

## 느타리버섯 재배사에서 한국산 *Steinernema*와 *Heterorhabditis*를 이용한 버섯혹파리(*Mycophila speyeri*)의 생물적 방제

김형환 · 추호렬<sup>1\*</sup> · 이동운<sup>2</sup> · 이흥수<sup>3</sup> · 전흥용 · 하판정<sup>4</sup>

원에연구소 원예환경과, <sup>1</sup>경상대학교 농업생명과학대학 응용생물환경학과, 환경생명과학국가핵심연구센터.

<sup>2</sup>상주대학교 농업과학연구소, <sup>3</sup>경남농업기술원 식물환경과, <sup>4</sup>주식회사 세실

### Biological Control of *Mycophila speyeri* Barnes (Diptera: Cecidomyiidae) using Korean *Steinernema* and *Heterorhabditis* Isolates in *Pleurotus ostreatus* Cultivation House

Hyeong Hwan Kim, Ho Yul Choo<sup>1\*</sup>, Dong Won Lee<sup>2</sup>, Heung Su Lee<sup>3</sup>, Heung Yong Jeon and Pan Jung Ha<sup>4</sup>

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

<sup>1</sup>Department of Applied Biology and Environmental Sciences, College of Agriculture & Life Sciences, Environmental Biotechnology National Core Research Center, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Gyeongnam, Republic of Korea

<sup>2</sup>Institute of Agricultural Science, Sangju National University, Sangju 742-711, Gyeongbuk, Republic of Korea

<sup>3</sup>Division of Plant Environment, Gyeongnam Agricultural Research & Extension Services Jinju 660-360, Gyeongnam, Republic of Korea

<sup>4</sup>Sesil Corporation Biological System, Nonsan 320-833, Chungnam, Republic of Korea

**ABSTRACT :** The potential of five entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain, *S. logicaudum* Nonsan strain, *S. glaseri* Dongrae strain, *Heterorhabditis bacteriophora* Hamnyang strain, and *Heterorhabditis* sp. Gyeongsan strain were evaluated as biological control agents against a mushroom fly, *Mycophila speyeri* in the mushroom, *Pleurotus ostreatus* cultivation house. Control effect of *M. speyeri* was significantly different according to nematode species. *Heterorhabditis* was more effective than *Steinernema*. *H. bacteriophora* Hamnyang strain showed the highest control effect representing 49.0% (7 days), 89.5% (14 days) and 89.1% (21 days post-treatment) at the rate of  $1 \times 10^6$  and 46.5% (7 days), 76.6% (14 days) and 85.4% (21 days post-treatment) at the rate of  $1.0 \times 10^5$  Ijs/1.5 m<sup>2</sup> in Changnyoung, Gyeongnam, respectively. In Jinju, Gyeongnam, control effects of the same species were 54.0% (7 days), 74.5% (14 days), and 79.8% (21 days post-treatment) at the rate of  $1 \times 10^6$  and 49.0% (7 days), 76.6% (14 days), and 61.1% (21 days post-treatment) at the rate of  $1.0 \times 10^5$  Ijs/1.5 m<sup>2</sup>, respectively.

**KEY WORDS :** *Mycophila speyeri*, Oyster mushroom, *Steinernema*, *Heterorhabditis*, Biological control

**초 록 :** 느타리버섯 재배사에서 버섯혹파리(*Mycophila speyeri*)에 대한 한국산 곤충병원성 선충 *Steinernema carpocapsae* 포천 계통, *S. logicaudum* 논산 계통, *S. glaseri* 동래 계통, *Heterorhabditis bacteriophora* 함양 계통과 *Heterorhabditis* sp. 경산 계통의 방제효과를 평가하였다. 5종의 한국산 곤충병원성 선충 중 버섯혹파리에 대한 방제는 *Steinernema* 속 3종보다 *Heterorhabditis* 속 2종의 효과가 높았다. 방제효과가 가장 높았던 종은 *H. bacteriophora* 함양 계통이었으며, 1.5 m<sup>2</sup> 당  $1 \times 10^6$  마리로 처리한 7일, 14일, 21일째 방제효과는 창녕에서 49.0%, 89.5%, 89.1%였고,  $1 \times 10^5$  마리로 처리했을 때는 46.5%, 76.7%, 85.4%였다. 그리고 진주에서는  $1 \times 10^6$  마리로 처리한 7일, 14일, 21일째 방제효과가 54.0%, 74.5%, 79.8%였으며,  $1 \times 10^5$  마리로 처리했을 때는 49.0%, 76.6%, 61.1%였다.

