

곤충병원성 선충을 이용한 느타리버섯해충,
긴수염버섯파리 (*Lycoriella mali*)의 생물적방제

**Biological Control of *Lycoriella mali* (Diptera: Sciaridae),
a Pest of Oyster Mushroom, *Pleurotus ostreatus* Using
Entomopathogenic Nematodes**

김형환 · 추호렬 · 이흥수¹ · 박정규 · 이동운 · 진병래² · 추영무²
Hyeong Hwan Kim, Ho Yul Choo, Heung Su Lee¹, Chung Gyoo Park,
Dong Woon Lee, Byung Rae Jin² and Young Moo Choo²

Abstract – The potential of two entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain and *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain as biological control agents was evaluated against mushroom fly, *Lycoriella mali* in laboratory and field. Mortality of *L. mali* was significantly different according to nematode species, concentration, temperature, and developmental stage of fly. *S. carpocapsae* was more effective than *H. bacteriophora*. Mortality of *L. mali* was higher at 25°C than at 20°C. In addition, the 3rd instar and the 4th instar of *L. mali* were more susceptible than the 2nd instar. The lowest LC₅₀ value was represented by *S. carpocapsae*, 20.0 infective juveniles (Ijs) in the 3rd instar, 27.5 Ijs in the 4th instar at 25°C. *S. carpocapsae* infected all the developmental stages of *L. mali* except egg stage and the 1st instar of larva. The highest mortality was shown in adult female representing 74.0% at 20°C and 80.0% at 25°C. *L. mali* female adult was influenced by *S. carpocapsae* in oviposition. The number of eggs by *L. mali* female infected by nematodes was much lower than uninfected females. *S. carpocapsae* was dispersed by infected *L. mali* adult with higher numbers by females than males. When *S. carpocapsae* was applied at the rate of 2.25×10^5 and 4.5×10^5 Ijs/1.5 m² in the mushroom house, mortalities were 42.2% and 81.6%, respectively. The infective juveniles of nematodes survived for 14 days in the mushroom medium. However, nematodes did not affect mushroom growth.

Key Words – *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain, *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain, Mortality, LC₅₀

초 록 – 긴수염버섯파리 (*Lycoriella mali*)에 대한 곤충병원성 선충 *Steinernema carpocapsae* 포천 계통과 *Heterorhabditis bacteriophora* 함양 계통의 병원성을 실내와 포장에서 실험하였다. 곤충병원성 선충에 의한 긴수염버섯파리의 치사율은 선충의 종, 농도, 온도 및 긴수염버섯파리의 발육단계에 따라 차이가 있었다. *S. carpocapsae*가 *H. bacteriophora*보다, 긴수염버섯파리 2령충보다는 3령충과 4령충에서 효과가 높았다. 그리고 온도에 따른 긴수염버섯파리의 치사율은 20°C보다는 25°C에서 높았다. 반수치사농도가 가장 낮았던 값은 25°C에서 *S. carpocapsae*의 긴수염버섯파리 2령

경상대학교 농과대학 농생물학과 (Department of Agricultural Biology, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju, Gyeongnam, 660-701, Korea)

¹ 경남농업기술원 (Division of Plant Environmental, Gyeongnam Agricultural Research and Extension Service, Chinju, Gyeongnam, 660-360, Korea)

² 동아대학교 생명자원과학부 응용생물과학과 (Department of Applied Biological Science, College of Natural Resources and Science, Dong-a University, Pusan, 604-714, Korea)

층에서 20.0마리, 3령층에서 27.5마리였다. *S. carpocapsae*에 의한 긴수염버섯파리의 치사율은 알과 1령층을 제외한 전 발육단계에서 병원성이 높았으며, 가장 치사율이 높았던 것은 암컷 성충으로 20°C에서 74.0%, 25°C에서 80.0%였다. *S. carpocapsae*는 긴수염버섯파리 암컷의 산란수를 감소시켰고, 긴수염버섯파리의 성충에 의하여 감염이 된 후 전파가 되었다. 포장실험에서 *S. carpocapsae*를 1.5m² 당 2.25 × 10⁵마리와 4.5 × 10⁵마리로 처리한 14일째 유충감소율은 42.2%와 81.6%였으며, 버섯재배사에서 곤충병원성 선충은 14일까지 지속되고 있었다. 곤충병원성 선충은 느타리버섯의 성장에는 아무런 영향을 미치지 않았다.

검색어 - *Steinernema carpocapsae* 포천 계통, *Heterorhabditis bacteriophora* 함양 계통, 치사율, 반수치사농도

최근들어 버섯의 가치에 대한 일반 소비자의 관심이 높아짐에 따라 버섯이 농가의 주요 소득원이 되고 있다. 그리하여 우리 나라의 버섯산업은 생산량을 기준으로 세계 10위이다(Anonymous, 1999). 1998년 현재 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*)의 생산량은 58,973 kg으로 표고버섯(*Lentinus edodes*) 4,048,631 kg, 양송이(*Agaricus bisporus*) 278,323 kg에 이어 생산량이 많은 버섯이며(Ministry of Agriculture and Forestry, 1999), 매년 재배농가가 늘어나면서 생산량과 시장규모가 증가하고 있다. 그러나 버섯류 생산량 확대와 더불어 버섯에 발생하는 해충류가 크게 문제화 되고 있다. 즉, 버섯파리과(Mycetophilidae), 흑파리과(Cecidomyiidae), 벼룩파리과(Phoridae) 해충과 몇몇 종의 특토기, *Linopodes*, *Tyroglyphus*, *Rhizoglyphus*, *Histioglyphus*와 *Pygmaeophorus* 응애, *Ditylenchus*와 *Rhabditis* 등의 선충 등이 피해를 주고 있다(Thomas, 1959; Kim and Hwang, 1996). 검정날개버섯파리과(Sciaridae)에 속하는 *Lycoriella mali*, *L. auripila*, *Bradysia pauperi*, *B. fungicola* 등도 버섯에 피해를 많이 주고 있다(Sasakawa, 1993). 느타리버섯 재배에 피해를 주는 주요 버섯파리류는 검정날개버섯파리과와 흑파리과, 벼룩파리과에 속하는 파리류가 있는데, 그 중 검정날개버섯파리과에 속하는 *L. mali*, *L. auripila*, *Bradysia* sp. 등의 피해가 심각하다(Clift and Toffolon, 1981; Al-Amidi, 1995; Scheepmaker *et al.*, 1996). 우리 나라의 느타리버섯 재배사에 발생하는 버섯파리는 *L. mali*와 *Bradysia* sp., *Megaselia nigra*, *Coboldia fuscipes*, *Mycetophila* sp., *Mycophila* sp. 등이 있다(Lee, 1997; Lee *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 1999b). 특히, *L. mali*의 피해가 심하며 느타리버섯 뿐만 아니라 양송이, 표고버섯에도 피해를 주고 있다(Ishitani *et al.*, 1993, 1997; Ishitani and Sasakawa, 1994; Ishitani, 1995). *L. mali*의 유충은 퇴비더미, 균사가 자라는 배지, 버섯원기, 자실체를 가해하고 성충은 버섯갈변병을 일으키는 *Verticillium fungicola*나 *Mycogone*, *Dactylium* sp. (연부병) 등의 버섯병원균의 매개체가 되고 응애류와 선충류 등의 매개충으로도 작용하여 2차적인 피해를 주기도 하며(Rinker *et al.*, 1989), *L. mali*의 경우 17% 정도의

