10^8$ 마리 ha^{-1})의 농도로 희

석하여 20 L의 배부식분무기로 살포하였다. 선충 처리는 오후 4시 이후에 살포하였고, 3일 간격으로 1회, 2회, 3회 살포하였다. 방제효과는 최종 선충 살포 후 7일째 파밤나방의 유충 밀도를 조사하여 사전조사 밀도와 비교하여 생충률로 방제가를 구하였다. 시설 내에서 배추와 양배추 및 케일은 관행재배법으로 관리하였다. 실험은 한 개의 구를 1반복으로 하여 완전임의배치법 5반복으로 하였고, 해충의 밀도는 구당 10주를 임의로 선택하여 조사하였다.

통계분석: 파밤나방의 령기별에 따른 곤충병원성 선충의 농도별 병원성은 파밤나방의 령기별로 치사율을 구하여 Student-Newman-Keuls test로 처리평균간 유의성 차이를 검정 하였으며, 반수치사농도(LC₅₀)는 probit 분석하였다(조, 1996). Pot 실험에서 곤충병원성 선충의 종류와 처리농도와 처리횟수 및 엽채류 종류에 따른 유충 치사율은 요인분석과 Tukey's HSD test로 처리평균간 유의성 차이를 검정하였다(조, 1996). 시설 하우스에서 곤충병원성 선충의 계통, 처리농도, 처리횟수 및 엽채류 종류에 따른 파밤나방에 대한 선충의 방제효과는 무처리구와 비교한 생충률[$\frac{\text{무처리구 생충률}(\%) - \text{처리구 생충률}(\%)}{\text{무처리구 생충률}(\%)} \times 100$]로 전환하여 Tukey's HSD test로 처리 간 유의성 차이를 분석하였다(조, 1996). 모든 Student-Newman-Keuls test와 Tukey test의 유의성은 $P=0.05$ 에서 검정하였으며 결과는 평균±표준편차로 표기하였다.

결 과

실내실험: 파밤나방 유충 령기에 따른 곤충병원성 선충의 병원성은 선충의 계통이나 령기별에 따라 차이를 보였다(Table 1).

Table 1. Lethal concentration against *Spodoptera exigua* as determined by petri dish bioassay for the infective juveniles of entomopathogenic nematodes, steinernematid and heterorhabditid

Stage	LC ₅₀ (95% fiducial limit)*				
	GSNUS-10**	GSNUS-14	GSN1	GSNUH-1	HbH
2nd instar	4.9(3.3~6.3)	4.4(2.9~5.7)	3.8(2.2~5.1)	5.4(3.8~6.7)	4.3(2.7~5.7)
3rd instar	5.9(4.2~7.5)	5.2(3.6~6.7)	5.0(3.5~6.3)	6.3(4.2~8.2)	5.0(3.2~6.7)
4th instar	6.5(4.6~8.3)	6.3(4.4~8.1)	5.1(3.3~6.7)	7.6(5.3~9.9)	5.5(3.6~7.4)

*LC₅₀ was expressed as number of infective juveniles per larva. **GSNUS-10; *Steinernema* sp. GSNUS-10, GSNUS-14; *Steinernema* sp. GSNUS-14, GSN1; *Steinernema carpocapsae* GSN1, GSNUH-1; *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1, HbH; *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang. Mortality was checked everyday for 5 days after nematode inoculation.

Table 2. Analysis of variance for main effects and interaction of entomopathogenic nematode strain, concentration, and application time on mortality of *Spodoptera exigua* in pot

Source of variance	df	Mean square	F value	Pr>F
Nematode strain (N)	4	757.1	15.5	0.0001
Application time (A)	2	5745.3	117.5	0.0001
Nematode concentration (C)	2	3537.3	72.4	0.0001
N×A	8	79.8	1.6	0.1185
N×C	8	10.1	0.2	0.9894
A×C	4	242.7	5.0	0.0008
N×A×C	16	18.8	0.4	0.9848
Error	180	48.9	-	-
Corrected total	224	-	-	-

모든 령기에서 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 병원성이 가장 높았으며 유충의 령기가 노숙화 될수록 동일 선충 농도내에서 치사율이 감소하였다. 파밤나방에 대한 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 LC₅₀은 2령충에서는 3.8마리였으나 4령충에서는 5.1마리로 증가하였다 (Table 1).