**검색어 :** 버섯혹파리, 느타리버섯, *Steinernema*, *Heterorhabditis*, 생물적 방제

\*Corresponding author. E-mail: hychoo@nongae.gsnu.ac.kr

현재 우리나라 버섯재배지에 발생하여 피해를 주고 있는 버섯파리류로는 진수염버섯파리(*Lycoriella mali*), 버섯벼룩파리(*Megaselia tamiladuensis*), 털파리붙이(*Coboldia fuscipes*), 미동정 *Mycetophila* sp. 파리, 버섯혹파리(*Mycophila speyeri*), 미동정 *Bradysia* sp. 파리 등 6속 6종이 보고되어 있다(Lee *et al.*, 1998, 1999a, 2001). 이들 버섯파리는 느타리버섯이나 양송이를 재배하는 동안 균사나 자실체의 조직 및 버섯이 자라는 배지 등에 많은 피해를 주고 있다(Clift, 1979; Lee and Kim, 2003). 버섯파리는 종과 계절에 따라 다양하게 발생하는데, 버섯혹파리의 발생시기는 주로 가을과 겨울로 10-11월에 대량 발생하여 피해를 주고 있다(Kim *et al.*, 1999; Lee, 2002). 버섯에 크게 피해를 주는 혹파리류(Cecidomyiidae)로는 전 세계적으로 *Mycophila fungicola*, *M. barnesi*, *M. speyeri*, *M. pygmaea* 등 6종이 알려져 있다(Pritchard, 1960; Chung and Snetsinger, 1965, 1968; Clift, 1979; White, 1990). 이중 버섯혹파리는 1986년에는 일본에서, 2003년에는 우리나라에서 미기록종으로 보고되었다(Sanui and Yukawa, 1986; Yukawa, 1996; Lee and Kim, 2003). 버섯혹파리는 다른 버섯파리와 달리 유태생으로 번식하기 때문에 다음 세대의 밀도가 급격히 증가하는 종으로서 버섯재배사에 일단 발생이 되면 극심한 피해를 유발한다. 유충은 오렌지색을 띠며 균사와 배지의 영양분을 흡즙하고, 자실체의 갓과 대에도 침입하여 피해를 일으킨다. 그리고 배지가 스폰지상으로 되어 버섯 재배가 불가능하게 될 만큼 심각한 피해를 준다(Lee, 2002).

한편, 버섯파리의 방제를 목적으로 국내에 등록되어 있는 약제로는 트리아진계의 트리가드 수화제와 곤충성장조절제인 디밀린 수화제, 노몰트 액상수화제 등 3종류의 농약이 등록되어 있으나, 실제 버섯재배농가에서는 효과에 만족스러워 하지 못하고 있다(Kim, H.H., observation data). 특히, 버섯은 식용으로 이용되기 때문에 건강에 대한 우려와 안전농산물 생산에 대한 소비자의 욕구증대 등으로 인하여 살충제 살포에 많은 제한점을 가지고 있다. 또한 버섯 재배기간동안 버섯혹파리가 지속적으로 발생하기 때문에 반복적인 살충제의 사용도 제한 요인의 하나이다. 따라서 살충제를 대신할 수 있는 버섯혹파리의 방제법 개발이 절실한 실정이다. 대체 방법으로는 *Hypoaspis miles* 응애와 곤충병원성 선충 (Kim *et al.*, 2001), *Bacillus thuringiensis* 등을 이용한 방법 등이 있는데(Duso and Vettorazzo, 1991), 곤충병원성선충은 버섯파리류 방제에 활

용할 수 있는 우수한 생물적 방제 인자이다(Richardson and Grewal, 1991; Gauge and Hague, 1994, 1995). 실제 우리나라 버섯재배사에 문제가 되고 있는 진수염버섯파리나 작은뿌리파리에 대한 곤충병원성선충의 효과는 선충의 종류나 농도, 대상해충의 발육 단계에 따라 차이가 있기는 하지만, 포장에서 70% 이상의 효과를 보이고 있다(Kim *et al.*, 2001, 2003). 한편, 버섯파리류들 중에서도 검정날개버섯파리과(Sciaridae)에 속하는 *Bradysia* sp.나 *Lycoriella* sp. 등은 곤충병원성선충들 중 *Steinernema feltiae*가 효과적(Tomalak and Lipa, 1991; Grewal *et al.*, 1993)인 반면, 혹파리과(Cecidomyiidae)의 경우는 *Heterorhabditis heliothidae*가 *S. feltiae*보다 효과가 우수한 것으로 나타나(Richardson and Hughes, 1986) 버섯파리의 종에 따라 선충의 효과가 다르게 나타나고 있다.

따라서 본 연구는 화학적 방제의 단점을 보완하고 농가에서 직접 적용이 가능한 환경 친화적 버섯혹파리 방제법의 일환으로 우리나라에서 탐색된 곤충병원성 선충을 이용한 방제 가능성에 대하여 느타리버섯재배사를 대상으로 효과시험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 곤충병원성 선충

우리나라 토양에서 분리한 *S. carpocapsae* 포천 계통(ScP)과 *S. longicaudum* 논산 계통(SIN), *Heterorhabditis bacteriophora* 함양 계통(HbH), 그리고 부산 동래골프장과 대구골프장의 동얼룩풍뎅이(*Exomala orientalis*) 유충에서 각각 분리한 *S. glaseri* 동래 계통(SgD) 및 *Heterorhabditis* sp. 경산 계통(HG)을 실험에 이용하였다. 곤충병원성 선충은 꿀벌부채명나방 노숙 유충을 이용하여 Dutky *et al.* (1964)의 방법으로 대량 증식시켰다. 증식된 선충은 White trap을 이용하여 수확하였으며 10°C 냉장고에 보관하였다. 실험에는 수확한지 21일 이내의 선충을 이용하였다(Kaya and Stock, 1997).