느타리버섯 감수를 초래한다(Cantelo, 1979). 한편, 버섯파리 방제는 주로 diazinon과 chlorpyrifos 등의 농약에 의존하고 있다(Cantelo, 1979, 1981, 1989). 농약은 버섯재배사의 입지적 특성과 안전성 때문에 재배 초기인 퇴비더미와 복토 재료에 처리되고 있다(Clift and Toffolon, 1981). 이와 같은 제한적 약제살포는 버섯파리 방제에는 적합하지 못하고, 생육시기에는 농약 사용을 할 수가 없다. 따라서 안전하고 효과적인 버섯파리의 방제 방법 개발이 필요한데 곤충병원성 선충이 검정날개버섯파리류에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 즉, *Bradysia* sp., *B. paupera*, *L. mali*, *L. solani* 등이 곤충병원성 선충에 의하여 효과적으로 방제되었다. *L. mali*는 80% 이상이 *Steinernema feltiae*에 의하여 치사되었고(Grewal *et al.*, 1993), *L. solani* 버섯파리에도 *Neoplectana feltiae*(=*S. feltiae*)가 효과적이었다(Tomalak and Lipa, 1991). 한편, Richardson and Hughes(1986)는 *H. heliothidis*가 *S. feltiae*보다 흑파리과(Cecidomyiidae)에 더 효과적이었다고 하여 버섯파리의 종에 따라 선충의 효과가 다르게 나타나고 있다.

본 연구는 버섯 재배사의 특성상 농약을 제한적으로 사용할 수밖에 없고 효과도 확실치 않은 방법에 대체하며, 무엇보다도 느타리버섯의 안정적인 무공해 생산을 위하여 긴수염버섯파리를 곤충병원성 선충으로 방제하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 곤충과 선충

경남 진주의 느타리버섯 재배사에서 성충은 동력흡충기와 mouth aspirator를 이용하여 채집하였고, 유충은 피해를 주고 있던 배지를 떼어 내어 실험실로 가져와 0.2 mm 체로 거른 다음 분리하였다. 긴수염버섯파리를 증식하기 위하여 채집된 성충을 14일된 원형 느타리버섯(ASTI 2080)이 자라고 있던 플라스틱 petri dish(Ø 87 × 15 mm)에 20~30마리씩 방사하였다. 배지는 potato dextrose agar(PDA)였고, 25°C 항온기에 보관하면서 산란을 유도하였다. 실내 실험에 이용된 긴수염버섯파리 유충과 성충은 플라스틱 petri dish내

에서 누대 사육한 2세대를 이용하였다.

실험에 사용한 곤충병원성 선충은 꿀벌부채명나방 (*Galleria mellonella*) 유충을 미기로 (Bedding and Akhurst, 1975) 우리 나라 토양에서 분리한 *S. carpocapsae*와 *H. bacteriophora*를 이용하였다. 곤충병원성 선충은 꿀벌부채명나방 노숙 유충(5령충)에서 Dutky et al. (1964)의 방법으로 대량 증식시켜 이용하였다. 증식된 선충은 White trap을 이용하여 수확하였으며 실험에는 수확한지 3주 이내의 선충을 이용하였다 (Woodring and Kaya, 1988).

실내실험

1) 긴수염버섯파리에 대한 병원성

병원성을 알아보기 위하여 플라스틱 petri dish (87 ϕ \times 15 mm)내의 PDA(감자 200 g, agar 15 g, 증류수 1 l) 배지에서 14일 동안 배양한 원형느타리버섯 (ASTI 2080)을 15 ϕ \times 10 mm cork borer로 떼어내어 15 ϕ \times 20 mm 24 multiwell tissue culture plate에 넣었다. 별도의 petri dish에서 사육하고 있던 긴수염버섯파리 2, 3, 4령 각 령기의 유충을 백금으로 한 마리씩 각 well에 접종하였다. 곤충병원성 선충은 긴수염버섯파리 유충 한 마리당 5, 10, 20, 40, 80, 160마리 농도로 0.1 ml 현탁액을 만들어 마이크로 피펫으로 처리하였다. 처리 후 수분의 증발과 버섯파리 유충의 다른 hole로의 이동을 방지하기 위하여 tissue culture plate의 윗 부분을 랩으로 씌운 다음 뚜껑을 덮었다. 곤충병원성 선충에 의한 버섯파리 유충의 생사유무는 48시간 후 해부현미경하에서 확인하였다. 처리는 20°C와 25°C 항온기 내에서 각각 10마리를 1반복으로 하여 5반복으로 처리하였다. 반수치사농도(LC₅₀)을 알아보기 위하여 위와 같은 방법으로 처리하고 조사하였다. 조사는 10마리를 1반복으로 하여 4반복으로 실험을 수행하였다.