Pot에서 선충의 처리농도와 횟수에 따른 방제효과: Pot 실험에서도 곤충병원성 선충의 계통이나 처리 횟수, 선충의 농도는 파밤나방 유충의 치사율에 영향을 미쳤다(Table 2).

실내실험과 동일하게 실험에 이용한 곤충병원성 선충 5계통들 중 *S. carpocapsae* GSN1 계통이 파밤나방에 대하여 가장 높은 치사율을 보였는데 9,000마리

30 mL⁻¹의 농도 처리 시, 2회 이상 선충을 살포할 경우 100%의 파밤나방 치사율을 보였다(Table 3). 선충의 처리횟수와 관계없이 1,000마리/30 mL의 농도 처리에서는 선충간에 병원성의 차이가 없었고, 9,000마리/30 mL의 농도 처리에서는 처리 선충별로 파밤나방에 대한 병원성의 차이를 보였다(F=10.96, df=44, 180, p<0.0001). 3회 처리 시에는 GSNUH-1 계통을 제외하고, 1,000마리 30 mL⁻¹ 처리에서도 90% 이상의 치사율을 보였다.

Pot에서 엽채류 종류별에 따른 방제효과: 엽채류의 종류도 곤충병원성 선충의 종류나 처리농도와 같이 파밤나방 치사율에 영향을 미쳤다(Table 4).

Table 3. Mortality of 2nd and 3rd instars of *Spodoptera exigua* exposed to entomopathogenic nematodes, steinernematids and heterorhabditids on potted Chinese cabbage

Entomopathogenic nematodes	Corrected larval mortality(%) ± SD								
	One time application*			Two times application			Three times application		
	1,000 Ijs**	3,000 Ijs	9,000 Ijs	1,000 Ijs	3,000 Ijs	9,000 Ijs	1,000 Ijs	3,000 Ijs	9,000 Ijs
<i>Steinernema</i> sp. GSN1	74±5.5a***	84±8.9a	94±8.9a	86±5.5a	94±5.5a	100±0.0a	96±5.5a	100±0.0a	100±0.0a
<i>Steinernema</i> sp. GSNUS-14	70±10.0a	84±6.9a	90±7.0ab	80±10.0a	86±5.5a	98±4.5a	90±7.1a	94±5.5ab	100±0.0a
<i>Steinernema</i> sp. GSNUS-10	72±8.4a	76±8.9a	90±0.0ab	82±8.4a	90±7.1a	96±5.5a	90±0.0a	96±5.5ab	98±4.5a
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i> Hamyang	64±5.5a	74±5.5a	84±8.9ab	80±7.1a	86±13.4a	94±5.5ab	96±8.9a	98±4.5ab	100±0.0a
<i>Heterorhabditis</i> sp. GSNUH-1	60±10.0a	72±13.0a	80±0.0b	74±5.5a	82±11.0a	86±5.5b	86±8.9a	90±7.1b	96±5.5a

*Entomopathogenic nematodes was sprayed one hour after placement on Chinese cabbage at the first application, on 3rd day at the second application, and 6th day at the third application, respectively. **Concentration(Ijs/30 mL/pot).

***Means within a column followed by different low ercase letters are significantly different by Tukey's HSD test (P<0.05).