### 포장 시험

버섯혹파리에 대한 포장시험은 버섯혹파리의 발생이 심하였던 9월 하순에 경남 창녕과 진주에 있는 느타리버섯 재배사에서 각각 수행하였다. 재배사 면적은 두 지역 모두 7.0 × 15.0 m였고, 균상 면적은 1.2 ×

12.0m였으며, 전체 3단, 4줄로 이루어져 있었다. 처리 당시의 버섯은 종균 접종 후 52일째와 48일째로 버섯은 2기 수확 중이었다. 처리는 아래쪽의 1단과 2단에 있는 균상에서 1.0×1.5m를 하나의 시험구로 하여 완전임의배치법으로 5반복 수행하였다. 실험에 사용한 곤충병원성선충 ScP, SiN, SgD, HbH, HG는 각각 1.0×10<sup>5</sup>마리/m<sup>2</sup>와 1×10<sup>6</sup>마리/m<sup>2</sup> 농도로 처리하였다. 6l의 선충현탁액을 물조리개로 살포하였고, 무처리구는 물만 6l 살포하였다. 선충의 효과조사를 위하여 선충 살포 전과 살포 7, 14, 21일 후에 버섯배지 10×10×10cm를 각 시험구의 3지점에서 임의로 취하여 실험실로 가져와 골고루 섞은 다음, Lee et al. (1999b)의 방법으로 버섯혹파리 유충을 분리하여 그 수를 헤아렸다. 실험기간 중 재배사 관리는 농가관행에 준하였으며, 시험 중 재배사내의 평균 온도는 23±5°C (창녕)와 24±4°C (진주)였으며, 상대습도는 72±8% (창녕)와 83±7% (진주)였다.

### 통계처리

방제 효과는 처리 전 유충 밀도와 처리 후 유충 밀도를 비교하여 유충감소율을 구한 다음 P<0.05 범위에서 Tukey test로 분산분석하였다(SAS Institute, 1996).

## 결과 및 고찰

버섯혹파리 유충에 대한 한국산 곤충병원성선충은

종에 따라 병원성에서 차이를 보였다(Table 1, 2). 경남 창녕과 진주에 있는 버섯재배사 모두에서 *Steinernema*선충에 비하여 *Heterorhabditis*선충의 병원성이 높았다. 버섯혹파리 유충의 평균밀도가 15,350±720마리/m<sup>2</sup>였던 경남 창녕 느타리버섯 재배사에 곤충병원성선충을 처리한 결과, 처리 14일 후 HbH와 HG 처리구에서 89.5%와 87.6%의 높은 보정사충율을 나타내었다(처리 7일차: F=36.99, df=9, 40, P=0.0001; 처리 14일차: F=196.09, df=9, 40, P=0.0001; 처리 21일차: F=191.21, df=9, 40, P=0.0001)(Table 1). 반면, ScP, SiN, SgD처리구에서는 각각 31.4%와 13.1%, 15.6%의 낮은 방제율을 보였다. 그러나 처리 농도에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다.

한편, 버섯혹파리 유충의 평균밀도가 5,650±1,603/m<sup>2</sup>였던 경남 진주의 느타리버섯 재배사에 곤충병원성선충을 처리한 결과도 창녕에서 행한 실험결과와 유사한 경향을 보였다. 곤충병원성선충 처리 7일 후의 보정사충율은 처리 14일과 21일 후에 비하여 낮았고(처리 7일차: F=24.79, df=9, 40, P=0.0001; 처리 14일차: F=124.95, df=9, 40, P=0.0001; 처리 21일차: F=71.06, df=9, 40, P=0.0001)(Table 2), 처리 14일 후와 21일 후의 보정사충율은 HbH와 HG 처리구에서 높았다. 그러나 그 외는 낮았다. 그리고 처리 농도에 따라서는 HbH와 HG처리 21일 후를 제외하고는 차이가 없었다.

우리나라에서 느타리버섯은 1972년부터 인공 재배되기 시작하여 2002년 현재 재배면적 2,147,000평, 생

**Table 1.** Effect of Korean *Steinernema* and *Heterorhabditis* on *Mycophila speyeri* larvae in the oyster mushroom houses in Changnyeong, Gyeongnam