2) *S. carpocapsae*가 긴수염버섯파리의 산란에 미치는 영향

*S. carpocapsae*를 버섯파리 암컷에 처리하였을 때, 선충 처리가 버섯파리 암컷의 산란에 미치는 영향을 알아보았다. PDA 12 ml을 55 ϕ \times 15 mm petri dish에 분주하여 배지를 만들었다. 경남농업기술연구원 버섯재배실험실에서 보관 중이던 느타리버섯 균주 (*P. ostreatus*, 원형느타리 ASTI 2080)를 무균실에서 접종하고 25 \pm 2°C 항온기에서 7일 동안 배양하였다. *S. carpocapsae*를 마이크로 피펫으로 100마리 농도로 0.5 ml 접종하였다. 1시간 후 실내에서 사육 중이던 당일 우화한 건강한 긴수염버섯파리 암컷 성충 5마리씩을 각 petri dish에 방사하였다. 긴수염버섯파리의 교미는 수분내에 이루어지기 때문에 처리전 1시간 동안 암컷:수컷의 비율을 1:1로 하여 10개의 petri dish

PDA배지에 10마리씩 넣어 교미를 유도하였으며 실험에 필요한 암컷의 수를 충분히 확보하였다. 일반적으로 검정날개버섯파리류의 성충 수명이 1~2일이기 때문에 (Gouge, 1994) 처리 72시간 후 각 petri dish로부터 방사한 긴수염버섯파리 암컷 성충을 제거하고, 해부현미경하에서 균사내에 산란한 알의 수를 조사하였다. 무처리는 살균수만 0.5 ml 처리하였고, 실험은 25 \pm 2°C 항온기내에서 수행하였다. 처리는 긴수염버섯파리 암컷 성충 5마리가 들어있는 1개의 petri dish를 1반복으로 하여 5반복으로 처리하였다.

3) 긴수염버섯파리에 의한 *S. carpocapsae*의 전파

처리된 선충이 긴수염버섯파리 성충에 의하여 전파되는지 알아보기 위하여 다음과 같은 실험을 하였다. 무균실내에서 느타리버섯 균주를 87 ϕ \times 15 mm petri dish의 PDA 배지에 접종하여 25 \pm 2°C 항온기내에서 14일 동안 배양하였다. 배양한 2개의 느타리버섯 petri dish를 30 \times 25 \times 19 mm 플라스틱 cage에 10 cm 간격으로 배치하고 한 petri dish에는 *S. carpocapsae*를 5,000마리 농도로 1 ml 처리하였고, 나머지 하나의 petri dish에는 살균수만 1 ml 처리하였다. 30분 후 긴수염버섯파리를 각 cage에 방사하였는데, 암컷성충 50마리, 수컷성충 50마리, 암컷 25마리+수컷 25마리의 세가지 처리로 하였다. 처리 72시간 후 각 cage에서 살균수만 처리한 petri dish에서 균사를 loof로 긁어내었다. 균사를 채취할 때는 살균수로 깨끗이 씻어 내면서 38 μ m체로 걸렀으며, 38 μ m체에 걸러진 선충들을 87 \times 15 mm petri dish에 모아 해부현미경하에서 그 수를 헤아렸다. Cage는 명조건 14시간:암조건 10시간의 25 \pm 3°C 실온에서 두었고, 상대습도는 83 \pm 5%였다. 실험은 처리당 하나의 cage를 1반복으로 하여 5반복으로 수행하였다.

포장실험

1) 방제효과

2000년 4월 15일 강원도 춘천시에 있는 느타리버섯 재배사에서 *S. carpocapsae*와 *H. bacteriophora*를 처리하여 긴수염버섯파리의 방제효과를 알아보았다. 재배사 면적은 7.0 \times 15.0 m였고, 균상 면적은 1.2 \times 12.0 m였으며 전체 3단, 4줄로 이루어져 있었다. 처리 당시의 버섯은 종균 접종 후 46일째 (버섯수확 2주기)였다. 처리구는 아래의 1단과 2단에 있는 균상에서 1.0 \times 1.5 m를 하나의 구로 하여 완전임의배치법 5반복으로 만들었다. 실험에 사용한 곤충병원성 선충은 각각 2.25 \times 10⁵마리/구 (=1.5 \times 10⁹마리/ha)와 4.5 \times 10⁵마리/구 (=3.0 \times 10⁹마리/ha)의 두 농도로 처리하였다. 선충은 4l의 물에 혼합하여 물조리개로 살포하였다. 무처리구는 물만 4l 살포하였다. 효과는 처리전 7일

및 14일째의 유충수를 비교하여 평가하였다. 즉, 버섯 배지 10×10×10cm를 각 구의 3지점에서 취하여 실험실로 가져와 골고루 섞은 다음, Lee *et al.* (1999a)의 방법으로 각각 유충을 분리하여 그 수를 헤아렸다. 실험기간중 재배사내의 평균온도는 24±3°C였으며, 상대습도는 81±4%였다.

2) 버섯배지에서의 곤충병원성 선충의 생존

긴수염버섯파리 방제실험용 버섯재배사에서 곤충병원성 선충의 생존력을 알아보았다. 선충 처리 직후와 처리 후 7일째, 14일째 각 구의 3지점에서 버섯배지 10×10×10cm를 취하여 실험실로 가져와 골고루 섞은 다음, 90φ×11mm polyethylene cup에 넣고 꿀벌부채명나방 노숙 유충(5령충) 5마리씩을 넣었다. 그리고 7일 후 각 cup에서 꿀벌부채명나방 유충을 꺼내어 해부현미경하의 Ringer's 용액에서 해부하고 선충에 의한 치사유무를 확인하였다. 실험은 각 구당 3개의 cup을 1반복으로하여 5반복으로 행하였다.

3) 곤충병원성 선충이 버섯생육에 미치는 영향

*S. carpocapsae*가 느타리버섯에 미치는 영향을 알아보았다. 면실박(목화껍질) 배지를 이용하여 버섯을 box재배하는 경남농업기술원의 5×7m 크기의 간이 버섯재배사에서 실험을 수행하였다. 40×40×10cm 플라스틱 box에 느타리버섯 균사를 접종한 25일째, 각 box 당 0.5×10⁵마리/l(3.125×10⁹마리/ha)와 1.0×10⁵마리/l(6.25×10⁹마리/ha) 농도로 *S. carpocapsae*와 *H. bacteriophora*를 각각 처리하였다. 처리 후 box는 3단으로 구성된 86×86×164cm bed에 각각 난괴법 3반복으로 배치하였다. 무처리 box는 1l의 물만 처리하였다. 그리고 7일과 14일, 21일째 버섯을 각각 수확하여 무게를 측정하였다. 실험 중 버섯재배사내의 평균온도는 26±3°C였으며 상대습도는 79±5%였다.