Table 4. Analysis of variance for main effects and interaction of entomopathogenic nematode strain, concentration, and vegetable species on mortality of *Spodoptera exigua* in pot

Source of variance	df	Mean square	F value	Pr>F
Nematode strain (N)	4	1004.9	17.3	0.0001
Vegetable species (V)	2	6309.3	108.8	0.0001
Nematode concentration (C)	2	12292.0	211.9	0.0001
N×V	8	34.9	0.6	0.7758
N×C	8	292.6	5.0	0.0001
V×C	4	121.3	2.1	0.0837
N×V×C	16	63.6	1.1	0.3620
Error	180	58.0	-	-
Corrected total	224	-	-	-

엽채류 종류에 따른 과밤나방 유충에 대한 한국산 곤충병원성 선충 5계통들의 병원성은 배추에 처리하였을 경우가 양배추나 케일에 처리한 경우보다 높았다. 선충 처리농도에 따른 병원성은 처리농도가 많을수록 증가하였으며, 선충 계통에 따라서는 GSN1 계통이 가장 높았다(F=17.77, df=44, 180, P<0.0001)(Fig. 1). 병원성이 가장 높았던 GSN1 계통을 1,000마리 30 mL⁻¹의 농도로 1회 처리한 결과 유충 치사율은 배추에서 76%로 가장 높았으며 양배추와 케일에서는 각각 50%와 64%의 낮은 치사율을 보였다. 9,000마리 30 mL⁻¹의 농도 처리 시에는 80% 이상의 유충 치사율을 보였다.

시설 엽채류 재배지 실험: 배추, 양배추 및 케일 시설 재배지에서 GSN1, GSNUS-14, GSNUH-1 계통의 과밤나방에 대한 방제효과는 선충 계통, 처리농도, 처리횟수 및 엽채류의 종류에 따라 다양하게 나타났다(Fig. 2).

과밤나방에 대한 방제효과는 petri dish와 pot 실험과 동일하게 세 계통의 선충들 중에서는 GSN1 계통이 가장 높았고, 720,000마리(1×10⁹마리 ha⁻¹)의 농도로 처리했을 때 가장 높았다. 그리고 처리횟수와 엽채류의 종류에 따라서는 각각 3회 처리와 배추에서 방제효과가 가장 높았다(F=17.77, df=44, 180, P<0.0001). 배추에서의 과밤나방에 대한 방제효과는 처리농도와 처리횟수 간에는 뚜렷한 차이를 보였지만, 선충 계통 간에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 즉, 처리농도와 처리횟수가 많을수록 방제효과는 높았으며, 선충 계통 간에는 GSN1이 방제효과가 높았지만 GSNUS-14와 GSNUH-1 계통 간에는 유의적인 차이가 없었다. GSN1 계통을 720,000마리의 농도로 3회 처리하였을

때 보정사충율은 100%로 방제효과가 가장 높았고, 가장 낮았던 것은 GSNUS-14 계통을 240,000마리(3.3×10⁸마리 ha⁻¹)의 농도로 1회 처리했을 때 63.2%였다(F=16.10, df=26, 108, P<0.0001)(Fig. 2). 양배추에서의 과밤나방에 대한 방제효과도 배추에서와 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 처리농도와 처리횟수 간에는 뚜렷한 차이를 보였지만, 선충 계통 간에는 뚜렷한 차이가 없었다. 방제효과는 GSN1 계통을 720,000마리(1×10⁹마리 ha⁻¹)의 농도로 3회 처리하였을 때 88.2%로 가장 높았고, GSNUS-14 계통을 240,000마리(3.3×10⁸마리 ha⁻¹)의 농도로 1회 처리했을 때 53.9%로 가장 낮았다(F=18.93, df=26, 108, P<0.0001)(Fig. 2).

케일에서의 과밤나방에 대한 방제효과도 배추나 양배추와 유사한 경향을 나타내었다. 방제효과가 가장 높았던 것은 GSN1 계통을 720,000마리(1×10⁹마리 ha⁻¹)의 농도로 3회 처리했을 때 86.5%였고, 가장 낮았던 것은 GSNUH-1 계통을 80,000마리(1×10⁸마리 ha⁻¹)의 농도로 1회 처리했을 때 47.7%였다(F=14.27, df=26, 108, P<0.0001)(Fig. 2).

