

선발 내건제 Keltrol-F를 이용한 곤충병원선충 (*Steinernema carpocapsae* Weiser)의 파밤나방 (*Spodoptera exigua* (Hübner))에 대한 엽면살포 방제 효과

Leaf Spray Control Efficacy of the Entomopathogenic Nematode, *Steinernema carpocapsae* Weiser, Supplemented with the Selected Antidesiccant, Keltrol-F, on the Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner)

이성섭 · 김용균 · 한상찬

Sung Seob Lee, Yong Gyun Kim and Sang Chan Han

Abstract – The field control efficacy of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Weiser, was evaluated on the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). The insect pest has been known to be a defoliator at the aerial part of the crop and difficult to be controlled effectively with most commercial chemical insecticides due to its insecticide resistance. To overcome the susceptibility of the nematodes to desiccation when they were applied by leaf spray in field condition, we screened several commercial antidesiccants (alkyl glucoside, CMC, glycerol, Keltrol-F, Kunipia-G, and Laponite LXG) optimal for survival of the nematodes. Keltrol-F(0.1%) was selected as a candidate supplement for field application of the nematodes. Leaf spray of the nematodes at 5,000 infective juveniles/ml of distilled water containing 0.1% Keltrol-F resulted in 87.7% control efficacy on the 3rd instar larvae of *Sp. exigua*.

Key Words – Entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*, *Spodoptera exigua*, Antidesiccant, Field application

초 록 – 곤충병원선충 (*Steinernema carpocapsae* Weiser)의 지상부 해충에 대한 야외 방제 효과 검증을 위해 화학 방제가 곤란한 파밤나방 (*Spodoptera exigua* (Hübner))을 대상으로 엽면 살포 시험을 실시하였다. 지상부 살포시 건조에 따른 선충의 생존력 감소를 막기 위해 바람직한 내건제들이 (alkyl glucoside, CMC, glycerol, Keltrol-F, Kunipia-G 및 Laponite LXG) 우선 비교 분석되었다. 이들 내건제 가운데 Keltrol-F(0.1%)가 선발되었다. 이 농도의 내건제가 포함된 선충을 밀도별로 파밤나방이 서식하는 포트에 엽면 살포 처리하여 1 ml 당 5,000마리의 감염태 선충의 유효 방제 밀도를 결정하였다. 이 선충 밀도로 포장에 적용하였을 때 87.7%의 파밤나방 방제 효과를 보였다.

검색어 – 곤충병원선충, *Steinernema carpocapsae*, 파밤나방, 내건제, 야외살포

곤충병원선충은 토양 중에서 발견되며 곤충에 대한 높은 병원성과 치사효과가 있다고 알려져 있다(Poinar,

1979; Kaya, 1985). 이들 곤충병원선충은 Steinernematidae와 Heterorhabditidae과에 속하며 다양한 분류군

의 곤충에 기주 범위를 가지고 있다(Kaya and Gaugler, 1993). 이중에 본 연구에 이용된 *Steinernema carpocapsae* Weiser의 병원성은 감염태 유충이 기주로 침입하여 선충의 장내에 서식하는 공생세균(*Xenorhabdus nematophilus*)을 곤충의 혈강내로 방출하면서 시작된다(Akhurst, 1980; Park *et al.*, 1999). 방출된 세균은 기주의 패혈증을 유발하여 48시간 안에 기주를 치사시키고, 선충은 다시 증식된 세균을 영양원으로 이용하여 성장 및 생식과정을 수행한다. 증식된 선충이 다음 세대 감염태 유충인 3령 유충으로 발육하면서 곤충의 사체를 빠져 나와 새로운 기주 곤충을 찾는 번식형을 갖게 된다(Kaya and Gaugler, 1993). 특히 곤충병원선충은 인축에 대한 안전성과 화학 농약이나 병원 미생물의 침투가 곤란한 환경에서도 살충효과를 보이는 것으로 알려져 있다(Gaugler, 1981; Akhurst, 1990).