통계분석

실내 petri dish의 곤충병원성 선충 처리농도와 긴수염버섯파리 령기에 따른 치사율은 백분율로 환산하여 Student-Newman-Keuls test로 분산분석하였으며, LC₅₀은 probit 분석하여 긴수염버섯파리에 대한 선충수를 결정하였다(SAS Institute, 1996). 긴수염버섯파리 성충의 산란에 미치는 곤충병원성 선충의 영향은 t-test로 분석하였다. 포장에서의 긴수염버섯파리 치사율은 보정유충감소율로 전환하여 Tukey test로 처리간 유의성 차이를 분석하였다. 모든 경우의 Student-Newman-Keuls test와 Tukey test의 유의성 정도는 P<0.05 범위에서 이루어졌다.

결 과

실내실험

1) 긴수염버섯파리에 대한 병원성

곤충병원성 선충에 의한 긴수염버섯파리의 치사율은 선충의 종, 농도, 온도 및 긴수염버섯파리의 령기에 따라 차이가 있었다(Table 1). 즉, *S. carpocapsae*가 *H. bacteriophora*보다 효과적이었고, 두 종 모두 2령충보다는 3령충과 4령충에서 효과적이었다. 긴수염버섯파리의 선충에 의한 치사율은 20°C보다는 25°C에서 높았지만 유의성은 인정되지 않았다.

긴수염버섯파리에 대한 *S. carpocapsae*와 *H. bacteriophora*의 반수치사농도는 령기와 선충의 종, 처리 온도에 따라 차이가 있었다(Table 2). 반수치사농도가 가장 낮았던 값은 25°C에 처리한 *S. carpocapsae*로 긴수염버섯파리 2령충에서 20.0마리, 3령충에서 27.5마리였고, 가장 높았던 것은 *H. bacteriophora*로 20°C에서 긴수염버섯파리 3령충에서 185.0마리, 4령충에서 138.9마리였다. 2령충보다는 3령충과 4령충에서 반수치사농도값이 낮았다.

*S. carpocapsae*에 의한 긴수염버섯파리의 치사율은 발육단계에 따라 차이가 있었다(20°C : F=89.93, df =

Table 1. Analysis (ANOVA) of the effects of nematode species, temperature, and concentration on *Lycoriella mali* in multiwell tissue culture plate

	Type I SS*			
	df	MS**	F	Pr>F
Sciarid mortality				
Nematode species (N)	1	17000.3	356.3	0.0001
Temperature (T)	1	2800.3	58.7	0.0001
Stage of <i>L. mali</i> (SL)	2	15336.9	321.4	0.0001
Nematodes concentration (NC)	6	17386.0	364.4	0.0001
N×T	1	36.0	0.8	0.3858
N×SL	2	1894.1	39.7	0.0001
N×NC	6	717.0	15.0	0.0001
T×SL	2	108.3	2.3	0.1054
T×NC	6	130.9	2.7	0.0134
SL×NC	12	957.7	20.1	0.0001
N×T×SL	2	4.8	0.1	0.9051
N×T×NC	6	27.7	0.6	0.7461
T×SL×NC	12	24.3	0.5	0.9079
N×T×SL×NC	24	71.3	1.5	0.0691
Error	252	47.7	—	—
Corrected total	335	—	—	—

*SS = Sum of squares; **MS = Mean squares

Table 2. Lethal concentration at 50 and 95% fiducial limits (FL) as determined by multiwell tissue culture plate bioassay for the infective juveniles of entomopathogenic nematodes against *Lycoriella mali*

Nematode species	Temperature	Stage	Slope ± SE	LC ₅₀ (95% FL)*
<i>Steinernema carpocapsae</i> Pocheon strain	20°C	2nd instar	1.0 ± 0.2	511.1 (213.21-4695.4)
		3rd instar	1.1 ± 0.2	38.2 (26.86-57.02)
		4th instar	1.0 ± 0.2	39.4 (26.69-62.23)
	25°C	2nd instar	0.7 ± 0.2	584.7 (190.3-221779.0)
		3rd instar	1.1 ± 0.2	20.0 (12.99-29.00)
		4th instar	1.1 ± 0.2	27.5 (19.25-39.20)
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i> Hamyang strain	20°C	2nd instar	1.2 ± 0.3	546.1 (241.98-4928.0)
		3rd instar	1.2 ± 0.2	185.0 (111.44-476.49)
		4th instar	1.1 ± 0.2	138.9 (86.81-317.00)
	25°C	2nd instar	1.0 ± 0.2	571.7 (227.42-6828.2)
		3rd instar	1.1 ± 0.2	102.7 (68.31-197.35)
		4th instar	1.1 ± 0.2	92.4 (62.00-172.13)

*LC₅₀ expressed as number of infective juveniles per *L. mali* larva.

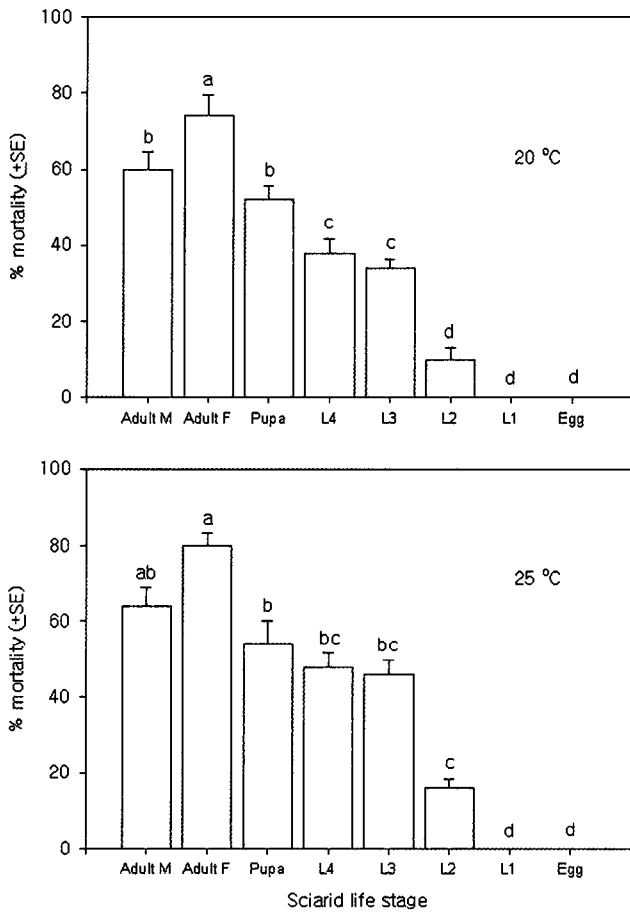


Fig. 1. Mortality of the *Lycoriella mali* by *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain according to different sciarid life stage. Same kind with the same lower case letter above bars for a given date is not significantly different ($P < 0.05$). M; mail, F; female, L; larva.