Entomopathogenic nematode	Concentration (Ijs/m <sup>2</sup> )	% corrected mortality ± SD		
		7 DAT*	14 DAT	21 DAT
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i> Hamyang strain	1.0 × 10 <sup>6</sup>	49.0 ± 3.8 a**	89.5 ± 1.9 a	89.1 ± 3.0 a
	1.0 × 10 <sup>5</sup>	46.5 ± 6.0 a	76.6 ± 4.8 bc	85.4 ± 2.5 a
<i>Heterorhabditis</i> sp. Gyeongsan strain	1.0 × 10 <sup>6</sup>	47.2 ± 8.7 a	87.4 ± 3.0 ab	87.6 ± 4.8 a
	1.0 × 10 <sup>5</sup>	38.7 ± 5.0 a	72.5 ± 5.8 c	83.0 ± 3.2 a
<i>Steinernema carpocapsae</i> Pocheon strain	1.0 × 10 <sup>6</sup>	21.1 ± 9.1 b	31.4 ± 7.3 d	26.5 ± 9.6 b
	1.0 × 10 <sup>5</sup>	9.0 ± 8.7 bc	30.9 ± 11.8 d	26.7 ± 9.3 b
<i>Steinernema glaseri</i> Dongrae strain	1.0 × 10 <sup>6</sup>	9.1 ± 6.2 bc	14.2 ± 3.6 e	15.6 ± 7.1 bc
	1.0 × 10 <sup>5</sup>	6.7 ± 4.8 bc	6.2 ± 4.7 e	2.8 ± 3.1 c
<i>Steinernema longicaudum</i> Nonsan strain	1.0 × 10 <sup>6</sup>	11.1 ± 8.5 bc	12.4 ± 2.2 e	13.1 ± 9.0 c
	1.0 × 10 <sup>5</sup>	5.2 ± 5.5 c	5.7 ± 3.0 e	4.3 ± 2.0 c

\*Days after treatment.

\*\*Means within a column followed by the same letter are not significantly different by Tukey's Studentized Range test (P = 0.05).

Corrected mortality: [(Treatment mortality - Control mortality)/(100 - Control mortality)] × 100.

Control mortality was 6.3 ± 3.4 on 7 DAT, 8.7 ± 2.2 on 14 DAT, and 12.9 ± 2.8 on 21 DAT.

Pre-treatment density of *Mycophila speyeri* larvae in the oyster mushroom bed was 15,350 ± 720/m<sup>2</sup>.

**Table 2.** Effect of Korean *Steinernema* and *Heterorhabditis* on *Mycophila speyeri* larvae in the oyster mushroom house in Jinju, Gyeongnam

Entomopathogenic nematode	Concentration (Ijs/m <sup>2</sup> )	% corrected mortality $\pm$ SD		
		7 DAT*	14 DAT	21 DAT
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i> Hamyang strain	1.0 $\times$ 10 <sup>6</sup>	54.0 $\pm$ 5.6 a**	74.5 $\pm$ 6.3 a	79.8 $\pm$ 7.6 a
	1.0 $\times$ 10 <sup>5</sup>	49.0 $\pm$ 18.7 a	76.6 $\pm$ 4.8 a	61.1 $\pm$ 14.5 bc
<i>Heterorhabditis</i> sp. Gyeongsan strain	1.0 $\times$ 10 <sup>6</sup>	49.9 $\pm$ 3.4 a	74.1 $\pm$ 2.7 a	76.7 $\pm$ 3.8 ab
	1.0 $\times$ 10 <sup>5</sup>	53.5 $\pm$ 12.5 a	74.2 $\pm$ 7.0 a	60.3 $\pm$ 3.9 c
<i>Steinernema carpocapsae</i> Pocheon strain	1.0 $\times$ 10 <sup>6</sup>	22.9 $\pm$ 2.6 b	37.9 $\pm$ 1.9 b	40.2 $\pm$ 5.2 d
	1.0 $\times$ 10 <sup>5</sup>	17.4 $\pm$ 10.4 b	40.9 $\pm$ 4.0 b	30.4 $\pm$ 7.2 d
<i>Steinernema glaseri</i> Dongrae strain	1.0 $\times$ 10 <sup>6</sup>	9.1 $\pm$ 6.2 b	11.2 $\pm$ 4.6 c	13.2 $\pm$ 7.2 e
	1.0 $\times$ 10 <sup>5</sup>	8.9 $\pm$ 7.7 b	12.7 $\pm$ 9.3 c	9.7 $\pm$ 8.6 e
<i>Steinernema longicaudum</i> Nonsan strain	1.0 $\times$ 10 <sup>6</sup>	14.6 $\pm$ 3.6 b	13.1 $\pm$ 4.6 c	5.9 $\pm$ 7.1 e
	1.0 $\times$ 10 <sup>5</sup>	9.9 $\pm$ 4.7 b	10.5 $\pm$ 7.9 c	9.1 $\pm$ 6.5 e

\*Days after treatment.

\*\*Means within a column followed by the same letter are not significantly different by Tukey's Studentized Range test (P = 0.05).

Corrected mortality; [(Treatment mortality - Control mortality)/(100 - Control mortality)]  $\times$  100.Control survival was 110.9  $\pm$  7.8 on 7 DAT, 113.4  $\pm$  14.2 on 14 DAT, and 111.5  $\pm$  6.0 on 21 DAT.Pre-treatment density of *Mycophila speyeri* larvae in the oyster mushroom bed was 5,650  $\pm$  1,603/m<sup>2</sup>.