고 찰

과밤나방의 령기별에 따른 곤충병원성 선충의 LC₅₀은 실험에 이용한 모든 선충의 계통에서 노숙화 될수록 증가하였지만 3.8~7.6마리로 큰 차이를 보이지 않았다. 기주곤충의 령기, 체중은 곤충병원성 선충의 병원성에 영향을 미친다(Kaya, 1985; Kondo, 1987; Fuxa et al., 1988; Glazer and Navon, 1990; 강 등, 2004). 강 등(2004)은 잔디밤나방(*Spodoptera depravata*) 2령충과 3령충에 대한 곤충병원성 선충의 방제효과는 70% 내외이지만 5령충에서는 10% 내외로 감소한다고 하였

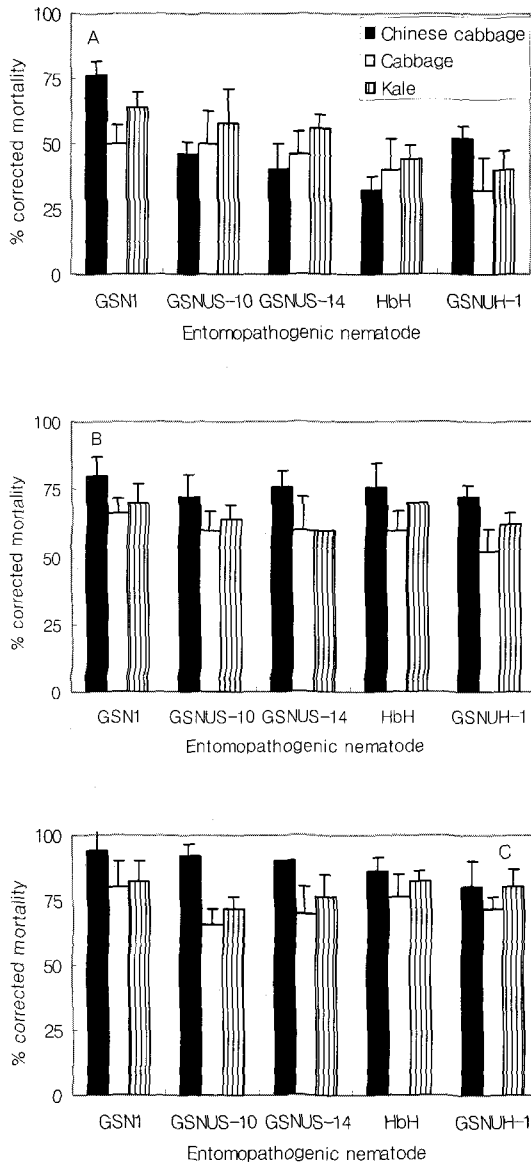


Fig. 1. Corrected mortality(mean %±SD) of 2nd and 3rd instars of *Spodoptera exigua* by entomopathogenic nematodes, steinernematid and heterorhabditid depending on vegetables at the rate of 1,000(A), 3,000(B) and 9,000(C) infective juveniles in pot. GSNUS-10; *Steinernema* sp. GSNUS-10, GSNUS-14; *Steinernema* sp. GSNUS-14, GSN1; *Steinernema carpocapsae* GSN1, HbH; *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang, GSNUH-1; *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1. Vegetables used in pot experiment were 50~55-day old seedlings. Bars indicate standard deviation of the mean.