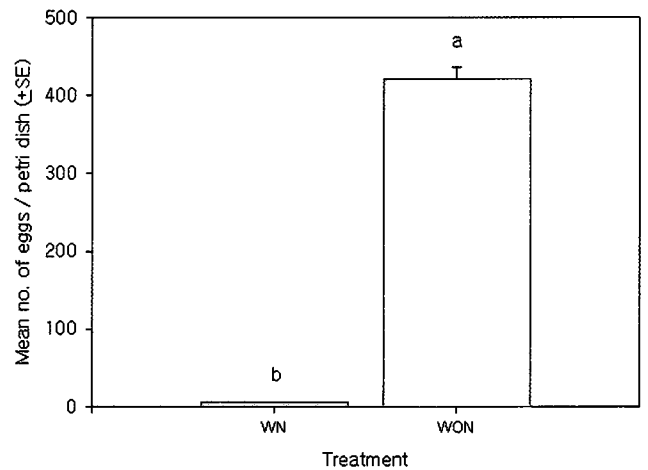


Fig. 2. Effect of *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain on the oviposition of *Lycoriella mali*. Same kind with the same lower case letter above bars for a given date is not significantly different ($P < 0.05$).

WN; with nematodes, WON; without nematodes.

7, 32, $P < 0.0001$; 25°C: $F = 65.93$, $df = 7, 32$, $P < 0.0001$) (Fig. 1). 가장 치사율이 높았던 것은 20°C에서 74.0%, 25°C에서 80.0%의 치사율을 보인 암컷 성충이었다. 일반적으로 두 온도에서 어린 발육단계일수록 치사율이 낮았으며, 반대로 발육단계가 높을수록 치사율이 높았다. 그러나 알과 1령충에서는 감염이 전혀 이루어지지 않았다.

2) *S. carpocapsae*가 긴수염버섯파리의 산란에 미치는 영향
곤충병원성 선충 *S. carpocapsae*는 긴수염버섯파리

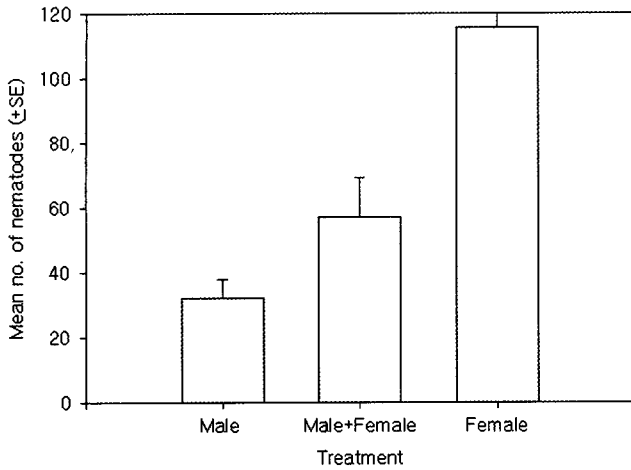


Fig. 3. Number of *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain dispersed by the adult sciarid, *Lycoriella mali*. Vertical error bars represent standard errors of the mean.

산란에 영향을 미쳤다 ($P > |T| = 0.0001$) (Fig. 2). 살균수만 처리한 petri dish에서의 산란수가 421.6개/5마리 (84.3개/마리)였는데 비하여 *S. carpocapsae*를 처리한 것에서는 5.4개/5마리 (1.1개/마리)였다. 긴수염버섯파리 암컷 성충을 해부하여 기생된 선충수를 조사한 결과 암컷 성충 한 마리에 3.2마리 (1~9Ijs, n=30)의 선충이 기생하고 있었다.

3) 긴수염버섯파리에 의한 *S. carpocapsae*의 전파

곤충병원성 선충 *S. carpocapsae*는 긴수염버섯파리 *L. mali*에 기생된 후 전파가 되었다 ($F = 7.68$, $df = 2, 12$, $P < 0.0071$). 특히, 파리의 암·수에 관계없이 선충을 전파하였으나 성에 따라 선충의 전파수에서 차이가 있었다 (Fig. 3). 즉, 50마리를 처리한 긴수염버섯파리 암컷 성충에 의한 *S. carpocapsae*의 전파수는 115.8마리, 수컷에 의한 것은 32.0마리로 암컷에 의한 전파수가 많았고 암·수 혼합처리구에서의 전파수는 57.2마리였다.

포장실험

1) 방제효과

버섯재배사에 *S. carpocapsae*와 *H. bacteriophora*를 처리한 후 긴수염버섯파리 유충의 밀도감소 효과를 알아본 결과, *S. carpocapsae*가 *H. bacteriophora*보다 효과가 좋았다 (Fig. 4). 또한 *S. carpocapsae*는 구당 4.5×10^5 마리를 처리한 것이 2.25×10^5 마리를 처리한 것보다 유충감소율이 높았다. 즉, 처리 7일째 2.25×10^5 마리 처리구에서의 유충감소율은 28.3%, 4.5×10^5 마리 처리구는 41.8%였으며 ($F = 3.79$, $df = 3, 16$, $P < 0.0314$), 처리 14일째는 2.25×10^5 마리 처리구에서

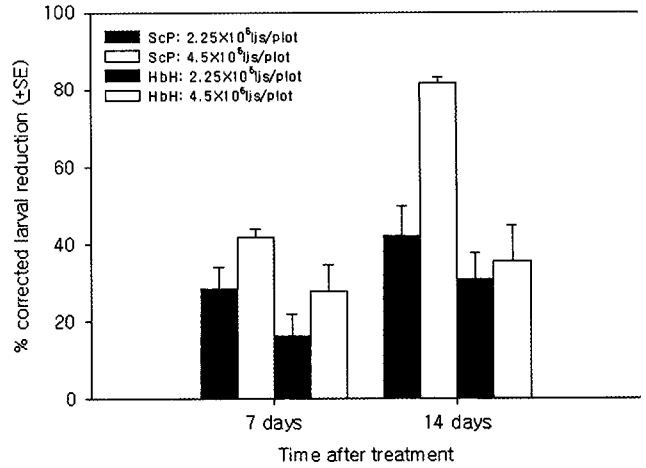


Fig. 4. Effect of *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain on the sciarid, *Lycoriella mali*. Vertical error bars represent standard errors of the mean.