산량 72,348,000톤으로 1986년 대비 각각 5.4배와 4.7배가 증가하였다(Ministry of Agriculture and Forestry, 2002). 1995년부터는 느타리버섯이 7천만 톤 이상이나 생산되었으며, 그 생산량은 현재까지 비슷하게 지속되고 있다. 느타리버섯을 비롯한 버섯 생산량 증가는 병해충의 문제를 동반하게 되었으며, 이중 버섯파리에 의한 피해가 해마다 증가하고 있다. 버섯재배 초기인 1970년대는 양송이 재배농가에 발생하는 버섯파리류로 sciarid와 phorid 버섯파리류와 흑파리과(Cecidomyiidae)에 속하는 *Mycophila* spp.와 *Heterorpeza* spp.만이 보고되었으나(Han *et al.*, 1977), sciarid와 phorid 버섯파리류는 피해가 경미하여 방제의 필요성이 부각되지 않았다. 그러나 흑파리과에 속하는 버섯파리류 2종은 피해가 심하여 방제를 요하는 해충으로 부각되었다. 그러나 1980년대부터는 sciarid와 phorid 버섯파리류의 피해도 증가하기 시작하여 방제용 약제를 선별하게 되었다. 그리고 1990년대부터 최근까지 느타리버섯 재배사에 발생하는 버섯파리류는 5속 6종이 보고되었으며(Kim *et al.*, 1999), 피해정도와 피해양상이 다양하게 나타나고 있어 방제의 필요성이 대두되고 있다.

버섯파리를 방제하기 위한 수단으로 가장 많이 이용되고 있는 방법은 살충제를 이용한 화학적 방제이다(Han *et al.*, 1977; Jhun *et al.*, 1990; Grewal *et al.*, 1992). 그리고 한정적이기는 하나 건강에 대한 우려의 증가로 살충제 사용을 기피함으로써 친환경적 방제인자인 곤충병원성선충의 이용이 시도되고 있다. Schee-

pmaker *et al.* (1997)은 버섯에 기생하는 파리인 *Lycoriella mali*와 *Megaselia halterata*에 곤충병원성선충 *S. feltiae*를 m<sup>2</sup> 당 10<sup>6</sup>마리를 처리한 결과, 1일 후 버섯파리 암컷 1세대는 97%, 7일 후 2세대는 95% 감소하였다고 하였으며, Grewal *et al.* (1992)은 *S. feltiae*를 *L. auripila*에 0.56m<sup>2</sup> 당 3  $\times$  10<sup>6</sup>마리로 처리한 결과, diflubenzuron을 처리한 구의 버섯무게와 수량은 각각 6%와 14.6% 감소한 데 비하여 선충처리구에서는 19%와 28.5%가 증수되었다고 하여 곤충병원성선충의 활용 가능성을 제시하였다. 우리나라에서도 곤충병원성선충은 버섯 해충인 긴수염버섯파리(*Lycoriella mali*)와 작은뿌리파리(*Bradysia agrestis*)에 대하여 높은 효과를 나타내었다. 즉, Kim *et al.* (2001)은 느타리버섯 재배사에 *S. carpocapsae*를 1.5m<sup>2</sup> 당 2.25  $\times$  10<sup>5</sup>마리와 4.5  $\times$  10<sup>5</sup>마리로 처리하여 처리 14일 후 긴수염버섯파리의 유충감소율을 42.2%와 81.6%를 얻었다. 육묘장에서는 *S. carpocapsae* 처리가 diflubenzuron이나 chlorpyrifos에 비하여 작은뿌리파리 유충 밀도의 억제에서 효과는 덜 하지만 약해없이 작은뿌리파리를 효과적으로 방제할 수 있었다(Kim *et al.*, 2003). 실제 느타리버섯재배사에서 곤충병원성선충은 버섯에 아무런 영향을 미치지 않는다(Kim *et al.*, 2001).

긴수염버섯파리(Kim *et al.*, 2001)나 작은뿌리파리(Kim *et al.*, 2003)에서는 *S. carpocapsae* 포충 계통이 *H. bacteriophora* 함양 계통에 비하여 효과가 우수하였으나, 본 실험의 버섯흑파리에 대해서는 반대의 경향을 나타내었다. *Lycoriella* sp.의 경우 *S. feltiae*가 효

과적이었지만(Grewal et al., 1993; Tomalak and Lipa, 1991), Richardson과 Hughes (1986)는 *H. heliothidis* (= *H. bacteriophora*)가 *S. feltiae*보다 흑파리과에는 더 효과적이라고 하여 본 연구의 결과와 일치하는 경향이였다.