실제로 곤충병원선충을 이용한 해충의 생물적 방제법 개발이 최근에 여러 해충에서 시도되고 있다(Klein, 1990; Choo *et al.*, 1995; Peter *et al.*, 1996). 특히 주로 나비목, 딱정벌레목, 일부 파리목 및 벼룩목 유충에 효과적이다(Kaya and Gaugler, 1993; Broadbent *et al.*, 1995; Han *et al.*, 1996).

곤충병원선충의 생물적 방제인자로서 여러 가지 장점에도 불구하고 생물체 자체의 속성 때문에 야외 살포방제 효과를 거두기에는 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 이들의 방제력에 대한 두드러진 제약점은 감염태 유충이 건조(Kamionek *et al.*, 1974), 고온(Molyneux, 1986) 및 자외선(Gaugler and Boush, 1978) 등의 야외 물리적 조건에 대한 높은 감수성이다. 이를 해결하기 위해 다양한 종류의 제제화와 내건제가 선발되었다(Glazer *et al.*, 1992; Grewal, 1998).

파밤나방(*Spodoptera exigua* (Hübner))은 다양한 발작물에 대한 기주범위를 가지며 작물의 지상부를 주로 가해한다(Ahn *et al.*, 1991). 우리나라에서는 1980년 대말 이후 시설재배지의 확충에 따라 매년 피해밀도가 증가하고 있으며 대부분의 화학살충제에 대해 저항성을 보여 방제에 큰 어려움이 있다(Kim *et al.*, 1997; Kim and Kim, 1997).

본 연구에서는 곤충병원선충의 지상부 해충에 대한 효과적 방제를 위해 국내에서 시판되고 있는 내건제 종류들 가운데 *St. carpocapsae*의 생존에 적합한 종류를 선발하였고, 이를 이용한 야외 엽면 살포를 통해 파밤나방에 대한 방제 효과를 검증하였다.

재료 및 방법

1. 곤충병원선충

경상대학교 농생물학과 추호렬교수로부터 분양받은 곤충병원선충(*St. carpocapsae*)을 파밤나방 5령충을 증식기주로 하여 실내에서 누대 증식시켰다. 증식된 감염태 유충은 실험에 사용될 때까지 15°C에서 보관하였다(Park *et al.*, 1998).

2. 실험 곤충

파밤나방(*Sp. exigua*)은 1994년 안동시에 소재한 파(*Allium fistulosum* L.)밭에서 채집한 후 실내에서 인공사료(Gho *et al.*, 1990)로 누대 사육하였다. 사육 배양기의 조건은 온도 25±1°C, 광주기 16:8h(L:D)이었다. 성충의 먹이로 10%의 설탕물을 산란상자에 공급하였다.

3. 내건제의 선발

페트리디쉬(55×10 mm: 지름×높이)에 한 장의 여과지(55 mm, Whatman #5)를 깔고, 500마리의 감염태 유충이 들어있는 0.5 ml 용액을 분주하였다. 이때 선충 용액에는 소정의 목적에 따라 서로 다른 종류 또는 서로 다른 농도의 내건제(Table 1)가 포함되었다. 처리된 용기는 뚜껑이 열려 있는 상태로 온도 25±1°C, 습도 60~70%의 조건에 2시간 노출시켜 건조 처리 후 5 ml의 3차 증류수를 넣고 15±1°C에 24시간 보관한 뒤에 선충의 생존율을 조사하였다. 각 처리는 3 반복하였다.

4. 엽면 살포 선충 농도 결정(포트 실험)

각 포트(20×20 cm: 지름높이)에 심겨진 1주의 땅콩(*Arachis hypogaea* L.) (15×15 cm: 초관폭×초장)에

Table 1. Chemicals tested for antidesiccation activity to entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*

Commercial name	Main ingredients (A.I.)	Supplier
Alkyl glucoside	alkyl glucoside (50%)	Pacific Chem., Suwon, Korea
CMC	sodium carboxy methyl cellulose (99%)	Konnel-BosKorea, Seoul, Korea
Glycerol	glycerol (99.9%)	Sigma Chem., St. Louis, USA
Laponite LXG	aluminium magnesium silicate (98%)	Junghan Pharm., Seoul, Korea
Keltrol-F	xanthan gum (99%)	Samkuang Chem., Seoul, Korea
Kunipia-G	bentonite (99%)	Doorae Co., Seoul, Korea