ScP: *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain, HbH; *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain.

Table 3. Persistence of *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain and *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain in mushroom cultivator using *Galleria*-bait technique

Nematode species	Concentration (Ijs/plot)	% mortality ± SE	
		1 week	2 weeks
<i>S. carpocapsae</i> Pocheon strain	2.25×10^5	100.0 ± 0.0 a*	100.0 ± 0.0a
	4.5×10^5	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0a
<i>H. bacteriophora</i> Hamyang strain	2.25×10^5	100.0 ± 0.0 a	96.0 ± 1.6a
	4.5×10^5	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0a

* Within columns, mean followed by the same lowercase letter are not different significantly (Student-Newman-Keuls Test. $P < 0.05$).

42.2%, 4.5×10^5 마리 처리구에서 81.6%였다 ($F = 11.06$, $df = 3, 16$, $P < 0.0004$). 한편, 꿀벌부채명나방을 미끼로 하여 처리된 곤충병원성 선충의 지속성을 알아본 결과, *H. bacteriophora*를 구당 2.25×10^5 마리를 처리한 것을 제외하고는 모든 처리구에서 2주 동안 100%의 꿀벌부채명나방 노숙 유충 치사율을 나타내었다 (Table 3).

2) 곤충병원성 선충이 버섯생육에 미치는 영향

곤충병원성 선충은 느타리버섯의 성장에는 아무런 영향을 미치지 않았다 (Table 4). *S. carpocapsae*와 *H. bacteriophora*를 구당 각각 0.5×10^5 마리, 1.0×10^5 마리로 처리하고 무처리구와 버섯수량을 비교한 결과, 7일째 버섯수량은 각각 0.5×10^5 마리 처리구에서

Table 4. Effect on growth of *Pleurotus ostreatus* of entomopathogenic nematodes

Treatment	Concentration (Ijs/box)	Quantity of <i>P. ostreatus</i> (g/box) according to cropping period ± SE		
		First period	Second period	Third period
Control	-	926.7 ± 264.3 a*	500.0 ± 57.7 a	383.3 ± 44.1 a
ScP	0.5 × 10 ⁵	800.0 ± 125.8 a	323.3 ± 72.2 a	433.3 ± 81.1 a
	1.0 × 10 ⁵	1150.0 ± 50.0 a	336.7 ± 86.7 a	343.3 ± 97.9 a
HbH	0.5 × 10 ⁵	990.0 ± 95.4 a	363.3 ± 69.6 a	313.3 ± 46.7 a
	1.0 × 10 ⁵	800.0 ± 115.5 a	313.3 ± 60.1 a	350.0 ± 40.4 a

* Within columns, mean followed by the same lowercase letter are not different significantly (Student-Newman-Keuls Test. P<0.05).

**ScP; *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain, HbH; *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain

800.0 g과 990.0g, 1.0 × 10⁵마리 처리구에서 1,150.0 g과 800.0 g으로 무처리구의 926.7 g과 유의적인 차이가 없었다(F=0.97, df=4, 10, P<0.4660). 즉, 선충의 종과 농도에 따른 버섯의 수량 차이는 없었다. 이러한 경향은 14일째 버섯수량에서도 각각 0.5 × 10⁵마리 처리구에서 323.3 g과 363.3 g, 1.0 × 10⁵마리 처리구에서 336.7 g과 313.3 g으로 무처리구의 500.0 g과 차이가 없었다(F=1.19, df=4, 10, P<0.3715). 그리고 21일째 버섯수량도 각각 433.3 g과 313.3 g, 343.3 g과 350.0 g으로 무처리구의 383.3 g과 차이가 없어(F=0.48, df=4, 10, P<0.7515), 곤충병원성 선충은 버섯의 재배에 부정적 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

고 찰

우리 나라에서 느타리버섯은 표고버섯, 양송이와 더불어 생산과 소비면에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 느타리버섯 재배지에는 일반적으로 버섯파리가 가장 많은 피해를 주고 있으며 검정날개버섯파리과(Sciaridae), 흑파리과(Cecidomyiidae) 및 털파리붙이과(Scatopsidae)에 속하는 6종이 지역 및 시기에 따라 서로 다른 피해를 주고 있다(Kim et al., 1999). 그 중 긴수염버섯파리는 전국의 버섯재배사에 년중 발생하여 피해를 일으키는 심각한 버섯파리이다. 현재까지는 적절한 방제방법이 없는 상황에서 곤충병원성 선충