곤충병원성선충은 기주의 입이나 항문, 기문과 같은 자연개구부나 표피를 뚫고 침입한다(Woodring and Kaya, 1988). 따라서 기주곤충의 크기는 곤충병원성선충의 침입이나 병원성에 영향을 미칠 수 있다. 목화바둑명나방(*Palpita indica*)이나 잔디밤나방(*Spodoptera depravata*) 등은 노숙 유충이 될수록 곤충병원성선충에 대해 감수성이 낮다(Kim et al., 2001; Kang et al., 2004). 반면, 작은뿌리파리와 긴수염버섯파리 유충은 노숙 유충에 가까울수록 곤충병원성선충의 기생률이 더 높은 편이다(Kim et al., 2001; Kim et al., 2003). 이는 유충의 크기에 따른 차이로 전자의 경우 충체의 크기가 증가함에 따라 유충의 크기가 매우 증대하여 곤충병원성 선충의 공생세균에 대한 면역력이 증가함이고 (Park et al., 2003), 후자의 경우는 유충의 크기가 증가함에 따라 곤충병원성선충의 침입과 증식에 유리하였기 때문으로 생각된다. 따라서 *Steinernema* 선충이 *Heterorhabditis* 선충에 비하여 검정날개버섯파리과에 효과적이지만, 본 연구에서는 반대의 경향을 보였는데, 버섯흑파리의 크기와 관련이 있을 것으로 생각된다. 즉, 버섯흑파리의 크기는 암컷의 체장이 1.2-1.13 mm 내외로(Lee and Kim, 2003) 검정날개버섯파리과의 긴수염버섯파리의 3.4-3.77 mm (Lee et al., 1999)나 작은뿌리파리의 1.1-2.4 mm (Park et al., 1999)에 비하여 현저히 작다. 유충의 크기도 버섯흑파리의 어미유충은 1.55-2.75 mm, 어미유충에서 갓 나온 어린유충은 0.52-0.87 mm (Lee and Kim, 2003)로 작은뿌리파리 노숙유충의 4 mm내외에 비하여 작다(Park et al., 1999). 그러나 선충의 크기는 *H. bacteriophora* 침입태 유충이 512-671  $\mu\text{m}$ , *S. carpocapsae* 침입태 유충은 438-650  $\mu\text{m}$ 로 비슷한 편이다(Adams and Nguyen, 2002). 따라서 기주체의 크기가 작아 자연 개구부를 통한 침입이 제한적인 조건에서는 표피침입이 가능한 *Heterorhabditis* 선충(Bedding and Molyneux, 1982)이 효과적이었을 것이라고 생각된다. Kim et al. (2001)도 25°C에서 긴수염버섯파리의 반수치사농도를 조사한 결과, 유충의 크기가 큰 3령충과 4령충에서는 ScP가 HbH에 비하여 반수치사농도가 5배 정도 낮았던데 비하여, 크기가 작은 2령충에서는 HbH의 반수치사농도

가 ScP에 비하여 오히려 낮았다. 또한 ScP는 작은뿌리파리 3, 4령충에 비하여 2령충에서 침입수가 적었으나 HbH는 령기별로 침입수에서 차이가 없었다.

진주에 비하여 창녕의 버섯재배사에서 버섯흑파리의 방제효과가 다소 높았는데, 이는 두 버섯재배사간의 환경적 요인과 함께 버섯흑파리의 밀도 때문으로 생각된다. 즉, 창녕 버섯재배사의 처리 전 버섯흑파리 밀도는 15,350 $\pm$ 720/m<sup>2</sup>로, 진주의 버섯재배사 5,650 $\pm$ 1,603/m<sup>2</sup>에 비하여 3배정도 높았다. 일반적으로 해충의 밀도가 높을수록 곤충병원성선충의 효과는 증가된다(Mracek et al., 1999).

느타리버섯재배사에 발생하는 버섯가해 해충들 중 긴수염버섯파리나 작은뿌리파리는 봄과 가을 두 차례에 주로 발생하는 반면, 버섯흑파리는 가을철에만 주로 발생한다. 그리고 유태생으로 번식하는 특성으로 인하여 짧은 시간에도 밀도 증가가 크게 일어난다. 따라서 버섯흑파리가 발생한 재배사에는 본 종이 우점하게 된다(Lee et al., 1998). 실제 버섯흑파리나 긴수염버섯파리, 작은뿌리파리, 버섯벼룩파리(*Megaselia tamiladuensis*), *Coboldia fuscipes* 등이 혼재하는 느타리버섯 재배사에서는 버섯흑파리의 발생초기인 8월 중순부터 본 종이 우점하였고(Lee et al., 1998), 본 실험의 시험지인 두 버섯재배사에서도 동일한 경향이였다. 그러나 버섯흑파리의 발생시기가 8월 중순임을 감안하면 시기에 따른 방제효과를 검정해보는 것도 필요할 것으로 생각된다. 특히, 버섯재배사에 살포된 곤충병원성선충의 지속성은 조사를 수행한 2주 동안 차이를 보이지 않았고(Kim et al., 2001), 육묘장의 묘상에서도 6주 동안이나 지속되었다(Kim et al., 2003). 이를 감안하면 버섯흑파리의 발생 초기에 곤충병원성선충을 살포하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 본 실험에 처리한 곤충병원성선충의 농도는 버섯흑파리 방제 효과에 유의한 차이를 보이지 않았다. 그리고 처리농도에 따른 곤충병원성선충의 지속성도 큰 차이를 보이지 않기 때문에(Kim et al., 2001), 버섯흑파리 방제를 위하여 곤충병원성선충을 처리할 경우 일반적인 곤충병원성 선충의 권장 처리 농도인 10<sup>5</sup> Ijs/m<sup>2</sup> (Thomson, 1992)만 처리하여도 충분할 것으로 사료된다.