파밤나방 3령충을 80마리씩 접종하고 24시간 뒤 각 농도의 감염태 선충을 땅콩 작물체에 분무처리하였다. 각 포트는 기주상자(30×30×90 cm: 가로×세로×높이)에 넣어져 각 포트간에는 고립이 유지되었다. 선충의 처리 농도는 1 ml당 0, 250, 500, 1,000, 5,000 감염태 마리수로 15 ml씩 각 땅콩 작물체에 분무하였는데 내건제로 선발된 Keltrol-F를 0.1% 함유시켜 사용하였다. 처리는 땅콩 1주를 실험단위로 각 농도당 3반복씩 실시하였다. 방제효과를 알아보기 위한 처리별 파밤나방의 밀도는 선충 처리직전(유충 접종 후 24시간)과 선충 처리 후 48 및 72시간에 각각 살아있는 파밤나방 유충을 전수 조사하여 비교하였다.

5. 엽면살포 방제력 검정(포장 실험)

파종후 2개월동안 생육된 땅콩 포장에서 임의로 처리구 및 무처리구 각각 9주씩의 작물체를 임의로 선발하였다. 선발된 각 작물체에 80마리의 파밤나방 3령충을 접종하였다. 파밤나방 유충의 이동을 막기 위해 각 시험구는 망사로 둘러 격리시켰다. 접종 후 48시간이 지났을 때 각 접종 작물체에 정착된 파밤나방을 전수조사하여 처리전 밀도를 얻었다. 각 처리 작물체는 증류수 1 ml당 5,000 감염태 선충마리수의 농도로 15 ml씩 살포되었는데 처리용액내에 0.1%의 Keltrol-F가 함유되었다. 무처리구는 0.1%의 Keltrol-F가 함유된 증류수를 15 ml씩 각각 살포되었다. 처리후 48 및 72시간이 지났을 때 각 시험구에서 작물체상에 생존하는 파밤나방을 전수 조사하여 처리후 밀도를 얻었다.

6. 통계 분석

곤충병원선충의 효과를 비교하기 위한 사망률에 관한 통계분석은 arsine transformation한 후 SAS(SAS Institute, 1988)의 PROC GLM을 이용하여 분산과 Tukey의 평균간 비교를 실시하였다.

결 과

1. 내건제 선발

곤충병원선충의 야외 살포를 위해 요구되는 건조에 대한 감수성을 보충하기 위해 상용화된 제품중에서 내건제가 선발되었다. 검정에 이용된 방법은 동일한 건조 조건(25°C, 60~70% 상대습도, 2시간 노출) 하에서 내건제 종류에 따라 생존하는 선충수로 비교하였다. 총 6종의 내건제를 무처리구와 비교하였다(Fig. 1). 무처리구의 경우 이러한 건조 조건에서 60% 미만의 선충생존율을 보였다. 그러나 Keltrol-F와 Laponite LXG가 80% 이상의 생존률을 보여 곤충병원선충 단독 처리에 비해 뛰어난 내건 효과를 보유했다고 판명

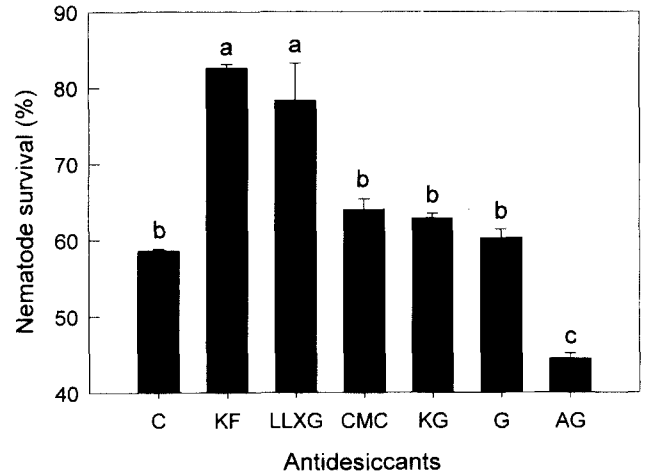


Fig. 1. Effect of various antidesiccants on the survival of *Steinernema carpocapsae* on filter paper in the condition of 25°C and 60~70% RH for 2h. Abbreviations of commercial antidesiccant names (see Table 1): C = control of distilled water, KF = Keltrol-F, LLXG = Laponite LXG, KG = Kuni-pia-G, G = glycerol, and AG = Alkyl glucoside. Vertical error bars represent standard deviations. Means denoted by the same letters above the error bars are not significantly different at $\alpha=0.05$.