*S. carpocapsae*가 매우 효과가 있었다. 즉, 버섯파리 유충에 대한 치사율은 선충의 종, 농도, 온도 및 긴수염버섯파리 령기에 따라 많은 차이가 있었으며(Table 1), 긴수염버섯파리의 2령충을 제외한 3령충과 4령충에서의 LC₅₀값은 *S. carpocapsae*가 *H. bacteriophora*보다 매우 낮았다(Table 2). 실내실험에서 긴수염버섯파리 2령충과 3령충, 4령충에 각각 선충을 처리하였을 때 2령충보다는 3령충과 4령충의 치사율이 높았다(Table 1). 실제 버섯재배사에서는 버섯파리의 전 발육 단계가 혼재하기 때문에 선충의 효과는 더욱 더 높아질 수 있을 것으로 본다. 버섯파리 *Mycetophila fungorum* (Mycetophilidae과) 성충에 자연 기생하고 있던 *S. feltiae*가 최초로 보고(Poinar, 1992)된 이래 Gouge and Hague (1995a)는 *Steinernema*속 선충 6종과 *Heterorhabditis*속 선충 2종을 각각 검정날개버섯파리과(Sciaridae)의 *Bradysia paupera* 한 마리에 20마리 농도로 처리하여 치사율을 알아본 결과, *S. feltiae*의 처리에서 가장 높았고, *S. carpocapsae*도 *H. megidis*보다는 높은 치사율을 나타내었다고 보고하고 있다. 한국산 *S. carpocapsae*를 긴수염버섯파리의 각 발육단계 한 마리 당 20마리 농도로 처리하였을 때, 유충보다는 번데기와 성충의 치사율이 높았다(Fig. 1). 버섯파리 번데기와 성충에서 치사율이 높게 나타난 것은 번데기는 선충에 노출되었을 때 회피반응이 거의 없어 선충의 침입이 용이하며, 성충은 대부분 버섯균사나 배지위에서 생활하는 행동·피해습성과 *S. carpocapsae*의 생태적 특성(잠복형, Nictacion)으로 인하여 버섯파리 성충의 치사율이 높았다고 생각된다. 그러나 곤충병원성 선충의 버섯파리 유충 침입은 주로 입이나 항문으로 침입을 하는데 유충의 경우 두 기관이 너무나 적어 침입이 용이하지 못하다는 점, 또한 버섯파리 유충은 선충에 노출되었을 때 선충과 접촉하는 것에 대해 매우 민감한 반응을 보인다는 점등으로 인하여 치사율이 성충에 비해 낮았다고 생각된다. Gouge and Hague (1995b)는 *B. paupera* 유충에 대한 *S. feltiae* 선충의 침입경로와 반응에 대한 실험에서 위와 유사한 결과를 서술하고 있다. 그리고 흑파리과(Cecidomyiidae)의 유충과 번데기에 *H. heliothidis* (= *H. bacteriophora*)를 처리한 결과 유충보다는 번데기의 치사율이 높았다(Richardson and Hughes, 1986)고 하였다. *S. carpocapsae*는 긴수염버섯파리 암컷 성충에 기생하여 생식기를 포함한 내부기관을 파괴하여 산란에 영향을 미쳤다(Fig. 2). 즉, 곤충병원성 선충에 노출된 3일후 버섯파리 성충을 해부현미경하에서 해부한 결과 공생세균에 의하여 버섯파리의 내부기관은 형태를 알아볼 수 없게 파괴되었으며 소화기, 말피기시관, 생식기의 파괴유무를 조사한 결과, 선충이 기생된 버섯파리의 내부기관 중 가장 많이 파괴된 것은 생식기(90~100%.

평균 97.5%)였으며 다음이 소화기(80~90%, 평균 85%), 말피기씨관(80~90%, 평균 82.5%) 순이었다(Kim, H.H., personal communication). 그리고 곤충병원성 선충은 긴수염버섯파리 성충에 의하여 전파가 되었다(Fig. 3). 긴수염버섯파리 성충 암·수 각 50마리를 *S. carpocapsae* 5,000마리에 노출시켰을 때, 암컷에 의해서는 115.8마리가, 수컷에 의해서는 32.0마리가 전파되었으며, 암·수 혼합구에서도 57.2마리나 전파되었다. 파리 암컷 성충의 선충 전파수가 많았던 것은 암컷의 산란습성 때문이라 생각된다. 즉, 암컷은 배지에 복부를 삽입하여 산란하고 알 무더기 옆에서 죽기 때문에(Brar and Sandhu, 1989; Lee *et al.*, 1998) 상대적으로 많은 선충이 전파되었으리라 생각된다. 그리고 선충은 주로 긴수염버섯파리 성충에 감염하여 전파가 되었지만 때로는 날개나 다리에 묻어서 전파가 되기도 하였다(Kim, H.H., personal communication). *S. carpocapsae*와 *H. bacteriophora*를 각각 구당 0.5×10^5 마리, 1.0×10^5 마리로 처리하여 무처리구와의 버섯수량을 비교한 결과, 곤충병원성 선충은 느타리버섯의 생육에 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 확인되어 버섯재배사의 버섯파리 방제에 안전하게 이용할 수 있을 것으로 생각된다(Table 4). Grewal 등(1992)은 양송이재배사에서 *S. feltiae*를 5.3×10^6 마리/m², 10.7×10^6 마리/m²를 처리한 결과 전자에서는 무처리구와 비교하여 버섯수량의 차이가 없었으나 후자는 버섯수량이 증가하였다고 보고하였다. 느타리버섯을 재배하는 농가의 버섯재배사에 *S. carpocapsae*를 처리한 14일째의 유충감소율이 4.5×10^5 마리 처리구에서 81.6%로서 높은 농도로 선충을 처리하면 충분히 버섯재배사에 발생하는 긴수염버섯파리를 방제할 수 있을 것으로 생각된다(Fig. 4). *H. bacteriophora*보다는 *S. carpocapsae*의 효과가 높았고 재배사에 처리된 선충들이 처리 후 14일째까지도 생존하고 있었기 때문에 적극적으로 활용해 봄직하였다(Table 3). 곤충병원성 선충의 버섯파리류에 대한 방제 효과는 *L. solani*에는 *N. feltiae*(=*S. feltiae*)가(Tomalak and Lipa, 1991), *L. auripila*와 *M. halterata*에 대해서는 *S. feltiae*(Scheepmaker *et al.*, 1997, 1998)가 효과가 높은 것으로 보고되어 있다. 이와같이 곤충병원성 선충을 버섯파리의 방제에 활용하기 위해서는 높은 병원성과 재배사의 배지에서 오랫동안 생존할 수 있어야 한다. 본 실험결과 *S. carpocapsae*는 긴수염버섯파리에 대하여 높은 병원성을 나타내었을 뿐만 아니라, 버섯 재배사의 배지내에서 오랜 기간 생존하였다. 따라서 안정적이면서 환경친화적으로 느타리버섯을 생산하기 위하여 병원성이 뛰어난 선충을 꾸준히 이용하여야 할 것이다.

사 사

본 연구를 수행하는 동안 실험이 원활히 이루어질 수 있도록 도움을 준 선충 실험실의 정혜진, 이승욱, 정동운, 정옥련, 윤희숙에게 감사한다. 본 연구는 한국 학술진흥재단의 '98 신진연구인력 연구장려금으로 수행되었다.