본 실험의 결과는 곤충병원성선충을 이용한 버섯흑파리의 환경친화적 방제 가능성을 시사하고 있다. 특히, 검정날개버섯파리과의 유충들과는 달리 *Steinernema* 선충보다는 *Heterorhabditis* 선충이 효과적이었던 점을 미루어 볼 때, 느타리버섯 재배사에 버섯흑파

리가 발생하여 피해가 확인되면 *Heterorhabditis* 선충만의 단독 처리로도 효과적인 방제를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업과 한국학술진흥재단의 신진연구인력 연구장려금의 일부로 수행되었다.

## Literature Cited

- Adams, B. and K.B. Nguyen. 2002. Taxonomy and systematics. pp. 1-34. In Entomopathogenic nematology, ed. by R. Gaugler. 388 pp. CABI publishing, Oxon.
- Bedding, R. and A. Molyneux. 1982. Penetration of insect cuticle by infective juveniles of *Heterorhabditis* spp. (Heterorhabditidae: Nematoda). *Nematologica* 28: 354-359.
- Chung, S.L. and R. Snetsinger. 1965. Environmental effects upon reproduction of a mushroom-infesting cecid fly, *Mycophila speyeri* (Barnes) (Diptera: Cecidomyiidae). *Cand. Ent.* 97: 1318-1323.
- Chung, S.L. and R. Snetsinger. 1968. Comparative effects of certain environmental factors upon the life cycles of two species of mushroom infesting cecid flies. *Mushroom Science* VII: 247-256.
- Clift, A.D. 1979. The identity, economic importance and control of insect pests of mushrooms in new south wales, Australia. *Mushroom Science* X: 367-383.
- Duso, C. and E. Vettorazzo. 1991. Esperienze di lotta contro *Bradysia paupera* Tuom. (Diptera, Sciaridae) su carciofo e begonia in coltura protetta. *Motiziaro Sullemalattie Deffle Piante*. 112: 89-99.
- 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.
- Gouge, D.H. and N.G.M. Hague. 1994. Control of sciarids in glass and propagation houses, with *Steinernema feltiae*. *Brighton Crop Protec. Conf.* 1073-1078.
- Gouge, D.H. and N.G.M. Hague. 1995. The susceptibility of different species of sciarid flies to entomopathogenic nematodes. *J. Helminthol.* 69: 313-318.
- Grewal, P.S., P.N. Richardson, G. Collins and R.N. Edmondson. 1992. Comparative effects of *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) and insecticides on yield and cropping of the mushroom *Agaricus bisporus*. *Ann. Appl. Biol.* 121: 511-520.
- Grewal, P.S., M. Tomalak, C.B.O. Keil and R. Gaugler. 1993. Evaluation of a genetically selected strain of *Steinernema feltiae* against the mushroom sciarid *Lycoriella mali*. *Ann. Appl. Biol.* 123: 695-702.
- Han, Y.S., G.C. Shin and G.P. Kim. 1977. An experiment on the protection against mushroom sporophore contamination caused by a mushroom-infesting cecid fly, *Mycophila* sp. (Diptera: Cecidomyiidae). *Res. Rept. RDA.* 19: 21-25.
- Jhune, C.S., C.H. You, D.Y. Cha and G.P. Kim. 1990. Selection and applying method of pesticides for control of mushroom flies during the cultivation of oyster mushroom, *Pleurotus* spp.. *Res. Rept. RDA.* 2: 64-70.
- Kang, Y.J., D.W. Lee, H.Y. Choo, S.M. Lee, T.W. Kweon and S.M. Lee. 2004. Biological control of *Spodoptera depravata* (Butler) (Lepidoptera: Noctuidae) using entomopathogenic nematodes. *Korean J. Appl. Entomol.* 43: 61-70.
- Kaya, H.K. and S.P. Stock. 1997. Technique in insect pathology, pp.281-324. In: L. A. Lacey (eds.). *Manual of techniques in insect pathology*. Academic Press, San Diego, CA, USA
- Kim, H.H., H.Y. Choo, H.S. Lee, C.G. Park, D.W. Lee, B.R. Jin and Y.M. Choo. 2001. Biological control of *Lycoriella mali* (Diptera: Sciaridae), a pest of oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* using entomopathogenic nematodes. *Korean J. Appl. Entomol.* 40: 59-67.
- Kim, H.H., H.Y. Choo, D.W. Lee, S.M. Lee, H.Y. Jeon, M.R. Cho and M.S. Yiem. 2003. Control efficacy of Korean entomopathogenic nematodes against fungus knat, *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae) and persistence in bed soil. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44: 393-401.
- Kim, H.H., H.Y. Choo, H.K. Kaya, D.W. Lee, S.M. Lee and H.Y. Jeon. 2004. *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) as a biological control agent against the fungus gnat *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae) in propagation houses. *Biocontrol. Sci. Technol.* 14: 171-183.
- Kim, S.R., K.H. Choi, E.S. Choi, W.J. Yang, B.R. Jin and H.D. Sohn. 1999. An investigation of the major dipteran pests on the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in Korea. *Koran J. Appl. Entomol.* 38: 41-46.
- Lee, H.S. 2002. Studies on the biology and damage of *Lycoriella mali* (Diptera: Sciaridae) as pest of oyster mushroom in Korea. PhD thesis of Chonnam National University 79pp.
- Lee, H.S., H.W. Lee, W.G. Shin and C.G. Park. 1998. Studies of control of pests and insect pests in mushroom. Report of Kyongnam ARES. 239-246.
- Lee, H.S. and K.J. Kim. 2003. Report on *Mycophila speyeri* Barnes (Diptera: Cecidomyiidae) as a pest of mushroom cultivation in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 42: 71-75
- Lee, H.S., K.J. Kim and H.U. Lee. 1998. Effect of temperature on the development of sciarid fly, *Bradysia* sp. (Diptera: Sciaridae). *Korean J. Appl. Entomol.* 37: 171-178.
- Lee, H.S., K.C. Kim, C.G. Park and W.K. Shin. 1999a. Description of fungus gnat, *Lycoriella mali* Fitch (Diptera: Sciaridae) from Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 38: 209-212.
- Lee, H.S., K.J. Kim, G.W. Song and J.H. Kim. 1999b. Isolation method of mushroom infesting pests from mushroom growing compost. *Korean J. Mycol.* 27: 289-292.
- Lee, H.S., K.C. Kim and B.K. Chung. 2001. A report on *Megaselia tamiladuensis* Disney (Diptera: Phoridae) as a pest of oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 40: 345-348.
- Mráček, Z., S. Bečvář, P. Kindlmann and Z.M. Webster. 1999. Factors influencing the infectivity of a Canadian isolate of *Steinernema kraussei* (Nematoda: Steinernematidae) at low temperature. *J. Invertebr. Pathol.* 73: 243-247.
- Ministry of Agriculture and Forestry Republic of Korea. 2002. *Agricultural & forestry statistical yearbook*. pp.300-301.
- Park, Y.J., G.H. Kim and Y.G. Kim. 2003. Comparative analysis of host insect immunodepression induced by two entomopathogenic bacteria, *Xenorhabdus nematophilus* and *Staphylococcus gallinarum*, with different pathogenicities. *Korean J. Appl. Entomol.* 42: 353-360.
- Park, C.G., J. Yoo, M. Sasakawa, H.Y. Choo, H.H. Kim and H.S. Lee. 1999. Notes on newly recorded insect pest, *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae). *Korean J. Appl. Entomol.* 38: 59-62.
- Pritchard, A.E. 1960. A new classification of the paedogenic gall midges formerly assigned to the subfamily Heteropezinae (Diptera: Cecidomyiidae). *Ann. Ent. Soc. Amer.* 53: 305-316.
- Richardson, P.N. and P.S. Grewal. 1991. Comparative assessment of biological (Nematoda: *Steinernema feltiae*) and chemical methods of control for the mushroom fly *Lycoriella auripila*