되어 1차로 선발되었다.

다음은 선발된 2종의 내건제들의 농도별 곤충병원선충에 대한 내건효과가 비교되었다(Fig. 2). 두 내건제 모두 내건제의 농도가 높아짐에 따라 내건효과가 증가함을 보였으나 Laponite LXG의 경우 0.5% 이상에서는 오히려 곤충병원선충에 유해함이 드러났다. 반면에 Keltrol-F의 경우 조사된 최대 농도인 0.1% 및 0.5% 모두에서 최대 내건 효과를 보이며 곤충병원선충에 안전함을 나타냈다. 이상의 결과로 Laponite LXG의 경우 비록 0.005%라는 낮은 농도에서도 Keltrol-F의 최대효과와 유사한 효과를 나타냈지만 농도의 차이에 따라 효과가 불안정하고 특히 고농도에서 곤충병원선충에 유해했다고 판단된다. 그러므로 추후 포장 살포에 보다 적합한 형태는 Keltrol-F로 내건제 종류를 결정했으며 가장 높은 생존율을 보였던 두 농도중 보다 낮은 농도인 0.1%를 살포농도로 결정하였다.

2. 엽면살포 농도 결정(포트 실험)

결정된 내건제 종류와 농도를 이용하여 포장적용을 위해 곤충병원선충의 유효 농도를 포트 실험으로 결정하게 되었다. 포트에 심겨진 땅콩 작물체에 곤충병원선충을 처리하기 전 실내 파밤나방 사육충을 각각 80마리씩 접종하였으나 이중 50% 미만이 24시간 후

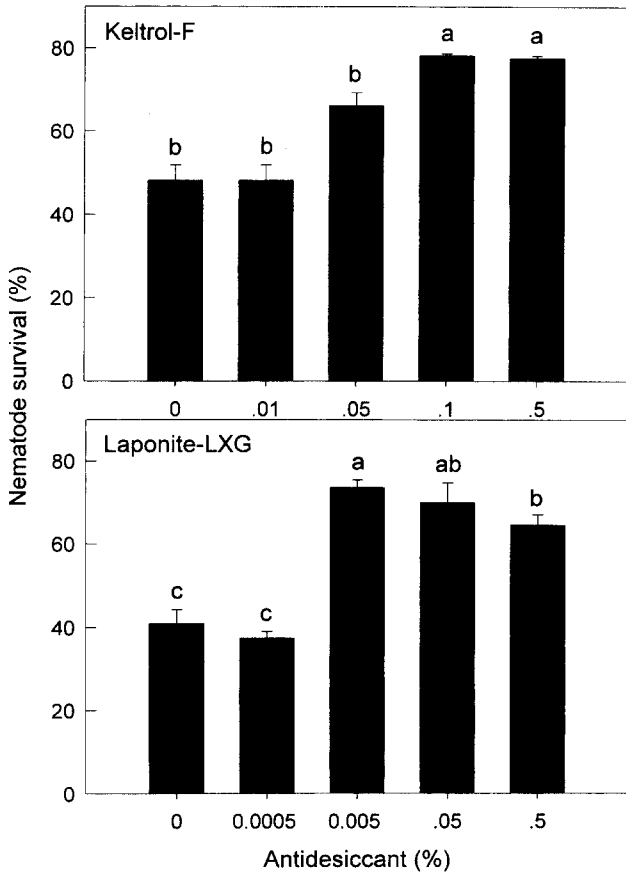


Fig 2. Effect of different concentrations of two antidesiccants on the survival of *Steinernema carpocapsae* in the condition of 25°C and 60~70% RH. Vertical error bars represent standard deviations. Means denoted by the same letters above the error bars are not significantly different at $\alpha=0.05$.