인 용 문 헌

- Al-Amidi, A.H.K. 1995. Occurrence of insects and mites in mushroom compost in Ireland. *Science and Cultivation of Edible Fungi*. pp. 539~544.
- Bedding, R.A. and R.J. Akhurst. 1975. A simple technique for the detection of insect parasitic rhabditid nematodes in soil. *Nematologica* 21: 109~110.
- Brar, D.S. and G.S. Sandhu. 1989. Biology of sciarid fly, *Bradysia tritici* (Diptera: Sciaridae) on temperature mushroom in the Punjab (India). *Mushroom Science* XII. pp. 831~842.
- Cantelo, W.W. 1979. *Lycoriella mali*: Control in mushroom compost by incorporation of insecticide into compost. *J. Econ. Entomol.* 71: 703~705.
- Cantelo, W.W. 1981. Advances in chemical control of the scirid fly, *Lycoriella mali*. *Mushroom Science* 11: 255~264.
- Cantelo, W.W. 1989. Advances in control of the sciarid fly, *Lycoriella mali* (Fitch). *Mushroom Science* 12: 843~850.
- Clift, A.D. and R.B. Toffolon. 1981. Insect and mites associated with mushroom cultivation on three commercial farms near Sydney, N.S.W., Australia. *Mushroom Science* 11: 537~549.
- 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. 1994. Biological control of sciarid flies (Diptera: Sciaridae) with entomopathogenic nematodes (Nematoda: Rhabditida), including reference to other Diptera. PhD Thesis, University of Reeding.
- Gouge, D.H. and N.G.M. Hague. 1995a. The susceptibility of different species of sciarid flies to entomopathogenic nematodes. *Journal of Helminthology* 69: 313~318.
- Gouge, D.H. and N.G.M. Hague. 1995b. The development of *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) in the sciarid fly *Bradysia paupera* (Diptera: Sciaridae). *Ann. Appl. Biol.* 126: 395~401.
- 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.
- Ishitani, E. 1995. Damage attacked by *Lycoriella mali* in *Lentinus edodes* cultivating houses (1) Wandering on sawdust block and damage of fruit bodies. Transactions of the Japanese Forestry Society 46: 137~138.
- Ishitani, E., T. Gotoh and T. Kawasaki. 1997. Development sticky light trap and attractiveness to mushroom-infesting Sciarids, *Lycoriella mali* and *Bradysia pauperæ*. Japanese J. Appl. Entomol. Zool. 41: 141~146.
- Ishitani, E., K. Kijima and M. Ito. 1993. Damage of mushroom (*Agaricus bisporus*) attacked by *Lycoriella mali* in Chiba Prefecture. Transactions of the Japanese Forestry Society 44: 175~176.
- Ishitani, E. and M. Sasakawa. 1994. Black fungus gnat (Diptera: Sciaridae) occurring in mushroom houses in Chiba Prefecture. Transactions of the Japanese Forestry Society. 105: 71~72.
- Kim, K.C. and C.Y. Hwang. 1996. An investigation of insect pest on the mushroom (*Lentinus edode*, *Pleurotus ostreatus*) in south region of Korea. Korean J. Appl. Entomol. 35: 45~51.
- Kim, S.R., K.H. Choi, E.S. Cho, 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. Korean J. Appl. Entomol. 38: 41~46.
- Lee, H.S. 1997. Effect of temperature and host fungi on the development of a mushroom-infesting sciarid fly, *Bradysia* sp. (Diptera: Sciaridae). M.S. thesis of Chonnam University 35 pp.
- 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., H.H. Kim, C.G. Park and H.Y. Shin. 1999a. Occurrence of *Lycoriella mali* (Diptera: Sciaridae) in mushroom house. Korean J. Mycol. 27: 420~423.
- 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.
- Ministry of Agriculture and Forestry Republic of Korea. 1999. Agricultural & forestry statistical yearbook. pp. 230~231. Suwon.
- Poinar, Jr. G.O. 1992. *Steinernema feltiae* (Steinernematidae: Rhabditida) parasitizing adult fungus gnats (Mycetophiliidae: Diptera) in California. Fundam. app. Nematol. 15: 427~430.
- Richardson, P.N. and J.C. Hughes. 1986. Use of the nematode *Heterorhabditis heliothidis* to control mushroom cecidomyiid flies (Diptera: Cecidomyiidae). Abstracts X VIII International Nematology Symposium, Antibes, September, p. 25.
- Rinker, D.L., R.J. Snetsinger and R. Tetrault. 1989. Control of sciarid fly with insecticides. Mushroom Science XII. pp. 867~876.
- SAS Institute. 1996. SAS 6.11 for Windows SAS Institute, Cary, NC.
- Sasakawa, M. 1993. Japanese mushroom gnat (Diptera: Sciaridae). Japanese J. Environ. Entomol. Zool. 5: 1~5.
- Scheepmaker, J.W.A., F.P. Geels, L.J.L. D. Van Griensven, and P.H. Smits. 1996. Substrate dependant larval development and emergence of the mushroom pests *Lycoriella auripila* and *Megaselia halterata*. Entomologia Experimentalis et Applicata 79: 329~334.
- Scheepmaker, J.W.A., F.P. Geels, A.J. Rutjens, P.H. Smits, and L.J. L.D. Van Griensven. 1998. Comparison of the efficacy of entomopathogenic nematode for the biological control of the mushroom pests *Lycoriella auripila* (Sciaridae) and *Megaselia halterata* (Phoridae). Biocontrol Science and Technology 8: 277~288.
- 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.
- Anonymous. 1999. Mushroom – Compost making and cultivation technique of edible mushroom. 3: 326 pp. Mushroom Association of Korea.
- Tomalak, M. and J.J. Lipa. 1991. Factors affecting entomophilic activity of *Neoplectana feltiae* in mushroom compost. Entomol. exp. appl. 59: 105~110.
- Thomas, C.A. 1959. Animal pests of cultivated mushrooms in the United States. Mushroom Science. pp. 400~410.
- Woodring, J.L. and H.K. Kaya. 1988. Steinernematid and heterorhabditid nematodes: A handbook of techniques. Southern Coop. Ser. Bull. 331, Arkansas Agri. Exp. Stn. Fayetteville, AR. 30 pp.

(2000년 9월 27일 접수; 2001년 1월 3일 수리)