고, 미국흰불나방(*Hyphantria cunea*)도 유사한 경향을 보였다(박 등, 2004). 반면 한 등(1999)이 담배거세미

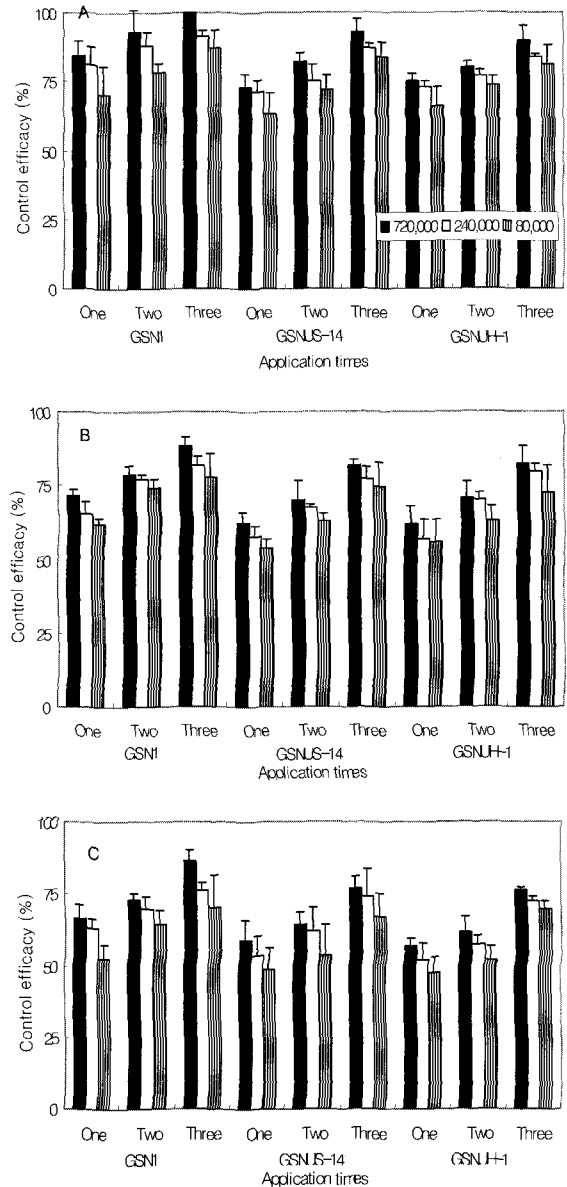


Fig. 2. Control efficacy of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* GSN1, *Steinernema* sp. GSNUS-14, and *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1 against *Spodoptera exigua* on Chinese cabbage(A), cabbage(B), and kale(C) in greenhouse. Control efficacy=[(% living larvae of treatment-% living larvae of control)/% living larvae of control]×100. Bars indicate standard deviation of the mean. One, two and three mean application times.

나방(*S. litura*)을 대상으로 수행한 실험에서는 3령충과 5령충의 LC₅₀값이 16.88과 15.99마리로 차이를 보이지 않았다. 그리고 한 등(1999)은 *S. carpocapsae*의 파밤나방 5령충에 대한 LC₅₀은 24.67마리라고 하였는데

2~4령충까지를 대상으로 한 본 실험에서는 7.3-10.6마리로 나타나 비록 실험의 조건에는 차이가 있지만 4령 이전까지는 곤충병원성 선충의 효과가 높게 나타나는 것으로 생각된다.