에 기주 작물체에 잔류하고 있었다. 이 밀도를 처리전 밀도로 보고 농도별 곤충병원선충 살포 후 생존율을 조사하였다 (Fig. 3).

처리된 곤충병원선충의 밀도가 증가함에 따라 파밤나방의 사망률이 높아졌다 ($F = 109.88$; $df = 4, 20$; $P =$

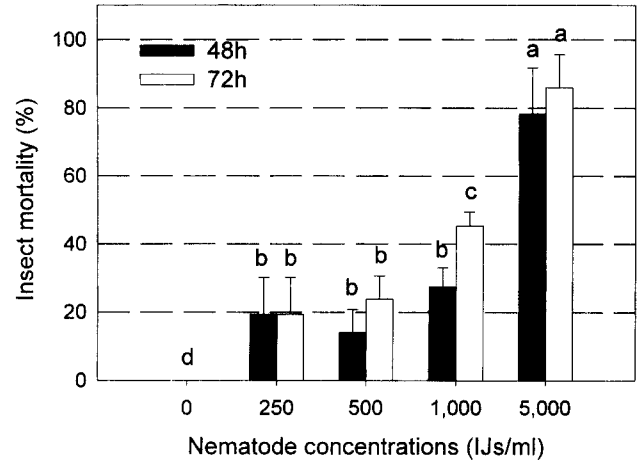


Fig 3. Control effect of different infective juvenile (IJ) concentrations of *Steinernema carpocapsae* on the third instar larvae of *Spodoptera exigua*. Survival of the larvae of *Sp. exigua* was measured at 48 and 72h after nematode application on peanut canopy by counting total live larvae per experimental unit. Vertical error bars represent standard deviations. Means denoted by the same letters above or below the error bars are not significantly different at $\alpha = 0.05$.

0.0001). 이러한 사망률 증가는 처리 후 48시간과 72시간을 비교하여 볼 때 1,000마리/ml의 감염태 선충의 농도를 제외하고 차이가 없었다 ($F = 1.10$; $df = 4, 20$; $P = 0.3831$). 조사된 처리 농도의 최고치인 5,000마리/ml의 농도에서 약 85% 이상의 파밤나방 사망률을 기록하였다. 이 농도를 포장실험에 있어서 파밤나방에 대한 곤충병원선충의 살포농도로 정하게 되었다.

3. 엽면살포 방제력 검정 (포장 실험)

포트실험에서와 마찬가지로 곤충병원선충을 처리하기 전에 작물체에 파밤나방 3령충을 인위적으로 접종하였으며 선충처리 직전에 다시 각 시험구에 잔류하고 있는 파밤나방 유충수를 세어 처리전 밀도를 산출하였다 (Table 2). 이 처리전 밀도는 처리구와 무처리

Table 2. Control efficacy of *Steinernema carpocapsae* supplemented with an antidesiccant, 0.1% Keltrol-F, on the third instar larvae of *Spodoptera exigua* infested on *Arachis hypogaea* in field condition

Nematode concentration (number/ml)	Number of insects/plant		Survival rate (%) ¹		Control efficacy (%)	
	At introduction	Just before spray	48 h	72 h	48 h	72 h
0	80	0.1±5.5	77.9±7.1	68.2±7.8	—	—
5,000	80	7.6±2.1	13.3±4.4	8.4±6.9	82.9	87.7

¹ Survival of the larvae of *Sp. exigua* was measured at 48 and 72 h after nematode application on peanut canopy by counting total live larvae per experimental unit.

구간에 차이가 없었다 ($F=1.66$; $df=1, 16$; $P=0.2158$). 곤충병원선충을 각 시험구당 5,000마리/ml의 농도로 살포하였을 때 무처리구의 경우에는 약 70~80%의 높은 생충률을 나타냈으나 처리구의 파밤나방의 생충률은 대략 10% 안팎으로 처리효과가 뚜렷했다 ($F=30.99$; $df=1, 48$; $P=0.0001$). 그러나 처리구에 있어서 처리 후 48시간과 72시간 사이에는 생충률에 차이가 없었다 ($F=1.45$; $df=1, 16$; $P=0.2405$). 이러한 곤충병원선충의 파밤나방에 대한 포장 방제효과를 산출하였을 때 처리 후 72시간을 기준으로 약 87.7%의 방제가를 나타내었다.