- (Diptera: Sciaridae). *biocont. Sci. Technol.* 1: 217~228.
- Richardson, P.N. and J.C. Hushes. 1986. Use of the nematode *Heterorhabditis heliothidis* to control mushroom cecidomyiid flies (Diptera: Cecidomyiidae). Abstracts X VIII International Nematology Symposium, Antibes, September, p.25.
- Sanui, T. and J. Yukawa. 1986. Discovery of a paedogenetic gall midge (Diptera: Cecidomyiidae) in Japan and notes on its reproduction in vitro and infestation in a cultivating factory of the oyster mushroom. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 30: 50~54.
- Scheepmaker, J.W.A., F.P. Geels, P.H. Smits and L.J.L.D. van Griensven. 1997. Control of the mushroom pests *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae) and *Megaselia halterata* (Diptera: Phoridae) by *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) in field experiments. *Ann. Appl. Biol.* 131: 359~368.
- SAS Institute. 1996. "SAS 6.11 for Window" SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Thomson, W.T. 1992. A worldwide guide to beneficial animals used for pest control purposes. 92 pp. Thomson Publications. CA. USA.
- Tomalak, M. and J.J. Lipa. 1991. Factors affecting entomophilic activity of *Neoaplectana feltiae* in mushroom compost. *Entomol. exp. Appl.* 59: 105~110.
- White, P.F. 1990. Effects of the paedogenetic mushroom cecid, *Heteropeza pygmaea* (Diptera: Cecidomyiidae) on cropping of the cultivated mushroom (*Agaricus bisporus*). *Ann. Appl. Biol.* 117: 63~72.
- Woodring, J.L. and H.K. Kaya. 1988. Steinernematidae and heterorhabditid nematodes: A handbook of techniques. Southern Coop. Ser. Bull. 331, Arkansas Agri. Exp. Stn. Fayetteville, AR. 29 pp.
- Yukawa, J. 1996. Identification of paedogenetic gall midge, *Mycophila speyeri* (Diptera: Cecidomyiidae) and possibility of accidental introduction to Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 40: 135~143.

(Received for publication 13 July 2004;  
accepted 14 August 2004)