Pot실험이나 시설 재배지 실험에서 선충의 처리 횟수는 과밤나방에 대한 병원성에 영향을 미쳤다. Pot당 9,000마리 농도로 선충을 1회 살포 하였을 때의 보정 사충율은 3,000마리 농도로 3일 간격 2회 살포나 1,000마리 농도로 3일 간격 3회 살포 한 것과 유사한 치사율을 보였다. 그리고 3일 간격 3회 처리에서는 선충의 농도를 3,000마리로 처리 한 경우와 9,000마리 처리 한 경우 차이를 보이지 않았다. 시설 재배지에서 과밤나방에 대한 방제효과는 *S. carpocapsae* GSN1 계통이 가장 높아 1×10^9 마리 ha^{-1} 농도로 3회 처리 시 100% 방제효과를 보였는데 3.3×10^8 마리 ha^{-1} 농도로 3회 처리한 경우와 1×10^9 마리 ha^{-1} 농도로 2회 처리하였을 때의 방제효과는 차이를 보이지 않았다. 따라서 선충의 가격과 처리 시의 방제 비용을 고려하여 한번에 많은 양의 선충을 처리 할 것인지 아니면 적은 양으로 여러 번 살포 할 것인지를 결정하여야 할 것으로 생각된다. 한편 이 실험에서는 어린 과밤나방 유충을 대상으로 실험을 하였기 때문에 조기에 발생예찰을 하지 않고, 과밤나방의 피해가 진전된 후에 방제를 할 경우 포장 내 과밤나방 유충의 령기별 조성을 고려하여 방제 횟수나 선충 처리량을 조절하여야 할 것으로 생각된다. 고 등(1993a)이 파 포장에서 과밤나방 발생 최성기에 과밤나방 유충의 령기별 분포를 조사한 결과에 의하면 여러 령기가 혼재하여 발생하기 때문에 곤충병원성 선충을 과밤나방 발생 초기에 처리할 경우 3.3×10^8 마리 ha^{-1} 농도로 2회 처리한 후 잔존하는 유충을 조사하여 추가적인 방제 여부를 결정하는 것도 추천된다. 한편 이 등(2000)은 땅콩포장에서 75,000마리 $주^{-1}$ 농도로 *S. carpocapsae*를 처리하였을 때 72시간 후의 방제가가 87.7%라고 하였는데 이는 태양광의 차단이 없는 노지에서 실험을 수행하였기 때문에 본 실험의 결과보다 방제가가 낮았던 것으로 생각된다. 아울러 해충의 발생밀도가 주당 80마리로 높았기 때문에 상대적으로 발생량이 적었던 본 실험에 비하여 효과가 낮았던 것으로 생각된다.

쌈채류의 종류별에 따라 과밤나방에 대한 곤충병원성 선충의 효과는 차이를 보였다. 이것은 엽채류 표면의 형태적 특징으로 인하여 살포된 선충이 엽 표면에 부착되어 생존하는 수에 차이를 보였기 때문으로 생각된다. 케일이나 양배추에 비하여 배추에서 선충

의 생존수가 현저히 많고, 어린 묘종보다 성장한 묘종의 잎에서 선충의 생존수가 많다(조, 2005). 따라서 배추 포장에서 과밤나방의 효율적 방제를 위해서는 3.3×10^8 마리 ha^{-1} 농도로 2회 내지 3회 처리하는 것이 바람직할 것으로 생각되며 양배추나 케일 포장에서는 1×10^9 마리 ha^{-1} 농도로 3회 이상 처리 하여야 할 것으로 생각된다. 한편 식물체의 잎에 곤충병원성 선충의 부착율을 높이고, 건조에 대한 내성을 증대시키기 위해서는 내건제와의 혼용이 바람직 할 것으로 생각되는데 Glazer와 Navon(1990)은 내건제 혼합 시 치사율이 5-6배 증가한다고 하였다. 따라서 추후 친환경적인 내건제의 선발이 필요할 것으로 생각되며 포장에서 선충을 처리 할 경우 선충의 처리 농도나 처리횟수보다 엽내에 선충의 생존수를 늘리고, 생존 시간을 늘리는 것이 중요하기 때문에 상대습도가 높고, 자외선량이 적은 조건에서 선충을 처리하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 수행한 결과입니다.

인용문헌

- Begley, J. W. (1990) Efficacy against insects in habitats other than soil. pp.215~232, In Entomopathogenic nematodes in biological control(eds. Gaugler, R. and H. K. Kaya), CRC Press Inc., U.S.A.
- Blackshaw, R. P. (1988) A survey of insect parasitic nematodes in Northern Ireland. Ann. Appl. Biol. 113: 561~565.
- 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.
- Flint, M. L. and S. H. Dreistadt (1998) Natural enemies handbook. pp.154. University of California Press, U.S.A.
- Fuxa, J. R., A. R. Richter and F. Agudelo-Silva (1988) Effect of host age and nematode strain on susceptibility of *Spodoptera frugiperda* to *Steinernema feltiae*. Journal of Nematology 20:91~95.
- Glazer, I. and A. Navon (1990) Activity and persistence of entomopathogenic nematodes tested against