고 찰

본 연구에서는 최근 생물적 방제인자로서 주목을 받고 있는 곤충병원선충 (*St. carpocapsae*)의 야외 방제 효율증진을 위해 야외 살포시 건조에 대한 선충의 감수성을 억제하기 위해 이들 병원선충에 적합한 내건제를 선발하였다. 이후 선발된 내건제를 이용하여 실제 야외 포장에 적용하여 엽면살포에 따른 지상부 해충인 파밤나방에 대한 방제 효과를 알아 보았다.

상용화되어 있는 6종의 내건제들 가운데 내건제 종류 시험 (Fig. 1)과 농도별 효과시험 (Fig. 2)을 통해 0.1%의 Keltrol-F가 선발되었다. Glazer 등 (1992)은 *St. carpocapsae*에 대해 적합한 내건제를 본 연구와 동일한 방법으로 paraffin wax 물질로 구성된 Folicote (Asis-Riesel, Ramat Gan, Israel)를 선발하였다. 그들의 연구에서는 이 Folicote를 이용하였을 때 최대 72%의 선충생존율을 보인 반면, 본 연구의 결과 선발된 주로 다당체로 이루어진 Keltrol-F는 약 80% 이상의 선충 생존율을 보여 내건제의 효율면에서 Keltrol-F가 결코 뒤지지 않음을 나타냈다. 이러한 내건제들이 선충 생존율을 높여 주는 작용은 아마도 이들 화학약품을 통해 선충의 건조에 대한 자체 저항성을 높여 준다기 보다는 이들 화학물질의 본래의 보습성과 같은 물리적 성질에 기인된다고 사려된다.

이러한 건조에 대한 곤충병원선충의 감수성을 낮추려는 의도로 내건제 선발은 기존의 여러 실험실에서도 시도되었다 (Webster and Bronskill, 1968; MacVean et al., 1982). 내건제 선발외에도 Glazer and Navon (1990)은 곤충병원선충 자체의 집단간 건조에 대한 감수성의 변이를 찾아냈고, 이를 토대로 유전적 선발도 실시하였다. 유전적으로 선발된 *St. carpocapsae* 집단에 내건제를 이용하여 지상부 해충인 왕담배나방 (*Heliothis armigera*) 유충 방제 효과를 높일 수 있었다 (Glazer and Navon, 1990).

선발된 내건제를 이용하여 *St. carpocapsae*의 야외 지상부 해충 방제 효과를 검증하기 위해 작물체에 대

한 엽면살포가 실시되었다. 실험에 이용된 작물체 기주는 땅콩 (*Arachis hypogaea* L.)으로 선택했다. 땅콩을 선택한 이유는 파밤나방의 주요 기주들중에 하나이며 (Gho et al., 1991), 매년 안동지역에서는 많은 파밤나방의 개체군들이 땅콩밭에서 발생하고 있음을 목격해왔기 때문이다 (김용균, 미발표자료). 또 다른 이유로 주요 기주인 파 (*Allium fistulosum* L.)를 사용할 경우 일반적으로 파밤나방이 파경속으로 들어가서 가해함으로써 밀도조사에 어려움이 있으나 땅콩을 사용할 경우 엽면에 서식하여 가해함으로써 이러한 점을 극복할 수 있다는 장점을 가지게 된다.

포트 실험에서 (Fig. 3) 곤충병원선충의 처리밀도가 높아짐에 따라 살충력이 높아졌는데 이는 실제적으로 선충 살포 후 땅콩의 식물체에 잔류하는 선충의 농도가 비례하여 살충력이 높아진 것을 의미한다. Han et al. (1999)은 파밤나방에 대한 *St. carpocapsae*의 살충력을 검증하는 과정에서 실제적으로 단 1마리의 선충이 곤충의 체내에 들어 갔을 때에도 치사를 일으킬 수 있음을 추정하였다. 본 연구실에서도 실제로 기주 파밤나방을 해부하여 1마리의 *St. carpocapsae*를 투입했을 때 기주가 치사하는 것을 알 수 있었다 (김용균, 미발표자료). 이러한 결과는 엽면 살포된 선충의 농도와 살충성과의 관계성이 매우 뚜렷할 수 있음을 의미한다. 본 연구결과는 처리농도중 가장 높은 처리구인 살포액 1ml당 5,000마리의 선충농도가 가장 유효했음을 나타냈다. 본 연구와 동일한 농도 및 처리방법으로 3가지 다른 지상부 나비목 곤충에 대해 실시된 연구에서 유효 선충방제 밀도는 곤충마다 다를 수 있음을 제시했다 (Glazer et al., 1992). 이는 이들 곤충의 행동성과 병원선충의 기주에 따른 침입력 차이에 기인될 것이다. 특히, 본 연구에서는 뚜렷한 살충율이 병원선충처리 후 최초 조사시기인 48시간만에 나타났음을 보였다. 이는 일반적으로 이 선충이 곤충체와 접촉 후 48시간 이내에 기주를 치사시킨다는 살충기작 성질에 기인된다 (Kaya and Gaugler, 1993; Han et al., 1996)고 할 수 있다. 또 이 48시간 후의 살충율 결과와 72시간 후의 결과 사이에 차이가 없다는 의미는 선충 처리 후 땅콩잎에 잔류했던 감염태 선충이 비교적 짧은 시간동안 생존했음을 의미한다.

야외 엽면 살포실험 (Table 2)은 본 연구결과에서 선발된 내건제와 포트시험결과인 유효 선충밀도를 이용하여 실시하였는데 지상부 해충인 파밤나방에 대해서 87.7%의 높은 방제가를 보였다. 이 결과는 Glazer et al. (1992)이 실시했던 *Sp. littoralis*에 대한 연구결과 (86%)와 매우 유사하게 나타났다. 이들 두 연구결과는 내건제를 포함한 곤충병원선충의 엽면살포를 통한 지상부 해충의 방제 가능성을 분명히 제시하고 있다.

사 사

본 연구의 수행에 있어 내건제의 종류 및 구입에 대해 도움을 준 (주) 태평양화학의 유권종 소장님께 감사드립니다. 이 논문은 농림부에서 시행한 농림수산 특정연구사업의 연구결과입니다.