- Heliothis armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 83:1795~1800.
- Jung, C. R., Y. J. Park and K. S. Boo (2003) Optimal sex pheromone composition for monitoring *Spodoptera exigua*(Lepidoptera: Noctuidae) in Korea. J. Asia-Pacific Entomol. 6:175~182.
- Kaya, H. K. (1985) Susceptibility of early larval stage of *Pseudaletia unipuncta* and *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to entomogenous nematode *Steinernema feltiae*(Rhabditida: Steinernematidae). J. Invertebr. Pathol. 46:58~62.
- Kaya, H. K. (1990) Soil ecology. pp. 93-115 In Entomopathogenic neamtode in biological control (eds. Gaugler, R. and H. K. Kaya), CRC Press Inc., U.S.A.
- Kaya, H. K. and R. Gaugler (1993) Entomopathogenic nematodes. Annu. Rev. Entomol. 38:181~206.
- Klein, M. G. (1990) Efficacy against soil-inhabiting insect pests. pp.195~214, In Entomopathogenic nematodes in biological control(eds. Gaugler, R. and H. K. Kaya), CRC Press Inc., U.S.A.
- Kondo, E. (1987) Size-related susceptibility of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae to entomogenous nematode, *Steinernema feltiae*(DD-136). App. Ent. Zool. 22:560~569.
- MacIntosh, S. C., T. B. Stone, S. R. Sims, P. L. Hunst, J. T. Greenplate, P.G. Marrone, F. J. Periak, D. A. Fischhoff and R. L. Fuchs (1990) Specificity and efficacy of purified *Bacillus thuringiensis* proteins against agronomically important insects. J. Invertebr. Pathol. 56:258~266.
- Meinke, L. J. and G. W. Ware (1978) Tolerance of three beet armyworm strains in Arizona to methomyl. J. Econ. Ent. 71:645~646.
- Mikkola, K. (1970) The interpretation of long-range migration of *Spodoptera exigua*(Lepidoptera: Noctuidae). J. Anim. Ecol. 39:593~598.
- Thomson, W. T. (1992) A worldwide guide to beneficial animals used for pest control purposes. pp.92. Thomason publications. U.S.A.
- Wilson, J. W (1932) Notes on the biology of *Laphgma exigua* (Hübner). Florida Entomologist 16:33~39.
- 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.
- 강영진, 이동운, 추호렬, 이상명, 권태웅, 신홍균 (2004) 곤충병원성 선충을 이용한 잔디밤나방, *Spodoptera depravata*(Butler)(나비목: 밤나방과)의 생물적 방제. 한응곤지. 43:61~70.
- 고현관, 박종대, 최용문, 최귀문, 박인선 (1991) 파밤나방의 기주 및 피해 조사. 한응곤지. 30:111~116.
- 고현관, 최재승, 엄기백, 최귀문, 김정화 (1993a) 파포장에서 파밤나방 유충의 공간분포. 한응곤지. 32:134~138.
- 고현관, 최재승, 엄기백, 최귀문, 김정화 (1993b) 파밤나방 성충 및 유충의 발생. 한응곤지. 32:389~394.
- 김선곤, 박종대, 김도익, 최형국, 김상수, 황인천 (2004) 온도조건에 따른 파밤나방핵다각체바이러스(SeNPV)의 병원 활성. 한응곤지. 43:329~332.
- 농림부 (2004) 채소류 생산실적. pp.159.
- 박종대, 고현관 (1992) 합성 성페로몬에 의한 파밤나방(*Spodoptera exigua*)의 방제 I. 외대파에서의 대량유살에 의한 방제. 한응곤지. 31:45~49.
- 박종대, 고현관, 이재휴, 이운직, 김규진 (1991) 남부지방에서 파밤나방의 비산활동 및 가해특성. 한응곤지. 30:124~129.
- 박형순, 김형환, 정현관, 조윤진, 전홍용, 장한익, 김동수, 추호렬 (2004) 미국흰불나방(*Hyphantria cunea*)에 대한 곤충병원성 선충 *Steinernema carpocapsae*의 병원성. 한국잔디학회지 18:193~200.
- 안성복, 김인수, 조왕수, 이문홍, 최귀문 (1989) 1988년 해충발생상황. 한응곤지. 28:246~253.
- 이상대, 안성복, 조왕수, 최귀문 (1991) 파밤나방에 대한 온도의 영향. 농시논문집(작물보호편) 32:58~62.
- 이성섭, 김용균, 한상찬 (2000) 선발 내건제 Keltrol-F를 이용한 곤충병원 선충(*Steinernema carpocapsae* Weiser)의 파밤나방(*Spodoptera exigua* (Hübner))에 대한 엽면살포 방제효과. 한응곤지. 39:199~205.
- 조성래 (2005) 곤충병원성 선충을 이용한 시설 엽채류 주요 나비목 해충의 환경친화적 방제. 경상대학교 박사학위논문.
- 조인호 (1996) SAS의 이해와 활용. pp.665 성안당. 서울.
- 한상찬, 이성섭, 김용균 (1999) 파밤나방(*Spodoptera exigua*(Hübner))과 담배거세미나방(*Spodoptera litura* (Fabricius))에 대한 곤충병원성 선충 (*Steinernema carpocapsae* Weiser)의 감염력 및 증식력. 한응곤지. 38:255~260.