인 용 문 헌

- Ahn, S.-B., S.-B. Lee and W.-S. Cho. 1991. Leaf feeding insect pests and their damages on welsh onion and shallot fields in Chonrabukdo and Chonranamdo districts. Res. Rept. RDA. 33: 66~73.
- Akhurst, R.J. 1980. Morphological and functional dimorphism in *Xenorhabdus* spp., bacteria symbiotically associated with the insect pathogenic nematodes *Neoalectana* and *Heterorhabditis*. J. Gen. Microbiol. 121: 303~309.
- Akhurst, R.J. 1990. Safety to nontarget invertebrates of nematodes of economically important pests. pp. 234~238 in Safety of microbial insecticides, eds. by M.L. Laird, A. Lacey and E.W. Davidson. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Broadbent, A.B. and TH.H.A. Olthof. 1995. Foliar application of *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) to control *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) larvae in chrysanthemums. Environ. Entomol. 24: 431~435.
- Choo, H.Y., S.M. Lee, B.K. Chung, Y.D. Park and H.H. Kim. 1995. Pathogenicity of Korean entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) against local agricultural and forest insect pests. Korean J. Appl. Entomol. 34: 314~320.
- Gaugler, R. 1981. Biological control potential of neoalectanid nematodes. J. Nematol. 13: 241~249.
- Gaugler, R. and G.M. Boush. 1978. Effects of ultraviolet radiation and sunlight on the entomogenous nematode, *Neoalectana carpocapsae*. J. Invertebr. Pathol. 32: 291~296.
- Gho, H.G., S.G. Lee, B.P. Lee, K.M. Choi and J.H. Kim. 1990. Simple mass-rearing of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on an artificial diet. Korean J. Appl. Entomol. 29: 180~183.
- Gho, H.G., J.D. Park, Y.M. Choi, K.M. Choi and I.S. Park. 1991. The host plants of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), (Lepidoptera: Noctuidae) and its occurrence. Korean J. Appl. Entomol. 30: 111~116.
- Glazer, I., M. Klein, A. Navon and Y. Nakache. 1992. Comparison of efficacy of entomopathogenic nematodes combined with antidesiccants applied by canopy sprays against three cotton pests (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 85: 1636~1641.
- Glazer, I. and A. Navon. 1990. Activity and persistence of entomoparasitic nematodes tested against *Heliothis armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 83: 1795~1800.
- Grewal, P.S. 1998. Formulations of entomopathogenic nematodes for storage and application. Jpn. J. Nematol. 28: 68~74.
- Han, S., S. Lee and Y. Kim. 1999. Pathogenicity and multiplication of entomopathogenic Nematode, *Steinernema carpocapsae* Weiser, on beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) and tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius). Korean J. Appl. Entomol. 38: 255~260.
- Han, S., Y. Kim and B. Lee. 1996. Biological control of vegetable insect pests with entomopathogenic nematodes. Korean J. Soil Zool. 1: 81~88.
- Kamionek, M., I. Maslana and H. Sandner. 1974. The survival of invasive larvae of *Neoalectana carpocapsae* Weiser in a waterless environment under various conditions of temperature and humidity. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 154: 409~412.
- Kaya, H.K. 1985. Entomogenous nematodes for insect control in IPM systems. in Biological control in agricultural IPM systems, eds. by M.A. Hoy and D.C. Herzog. Academic Press, NY.
- Kaya, H.K. and R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. Annu. Rev. Entomol. 38: 181~206.
- Kim, Y. and N. Kim. 1997. Cold hardiness in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). Environ. Entomol. 26: 1117~1123.
- Kim, Y., J. Lee, S. Kang and S. Han. 1997. Variation in insecticide susceptibilities of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner): esterase and acetylcholinesterase activities. Korean J. Appl. Entomol. 36: 172~178.
- Klein, M. 1990. Efficacy against soil-inhabiting insect pests. pp. 195~214 in Entomopathogenic nematodes in biological control, eds. by R. Gaugler and H.K. Kaya. CRC Press. Boca Raton, FL.
- MacVean, C.M., J.W. Brewer and J.L. Capinera. 1982. Field tests of antidesiccants to expand the infection period of an entomogenous nematode, *Neoalectana carpocapsae*, against the Colorado potato beetle. J. Econ. Entomol. 75: 97~101.
- Molyneux, A.S. 1986. *Heterorhabditis* spp. and *Steinernema* (= *Neoalectana*) spp.: temperature, and aspects of behavior and infectivity. Exp. Parasitol. 62: 169~180.
- Park, Y., Y. Kim and Y. Lee. 1999. Identification and characterization of a symbiotic bacterium associated with *Steinernema carpocapsae* in Korea. J. Asis-Pacific Entomol. 2: 105~111.
- Park, Y., Y. Kim, Y. Lee and S. Han. 1998. Optimal storage conditions of the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*. Korean J. Soil Zoology 3: 10~16.
- Peter, C.S., S.F. Carol, M.S. Anthony, T.W. William, P.H.

- Michael and P. Curtis. 1996. Greenhouse and field evaluations of entomopathogenic nematodes (Nematoda: Heterorhabditidae and Steinernematidae) for control of cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) on cabbage. *J. Econ. Entomol.* 89: 1109~1115.
- Poinar, G.O.Jr. 1979. *Nematodes for biological control of insect.* 277 pp. CRC, Boca Raton, FL.
- SAS Institute. 1988. *SAS/STAT User's Guide, Release 6.03.* Ed. Cary, N.C.
- Webster, J.M. and J.F. Bronskill. 1968. Use of Gelgard M, and an evaporation retardant to facilitate control of larch sawfly by nematode-bacterium complex. *J. Econ. Entomol.* 61: 1370~1373.

(1999년 12월 23일 접수, 2000년 8월 23일 수리)