江口貢. 1926. 菜を害する夜盗蟲の種類. 勸業模範彙報 3:257~263.

Biological Control of Beet Armyworm, *Spodoptera exigua*(Lepidoptera: Noctuidae) with Entomopathogenic Nematodes(Steinernematid and Heterorhabditid) in Greenhouse

Hyeong Hwan Kim, Sung Rae Cho¹, Dong Woon Lee², Sang Myeong Lee³, and Ho Yul Choo^{3*}(*Horticultural Environment Division, National Horticultural Research Institute, Suwon 441-440, Korea, ¹Division of Technology Service, Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju, Gyeongnam, 660-360, Korea, ²Department of Applied Biology, Sangju National University, Sangju, Gyeongbuk, 742-711, Korea, ³Southern Forest Research Center, Korea Forest research Institute, Jinju, Gyeongnam, 660-300, Korea, ⁴Department of Applied Biology and Environmental Sciences, Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam, 660-701, Korea*)

Abstract : Five strains of Korean entomopathogenic nematodes (EPN), steinernematids and heterorhabditids (*Steinernema carpocapsae* GSN1, *Steinernema* sp. GSNUS-10, *Steinernema* sp. GSNUS-14, *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang, and *Heterorhabditis* sp. GSNUH-1) were evaluated and tried in petri dish, pot, and vegetable greenhouses for environmentally friendly control of beet armyworm, *Spodoptera exigua*. LC₅₀ values of five EPN strains against beet armyworm was different depending on nematode strain and beet armyworm instar. LC₅₀ value of *Steinernema carpocapsae* GSN1 (GSN1) was 3.8-5.1 infective juveniles (Ijs) in 2nd to 4th instars of beet armyworm. Pathogenicity of five EPN strains against beet armyworm different in nematode strain, concentration, application times, and vegetable species in pot and greenhouse. *Steinernema* spp. was more effective than *Heterorhabditis* spp. against beet armyworm. Two or three times of applications of EPN were found to be effective regardless of nematode strain and concentration in pot and greenhouse. ENP showed different reactions on vegetable species. Efficacy of EPN was higher on Chinese cabbage than that on cabbage and kale. GSN1 was one of the most effective nematodes and 100,000 infective juveniles per m² (720,000 Ijs/7.2 m²=1×10⁹ Ijs/ha) resulted in higher mortality in greenhouse.

Key words : Entomopathogenic nematode, pathogenicity, *Steinernema carpocapsae*, *Heterorhabditids*, greenhouse.

*Corresponding author (Fax : +82-55-751-5439 , E-mail : hychoo@gnu.ac.kr)